2.5　汚染水処理設備等

2.5.1　基本設計

2.5.1.1　設置の目的

タービン建屋等には，東北地方太平洋沖地震による津波，炉心冷却水の流入，雨水の浸入，地下水の浸透等により海水成分を含んだ高レベルの放射性汚染水が滞留している（以下，「滞留水」という）。

このため，汚染水処理設備等では，滞留水を安全な箇所に移送すること，滞留水に含まれる主要な放射性物質を除去し環境中に移行し難い性状とすること，除去した放射性物質を一時的に貯蔵すること，滞留水の発生量を抑制するため塩分を除去し原子炉への注水に再利用する循環冷却を構築することを目的とする。

2.5.1.2　要求される機能

(1) 発生する高レベル放射性汚染水量（地下水及び雨水の流入による増量分を含む）を上回る処理能力を有すること。
(2) 高レベル放射性汚染水中の放射性物質等の濃度及び量を適切な値に低減する能力を有すること。
(3) 汚染水処理設備が停止した場合に備え，複数系統及び十分な貯留設備を有すること。
(4) 汚染水処理設備等は漏えいを防止できること。
(5) 万一，高レベル放射性汚染水の漏えいがあった場合，高レベル放射性汚染水の散逸を抑制する機能を有すること。
(6) 高レベル放射性汚染水を処理する過程で発生する気体状の放射性物質及び可燃性ガスの検出，管理及び処理が適切に行える機能を有すること。

2.5.1.3　設計方針

2.5.1.3.1 汚染水処理設備，貯留設備（タンク等）及び関連設備（移送配管，移送ポンプ等）の設計方針

(1) 処理能力

a. 汚染水処理設備及び関連設備（移送配管，移送ポンプ等）は，原子炉への注水，雨水の浸入，地下水の浸透等により 1 号～4 号機のタービン建屋等に発生する滞留水に対して十分対処できる処理容量とする。

b. 汚染水処理設備の除染能力及び塩素除去能力は，処理済水の発電所内再使用を可能とするのに十分な性能を有するものとする。

(2) 汚染水処理設備等の長期停止に対する考慮

a. 主要核種の除去を行う処理装置（セシウム吸着装置，第二セシウム吸着装置，第三セシウム吸着装置及び除染装置）は，単独もしくは組み合わせでの運転が可能な設計と

する。また，セシウム吸着装置及び除染装置と第二セシウム吸着装置は，それぞれ異なる系統の所内高圧母線から受電する構成とし，第三セシウム吸着装置は，二つの異なる系統の所内高圧母線から受電する構成とする。

b. 汚染水処理設備及び関連設備（移送ポンプ等）の動的機器は，その故障により滞留水の移送・処理が長期間停止することがないように原則として多重化する。

c. 汚染水処理設備が長期間停止した場合を想定し，滞留水がタービン建屋等から系外に漏れ出ないように，タービン建屋等の水位を管理するとともに，貯留用のタンクを設ける。

d. 汚染水処理設備，貯留設備及び関連設備（移送ポンプ等）は，所内高圧母線から受電できる設計とする。

e. 汚染水処理設備，貯留設備及び関連設備（移送ポンプ等）は，外部電源喪失の場合においても，非常用所内電源から必要に応じて受電できる設計とする。

(3) 規格・基準等

汚染水処理設備，貯留設備及び関連設備（移送配管，移送ポンプ等）の機器等は，設計，材料の選定，製作及び検査について，原則として適切と認められる規格及び基準によるものとする。

(4) 放射性物質の漏えい防止及び管理されない放出の防止

汚染水処理設備，貯留設備及び関連設備（移送配管，移送ポンプ等）は，液体状の放射性物質の漏えいの防止及び所外への管理されない放出を防止するため，次の各項を考慮した設計とする。

a. 漏えいの発生を防止するため，機器等には設置環境や内部流体の性状等に応じた適切な材料を使用するとともに，タンク水位の検出器等を設ける。

b. 液体状の放射性物質が漏えいした場合は，漏えいの早期検出を可能にするとともに，漏えいを停止するのに適切な措置をとれるようにする。また，汚染水処理設備，貯留設備においては漏えい水の拡大を抑制するための堰等を設ける。

c. タンク水位，漏えい検知等の警報については，免震重要棟集中監視室及びシールド中央制御室（シールド中操）に表示し，異常を確実に運転員に伝え適切な措置をとれるようにする。なお，シールド中央制御室（シールド中操）の機能移転後に設置する設備のタンク水位，漏えい検知等の警報は，免震重要棟集中監視室に発報・表示し，同様の措置を実施する。

(5) 放射線遮へいに対する考慮

汚染水処理設備，貯留設備及び関連設備（移送配管，移送ポンプ等）は，放射線業務従事者等の線量を低減する観点から，放射線を適切に遮へいする設計とする。

(6) 崩壊熱除去に対する考慮

汚染水処理設備は，放射性物質の崩壊熱による温度上昇を考慮し，必要に応じて崩壊熱を除去できる設計とする。

(7) 可燃性ガスの滞留防止に対する考慮

汚染水処理設備は，水の放射線分解により発生する可燃性ガスを適切に排出できる設計とする。

(8) 気体廃棄物の放出に対する考慮

汚染水処理設備は，放出する可燃性ガス等の気体に放射性物質が含まれる可能性がある場合には，排気設備にフィルタ等を設け捕獲する設計とする。

(9) 健全性に対する考慮

汚染水処理設備，貯留設備及び関連設備は，機器の重要度に応じた有効な保全ができるものとする。

(10) タンクエリア解体撤去に対する考慮

タンクエリア解体撤去におけるタンク空き容量は，約１年分の汚染水発生量を貯留できる空き容量を確保した状態でタンクの解体を進める。なお，必要に応じて更なる対策を検討することにより，不測の事態が発生したとしても海洋への汚染水の流出を防止する。

2.5.1.3.2 使用済セシウム吸着塔保管施設及び廃スラッジ貯蔵施設の設計方針

(1) 貯蔵能力

使用済セシウム吸着塔保管施設及び廃スラッジ貯蔵施設は，汚染水処理設備，多核種除去設備，高性能多核種除去設備，モバイル式処理装置，増設多核種除去設備，サブドレン他浄化装置，高性能多核種除去設備検証試験装置，モバイル型ストロンチウム除去装置，RO 濃縮水処理設備，第二モバイル型ストロンチウム除去装置，放水路浄化装置，５・６号機仮設設備（滞留水貯留設備）浄化ユニット，ゼオライト土嚢等処理設備で発生する放射性廃棄物を貯蔵できる容量とする。また，必要に応じて増設する。

(2) 多重性等

廃スラッジ貯蔵施設の動的機器は，故障により設備が長期間停止することがないように，原則として多重化する。

(3) 規格・基準等

使用済セシウム吸着塔保管施設，廃スラッジ貯蔵施設の機器等は，設計，材料の選定，製作及び検査について，原則として適切と認められる規格及び基準によるものとする。

(4) 放射性物質の漏えい防止及び管理されない放出の防止

廃スラッジ貯蔵施設の機器等は，液体状の放射性物質の漏えいの防止及び所外への管理されない放出を防止するため，次の各項を考慮した設計とする。

a. 漏えいの発生を防止するため，機器等には設置環境や内部流体の性状等に応じた適切な材料を使用するとともに，タンク水位の検出器等を設ける。

b. 液体状の放射性物質が漏えいした場合は，漏えいの早期検出を可能にするとともに，漏えい液体の除去・回収を行えるようにする。

c. タンク水位，漏えい検知等の警報については，免震重要棟集中監視室及びシールド中央制御室（シールド中操）に表示し，異常を確実に運転員に伝え適切な措置をとれるようにする。

なお，セシウム吸着装置，第二セシウム吸着装置，第三セシウム吸着装置，高性能多核種除去設備，モバイル式処理装置，サブドレン他浄化装置，高性能多核種除去設備検証試験装置，RO濃縮水処理設備，第二モバイル型ストロンチウム除去装置，放水路浄化装置の使用済みの吸着塔，モバイル型ストロンチウム除去装置の使用済みのフィルタ及び吸着塔，多核種除去設備及び増設多核種除去設備の使用済みの吸着材を収容した高性能容器及び多核種除去設備にて発生する処理カラム，５・６号機仮設設備（滞留水貯留設備）浄化ユニットの使用済セシウム／ストロンチウム同時吸着塔，ゼオライト土嚢等処理設備で発生するゼオライト等保管容器は，内部の水を抜いた状態で貯蔵するため，漏えいの可能性はない。

(5) 放射線遮へいに対する考慮

使用済セシウム吸着塔保管施設，廃スラッジ貯蔵施設は，放射線業務従事者の線量を低減する観点から，放射線を適切に遮へいする設計とする。

(6) 崩壊熱除去に対する考慮

a. 吸着塔，フィルタ，高性能容器，処理カラム及び保管容器は，崩壊熱を大気に逃す設計とする。

b. 廃スラッジ貯蔵施設は，放射性物質の崩壊熱による温度上昇を考慮し，必要に応じて熱を除去できる設計とする。

(7) 可燃性ガスの滞留防止に対する考慮

吸着塔，フィルタ，高性能容器，処理カラム，保管容器及び廃スラッジ貯蔵施設は，水の放射線分解により発生する可燃性ガスの滞留を防止でき，必要に応じて適切に排出できる設計とする。

(8) 気体廃棄物の放出に対する考慮

廃スラッジ貯蔵施設は，放出する可燃性ガス等の気体に放射性物質を含む可能性がある場合は，排気設備にフィルタ等を設け捕獲収集する設計とする。また，気体廃棄物の放出を監視するためのモニタ等を設ける。

(9) 健全性に対する考慮

使用済セシウム吸着塔保管施設，廃スラッジ貯蔵施設は，機器の重要度に応じた有効な保全ができるものとする。

2.5.1.4　供用期間中に確認する項目

(1) 汚染水処理設備は，滞留水の放射性物質の濃度を原子炉注水に再利用可能な濃度まで低減できる能力を有すること。

(2) 汚染水処理設備は，滞留水の塩化物イオン濃度を原子炉注水に再利用可能な濃度まで低減できる能力を有すること。

2.5.1.5　主要な機器

2.5.1.5.1 汚染水処理設備，貯留設備（タンク等）及び関連設備（移送配管，移送ポンプ等）

汚染水処理設備，貯留設備（タンク等）及び関連設備（移送配管，移送ポンプ等）は，滞留水移送装置，滞留水一時貯留設備，油分分離装置，処理装置（セシウム吸着装置，第二セシウム吸着装置，第三セシウム吸着装置及び除染装置），淡水化装置（逆浸透膜装置，蒸発濃縮装置），中低濃度タンク，地下貯水槽等で構成する。

使用済セシウム吸着塔保管施設，廃スラッジ貯蔵施設及び関連施設（移送配管，移送ポンプ等）は，使用済セシウム吸着塔仮保管施設，使用済セシウム吸着塔一時保管施設，造粒固化体貯槽(D)，廃スラッジ一時保管施設等で構成する。

1 号～4 号機のタービン建屋等の滞留水は，滞留水移送装置によりプロセス主建屋，雑固体廃棄物減容処理建屋（以下，「高温焼却炉建屋」という。），または滞留水一時貯留設備へ移送した後，一時貯留する。また，滞留水移送装置によりプロセス主建屋等や滞留水一時貯留設備を介さずにセシウム吸着装置・第二セシウム吸着装置へ直接移送できるようにもする。プロセス主建屋等へ移送した滞留水は，プロセス主建屋等の地下階を介して，必要に応じて油分を除去したうえで，処理装置（セシウム吸着装置，第二セシウム吸着装置，第三セシウム吸着装置）へ移送し，滞留水一時貯留設備へ移送した滞留水は，滞留水一時貯留設備

を介して処理装置へ移送する。処理装置へ移送した滞留水は，処理装置で主要核種を除去した後，淡水化装置により塩分を除去する。また，各装置間には処理済水，廃水を保管するための中低濃度タンク，地下貯水槽を設置する。

二次廃棄物となる使用済みの吸着材を収容したセシウム吸着装置吸着塔，第二セシウム吸着装置吸着塔，第三セシウム吸着装置吸着塔，モバイル式処理装置吸着塔，モバイル型ストロンチウム除去装置の使用済フィルタ・吸着塔，第二モバイル型ストロンチウム除去装置，放水路浄化装置吸着塔は使用済セシウム吸着塔仮保管施設，もしくは使用済セシウム吸着塔一時保管施設に一時的に貯蔵し，高性能多核種除去設備，高性能多核種除去設備検証試験装置，サブドレン他浄化装置，RO 濃縮水処理設備で発生する吸着塔，多核種除去設備，増設多核種除去設備にて発生する二次廃棄物を収容する高性能容器及び多核種除去設備にて発生する処理カラム，５・６号機仮設設備（滞留水貯留設備）浄化ユニットで発生する使用済セシウム／ストロンチウム同時吸着塔は使用済セシウム吸着塔一時保管施設に一時的に貯蔵する。なお，セシウム吸着装置吸着塔，第二セシウム吸着装置吸着塔，第三セシウム吸着装置吸着塔，多核種除去設備にて発生する処理カラム，高性能多核種除去設備，サブドレン他浄化装置，RO 濃縮水処理設備で発生する吸着塔は大型廃棄物保管庫にも一時的に貯蔵する。また，二次廃棄物の廃スラッジは造粒固化体貯槽(D)，廃スラッジ一時保管施設で一時的に貯蔵する。

汚染水処理設備，貯留設備及び関連設備の主要な機器は，免震重要棟集中監視室またはシールド中央制御室（シールド中操）から遠隔操作及び運転状況の監視を行う。

(1) 滞留水移送装置

滞留水移送装置は，タービン建屋等にある滞留水を汚染水処理設備のあるプロセス主建屋（滞留水一時貯留設備含む），高温焼却炉建屋へ移送すること，または，プロセス主建屋，高温焼却炉建屋にある滞留水を滞留水一時貯留設備へ移送することを目的に，移送ポンプ，移送ライン等で構成する。

移送ポンプは，1 号機タービン建屋に 6 台，1 号機原子炉建屋に 2 台，1 号機廃棄物処理建屋に 2 台，2 号機タービン建屋に 6 台，2 号機原子炉建屋に 2 台，2 号機廃棄物処理建屋に 6 台，3 号機のタービン建屋に 9 台，3 号機原子炉建屋に 4 台，3 号機廃棄物処理建屋に 6 台，4 号機タービン建屋に 7 台，4 号機原子炉建屋に 6 台，4 号機廃棄物処理建屋に 6 台，プロセス主建屋に 10 台，高温焼却炉建屋に 2 台設置し，原子炉への注水，雨水の浸入，地下水の浸透等により 1 号～4 号機のタービン建屋等に発生する滞留水に対して十分対処可能な設備容量を確保する。

滞留水の移送は，移送元のタービン建屋等の水位や移送先となるプロセス主建屋，高温焼却炉建屋の水位，滞留水一時貯留設備の運転の状況に応じて，ポンプの起動台数，移送元，移送先を適宜選定して実施する。

移送ラインは，設備故障及び損傷を考慮し複数の移送ラインを準備する。また，使用環境

を考慮した材料を選定し，必要に応じて遮へい，保温材等を設置するとともに，屋外敷設箇所は移送ラインの線量当量率等を監視し漏えいの有無を確認する。

(2) 油分分離装置

油分分離装置は，油分がセシウム吸着装置の吸着性能を低下させるため，その上流側に設置し，滞留水に含まれる油分を自然浮上分離により除去する。油分分離装置は，プロセス主建屋内に 3 台設置する。

(3) 処理装置（セシウム吸着装置，第二セシウム吸着装置，第三セシウム吸着装置，除染装置）

セシウム吸着装置，第二セシウム吸着装置及び第三セシウム吸着装置は，吸着塔内部に充填された吸着材のイオン交換作用により，滞留水に含まれるセシウム等の核種を除去する。除染装置は，滞留水にセシウム等の核種を吸着する薬品を注入し凝集・沈殿させ，上澄液とスラッジに分離することで，滞留水に含まれるセシウム等の核種を除去する。また，各装置は装置の処理能力を確認するための試料を採取できる設備とする。

処理装置は，複数の装置により多様性を確保するとともに，各装置の組み合わせもしくは単独により運転が可能な系統構成とする。

a. セシウム吸着装置

セシウム吸着装置は，焼却工作建屋内に4系列配置しており，多段の吸着塔により滞留水に含まれる放射性のセシウム，ストロンチウムを除去する。

セシウム吸着装置は，４系列でセシウムを除去するセシウム吸着運転（以下，「Cs吸着運転」という）または４系列を２系列化しセシウム及びストロンチウムを除去するセシウム／ストロンチウム同時吸着運転（以下，「Cs/Sr同時吸着運転」という）を行う。

吸着塔は，二重の円筒形容器で，内側は内部に吸着材を充填したステンレス製の容器，外側は炭素鋼製の遮へい容器からなる構造とする。

使用済みの吸着塔は一月あたり６本程度発生し，使用済セシウム吸着塔仮保管施設にて内部の水抜きを行い，使用済セシウム吸着塔仮保管施設及び使用済セシウム吸着塔一時保管施設あるいは大型廃棄物保管庫にて貯蔵する。

b. 第二セシウム吸着装置

第二セシウム吸着装置は，高温焼却炉建屋内に 2 系列配置し，各系列で多段の吸着塔によりセシウム，ストロンチウム等の核種を除去する。

第二セシウム吸着装置は，セシウム吸着塔によりセシウムを除去するセシウム吸着運転（以下，「Cs 吸着運転」という），または同時吸着塔によりセシウム及びストロ

ンチウムを除去するセシウム／ストロンチウム同時吸着運転（以下，「Cs/Sr 同時吸着運転」という）を行う。

吸着塔は，ステンレス製の容器にゼオライト等の吸着材を充填し，周囲は鉛等で遮へいする構造とする。

使用済みの吸着塔は，Cs 吸着運転においては一月あたり４本程度発生し，Cs/Sr 同時吸着運転においては一月あたり４本程度発生する。

使用済み吸着塔は，本装置において内部の水抜きを行い，使用済セシウム吸着塔仮保管施設及び使用済セシウム吸着塔一時保管施設あるいは大型廃棄物保管庫にて貯蔵する。

c.　第三セシウム吸着装置

第三セシウム吸着装置は，サイトバンカ建屋内に 1 系列配置し，多段の吸着塔によりセシウム，ストロンチウム等の核種を除去する。

第三セシウム吸着装置は，セシウム及びストロンチウム同時吸着塔によりセシウム及びストロンチウムを除去する Cs/Sr 同時吸着運転を行う。

吸着塔は，ステンレス製の容器にゼオライト等の吸着材を充填し，周囲は鉛等で遮へいする構造とする。

使用済みの吸着塔は，一カ月あたり 1 本程度発生する。使用済み吸着塔は，本装置において内部の水抜きを行い，使用済セシウム吸着塔一時保管施設あるいは大型廃棄物保管庫にて貯蔵する。

d.　除染装置

除染装置は，プロセス主建屋に 1 系列設置し，滞留水に含まれる懸濁物質や浮遊物質を除去する加圧浮上分離装置，薬液注入装置から吸着剤を注入し放射性物質の吸着を促す反応槽，薬液注入装置から凝集剤を注入し放射性物質を凝集・沈殿させ上澄液とスラッジに分離する凝集沈殿装置，懸濁物質の流出を防止するディスクフィルター，吸着材を注入する薬品注入装置で構成する。反応槽及び凝集沈殿装置は，１組の装置を 2 段設置することにより放射能除去性能を高める設計とするが，1 段のみでも運転可能な設計とする。スラッジは造粒固化体貯槽(D)に排出する。

(4) 淡水化装置（逆浸透膜装置，蒸発濃縮装置）

淡水化装置は，滞留水を原子炉注水，ゼオライト土嚢等処理設備に再使用するため，滞留水に含まれる塩分を除去することを目的に，逆浸透膜装置，蒸発濃縮装置で構成する。

逆浸透膜装置は，4 号機タービン建屋 2 階及び蛇腹ハウス内に設置する 3 系列 3 台で構成し，水を通しイオンや塩類などの不純物は透過しない逆浸透膜の性質を利用して滞留水に含まれる塩分を除去し，処理済水と塩分が濃縮された廃水に分離する。運転系列は，耐震性

を向上させた 4 号機タービン建屋 2 階に設置する逆浸透膜装置（以下，「建屋内 RO」という。）を原則として使用する。また，蛇腹ハウス内に設置している逆浸透膜装置は，逆浸透膜を通さずに滞留水を濃縮廃水側へ送水する機能も有する。蒸発濃縮装置は 3 系列 8 台で構成し，逆浸透膜装置により塩分が濃縮された廃水を蒸気により蒸発濃縮（蒸留）する設備であるが，平成 28 年 1 月現在運用を停止している。また，各装置は装置の処理能力を確認するための試料を採取できる設備とする。

なお，建屋内 RO 及びこれに付帯する機器を建屋内 RO 循環設備という。

淡水化装置は，複数の装置及び系統により多重性及び多様性を確保する。

(5) 廃止（高濃度滞留水受タンク）

(6) 中低濃度タンク

中低濃度タンクは，処理装置（セシウム吸着装置，第二セシウム吸着装置，第三セシウム吸着装置及び除染装置）により主要核種が除去された水等を貯留する目的で主に屋外に設置する。

中低濃度タンクは，貯留する水の性状により分類し，処理装置（セシウム吸着装置，第二セシウム吸着装置，第三セシウム吸着装置及び除染装置）により主要核種を除去された水等を貯留するサプレッション・プール水サージタンク及び廃液 RO 供給タンク，逆浸透膜装置の廃水を貯留する RO 後濃縮塩水受タンク※1，蒸発濃縮装置の廃水を貯留する濃縮廃液貯槽，逆浸透膜装置の処理済水を貯留する RO 後淡水受タンク※2，多核種除去設備，増設多核種除去設備及び高性能多核種除去設備の処理済水を貯留する多核種処理水タンク※3及び RO 濃縮水処理設備の処理済水，サブドレン他水処理施設で汲み上げた地下水を貯留する Sr 処理水タンク※4で構成する。

サプレッション･プール水サージタンクは，液体廃棄物処理系の設備として既に設置されていた設備を使用し，工事計画認可申請書（57 資庁第 2974 号　昭和 57 年 4 月 20 日認可）において確認を実施している。RO 後淡水受タンクの貯留水は，処理済水として原子炉への注水に再利用する。

なお，各タンクは定期的に必要量を確認し※5，必要に応じて保管容量の見直しを実施する。

※１：ＲＯ濃縮水貯槽，地下貯水槽（ＲＯ後濃縮塩水用分）にて構成。
※２：ＲＯ処理水貯槽，蒸発濃縮処理水貯槽にて構成。
※３：多核種処理水貯槽で構成。
※４：Sr 処理水貯槽で構成。
※５：「福島第一原子力発電所における高濃度の放射性物質を含むたまり水の貯蔵及び処理の状況について」にて確認を実施。

(7) 地下貯水槽

地下貯水槽は，発電所構内の敷地を有効活用する観点で地面を掘削して地中に設置する。

また，止水のための 3 重シート（2 重の遮水シート及びベントナイトシート），その内部に地面からの荷重を受けるためのプラスチック製枠材を配置した構造とする。

地下貯水槽には，逆浸透膜装置の廃水等を貯留する。

なお，地下貯水槽からの漏えいが認められたことから，別のタンクへの貯留水の移送が完了次第，使用しないこととする。

(8) ろ過水タンク

ろ過水タンクは，既に屋外に設置されていたもので，放射性物質を含まない水を貯留するタンクであるが，地下貯水槽に貯留した逆浸透膜装置の廃水の貯留用として一時的に使用する。ろ過水タンクは，放射性流体を貯留するための設備ではないため，逆浸透膜装置の廃水を貯留する場合の適合性評価を行う。また，ろ過水タンク周囲に設置した線量計で雰囲気線量を確認する等により漏えいの有無を確認する。なお，貯留期間は貯留開始後１年以内を目途とし，ろ過水タンクに貯留した逆浸透膜装置の廃水を別のタンクに移送する。

(9) 電源設備

電源は，所内高圧母線から受電でき，非常用所内電源とも接続できる構成とする。セシウム吸着装置及び除染装置と第二セシウム吸着装置は，それぞれ異なる系統の所内高圧母線から受電する構成とし，第三セシウム吸着装置は，二つの異なる系統の所内高圧母線から受電する構成とすることにより，所内高圧母線の点検等による電源停止においても，何れかの処理装置により，滞留水の処理が可能な設計とする。また，汚染水処理設備等は，外部電源喪失の場合は，タービン建屋等の水位の状況や汚染水処理設備以外の設備負荷を考慮しながら復旧する。

(10) 廃止（モバイル式処理設備）

(11) 滞留水浄化設備

１～４号機の建屋滞留水の放射性物質濃度を低減する目的で，１～４号機の滞留水を浄化する設備（以下，滞留水浄化設備）を設置する。滞留水浄化設備は，建屋内 RO 循環設備で敷設した配管から各建屋へ分岐する配管で構成する。

(12) 滞留水一時貯留設備

1 号～4 号機のタービン建屋等に発生する滞留水を一時貯留すること，ならびに滞留水一時貯留設備より処理装置（セシウム吸着装置，第二セシウム吸着装置，第三セシウム吸着装置）へ移送し，滞留水を処理することを目的として設置する。滞留水一時貯留設備は，滞留水移送装置により移送された 1 号～4 号機のタービン建屋等の滞留水を一時貯留する滞留水一時貯留容器（滞留水受入槽および滞留水一時貯留槽から構成），滞留水一時貯留容器か

ら滞留水を処理装置へ移送する滞留水供給ポンプおよび配管等により構成する。

2.5.1.5.2 使用済セシウム吸着塔保管施設及び廃スラッジ貯蔵施設

使用済セシウム吸着塔保管施設は，使用済セシウム吸着塔仮保管施設，使用済セシウム吸着塔一時保管施設で構成する。廃スラッジ貯蔵施設は造粒固化体貯槽(D)，廃スラッジ一時保管施設で構成する。

廃スラッジ貯蔵施設の主要な機器は，免震重要棟集中監視室またはシールド中央制御室（シールド中操）から遠隔操作及び運転状況の監視を行う。

(1) 使用済セシウム吸着塔保管施設

a. 使用済セシウム吸着塔仮保管施設

使用済セシウム吸着塔仮保管施設は，セシウム吸着装置，第二セシウム吸着装置，モバイル式処理装置，第二モバイル型ストロンチウム除去装置及び放水路浄化装置で発生する吸着塔並びにモバイル型ストロンチウム除去装置で発生するフィルタ及び吸着塔を使用済セシウム吸着塔一時保管施設へ移送するまでの間貯蔵するために設けた施設であり，吸着塔を取り扱うための門型クレーン，セシウム吸着装置吸着塔等のろ過水による洗浄・水抜きを実施する装置，遮へい機能を有するコンクリート製ボックスカルバート等にて構成する。

b. 使用済セシウム吸着塔一時保管施設

使用済セシウム吸着塔一時保管施設は，セシウム吸着装置，第二セシウム吸着装置，第三セシウム吸着装置，モバイル式処理装置，高性能多核種除去設備，サブドレン他浄化装置，高性能多核種除去設備検証試験装置，RO 濃縮水処理設備及び第二モバイル型ストロンチウム除去装置，放水路浄化装置で発生する吸着塔，モバイル型ストロンチウム除去装置で発生するフィルタ及び吸着塔，多核種除去設備，増設多核種除去設備にて発生する二次廃棄物を収容する高性能容器及び多核種除去設備にて発生する処理カラム，５・６号機仮設設備（滞留水貯留設備）浄化ユニットで発生する使用済セシウム／ストロンチウム同時吸着塔，ゼオライト土嚢等処理設備で発生するゼオライト等保管容器の処理施設等が設置されるまでの間一時的に貯蔵を行う施設であり，吸着塔，フィルタ，高性能容器，処理カラム及び保管容器を取り扱うための門型クレーン，遮へい機能を有するコンクリート製ボックスカルバート等により構成する。

なお，使用済セシウム吸着塔一時保管施設は必要に応じて増設する。

(2) 廃スラッジ貯蔵施設

a. 造粒固化体貯槽(D)

造粒固化体貯槽(D)は，除染装置の凝集沈殿装置で発生したスラッジを廃スラッジ

一時保管施設へ移送するまでの間，貯蔵する設備であり，固体廃棄物処理系の設備として既にプロセス主建屋に設置していた設備を改造して使用する。なお，造粒固化体貯槽（D）はプロセス主建屋と一体構造であるため，「2.6 滞留水を貯留している（滞留している場合を含む）建屋」において確認している。

b. 廃スラッジ一時保管施設

廃スラッジ一時保管施設は，廃スラッジを処理施設等へ移送するまでの間一時貯蔵する設備として設置する。廃スラッジ一時保管施設は，スラッジ貯槽，セル及びオフガス処理系等を収容するスラッジ棟，圧縮空気系の機器等を収容する設備棟で構成する。

廃スラッジ一時保管施設の動的機器は，故障により設備が長期間停止することがないよう，原則として多重化する。

また，廃スラッジ一時保管施設の電源は，所内高圧母線から受電でき，非常用所内電源とも接続できる構成とする。また，外部電源喪失の場合は，タービン建屋等の水位の状況や汚染水処理設備以外の設備負荷を考慮しながら復旧する。

2.5.1.6　自然災害対策等

(1) 津波

滞留水移送装置，処理装置等一部の設備を除き，アウターライズ津波が到達しないと考えられるT.P.約28m以上の場所に設置する。

滞留水移送装置，処理装置等，東北地方太平洋沖地震津波が到達したエリアに設置する設備については，アウターライズ津波による浸水を防止するため仮設防潮堤内に設置する。また，アウターライズ津波を上回る津波の襲来に備え，大津波警報が出た際は滞留水移送装置，処理装置を停止し，処理装置については隔離弁を閉めることにより滞留水の流出を防止する。

(2) 台風（強風）

汚染水処理設備等のうち，処理装置及び建屋内ROは台風（強風）による設備損傷の可能性が低い鉄筋コンクリート造の建屋内に設置する。淡水化装置（建屋内RO除く）は，蛇腹ハウスやテントハウス内に設置しているため，台風（強風）によりハウスの一部が破損する可能性はあるが，ハウス破損に伴い，淡水化装置に損傷を与える可能性がある場合は，淡水化装置の停止等の操作を行い，装置損傷による汚染水の漏えい防止を図る。

(3) 火災

初期消火の対応ができるよう，近傍に消火器を設置する。

2.5.1.7　構造強度及び耐震性

2.5.1.7.1 汚染水処理設備，貯留設備（タンク等）及び関連設備（移送配管，移送ポンプ等）

(1) 構造強度

a.　震災以降緊急対応的に設置又は既に（平成 25 年 8 月 14 日より前に）設計に着手した機器等

汚染水処理設備，貯留設備及び関連設備を構成する機器は，「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令」において，廃棄物処理設備に相当するクラス 3 機器に準ずるものと位置付けられる。クラス 3 機器の適用規格は，「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格　設計・建設規格」（以下，「JSME 規格」という。）で規定される。

しかしながら，震災以降緊急対応的にこれまで設置してきた機器等は，必ずしも JSME 規格に従って設計・製作・検査をされたものではなく，日本産業規格（JIS）や日本水道協会規格等の国内外の民間規格，製品の試験データ等を踏まえ，福島第一原子力発電所構内の作業環境，機器等の設置環境や時間的裕度を勘案した中で設計・製作・検査を行ってきている。

汚染水処理設備，貯留設備及び関連設備を構成する機器は，高濃度の汚染水を内包するため，バウンダリ機能の健全性を確認する観点から，設計された肉厚が十分であることを確認している。また，溶接部については，耐圧・漏えい試験等を行い，有意な変形や漏えい等のないことを確認している。

機器等の経年劣化に対しては，適切な保全を実施することで健全性を維持していく。

b.　今後（平成 25 年 8 月 14 日以降）設計する機器等

汚染水処理設備，貯留設備及び関連設備を構成する機器は，「実用発電用原子炉及びその附属設備の技術基準に関する規則」において，廃棄物処理設備に相当するクラス 3 機器に準ずるものと位置付けられる。クラス 3 機器の適用規格は，「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格　設計・建設規格」等（以下，「JSME 規格」という。）で規定される。

汚染水処理設備等は，地下水等の流入により増加する汚染水の対応が必要であり，短期間での機器の設置が求められる。また，汚染水漏えい等のトラブルにより緊急的な対応が必要となることもある。

従って，今後設計する機器等については，JSME 規格に限定するものではなく，日本産業規格（JIS）等の国内外の民間規格に適合した工業用品の採用，或いは American Society of Mechanical Engineers（ASME 規格），日本産業規格（JIS），またはこれらと同等の技術的妥当性を有する規格での設計・製作・検査を行う。溶接（溶接施工法および溶接士）は JSME 規格，American Society of Mechanical Engineers（ASME 規格），日本産業規格（JIS），および発電用火力設備に関する技術基準を定める省令にて認証された溶接，または同等の溶接とする。また，JSME 規格で規定される材料の日本産業規格（JIS）年度指定は，技術的妥当性の範囲において材料調達性の観点から考慮しない場合もある。

さらに，今後も JSME 規格に記載のない非金属材料（耐圧ホース，ポリエチレン管等）に

ついては，現場の作業環境等から採用を継続する必要があるが，これらの機器等については，日本産業規格（JIS）や日本水道協会規格，製品の試験データ等を用いて設計を行う。

(2) 耐震性

汚染水処理設備等を構成する機器は，その安全機能の重要度，地震によって機能の喪失を起こした場合の安全上の影響（公衆への被ばく影響）や廃炉活動への影響等を考慮した上で，核燃料物質を非密封で扱う燃料加工施設や使用施設等における耐震クラス分類を参考にして適切な耐震設計上の区分を行うとともに，適切と考えられる設計用地震力に十分耐えられる設計とする。要求される地震力に対して耐震性を確保できない場合は，その影響について評価を行う。支持部材がない等の理由によって，耐震性に関する評価ができない設備を設置する場合においては，可撓性を有する材料を使用するなどし，耐震性を確保する。

なお，検討用地震動および同津波に対する評価が必要な設備として抽出された機器等については，今後対策を講じる。

また，各機器は必要な耐震性を確保するために，原則として以下の方針に基づき設計する。

・倒れ難い構造（機器等の重心を低くする，基礎幅や支柱幅を大きくとる）
・動き難い構造，外れ難い構造（機器をアンカ，溶接等で固定する）
・座屈が起こり難い構造
・変位による破壊を防止する構造（定ピッチスパン法による配管サポート間隔の設定，配管等に可撓性のある材料を使用）

2.5.1.7.2 使用済セシウム吸着塔保管施設及び廃スラッジ貯蔵施設

(1) 構造強度

a. 震災以降緊急対応的に設置又は既に（平成 25 年 8 月 14 日より前に）設計に着手した機器等

使用済セシウム吸着塔保管施設及び廃スラッジ貯蔵施設を構成する機器は，震災以降緊急対応的に設置してきたもので，「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令」において，廃棄物処理設備に相当するクラス 3 機器に準ずるものと位置付けられる。クラス 3 機器の適用規格は，「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格　設計・建設規格」（以下，「JSME 規格」という。）で規定される。

しかしながら震災以降緊急対応的にこれまで設置してきた機器等は，必ずしも JSME 規格に従って設計・製作・検査をされたものではなく，日本産業規格（JIS）等規格適合品または製品の試験データ等を踏まえ，福島第一原子力発電所構内の作業環境，機器等の設置環境や緊急時対応の時間的裕度を勘案した中で設計・製作・検査を行ってきている。

廃スラッジ貯蔵施設を構成する機器は，高濃度の汚染水を内包するため，バウンダリ機能の健全性を確認する観点から，設計された肉厚が十分であることを確認している。また，溶接部については，耐圧・漏えい試験等を行い，有意な変形や漏えい等のないことを確認して

いる。

なお，使用済セシウム吸着塔保管施設を構成するコンクリート製ボックスカルバートは遮へい物として吸着塔等の周囲に配置するものであり，JSME 規格で定める機器には該当しない。

b.　今後（平成 25 年 8 月 14 日以降）設計する機器等

使用済セシウム吸着塔一時保管施設は必要に応じて増設することとしており，地下水等の流入により増加する汚染水の処理に伴う二次廃棄物への対応上，短期間での施設の設置が必要である。このため今後設計する機器等については，日本産業規格（JIS）等規格に適合した工業用品の採用，或いは JIS 等の技術的妥当性を有する規格での設計・製作・検査を行う。

(2) 耐震性

使用済セシウム吸着塔保管施設，廃スラッジ貯蔵施設を構成する機器は，「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の B クラス相当の設備と位置づけられる。

使用済セシウム吸着塔保管施設，廃スラッジ貯蔵施設の耐震性に関する評価にあたっては，「JEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規程」に準拠することを基本とするが，必要に応じて現実的な評価を行う。また，配管に関しては，変位による破壊を防止するため，定ピッチスパン法による配管サポート間隔の設定や，可撓性のある材料を使用する。

なお，検討用地震動および同津波に対する評価が必要な設備として抽出された機器等については，今後対策を講じる。

2.5.1.8　機器の故障への対応

2.5.1.8.1 汚染水処理設備，貯留設備（タンク等）及び関連施設（移送配管，移送ポンプ等）

(1) 機器の単一故障

a.　動的機器の単一故障

汚染水処理設備は，機器の単一故障により滞留水の処理機能が喪失するのを防止するため動的機器や外部電源を多重化しているが，汚染水処理設備の動的機器が故障した場合は，待機設備へ切替を行い，滞留水の処理を再開する。

(2) 主要機器の複数同時故障

a.　処理装置の除染能力が目標性能以下

汚染水処理設備は，セシウム吸着装置，第二セシウム吸着装置，第三セシウム吸着装置及び除染装置による処理装置全体で多重化が確立されており，各装置の組み合わせもしくは単独による運転が可能である。そのため，一つの処理装置が故障しても性能回復は短時間で行えるが，万一，所定の除染能力が得られず下流側の逆浸透膜装置

の受け入れ条件（10^2Bq/cm^3 オーダ）を満足しない場合は，以下の対応を行う。

逆浸透膜装置後淡水受タンクでの希釈効果等を踏まえながら，必要に応じて処理装置出口の処理済水を再度セシウム吸着装置，第二セシウム吸着装置，第三セシウム吸着装置及び除染装置に水を戻す「再循環処理」を実施する（手動操作）。なお，再循環処理を実施する場合，稼働率が 50%以下となるため，タービン建屋等からの滞留水の移送量を調整し，プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の水位上昇を監視する。

b. 滞留水の処理機能喪失

汚染水処理設備は，セシウム吸着装置，第二セシウム吸着装置，第三セシウム吸着装置及び除染装置のそれぞれで単独運転が可能である。

また，セシウム吸着装置及び除染装置と第二セシウム吸着装置は，それぞれ異なる系統の所内高圧母線から受電する構成とし，第三セシウム吸着装置は，二つの異なる系統の所内高圧母線から受電する構成としている。

さらに，セシウム吸着装置，第二セシウム吸着装置，第三セシウム吸着装置及び除染装置は，建屋により分離して設置している。以上のことから，共通要因によりすべての処理装置が機能喪失する可能性は十分低いと想定するが，全装置が長期間停止する場合は，以下の対応を行う。

(a) 処理装置が長期間停止する場合，炉注水量を調整し，滞留水の発生量を抑制する。
(b) セシウム吸着装置，第二セシウム吸着装置または第三セシウム吸着装置の吸着塔の予備品を用意し，短期間（1 ヶ月程度）で新たな処理が可能なように準備する。
(c) タービン建屋等の水位が所外放出レベル近くに達した場合，滞留水をタービン建屋の復水器に移送することで，放射性物質の所外放出を防止する。
(d) 滞留水の系外への漏えいを防止するために，集中廃棄物処理建屋のサイトバンカ建屋，焼却工作室建屋等への移送準備を行い，滞留水受け入れ容量を確保する。

(3) その他の事象

a. 降水量が多い場合の対応

降水量が多い場合には，滞留水の移送量，処理量を増加させる等の措置をとる。また，大量の降雨が予想される場合には，事前に滞留水をプロセス主建屋等へ移送し，タービン建屋等の水位を低下させる措置をとる。

さらに，タービン建屋の水位が上昇すれば，炉注水量の低下措置等の対応を図る。

(4) 異常時の評価

a. 滞留水の処理機能喪失時の評価

処理装置が長期に機能喪失した場合でも，タービン建屋等の水位は T.P.1,200㎜ 程

度で管理しているため所外放出レベルのT.P.2,564mmに達するまでの貯留容量として約30,000m³を確保している。さらにタービン建屋の復水器等へ滞留水を移送することにより，これまでの運転実績から，原子炉への注水量を約 400m³/日，地下水の浸透，雨水の浸入により追加発生する滞留水量を約 400m³/日と想定した場合においても，1ヶ月分（約24,000m³）以上の貯留が可能である。

本資料に記載の標高は，震災後の地盤沈下量（-709mm）とO.P.からT.P.への読替値（-727mm）を用いて，下式に基づき換算している。

＜換算式＞T.P.=旧O.P.-1,436mm

b. 降水量が多い場合の評価

月降水量の最大値は，気象庁の観測データにおいて福島県浪江町で634mm（2006年10月），富岡町で615mm（1998年8月）である。また，タービン建屋等の水位は，降水量に対し85%の水位上昇を示したことがあるため1ヶ月あたりタービン建屋の水位を540mm（634mm×0.85%）上昇させる可能性がある。

その他，建屋水位を上昇させるものとして，①地下水流入と②原子炉への注水があり，各々約400m³/日が想定される。1号～4号機の滞留水が存在している建屋面積の合計は約23,000m²となるため，降雨，地下水流入，及び原子炉への注水により1ヶ月に発生する滞留水量の合計は36,420m³となる。そのため，各建屋の水位を維持するためには，約1,220m³/日の滞留水移送・処理が必要となる。一方，移送装置は移送ポンプが1台あたり20m³/hの運転実績があるため1,920m³/日の滞留水移送が可能であり，処理装置も実績として1,680m³/日で処理を実施したことがある。

したがって，月降水量1,000mm以上の場合でも，現状の移送装置，処理装置の能力でタービン建屋等の水位を維持することが可能である。

2.5.1.8.2 使用済セシウム吸着塔保管施設及び廃スラッジ貯蔵施設

(1) 機器の単一故障

a. 動的機器の単一故障

廃スラッジ一時保管施設は，機器の単一故障により安全機能が喪失するのを防止するため，動的機器を多重化しているが，動的機器が故障した場合は，待機設備へ切替を行い，安全機能を回復する。

b. 外部電源喪失時

使用済セシウム吸着塔仮保管施設，使用済セシウム吸着塔一時保管施設は，使用済みのセシウム吸着塔等を静的に保管する施設であり，外部電源喪失した場合でも，安全機能に影響を及ぼすことはない。

造粒固化体貯槽(D)は排気用の仮設電源を設けており，外部電源喪失により貯槽内

気相部の排気が不可能となった場合は，必要に応じ電源切替を操作することで可燃性ガスを放出する。

廃スラッジ一時保管施設は，外部電源喪失により貯槽内気相部の排気が不可能となるが，以下を考慮しており，短時間のうちに安全機能の回復が可能である。

・電源車の接続口を設置
・仮設送風機（エンジン付きコンプレッサ）の接続が可能なように取合口を設置
・窒素ボンベによる掃気が可能なようにボンベを設置
・手動弁を操作することで，可燃性ガスを放出（ベント）できるラインを設置

2.5.2　基本仕様

2.5.2.1 主要仕様

2.5.2.1.1 汚染水処理設備，貯留設備（タンク等）及び関連設備（移送配管，移送ポンプ等）

(1) 1 号機タービン建屋滞留水移送ポンプ（完成品）

	台　　数	2
	容　　量	12m^3/h（1 台あたり）
	揚　　程	30m
(追設)	台　　数	4
	容　　量	18m^3/h（1 台あたり）
	揚　　程	46m

(2) 2 号機タービン建屋滞留水移送ポンプ（完成品）

	台　　数	2
	容　　量	12m^3/h（1 台あたり）
	揚　　程	30m
(追設)	台　　数	2
	容　　量	18m^3/h（1 台あたり）
	揚　　程	46m

(3) 3 号機タービン建屋滞留水移送ポンプ（完成品）

	台　　数	3
	容　　量	12m^3/h（1 台あたり）
	揚　　程	30m
(追設)	台　　数	2
	容　　量	18m^3/h（1 台あたり）
	揚　　程	46m

(4) 4 号機タービン建屋滞留水移送ポンプ（完成品）

	台　　数	3
	容　　量	12m^3/h（1 台あたり）
	揚　　程	30m
(追設)	台　　数	2
	容　　量	18m^3/h（1 台あたり）
	揚　　程	46m

(5) サイトバンカ排水ポンプ（完成品）

台　　数	1
容　　量	12 m^3/h
揚　　程	30 m

(6) プロセス主建屋滞留水移送ポンプ（完成品）

台　　数	2　（高濃度滞留水受タンク移送ポンプと共用）
容　　量	50 m^3/h（1 台あたり）
揚　　程	38.5～63m

(7) 高温焼却炉建屋滞留水移送ポンプ（完成品）

台　　数	2
容　　量	50m^3/h（1 台あたり）
揚　　程	38.5m

(8) 油分分離装置処理水移送ポンプ（完成品）

台　　数	2
容　　量	50m^3/h（1 台あたり）
揚　　程	65m

(9) 第二セシウム吸着装置ブースターポンプ（完成品）

台　　数	2
容　　量	50m^3/h（1 台あたり）
揚　　程	108m

(10) セシウム吸着処理水移送ポンプ（完成品）

台　　数	2
容　　量	50m^3/h（1 台あたり）
揚　　程	41m

(11) ＳＰＴ廃液抜出ポンプ（完成品）

台　　数	2
容　　量	50m^3/h（1 台あたり）
揚　　程	30m

(12) ＳＰＴ受入水移送ポンプ（完成品）

台　　数	2
容　　量	50m^3/h（1 台あたり）
揚　　程	75m

(13) 廃液ＲＯ供給ポンプ（完成品）

台　　数	2
容　　量	70m^3/h（1 台あたり）
揚　　程	30m

(14) ＲＯ処理水供給ポンプ（完成品）

台　　数	2
容　　量	50m^3/h（1 台あたり）
揚　　程	75m

(15) ＲＯ処理水移送ポンプ（完成品）

台　　数	2
容　　量	50m^3/h（1 台あたり）
揚　　程	75m

(16) ＲＯ濃縮水供給ポンプ（完成品）

台　　数	2
容　　量	50m^3/h（1 台あたり）
揚　　程	75m

(17) ＲＯ濃縮水移送ポンプ（完成品）

台　　数	12
容　　量	50m^3/h（1 台あたり）
揚　　程	50～75m

(18) 濃縮水移送ポンプ（完成品）

台　　数	2
容　　量	40m^3/h（1 台あたり）
揚　　程	50m

(19) 高濃度滞留水受タンク移送ポンプ（完成品）

台　　数	2
容　　量	30m^3/h（1 台あたり）
揚　　程	65m

(20) 油分分離装置処理水タンク（完成品）※1

合計容量（公称）	37.5 m^3
基　　数	3 基
容量（単基）	12.5 m^3／基

(21) セシウム吸着処理水タンク（完成品）※1

合計容量（公称）	37.5 m^3
基　　数	3 基
容量（単基）	12.5 m^3／基

(22) サプレッションプール水サージタンク（既設品）

基　　数	2 基
容　　量	3,500 m^3／基

(23) ＳＰＴ受入水タンク（完成品）※1

基　　数	1 基
容　　量	85 m^3

(24) 廃液ＲＯ供給タンク（完成品）※1

合計容量（公称）	1,200m^3
基　　数	34 基
容量（単基）	35～110 m^3／基

(25) ＲＯ処理水受タンク（完成品）※1

基　　数	1 基
容　　量	85 m^3

※1　公称容量であり，運用上の容量は公称容量とは異なる。

(26) ＲＯ処理水貯槽 ※1

合計容量（公称）	7,000m^3
基　　数	7 基
容量（単基）	1,000 m^{3}以上／基※2
材　　料	SS400
板厚（側板）	15mm

(27) ＲＯ濃縮水受タンク（完成品）※1

基　　数	1 基
容　　量	85 m^3

(28) ＲＯ濃縮水貯槽 ※1

合計容量（公称）	187,000 m^3
基　　数	190 基
容量（単基）	700 m^{3}以上，1,000 m^{3}以上／基※2
材　　料	SS400
板厚（側板）	16mm（700m^3），12mm（1,000m^3），15mm（1,000m^3）

(29) 蒸発濃縮処理水貯槽 ※1

合計容量（公称）	5,000m^3
基　　数	5 基
容量（単基）	1,000m^{3}以上／基※2
材　　料	SS400
板厚（側板）	15mm

(30) 濃縮水タンク（完成品）※1

合計容量（公称）	150m^3
基　　数	5 基
容量（単基）	40m^3／基

(31) 濃縮廃液貯槽（完成品）※1

合計容量（公称）	300m^3
基　　数	3 基
容量（単基）	100m^3／基

※1　公称容量であり，運用上の容量は公称容量とは異なる。
※2　運用上の容量は，水位計 100%までの容量とする。

(32) 多核種処理水貯槽 ※1,3,4

合計容量（公称）	1,138,789 m^3
基　　数	799 基
容量（単基）	700m^3，1,000m^3，1,060m^3，1,140m^3，1,160m^3，1,200m^3，1,220 m^3，1,235m^3，1,330m^3，1,356m^3，2,400m^3，2,900m^3／基※2
材　　料	SS400，SM400A，SM400B，SM400C，SM490A，SM490C
板厚（側板）	12mm（700m^3，1,000m^3，1,160m^3，1,200m^3，1,220m^3，1,235m^3，1,330m^3，1,356m^3），18.8mm（2,400m^3），15mm（1,000 m^3，1,060m^3，1,140m^3，1,330m^3，2,900m^3），16mm（700m^3）

(33) 地下貯水槽 ※1

合計容量（公称）	56,000 m^3
基　　数	6 基
容　　量	4,000～14,000m^3
材　　料	ポリエチレン，ベントナイト
厚　　さ	1.5mm（ポリエチレン），6.4mm（ベントナイト）

(34) ろ過水タンク（既設品）

基　　数	1 基
容　　量	8,000 m^3

(35) 油分分離装置（完成品）

台　　数	3
容　　量	1,200 m^3／日（1 台で 100%容量）
性　　能	出口にて浮遊油 100ppm 以下（目標値）

※1　公称容量であり，運用上の容量は公称容量とは異なる。
※2　運用上の容量は，水位計 100%までの容量とする。
※3　Ｊ６,Ｋ１北,Ｋ２,Ｋ１南,Ｈ１,Ｊ７,Ｊ４（1,160m^3）,Ｈ１東,Ｋ３,Ｋ４,Ｈ２，Ｈ４北,Ｈ４南,Ｇ１南,Ｈ５,Ｈ６（Ⅰ）,Ｂ,Ｂ南,Ｈ３,Ｈ６（Ⅱ）,Ｇ６,Ｇ１,Ｇ４南，Ｇ４北，Ｇ５エリアは，公称容量を運用水位上限とする。
※4　Ｋ４エリアタンクの一部を「Ⅱ 2.50 ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設」の測定・確認用タンクと兼用する。

(36) セシウム吸着装置

系 列 数	4 系列（Cs 吸着運転）
	2 系列（Cs/Sr 同時吸着運転）
処 理 量（定格）	1,200 m3/日 （4 系列：Cs 吸着運転）
	600 m3/日 （2 系列：Cs/Sr 同時吸着運転）
	（滞留水一時貯留設備を介した処理においては,480 m^3/日）
除染係数（設計目標値）	・Cs 吸着運転
	放射性セシウム ： 10^3～10^5 程度
	・Cs/Sr 同時吸着運転
	放射性セシウム: 10^3～10^5 程度
	放射性ストロンチウム ： 10～10^3 程度

(37) 第二セシウム吸着装置

系 列 数	2
処 理 量	1,200 m^3/日
	（滞留水一時貯留設備を介した処理においては,720 m^3/日）
除染係数（設計目標値）	10^4～10^6 程度

(38) 第三セシウム吸着装置

系 列 数	1
処 理 量	600 m^3/日
	（滞留水一時貯留設備を介した処理においては,480 m^3/日）
除染係数（設計目標値）	10^3～10^5 程度

(39) 第三セシウム吸着装置ブースターポンプ（完成品）

台 数	2
容 量	25m^3/h（1 台あたり）
揚 程	110m

(40) 除染装置（凝集沈殿法）

系 列 数	1
処 理 量	1,200 m^3／日
除染係数（設計目標値）	10^3 程度

(41) 淡水化装置（逆浸透膜装置）（完成品）

(RO-3)	処 理 量	1,200 m^3／日
	淡水化率	約 40%
(RO-TA)	処 理 量	800 m^3／日
	淡水化率	約 50%
(RO-TB)	処 理 量	800 m^3／日
	淡水化率	約 50%

(42) 淡水化装置（蒸発濃縮装置）（完成品）

(蒸発濃縮-1A)	処 理 量	12.7 m^3／日
	淡水化率	約 30%
(蒸発濃縮-1B)	処 理 量	27 m^3／日
	淡水化率	約 30%
(蒸発濃縮-1C)	処 理 量	52 m^3／日
	淡水化率	約 30%
(蒸発濃縮-2A/2B)	処 理 量	80 m^3／日
	淡水化率	約 30%
(蒸発濃縮-3A/3B/3C)	処 理 量	250 m^3／日
	淡水化率	約 70%

(43) Sr 処理水貯槽※1，3

合計容量（公称）	55,596 m^3
基　　数	50 基
容量（単基）	1,057m^3以上，1,160m^3以上，1,200m^3以上／基※2
材　　料	SS400，SM400A，SM400C
板厚（側板）	15mm（1,057m^3），12mm（1,160m^3），12mm（1,200m^3）

※1　公称容量であり，運用上の容量は公称容量とは異なる。
※2　運用上の容量は，水位計 100%までの容量とする。
※3　Ｊ６,Ｋ１北,Ｋ２,Ｋ１南,Ｈ１,Ｊ７,Ｊ４（1,160m^3）,Ｈ１東,Ｋ３,Ｋ４,Ｈ２,Ｈ４北,Ｈ４南,Ｇ１南,Ｈ５,Ｈ６（Ⅰ）,Ｂ,Ｂ南,Ｈ３,Ｈ６（Ⅱ）,Ｇ６，Ｇ１，Ｇ４南，Ｇ４北，Ｇ５エリアは，公称容量を運用水位上限とする。

(44) 濃縮廃液貯槽

合計容量（公称）	10,000 m^3
基　　数	10 基
容量（単基）	1,000m^3 以上／基※2
材　　料	SS400
板厚（側板）	15mm（1,000m^3）

(45) 1 号機原子炉建屋滞留水移送ポンプ（完成品）

台　　数	2
容　　量	18m^3/h（1 台あたり）
揚　　程	46m

(46) 2 号機原子炉建屋滞留水移送ポンプ（完成品）

台　　数	2
容　　量	18m^3/h（1 台あたり）
揚　　程	46m

(47) 2 号機廃棄物処理建屋滞留水移送ポンプ（完成品）

台　　数	2
容　　量	18m^3/h（1 台あたり）
揚　　程	46m

(48) 3 号機原子炉建屋滞留水移送ポンプ（完成品）

台　　数	4
容　　量	18m^3/h（1 台あたり）
揚　　程	46m

(49) 3 号機廃棄物処理建屋滞留水移送ポンプ（完成品）

台　　数	2
容　　量	18m^3/h（1 台あたり）
揚　　程	46m

※2　運用上の容量は，水位計 100%までの容量とする。

(50) 4 号機原子炉建屋滞留水移送ポンプ（完成品）

台　　数　　2
容　　量　　18m³/h（1 台あたり）
揚　　程　　46m

(51) 4 号機廃棄物処理建屋滞留水移送ポンプ（完成品）

台　　数　　2
容　　量　　18m³/h（1 台あたり）
揚　　程　　46m

(52) ＳＰＴ廃液移送ポンプ（完成品）

台　　数　　2
容　　量　　35m³/h（1 台あたり）
揚　　程　　75m

(53) ＳＰＴ廃液昇圧ポンプ（完成品）

台　　数　　2
容　　量　　35m³/h（1 台あたり）
揚　　程　　30m

(54) ろ過処理水移送ポンプ（完成品）

台　　数　　2
容　　量　　35m³/h（1 台あたり）
揚　　程　　30m

(55) ろ過処理水昇圧ポンプ（完成品）

台　　数　　2
容　　量　　35m³/h（1 台あたり）
揚　　程　　300m

(56) ＣＳＴ移送ポンプ（完成品）

台　　数　　2
容　　量　　20m³/h（1 台あたり）
揚　　程　　70m

(57) ろ過処理水受タンク

基　　数	2 基
容　　量	10 m^3／基
材　　料	強化プラスチック（FRP）
厚　　さ	胴板　9.0mm

(58) 淡水化処理水受タンク

基　　数	2 基
容　　量	10 m^3／基
材　　料	SM400C
厚　　さ	胴板　9.0mm

(59) ろ過器

基　　数	2 基
容　　量	35 m^3／h／基
材　　料	SM400A（ゴムライニング）
厚　　さ	胴板　9.0mm

(60)第二セシウム吸着装置第二ブースターポンプ（完成品）

台　　数	2
容　　量	50m^3/h（1 台あたり）
揚　　程	103m

(61)セシウム吸着装置ブースターポンプ（完成品）

台　　数	2
容　　量	50m^3/h（1 台あたり）
揚　　程	103m

(62) 1 号機廃棄物処理建屋床ドレンサンプ（Ｂ）滞留水移送ポンプ（完成品）

台　　数	2
容　　量	12m^3/h（1 台あたり）
揚　　程	55ｍ

(63) 2 号機タービン建屋床ドレンサンプ滞留水移送ポンプ（完成品）

台　　数	2
容　　量	12m^3/h（1 台あたり）
揚　　程	55m

(64) 2 号機廃棄物処理建屋床ドレンサンプ（A）滞留水移送ポンプ（完成品）

台　　数	2
容　　量	12m^3/h（1 台あたり）
揚　　程	55m

(65) 2 号機廃棄物処理建屋床ドレンサンプ（B）滞留水移送ポンプ（完成品）

台　　数	2
容　　量	12m^3/h（1 台あたり）
揚　　程	55m

(66) 3 号機タービン建屋床ドレンサンプ滞留水移送ポンプ（完成品）

台　　数	2
容　　量	12m^3/h（1 台あたり）
揚　　程	55m

(67) 3 号機タービン建屋サービスエリアストームドレンサンプ滞留水移送ポンプ（完成品）

台　　数	2
容　　量	12m^3/h（1 台あたり）
揚　　程	55m

(68) 3 号機廃棄物処理建屋床ドレンサンプ（A）滞留水移送ポンプ（完成品）

台　　数	2
容　　量	12m^3/h（1 台あたり）
揚　　程	55m

(69) 3 号機廃棄物処理建屋床ドレンサンプ（B）滞留水移送ポンプ（完成品）

台　　数	2
容　　量	12m^3/h（1 台あたり）
揚　　程	55m

(70) 4 号機タービン建屋床ドレンサンプ滞留水移送ポンプ（完成品）

台　　数　　2
容　　量　　12m³/h（1 台あたり）
揚　　程　　55m

(71) 4 号機原子炉建屋床ドレンサンプ（A）滞留水移送ポンプ（完成品）

台　　数　　2
容　　量　　12m³/h（1 台あたり）
揚　　程　　55m

(72) 4 号機原子炉建屋床ドレンサンプ（B）滞留水移送ポンプ（完成品）

台　　数　　2
容　　量　　12m³/h（1 台あたり）
揚　　程　　55m

(73) 4 号機廃棄物処理建屋床ドレンサンプ（A）滞留水移送ポンプ（完成品）

台　　数　　2
容　　量　　12m³/h（1 台あたり）
揚　　程　　55m

(74) 4 号機廃棄物処理建屋床ドレンサンプ（B）滞留水移送ポンプ（完成品）

台　　数　　2
容　　量　　12m³/h（1 台あたり）
揚　　程　　55m

(75) 建屋内 RO 濃縮水受タンク

基　　数　　1 基
容　　量　　30 m³／基
材　　料　　ポリエチレン（PE）
厚　　さ　　胴板　16.0mm

(76) 増設 RO 濃縮水受タンク（RO 濃縮水処理設備※から用途変更）

基　　数　　1 基
容　　量　　30 m³／基
材　　料　　SUS316L
厚　　さ　　胴板　9.0mm

※Ⅱ-2.38 RO 濃縮水処理設備 2.38.2.2 機器仕様（1）容器

(77) 建屋内 RO 濃縮水移送ポンプ（完成品）

台　　数　　2
容　　量　　15m³/h（1 台あたり）
揚　　程　　76m

(78) 増設 RO 濃縮水供給ポンプ（完成品）

台　　数　　2
容　　量　　15m³/h（1 台あたり）
揚　　程　　76m

(79) 滞留水受入槽

基　　数　　2 基
容　　量　　15 m³／基
材　　料　　SM400B（内面ゴムライニング）
厚　　さ　　胴板　12.0mm

(80) 滞留水一時貯留槽

基　　数　　2 基
容　　量　　24 m³／基
材　　料　　SM400B（内面ゴムライニング）
厚　　さ　　胴板　12.0mm

(81) 滞留水供給ポンプ（完成品）

台　　数　　2
容　　量　　30m³/h（1 台あたり）
揚　　程　　118m

(82) プロセス主建屋北エリアサンプ滞留水移送ポンプ（完成品）

台　　数　　2
容　　量　　13m³/h（1 台あたり）
揚　　程　　54m

(83) プロセス主建屋北東エリアサンプ滞留水移送ポンプ（完成品）

台　　数　　2
容　　量　　13m³/h（1 台あたり）
揚　　程　　54m

(84) プロセス主建屋北西エリアサンプ滞留水移送ポンプ（完成品）

台　　数　　2
容　　量　　13m³/h（1台あたり）
揚　　程　　54m

(85) プロセス主建屋南エリアサンプ滞留水移送ポンプ（完成品）

台　　数　　2
容　　量　　13m³/h（1台あたり）
揚　　程　　54m

(86) プロセス主建屋西エリアサンプ滞留水移送ポンプ（完成品）

台　　数　　2
容　　量　　13m³/h（1台あたり）
揚　　程　　54m

(87) 高温焼却炉建屋北西エリアサンプ滞留水移送ポンプ（完成品）

台　　数　　2
容　　量　　13m³/h（1台あたり）
揚　　程　　54m

表２．５－１　汚染水処理設備等の主要配管仕様（１／３４）

名　称	仕　様	
１号機タービン建屋から １号機廃棄物処理建屋まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃
１号機原子炉建屋から １号機集合ヘッダー入口まで （耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当 EPDM 合成ゴム 0.96MPa 40℃
（ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当,80A 相当, 100A 相当 ポリエチレン 0.96MPa 40℃
（鋼管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.80 STPT410 0.96MPa 40℃
１号機タービン建屋から １号機集合ヘッダー入口まで （耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当 EPDM 合成ゴム 0.96MPa 40℃
（ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当,80A 相当, 100A 相当 ポリエチレン 0.96MPa 40℃
（鋼管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.80 STPT410 0.96MPa 40℃
１号機廃棄物処理建屋床ドレンサンプ（Ｂ）から１号機タービン建屋ストレーナユニット分岐部まで （耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当 EPDM 合成ゴム 0.96MPa 40℃
（ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当,100A 相当 ポリエチレン 0.96MPa 40℃
（鋼管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.80 STPT410 0.96MPa 40℃

表２．５－１　汚染水処理設備等の主要配管仕様（２／３４）

名　称	仕　様	
１号機集合ヘッダー （鋼管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch.40 STPT410 0.96MPa 40℃
１号機集合ヘッダー出口から ２号機タービン建屋取り合いまで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 0.96MPa 40℃
２号機原子炉建屋から ２号機集合ヘッダー入口まで （耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 ポリ塩化ビニル 0.96MPa 40℃
（ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当，100A 相当 ポリエチレン 0.96MPa 40℃
（鋼管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.40,80A/Sch.40, 100A/Sch.40 STPG370 0.96MPa 40℃
２号機タービン建屋から ２号機集合ヘッダー入口まで （耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 ポリ塩化ビニル 0.96MPa 40℃
（ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当，100A 相当 ポリエチレン 0.96MPa 40℃
（鋼管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.40,80A/Sch40, 100A/Sch.40 STPG370 0.96MPa 40℃
２号機タービン建屋床ドレンサンプから ２号機タービン建屋ポンプ出口弁スキッド分岐部まで （耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当 EPDM 合成ゴム 0.96MPa 40℃

表２．５－１　汚染水処理設備等の主要配管仕様（３／３４）

名　称	仕　様	
２号機タービン建屋床ドレンサンプから ２号機タービン建屋ポンプ出口弁スキッド分岐部まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当,100A 相当 ポリエチレン 0.96MPa 40℃
（鋼管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.80 STPT410 0.96MPa 40℃
（鋼管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.40 STPG370 0.96MPa 40℃
２号機廃棄物処理建屋から ２号機集合ヘッダー入口まで （耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 ポリ塩化ビニル 0.96MPa 40℃
（ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当，100A 相当 ポリエチレン 0.96MPa 40℃
（鋼管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.40,80A/Sch.40, 100A/Sch.40 STPG370 0.96MPa 40℃
２号機廃棄物処理建屋床ドレンサンプ（Ａ）から２号機廃棄物処理建屋ポンプ出口弁スキッド分岐部まで （耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当 EPDM 合成ゴム 0.96MPa 40℃
（ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当,100A 相当 ポリエチレン 0.96MPa 40℃
（鋼管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.80 STPT410 0.96MPa 40℃

表２．５－１　汚染水処理設備等の主要配管仕様（４／３４）

名　称	仕　様	
２号機廃棄物処理建屋床ドレンサンプ（Ａ）から２号機廃棄物処理建屋ポンプ出口弁スキッド分岐部まで （鋼管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.40 STPG370 0.96MPa 40℃
２号機廃棄物処理建屋床ドレンサンプ（Ｂ）から２号機廃棄物処理建屋床ドレンサンプ（Ａ）まで （耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当 EPDM 合成ゴム 0.96MPa 40℃
（ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当,80A 相当 ポリエチレン 0.96MPa 40℃
（鋼管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.80 STPT410 0.96MPa 40℃
２号機集合ヘッダー （鋼管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch.40 STPG370 0.96MPa 40℃
２号機集合ヘッダー出口から ２号機タービン建屋取り合いまで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 0.96MPa 40℃
２号機タービン建屋から ３号機タービン建屋まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当，100A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃
２号機タービン建屋から ４号機弁ユニットまで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当，100A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃
３号機原子炉建屋から ３号機集合ヘッダー入口まで （耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 ポリ塩化ビニル 0.96MPa 40℃

表２．５－１　汚染水処理設備等の主要配管仕様（５／３４）

名　称	仕　様	
３号機原子炉建屋から ３号機集合ヘッダー入口まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当，100A 相当 ポリエチレン 0.96MPa 40℃
（鋼管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.40,80A/Sch.40, 100A/Sch.40 STPG370 0.96MPa 40℃
３号機原子炉建屋トーラス室から３号機原子炉建屋ポンプ出口弁スキッド分岐部まで （耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 ポリ塩化ビニル 0.96MPa 40℃
（ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 ポリエチレン 0.96MPa 40℃
（鋼管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.40 STPG370 0.96MPa 40℃
３号機タービン建屋から ３号機集合ヘッダー入口まで （耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 ポリ塩化ビニル 0.96MPa 40℃
（ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当，100A 相当 ポリエチレン 0.96MPa 40℃
（鋼管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.40,80A/Sch.40, 100A/Sch.40 STPG370 0.96MPa 40℃
３号機タービン建屋床ドレンサンプから ３号機タービン建屋ポンプ出口弁スキッド分岐部まで （耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当 EPDM 合成ゴム 0.96MPa 40℃
（ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当,100A 相当 ポリエチレン 0.96MPa 40℃

表２．５－１　汚染水処理設備等の主要配管仕様（６／３４）

名　称	仕　様	
３号機タービン建屋床ドレンサンプから３号機タービン建屋ポンプ出口弁スキッド分岐部まで （鋼管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.80 STPT410 0.96MPa 40℃
（鋼管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.40 STPG370 0.96MPa 40℃
３号機タービン建屋サービスエリアストームドレンサンプから３号機タービン建屋床ドレンサンプまで (耐圧ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当 EPDM 合成ゴム 0.96MPa 40℃
（ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当,80A 相当 ポリエチレン 0.96MPa 40℃
（鋼管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.80 STPT410 0.96MPa 40℃
３号機廃棄物処理建屋から ３号機集合ヘッダー入口まで （耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 ポリ塩化ビニル 0.96MPa 40℃
(ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当，100A 相当 ポリエチレン 0.96MPa 40℃
（鋼管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.40,80A/Sch.40, 100A/Sch.40 STPG370 0.96MPa 40℃
３号機廃棄物処理建屋床ドレンサンプ（Ａ）から３号機廃棄物処理建屋床ドレンサンプ（Ｂ）まで （耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当 EPDM 合成ゴム 0.96MPa 40℃
（ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当 ポリエチレン 0.96MPa 40℃

表２．５－１　汚染水処理設備等の主要配管仕様（７／３４）

名　称	仕　様	
３号機廃棄物処理建屋床ドレンサンプ（Ａ）から３号機廃棄物処理建屋床ドレンサンプ（Ｂ）まで （鋼管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.80 STPT410 0.96MPa 40℃
３号機廃棄物処理建屋床ドレンサンプ（Ｂ）から３号機廃棄物処理建屋ポンプ出口弁スキッド分岐部まで （耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当 EPDM 合成ゴム 0.96MPa 40℃
（ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当,100A 相当 ポリエチレン 0.96MPa 40℃
（鋼管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.80 STPT410 0.96MPa 40℃
（鋼管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.40 STPG370 0.96MPa 40℃
３号機集合ヘッダー （鋼管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch.40 STPG370 0.96MPa 40℃
３号機集合ヘッダー出口から３号機タービン建屋取り合いまで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 0.96MPa 40℃
３号機タービン建屋から４号機弁ユニットまで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当，100A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃
３号機タービン建屋から４号機タービン建屋まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当，100A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃
４号機原子炉建屋から４号機集合ヘッダー入口まで （耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当,80A 相当 EPDM 合成ゴム 0.96MPa 40℃

表２．５－１　汚染水処理設備等の主要配管仕様（８／３４）

名　称	仕　様	
４号機原子炉建屋から ４号機集合ヘッダー入口まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当,80A 相当, 100A 相当 ポリエチレン 0.96MPa 40℃
（鋼管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.80 STPT410 0.96MPa 40℃
４号機原子炉建屋床ドレンサンプ（A）から４号機原子炉建屋床ドレンサンプ（B）まで （耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当 EPDM 合成ゴム 0.96MPa 40℃
（ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当,80A 相当 ポリエチレン 0.96MPa 40℃
（鋼管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.80 STPT410 0.96MPa 40℃
４号機原子炉建屋床ドレンサンプ（B）から４号機原子炉建屋ストレーナユニット分岐部まで (耐圧ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当 EPDM 合成ゴム 0.96MPa 40℃
（ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当,100A 相当 ポリエチレン 0.96MPa 40℃
（鋼管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.80 STPT410 0.96MPa 40℃
４号機タービン建屋から ４号機集合ヘッダー入口まで （耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当 EPDM 合成ゴム 0.96MPa 40℃
(ポリエチレン管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当,100A 相当 ポリエチレン 0.96MPa 40℃

表２．５－１　汚染水処理設備等の主要配管仕様（９／３４）

名　称	仕　様	
４号機タービン建屋から ４号機集合ヘッダー入口まで （鋼管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.80 STPT410 0.96MPa 40℃
４号機タービン建屋床ドレンサンプから４号機タービン建屋ストレーナユニット分岐部まで （耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当 EPDM 合成ゴム 0.96MPa 40℃
（ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当,100A 相当 ポリエチレン 0.96MPa 40℃
（鋼管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.80 STPT410 0.96MPa 40℃
４号機廃棄物処理建屋から ４号機集合ヘッダー入口まで （耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当 EPDM 合成ゴム 0.96MPa 40℃
（ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当,80A 相当, 100A 相当 ポリエチレン 0.96MPa 40℃
（鋼管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.80 STPT410 0.96MPa 40℃
４号機廃棄物処理建屋床ドレンサンプ（Ａ）から４号機廃棄物処理建屋ストレーナユニット分岐部まで （耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当 EPDM 合成ゴム 0.96MPa 40℃
（ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当,100A 相当 ポリエチレン 0.96MPa 40℃
（鋼管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.80 STPT410 0.96MPa 40℃

表２．５－１　汚染水処理設備等の主要配管仕様（１０／３４）

名　称	仕　様	
４号機廃棄物処理建屋床ドレンサンプ（Ｂ）から４号機廃棄物処理建屋床ドレンサンプ（Ａ）まで （耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当 EPDM 合成ゴム 0.96MPa 40℃
（ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当,80A 相当 ポリエチレン 0.96MPa 40℃
（鋼管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.80 STPT410 0.96MPa 40℃
４号機集合ヘッダー （鋼管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch.40 STPT410 0.96MPa 40℃
４号機集合ヘッダー出口から ４号機タービン建屋取り合いまで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 0.96MPa 40℃
４号機タービン建屋取り合いから ４号機弁ユニットまで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当，100A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃
４号機弁ユニットから プロセス主建屋切替弁スキッド入口，高温焼却炉建屋弁ユニット入口まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃
サイトバンカ建屋から プロセス主建屋まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃
プロセス主建屋３階取り合いから 油分分離装置入口ヘッダーまで （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A／Sch.80 STPG370,STPT370 1.37MPa 66℃

表２．５－１　汚染水処理設備等の主要配管仕様（１１／３４）

名　称	仕　様	
油分分離装置入口ヘッダーから 油分分離装置処理水タンクまで （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	200A／Sch.80 STPG370,STPT370 1.37MPa 66℃
油分分離装置処理水タンクから セシウム吸着装置入口まで （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A／Sch.80 STPG370,STPT370 1.37MPa 66℃
油分分離装置処理水タンクから 第二セシウム吸着装置入口まで （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A／Sch.80 STPG370,STPT370 1.37MPa 66℃
セシウム吸着装置入口から セシウム吸着装置出口まで （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A,80A／Sch.40 SUS316L 0.97MPa 66℃
セシウム吸着装置出口から セシウム吸着処理水タンクまで （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A／Sch.80 STPG370,STPT370 1.37MPa 66℃
セシウム吸着処理水タンクから 除染装置入口まで （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A／Sch.80 STPG370,STPT370 1.37MPa 66℃
除染装置入口から 除染装置出口まで （鋼管）	呼び径 ／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A,80A,100A,150A,200A ／Sch.20S SUS316L 0.3MPa 50℃
除染装置出口から サイトバンカ建屋取り合い（除染装置側）まで （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A／Sch.80 STPG370,STPT370 1.37MPa 66℃
セシウム吸着処理水タンクから ＳＰＴ建屋取り合いまで （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A／Sch.80 STPG370,STPT370 1.37MPa 66℃

表２．５－１　汚染水処理設備等の主要配管仕様（１２／３４）

名　称	仕　様	
ＳＰＴ建屋取り合いから ＳＰＴ（Ｂ）まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃
高温焼却炉建屋１階ハッチから 高温焼却炉建屋１階取り合いまで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃
高温焼却炉建屋１階取り合いから 第二セシウム吸着装置入口まで （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A／Sch.80 STPG370,STPT370 1.37MPa 66℃
第二セシウム吸着装置入口から 第二セシウム吸着装置出口まで （鋼管）	呼び径 ／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A,80A,100A,150A／ Sch.80 STPG370,STPT370 1.37MPa 66℃
第二セシウム吸着装置入口から 第二セシウム吸着装置出口まで （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A, 80A／Sch.40 SUS316L ASME SA312 S31603 ASME SA790 S32205 ASME SA790 S32750 1.37MPa 66℃
第二セシウム吸着装置入口から 第二セシウム吸着装置出口まで （耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当 合成ゴム（EPDM） 1.37MPa 66℃
第二セシウム吸着装置出口から ＳＰＴ（Ｂ）まで （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	150A／Sch.80 STPG370,STPT370 1.37MPa 66℃

表２．５－１　汚染水処理設備等の主要配管仕様（１３／３４）

名　称	仕　様	
ＳＰＴ（Ｂ）から 淡水化装置（ＲＯ）まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当，100A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃
淡水化装置（ＲＯ）から ＲＯ処理水貯槽及び蒸発濃縮処理水貯槽まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当，80A 相当， 100A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃
ＲＯ処理水貯槽及び蒸発濃縮処理水貯槽から 処理水バッファタンク及びＣＳＴまで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	75A 相当，100A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃

表２．５－１　汚染水処理設備等の主要配管仕様（１４／３４）

名　称	仕　様	
淡水化装置（ＲＯ）から ＲＯ濃縮水貯槽まで （ポリエチレン管）	呼び径	50A 相当，65A 相当， 80A 相当，100A 相当 150A 相当
	材質	ポリエチレン
	最高使用圧力	1.0MPa，0.98MPa
	最高使用温度	40℃
（鋼管）		
	呼び径／厚さ	100A/Sch.40 150A/Sch.40
	材質	STPT410，STPT370，SUS316L
	最高使用圧力	0.98MPa
（鋼管）	最高使用温度	40℃
	呼び径	100A
	材質	SGP
	最高使用圧力	1.0MPa
（鋼管）	最高使用温度	40℃
	呼び径／厚さ	100A/Sch.10 80A/Sch.10 50A/Sch.10
	材質	SUS304
	最高使用圧力	0.98MPa
	最高使用温度	40℃

表２．５－１　汚染水処理設備等の主要配管仕様（１５／３４）

名　称	仕　様	
中低濃度タンクから ＲＯ濃縮水移送ポンプ配管分岐部 まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 1.0MPa，0.98MPa 40℃
（ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	75A 相当 ポリエチレン 0.98MPa 40℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch.40 STPT370 0.98MPa 40℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch.20 SUS304 1.0MPa 40℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch.40，80A/Sch.40， 50A/Sch.80 STPT410＋ライニング 0.98MPa 40℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch.10，80A/Sch.10， 50A/Sch.10 SUS304 0.98MPa 40℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch.10，65A/Sch.10， 40A/Sch.10 SUS316L 0.98MPa 40℃
蒸発濃縮装置から 濃縮水タンクまで （耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当，100A 相当 EPDM 合成ゴム 0.98MPa 74℃

表２．５－１　汚染水処理設備等の主要配管仕様（１６／３４）

名　称	仕　様	
濃縮水タンクから 濃縮廃液貯槽まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃
水中ポンプ出口 （耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当，80A 相当,100A 相当 ポリ塩化ビニル 0.98MPa 50℃
プロセス主建屋内取り合いから プロセス主建屋出口取り合いまで （戻り系統含む） （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A，100A／Sch80 STPG370 0.5MPa 66℃

表２．５－１　汚染水処理設備等の主要配管仕様（１７／３４）

名　称	仕　様	
セシウム吸着装置南側取り合いから セシウム吸着装置入口まで	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A／Sch.80 STPG370 1.37MPa 66℃
高温焼却炉建屋１階東側取り合いから 高温焼却炉建屋１階ハッチまで	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A／Sch.80 STPG370 1.37MPa 66℃
	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃

表２．５－１　汚染水処理設備等の主要配管仕様（１８／３４）

名　称	仕　様	
SPT 廃液移送ポンプ出口からろ過処理水受タンク入口まで	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A／Sch.80 STPT410 0.98MPa 40℃
	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A／Sch.40 STPT410 0.98MPa 40℃
	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当，100A 相当 ポリエチレン 0.98MPa 40℃
	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 合成ゴム 0.98MPa 40℃
ろ過処理水受タンク出口から建屋内 RO 入口まで	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A／Sch.80 STPT410 0.98MPa 40℃
	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A／Sch.40 STPT410 4.5MPa 40℃
	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A,150A／Sch.40 STPT410 静水頭 40℃
	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A，100A／Sch.40 STPT410 0.98MPa 40℃
	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	150A 相当 ポリエチレン 静水頭 40℃

表２．５－１　汚染水処理設備等の主要配管仕様（１９／３４）

名　称	仕　様	
建屋内RO出口から淡水化処理水受タンク入口まで	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A／Sch.80 STPT410 0.98MPa 40℃
	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A／Sch.40 STPT410 0.98MPa 40℃
	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A／Sch.40 SUS316LTP 0.98MPa 40℃
	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A相当 ポリエチレン 0.98MPa 40℃
淡水化処理水受タンク出口からCST移送ライン操作弁ユニット入口まで	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A／Sch.40 SUS316LTP 静水頭，0.98MPa 40℃
	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	40A，50A／Sch.80 SUS316LTP 0.98MPa 40℃
	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A相当 ポリエチレン 静水頭，0.98MPa 40℃
建屋内RO出口から建屋内RO濃縮水受タンク入口まで及びろ過処理水受タンク入口まで	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A／Sch.40 STPT410 0.98MPa 40℃
	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	65A，80A／Sch.40 STPT410 4.5MPa 40℃
	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A相当 ポリエチレン 0.98MPa 40℃

表２．５－１　汚染水処理設備等の主要配管仕様（２０／３４）

名　称	仕　様	
建屋内 RO 入口から建屋内 RO 出口まで	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	40A／Sch.80 STPT410 4.5MPa 40℃
	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	65A，80A，100A／Sch.40 STPT410 4.5MPa 40℃
	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	40A 相当 合成ゴム 4.5MPa 40℃
	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	25A，50A／Sch.80 STPT410 0.98MPa 40℃
	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	25A 相当 合成ゴム 0.98MPa 40℃
４号機弁ユニット入口分岐から ４号機弁ユニット出口合流まで	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃
	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch.40 STPG370 1.0MPa 40℃
高温焼却炉建屋弁ユニット入口から 高温焼却炉建屋弁ユニット出口まで	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch.80 STPG370 1.0MPa 40℃
高温焼却炉建屋弁ユニット出口から 高温焼却炉建屋北側取り合いまで	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃

表２．５－１　汚染水処理設備等の主要配管仕様（２１／３４）

名　称	仕　様	
高温焼却炉建屋１階取り合いから 高温焼却炉建屋弁ユニット出口まで	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃
	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A／Sch.80 STPG370 1.37MPa 66℃
高温焼却炉建屋弁ユニット出口から 高温焼却炉建屋１階東側取り合いまで	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃
	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A/Sch.80，100A/Sch.80 STPG370 1.37MPa 66℃
高温焼却炉建屋弁ユニット出口から 高温焼却炉建屋１階ハッチまで	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃
高温焼却炉建屋弁ユニット出口から 第二セシウム吸着装置入口まで	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃
	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A/Sch.80，100A/Sch.80 STPG370 1.37MPa 66℃
プロセス主建屋１階西側取り合いから プロセス主建屋地下階まで	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A／Sch.80 STPG370,STPT370 1.37MPa 66℃

※　現場施工状況により，配管仕様の一部を使用しない場合もある。

表２．５－１　汚染水処理設備等の主要配管仕様（２２／３４）

名　称	仕　様	
プロセス主建屋切替弁スキッド入口からプロセス主建屋切替弁スキッド出口まで （鋼管）	呼び径／厚さ	150A/Sch80, 100A/Sch80, 50A/Sch80
	材質	STPG370
	最高使用圧力	1.0 MPa
	最高使用温度	40 ℃
（ポリエチレン管）	呼び径	150A 相当
	材質	ポリエチレン
	最高使用圧力	1.0 MPa
	最高使用温度	40 ℃
プロセス主建屋切替弁スキッド出口からプロセス主建屋まで （ポリエチレン管）	呼び径	100A 相当
	材質	ポリエチレン
	最高使用圧力	1.0 MPa
	最高使用温度	40 ℃

表２．５－１　汚染水処理設備等の主要配管仕様（２３／３４）

名　称	仕　様	
第三セシウム吸着装置入口から第三セシウム吸着装置出口まで （鋼管）	呼び径／厚さ	100A/Sch40, 80A/Sch40, 65A/Sch40, 50A/Sch40, 40A/Sch40
	材質	SUS316L ASME SA790 S32205 ASME SA790 S32750
	最高使用圧力	1.37 MPa
	最高使用温度	40 ℃
（ポリエチレン管）	呼び径	100A 相当
	材質	ポリエチレン
	最高使用圧力	1.37 MPa
	最高使用温度	40 ℃
（耐圧ホース）	呼び径	65A 相当
	材質	合成ゴム(NBR, EPDM)
	最高使用圧力	1.37 MPa
	最高使用温度	40 ℃
第三セシウム吸着装置出口からＳＰＴ（Ｂ）まで （ポリエチレン管）	呼び径	100A 相当
	材質	ポリエチレン
	最高使用圧力	1.0 MPa
	最高使用温度	40 ℃
プロセス主建屋切替弁スキッド移送配管部からプロセス主建屋切替弁スキッドまで （ポリエチレン管）	呼び径	100A 相当
	材質	ポリエチレン
	最高使用圧力	1.0 MPa
	最高使用温度	40℃

表２．５－１　汚染水処理設備等の主要配管仕様（２４／３４）

名　称	仕　様	
高温焼却炉建屋切替弁スキッドからＳＰＴ建屋１階中央南側分岐まで （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch80 STPG370 1.37MPa 66℃
（ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 1.0 MPa 40℃
ＳＰＴ建屋１階中央南側分岐からサイトバンカ建屋１階西側分岐部まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 1.0 MPa 40℃

表２．５－１　汚染水処理設備等の主要配管仕様（２５／３４）

名称	仕様	
建屋内 RO 出口側ライン 分岐から１号機原子炉建屋 まで	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 0.98MPa 40℃
	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A／Sch.40 SUS316LTP 0.98MPa 40℃
	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A／Sch.80，80A／Sch.40， 100A／Sch.40 STPT410 0.98MPa 40℃
建屋内 RO 出口側ライン 分岐から２号機タービン 建屋まで	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 0.98MPa 40℃
	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A／Sch.40 SUS316LTP 0.98MPa 40℃
	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A／Sch.80，80A／Sch.40， 100A／Sch.40 STPT410 0.98MPa 40℃

表２．５－１　汚染水処理設備等の主要配管仕様（２６／３４）

名称	仕様	
滞留水浄化設備２号機タービン建屋分岐から２号機原子炉建屋まで （ポリエチレン管） （耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 0.98MPa 40℃
	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 合成ゴム 大気圧 40℃
建屋内 RO 入口側タイライン分岐から３・４号機タービン建屋まで	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 0.98MPa 40℃
	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A／Sch.40, 100A／Sch.40, 150A／Sch.40 STPT410 0.98MPa 40℃
滞留水浄化設備３号機タービン建屋分岐から３号機原子炉建屋まで （ポリエチレン管） （耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 0.98MPa 40℃
	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 合成ゴム 大気圧 40℃
滞留水浄化設備３号機タービン建屋分岐から建屋内 RO 出口側ライン取り合いまで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 0.98MPa 40℃

表２．５－１　汚染水処理設備等の主要配管仕様（２７／３４）

名　称	仕　様	
SPT 廃液移送ポンプ出口分岐から建屋内 RO 濃縮水受タンク入口まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 ポリエチレン 0.98MPa 40℃
建屋内 RO 濃縮水受タンク出口から 8.5m 盤 SPT 受入水移送ポンプ出口ライン合流まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当，80A 相当,100A 相当 ポリエチレン 0.98MPa 40℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A／Sch.40 STPT410 0.98MPa 40℃
33.5m 盤 SPT 受入水移送ポンプ出口分岐から増設 RO 濃縮水受タンク入口まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 0.98MPa 40℃
増設 RO 濃縮水受タンク出口から 33.5m 盤 RO 濃縮水供給ポンプ出口ライン合流まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当，100A 相当 ポリエチレン 0.98MPa 40℃

表２．５－１　汚染水処理設備等の主要配管仕様（２８／３４）

名　称	仕　様	
CST 移送ポンプ出口分岐から RO 処理水供給ポンプ出口ライン合流まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 ポリエチレン 0.98MPa 40℃

表２．５－１　汚染水処理設備等の主要配管仕様（２９／３４）

名称	仕様	
プロセス主建屋切替弁スキッド出口から 入口ヘッダスキッド入口まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃
入口ヘッダスキッド入口から 入口ヘッダスキッド出口まで （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch.40, 150A/ Sch.40 STPG370 1.0MPa 40℃
	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch.40 STPG370 1.37MPa 40℃
入口ヘッダスキッド出口から 滞留水受入槽まで （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch.40 STPG370 1.0MPa 40℃
（ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃
滞留水受入槽から 滞留水一時貯留槽まで （耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	200A 相当 EPDM 合成ゴム 静水頭 40℃

表２．５－１　汚染水処理設備等の主要配管仕様（３０／３４）

名称	仕様	
滞留水一時貯留槽から 滞留水供給ポンプ入口まで （鋼管）	呼び径／厚さ	100A/Sch.40
	材質	STPG370
	最高使用圧力	静水頭
	最高使用温度	40℃
	呼び径／厚さ	100A/Sch.40 ，　125A/Sch.40 ， 150A/ Sch.40
	材質	STPG370
	最高使用圧力	1.37MPa
	最高使用温度	40℃
（ポリエチレン管）	呼び径	100A 相当
	材質	ポリエチレン
	最高使用圧力	静水頭，1.37MPa
	最高使用温度	40℃
滞留水供給ポンプ出口から 滞留水供給ポンプスキッド出口まで （鋼管）	呼び径／厚さ	80A/Sch.40，100A/Sch.40， 150A/ Sch.40
	材質	STPG370
	最高使用圧力	1.37MPa
	最高使用温度	40℃
滞留水供給ポンプスキッド出口から 入口ヘッダスキッド入口まで （ポリエチレン管）	呼び径	100A 相当
	材質	ポリエチレン
	最高使用圧力	1.37MPa
	最高使用温度	40℃

表２．５－１　汚染水処理設備等の主要配管仕様（３１／３４）

名称	仕様	
入口ヘッダスキッド出口から 第三セシウム吸着装置入口まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 1.37MPa 40℃
プロセス主建屋切替弁スキッド近傍配管分岐からプロセス主建屋１階北側分岐部まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 1.37MPa，1.0MPa 40℃
第三セシウム吸着装置入口分岐部から 第三セシウム吸着装置ブースターポンプ出口分岐部まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 1.37MPa 40℃
入口ヘッダスキッド出口から サイトバンカ建屋１階西側分岐部まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 1.37MPa 40℃
プロセス主建屋１階西側移送配管分岐部からプロセス主建屋切替弁スキッド移送配管部まで （鋼管） （ポリエチレン管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch.80 STPG370 1.37MPa 66℃
	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃
第二セシウム吸着装置入口分岐部から 第二セシウム吸着装置ブースターポンプ出口分岐部まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 ポリエチレン 1.37MPa 40℃

表２．５－１　汚染水処理設備等の主要配管仕様（３２／３４）

名称	仕様	
プロセス主建屋北エリアサンプから集合ヘッダ入口まで（耐圧ホース）	呼び径	50A 相当
	材質	合成ゴム
	最高使用圧力	0.96MPa
	最高使用温度	40℃
（鋼管）	呼び径／厚さ	50A/Sch.80
	材質	STPT410
	最高使用圧力	0.96MPa
	最高使用温度	40℃
（ポリエチレン管）	呼び径	50A 相当，80A 相当
	材質	ポリエチレン
	最高使用圧力	0.96MPa
	最高使用温度	40℃
プロセス主建屋北東エリアサンプから集合ヘッダ入口まで（耐圧ホース）	呼び径	50A 相当
	材質	合成ゴム
	最高使用圧力	0.96MPa
	最高使用温度	40℃
（鋼管）	呼び径／厚さ	50A/Sch.80
	材質	STPT410
	最高使用圧力	0.96MPa
	最高使用温度	40℃
（ポリエチレン管）	呼び径	50A 相当，80A 相当
	材質	ポリエチレン
	最高使用圧力	0.96MPa
	最高使用温度	40℃

表２．５－１　汚染水処理設備等の主要配管仕様（３３／３４）

名称	仕様	
プロセス主建屋北西エリアサンプから集合ヘッダ入口まで（耐圧ホース）	呼び径	50A 相当
	材質	合成ゴム
	最高使用圧力	0.96MPa
	最高使用温度	40℃
（鋼管）	呼び径／厚さ	50A/Sch.80
	材質	STPT410
	最高使用圧力	0.96MPa
（ポリエチレン管）	最高使用温度	40℃
	呼び径	50A 相当，80A 相当
	材質	ポリエチレン
	最高使用圧力	0.96MPa
	最高使用温度	40℃
プロセス主建屋南エリアサンプから集合ヘッダ入口まで（耐圧ホース）	呼び径	50A 相当
	材質	合成ゴム
	最高使用圧力	0.96MPa
	最高使用温度	40℃
（鋼管）	呼び径／厚さ	50A/Sch.80
	材質	STPT410
	最高使用圧力	0.96MPa
（ポリエチレン管）	最高使用温度	40℃
	呼び径	50A 相当，80A 相当
	材質	ポリエチレン
	最高使用圧力	0.96MPa
	最高使用温度	40℃

表２．５－１　汚染水処理設備等の主要配管仕様（３４／３４）

名称	仕様	
プロセス主建屋西エリアサンプから 集合ヘッダ入口まで （耐圧ホース）	呼び径	50A 相当
	材質	合成ゴム
	最高使用圧力	0.96MPa
	最高使用温度	40℃
（鋼管）	呼び径／厚さ	50A/Sch.80
	材質	STPT410
	最高使用圧力	0.96MPa
（ポリエチレン管）	最高使用温度	40℃
	呼び径	50A 相当，80A 相当
	材質	ポリエチレン
	最高使用圧力	0.96MPa
	最高使用温度	40℃
高温焼却炉建屋北西エリアサンプから 集合ヘッダ入口まで （耐圧ホース）	呼び径	50A 相当
	材質	合成ゴム
	最高使用圧力	0.96MPa
	最高使用温度	40℃
（鋼管）	呼び径／厚さ	50A/Sch.80
	材質	STPT410
	最高使用圧力	0.96MPa
	最高使用温度	40℃
（ポリエチレン管）	呼び径	50A 相当，80A 相当
	材質	ポリエチレン
	最高使用圧力	0.96MPa
	最高使用温度	40℃
集合ヘッダ入口から滞留水一時貯留設備 入口ヘッダスキッド入口まで （ポリエチレン管）	呼び径	80A 相当，100A 相当
	材質	ポリエチレン
	最高使用圧力	0.96MPa
	最高使用温度	40℃

表２．５－２　放射線監視装置仕様

項目	仕様		
名称	放射線モニタ	エリア放射線モニタ	
基数	5 基	2 基	3 基
種類	半導体検出器	半導体検出器	半導体検出器
取付箇所	滞留水移送ライン 屋外敷設箇所	第三セシウム吸着装置 設置エリア	ろ過水タンク周辺
計測範囲	0.01mSv/h～100mSv/h	0.001mSv/h～10mSv/h	0.001mSv/h～99.99mSv/h

2.5.2.1.2 使用済セシウム吸着塔保管施設及び廃スラッジ貯蔵施設

(1) 使用済セシウム吸着塔仮保管施設

吸着塔保管体数

308 体（セシウム吸着装置吸着塔，モバイル式処理装置吸着塔，
モバイル型ストロンチウム除去装置フィルタ・吸着塔，
第二モバイル型ストロンチウム除去装置吸着塔，
放水路浄化装置吸着塔）

9 体（第二セシウム吸着装置吸着塔）

(2) 使用済セシウム吸着塔一時保管施設（第一施設）

吸着塔保管体数

544 体（セシウム吸着装置吸着塔，モバイル式処理装置吸着塔，
サブドレン他浄化装置吸着塔，
高性能多核種除去設備検証試験装置吸着塔，
モバイル型ストロンチウム除去装置フィルタ・吸着塔，
第二モバイル型ストロンチウム除去装置吸着塔，
放水路浄化装置吸着塔，浄化ユニット吸着塔，
ゼオライト等保管容器）

230 体（第二セシウム吸着装置吸着塔，第三セシウム吸着装置吸着塔，
多核種除去設備処理カラム，高性能多核種除去設備吸着塔，RO
濃縮水処理設備吸着塔，サブドレン他浄化装置吸着塔）

(3) 使用済セシウム吸着塔一時保管施設（第二施設）

吸着塔保管体数

736 体（セシウム吸着装置吸着塔，多核種除去設備高性能容器，
増設多核種除去設備高性能容器）

(4) 使用済セシウム吸着塔一時保管施設（第三施設）

吸着塔保管体数

4,608 体（多核種除去設備高性能容器，増設多核種除去設備高性能容器）

(5) 使用済セシウム吸着塔一時保管施設（第四施設）

吸着塔保管体数

680 体（セシウム吸着装置吸着塔，モバイル式処理装置吸着塔，
サブドレン他浄化装置吸着塔，
高性能多核種除去設備検証試験装置吸着塔

モバイル型ストロンチウム除去装置フィルタ・吸着塔，
第二モバイル型ストロンチウム除去装置吸着塔，
放水路浄化装置吸着塔，浄化ユニット吸着塔，
ゼオライト等保管容器）
345 体（第二セシウム吸着装置吸着塔，第三セシウム吸着装置吸着塔，
多核種除去設備処理カラム，高性能多核種除去設備吸着塔，
RO 濃縮水処理設備吸着塔，サブドレン他浄化装置吸着塔）

(6) 造粒固化体貯槽(D)　（既設品）

スラッジ保管容量　　700m^3

(7) 廃スラッジ一時保管施設

スラッジ保管容量　　720m^3（予備機含む）
スラッジ貯層基数　　8 基
スラッジ貯層容量　　90m^3/基

表２．５－３　廃スラッジ貯蔵施設の主要配管仕様

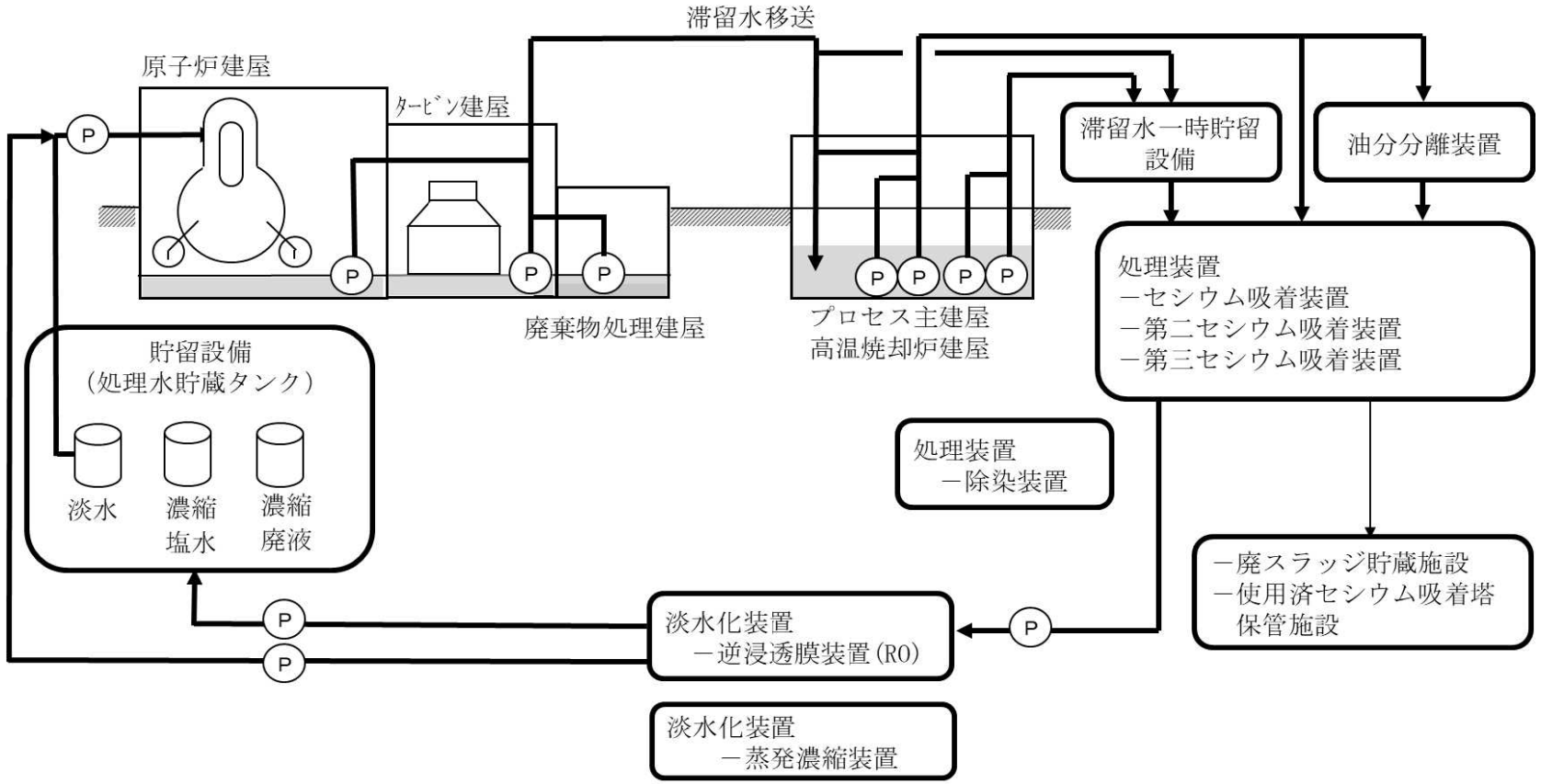
名　称	仕　様	
除染装置から 造粒固化体貯槽（D） （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A，80A ／ Sch20S SUS316L 0.3MPa 50℃
造粒固化体貯槽（D）から プロセス主建屋壁面取合まで （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A，80A ／ Sch20S SUS316L 0.98MPa 50℃
プロセス主建屋壁面取合から 廃スラッジ一時保管施設取合まで （二重管ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当 EPDM 0.72MPa 82.2℃
廃スラッジ一時保管施設取合から スラッジ貯槽まで （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A，50A ／ Sch40 SUS316L 0.98MPa 50℃
廃スラッジ一時保管施設内 上澄み移送ライン （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	125A，100A，80A /Sch40 SUS329J4L 0.98MPa 50℃
廃スラッジ一時保管施設内 スラッジ移送ライン （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A，80A，50A ／ Sch40 SUS316L 0.98MPa 50℃

2.5.3　添付資料

添付資料－１　　系統概要
添付資料－２　　主要設備概要図
添付資料－３　　汚染水処理設備等に関する構造強度及び耐震性等の評価結果
添付資料－４　　廃スラッジ一時保管施設の耐震性に関する検討結果
添付資料－５　　汚染水処理設備等の具体的な安全確保策について
添付資料－６　　セシウム吸着装置及び第二セシウム吸着装置の吸着塔の温度評価
添付資料－７　　廃スラッジ一時保管施設の崩壊熱評価
添付資料－８　　廃スラッジ一時保管施設の遮へい設計
添付資料－９　　汚染水処理設備等の工事計画及び工程について
添付資料－１０　No.１ろ過水タンクへの逆浸透膜装置廃水の貯留について
添付資料－１１　中低濃度タンクの設計・確認の方針について
添付資料－１２　使用済セシウム吸着塔一時保管施設（第三施設）
添付資料－１３　建屋内 RO 循環設備および追設する関連機器の設計・確認の方針について
添付資料－１４　滞留水移送装置の設計・確認方法について
添付資料－１５　セシウム吸着装置におけるストロンチウムの除去について
添付資料－１６　セシウム吸着装置により高温焼却炉建屋の滞留水を浄化するために使用する配管について
添付資料－１７　第二セシウム吸着装置における Cs 及び Sr の除去について
添付資料－１８　廃止（RO 濃縮塩水を移送する配管の追設について）
添付資料－１９　滞留水移送装置による水位調整が不可能なエリアの対応について
添付資料－２０　プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の地下階を介さずに滞留水を処理装置へ移送する設備について
添付資料－２１　使用済セシウム吸着塔一時保管施設の架台とボックスカルバートについて
添付資料－２２　SPT 建屋の構造強度及び耐震性について
添付資料－２３　濃縮廃液貯槽(完成品)の安全確保策について
添付資料－２４　滞留水浄化設備の設計・確認方法について
添付資料－２５　第三セシウム吸着装置について
添付資料－２６　主要配管の確認事項について
添付資料－２７　汚染水処理設備等に係る確認項目
添付資料－２８　滞留水一時貯留設備について
添付資料－２９　プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置について

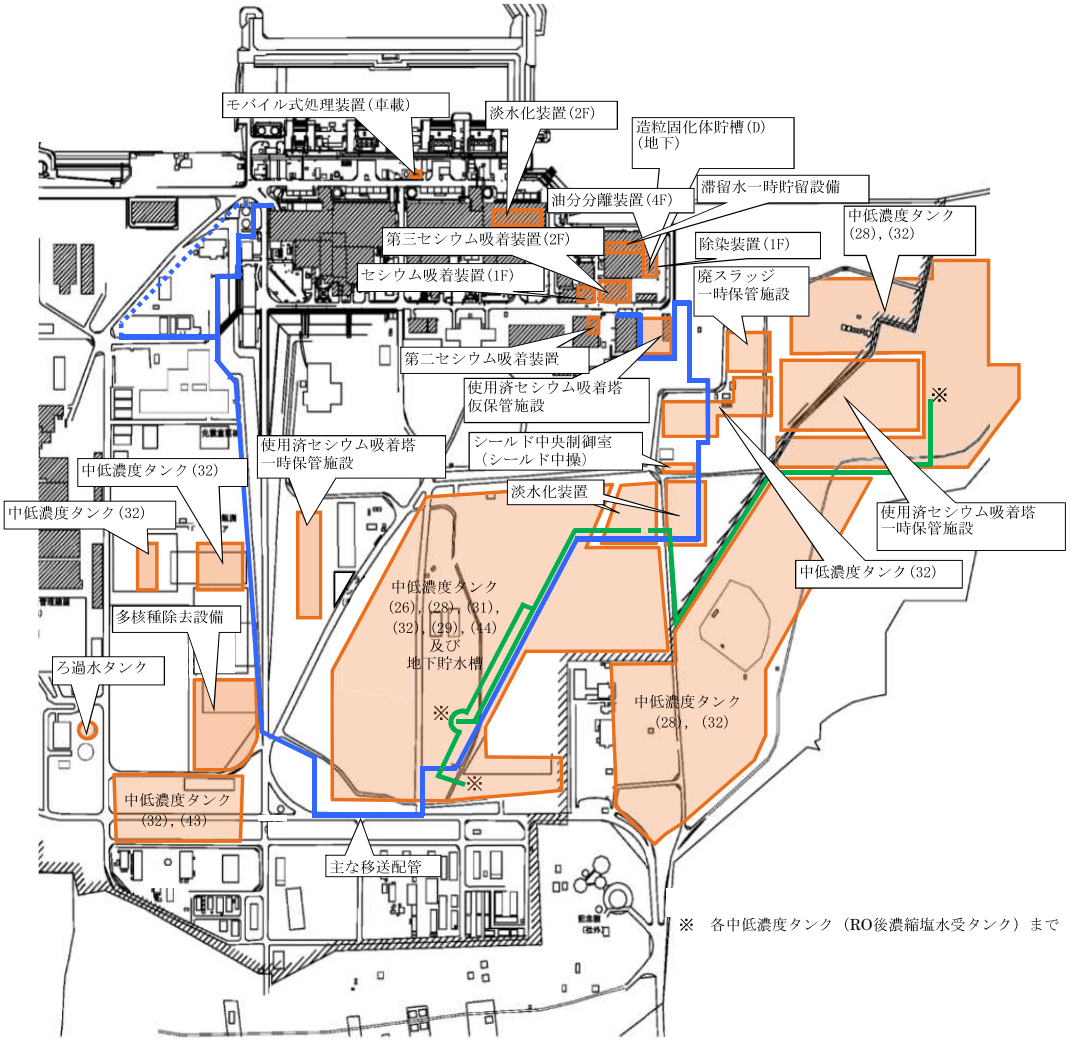
表１　設備の構成

汚染水処理設備等				
汚染水処理設備	貯留設備	関連設備	使用済セシウム吸着塔保管施設	廃スラッジ貯蔵施設
処理装置 ・セシウム吸着装置 ・第二セシウム吸着装置 ・第三セシウム吸着装置 ・除染装置 **淡水化装置** ・逆浸透膜装置 ・蒸発濃縮装置	**中低濃度タンク** ・サプレッション・プール水サージタンク ・廃液 RO 供給タンク ・RO 後濃縮塩水受タンク ・濃縮廃液貯槽 ・RO 後淡水受タンク ・多核種処理水タンク ・Sr処理水タンク **地下貯水槽** **ろ過水タンク**	**油分分離装置** **モバイル式処理設備** **電源設備** **滞留水移送装置** ・移送ポンプ ・移送配管 **滞留水一時貯留設備**	**使用済セシウム吸着塔仮保管施設** **使用済セシウム吸着塔一時保管施設**	**造粒固化体貯槽(D)** **廃スラッジ一時保管施設**



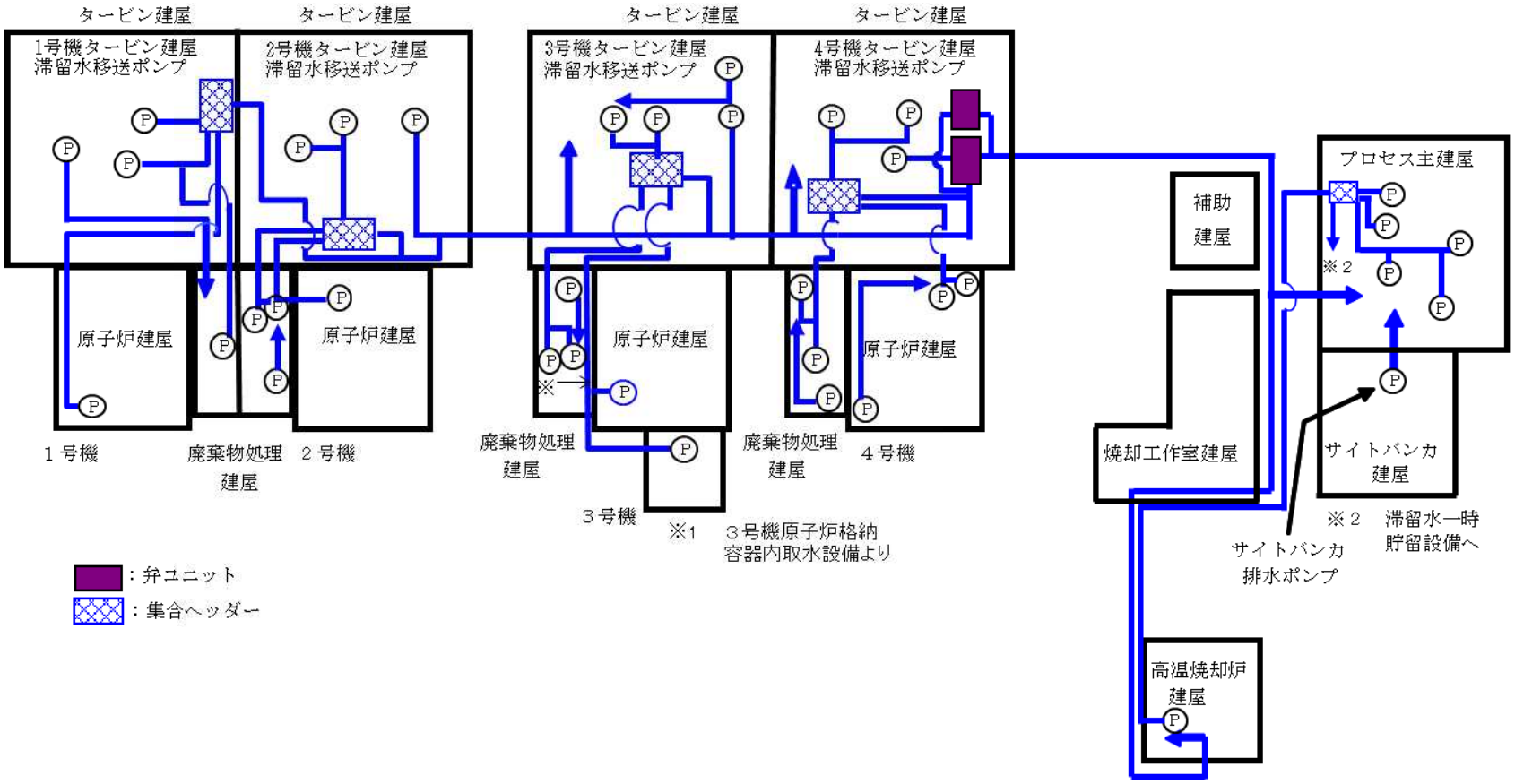
(a)　系統概要

図－１　汚染水処理設備等の全体概要図（１／２）



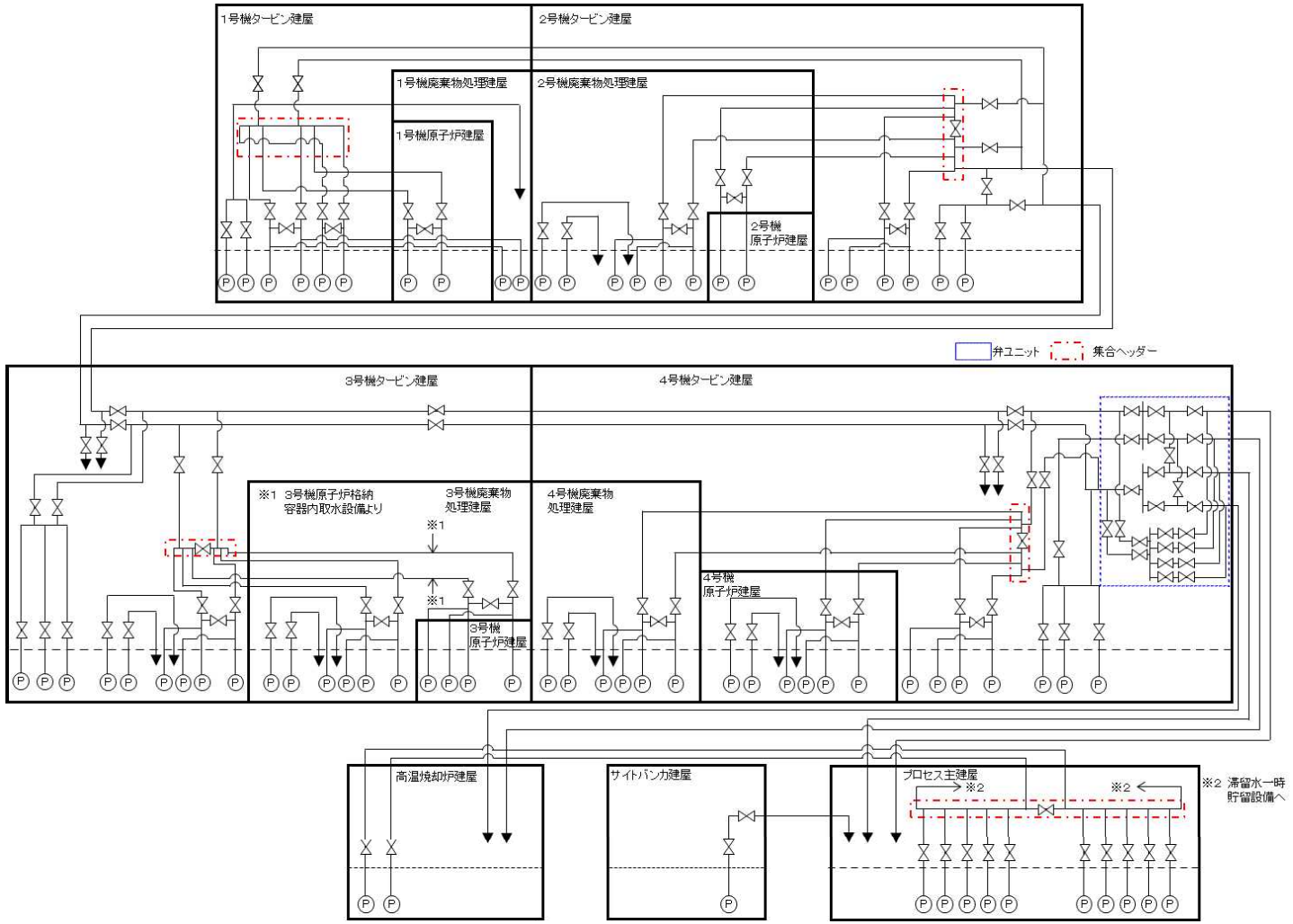
(b) 配置概要

図－１ 汚染水処理設備等の全体概要図（２／２）



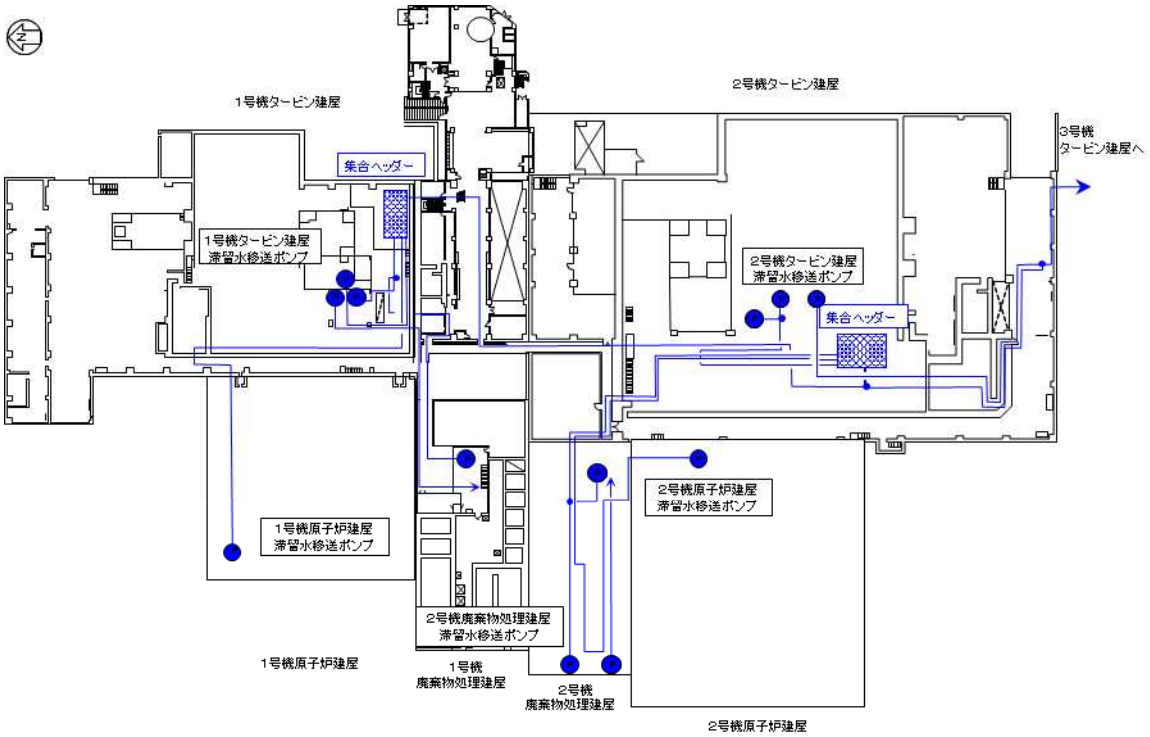
(a)　移送装置全体系統図

図－２　滞留水移送装置の系統構成図（１／３）

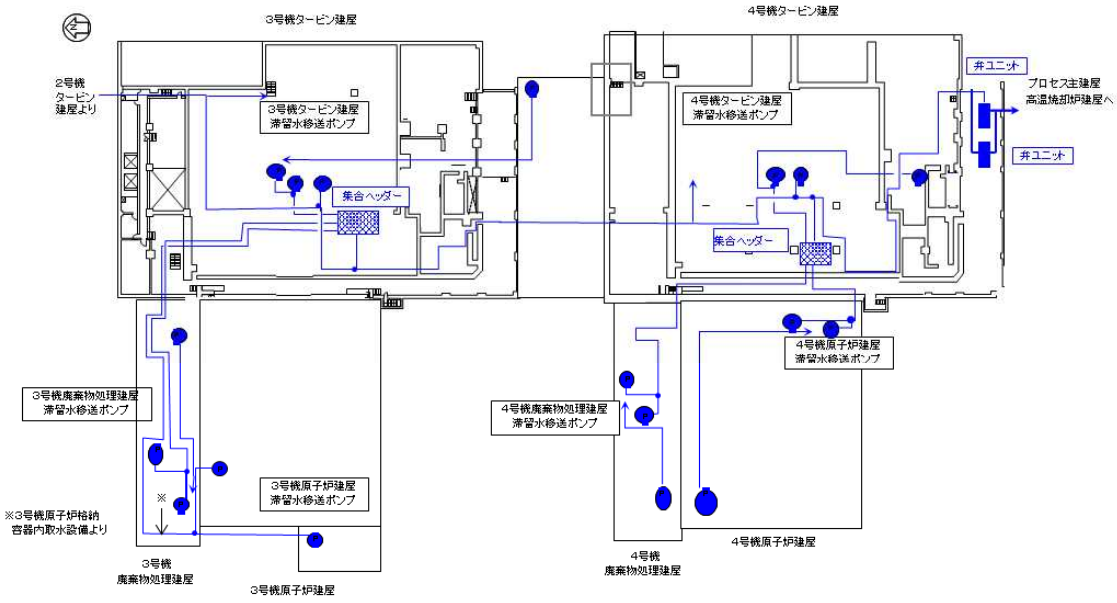


(a)　移送装置全体系統図

図－２　滞留水移送装置の系統構成図（２／３）



1，２号機滞留水移送系統（各建屋１階）



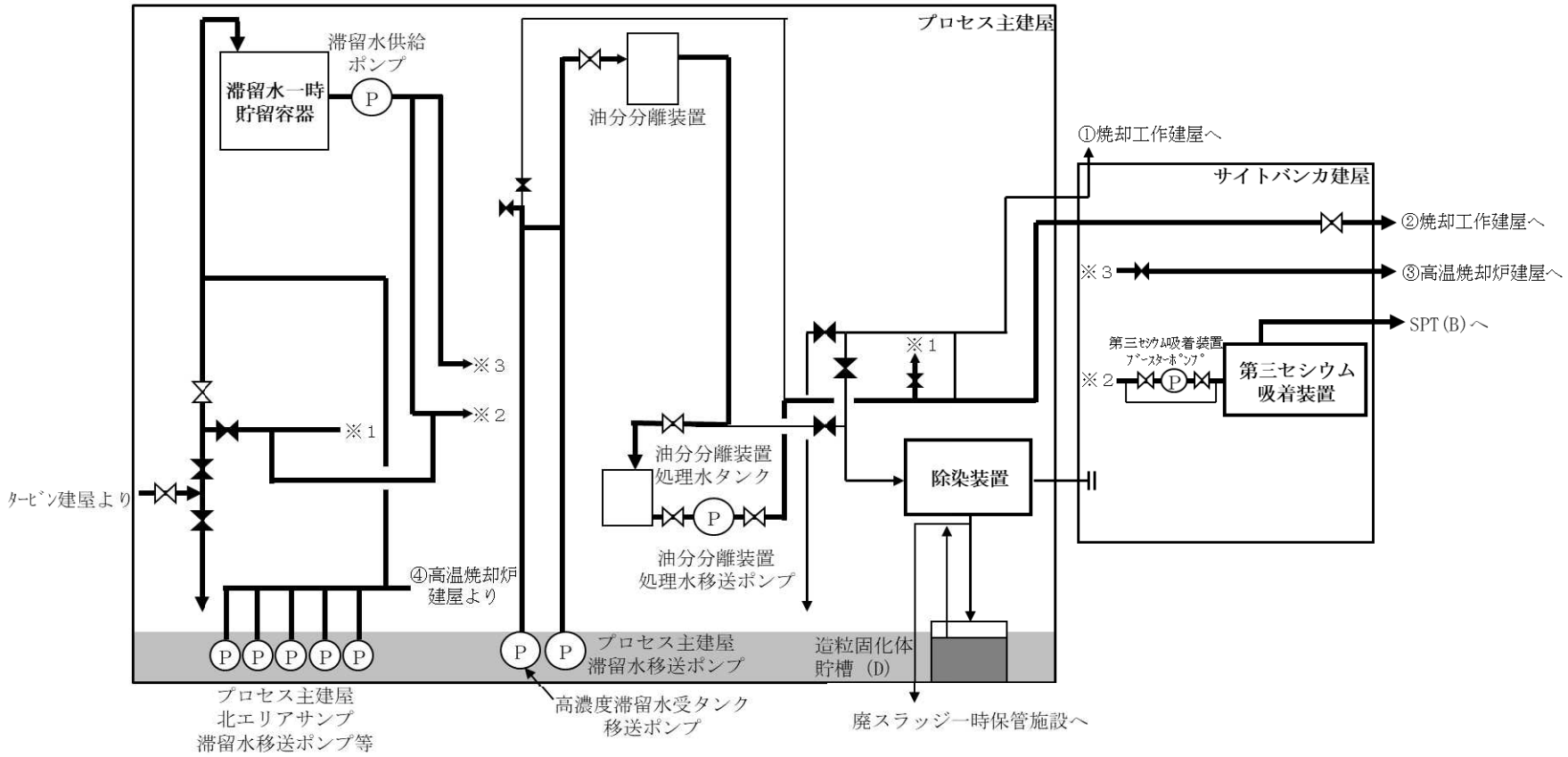
３，４号機滞留水移送系統（各建屋１階）

※ポンプ・配管は多重化しているものの、本図では単一のものとして示す

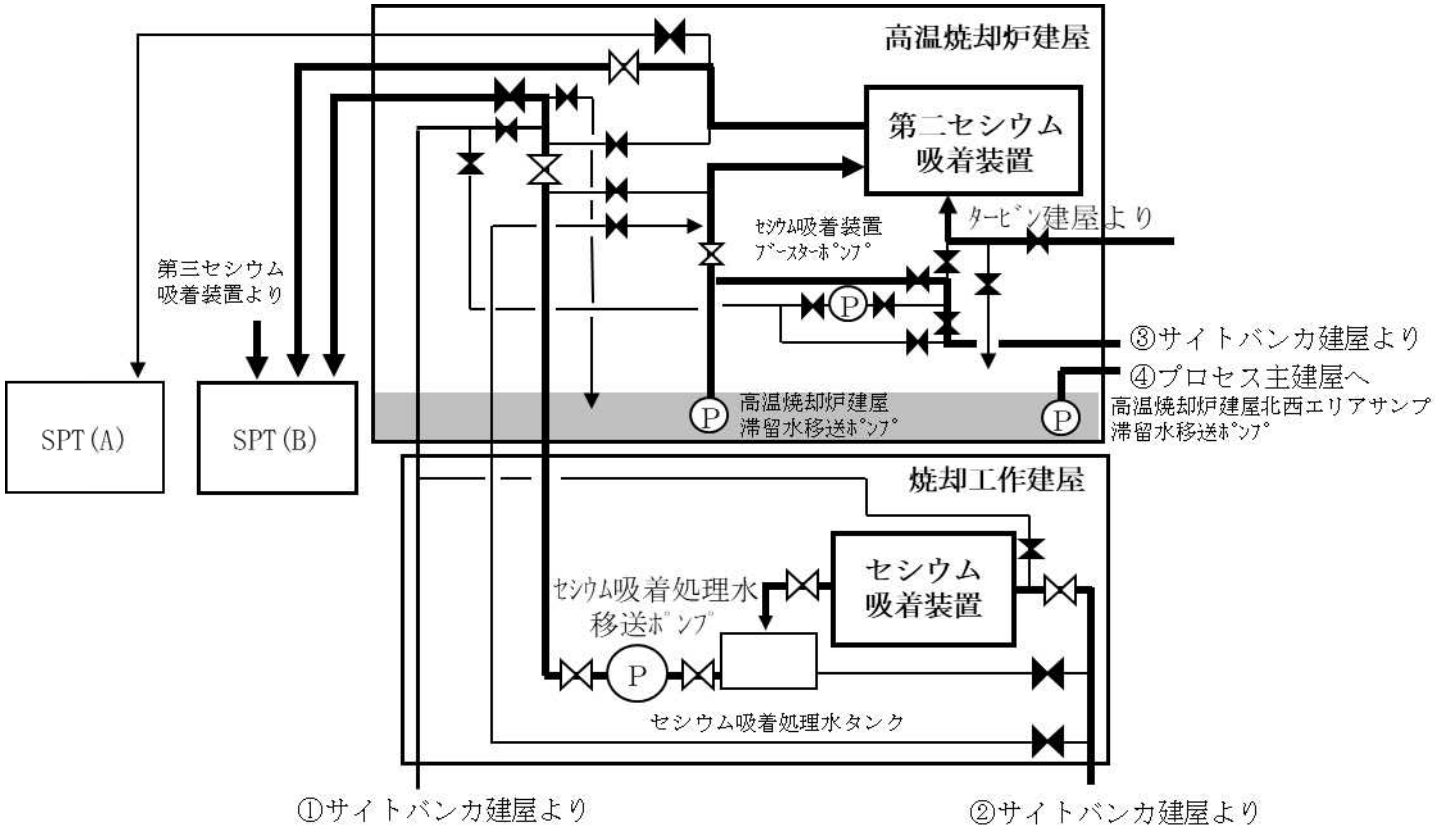
(b)　移送装置　配管ルート図

図－２　滞留水移送装置の系統構成図（３／３）

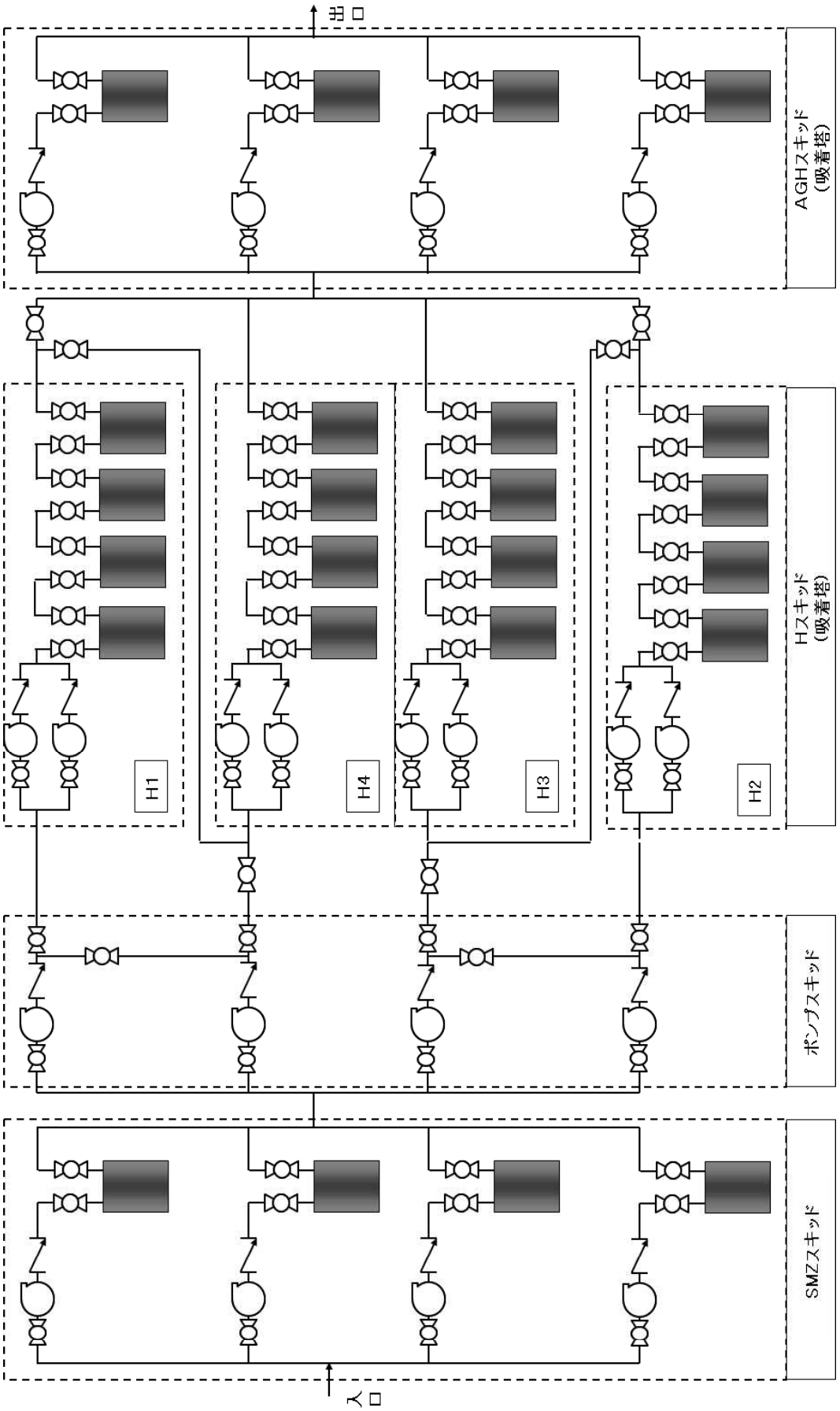
図3　変更後



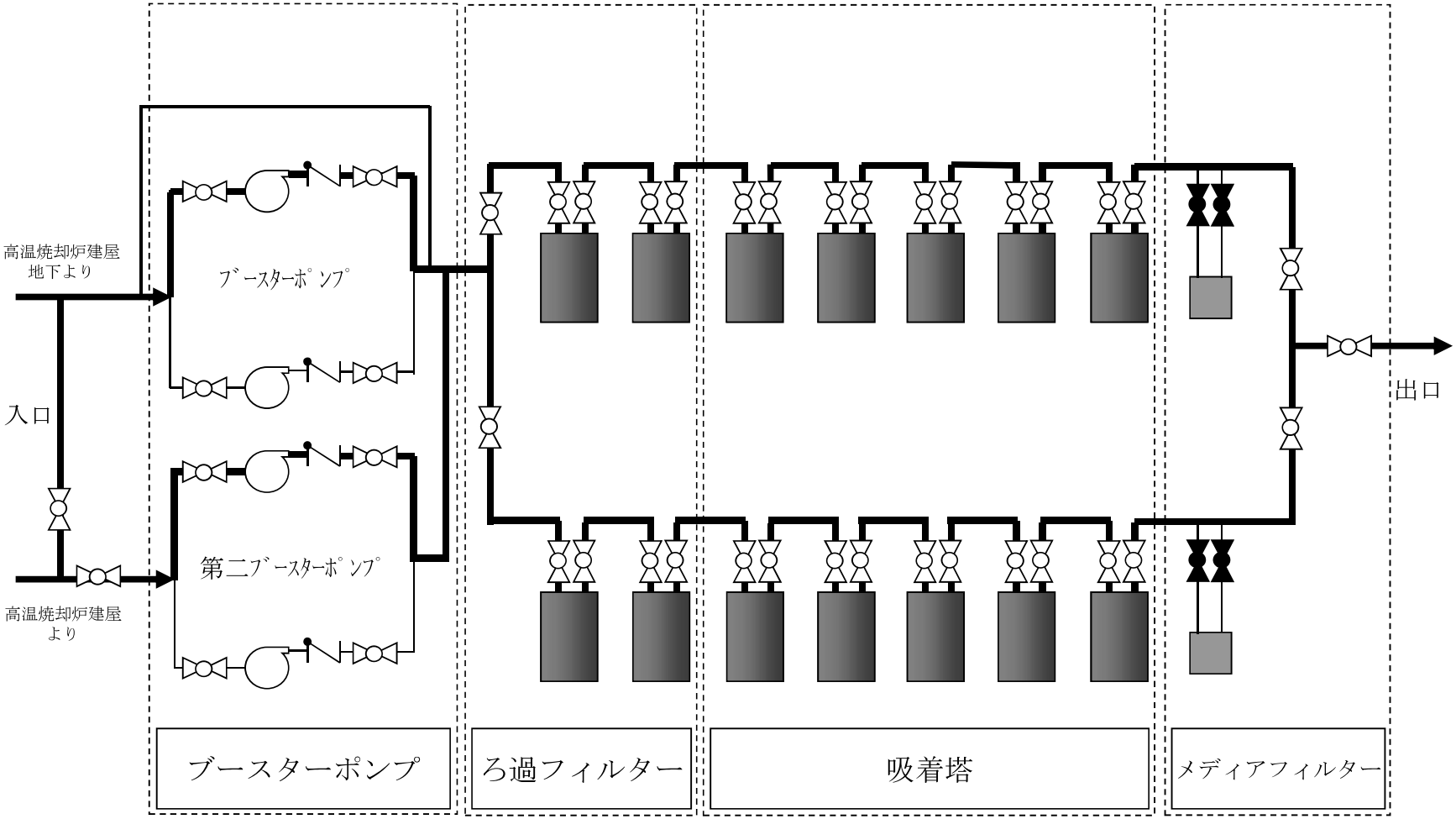
図－３　処理装置（セシウム吸着装置，第二セシウム吸着装置，第三セシウム吸着装置，除染装置）の系統構成図（１／２）



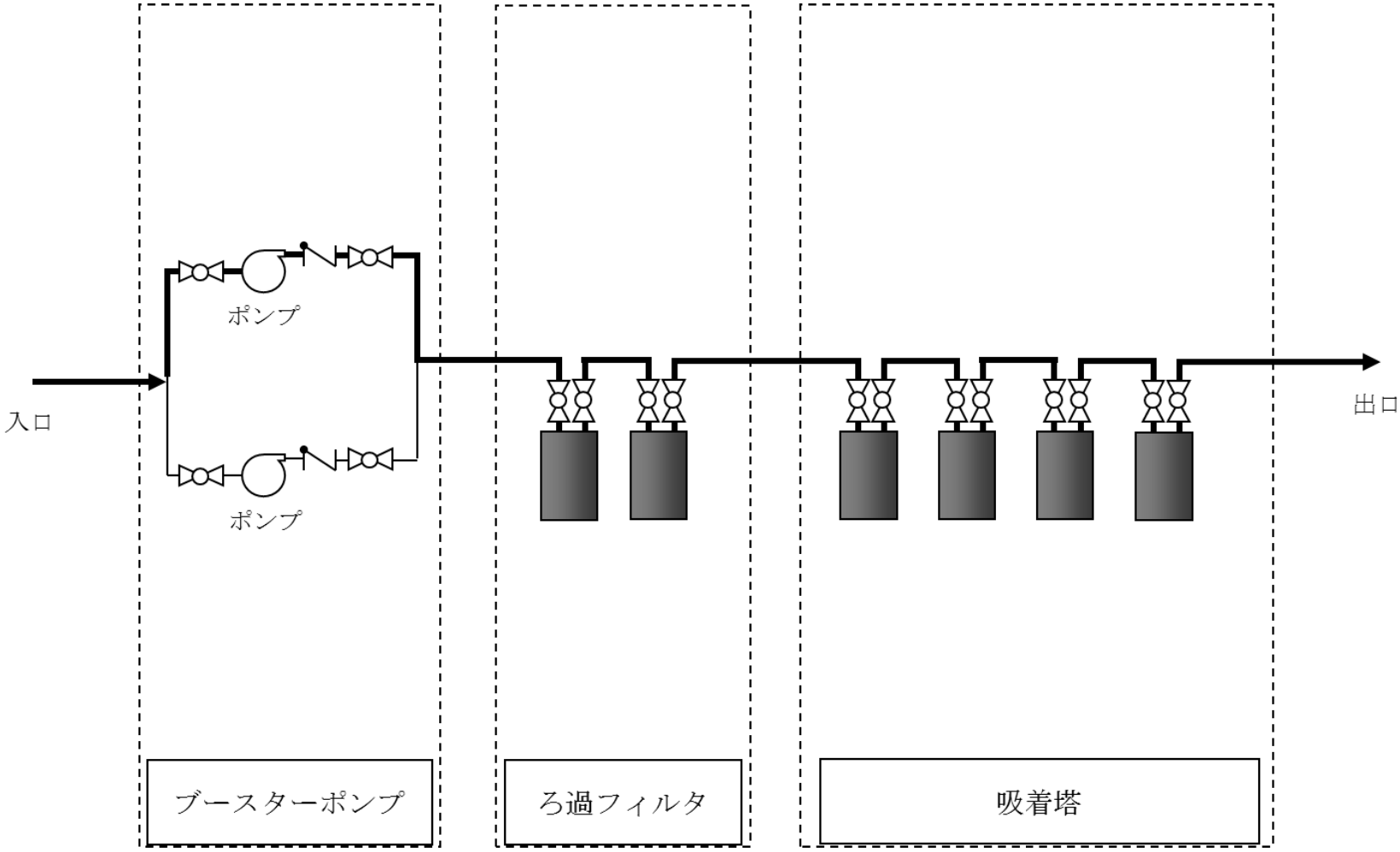
図－３　処理装置（セシウム吸着装置，第二セシウム吸着装置，第三セシウム吸着装置，除染装置）の系統構成図（２／２）



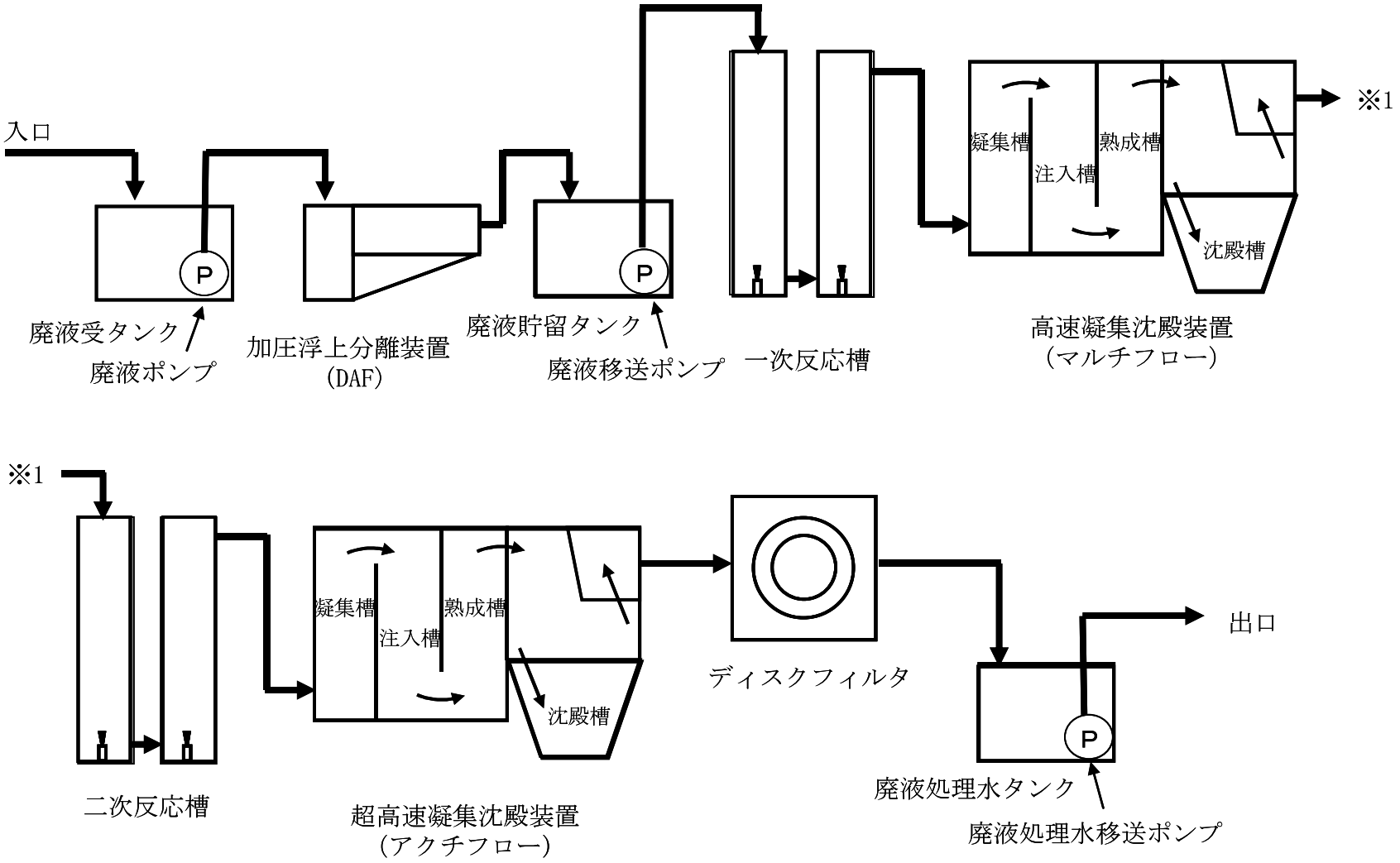
図－４　セシウム吸着装置の系統構成図



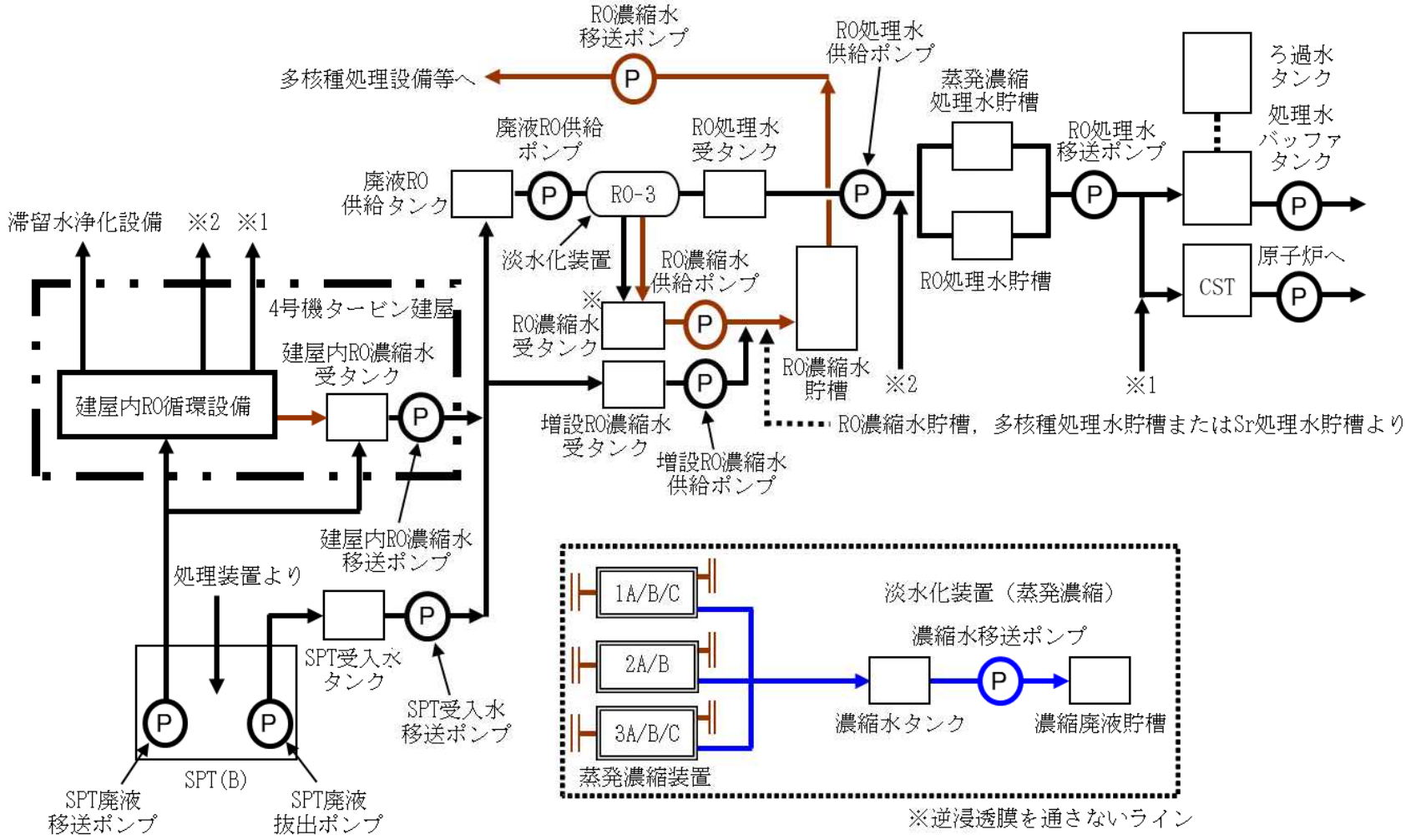
図－５　第二セシウム吸着装置の系統構成図



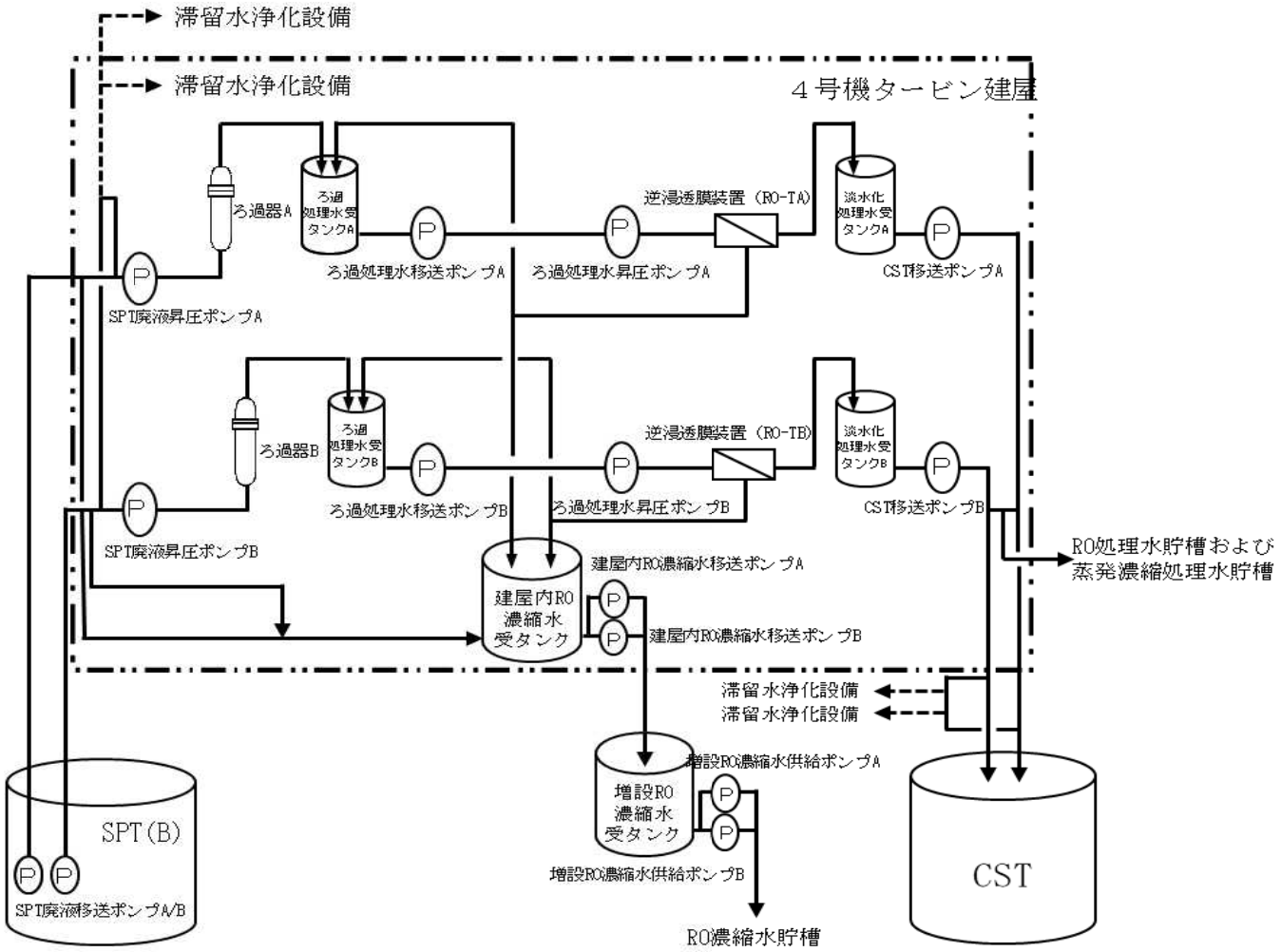
図－６　第三セシウム吸着装置の系統構成図



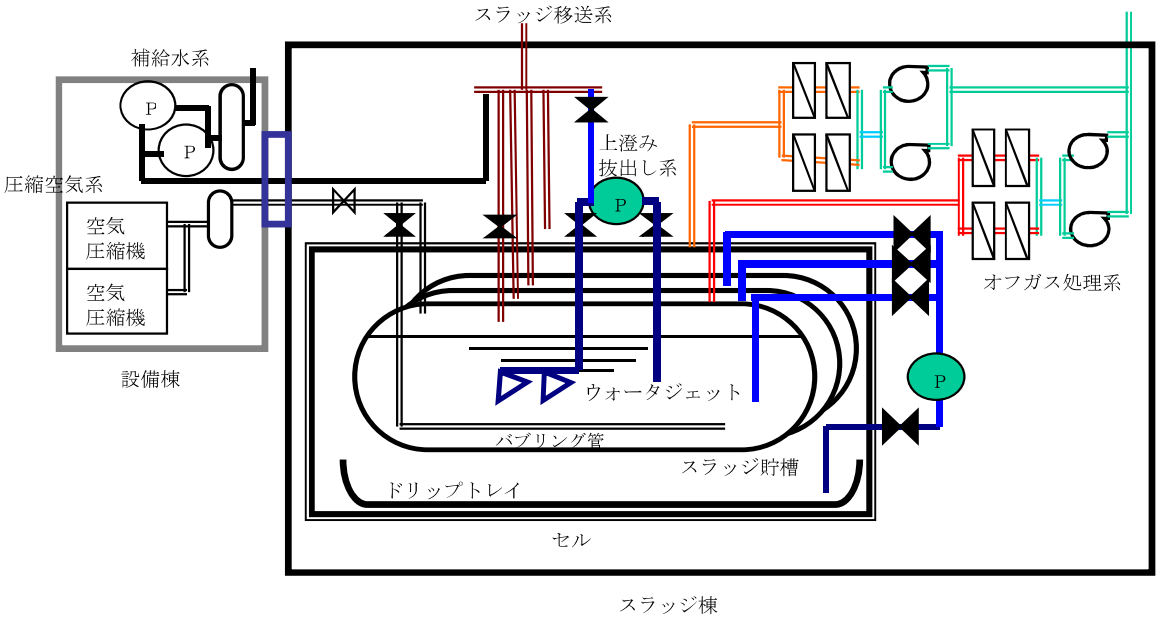
図－７　除染装置の系統構成図



図－８　淡水化装置（逆浸透膜装置，蒸発濃縮装置）及び滞留水浄化設備の系統構成図（1/2）

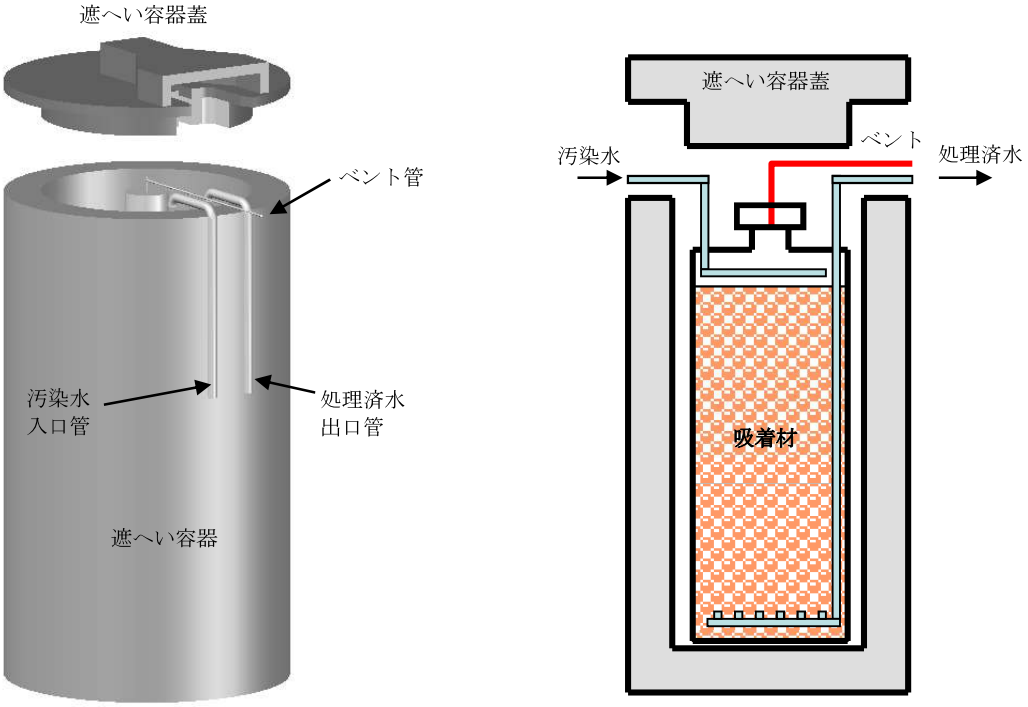


図－８　淡水化装置（逆浸透膜装置，蒸発濃縮装置）及び滞留水浄化設備の系統構成図（2/2）
（滞留水浄化設備の範囲について点線で示す。）

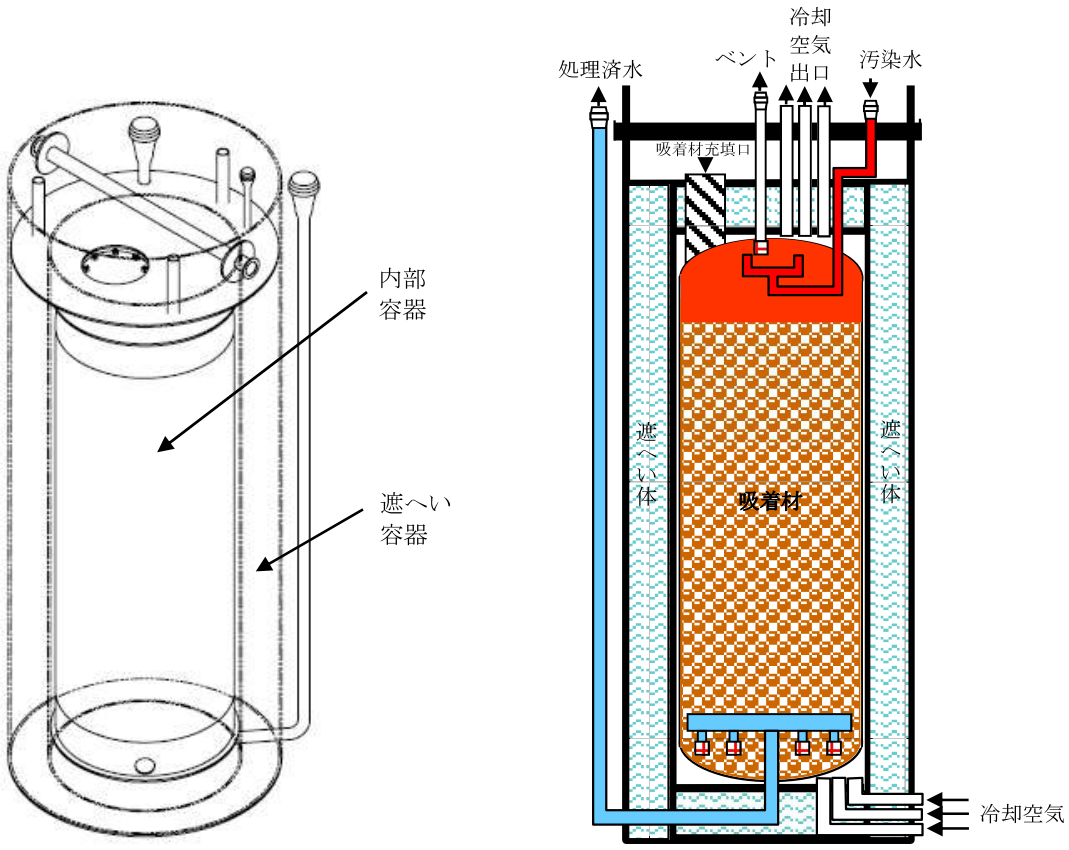


図－９　廃スラッジ一時保管施設概要図

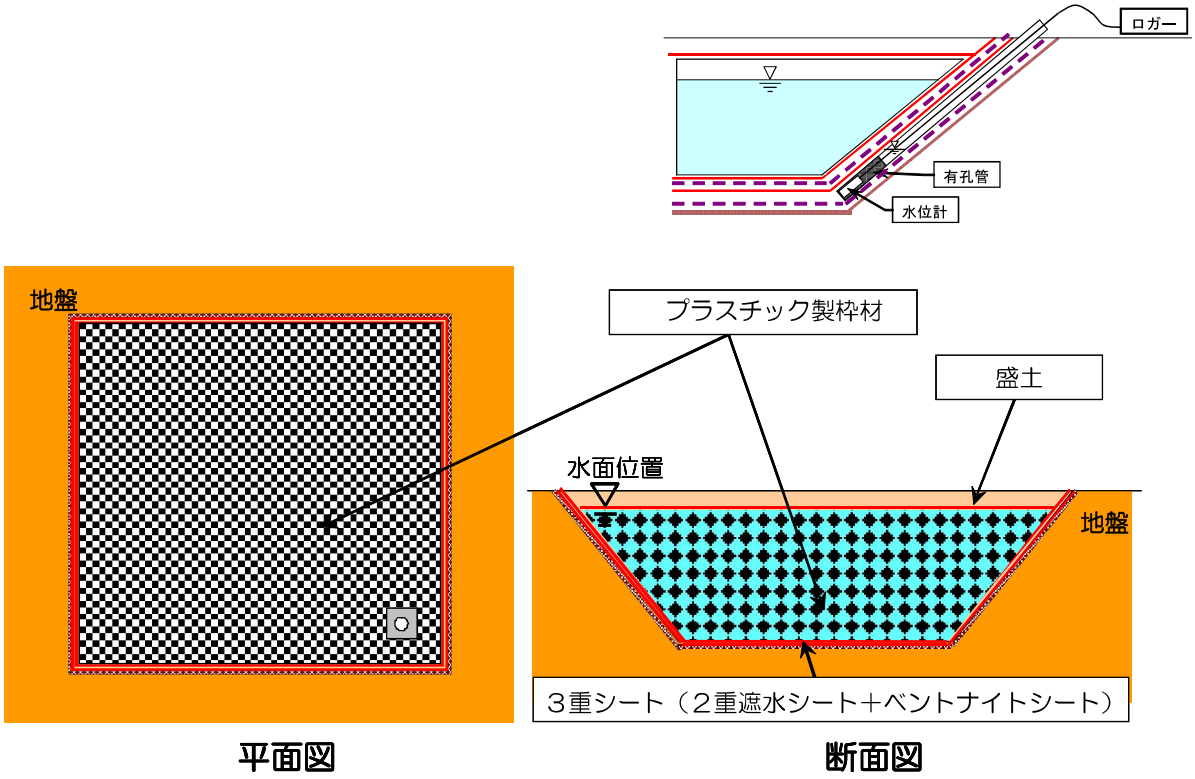
主要設備概要図



図－１　セシウム吸着装置の吸着塔外形図及び概要図



図－２　第二セシウム吸着装置の吸着塔外形図及び概要図

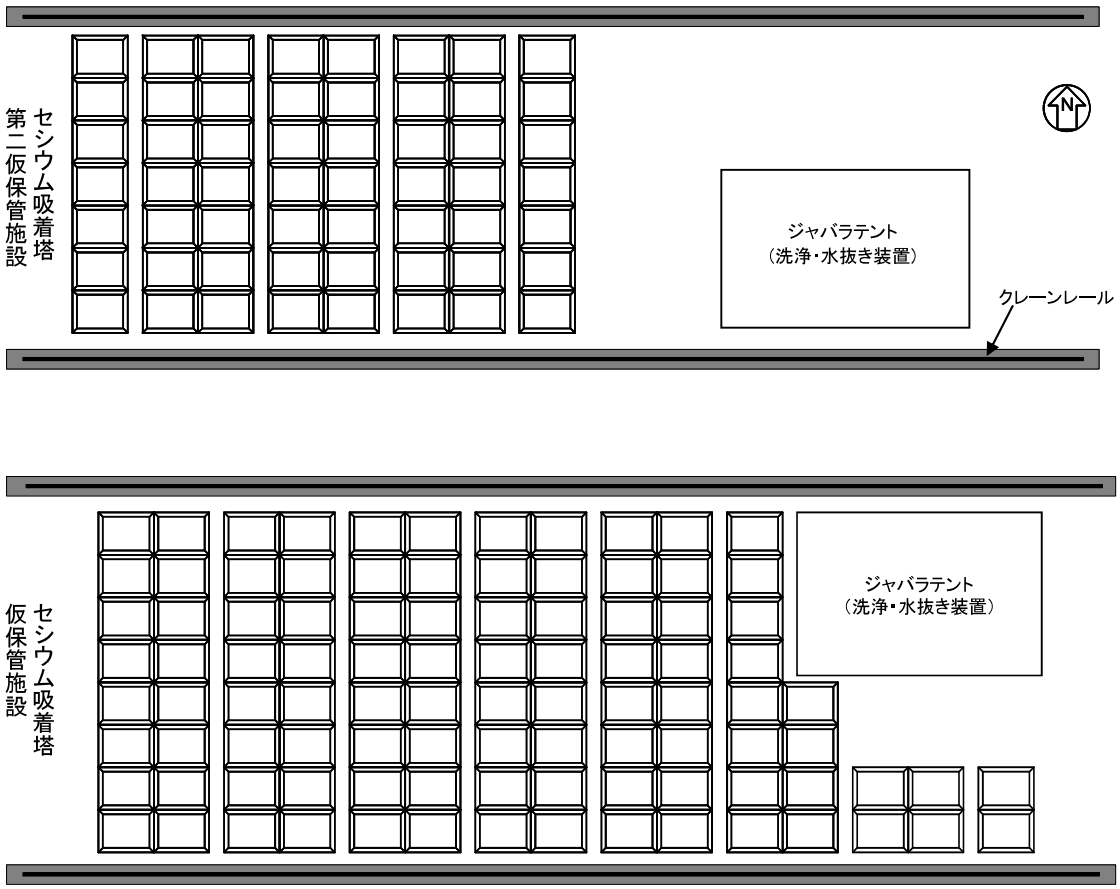


(a) 地下貯水槽概要

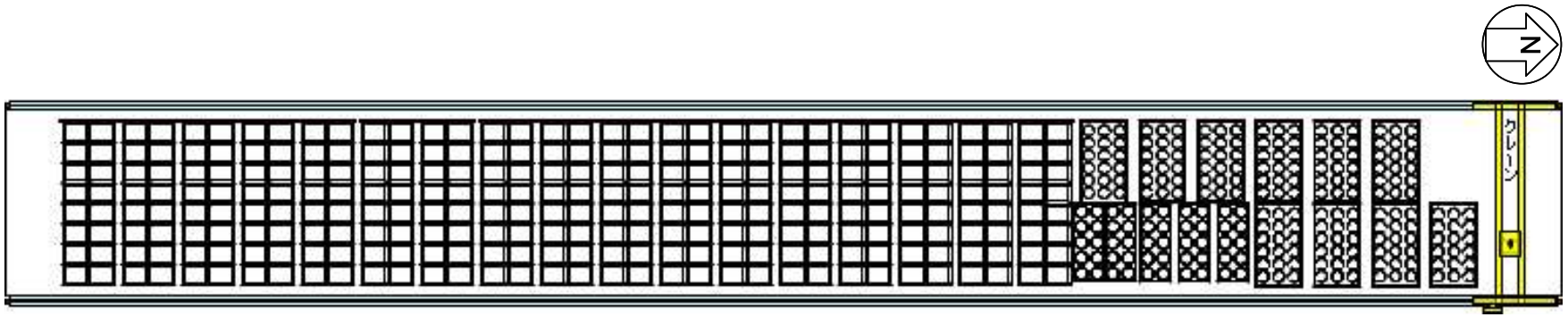


(b) 設置位置

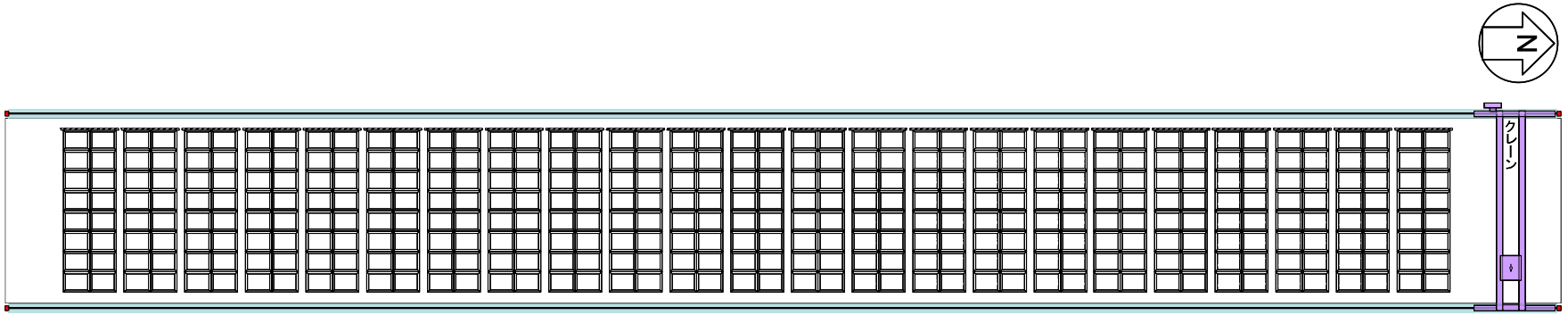
図－３　地下貯水槽概要及び設置位置



図－４　使用済セシウム吸着塔仮保管施設

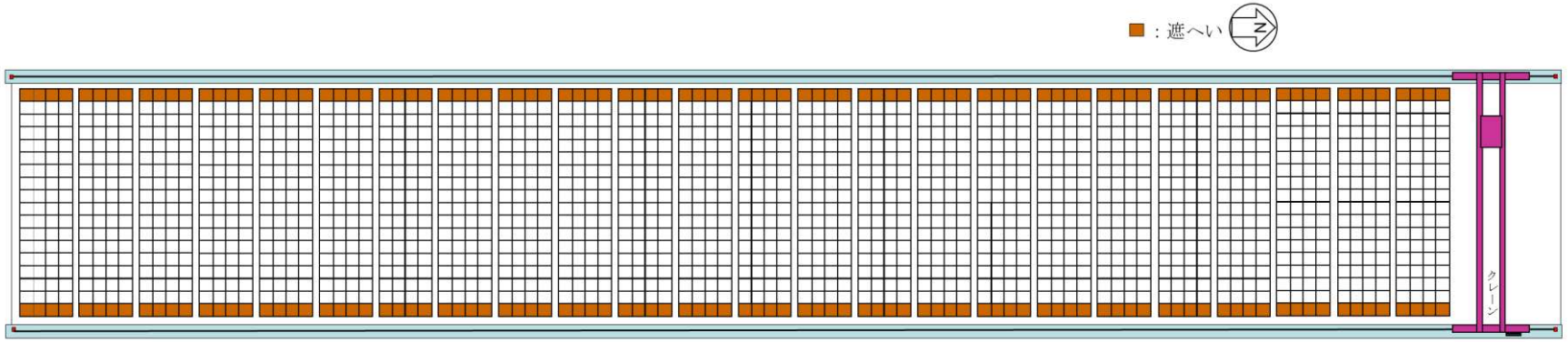


(a)　第一施設

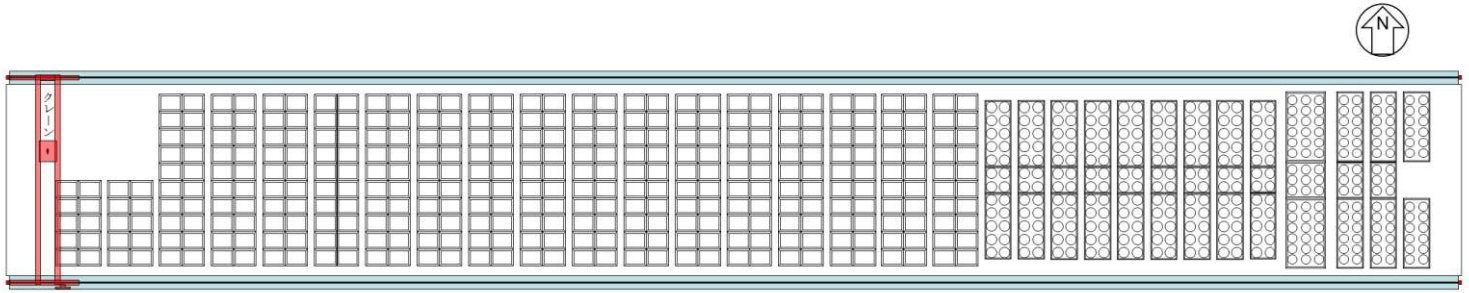


(b)　第二施設

図－５　使用済セシウム吸着塔一時保管施設概要図（１／２）



(c)　第三施設



(d)　第四施設

図－５　使用済セシウム吸着塔一時保管施設概要図　（２／２）

汚染水処理設備等に関する構造強度及び耐震性等の評価結果

汚染水処理設備等を構成する設備について,構造強度評価の基本方針及び耐震性評価の基本方針に基づき構造強度及び耐震性等の評価を行う。

1. 汚染水処理設備，貯留設備（タンク等）及び関連設備（移送配管，移送ポンプ等）

1.1. 基本方針

1.1.1. 構造強度評価の基本方針

a. 震災以降緊急対応的に設置又は既に（平成 25 年 8 月 14 日より前に）設計に着手した機器等

汚染水処理設備，貯留設備及び関連設備を構成する機器は,「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令」において，廃棄物処理設備に相当するクラス 3 機器に準ずるものと位置付けられる。クラス 3 機器の適用規格は,「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格　設計・建設規格」(以下,「JSME 規格」という。）で規定される。

しかしながら,震災以降緊急対応的にこれまで設置してきた機器等は,必ずしも JSME 規格に従って設計・製作・検査をされたものではなく，日本産業規格（JIS）や日本水道協会規格等の国内外の民間規格，製品の試験データ等を踏まえ，福島第一原子力発電所構内の作業環境，機器等の設置環境や時間的裕度を勘案した中で設計・製作・検査を行ってきている。

汚染水処理設備，貯留設備及び関連設備を構成する機器は，高濃度の汚染水を内包するため，バウンダリ機能の健全性を確認する観点から，設計された肉厚が十分であることを確認している。また，溶接部については，耐圧・漏えい試験等を行い，有意な変形や漏えい等のないことを確認している。

機器等の経年劣化に対しては，適切な保全を実施することで健全性を維持していく。

b. 今後（平成 25 年 8 月 14 日以降）設計する機器等

汚染水処理設備，貯留設備及び関連設備を構成する機器は,「実用発電用原子炉及びその付属設備の技術基準に関する規則」において，廃棄物処理設備に相当するクラス 3 機器に準ずるものと位置付けられる。クラス 3 機器の適用規格は,「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格　設計・建設規格」等（以下,「JSME 規格」という。）で規定される。

汚染水処理設備等は，地下水等の流入により増加する汚染水の対応が必要であり，短期間での機器の設置が求められる。また，汚染水漏えい等のトラブルにより緊急的な対応が必要となることもある。

従って，今後設計する機器等については，JSME 規格に限定するものではなく，日本

産業規格（JIS）等の国内外の民間規格に適合した工業用品の採用，或いは American Society of Mechanical Engineers（ASME 規格），日本産業規格（JIS），またはこれらと同等の技術的妥当性を有する規格での設計・製作・検査を行う。溶接（溶接施工法および溶接士）は JSME 規格，American Society of Mechanical Engineers（ASME 規格），日本産業規格（JIS），および発電用火力設備に関する技術基準を定める省令にて認証された溶接，または同等の溶接とする。また，JSME 規格で規定される材料の日本産業規格（JIS）年度指定は，技術的妥当性の範囲において材料調達性の観点から考慮しない場合もある。

さらに，今後も JSME 規格に記載のない非金属材料（耐圧ホース，ポリエチレン管等）については，現場の作業環境等から採用を継続する必要があるが，これらの機器等については，日本産業規格（JIS）や日本水道協会規格，製品の試験データ等を用いて設計を行う。

1.1.2. 耐震性評価の基本方針

汚染水処理設備等を構成する機器は，その安全機能の重要度，地震によって機能の喪失を起こした場合の安全上の影響（公衆への被ばく影響）や廃炉活動への影響等を考慮した上で，核燃料物質を非密封で扱う燃料加工施設や使用施設等における耐震クラス分類を参考にして適切な耐震設計上の区分を行うとともに，適切と考えられる設計用地震力に十分耐えられる設計とする。要求される地震力に対して耐震性を確保できない場合は，その影響について評価を行う。支持部材がない等の理由によって，耐震性に関する評価ができない設備を設置する場合においては，可撓性を有する材料を使用するなどし，耐震性を確保する。

なお，汚染水処理設備等のうち高濃度の滞留水を扱う設備等については，参考としてＳクラス相当の評価を行う。

1.2. 評価結果

1.2.1. 滞留水移送装置

(1)構造強度評価

材料証明書がなく，設計・建設規格におけるクラス 3 機器の要求を満足するものではないが，漏えい試験等を行い，有意な変形や漏えい，運転状態に異常がないことを確認した。従って，滞留水移送装置は必要な構造強度を有すると評価した。

(2)耐震性評価

移送ポンプは，水中ポンプのため地震により有意な応力は発生しない。

1.2.2. 油分分離装置

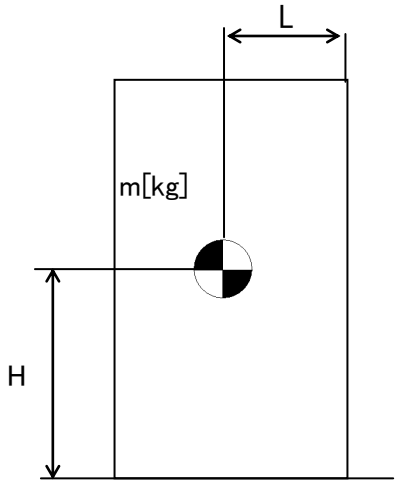
(1)構造強度評価

材料証明書がなく，設計・建設規格におけるクラス 3 機器の要求を満足するものではないが，漏えい試験等を行い，有意な変形や漏えい，運転状態に異常がないことを確認した。従って，油分分離装置は必要な構造強度を有すると評価した。

(2)耐震性評価

a. 転倒評価

地震による転倒モーメントと自重による安定モーメントを算出し，それらを比較することにより転倒評価を実施した。評価の結果，地震による転倒モーメントは自重による安定モーメントより小さいことから，転倒しないことを確認した（表－１）。



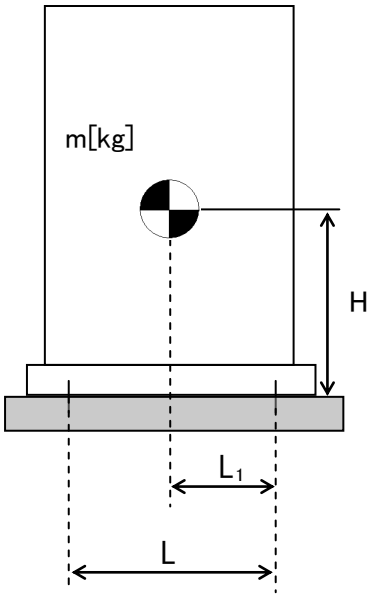
m ： 機器質量
g ： 重力加速度
H ： 据付面からの重心までの距離
L ： 転倒支点から機器重心までの距離
C_H ： 水平方向設計震度

地震による転倒モーメント：M_1[N・m]=m×g×C_H×H

自重による安定モーメント：M_2[N・m]=m×g×L

b. 基礎ボルトの強度評価

耐震設計技術規程の強度評価方法に準拠して評価を実施した。評価の結果，基礎ボルトの強度が確保されることを確認した（表－１）。



m ： 機器質量
g ： 重力加速度
H ： 据付面からの重心までの距離
L ： 基礎ボルト間の水平方向距離
L_1 ： 重心と基礎ボルト間の水平方向距離
n_f ： 引張力の作用する基礎ボルトの評価本数
n ： 基礎ボルトの本数
A_b ： 基礎ボルトの軸断面積
C_H ： 水平方向設計震度
C_V ： 鉛直方向設計震度

基礎ボルトに作用する引張力： $F_b = \frac{1}{L}\left(m \times g \times C_H \times H - m \times g \times (1 - C_V) \times L_1\right)$

基礎ボルトの引張応力： $\sigma_b = \frac{F_b}{n_f \times A_b}$

基礎ボルトのせん断応力： $\tau_b = \frac{m \times g \times C_H}{n \times A_b}$

表－１　油分分離装置耐震評価結果

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
油分分離装置	本体	転倒	0.36	50	83	kN･m
			0.57	79		
	基礎ボルト	せん断	0.36	24	129	MPa
			0.57	37		
		引張	0.36	<0	－	MPa
			0.57	<0		

1.2.3. 処理装置（セシウム吸着装置）

(1)構造強度評価

材料証明書がなく，設計・建設規格におけるクラス 3 機器の要求を満足するものではないが，漏えい試験等を行い，有意な変形や漏えい，運転状態に異常がないことを確認した。

また，吸着塔の円筒型容器については，設計・建設規格に準拠し，板厚評価を実施した。評価の結果，内圧に耐えられることを確認した（表－２）。

$$t = \frac{PDi}{2S\eta - 1.2P}$$

t ： 胴の計算上必要な厚さ
Di ： 胴の内径
P ： 最高使用圧力
S ： 最高使用温度における材料の許容引張応力
η ： 長手継手の効率

ただし， t の値は炭素鋼，低合金鋼の場合は t =3[mm]以上，その他の金属の場合は t=1.5[mm]以上とする。

表－２　セシウム吸着装置構造強度結果

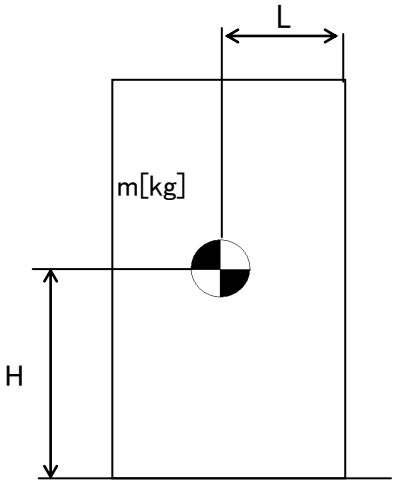
機器名称	評価部位	必要肉厚[mm]	実厚[mm]
セシウム吸着装置 吸着塔	板厚	6.8	9.5※

※　最小値

(2)耐震性評価

a. 転倒評価

地震による転倒モーメントと自重による安定モーメントを算出し，それらを比較することにより転倒評価を行った。評価の結果，地震による転倒モーメントは自重による安定モーメントより小さいことから，転倒しないことを確認した（表－３）。



m ： 機器質量
g ： 重力加速度
H ： 据付面からの重心までの距離
L ： 転倒支点から機器重心までの距離
C_H ： 水平方向設計震度

地震による転倒モーメント：M_1[N・m]=m×g×C_H×H
自重による安定モーメント：M_2[N・m]=m×g×L

b. 滑動評価

地震時の水平荷重によるすべり力と接地面の摩擦力を比較することにより，滑動評価を実施した。評価の結果,地震時の水平荷重によるすべり力は接地面の摩擦力より小さいことから,滑動しないことを確認した（表－３）。なお，S クラス相当の評価では,セシウム吸着塔において地震時の水平荷重によるすべり力が接地面の摩擦力より大きくなったことから，FEM によるによるトラニオンとピンガイドの強度評価を行った。

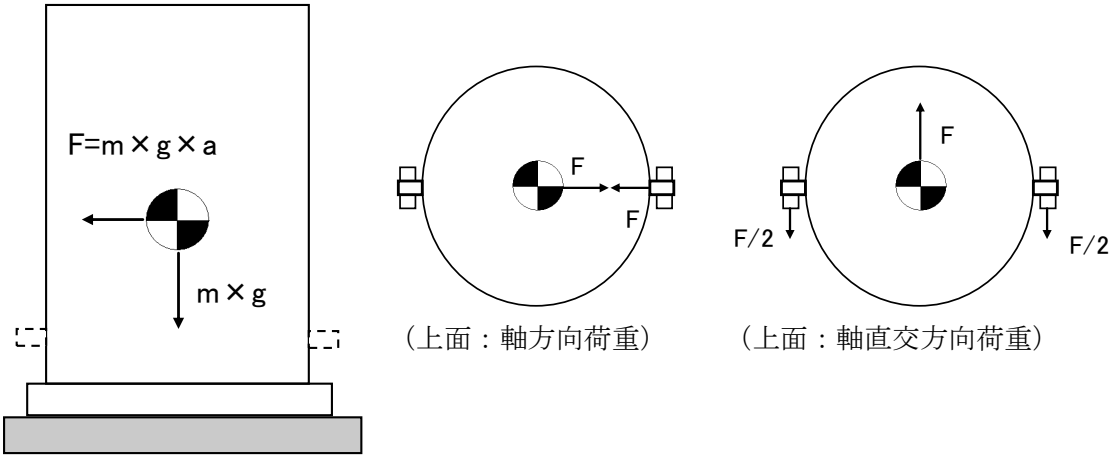
地震時の水平荷重によるすべり力：F_L＝C_H×m×g
接地面の摩擦力：F_μ＝μ ×m×g

m ： 機器質量
g ： 重力加速度
C_H ： 水平方向設計震度
μ ： 摩擦係数

c.　FEM によるトラニオンとピンガイドの強度評価

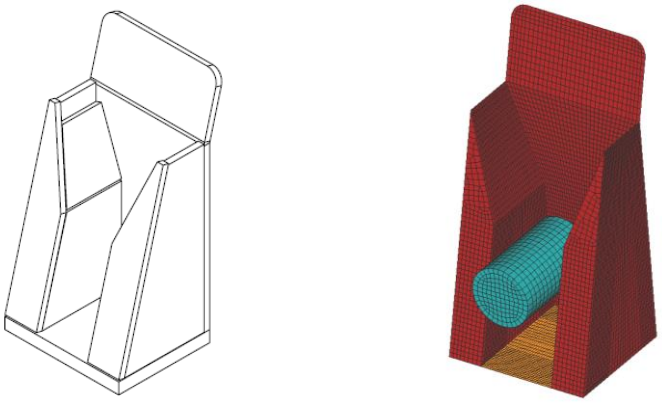
セシウム吸着塔は，本体下部に位置決めのためのトラニオンが施工されており，スキッド側ピンガイドと取合構造となっている（図－１参照）。

b. 滑動評価において，地震時の水平荷重によるすべり力が接地面の摩擦力より大きくなったことから，軸方向荷重及び軸直交方向荷重を想定し，トラニオンとピンガイドの強度を FEM により確認する。なお，FEM モデルは，ピンガイドについては各部材の中立面にシェル要素で，トラニオンはソリッド要素で作成した（図－２参照）。FEM による強度評価の結果ピンガイドは破断せず吸着塔を支持することを確認した（表－３）。



（側面）　（上面：軸方向荷重）　（上面：軸直交方向荷重）

図－１　トラニオン～ピンガイド概要

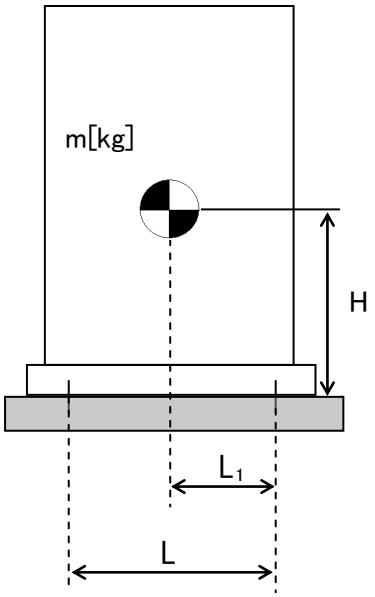


（図面）　（FEM モデル）

図－２　FEM モデル形状

d. 基礎ボルトの強度評価

耐震設計技術規程の強度評価方法に準拠して評価を実施した。評価の結果，基礎ボルトの強度が確保されることを確認した（表－３）。



m ： 機器質量
g ： 重力加速度
H ： 据付面からの重心までの距離
L ： 基礎ボルト間の水平方向距離
L_1 ： 重心と基礎ボルト間の水平方向距離
n_f ： 引張力の作用する基礎ボルトの評価本数
n ： 基礎ボルトの本数
A_b ： 基礎ボルトの軸断面積
C_H ： 水平方向設計震度
C_V ： 鉛直方向設計震度

基礎ボルトに作用する引張力： $F_b = \frac{1}{L}\left(m \times g \times C_H \times H - m \times g \times (1 - C_V) \times L_1\right)$

基礎ボルトの引張応力： $\sigma_b = \frac{F_b}{n_f \times A_b}$

基礎ボルトのせん断応力： $\tau_b = \frac{m \times g \times C_H}{n \times A_b}$

表－３　セシウム吸着装置耐震評価結果

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
セシウム吸着塔	本体	転倒	0.36	90	130	kN･m
			0.51	128		
		滑動	0.36	0.36	0.52	－
			0.57	0.57		
	ピンガイド	相当応力	0.57	182	Sy=159 Su=459	MPa
スキッド	本体	転倒	0.36	513	881	kN･m
			0.57	811		
	基礎	転倒	0.36	616	958	kN･m
			0.57	975		
	基礎ボルト	せん断	0.36	33	129	MPa
			0.57	52		
		引張	0.36	<0	－	MPa
			0.57	2	152	
セシウム吸着処理水タンク	本体	転倒	0.36	144	175	kN･m
			0.57	227		
	基礎ボルト	せん断	0.36	19	129	MPa
			0.57	30		
		引張	0.36	<0	－	MPa
			0.57	23	168	
セシウム吸着処理水移送ポンプ	本体	転倒	0.36	2.1	7.2	kN･m
			0.57	3.4		
	基礎ボルト	せん断	0.36	6	129	MPa
			0.57	9		
		引張	0.36	<0	－	MPa
			0.57	<0		

1.2.4. 処理装置（第二セシウム吸着装置）

(1)構造強度評価

材料証明書がなく，設計・建設規格におけるクラス 3 機器の要求を満足するものではないが，漏えい試験等を行い，有意な変形や漏えい，運転状態に異常がないことを確認した。

また，吸着塔の円筒形容器については，設計・建設規格に準拠し，板厚評価を実施した。評価の結果，内圧に耐えられることを確認した（表－４）。

$$t = \frac{PDi}{2S\eta - 1.2P}$$

t ： 胴の計算上必要な厚さ
Di ： 胴の内径
P ： 最高使用圧力
S ： 最高使用温度における材料の許容引張応力
η ： 長手継手の効率

ただし， t の値は炭素鋼，低合金鋼の場合は t =3[mm]以上，その他の金属の場合は t=1.5[mm]以上とする。

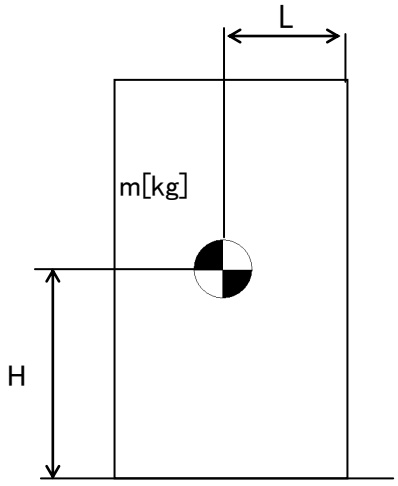
表－４　第二セシウム吸着装置構造強度結果

機器名称	評価部位	必要肉厚[mm]	実厚[mm]
第二セシウム吸着装置 吸着塔	板厚	9.6	12

(2)耐震性評価

a. 転倒評価

地震による転倒モーメントと自重による安定モーメントを算出し，それらを比較することにより転倒評価を実施した。評価の結果，地震による転倒モーメントは自重による安定モーメントより小さいことから，転倒しないことを確認した（表－５）。

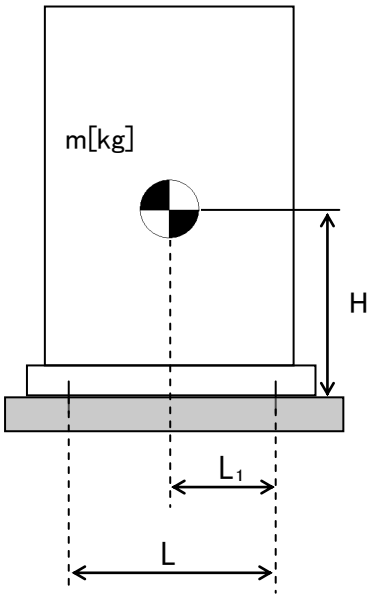


m　：　機器質量
g　：　重力加速度
H　：　据付面からの重心までの距離
L　：　転倒支点から機器重心までの距離
C_H　：　水平方向設計震度

地震による転倒モーメント：M_1[N・m]=m×g×C_H×H
自重による安定モーメント：M_2[N・m]=m×g×L

b. 基礎ボルトの強度評価

耐震設計技術規程の強度評価方法に準拠して評価を実施した。評価の結果，基礎ボルトの強度が確保されることを確認した（表－５）。



m　：　機器質量
g　：　重力加速度
H　：　据付面からの重心までの距離
L　：　基礎ボルト間の水平方向距離
L_1　：　重心と基礎ボルト間の水平方向距離
n_f：　引張力の作用する基礎ボルトの評価本数
n　：　基礎ボルトの本数
A_b　：　基礎ボルトの軸断面積
C_H　：　水平方向設計震度
C_V　：　鉛直方向設計震度

基礎ボルトに作用する引張力： $F_b = \frac{1}{L}\left(m \times g \times C_H \times H - m \times g \times (1 - C_V) \times L_1\right)$

基礎ボルトの引張応力： $\sigma_b = \frac{F_b}{n_f \times A_b}$

基礎ボルトのせん断応力： $\tau_b = \frac{m \times g \times C_H}{n \times A_b}$

表－５　第二セシウム吸着装置耐震評価結果

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
第二セシウム吸着塔	本体	転倒	0.36	144	169	kN･m
			0.42	168		
	基礎ボルト	せん断	0.36	71	133	MPa
			0.55	108		
		引張	0.36	<0	69	MPa
			0.55	68		
ポンプスキッド	本体	転倒	0.36	3.9	6.9	kN･m
			0.60	6.4		
	基礎ボルト	せん断	0.36	4	133	MPa
			0.60	7		
		引張	0.36	<0	－	MPa
			0.60	<0		

1.2.5. 処理装置（除染装置）

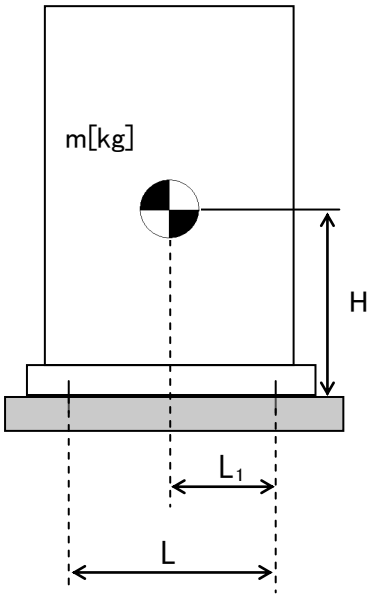
(1)構造強度評価

材料証明書がなく，設計・建設規格におけるクラス 3 機器の要求を満足するものではないが，漏えい試験等を行い，有意な変形や漏えい，運転状態に異常がないことを確認した。従って，除染装置は必要な構造強度を有すると評価した。

(2)耐震性評価

a. 基礎ボルトの強度評価

耐震設計技術規程の強度評価方法に準拠して評価を実施した。評価の結果，基礎ボルトの強度が確保されることを確認した（表－６）。



m ： 機器質量
g ： 重力加速度
H ： 据付面からの重心までの距離
L ： 基礎ボルト間の水平方向距離
L_1 ： 重心と基礎ボルト間の水平方向距離
n_f ： 引張力の作用する基礎ボルトの評価本数
n ： 基礎ボルトの本数
A_b ： 基礎ボルトの軸断面積
C_H ： 水平方向設計震度
C_V ： 鉛直方向設計震度

基礎ボルトに作用する引張力： $F_b = \frac{1}{L}\left(m \times g \times C_H \times H - m \times g \times (1 - C_V) \times L_1\right)$

基礎ボルトの引張応力： $\sigma_b = \frac{F_b}{n_f \times A_b}$

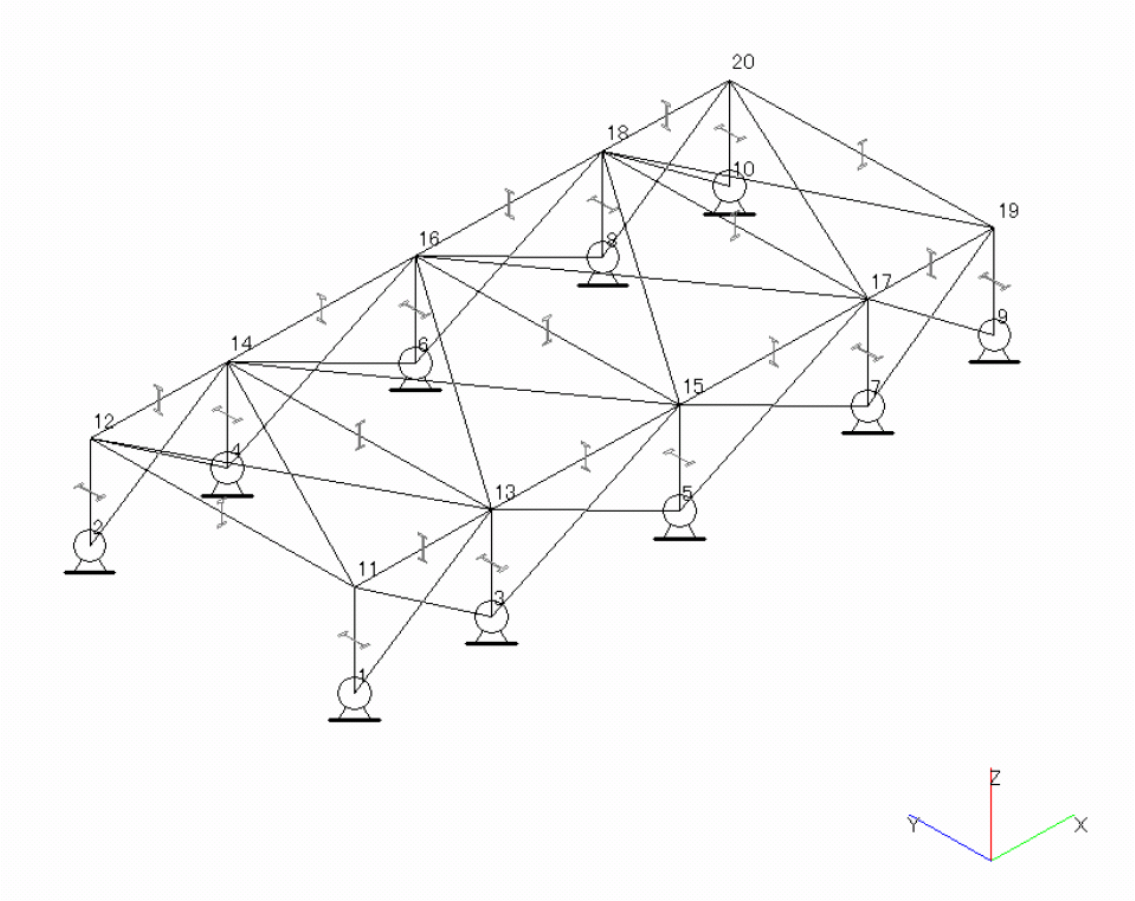
基礎ボルトのせん断応力： $\tau_b = \frac{m \times g \times C_H}{n \times A_b}$

b. 有限要素法によるフレーム構造解析を用いた基礎ボルト強度評価

主要設備についてはコンクリートにアンカーを打った上で架台にて強固に据え付けられていることから，加圧浮上分離装置（ＤＡＦ），凝集沈殿装置（アクチフロー），ディスクフィルタについて有限要素法によるフレーム構造解析を用いて基礎ボルトの強度評価を実施した。評価の結果，基礎ボルトの強度に問題がないことを確認した（表－６）。

① 加圧浮上分離装置（DAF）

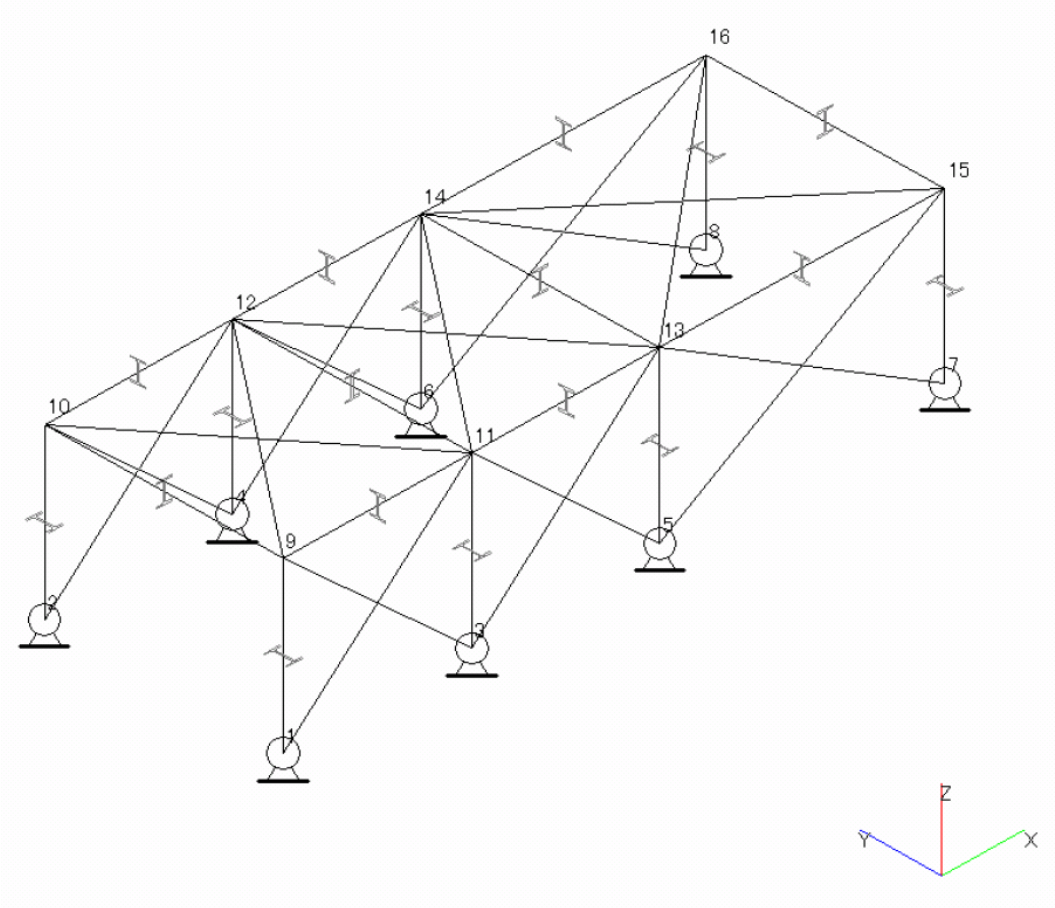
設計用水平震度：0.6G



図－３　加圧浮上分離装置（DAF）解析モデル

② 凝集沈殿装置（アクチフロー）

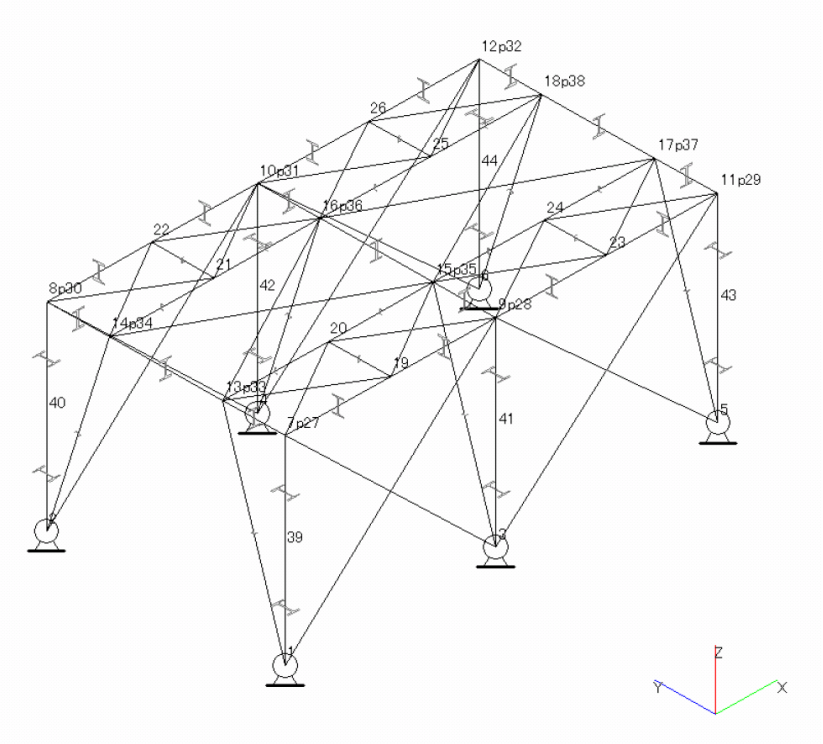
設計用水平震度：0.6G



図－４　凝集沈殿装置（アクチフロー）解析モデル

③ ディスクフィルタ

設計用水平震度：0.6G



図－５　ディスクフィルタ解析モデル

c．架台強度評価

加圧浮上分離装置（ＤＡＦ），凝集沈殿装置（マルチフロー），凝集沈殿装置（アクチフロー），ディスクフィルタについて有限要素法によるフレーム構造解析を用いて各部材に発生するたわみ量の評価を実施した。評価の結果，架台強度に問題がないことを確認した（表－６）。

表－６　除染装置耐震評価結果

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
加圧浮上分離装置 (DAF)	架台（柱脚）	変位	0.60	1/290	1/120	変位量
	基礎 ボルト	せん断	0.60	27	118	MPa
		引張	0.60	6	153	MPa
反応槽	基礎 ボルト	せん断	0.36	49	118	MPa
			0.50	68		
		引張	0.36	17	135	MPa
			0.50	76	105	
凝集沈殿装置 (マルチフロー)	本体（壁パネル）	変位	0.60	1/515	1/120	変位量
	基礎 ボルト	せん断	0.36	71	135	MPa
			0.60	119		
		引張	0.36	<0	－	MPa
			0.60	7	56	
凝集沈殿装置 (アクチフロー)	架台（柱脚）	変位	0.6	1/936	1/120	変位量
	基礎 ボルト	せん断	0.60	38	118	MPa
		引張	0.60	51	153	MPa
ディスク フィルタ	架台（柱脚）	変位	0.6	1/527	1/120	変位量
	基礎 ルト	せん断	0.60	44	118	MPa
		引張	0.60	19	143	MPa

1.2.6. 淡水化装置

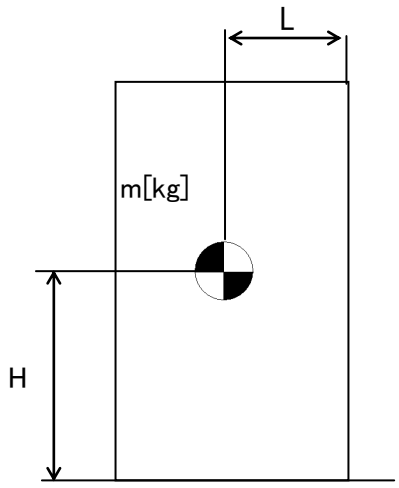
(1)構造強度評価

材料証明書がなく，設計・建設規格におけるクラス 3 機器の要求を満足するものではないが，漏えい試験等を行い，有意な変形や漏えい，運転状態に異常がないことを確認した。従って，淡水化装置は必要な構造強度を有すると評価した。

(2)耐震性評価

a. 転倒評価

地震による転倒モーメントと自重による安定モーメントを算出し，それらを比較することにより転倒評価を実施した。評価の結果，地震による転倒モーメントは自重による安定モーメントより小さいことから，転倒しないことを確認した（表－７）。

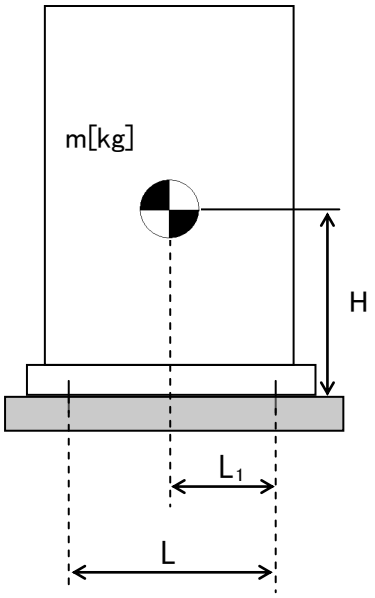


m ： 機器質量
g ： 重力加速度
H ： 据付面からの重心までの距離
L ： 転倒支点から機器重心までの距離
C_H ： 水平方向設計震度

地震による転倒モーメント：M_1[N・m]=m×g×C_H×H
自重による安定モーメント：M_2[N・m]=m×g×L

b. 基礎ボルトの強度評価

耐震設計技術規程の強度評価方法に準拠して評価を実施した。評価の結果，基礎ボルトの強度が確保されることを確認した（表－７）。



m ： 機器質量
g ： 重力加速度
H ： 据付面からの重心までの距離
L ： 基礎ボルト間の水平方向距離
L_1 ： 重心と基礎ボルト間の水平方向距離
n_f ： 引張力の作用する基礎ボルトの評価本数
n ： 基礎ボルトの本数
A_b ： 基礎ボルトの軸断面積
C_H ： 水平方向設計震度
C_V ： 鉛直方向設計震度

基礎ボルトに作用する引張力： $F_b = \frac{1}{L}\left(m \times g \times C_H \times H - m \times g \times (1 - C_V) \times L_1\right)$

基礎ボルトの引張応力： $\sigma_b = \frac{F_b}{n_f \times A_b}$

基礎ボルトのせん断応力： $\tau_b = \frac{m \times g \times C_H}{n \times A_b}$

c. 滑動評価

地震時の水平荷重によるすべり力と接地面の摩擦力を比較することにより，滑動評価を実施した。評価の結果，地震時の水平荷重によるすべり力は接地面の摩擦力より小さいことから，滑動しないことを確認した（表－７）。

地震時の水平荷重によるすべり力：$F_L = C_H \times m \times g$
接地面の摩擦力：$F_\mu = \mu \times m \times g$

m ： 機器質量
g ： 重力加速度
C_H ： 水平方向設計震度
μ ： 摩擦係数

表－７　淡水化装置耐震評価結果（1/2）

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
SPT 受入水移送ポンプ	本体	転倒	0.36	0.21	0.77	m
廃液 RO 供給ポンプ	本体	転倒	0.36	0.21	0.92	m
RO 処理水供給ポンプ	本体	転倒	0.36	0.21	0.77	m
RO 処理水移送ポンプ	本体	転倒	0.36	0.47	0.77	m
RO 濃縮水供給ポンプ	本体	転倒	0.36	0.21	0.77	m
RO 濃縮水移送ポンプ（旧 RO 濃縮水貯槽移送ポンプ）	本体	転倒	0.36	0.36	0.77	m
RO 濃縮水移送ポンプ	本体	転倒	0.36	0.35	0.71	m
濃縮水移送ポンプ	本体	転倒	0.36	0.20	0.77	m
配管・弁モジュール	本体	転倒	0.36	0.19	0.28	m
逆浸透膜装置（RO-3）	本体	転倒	0.36	1.70	1.80	kN・m

表－７　淡水化装置耐震評価結果（2/2）

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
蒸発濃縮装置	基礎	せん断	0.36	30	131	MPa
（蒸発濃縮-1A）	ボルト	引張	0.36	<0	－	MPa
蒸発濃縮装置	基礎	せん断	0.36	39	131	MPa
（蒸発濃縮-1B）	ボルト	引張	0.36	<0	－	MPa
蒸発濃縮装置	基礎	せん断	0.36	36	131	MPa
（蒸発濃縮-1C）	ボルト	引張	0.36	<0	－	MPa
蒸発濃縮装置	本体	転倒	0.36	<0	－	kN
（蒸発濃縮-2A,B）	基礎	せん断	0.36	88	108	MPa
（濃縮装置）	ボルト	引張	0.36	<0	－	MPa
蒸発濃縮装置	本体	転倒	0.36	<0	－	kN
（蒸発濃縮-3A,B,C）	基礎	せん断	0.36	98	108	MPa
（濃縮装置）	ボルト	引張	0.36	<0	－	MPa

1.2.7. 廃止（高濃度滞留水受タンク）

1.2.8. 中低濃度タンク

(1)構造強度評価

震災以降緊急対応的に設置したものについては材料証明書がなく，設計・建設規格におけるクラス 3 機器の要求を満足するものではないが，水頭圧による漏えい試験を行い，有意な変形や漏えいがないことを確認した。また，タンクは全て大気開放のため，水頭圧以上の内圧が作用することは無い。

以上のことから，中低濃度タンクは必要な構造強度を有していると評価できる。

また，円筒型タンクについては，主要仕様から必要肉厚を評価し，十分な肉厚を有していることを確認した。

なお，サプレッションプール水サージタンクは，工事計画認可申請書（57 資庁第 2974 号　昭和 57 年 4 月 20 日認可）において確認を実施している。

a. 円筒型タンクの胴の厚さ評価

設計・建設規格に準拠し，板厚評価を実施した。評価の結果，水頭圧に耐えられることを確認した（表－８）。

$$t = \frac{DiH\rho}{0.204S\eta}$$

t　：胴の計算上必要な厚さ
Di　：胴の内径
H　：水頭
ρ　：液体の比重
S　：最高使用温度における材料の許容引張応力
η　：長手継手の効率

ただし，t の値は炭素鋼，低合金鋼の場合は t =3[mm]以上，その他の金属の場合は t=1.5[mm]以上とする。また，内径の区分に応じた必要厚さを考慮する。

表－８　円筒型タンクの胴の板厚評価結果

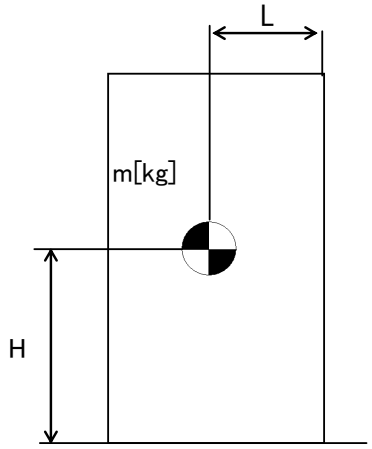
機器名称		評価部位	必要肉厚[mm]	実厚[mm]
RO 濃縮水貯槽 多核種処理水貯槽	1000m^3 容量 （溶接）	タンク板厚	9.6	12.0
		タンク板厚	9.8	12.0
濃縮廃液貯槽	100m^3 容量 円筒型（横置き）	タンク板厚	3.0	9.0

(2)耐震性評価

サプレッションプール水サージタンクは,工事計画認可申請書(57資庁第2974号　昭和57年4月20日認可）において確認を実施している。その他の中低濃度タンクに関する耐震性評価を以下に示す。

a. 転倒評価

地震による転倒モーメントと自重による安定モーメントを算出し，それらを比較することにより転倒評価を実施した。評価の結果，地震による転倒モーメントは自重による安定モーメントより小さいことから，転倒しないことを確認した（表－９）。



m　：　機器質量
g　：　重力加速度
H　：　据付面からの重心までの距離
L　：　転倒支点から機器重心までの距離
C_H　：　水平方向設計震度

地震による転倒モーメント：M_1[N・m]=m×g×C_H×H
自重による安定モーメント：M_2[N・m]=m×g×L

表－９ タンク・槽類の転倒評価結果

機器名称		評価部位	評価項目	水平地震動	算出値	許容値	単位
SPT 受入水タンク		本体	転倒	0.36	5.8×10^{2}	2.9×10^{3}	kN･m
廃液 RO 供給タンク	35m³容量	本体	転倒	0.36	1.8×10^{2}	4.2×10^{2}	kN･m
	40m³容量	本体	転倒	0.36	2.3×10^{2}	5.4×10^{2}	kN･m
	42m³容量	本体	転倒	0.36	2.0×10^{2}	5.5×10^{2}	kN･m
	110m³容量	本体	転倒	0.36	5.8×10^{2}	2.9×10^{3}	kN･m
RO 処理水受タンク		本体	転倒	0.36	5.8×10^{2}	2.9×10^{3}	kN･m
RO 濃縮水受タンク		本体	転倒	0.36	5.8×10^{2}	2.9×10^{3}	kN･m
RO 濃縮水貯槽	1000m³容量（溶接）	本体	転倒	0.36	2.4×10^{4}	7.4×10^{4}	kN･m
		本体	転倒	0.36	2.5×10^{4}	7.6×10^{4}	kN･m
多核種処理水貯槽	1000m³容量（溶接）	本体	転倒	0.36	2.4×10^{4}	7.4×10^{4}	kN･m
		本体	転倒	0.36	2.5×10^{4}	7.6×10^{4}	kN･m
濃縮水タンク		本体	転倒	0.36	2.1×10^{2}	5.4×10^{2}	kN･m
濃縮廃液貯槽		本体	転倒	0.36	1.1×10^{3}	2.3×10^{3}	kN･m

b. 廃止（基準地震動Ｓｓに対する評価）

フランジタンク撤去に伴い本内容を削除

1.2.9. 地下貯水槽

(1)構造強度評価

設計・建設規格におけるクラス 3 機器の要求を満足するものではないが，社団法人雨水貯留浸透技術協会「プラスチック製地下貯留浸透施設技術指針」に準じたプラスチック製枠材及び日本遮水工協会により製品認定を受けている遮水シートを使用することで，高い信頼性を確保する。

(2)耐震性評価

(2)-1.1. 評価の項目・目的

地下貯水槽の耐震性評価は次の 2 項目について実施する。

① 地下貯水槽の地震発生時の止水シートの強度（止水性）の確認

② 地下貯水槽に地震が作用した場合の貯水槽内部の貯水枠材の強度の確認

a) 地表面載荷荷重として 10kN/m^2 を考慮した場合

b) 地下貯水槽の上盤に車両が載った場合

表－１１に，それぞれの評価項目の目的及び内容についてまとめたものを示す。このうち，最も重要なのは①にあげた地震発生時の止水性の確認であり，貯水枠材の強度に関しては，仮に貯水枠材が破壊に至っても不具合事象としては上盤の陥没等が発生する程度と想定され，最も重要な貯水槽の性能である止水性に悪影響はないと考えられる。

表－１１　評価項目毎の目的・内容

評価項目	目的・内容	想定不具合事象
①止水シート強度	○ 地震力が作用した場合の止水シートの発生ひずみ量を解析し，シートが破断しないか，即ち漏えい事象が発生しないかを確認する。	○ 止水シートが破断すると，地中に貯水が漏えい拡散するリスクが生じる。
②貯水枠材強度 a) 地表面載荷荷重 10kN/m^2	○ 貯水枠材に地震力が作用した場合の貯水枠材応力度を検討して枠材の強度を確認する。	○ 貯水枠材が破壊すると，枠材が崩れて貯水槽の上盤が陥没する。それにより，上盤に敷設している PE シートが破断する可能性があるが，このシートは雨水混入防止用のものであり，漏えいには直接関係ない。
②貯水枠材強度 b) 車両荷重	○ 貯水槽の上盤に車両が載った場合(自動車荷重を考慮した場合)の貯水枠材の強度を確認する。	

(2)-1.2. 計算条件

各評価項目の作用荷重等の与条件の概要を表－１２に示す。

表－１２　評価項目毎の与条件

評価項目	作用震度	作用荷重
①止水シート強度	B クラス：水平震度 0.3 S クラス：水平震度 0.6	各自重
②貯水枠材強度 a) 地表面載荷荷重 10kN/m^2	B クラス：水平震度 0.3 S クラス：水平震度 0.6 鉛直震度 0.3	地表載荷荷重 覆土荷重 貯水枠材荷重 地震時水平土圧
②貯水枠材強度 b) 車両荷重	鉛直震度 0.3	自動車荷重（T-25） 覆土荷重

(2)-1.3. 照査結果

照査結果を表－１３に示す。また各項目の検討の詳細は表－１３に示す別添資料に示す。

表－１３　評価項目毎の照査結果

評価項目	照査対象	作用震度	計算結果	許容値	詳細
①止水シート強度	止水シートのひずみ量	B クラス	0.148%	560%	別添－２
		S クラス	0.206%	560%	
②貯水枠材強度 a) 地表面載荷荷重 10kN/m^2	貯水枠材の水平・鉛直強度	B クラス	水平：23.0kN/m^2	30.0kN/m^2	別添－３
		S クラス	水平：46.8kN/m^2 垂直：33.7kN/m^2	52.5kN/m^2 102.1kN/m^2	
②貯水枠材強度 b) 車両荷重	貯水枠材の鉛直強度	－	77.3kN/m^2	102.1kN/m^2	別添－４

(3)スロッシングに対する評価

地下貯水槽の場合，プラスチック製枠材で構築される水室の中で最も大きなものの寸法は幅 25cm 以下と小規模であり，スロッシングのような長周期問題は顕在化しないと考えられる。なお，検討の詳細については別添－５に示す。

(4)地下貯水槽を設置する地盤の評価

地下貯水槽は地盤を掘削して設置するため，掘削完了時の地盤は加圧密状態となっている。また設置するプラスチック製枠材と貯留する水の重量は，掘削した土砂（地盤）よりも小さいことから，地下貯水槽が掘削完了後の地盤上に設置されても，地盤が強度破壊等の不具合を発生することはないと考えられる。しかしながら，念のため，表層 0.5m の部分にはセメント系改良材による地盤改良を施し，地盤を補強する。

1.2.10. ポンプ

(1)構造強度評価

材料証明書がなく，設計・建設規格におけるクラス 3 機器の要求を満足するものではないが，漏えい試験等を行い，有意な変形や漏えい，運転状態に異常がないことを確認した。従って，ポンプは必要な構造強度を有すると評価した。

なお，海外製の一部ポンプを除き，JIS 規格に準用したポンプを使用している。

1.2.11. 配管等

(1)構造強度評価

a. 配管（鋼製）

材料証明書がなく，設計・建設規格におけるクラス 3 機器の要求を満足するものではないが，漏えい試験等を行い，有意な変形や漏えい，運転状態に異常がないことを確認した。従って，配管は必要な構造強度を有すると評価した。

また，配管の主要仕様から設計・建設規格に基づき板厚評価を実施した。評価の結果，最高使用圧力に耐えられることを確認した（表－１４）。

$$t = \frac{PDo}{2S\eta + 0.8P}$$

t ： 管の計算上必要な厚さ
D_0 ： 管の外径
P ： 最高使用圧力[MPa]
S ： 最高使用温度における材料の許容引張応力[MPa]
η ： 長手継手の効率

表－１４　配管構造強度評価結果

評価機器	口径	Sch.	材質	最高使用圧力[MPa]	最高使用温度[℃]	必要肉厚[mm]	肉厚[mm]
配管①	100A	80	STPG370 STPT370	1.37	66	0.84	8.6
配管②	200A	80	STPG370 STPT370	1.37	66	1.6	12.7
配管③	50A	40	SUS316L	1.37	66	0.39	3.9
配管④	80A	40	SUS316L	1.37	66	0.57	5.5
配管⑤	50A	20S	SUS316L	0.3	50	0.14	3.5
配管⑥	80A	20S	SUS316L	0.3	50	0.21	4.0
配管⑦	100A	20S	SUS316L	0.3	50	0.26	4.0
配管⑧	150A	20S	SUS316L	0.3	50	0.38	5.0
配管⑨	200A	20S	SUS316L	0.3	50	0.50	6.5
配管⑩	50A	80	STPG370 STPT370	1.37	66	0.45	5.5
配管⑪	80A	80	STPG370 STPT370	1.37	66	0.66	7.6
配管⑫	150A	80	STPG370 STPT370	1.37	66	1.3	11.0
配管⑭	50A	80	STPG370	0.5	66	0.17	5.5
配管⑯	100A	80	STPG370	0.5	66	0.31	8.6
配管⑰	50A	40	SUS316L	0.97	66	0.28	3.9
配管⑱	80A	40	SUS316L	0.97	66	0.40	5.5
配管⑲	50A	40	SUS316L	1.37	66	0.64	3.9
配管⑳	80A	40	SUS316L	1.37	66	0.94	5.5

b. 耐圧ホース（樹脂製）

設計・建設規格上のクラス 3 機器に対する規定を満足する材料ではないが，系統の温度，圧力を考慮して仕様を選定した上で，漏えい試験等を行い，漏えい，運転状態に異常がないことを確認する。従って，耐圧ホースは，必要な構造強度を有していると評価した。

c. ポリエチレン管

設計・建設規格上のクラス 3 機器に対する規定を満足する材料ではないが，系統の温度，圧力を考慮して仕様を選定している。また，ポリエチレン管は，一般に耐食性，電気特性（耐電気腐食），耐薬品性を有しているとともに以下により信頼性を確保している。

- 日本水道協会規格等に適合したポリエチレン管を採用。
- 継手は可能な限り融着構造とする。
- 敷設時に漏えい試験等を行い，運転状態に異常がないことを確認している。

以上のことから，ポリエチレン管は，必要な構造強度を有するものと評価した。

2. 使用済セシウム吸着塔保管施設及び廃スラッジ貯蔵施設

2.1. 基本方針

2.1.1. 構造強度評価の基本方針

a. 震災以降緊急対応的に設置又は既に（平成 25 年 8 月 14 日より前に）設計に着手した機器等

使用済セシウム吸着塔保管施設及び廃スラッジ貯蔵施設を構成する機器は，震災以降緊急対応的に設置してきたもので，「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令」において，廃棄物処理設備に相当するクラス 3 機器に準ずるものと位置付けられる。クラス 3 機器の適用規格は，「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格　設計・建設規格」（以下，「JSME 規格」という。）で規定される。

しかしながら震災以降緊急対応的にこれまで設置してきた機器等は，必ずしも JSME 規格に従って設計・製作・検査をされたものではなく，日本産業規格（JIS）等規格適合品または製品の試験データ等を踏まえ，福島第一原子力発電所構内の作業環境，機器等の設置環境や緊急時対応の時間的裕度を勘案した中で設計・製作・検査を行ってきている。

廃スラッジ貯蔵施設を構成する機器は，高濃度の汚染水を内包するため，バウンダリ機能の健全性を確認する観点から，設計された肉厚が十分であることを確認している。また，溶接部については，耐圧・漏えい試験等を行い，有意な変形や漏えい等のないことを確認している。

なお，使用済セシウム吸着塔保管施設を構成するコンクリート製ボックスカルバートは遮へい物として吸着塔等の周囲に配置するものであり，JSME 規格で定める機器には該当しない。

b. 今後（平成 25 年 8 月 14 日以降）設計する機器等

使用済セシウム吸着塔一時保管施設は必要に応じて増設することとしており，地下水等の流入により増加する汚染水の処理に伴う二次廃棄物への対応上，短期間での施設の設置が必要である。このため今後設計する機器等については，日本産業規格（JIS）等規格に適合した工業用品の採用，或いは JIS 等の技術的妥当性を有する規格での設計・製作・検査を行う。

2.1.2. 耐震性評価の基本方針

使用済セシウム吸着塔保管施設，廃スラッジ貯蔵施設を構成する機器は，「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」のＢクラス相当の設備と位置づけられる。

使用済セシウム吸着塔保管施設，廃スラッジ貯蔵施設の耐震性に関する評価にあたっては，「JEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規程」に準拠することを基本とするが，必要に応じて現実的な評価を行う。

また，配管に関しては，変位による破壊を防止するため，定ピッチスパン法による配管サポート間隔の設定や，可撓性のある材料を使用する。

なお，廃スラッジ一時保管施設等は，高濃度の放射性物質を貯蔵することから参考としてＳクラス相当の評価を行う。

2.2. 評価結果

2.2.1. 使用済セシウム吸着塔仮保管施設

(1)構造強度評価

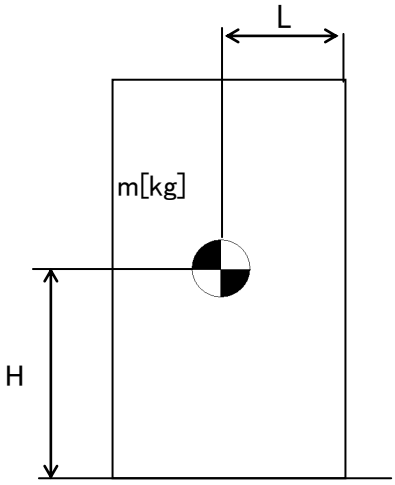
材料証明書がなく，設計・建設規格におけるクラス 3 機器の要求を満足するものではないが，漏えい試験等を行い，有意な変形や漏えい，運転状態に異常がないことを確認した。また，吸着塔の主要仕様から必要肉厚を評価し十分な肉厚を有していることを確認した。

以上のことから，吸着塔は必要な構造強度を有すると評価した。

(2)耐震性評価

a. 転倒評価

地震による転倒モーメントと自重による安定モーメントを算出し，それらを比較することにより転倒評価を行った。評価の結果，地震による転倒モーメントは自重による安定モーメントより小さくなることから，転倒しないことを確認した（表－１５）。



m　：機器質量
g　：重力加速度
H　：据付面からの重心までの距離
L　：転倒支点から機器重心までの距離
C_H　：水平方向設計震度

地震による転倒モーメント：M_1[N・m]=m×g×C_H×H
自重による安定モーメント：M_2[N・m]=m×g×L

b. 滑動評価

地震時の水平荷重によるすべり力と接地面の摩擦力を比較することにより，滑動評価を実施した。評価の結果,地震時の水平荷重によるすべり力は接地面の摩擦力より小さいことから,滑動しないことを確認した（表－１５）。

表－１５　使用済セシウム吸着塔仮保管施設耐震評価結果

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
ボックス カルバート	本体	転倒	0.30	1.4×10^{2}	2.9×10^{2}	kN･m
		滑動	0.30	0.30	0.40	－
セシウム吸着装置 吸着塔	本体	転倒	0.36	8.2×10^{1}	1.2×10^{2}	kN･m
		滑動	0.36	0.36	0.52	－
第二セシウム 吸着装置吸着塔	本体	転倒	0.36	1.9×10^{2}	4.2×10^{2}	kN･m
			0.60	3.1×10^{2}		
		滑動	0.36	0.36	0.52	－
			0.52	0.52		
モバイル式処理装置または第二モバイル型ストロンチウム除去装置 (吸着塔１塔)	本体	転倒	0.36	5.1×10	1.0×10^{2}	kN･m
		滑動	0.36	0.36	0.40	－
モバイル型ストロンチウム除去装置 （フィルタ１塔，吸着塔１塔及び架台）	本体	転倒	0.36	8.8×10	1.9×10^{2}	kN･m
		滑動	0.36	0.36	0.40	―

2.2.2. 使用済セシウム吸着塔一時保管施設

(1)構造強度評価

材料証明書がなく，設計・建設規格におけるクラス 3 機器の要求を満足するものではないが，漏えい試験等を行い，有意な変形や漏えい，運転状態に異常がないことを確認した。また，吸着塔の主要仕様から必要肉厚を評価し十分な肉厚を有していることを確認した。

以上のことから，吸着塔は必要な構造強度を有すると評価した。

なお高性能容器（タイプ１）および高性能容器（タイプ２）（いずれも補強体付き）に関する評価は「Ⅱ 2.16　放射性液体廃棄物処理施設及び関連施設」に記す。

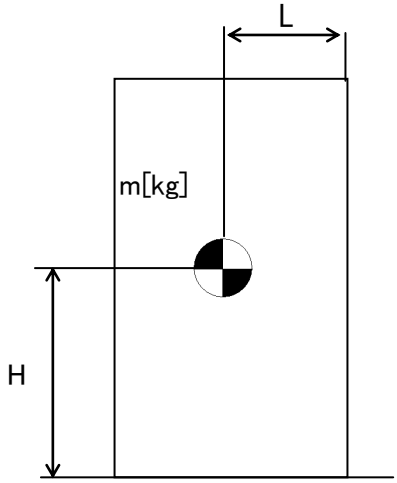
(2)耐震性評価

a．転倒評価

地震による転倒モーメントと自重による安定モーメントを算出し，それらを比較することにより転倒評価を行った。なお，セシウム吸着装置吸着塔及びゼオライト等保管容器はそれを格納する各々の蓋付ボックスカルバートと吸着塔の評価，第二セシウ

ム吸着装置吸着塔，第三セシウム吸着装置吸着塔，多核種除去設備処理カラム，高性能多核種除去設備吸着塔，RO 濃縮水処理設備吸着塔及びサブドレン他浄化装置吸着塔はそれを格納する各々の架台と合わせた評価を実施した。また，モバイル式処理装置吸着塔，第二モバイル型ストロンチウム除去装置吸着塔，モバイル型ストロンチウム除去装置フィルタ及び吸着塔，サブドレン他浄化装置吸着塔，高性能多核種除去設備検証試験装置吸着塔及び浄化ユニット吸着塔についても転倒評価を行い転倒しないことを確認した。なお，後者については，ボックスカルバートへの保管有無に関わらず，転倒しないことが確認されているため，代表の評価結果を示す（表－１６）。

なお高性能容器（タイプ１）および高性能容器（タイプ２）（いずれも補強体付き）に関する評価は「Ⅱ 2.16　放射性液体廃棄物処理施設及び関連施設」に記す。



m　：　機器質量
g　：　重力加速度
H　：　据付面からの重心までの距離
L　：　転倒支点から機器重心までの距離
C_H　：　水平方向設計震度

地震による転倒モーメント：M_1[N・m]=m×g×C_H×H
自重による安定モーメント：M_2[N・m]=m×g×L

b. 滑動評価

セシウム吸着装置吸着塔，モバイル式処理装置吸着塔，第二モバイル型ストロンチウム除去装置吸着塔，サブドレン他浄化装置吸着塔，高性能多核種除去設備検証試験装置吸着塔，モバイル型ストロンチウム除去装置フィルタ・吸着塔，浄化ユニット吸着塔，ゼオライト等保管容器については，ボックスカルバートとあわせ地震時の水平荷重によるすべり力と接地面の摩擦力を比較することにより，滑動評価を実施した。評価の結果，地震時の水平荷重によるすべり力は接地面の摩擦力より小さいことから，滑動しないことを確認した（表－１６）。なお，水平震度を 0.60 まで拡張した評価では，地震時の水平荷重によるすべり力が設置面の摩擦力より大きくなり，滑動する結果となったことから，別途すべり量の評価を実施した。

第二セシウム吸着装置吸着塔，第三セシウム吸着装置吸着塔，多核種除去設備処理カラム，高性能多核種除去設備吸着塔，RO 濃縮水処理設備吸着塔及びサブドレン他浄化装置吸着塔については，それらを格納する架台が設置床に基礎ボルトで固定されていることから基礎ボルトに作用するせん断荷重と許容せん断荷重を比較することより滑動評価を実施した。基礎ボルトの許容せん断荷重は「日本建築学会：各種合成構造設計指針・同解説，鉄骨鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説」に基づき次式を用いた。評価の結果，基礎ボルトの破断による滑動が生じないことを確認した（表－１６）。

$$q = mg\left(C_H - \alpha\right) \div n$$

$$q_a = 0.75 \cdot \phi_{S3}\left(0.5 \cdot {}_{SC}a \cdot \sqrt{F_c \cdot E_c}\right)$$

q ： 基礎ボルト一本に作用するせん断荷重

q_a ： 基礎ボルト一本当たりの許容せん断荷重

C_H ： 水平方向設計震度

m ： 機器重量

g ： 重力加速度

α ： 機器と床版の摩擦係数

n ： 機器あたりの基礎ボルト本数

ϕ_{S3}：短期荷重に対する低減係数

${}_{SC}a$： 基礎ボルトの定着部の断面積

F_c ： コンクリート設計基準強度

E_c ： コンクリートのヤング率

なお高性能容器（タイプ１）および高性能容器（タイプ２）（いずれも補強体付き）に関する評価は「Ⅱ 2.16　放射性液体廃棄物処理施設及び関連施設」に記す。

c．すべり量評価

すべり量は，吸着塔とボックスカルバートについて，地震応答加速度時刻歴をもとに設置床に対する累積変位量として算出した。評価の結果すべり量がボックスカルバート間の許容値を超えないことを確認した（表－１７）。

表－１６　使用済セシウム吸着塔一時保管施設耐震評価結果（１／３）

機器名称	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
セシウム吸着装置※ （吸着塔 32 塔及び ﾎﾞｯｸｽｶﾙﾊﾞｰﾄ 16 基）	転倒	0.36	7.9×10^{3}	1.8×10^{4}	kN･m
		0.60	1.4×10^{4}		
	滑動	0.36	0.36	0.40	－
		0.60	0.60		
モバイル式処理装置または第二モバイル型ストロンチウム除去装置 （吸着塔 1 塔）	転倒	0.36	5.1×10	1.0×10^{2}	kN･m
		0.60	8.5×10		
	滑動	0.36	0.36	0.40	－
		0.60	0.60		
モバイル型ストロンチウム除去装置 （フィルタ 1 塔，吸着塔 1 塔及び架台）	転倒	0.36	8.8×10	1.9×10^{2}	kN･m
		0.60	1.5×10^{2}		
	滑動	0.36	0.36	0.40	－
		0.60	0.60		
サブドレン他浄化装置 （吸着塔 2 塔及び架台）	転倒	0.36	9.6×10	1.9×10^{2}	kN･m
		0.60	1.6×10^{2}		
	滑動	0.36	0.36	0.40	－
		0.60	0.60		
高性能多核種除去設備検証試験装置 （吸着塔 6 塔及び架台）	転倒	0.36	4.9×10	1.3×10^{2}	kN･m
		0.60	8.1×10		
	滑動	0.36	0.36	0.40	－
		0.60	0.60		
第二セシウム吸着装置 （吸着塔 5 塔×2 列 及び架台）	転倒	0.36	1.7×10^{3}	3.7×10^{3}	kN･m
		0.60	2.9×10^{3}		
	滑動 （ボルトせん断）	0.36	<0	77	kN
		0.60	8		
高性能多核種除去設備 （吸着塔（二相ステンレス製）5 塔×2 列 及び架台）	転倒	0.36	2.0×10^{3}	4.3×10^{3}	kN･m
		0.60	3.3×10^{3}		
	滑動 （ボルトせん断）	0.36	<0	77	kN
		0.60	10		
高性能多核種除去設備 （吸着塔（ステンレス製） 5 塔×2 列 及び架台）	転倒	0.36	2.1×10^{3}	4.3×10^{3}	kN･m
		0.60	3.4×10^{3}		
	滑動 （ボルトせん断）	0.36	<0	77	kN
		0.60	10		

※ボックスカルバート２列×８行の評価である。

表－１６　使用済セシウム吸着塔一時保管施設耐震評価結果（２／３）

機器名称	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
RO 濃縮水処理設備（吸着塔 5 塔×2 列及び架台）	転倒	0.36	2.0×10^{3}	4.3×10^{3}	kN･m
		0.60	3.3×10^{3}		
	滑動（ボルトせん断）	0.36	<0	77	kN
		0.60	10		
サブドレン他浄化装置吸着塔（吸着塔 5 塔×2 列及び架台）	転倒	0.36	6.0×10^{2}	1.4×10^{3}	kN･m
		0.60	9.0×10^{2}		
	滑動（ボルトせん断）	0.36	<0	77	kN
		0.60	3		
セシウム吸着装置※1（吸着塔 64 塔及びﾎﾞｯｸｽｶﾙﾊﾞｰﾄ 32 基）	転倒	0.36	1.7×10^{4}	6.2×10^{4}	kN･m
		0.60	2.8×10^{4}		
	滑動	0.36	0.36	0.40	－
		0.60	0.60		
高性能多核種除去設備※2（吸着塔（ステンレス製）6 塔×3 列及び架台）	転倒	0.36	3.7×10^{3}	1.5×10^{4}	kN･m
		0.60	6.2×10^{3}		
	滑動（ボルトせん断）	0.36	<0	38	kN
		0.60	7		
高性能多核種除去設備※2（吸着塔（ステンレス製）6 塔×2 列及び架台）	転倒	0.36	2.5×10^{3}	6.6×10^{3}	kN･m
		0.60	4.1×10^{3}		
	滑動（ボルトせん断）	0.36	<0	38	kN
		0.60	7		
高性能多核種除去設備※2（吸着塔（ステンレス製）3 塔×2 列及び架台）	転倒	0.36	1.3×10^{3}	3.3×10^{3}	kN･m
		0.60	2.1×10^{3}		
	滑動（ボルトせん断）	0.36	<0	38	kN
		0.60	6		
高性能多核種除去設備※2（吸着塔（ステンレス製）3 塔×3 列及び架台）	転倒	0.36	1.9×10^{3}	7.6×10^{3}	kN･m
		0.60	3.1×10^{3}		
	滑動（ボルトせん断）	0.36	<0	38	kN
		0.60	6		

※1 ボックスカルバート４列×８行の評価である。

※2 第二セシウム吸着装置吸着塔，第三セシウム吸着装置吸着塔，多核種除去設備処理カラム，高性能多核種除去設備吸着塔，RO 濃縮水処理設備吸着塔及びサブドレン他浄化装置吸着塔のうち，機器重量，重心高さが評価上最も厳しい高性能多核種除去設備吸着塔（ステンレス製）にて評価を実施

表－１６　使用済セシウム吸着塔一時保管施設耐震評価結果（３／３）

機器名称	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
高性能多核種除去設備※1（吸着塔（ステンレス製）2塔×2列及び架台）	転倒	0.36	9.0×10^{2}	1.7×10^{3}	kN･m
		0.60	1.4×10^{3}		
	滑動（ボルトせん断）	0.36	<0	77	kN
		0.60	8		
第三セシウム吸着装置（吸着塔5塔×2列及び架台）	転倒	0.36	2.0×10^{3}	4.3×10^{3}	kN･m
		0.60	3.3×10^{3}		
	滑動（ボルトせん断）	0.36	<0	77	kN
		0.60	10		
浄化ユニット（吸着塔6塔及び架台）	転倒	0.36	1.6×10	5.3×10	kN･m
		0.60	2.6×10		
	滑動	0.36	0.36	0.40	－
		0.60	0.60		
ゼオライト等保管容器※2（保管容器32 塔及びﾎﾞｯｸｽｶﾙﾊﾞｰﾄ16 基）	転倒	0.36	9.3×10^{3}	4.1×10^{4}	kN･m
		0.60	1.6×10^{4}		
	滑動	0.36	0.36	0.40	－
		0.60	0.60		

※1 第二セシウム吸着装置吸着塔，第三セシウム吸着装置吸着塔，多核種除去設備処理カラム，高性能多核種除去設備吸着塔，RO 濃縮水処理設備吸着塔及びサブドレン他浄化装置吸着塔のうち，機器重量，重心高さが評価上最も厳しい高性能多核種除去設備吸着塔（ステンレス製）にて評価を実施

※2 ボックスカルバート２列×８行の評価である。

表－１７　使用済セシウム吸着塔一時保管施設すべり量評価結果

機器名称	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
【使用済セシウム吸着塔一時保管施設（第一施設）（第四施設）】※ ・セシウム吸着装置吸着塔 ・モバイル式処理装置吸着塔 ・第二モバイル型ストロンチウム除去装置吸着塔 ・モバイル型ストロンチウム除去装置フィルタ及び吸着塔 ・サブドレン他浄化装置吸着塔 ・高性能多核種除去設備検証試験装置吸着塔 ・浄化ユニット吸着塔 ・ゼオライト等保管容器	すべり量	0.60	93.3	494	mm

※使用済セシウム吸着塔一時保管施設（第一施設）（第四施設）のうち，ボックスカルバート間の許容値が評価上最も厳しいセシウム吸着塔一時保管施設（第四施設）にて評価を実施

なお，使用済セシウム吸着塔一時保管施設の第一～第四施設の基礎は，地盤改良による安定した地盤上に設置されており，十分な支持力を有する地盤上に設置している。

2.2.3. 廃スラッジ一時保管施設

(1)構造強度評価

スラッジ貯槽について，設計・建設規格に準拠し，板厚評価を実施した（表－１８）。

$$t = \frac{DiH\rho}{0.204S\eta}$$

t ： 胴の計算上必要な厚さ[mm]
Di ： 胴の内径[m]
H ： 水頭[m]
ρ ： 液体の比重
S ： 最高使用温度における
材料の許容引張応力[MPa]
η ： 長手継手の効率

ただし， t の値は炭素鋼，低合金鋼の場合は t =3[mm]以上，その他の金属の場合は t=1.5[mm]以上とする。また，内径の区分に応じた必要厚さを考慮する。

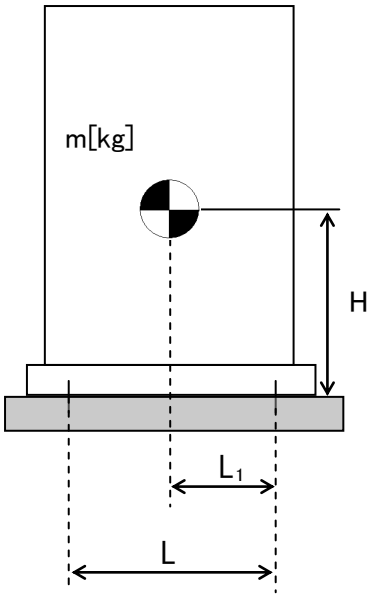
表－１８　スラッジ貯槽板厚評価結果

機器名称		評価部位	必要肉厚[mm]	実厚[mm]
スラッジ貯槽	円筒型（横置き）	タンク板厚	3.0	25.0

(2)耐震性評価

a. 基礎ボルトの強度評価

耐震設計技術規程に準拠して評価を行った結果，基礎ボルトの強度が確保されることを確認した（表－１９）。



m　：機器質量
g　：重力加速度
H　：据付面からの重心までの距離
L　：基礎ボルト間の水平方向距離
L_1　：重心と基礎ボルト間の水平方向距離
n_f　：引張力の作用する基礎ボルトの評価本数
n　：基礎ボルトの本数
A_b　：基礎ボルトの軸断面積
C_H　：水平方向設計震度
C_V　：鉛直方向設計震度

基礎ボルトに作用する引張力：$F_b = \frac{1}{L}\left(m \times g \times C_H \times H - m \times g \times (1 - C_V) \times L_1\right)$

基礎ボルトの引張応力：$\sigma_b = \frac{F_b}{n_f \times A_b}$

基礎ボルトのせん断応力：$\tau_b = \frac{m \times g \times C_H}{n \times A_b}$

表－１９　スラッジ貯槽の基礎ボルトの強度評価結果

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
スラッジ貯槽	基礎ボルト	引張	0.36	11	439	MPa
			0.94	131		
		せん断	0.36	42	337	MPa
			0.94	122		

2.2.4. 配管等

(1)構造強度評価

a. 配管（鋼製）

材料証明書がなく，設計・建設規格におけるクラス 3 機器の要求を満足するものではないが，漏えい試験等を行い，有意な変形や漏えい，運転状態に異常がないことを確認した。従って，配管は必要な構造強度を有すると評価した。

また，配管の主要仕様から設計・建設規格に基づき板厚評価を実施した。評価の結果，最高使用圧力に耐えられることを確認した（表－２０）。

$$t = \frac{PDo}{2S\eta + 0.8P}$$

t ： 管の計算上必要な厚さ

D_0 ： 管の外径

P ： 最高使用圧力[MPa]

S ： 最高使用温度における材料の許容引張応力[MPa]

η ： 長手継手の効率

表－２０　配管構造強度評価結果

評価機器	口径	Sch.	材質	最高使用圧力[MPa]	最高使用温度[℃]	必要肉厚[mm]	肉厚[mm]
配管①	50A	20S	SUS316L	0.3	50	0.09	3.5
配管②	80A	20S	SUS316L	0.3	50	0.13	4.0
配管③	50A	20S	SUS316L	0.98	50	0.27	3.5
配管④	80A	20S	SUS316L	0.98	50	0.40	4.0
配管⑤	50A	40	SUS316L	0.98	50	0.27	3.9
配管⑥	80A	40	SUS316L	0.98	50	0.40	5.5
配管⑦	80A	40	SUS329J4L	0.98	50	0.40	5.5
配管⑧	100A	40	SUS329J4L	0.98	50	0.51	6.0
配管⑨	125A	40	SUS329J4L	0.98	50	0.63	6.6
配管⑩	100A	40	SUS316L	0.98	50	0.51	6.0

b. 耐圧ホース（樹脂製）

設計・建設規格上のクラス 3 機器に対する規定を満足する材料ではないが，系統の温度，圧力を考慮して仕様を選定した上で，漏えい試験等を行い，漏えい，運転状態に異常がないことを確認する。従って，耐圧ホースは，必要な構造強度を有していると評価した。

以上

高濃度滞留水受タンクの耐震性評価

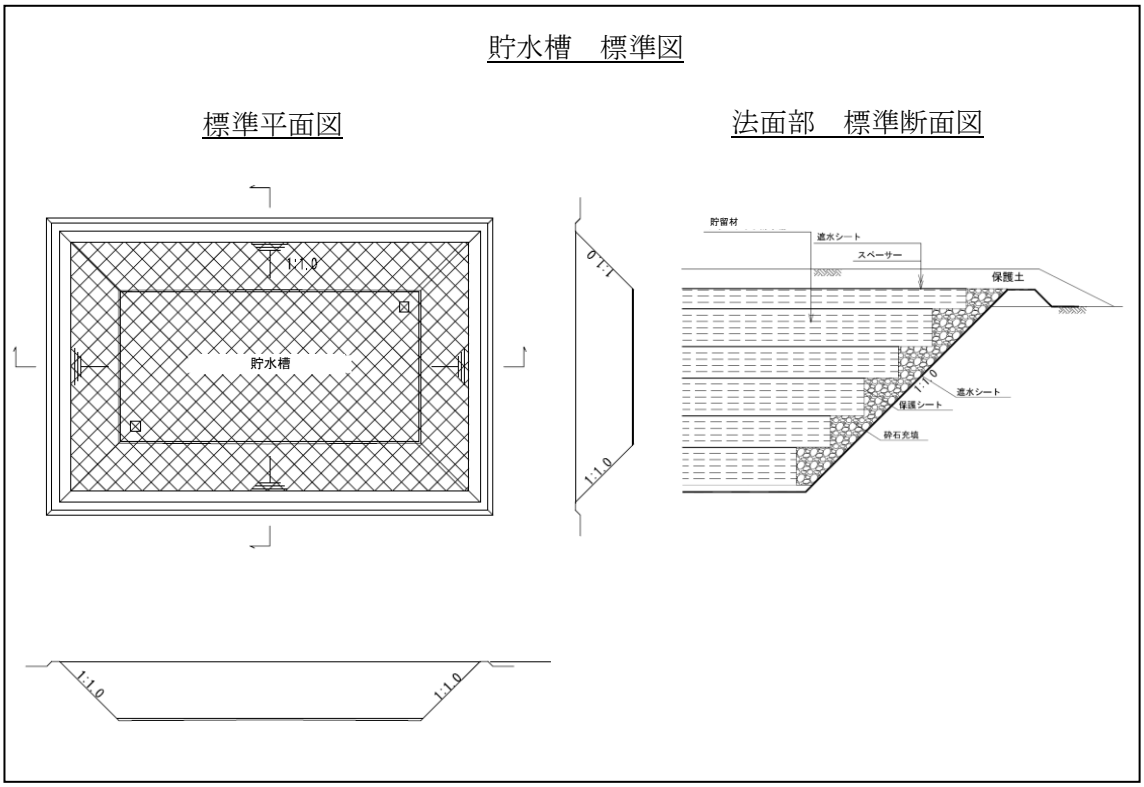
高濃度滞留水受タンクの撤去に伴い本内容を削除。

地下貯水槽の遮水シートの耐震性評価

プラスチック製地下貯水槽（以下，「貯水槽」という）の耐震安全性を二次元静的 FEM 解析に基づいて評価し，貯水機能が保持されることを確認する。

(1)　対象とする貯水槽

対象とする貯水槽は，プラスチック製の貯留材（以下，「貯留材」という）と遮水シートで構築される。貯水槽の概要を図－１に示す。貯水槽は段丘堆積層を掘削して設置し，盛土によって 0.7m の土被り厚を確保する。

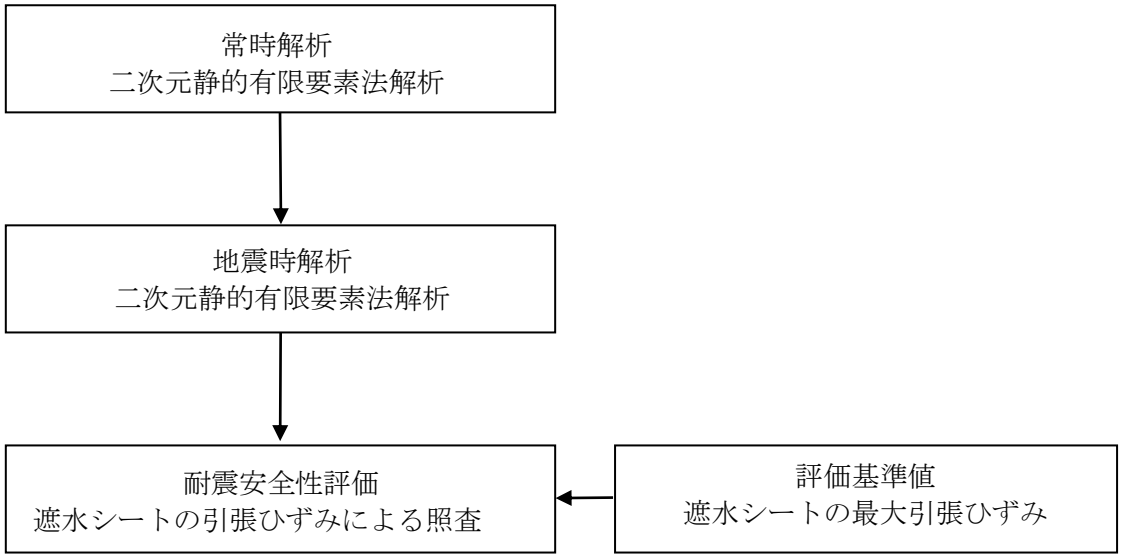


図－１　貯水槽の概要

(2)　耐震安全性評価

a.　評価手順

貯水槽の耐震安全性評価では，地震力によって生じる遮水シートの引張ひずみ（照査用応答値）が遮水シートの最大引張ひずみ（評価基準値）以下であることを確認する。評価フローを図－２に示す。



図－２　貯水槽の耐震評価フロー

b.　評価条件

解析に用いる地盤の物性値，並びに考慮する荷重は以下のとおりとする。

ⅰ．　地盤の物性値

貯水槽は，段丘堆積層内に設置される。段丘堆積層の地盤物性値を表－１に示す。なお，盛土による荷重は上載荷重として扱い，解析では節点力としてモデルに作用させている。

表－１　地盤の物性値

		段丘体積層
物理特性	ρ_t (g/cm^3)	1.59
静的変形特性	E_0 (N/mm^2)	23.5
	ν	0.21
動的変形特性	G_0 (N/mm^2)	158
	ν_d	0.48

ⅱ．　設計用地震力

設計用地震力は水平地震力のみ考慮することとし，B クラス相当として水平震度 K_H＝0.3 及び S クラス相当として水平震度 K_H＝0.6 とする。

(3) 評価結果

a. 評価方法

耐震安全性評価では，水平地震力（K_H=0.3 及びK_H=0.6）を用いた静的 FEM 解析に基づいた応答値が，評価基準値を下回ることを確認する。

照査用応答値は，遮水シート設置位置における節点変位による引張ひずみとする。評価基準値は，日本遮水工協会基準に基づく最大引張ひずみとする。

b. 照査結果

照査結果を表－２に示す。照査用応答値は，評価基準値 560%を下回ることを確認した。

表－２　照査結果

	照査用応答値 ε_d（%）	評価基準値 ε_u（%）	照　査 （ε_d／ε_u）
K_H=0.3 の場合	0.148	560	0.00026
K_H=0.6 の場合	0.206	560	0.00037

c. 評価結果

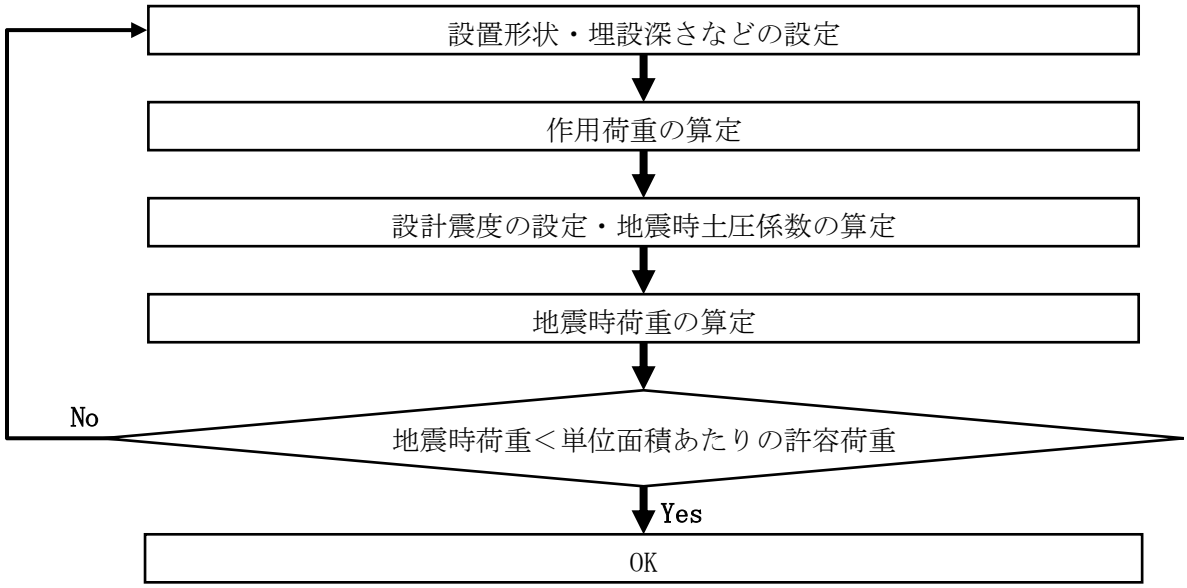
遮水シートの照査用応答値は，評価基準値を下回るとともに十分な裕度を有していることから，貯水機能が保持されるものと評価した。

以上

地下貯水槽のプラスチック製貯水枠材の耐震性評価

(1) 評価手順

プラスチック製貯水枠材の耐震評価のフローを図－１に示す。



図－１　プラスチック製貯水枠材の耐震評価フロー

(2) 耐震評価（B クラス）

a. 作用荷重の算定

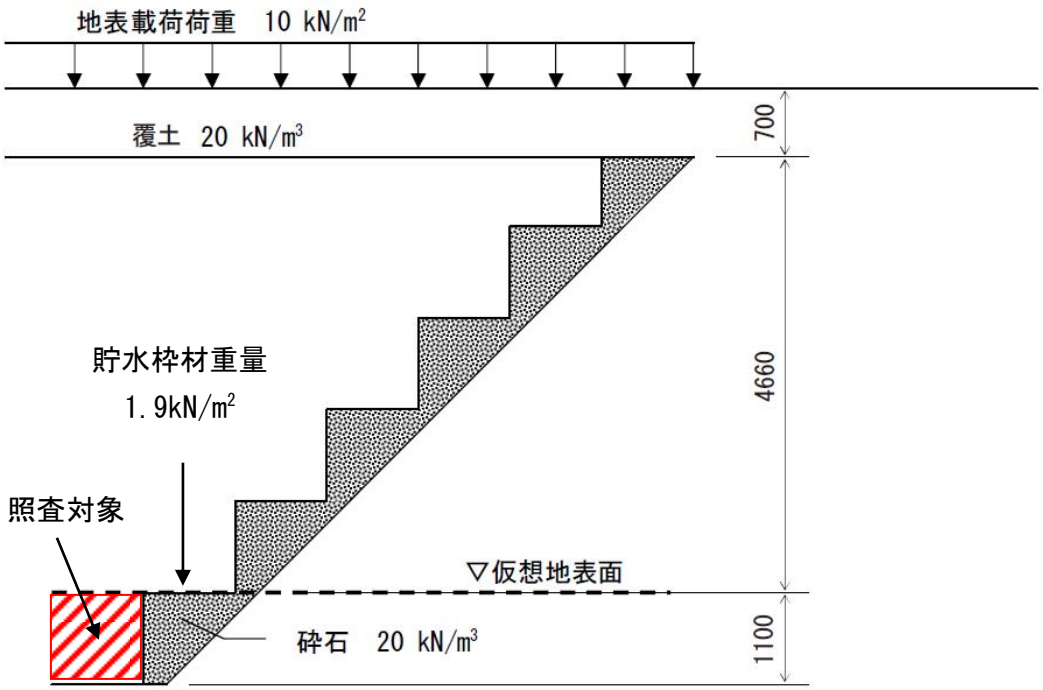
（社）雨水貯留浸透技術協会の技術マニュアルにしたがって，地表載荷荷重 10kN/m^2 を考慮し，貯水枠材の最下部における鉛直方向荷重を求める。覆土を構成する材料の単位体積重量（一般値）を表-1 に，照査対象と作用荷重を図－２に示す。

なお，覆土材料は砂質土と砂礫の複合材であるが，安全をとって重量の大きい砂礫の単位体積重量を使用することとする。

表－１　覆土を構成する材料の単位体積重量（一般値）

材料名	単位体積重量（kN/m^3）
盛土（砂及び砂礫）	20.0
盛土（砂質土）	19.0

出典：「道路橋示方書・同解説　Ⅰ共通編」社団法人日本道路協会



図－２　照査対象と作用荷重

貯水枠材を階段状に積み上げたとき，最下部（仮想地表面）の上面に作用する鉛直方向荷重は，仮想地表面より上部の地表載荷荷重・覆土重量・貯水枠材重量の合計荷重 V1 となる。

また最下部の側面に作用する水平方向荷重は，V1 と仮想地表面より下部の砕石重量 V2 に地震時水平土圧をかけた値となる。

ここで，

V1＝10＋20×0.7＋1.9＝25.9（kN/m²）

V2＝20×1.1＝22.0（kN/m²）

b. 設計水平震度の設定と地震時水平土圧の算定

B クラス評価の場合には，設計水平震度 Kh を 0.3 とする。地震時土圧係数 Kea は，道路などの設計で一般的に用いられている「道路橋標準示方書・同解説（Ⅴ 耐震設計編）」（社団法人日本道路協会）にしたがい 0.48 とする。

c. 地震時荷重（水平方向）の算定

貯水枠材最下部の側面に作用する水平方向荷重 Ph は，

Ph＝Kea×（V1＋V2）＝0.48×（25.9＋22.0）＝23.0（kN/m²）

d. 耐震評価

今回使用する貯水枠材のうち，最も水平方向の単位面積あたりの許容荷重（許容応力）(注1) が小さいものは次の通りである。

水平方向の単位面積あたりの許容荷重（許容応力） σha：30.0kN/m^2

（注1） 貯水枠材の許容荷重は，材料の安全率 1.3 を考慮した許容応力とし，その値は（社）雨水貯留浸透技術協会の技術マニュアルによる。

よって，

σha＝30.0＞Ph＝23.0

となり，貯水枠材の強度は十分であると評価できる。

(3) 耐震評価（S クラス）

a. 作用荷重の算定

（社）雨水貯留浸透技術協会の技術マニュアルにしたがって，地表載荷荷重 10kN/m^2 を考慮し，貯水枠材の最下部における鉛直方向荷重を求める。覆土を構成する材料の単位体積重量（一般値）を表－２に，照査対象と作用荷重を図－３に示す。

なお，覆土材料は砂質土と砂礫の複合材であるが，安全をとって重量の大きい砂礫の単位体積重量を使用することとする。

表－２　覆土を構成する材料の単位体積重量（一般値）

材料名	単位体積重量（kN/m^3）
盛土（砂及び砂礫）	20.0
盛土（砂質土）	19.0

出典：「道路橋示方書・同解説　Ⅰ共通編」社団法人日本道路協会

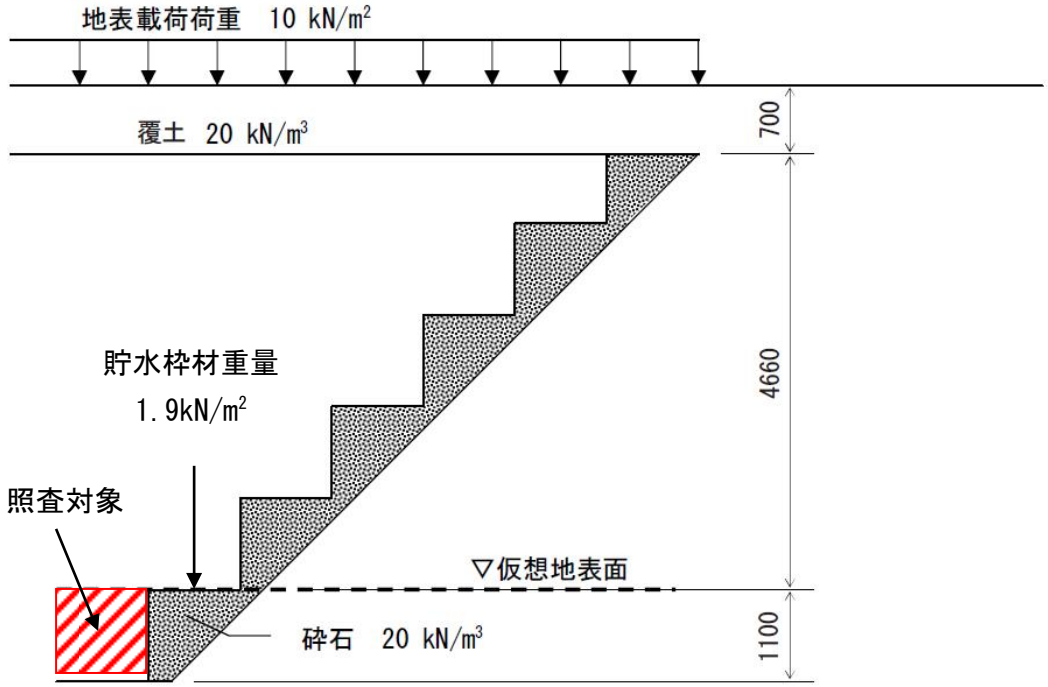
貯水枠材を階段状に積み上げたとき，最下部（仮想地表面）の上面に作用する鉛直方向荷重は，仮想地表面より上部の地表載荷荷重・覆土重量・貯水枠材重量の合計荷重 V1 となる。

また最下部の側面に作用する水平方向荷重は，V1 と仮想地表面より下部の砕石重量 V2 に地震時水平土圧をかけた値となる。

ここで，

V1＝10＋20×0.7＋1.9＝25.9（kN/m^2）

V2＝20×1.1＝22.0（kN/m^2）



図－３　照査対象と作用荷重

b. 設計水平震度・設計鉛直震度の設定と地震時水平土圧の算定

S クラス評価の場合には，設計水平震度 Kh を 0.6，設計鉛直震度 Kv を 0.3 として，水平方向・鉛直方向地震の組み合わせを考慮する。地震時土圧係数 Kea は，道路などの設計で一般的に用いられている「道路橋標準示方書・同解説（Ⅴ 耐震設計編）」（社団法人日本道路協会）にしたがい 0.75 とする。

c. 地震時荷重（鉛直方向）の算定

貯水枠材最下部の上面に作用する鉛直方向荷重 Pv は，

Pv＝（1＋Kv）×V1＝（1＋0.3）×25.9＝33.7（kN/m²）

d. 地震時荷重（水平方向）の算定

貯水枠材最下部の側面に作用する水平方向荷重 Ph は，

Ph＝Kea×（1+Kv）×（V1＋V2）＝0.75×(1+0.3)×（25.9＋22.0）＝46.8（kN/m²）

e. 耐震評価

S クラス評価は比例限界応力 (注 2) に基づいて評価を実施する。今回使用する貯水枠材のうち，最も比例限界応力が小さいものは次の通りである。

水平方向の比例限界応力 σhc：52.5kN/m²

鉛直方向の比例限界応力 σvc：102.1kN/m²

（注2）　Sクラス評価の場合には求められる性能が機能維持であることから，貯水枠材の許容荷重は材料の安全率を 1.0 とした比例限界応力を用いることとし，その値は（社）雨水貯留浸透技術協会の技術マニュアルによる。

よって，

$\sigma hc = 52.5 > Ph = 46.8$

$\sigma vc = 102.1 > Pv = 33.7$

となり，貯水枠材の強度機能の維持は可能と評価できる。

(4) 載荷荷重について

上述の強度照査により，貯水枠材の強度は地下貯水槽上に 10kN/m^2 の荷重を載荷した場合でも十分であることが評価できる。

ただし，地下貯水槽上に物資を搬入する場合には，設計上載荷重との関係を個別に評価する。

以上

（参考）貯水枠材の強度に関する試験方法

（社）雨水貯留浸透技術協会の技術マニュアルでは，貯水枠材の圧縮強度に関する試験方法を以下のように定めている。

構造部材の圧縮試験方法（Arsit A-1:2008）

圧縮試験は，貯留枠材の鉛直方向及び水平方向の耐力を求める重要な試験である。

JIS の試験方法は，材料試験を目的とした試験で，角柱，円柱，管形状の供試体としているが，貯水枠材として必要な強度は構造体としての性能であることに留意すべきである。

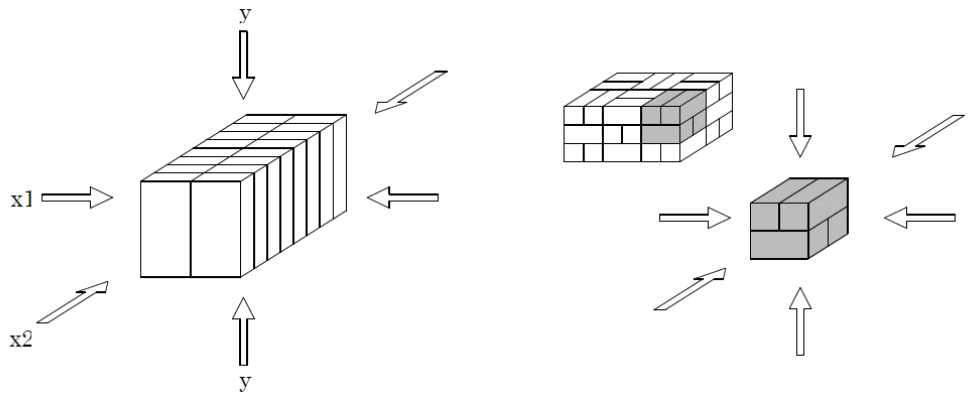
1）引用規格

プラスチック－圧縮特性の試験方法　JIS K 7181，JIS Z 0212

2）供試体

部材には異方性があり，使用状態で鉛直方向と水平方向（2 方向）の強度が異なると考えられる場合には，3 方向あるいは 2 方向で試験を行う（図－４ (a)）。また，図－４(b)のように異方性の部材を組み合わせて各方向の強度の均等化を図っている場合は，最小構成単位（図－４(b)の場合は 4 個）の単位部材とみなして試験を行うことが望ましい。しかし，試験が大掛かりになる場合は，構成要素の方向別強度を平均するなどの簡略化をしても良い。

鉛直方向の載荷試験では，最小構成単位（1 段）から始めて，2 段，3 段・・・と積み上げる段数を増やして，各載荷試験での最大応力値が収束することを確認する。水平方向の載荷試験では，鉛直方向で求めた収束段数と同数の積み上げ段数のみの試験で良い。供試体を載荷装置に設置する際や載荷試験時に，供試体が不安定になるなどの理由で外枠あるいは紐状の材料で安定させる場合は，試験結果に悪影響を及ぼさないように配慮する。



(a) 3 方向で強度が異なる場合　　(b) 単体の組み合わせで強度が決まる場合

図－４　圧縮強度の異方性

3）試験方法

載荷は，1 分当り 10㎜程度の一定速度で行う。

供試体は，試験前に載荷方向の長さを 2 箇所以上で測定しておく。試験時は，0.1㎜以上の精度を持つ測定器で，供試体の載荷方向の長さ変化を測定する。

4）温度

試験は，23±2℃一定の条件で実施することを原則とする。この条件での試験が難しい場合は，供試体を 24 時間以上 23±2℃の条件に置いた後，速やかに試験を実施する。

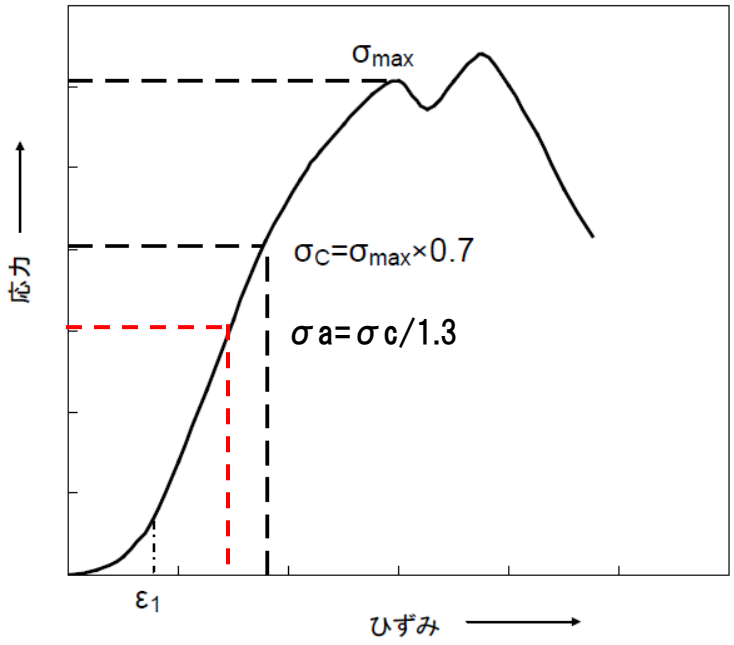
5）試験結果の整理

試験で得られた供試体の載荷方向のひずみと応力関係（SS カーブ）の例を，図－５に示す。

ひずみがゼロからε1 までの勾配の小さい区間は，供試体の初期不整やたわみなどが原因で生じる。その後，ひずみと応力の関係がほぼ一定で推移する区間があり，さらに応力の山が 2 つ以上現れる場合があるが，最初に応力の低下を示す前の最大応力（圧縮強さ）をσmax とする。

最大応力（圧縮強さ）σmax の 70%を「比例限界応力σc」とすることができる。ただし，その値が SS カーブの直線上にない場合は，直線上にある最も近い値を「比例限界応力σc」とする。

また，「比例限界応力σc」に安全率 1.3 を考慮し，σc を材料の安全率（一般的に 1.3）で割った値を「許容応力σa」とする。



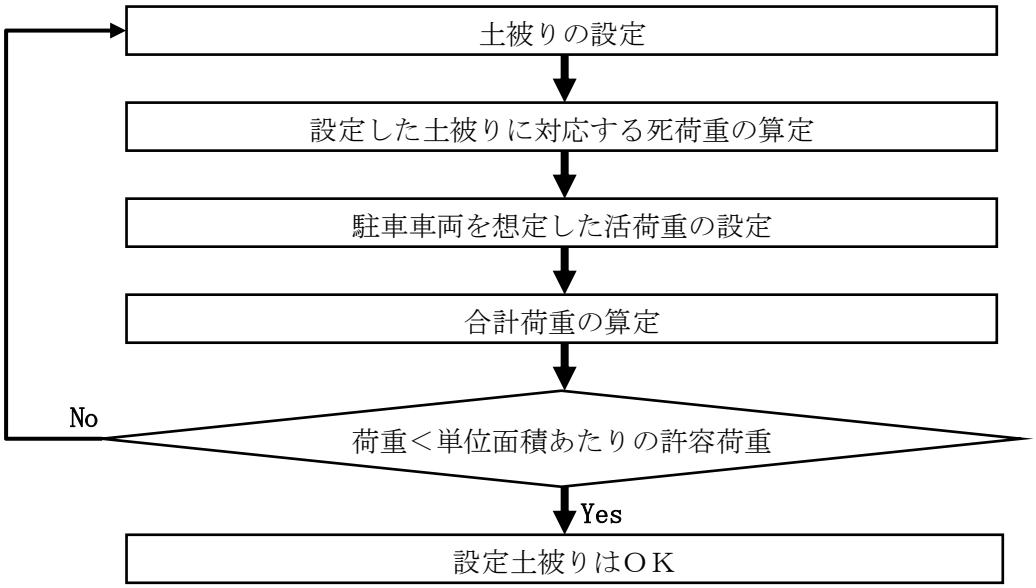
図－５　ひずみと応力の関係例

以上

駐車車両を想定した場合のプラスチック製貯水枠材の強度照査

(1) 評価手順

駐車車両を想定した場合の貯水枠材の強度照査のフローを図－１に示す。



図－１　駐車車両を想定した場合の貯水枠材の強度照査フロー

(2) 荷重条件

a. 死荷重

死荷重としては覆土を 0.7m まで施した場合を想定する。覆土材料は砂質土と砂礫の複合材であるが，安全をとって重量の大きい砂礫の単位体積重量を使用することとする。表－１に覆土を構成する材料の単位体積重量（一般値）を示す。

表－１　覆土を構成する材料の単位体積重量（一般値）

材料名	単位体積重量（kN/m^3）
盛土（砂及び砂礫）	20.0
盛土（砂質土）	19.0

出典：「道路橋示方書・同解説　Ⅰ共通編」社団法人日本道路協会

死荷重は，

BL＝γ×h1

ここに，

BL：覆土の上載荷重（kN/m²）

γ：覆土材料の単位体積重量（kN/m³）

h1：覆土厚さ（m）

b. 活荷重

活荷重としては，高速自動車国道，一般国道に用いられている T-25 荷重（ただし，駐車スペースなので衝撃なし）を用いる。これは総重量 25 トンの大型トラックの荷重を想定したものである。

貯水槽上面に作用する自動車荷重は道路横断方向に際限なく載荷させるものとして，単位長さ当たりの荷重は次式により求める。

$$P1=\frac{2T1}{B}(1+i) \qquad P2=\frac{2T2}{B}(1+i)$$

ここに，

P1：後輪荷重による横方向単位長さあたりの荷重（kN/m）

P2：前輪荷重による横方向単位長さあたりの荷重（kN/m）

T1：自動車の 1 後輪荷重

T2：自動車の 1 前輪荷重

B：自動車占有幅（2.75m）

i：衝撃係数（0）

また，T-25 荷重の諸元を表－２に示す。

表－２　T-25 荷重の諸元

自動車荷重	総荷重（kN）	T1:後輪荷重（kN）	T2:前輪荷重（kN）	接地幅（m）	前後車輪間隔（m）
T-25	250	100	25	0.2	4.0

なお，輪荷重による活荷重は図－２のように地表面より接地幅 0.2m で車両進行方向に 45° の角度をもって地中に分散するものとする。

したがって，貯水槽上面に作用する自動車荷重は次のようになる。

$$q1=\frac{P1}{2h1+0.2} \qquad q2=\frac{P2}{2h1+0.2}$$

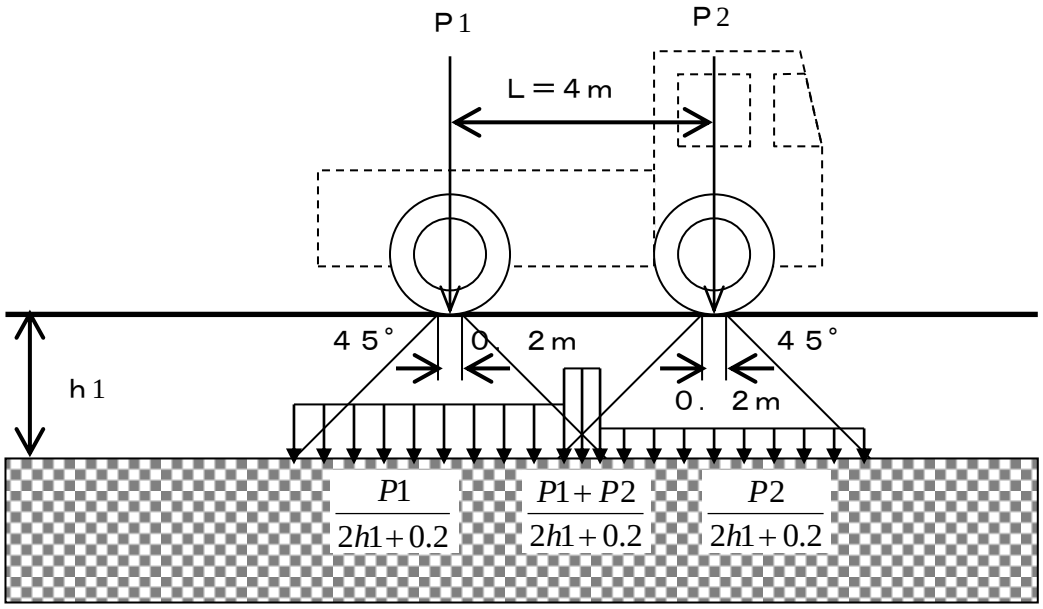
ここに，

q1：後輪の分布荷重（kN/m²）

q2：前輪の分布荷重（kN/m²）

h1：覆土厚さ（m）

L：前輪と後輪の中心距離（軸距 4.0m）



図－２　輪荷重による活荷重

図－２から明らかなように，自動車荷重の最大値は次のようになる。

L＞2h1＋0.2 の場合は，後輪荷重のみの　q=q1

L≦2h1＋0.2 の場合は，後輪荷重と前輪荷重を考慮した　q＝q1＋q2

今回の場合，L＝4.0m，2h1+0.2＝1.6m なので，前者に当たり，自動車荷重としては q1 のみを考慮することとなる。

(3) 設計震度と許容荷重

検討に用いた設計震度と照査に用いた許容荷重 (注) を表－３に示す。

（注）　求められる性能を機能維持とし，貯水枠材の許容荷重としては材料の安全率を 1.0 とした「比例限界応力」を用いることとし，その値は（社）雨水貯留浸透技術協会の技術マニュアルによる。

表－３　設計震度と許容荷重

設計震度（鉛直）	許容荷重（比例限界応力）
0.3	102.1kN/m²

(4) 合計荷重の算定

上述の計算手順にしたがい，算定した合計荷重を表－４に示す。

表－４　合計荷重の計算結果

荷重	条件・計算結果	算定式
【死荷重】		
γ：覆土単位体積重量	20kN/m^3	
h1：覆土厚さ	0.7m	
BL：死荷重	14kN/m^2	γ×h1
【活荷重】		
T1：後輪荷重	100kN	
B：自動車占有幅	2.75m	
P1：後輪単位幅荷重	72.8kN/m^2	2×T1×(1+i)/B
h1：覆土厚さ	0.7m	
q1：活荷重	45.5kN/m^2	P1/(2×h1+0.2)
【合計荷重：常時】：σ	***59.5kN/m^2***	BL＋q1

	計算結果	算定式
【合計荷重：地震時】：σt	***77.3kN/m^2***	σ×(1+0.3)

(5) 強度照査

今回使用する貯水枠材のうち，最も単位面積あたりの許容荷重が小さいものは表－３に示した通りである。それに基づき強度照査を実施した結果を表－５に示す。この結果より，貯水枠材の強度は十分であると評価できる。

表－５　強度照査結果

計算結果	許容荷重（比例限界応力）
77.3kN/m^2	102.1kN/m^2

(6) 載荷荷重について

上述の強度照査により，貯水枠材の強度は地下貯水槽上に T-25 荷重を載荷した場合でも十分であることが評価できる。

ただし，地下貯水槽上に物資を搬入する場合には，設計上載荷荷重との関係を個別に評価する。

以上

地下貯水槽のスロッシング評価

(1) 評価方法

スロッシングはタンク内包水が地震により揺れる現象をいい，地震波の中でもやや長周期のものが，比較的直径の大きなタンクの形状に影響して発生すると考えられている。

地下貯水槽の場合，プラスチック製枠材で構築される水室の中で最も大きなものの寸法は幅 30cm 以下と小規模であり，スロッシングの様な長周期問題は顕在化しないと考えられるが，確認のためスロッシングによる液位上昇量を計算して溢水等が発生しないか確認を行う。

評価方法は容器構造設計指針（日本建築学会）に従うこととする。

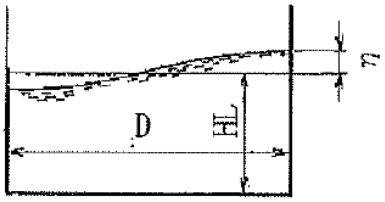
【スロッシング計算法】

スロッシング波高の算定は以下の式にて算出する。

$$\eta = 0.802 \times Zs \times I \times Sv1 \times \sqrt{D/g \times \tanh\left(\frac{3.682 \times HL}{D}\right)}$$

水面動揺の振動周期は以下の式にて算出する。

$$Ts = \frac{2\pi\sqrt{D}}{\sqrt{(3.68 \times g \times \tanh(3.68 \times HL/D)}}$$



ここに、HL： 静水時の水位
D： 配水池の内径
g： 重力加速度　　9.800 m/s²
Zs： 地震地域係数で、Zs＝1.0とする。
I： 用途係数で、表.2-1により耐震設計区分はⅢとする

表.2-1 用途係数I

耐震設計区分	対　　象	用途係数 I
Ⅰ	小規模で危険物を収容しない容器構造物	0.6以上
Ⅱ	大または中規模で危険物を収納せず災害の波及効果の少ないもの	0.8以上
Ⅲ	地震災害の重大性が一般建築物と同等の容器構造物	1.0以上
Ⅳ	危険物を収納し、2次災害の要因となり得るもの	1.2以上

T_G： 地盤の臨界周期で、表.2-2により地盤種別は２種とする

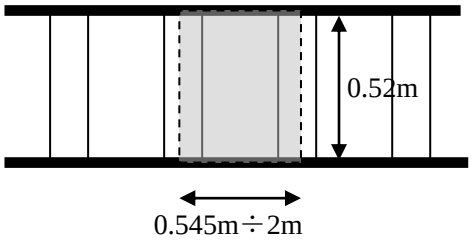
表.2-2 臨界周期T_G

地盤種別	地　盤　条　件	T_G(s)
1 種	1) 第3紀以前の地盤（以下岩盤と称する） 2) 洪積層 3) 岩盤までの沖積層の厚さが10m未満	0.64
2 種	沖積層の厚さが25m未満でかつ軟弱層の厚さが5m未満	0.96
3 種	1) 上記以外の地盤 2) 地盤の特性が不明なもの	1.28

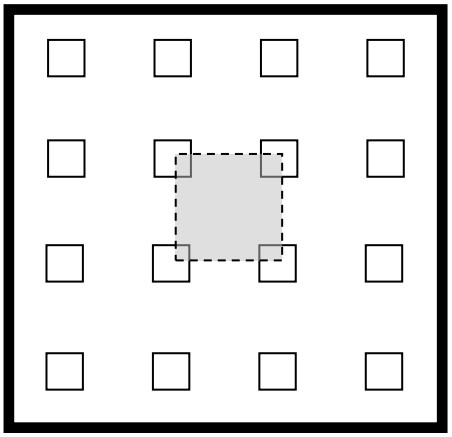
Sv1： スロッシング1次固有周期に対する設計速度応答スペクトル値で以下による
$T_j < T_G$のとき――――― $Sv_j =$　156 ×Ts　cm/s
$Ts \geq T_G$のとき――――― $Sv_j =$　156 ×T_G　cm/s

(2) 評価条件

対象とする水室の形状は次図のものを想定した。スロッシングは共振問題に近いため，鏡面構造をとると考えられることから，支柱で区切られる 1 ブロックを水室と仮定した。スロッシングは寸法が大きいものの方が，発生する液位上昇がより高くなることが知られているので，使用する貯水枠材の中でも最も大きな水室を構成する枠材を検討対象とした。



図－１　貯水槽断面図



図－２　貯水槽平面図

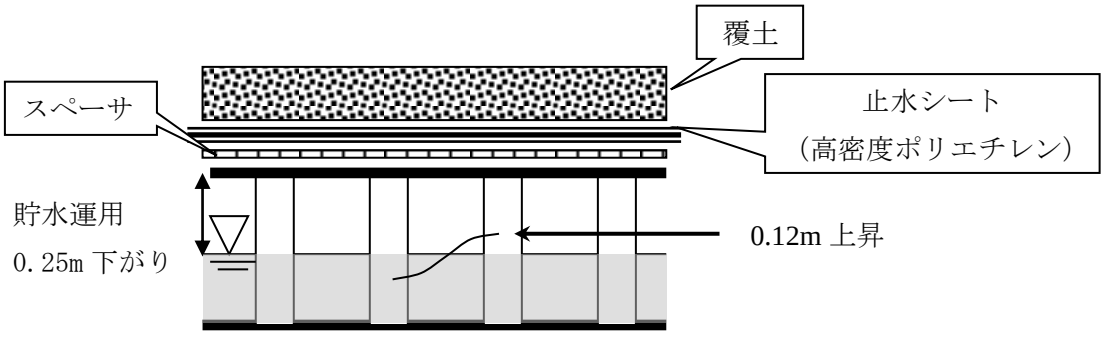
HL：静水時の水位　0.52m
　　（実運用の水位 0.27m）
D：水室の内径　0.545÷2m

(3) 評価結果

計算の結果は次の通り。

η ：液位上昇量　＝　*0.12m*　（実運用水位も同値）

地下貯水槽は貯水枠上面より 0.25m 下がりで運用する計画であるので，0.12m の液位上昇があっても貯水槽外に溢水することはない。仮に液位が貯水枠上面を超えても止水シートが敷設されているので，溢水は防げるものと評価できる。



図－３　スロッシング時の水面変化

以上

廃止（円筒型タンク（1000m^{3}容量）の基準地震動Ｓｓに対する耐震性評価結果）

フランジタンク撤去に伴い本内容を削除。

廃スラッジ一時保管施設の耐震性に関する検討結果

廃スラッジ一時保管施設を構成するスラッジ棟及び設備棟は，「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」のＢクラス相当の建物と位置づけられるため，耐震Ｂクラスとしての評価を実施した。なお，参考として，廃スラッジ一時保管施設等は，高濃度の放射性物質を貯蔵することから参考としてＳクラス相当の評価を行う。

1. スラッジ棟の耐震性評価

1.1 スラッジ棟の耐震Ｂクラスに対する評価

1.1.1. 評価方針

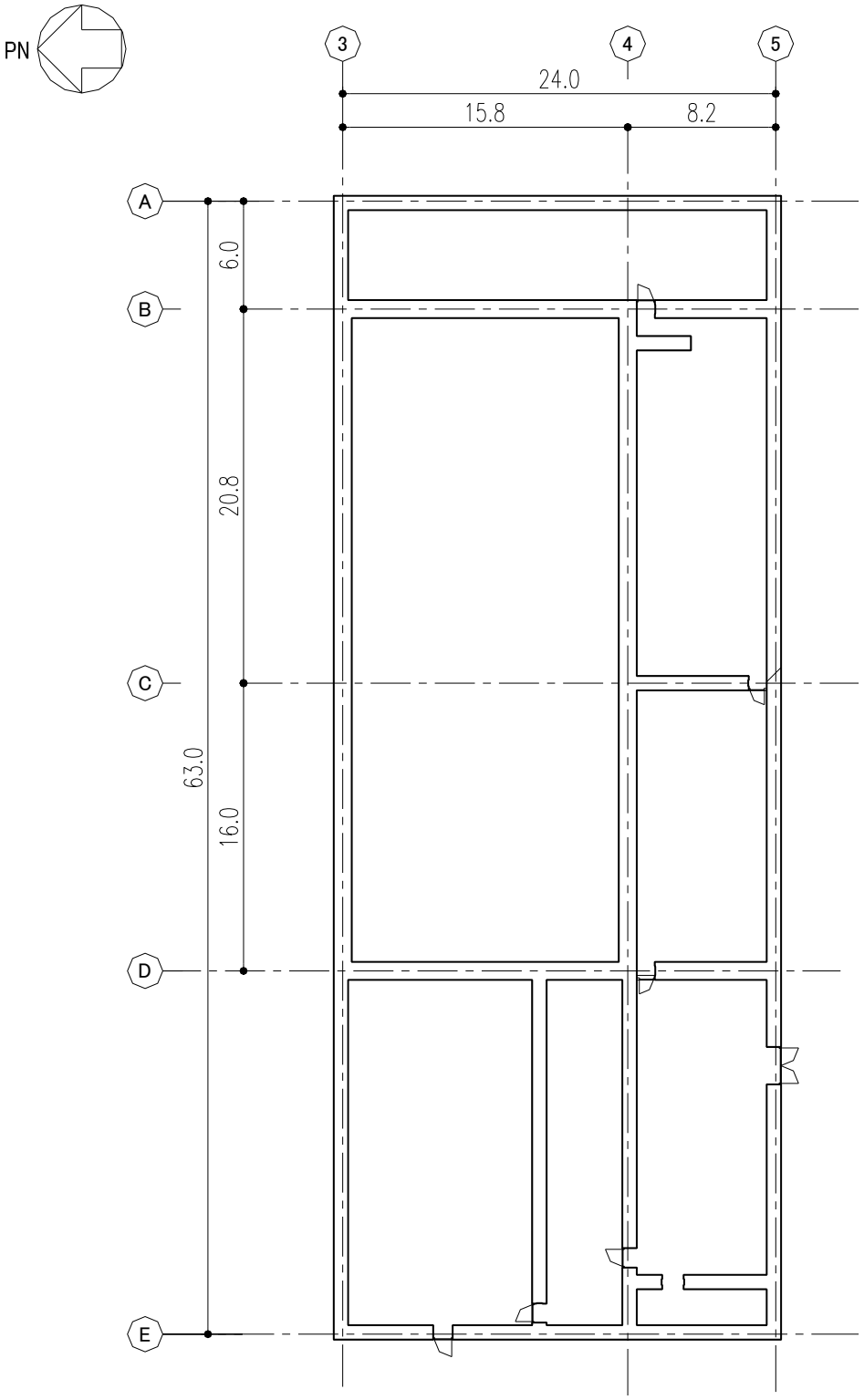
スラッジ棟は，地上１階建で平面が 24.8m（NS）×63.6m（EW）の鉄筋コンクリート造の建物である。基礎底面からの高さは 12.39mであり，地上高さは 11.09mである。

基礎スラブは厚さ 1.5mのべた基礎である。基礎スラブは，厚さ 2.8m～3.8mの改良地盤を介して，N 値 20 以上の地盤に支持させる。スラッジ棟の平面図及び断面図を図－１～図－４に示す。

建屋の地震時の水平力は，耐震壁で負担する。なお，建屋内壁には開口が多いため外壁のみを耐震上有効な耐震壁とみなす。

耐震壁の評価は，地上 1 階の層せん断力係数として 0.3 を採用した場合の該当部位のせん断応力に対して行う。但し，耐震壁の設計用せん断力は，本建物の構造計算をNS，EW 方向ともに平成 19 年国土交通省告示第 593 号の構造計算（ルート 1）とするため，層せん断力係数 0.3 に相当する地震力に，耐力壁せん断力の割増し率 2.0（同告示による）を乗じて求める。耐震性の評価は，耐震壁の応力度を短期許容せん断応力度と比較することによって行うこととする。その際，地震時のせん断力はすべて鉄筋が負担するものとする。

スラッジ棟の評価手順を図－５に示す。

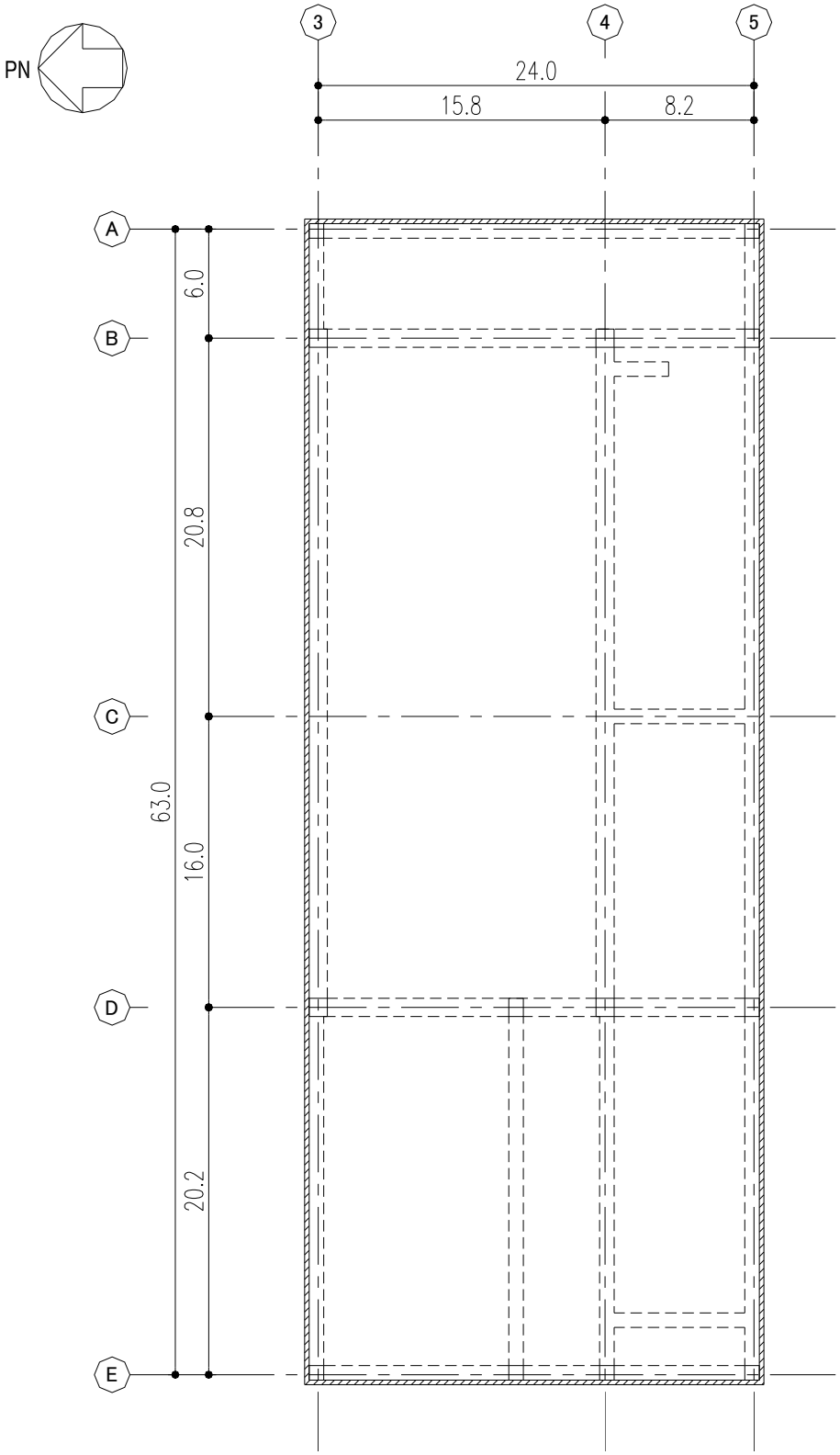


図－１　スラッジ棟　建屋平面図（設計 G.L. +0.2）（単位：m）

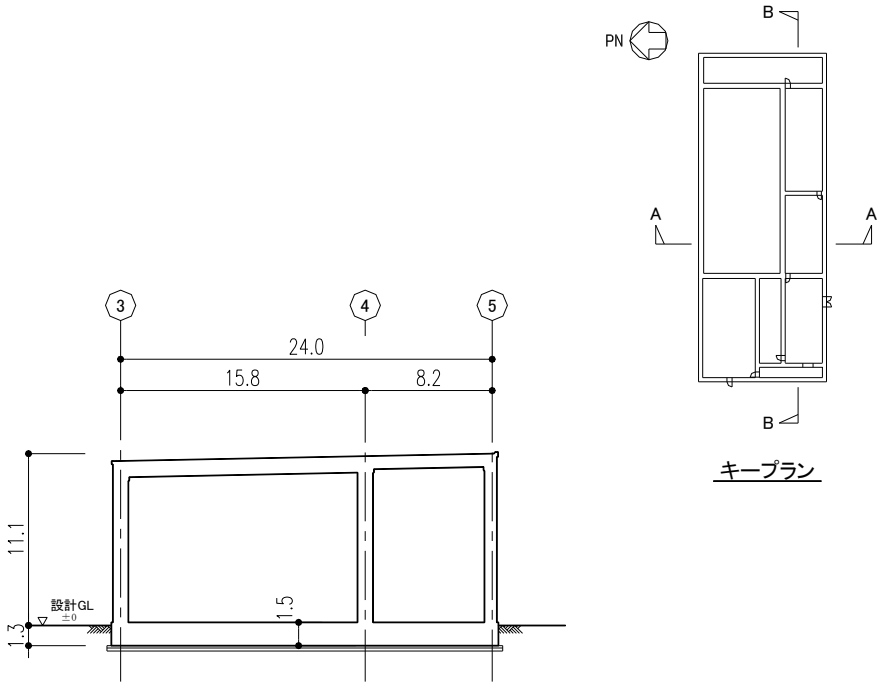
添付資料４では，設計 G.L.±0m= T.P.32.9m(※)とする。

(※)震災後の地盤沈下量（－709mm）と O.P.から T.P.への読替値（－727mm）を用いて，下式に基づき換算している。

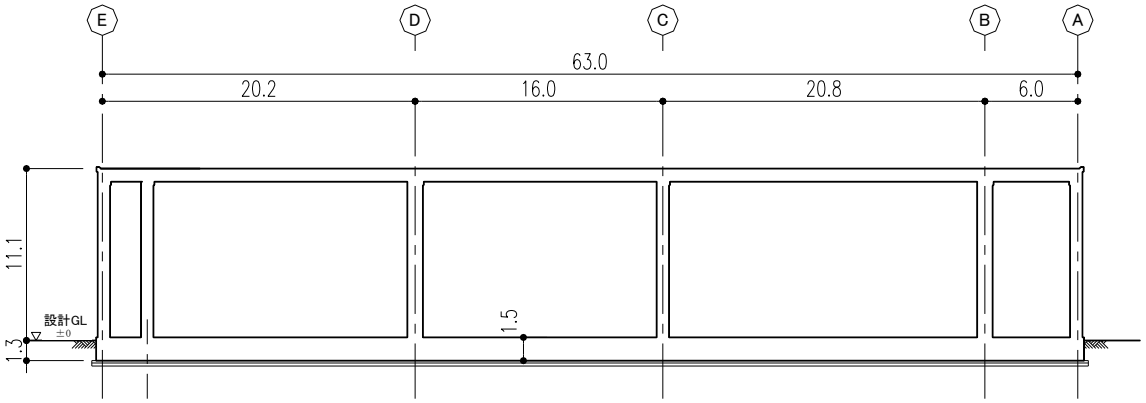
＜換算式＞ T.P.＝旧 O.P.－1,436mm



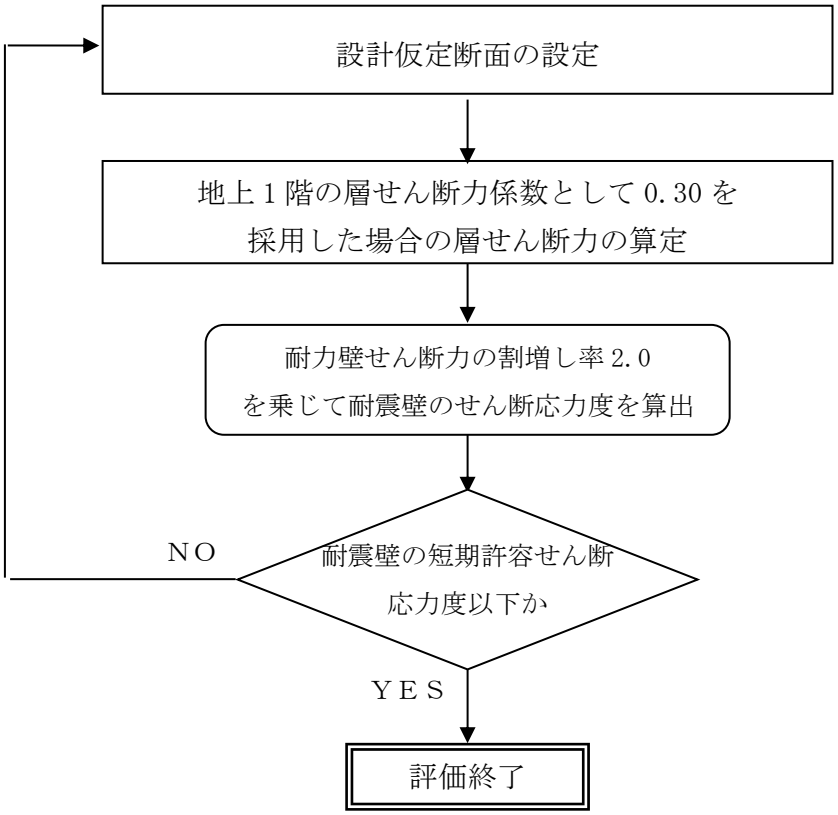
図－２　スラッジ棟　屋根平面図（設計 G.L. +11.1）（単位：m）



図－３　スラッジ棟　Ａ－Ａ断面図（NS 方向）（単位：m）



図－４　スラッジ棟　Ｂ－Ｂ断面図（EW 方向）（単位：m）



図－５　建屋の耐震安全性評価手順

1.1.2. 評価条件（検討に用いる層せん断力の設定）

層せん断力係数を 0.3 とした場合の層せん断力係数一覧を表－１に示す。評価に用いる材料の許容応力度を表－２及び表－３に示す。

表－１　層せん断力係数一覧

G.L. （m）	W_i (kN)	地震層せん断力係数 1.5・C_i（K）		設計用地震力（S_B） （$\times 10^4$ kN）	
		NS	EW	NS	EW
＋11.09 ～ ＋0.2	74,904	0.30		2.25	

表－２　評価に用いるコンクリートの許容応力度

（単位：N/mm^2）

設計基準強度	短　　期		
	圧　縮	引張り	せん断
F_c＝30	20	－	1.18

表－３　評価に用いる鉄筋の許容応力度

（単位：N/mm^2）

鉄筋種類	短　　期	
	引張り及び圧縮	せん断補強
SD345	345	345

1.1.3. 評価結果

NS 方向と EW 方向は設計用地震力が同じであり，壁量の少ない NS 方向について検討する。

検討により求められた耐震壁のせん断応力度をもとに，地震時のせん断力をすべて鉄筋が負担するものとして求めた鉄筋の応力度を，鉄筋の短期許容せん断応力度と比較して表－４に示す。

表－４　耐震壁のせん断による鉄筋応力度

方向	耐震壁のせん断応力度(N/mm^2)	鉄筋のせん断応力度(N/mm^2)	鉄筋の短期許容せん断応力度(N/mm^2)
NS 方向	1.16	323	345

これより，耐震壁の鉄筋に生じるせん断応力度は，短期許容応力度以下となっており，耐震安全性は確保されている。

1.2 スラッジ棟の基準地震動 Ss に対する評価

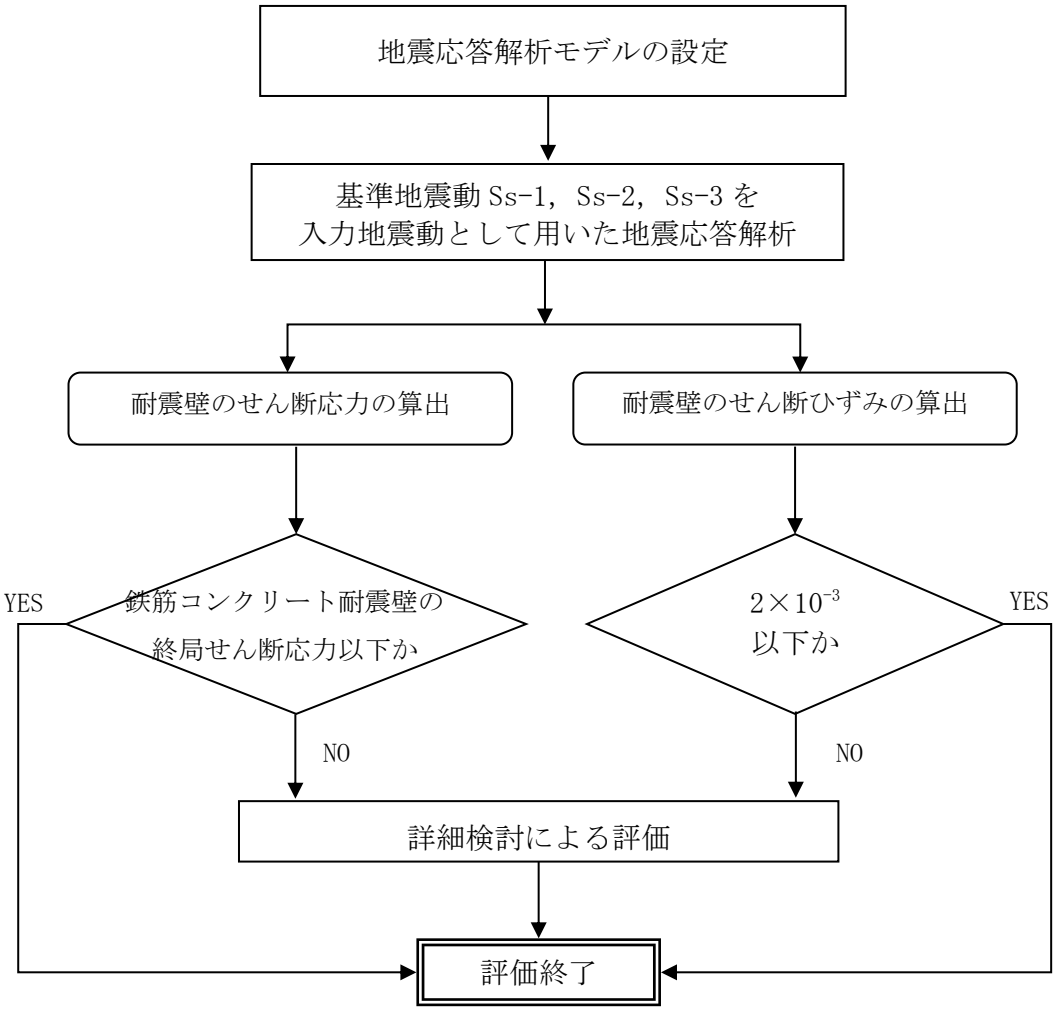
1.2.1. 解析評価方針

スラッジ棟について，基準地震動 Ss による地震力に対し，崩壊しないことを確認する。

解析モデルは，基礎及び地上階について機器を含む建屋全域を NS 方向，EW 方向とも１軸質点系モデルとする。

耐震壁の評価は，地震応答解析により得られた該当部位のせん断応力に対して，鉄筋コンクリート耐震壁の終局せん断応力と比較することによって行う。また，地震応答解析により得られたせん断ひずみについても確認を行うこととする。

スラッジ棟の地震応答解析の評価手順を，図－６に示す。

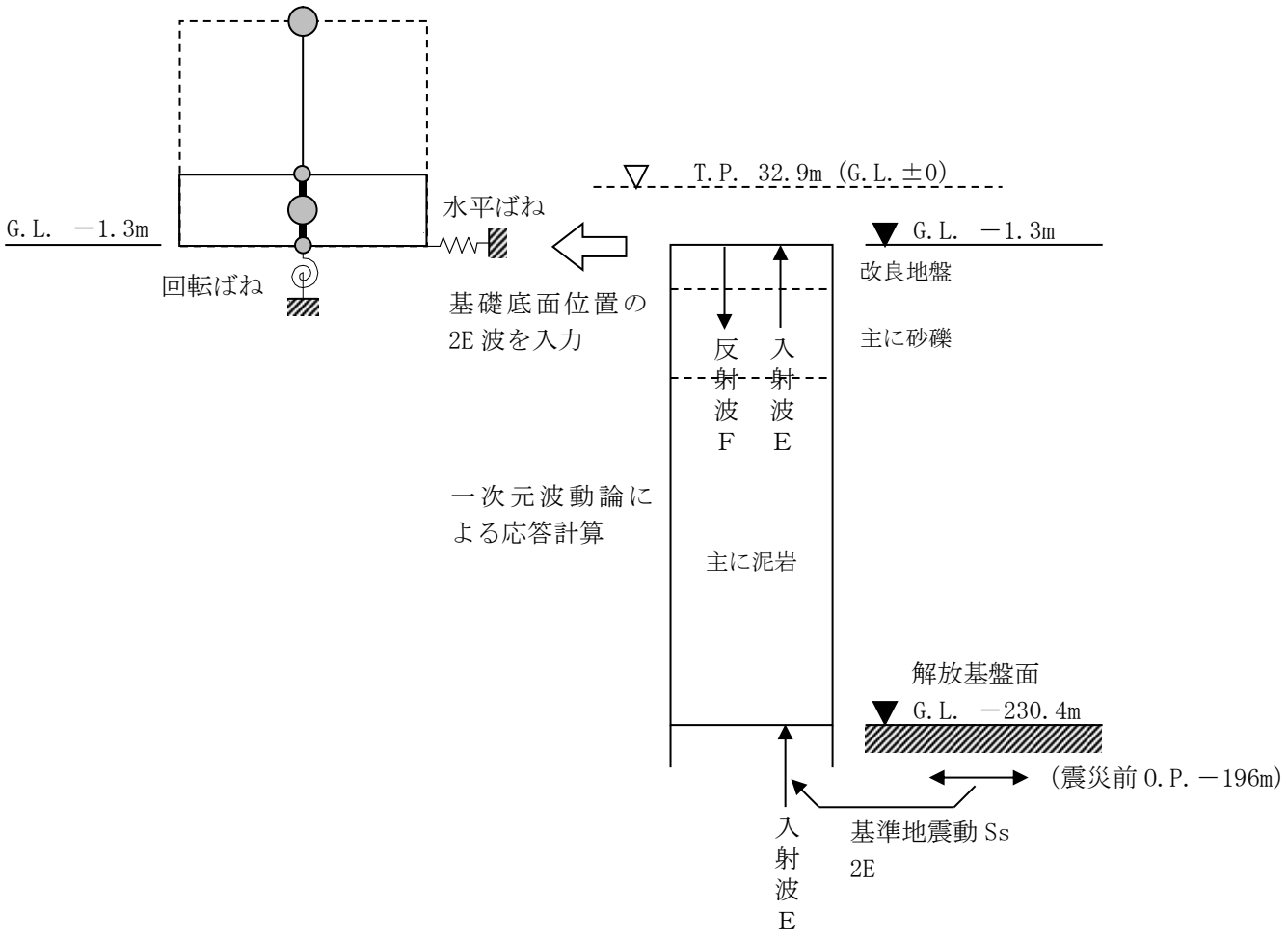


図－６　スラッジ棟の地震応答解析の評価手順

1.2.2. 解析に用いる入力地震動

スラッジ棟への入力地震動は，「福島第一原子力発電所　『発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針』の改訂に伴う耐震安全性評価結果　中間報告書」（原管発官 19 第 603 号　平成 20 年 3 月 31 日付け）にて作成した解放基盤表面レベルに想定する基準地震動 Ss-1，Ss-2 及び Ss-3 を用いることとする。

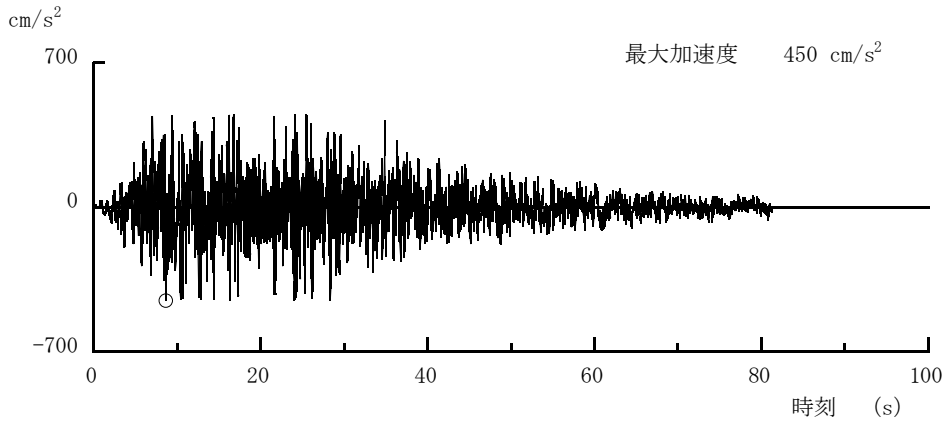
地震応答解析に用いる入力地震動の概念図を図－７に示す。このスラッジ棟の解析モデルは建屋－地盤相互作用を考慮したスウェイ・ロッキングモデルである。モデルに入力する地震動は，一次元波動論に基づき，解放基盤表面レベルに想定する基準地震動 Ss に対する地盤の応答として評価する。このうち，解放基盤表面位置における基準地震動 Ss-1，Ss-2 及び Ss-3 の加速度波形について，図－８に示す。



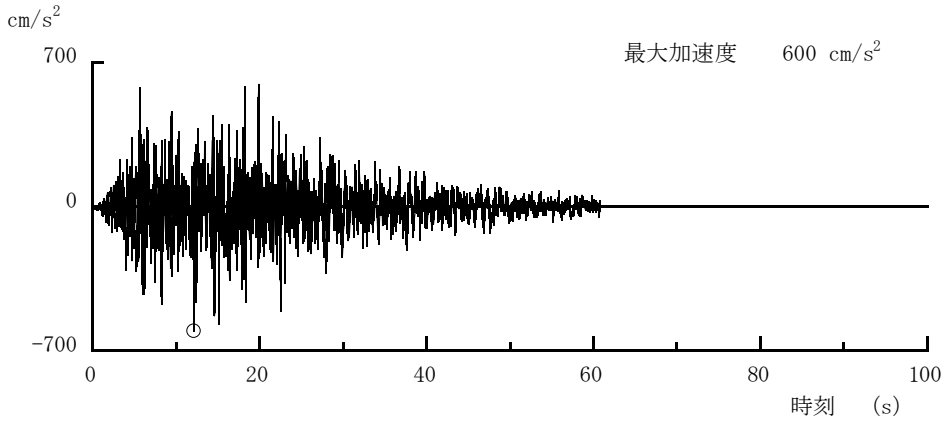
図－７　地震応答解析に用いる入力地震動の概念図

添付資料４に記載の標高は，震災後の地盤沈下量（－709mm）と O.P.から T.P.への読替値（－727mm）を用いて，下式に基づき換算している。

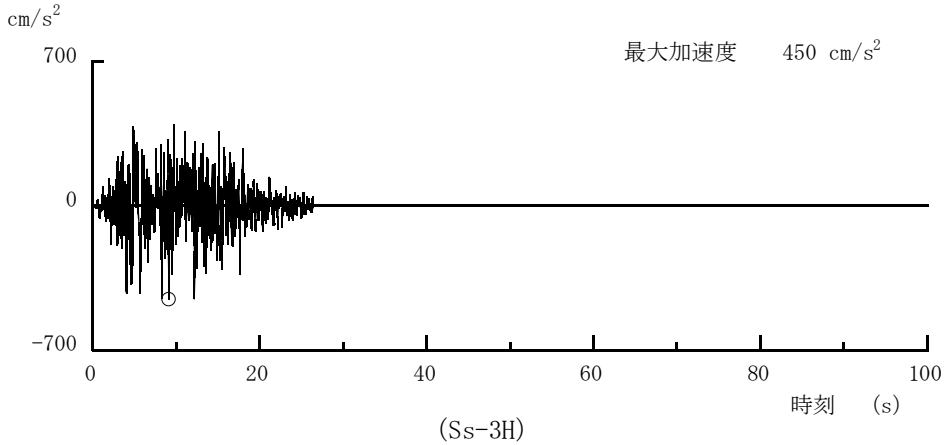
＜換算式＞ T.P.＝旧 O.P.－1,436mm



(Ss-1H)



(Ss-2H)



(Ss-3H)

図－８　解放基盤表面位置における地震動の加速度時刻歴波形（水平方向）

1.2.3. 地震応答解析モデル

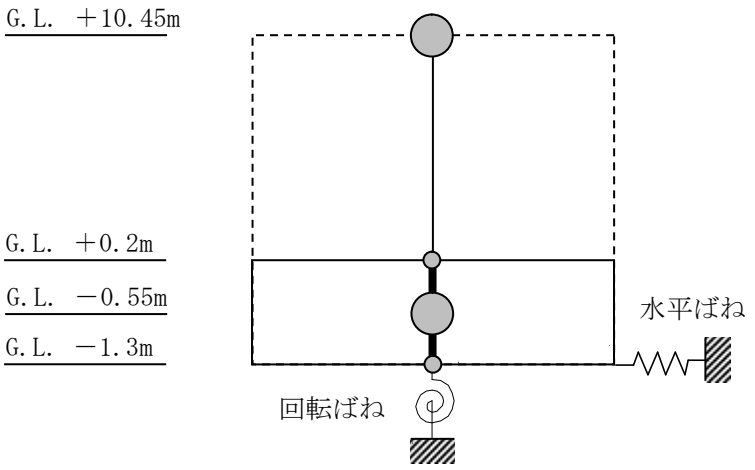
基準地震動 Ss に対するスラッジ棟建屋の地震応答解析は，「1.2.2.　解析に用いる入力地震動」で算定した入力地震動を用いた動的解析による。

水平方向の地震応答解析モデルは，図－９に示すように，建屋を曲げ変形とせん断変形をする質点系とし，地盤を等価なばねで評価した建屋－地盤連成系モデルとする。建屋－地盤連成系としての効果は地盤ばねによって評価される。解析に用いるコンクリートの物性値を表－５に，建屋解析モデルの諸元を表－６及び表－７に示す。

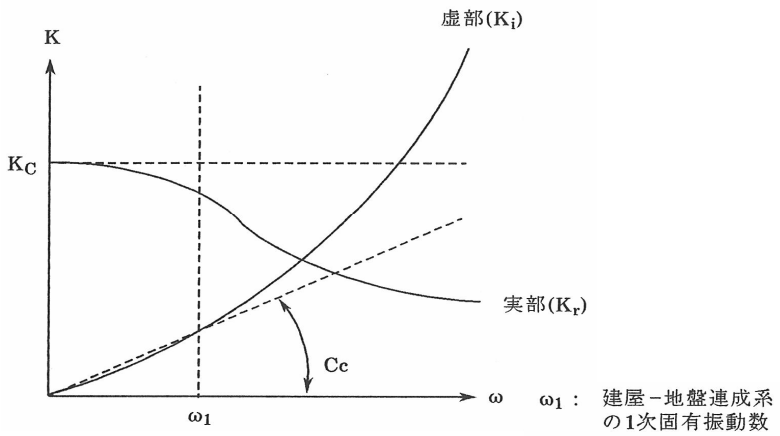
地盤定数は，水平成層地盤と仮定し，地震時のせん断ひずみレベルを考慮して定めた。解析に用いた地盤定数を表－８～表－１０に示す。

水平方向の解析モデルにおいて，基礎底面地盤ばねについては，JEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規定（以下，「耐震設計技術規定」という。）に示された手法を参考にして，成層補正を行ったのち，振動アドミッタンス理論に基づいて，スウェイ及びロッキングばね定数を近似的に評価する。

地盤ばねは振動数に依存した複素剛性として得られるが，図－１０に示すようにばね定数（Kc）として実部の静的な値を，また，減衰係数（Cc）として建屋－地盤連成系の 1 次固有振動数に対応する虚部の値と原点を結ぶ直線の傾きを採用することにより近似する。



図－９　スラッジ棟建屋　地震応答解析モデル（NS 方向・EW 方向）



図－１０　地盤ばねの近似

表－５　地震応答解析に用いるコンクリートの物性値

材料	設計基準強度 Ｆｃ（N/mm^2）	ヤング係数 Ｅ（N/mm^2）	せん断弾性係数 Ｇ（N/mm^2）	減衰定数 ｈ（％）
コンクリート	30	2.44×10^4	1.02×10^4	5

表－６　質点重量及び回転慣性重量

	重量（kN）	回転慣性重量（$\times10^6$ kN･m^2）	
		NS 方向	EW 方向
G.L. ＋10.45m	74904	3.85	25.3
G.L. －0.55m	108739	5.59	36.7

表－７　せん断断面積及び断面二次モーメント

	せん断断面積（m^2）		断面二次モーメント（m^4）	
	NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向
G.L. ＋10.45m～ G.L. ＋0.2m	38.8	105.5	4285	53300

表－８　地盤定数（Ss-1$_H$地震時）

G.L. （m）	地層	S波速度 Vs (m/s)	P波速度 Vp (m/s)	密度 γ (g/cm^3)	ポアソン 比 ν	初期せん断 弾性係数 G_0 (N/mm^2)	初期 減衰定数 h_0（%）	Ss-1$_H$地震時		
								剛性 低下率 G/G_0	せん断 弾性係数 G (N/mm^2)	減衰 定数 h (%)
－1.3	改良地盤	315	1606	1.59	0.480	158	3	0.55	87	7
－4.1	段丘堆積物	315	1606	1.59	0.480	158	3	0.55	87	7
－10.3	砂岩	380	1679	1.82	0.473	262	3	0.63	165	8
－32.5	泥岩	450	1736	1.68	0.464	341	3	0.77	263	3
－44.4	泥岩	500	1740	1.74	0.455	436	3	0.77	336	3
－114.4	泥岩	560	1794	1.79	0.446	563	3	0.77	434	3
－142.4	泥岩	600	1861	1.82	0.442	653	3	0.75	490	3
－230.4	基盤	700	1895	1.89	0.421	924	－	－	924	－

表－９　地盤定数（Ss-2_H地震時）

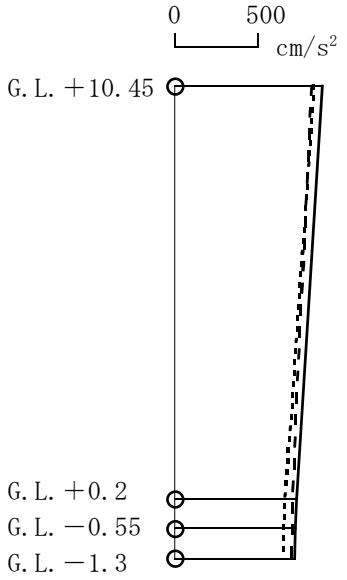
G.L. （m）	地層	S波速度 Vs （m/s）	P波速度 Vp （m/s）	密度 γ （g/cm^3）	ポアソン 比 ν	初期せん断 弾性係数 G_0 （N/mm^2）	初期 減衰定数 h_0（%）	Ss-2_H地震時		
								剛性 低下率 G/G_0	せん断 弾性係数 G（N/mm^2）	減衰 定数 h（%）
－1.3	改良地盤	315	1606	1.59	0.480	158	3	0.54	85	7
－4.1	段丘堆積物	315	1606	1.59	0.480	158	3	0.54	85	7
－10.3	砂岩	380	1679	1.82	0.473	262	3	0.64	168	8
－32.5	泥岩	450	1736	1.68	0.464	341	3	0.79	269	3
－44.4	泥岩	500	1740	1.74	0.455	436	3	0.78	340	3
－114.4	泥岩	560	1794	1.79	0.446	563	3	0.81	456	3
－142.4	泥岩	600	1861	1.82	0.442	653	3	0.81	529	3
－230.4	基盤	700	1895	1.89	0.421	924	－	－	924	－

表－１０　地盤定数（Ss-3$_H$地震時）

G.L. （m）	地層	S波速度 Vs (m/s)	P波速度 Vp (m/s)	密度 γ (g/cm^3)	ポアソン 比 ν	初期せん断 弾性係数 G_0 (N/mm^2)	初期 減衰定数 h_0（%）	Ss-3$_H$地震時		
								剛性 低下率 G/G_0	せん断 弾性係数 G (N/mm^2)	減衰 定数 h (%)
－1.3	改良地盤	315	1606	1.59	0.480	158	3	0.56	88	7
－4.1	段丘堆積物	315	1606	1.59	0.480	158	3	0.56	88	7
－10.3	砂岩	380	1679	1.82	0.473	262	3	0.66	173	7
－32.5	泥岩	450	1736	1.68	0.464	341	3	0.79	269	3
－44.4	泥岩	500	1740	1.74	0.455	436	3	0.77	336	3
－114.4	泥岩	560	1794	1.79	0.446	563	3	0.73	411	3
－142.4	泥岩	600	1861	1.82	0.442	653	3	0.77	503	3
－230.4	基盤	700	1895	1.89	0.421	924	－	－	924	－

1.2.4. 地震応答解析結果

地震応答解析により求められたNS方向，EW方向の最大応答加速度を図－１１及び図－１２に示す。

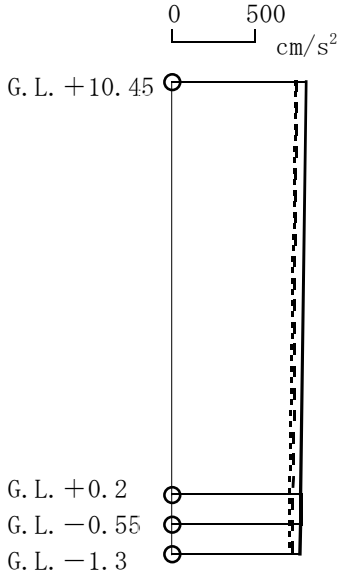


Ss－1H
Ss－2H
Ss－3H

(単位：cm/s²)

	Ss-1H	Ss-2H	Ss-3H
G.L.＋10.45	882	820	832
G.L.＋0.2	728	704	659
G.L.－0.55	722	700	653
G.L.－1.3	716	697	646

図－１１　最大応答加速度（NS方向）



Ss－1H
Ss－2H
Ss－3H

(単位：cm/s²)

	Ss-1H	Ss-2H	Ss-3H
G.L.＋10.45	802	746	742
G.L.＋0.2	770	727	702
G.L.－0.55	769	726	701
G.L.－1.3	768	726	700

図－１２　最大応答加速度（EW方向）

1.2.5. 耐震安全性評価結果

地震応答解析により得られたせん断応力を，鉄筋コンクリート壁の終局せん断応力と併せて表－１１に示す。これより，地震応答解析による応答せん断応力は鉄筋コンクリート耐震壁の終局せん断応力を下回っている。

また，地震応答解析により得られたせん断ひずみを，壁のひずみの許容限界目安値と併せて表－１２に示す。せん断ひずみは耐震設計技術規程に基づく許容限界の目安値（$\gamma = 2.0 \times 10^{-3}$）に対して十分な安全裕度を有している。

以上のことから，Ss 地震に対する耐震安全性は確保されているものと評価した。

表－１１　せん断応力

	NS 方向		EW 方向	
	せん断応力*1 (N/mm^2)	終局せん断応力*2 (N/mm^2)	せん断応力*1 (N/mm^2)	終局せん断応力*2 (N/mm^2)
G.L.＋10.45 ～G.L.＋0.2	1.74	4.42	0.58	4.27

注記*1：　$Ss\text{-}1_H$，$Ss\text{-}2_H$，$Ss\text{-}3_H$の応答の最大値を示す。

注記*2：　耐震設計技術規程に基づき，鉄筋コンクリート耐震壁のスケルトンカーブの終局時せん断応力 τ_u を示す。

表－１２　せん断ひずみ度

	NS 方向*1 ($\times 10^{-3}$)	EW 方向*1 ($\times 10^{-3}$)	許容限界の目安値（$\times 10^{-3}$）
G.L.＋10.45 ～G.L.＋0.2	0.171	0.057	2.0

注記＊１：　$Ss\text{-}1_H$，$Ss\text{-}2_H$，$Ss\text{-}3_H$の応答の最大値を示す。

2. 設備棟の耐震性評価

2.1 設備棟の耐震Bクラスに対する評価

2.1.1. 評価方針

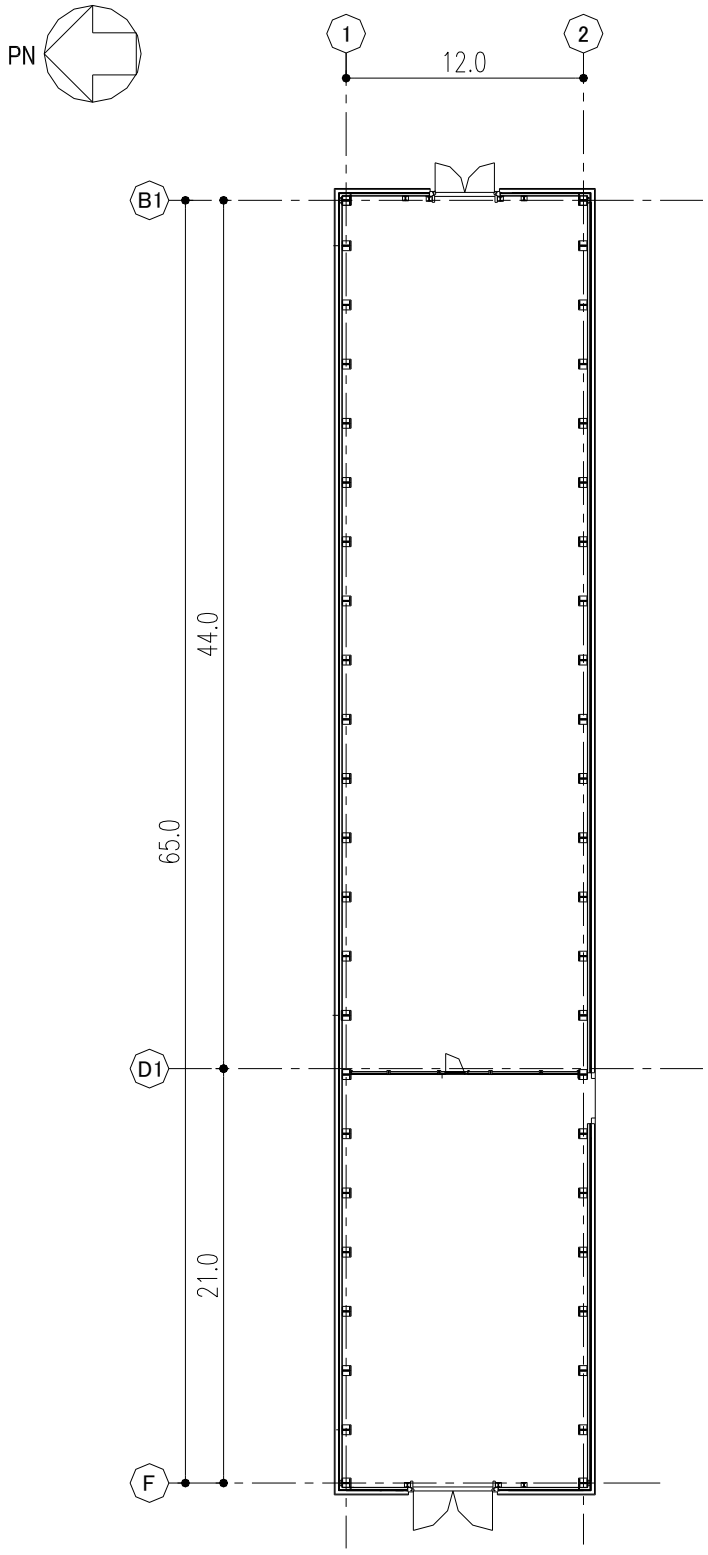
設備棟は，地上１階建で平面が 12.0m×65.0mの鉄骨造の建物である。基礎底面からの高さは7.4mであり，地上高さは6.6mである。

基礎スラブは厚さ1.0mのべた基礎である。基礎スラブは，厚さ3.3mの改良地盤を介して，N値20以上の地盤に支持させる。設備棟の平面図及び断面図を図－１３～図－１６に示す。

建屋の地震時の水平力に対して，NS方向は純ラーメン構造，EW方向はブレース構造とする。

耐震性の評価は，地上1階の層せん断力係数として0.3を採用した場合の該当部位の応力に対して行う。但し，断面算定に用いる地震荷重時応力は，余裕を見て設計用地震力に対する応力の1.0/0.3倍とする。（層せん断力係数1.0に相当）

設備棟の評価手順を図－１７に示す。

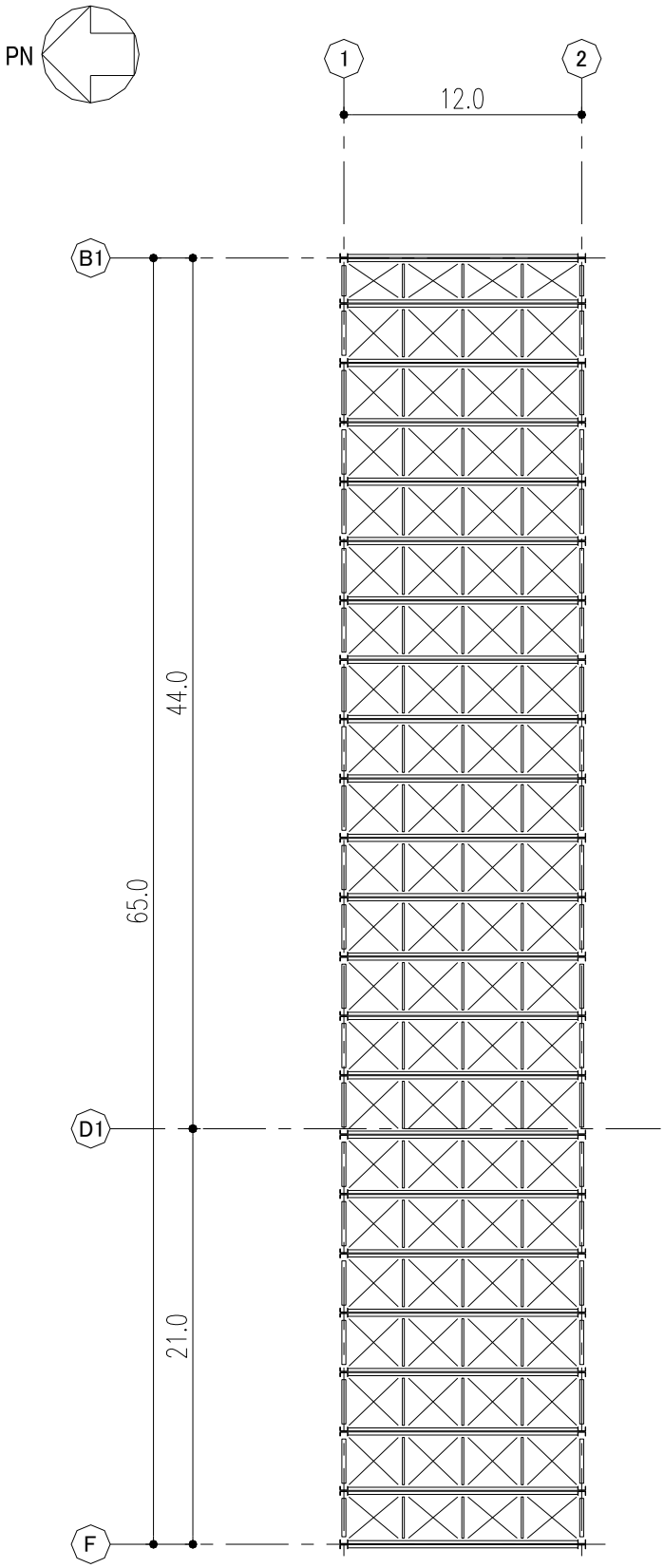


図－１３　設備棟　建屋平面図　設計 G.L.＋0.2（単位：m）

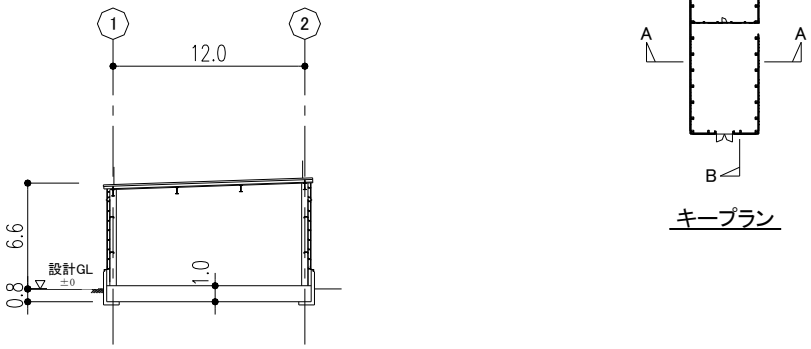
添付資料４では，設計 G.L.±0m= T.P.32.9m(※)とする。

(※)震災後の地盤沈下量（－709mm）と O.P.から T.P.への読替値（－727mm）を用いて，下式に基づき換算している。

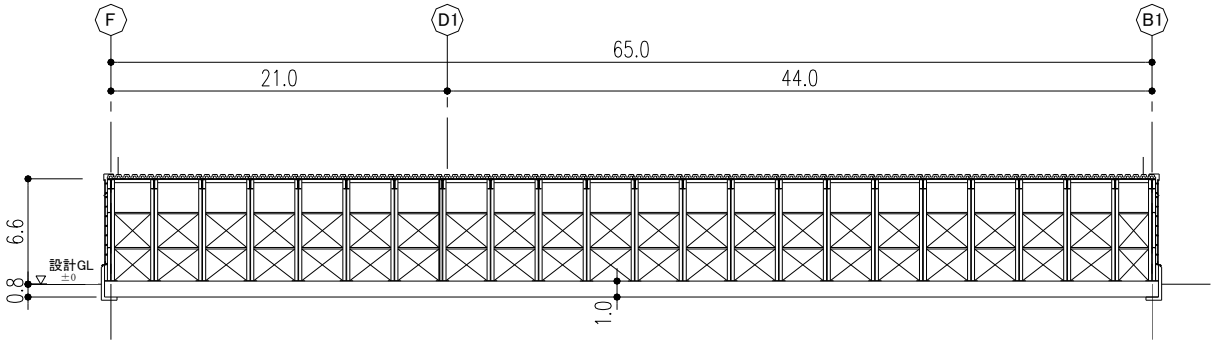
＜換算式＞ T.P.＝旧 O.P.－1,436mm



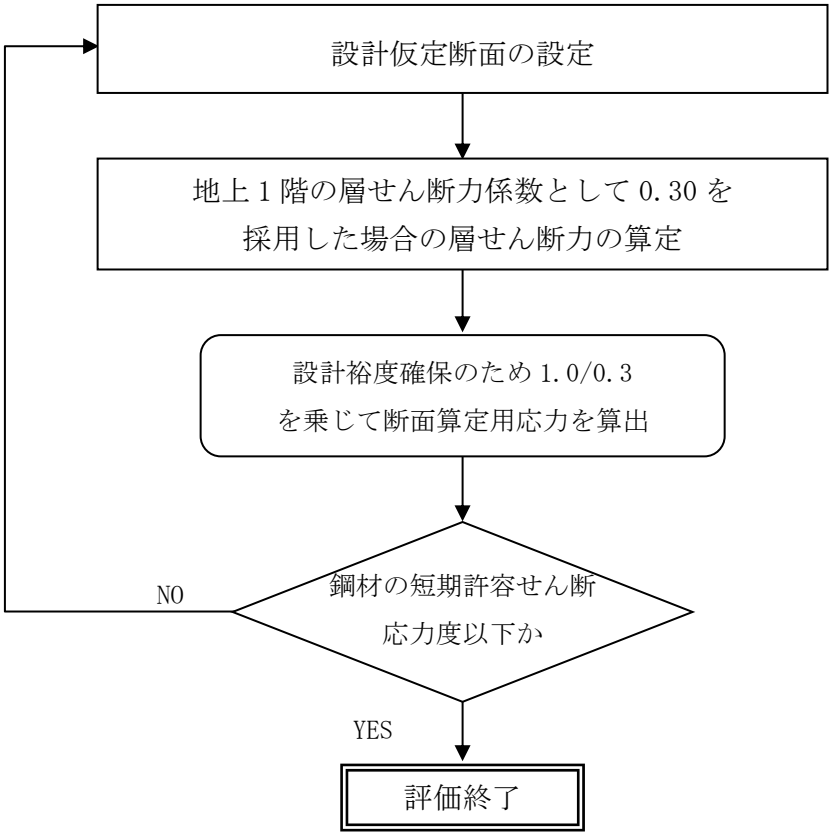
図－１４　設備棟　屋根平面図　設計 G.L.＋6.6（単位：m）



図－１５　設備棟　Ａ－Ａ断面図（NS 方向）（単位：m）



図－１６　設備棟　Ｂ－Ｂ断面図（EW 方向）（単位：m）



図－１７　建屋の耐震安全性評価手順

2.1.2. 評価条件（検討に用いる層せん断力の設定）

層せん断力係数を 0.3 とした場合の層せん断力係数一覧を表－１３に示す。評価に用いる材料の許容応力度を表－１４に示す。

表－１３　層せん断力係数一覧

G.L.（m）	W_i (kN)	地震層せん断力係数 1.5・C_i（K）		設計用地震力（S_B）（$\times 10^2$ kN）	
		NS	EW	NS	EW
＋6.6～＋0.2	2,560	0.30		7.68	

表－１４　構造用鋼材の許容応力度

（単位：N/mm^2）

	板厚	材料	基準強度 F	許容応力度
構造用鋼材	t ≦40 mm	SS400	235	「鋼構造設計規準」に従って左記Ｆの値により求める。
	t ≦40 mm	SM490A SN490B	325	

2.1.3. 評価結果

NS 方向については，スパン方向の大梁及び柱を線材置換し，柱脚部にはその固定度を考慮した回転ばねを付したモデルにより部材応力を評価する。

EW 方向については，桁行方向の大梁，柱及びブレースを線材置換し，柱脚をピンとしたモデルにより部材応力を評価する。なお，ブレースは引張力に対してのみ有効とする。

検討により求められた鉄骨部材の応力を，短期許容応力度と比較して表－１５に示す。

表－１５　鉄骨部材の応力と短期許容応力度

部　材	方向	応力 (N/mm^2)	短期許容応力度 (N/mm^2)	応力/許容応力度比
大梁	NS	55.5 (曲げ)	250 (曲げ)	0.22
柱	NS	69.8 (曲げ)	214 (曲げ)	0.34 (軸力と曲げの組み合わせ)
		3.85 (軸力（圧縮）)	292 (軸力（圧縮）)	
	EW	105.2 (曲げ)	325 (曲げ)	0.36 (軸力と曲げの組み合わせ)
		11.7 (軸力（圧縮）)	292 (軸力（圧縮）)	
ブレース	EW	149 (引張)	235 (引張)	0.64

これより，鉄骨部材に生じる応力は，短期許容応力度以下となっており，耐震安全性は確保されている。

2.2 設備棟の基準地震動 Ss に対する評価

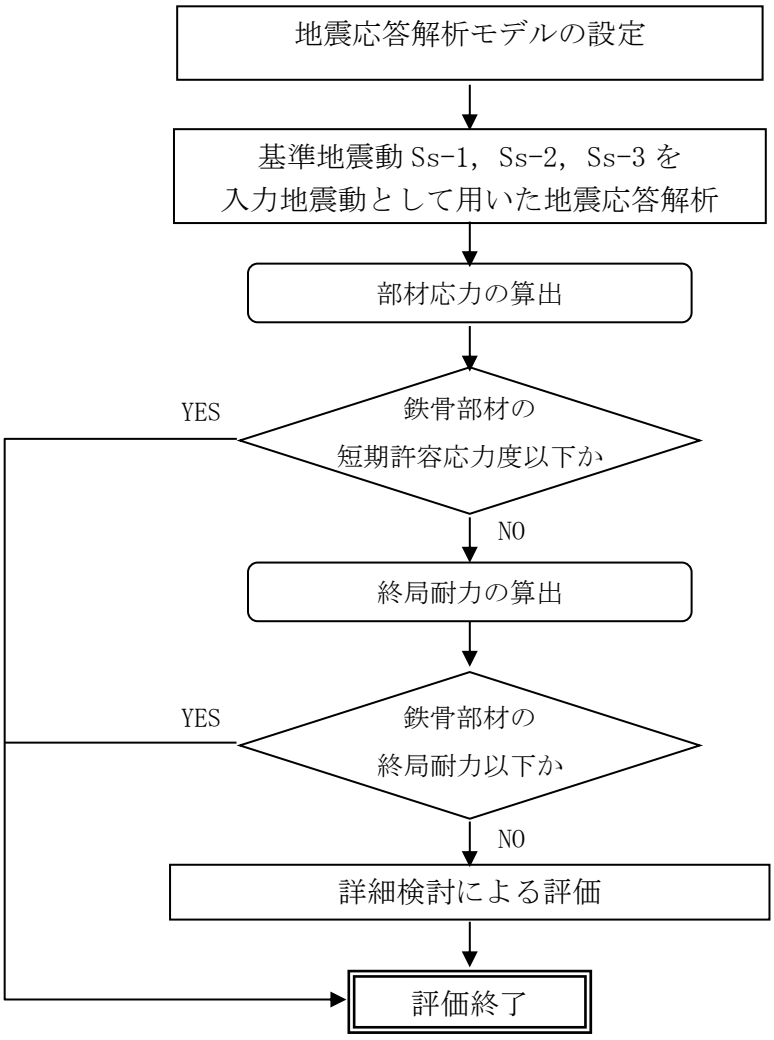
2.2.1. 解析評価方針

設備棟について，基準地震動 Ss による地震力に対し，崩壊しないことを確認する。

解析モデルは，基礎及び地上階について機器を含む建屋全域を NS 方向，EW 方向とも１軸質点系モデルとする。

鉄骨部材の評価は，地震応答解析により得られた該当部位の応力に対して，鉄骨部材の終局耐力と比較することによって行う。終局耐力は，地震応答解析により得られた層間変形角も考慮して算定することとする。但し，部材応力が鋼材の短期許容応力度以下である場合は，終局耐力との比較を省略する。

設備棟の地震応答解析の評価手順を，図－１８に示す。

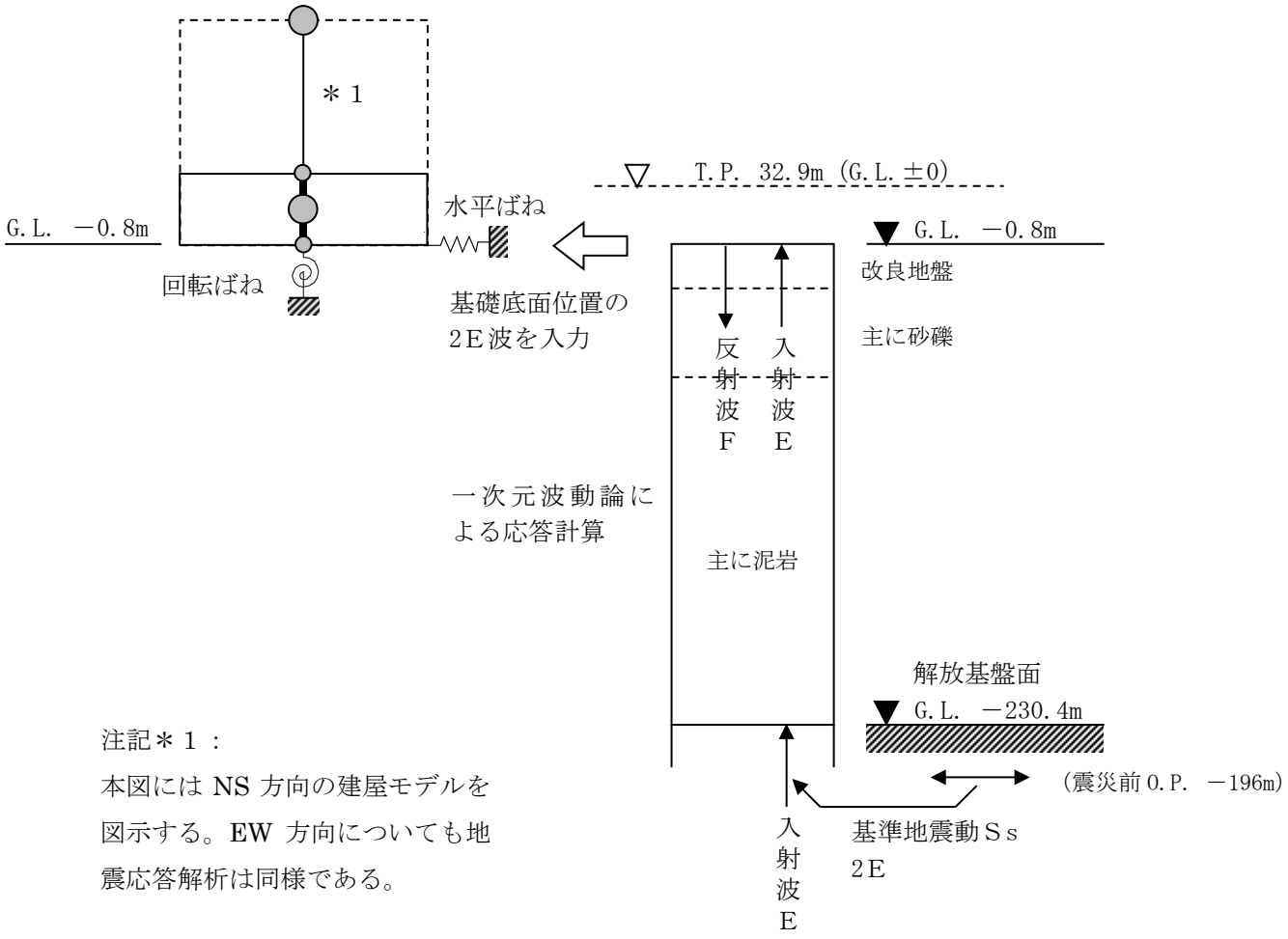


図－１８　設備棟建屋の地震応答解析の評価手順

2.2.2. 解析に用いる入力地震動

設備棟建屋への入力地震動は，「福島第一原子力発電所　『発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針』の改訂に伴う耐震安全性評価結果　中間報告書」（原管発官 19 第 603 号　平成 20 年 3 月 31 日付け）にて作成した解放基盤表面レベルに想定する基準地震動 Ss-1，Ss-2 及び Ss-3 を用いることとする。

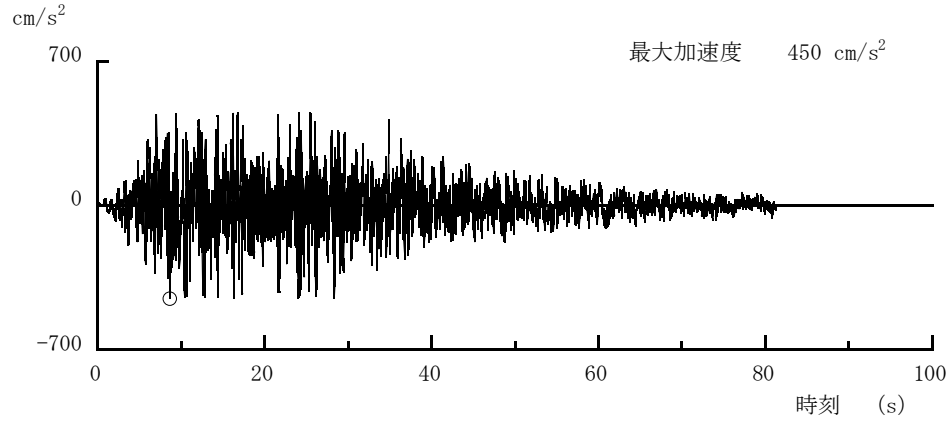
地震応答解析に用いる入力地震動の概念図を図－１９に示す。この設備棟建屋の解析モデルは建屋－地盤相互作用を考慮したスウェイ・ロッキングモデルである。モデルに入力する地震動は，一次元波動論に基づき，解放基盤表面レベルに想定する基準地震動 Ss に対する地盤の応答として評価する。このうち，解放基盤表面位置における基準地震動 Ss-1，Ss-2 及び Ss-3 の加速度波形について，図－２０に示す。



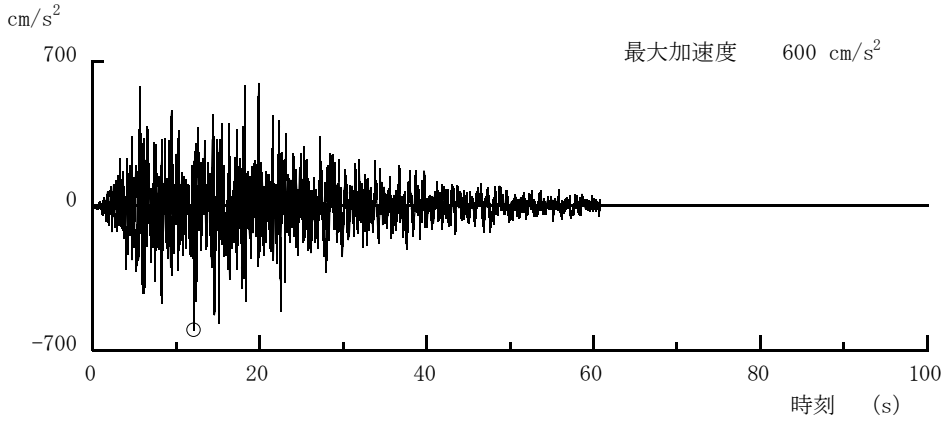
図－１９　地震応答解析に用いる入力地震動の概念図

添付資料４に記載の標高は，震災後の地盤沈下量（－709mm）と O.P.から T.P.への読替値（－727mm）を用いて，下式に基づき換算している。

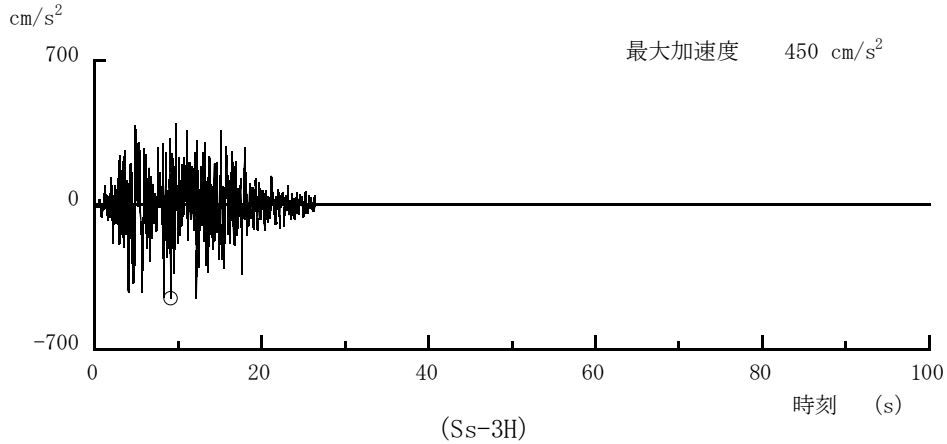
＜換算式＞ T.P.＝旧 O.P.－1,436mm



(Ss-1H)



(Ss-2H)



(Ss-3H)

図－２０　解放基盤表面位置における地震動の加速度時刻歴波形（水平方向）

2.2.3. 地震応答解析モデル

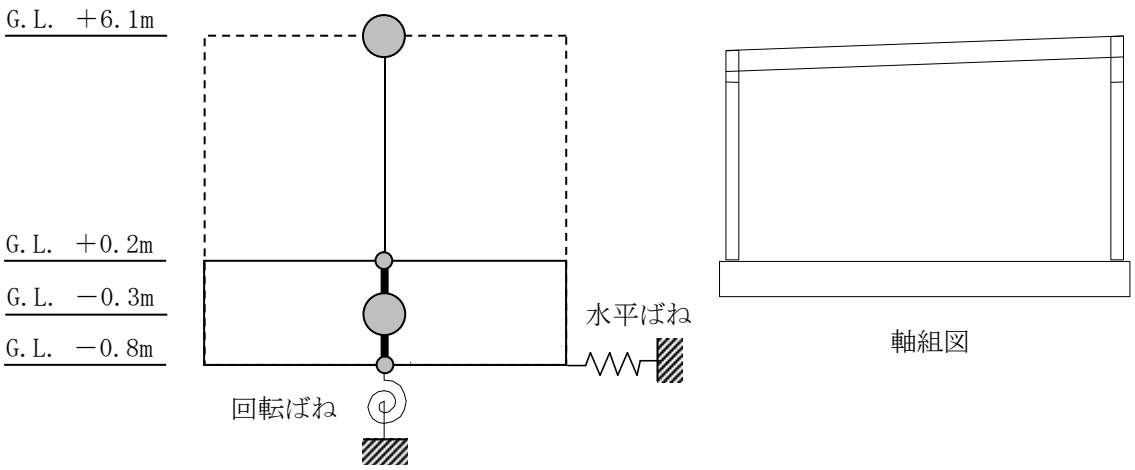
基準地震動 Ss に対する設備棟建屋の地震応答解析は，「2.2.2. 解析に用いる入力地震動」で算定した入力地震動を用いた動的解析による。

水平方向の地震応答解析モデルは，図－２１及び図－２２に示すように，建屋を曲げ変形とせん断変形をする質点系とし，地盤を等価なばねで評価した建屋－地盤連成系モデルとする。建屋－地盤連成系としての効果は地盤ばねによって評価される。解析に用いる鋼材の物性値を表－１６に，建屋解析モデルの諸元を表－１７～表－２０に示す。

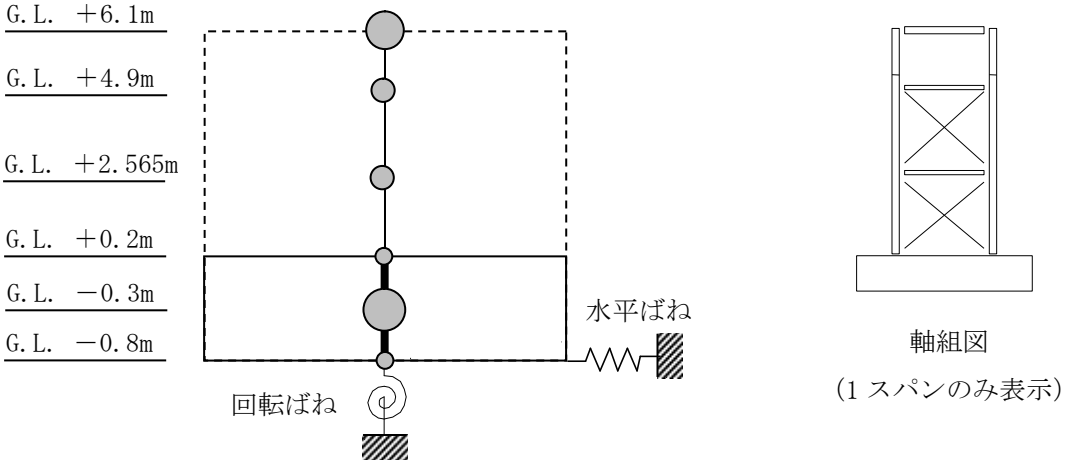
地盤定数は，水平成層地盤と仮定し，地震時のせん断ひずみレベルを考慮して定めた。解析に用いた地盤定数を表－２１～表－２３に示す。

水平方向の解析モデルにおいて，基礎底面地盤ばねについては，耐震設計技術規程に示された手法を参考にして，成層補正を行ったのち，振動アドミッタンス理論に基づいて，スウェイ及びロッキングばね定数を近似的に評価する。

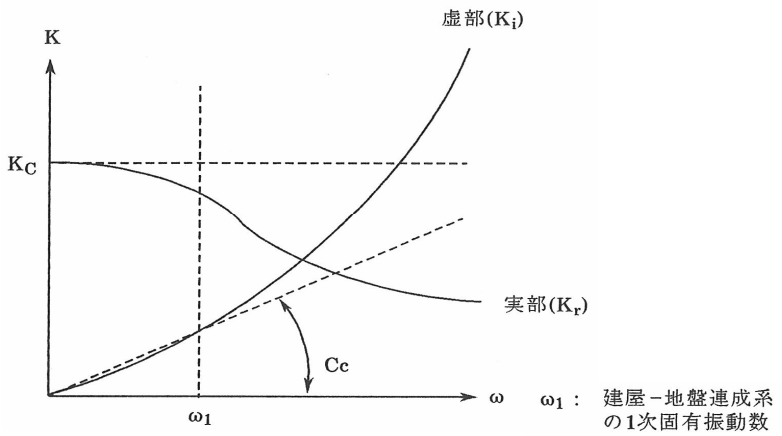
地盤ばねは振動数に依存した複素剛性として得られるが，図－２３に示すようにばね定数（Kc）として実部の静的な値を，また，減衰係数（Cc）として建屋－地盤連成系の 1 次固有振動数に対応する虚部の値と原点を結ぶ直線の傾きを採用することにより近似する。



図－２１　設備棟建屋　地震応答解析モデル（NS 方向）



図－２２　設備棟建屋　地震応答解析モデル（EW 方向）



図－２３　地盤ばねの近似

表－１６　地震応答解析に用いる鋼材の物性値

材料	基準強度 F （N/mm^2）	ヤング係数 E （N/mm^2）	せん断弾性係数 G （N/mm^2）	減衰定数 h （%）
構造用鋼材	325	2.05×10^5	7.90×10^4	2

表－１７　質点重量及び回転慣性重量（NS 方向）

	重量（kN）	回転慣性重量（$\times10^4$ kN･m^2）
G.L. ＋6.1m	2560	3.08
G.L. －0.3m	25360	34.8

表－１８　質点重量及び回転慣性重量（EW 方向）

	重量（kN）	回転慣性重量（$\times10^4$ kN･m^2）
G.L. ＋6.1m	2170	76.4
G.L. ＋4.9m	313	14.5
G.L. ＋2.565m	414	19.1
G.L. －0.3m	25023	903.0

表－１９　せん断断面積及び断面二次モーメント（NS 方向）

	せん断断面積[*3]（$\times 10^{-2}m^2$）
G.L. ＋6.1m ～ G.L. ＋0.2m	0.94

注記*3：　建屋と水平剛性が等価な鋼材のせん断断面積。

表－２０　せん断断面積及び断面二次モーメント（EW 方向）

	せん断断面積[*4]（$\times 10^{-2}m^2$）
G.L. ＋6.1m ～ G.L. ＋4.9m	5.48
G.L. ＋4.9m ～ G.L. ＋2.565m	5.29
G.L. ＋2.565m ～ G.L. ＋0.2m	5.29

注記*4：　建屋と水平剛性が等価な鋼材のせん断断面積。

表－２１　地盤定数（Ss-1$_H$地震時）

G.L. （m）	地層	S波速度 Vs （m/s）	P波速度 Vp （m/s）	密度 γ （g/cm^3）	ポアソン 比 ν	初期せん断 弾性係数 G_0 （N/mm^2）	初期 減衰定数 h_0（%）	Ss-1$_H$地震時		
								剛性 低下率 G/G_0	せん断 弾性係数 G （N/mm^2）	減衰 定数 h （%）
－0.8	改良地盤	315	1606	1.59	0.480	158	3	0.55	87	7
－4.1	段丘堆積物	315	1606	1.59	0.480	158	3	0.55	87	7
－10.3	砂岩	380	1679	1.82	0.473	262	3	0.63	165	8
－32.5	泥岩	450	1736	1.68	0.464	341	3	0.77	263	3
－44.4	泥岩	500	1740	1.74	0.455	436	3	0.77	336	3
－114.4	泥岩	560	1794	1.79	0.446	563	3	0.77	434	3
－142.4	泥岩	600	1861	1.82	0.442	653	3	0.75	490	3
－230.4	基盤	700	1895	1.89	0.421	924	－	－	924	－

表－２２　地盤定数（Ss-2_H地震時）

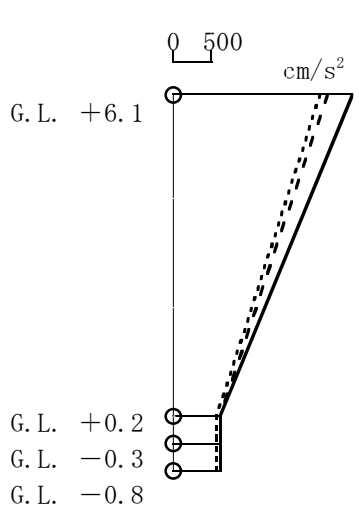
G.L. （m）	地層	S波速度 Vs （m/s）	P波速度 Vp （m/s）	密度 γ （g/cm^3）	ポアソン 比 ν	初期せん断 弾性係数 G_0 （N/mm^2）	初期 減衰定数 h_0（%）	Ss-2_H地震時		
								剛性 低下率 G/G_0	せん断 弾性係数 G （N/mm^2）	減衰 定数 h （%）
－0.8	改良地盤	315	1606	1.59	0.480	158	3	0.54	85	7
－4.1	段丘堆積物	315	1606	1.59	0.480	158	3	0.54	85	7
－10.3	砂岩	380	1679	1.82	0.473	262	3	0.64	168	8
－32.5	泥岩	450	1736	1.68	0.464	341	3	0.79	269	3
－44.4	泥岩	500	1740	1.74	0.455	436	3	0.78	340	3
－114.4	泥岩	560	1794	1.79	0.446	563	3	0.81	456	3
－142.4	泥岩	600	1861	1.82	0.442	653	3	0.81	529	3
－230.4	基盤	700	1895	1.89	0.421	924	－	－	924	－

表－２３　地盤定数（$Ss-3_H$地震時）

G.L. （m）	地層	S波速度 Vs （m/s）	P波速度 Vp （m/s）	密度 γ （g/cm^3）	ポアソン 比 ν	初期せん断 弾性係数 G_0 （N/mm^2）	初期 減衰定数 h_0（%）	$Ss-3_H$地震時		
								剛性 低下率 G/G_0	せん断 弾性係数 G （N/mm^2）	減衰 定数 h （%）
－0.8	改良地盤	315	1606	1.59	0.480	158	3	0.56	88	7
－4.1	段丘堆積物	315	1606	1.59	0.480	158	3	0.56	88	7
－10.3	砂岩	380	1679	1.82	0.473	262	3	0.66	173	7
－32.5	泥岩	450	1736	1.68	0.464	341	3	0.79	269	3
－44.4	泥岩	500	1740	1.74	0.455	436	3	0.77	336	3
－114.4	泥岩	560	1794	1.79	0.446	563	3	0.73	411	3
－142.4	泥岩	600	1861	1.82	0.442	653	3	0.77	503	3
－230.4	基盤	700	1895	1.89	0.421	924	－	－	924	－

2.2.4. 地震応答解析結果

地震応答解析により求められたNS方向，EW方向の最大応答加速度を図－２４及び図－２５に示す。

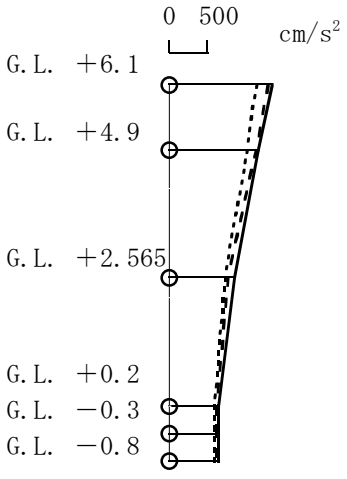


Ss－1H
Ss－2H
Ss－3H

(単位：cm/s²)

	Ss-1H	Ss-2H	Ss-3H
G.L. ＋6.1	2382	2052	1950
G.L. ＋0.2	619	620	569
G.L. －0.3	619	620	569
G.L. －0.8	619	620	570

図－２４　最大応答加速度（NS方向）



Ss－1H
Ss－2H
Ss－3H

(単位：cm/s²)

	Ss-1H	Ss-2H	Ss-3H
G.L. ＋6.1	1364	1314	1167
G.L. ＋4.9	1177	1150	1035
G.L.＋2.565	867	780	737
G.L. ＋0.2	651	629	595
G.L. －0.3	651	629	595
G.L. －0.8	651	629	595

図-２５　最大応答加速度（EW方向）

2.2.5. 耐震安全性評価結果

地震応答解析により得られた部材応力を，鋼材の短期許容せん断応力度と併せて表－２４に示す。これより，地震応答解析による応力は短期許容応力度を下回っている。

以上のことから，Ss 地震に対する耐震安全性は確保されているものと評価した。

表－２４　鉄骨部材の応力と短期許容応力度

部　位	方向	応力 (N/mm^2)	短期許容応力度 (N/mm^2)	応力/許容応力度比
大梁	NS	120 (曲げ)	250 (曲げ)	0.48
柱	NS	151 (曲げ)	214 (曲げ)	0.73 (軸力と曲げの組み合わせ)
		6.31 (軸力（圧縮）)	292 (軸力（圧縮）)	
	EW	146 (曲げ)	325 (曲げ)	0.50 (軸力と曲げの組み合わせ)
		16.0 (軸力（圧縮）)	292 (軸力（圧縮）)	
ブレース	EW	208 (引張)	235 (引張)	0.88

以上

汚染水処理設備等の具体的な安全確保策について

高レベル汚染水処理設備，貯留設備，使用済セシウム吸着塔保管施設，及び廃スラッジ貯蔵施設等は，高レベルの放射性物質を扱うため，漏えい防止対策，放射線遮へい・崩壊熱除去，可燃性ガス滞留防止，環境条件対策について具体的に安全確保策を以下の通り定め，実施する。

1. 汚染水処理設備，貯留設備（タンク等）及び関連設備（移送配管，移送ポンプ等）

1.1. 放射性物質漏えい防止等に対する考慮

(1) 漏えい発生防止

a. 滞留水移送装置は，耐食性を有するポリエチレン管，ステンレスの鋼管もしくは十分な肉厚を有する炭素鋼の鋼管の使用を基本とする。なお，耐圧ホースを使用する箇所は継手部にカムロック構造を採用し，継手部を番線で固縛すること等により，継手が外れない処置を実施する。また，屋外敷設箇所のうち重機による作業や車両の通行がある箇所は，滞留水移送装置を損傷させないための措置を実施する。

b. 鋼材もしくはポリエチレンの継手部は，可能な限り溶接構造もしくは融着構造とする。また，Dエリアタンク貯留水の一部変更に伴い新設する移送配管は，漏えい堰等が設置されないフランジ構造の継手部についてシール材又は発泡剤の充填を実施する。

c. セシウム吸着装置吸着塔，第二セシウム吸着装置及び第三セシウム吸着装置吸着塔の容器は，腐食による漏えい発生を防止するために，耐腐食性，耐応力腐食割れ性を有するSUS316L材の使用を基本とする。

d. 除染装置のうち炭素鋼製の槽類の接液部は，腐食による漏えいを防止するために塗装による防錆処理を実施する。また，薬品注入装置のうち強酸性又は強アルカリ性の薬品を扱う箇所は，腐食等を防止するため塩化ビニル系やステンレス系の材料を用いる。さらに，凝集沈殿装置内の水は，強酸性や強アルカリ性とならないように管理する。

e. 淡水化装置は，耐食性を有するポリエチレン管の使用を基本とする。なお，耐圧ホースを使用する箇所は継手部にフランジ構造を採用し，継手部を番線で固縛すること等により，継手が外れない処置を実施する。

f. 中低濃度タンクの内，フランジボルトによる接合により組み立てている円筒型タンクは，漏えいの発生する可能性が高い接合部に対して，毎年冬季の前にフランジボルトのトルク確認を実施する。また，漏えいが発生する可能性が高い接合部に対し，補修塗装等による長期健全性を確認していく。

g. 地下貯水槽は，２重の遮水シートとベントナイトシートの３重のシートにより止水を実施する。

h. タンク・槽類には必要に応じて水位検出器を設け，オーバーフローを防止する。

i. ポンプ（水中ポンプを除く）の軸封部は，漏えいの発生し難いメカニカルシール構造とする。

j. 汚染水を内包している配管及びポンプ等の開放作業は，隔離処置及び水抜き後に実施する。

k. 耐圧ホース，ポリエチレン管は設計・建設規格（JSME）に記載のない非金属材料であるため，日本産業規格（JIS），日本水道協会規格（JWWA），製品の試験データ等を用いて設計を行う。なお，耐圧ホース，ポリエチレン管の耐震性については，可撓性を有しており地震による有意な応力は発生しない。

(2) 漏えい検知・漏えい拡大防止

a. 滞留水移送装置のうち屋外敷設箇所は，線量当量率の監視，巡視点検，並びに移送先の水位を監視することにより系外への漏えいの有無を確認する。また，一部屋外配管は U 字溝内に設置し，屋内敷設箇所は堰等によりエリア分けを実施することにより漏えい水の拡大を防止する。

b. セシウム吸着装置，第二セシウム吸着装置及び第三セシウム吸着装置は，スキッド内部もしくは床面に漏えい検知器を設置する。漏えい発生時は免震重要棟集中監視室及びシールド中央制御室（シールド中操）に警報を発し，運転員が停止操作等の必要な措置を講ずる。また，巡視点検等で漏えいがないことを確認する。また，漏えいが発生した場合でも系外に放出させないため装置は建屋内に設置する。 なお，シールド中央制御室（シールド中操）の機能移転後に設置する設備の漏えい検知等の警報は，免震重要棟集中監視室に発報・表示し，同様の措置を実施する。

c. 除染装置は，周囲が高雰囲気線量下となり巡視点検が困難なことから，免震重要棟集中監視室またはシールド中央制御室（シールド中操）等から監視カメラにより漏えい監視を実施する。また，漏えいが発生した場合でも系外に放出させないため装置は建屋内に設置する。

d. 淡水化装置（逆浸透膜装置，蒸発濃縮装置）は，漏えいの早期検知のために床面に漏えい検知器を設置するとともに，漏えい発生時は免震重要棟集中監視室及びシールド中央制御室（シールド中操）に警報を発し，運転員が停止操作等の必要な措置を講ずる。合わせて，巡視点検を実施し，漏えいがないことを確認する。また，淡水化装置を設置する仮設ハウス内には漏えい水の拡大防止のための堰を設置し，漏水防水機能を持たせるための塗装を行う。

e. 中低濃度タンクは，タンクからの漏えいを早期検知するためにタンク設置エリアに設置するカメラにて監視するとともに，巡視点検にて漏えいの有無を確認する。また，漏えいの拡大を防止するために，タンク設置エリアに鉄筋コンクリート堰，もしくは土堰堤等を設置する。円筒型タンクについてはコンクリート基礎部に鉄筋コンクリー

ト堰，タンク設置エリア外周部に土堰堤等を設置するとともに，貯留中はタンク間にある連結弁を閉じる運用とする。地表に直接設置されている鋼製の横置き円筒タンクは，地表への漏えい水の浸透を防止するため，耐圧ホース及び接続フランジ下部にトレー，シート等による拡大防止対策について検討する。なお，堰等を越える漏えいが発生した場合は，土のう等による拡大防止を実施するとともに，汚染土壌の回収を実施する。

f. 地下貯水槽は，３重シート間に漏えい検知器を設けるとともに，地下貯水槽に水位検出器を設け，漏えいの有無を監視する。また漏えいの拡大を防ぐため，３層目のシートに水分を吸収・膨潤することにより難透水性を示すベントナイトのシートを設置する。

g. 汚染水を内包している配管及びポンプ等は，開放作業時に受けパン及び飛散防止カバー等の漏えい拡大防止策を実施する。

h. 屋外に敷設する移送配管については，以下の対応を行う。

- 漏えい堰等が設置されない移送配管等で継手部がフランジ構造となる場合には，漏えい拡大防止カバーで覆った上で中に吸水シートを入れ，漏えい水の拡大防止に努める。
- 万一漏えいが発生した場合でも構内排水路を通じて環境に汚染水が放出することがないように，排水路から可能な限り離隔して配管等を敷設するとともに，排水路を跨ぐ箇所は，ボックス鋼内等に配管を敷設する。
- 移送配管から漏えいが確認された場合は，ポンプ等を停止し，系統の隔離及び土嚢の設置等により漏えい水の拡大防止を図る。
- 移送配管の更なる漏えい検知・漏えい拡大防止策について，速やかに検討し，RO 濃縮水処理によるリスク低減効果，漏えい拡大防止策の有効性や工期等を踏まえ，可能なものから実施する。対策が完了するまでの間は，巡視点検による漏えい検知を要員へ周知し，確実に実施する。
- 移送配管は，使用開始までに漏えい確認等を実施し，施工不良等による大規模な漏えいの発生を防止する。また，フランジ継手部は，ガスケットの経年劣化により微小漏えいの発生が懸念されることから，架空化により視認性を向上させ，毎日の巡視点検により漏えいの有無を確認する。

1.2. 放射線遮へい・崩壊熱除去

(1) 放射線遮へい・被ばく低減に対する考慮

a. 滞留水移送装置は，放射線業務従事者が接近する必要がある箇所は，鉛毛マット等による遮へいを設置する。

b. 処理装置のうち，滞留水もしくは高濃度の廃水を扱う処理装置の配管は，直接，放射線業務従事者が近づく可能性のある箇所を対象に空間線量当量率が数 mSv/h 以下と

なるように遮へいを設置する。

c. 淡水化装置（逆浸透膜装置，蒸発濃縮装置）の廃水には，ストロンチウムなどのβ線核種が集約されるため，廃水を直接扱う場合には適切なβ線防護策を実施する。

(2) 崩壊熱除去

a. セシウム吸着装置吸着塔，第二セシウム吸着装置及び第三セシウム吸着装置吸着塔内のゼオライトに吸着した放射性物質の崩壊熱は，処理水を通水することにより除熱する。なお，通水がない状態でも崩壊熱による温度上昇は1時間当たり約1℃である。

b. 除染装置内の滞留水に含まれる放射性物質の崩壊熱は，通水により熱除去する。なお，通水がない状態でも，セシウム吸着装置吸着塔，第二セシウム吸着装置吸着塔及び第三セシウム吸着装置吸着塔内のゼオライトに吸着した放射性物質の崩壊熱による温度上昇未満である。

1.3. 可燃性ガスの滞留防止

a. セシウム吸着装置では，吸着塔内で水の放射線分解により発生する可能性のある可燃性ガスは，通水時は処理水とともに排出される。通水停止時は可燃性ガスが滞留する可能性があるため，吸着塔にベントを設け，ベント弁を手動で開操作して通気により排出する。なお，水の放射線分解により発生する可燃性ガスはわずかであり，ベント弁を開操作するまでに時間的余裕があることから，手動で実施する。排出された可燃性ガスは，建屋天井・床に設けた開口より建屋外へ排気する。

b. セシウム吸着装置にて発生する使用済みの吸着塔は，可燃性ガスの発生抑制のため，使用済セシウム吸着塔仮保管施設において内部の水抜きを実施する。なお，吸着塔の内部水は，滞留水を貯留している高温焼却炉建屋の地下階に排出する。

c. 第二セシウム吸着装置及び第三セシウム吸着装置では，吸着塔内で水の放射線分解により発生する可能性のある可燃性ガスは，通水時は処理水とともに排出される。通水停止後は，吸着塔上部に設けたオートベント弁・ベント管を介して可燃性ガスを屋外に排出する。

d. 第二セシウム吸着装置及び第三セシウム吸着装置にて発生する使用済みの吸着塔は，可燃性ガスの発生抑制のため，内部の水抜きを実施する。なお，第二セシウム吸着装置吸着塔の内部水は，滞留水を貯留している高温焼却炉建屋の地下階に，第三セシウム吸着装置吸着塔の内部水は滞留水を貯留しているプロセス主建屋の地下階にそれぞれ排出する。

e. 除染装置の塔槽類の気相部は，可燃性ガスが滞留する可能性があることから，排風機により大気へ放出する。排風機のラインには，高性能粒子フィルタ，ヨウ素吸着フィルタを設けており，気相に含まれている放射性物質を捕獲する。さらに，ダストサンプラ等により，必要に応じて放射性物質濃度を測定する。

1.4.環境条件対策

(1) 腐食

海水による炭素鋼の腐食速度は,「材料環境学入門」(腐食防食協会編，丸善株式会社）より，0.1mm/年程度と評価される。一方，炭素鋼を使用している配管・機器は，必要肉厚に対して十分な肉厚があり腐食代を有していることを確認している。

セシウム吸着装置吸着塔，第二セシウム吸着装置吸着塔及び第三セシウム吸着装置吸着塔は，耐腐食，耐応力腐食割れを有するSUS316L材を用いている。

なお，高濃度の滞留水を扱う機器は，建屋内に設置しており，腐食により万一漏えいが生じたとしても所外に放出するようなことはない。

(2) 熱による劣化

滞留水の温度は，ほぼ常温のため，金属材料の劣化の懸念はない。

(3) 凍結

滞留水を移送している過程では，水が流れているため凍結の恐れはない。

滞留水の移送を停止した場合，屋外に敷設されているポリエチレン管等は，凍結による破損が懸念される。そのため，凍結しない十分な厚さ（100Aに対して21.4mm以上）を確保した保温材を取り付ける。なお，保温材は，高い気密性と断熱性を有する硬質ポリウレタン等を使用する。

保温材厚さの設定の際には,「建設設備の凍結防止（空気調和・衛生工学会)」に基づき，震災以降に凍結事象が発生した外気温-8℃，内部流体の初期温度5℃，保温材厚さ21.4mmの条件において，内部流体が25%※凍結するまでに十分な時間（50時間程度）があることを確認した。なお，震災以降の実測データから，外気温-8℃が半日程度継続することはない。

※「JIS A 9501 保温保冷工事施工標準」において管内水の凍結割合を25%以上と推奨

(4) 生物汚染

滞留水移送装置の移送ポンプの取水口には，メッシュを設けており，大きな藻等がポンプ内に浸入して機器を損傷させるようなことはない。

また，滞留水を移送している上では有意な微生物腐食等は発生しないと考えられる。ただし，異常な速度で腐食が進み漏えいが生じた場合において，微生物腐食が原因であると判明すれば，生物汚染を考慮した対策を講じる。

(5) 耐放射線性

耐圧ホースの構造部材であるポリ塩化ビニルの放射線照射による影響は，10^5～10^6Gy の集積線量において，破断時の伸びの減少等が確認されている。過去の測定において,2 号機タービン建屋の滞留水表面上の線量当量率が1Sv/h であったことから,

耐圧ホースの照射線量率を 1Gy/h と仮定すると，集積線量が 10^5Gy に到達する時間は 10^5 時間（11.4 年）と評価される。そのため，耐圧ホースは数年程度の使用では放射線照射の影響により大きく劣化することはないと考えられる。

ポリエチレンは，集積線量が 2×10^5Gy に達すると，引張強度は低下しないが，破断時の伸びが減少する傾向を示すが，上記と同様にポリエチレン管の照射線量率を 1Gy/h と仮定すると，2×10^5Gy に到達する時間は 2×10^5 時間（22.8 年）と評価される。そのため，ポリエチレン管は数年程度の使用では放射線照射の影響を受けることはないと考えられる。なお，ポリエチレンの耐放射線性に関する長期健全性は，現在行っている劣化試験を通じて，今後も検討していく。

(6) 紫外線

屋外敷設箇所のポリエチレン管には，紫外線による劣化を防止するための紫外線防止効果のあるカーボンブラックを添加した保温材，フィルム等で覆う処置を実施する。カーボンブラックを添加していない保温材を使用する場合は，カーボンブラックを添加した被覆材または紫外線による劣化のし難い材料である鋼板を取り付ける。

2. 使用済セシウム吸着塔保管施設及び廃スラッジ貯蔵施設

2.1. 放射性物質漏えい防止等に対する考慮

(1) 漏えい発生防止

a. 使用済みのセシウム吸着装置吸着塔，第二セシウム吸着装置吸着塔及び第三セシウム吸着装置吸着塔は，吸着塔内の水を抜いた状態で貯蔵することにより，漏えいの発生を防止する。また，セシウム等の主要核種は，吸着塔内のゼオライトに化学的に吸着させ，吸着塔内の放射性物質が漏えいし難い構造とする。さらに，吸着塔の容器は，耐腐食性，耐応力腐食割れ性を有する SUS316L 材を採用する。

b. 使用済みの吸着材を収容する高性能容器は，脱水装置により脱水し，水を抜いた状態で貯蔵することにより，漏えいの発生を防止する。さらに高性能容器は，水に耐性を有するポリエチレン製を使用する。

c. 沈殿処理生成物を収容する高性能容器は，水分を抜かずに貯蔵するが，耐腐食性，耐久性，耐放射線性，耐薬品性を有するポリエチレン製の容器とし，腐食による放射性物質の漏えいを予防する。

d. 使用済みの吸着材を収容する処理カラムは，内部の水を抜いた状態で貯蔵することにより，漏えいの発生を防止する。さらに，処理カラムの容器は，耐腐食性，耐応力腐食割れ性を有する SUS316L 材を使用する。

e. 造粒固化体貯槽(D)は，プロセス主建屋と一体のピット構造となっているため，建屋外への漏えいの可能性は低いが，念のため漏えい防止策としてコンクリート保護材を塗布し，漏えいの発生を予防する。

f. 廃スラッジ一時保管施設のスラッジ貯槽は，貯留水の塩分による腐食を考慮し，十分な肉厚を有する貯槽を使用し漏えいの発生を予防する。

g. 造粒固化体貯槽(D)，廃スラッジ一時保管施設のスラッジ貯槽には水位検出器を設け，オーバーフローを防止する。

h. 廃スラッジ一時保管施設のポンプ（水中ポンプを除く）軸封部は，漏えいの発生し難いメカニカルシール構造とする。

(2) 漏えい検知・漏えい拡大防止

a. 使用済セシウム吸着塔一時保管施設のうち高性能容器を保管するボックスカルバートは，第二施設においては床との設置面をモルタルにて閉塞し，ボックスカルバート底部の水抜き穴も閉塞することにより，漏えい水がボックスカルバート外に拡大することを防止する。

b. 使用済セシウム吸着塔一時保管施設のうち第二施設で高性能容器を保管する部分の外周部には堰を設置し，漏えい発生時には排水用の堰の隙間を土のうで塞ぐことによ

り，外部への漏えいの拡大を防止する。

c. 造粒固化体貯槽(D)は，液位を免震重要棟集中監視室またはシールド中央制御室（シールド中操）にて監視することで貯蔵しているスラッジの漏えいの有無を監視する。

d. 廃スラッジ一時保管施設のスラッジ貯槽は，スラッジ貯槽下部にドリップトレイ及び漏えい検知器を設け，漏えいを検知するとともに，スラッジ貯槽の液位を免震重要棟集中監視室またはシールド中央制御室（シールド中操）で監視する。また，スラッジ貯槽は漏えいの拡大を防止するためにコンクリート製の囲い(セル)の中に設置する。なお，漏えいが発生した場合は漏えいしたスラッジ貯槽内のスラッジは予備のスラッジ貯槽に移送する。

2.2. 放射線遮へい・崩壊熱除去

(1) 放射線遮へい・被ばく低減に対する考慮

a. 使用済みのセシウム吸着装置吸着塔は，炭素鋼製の遮へい容器及びコンクリート製ボックスカルバートにより放射線を遮へいする。

b. 使用済みの第二セシウム吸着装置吸着塔及び第三セシウム吸着装置吸着塔は，鉛等を充填した炭素鋼製の遮へい容器により放射線を遮へいする。

c. 多核種除去設備から発生する使用済みの高性能容器は，使用済セシウム吸着塔一時保管施設にてコンクリート製ボックスカルバートにより放射線を遮へいする。

d. 使用済セシウム吸着塔一時保管施設ではスカイシャイン対策としてコンクリート製の蓋を被せる。

e. 廃スラッジ一時保管施設はスラッジ貯槽からの放射線を遮へいし，建屋外壁での線量当量率が 1mSv/h となるように，スラッジ貯槽を囲うコンクリート厚さ，及び建屋のコンクリート厚さを設定する。

(2) 崩壊熱除去

a. セシウム吸着装置，第二セシウム吸着装置及び第三セシウム吸着装置の使用済み吸着塔は，吸着塔内の放射性物質による崩壊熱を，対流，輻射，伝導により大気へ放出する設計とする。

b. セシウム吸着装置吸着塔の崩壊熱による温度上昇は，コンクリート製ボックスカルバートに納入しない場合，保管時における定常状態での吸着塔中心部の温度は約 360℃となる。また，コンクリート製ボックスカルバートの保温性を考慮した場合，吸着塔中心部の温度は 377℃，炭素鋼製遮へい容器の温度は約 62℃となるが，ゼオライトの健全性（吸着材は 600℃程度までは安定でセシウムは吸着材から離脱しない）や鉄の遮へい性能に影響を与えるものではない。

c. 第二セシウム吸着装置吸着塔の崩壊熱による温度上昇は，保管時における定常状態で

の吸着塔中心部の温度は 450℃となるが，ゼオライトの健全性（吸着材は 600℃程度までは安定でセシウムは吸着材から離脱しない）や鉛等の遮へい性能に影響を与えるものではない。

d. 高性能容器及び処理カラムは，容器内の放射性物質による崩壊熱を，対流，輻射，伝導により大気へ放出する設計とする。

e. 造粒固化体貯槽(D)は，貯槽内部に設置した熱交換器と屋外に設置した空冷チラーによりスラッジに含まれる放射性物質の崩壊熱を除去することで，貯槽内温度を 25℃程度に管理する設計とする。

f. 廃スラッジ一時保管施設では，造粒固化体貯槽(D)での運用実績からスラッジから発生する崩壊熱を自然放熱により除去する設計とする。また，バブリング管もしくはウォータジェットによりスラッジを攪拌することにより，崩壊熱の集中化を防止する。

2.3. 可燃性ガスの滞留防止

a. 使用済みのセシウム吸着装置吸着塔，第二セシウム吸着装置吸着塔，第三セシウム吸着装置吸着塔及び処理カラムは，可燃性ガスの発生を抑制するために，内部の水抜きを行い保管する。水抜き完了後はベントを空けた状態で保管することにより，可燃性ガスを大気に放出する設計とする。

b. 使用済みの高性能容器は，可燃性ガスの滞留を防止するために圧縮活性炭高性能フィルタを介したベント孔を設け，可燃性ガスを大気に放出する。

c. 使用済みのセシウム吸着装置吸着塔及び高性能容器を収容するコンクリート製ボックスカルバートの蓋には，内部で可燃性ガスが滞留しないように通気口を設ける。

d. 造粒固化体貯槽(D)では，貯蔵水の放射線分解により発生する可燃性ガスは，除染装置に設置されている排風機により大気へ放出する。

e. 廃スラッジ一時保管施設では，貯蔵水の放射線分解により発生するガスは貯槽内に圧縮空気を供給することにより，オフガス処理系を介して大気に放出する。

2.4. 環境条件対策

(1) 腐食

使用済セシウム吸着塔保管施設で貯蔵するセシウム吸着装置吸着塔，第二セシウム吸着装置吸着塔，第三セシウム吸着装置吸着塔及び多核種除去設備の処理カラムは，内部の水を抜いた状態で保管し，容器に耐腐食性，耐応力腐食割れ性を有する SUS316L 材を用いている。また，高性能容器は，耐久性，耐薬品性に優れたポリエチレン材を用いている。

スラッジ貯槽は，想定される腐食速度 0.25㎜/年に対して肉厚 25㎜ を有しており，十分な腐食代を有している。

(2) 熱による劣化

吸着塔中心温度が高い第二セシウム吸着装置吸着塔においても，容器外周部の最大温度は約 160℃であり，金属材料に有意な特性変化は生じない。

(3) 凍結

造粒固化体貯槽(D)は，万一凍結したとしても，気相部を有しているため膨張が問題となることはない。

また，廃スラッジ一時保管施設のスラッジ貯槽は，スラッジ棟の換気設備により暖房されるため凍結することはない。

(4) 生物汚染

使用済セシウム吸着塔保管施設で貯蔵するセシウム吸着装置吸着塔，第二セシウム吸着装置吸着塔，第三セシウム吸着装置吸着塔及び多核種除去設備の処理カラムは，内部の水を抜いた状態で保管するため，生物汚染が問題となることはない。

造粒固化体貯槽(D)は内面にコンクリート保護材を塗布しており，微生物腐食は発生しない。

スラッジ貯槽は高線量下なので微生物の影響はないと考えられる。ただし，異常な速度で腐食が進み漏えいが生じた場合において，微生物腐食が原因であると判明すれば，生物汚染を考慮した対策を講じる。

(5) 紫外線

使用済セシウム吸着塔保管施設にて貯蔵する高性能容器は，ポリエチレン製であり，紫外線による劣化が懸念される。そのため，保管施設に収容後はコンクリート製の蓋を設置する。

以上

添付資料－６

セシウム吸着装置及び第二セシウム吸着装置の吸着塔の温度評価

1. 概要

滞留水の処理に伴い，セシウム吸着装置と第二セシウム吸着装置からは使用済セシウム吸着塔，多核種除去設備からは使用済みの高性能容器及び処理カラムが発生する。これらは使用済セシウム吸着塔仮保管施設，及び使用済セシウム吸着塔一時保管施設に一時的に保管するが，高濃度の放射性物質を内包していることから崩壊熱による温度上昇を評価し，その吸着塔の機能への影響について確認を行う。

2. セシウム吸着装置吸着塔の温度評価

2.1 評価方法

使用済セシウム吸着塔一時保管施設で保管する際の吸着塔中心温度及び遮へい体の最高温度について評価を行う。

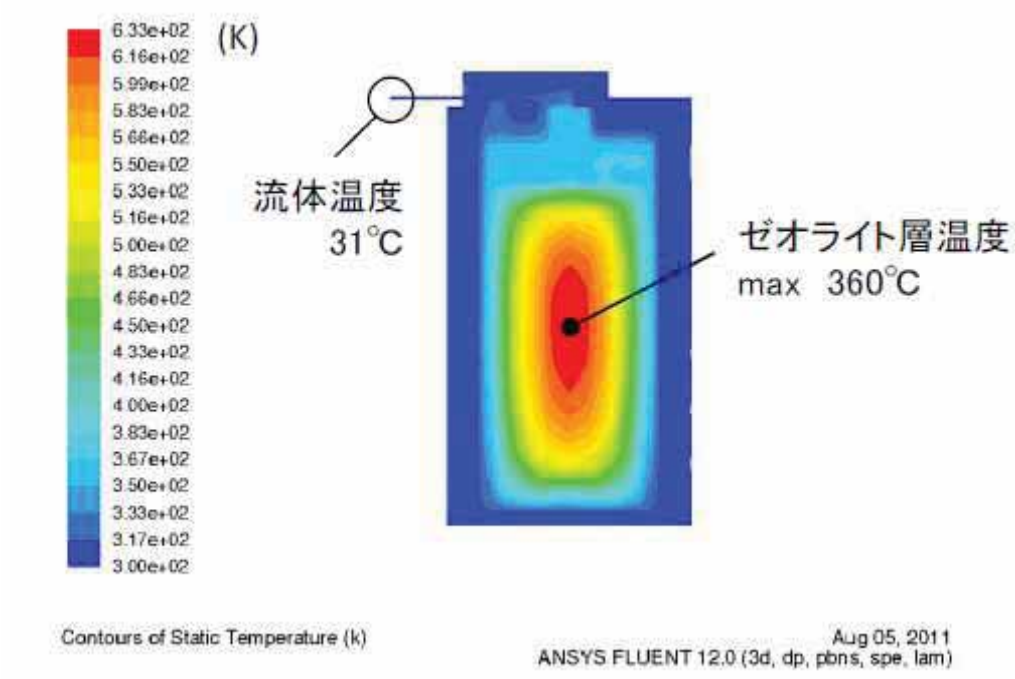
大気への放熱が定常になる際の吸着塔中心部温度は，解析コード FLUENT Ver.12 を用いて三次元定常解析により計算する。なお評価条件は，発熱量をスキッド表面線量率の上限である 4mSv/h の際のセシウム吸着（2×10^{15}Bq/塔）による発熱量に相当する 583W とし，遮へい表面温度を 40℃とする。

また，一時保管施設では，コンクリート製ボックスカルバート内に保管されるため，コンクリートによる保温により吸着塔温度が上昇する可能性があるため，上記と同様に解析コード FLUENT Ver.12 を用いて三次元定常解析により計算する。

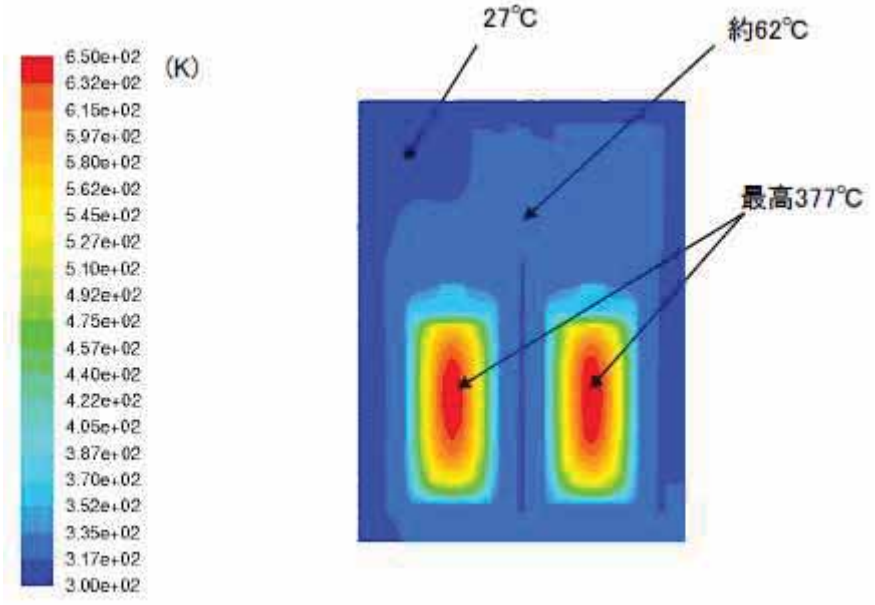
2.2 評価結果

大気への放熱が定常になる際の吸着塔中心部温度は，360℃と評価された。計算による温度分布を図－１に示す。また，ボックスカルバートにより保温された場合の吸着塔の温度は，外気温度を 27℃とすると，塔あたりの発熱量が 583W の場合，吸着塔中心温度は 377℃，遮へい体の最高温度は約 62℃と評価された。計算結果を図－２に示す。

そのため，吸着塔内での発熱はゼオライトの健全性（吸着材は 600℃程度までは安定でセシウムは吸着材から離脱しない）や鉄の遮へい性能に影響を与えるものではない。



図－１　３次元解析計算によるセシウム吸着装置吸着塔の温度分布



図－２　ボックスカルバート内のセシウム吸着装置吸着塔の温度分布

3. 第二セシウム吸着装置吸着塔の温度評価

3.1 評価方法

使用済セシウム吸着塔一時保管施設で保管する際の吸着塔中心温度の最高温度について評価を行う。

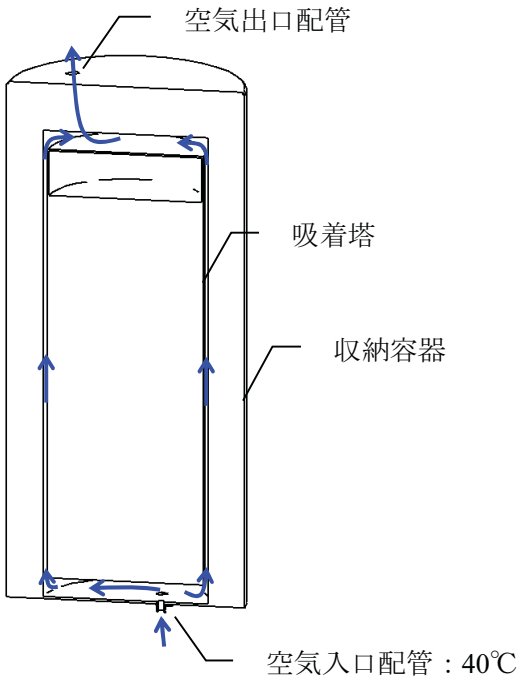
第二セシウム吸着装置の吸着塔は使用済セシウム吸着塔一時保管施設では図－３に示すように鉛遮へい体を含む収納容器内に保管される。収納容器上下には配管があり，内部空気温度が上昇して対流が発生することで外気が入口配管から流入し，吸着塔側面で上昇流となり，出口配管から流出する。これにより吸着塔は空気の自然通風で除熱される。また，収納容器外表面は空気の自然対流で除熱される。

吸着塔の温度は，セシウム吸着（6×10^{15}Bq/塔）による発熱量，外気温度を 40℃と仮定し，STAR-CD Ver4.08 を用いて三次元解析により求めた。

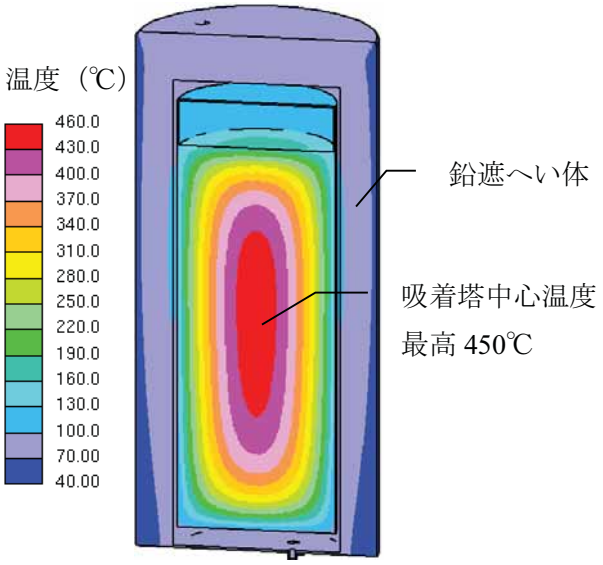
3.2 評価結果

大気への放熱が定常になる際の吸着塔中心部温度は 450℃と評価された。計算による温度分布を図－４に示す。

そのため，吸着塔内での発熱はゼオライトの健全性（吸着材は 600℃程度までは安定でセシウムは吸着材から離脱しない）や鉛の遮へい性能に影響を与えるものではない。



図－３　吸着塔と収納容器隙間の自然通風空気の流れ



図－４　三次元解析による第二セシウム吸着装置吸着塔の温度分布

添付資料－７

廃スラッジ一時保管施設の崩壊熱評価

廃スラッジ貯蔵施設に貯蔵されるスラッジの崩壊熱については，これまでの水処理設備の運転実績を踏まえて，セシウム吸着装置－凝集沈殿除染装置の順列での処理を想定して評価を行った。

別添に示す評価フローに基づいて評価した結果，廃スラッジの発熱密度は表－１の通りと評価された。

表－１　廃スラッジの発熱密度の評価結果

評価項目	評価結果	備考
廃スラッジ量	90（m^3）	廃スラッジ貯蔵施設内に設置される貯槽 1 基あたりの容量
放射能濃度	3.4×10^{8}（Bq/mL）	
発熱密度	3.8×10^{-5}（W/mL）	

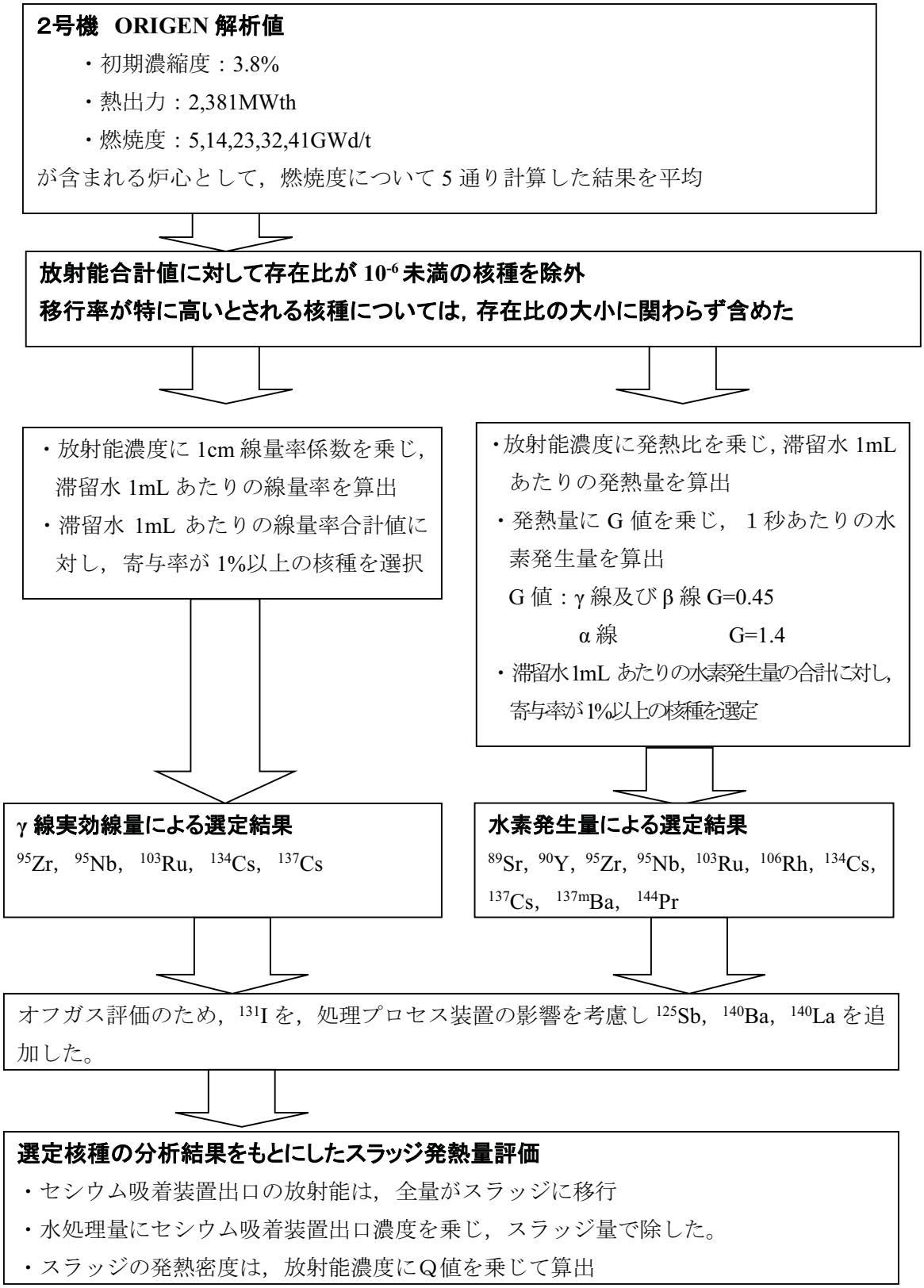
この発熱密度を踏まえて崩壊熱量を算出し，貯槽表面からの放熱及びふく射による除熱量と崩壊熱量が平衡に達する温度を評価した。その結果を表－２に示す。

表－２　崩壊熱量と放熱量が平衡となる貯槽温度の評価結果（貯槽１基あたり）

評価項目	評価結果	備考
発熱密度	3.8×10^{-5}（W/mL）	
貯槽容量	90（m^3）	
崩壊熱量	3.42（kW）	
放熱面積	100（m^2）	
熱伝達係数	5.46（W/ m^2K）	自然対流による熱伝達とふく射による熱伝達から算出
雰囲気温度	40（℃）	機器発熱等を考慮した夏季のセル給気温度に対応するセル排気温度より設定
崩壊熱量と除熱量が平衡となる貯槽温度	46.3（℃）	

以上の結果から，崩壊熱量と除熱量が平衡となる貯槽温度は雰囲気温度より数℃程度の上昇で平衡になると評価され，廃スラッジから発生する崩壊熱は自然放熱（貯槽表面からの放熱及びふく射による除熱）で除去することができるものと確認された。

以　上



図－１　スラッジ崩壊熱算定の流れ

廃スラッジ一時保管施設の遮へい設計

廃スラッジ一時保管施設に保管される廃スラッジから放出される放射線について建屋外表面で 1mSv/h 以下となるよう建屋要求壁厚を評価する。

１．評価条件

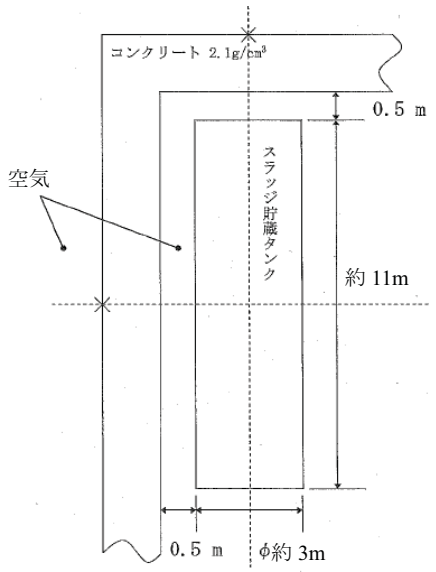
評価にあっては，発生する廃スラッジの元となる廃水に対して，ORIGEN 計算値をもとに想定される組成を求め，核種ごとにγ線実効線量率に対する比率を算出し，寄与率の高いものを評価対象核種として選定した。選定された核種及び放射能濃度，線源強度は表－１に示す通り。遮へい体はコンクリートであり，その密度は 2.1g/cm^3 とした。

評価モデルは，90m^3 のスラッジ貯槽を円柱で模擬し，線源となるスラッジ貯槽と建屋壁との距離を保守的に 50cm とした（図－１）。

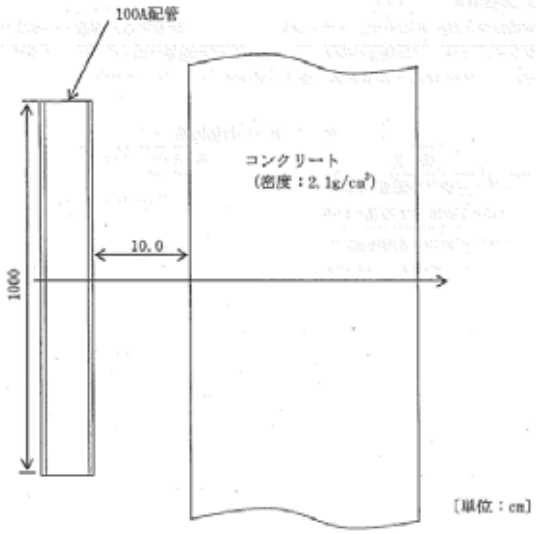
また，スラッジ貯槽のほかにスラッジが内包される機器として移送配管が建屋内にあるため，その配管を対象とした評価も行う。建屋内の配管の口径はいくつかの種類があることから，線源として保守的になるよう 100A 配管で 1m 長さとし，配管と建屋壁との距離を保守的に 10cm とした（図－２）。

表－１　選定された核種及び放射能濃度，線源強度

核種	^{89}Sr，^{90}Y，^{95}Zr，^{95}Nb，^{103}Ru，^{106}Rh，^{125}Sb，^{131}I，^{134}Cs，^{137}Cs，^{137m}Ba，^{140}Ba，^{140}La，^{144}Pr
上澄液放射能濃度（合計）	5.4×10^{4}（Bq/cm^3）
スラッジ放射能濃度（合計）	1.1×10^{9}（Bq/cm^3）
上澄液線源強度（合計）	1.2×10^{4}（MeV/sec）
スラッジ線源強度（合計）	7.0×10^{8}（MeV/sec）



図－１　廃スラッジ一時保管施設 建屋外壁評価モデル

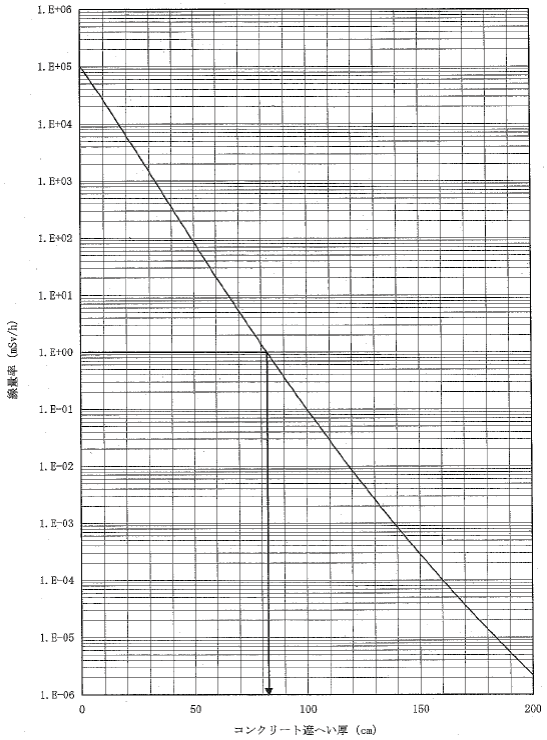


図－２　配管遮へい評価モデル

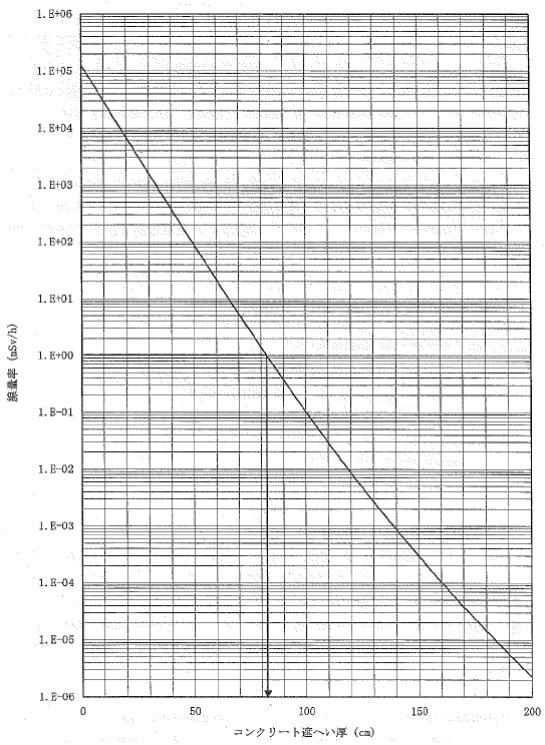
２．評価結果

上記の条件を踏まえて評価した結果，貯槽 1 基に対して壁外表面の線量率が 1.0mSv/h 以下を満足する壁厚は径方向・軸方向ともに 85cm であるが，実際には複数の貯槽が並ぶことから，余裕を考慮して必要な壁厚を 100cm と評価した。遮へい厚さと壁外表面の線量率の関係を図－３，－４に示す。

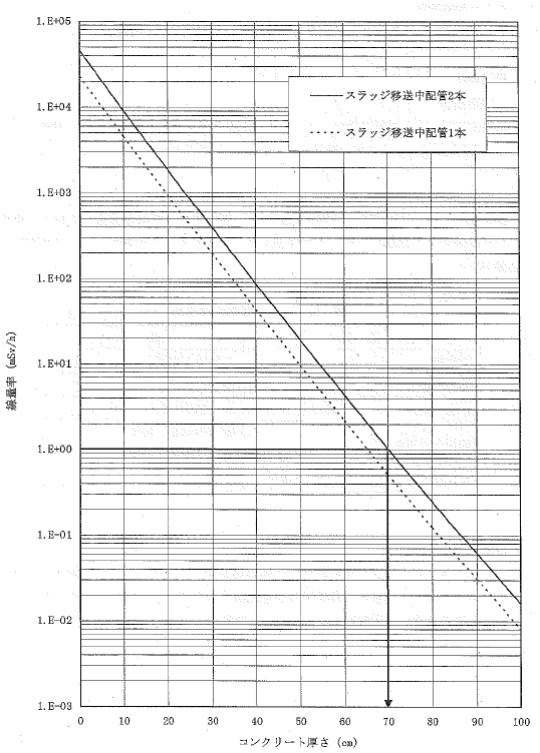
また，配管に対する遮へいについては，壁外表面の線量率が 1.0mSv/h 以下を満足する壁厚は 70cm であるが，保守的な評価として複数の移送配管内にスラッジが移送されることを考慮して必要な壁厚を 80cm と評価した。遮へい厚さと壁外表面の線量率の関係を図－５に示す。



図－３　スラッジ貯槽周りのコンクリート遮へい厚と壁外表面の線量率の関係（径方向）



図－４　スラッジ貯槽周りのコンクリート遮へい厚と壁外表面の線量率の関係（軸方向）



図－５　配管周りのコンクリート遮へい厚と壁外表面の線量率の関係

以　上

汚染水処理設備等の工事計画及び工程について

高レベル汚染水処理設備，貯留設備，使用済セシウム吸着塔保管施設，及び廃スラッジ貯蔵施設等は，高レベルの放射性物質を扱うため設備の信頼性向上及び敷地境界線量の低減を目的とした以下の工事について計画し，実施する。

1　設備の現状及び工事の概要

1.1　淡水化装置移送ラインのポリエチレン管化

淡水化装置移送ラインの信頼性向上のため，移送ラインを耐圧ホースからポリエチレン管に取替を行う。現状，主要系統の配管については耐圧ホースからポリエチレン管へ取替済みであり，今後淡水化装置及びポンプ等の機器周り耐圧ホースについて，ポリエチレン管等の信頼性の高い設備への取替を行う。

1.2　タンク運用

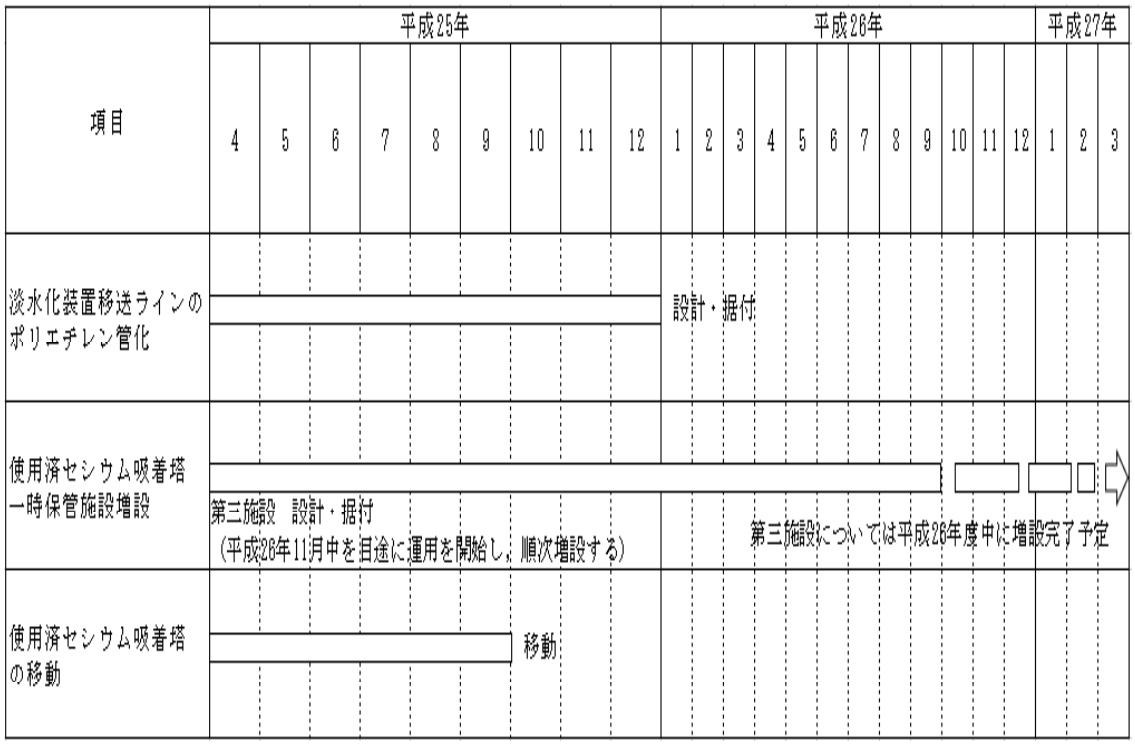
汚染水処理設備，多核種除去設備，増設多核種除去設備，高性能多核種除去設備及びRO濃縮水処理設備の稼動に合せ，淡水化装置（逆浸透膜装置，蒸発濃縮装置）からの淡水，廃水，並びに多核種除去設備，増設多核種除去設備，高性能多核種除去設備及びRO濃縮水処理設備の処理済水を貯蔵する中低濃度タンクの設置を行う。今後は必要となる容量を確認しながら逆浸透膜装置の廃水を貯留するRO濃縮水貯槽，多核種除去設備，増設多核種除去設備及び高性能多核種除去設備の処理済水を貯留する多核種処理水貯槽及びRO濃縮水処理設備の処理済水を貯留するSr処理水貯槽について，柔軟に見直し，運用していく。

1.3　使用済セシウム吸着塔一時保管施設増設，及び使用済吸着塔の移動

汚染水処理設備の稼動に合せ，放射性物質を吸着させた使用済みの吸着塔を保管する一時保管施設の設置を行う。現状，セシウム吸着装置及び第二セシウム吸着装置の使用済みの吸着塔を貯蔵する第一施設，セシウム吸着装置の使用済み吸着塔及び多核種除去設備の高性能容器を貯蔵する第二施設，セシウム吸着装置及び第二セシウム吸着装置の使用済み吸着塔及び多核種除去設備の使用済み処理カラムを貯蔵する第四施設が設置済みである。

今後，多核種除去設備の稼動に伴い，多数発生する二次廃棄物を収納する高性能容器を貯蔵するため第三施設を増設する。また，敷地境界線量の低減のため，敷地中央付近の第四施設に，敷地境界付近の第一施設で保管していたセシウム吸着装置及び第二セシウム吸着装置の使用済みの吸着塔を順次移動した。

2　工程


項目
平成25年
平成26年
平成27年
4 5 6 7 8 9 10 11 12 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 1 2 3
淡水化装置移送ラインのポリエチレン管化
設計・据付
使用済セシウム吸着塔一時保管施設増設
第三施設　設計・据付
（平成28年11月中を目途に運用を開始し、順次増設する）
第三施設については平成28年度中に増設完了予定
使用済セシウム吸着塔の移動
移動

No.1 ろ過水タンクへの逆浸透膜装置廃水の貯留について

1. はじめに

平成 25 年 4 月 5 日に確認された地下貯水槽に貯留している逆浸透膜装置の廃水の漏えいを踏まえ，今後，地下貯水槽は使用しない方針とし，地下貯水槽に貯留している逆浸透膜装置の廃水を地上に設置している鋼製タンクへ移送・貯留する。ただし，逐次設置している逆浸透膜装置の廃水用タンクで地下貯水槽に貯留していた逆浸透膜装置の廃水全てを直ちに受け入れる事は出来ないため，地下貯水槽（No.1）の一部を No.1 ろ過水タンクで貯留する。

No.1 ろ過水タンクは，既設設備だが汚染水を貯留するための設備でないため，1 年以内を目途に別の容器に移送することを前提とし，逆浸透膜装置の廃水を貯留する場合の適合性を評価した結果を以下に示す。

2. ろ過水タンクの仕様等

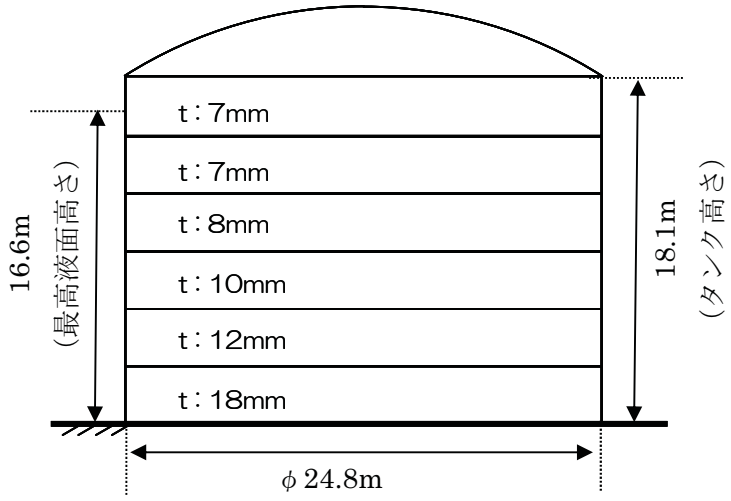
容量：8,000m³/基

基数：2 基

寸法：タンク内径φ24.8m×タンク高さ 18.1m（最高液面高さ 16.6m）

肉厚：7mm（最上段）～18mm（最下段）

材料：SS400 等（内面塗装有り）



図－１　ろ過水タンク概要（１／２）



図－１　ろ過水タンク概要（２／２）

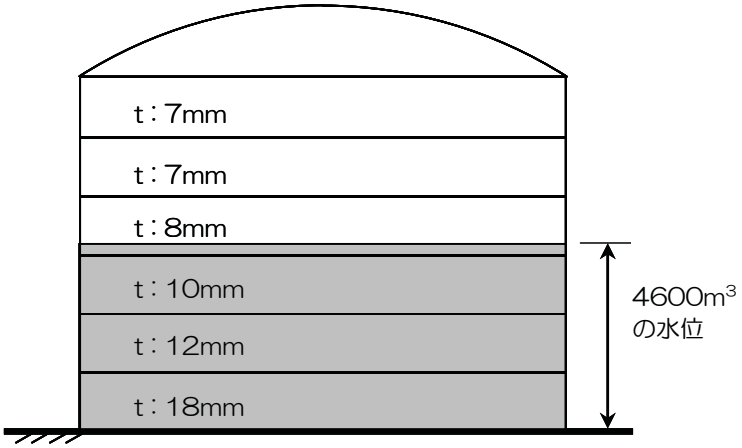
3.　逆浸透膜装置の廃水を貯留する場合の適合性評価等

(1)　逆浸透膜装置の廃水の貯留量

ろ過水タンクは，炉注水の非常用水源であり保安規定において，No.1 ろ過水タンク，No.2 ろ過水タンクいずれか１基の保有水量として 916m³ 以上を要求している。

そのため，逆浸透膜装置の廃水の貯留は No.1 ろ過水タンクのみとする（No.2 ろ過水タンクは炉注水の非常用水源として継続使用)。

また，東北地方太平洋沖地震の際，当該タンクに破損，漏えいは発生していないが，側板の一部に変形が認められたため，座屈強度の低下を考慮し 70%貯水制限（5,600m³）を設けてタンクを使用してきた（別添－１参照)。そのため，逆浸透膜装置の廃水を貯留する場合にも当該貯水制限を適用し，下記(2)を踏まえ，貯留する逆浸透膜装置の廃水の量を 4,600m³ とする。



図－２　貯留水位イメージ

(2) 構造強度・耐震性

a. 板厚評価

ろ過水タンクは，本来ろ過水を貯留するため，発電用原子力設備規格 設計・建設規格に準拠して設計されていない。

今回，逆浸透膜装置の廃水を貯留することから，設計・建設規格への適合性を評価するため，設計・建設規格での胴の板厚評価を実施した。

その結果，設計・建設規格の要求に適合していることを確認した（表－1参照)。

$$t = \frac{D_i H \rho}{0.204 S \eta}$$

t：胴の計算上必要な厚さ　Di：胴の内径　H：水頭　ρ：比重

S：最高使用温度における材料の許容引張応力　η：長手継手の効率

表－1　No.1 ろ過水タンク　板厚評価結果

評価部位	必要肉厚［mm］	実厚［mm］
板厚（最下段）	17	18
板厚（下から 4 段目）	6※1	8

※1　上式の計算結果に比べて，胴の内径の区分(m)（16 を超え 35 以下）に対する胴の必要厚さ 6mm の方が大きいため

b. 耐震性評価

逆浸透膜装置の廃水を貯留するため，B クラス機器を想定して転倒評価を実施した。

地震による転倒モーメントと自重による安定モーメントを比較した結果，転倒しないことを確認した（表－2参照)。なお，S クラスに適用する水平震度 0.72 においても転倒は発生しない。

地震による転倒モーメント：M_1［N･m］$=m \times g \times C_H \times H$

自重による安定モーメント：M_2［N･m］$=m \times g \times L$

m：機器質量
H：据付面から重心までの距離
L：転倒支点から重心までの距離
C_H：水平震度

表－2　No.1 ろ過水タンク　転倒評価結果

水平震度	転倒モーメント　M_1［kN･m］	安定モーメント　M_2［kN･m］
0.36	9.4×10^4	6.1×10^5

また，逆浸透膜装置の廃水を貯留することを考慮し，地震発生時のタンク内包水のスロッシング評価を実施した。

容器構造設計指針（日本建築学会）を参考にスロッシング波高の評価を行った結果，スロッシング時のタンク内の液位はろ過水タンク高さ以下であることを確認した（表－3参照)。

表－３　No.1 ろ過水タンク　スロッシング評価

スロッシング波高［m］	スロッシング時液位［m］	タンク高さ［m］
3.1	12.7※1	18.1

※1　4600m³貯留時の液位 9.6m にスロッシング波高を加えたもの

(3)　No.1 ろ過水タンクの点検結果及び処置・対策等

a.　No.1 ろ過水タンクの点検結果

No.1 ろ過水タンクの水抜きを行い，内部点検を実施した。その結果を別添－２に示す。

底板，側板に塗装の剥離，浮きが確認され，底板には変形が認められた。また，予備ノズルフランジには腐食が確認された。

b.　処置・対策

No.1 ろ過水タンクの内部点検結果を踏まえ，ろ過水タンクへの逆浸透膜装置の廃水の受け入れにあたり，以下の対応を実施する。

- 塗装の損傷箇所（底板及び側板の一部）は，塗装の除去，手入れを行い，鉄粉が配合されたエポキシ系の金属用補修剤を塗布する。実施結果を別添－３に示す。なお，側板の高所に存在する塗装剥離部は現状維持とするが，c.に示す当該部の肉厚測定評価より問題ない。
- フランジの補修箇所は，フランジ面の手入れを行い，漏えい確認を実施した後，金属用補修剤による漏えい防止措置を施す。
- 底板の変形が材料強度に及ぼす影響について評価した結果，ひずみ量は僅かであり問題ないことを確認した（別添－４参照）。

c.　貯留時の腐食に対する評価

金属の腐食の腐食形態は，一般的に下記の８種類に分類される。

① 全面腐食
② 孔食
③ すき間腐食
④ 粒界腐食
⑤ 応力腐食割れ
⑥ 電位差腐食（ガルバニック腐食）
⑦ 流動腐食
⑧ 酸化及び高温腐食

上記のうち，今回のろ過水タンク内の構造・環境を考慮した場合，発生する腐食として主として考えられるのは，孔食及びすき間腐食である。

ここで，全面腐食であれば，環境等からおおよその腐食速度を想定できるのであるが，孔食等の場合は，腐食面積が小さく，深さ方向に速く腐食が進むため，腐食速度を想定するのが難しい。

そこで，今回実施したろ過水タンク内面補修時の除去深さデータから想定される腐食速度は，別添－５に示すように，0.32mm／年となり，側板を貫通するまで最短で 18 年となる。底板の場合には 0.37mm／年となり，貫通するまで 18 年となる。この腐食速度の想定は，全面腐食の場合，海水と淡水の腐食速度に有意な差が見られないことに基づいている。

一方，No.1 ろ過水タンクで貯留した逆浸透膜装置の廃水は１年以内を目途に別の容器に移送することを計画しており，腐食により No.1 ろ過水タンクからの逆浸透膜装置の廃水の漏えいが発生する可能性は極めて少ないと考えている。

(4) その他考慮事項

a. 漏えい発生防止，検知・監視及び漏えい発生時の評価

(a) 漏えい発生防止

ろ過水タンクの腐食対策は，管台部分も含めて，全面に防食塗装（タールエポキシ）を施し，孔食及びすき間腐食を防止する。また，フランジ部は，閉止板の面積相当の全面ガスケットとし，シール面にシール剤（ガスケットペースト）を塗布することにより，漏えい及びすき間腐食を防止する。

また，床面やフランジ補修等に用いた金属用補修剤は，鉄粉が配合されたエポキシ系の補修剤で一般に金属材質設備機器の肉盛り，穴埋め等に使用されるものである。

上記に加え，更なる漏えいの発生防止のため，取水用の取り出し口に閉止フランジを取り付けるとともに，漏えいがないことを確認した後，フランジ部に金属用補修剤を塗布する。

(b) 漏えいの検知・監視

ろ過水タンクは溶接構造であり漏えいの可能性は低いが，万一の漏えいを考慮し，ろ過水タンク周囲の堰等を設置する（図－３，表－４参照）。

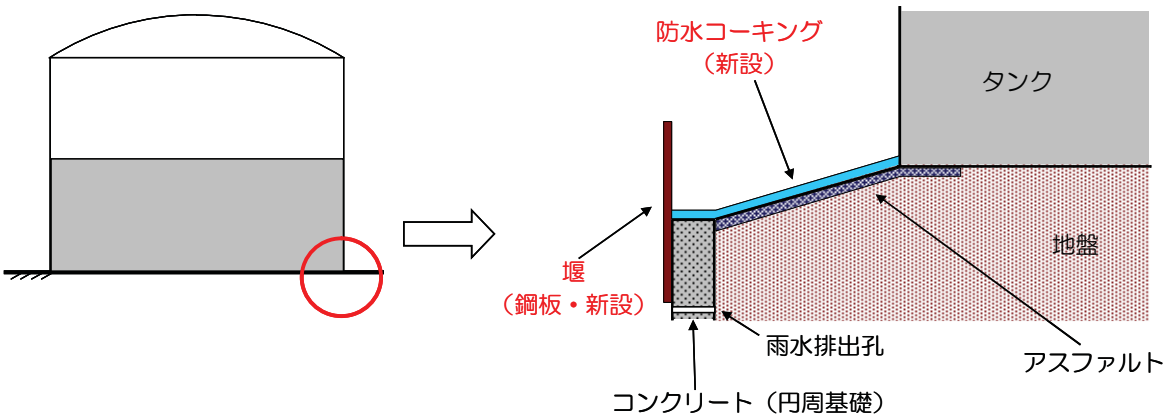
堰は，雨水の排水を考慮して排水弁を設置し，常時開とする運用とするが，漏えいが確認された場合に閉じる運用とする。

漏えいの検知方法は，水位計の計器精度が 0.5%程度であることから，水位計による水位の常時監視に加えて，ろ過水タンク外周面近傍に約 120° 間隔で 3 台の監視カメラを設置し，また 3 台の線量計を設置し，監視カメラによるタンク基礎部の確認及び線量計による雰囲気線量の変化を重要免震棟及びシールド中央操作室にて連続監視することにより，漏えいの有無を監視するとともに，１日に１回以上の巡視点検を実施する。また，円周基礎部に設置された雨水排水孔（円周４方向：計４箇所）のドレン水について，ドレン水の発生状況を考慮し，適宜サンプリングを実施し，塩分，全βの濃度を測定する。

水位計及び線量計に有意な変化が確認された場合は，現場にてβ線等を直接測定し，事前に測定した逆浸透膜装置の廃水の線量値と比較することにより，漏えいの判断を行う。線量計の有意な変化等を確認後，現場での直接確認，漏えいの判断までに要する時間は最大でも 30 分程度と想定している。

また，雨水排水孔ドレン水の分析結果において，塩分，全βの有意な検出がされた場合も，事前に測定した逆浸透膜装置の廃水の線量値と比較することにより，漏えいの判断を行う。

上記の漏えいの検知方法，判断までの想定時間及び，堰による漏えい拡大防止と合わせて，大量の汚染水漏えい発生防止に万全を尽くすこととする。



図－３　No.1 ろ過水タンク廻り堰構造概要

表－４　No.1 ろ過水タンク廻り堰　主要仕様

高さ［m］	容量［m^3］
0.3	38

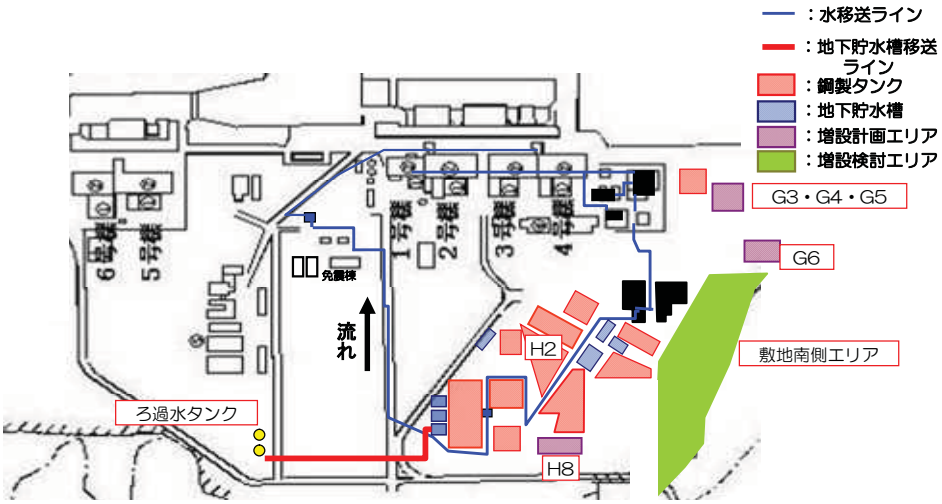
(c) 漏えい発生時の対応

漏えい発生防止や監視・検知に万全を尽くすが，万一漏えいが発生した場合に備え，緊急で補修できる様に鉄粉が配合されたエポキシ系の金属用補修剤等を確保し，板当て補修等を行い，漏えいを防止する。

また，漏えい水の回収は，少量の漏えいであれば吸水材による回収等を行う。一方，多量の漏えいに対しては，堰内にポンプ，吸引車等を設置して漏えい水を回収し，ろ過水タンクに漏えい水を戻すことで漏えい拡大防止を図る。

b.　地下貯水槽から No.1 ろ過水タンクへの移送時の配慮

地下貯水槽から No.1 ろ過水タンクへの移送ラインは図－４であり，移送にあたってはこれまでの不具合等を鑑みフランジ部の抜け防止，吸水材による養生，移送ホース設置時の注意喚起，ならびに排水路への流出防止（土のう設置）等の対策を行う。また，No.1 ろ過水タンク移送時には現場で常時監視を行う。



図－４　　No.1 ろ過水タンクへの移送ライン概略図

c.　No.1 ろ過水タンクへの逆浸透膜装置廃水貯留に伴う被ばく線量への影響

(a) 放射線業務従事者等への被ばくの影響

逆浸透膜装置の廃水を貯留している鋼製タンクの表面線量当量率は，主にストロンチウム 90 の濃度に依存し，30μSv/h～170μSv/h となっている（高さ約 1m，タンク表面からの距離約 5cm の位置に測定器を近づけて測定）。

ろ過水タンクに逆浸透膜装置の廃水を貯留した場合でも，タンク表面の線量当量率は鋼製タンクと同様に 100μSv/h 程度であり，ろ過水タンク周辺で作業する放射線業務従事者等へ過度の放射線被ばくのリスクを及ぼすものではない。なお，不要な被ばくを避けるため，区画及びタンク表面に線量表示を行う。

(b) 敷地境界線量評価への影響

ろ過水タンクに逆浸透膜装置の廃水を貯留した場合の敷地境界線量への影響は，「Ⅲ-3.2.2　線量評価」にて確認する。

(c) 漏えい発生時の対応作業に関する線量評価

漏えい発生時の対応作業による被ばく線量を，過去の漏えい事象発生時の実績から評価する。高濃度汚染水の漏えい事象として，代表的な事例を表－５に示す。

2012 年の事象における被ばく線量が 2011 年の事象における被ばく線量と比較して低いのは，作業体制の整備が進み，漏えいに対して速やかに対応が取れたこと，及び無駄な被ばくがないよう計画的に作業を実施出来たことによる。

No.1 ろ過水タンクへの水移送に際しても，現場で常時監視を行うなど漏えいの早期検知に万全を尽くす。このため万が一漏えいが発生した場合の漏えい水量，作業員の被ばく線量は上述の 2012 年の漏えい事象に比べて同等以下になると考えられる。

表－５　高濃度汚染水の漏えい事象例

過去の漏えい事象	発生日	回収量	回収方法	作業員被ばく線量（最大値）
蒸発濃縮缶装置からの漏えい	2011/12/4	約 14m^3	水中ポンプ	γ ：0.78mSv β ：5.3mSv
逆浸透膜装置移送ホースからの漏えい	2012/3/26	約 10m^3	吸引車	γ ：0.14mSv β ：0.9mSv

4.　添付資料

別添－１：No.1 ろ過水タンクの座屈変形評価

別添－２：No.1 ろ過水タンク内部点検結果

別添－３：No.1 ろ過水タンク内部補修結果

別添－４：ろ過水タンク底板の変形が材料強度に及ぼす影響について

別添－５：No.1 ろ過水タンク補修未実施箇所の肉厚評価

以　上

No.1 ろ過水タンクの座屈変形評価

No.1 ろ過水タンクは，僅かな象足座屈変形（45mm 程度の膨らみ）があることを確認している。本件に対し，当該タンクの健全性を既往の知見等から以下の通り評価し，貯留量約 5,800m3（水位約 12m）において本震の ZPA 相当加速度 0.7G で座屈を生じない結果となった。

≪既往の知見等≫

- 座屈強度（≦タンク崩壊強度）において，おおよそ直径の 1%の変形で，元の強度の 90%程度に低下
- 消防法の設計基準を満足するタンクであれば，基準地震動 Ss においても機能維持
- 本震における福島第一原子力発電所の敷地内地表面部の最大加速度（ZPA）は 0.7G 程度

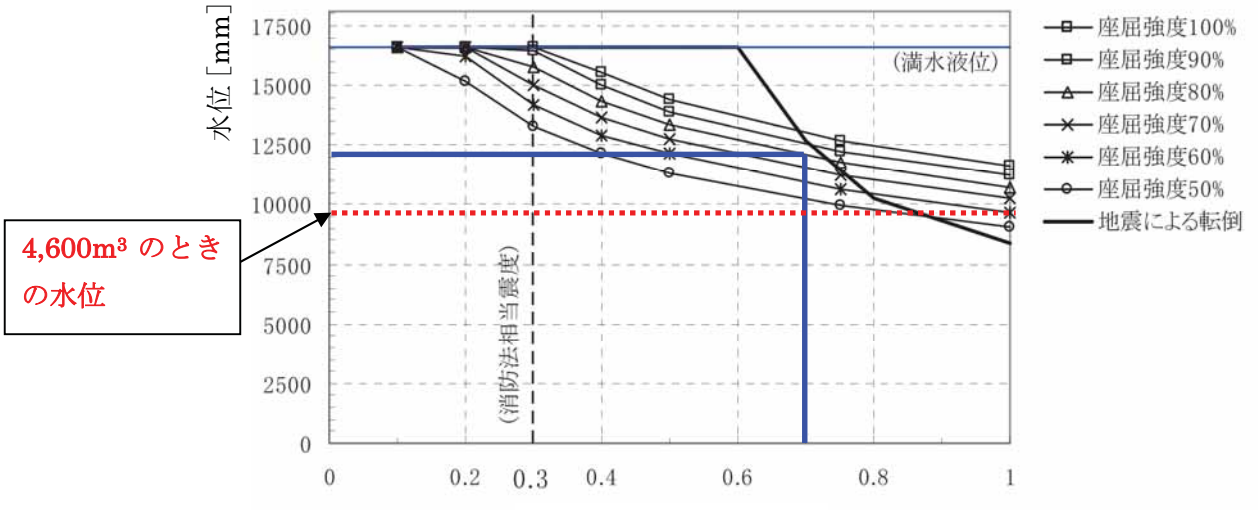
≪評価概要≫

- 消防法設計加速度により，タンクが健全な状態において，座屈が生じない水位を評価（水位をパラメータとし，設計加速度による側板の圧縮応力=許容座屈応力となる水位を算出）
- 上記評価結果に基づき，座屈等による強度低下（許容座屈応力を 10%刻みで低下）と加速度をパラメータとして座屈が生じない水位を評価
- 使用可能水位を評価する場合，座屈強度の低下量，想定する地震の加速度を設定して，上述で算出された使用可能水位を読み取り

≪評価結果≫

- 評価条件
  - ZPA 相当震度：0.7G
  - 座屈等による強度低下：座屈によるタンク直径の変化量は 1%よりも十分低いが，20%の強度が低下している（座屈強度 80%）と想定

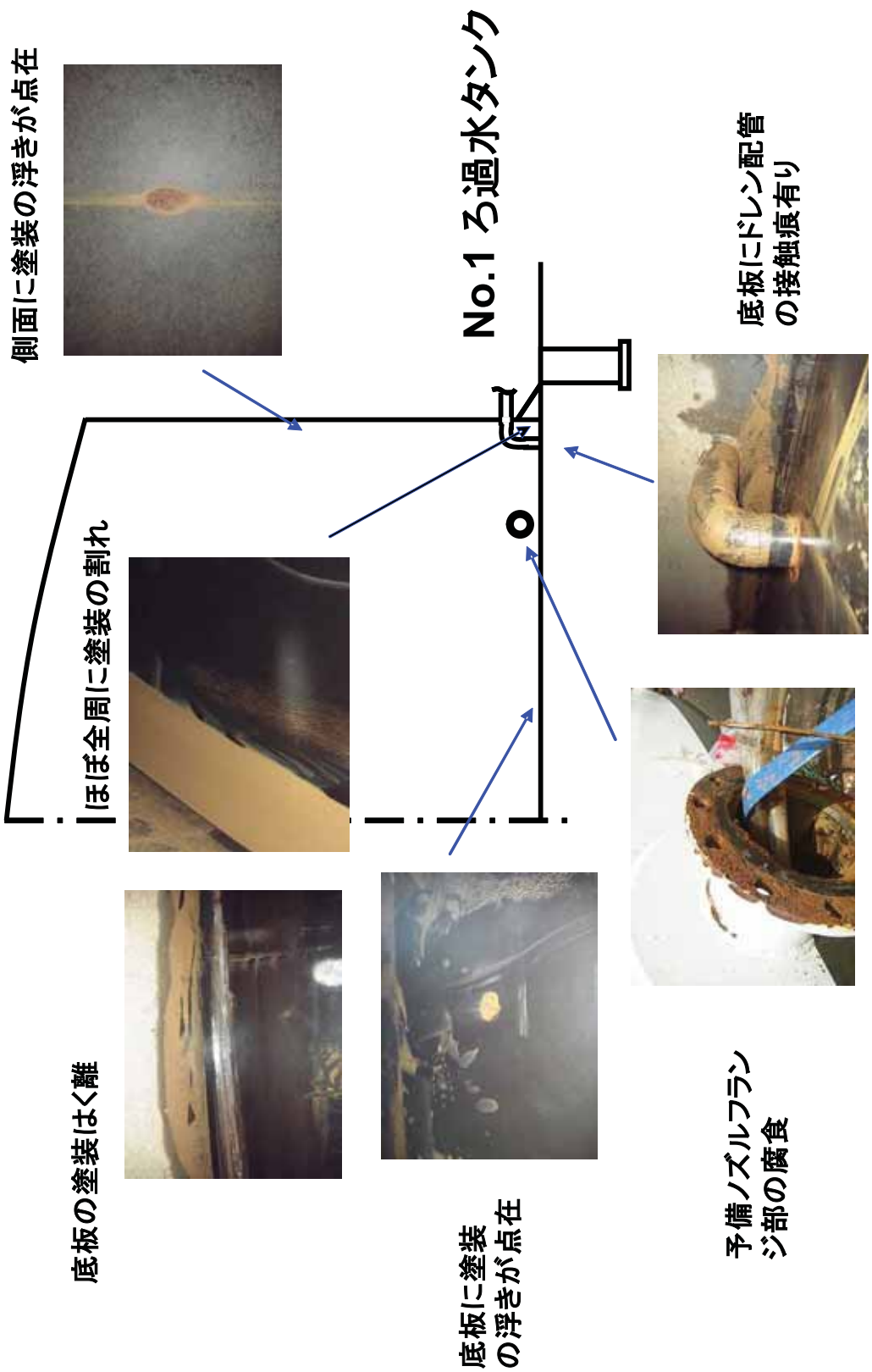
- 評価結果（下図参照）
  - 消防法設計加速度（ZPA 相当加速度：0.3G）では，タンクが健全な状態においては満水でも座屈を生じない
  - 地震発生時の水位（ほぼ満水状態）では，本震の ZPA 相当加速度 0.7G において，座屈を生じる恐れ有り
  - 座屈により 20%の強度が低下している場合（座屈強度 80%）においても，貯留量約 5,800m^3（水位約 12m）であれば本震の ZPA 相当加速度 0.7G で座屈を生じない。



ZPA 相当加速度［G］

以　上

No.1 ろ過水タンク内部点検結果



No.１ ろ過水タンク内部補修結果



底板



底板



側板



底板ドレン配管近傍

ろ過水タンク底板の変形が材料強度に及ぼす影響について

1. ろ過水タンク底板鉛直方向変位の測定

図１に示すろ過水タンク底板の半径方向の経路上で，基準点（タンク中心）に対する鉛直方向変位の測定を実施した結果を図２に示す。

タンク底板は，図２中に赤の破線で示すような，中心から外周に向かって 1/120 の下り勾配を持つ基礎の上に設置されているが，実測結果は，中心から約 11m の範囲は概ね水平であり，11m 以上外周側の範囲で，基準点からの鉛直方向変位が拡大するという傾向が，いずれの方角に対しても確認された。

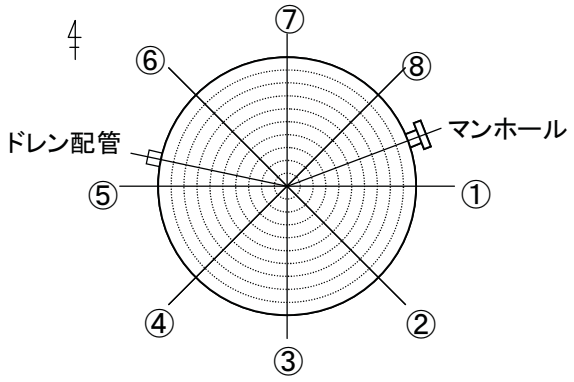


図１ ろ過水タンク底板鉛直方向変位の測定経路

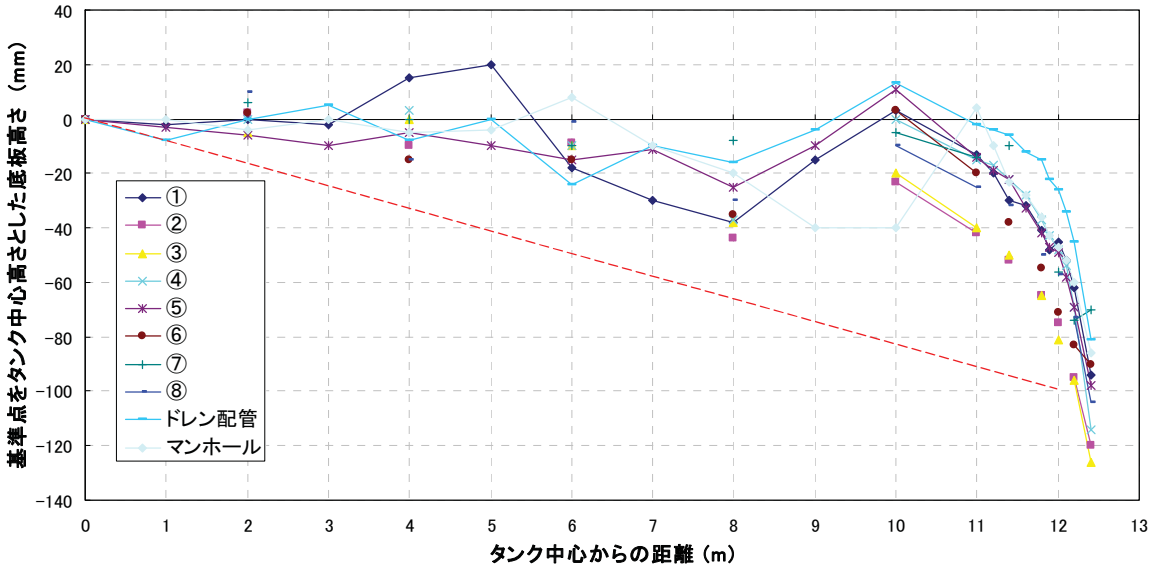


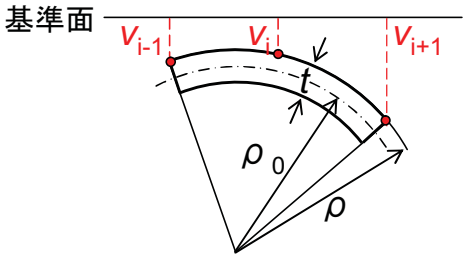
図２ ろ過水タンク底板鉛直方向変位の測定結果

2. ろ過水タンク底板の残留ひずみの評価

図２の測定結果に基づき，底板上面での残留ひずみの評価を実施した。残留ひずみは，図３に示すように，基準点からの鉛直方向距離の隣り合う３点での測定値 v_{i-1}，v_i，v_{i+1} を通る円弧

の曲率半径 ρ から式 1 を用いて算出した。ここで，タンク底板の板厚には，全域に対してアニュラ板の 12㎜ を用いた。

$$\text{残留ひずみ: } \varepsilon = \frac{\rho - \rho_0}{\rho} \quad \cdots(1)$$



vi :底板各点の基準面からの垂直方向距離測定値
ρ :底板上面の曲率半径
（隣り合う3測定点を通る円弧の曲率）
ρ_0:曲げの中立軸の曲率半径（$\rho_0 = \rho - t$）
※ 板厚tには，アニュラ板の値12mmを用いた

図 3 ろ過水タンク底板鉛直方向変位に基づくひずみの評価方法

ひずみ評価値の半径方向分布を図 4 に，各半径方向における最大のひずみ評価値を図 5 に示す。いずれの方向においても外周部（中心からの距離が 11m 以上の範囲）でひずみが高くなる傾向を示した。

評価されたひずみは，ドレン配管方向の最外周近傍で最大 0.8%，①および④方向の最外周近傍で 0.6%，0.7%を示したが，それ以外では概ね 0.5%以下となった。

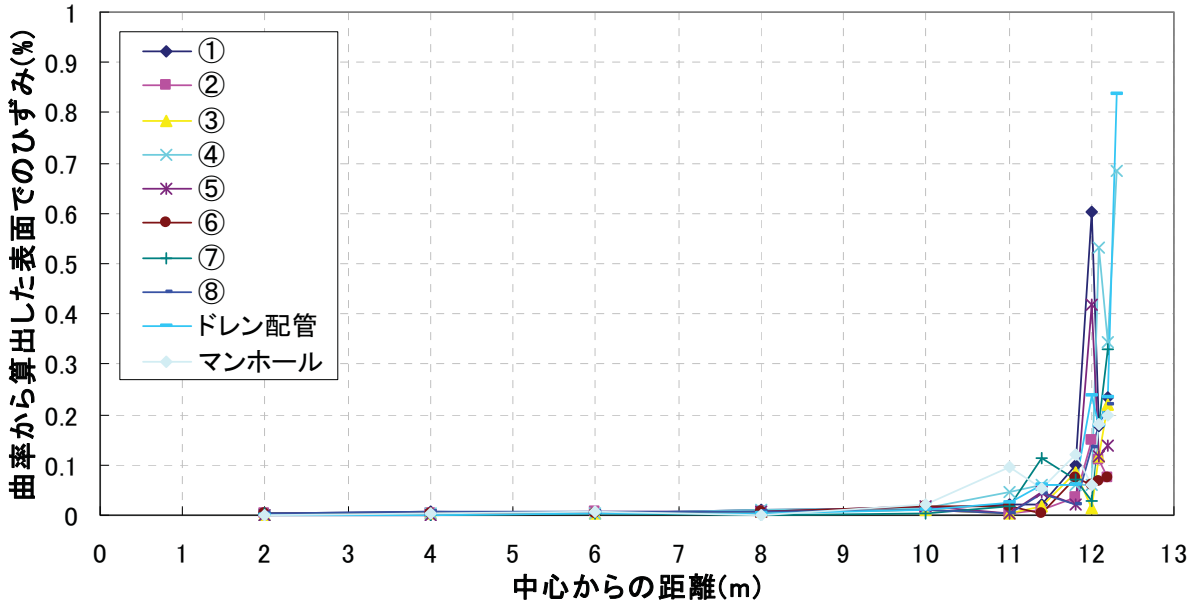


図 4 ろ過水タンク底板上面のひずみの評価結果

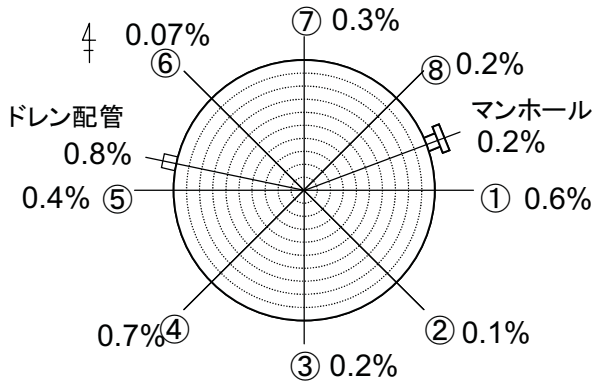


図 4 ろ過水タンク底板上面のひずみの評価結果の各評価経路内の最大値

3. 残留ひずみ評価値に基づくタンク材料特性への影響評価

炭素鋼の強度特性に及ぼすひずみの影響を評価した過去の知見から，±8%の繰返し予ひずみや，10%程度の静的予ひずみを付与した場合，引張強さの増加と，極わずかな破断延性の低下が生じること，また疲労強度については，ほとんどの影響が認められないことが知られている。

以上のことから，ろ過水今回タンク底板に発生した 1%程度のひずみであれば，材料強度に及ぼす影響はほとんどないと判断され，設計時と同様な手法・データに基づく健全性評価の適用が妥当であると判断される。

以 上

No.1 ろ過水タンク補修未実施箇所の肉厚評価

1 段目の欠陥箇所のうち，床面から補修可能な部位（59 箇所）の腐食の除去深さを実測したところ，最大で 1.88mm となった。

前回の内面点検（平成 18 年度）後，平成 19 年 4 月から腐食が始まり，平成 25 年 4 月までの約 6 年間で腐食が進行したものと仮定すると，**腐食速度は 1.88mm／6 年≒0.32mm／年となる。**

側板厚さ設計値から既に 2mm の腐食があると仮定し，さらに 0.32mm/年で腐食した場合の側板が貫通するまでの期間を評価した結果，下表に示すとおり最短で 18 年となる。

場所	側板厚さ設計値（mm）	側板厚さ評価値（mm）	貫通までの期間（年）
4 段目	8	6	18
3 段目	10	8	25
2 段目	12	10	31
1 段目	18	16	50

なお，底板の腐食部については補修を実施しているが，21 箇所について腐食の除去深さを実測したところ，最大で 2.18mm となった。

上述と同様に約 6 年間で腐食が進行したものと仮定すると，**腐食速度は 2.18mm／6 年≒0.37mm／年となる。**

底板厚さ設計値から既に 2.2mm の腐食があると仮定し，さらに 0.37mm／年で腐食した場合の底板が貫通するまでの期間を評価した結果，下表に示すとおり 18 年となる。

場所	底板厚さ設計値（mm）	底板厚さ評価値（mm）	貫通までの期間（年）
底板	9	6.8	18

中低濃度タンクの設計・確認の方針について

中低濃度タンクのうち，実施計画の初回認可日（平成 25 年 8 月 14 日）以降に実施する検査の対象となる円筒型タンクの設計・確認の方針について，以下の通り定める。

1.中低濃度タンク（円筒型）の設計方針

1.1 規格・規準

a.　震災以降緊急対応的に設置又は既に（平成 25 年 8 月 14 日より前に）設計に着手したタンク

震災以降緊急対応的に設置又は既に（平成 25 年 8 月 14 日より前に）設計に着手したタンク（G3，J1 エリア）に関しては，設計，材料の選定，製作及び検査について，日本産業規格等の適用，施工記録，実績等により信頼性を確保する。

◆タンクの構造設計に関する規格（JSME 規格以外）

- 「JIS B 8501 鋼製石油貯槽の構造」
- 「日本鋼構造協会 JSS-Ⅰ 溶接開先標準」
- 「日本建築学会　鋼構造設計規準」
- 「日本建築学会　容器構造設計指針」
- 「日本水道鋼管協会　鋼製配水池設計指針」
- 「高圧ガス保安法　特定設備検査規則および同強度計算書式」

◆溶接に関する規格

- 「JIS B 8285 圧力容器の溶接施工方法の確認試験」
- 「JIS Z 3801 手溶接技術検定における試験方法及び判定基準」
- 「JIS Z 3841 半自動溶接技術検定における試験方法及び判定基準」
- 「日本鋼構造協会 JSS-Ⅰ 溶接開先標準」

b.　今後（平成 25 年 8 月 14 日以降）設計するタンク

平成 25 年 8 月 14 日以降に設計するものに関しては，JSME 規格に限定するものではなく，日本産業規格（JIS）等の国内外の民間規格に適合した工業用品の採用，或いは American Society of Mechanical Engineers（ASME 規格），日本産業規格（JIS），またはこれらと同等の技術的妥当性を有する規格での設計・製作・検査を行う。

◆タンクの構造設計に関する規格（JSME 規格以外）

- 「JIS G 3193 熱間圧延鋼板及び鋼帯の形状，寸法，質量及びその許容差」
- 「JIS G 3454 圧力配管用炭素鋼鋼管」
- 「JIS B 8501 鋼製石油貯槽の構造」

1.2 放射性物質の漏えい防止及び管理されない放出の防止

中低濃度タンクは，液体状の放射性物質の漏えいの防止及び所外への管理されない放出を防止するため，次の各項を考慮した設計とする。

a. 漏えいの発生を防止するため，中低濃度タンクには設置環境や内部流体の性状等に応じた適切な材料を使用するとともに，タンク水位の検出器を設ける。

b. タンクからの漏えいを早期検知するためにタンク設置エリアに設置するカメラにて監視するとともに，巡視点検にて漏えいの有無を確認し，液体状の放射性物質が漏えいした場合においても，漏えいを停止するのに適切な措置をとれるようにする。また，中低濃度タンクは漏えい水の拡大を抑制するための堰を設ける。基礎外周堰の堰内容量は，タンク 20 基当たり 1 基分の貯留容量（20 基以上の場合は 20 基あたり 1 基分の割合の容量，20 基に満たない場合でも 1 基分）を確保できる容量に，大雨時の作業等を考慮した余裕高さ（堰高さで 20cm 程度）分の容量との合計とする。

c. タンク水位は，免震重要棟集中監視室及びシールド中央制御室（シールド中操）に表示し，異常を確実に運転員に伝え適切な措置をとれるようにする。

1.3 環境条件対策

タンク運用に合わせて敷設する移送配管については，以下の対策を行う。

(1) 凍結

滞留水を移送している過程では，水が流れているため凍結の恐れはない。

滞留水の移送を停止した場合，屋外に敷設されているポリエチレン管等は，凍結による破損が懸念されるため，保温材等を取り付けて凍結防止を図る。なお，保温材は，高い気密性と断熱性を有する硬質ポリウレタン等を使用し，凍結しない十分な厚さ（100A に対して 21.4㎜以上）を確保する。

保温材厚さの設定の際には，「建設設備の凍結防止（空気調和・衛生工学会）」に基づき，震災以降に凍結事象が発生した外気温-8℃，内部流体の初期温度 5℃，保温材厚さ 21.4㎜の条件において，内部流体が 25%※凍結するまでに十分な時間（50 時間程度）があることを確認した。なお，震災以降の実測データから，外気温-8℃が半日程度継続することはない。

※「JIS A 9501 保温保冷工事施工標準」において管内水の凍結割合を 25%以上と推奨

(2) 紫外線

屋外に敷設されているポリエチレン管等は，紫外線による劣化を防止するため，紫外線防止効果のあるカーボンブラックを添加した保温材を取り付ける，もしくは，カーボンブラックを添加していない保温材を使用する場合は，カーボンブラックを添加した被覆材または紫外線による劣化のし難い材料である鋼板を取り付ける。

1.4 設計上の使用条件

中低濃度タンク（円筒型）のうち，RO 濃縮水貯槽及び濃縮廃液貯槽には，RO 濃縮水，濃縮廃液等の処理装置による処理済水（37kBq/cm^3 以上）を貯留する。タンクの運用状況に応じて RO 濃縮水貯槽に多核種除去設備，増設多核種除去設備，高性能多核種除去設備及び RO 濃縮水処理設備による処理済水，サブドレン他水処理施設で汲み上げた地下水（37kBq/cm^3 未満）を貯留する。

Sr 処理水貯槽には，RO 濃縮水処理設備による処理済水，サブドレン他水処理施設で汲み上げた地下水（37kBq/cm^3 未満）を貯留する。タンクの運用状況に応じて Sr 処理水貯槽に多核種除去設備，増設多核種除去設備，高性能多核種除去設備による処理済水（37kBq/cm^3 未満）を貯留する。

一方，多核種処理水貯槽には，多核種除去設備，増設多核種除去設備及び高性能多核種除去設備による処理済水（37kBq/cm^3 未満）を貯留する。G4 北，G5 エリアに設置する多核種処理水貯槽については，トリチウム以外の放射性物質を告示濃度限度比総和 1 未満となるまで浄化処理した水を貯留する。

RO 処理水貯槽，蒸発濃縮処理水貯槽には，逆浸透膜装置の処理済水（37kBq/cm^3 未満）を貯留する。

2. 中低濃度タンク（円筒型）の構造強度及び耐震性評価

2.1 中低濃度タンクの構造強度評価

a.　震災以降緊急対応的に設置又は既に（平成 25 年 8 月 14 日より前に）設計に着手したタンク（G3，J1 エリア）

中低濃度タンクは，「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令」において，廃棄物処理設備に相当するクラス 3 機器に準ずるものと位置付けられる。クラス３機器の適用規格は，「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格　設計・建設規格」（以下，「JSME 規格」という。）で規定される。

しかしながら，震災以降緊急対応的にこれまで設置してきた中低濃度タンクは，必ずしも JSME 規格に従って設計・製作・検査をされたものではなく，日本産業規格（JIS）等の国内外の民間規格，製品の試験データ等を踏まえ，福島第一原子力発電所構内の作業環境，機器等の設置環境や時間的裕度を勘案した中で安全確保を最優先に設計・製作・検査を行ってきている。

中低濃度タンクは，高濃度の汚染水を内包するため，バウンダリ機能の健全性を確認する観点から，設計された肉厚が十分であることを確認している。また，溶接部については，耐圧・漏えい試験等を行い，有意な変形や漏えい等のないことを確認している。設計及び評価の概要を以下に示す。

◆溶接型タンク（G3,J1 エリア）

G3 エリア，J1 エリアタンクともに，「鋼製石油貯槽の構造（全溶接製）（JIS B 8501)」を参考に設計したものである。線量や重装備による厳しい現場作業環境，汚染水対策として短期間の設置工程の必要性を踏まえ，現場溶接作業を極力減らすための設計の工夫を行っているため，溶接部の設計において，全ての部位が規格に適合した設計となっているわけではないが，当該部位については，別途構造計算等を実施し，構造強度の健全性について確認を行っている。

b.　今後（平成 25 年 8 月 14 日以降）設計するタンク

中低濃度タンクは，「実用発電用原子炉及びその付属設備の技術基準に関する規則」において，廃棄物処理設備に相当するクラス 3 機器に準ずるものと位置付けられる。クラス 3 機器の適用規格は，「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格　設計・建設規格」（以下，「JSME 規格」という。）で規定される。

従って，今後設計する中低濃度タンクについては，JSME 規格に限定するものではなく，日本産業規格（JIS）等の国内外の民間規格に適合した工業用品の採用，或いは American Society of Mechanical Engineers（ASME 規格），日本産業規格（JIS），またはこれらと同等の技術的妥当性を有する規格での設計・製作・検査を行う。溶接(溶接施工法および溶接士)は JSME 規格，日本産業規格（JIS），および発電用火力設備に関する技術基準を定める省令にて認証された溶接，または同等の溶接とする。また，JSME 規格で規定される材料の日本産業規格（JIS）年度指定は，技術的妥当性の範囲において材料調達性の観点から考慮しない場合もある。

さらに，今後も JSME 規格に記載のない非金属材料（耐圧ホース，ポリエチレン管等）については，現場の作業環境等から採用を継続する必要があるが，これらの機器等については，日本産業規格（JIS）や日本水道協会規格，製品の試験データ等を用いて設計を行う。

2.2 中低濃度タンクの耐震性評価

中低濃度タンクは，原則，その安全機能の重要度，地震によって機能の喪失を起こした場合の安全上の影響（公衆への被ばく影響）や廃炉活動への影響等を考慮した上で，核燃料物質を非密封で扱う燃料加工施設や使用施設等における耐震クラス分類を参考にして適切な耐震設計上の区分を行うとともに，適切と考えられる設計用地震力に十分耐えられる設計とする。

ただし，2020 年 7 月 8 日以前に認可された中低濃度タンクについては，「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」を参考にして耐震クラス分類を行い，「JEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規程」（以下，「耐震設計技術規程」という。）等に準拠して構造強度評価を行うことを基本とすることから，この限りでない。

また，評価手法，評価基準については，実態にあわせたものを採用する。なお，要求される地震力に対して耐震性を確保できない場合は，その影響について評価を行う。支持部材がない等の理由によって，耐震性に関する評価ができない設備を設置する場合においては，可撓性を有する材料を使用するなどし，耐震性を確保する。

また，中低濃度タンクは必要な耐震性を確保するために，原則として以下の方針に基づき設計とする。

- 倒れ難い構造（基礎幅を大きくとる）
- 変位による破壊を防止する構造（配管等に可撓性の有る材料を使用）

3. 中低濃度タンク（円筒型）の確認方針

3.1 構造強度及び機能・性能に関する事項

中低濃度タンクの構造強度及び機能・性能に関する確認事項を別紙－１に示す。

3.2 溶接部に関する事項

溶接部の確認が必要な中低濃度タンクの溶接部に関する確認事項は，「JSME S NB1　発電用原子力設備規格　溶接規格」に準拠して実施することを基本とするが，確認内容，判定基準については実態にあわせたものを適用する。溶接部に関する確認事項を別紙－３に示す。なお，溶接施工法については，認証機関による適合性証明に限らず，溶接規格第２部に定める溶接施工法認証標準に基づく確認試験を実施し合格したものについても適用可能とする。また，溶接士については，JSME 規格，American Society of Mechanical Engineers（ASME 規格），日本産業規格（JIS），および発電用火力設備に関する技術基準を定める省令にて認証された溶接，またはこれらと同等の溶接とする。

3.3 特記事項

実施計画の初回認可日以降に実施する検査において，緊急対応的に設置又は既に（平成 25 年 8 月 14 日より前に）設計に着手した中低濃度タンク｛エリア名（対象タンク基数／エリアタンク総基数）：G3 エリア（46 基／70 基）・J1 エリア（100 基／100 基）｝は，汚染水

の構外への流出を回避するために，いったん汚染水を貯留することを最優先とし，汚染水を貯留しながら，中低濃度タンクに係わる確認項目を確認するために，東京電力株式会社福島第一原子力発電所原子炉施設の保安及び特定核燃料物質の防護に関する規則第 20 条第 1 項に規定する使用前検査及び第 28 条第 1 項に規定する溶接検査に準じた検査を受検する。確認事項の概要を以下に示す。

◆溶接型タンク（G3 エリア）

G3 エリアの溶接型タンクについては，工場および現場にて溶接作業を実施している。工場および現場の溶接は，工場製作要領書・タンク現地溶接施工要領書にしたがって，第三者によって認められた溶接施工法により，JIS の有資格者が実施している。開先検査記録や溶接作業記録等の作成は省略しているものの，非破壊検査については，現場溶接部は全数，工場溶接部はサンプリングにより実施するとともに，外観検査についてはタンク設置後で測定可能な範囲において，脚長等が設計寸法以上であることを確認している。最終的には，当社監理員立会のもと，24 時間の耐圧・漏洩試験（水張り試験）により，有意な変形や漏洩等がないことを確認している。

◆溶接型タンク（J1 エリア）

J1 エリアの溶接型タンクについては，工場および現場にて溶接作業を実施している。これらは，試験検査要領書に基づいて，JIS の有資格者が溶接を行うとともに，材料検査，開先検査，溶接作業検査，非破壊検査，耐圧漏えい検査，外観検査を実施・記録を行い，当該工事の請負業者が同記録の確認を行っている。また，当社においては，工場および現場において，これら検査の立会および記録確認を実施している。

4. 基礎外周堰完成及び個別水位計設置までの安全確保事項

中低濃度タンクは，基礎外周堰，並びに各タンクへの水位計が設置され，機能・性能に関する確認がされる前から使用を開始するため，使用期間中は漏えいの発生防止，漏えい検知・拡大防止の観点から，以下の事項について遵守する。

- 汚染水の受払いの際は，受払用タンクに水位計を設置し，受入時の溢水を防止すると共に，貯留状況を監視する。
- 汚染水の受入れが完了したタンクは，タンクの連結弁を閉じ，大量漏えいを防止する。
- タンクの連結弁を閉じた後，各タンクの水位が確認できなくなるが，個別水位計が設置されるまでの期間は，溶接型タンクについて，巡視点検でタンクからの漏えいの有無を確認することにより，各タンクの水位が保持されていることを間接的に確認する。
- RO 濃縮水貯槽及び Sr 処理水貯槽は，基礎外周堰が設置された状態で使用する。
- 多核種処理水貯槽は，基礎外周堰が設置された状態で使用するのが原則であるが，建屋滞留水処理完了（循環注水を行っている１～３号機原子炉建屋以外の滞留水処理完了）までは，J2，J3，J4，J5，J6，J7，H1，H1 東，H2，K3，K4，H4 北，H4 南，G1 南，H5，H6（Ⅰ），B，B 南，H3，H6（Ⅱ），G6，G1，G4 南エリアのタンクに仮堰運用（高さ 25cm 程度の鉄板もしくはコンクリートによる堰）を適用し，基礎外周堰が完成する前にタンクの使用を開始する。仮堰運用期間を可能な限り短くするため，仮堰運用を適用するエリアのすべてのタンクが設置されてから３ヶ月以内（天候等による影響を除く）を目途に基礎外周堰を完成させる。なお，建屋滞留水処理完了以降の仮堰運用については，地下水流入量等の状況を鑑み検討する。

5. 汚染水受入れ時の漏えい対策について

新規タンクへ汚染水を受け入れる際には，漏えいの発生防止，漏えい検知・拡大防止の観点から，以下の対策を行う。

- 新規タンクへ汚染水を受け入れる際には，隔離対象タンクの連結弁が“閉”であることを確認した後に，受入れを開始する。
- 新規タンクへ汚染水の受入れを開始する際には，水位計の指示値を連続して確認し，水位が安定的に上昇していることを確認すると共に，目視にてタンク，連結弁，フランジ部からの漏えいの有無を確認する。設備に異常が無ければ，その後は水位計の指示値を連続して確認し，巡視点検でタンクからの漏えいの有無を確認する。
- 仮にタンクに不具合が発生した場合は，状況把握に努めると共に漏えい拡大の防止を図り，漏えい水受けの設置や連絡弁の「閉」確認を行う等の応急措置を実施する。

６．別紙

（１）中低濃度タンク（円筒型）の基本仕様

（２）中低濃度タンク（円筒型）の構造強度及び耐震性評価に関する説明書

（３）中低濃度タンク（円筒型）に係る確認事項

（４）(廃止)フランジタンクの止水構造に関する説明書

（５）タンク基礎に関する説明書

（６）中低濃度タンク（円筒型）の基礎外周堰の堰内容量に関する説明書

（７）中低濃度タンク（円筒型）からの直接線ならびにスカイシャイン線による実効線量

（８）タンクエリア図

（９）タンク概略図

(10) 中低濃度タンクのうち耐震Ｃクラスと位置づけられるタンクについて

別紙－１

中低濃度タンク（円筒型）の基本仕様

１．設備仕様

a.　震災以降緊急対応的に設置又は既に（平成 25 年 8 月 14 日より前に）設計に着手したタンク（G3, J1 エリア）

（1）RO 濃縮水貯槽

廃止（G4 エリア（フランジタンク））

G3 エリア

タンク容量		m^3	1,000
主要寸法	内　　径	mm	12,000
	胴板厚さ	mm	12
	底板厚さ	mm	12
	高　　さ	mm	10,537
管台厚さ	100A	mm	8.6
	200A	mm	12.7
	600A	mm	9.5
材料	胴板・底板	―	SS400
	管台	―	STPY400EQ, STPG370

	連結管（耐圧ホース（完成品））	連結弁（完成品）
呼　び　径	200A 相当	200A 相当
材　　質	ポリ塩化ビニル	FC200
最高使用圧力	1.0MPa	1.0MPa
最高使用温度	50℃	50℃

	入口配管（ポリエチレン管）
厚　　さ	100A 相当
材　　質	ポリエチレン
最高使用圧力	1.0MPa
最高使用温度	40℃

J1 エリア

タンク容量		m^3	1,000
主要寸法	内　　径	mm	12,000
	胴板厚さ	mm	12
	底板厚さ	mm	12
	高　　さ	mm	10,812
管台厚さ	100A	mm	4.5
	200A	mm	5.8
	600A	mm	9.5
材料	胴板・底板	―	SS400
	管台	―	STPY400EQ, SGP

	連結管（耐圧ホース（完成品））	連結弁（完成品）
呼　び　径	200A 相当	200A 相当
材　　質	ポリ塩化ビニル	FC200
最高使用圧力	0.98MPa	0.98MPa, 1.0MPa
最高使用温度	50℃	50℃

	入口配管（ポリエチレン管）
厚　　さ	100A 相当
材　　質	ポリエチレン
最高使用圧力	1.0MPa
最高使用温度	40℃

(2) 廃止（多核種処理水貯槽）

b.　今後（平成 25 年 8 月 14 日以降）設計するタンク

（1）RO 濃縮水貯槽

G7 エリア

タンク容量		m^3	700
主要寸法	内　　径	mm	8,100
	胴板厚さ	mm	16
	底板厚さ	mm	25
	高　　さ	mm	14,730
管台厚さ	100A	mm	8.6
	200A	mm	12.7
	500A	mm	16.0
材料	胴板・底板	―	SS400
	管台	―	STPT410，SS400

	連結管（耐圧ホース（完成品））	連結弁（完成品）
呼　び　径	200A 相当	200A 相当
材　　質	EPDM 合成ゴム	FCD450-10
最高使用圧力	1.0MPa	1.0MPa
最高使用温度	50℃	50℃

	入口配管（鋼管）
厚　　さ	8.6mm（100A）
材　　質	STPT410
最高使用圧力	1.0MPa
最高使用温度	50℃

Dエリア

タンク容量		m^3	1,000
主要寸法	内　　径	mm	10,000
	胴板厚さ	mm	15
	底板厚さ	mm	25
	高　　さ	mm	14,565
管台厚さ	100A	mm	8.6
	200A	mm	12.7
	600A	mm	16.0
材料	胴板・底板	―	SS400
	管台	―	STPT410, SS400

	連結管（耐圧ホース（完成品））	連結弁（完成品）
呼　び　径	200A 相当	200A 相当
材　　質	EPDM 合成ゴム	FCD450-10
最高使用圧力	1.0MPa	1.0MPa
最高使用温度	50℃	50℃

	入口配管（鋼管）
厚　　さ	8.6mm（100A）
材　　質	STPT410
最高使用圧力	大気圧
最高使用温度	50℃

(2) 濃縮廃液貯槽，RO 処理水貯槽，蒸発濃縮処理水貯槽

Dエリア

タンク容量		m^3	1,000
主要寸法	内　　径	mm	10,000
	胴板厚さ	mm	15
	底板厚さ	mm	25
	高　　さ	mm	14,565
管台厚さ	100A	mm	8.6
	200A	mm	12.7
	600A	mm	16.0
材料	胴板・底板	―	SS400
	管台	―	STPT410，SS400

	連結管（耐圧ホース（完成品））	連結弁（完成品）
呼　び　径	200A 相当	200A 相当
材　　質	EPDM 合成ゴム	FCD450-10
最高使用圧力	1.0MPa	1.0MPa
最高使用温度	50℃	50℃

	入口配管（鋼管）
厚　　さ	8.6mm（100A）
材　　質	STPT410
最高使用圧力	大気圧
最高使用温度	50℃

(3) 多核種処理水貯槽

J5 エリア

タンク容量		m^3	1,235
主要寸法	内　　径	mm	11,000
	胴板厚さ	mm	12
	底板厚さ	mm	12
	高　　さ	mm	13,000
管台厚さ	100A	mm	6.0
	200A	mm	8.2
	650A	mm	12.0
材料	胴板・底板	―	SM400C
	管台	―	STPG370, SM400C

	連結管（耐圧ホース（完成品））	連結弁（完成品）
呼　び　径	200A 相当	200A 相当
材　　質	EPDM 合成ゴム	FCD450-10
最高使用圧力	0.98MPa	1.4MPa
最高使用温度	50℃	50℃

	入口配管（ポリエチレン管）
厚　　さ	100A 相当
材　　質	ポリエチレン
最高使用圧力	1.0MPa
最高使用温度	40℃

J2,J3 エリア

タンク容量		m^3	2,400
主要寸法	内　　径	mm	16,200
	胴板厚さ	mm	18.8
	底板厚さ	mm	12
	アニュラ厚さ	mm	16
	高　　さ	mm	13,200
管台厚さ	100A	mm	8.6
	200A	mm	12.7
	600A	mm	12.0
材料	胴板	—	SM400C
	底板	—	SS400
	アニュラ板	—	SM400C
	管台	—	STPG370, SM400C

	連結管（耐圧ホース（完成品））	連結弁（完成品）
呼　び　径	200A 相当	200A 相当
材　　質	EPDM 合成ゴム	FCD450-10
最高使用圧力	1.0MPa	1.0MPa
最高使用温度	60℃	50℃

	入口配管（ポリエチレン管）
厚　　さ	100A 相当
材　　質	ポリエチレン
最高使用圧力	1.0MPa
最高使用温度	40℃

J4 エリア（2,900m^3）

タンク容量		m^3	2,900
主要寸法	内　　径	mm	16,920
	胴板厚さ	mm	15
	底板厚さ	mm	12
	高　　さ	mm	12,900
管台厚さ	100A	mm	6.0
	200A	mm	8.2
	650A	mm	12.0
材料	胴板・底板	―	SM490C
	管台	―	STPG370，SM400C

	連結管（耐圧ホース（完成品））	連結弁（完成品）
呼　び　径	200A 相当	200A 相当
材　　質	EPDM 合成ゴム	FCD450-10
最高使用圧力	0.98MPa	1.4MPa
最高使用温度	50℃	50℃

	入口配管（ポリエチレン管）
厚　　さ	100A 相当
材　　質	ポリエチレン
最高使用圧力	1.0MPa
最高使用温度	40℃

J6 エリア

タンク容量		m^3	1,200
主要寸法	内　　径	mm	12,000
	胴板厚さ	mm	12
	底板厚さ	mm	12
	高　　さ	mm	12,012
管台厚さ	100A	mm	6.0
	200A	mm	8.2
	600A	mm	9.5
材料	胴板・底板	—	SM400A, SS400
	管台	—	STPG370, STPY400 STPY400EQ

	連結管（耐圧ホース（完成品））	連結弁（完成品）
呼　び　径	200A 相当	200A 相当
材　　質	EPDM 合成ゴム	FCD450-10
最高使用圧力	1.0MPa	1.0MPa
最高使用温度	50℃	50℃

	入口配管（ポリエチレン管）
呼　び　径	100A 相当
材　　質	ポリエチレン
最高使用圧力	1.0MPa
最高使用温度	40℃

H1 エリア

タンク容量		m^3	1,220
主要寸法	内　　径	mm	12,000
	胴板厚さ	mm	12
	底板厚さ	mm	12
	高　　さ※	mm	11,622
管台厚さ	100A	mm	6.0
	200A	mm	8.2
	600A	mm	12.0
材料	胴板・底板	―	SM400C
	管台	―	STPT410, SM400C

※底板厚さを含む

	連結管（耐圧ホース（完成品））	連結弁（完成品）
呼　び　径	200A 相当	200A 相当
材　　質	EPDM 合成ゴム	FCD450-10
最高使用圧力	1.0MPa	1.0MPa
最高使用温度	40℃	40℃

	入口配管（ポリエチレン管）
呼　び　径	100A 相当
材　　質	ポリエチレン
最高使用圧力	1.0MPa
最高使用温度	40℃

J7 エリア

タンク容量		m^3	1,200
主要寸法	内　　径	mm	12,000
	胴板厚さ	mm	12
	底板厚さ	mm	12
	高　　さ	mm	12,012
管台厚さ	100A	mm	6.0
	200A	mm	8.2
	600A	mm	9.5
材料	胴板・底板	―	SM400A
	管台	―	STPG370, STPY400

	連結管（耐圧ホース（完成品））	連結弁（完成品）
呼　び　径	200A 相当	200A 相当
材　　質	EPDM 合成ゴム	FCD450-10
最高使用圧力	1.0MPa	1.0MPa
最高使用温度	50℃	50℃

	入口配管（ポリエチレン管）
呼　び　径	100A 相当
材　　質	ポリエチレン
最高使用圧力	1.0MPa
最高使用温度	40℃

J4 エリア（1,160m^3）

タンク容量		m^3	1,160
主要寸法	内　　径	mm	11,000
	胴板厚さ	mm	12
	底板厚さ	mm	12
	高　　さ	mm	13,000
管台厚さ	100A	mm	6.0
	200A	mm	8.2
	650A	mm	12.0
材料	胴板・底板	―	SM400C
	管台	―	STPG370，SM400C

	連結管（耐圧ホース（完成品））	連結弁（完成品）
呼　び　径	200A 相当	200A 相当
材　　質	EPDM 合成ゴム	FCD450-10
最高使用圧力	0.98MPa	1.4MPa
最高使用温度	50℃	50℃

	入口配管（ポリエチレン管）
厚　　さ	100A 相当
材　　質	ポリエチレン
最高使用圧力	1.0MPa
最高使用温度	40℃

H1 東エリア

タンク容量		m^3	1,220
主要寸法	内　　径	mm	12,000
	胴板厚さ	mm	12
	底板厚さ	mm	12
	高　　さ※	mm	11,622
管台厚さ	100A	mm	6.0
	200A	mm	8.2
	600A	mm	12.0
材料	胴板・底板	―	SM400C
	管台	―	STPT410, SM400C

※底板厚さを含む

	連結管（耐圧ホース（完成品））	連結弁（完成品）
呼　び　径	200A 相当	200A 相当
材　　質	EPDM 合成ゴム	FCD450-10
最高使用圧力	1.0MPa	1.0MPa
最高使用温度	40℃	40℃

	入口配管（ポリエチレン管）
呼　び　径	100A 相当
材　　質	ポリエチレン
最高使用圧力	1.0MPa
最高使用温度	40℃

K3 エリア

タンク容量		m^3	700
主要寸法	内　　径	mm	8,100
	胴板厚さ	mm	16
	底板厚さ	mm	25
	高　　さ	mm	14,730
管台厚さ	100A	mm	8.6
	200A	mm	12.7
	600A	mm	16.0
材料	胴板・底板	―	SS400
	管台	―	STPT410, SS400

	連結管（耐圧ホース（完成品））	連結弁（完成品）
呼　び　径	200A 相当	200A 相当
材　　質	EPDM 合成ゴム	FCD450-10
最高使用圧力	1.0MPa	1.0MPa
最高使用温度	50℃	50℃

	入口配管（鋼管）
厚　　さ	8.6mm(100A)
材　　質	STPT410
最高使用圧力	1.0MPa
最高使用温度	50℃

K4 エリア

タンク容量		m^3	1,000
主要寸法	内　　径	mm	10,000
	胴板厚さ	mm	15
	底板厚さ	mm	25
	高　　さ	mm	14,565
管台厚さ	100A	mm	8.6
	200A	mm	12.7
	600A	mm	16.0
材料	胴板・底板	―	SS400
	管台	―	STPT410，SS400

	連結管（耐圧ホース（完成品））	連結弁（完成品）
呼　び　径	200A 相当	200A 相当
材　　質	EPDM 合成ゴム	FCD450-10
最高使用圧力	1.0MPa	1.0MPa
最高使用温度	50℃	50℃

	入口配管（鋼管）
厚　　さ	8.6mm（100A）
材　　質	STPT410
最高使用圧力	1.0MPa
最高使用温度	50℃

H2 エリア

タンク容量		m^3	2,400
主要寸法	内　　径	mm	16,200
	胴板厚さ	mm	18.8
	底板厚さ	mm	12
	アニュラ厚さ	mm	16
	高　　さ	mm	13,200
管台厚さ	100A	mm	8.6
	200A	mm	12.7
	600A	mm	12.0
材料	胴板	―	SM400C
	底板	―	SS400
	アニュラ板	―	SM400C
	管台	―	STPG370，SM400C

	連結管（耐圧ホース（完成品））	連結弁（完成品）
呼　び　径	200A 相当	200A 相当
材　　質	EPDM 合成ゴム	FCD450-10
最高使用圧力	1.0MPa	1.0MPa
最高使用温度	60℃	50℃

	入口配管（ポリエチレン管）
厚　　さ	100A 相当
材　　質	ポリエチレン
最高使用圧力	1.0MPa
最高使用温度	40℃

H4 北エリア

タンク容量		m^3	1,200
主要寸法	内　　径	mm	12,000
	胴板厚さ	mm	12
	底板厚さ	mm	12
	高　　さ	mm	11,700
管台厚さ	100A	mm	6
	200A	mm	8.2
	760mm (内径)	mm	12.0
材料	胴板・底板	―	SM400A
	管台	―	STPG370,　SM400A

	連結管（耐圧ホース（完成品））	連結弁（完成品）
呼　び　径	200A 相当	200A 相当
材　　質	EPDM 合成ゴム	FCD450-10
最高使用圧力	1.0MPa	1.0MPa
最高使用温度	50℃	50℃

	入口配管（ポリエチレン管）
厚　　さ	100A 相当
材　　質	ポリエチレン
最高使用圧力	1.0MPa
最高使用温度	40℃

H4 南エリア（1,060m³）

タンク容量		m³	1,060
主要寸法	内　　径	mm	10,000
	胴板厚さ	mm	15
	底板厚さ	mm	25
	高　　さ	mm	14,565
管台厚さ	100A	mm	8.6
	200A	mm	12.7
	600A	mm	16.0
材料	胴板・底板	―	SS400
	管台	―	STPT410，SS400

	連結管（耐圧ホース（完成品））	連結弁（完成品）
呼　び　径	200A 相当	200A 相当
材　　質	EPDM 合成ゴム	FCD450-10
最高使用圧力	1.0MPa	1.0MPa
最高使用温度	50℃	50℃

	入口配管（鋼管）
厚　　さ	8.6mm（100A）
材　　質	STPT410
最高使用圧力	1.0MPa
最高使用温度	50℃

H4 南エリア（1,140m³）

タンク容量		m³	1,140
主要寸法	内　　径	mm	10,440
	胴板厚さ	mm	15
	底板厚さ	mm	22
	高　　さ	mm	14,127
管台厚さ	100A	mm	8.6
	200A	mm	12.7
	600A	mm	16.0
材料	胴板・底板	―	SM400B
	管台	―	STPT410，SM400B

	連結管（耐圧ホース（完成品））	連結弁（完成品）
呼　び　径	200A 相当	200A 相当
材　　質	EPDM 合成ゴム	FCD450-10
最高使用圧力	1.0MPa	1.0MPa
最高使用温度	40℃	40℃

	入口配管（ポリエチレン管）
厚　　さ	100A 相当
材　　質	ポリエチレン
最高使用圧力	1.0MPa
最高使用温度	40℃

G1 南エリア(1,160m^3)

タンク容量		m^3	1,160
主要寸法	内　　径	mm	11,000
	胴板厚さ	mm	12
	底板厚さ	mm	12
	高　　さ	mm	13,000
管台厚さ	100A	mm	6.0
	200A	mm	8.2
	650A	mm	12.0
材料	胴板・底板	―	SM400C
	管台	―	STPG370, SM400C

	連結管（耐圧ホース（完成品））	連結弁（完成品）
呼　び　径	200A 相当	200A 相当
材　　質	EPDM 合成ゴム	FCD450-10
最高使用圧力	0.98MPa	1.4MPa
最高使用温度	50℃	50℃

	入口配管（ポリエチレン管）
厚　　さ	100A 相当
材　　質	ポリエチレン
最高使用圧力	1.0MPa
最高使用温度	40℃

G1 南エリア(1,330m^3)

タンク容量		m^3	1,330
主要寸法	内　　径	mm	11,000
	胴板厚さ	mm	15
	底板厚さ	mm	22
	高　　さ	mm	14,878
管台厚さ	100A	mm	8.6
	200A	mm	12.7
	600A	mm	16.0
材料	胴板・底板	―	SM400B
	管台	―	STPT410, SM400B

	連結管（耐圧ホース（完成品））	連結弁（完成品）
呼　び　径	200A 相当	200A 相当
材　　質	EPDM 合成ゴム	FCD450-10
最高使用圧力	1.0MPa	1.0MPa
最高使用温度	40℃	40℃

	入口配管（ポリエチレン管）
厚　　さ	100A 相当
材　　質	ポリエチレン
最高使用圧力	1.0MPa
最高使用温度	40℃

H5,H6(Ⅰ)エリア

タンク容量		m^3	1,200
主要寸法	内　　径	mm	12,000
	胴板厚さ	mm	12
	底板厚さ	mm	12
	高　　さ	mm	12,012
管台厚さ	100A	mm	6.0
	200A	mm	8.2
	600A	mm	12.0
材料	胴板・底板	―	SM400A
	管台	―	STPG370, STPT410, SM400A

	連結管（耐圧ホース（完成品））	連結弁（完成品）
呼　び　径	200A 相当	200A 相当
材　　質	EPDM 合成ゴム	FCD450-10
最高使用圧力	1.0MPa	1.0MPa
最高使用温度	50℃	50℃

	入口配管（鋼管）
厚　　さ	6.0mm(100A)
材　　質	STPT410
最高使用圧力	1.0MPa
最高使用温度	50℃

B,B 南エリア(1,330m^3)

タンク容量		m^3	1,330
主要寸法	内　　径	mm	11,000
	胴板厚さ	mm	15
	底板厚さ	mm	12
	高　　さ	mm	14,900
管台厚さ	100A	mm	8.6
	200A	mm	12.7
	600A	mm	16.0
材料	胴板・底板	―	SM400C
	管台	―	STPG370, SM400C

	連結管（耐圧ホース（完成品））	連結弁（完成品）
呼　び　径	200A 相当	200A 相当
材　　質	EPDM 合成ゴム	FCD450-10
最高使用圧力	1.0MPa	1.0MPa
最高使用温度	40℃	40℃

	入口配管（ポリエチレン管）
呼　び　径	100A 相当
材　　質	ポリエチレン
最高使用圧力	1.0MPa
最高使用温度	40℃

Bエリア(700m^3)

タンク容量		m^3	700
主要寸法	内　　径	mm	8,100
	胴板厚さ	mm	12
	底板厚さ	mm	12
	高　　さ	mm	14,730
管台厚さ	100A	mm	8.6
	200A	mm	12.7
	600A	mm	16.0
材料	胴板・底板	―	SM400C
	管台	―	STPG370, SM400C

	連結管（耐圧ホース（完成品））	連結弁（完成品）
呼　び　径	200A 相当	200A 相当
材　　質	EPDM 合成ゴム	FCD450-10
最高使用圧力	1.0MPa	1.0MPa
最高使用温度	40℃	40℃

	入口配管（ポリエチレン管）
呼　び　径	100A 相当
材　　質	ポリエチレン
最高使用圧力	1.0MPa
最高使用温度	40℃

H3,H6(Ⅱ)エリア(1,356m^3)

タンク容量		m^3	1,356
主要寸法	内　　径	mm	12,500
	胴板厚さ	mm	12
	底板厚さ	mm	12
	高　　さ	mm	12,112
管台厚さ	100A	mm	6.0
	200A	mm	8.2
	600A	mm	12.0
材料	胴板・底板	―	SM400A
	管台	―	STPG370, SM400A, STPT410

	連結管（耐圧ホース（完成品））	連結弁（完成品）
呼　び　径	200A 相当	200A 相当
材　　質	EPDM 合成ゴム	FCD450-10
最高使用圧力	1.0MPa	1.0MPa
最高使用温度	40℃	40℃

	入口配管（鋼管）
呼　び　径	100A（6.0mm）
材　　質	STPT410
最高使用圧力	1.0MPa
最高使用温度	50℃

G6 エリア

タンク容量		m^3	1,330
主要寸法	内　　径	mm	11,000
	胴板厚さ	mm	12
	底板厚さ	mm	12
	高　　さ	mm	14,715
管台厚さ	100A	mm	8.6
	200A	mm	12.7
	650A	mm	16.0
材料	胴板・底板	―	SM490A
	管台	―	STPG370, SM490B

	連結管（耐圧ホース（完成品））	連結弁（完成品）
呼　び　径	200A 相当	200A 相当
材　　質	EPDM 合成ゴム	FCD450-10
最高使用圧力	1.0MPa	1.0MPa
最高使用温度	40℃	40℃

	入口配管（ポリエチレン管）
呼　び　径	100A 相当
材　　質	ポリエチレン
最高使用圧力	0.98MPa
最高使用温度	40℃

G1,G4 南，G4 北，G5 エリア(1,356m^3)

タンク容量		m^3	1,356
主要寸法	内　　径	mm	12,500
	胴板厚さ	mm	12
	底板厚さ	mm	12
	高　　さ	mm	12,112
管台厚さ	100A	mm	6.0
	200A	mm	8.2
	600A	mm	12.0
材料	胴板・底板	―	SM400A
	管台	―	STPG370，SM400A，STPT410

	連結管（耐圧ホース（完成品））	連結弁（完成品）
呼　び　径	200A 相当	200A 相当
材　　質	EPDM 合成ゴム	FCD450-10
最高使用圧力	1.0MPa	1.0MPa
最高使用温度	40℃	40℃

	入口配管（鋼管）
呼　び　径	100A Sch40
材　　質	STPT410
最高使用圧力	1.0MPa
最高使用温度	50℃

(4) Sr 処理水貯槽

K1 北エリア

タンク容量		m^3	1,200
主要寸法	内　　径	mm	12,000
	胴板厚さ	mm	12
	底板厚さ	mm	12
	高　　さ	mm	12,012
管台厚さ	100A	mm	6.0
	200A	mm	8.2
	600A	mm	9.5
材料	胴板・底板	―	SM400A
	管台	―	STPG370, STPY400

	連結管（耐圧ホース（完成品））	連結弁（完成品）
呼　び　径	200A 相当	200A 相当
材　　質	EPDM 合成ゴム	FCD450-10
最高使用圧力	1.0MPa	1.0MPa
最高使用温度	50℃	50℃

	入口配管（ポリエチレン管）
呼　び　径	100A 相当
材　　質	ポリエチレン
最高使用圧力	1.0MPa
最高使用温度	40℃

K2 エリア

タンク容量		m^3	1,057
主要寸法	内　　径	mm	10,000
	胴板厚さ	mm	15
	底板厚さ	mm	25
	高　　さ	mm	14,565
管台厚さ	100A	mm	8.6
	200A	mm	12.7
	600A	mm	16.0
材料	胴板・底板	―	SS400
	管台	―	STPT410, SS400

	連結管（耐圧ホース（完成品））	連結弁（完成品）
呼　び　径	200A 相当	200A 相当
材　　質	EPDM 合成ゴム	FCD450-10
最高使用圧力	1.0MPa	1.0MPa
最高使用温度	50℃	50℃

	入口配管（鋼管）
厚　　さ	8.6mm（100A）
材　　質	STPT410
最高使用圧力	1.0MPa
最高使用温度	50℃

K1 南エリア

タンク容量		m^3	1,160
主要寸法	内　　径	mm	11,000
	胴板厚さ	mm	12
	底板厚さ	mm	12
	高　　さ	mm	13,000
管台厚さ	100A	mm	6.0
	200A	mm	8.2
	650A	mm	12.0
材料	胴板・底板	―	SM400C
	管台	―	STPG370, SM400C

	連結管（耐圧ホース（完成品））	連結弁（完成品）
呼　び　径	200A 相当	200A 相当
材　　質	EPDM 合成ゴム	FCD450-10
最高使用圧力	0.98MPa	1.4MPa
最高使用温度	50℃	50℃

	入口配管（ポリエチレン管）
呼　び　径	100A 相当
材　　質	ポリエチレン
最高使用圧力	1.0MPa
最高使用温度	40℃

以上

別紙－２

中低濃度タンク（円筒型）の構造強度及び耐震性評価に関する説明書

1.構造強度評価

震災以降緊急対応的に設置又は既に（平成 25 年 8 月 14 日より前に）設計に着手したタンクについては，材料証明書がなく，設計・建設規格におけるクラス 3 機器の要求を満足するものではないが，主要仕様から必要肉厚評価，胴の穴の補強評価をし，十分な強度を有していることを確認した。

平成 25 年 8 月 14 日以降に設計するタンクについては，設計・建設規格に基づき，主要仕様から必要肉厚評価，胴の穴の補強評価をし，十分な強度を有していることを確認した。

J2，J3 エリアのタンクについては，日本産業規格（JIS B 8501）を適用し構造強度評価を行った。構造強度評価のうち，「円筒型タンクの胴の厚さ評価」については，日本産業規格（JIS B 8501）内に裏当て金を使用した評価の規定がないことから，設計・建設規格(JSME 規格)により構造強度評価を行い十分な強度を有していることを確認した。その他の構造強度評価については，日本産業規格（JIS B 8501）の要求仕様を満足する設計とするが，同規格内に各評価対象部位の必要最小値を算出する方法の規定がないことから，設計・建設規格により算出した値を参考値として記載する。

(1) 震災以降緊急対応的に設置又は既に（平成 25 年 8 月 14 日より前に）設計に着手したタンク（G3,J1 エリア）

a. 円筒型タンクの胴の厚さ評価

設計・建設規格に準拠し，板厚評価を実施した。評価の結果，水頭圧に耐えられることを確認した（表－１－１）。

$$t = \frac{DiH\rho}{0.204S\eta}$$

t ： 管台の計算上必要な厚さ
Di ： 管台の内径
H ： 水頭
ρ ： 液体の比重
S ： 最高使用温度における材料の許容引張応力
η ： 長手継手の効率

ただし， t の値は炭素鋼，低合金鋼の場合は t =3[mm]以上，その他の金属の場合は t=1.5[mm]以上とする。また，内径の区分に応じた必要厚さを考慮する。

表－１－１　円筒型タンクの胴の板厚評価結果

機器名称		評価部位	必要肉厚[mm]	実厚[mm]
RO 濃縮水貯槽 多核種処理水貯槽	1000m³ 容量 （溶接）	タンク板厚	9.6	12.0
			9.8	12.0

b. 円筒型タンクの底板の厚さ評価

設計・建設規格に準拠し，底板の厚さについて評価を実施した。評価の結果，必要板厚を確保していることを確認した（表－１－２）。

表－１－２　円筒型タンクの底板の板厚評価結果

機器名称		評価部位	必要肉厚[mm]	実厚[mm]
RO 濃縮水貯槽 多核種処理水貯槽	1000m³ 容量 （溶接）	タンク板厚 （底板）	3.0※1	12.0

※1　地面，基礎等に直接接触するものについては，3mm（設計・建設規格）

c. 円筒型タンクの管台の厚さ評価

設計・建設規格に準拠し，管台の板厚評価を実施した。評価の結果，水頭圧に耐えられることを確認した（表－１－３）。

$$t = \frac{DiH\rho}{0.204S\eta}$$

t　：　管台の計算上必要な厚さ
Di　：　管台の内径
H　：　水頭
ρ　：　液体の比重
S　：　最高使用温度における材料の許容引張応力
η　：　長手継手の効率

ただし，管台の外径の区分に応じた必要厚さを考慮する。

表－１－３　円筒型タンクの管台の板厚評価結果

機器名称		管台口径	評価部位	必要肉厚[mm]	実厚[mm]
RO 濃縮水貯槽 多核種処理水貯槽	1000m^{3}容量 （溶接）	100A	管台板厚	3.5※	8.6
		200A	管台板厚	3.5※	12.7
		600A	管台板厚	3.5※	9.5
		100A	管台板厚	3.5※	4.5
		200A	管台板厚	3.5※	5.8
		600A	管台板厚	3.5※	9.5

※管台の外径：82mm 以上のものについては 3.5mm

d. 円筒型タンクの胴の穴の補強評価

設計・建設規格に準拠し，胴の穴の補強について評価を実施した。評価の結果，補強に有効な面積が補強に必要な面積より大きいため，補強は十分であることを確認した（表－１－４）。

$$A_0 = A_1 + A_2 + A_3 + A_4$$

$$A_1 = (\eta t_s - F t_{sr})(X - d) - 2(1 - \frac{Sn}{Ss})(\eta t_s - F t_{sr}) t_n$$

$$X = X_1 + X_2$$

$$X_1 = X_2 = (Max(d, \frac{d}{2} + t_s + t_n))$$

$$A_2 = 2((t_{n1} - t_{nr}) Y_1 + t_{n2} Y_2) S_n / S_s$$

$$t_{nr} = \frac{PDi}{2S - 1.2P}$$

$$Y_1 = Min(2.5t_s, 2.5t_{n1})$$

$$Y_2 = Min(2.5t_s, 2.5t_{n2}, h)$$

$$A_3 = L_1 L_1 + L_2 L_2$$

$$A_4 = (W - Wi) \times Te$$

$$W = Min(X, De)$$

$$Ar = d t_{sr} F + 2(1 - \frac{S_n}{S_s}) t_{sr} F t_n$$

A_0 ： 補強に有効な総面積
A_1 ： 胴，鏡板又は平板部分の補強に有効な面積
A_2 ： 管台部分の補強に有効な面積
A_3 ： すみ肉溶接部の補強に有効な面積
A_4 ： 強め材の補強に有効な面積
η ： PVC-3161.2 に規定する効率
t_s ： 胴の最小厚さ
t_{sr} ： 継ぎ目のない胴の計算上必要な厚さ（PVC-3122(1)において η＝１としたもの）
t_n ： 管台最小厚さ
t_{n1} ： 胴板より外側の管台最小厚さ
t_{n2} ： 胴板より内側の管台最小厚さ
t_{nr} ： 管台の計算上必要な厚さ
P ： 最高使用圧力（水頭）=9.80665×10^3H ρ
S_s ： 胴板材料の最高使用温度における許容引張応力
S_n ： 管台材料の最高使用温度における許容引張応力
Di ： 管台の内径
X ： 胴面に沿った補強に有効な範囲
X_1 ： 補強に有効な範囲
X_2 ： 補強に有効な範囲
Y_1 ： 胴面に垂直な補強の有効な範囲（胴より外側）
Y_2 ： 胴面に垂直な補強の有効な範囲（胴より内側）
h ： 管台突出し高さ（胴より内側）
L_1 ： 溶接の脚長
L_2 ： 溶接の脚長
L_3 ： 溶接の脚長
A_r ： 補強が必要な面積
d ： 胴の断面に現れる穴の径
F ： 係数（図 PVC-3161.2-1 から求めた値）
Te ： 強め材厚さ
W ： 強め材の有効範囲
Wi ： 開先を含めた管台直径
De ： 強め材外径

表－１－４　円筒型タンクの穴の補強評価結果

機器名称		管台口径	評価部位	Ar[mm^2]	A_0[mm^2]
RO 濃縮水貯槽	1000m^3 容量 （溶接）	100A	管台	610	1274
		200A	管台	1194	2321
		600A	管台	3657	4376
		100A	管台	685	821
		200A	管台	1321	1444
		600A	管台	3752	4256

(2) 平成 25 年 8 月 14 日以降に設計するタンク

a. 円筒型タンクの胴の厚さ評価

設計・建設規格に準拠し，板厚評価を実施した。評価の結果，水頭圧に耐えられることを確認した（表－２－１）。

$$t = \frac{DiH\rho}{0.204S\eta}$$

t ： 管台の計算上必要な厚さ
Di ： 管台の内径
H ： 水頭
ρ ： 液体の比重
S ： 最高使用温度における材料の許容引張応力
η ： 長手継手の効率

ただし， t の値は炭素鋼，低合金鋼の場合は t =3[mm]以上，その他の金属の場合は t=1.5[mm]以上とする。また，内径の区分に応じた必要厚さを考慮する。

表－２－１　円筒型タンクの胴の板厚評価結果

機器名称		評価部位	必要肉厚[mm]	実厚[mm]
RO 濃縮水貯槽	700m³容量	タンク板厚	8.4	16.0
RO 濃縮水貯槽 濃縮廃液貯槽 RO 処理水貯槽 蒸発濃縮処理水貯槽	1000m³容量	タンク板厚	10.2	15.0
多核種処理水貯槽	700m³容量	タンク板厚	8.4	16.0
		タンク板厚	8.4	12.0
	1000m³容量	タンク板厚	10.2	15.0
	1060m³容量	タンク板厚	10.2	15.0
	1140m³容量	タンク板厚	10.4	15.0
	1160m³容量	タンク板厚	11.7	12.0
	1200m³容量	タンク板厚	10.9	12.0
			9.0	12.0
	1220m³容量	タンク板厚	9.8	12.0
	1235m³容量	タンク板厚	11.7	12.0
	1330m³容量	タンク板厚	11.5	15.0
			10.8	12.0
	1356m³容量	タンク板厚	11.5	12.0
	2400m³容量	タンク板厚	16.2	18.8
	2900m³容量	タンク板厚	14.5	15.0
Sr 処理水貯槽	1057m³容量	タンク板厚	10.2	15.0
	1160m³容量	タンク板厚	11.7	12.0
	1200m³容量	タンク板厚	10.9	12.0

b. 円筒型タンクの底板の厚さ評価

設計・建設規格に準拠し，底板の厚さについて評価を実施した。評価の結果，必要板厚を確保していることを確認した（表－２－２）。

表－２－２　円筒型タンクの底板の板厚評価結果

機器名称		評価部位	必要肉厚[mm]	実厚[mm]
RO 濃縮水貯槽	700m³容量	タンク板厚（底板）	3.0※1	25.0
RO 濃縮水貯槽 濃縮廃液貯槽 RO 処理水貯槽 蒸発濃縮処理水貯槽	1000m³容量	タンク板厚（底板）	3.0※1	25.0
多核種処理水貯槽	700m³容量	タンク板厚（底板）	3.0※1	12.0
		タンク板厚（底板）	3.0※1	25.0
	1000m³容量	タンク板厚（底板）	3.0※1	25.0
	1060m³容量	タンク板厚（底板）	3.0※1	25.0
	1140m³容量	タンク板厚（底板）	3.0※1	22.0
	1160m³容量	タンク板厚（底板）	3.0※1	12.0
	1200m³容量	タンク板厚（底板）	3.0※1	12.0
	1220m³容量	タンク板厚（底板）	3.0※1	12.0
	1235m³容量	タンク板厚（底板）	3.0※1	12.0
	1330m³容量	タンク板厚（底板）	3.0※1	22.0
		タンク板厚（底板）	3.0※1	12.0
	1356m³容量	タンク板厚（底板）	3.0※1	12.0
	2400m³容量	タンク板厚（底板）	3.0※1	12.0
	2900m³容量	タンク板厚（底板）	3.0※1	12.0
Sr 処理水貯槽	1057m³容量	タンク板厚（底板）	3.0※1	25.0
	1160m³容量	タンク板厚（底板）	3.0※1	12.0
	1200m³容量	タンク板厚（底板）	3.0※1	12.0

※1　地面，基礎等に直接接触するものについては，3mm（設計・建設規格）

c．円筒型タンクの管台の厚さ評価

設計・建設規格に準拠し，管台の板厚評価を実施した。評価の結果，水頭圧に耐えられることを確認した（表－２－３）。

$$t = \frac{DiH\rho}{0.204S\eta}$$

t ： 管台の計算上必要な厚さ
Di ： 管台の内径
H ： 水頭
ρ ： 液体の比重
S ： 最高使用温度における材料の許容引張応力
η ： 長手継手の効率

ただし，管台の外径の区分に応じた必要厚さを考慮する。

表－２－３　円筒型タンクの管台の板厚評価結果(1/2)

機器名称		管台口径	評価部位	必要肉厚[mm]	実厚[mm]
RO 濃縮水貯槽	700m³容量	100A	管台板厚	3.5※	8.6
		200A	管台板厚	3.5※	12.7
		600A	管台板厚	3.5※	16.0
RO 濃縮水貯槽 濃縮廃液貯槽 RO 処理水貯槽 蒸発濃縮処理水貯槽	1000m³容量	100A	管台板厚	3.5※	8.6
		200A	管台板厚	3.5※	12.7
		600A	管台板厚	3.5※	16.0
多核種処理水貯槽	700m³容量	100A	管台板厚	3.5※	8.6
		200A	管台板厚	3.5※	12.7
		600A	管台板厚	3.5※	16.0
	1000m³容量	100A	管台板厚	3.5※	8.6
		200A	管台板厚	3.5※	12.7
		600A	管台板厚	3.5※	16.0
	1060m³容量	100A	管台板厚	3.5※	8.6
		200A	管台板厚	3.5※	12.7
		600A	管台板厚	3.5※	16.0
	1140m³容量	100A	管台板厚	3.5※	8.6
		200A	管台板厚	3.5※	12.7
		600A	管台板厚	3.5※	16.0
	1160m³容量	100A	管台板厚	3.5※	6.0
		200A	管台板厚	3.5※	8.2
		650A	管台板厚	3.5※	12.0
	1200m³容量	100A	管台板厚	3.5※	6.0
		200A	管台板厚	3.5※	8.2
		600A	管台板厚	3.5※	9.5
				3.5※	12.0
		760mm (内径)	管台板厚	3.5※	12.0

表－２－３　円筒型タンクの管台の板厚評価結果(2/2)

機器名称		管台口径	評価部位	必要肉厚[mm]	実厚[mm]
多核種処理水貯槽	1220m^{3}容量	100A	管台板厚	3.5※	6.0
		200A	管台板厚	3.5※	8.2
		600A	管台板厚	3.5※	12.0
	1235m^{3}容量	100A	管台板厚	3.5※	6.0
		200A	管台板厚	3.5※	8.2
		650A	管台板厚	3.5※	12.0
	1330m^{3}容量	100A	管台板厚	3.5※	8.6
		200A	管台板厚	3.5※	12.7
		600A	管台板厚	3.5※	16.0
		650A	管台板厚	3.5※	16.0
	1356m^{3}容量	100A	管台板厚	3.5※	6.0
		200A	管台板厚	3.5※	8.2
		600A	管台板厚	3.5※	12.0
	2400m^{3}容量	100A	管台板厚	3.5※	8.6
		200A	管台板厚	3.5※	12.7
		600A	管台板厚	3.5※	12.0
	2900m^{3}容量	100A	管台板厚	3.5※	6.0
		200A	管台板厚	3.5※	8.2
		650A	管台板厚	3.5※	12.0
Sr 処理水貯槽	1057m^{3}容量	100A	管台板厚	3.5※	8.6
		200A	管台板厚	3.5※	12.7
		600A	管台板厚	3.5※	16.0
	1160m^{3}容量	100A	管台板厚	3.5※	6.0
		200A	管台板厚	3.5※	8.2
		650A	管台板厚	3.5※	12.0
	1200m^{3}容量	100A	管台板厚	3.5※	6.0
		200A	管台板厚	3.5※	8.2
		600A	管台板厚	3.5※	9.5

※管台の外径：82mm 以上のものについては 3.5mm

d. 円筒型タンクの胴の穴の補強評価

設計・建設規格に準拠し，胴の穴の補強について評価を実施した。評価の結果，補強に有効な面積が補強に必要な面積より大きいため，補強は十分であることを確認した（表－２－４）。

$$A_0 = A_1 + A_2 + A_3 + A_4$$

$$A_1 = (\eta t_s - F t_{sr})(X - d) - 2(1 - \frac{Sn}{Ss})(\eta t_s - F t_{sr}) t_n$$

$$X = X_1 + X_2$$

$$X_1 = X_2 = (Max(d, \frac{d}{2} + t_s + t_n))$$

$$A_2 = 2((t_{n1} - t_{nr}) Y_1 + t_{n2} Y_2) S_n / S_s$$

$$t_{nr} = \frac{PDi}{2S - 1.2P}$$

$$Y_1 = Min(2.5 t_s, 2.5 t_{n1})$$

$$Y_2 = Min(2.5 t_s, 2.5 t_{n2}, h)$$

$$A_3 = L_1 L_1 + L_2 L_2$$

$$A_4 = (W - Wi) \times Te$$

$$W = Min(X, De)$$

$$Ar = d t_{sr} F + 2(1 - \frac{S_n}{S_s}) t_{sr} F t_n$$

A_0 ： 補強に有効な総面積
A_1 ： 胴，鏡板又は平板部分の補強に有効な面積
A_2 ： 管台部分の補強に有効な面積
A_3 ： すみ肉溶接部の補強に有効な面積
A_4 ： 強め材の補強に有効な面積
η ： PVC-3161.2 に規定する効率
t_s ： 胴の最小厚さ
t_{sr} ： 継ぎ目のない胴の計算上必要な厚さ（PVC-3122(1)において η＝１としたもの）
t_n ： 管台最小厚さ
t_{n1} ： 胴板より外側の管台最小厚さ
t_{n2} ： 胴板より内側の管台最小厚さ
t_{nr} ： 管台の計算上必要な厚さ
P ： 最高使用圧力（水頭）=9.80665×10^3H ρ
S_s ： 胴板材料の最高使用温度における許容引張応力
S_n ： 管台材料の最高使用温度における許容引張応力
Di ： 管台の内径
X ： 胴面に沿った補強に有効な範囲
X_1 ： 補強に有効な範囲
X_2 ： 補強に有効な範囲
Y_1 ： 胴面に垂直な補強の有効な範囲（胴より外側）
Y_2 ： 胴面に垂直な補強の有効な範囲（胴より内側）
h ： 管台突出し高さ（胴より内側）
L_1 ： 溶接の脚長
L_2 ： 溶接の脚長
L_3 ： 溶接の脚長
A_r ： 補強が必要な面積
d ： 胴の断面に現れる穴の径
F ： 係数（図 PVC-3161.2-1 から求めた値）
Te ： 強め材厚さ
W ： 強め材の有効範囲
Wi ： 開先を含めた管台直径
De ： 強め材外径

表－２－４　円筒型タンクの穴の補強評価結果(1/2)

機器名称		管台口径	評価部位	Ar[mm^2]	A_0[mm^2]
RO 濃縮水貯槽	700m^{3}容量	100A	管台	569	2751
		200A	管台	1118	5394
		500A	管台	2787	9826
RO 濃縮水貯槽 濃縮廃液貯槽 RO 処理水貯槽 蒸発濃縮処理水貯槽	1000m^{3}容量	100A	管台	694	2529
		200A	管台	1365	4890
		600A	管台	4129	9435
多核種処理水貯槽	700m^{3}容量	100A	管台	569	2751
			管台	575	2511
		200A	管台	1210	5198
			管台	1127	4584
		600A	管台	3382	10822
			管台	3378	9627
	1000m^{3}容量	100A	管台	694	2529
		200A	管台	1365	4890
		600A	管台	4129	9435
	1060m^{3}容量	100A	管台	694	2529
		200A	管台	1365	4890
		600A	管台	4129	9435
	1140m^{3}容量	100A	管台	703	1951
		200A	管台	1382	3729
		600A	管台	4181	7058
	1160m^{3}容量	100A	管台	724	1616
		200A	管台	1411	3195
		650A	管台	4466	10840
	1200m^{3}容量	100A	管台	828	2545
				650	2060
		200A	管台	1551	4530
				1267	4133
		600A	管台	4321	11400
				4324	11664
		760mm (内径)	管台	4788	14670

表－２－４　円筒型タンクの穴の補強評価結果(2/2)

機器名称		管台口径	評価部位	Ar[mm^2]	A_0[mm^2]
多核種処理水貯槽	1220m^{3}容量	100A	管台	724	1677
		200A	管台	1401	3240
		600A	管台	4031	5029
	1235m^{3}容量	100A	管台	724	1616
		200A	管台	1411	3195
		650A	管台	4466	10840
	1330m^{3}容量	100A	管台	780	1873
			管台	790	2644
			管台	720	1651
		200A	管台	1534	3577
			管台	1548	4955
			管台	1396	3252
		600A	管台	4640	6598
			管台	4641	10448
		650A	管台	4413	11133
	1356m^{3}容量	100A	管台	871	2502
		200A	管台	1631	4437
		600A	管台	4545	11441
	2400m^{3}容量	100A	管台	1031	3547
		200A	管台	2020	6631
		600A	管台	6139	17461
	2900m^{3}容量	100A	管台	1521	1854
		200A	管台	2950	3713
		650A	管台	9289	12857
Sr 処理水貯槽	1057m^{3}容量	100A	管台	694	2529
		200A	管台	1365	4890
		600A	管台	4129	9435
	1160m^{3}容量	100A	管台	724	1616
		200A	管台	1411	3195
		650A	管台	4466	10840
	1200m^{3}容量	100A	管台	828	2545
		200A	管台	1551	4530
		600A	管台	4321	11400

e．強め材の取付け強さ

設計・建設規格に準拠し，強め材の取り付け強さについて評価を実施した。評価の結果，溶接部の強度が十分であることを確認した（表－２－５）。

$$F_1 = \frac{\pi}{2} d_o L_1 S \eta_1$$

$$F_2 = \frac{\pi}{2} d t_n S_n \eta_3$$

$$F_3 = \frac{\pi}{2} d'_o t_s S \eta_2$$

$$F_4 = \frac{\pi}{2} d_o L_2 S \eta_1$$

$$F_5 = \frac{\pi}{2} W_o L_3 S \eta_1$$

$$F_6 = \frac{\pi}{2} d_o t_s S \eta_2$$

$$W = d'_o t_{sr} S - (t_s - F t_{sr})(X - d'_o) S$$

$$W_1 = F_1 + F_2$$

$$W_2 = F_1 + F_6 + F_4$$

$$W_3 = F_5 + F_2$$

$$W_4 = F_5 + F_3$$

$$W_5 = F_1 + F_3$$

$$W_6 = F_5 + F_6 + F_4$$

F_1 ： 断面（管台外側のすみ肉溶接部）におけるせん断強さ
F_2 ： 断面（管台内側の管台壁）におけるせん断強さ
F_3 ： 断面（突合せ溶接部）におけるせん断強さ
F_4 ： 断面（管台内側のすみ肉溶接部）におけるせん断強さ
F_5 ： 断面（強め材のすみ肉溶接部）におけるせん断強さ
F_6 ： 断面（突合せ溶接部）におけるせん断強さ
do ： 管台外径
d ： 管台内径
do’ ： 胴の穴の径
Wo ： 強め材の外径
S ： 胴板材料の最高使用温度における許容引張応力
S_n ： 管台材料の最高使用温度における許容引張応力
L_1 ： すみ肉溶接部の脚長（管台取付部（胴より外側））
L_2 ： すみ肉溶接部の脚長（管台取付部（胴より内側））
L_3 ： 溶接部の脚長（強め材）
η_1 ： 強め材の取付け強さ（表 PVC-3169-1 の値）
η_2 ： 強め材の取付け強さ（表 PVC-3169-1 の値）
η_3 ： 強め材の取付け強さ（表 PVC-3169-1 の値）
W ： 溶接部の負うべき荷重
t_{sr} ： 継目のない胴の計算上必要な厚さ
(PVC-3122(1)において $\eta = 1$ としたもの)
F ： 管台の取付角度より求まる係数
(図 PVC-3161.2-1 から求めた値)
X ： 補強に有効な範囲
W_1 ： 予想される破断箇所の強さ
W_2 ： 予想される破断箇所の強さ
W_3 ： 予想される破断箇所の強さ
W_4 ： 予想される破断箇所の強さ
W_5 ： 予想される破断箇所の強さ
W_6 ： 予想される破断箇所の強さ

表－２－５　円筒型タンクの強め材の取付け強さ（1/3）

機器名称		管台口径	溶接部の負うべき荷重	予想される破断箇所の強さ					
			W [N]	W_1 [N]	W_2 [N]	W_3 [N]	W_4 [N]	W_5 [N]	W_6 [N]
RO 濃縮水貯槽	700m³容量	100A	1864.1	166151	349750	314371	441231	293011	467970
		200A	-25256.1※	—	—	—	—	—	—
		500A	-137004※	—	—	—	—	—	—
RO 濃縮水貯槽 濃縮廃液貯槽 RO 処理水貯槽 蒸発濃縮処理水貯槽	1000m³容量	100A	33964.16	166151	337182	324487	437680	279344	495518
		200A	39660.64	407243	638076	554885	661549	513907	785718
		600A	22336.96	1412596	1798294	1471384	1477146	1418358	1857082
多核種処理水貯槽	700m³容量	100A	1864.1	166150	349748	324487	441347	293010	508085
			32107.58	159722	299475	211841	293097	240978	351594
		200A	4663.9	454128	755632	564998	696546	585676	866502
			39114.82	435468	613611	508042	561357	488783	686185
		600A	-180590.4※	—	—	—	—	—	—
			35356.48	1544737	1729347	1633960	1437975	1348752	1818570
	1000m³容量	100A	33964.16	166151	337182	324487	437680	279344	495518
		200A	39660.64	407243	638076	554885	661549	513907	785718
		600A	22336.96	1412596	1798294	1471384	1477146	1418358	1857082
	1060m³容量	100A	33964.16	166151	337182	324487	437680	279344	495518
		200A	39660.64	407243	638076	554885	661549	513907	785718
		600A	22336.96	1412596	1798294	1471384	1477146	1418358	1857082
	1140m³容量	100A	56681.96	149067	299476	307403	396676	238340	457812
		200A	89746.84	361062	566725	508704	586899	439257	714367
		600A	193413.76	1222064	1597205	1280852	1272759	1213971	1655993
	1160m³容量	100A	37367.82	154937	278514	119886	199587	234638	243463
		200A	63939.66	342042	570661	300675	402159	443526	529294
		650A	167003.76	1412331	2016618	1600574	1641873	1453630	2204861

※溶接部の負うべき荷重が負であるため，溶接部の取付け強さの確認は不要である。

表－２－５　円筒型タンクの強め材の取付け強さ（2/3）

機器名称		管台口径	溶接部の負うべき荷重	予想される破断箇所の強さ					
			W [N]	W_1 [N]	W_2 [N]	W_3 [N]	W_4 [N]	W_5 [N]	W_6 [N]
多核種処理水貯槽	1200m³容量	100A	82175	115577	272545	239591	299186	175172	396559
			24978	112320	249923	172957	265888	205251	310560
		200A	154246	250813	515761	422299	501432	329946	687247
			36114	308283	566725	375720	498382	430945	634162
		600A	432145	801839	1453572	1296335	1421230	926735	1948068
			130882.4	904189	1453570	1398685	1421229	926733	1948066
		760mm（内径）	79200	1512639	2224097	2092065	2129011	1549585	2803523
	1220m³容量	100A	55708	102524	227151	211627	208210	239071	－
		200A	93155	276035	523632	416928	422218	489306	－
		600A	235930	1053369	1607899	1495884	1367515	1490789	－
	1235m³容量	100A	37367.82	154937	278514	119886	199587	234638	243463
		200A	63939.66	342042	570661	300675	402159	443526	529294
		650A	167003.76	1412331	2016618	1600574	1641873	1453630	2204861
	1330m³容量	100A	72095.91	149067	299476	307403	396676	238340	457812
			54189.7	159722	337179	211841	334760	282641	389298
			49298.40	137365	307402	151959	263968	249374	321996
		200A	120050.88	361062	566725	508704	586899	439257	714367
			76526.3	451097	700590	536945	665569	579721	786438
			84993.00	393683	697071	396642	531885	528926	700030
		600A	285103.70	1222064	1597205	1280852	1272759	1213971	1655993
			127803.2	1676880	2062577	1771247	1780308	1685941	2156944
		650A	210133.20	1807123	2304356	2214742	2019501	1611882	2711975
	1356m³容量	100A	33261.80	115576	272544	239590	299185	175171	396558
		200A	62433.80	250811	515759	422298	501431	329944	687246
		600A	174917.60	904189	1453570	1398685	1421229	926733	1948066
	2400m³容量	100A	87207.86	159722	384937	393927	582021	347816	619142
		200A	122940.94	451097	790967	733483	969901	687515	1073353
		600A	205800.96	1301251	2185144	2158562	2683236	1825925	3042455
	2900m³容量	100A	55660	106517	343620	151710	331515	286322	388813
		200A	94803	263580	727160	428196	724848	560232	891776
		650A	243134	1372633	2454917	2137497	2706349	1941485	3219781

表－２－５　円筒型タンクの強め材の取付け強さ（3/3）

機器名称		管台口径	溶接部の負うべき荷重	予想される破断箇所の強さ					
			W [N]	W_1 [N]	W_2 [N]	W_3 [N]	W_4 [N]	W_5 [N]	W_6 [N]
Sr 処理水貯槽	1057m^3 容量	100A	33964.16	166151	337182	324487	437680	279344	495518
		200A	39660.64	407243	638076	554885	661549	513907	785718
		600A	22336.96	1412596	1798294	1471384	1477146	1418358	1857082
	1160m^3 容量	100A	37367.82	154937	278514	119886	199587	234638	243463
		200A	63939.66	342042	570661	300675	402159	443526	529294
		650A	167003.76	1412331	2016618	1600574	1641873	1453630	2204861
	1200m^3 容量	100A	82175	115577	272545	239591	299186	175172	396559
		200A	154246	250813	515761	422299	501432	329946	687247
		600A	432145	801839	1453572	1296335	1421230	926735	1948068

(3) 平成 25 年 8 月 14 日以降に設計するタンクのうち J2・J3 エリアのタンク

a. 円筒型タンクの胴の厚さ評価

設計・建設規格に準拠し，板厚評価を実施した。評価の結果，水頭圧に耐えられることを確認した（表－３－１）。

$$t = \frac{DiH\rho}{0.204S\eta}$$

ただし， t の値は炭素鋼，低合金鋼の場合は t =3[mm]以上，その他の金属の場合は t=1.5[mm]以上とする。また，内径の区分に応じた必要厚さを考慮する。

表－３－１　円筒型タンクの胴の板厚評価結果

機器名称		評価部位	必要肉厚[mm]	実厚[mm]
多核種処理水貯槽	2400m^3 容量	タンク板厚	14.3	18.8

b. 円筒型タンクの底板の厚さ評価【日本産業規格】

JIS8501 鋼製石油貯槽の構造（2013）5.4.2　底板の大きさ　a），b）に基づき最小呼び厚さとして選定した。（表－３－２）

アニュラ板：側板最下段の厚さ（18.8mm）15＜ts≦20 の場合，アニュラ板の最小厚さは 12mm とする。

底板：底板に使用する板の厚さは，6mm 未満となってはならない。

表－３－２　円筒型タンクの底板の板厚評価結果

機器名称		評価部位	最小呼び厚さ[mm]	実厚[mm]
多核種処理水貯槽	2400m^3 容量	タンク板厚（アニュラ板）	12.0	16.0
		タンク板厚（底板）	6.0	12.0

c-1. 円筒型タンクの管台の厚さの評価【日本産業規格】

JIS B 8501 鋼製石油貯槽の構造（2013）　5.10.3　側ノズル　表 13　に基づき，ノズルの呼び径からネックの最小呼び径厚さを選定した。（表－３－３）

表－３－３　円筒型タンクの管台の板厚評価結果

機器名称		管台口径	評価部位	ネックの最小呼び径厚さ［mm］	実厚［mm］
多核種処理水貯槽	2400m³容量	100A	管台板厚	8.6	8.6
		200A	管台板厚	12.7	12.7

c-2.円筒型タンクのマンホール管台の厚さ,補強評価【日本産業規格】

JIS B 8501 鋼製石油貯槽の構造（2013）　5.10.3　側ノズル　表 11,よりに基づき,測板よりネック部最小厚さを選定した。（表－３－４）

表－３－４　円筒型タンクの管台の板厚評価結果（マンホール）

機器名称		管台口径	評価部位	ネック部最小厚さ［mm］	実厚［mm］
多核種処理水貯槽	2400m³容量	600A	管台板厚	12.0	12.0

c-3.円筒型タンクの管台の厚さ評価（参考）

参考として，設計・建設規格に準拠し，管台の板厚評価を実施した。評価の結果，水頭圧に耐えられることを確認した（表－３－５）。

$$t=\frac{DiH\rho}{0.204S\eta}$$

t　：　管台の計算上必要な厚さ
Di　：　管台の内径
H　：　水頭
ρ　：　液体の比重
S　：　最高使用温度における材料の許容引張応力
η　：　長手継手の効率

ただし，管台の外径の区分に応じた必要厚さを考慮する。

表－３－５　円筒型タンクの管台の板厚評価結果

機器名称		管台口径	評価部位	必要肉厚［mm］	実厚［mm］
多核種処理水貯槽	2400m³容量	100A	管台板厚	3.5※	8.6
		200A	管台板厚	3.5※	12.7
		600A	管台板厚	3.5※	12.0

※管台の外径：82mm 以上のものについては 3.5mm

d-1.円筒型タンクの管台の側ノズルの評価【日本産業規格】

JIS B 8501 鋼製石油貯槽の構造（2013） 5.10.3 側ノズル 表 13 に基づき，ノズルの呼び径から強め材を選定した。（表－３－６）

尚,強め材の形状の選定として，5.10.3 側ノズル 図 12 2）丸型を採用する

表－３－６ 円筒型タンクの穴の補強評価結果（強め材）

機器名称		管台口径	評価部位	強め材材料	強め材の幅［mm］	強め材の穴の直径［mm］	強め材板厚［mm］
多核種処理水貯槽	2400m³容量	100A	管台	SM400C	305	118	18.8
		200A	管台	SM400C	480	220	18.8

d-2.円筒型タンクのマンホール管台の厚さ,補強評価【日本産業規格】

JIS B 8501 鋼製石油貯槽の構造（2013） 5.10.3 側ノズル 表 11,よりに基づき強め材を選定した。（表－３－７）

表－３－７ 円筒型タンクの穴の補強評価結果（強め材）

機器名称		管台口径	評価部位	強め材材料	強め材の幅［mm］	強め材の穴の直径［mm］	強め材板厚［mm］
多核種処理水貯槽	2400m³容量	600A	管台	SM400C	1370	613	18.8

d-3. 円筒型タンクの胴の穴の補強評価（参考）

参考として，設計・建設規格に準拠し，胴の穴の補強について評価を実施した。評価の結果，補強に有効な面積が補強に必要な面積より大きいため，補強は十分であることを確認した（表－３－８）。

$$A_0 = A_1 + A_2 + A_3 + A_4$$

$$A_1 = (\eta t_s - F t_{sr})(X - d) - 2(1 - \frac{Sn}{Ss})(\eta t_s - F t_{sr}) t_n$$

$$X = X_1 + X_2$$

$$X_1 = X_2 = (Max(d, \frac{d}{2} + t_s + t_n))$$

$$A_2 = 2((t_{n1} - t_{nr}) Y_1 + t_{n2} Y_2) S_n / S_s$$

$$t_{nr} = \frac{PDi}{2S - 1.2P}$$

$$Y_1 = Min(2.5t_s, 2.5t_{n1} + Te)$$

$$Y_2 = Min(2.5t_s, 2.5t_{n2}, h)$$

$$A_3 = L_1 L_1 + L_2 L_2 + L_3 L_3$$

$$A_4 = (W - Wi) \times Te$$

$$W = Min(X, De)$$

$$Ar = d t_{sr} F + 2(1 - \frac{S_n}{S_s}) t_{sr} F t_n$$

A_0 ： 補強に有効な総面積
A_1 ： 胴,鏡板又は平板部分の補強に有効な面積
A_2 ： 管台部分の補強に有効な面積
A_3 ： すみ肉溶接部の補強に有効な面積
A_4 ： 強め材の補強に有効な面積
η ： PVC-3161.2 に規定する効率
t_s ： 胴の最小厚さ
t_{sr} ： 継ぎ目のない胴の計算上必要な厚さ (PVC-3122(1)において η＝1 としたもの)
t_n ： 管台最小厚さ
t_{n1} ： 胴板より外側の管台最小厚さ
t_{n2} ： 胴板より内側の管台最小厚さ
t_{nr} ： 管台の計算上必要な厚さ
P ： 最高使用圧力(水頭)=9.80665×10^3H ρ
S_s ： 胴板材料の最高使用温度における許容引張応力
S_n ： 管台材料の最高使用温度における許容引張応力
Di ： 管台の内径
X ： 胴面に沿った補強に有効な範囲
X_1 ： 補強に有効な範囲
X_2 ： 補強に有効な範囲
Y_1 ： 胴面に垂直な補強の有効な範囲（胴より外側）
Y_2 ： 胴面に垂直な補強の有効な範囲（胴より内側）
h ： 管台突出し高さ（胴より内側）
L_1 ： 溶接の脚長
L_2 ： 溶接の脚長
L_3 ： 溶接の脚長
A_r ： 補強が必要な面積
d ： 胴の断面に現れる穴の径
F ： 係数（図 PVC-3161.2-1 から求めた値）
Te ： 強め材厚さ
W ： 強め材の有効範囲
Wi ： 開先を含めた管台直径
De ： 強め材外径

d-4. 強め材の取付け強さ（参考）

参考として，設計・建設規格に準拠し，強め材の取り付け強さについて評価を実施した。評価の結果，溶接部の強度が十分であることを確認した（表－３－９）。

$$F_1 = \frac{\pi}{2} d_o L_1 S \eta_1$$

$$F_2 = \frac{\pi}{2} d t_n S_n \eta_3$$

$$F_3 = \frac{\pi}{2} d'_o t_s S \eta_2$$

$$F_4 = \frac{\pi}{2} d_o L_2 S \eta_1$$

$$F_5 = \frac{\pi}{2} W_o L_3 S \eta_1$$

$$F_6 = \frac{\pi}{2} d_o t_s S \eta_2$$

$$W = d'_o t_{sr} S - (t_s - F t_{sr})(X - d'_o) S$$

$$W_1 = F_1 + F_2$$

$$W_2 = F_1 + F_6 + F_4$$

$$W_3 = F_5 + F_2$$

$$W_4 = F_5 + F_3$$

$$W_5 = F_1 + F_3$$

$$W_6 = F_5 + F_6 + F_4$$

F_1 ： 断面（管台外側のすみ肉溶接部）におけるせん断強さ
F_2 ： 断面（管台内側の管台壁）におけるせん断強さ
F_3 ： 断面（突合せ溶接部）におけるせん断強さ
F_4 ： 断面（管台内側のすみ肉溶接部）におけるせん断強さ
F_5 ： 断面（強め材のすみ肉溶接部）におけるせん断強さ
F_6 ： 断面（突合せ溶接部）におけるせん断強さ
do ： 管台外径
d ： 管台内径
do’ ： 胴の穴の径
Wo ： 強め材の外径
S ： 胴板材料の最高使用温度における許容引張応力
S_n ： 管台材料の最高使用温度における許容引張応力
L_1 ： すみ肉溶接部の脚長（管台取付部（胴より外側））
L_2 ： すみ肉溶接部の脚長（管台取付部（胴より内側））
L_3 ： 溶接部の脚長（強め材）
η_1 ： 強め材の取付け強さ（表 PVC-3169-1 の値）
η_2 ： 強め材の取付け強さ（表 PVC-3169-1 の値）
η_3 ： 強め材の取付け強さ（表 PVC-3169-1 の値）
W ： 溶接部の負うべき荷重
t_{sr} ： 継目のない胴の計算上必要な厚さ
(PVC-3122(1)において $\eta = 1$ としたもの)
F ： 管台の取付角度より求まる係数
(図 PVC-3161.2-1 から求めた値)
X ： 補強に有効な範囲
W_1 ： 予想される破断箇所の強さ
W_2 ： 予想される破断箇所の強さ
W_3 ： 予想される破断箇所の強さ
W_4 ： 予想される破断箇所の強さ
W_5 ： 予想される破断箇所の強さ
W_6 ： 予想される破断箇所の強さ

表－３－８　円筒型タンクの穴の補強評価結果

機器名称		管台口径	評価部位	Ar[mm^2]	A_0[mm^2]
多核種処理水貯槽	2400m^{3}容量	100A	管台	911	3665
		200A	管台	1785	6864
		600A	管台	5423	18198

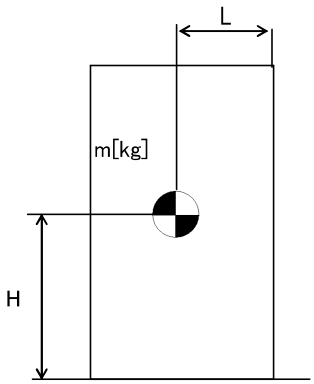
表－３－９　円筒型タンクの強め材の取付け強さ

機器名称		管台口径	溶接部の負うべき荷重	予想される破断箇所の強さ					
			W [N]	W_1 [N]	W_2 [N]	W_3 [N]	W_4 [N]	W_5 [N]	W_6 [N]
多核種処理水貯槽	2400m^{3}容量	100A	63457.2	159724	384940	393929	582023	347818	619145
		200A	76246.8	451099	790970	733485	969903	687517	1073356
		600A	62563.2	1301253	2185147	2158564	2683238	1825927	3042458

2.耐震性評価

a. 転倒評価

地震による転倒モーメントと自重による安定モーメントを算出し，それらを比較することにより転倒評価を実施した。評価の結果，地震による転倒モーメントは自重による安定モーメントより小さいことから，転倒しないことを確認した（表－４）。



m　：　機器質量
g　：　重力加速度
H　：　据付面からの重心までの距離
L　：　転倒支点から機器重心までの距離
C_H　：　水平方向設計震度

地震による転倒モーメント：M_1[N・m]=m×g×C_H×H

自重による安定モーメント：M_2[N・m]=m×g×L

表－４　タンク・槽類の転倒評価結果

機器名称		評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
RO 濃縮水貯槽 多核種処理水貯槽	1000m^{3}容量 （溶接）	本体	転倒	0.36	2.4×10^4	7.4×10^4	kN・m
		本体	転倒	0.36	2.5×10^4	7.7×10^4	kN・m
RO 濃縮水貯槽	700m^{3}容量	本体	転倒	0.36	2.2×10^4	3.5×10^4	kN・m
RO 濃縮水貯槽 濃縮廃液貯槽 RO 処理水貯槽 蒸発濃縮処理水貯槽	1000m^{3}容量	本体	転倒	0.36	3.2×10^4	6.3×10^4	kN・m
多核種処理水貯槽	700m^{3}容量	本体	転倒	0.36	2.0×10^4	3.4×10^4	kN・m
		本体	転倒	0.36	2.2×10^4	3.2×10^4	kN・m
	1000m^{3}容量	本体	転倒	0.36	3.2×10^4	6.3×10^4	kN・m
	1060m^{3}容量	本体	転倒	0.36	3.2×10^4	6.3×10^4	kN・m
	1140m^{3}容量	本体	転倒	0.36	3.3×10^4	6.6×10^4	kN・m
	1160m^{3}容量	本体	転倒	0.36	3.1×10^4	7.1×10^4	kN・m
	1200m^{3}容量	本体	転倒	0.36	3.1×10^4	8.3×10^4	kN・m
		本体	転倒	0.36	2.4×10^4	7.5×10^4	kN・m
	1220m^{3}容量	本体	転倒	0.36	2.7×10^4	7.8×10^4	kN・m
	1235m^{3}容量	本体	転倒	0.36	3.1×10^4	7.1×10^4	kN・m
	1330m^{3}容量	本体	転倒	0.36	4.0×10^4	8.1×10^4	kN・m
		本体	転倒	0.36	4.0×10^4	8.0×10^4	kN・m
		本体	転倒	0.36	3.9×10^4	8.0×10^4	kN・m
	1356m^{3}容量	本体	転倒	0.36	3.4×10^4	9.6×10^4	kN・m
	2400m^{3}容量 （J2，J3）	本体	転倒	0.36	6.8×10^4	23.2×10^4	kN・m
	2400m^{3}容量 （H2）	本体	転倒	0.36	6.9×10^4	23.3×10^4	kN・m
	2900m^{3}容量	本体	転倒	0.36	7.1×10^4	2.5×10^5	kN・m
Sr 処理水貯槽	1057m^{3}容量	本体	転倒	0.36	3.2×10^4	6.3×10^4	kN・m
	1160m^{3}容量	本体	転倒	0.36	3.1×10^4	7.1×10^4	kN・m
	1200m^{3}容量	本体	転倒	0.36	3.1×10^4	8.3×10^4	kN・m

b. 応力評価及び座屈評価

汚染水処理設備等を構成する機器のうち中低濃度タンク（円筒型）については，以下の通り貯留機能維持について評価する。

『JEAC4601-2008 原子力発電所耐震設計技術規程』に基づき，タンク胴板の応力評価及び座屈評価により，発生する応力が許容値を超えないことを確認する。

1. 評価

1.1. 胴の応力評価

イ. 組合せ応力が胴の最高使用温度における許容応力Ｓａ以下であること。

応力の種類	許　容　応　力　Sa
一次一般膜応力	設計降伏点Ｓｙと設計引張強さＳｕの0.6倍のいずれか小さい方の値。

一次応力の評価は算出応力が一次一般膜応力と同じ値であるので省略する。

応力計算において，静的地震力を用いる場合は，絶対値和を用いる。

(1)　静水頭及び鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{\phi 1}=\frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i}{2 \cdot t}$$

$$\sigma_{\phi 2}=\frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i \cdot C_v}{2 \cdot t}$$

$$\sigma_{x1}=0$$

(2)　運転時質量及び鉛直方向地震による応力

胴がベースプレートと接合する点には，胴自身の質量による圧縮応力と鉛直方向地震による軸方向応力が生じる。

$$\sigma_{x2}=\frac{m_e \cdot g}{\pi \cdot (D_i+t) \cdot t}$$

$$\sigma_{x3}=\frac{m_e \cdot g \cdot C_v}{\pi \cdot (D_i+t) \cdot t}$$

(3)　水平方向地震による応力

水平方向の地震力により胴はベースプレート接合部で最大となる曲げモーメントを受ける。この曲げモーメントによる軸方向応力と地震力によるせん断応力は次のように求める。

$$\sigma_{x4}=\frac{4 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \ell_g}{\pi \cdot (D_i+t)^2 \cdot t}$$

$$\tau=\frac{2 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g}{\pi \cdot (D_i+t) \cdot t}$$

(4)　組合せ応力

(1)～(3)によって求めた胴の応力は以下のように組み合わせる。

a.　一次一般膜応力

(a)　組合せ引張応力

$$\sigma_{\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2}$$

$$\sigma_{0t} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{\phi} + \sigma_{xt} + \sqrt{(\sigma_{\phi} - \sigma_{xt})^2 + 4 \cdot \tau^2} \right\}$$

$$\sigma_{xt} = \sigma_{x1} - \sigma_{x2} + \sigma_{x3} + \sigma_{x4}$$

(b)　組合せ圧縮応力

σ_{xc}が正の値（圧縮側）のとき，次の組合せ圧縮応力を求める。

$$\sigma_{\phi} = -\sigma_{\phi 1} - \sigma_{\phi 2}$$

$$\sigma_{0c} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{\phi} + \sigma_{xc} + \sqrt{(\sigma_{\phi} - \sigma_{xc})^2 + 4 \cdot \tau^2} \right\}$$

$$\sigma_{xc} = -\sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x3} + \sigma_{x4}$$

したがって，胴の組合せ一次一般膜応力の最大値は，

σ_0＝Max｛組合せ引張応力（σ_{0t}），組合せ圧縮応力（σ_{0c}）｝とする。一次応力は一次一般膜応力と同じになるので省略する。

表－５　円筒型タンク応力評価結果

機器名称		部材	材料	水平方向設計震度	応力	算出応力［MPa］	許容応力［MPa］
多核種処理水貯槽	700m^{3}容量	胴板	SS400	0.36	一次一般膜	43	236
		胴板	SM400C	0.36	一次一般膜	61	235
	1000m^{3}容量	胴板	SS400	0.36	一次一般膜	58	236
	1060m^{3}容量	胴板	SS400	0.36	一次一般膜	58	236
	1140m^{3}容量	胴板	SM400B	0.36	一次一般膜	57	236
	1160m^{3}容量	胴板	SM400C	0.36	一次一般膜	70	231
	1200m^{3}容量	胴板	SM400A	0.36	一次一般膜	62	240
	1220m^{3}容量	胴板	SM400C	0.36	一次一般膜	64	240
	1330m^{3}容量	胴板	SM400B	0.36	一次一般膜	80	236
		胴板	SM400C	0.36	一次一般膜	65	235
		胴板	SM490A	0.36	一次一般膜	79	279
	1356m^{3}容量	胴板	SM400A	0.36	一次一般膜	73	236
	2400m^{3}容量	胴板	SM400C	0.36	一次一般膜	65	235

ロ．圧縮膜応力（圧縮応力と曲げによる圧縮側応力の組合せ）は次式を満足すること。

（座屈の評価）

$$\frac{\eta \cdot (\sigma_{x2}+\sigma_{x3})}{f_c}+\frac{\eta \cdot \sigma_{x4}}{f_b} \leqq 1$$

ここで，f_cは次による。

$\dfrac{D_i+2 \cdot t}{2 \cdot t} \leqq \dfrac{1200 \cdot g}{F}$　のとき

$f_c = F$

$\dfrac{1200 \cdot g}{F} < \dfrac{D_i+2 \cdot t}{2 \cdot t} < \dfrac{8000 \cdot g}{F}$ のとき

$$f_c = F \cdot \left[1 - \frac{1}{6800 \cdot g} \cdot \left\{ F - \phi_1\left(\frac{8000 \cdot g}{F}\right)\right\} \cdot \left(\frac{D_i+2 \cdot t}{2 \cdot t} - \frac{1200 \cdot g}{F}\right)\right]$$

$\dfrac{8000 \cdot g}{F} \leqq \dfrac{D_i+2 \cdot t}{2 \cdot t} \leqq 800$　のとき

$$f_c = \phi_1\left(\frac{D_i+2 \cdot t}{2 \cdot t}\right)$$

ただし，$\phi_1(x)$は次の関数とする。

$$\phi_1(x) = 0.6 \cdot \frac{E}{x} \cdot \left[1-0.901 \cdot \left\{1-\exp\left(-\frac{1}{16} \cdot \sqrt{x}\right)\right\}\right]$$

また，f_bは次による。

$\dfrac{D_i+2 \cdot t}{2 \cdot t} \leqq \dfrac{1200 \cdot g}{F}$　のとき

$f_b = F$

$\dfrac{1200 \cdot g}{F} < \dfrac{D_i+2 \cdot t}{2 \cdot t} < \dfrac{9600 \cdot g}{F}$　のとき

$$f_b = F \cdot \left[1-\frac{1}{8400 \cdot g} \cdot \left\{F - \phi_2\left(\frac{9600 \cdot g}{F}\right)\right\} \cdot \left(\frac{D_i+2 \cdot t}{2 \cdot t} - \frac{1200 \cdot g}{F}\right)\right]$$

$\dfrac{9600 \cdot g}{F} \leqq \dfrac{D_i+2 \cdot t}{2 \cdot t} \leqq 800$　のとき

$$f_b = \phi_2\left(\frac{D_i+2 \cdot t}{2 \cdot t}\right)$$

ただし，$\phi_2(x)$は次の関数とする。

$$\phi_2(x)=0.6\cdot\frac{E}{x}\cdot\left[1-0.731\cdot\left\{1-\exp\left(-\frac{1}{16}\cdot\sqrt{x}\right)\right\}\right]$$

η は安全率で次による。

$\frac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t}\leqq\frac{1200\cdot g}{F}$ のとき

$\eta=1$

$\frac{1200\cdot g}{F}<\frac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t}<\frac{8000\cdot g}{F}$ のとき

$\eta=1+\frac{0.5\cdot F}{6800\cdot g}\cdot\left(\frac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t}-\frac{1200\cdot g}{F}\right)$

$\frac{8000\cdot g}{F}\leqq\frac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t}$ のとき

$\eta=1.5$

表－６　円筒型タンク座屈評価

機器名称		部材	材料	水平方向設計震度	座屈評価結果
多核種処理水貯槽	700m^{3}容量	胴板	SS400	0.36	0.17 ＜ 1
		胴板	SM400C	0.36	0.29 ＜ 1
	1000m^{3}容量	胴板	SS400	0.36	0.24 ＜ 1
	1060m^{3}容量	胴板	SS400	0.36	0.24 ＜ 1
	1140m^{3}容量	胴板	SM400B	0.36	0.20 ＜ 1
	1160m^{3}容量	胴板	SM400C	0.36	0.36 ＜ 1
	1200m^{3}容量	胴板	SM400A	0.36	0.28 ＜ 1
	1220m^{3}容量	胴板	SM400C	0.36	0.31 ＜ 1
	1330m^{3}容量	胴板	SM400B	0.36	0.48 ＜ 1
		胴板	SM400C	0.36	0.27 ＜ 1
		胴板	SM490A	0.36	0.43 ＜ 1
	1356m^{3}容量	胴板	SM400A	0.36	0.37 ＜ 1
	2400m^{3}容量	胴板	SM400C	0.36	0.23 ＜ 1

記号の説明

記　号	記　号　の　説　明	単　位
C_H	水平方向設計震度	－
C_v	鉛直方向設計震度	－
D_i	胴の内径	mm
E	胴の縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格　SSB-3121.1又はSSB-3131に定める値	MPa
f_b	曲げモーメントに対する許容座屈応力	MPa
f_c	軸圧縮荷重に対する許容座屈応力	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
H	水頭	mm
ℓ_g	基礎から容器重心までの距離	mm
m_0	容器の運転時質量	kg
m_e	容器の空質量	kg
S	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5に定める値	MPa
S_a	胴の許容応力	MPa
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
t	胴板の厚さ	mm
η	座屈応力に対する安全率	－
π	円周率	－
ρ'	液体の密度（＝比重$\times 10^{-6}$）	kg/mm^3
σ_0	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{0c}	胴の組合せ圧縮応力	MPa
σ_{0t}	胴の組合せ引張応力	MPa
σ_{x1}，$\sigma_{\phi 1}$	静水頭により胴に生じる軸方向及び周方向応力	MPa
σ_{x2}	胴の空質量による軸方向圧縮応力	MPa
σ_{x3}	胴の鉛直方向地震による軸方向応力	MPa
σ_{x4}	胴の水平方向地震による軸方向応力	MPa
σ_{xc}	胴の軸方向応力の和（圧縮側）	MPa
σ_{xt}	胴の軸方向応力の和（引張側）	MPa
σ_{ϕ}	胴の周方向応力の和	MPa
$\sigma_{\phi 2}$	静水頭に鉛直方向地震が加わり胴に生じる周方向応力	MPa
τ	地震により胴に生じるせん断応力	MPa
ϕ_1（x）	圧縮荷重に対する許容座屈応力の関数	MPa
ϕ_2（x）	曲げモーメントに対する許容座屈応力の関数	MPa

以上

中低濃度タンク（円筒型）に係る確認事項

表－１－１　構造強度及び機能・性能に関する確認事項（中低濃度タンク）

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度・耐震性	材料確認	使用材料を材料証明書により確認する。連結管･連結弁については，納品記録，製品仕様にて確認する。	実施計画に記載の材料が使用されていること。 連結管及び連結弁は製品仕様（最高使用圧力）がタンクの水頭圧以上であること。
	寸法確認	主要寸法（板厚，内径，高さ）を確認する。	実施計画の記載とおりであること。
	外観確認	タンク本体（塗装状態含む），連結管・連結弁の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	組立状態及び据付状態を確認する。	組立状態及び据付状態に異常がないこと。
		タンク基礎の不陸について確認する。	異常な不陸がないこと。
	耐圧・漏えい確認	①：G3・J1 エリア 運用水位以上で，一定時間（24 時間）以上保持した後，試験圧力に耐え，かつ，漏えいのないことを確認する。	各部からの有意な漏えいおよび水位の低下がないこと。
		②：①・③以外のタンク 設計・建設規格に基づき耐圧・漏えい試験を行う。	
		③：J2・J3 エリア 日本産業規格に基づき耐圧・漏えい試験を行う。	
	地盤支持力確認	支持力試験にてタンク基礎の地盤支持力を確認する。	必要な支持力を有していること。
機能・性能	監視確認	水位計について，免震重要棟集中監視室及びシールド中央制御室にタンク水位が表示できることを確認する。	免震重要棟集中監視室及びシールド中央制御室にタンク水位が表示できること。
	寸法確認	基礎外周堰の高さ，もしくは堰内容量を確認する。（別紙-6 表-1 に記載のエリアは基礎外周堰の高さ、別紙-6 表-2 に記載のエリアは堰内容量を確認する。）	必要容量に相当する高さ，もしくは堰内容量があること。（別紙-6 表-1 に記載のエリアは基礎外周堰の高さ、別紙-6 表-2 に記載のエリアは堰内容量を確認する。）
	外観確認	基礎外周堰の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	貯留機能	漏えいなく貯留できることを確認する。	タンク及び附属設備（連結管，連結弁，マンホール，ドレン弁）に漏えいがないこと。

表－１－２　構造強度及び機能・性能に関する確認事項

（タンク入口配管（鋼管））

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について，材料証明書または納品書により確認する。	実施計画の記載とおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法について，材料証明書または納品書により確認する。	実施計画の記載とおりであること。
	外観確認	各部の外観について，立会いまたは記録により確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器が図面のとおり据付ていることを立会いまたは記録により確認する。	図面のとおり施工・据付ていること。
	耐圧・漏えい確認 注１	①：最高使用圧力の 1.5 倍で一定時間保持後，同圧力に耐えていること，また，耐圧部からの漏えいがないことを立会いまたは記録により確認する。	最高使用圧力の 1.5 倍に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。また，耐圧部から漏えいがないこと。
		②：運転圧力で耐圧部からの漏えいのないことを立会いまたは記録により確認する。※１	耐圧部から漏えいがないこと。
機能・性能	通水確認	通水ができることを立会いまたは記録により確認する。	通水ができること。

※１：運転圧力による耐圧部の漏えい検査が実施できない配管フランジ部については，
　　トルク確認等の代替検査を実施する。

注１：耐圧漏えい確認は，①②のいずれかとする。

表－１－３　構造強度及び機能・性能に関する確認事項

（主要配管及びタンク入口配管（ポリエチレン管））

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した材料について，製品検査成績書により確認する。	実施計画の記載とおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法（外径相当）について，製品検査成績書により確認する。	実施計画の記載とおりであること。
	外観確認	各部の外観について，立会いまたは記録により確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器が図面のとおりに据付ていることを立会いまたは記録により確認する。	図面のとおり施工・据付ていること。
	耐圧・漏えい確認 注１	①：最高使用圧力以上で一定時間保持後，同圧力に耐えていること，また，耐圧部からの漏えいがないことを立会いまたは記録により確認する。	最高使用圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。また，耐圧部から漏えいがないこと。
		②：気圧により，耐圧部からの漏えいのないことを立会いまたは記録で確認する。	耐圧部から漏えいがないこと。
		③：運転圧力で耐圧部からの漏えいがないことを立会いまたは記録で確認する。	
機能・性能	通水確認	通水ができることを立会いまたは記録により確認する。	通水ができること。

注１：耐圧漏えい確認は，①②③のいずれかとする。

廃止（表－２－１　溶接部に関する確認事項）
（中低濃度タンク（Ｇ４エリア））

表－２－２　溶接部に関する確認事項

（中低濃度タンク（Ｇ３エリア））

確認項目	確認内容	判定
材料確認	使用材料を材料証明書により確認する。	実施計画に記載の材料が使用されていること。 炭素含有量が 0.35%を超えていないこと。
開先確認	開先に関連する記録，使用された切断機械の仕様，要領書等により，開先加工の管理が行われていることを確認する。	開先加工の管理が行われていること。
溶接作業確認	溶接施工法が，溶接規格第２部に定める溶接施工法認証標準に基づく確認試験を実施し合格したものであることを確認する。	溶接施工法が，溶接規格第２部に定める溶接施工法認証標準に基づく確認試験を実施し合格したものであること。
	溶接設備が溶接施工法に適したものであることを確認する。	溶接設備が溶接施工法に適したものであること。
	溶接士が，JIS の有資格者であって，同資格が有効期間内であることを確認する。	溶接士が JIS の有資格者であること。 同資格が有効期間内であること。
非破壊確認	機能に影響を及ぼす有意な欠陥がないことを確認する。または，同じ工場で製作された同型タンクの記録やサンプリングした代表溶接線の記録において，機能に影響を及ぼす有意な欠陥がないことを確認する。	機能に影響を及ぼす有意な欠陥がないこと。
耐圧確認	運用水位以上で，一定時間（溶接型タンク：24 時間）以上保持した後，試験圧力に耐え，かつ，漏えいのないことを確認する。	耐圧試験に耐え，かつ，漏えいがないこと。
外観確認	溶接部の寸法が，強度上必要な設計寸法以上であることを確認する。 または，同じ工場で製作された同型タンクの記録やサンプリングした代表溶接線の記録において，寸法が，強度上必要な設計寸法以上であることを確認する	溶接部の寸法が，強度上必要な設計寸法以上であること。

表－２－３　溶接部に関する確認事項
（中低濃度タンク（Ｊ１エリア））

確認項目	確認内容	判定
材料確認	使用材料を材料証明書により確認する。	実施計画に記載の材料が使用されていること。 炭素含有量が 0.35%を超えていないこと。
開先確認	開先面に溶接に悪影響を及ぼす欠陥，付着物の有無を確認する。	開先面に溶接に悪影響を及ぼす欠陥，付着物がないこと。
	開先形状，寸法について確認する。	開先形状，寸法が設計・建設規格，または日本産業規格に適合していること。 適合していない形状・寸法については，強度計算により必要な強度を有していること。
溶接作業確認※	溶接施工法が，溶接規格第２部に定める溶接施工法認証標準に基づく確認試験を実施し合格したものであることを確認する。	溶接施工法が，溶接規格第２部に定める溶接施工法認証標準に基づく確認試験を実施し合格したものであること。
	溶接設備が溶接施工法に適したものであることを確認する。	溶接設備が溶接施工法に適したものであること。
	溶接士が，JIS の有資格者であって，同資格が有効期間内であることを確認する。	溶接士が JIS の有資格者であること。 同資格が有効期間内であること。
	溶接が，あらかじめ決められた溶接施工法によって，溶接士が保有する資格の作業範囲内で行われていることを確認する。	溶接が，あらかじめ決められた溶接施工法で行われていること。 溶接士が保有する資格の作業範囲内で行われていること。
非破壊確認	溶接部について非破壊検査を行い，その試験方法及び結果が溶接規格等に適合することを確認する。	溶接部の非破壊検査結果が溶接規格等に適合していること。
耐圧確認	運用水位以上で，一定時間（溶接型タンク：24 時間）以上保持した後，試験圧力に耐え，かつ，漏えいのないことを確認する。	耐圧試験に耐え，かつ，漏えいがないこと。
外観確認	溶接部の形状，寸法，及び状態について確認する。	溶接部の形状及び寸法が，設計・建設規格，又は日本産業規格に適合していること。 適合していない溶接部については，強度計算により必要な強度を有していること。 溶接部に有害なものがないこと。

※自動溶接機を用いる溶接士については，「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」　別記－５　日本機械学会「溶接規格」等の適用に当たっての記載のうち，　“3. 溶接規格「第 3 部　溶接士技能認証標準」（3）溶接士技能認証標準と同等と認められるもの”及び“3. 溶接規格「第 3 部　溶接士技能認証標準」（4）溶接士技能認証標準に適合する溶接士技能の有効期間”を満足することを確認する。

表－２－４　溶接部に関する確認事項
（中低濃度タンク（Ｇ７エリア））

確認項目	確認内容	判定
材料確認	使用材料を材料証明書により確認する。	実施計画に記載の材料が使用されていること。 炭素含有量が 0.35%を超えていないこと。
開先確認	開先面に溶接に悪影響を及ぼす欠陥，付着物の有無を確認する。	開先面に溶接に悪影響を及ぼす欠陥，付着物がないこと。
	開先形状，寸法について確認する。	開先形状，寸法が溶接規格に適合していること。
溶接作業確認	溶接施工法が，溶接規格第２部に定める溶接施工法認証標準に基づく確認試験を実施し合格したものまたは電気事業法に基づき実施された検査において適合性が確認されたものであることを確認する。	溶接施工法が，溶接規格第２部に定める溶接施工法認証標準に基づく確認試験を実施し合格したものまたは電気事業法に基づき実施された検査において適合性が確認されたものであること。
	溶接設備が溶接施工法に適したものであることを確認する。	溶接設備が溶接施工法に適したものであること。
	溶接士は，実機作業が可能となる次のいずれかの資格を有し，同資格が有効期限内であることを確認する。 ・溶接規格第３部に定める溶接士技能認証標準に基づく有資格者， ・溶接技能認証標準と同等と認められるJIS の適合性証明書交付受領者 ・溶接技能認証標準と同等の施工会社社内技能認証標準に基づく有資格者	溶接士は，実機作業が可能となる次のいずれかの資格を有し，同資格が有効期限内であること。 ・溶接規格第３部に定める溶接士技能認証標準に基づく有資格者 ・溶接技能認証標準と同等と認められるJIS の適合性証明書交付受領者 ・溶接技能認証標準と同等の施工会社社内技能認証標準に基づく有資格者
	溶接が，あらかじめ決められた溶接施工法によって，溶接士が保有する資格の作業範囲内で行われていることを確認する。	溶接が，あらかじめ決められた溶接施工法で行われていること。 溶接士が保有する資格の作業範囲内で行われていること。
非破壊確認	溶接部について非破壊検査を行い，その試験方法及び結果が溶接規格等に適合することを確認する。	溶接部の非破壊検査結果が溶接規格等に適合していること。
耐圧確認	溶接規格に基づき耐圧試験を行う。 また，耐圧確認時に漏えい確認が困難な箇所については，代替試験にて確認する。	耐圧試験に耐え，かつ，漏えいがないこと。 代替試験については，溶接規格に適合していること。
外観確認	溶接部の形状，寸法，及び状態について確認する。	溶接部の形状及び寸法が，溶接規格に適合していること。 溶接部に有害なものがないこと。

表－２－５　溶接部に関する確認事項
（中低濃度タンク（Dエリア））

確認項目	確認内容	判定
材料確認	使用材料を材料証明書により確認する。	実施計画に記載の材料が使用されていること。 炭素含有量が 0.35%を超えていないこと。
開先確認	開先面に溶接に悪影響を及ぼす欠陥，付着物の有無を確認する。	開先面に溶接に悪影響を及ぼす欠陥，付着物がないこと。
	開先形状，寸法について確認する。	開先形状，寸法が溶接規格に適合していること。
溶接作業確認	溶接施工法が，溶接規格第２部に定める溶接施工法認証標準に基づく確認試験を実施し合格したものまたは電気事業法に基づき実施された検査において適合性が確認されたものであることを確認する。	溶接施工法が，溶接規格第２部に定める溶接施工法認証標準に基づく確認試験を実施し合格したものまたは電気事業法に基づき実施された検査において適合性が確認されたものであること。
	溶接設備が溶接施工法に適したものであることを確認する。	溶接設備が溶接施工法に適したものであること。
	溶接士は，実機作業が可能となる次のいずれかの資格を有し，同資格が有効期限内であることを確認する。 ・溶接規格第３部に定める溶接士技能認証標準に基づく有資格者， ・溶接技能認証標準と同等と認められるJIS の適合性証明書交付受領者	溶接士は，実機作業が可能となる次のいずれかの資格を有し，同資格が有効期限内であること。 ・溶接規格第３部に定める溶接士技能認証標準に基づく有資格者 ・溶接技能認証標準と同等と認められるJIS の適合性証明書交付受領者
	溶接が，あらかじめ決められた溶接施工法によって，溶接士が保有する資格の作業範囲内で行われていることを確認する。	溶接が，あらかじめ決められた溶接施工法で行われていること。 溶接士が保有する資格の作業範囲内で行われていること。
非破壊確認	溶接部について非破壊検査を行い，その試験方法及び結果が溶接規格等に適合することを確認する。	溶接部の非破壊検査結果が溶接規格等に適合していること。
耐圧確認	溶接規格に基づき耐圧試験を行う。 また，耐圧確認時に漏えい確認が困難な箇所については，代替試験にて確認する。	耐圧試験に耐え，かつ，漏えいがないこと。 代替試験については，溶接規格に適合していること。
外観確認	溶接部の形状，寸法，及び状態について確認する。	溶接部の形状及び寸法が，溶接規格に適合していること。 溶接部に有害なものがないこと。

以上

廃止（フランジタンクの止水構造に関する説明書）

フランジタンク撤去に伴い本内容を削除

タンク基礎に関する説明書

１．タンク基礎の支持力

（１）評価方法

タンクの鉛直荷重と極限支持力を比較して評価を行う。支持力の算定式は「社団法人日本道路協会（2002）：道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編」に基づき次式を用いる。計算した結果，①タンクの鉛直荷重＜②タンク基礎底面地盤の極限支持力であり，安全性を有していることを確認する。

①タンクの鉛直荷重：$W = m \times g$

②タンク基礎底面地盤の極限支持力：$Q_u = A_e\left(\alpha kcN_cS_c + kqN_qS_q + \frac{1}{2}\gamma_1\beta B_eN_rS_r\right)$

m	：機器質量
g	：重力加速度
A_e	：有効載荷面積
α，β	：基礎の形状係数
k	：根入れ効果に対する割増し係数
c	：地盤の粘着力
N_c，N_q，N_r	：荷重の傾斜を考慮した支持力係数
S_c，S_q，S_r	：支持力係数の寸法効果に関する補正係数
q	：上載荷重（$q=\gamma_2 D_f$）
γ_1，γ_2	：支持地盤及び根入れ地盤の単位重量（γ_1，γ_2＝15.9kN/m^2）
D_f	：基礎の有効根入れ深さ
B_e	：荷重の偏心を考慮した基礎の有効載荷幅（$B_e=B-2e_B$）
B	：基礎幅
e_B	：荷重の偏心量

（２）管理

地盤改良後，簡易支持力測定器（キャスポル）※により地盤の強度を測定し，上記式により必要な極限支持力を有していることを確認する。

※ランマー（重鎮）を一定の高さから地盤に自由落下させたときに生ずる衝撃加速度の最大値と地盤強度特性値と相関させる衝撃加速度法を基本原理とした簡易な測定器。

２．タンク基礎の不陸

（１）評価方法

タンクの設置高さが，設計高さに対して許容値以内※であることを確認する。

※　設計高さ±30㎜（社内基準値）

（２）管理

タンク基礎高さ（レベル）を測量し，当該高さが設計高さに対して±30㎜以内であることを確認する。

以上

中低濃度タンク（円筒型）の基礎外周堰の堰内容量に関する説明書

中低濃度タンクから漏えいが生じた際に漏えい水の拡大を抑制するための基礎外周堰の堰内容量は，タンク 20 基当たり 1 基分の貯留容量（20 基以上の場合は 20 基あたり 1 基分の割合の容量，20 基に満たない場合でも 1 基分）を確保できる容量に，大雨時の作業等を考慮した余裕高さ（堰高さで 20cm 程度）分の容量との合計とする。各タンク設置エリアの基礎外周堰の高さもしくは，堰内容量を表―１，２に示す。

表－１　各タンク設置エリアの基礎外周堰の高さ

設置場所	タンク設置基数	想定漏えい		基礎外周堰内面積 (m^2)	タンク専有面積 (m^2)	貯留可能面積 (m^2)	基礎外周堰の高さ (m)
		基数	容量 (m^3)				
			①	②	③	④※1	⑤※2
J5	35	1.75	2,162	5,319	3,305	2,014	1.274 以上
J3	22	1.1	2,640	7,455	4,349	3,106	1.050 以上
J6	38	1.9	2,280	6,751	4,206	2,545	1.096 以上
K1 北	12	1	1,200	2,499	1,250	1,249	1.161 以上
K1 南	10	1	1,160	1,800	860	941	1.433 以上
H1	63	3.15	3,843	11,723	6,820	4,903	0.984 以上

※１　④＝②―③

※２　⑤＝①／④＋0.2（余裕分 20cm）

表－２　各タンク設置エリアの基礎外周堰の堰内容量（１／２）

設置場所	タンク設置基数	想定漏えい		基礎外周堰の堰内容量	（計画値）			
		基数	容量		基礎外周堰内面積	タンク専有面積	貯留可能面積	基礎外周堰の高さ
			(m³)	(m³)	(m²)	(m²)	(m²)	(m)
			①	②※1	③	④	⑤※2	⑥※3
J1（Ⅰ）	28	1.4	1,400	1,823 以上	5,158	3,051	2,107	0.865 以上
J1（Ⅱ）	35	1.75	1,750	2,281 以上	6,494	3,842	2,652	0.860 以上
J1（Ⅲ）	37	1.85	1,850	2,411 以上	6,875	4,068	2,807	0.859 以上
J2※4	42	2.1	5,040	6,208 以上	6,883 6,139 1,073	4,556 3,728 －	2,327 2,411 1,073	1.121 以上※4 0.771 以上※4 1.621 以上※4
J4	35	1.75	5,075	6,208 以上	12,660	6,991	5,669	1.095 以上
J7	42	2.1	2,520	3,146 以上	7,671	4,547	3,124	1.007 以上
H1 東	24	1.2	1,464	1,857 以上	4,562	2,606	1,956	0.949 以上
K3	12	1	700	836 以上	1,248	572	676	1.236 以上
K4	35※8	1.75	1,750	2,190 以上	5,145	2,944	2,201	0.995 以上
H2	44	2.2	5,280	6,548 以上	15,035	8,697	6,338	1.033 以上
H4 北	35	1.75	2,100	2,656 以上	6,630	3,861	2,769	0.959 以上
H4 南	51	2.55	2,910	3,567 以上	7,413	4,128	3,285	1.086 以上
G1 南	23	1.15	1,530	1,868 以上	3,815	2,129	1,686	1.108 以上
H5	32	1.6	1,920	2,510 以上	6,471	3,521	2,950	0.851 以上
H6（Ⅰ）	12※6	1	1,200	1,473 以上	2,564	1,200	1,364	1.080 以上
B	37	1.85	2,470	2,875 以上	4,287	2,262	2,025	1.420 以上
B 南	7	1	1,330	1,485 以上	1,349	574	775	1.917 以上
H3※4	10	1	1,356	1,633 以上	2,126 365	1,109 －	1,017 365	1.050 以上※4 1.550 以上※4
H6（Ⅱ）	24	1.2	1,630	2,034 以上	4,855	2,834	2,021	1.007 以上
G3 北	6	1	1,100	1,322 以上	1,677	569	1,108	1.193 以上※4 1.393 以上※4
G3 西	40※5	2.5	2,600	3,453 以上	8,072	4,320	3,752	0.878 以上
G7	10				1,019	520	499	0.315 以上
G6	38	1.90	2,530	3,024 以上	6,002	3,536	2,466	1.226 以上
K2	28	1.40	1,480	1,948 以上	4,462	2,133	2,329	0.836 以上
D	41※7	2.05	2,140	2,679 以上	5,781	3,097	2,684	0.998 以上
G1	66	3.30	4,480	5,408 以上	12,407	7,769	4,638	1.166 以上
G4 南	26	1.3	1,770	2,168 以上	5,064	3,083	1,981	1.094 以上

表－２　各タンク設置エリアの基礎外周堰の堰内容量（２／２）

設置場所	タンク設置基数	想定漏えい		基礎外周堰の堰内容量 (m^3)	（計画値）			
		基数	容量 (m^3)		基礎外周堰内面積 (m^2)	タンク専有面積 (m^2)	貯留可能面積 (m^2)	基礎外周堰の高さ (m)
			①	②※1	③	④	⑤※2	⑥※3
G4 北※4	6	1	1,356	1,566 以上	1,203 457	617 －	586 457	1.376 以上※4 1.661 以上※4
G5	17	1	1,356	1,610 以上	3,236	1,973	1,263	1.274 以上

※１　②＝⑤×⑥

J2,H3,G4 北は場所により基礎外周堰の高さが異なるため，堰内容量は合計値を記載。

G3 西･G7 は基礎外周堰を共有しているため，想定漏えい容量および基礎外周堰の堰内容量は合計値を記載。

※２　⑤＝③－④

※３　⑥＝①／⑤＋0.2（余裕分 20cm）

J2,H3 の基礎外周堰の高さは，想定漏えい容量を貯留可能な堰高さを求め，各々に余裕分 20cm を加えた値を記載。

※４　J2,H3，G3 北，G4 北は場所により基礎標高が異なるため，計画値は各々の値を記載。

※５　40 基中 1 基は雨水回収タンク

※６　12 基中 1 基は雨水回収タンク

※７　41 基中 12 基は RO 後淡水受タンク（RO 処理水貯槽及び蒸発濃縮処理水貯槽）

※８　35 基中 30 基は「Ⅱ 2.50 ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設」の測定・確認用タンクと兼用する。

中低濃度タンク（円筒型）からの直接線ならびにスカイシャイン線による実効線量

１．評価条件

１．１　多核種処理水貯槽

多核種処理水は，RO 濃縮水に対して放射能濃度が低く，敷地境界線量に及ぼす影響は小さいと考えられるが，各エリアの多核種処理水貯槽に貯留する多核種処理水による敷地境界での線量評価を実施する。評価条件については，多核種処理水の分析結果（平成 25 年 7 月）をタンク内保有水の放射能濃度として設定し，評価対象タンク群を等価面積の大型円柱形状，又は評価対象タンク群を囲うような多角形としてモデル化する。なお，本評価条件では，大型円柱形状の場合は線量評価点に最も近いタンクに当該タンク群の線源を集合させてモデル化を行うことにより，評価上の距離が実際よりも短くなること，多角形でモデル化した場合はタンク設置面積より大きくモデル化することから，保守的な評価結果となる。

１．２　Sr 処理水貯槽

評価条件については， RO 濃縮水処理設備の処理済水の想定放射能濃度として設定し，評価対象タンク群を囲うような多角形としてモデル化する。なお，本評価条件では，多角形でモデル化した場合はタンク設置面積より大きくモデル化することから，保守的な評価結果となる。

１．３　RO 濃縮水貯槽，濃縮廃液貯槽，RO 処理水貯槽及び蒸発濃縮処理水貯槽

評価条件については，RO 濃縮水及び濃縮廃液の分析結果をタンク内保有水の放射能濃度として設定し，評価対象タンク１基ずつの形状をモデル化する。

D エリアについては,RO 濃縮水貯槽(1.6×10^{4} Bq/cm^{3})及び濃縮廃液貯槽(2.8×10^{5} Bq/cm^{3})に貯留する高濃度の液体による敷地境界線量への影響が支配的であり，RO 処理水貯槽及び蒸発濃縮処理水貯槽に貯留する液体の放射能濃度は，1.0×10^{-2} Bq/cm^{3} と低い為，考慮しない事とする。

２．評価結果

２．１　多核種処理水貯槽

２．１．１　J2 エリア

最寄りの線量評価点における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，0.001 mSv/y 未満であり，敷地境界線量に及ぼす影響は小さい。また，敷地境界線上の最大線量評価点における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，最寄りの線量評価点より低く，敷地境界線量に及ぼす影響は小さい。

２．１．２　J3 エリア

最寄りの線量評価点における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，0.001 mSv/y 未満であり，敷地境界線量に及ぼす影響は小さい。また，敷地境界線上の最大線量評価点にお

ける直接線・スカイシャイン線の評価結果は，最寄りの線量評価点より低く，敷地境界線量に及ぼす影響は小さい。

２．１．３　J4エリア

最寄りの線量評価点（No.16）における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，約 1.8×10^{-3} mSv/y であり，敷地境界線量に及ぼす影響は小さい。また，敷地境界線上の最大線量評価点における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，最寄りの線量評価点より低く，敷地境界線量に及ぼす影響は小さい。

２．１．４　J6エリア

最寄りの線量評価点（No.16）における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，0.001 mSv/y 未満であり，敷地境界線量に及ぼす影響は小さい。また，敷地境界線上の最大線量評価点における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，最寄りの線量評価点より低く，敷地境界線量に及ぼす影響は小さい。

２．１．５　H1エリア

最寄りの線量評価点（No.38）における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，0.0001 mSv/y 未満であり，敷地境界線量に及ぼす影響は小さい。また，敷地境界線上の最大線量評価点における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，最寄りの線量評価点より低く，敷地境界線量に及ぼす影響は小さい。

２．１．６　J7エリア

最寄りの線量評価点（No.17）における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，約 1.1×10^{-3} mSv/y であり，敷地境界線量に及ぼす影響は小さい。また，敷地境界線上の最大線量評価点における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，最寄りの線量評価点より低く，敷地境界線量に及ぼす影響は小さい。

２．１．７　H1東エリア

最寄りの線量評価点（No.37）における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，0.0001 mSv/y 未満であり，敷地境界線量に及ぼす影響は小さい。また，敷地境界線上の最大線量評価点における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，最寄りの線量評価点より低く，敷地境界線量に及ぼす影響は小さい。

２．１．８　K3エリア

最寄りの線量評価点（No.70）における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，0.0001mSv/y 未満であり，敷地境界線量に及ぼす影響は小さい。また，敷地境界線上の最大線量評価点における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，最寄りの線量評価点より低く，敷地境界線量に及ぼす影響は小さい。

２．１．９　K4エリア※

最寄りの線量評価点（No.70）における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，

0.0001mSv/y 未満であり，敷地境界線量に及ぼす影響は小さい。また，敷地境界線上の最大線量評価点における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，最寄りの線量評価点より低く，敷地境界線量に及ぼす影響は小さい。

※K4 エリアタンクの一部を「Ⅱ 2.50 ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設」の測定・確認用タンクと兼用する。

２．１．１０　H2 エリア

最寄りの線量評価点（No.17）における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，0.0001mSv/y 未満であり，敷地境界線量に及ぼす影響は小さい。また，敷地境界線上の最大線量評価点における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，最寄りの線量評価点より低く，敷地境界線量に及ぼす影響は小さい。

２．１．１１　H4 北エリア

最寄りの線量評価点（No.14）における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，0.0001mSv/y 未満であり，敷地境界線量に及ぼす影響は小さい。また，敷地境界線上の最大線量評価点における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，最寄りの線量評価点より低く，敷地境界線量に及ぼす影響は小さい。

２．１．１２　H4 南エリア

最寄りの線量評価点（No.14）における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，0.0001mSv/y 未満であり，敷地境界線量に及ぼす影響は小さい。また，敷地境界線上の最大線量評価点における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，最寄りの線量評価点より低く，敷地境界線量に及ぼす影響は小さい。

２．１．１３ G1南エリア

最寄りの線量評価点（No.5）における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，1.0×10^{-4}mSv/y 未満であり，敷地境界線量に及ぼす影響は小さい。また，敷地境界線上の最大線量評価点における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，最寄りの線量評価点より低く，敷地境界線量に及ぼす影響は小さい。

２．１．１４ H5エリア

最寄りの線量評価点（No.14）における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，1.0×10^{-4}mSv/y 未満であり，敷地境界線量に及ぼす影響は小さい。また，敷地境界線上の最大線量評価点における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，最寄りの線量評価点より低く，敷地境界線量に及ぼす影響は小さい。

２．１．１５ H6(Ⅰ)エリア

最寄りの線量評価点（No.14）における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，1.0×10^{-4}mSv/y 未満であり，敷地境界線量に及ぼす影響は小さい。また，敷地境界線上の最大線量評価点における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，最寄りの線量評価点より低く，敷地境界線量に及ぼす影響は小さい。

２．１．１６ Ｂエリア

最寄りの線量評価点（No.7）における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，1.0×10^{-4}mSv/y 未満であり，敷地境界線量に及ぼす影響は小さい。また，敷地境界線上の最大線量評価点における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，最寄りの線量評価点より低く，敷地境界線量に及ぼす影響は小さい。

２．１．１７ Ｂ南エリア

最寄りの線量評価点（No.7）における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，1.0×10^{-4}mSv/y 未満であり，敷地境界線量に及ぼす影響は小さい。また，敷地境界線上の最大線量評価点における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，最寄りの線量評価点より低く，敷地境界線量に及ぼす影響は小さい。

２．１．１８ Ｈ３エリア

最寄りの線量評価点（No.17）における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，1.0×10^{-4}mSv/y 未満であり，敷地境界線量に及ぼす影響は小さい。また，敷地境界線上の最大線量評価点における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，最寄りの線量評価点より低く，敷地境界線量に及ぼす影響は小さい。

２．１．１９ Ｈ６（Ⅱ）エリア

最寄りの線量評価点（No.14）における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，1.0×10^{-4}mSv/y 未満であり，敷地境界線量に及ぼす影響は小さい。また，敷地境界線上の最大線量評価点における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，最寄りの線量評価点より低く，敷地境界線量に及ぼす影響は小さい。

２．１．２０ G6エリア

最寄りの線量評価点（No.7）における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，1.0×10^{-3}mSv/y 未満であり，敷地境界線量に及ぼす影響は小さい。また，敷地境界線上の最大線量評価点における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，最寄りの線量評価点より低く，敷地境界線量に及ぼす影響は小さい。

２．１．２１ Ｇ１エリア

最寄りの線量評価点（No.7）における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，1.0×10^{-4}mSv/y 未満であり，敷地境界線量に及ぼす影響は小さい。また，敷地境界線上の最大線量評価点における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，最寄りの線量評価点より低く，敷地境界線量に及ぼす影響は小さい。

２．１．２２ Ｇ４南エリア

最寄りの線量評価点（No.5）における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，1.0×10^{-4}mSv/y 未満であり，敷地境界線量に及ぼす影響は小さい。また，敷地境界線上の最大線量評価点における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，最寄りの線量評価点より低く，敷地境界線量に及ぼす影響は小さい。

２．１．２３ Ｇ４北エリア

最寄りの線量評価点（No.5）における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，1.0×10^{-4}mSv/y 未満であり，敷地境界線量に及ぼす影響は小さい。また，敷地境界線上の最大線量評価点における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，最寄りの線量評価点より低く，敷地境界線量に及ぼす影響は小さい。

２．１．２４ Ｇ５エリア

最寄りの線量評価点（No.5）における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，1.0×10^{-3}mSv/y 未満であり，敷地境界線量に及ぼす影響は小さい。また，敷地境界線上の最大線量評価点における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，最寄りの線量評価点より低く，敷地境界線量に及ぼす影響は小さい。

２．２　Sr 処理水貯槽

２．２．１　K1 北エリア

最寄りの線量評価点（No.66）における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，約 0.11mSv/y であり，敷地境界線量は 1mSv/y を超過しない。また，敷地境界線上の最大線量評価点（No.7）（2014 年 12 月現在）における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，1.0×10^{-4} mSv/y 未満であり，敷地境界線量に及ぼす影響は小さい。

２．２．２　K2 エリア

最寄りの線量評価点（No.66）における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，約 0.36mSv/y であり，敷地境界線量は 1mSv/y を超過しない。また，敷地境界線上の最大線量評価点（No.7）（2014 年 12 月現在）における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，1.0×10^{-4} mSv/y 未満であり，敷地境界線量に及ぼす影響は小さい。

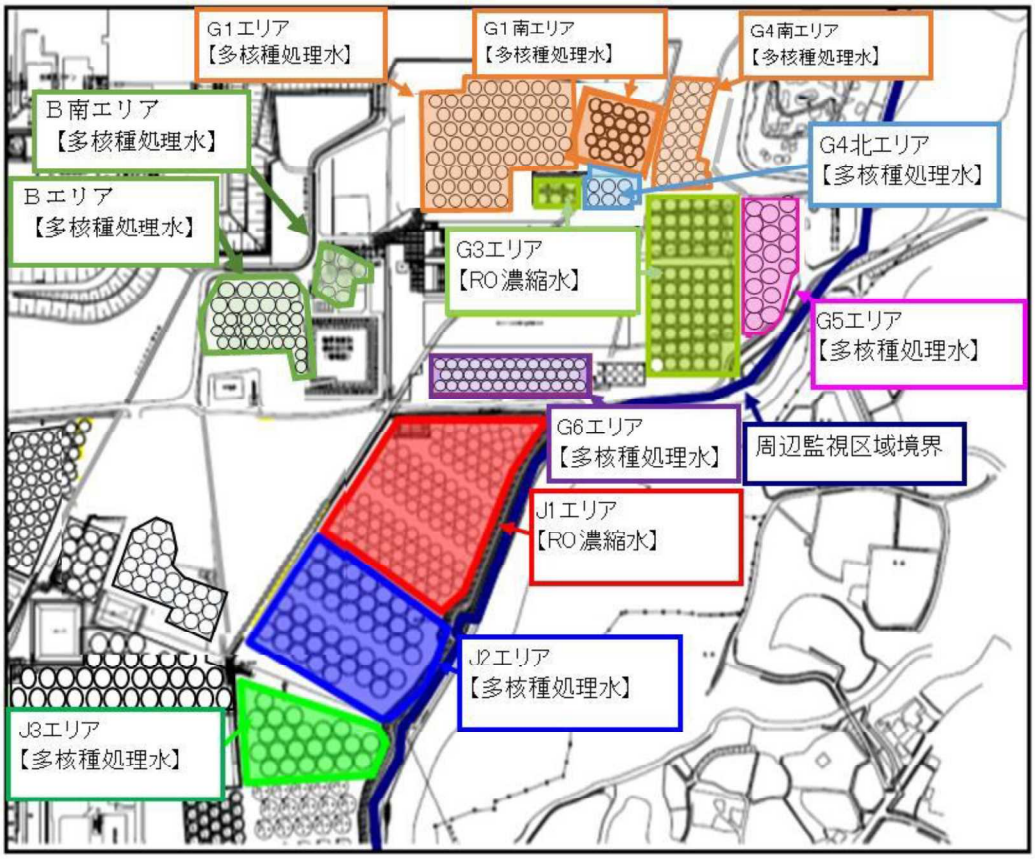
２．２．３　K1 南エリア

最寄りの線量評価点（No.66）における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，約 0.029mSv/y であり，敷地境界線量は 1mSv/y を超過しない。また，敷地境界線上の最大線量評価点（No.7）（2015 年 3 月現在）における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，1.0×10^{-4} mSv/y 未満であり，敷地境界線量に及ぼす影響は小さい。参考として，線量評価点（No.30），（No.38）における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，約 9.7×10^{-4}mSv/y，約 2.0×10^{-3} mSv/y である。

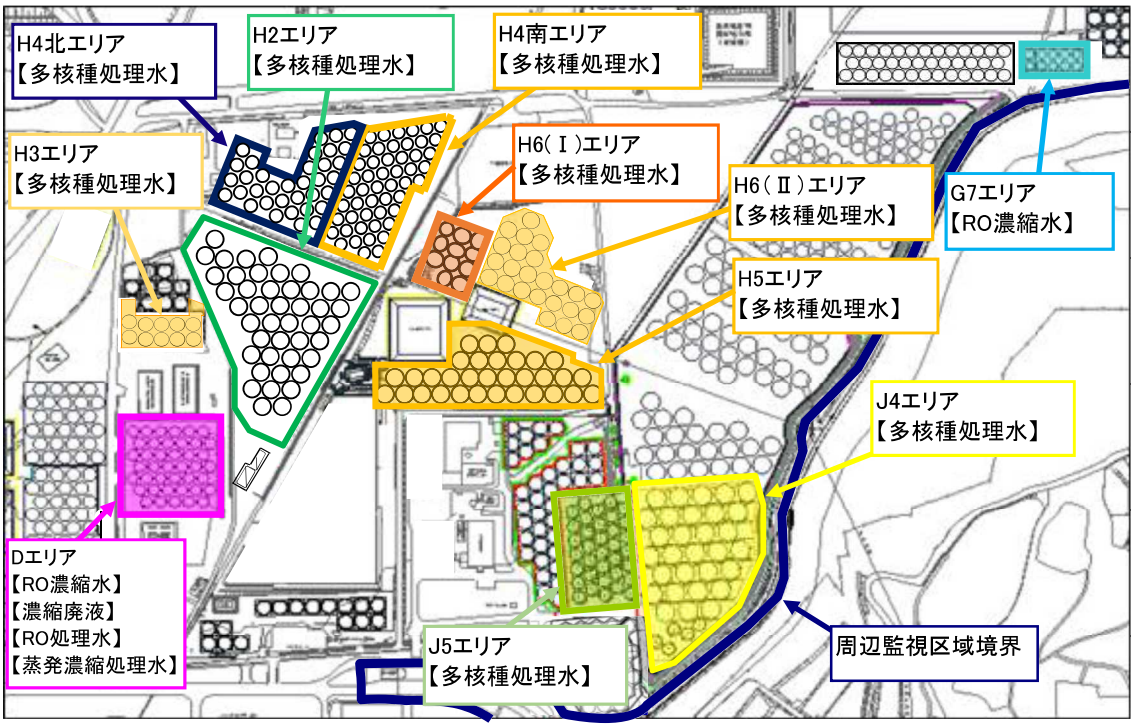
２．３　RO 濃縮水貯槽，濃縮廃液貯槽，RO 処理水貯槽及び蒸発濃縮処理水貯槽

２．３．１　Ｄエリア

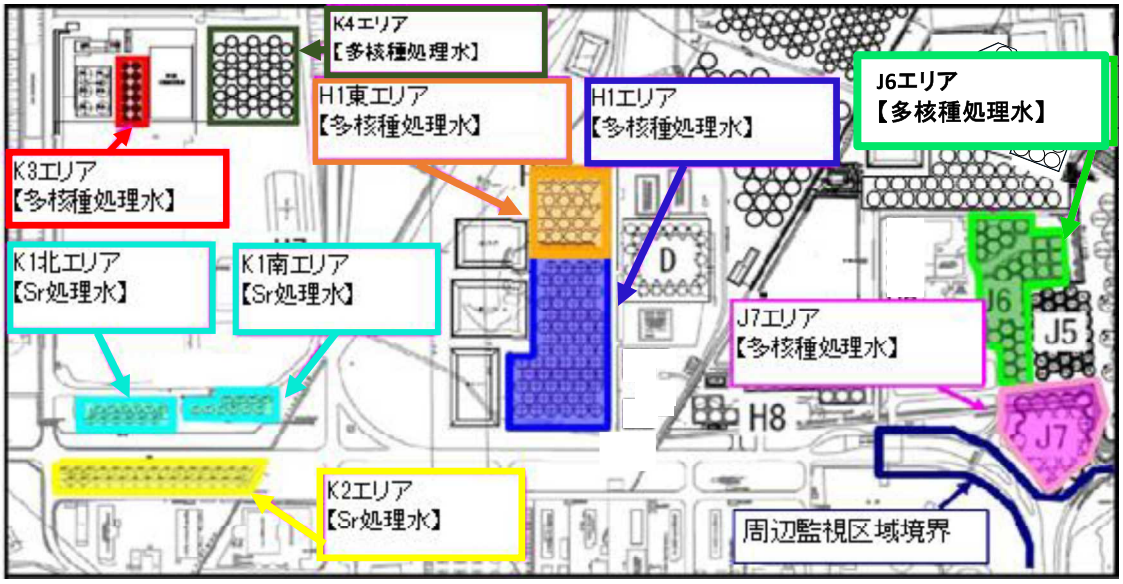
最寄りの線量評価点（No.30）における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，約 0.061mSv/y であり，敷地境界線量は 1mSv/y を超過しない。また，敷地境界線上の最大線量評価点（No.71）（2019 年 8 月現在）における直接線・スカイシャイン線の評価結果は，1.5×10^{-3} mSv/y であり，敷地境界線量に及ぼす影響は小さい。



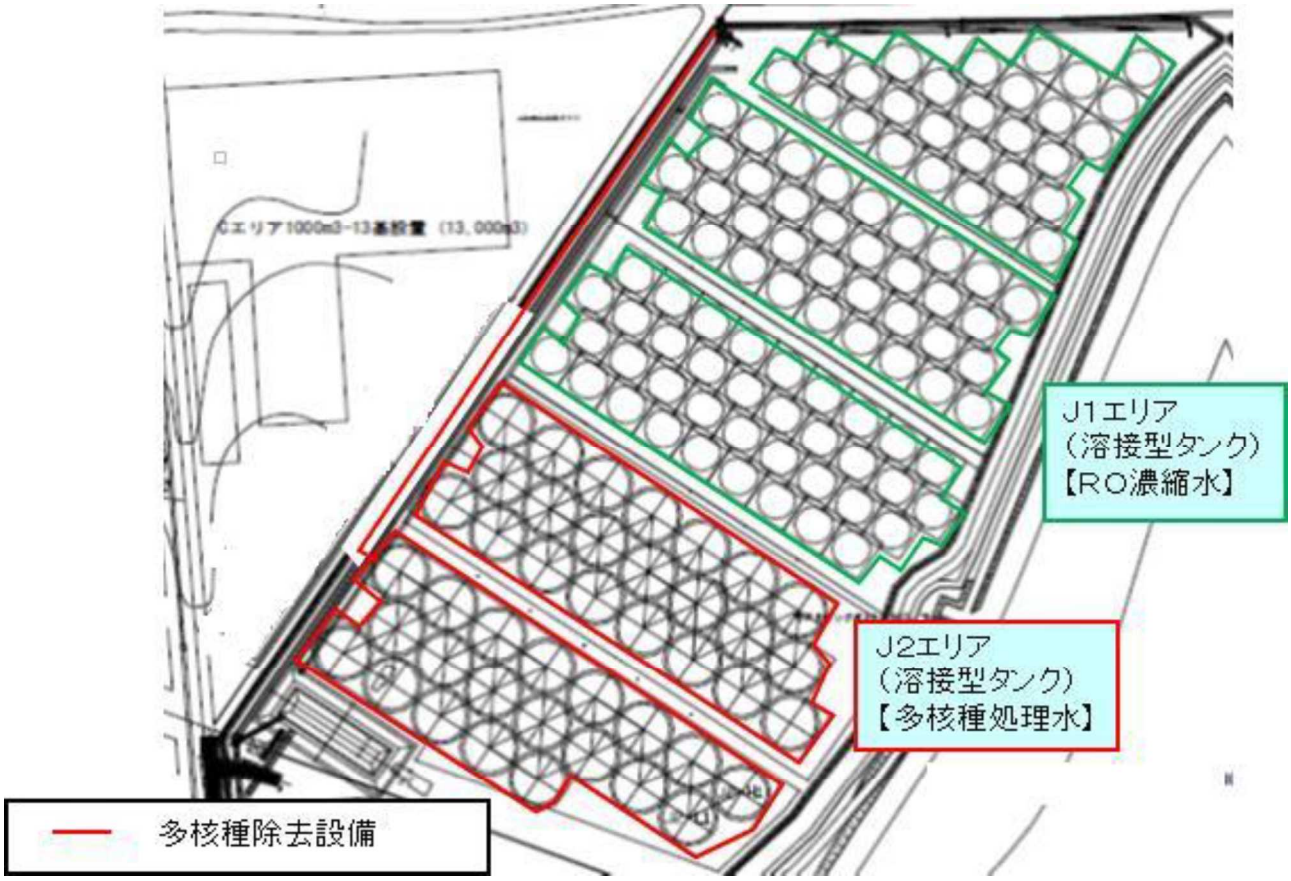
タンクエリア全体図



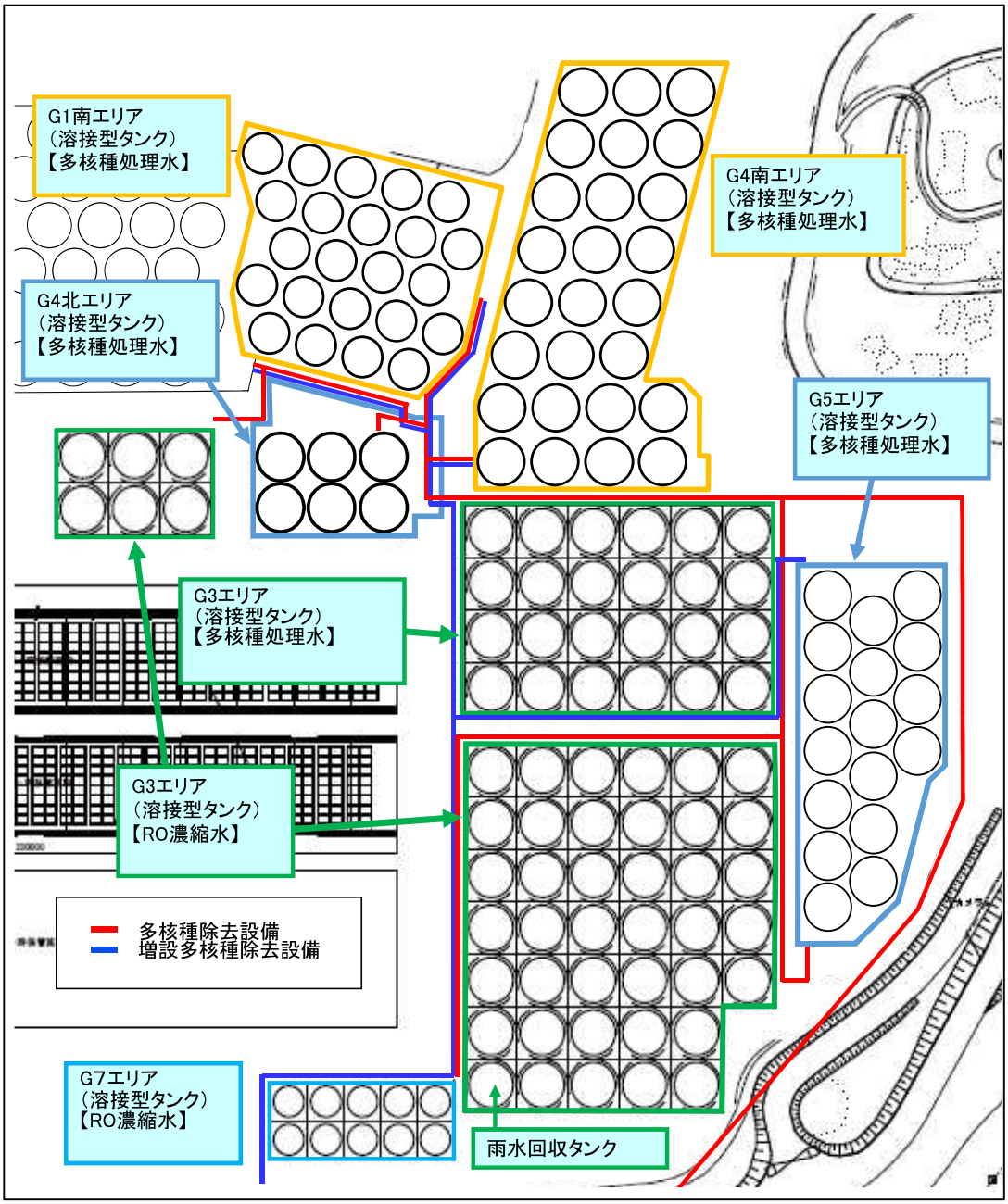
タンクエリア全体図



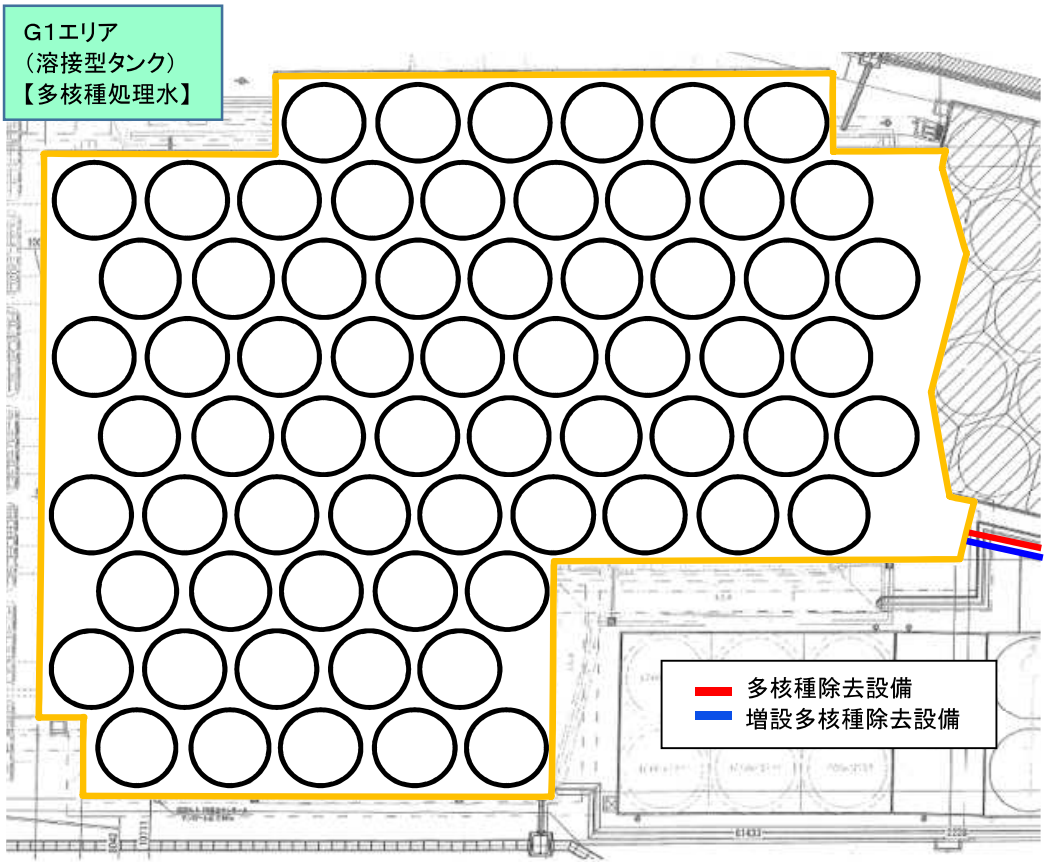
タンクエリア全体図



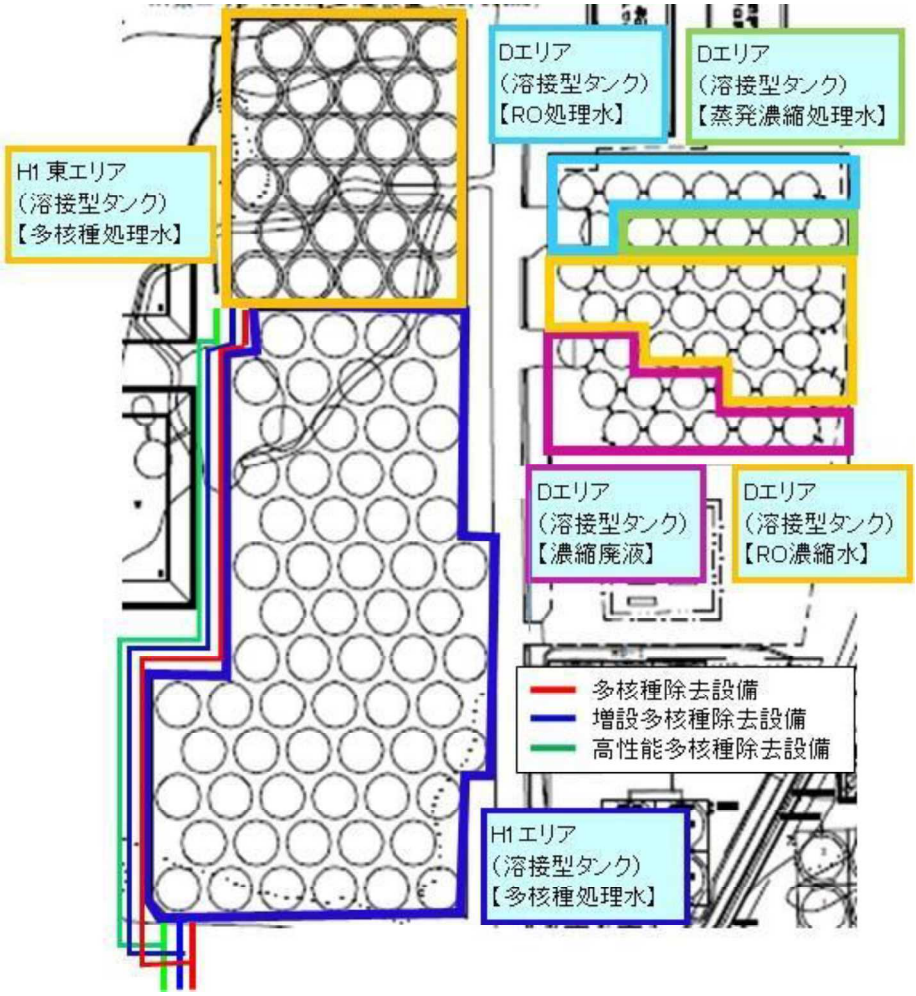
タンクエリア詳細図


G1南エリア
（溶接型タンク）
【多核種処理水】
G4南エリア
（溶接型タンク）
【多核種処理水】
G4北エリア
（溶接型タンク）
【多核種処理水】
G5エリア
（溶接型タンク）
【多核種処理水】
G3エリア
（溶接型タンク）
【多核種処理水】
G3エリア
（溶接型タンク）
【RO濃縮水】
多核種除去設備
増設多核種除去設備
G7エリア
（溶接型タンク）
【RO濃縮水】
雨水回収タンク

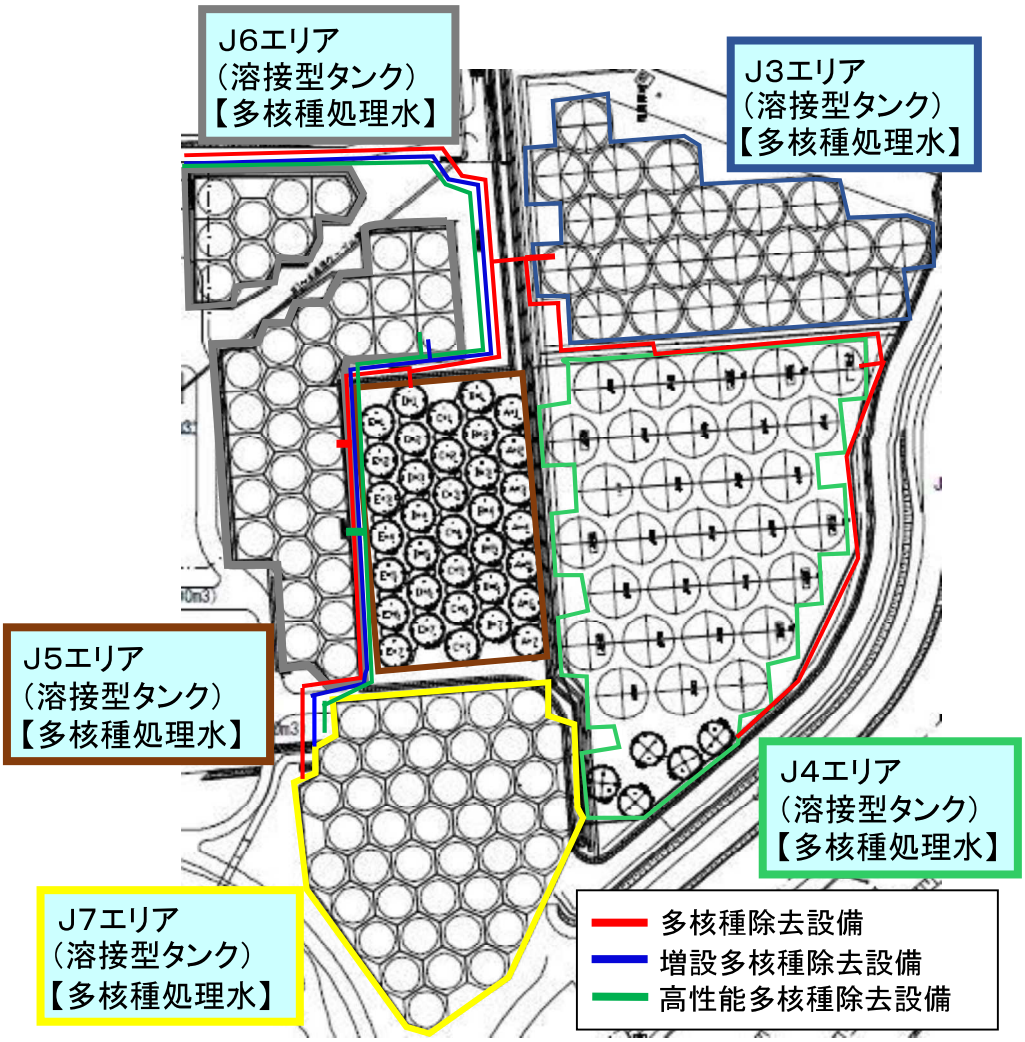
タンクエリア詳細図



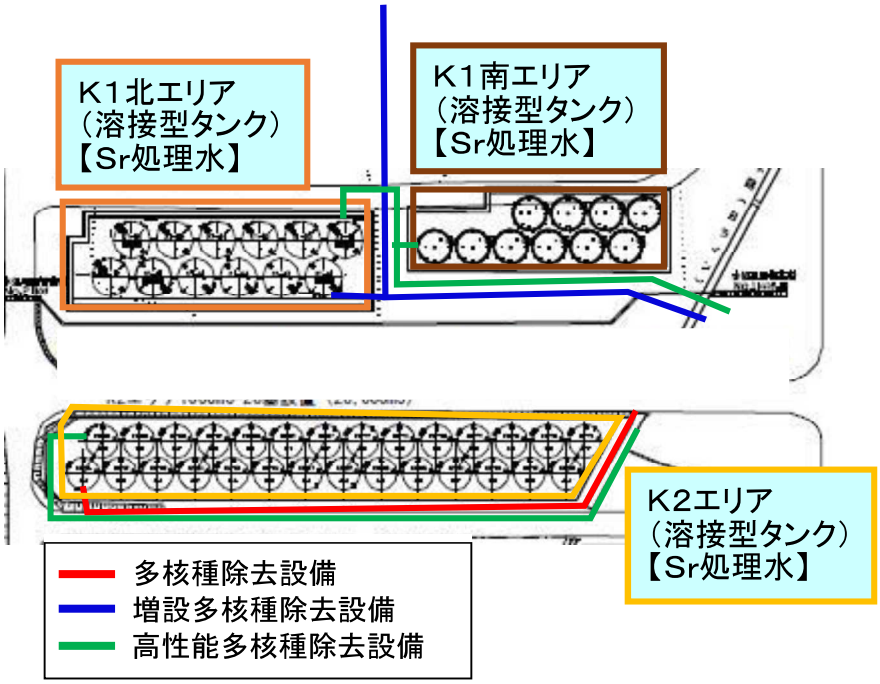
タンクエリア詳細図

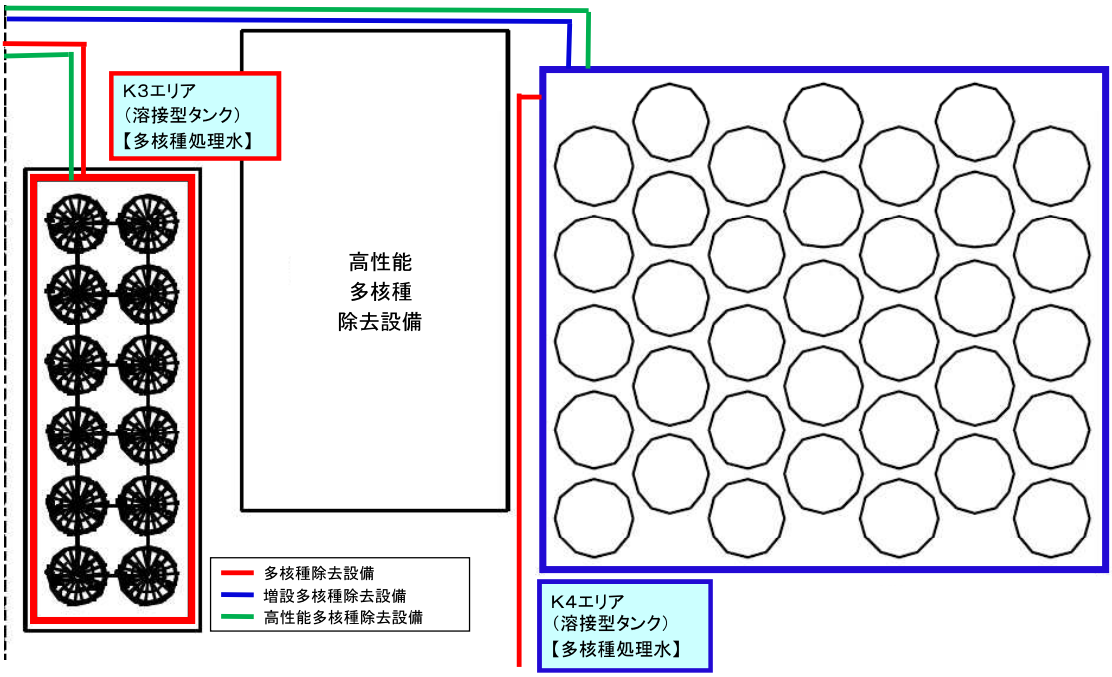

H1 東エリア
（溶接型タンク）
【多核種処理水】
Dエリア
（溶接型タンク）
【RO処理水】
Dエリア
（溶接型タンク）
【蒸発濃縮処理水】
Dエリア
（溶接型タンク）
【濃縮廃液】
Dエリア
（溶接型タンク）
【RO濃縮水】
多核種除去設備
増設多核種除去設備
高性能多核種除去設備
H1 エリア
（溶接型タンク）
【多核種処理水】

タンクエリア詳細図

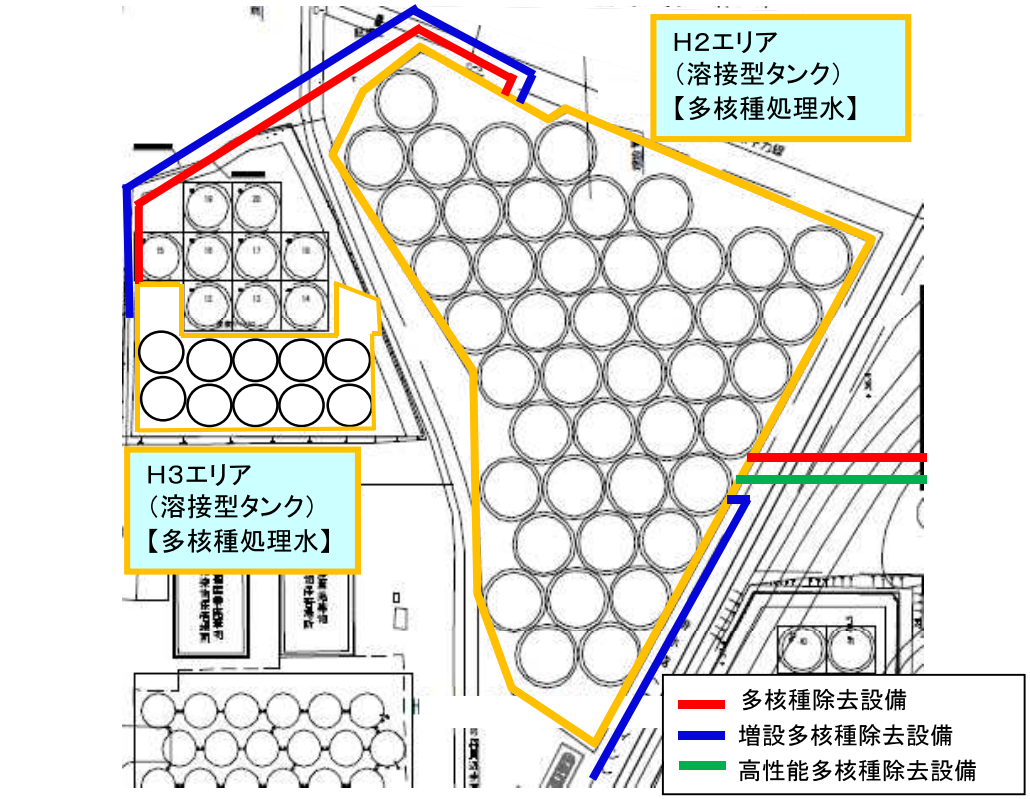

J6エリア
（溶接型タンク）
【多核種処理水】
J3エリア
（溶接型タンク）
【多核種処理水】
J5エリア
（溶接型タンク）
【多核種処理水】
J4エリア
（溶接型タンク）
【多核種処理水】
J7エリア
（溶接型タンク）
【多核種処理水】
多核種除去設備
増設多核種除去設備
高性能多核種除去設備

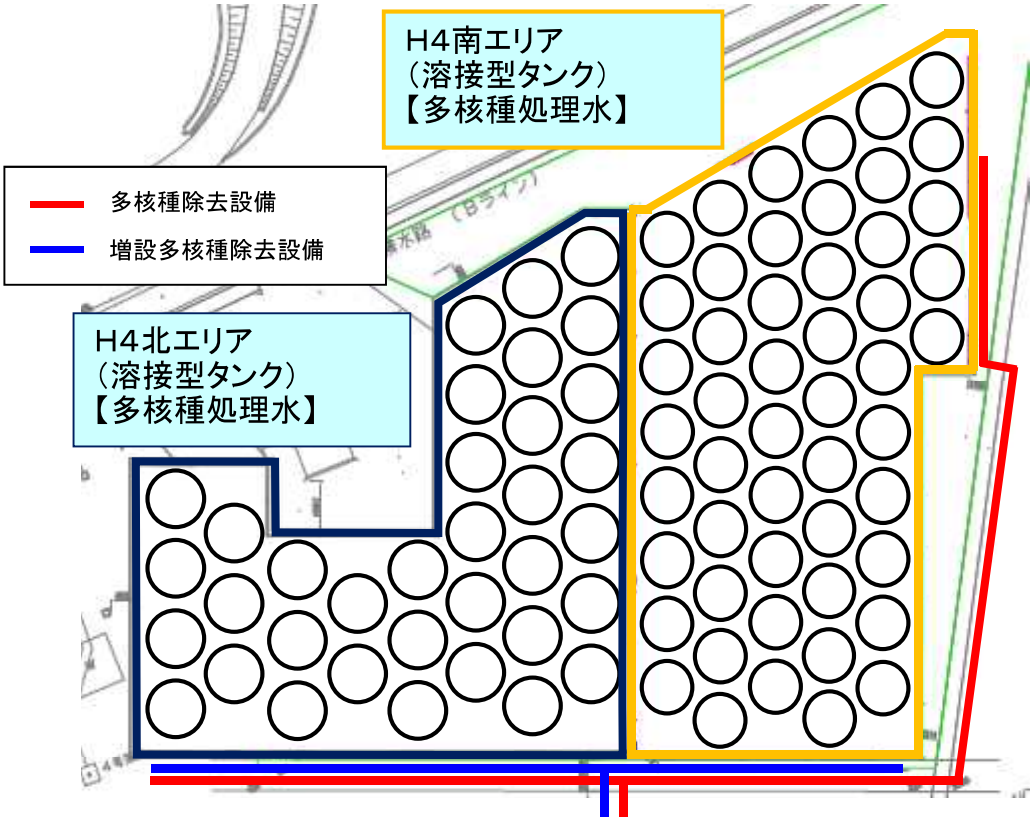
タンクエリア詳細図


K1北エリア
（溶接型タンク）
【Sr処理水】
K1南エリア
（溶接型タンク）
【Sr処理水】
K2エリア
（溶接型タンク）
【Sr処理水】
多核種除去設備
増設多核種除去設備
高性能多核種除去設備

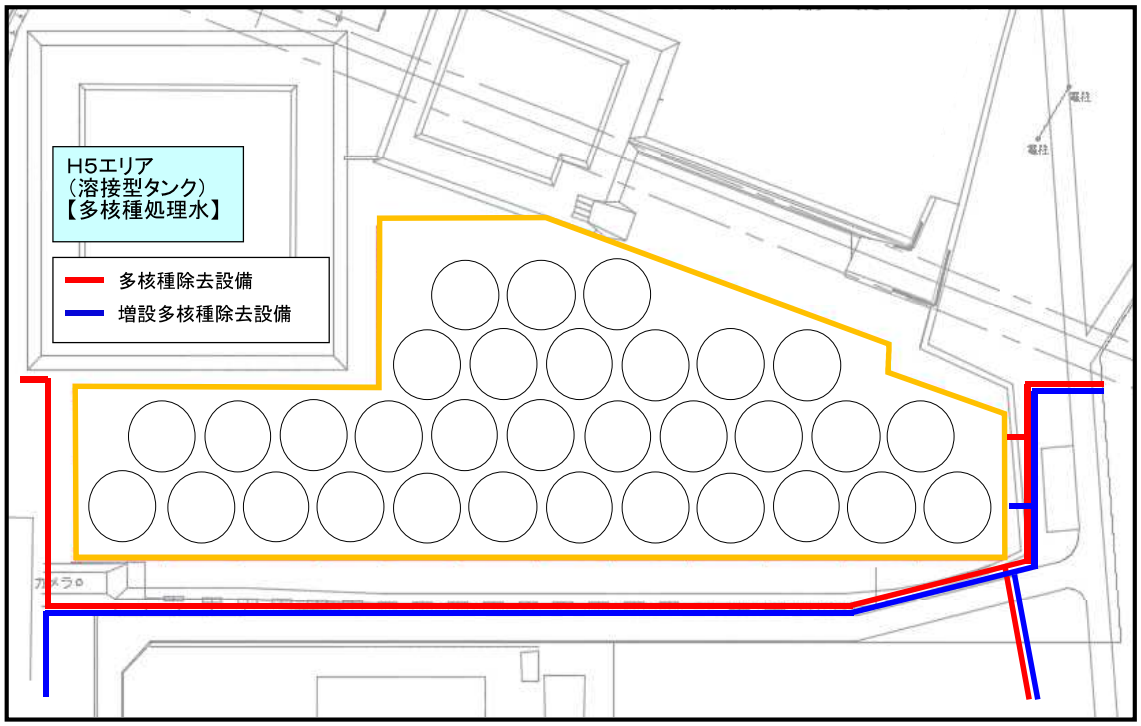

K3エリア
（溶接型タンク）
【多核種処理水】
高性能
多核種
除去設備
多核種除去設備
増設多核種除去設備
高性能多核種除去設備
K4エリア
（溶接型タンク）
【多核種処理水】

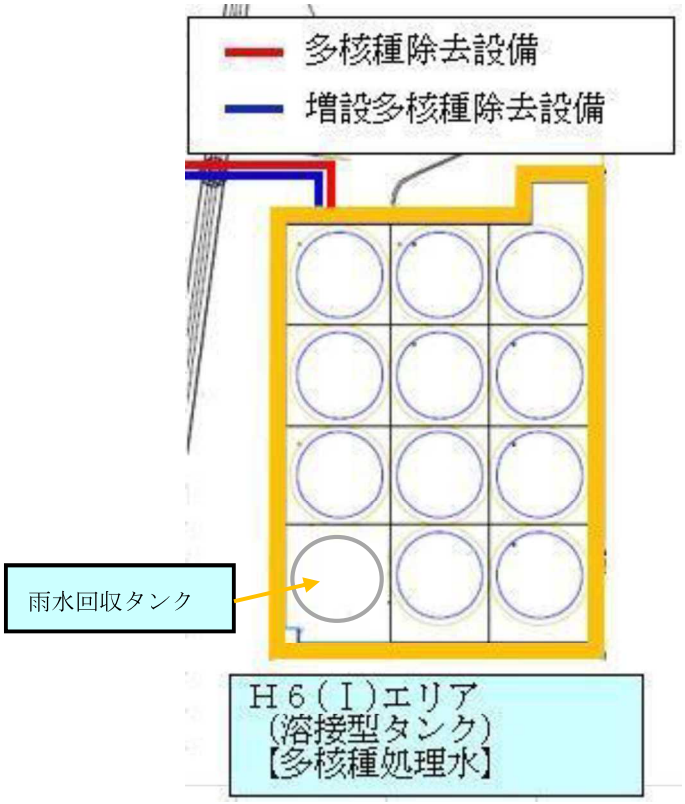
タンクエリア詳細図


H2エリア
（溶接型タンク）
【多核種処理水】
H3エリア
（溶接型タンク）
【多核種処理水】
多核種除去設備
増設多核種除去設備
高性能多核種除去設備

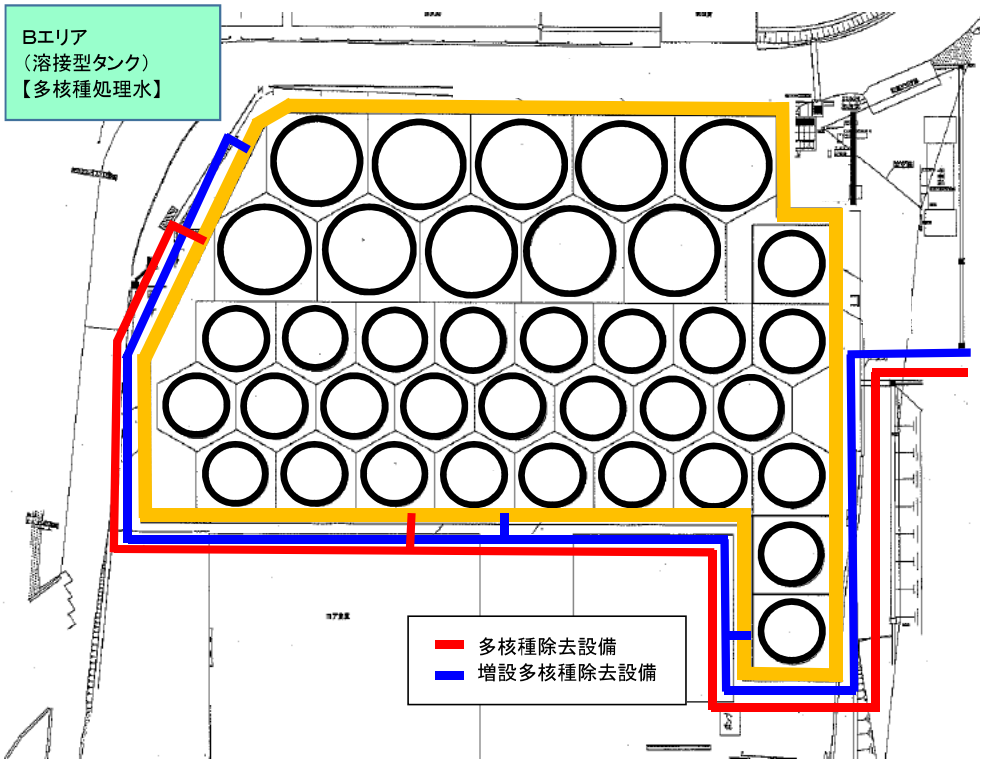

H4南エリア
（溶接型タンク）
【多核種処理水】
多核種除去設備
増設多核種除去設備
H4北エリア
（溶接型タンク）
【多核種処理水】

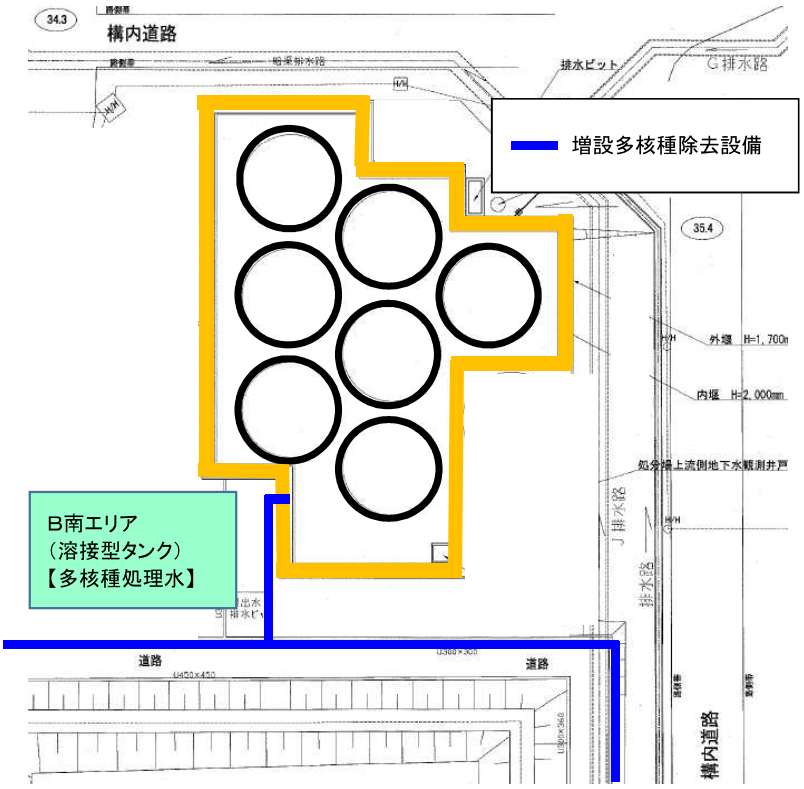
タンクエリア詳細図


H5エリア
（溶接型タンク）
【多核種処理水】
多核種除去設備
増設多核種除去設備

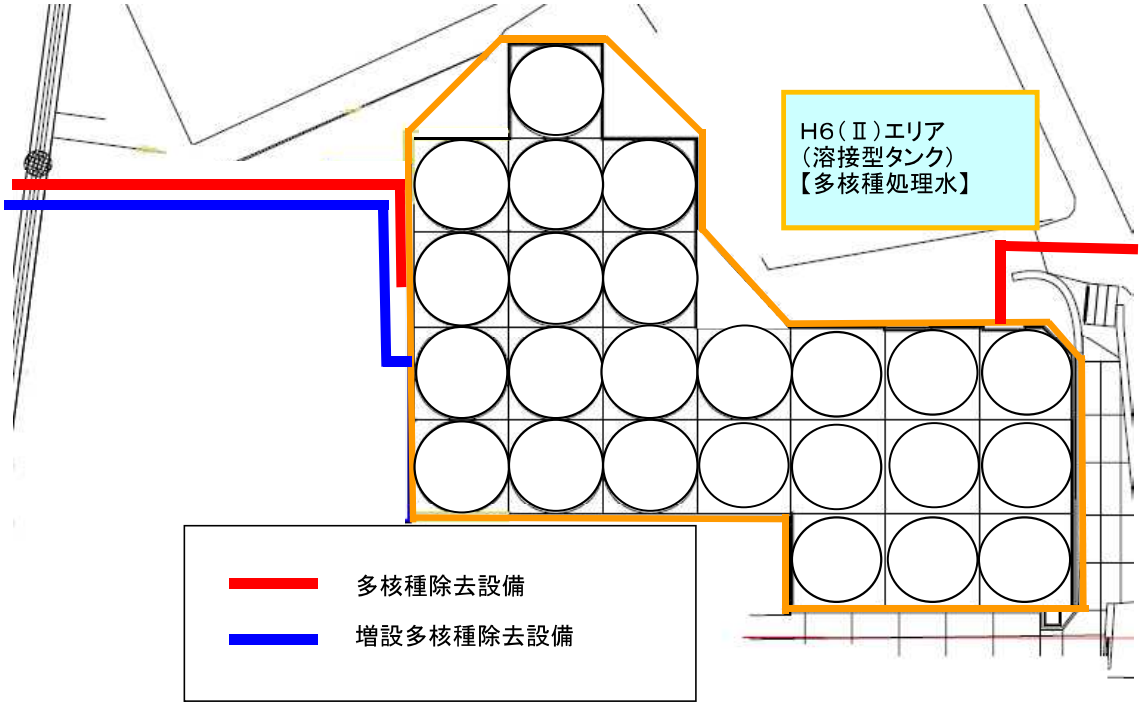

多核種除去設備
増設多核種除去設備
雨水回収タンク
H６(Ｉ)エリア
（溶接型タンク）
【多核種処理水】

タンクエリア詳細図

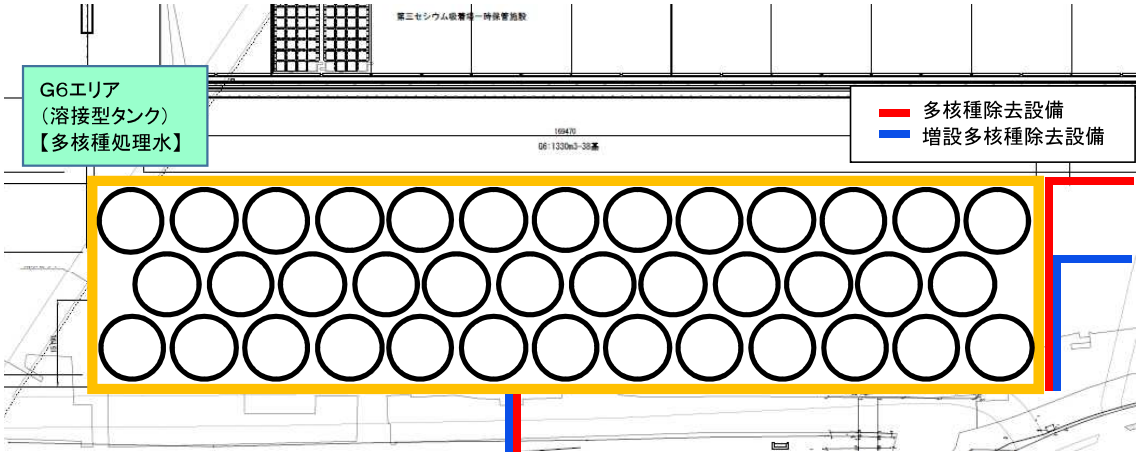

Bエリア
（溶接型タンク）
【多核種処理水】
多核種除去設備
増設多核種除去設備


34.3
構内道路
排水ピット
G排水路
増設多核種除去設備
35.4
外堰 H=1,700
内堰 H=2,000mm
処分場上流側地下水観測井戸
J排水路
B南エリア
（溶接型タンク）
【多核種処理水】
道路
道路
構内道路

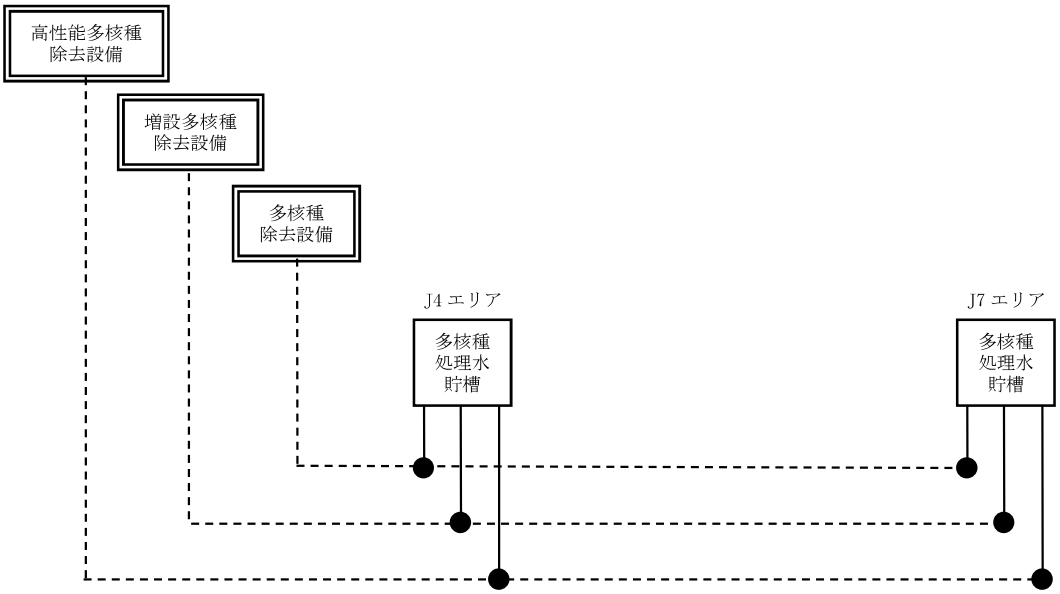
タンクエリア詳細図



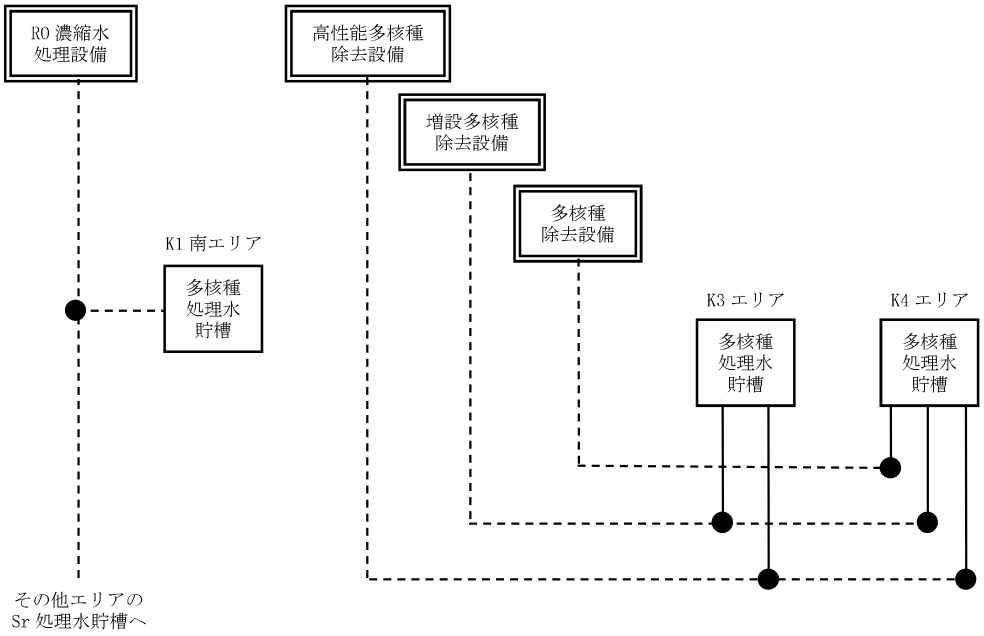
タンクエリア詳細図



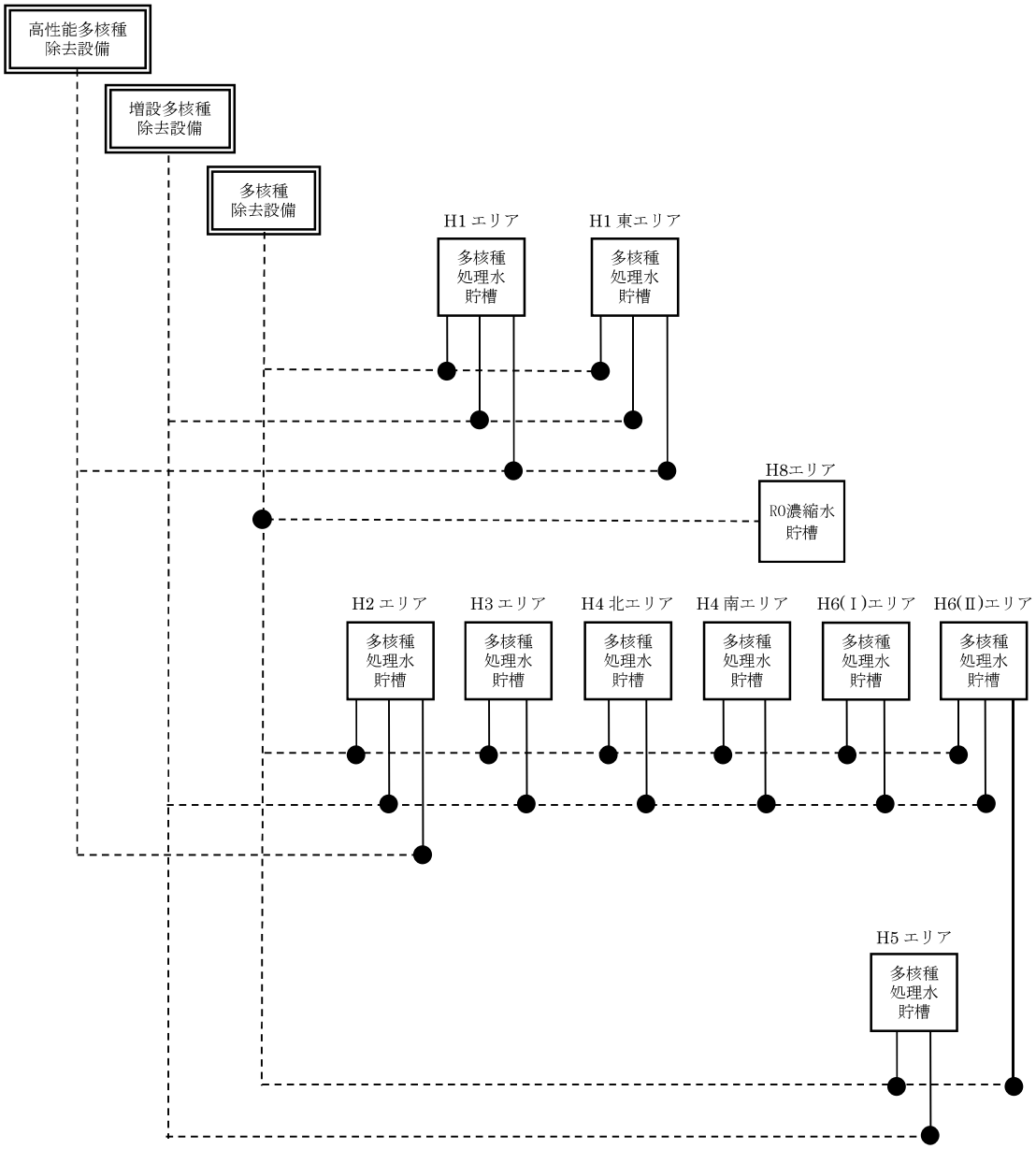
タンクエリア詳細図



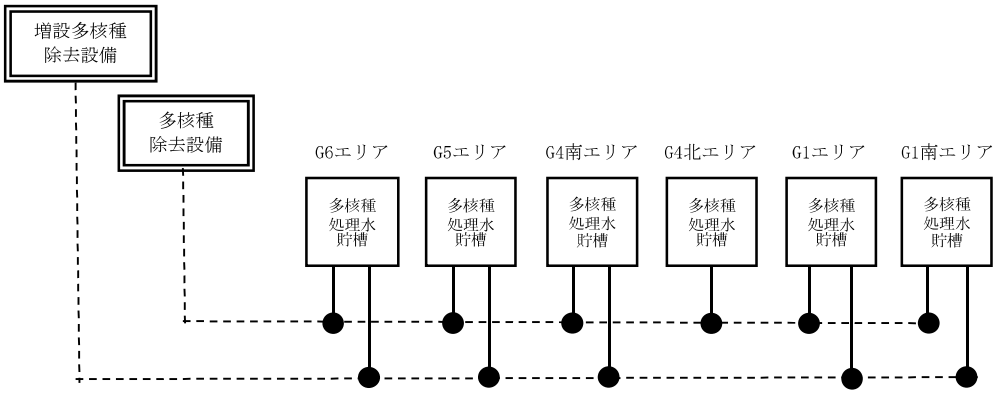
移送配管系統図（J4，J7）



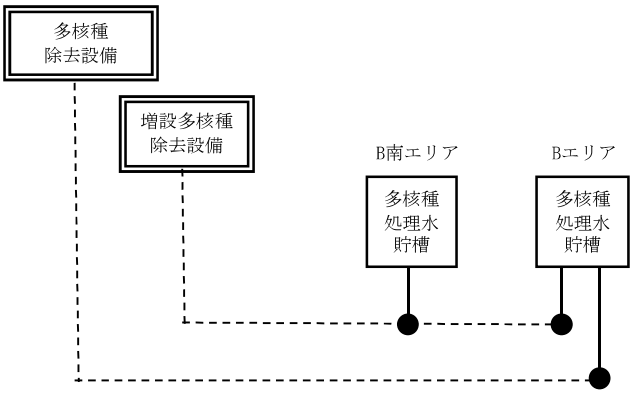
移送配管系統図（K1 南，K3，K4）



移送配管系統図（H1，H1 東，H2，H4 北，H4 南，H5，H6（Ⅰ），H3，H6（Ⅱ），H8）



移送配管系統図（G1 南，G6，G1，G4 南，G4 北，G5）

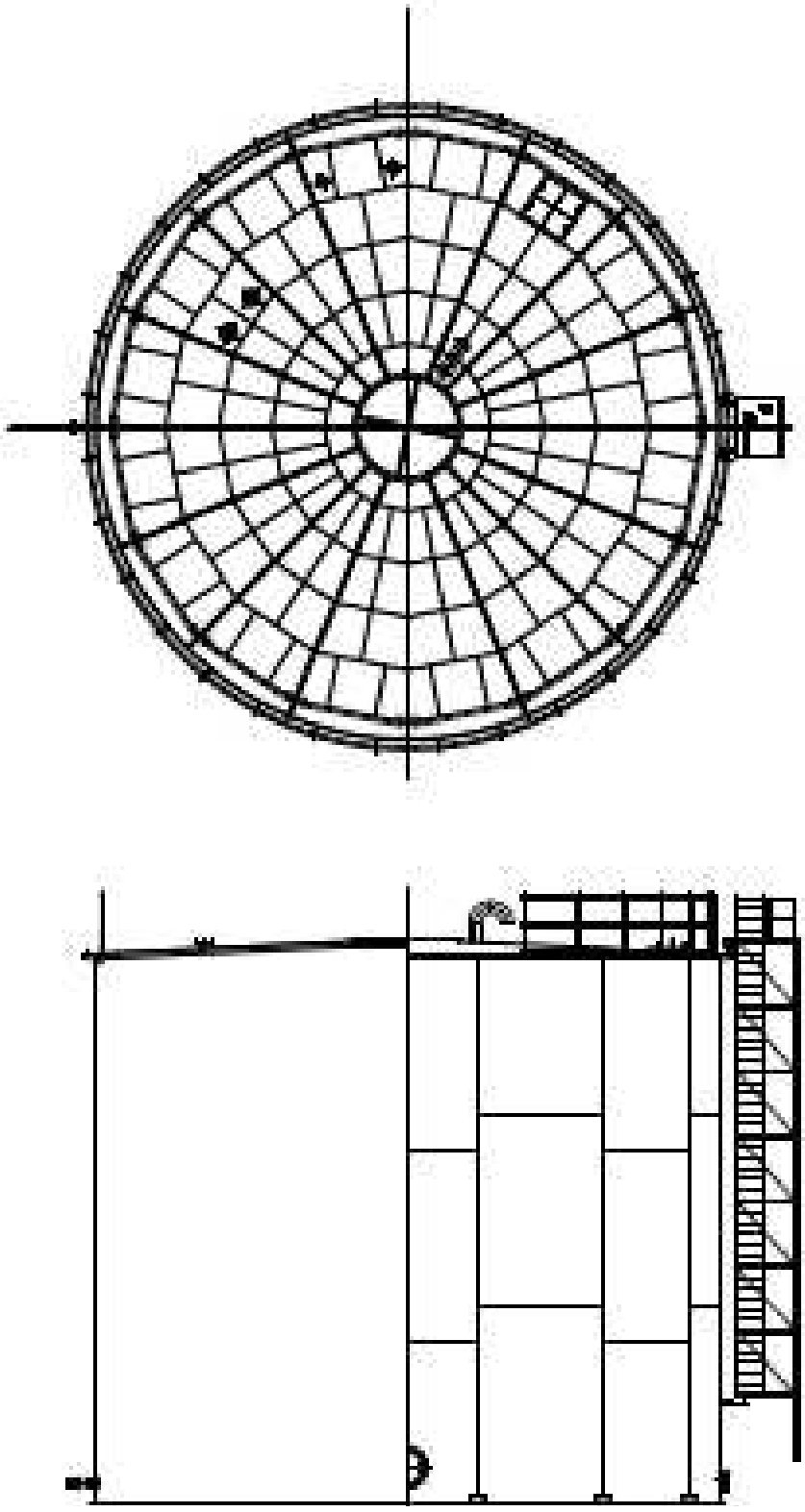


移送配管系統図（B，B 南）

（別添）RO 濃縮水貯槽，多核種処理水貯槽，Sr 処理水貯槽及び濃縮廃液貯槽のエリア別の基数について

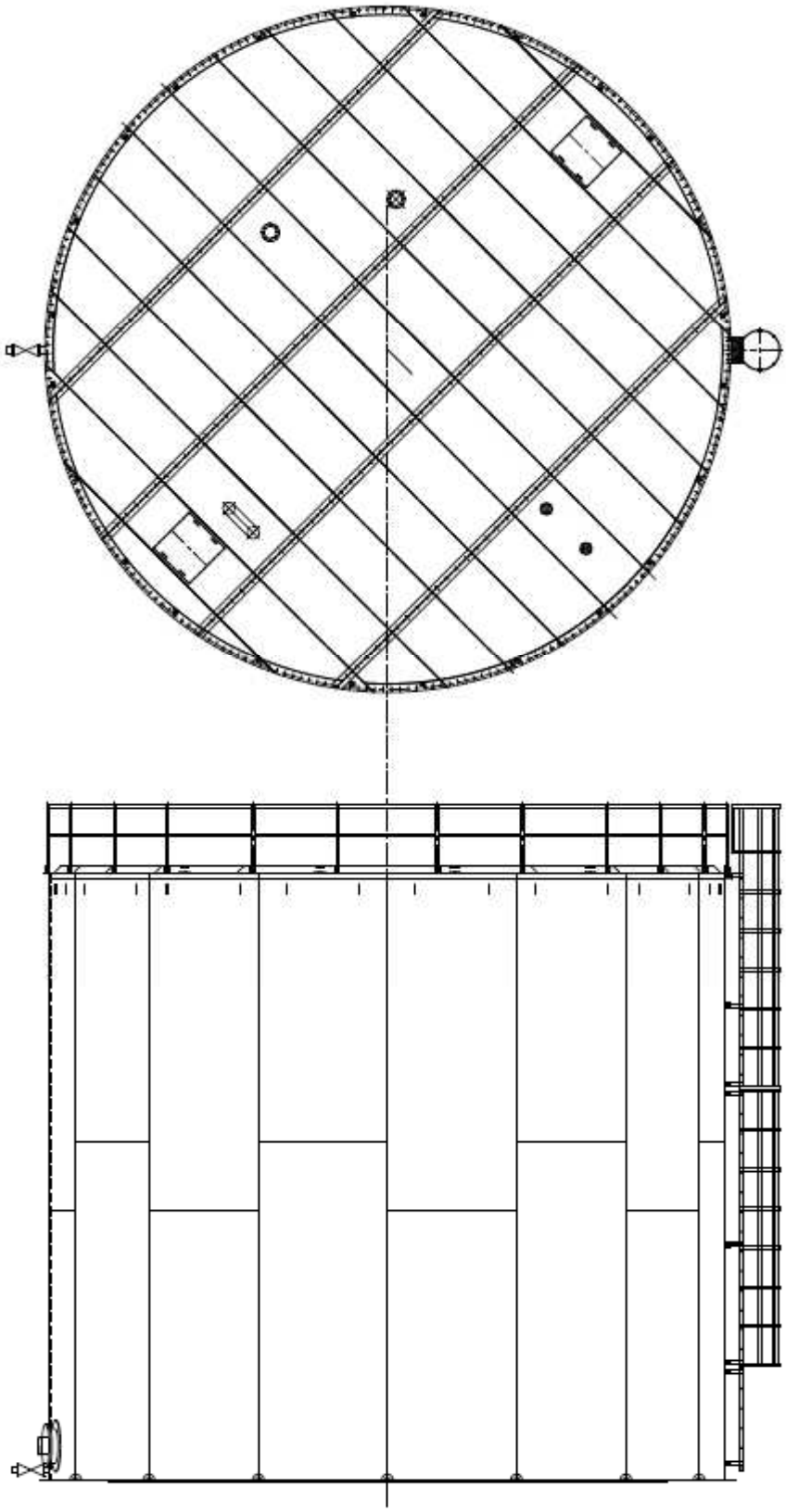
エリア	タンク公称容量[m³]	(28) RO 濃縮水貯槽	(32) 多核種処理水貯槽	(43) Sr 処理水貯槽	(44) 濃縮廃液貯槽
G3 東	1,000	0	24		
G3 北	1,000	6	0		
G3 西	1,000	39	0		
J1	1,000	100	0		
その他	1,000	16	0		
G7	700	10	0		
J5	1,235		35		
D	1,000	19	0		10
J2	2,400		42		
J3	2,400		22		
J4	2,900		30		
	1,160		5		
J6	1,200		38		
K1 北	1,200			12	
K2	1,057			28	
K1 南	1,160			10	
H1	1,220		63		
J7	1,200		42		
H1 東	1,220		24		
K3	700		12		
K4	1,000		35※		
H2	2,400		44		
H4 北	1,200		35		
H4 南	1,060		13		
	1,140		38		
G1 南	1,160		8		
	1,330		15		
H5	1,200		32		
H6(Ⅰ)	1,200		11		
B	1,330		10		
	700		27		
B 南	1,330		7		
H3	1,356		10		
H6(Ⅱ)	1,356		24		
G6	1,330		38		
G1	1,356		66		
G4 南	1,356		26		
G4 北	1,356		6		
G5	1,356		17		
計		190	799	50	10

※K4 エリアタンクの 30 基を「Ⅱ 2.50 ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設」の測定・確認用タンクと兼用する。

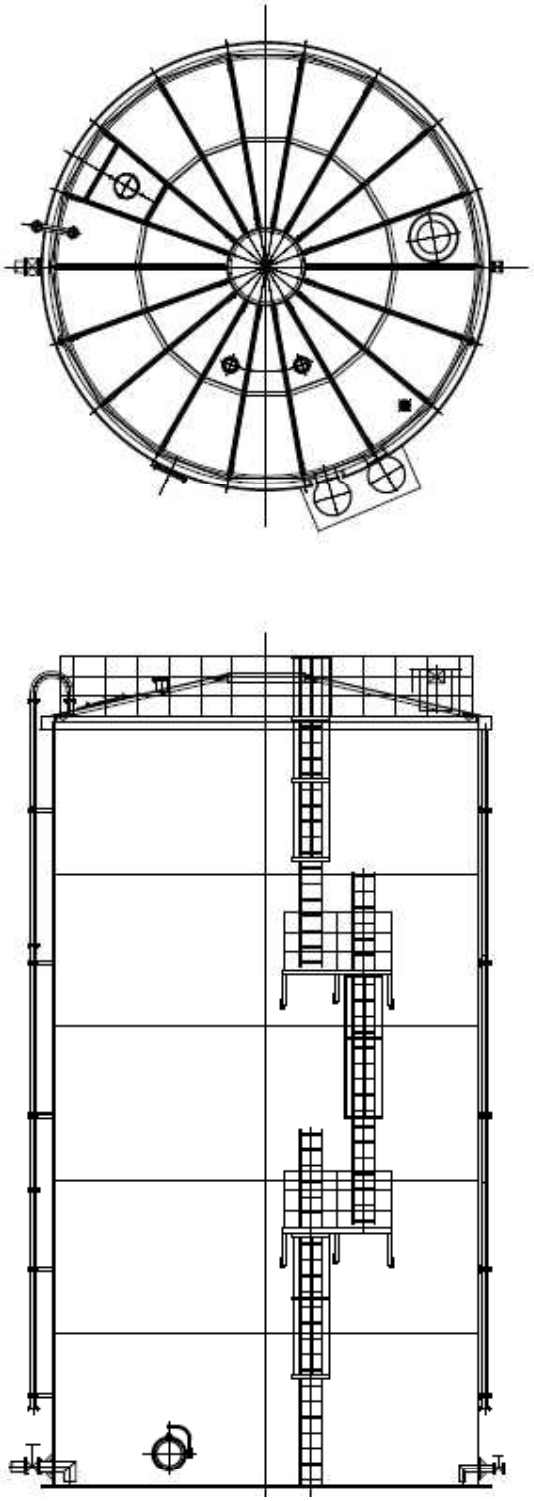


溶接型タンク概略図（G3）

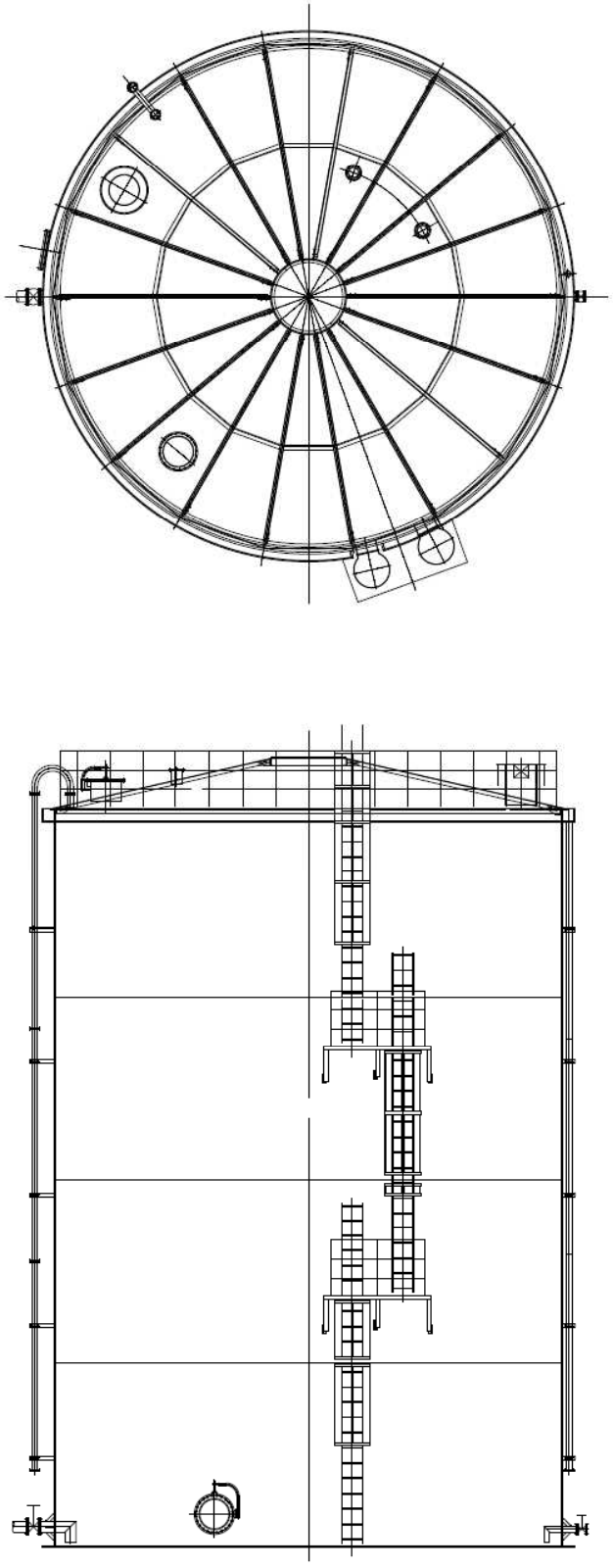
廃止（フランジタンク概略図（G4,G5））



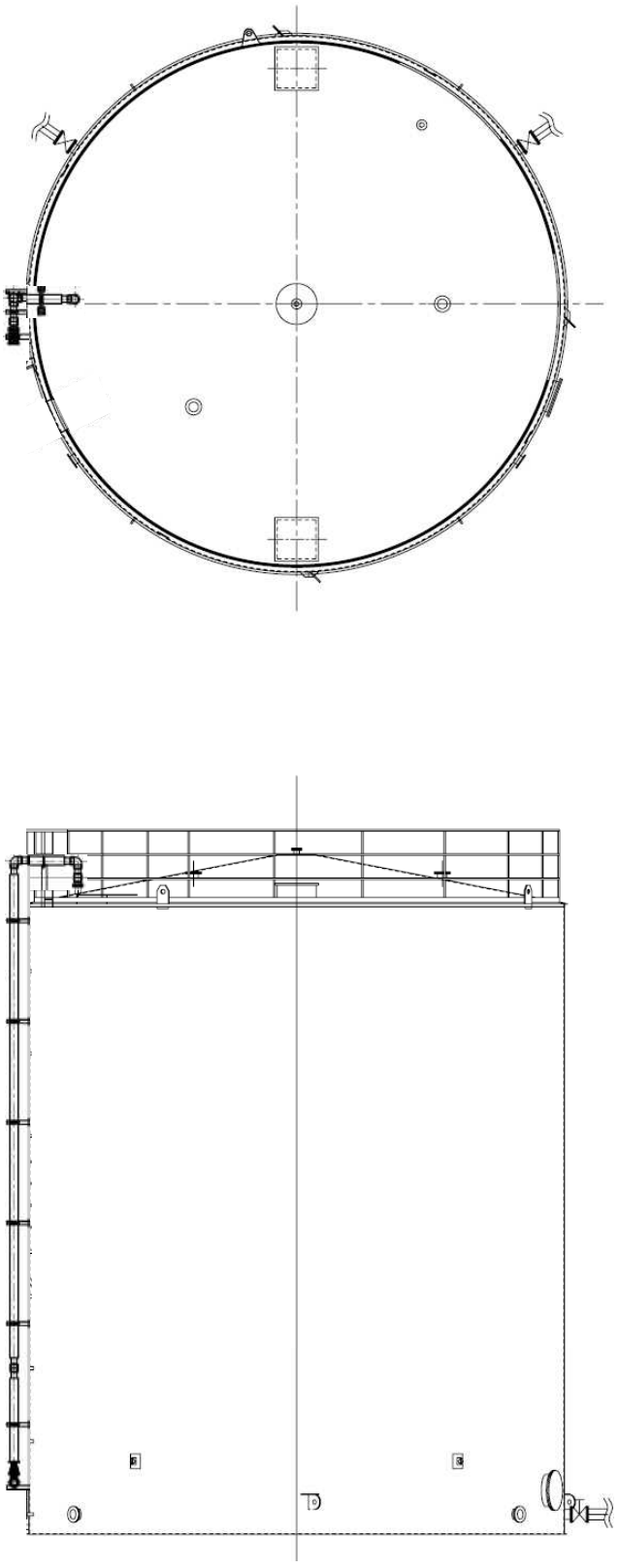
溶接型タンク概略図（J1）



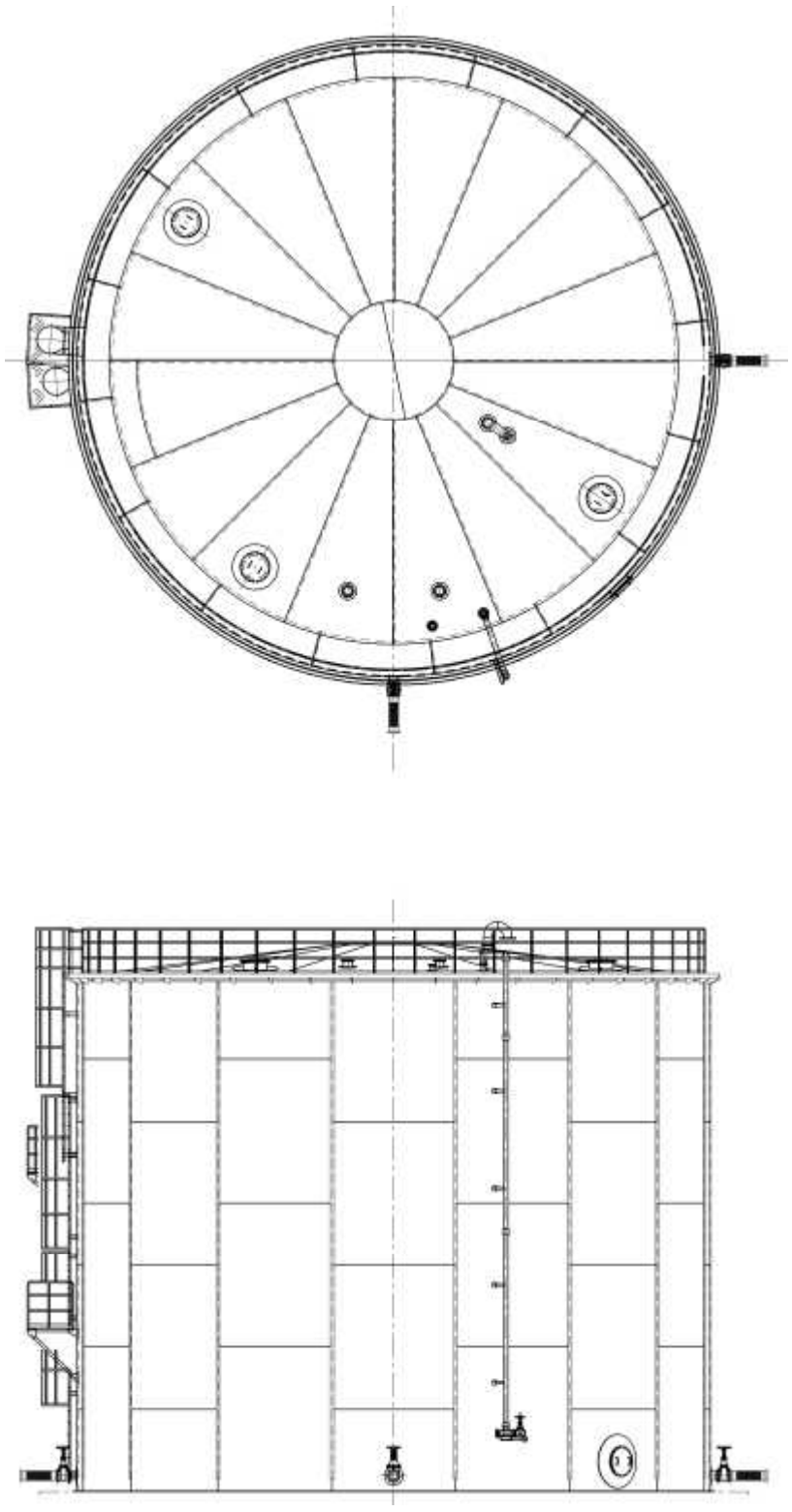
溶接型タンク概略図（G7）



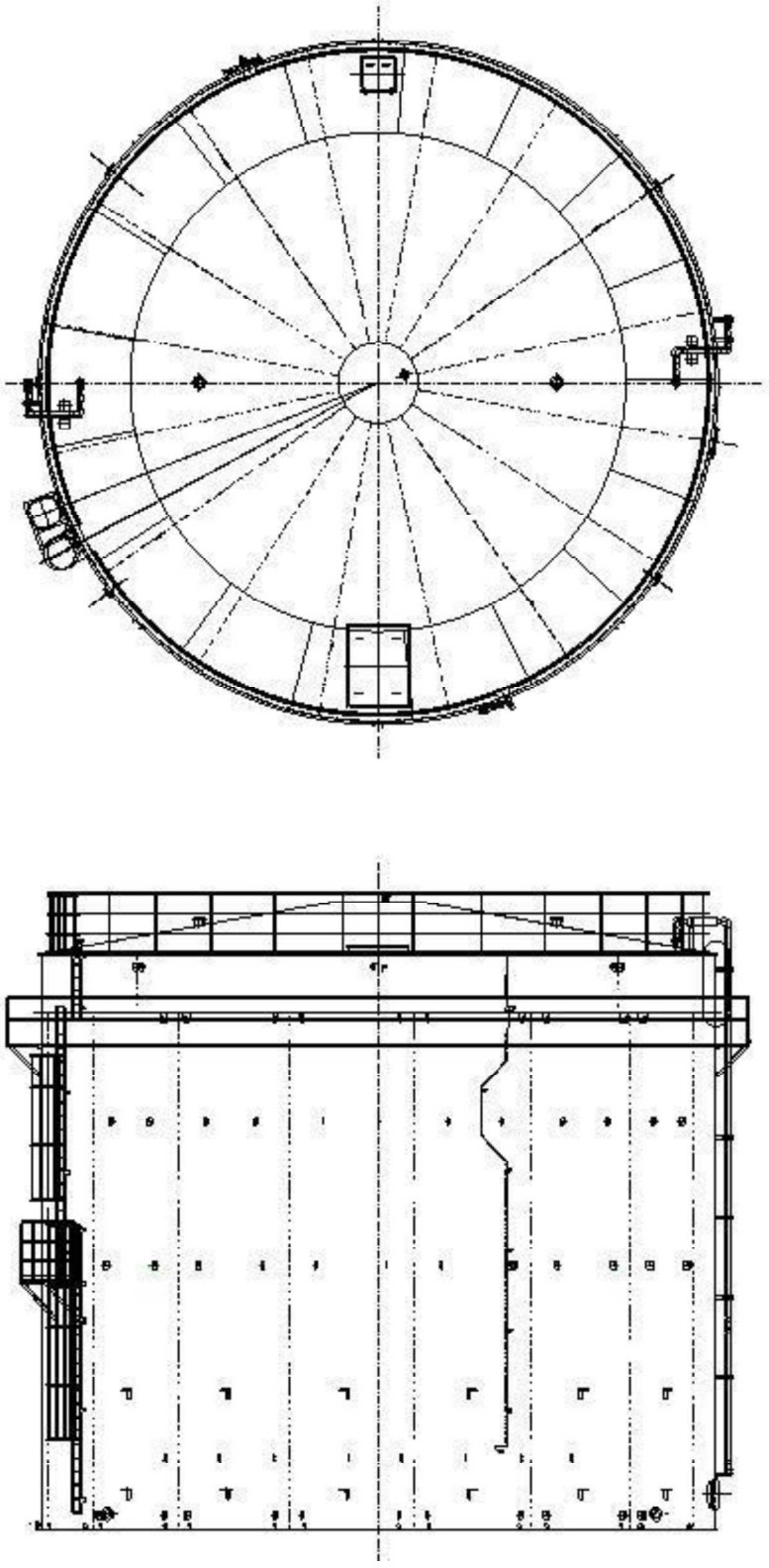
溶接型タンク概略図（D，K2，K4，H4 南(1,060m^3)）



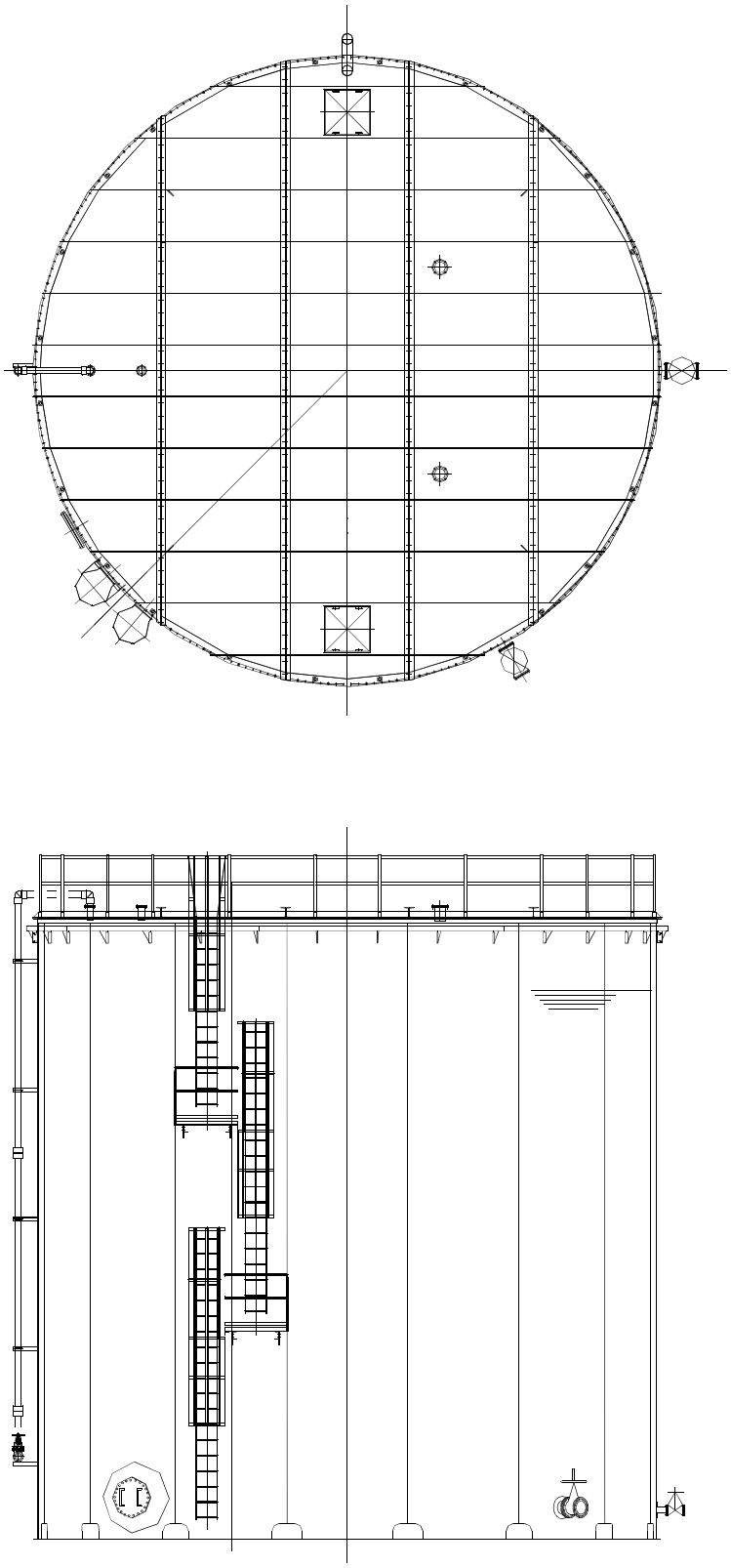
溶接型タンク概略図（J5，K1 南，J4(1,160m^3)，G1 南(1,160m^3)）



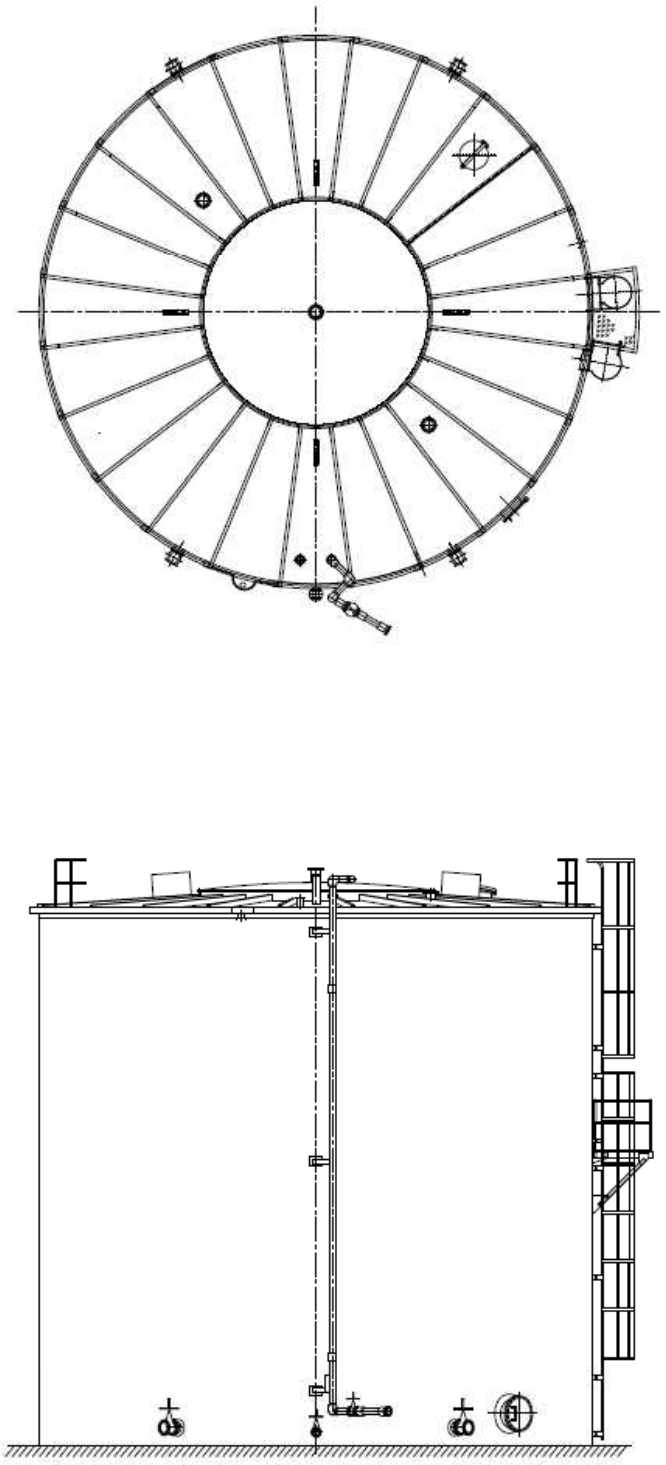
溶接型タンク概略図（J2, J3）



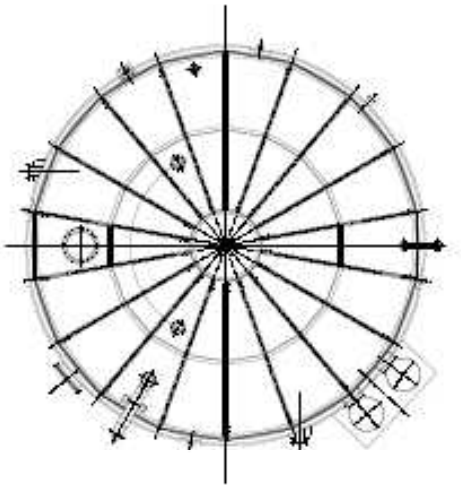
溶接型タンク概略図（J4(2,900㎥)）

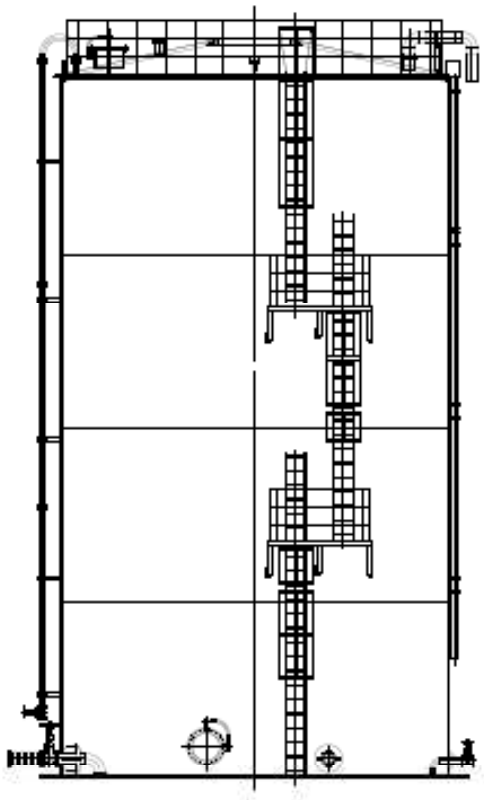


溶接型タンク概略図（J6，K1 北，J7，H5，H6(Ⅰ)）

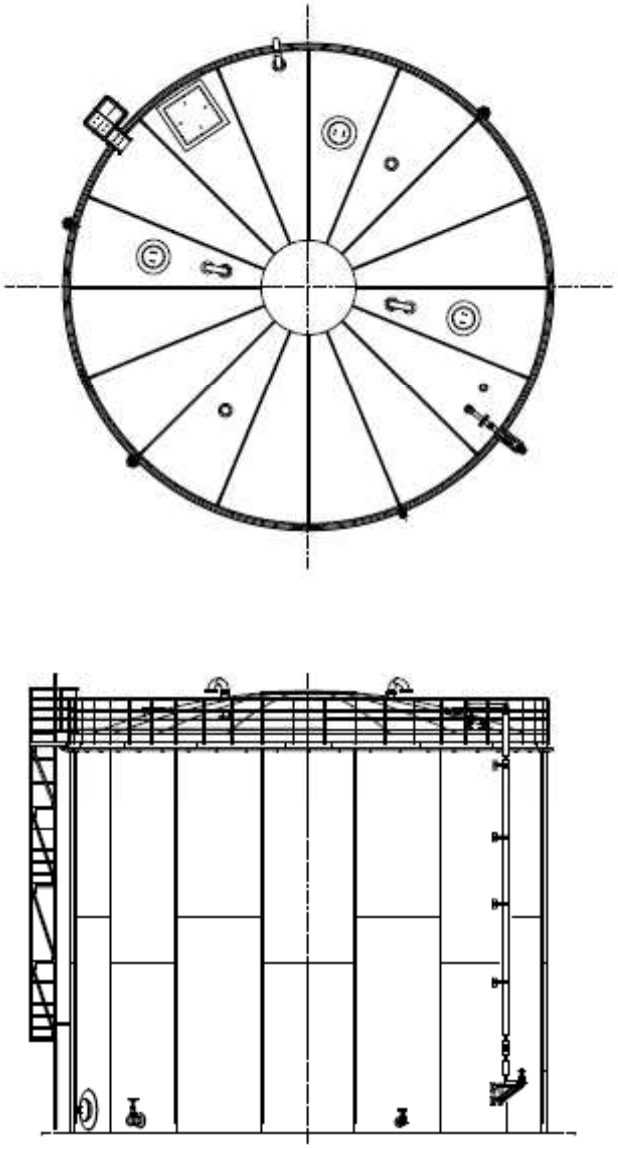


溶接型タンク概略図（H1，H1 東）

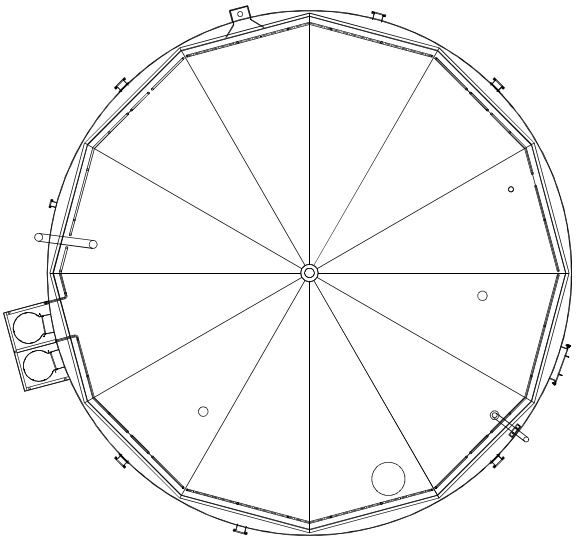


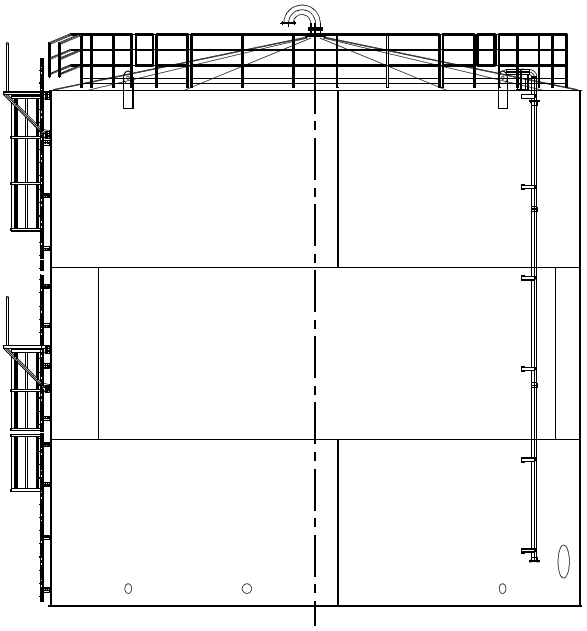


溶接型タンク概略図（K3）

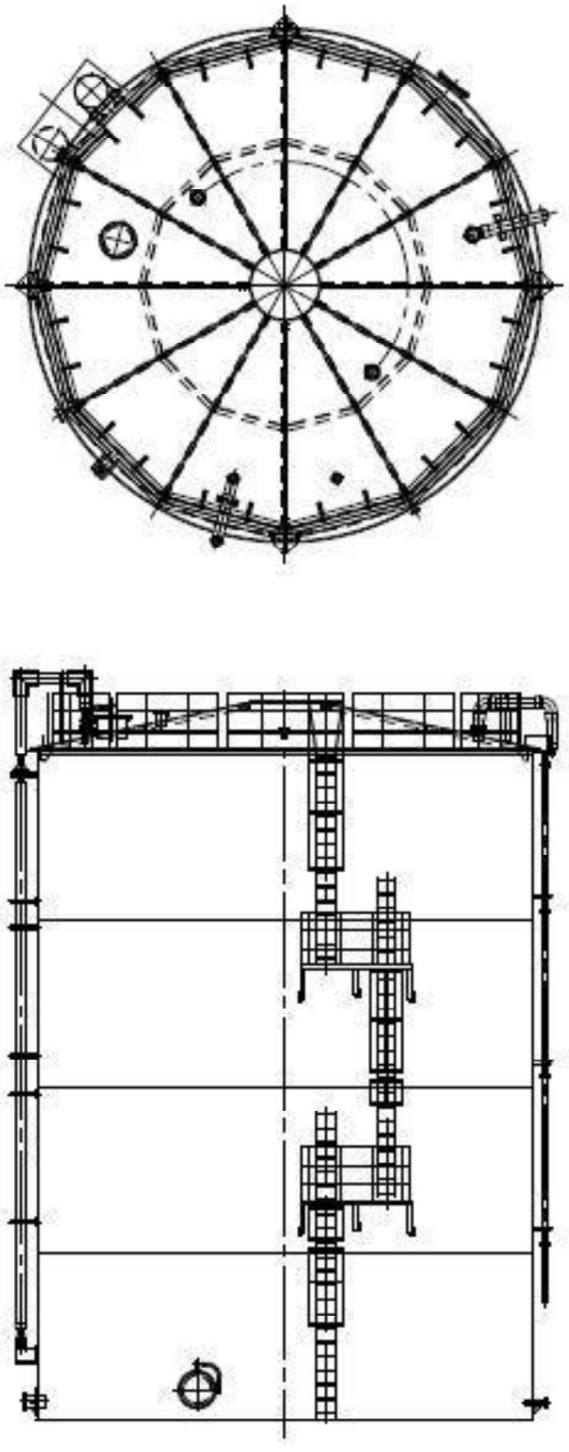


溶接型タンク概略図（H2）

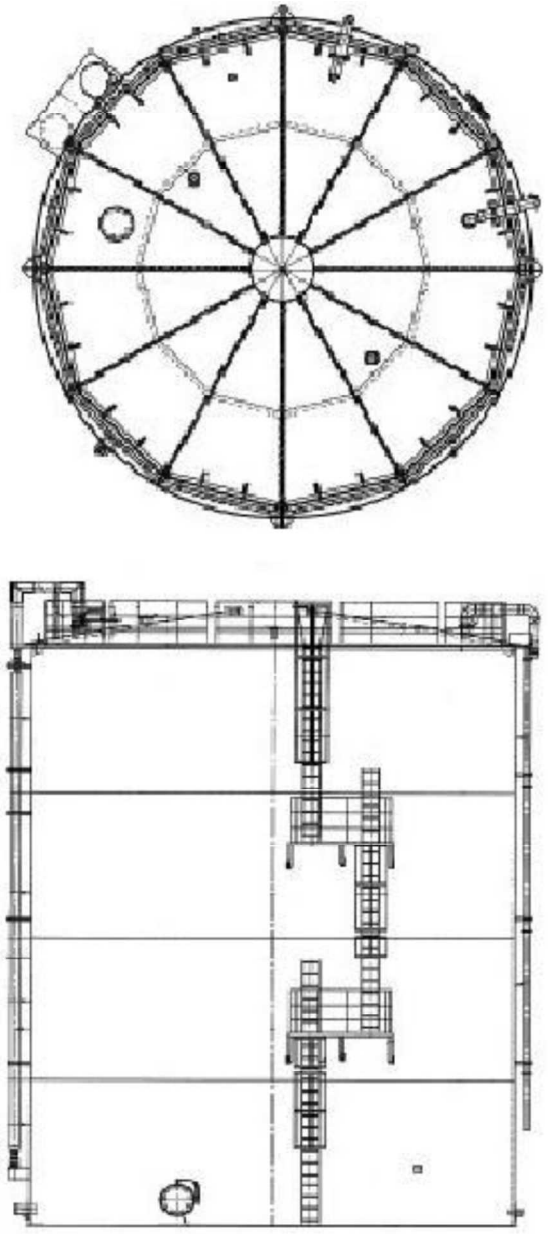




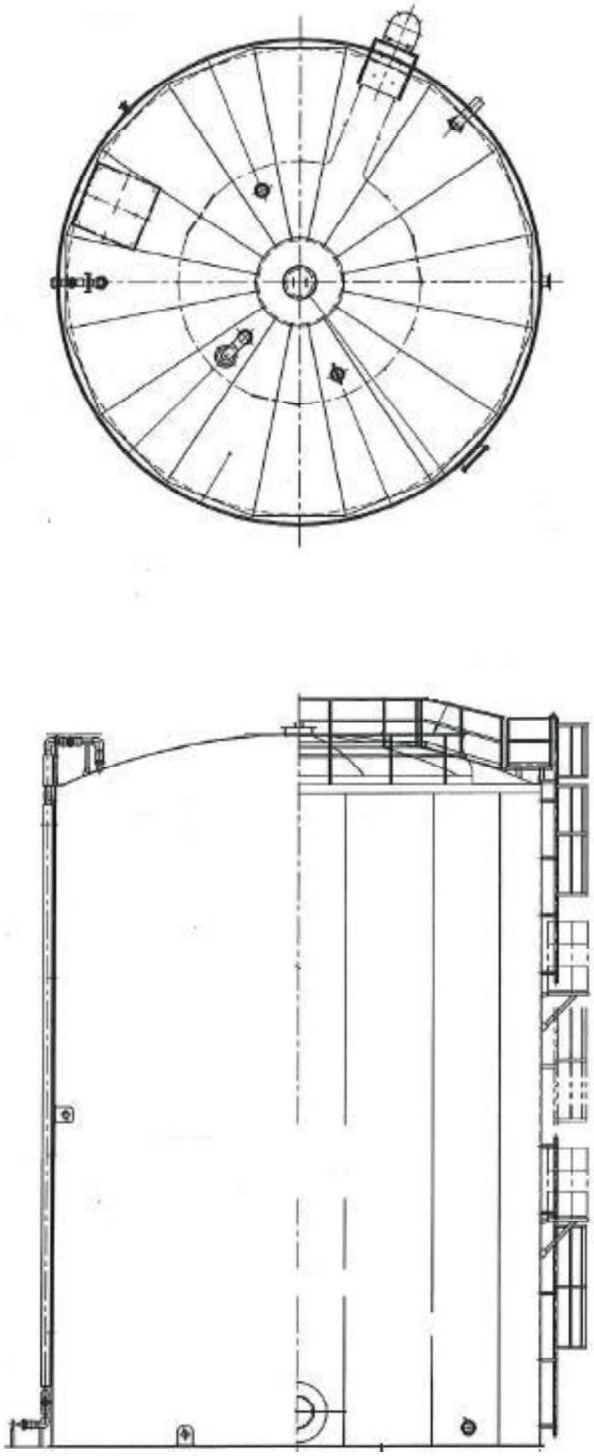
溶接型タンク概略図（H4 北）



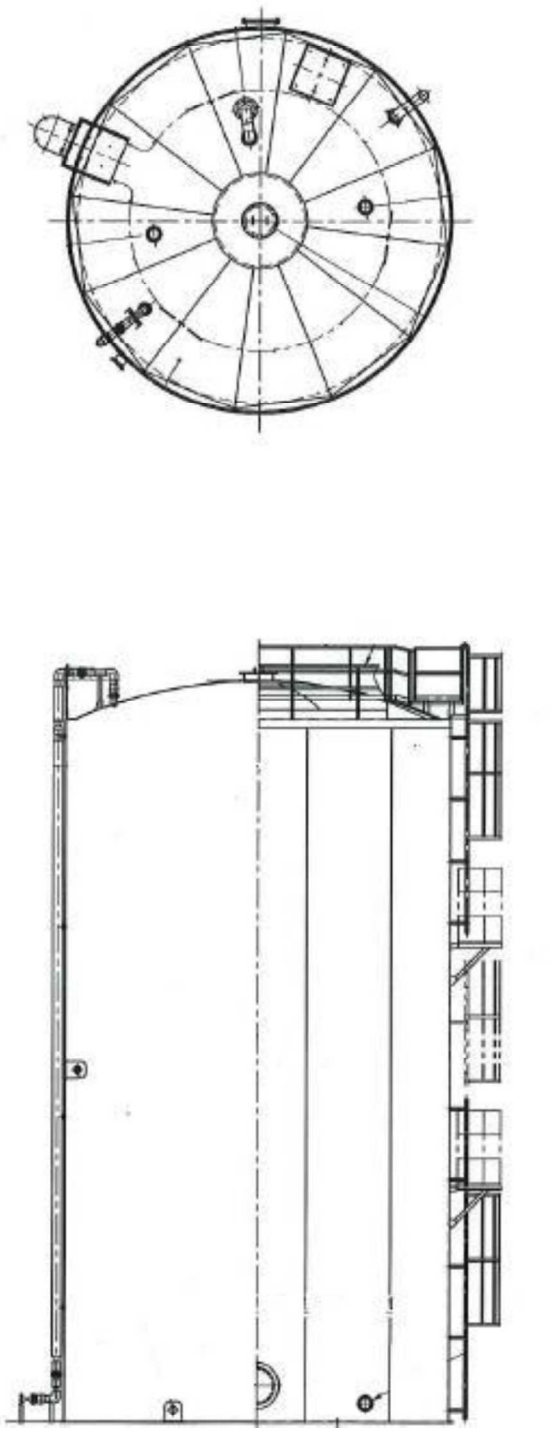
溶接型タンク概略図（H4 南(1,140m^3)）



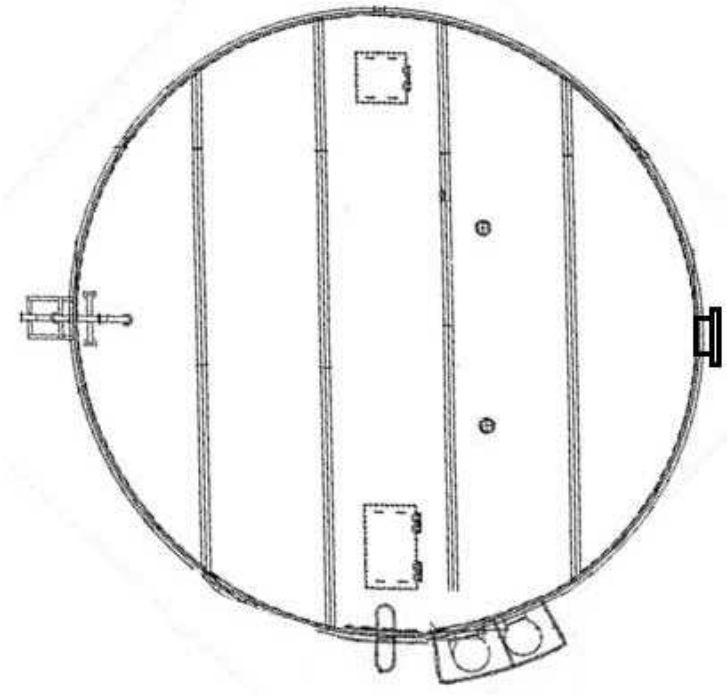
溶接型タンク概略図（G1 南（1,330m^3））

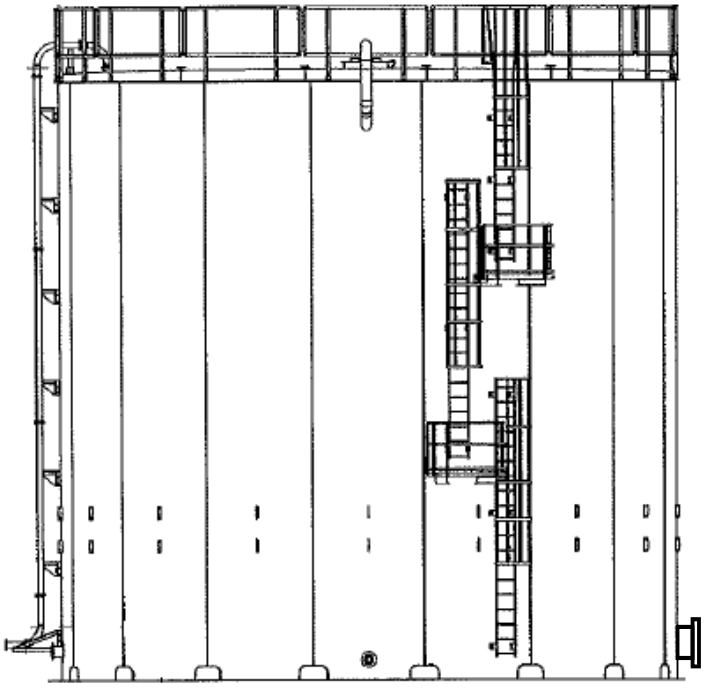


溶接型タンク概略図（B，B南(1,330m^3)）

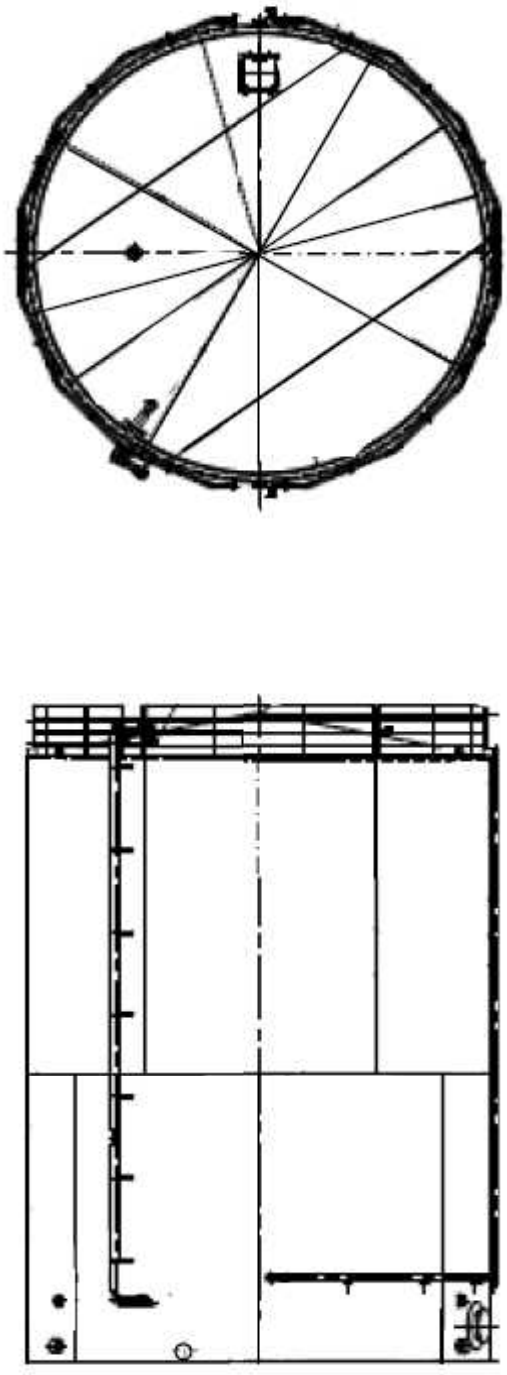


溶接型タンク概略図（B(700m^3)）





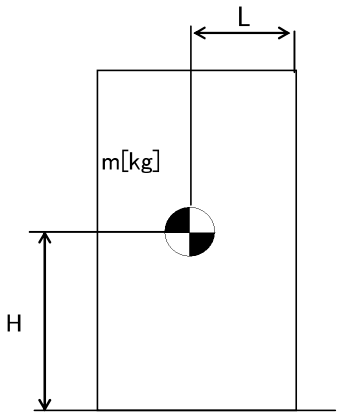
溶接型タンク概略図（H3,H6(Ⅱ),G1,G4 南，G4 北，G5）



溶接型タンク概略図（G6）

中低濃度タンクに対する静的地震力 3.6Ci を適用した場合の転倒評価

J2・J3・J4・J6・K1 北・K2・K1 南・H1・J7・H1 東・K3・K4・H2・H4 北・H4 南・G1 南・H5・H6(Ⅰ)・H3・H6(Ⅱ)エリアの中低濃度タンクについて，参考として静的地震力 3.6Ci を適用した場合の転倒評価を行う。地震による転倒モーメントと自重による安定モーメントを算出し，それらを比較することにより転倒評価を実施した。評価の結果，地震による転倒モーメントは自重による安定モーメントより小さいことから，転倒しないことを確認した。



m ： 機器質量
g ： 重力加速度
H ： 据付面からの重心までの距離
L ： 転倒支点から機器重心までの距離
C_H ： 水平方向設計震度

地震による転倒モーメント：M_1[N・m]=m×g×C_H×H
自重による安定モーメント：M_2[N・m]=m×g×L

中低濃度タンクの転倒評価結果(1/2)

機器名称		評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
多核種処理水貯槽	700m³容量	本体	転倒	0.72	3.470×10^4※1	3.477×10^4	kN・m
	1000m³容量※2	本体	転倒	0.72	5.5×10^4	5.8×10^4	kN・m
	1060m³容量※2	本体	転倒	0.72	5.7×10^4	5.9×10^4	kN・m
	1140m³容量※2	本体	転倒	0.72	6.1×10^4	6.3×10^4	kN・m
	1160m³容量	本体	転倒	0.72	6.2×10^4	7.1×10^4	kN・m
	1200m³容量	本体	転倒	0.72	6.1×10^4	8.3×10^4	kN・m
				0.72	4.9×10^4	7.5×10^4	kN・m
	1220m³容量	本体	転倒	0.72	5.4×10^4	7.8×10^4	kN・m
	1330m³容量	本体	転倒	0.72	7.99×10^4	8.18×10^4	kN・m
	1356m³容量	本体	転倒	0.72	6.8×10^4	9.6×10^4	kN・m

※１：スロッシングによる液面振動を加味した算出値

※２：公称容量での評価

中低濃度タンクの転倒評価結果(2/2)

機器名称		評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
多核種処理水貯槽	2400m³容量(J2, J3)	本体	転倒	0.72	1.36×10^{5}	2.32×10^{5}	kN・m
	2400m³容量(H2)	本体	転倒	0.72	1.38×10^{5}	2.32×10^{5}	kN・m
	2900m³容量	本体	転倒	0.72	1.5×10^{5}	2.5×10^{5}	kN・m
Sr処理水貯槽	1057m³容量※	本体	転倒	0.72	5.5×10^{4}	5.8×10^{4}	kN・m
	1160m³容量	本体	転倒	0.72	6.2×10^{4}	7.1×10^{4}	kN・m
	1200m³容量	本体	転倒	0.72	6.1×10^{4}	8.3×10^{4}	kN・m

※：公称容量での評価

以上

中低濃度タンクに対する波及的影響評価について

中低濃度タンクのうち，高性能多核種除去設備上屋に隣接する立地となる K3，K4 エリア，RO 濃縮水移送配管に隣接する立地となる H4 南，H5，H6(Ⅰ)エリア，蒸発濃縮装置に隣接する立地となる H6(Ⅱ)エリアについて，波及的影響の有無について評価を実施した。タンク設置エリアにおける基準地震動 Ss-1，2，3 のうち，水平方向及び鉛直方向の応答加速度の組み合わせが最も厳しい時刻における転倒評価を行った結果，タンクが転倒せず，波及的影響がないことを確認した。

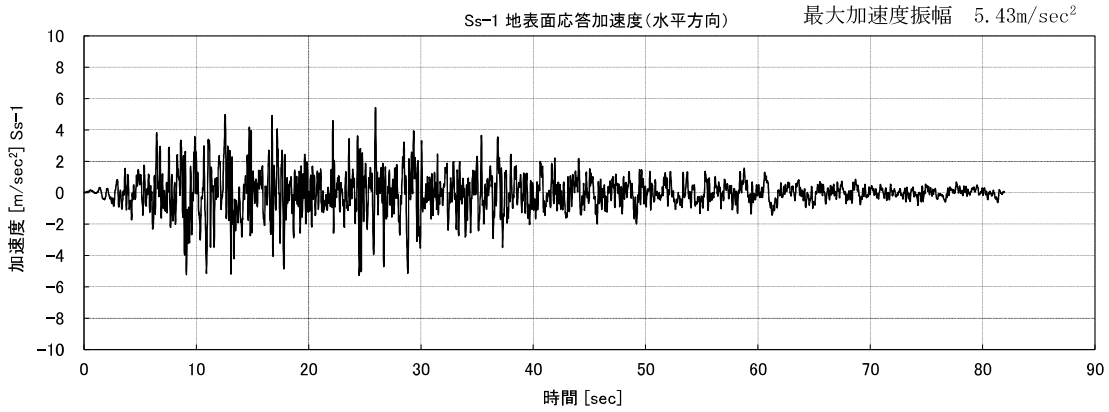
転倒評価の内容は下記の通り。

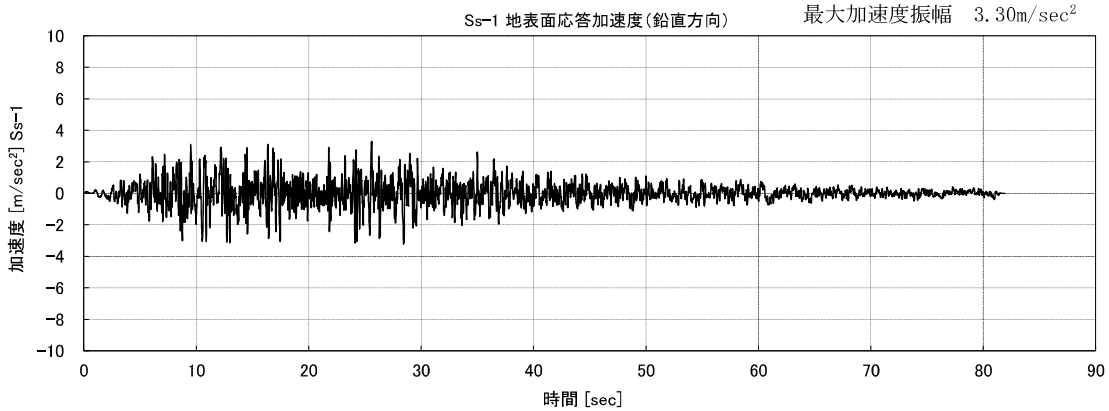
- タンク設置エリアの地表面における基準地震動：Ss-1，2，3 で，水平方向及び鉛直方向の応答加速度の組み合わせが最も厳しい時刻における転倒モーメントをスロッシングによる液面振動を加味して算出する。
- タンク設置エリアの地表面における基準地震動：Ss-1，2，3 で，水平方向及び鉛直方向の応答加速度の組み合わせが最も厳しい時刻における安定モーメントを算出する。
- 各基準地震動において，転倒モーメントと安定モーメントを比較し，転倒モーメントが安定モーメントより小さいことを確認する。

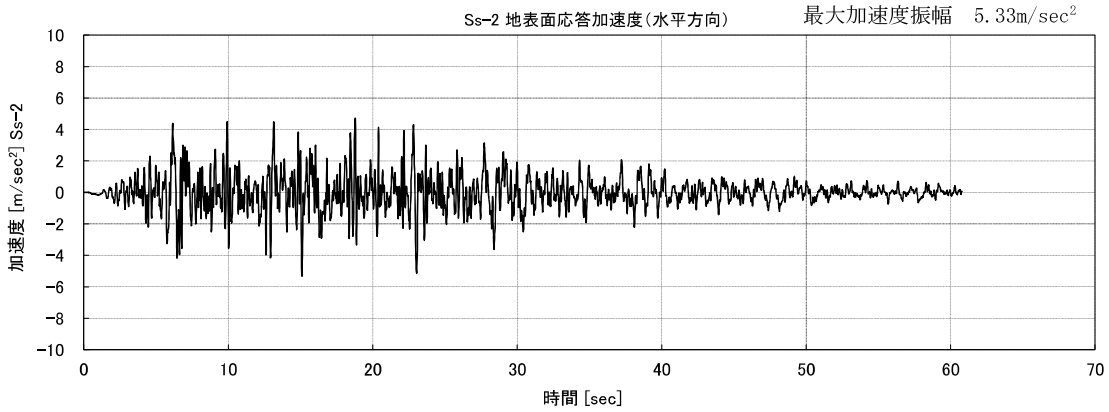
$$M = Ch \times g \times W0 \times h0 + 1.2 \times W1 \times g \times \theta h \times h1$$

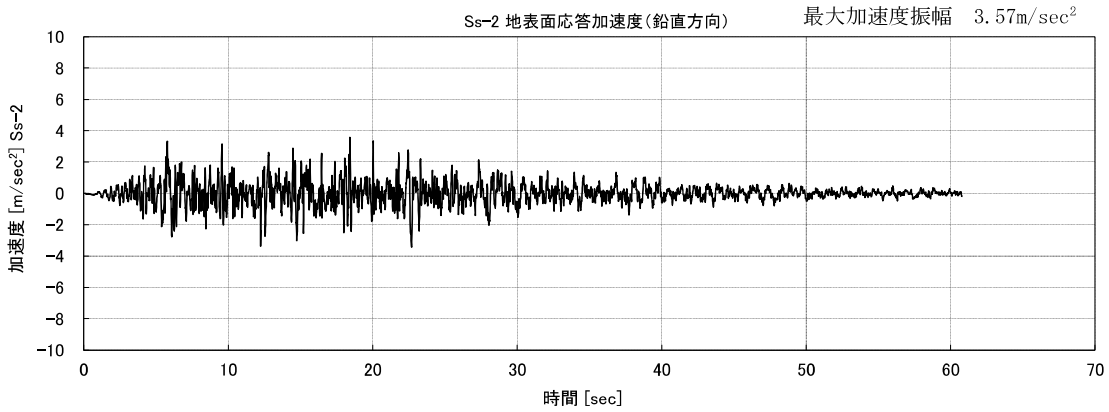
$$Mc = m0 \times (1 - Cv)^{※} \times g \times r \qquad ※：(1 - Cv) \leqq 1$$

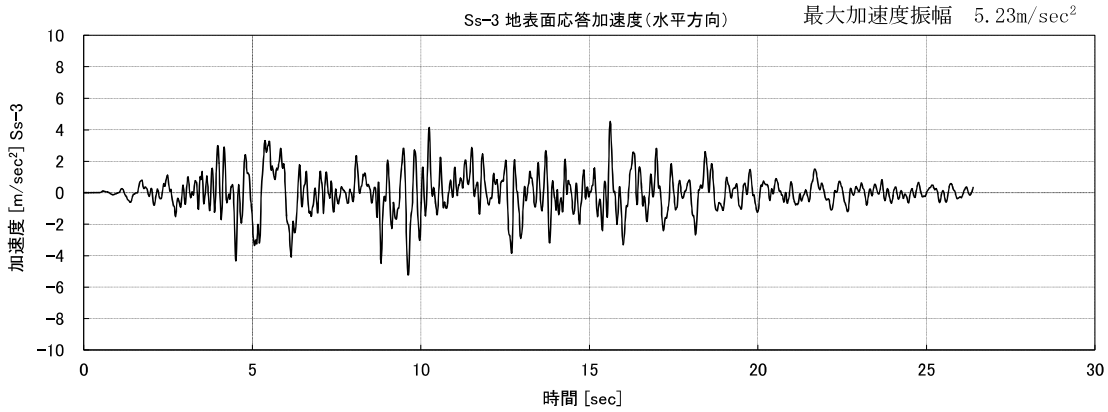
M：転倒モーメント（kN・m）
Mc：安定モーメント（kN・m）
W0：スロッシングによる衝撃力を加味した全等価質量（t）
W1：スロッシングによる振動力を加味した内包水の等価質量（t）
h0：W0 の作用点高さ（m）
h1：W1 の作用点高さ（m）
θh：液体表面の自由振動角度（rad）
m0：総重量（t）
r：底板半径（m）
Ch：水平方向震度
Cv：鉛直方向震度
g：重力加速度（m/s^2）

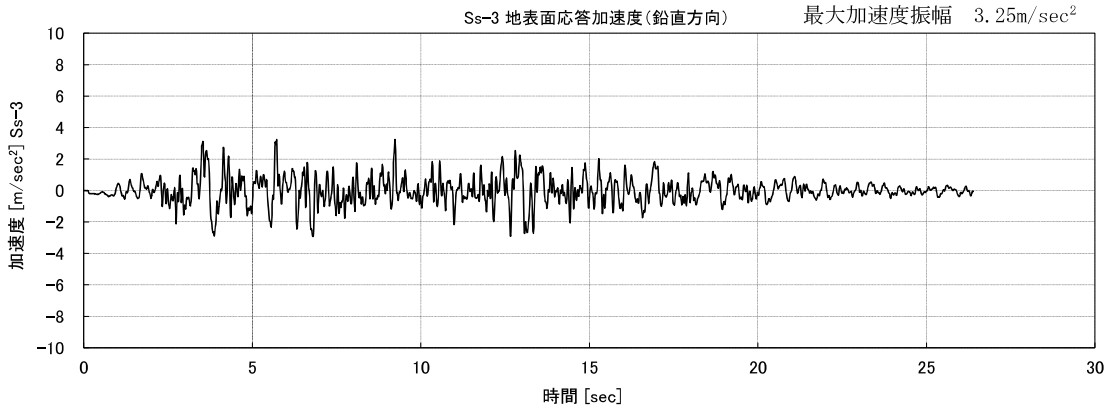

Ss-1 地表面応答加速度(水平方向)
最大加速度振幅　5.43m/sec²
加速度 [m/sec²] Ss-1
時間 [sec]


Ss-1 地表面応答加速度(鉛直方向)
最大加速度振幅　3.30m/sec²
加速度 [m/sec²] Ss-1
時間 [sec]


Ss-2 地表面応答加速度(水平方向)
最大加速度振幅　5.33m/sec²
加速度 [m/sec²] Ss-2
時間 [sec]


Ss-2 地表面応答加速度(鉛直方向)
最大加速度振幅　3.57m/sec²
加速度 [m/sec²] Ss-2
時間 [sec]





中低濃度タンクの波及的影響評価結果

機器名称		評価部位	評価項目	基準地震動	算出値		単位
					転倒モーメント	安定モーメント	
多核種処理水貯槽	700m³容量	本体	転倒	Ss-1	2.5×10^4	2.9×10^4	kN・m
				Ss-2	2.7×10^4	3.1×10^4	kN・m
				Ss-3	2.3×10^4	3.0×10^4	kN・m
	1000m³容量	本体	転倒	Ss-1	3.1×10^4	4.6×10^4	kN・m
				Ss-2	2.5×10^4	4.1×10^4	kN・m
				Ss-3	3.4×10^4	5.6×10^4	kN・m
	1060m³容量	本体	転倒	Ss-1	2.9×10^4	4.3×10^4	kN・m
				Ss-2	2.4×10^4	3.9×10^4	kN・m
				Ss-3	3.2×10^4	5.3×10^4	kN・m
	1140m³容量	本体	転倒	Ss-1	3.0×10^4	4.5×10^4	kN・m
				Ss-2	2.5×10^4	4.1×10^4	kN・m
				Ss-3	3.4×10^4	5.6×10^4	kN・m
	1200m³容量	本体	転倒	Ss-1	2.4×10^4	5.4×10^4	kN・m
				Ss-2	2.0×10^4	4.9×10^4	kN・m
				Ss-3	1.7×10^4	5.5×10^4	kN・m
	1356m³容量	本体	転倒	Ss-1	3.1×10^4	6.9×10^4	kN・m
				Ss-2	2.6×10^4	6.3×10^4	kN・m
				Ss-3	2.1×10^4	7.1×10^4	kN・m

以上

中低濃度タンクに対するスロッシング評価

J6・K1 北・K2・K1 南・H1・J7・J4(1,160m^3)・H1 東・K3・K4・H2・H4 北・H4 南・G1 南・H5・H6(Ⅰ)・ B・B 南・H3・H6(Ⅱ), G6 エリアの円筒型の中低濃度タンクについて地震発生時のタンク内包水のスロッシング評価を実施した。速度ポテンシャル理論に基づきスロッシング波高の評価を行った結果，スロッシング時のタンク内の液位がタンク天板に到達しないことを確認した。

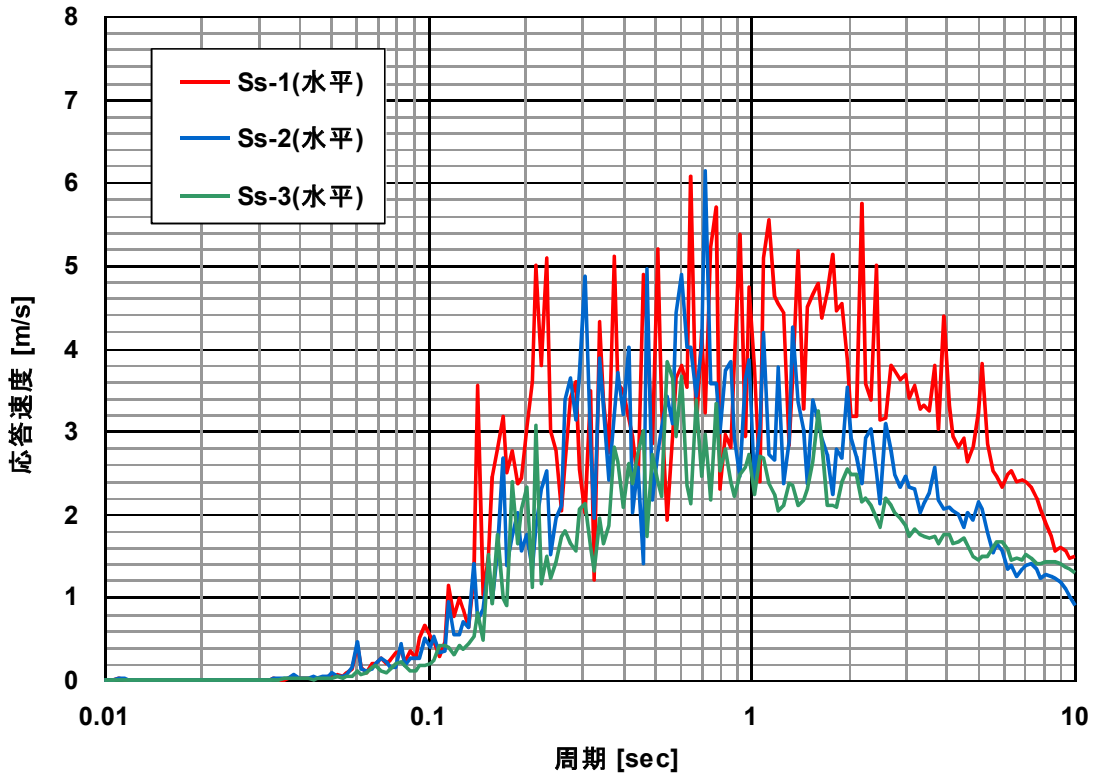
スロッシング評価の流れは下記の通り。

- 速度ポテンシャル理論に基づき，スロッシング固有周期（水面の一次固有周期）を算出する。
- タンク設置エリアの地表面における基準地震動：Ss-1,2,3 に対する速度応答スペクトルから，スロッシング固有周期に応じた速度応答値を求める。
- 速度ポテンシャル理論に基づき，速度応答値からスロッシング波高を算出する。
- スロッシング波高がタンク高さを超えないことを確認する。

$$T_s = 2\pi\sqrt{\frac{D}{3.68g}\coth\left(\frac{3.68H}{D}\right)}$$

$$\eta = 0.837\left(\frac{D}{2g}\right)\left(\frac{2\pi}{T_s}\right)S_v$$

D ： タンク内径［m］
H ： タンク液位［m］
g ： 重力加速度［m/s^2］
T_s ： スロッシング固有周期［s］
S_v ： 速度応答値［m/s］
η ： スロッシング波高［m］



速度応答スペクトル（水平方向・減衰なし）

中低濃度タンクのスロッシング評価結果

機器名称		スロッシング波高［mm］	スロッシング時液位［mm］	タンク高さ［mm］
多核種処理水貯槽	700m³容量	670	14，400	14，730
	1000m³容量	662	14，127	14，565
	1060m³容量	662	14，274	14，565
	1140m³容量	682	14，068	14，127
	1160m³容量	702	12，908	13，000
	1200m³容量	799	11，410	12，012
		799	11，499	11，700
	1220m³容量	799	11，586	11，610
	1330m³容量	701	14，696	14，878
		701	14，696	14，900
		701	14，696	14，715
	1356m³容量	817	11，867	12，112
	2400m³容量	753	12，403	13，200
Sr 処理水貯槽	1057m³容量	662	14，127	14，565
	1160m³容量	702	12，908	13，000
	1200m³容量	799	11，410	12，012

以上

中低濃度タンクのうち耐震Ｃクラスと位置づけられるタンクについて

G4 北，G5 エリアに設置するタンクについては，トリチウム以外の放射性物質を告示濃度限度比総和 1 未満となるまで浄化処理した水を貯留することを踏まえ，設備等の機能喪失による公衆への放射線影響の程度，及び機動的対応等の影響を緩和する措置により，耐震Ｃクラスと位置づけられる。

1. 貯留水の混水の可能性について

G4 北，G5 エリアのタンクにトリチウム以外の放射性物質の告示濃度限度比総和 1 以上の水が混水することを防止するために，以下，設計，運用上の対策を行う。

- 当該タンクに接続する移送配管は，多核種除去設備等の移送配管のみであり，配管構成上，Sr 処理水等が混水する可能性は無い。
- 多核種除去設備等の移送配管を使用し，至近に移送を行った G1 エリアタンクの放射能濃度は，トリチウム以外の放射性物質※1の告示濃度限度比総和が 1 未満であることを確認している。
- 当該タンクは K4 エリアタンクの水抜きを行う際の移送先としても使用を予定しており，K4 エリアタンクの水質は，トリチウム以外の放射性物質※1の告示濃度限度比総和が 1 未満であることを確認している。
- K4 エリアタンクから G4 北，G5 エリアタンクへ移送を行う際は，多核種除去設備等のサンプルタンク経由での仮設移送とし，使用する機器は汚染のない新品とする。

※１：Cs-134,Cs-137,Sr-90,Co-60,Sb-125,Ru-106,I-129 の 7 核種

2. 機能喪失による公衆への放射線影響の程度について

G4 北，G5 エリアについて，機能喪失による公衆への放射線影響の程度の線量評価を実施する。評価条件については，別紙-7 に記載の評価条件に準じ，多核種処理水の分析結果（平成 25 年 7 月）をタンク内保有水の放射能濃度として設定する。

2.1. 漏えい水の直接線・スカイシャイン線による被ばく評価

地震によるタンクの滑動等により連結管等が損傷し，G4 北，G5 エリアそれぞれのタンクの貯留水全てがタンク外に漏えい。タンク群と体積・高さが同じとなる１つの大型円柱形状で存在し続けると仮定した場合の，最寄りの線量評価点（No.5）における直接線・スカイシャイン線による被ばく量は 1μSv/y 未満であり，公衆への放射線影響は殆ど無い。

2.2. 漏えい水の気中移行による被ばく評価

地震によるタンクの滑動等により連結管等が損傷し，G4 北，G5 エリアそれぞれの基礎外周堰の貯留可能面積全域に漏えい水が広がり，トリチウムを含む漏えい水から蒸発した水蒸気が拡散。漏えい水の回収に 2 週間を要したと仮定した場合の，最寄りの線量評価点（No.5）に居住する住民が呼吸により摂取したトリチウムによる内部被ばく量は 50μSv というＣクラスの基準に対して十分に低く，公衆への放射線影響は殆ど無い。

3. 機動的対応等の影響を緩和する措置について

G4 北，G5 エリアに設置するタンクは，可撓性のある連結管にてタンク間を連結し，タンクへ移送を行う際には連結弁を開とし，タンクの満水後には連結弁を閉とする運用を行う。地震による機能喪失を考慮し，以下，機動的対応等の影響を緩和する措置を行う。

・震度 5 弱以上の地震発生時，連結管を開として運用しているタンクについて優先的に現場確認を行い，漏えいが確認された場合は速やかに連結弁を閉とする。
・作業により連結弁を開とする場合は，可能な限り短い作業時間となる様に検討を行う。
・地震により耐震 C クラスのタンク等が損傷し，貯留水が敷地外へ著しく漏えいすることを防止するために基礎外周堰を設置する。当該堰については耐震 B クラスとし，B クラスの構築物に要求される水平方向設計震度に対して，必要な強度を確保する。
・貯留水が漏えいし，基礎外周堰内に溜った場合には，仮設ポンプ，高圧吸引車等にて漏えい水の回収を行う。回収した漏えい水は，健全なタンク，建屋に排水を行う。

4. タンクの構造健全性評価について

耐震 C クラスとしての構造健全性評価については，別紙-2 の耐震 B クラスの評価をもって包括されている。

以上

使用済セシウム吸着塔一時保管施設（第三施設）

1. はじめに

多核種除去設備及び増設多核種除去設備の沈殿処理生成物及び使用済みの吸着材を収容した高性能容器(以下，HIC という)は放射線を発するため適切に遮へいして保管する必要がある。使用済セシウム吸着塔一時保管施設（第三施設）（以下，第三施設あるいは本施設という）は高性能容器（タイプ 2）を保管するために設置するものである。

将来，HIC に収容する沈殿処理生成物をより安定した状態に処理できる設備について稼働時期の目途が得られた際には，設備稼働後も継続して保管が見込まれる HIC に対して数量やインベントリ等の評価を行い，評価結果を踏まえ適切な耐震性を確保した保管方法（補強策含む）を検討し，必要な措置を行う。

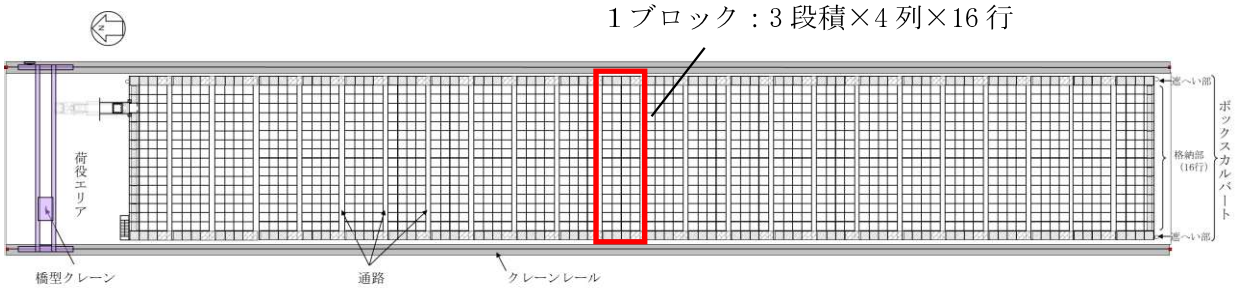
2. 基本設計

2.1 設計概要

本施設は HIC を取扱うための橋形クレーン，遮へい機能を有する蓋付きコンクリート製ボックスカルバート等により構成し，本施設における HIC の貯蔵体数は 4608 基（3 段積×4 列×16 行×24 ブロック）とする(図１)。

なお，万一の HIC 落下破損による漏えい時に HIC を移設して漏えい物の回収等を行えるよう，十分な移設スペースを第二施設及び第三施設に確保する。

また，設置エリアを図２に示す。



第三施設（平面図）



第三施設（北面）



第三施設（南面）

図１　第三施設概要

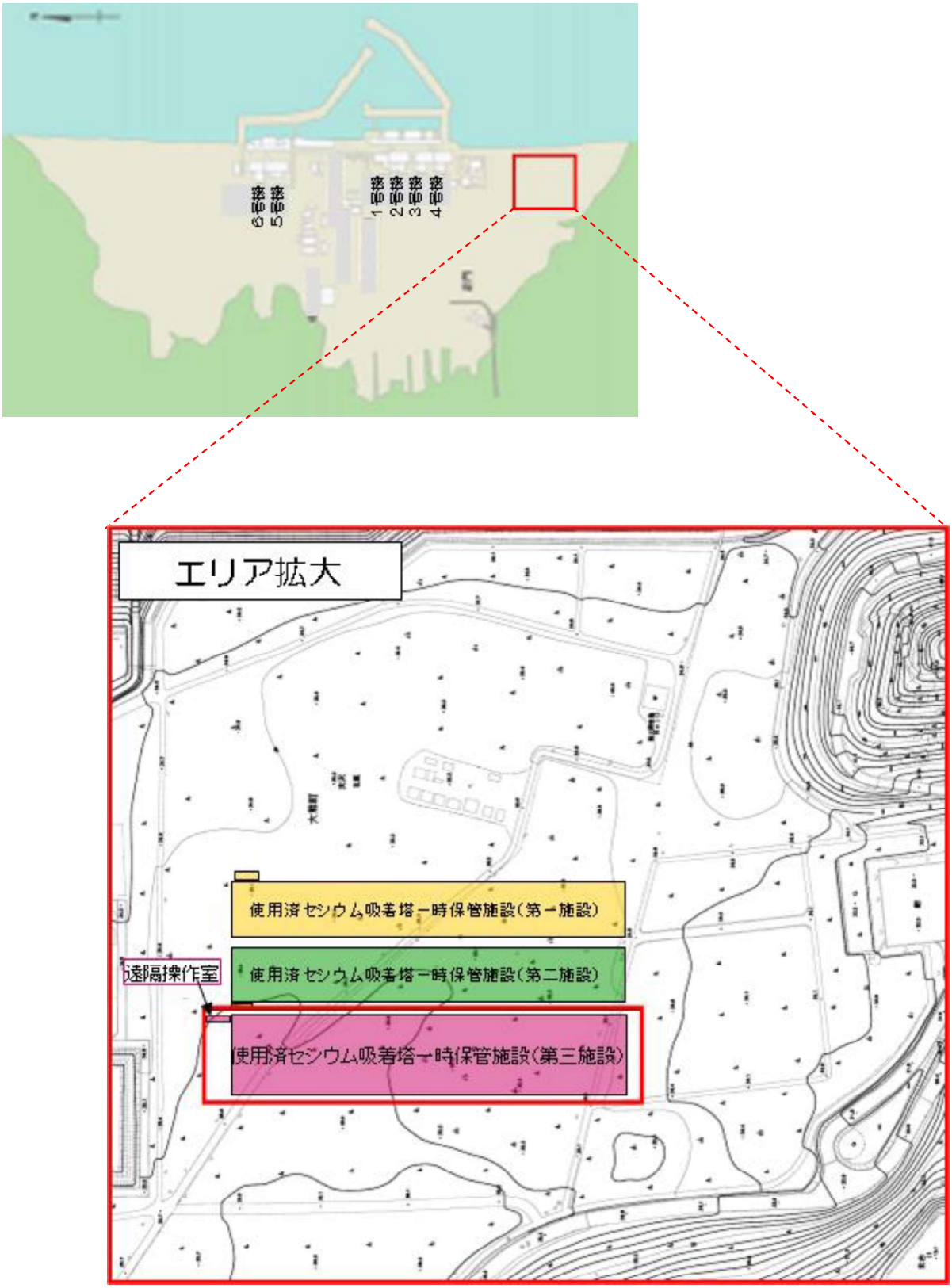

エリア拡大
使用済セシウム吸着塔一時保管施設（第一施設）
使用済セシウム吸着塔一時保管施設（第二施設）
使用済セシウム吸着塔一時保管施設（第三施設）
遠隔操作室

図２　設置エリア

2.2 設計方針

本施設は，以下の考慮を設計に反映している。

(1)放射性物質の漏えい及び管理されない放出の防止

本施設に格納する HIC はそれ自体，放射性物質が漏えいしない構造となっているものの，万一の漏えい発生時においても管理されない放出を防止できるよう，ボックスカルバートに漏えい拡大防止機能を持たせた設計とする。

(2)放射線遮へいに対する考慮

本施設は，敷地境界線量への影響を軽減するほか，放射線業務従事者等の線量を低減する観点からも，放射線を適切に遮へいする設計とする。

(3)可燃性ガスの滞留防止に対する考慮

本施設は，HIC 内の水の放射線分解により発生する可燃性ガスを適切に排出できる設計とする。

(4)放射線防護に係わる被ばく防止措置

作業における被ばく低減ができるよう，HIC の格納に際しては視認性の高いカメラを用いた遠隔クレーン操作による荷役が可能な構成とする。

(5)運転員操作に対する設計上の考慮

本施設は，作業員の誤操作を防止するための適切な措置を講じた設計とする。橋形クレーンについては HIC 取扱作業範囲を逸脱しないようにリミットスイッチを取り付ける。

(6)検査可能性に対する設計上の考慮

本施設は，機器の重要度に応じた有効な保全ができるものとし，橋形クレーンについては，リミット停止機能および法令に基づく点検を実施する。HIC の移動，格納作業に用いる橋形クレーンは定期的な検査が可能なものとする。

2.2.1 移送中の落下を想定したHICの健全性確認

本施設内でHICを取扱うにあたり，HICの落下防止策，万一を想定したHIC落下時の衝撃緩和策および落下試験による落下時の健全性確認等を実施している。

(1)落下試験

HICの健全性を確認する落下試験(試験条件と結果の詳細はⅡ-2-16-1に記す)は，本施設に格納するHICの移送経路（図３）を網羅するよう計画・実施している。落下試験の結果，本施設で想定する全てのHIC取扱い条件において落下を想定しても，HICの健全性が保たれることを確認した。

また，万一のHIC落下破損による漏えい時の対応として，HICからの漏えい物の回収作業に必要な吸引車やボックスカルバート内にアクセスするための昇降設備等を配備し，吸引車の操作等に必要な要員を確保するとともに，手順書に基づいた漏えい物回収訓練及び吸引車の点検を定期的に行う。また、HIC及び漏えい物の回収等においては，作業スペースを確保するために，破損したHICだけでなく，周囲に格納されているHICの移設も必要になる場合が想定されることから，十分な移設スペースを第二施設及び第三施設に確保する。移設スペースの基数は，パーティション設置による漏えい拡大防止や漏えい検出器による早期検知，回収作業の方法等を踏まえて手順書に明記する。

(2)本施設内におけるHIC落下時の損傷防止策

橋形クレーンの巻上げリミットをHIC落下試験高さ(9.5m)以下に設定する。また，HIC吊上時に吊上げシャフトを使用し，吊上げシャフト内空とHIC直径の隙間を小さくすることで，HICの横倒れ・斜め落下を防止する。さらに，ボックスカルバート内空とHIC直径の隙間についても小さくすることで，ボックスカルバート内でのHICの横倒れ・斜め落下を防止する。

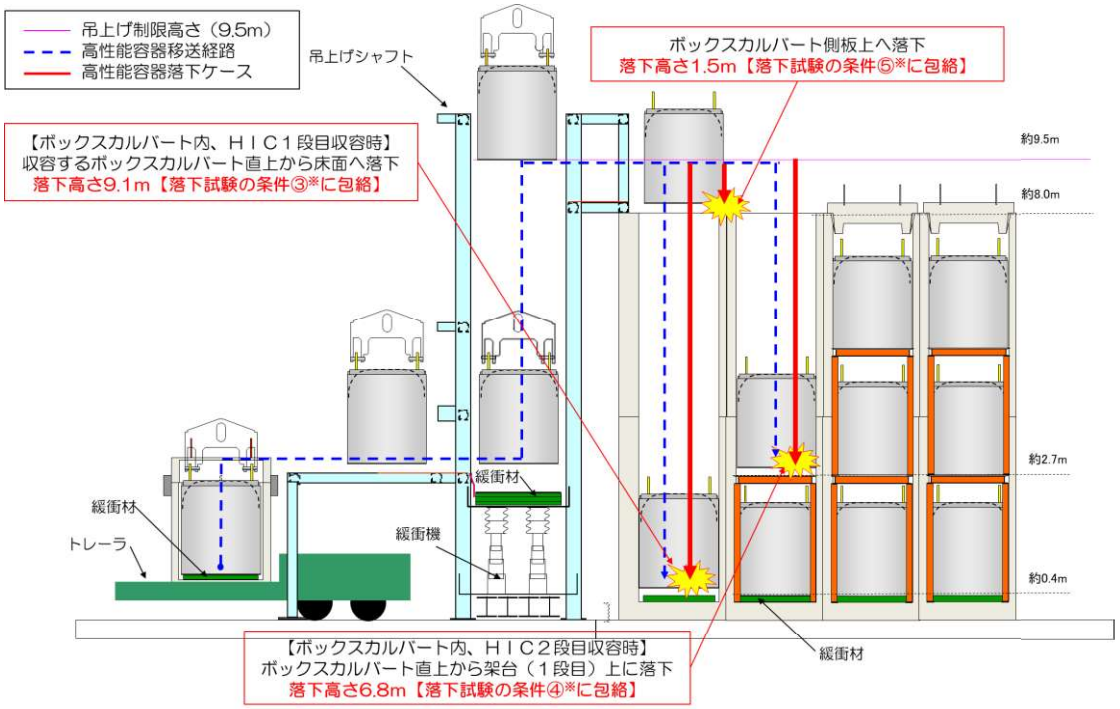
万一の落下時の衝撃を軽減するために，ボックスカルバート内底部，吊上げシャフト緩衝機上面，輸送用容器底部に緩衝材を設置する。なお，強風または地震により荷振れが生じた場合を想定しても，吊上げシャフト内およびボックスカルバート内におけるクリアランスは小さく，HICが破損することはない。

(3)本施設外へのHIC落下防止策

本施設外へのHIC落下転落を防止するため，HICを取扱う作業範囲上のボックスカルバート群外周部に転落防止架台(図４)を設置している。また，HICを格納する際，橋形クレーンの横行・走行リミットはHICが転落防止架台へ接触する前に動作させるものとし，HIC格納作業前に横行・走行リミットが動作することを確認する。なお，強風または地震に伴う荷振れにより，万一の接触を考慮した場合においても,落下試験を上回る水平荷重がHICに加わることは考え難く，HICの健全性に影響を及ぼすことはない。(クレーン構造規格で規定される風荷

重（風速 16m/s）が HIC に連続作用した場合を想定しても，HIC の荷振れは約 18cm 程度に収まることになる。万一接触する場合，転落防止架台の傾斜部材と HIC 補強体の底板外周部が接触点となる。補強体の底板は，高さ 3.1m から角棒への落下試験（約 7.8m/s）においても HIC を保護できるものであることを確認しており，HIC の荷振れにより HIC の健全性に影響を及ぼすことはない。）

また，HIC 取扱に関しては，手順書に基づき，専任監視員を配置し，クレーンの過巻上げ，横行・走行の逸脱，積重ね用架台設置忘れ等が生じぬよう監視する。



※　落下試験条件及び結果の詳細は，Ⅱ-2-16-1 添付資料 5　別添-4 参照

図３　第三施設における HIC 移送中の落下を想定した HIC の健全性確認

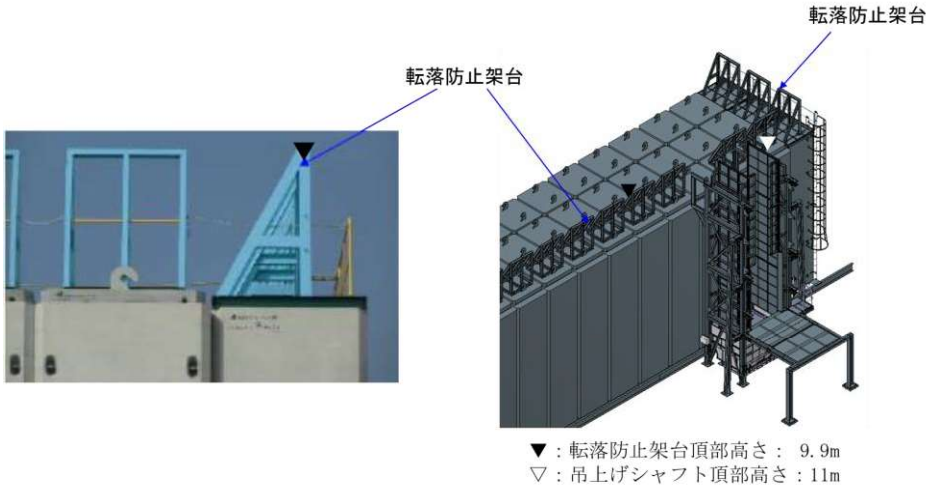


図４　転落防止架台

2.2.2 漏えい発生防止，拡大防止，検知機能

HIC の耐紫外線性については，「2.16.1　添付資料－５」で示す通り，使用前の製造から工場出荷までの紫外線照射時間管理および紫外線が当たらないボックスカルバート内で HIC を貯蔵することを踏まえると，有意な劣化はないと判断できる。

格納中 HIC のβ線による放射線劣化に対しては，HIC を構成するポリエチレンの電子線照射及び材料試験を行い，HIC 表面の積算吸収線量が 2000kGy（※）までに対して健全性を確認できている。今後，更なる積算吸収線量における健全性について評価を実施する。

※ 内包する放射能濃度が最も高い HIC の想定吸着量で評価すると貯蔵期間として約 10 年相当

漏えい拡大防止として，ボックスカルバートは壁と底板を一体としたＲＣ構造であり，HIC，HIC の全容量を受けきる HIC 補強体に次ぐ，第三の漏えいバリアとなっている。

万一，漏えいが発生した場合に浸漬する可能性のある下部材内面には防水塗装を施し，ボックスカルバート間の目地についても，防水施工を実施している（図５）。

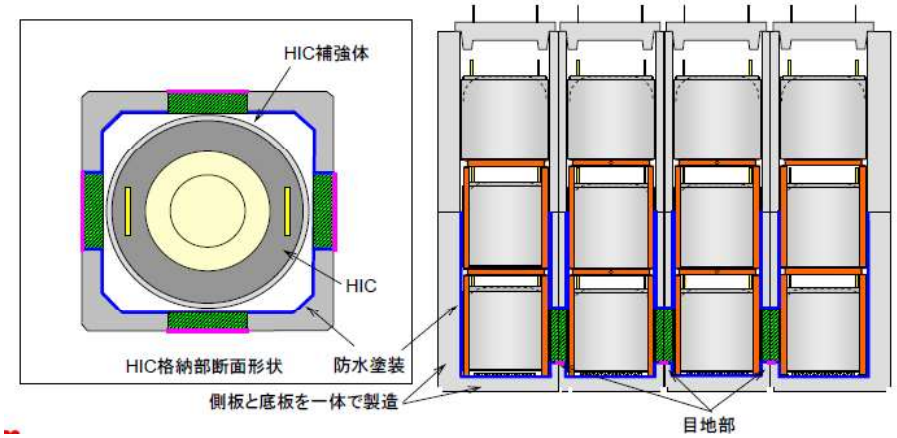
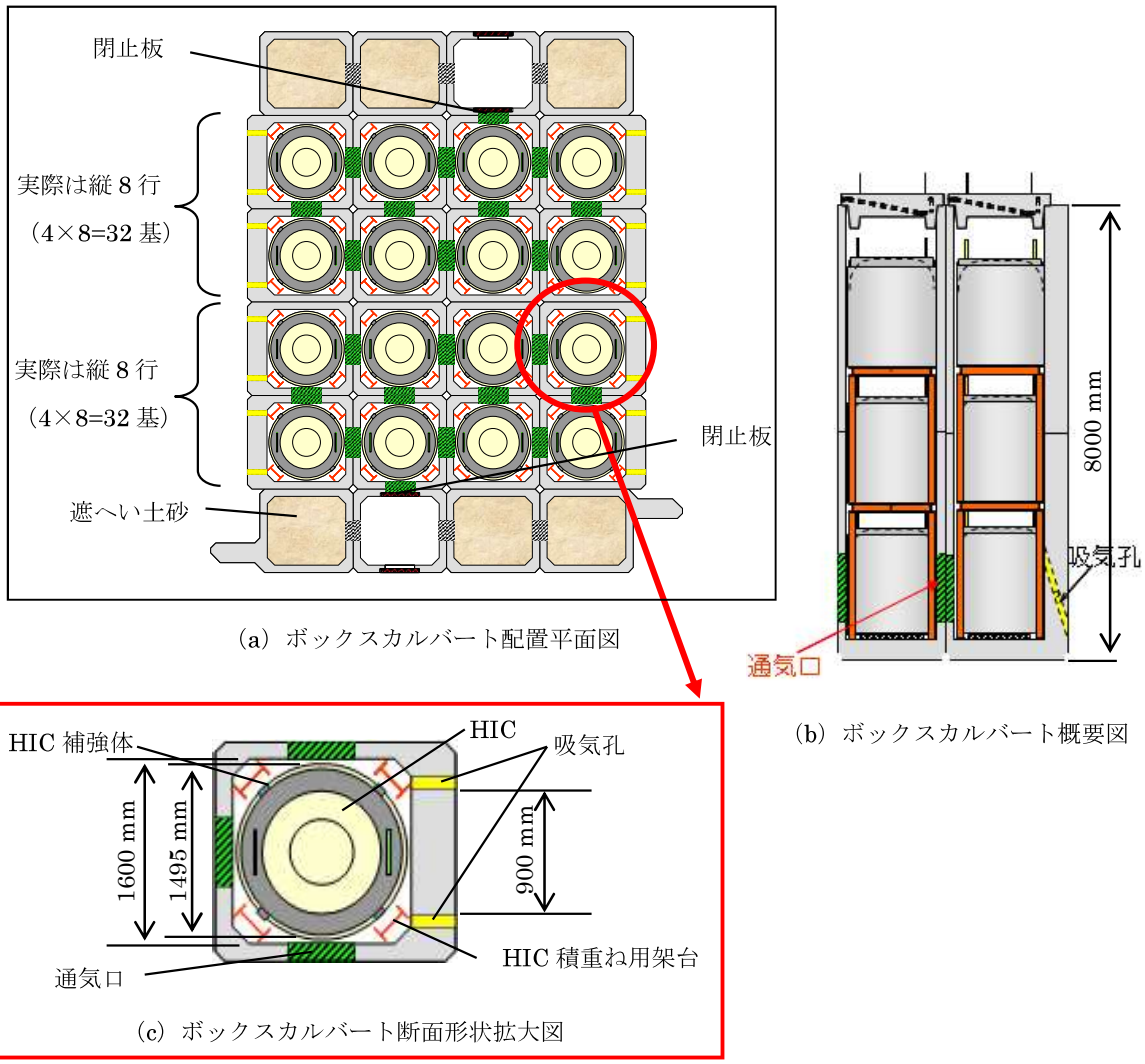


図５　ボックスカルバート概要図

吸気孔の設置高さは，ボックスカルバート内で HIC１基が全量漏えいした場合に，漏えい物が当該ボックスカルバート内のみで保持されたとしても，液面が吸気孔の内面下端より低くとどまり、吸気孔が流出路とならないよう配置している。漏えい発生時には，漏えい物は通気口を通して隣接するボックスカルバートに流れ、液面はより低くとどまる。漏えい拡大防止のための防水施工による水密化単位である４列×８行のボックスカルバートは，９基の HIC の同時漏えいに耐えうることになる。仮に一ヶ所のボックスカルバートで３段積みの HIC 全てが漏えいした場合でも，漏えい物は通気口を通じて隣接するボックスカル

バート内へ流れ出ることから，吸気孔を通してボックスカルバート外へ漏れ出ることはない（図６(a)，(b)）。

また，HIC 補強体とボックスカルバート内壁が接する可能性のある位置と吸気孔の配置位置は水平方向に離してある。（図６(c)） 中段，上段の HIC が漏えいし，かつ，漏えい物が HIC 補強体から溢れ出してボックスカルバートの内壁を伝い落ちた場合においても，内壁には漏えい物が真下に流れるように撥水性のある塗装を施すことから，吸気孔を通じてボックスカルバート外へ漏れ出ることはない。



（a） ボックスカルバート配置平面図

（b） ボックスカルバート概要図

（c） ボックスカルバート断面形状拡大図

図６　ボックスカルバートおよび HIC 概要図

格納中の HIC からの漏えい検出については，HIC1 基の全量漏えいにおいて漏えいを検出できるよう，漏えい検出装置を設置する（図７）。漏えいを検出した場合には，免震重要棟集中監視室等に警報を発し，適切な対応を図る。

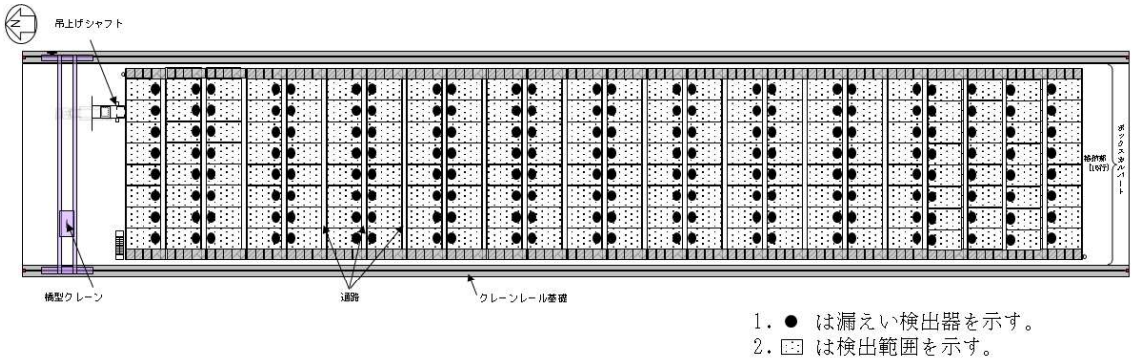


図７　漏えい検出器設置図

なお，保管中の HIC については念のため，液体を内容物としている HIC のうち，高線量で発生数が多いスラリー（鉄共沈処理）入り HIC 及び低線量ながら発生数が最も多いスラリー（炭酸塩沈殿処理）入り HIC から劣化が進みやすいと想定される線量の高いものを複数ずつ選定し，これらを対象に，第二施設における調査※と同様に，定期的に漏えい有無を確認する。

※ 第二施設に保管中の HIC（平成 25 年 4 月に保管開始）については，これまで平成 25 年 5 月，6 月，9 月，12 月，平成 26 年 6 月に調査を行い，いずれも漏えいがないことを確認している。

吊上げシャフト内での万一の HIC の漏えいに対しても，吊上げシャフト内に設置された緩衝機カバーが受けパンの役割を果たす設計としている。HIC からの漏えい物はカバー内に導かれ HIC 内の全量を受けきれる容量を保有する。(図８)

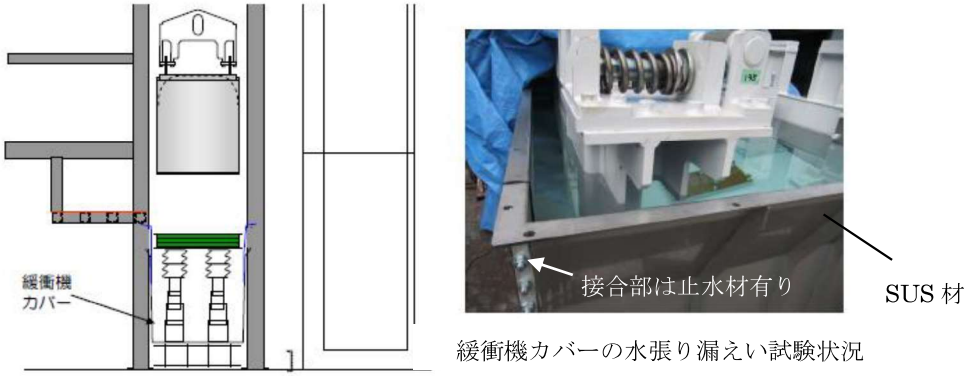


図８　吊上げシャフト内緩衝機カバー概要

なお,蓋とボックスカルバートとの間には止水材を設置しており，雨水等が浸入しない構造としている（図９）。そのため,万一ボックスカルバート内で HIC からの漏えいが発生した場合においても,ボックスカルバート外の雨水とは隔離されており，蓋が屋根の役割を果たす。

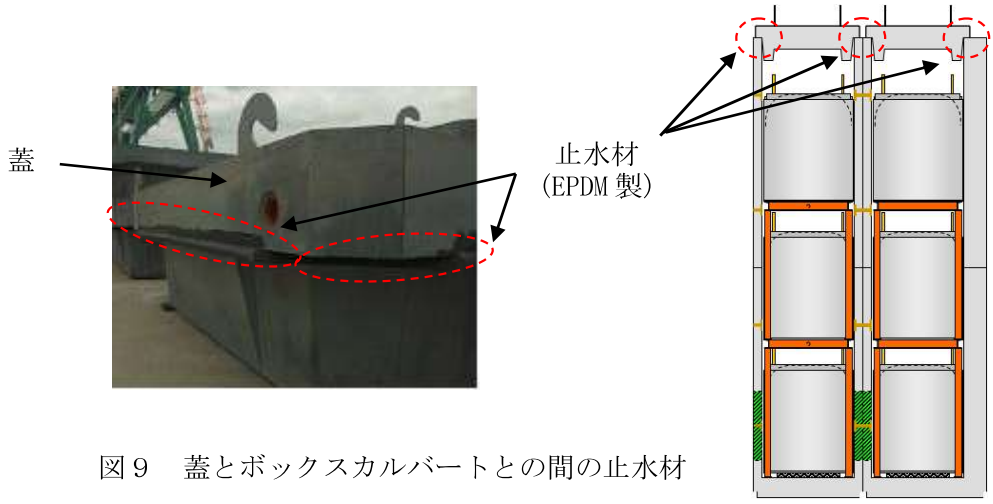


図９　蓋とボックスカルバートとの間の止水材

2.2.3 遮へい機能

作業時の被ばく及び敷地境界線量への影響を軽減した設計とする(図１０)。

(1)作業被ばく低減

HIC は遠隔クレーン操作で格納する。また作業者が通りうる通路側はボックスカルバートの壁厚を 150mm から 400mm に増して線量を軽減しており、HIC 格納後の通路部線量は最大 10μSv/h 程度と評価している。

(2)敷地境界線量への影響軽減

上方に厚い蓋を設け，高線量 HIC を下段・中段の内部に配置し，高線量 HIC から上方や通路側へ放出される放射線を上段及び通路に面する位置に配する低線量 HIC で遮へいする。

また，施設東西端のボックスカルバート内に遮へい土砂を充填する。※

※ボックスカルバート内へのアクセスのため，一部は空運用とする。

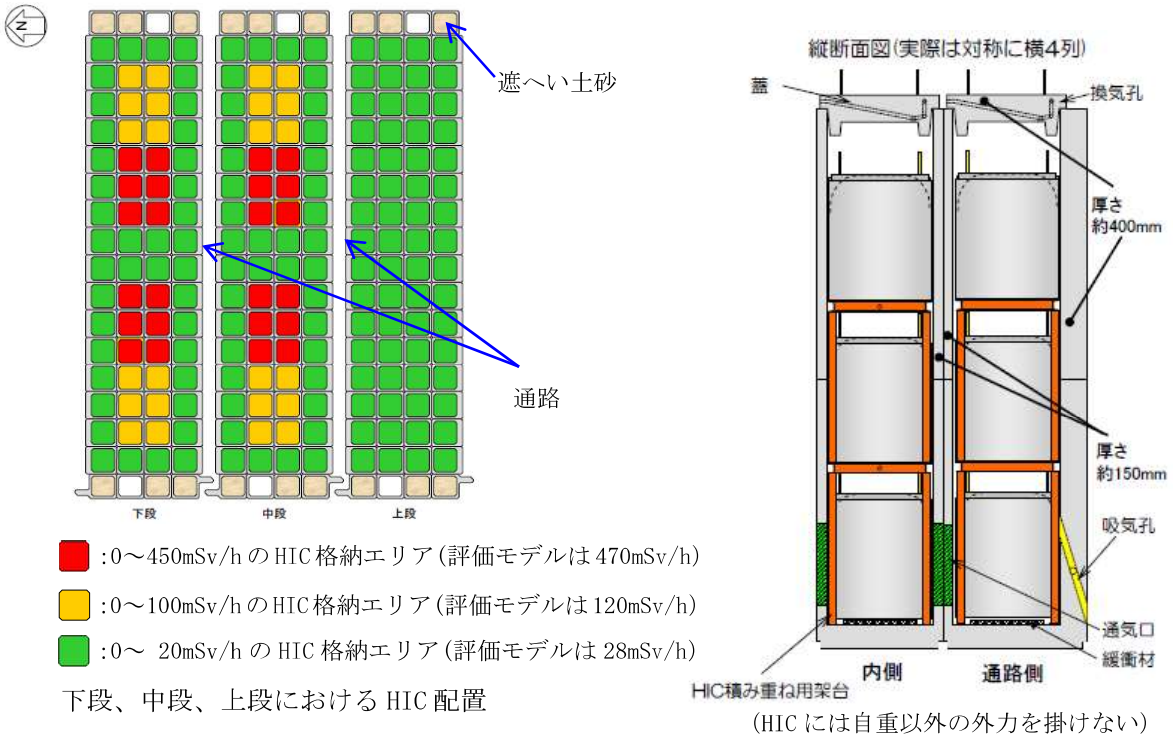


図１０　ボックスカルバート概要図

敷地境界線量評価に際しては,高線量 HIC として「Ⅲ特定原子力施設の保安 第 3 編 2.2.2 敷地内各施設からの直接線ならびにスカイシャイン線による実効線量」表２．２．２－１におけるスラリー（鉄共沈処理）入り HIC576 体及び吸着材 3 入り HIC576 体を，低線量 HIC として同じくスラリー（炭酸塩沈殿処理）入り HIC3456 体をモデル化（図１０は１ブロック分のみの配置を示す）している。

2.16.1 添付 4 別添 2 に示された HIC の線量評価の上限値にもとづき，スラリ

ー（炭酸塩沈殿処理）より HIC 容器表面線量が小さい吸着材 1，4 及び 5 は低線量 HIC と，吸着材 3 より線量が低くスラリー（炭酸塩沈殿処理）より線量が高い吸着材 2 及び吸着材 6 は吸着材 3 とみなして高線量 HIC として扱っている。

スラリー（炭酸塩沈殿処理）及びスラリー（鉄共沈処理）の側面表面線量はそれぞれ 28mSv/h，120mSv/h と評価されており，保管施設への格納時の各 HIC の側面表面線量実測値がこれ以下のもの（保守的に境界値をそれぞれ 20mSv/h，100mSv/h とする）は，その測定値に応じてより低線量の HIC とみなして配置することが可能である。また高線量 HIC を配置する場所に低線量 HIC を配置することは可能とする。

以上，図１０に示した配置を元に，「Ⅲ特定原子力施設の保安 第 3 編 2.2.2 敷地内各施設からの直接線ならびにスカイシャイン線による実効線量」に記載の方法にて評価した結果，第三施設の最寄りの評価点（No.7）における直接線・スカイシャイン線の評価結果（表１）は年間約 0.0237mSv となる。

表 1　第三施設から敷地境界への線量影響

評価点	評価地点までの距離（m）	年間線量（mSv／年）
No.7	約 180	約 0.0237

また，第三施設北側増設時においては，東西分割施工に伴って北から 1～3 ブロック目の東側ボックスカルバートが先行して運用開始となるが，西側ボックスカルバートを設置するまでの間，敷地境界線量への影響を鑑みて極めて低線量の HIC（表面線量 0～0.2mSv/h）を配置すると共に西端 1 列に HIC の配置は行わない運用とする（図１１）。

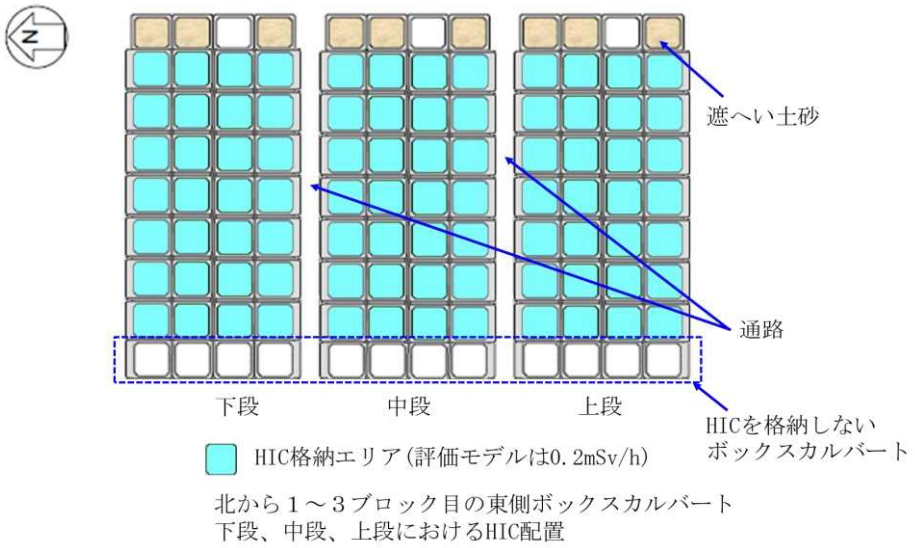


図１１　第三施設北東側増設時ボックスカルバート配置概要図

2.2.4 HIC 格納時における崩壊熱除去機能，水素滞留防止機能

ボックスカルバートは，下部に吸気孔および通気口，蓋に換気孔を設け，崩壊熱及び水素を，HIC 内容物の発熱によるチムニー効果と水素の浮力による上昇流により，自然換気できる設計としている(図１２)。HIC を格納する際の配置は，HIC 格納時における温度評価「Ⅱ 2.16 放射性液体廃棄物処理施設及び関連施設」の評価体系に記載する発熱量を超えない配置とする。

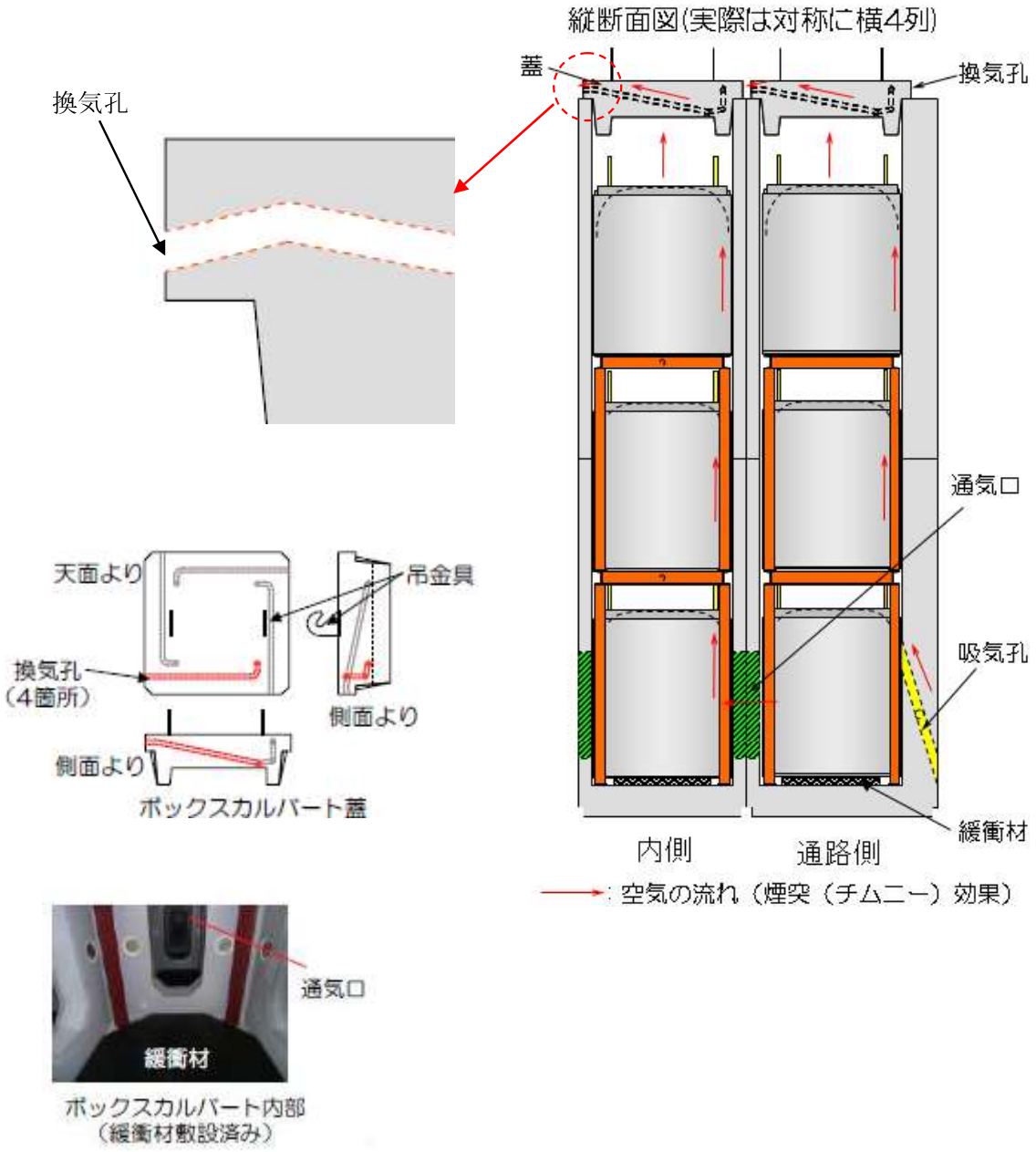


図１２　ボックスカルバート内の空気の流れ

2.2.5 耐震性

本施設を構成するボックスカルバートは，「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の B クラス相当の設備と位置づけられる。耐震性に関する評価にあたっては，「JEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規程」に準拠することを基本とするが，必要に応じて現実的な評価を行う。なお参考評価として，耐震 S クラス相当の水平震度（0.60）においても健全性が維持されることを確認した。ボックスカルバートは，図１３に示すように４列×９行を単位として相互に連結して転倒し難い構造としている。またボックスカルバートの内空と格納する HIC 直径との隙間は小さいので，ボックスカルバート内の HIC が転倒することはない。

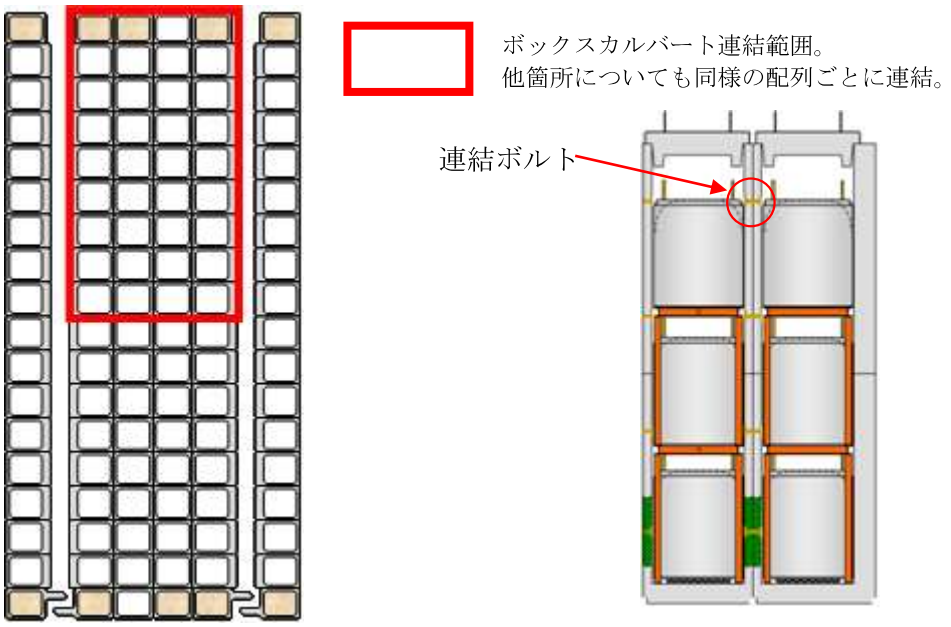


図１３　耐震性評価モデル範囲

(1) 連結ボルトの強度評価

ボックスカルバートは，連結ボルトで相互に連結して転倒し難い構造としている。連結ボルトのうち，最も負荷条件の厳しいものについて引抜力を評価した結果，ボルトの許容引張力（許容値）以下となることを確認した（表２）。

表２　連結ボルトの引抜力評価結果

名称	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
ボックスカルバート 連結ボルト	引抜力	0.36	11	184	kN
		0.60	49		

(2) 転倒評価

４列×９行のボックスカルバート群及びその中に格納可能なHIC９６基※に対して，地震による転倒モーメントと自重による安定モーメントを算出し，それらを比較することにより転倒評価を行った。評価の結果，地震による転倒モーメントは自重による安定モーメントより小さくなることから，転倒しないことを確認した(表３)。

※遮へい土砂を充填するボックスカルバート４箇所を除いた３２箇所への格納量

(3) 滑動評価

ボックスカルバートに対して，地震時の水平荷重によるすべり力と接地面の摩擦力を比較することにより，滑動評価を実施した。評価の結果,水平震度0.36では地震時の水平荷重によるすべり力が接地面の摩擦力より小さいことから，滑動しないことを確認した（表３)。水平震度 0.60 では，地震時の水平荷重によるすべり力が設置面の摩擦力より大きくなり，滑動すると評価されることから，別途すべり量の評価を実施した。

表３　耐震評価結果

機器名称	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
第三施設（HIC96 基とボックスカルバート36 基)	転倒	0.36	2.8×10^{4}	7.4×10^{4}	kN･m
		0.60	4.6×10^{4}		
	滑動	0.36	0.36	0.40	－
		0.60	0.60		

(4) すべり量評価

すべり量は，ボックスカルバート群の設置床に対する累積変位量として，地震応答加速度時刻歴をもとに算出した。評価の結果すべり量が隣り合うボックスカルバートの距離(許容値)を下回ることを確認した(表４)。

表４　すべり量評価結果

機器名称	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
ボックスカルバート	すべり量	0.60	57.5	400	mm

(5) 吊上げシャフトの耐震性評価

吊上げシャフトについては，HIC の保管をすることはないものの，HIC をボックスカルバート内に収納または第三施設外へ搬出する際に通過させることから，耐震評価（B クラス相当）を実施した。評価の結果，吊上げシャフト架台のアンカーボルトのうち，最も負荷条件が厳しいボルトについても許容値を下回ることを確認した。

また，吊上げシャフト内の緩衝機カバーについても，地震による転倒モーメントと自重による安定モーメントを比較した結果，地震による転倒モーメントは，自重による安定モーメントより小さくなることから転倒しないことを確認した。なお，参考評価として耐震 S クラス相当の水平震度（0.6）に対して健全性が確認されることを確認した（表５，表６）。

表５　吊上げシャフト架台アンカーボルトの評価結果

名称	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
吊上げシャフト架台 アンカーボルト	引抜力	0.36	5,581	31,790	N
		0.60	16,739		

表６　吊上げシャフト内緩衝機カバーの評価結果

名称	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
吊上げシャフト内 緩衝機カバー	転倒	0.36	36	71	kN・m
		0.60	60		

(6) クレーンの耐震評価

第三施設クレーンに対し，地震による転倒モーメントと自重による安定モーメントを算出し，それらを比較することにより転倒評価を行った。評価の結果，地震による転倒モーメントは，自重による安定モーメントより小さくなることから，転倒しないことを確認した。なお，参考評価として，耐震 S クラス相当の水平震度（0.6）に対して健全性が確認されることを確認した（表７）。

表７　第三施設クレーンの評価結果

名称	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
第三施設クレーン	転倒	0.36	7.05×10^{5}	1.85×10^{6}	kg・m
		0.60	1.17×10^{6}		

2.2.6　基礎

第三施設の基礎は，地盤改良による安定した地盤上に設置されており，十分な支持力※を有する地盤上に設置している（極限支持力＞鉛直荷重）。

また，許容支持力（安全率：2）も鉛直荷重を上回ることを確認した。

(1) ２ブロック分のボックスカルバートを設置する基礎に対する評価
（下記(2)～(6)以外のブロック）
極限支持力（地震時）：212,500（kN）
許容支持力（地震時）：106,250（kN）
鉛直荷重：80,500（kN）

(2) １ブロック分のボックスカルバートを設置する基礎に対する評価
（南側より１ブロック目）
極限支持力（地震時）：118,000（kN）
許容支持力（地震時）： 59,000（kN）
鉛直荷重：41,200（kN）

(3) ２ブロック分のボックスカルバートを設置する基礎に対する評価
（北側より２，３ブロック目）
極限支持力（地震時）：243,500（kN）
許容支持力（地震時）：121,700（kN）
鉛直荷重：85,100（kN）

(4) １ブロック分のボックスカルバートを設置する基礎に対する評価
（北側より１ブロック目）
極限支持力（地震時）： 97,200（kN）
許容支持力（地震時）： 48,600（kN）
鉛直荷重：42,900（kN）

(5) ２ブロック分のボックスカルバートを設置する基礎に対する評価
（北側より２，３ブロック目東側のみボックスカルバート設置）
極限支持力（地震時）：161,000（kN）
許容支持力（地震時）：80,500（kN）
鉛直荷重：46,100（kN）

(6) １ブロック分のボックスカルバートを設置する基礎に対する評価

（北側より１ブロック目東側のみボックスカルバート設置）

極限支持力（地震時）：51,900（kN）

許容支持力（地震時）：25,900（kN）

鉛直荷重：21,500（kN）

※：支持力の算定式は「社団法人 日本道路協会 道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編」に準拠

2.2.7 耐震Ｓクラスの評価について

本施設を構成するボックスカルバートについて，耐震Ｓクラスにおいても健全性が維持されることを確認した。

(1)連結ボルトの強度評価

ボックスカルバートは，連結ボルトで相互に連結して転倒し難い構造としている。連結ボルトのうち，最も負荷条件の厳しいものについて引抜力を評価した結果，ボルトの許容引張力（許容値）以下となることを確認した（表８）。

表８　連結ボルトの引抜力評価結果

名称	評価項目	水平震度	鉛直震度	算出値	許容値	単位
ボックスカルバート連結ボルト	引抜力	0.60	0.30	56	184	kN

(2)転倒評価

４列×９行のボックスカルバート群及びその中に格納可能なHIC９６基※に対して，地震による転倒モーメントと自重による安定モーメントを算出し，それらを比較することにより転倒評価を行った。評価の結果，地震による転倒モーメントは自重による安定モーメントより小さくなることから，転倒しないことを確認した（表９）。

※遮へい土砂を充填するボックスカルバート４箇所を除いた３２箇所への格納量

表９　耐震評価結果

名称	評価項目	水平震度	鉛直震度	算出値	許容値	単位
第三施設（HIC96 基とボックスカルバート 36 基）	転倒	0.60	0.30	4.6×10^{4}	5.2×10^{4}	kN･m

(3)すべり量評価

すべり量は，ボックスカルバート群の設置床に対する累積変位量として，地震応答加速度時刻歴をもとに算出した。評価の結果すべり量が隣り合うボックスカルバートの距離(許容値)を下回ることを確認した（表１０）。

表１０　すべり量評価結果

機器名称	評価項目	算出値	許容値	単位
ボックスカルバート	すべり量	101	400	mm

(4)基礎

第三施設の基礎は，地盤改良による安定した地盤上に設置されており，十分な支持力※を有する地盤上に設置している（極限支持力＞鉛直荷重)。

(1) ２ブロック分のボックスカルバートを設置する基礎に対する評価
(下記(2)～(6)以外のブロック)
極限支持力（地震時）：167,358（kN）
鉛直荷重：104,571（kN）

(2) １ブロック分のボックスカルバートを設置する基礎に対する評価
(南側より１ブロック目)
極限支持力（地震時）：87,000（kN）
鉛直荷重：53,400（kN）

(3) ２ブロック分のボックスカルバートを設置する基礎に対する評価
(北側より２，３ブロック目)
極限支持力（地震時）：193,900（kN）
鉛直荷重：110,600（kN）

(4) １ブロック分のボックスカルバートを設置する基礎に対する評価

（北側より１ブロック目）

極限支持力（地震時）：69,600（kN）

鉛直荷重：55,700（kN）

(5) ２ブロック分のボックスカルバートを設置する基礎に対する評価

（北側より２，３ブロック目東側のみボックスカルバート設置）

極限支持力（地震時）：128,000（kN）

鉛直荷重：59,900（kN）

(6) １ブロック分のボックスカルバートを設置する基礎に対する評価

（北側より１ブロック目東側のみボックスカルバート設置）

極限支持力（地震時）：36,900（kN）

鉛直荷重：27,900（kN）

※：支持力の算定式は「社団法人 日本道路協会 道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編」に準拠

(5)吊上げシャフトの耐震性評価

吊上げシャフトについては，HIC の保管をすることはないものの，HIC をボックスカルバート内に収納または第三施設外へ搬出する際に通過させることから，参考までに耐震評価を実施した。評価の結果，吊上げシャフト架台・吊上げシャフト内緩衝機カバーのアンカーボルトについて許容値を下回ることを確認した（表１１）。なお，吊上げシャフト架台アンカーボルトについては，2.2.5(5)の水平震度(0.6)の算出時に保守的に鉛直震度を考慮しているので値は変わらない。

表１１　吊上げシャフト架台とシャフト内緩衝機アンカーボルトの評価結果

名称	評価項目	水平震度	鉛直震度	算出値	許容値	単位
吊上げシャフト架台アンカーボルト	引抜力	0.60	0.30	16,739	31,790	N
吊上げシャフト内緩衝機カバーアンカーボルト	引抜力	0.60	0.30	2,141	31,790	N

(6)クレーンの耐震性評価

第三施設クレーンに対し，参考までに地震による転倒モーメントと自重による安定モーメントを算出し，それらを比較することにより転倒評価を行った。評価の結果，地震による転倒モーメントは，自重による安定モーメントより小さくなることから，転倒しないことを確認した（表１２）。

表１２　第三施設クレーンの評価結果

名称	評価項目	水平震度	鉛直震度	算出値	許容値	単位
第三施設クレーン	転倒	0.60	0.30	1.17×10^{6}	1.29×10^{6}	kg･m

(1)～(6)の評価結果より，ボックスカルバートの健全性を確保できることから，ボックスカルバートに格納されたHICが破損することはなく，漏えいする事象は起こらない。

2.3 自然災害対策等

(1)津波

使用済セシウム吸着塔一時保管施設（第三施設）は津波が到達しないと考えられるT.P.約33.5m以上の場所に設置する。

(2)豪雨・台風・竜巻等

豪雨の場合においては，止水材を施したボックスカルバートの蓋により，雨がボックスカルバート内に入り込まない設計としている。また，ボックスカルバートおよび蓋等は重量物であり，台風・竜巻等の強風によって容易に動くことはない。

なお，豪雨・台風・竜巻等のような格納作業の安全性が損なわれるおそれのある荒天に対して，作業中止基準を設ける。

(3)積雪

ボックスカルバートはRC構造であり，福島県建築基準法施行細則に基づく積雪荷重に対する強度は十分高い。

(4)落雷

クレーンにてHIC格納時，万一，落雷が発生し電源停止となっても，HICを吊った状態で停止し，HICが落下することはない。

(5)火災

本施設は鉄筋コンクリートあるいは鋼製構造物からなり，またHICには鋼製補強体を付しており，火災が発生する可能性は低いが，初期消火の対応ができるよう，近傍に消火器を設置する。

使用済セシウム吸着塔一時保管施設（第三施設）に係る確認事項

使用済セシウム吸着塔一時保管施設（第三施設）に係る主要な確認事項を表１３及び表１４に示す。

表１３　確認事項（主要構造物）

確認事項	検査項目	確認内容	判定基準
構造検査	材料検査	主要構造物（蓋・ボックスカルバート）における主要材料を品質記録にて確認する。	蓋：比重 3.2 以上 ボックスカルバート： 比重 2.3 以上
	寸法検査	主要構造物（蓋，ボックスカルバート）における主要厚さ寸法を品質記録にて確認する。	蓋：約 400mm 壁：約 400mm／約 150mm
	外観検査	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと
	据付検査	主要構造物が実施計画書に記載のとおり据付けされていることを品質記録または目視にて確認する。 ・連結ボルト ・緩衝材 ・遮へい土砂 ・換気孔 ・吸気孔 ・通気口	実施計画のとおり据付されていること
	地盤支持力確認	支持力試験にて，基礎の地盤支持力を確認する。	必要な支持力を有していること。
機能検査	橋形クレーン機能検査	橋形クレーンが実施計画書記載のとおりに機能することを確認する。	横行・走行：転落防止架台に HIC が接触する前に横行･走行リミットが動作し，クレーンが停止すること。 巻上げ:HIC 底部ーボックスカルバート設置床の高さが 9.5m 以下となるよう制限できること。
	容量確認	実施計画書記載のとおりの HIC 保管容量を確認する。	実施計画書記載のとおりの HIC 保管容量があること。

表１４　確認事項（漏えい検出装置及び自動警報装置）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	検出器の据付位置，据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
機能	漏えい警報確認	漏えい信号により，警報が発生することを確認する。	漏えいの信号により，警報が発生すること。

以上

別添－１

ボックスカルバート内等でのHIC破損による漏えいへの対処

1. はじめに

第三施設において，万一の取扱い異常等により，ボックスカルバート内等で HIC からの漏えいを生じた、あるいはその疑いのある場合、当該事象に対処する方法の考え方を以下に示す。起点事象としてはHICを格納作業中に落下させてしまった場合が想定される。

2. 想定する状況

ケース１：あるボックスカルバート内でHICが損壊して内容物である沈殿処理生成物（スラリー）が漏えいしている。漏えい量が多く、ボックスカルバート下部材の通気口を通して隣接ボックスカルバート内へ漏えい物が流入しているところがある。なおボックスカルバートは防水されており外部に漏えい物が漏れることはない。

ケース２：吊上げシャフト内で緩衝機上へHICが落下し底部が損壊して漏えいしている。漏えい量が多く、緩衝機カバー内に漏えい物が流れ落ちている。なお同カバーは水密であり外部に漏えい物が漏れることはない。

3. 対応方針

ケース１の場合

(1)内部の状況を遠隔観察で把握する。

(2)観察事実をもとに対応方針を検討し、作業員の被ばくを抑制しつつ、汚染拡大を防止して実施可能な作業計画をたてる。

(3)ボックスカルバート内の漏えい物を回収し、除染する。

ケース２の場合

(1)接近して観察可能であるが、線量が高い場合はカバー外周に遮へいを設けて状況を把握する。

(2)観察事実をもとに対応方針を検討し、作業員の被ばくを抑制しつつ、汚染拡大を防止して実施可能な作業計画をたてる。

(3)緩衝機カバー内（水密）の漏えい物を回収し、機構部を洗浄、除染し復旧する。

なお損壊したHICに対する処置は(2)の計画と並行して検討するものとして、本資料内では取り扱わない。

4. 対応ステップ（括弧内は留意項目）

ケース１を例に示す。

(1)事案が発生したボックスカルバート内をクレーンのカメラで観察する。（作業休止時

等においてはボックスカルバートのふたを閉止する。また降水時は作業しない。必要に応じて内部の放射線測定を行う(以下同じ)。)

(2)漏えい物に浸っていない HIC（中段、上段など）や積重ね用架台を吊出し、HIC は他のボックスカルバート内に格納し、積重ね用架台はトレーラエリア等に仮置きする。(格納/仮置き前にスミア法等で汚染のないことを確認する。） 漏えい物に脚が浸っている積重ね用架台は，ボックスカルバート上に吊上げた時点で汚染ふき取りのうえ当該部を養生し除染作業のできる構内エリアに移送する。

(3)再度クレーンカメラあるいは吊下げ式カメラ(要照明。以下同じ)で内部を観察し、通気口の底部付近まで漏えい物の液面があるかを把握する。

(4)前項観察結果をもとに、周囲のボックスカルバートへの漏えい物の越流状況を評価し、周囲の HIC、積重ね用架台の取出し方針を決定する。(事案発生位置の全方位で越流がない場合でも、当該位置での状況を観察できるよう最低一箇所は全内容物を取り出すこととする。)

(5)前項での決定に基づき取出しを行う。(留意事項は(2)と同じ。)

(6)内容物を取出したボックスカルバートにクレーンカメラあるいは吊下げ式カメラを投入し、事案発生部の HIC の状況を詳細に観察する。可能であればクレーンで HIC を最小限吊上げて底部状況等を把握する。

(7)以上で得られた情報をもとに、それ以降の漏えい物回収・除染、当該 HIC の回収、汚染拡大防止策、作業被ばく軽減策等を含む作業計画を立て、関係者間で合意を得る。

(8)状況に応じ、東西遮へい部のアクセス開放あるいは無汚染カルバートへの昇降設備設置等、人のアクセスを確立する。(放射線量に応じた離隔、作業時間短縮性などを考慮する)

(9)漏えい物の回収装置を準備する。漏えい物の量、アクセス性に応じて既設の吸引装置や吸引車の活用など、設計は変わる。

(10) (以下は周辺部からアクセスしてゆくことを想定した例である。) アクセス経路に沿って照明を設ける。また、途中に靴、手袋等を交換できるチェンジングプレイスを設け、漏えい物に接する作業に伴う汚染拡大の防止を図る。

(11)漏えい物の越流範囲の最遠部のボックスカルバートに対して、隣の無汚染のボックスカルバートから漏えい物回収を行う。概ね回収できたら緩衝ゴムの上の残留物を軽くふき取り、表面をシート養生する。引き続きこのシート養生部を足場として次のボックスカルバートの漏えい物回収を進めてゆく。

(12)事案が発生したボックスカルバートには HIC が残っているほか、線量も最も高いと想定される。このため当該箇所については上部からのアクセスを優先する。高揚程の小型水中ポンプを隅角に投入する等して漏えい物をある程度回収することが望ましい。HIC からの漏えいが止まったと判断できるまで、当該カルバートでの漏えい物回収を継続する。

(13)HIC からの漏えいが止まったら当該 HIC を吊上げ回収する。事前にボックスカルバート上部を養生する。（風雨のない日を選んで作業する。）
(14)ボックスカルバート上で HIC を養生し、吊上げシャフト経由でトレーラ上の遮へい容器に回収する。（遮へい容器には事前に養生を施す。）
(15)事案発生ボックスカルバート内の漏えい物を回収する。
(16)関係するボックスカルバート内の緩衝ゴムは汚染しているため撤去する。
(17)ボックスカルバート内をふき取り、清水で拭い、除染する。スミア法で汚染の有無を確認する。必要があれば塗装を削り落とし、再塗装する。
(18)新品の緩衝ゴムを敷設する。
(19)復旧状態を検査する。
(20)供用を再開する。

ケース２の場合、吊上げシャフトはアクセス性は良いものの遮へいがないため追加遮へいを設けること、外気にさらされることから乾燥・ダスト化せぬよう若干量の清水を定期的に散布する等の配慮が必要となる。損壊した HIC は漏出停止が確認できた時点で養生のうえ、最寄りのトレーラエリアで輸送用遮へい容器内（事前養生する）に回収する。緩衝機カバーは 3m^3 の水張り・漏えい試験済みであり、吊上げシャフト内での漏えい物は重力でカバー内に流下、貯留される構造となっている。3m^3 貯留時の液面より高い位置にある、緩衝機メンテナンス口の閉止板を開けることで、カバー内の漏えい物は容易に回収可能である。また漏えい物回収後に緩衝機等を清水で洗浄してからカバーを分解することで、緩衝機のメンテナンス、復旧ができる。カバーはパッキンを交換のうえ組立て、再度水張り・漏えい試験を行って供用に復する。

5.おわりに

以上のように、第三施設においてはボックスカルバートや吊上げシャフトの緩衝機カバーが堰の機能を有していることから、漏えいが発見された場合でも十分な調査をもとに計画的な作業を進める時間的余裕があると考えられ、汚染拡大防止(環境への流出防止)と作業被ばく軽減を両立した漏えい水回収、除染が可能になると考えられる。

以上

建屋内 RO 循環設備および追設する関連機器の設計・確認の方針について

1. 基本設計

1.1 設置の目的

2.5.1.5.1 に示す汚染水処理設備等の設備構成のうち，建屋内 RO 循環設備は塩分を除去する逆浸透膜装置及びこれに付帯する設備を 4 号機タービン建屋 2 階に設置し，屋外に敷設している汚染水等の移送配管縮小による放射性物質の漏えいリスク低減や原子炉注水用の処理済水供給の信頼性向上を目的に設置する。

また，追設する関連機器は建屋内 RO にて生成された濃縮塩水を，RO 濃縮水貯槽まで淡水化装置（RO-3）をバイパスして移送できることを目的とし設置する。

1.2 要求される機能

(1)建屋内 RO 循環設備は，サプレッション・プール水サージタンク（以下，「SPT」という。）に供給される汚染水の塩分を除去し，原子炉注水系の水源である復水貯蔵タンク（以下，「CST」という。），RO 処理水貯槽，および蒸発濃縮処理水貯槽に処理済水を移送できること。

(2)建屋内 RO で生成される濃縮塩水は，建屋内 RO 濃縮水受タンクに移送できること。

(3)追設する関連機器は建屋内 RO にて生成された濃縮塩水を建屋内 RO 濃縮水受タンクから RO-3 バイパスラインを介して，増設 RO 濃縮水受タンクに移送できること。

1.3 設計方針

(1)処理能力

ａ．建屋内 RO 循環設備は，燃料の崩壊熱を除去するために必要な原子炉注水量を考慮した設計とする。

ｂ．建屋内 RO は，原子炉注水に使用可能な塩化物イオン濃度まで低減可能な処理容量とする。

ｃ．追設する関連機器の処理能力については「2.5.1.3.1　汚染水処理設備，貯留設備（タンク等）及び関連設備（移送配管，移送ポンプ等）の設計方針」のうち「（１）処理能力」に示すとおり。

(2)長期停止に対する考慮

ａ．建屋内 RO 循環設備は，故障により設備が長期間停止することがないように 2 系列設置する。

ｂ．建屋内 RO 循環設備および追設する関連機器の電源は，異なる 2 系統の所内低圧母線

から受電可能な設計とする。

(3)規格・規準

建屋内 RO 循環設備および追設する関連機器は，設計，材料の選定，製作及び検査について，JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（JSME 規格），日本産業規格（JIS 規格），American Society of Mechanical Engineers（ASME 規格）等※1の適用，実績等により信頼性を確保する。

※１「金属材料に関する規格」

・JIS G 3456 高温配管用炭素鋼鋼管
・JIS G 3459 配管用ステンレス鋼鋼管

「非金属材料に関する規格」

・JIS K 6331 送水用ゴムホース（ウォーターホース）
・JIS K 6349 液圧用の鋼線又は繊維補強ゴムホース
・JIS K 7011 構造用ガラス繊維強化プラスチック
・JIS K 7012 ガラス繊維強化プラスチック製耐食貯槽
・JWWA K144 水道配水用ポリエチレン管
・ポリエチレンタンク協議会技術委員会　ポリエチレン製竪型耐食円筒型貯槽規格

「溶接に関する規格」

・JSME S NB1 発電用原子力設備規格 溶接規格
・JIS B 8285 圧力容器の溶接施工方法の確認試験
・日本鋼構造協会 JSS-Ⅰ 溶接開先標準
・JIS Z 3040 溶接施工方法の確認試験方法
・JIS Z 3801 手溶接技術検定における試験方法及び判定基準
・JIS Z 3841 半自動溶接技術検定における試験方法及び判定基準

(4)放射性物質の漏えい発生防止及び漏えい拡大防止

建屋内 RO 循環設備および追設する関連機器は，液体状の放射性物質の漏えい対策として，次の各項を考慮した設計とする。

ａ．漏えいの発生を防止するため，建屋内 RO 循環設備および追設する関連機器には設置環境や内部流体の性状等に応じた適切な材料を使用するとともに，タンク水位の検出器，インターロック回路を設ける。

ｂ．液体状の放射性物質が漏えいした場合に備え，機器周囲に堰等を設置することで漏えいの拡大を防止する。また，4 号タービン建屋 2 階に設置する堰内等に漏えい検知器を設置し，早期検知を図る。

ｃ．タンク水位，漏えい検知等の警報は，免震重要棟に表示し，異常を確実に運転員に伝え適切な措置をとれるようにする。

d．追設する関連機器のうち，屋外に設置する堰内等へ堰内水位計の設置および巡視点検により，漏えいの早期検知を図る。

(5)放射線遮へいに対する考慮

建屋内 RO 循環設備および追設する関連機器は，放射線業務従事者等の線量を低減する観点から，放射線を適切に遮へいする設計とする。

(6)誤操作の防止に対する考慮

建屋内 RO 循環設備および追設する関連機器は，運転員の誤操作，誤判断を防止するために，特に重要な操作については，ダブルアクションを要する等の設計とする。

(7)検査可能性に対する設計上の考慮

建屋内 RO 循環設備および追設する関連機器は，漏えい検査・通水検査等の設備の機能を確認するための検査が適切に実施できる設計とする。

(8)放射線防護に係わる被ばく防止措置

a．建屋内 RO 循環設備および追設する関連機器は，作業における被ばく低減を図るため，必要に応じて機器周囲を遮へいする。

b．建屋内 RO 循環設備は，ろ過器の交換時における被ばく低減を図るため，逆洗可能な設計とする。

(9)設備保全に対する考慮

建屋内 RO 循環設備および追設する関連機器は，機器の重要度に応じた有効な保全を計画し，実施が可能な設計とする。

(10)監視・操作に対する考慮

建屋内 RO 循環設備および追設する関連機器は，免震重要棟において計器の監視，警報発報及び遠隔操作が可能な設計とする。

1.4 主要な機器

建屋内 RO 循環設備は，SPT 廃液移送ポンプ，SPT 廃液昇圧ポンプ，ろ過器，ろ過処理水受タンク，ろ過処理水移送ポンプ，ろ過処理水昇圧ポンプ，建屋内 RO，淡水化処理水受タンク，CST 移送ポンプ及び配管等の付帯設備で構成する。

SPT の貯留水は，SPT 廃液移送ポンプにより，4 号機タービン建屋に移送し，SPT 廃液昇圧ポンプ及びろ過器を通して，ろ過処理水受タンクに一時貯留する。ろ過処理水受タンクの水は，ろ過処理水移送ポンプ及びろ過処理水昇圧ポンプにより，建屋内 RO を通して塩分を除去し，淡水化処理水受タンクを介して CST 移送ポンプにより CST，RO 処理水貯槽，お

よび蒸発濃縮処理水貯槽に移送する。

また，追設する関連機器は建屋内 RO 濃縮水移送ポンプ，増設 RO 濃縮水供給ポンプ，建屋内 RO 濃縮水受タンク，増設 RO 濃縮水受タンク及び配管等で構成する。

建屋内 RO で生成される濃縮塩水は，建屋内 RO 濃縮水受タンクに移送し，建屋内 RO 濃縮水受タンク以降は，RO-3 バイパスラインから増設 RO 濃縮水受タンクを介して RO 濃縮水貯槽に移送される。

なお，運転系列は建屋内 RO を原則として使用することとし，蛇腹ハウス内に設置している淡水化装置（RO）に係る設備の内，耐震 S クラスに準拠した地震に対して系外漏えいが発生しないことを確認していない機器※については，堰内に可撓性のあるライニングを施工し，地震時の系外漏えいリスクを低減した上で，建屋内 RO 循環設備の計画外停止により，原子炉注水系保有水が不足する恐れがある場合に使用する。

※逆浸透膜装置（RO-3），廃液 RO 供給タンク，廃液 RO 供給ポンプ，SPT 受入水タンク，SPT 受入水移送ポンプ，RO 濃縮水受タンク，RO 濃縮水供給ポンプ

1.5 自然災害対策等

(1)津波

建屋内 RO 循環設備および追設する関連機器は，仮設防潮堤により，アウターライズ津波による浸水を防止する。また，アウターライズ津波を上回る津波の襲来に備え，大津波警報が出た際は，系統を停止し，隔離弁を閉止することで，汚染水の流出を防止する。なお，津波による配管損傷があった場合でも，系統を停止することで，汚染水の漏えいは限定的なものとなる。

(2)風雨（豪雨・台風・竜巻）

建屋内 RO 循環設備および追設する関連機器のうち建屋内 RO 濃縮水移送ポンプ，建屋内 RO 濃縮水受タンクは，4 号機タービン建屋内に設置するため，風雨により設備の安全性が損なわれる可能性は低い。

追設する関連機器のうち屋外に設置する増設 RO 濃縮水供給ポンプ，増設 RO 濃縮水受タンクについては風雨により損傷を与える可能性がある場合，汚染水移送停止等の操作を行い，機器の損傷による汚染水漏えい防止を図る。

(3)火災

建屋内 RO 循環設備および追設する関連機器は，火災発生防止及び火災影響軽減のため，実用上可能な限り不燃性又は難燃性材料を使用するとともに設備周辺から可能な限り可燃物を排除する。また，初期消火の対応ができるよう，設備近傍に消火器を設置する。なお，火災発生は，監視カメラ等により確認可能な設計とする。

2. 構造強度及び耐震性

2.1 構造強度

建屋内 RO 循環設備および追設する関連機器は,JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（JSME 規格），日本産業規格（JIS 規格），American Society of Mechanical Engineers（ASME 規格），日本水道協会規格（JWWA 規格），ポリエチレン製竪型耐食円筒型貯槽規格（ポリエチレンタンク協議会技術委員会）に準拠する。

また，耐圧ホースについては，製造者仕様範囲内の圧力および温度で運用することで，構造強度を有すると評価する。

2.2 耐震性

建屋内 RO 循環設備を構成する主要機器および追設する機器のうち，移送ポンプ類，タンク類,配管類（鋼管）については,耐震性評価の基本方針に基づき評価を実施する。

また，耐圧ホース，ポリエチレン管は，材料の可撓性により耐震性を確保する。

別紙

（１）建屋内 RO 循環設備および追設する関連機器の範囲

（２）建屋内 RO 循環設備および追設する関連機器の基本仕様

（３）建屋内 RO 循環設備および追設する関連機器の構造強度及び耐震性

（４）建屋内 RO 循環設備および追設する関連機器に係る確認事項

（５）建屋内 RO 循環設備の関連設備における耐震性

参考資料

（１）建屋内 RO 循環設備および追設する関連機器の具体的な安全確保策

（２）建屋内 RO 循環設備に係る放射性固体廃棄物発生量に関する評価

（３）建屋内 RO 循環設備および追設する関連機器の配置

（４）建屋内 RO 循環設備および追設する関連機器のスロッシング評価

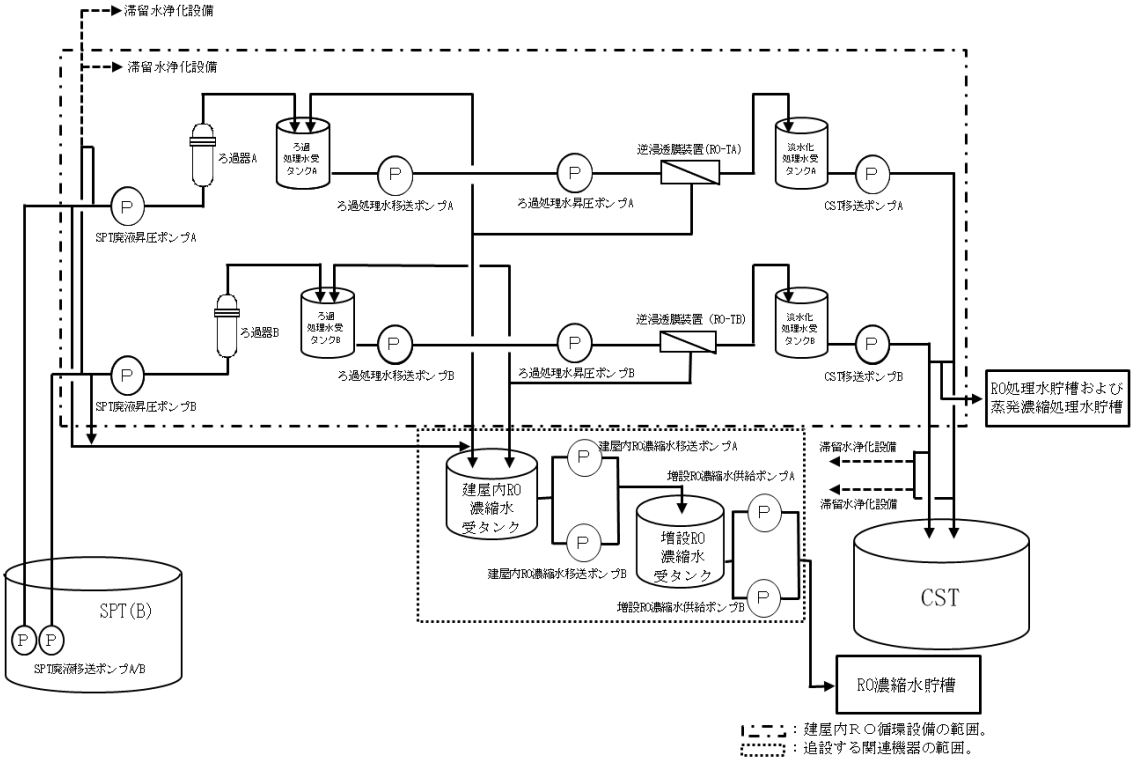
（５）建屋内 RO 循環設備の関連設備におけるスロッシング評価

以上

別紙（１）

建屋内 RO 循環設備および追設する関連機器の範囲

建屋内 RO 循環設備および追設する関連機器の範囲を図－１に示す。



図－１　建屋内 RO 循環設備および追設する関連機器の範囲図

別紙（２）

建屋内 RO 循環設備および追設する関連機器の基本仕様

（１） ろ過器

名　称			ろ過器
種　類		－	たて置円筒形
容　量		m^3/h/個	35
最高使用圧力		MPa	0.98
最高使用温度		℃	40
主要寸法	上部胴内径	mm	750
	上部胴板厚さ	mm	9.0
	下部胴内径	mm	750
	下部胴板厚さ	mm	9.0
	上部胴フランジ厚さ	mm	43.0
	下部胴フランジ厚さ	mm	43.0
	鏡板厚さ	mm	9.0
	高　さ	mm	2251
管台寸法	原水入口	mm	外径 89.1×厚さ 5.5
	ろ過処理水出口	mm	外径 89.1×厚さ 5.5
材料	胴　板	－	SM400A（ゴムライニング）
	鏡　板	－	SM400A（ゴムライニング）
	胴フランジ	－	SF490A
	管　台	－	STPT410
個　数		－	2

（２）ろ過処理水受タンク

名　称			ろ過処理水受タンク
種　類		－	たて置円筒形
容　量		m^3/個	10
最高使用圧力		MPa	静水頭
最高使用温度		℃	40
主要寸法	胴内径	mm	2400
	胴板厚さ	mm	9.0
	高　さ	mm	3500
管台寸法	ろ過処理水入口外径	mm	92
	ろ過処理水出口外径	mm	162
	濃縮水戻り入口外径	mm	92
材　料		－	強化プラスチック（FRP）
個　数		－	2

（３）建屋内 RO

名　称			逆浸透膜装置ユニット
種　類		－	逆浸透膜型
容　量		m^3/h	35
最高使用圧力		MPa	4.5
最高使用温度		℃	40
主要寸法	た　て	mm	2500
	横	mm	8600
	高　さ	mm	2500
材料	ハウジング	－	強化プラスチック（FRP）
個　数		－	2

（４）淡水化処理水受タンク

名　称			淡水化処理水受タンク
種　類		－	たて置円筒形
容　量		m^3/個	10
最高使用圧力		MPa	静水頭
最高使用温度		℃	40
主要寸法	胴内径	mm	2500
	胴板厚さ	mm	9.0
	底板厚さ	mm	12.0
	高　さ	mm	3800
管台寸法	RO 処理水入口	mm	外径 89.1×厚さ 5.5
	RO 処理水出口	mm	外径 89.1×厚さ 5.5
材料	胴　板	－	SM400C
	底　板	－	SM400C
	管　台	－	STPT410
個　数		－	2

（５）SPT 受入水タンク接続管台

名　称			SPT 受入水タンク接続管台
最高使用圧力		MPa	大気圧
最高使用温度		℃	66
管台寸法	濃縮塩水受入	mm	外径 89.1×厚さ 5.5
材料	濃縮塩水受入	－	STPT410

（６）建屋内 RO 濃縮水受タンク

名　称			建屋内 RO 濃縮水受タンク
種　類		－	たて置円筒形（補強枠付属）
容　量		m^3/個	30
最高使用圧力		MPa	静水頭
最高使用温度		℃	40
主要寸法	胴外径	mm	2860
	胴板厚さ	mm	16.0
	直胴部高さ	mm	5250
	補強枠厚さ	mm	7.0
材料	胴　板	－	ポリエチレン
	管　台	－	ポリエチレン
	補強枠	－	SUS304
個　数		－	1

建屋内 RO 濃縮水受タンクは，保有水のバウンダリ機能をタンク本体で，耐震性をタンク補強枠により担保する。タンク補強枠は製作上生じる最低限の隙間部を除き，側面の全周を覆う設計とする。

（７）増設 RO 濃縮水受タンク

名　称			増設 RO 濃縮水受タンク
種　類		－	たて置円筒形
容　量		m^3/個	30
最高使用圧力		MPa	静水頭
最高使用温度		℃	40
主要寸法	胴内径	mm	3000
	胴板厚さ	mm	9.0
	底板厚さ	mm	12.0
	高　さ	mm	5006
管台寸法	RO 濃縮水入口	mm	外径 114.3×厚さ 6.0
	RO 濃縮水出口	mm	外径 114.3×厚さ 6.0
	予備	mm	外径 114.3×厚さ 6.0
	予備	mm	外径 165.2×厚さ 7.1
材料	胴　板	－	SUS316L
	底　板	－	SUS316L
	管　台	－	SUS316L
個　数		－	1

以上

別紙（３）

建屋内 RO 循環設備および追設する関連機器の構造強度及び耐震性

建屋内 RO 循環設備および追設する関連機器を構成する設備について，構造強度評価の基本方針及び耐震性評価の基本方針に基づき構造強度及び耐震性の評価を行う。

1.基本方針

1.1 構造強度評価の基本方針

建屋内 RO 循環設備および追設する関連機器のうち，鋼材を使用しているタンク及び鋼管については，JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（JSME 規格）のクラス３機器に準じた評価を行う。

建屋内 RO，ろ過処理水受タンクは，強化プラスチック材の容器のため，American Society of Mechanical Engineers（ASME 規格）又は日本産業規格（JIS 規格）に準拠したものを製造者仕様範囲内の圧力及び温度で運用することにより構造強度を有すると評価する。

建屋内 RO 濃縮水受タンクは，ポリエチレン材の容器のため，ポリエチレン製竪型耐食円筒型貯槽規格（ポリエチレンタンク協議会技術委員会）に準じた評価を行う。

ポリエチレン管は，日本水道協会規格（JWWA 規格）に適合したものを適用範囲内で使用することで，構造強度を有すると評価する。また，耐圧ホースについては，製造者仕様範囲内の圧力及び温度で運用することで構造強度を有すると評価する。

1.2 耐震性評価の基本方針

建屋内 RO 循環設備および追設する関連機器のうち放射性物質を内包するものは，発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針の B クラス相当の設備と位置づけられる。耐震性評価にあたっては，JEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規程，ポリエチレン製竪型耐食円筒型貯槽規格（ポリエチレンタンク協議会技術委員会）等に準拠することを基本とする。

また，各機器は必要な耐震性を確保するために，原則として以下の方針に基づき設計する。

- 倒れ難い構造（機器等の重心を低くする，基礎幅や支柱幅を大きくとる）
- 動き難い構造，外れ難い構造（機器をアンカ，溶接等で固定する）
- 座屈が起こり難い構造
- 変位による破壊を防止する構造（定ピッチスパン法等による配管サポート間隔の設定，配管等に可撓性のある材料を使用）

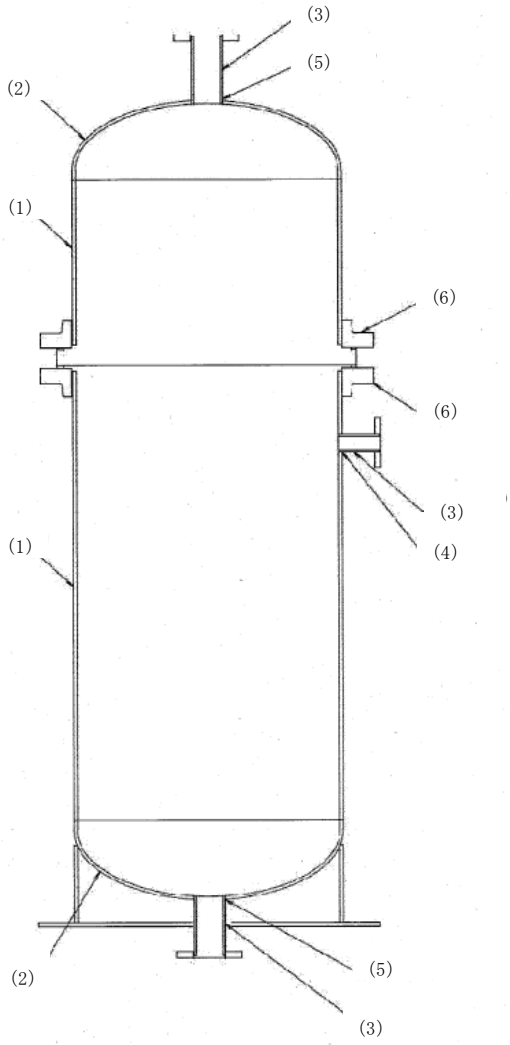
鋼管については，定ピッチスパン法で評価されるサポート間隔とする。なお，耐圧ホース，ポリエチレン管は，可撓性により耐震性を確保する。

2. 強度評価

2.1 ろ過器

2.1.1 評価箇所

強度評価箇所を図－１に示す。



図中の番号は，2.1.2，2.1.3 の番号に対応する。

図－１　ろ過器概要図

2.1.2 評価方法（JSME 規格，JIS 規格）

(1) 胴板の評価（JSME 規格　PVD-3010 及び PVD-3110，PVC-3120）

胴板の必要な厚さは，次に掲げる値のうち，いずれか大きい方の値とする。

ａ．胴板の規格上必要な最小厚さ：t_1

炭素鋼鋼板又は低合金鋼鋼板で作られたものの場合は 3mm，その他の材料で作られたものの場合は 1.5mm とする。

b．胴板の計算上必要な厚さ：t_2

$$t_2=\frac{P\cdot D_i}{2S\cdot\eta-1.2P}$$

t_2：胴板の計算上必要な厚さ（mm）
P　：最高使用圧力（MPa）
D_i：胴の内径（mm）
S　：許容引張応力（MPa）
η　：継手効率（-）

(2) 鏡板の評価（JSME 規格　PVD-3010 及び PVD-3110，PVC-3220 及び PVC-3225）

半だ円形鏡板の必要な厚さは，以下の計算式により計算した値のうち，いずれか大きい方の値とする。

a．鏡板の計算上必要な厚さ：t_1

$$t_1=\frac{P\cdot D\cdot K}{2S\cdot\eta-0.2P}$$

t_1：鏡板の計算上必要な厚さ（mm）
P　：最高使用圧力（MPa）
D　：鏡板の内面における長径（mm）
K　：半だ円型鏡板の形状による係数（-）
S　：許容引張応力（MPa）
η　：継手効率（-）

ここで，Kは次の計算式により計算した値とする。

$$K=\frac{1}{6}\cdot\left(2+\left(\frac{D}{2h}\right)^2\right)$$

D：鏡板の内面における長径（mm）
h：鏡板の内面における短径の 1/2（mm）

b．鏡板フランジ部の計算上必要な厚さ：t_2

$$t_2=\frac{P\cdot D_i}{2S\cdot\eta-1.2P}$$

t_2：鏡板フランジ部の計算上必要な厚さ（mm）
P　：最高使用圧力（MPa）
D_i：胴の内径（mm）
S　：許容引張応力（MPa）
η　：継手効率（-）

(3) 管台の評価（JSME 規格　PVD-3010 及び PVD-3110，PVC-3610）

管台の必要な厚さは，次に掲げる値のうち，いずれか大きい方の値とする。

ａ．管台の計算上必要な厚さ：t_1

$$t_1=\frac{P\cdot D_0}{2S\cdot\eta+0.8P}$$

t_1：管台の計算上必要な厚さ

P　：最高使用圧力（MPa）

D_0：管台の外径（mm）

S　：許容引張応力（MPa）

η　：継手効率（-）

ｂ．管台の規格上必要な最小厚さ：t_2

管台の外径に応じて JSME 規格　表 PVC-3610-1 より求めた管台の厚さとする。

(4) 胴板の補強を要しない穴の最大径の評価

（JSME 規格　PVD-3110，PVD-3120）

胴板の補強を要しない穴の最大径は，以下の計算式により計算した値のうち，いずれかとする。

ａ．穴の径が 61mm 以下で，胴の内径の 1/4 以下の穴径。

$$d_{r1}=\frac{D-2\cdot t_S}{4}$$

d_{r1}:補強を要しない穴の最大径（mm）

D :胴の外径（mm）

t_s：胴板の最小厚さ（mm）

ｂ．ａに掲げるものを除き，穴の径が 200mm 以下で，かつ，JSME 規格　図 PVD-3122-1 及び図 PVD-3122-2 により求めた値以下の穴径。

$$d_{r2}=8.05\cdot\sqrt[3]{D\cdot t_S\cdot(1-K)}$$

d_{r2}:補強を要しない穴の最大径（mm）

D　：胴の外径（mm）

t_s　：胴板の最小厚さ（mm）

K　：胴板の形状による係数（-）

ここで，Kは胴板の場合，次の計算式により計算した値で，K＞0.99 のときは，K＝0.99 とする。

$$K=\frac{P\cdot D}{1.82S\cdot\eta\cdot t_S}$$

P：最高使用圧力（MPa）

D：胴の外径（mm）

S：許容引張応力（MPa）

η：継手効率（-）

t_s：胴板の最小厚さ（mm）

(5) 鏡板の補強を要しない穴の最大径の評価（JSME 規格　PVD-3110，PVD-3210）

鏡板の補強を要しない穴の最大径は，以下の計算式により計算した値のうち，いずれかとする。

ａ．穴の径が 61mm 以下で，鏡板の内径の 1/4 以下の穴径。

$$d_{r1}=\frac{D-2\cdot t_c}{4}$$

d_{r1}:補強を要しない穴の最大径（mm）
D ：鏡板の外径（mm）
t_c：鏡板の最小厚さ（mm）

ｂ．ａに掲げるものを除き，穴の径が 200mm 以下で，かつ，JSME 規格　図 PVD-3122-1 及び図 PVD-3122-2 により求めた値以下の穴径。

$$d_{r2}=8.05\cdot\sqrt[3]{D\cdot t_c\cdot(1-K)}$$

d_{r2}:補強を要しない穴の最大径（mm）
D ： 鏡板の外径（mm）
t_c ：鏡板の最小厚さ（mm）
K ： 鏡板の形状による係数（-）

ここで，Kは鏡板の場合，次の計算式により計算した値で，K＞0.99 のときは，K＝0.99 とする。

$$K=\frac{P\cdot D}{1.82S\cdot\eta\cdot t_c}$$

P： 最高使用圧力（MPa）
D：鏡板の外径（mm）
S：許容引張応力（MPa）
η ：継手効率（-）
t_c：鏡板の最小厚さ（mm）

(6) ろ過器胴フランジの評価（JSME 規格　PVD-3010，PVC-3710，JIS 規格　JIS B 8265）

ろ過器胴フランジ強度は，以下ａ～ｆの計算式により計算した値とする。

ａ．ボルトの総有効断面積：$A_b > A_m$であること。

①ガスケット座の有効幅：ｂ（㎜）

$b = b_0$　　$b_0 = \frac{N}{2}$

ｂ：ガスケット座の有効幅（㎜）

Ｎ：ガスケット接触面の幅（㎜）

②ガスケット反力円の直径：Ｇ（㎜）

$G = G_s - N$

Ｇ：ガスケット反力円の直径（㎜）

G_s：ガスケット接触面の外径（㎜）

③使用状態の必要な最小ボルト荷重：W_{m1}（Ｎ）

$W_{m1} = H + H_P$

$H = \frac{\pi}{4} \cdot G^2 \cdot P$

$H_p = 2 \cdot \pi \cdot b \cdot G \cdot m \cdot P$

W_{m1}：使用状態の必要な最小ボルト荷重（Ｎ）

π：円周率（-）

ｂ：ガスケット座の有効幅（㎜）

Ｇ：ガスケット反力円の直径（㎜）

ｍ：ガスケット係数（-）

Ｐ：最高使用圧力（MPa）

Ｈ：フランジに加わる全荷重（Ｎ）

H_p：ガスケットまたは継手接触面に加わる圧縮力（Ｎ）

④ガスケット締付時の必要なボルト荷重：W_{m2}（Ｎ）

$W_{m2} = \pi \cdot b \cdot G \cdot y$

W_{m2}：ガスケット締付時の必要なボルト荷重（Ｎ）

π：円周率（-）

ｂ：ガスケット座の有効幅（㎜）

Ｇ：ガスケット反力円の直径（㎜）

ｙ：ガスケットの最小締付け圧力（MPa）

⑤必要なボルトの総有効断面積：A_m（mm²）

$$A_m = Max\ (A_{m1},\ A_{m2})$$

$$A_{m1} = \frac{W_{m1}}{\sigma_b}$$

$$A_{m2} = \frac{W_{m2}}{\sigma_a}$$

A_m：必要なボルトの総有効断面積（mm²）
W_{m1}：使用状態の必要な最小ボルト荷重（N）
W_{m2}：ガスケット締付時の必要なボルト荷重（N）
σ_b：最高使用温度におけるボルト材料の許容引張応力（MPa）
σ_a：常温におけるボルト材料の許容引張応力（MPa）
A_{m1}：使用状態のボルトの総有効断面積（mm²）
A_{m2}：ガスケット締付時のボルトの総有効断面（mm²）

⑥実際に使用するボルトの総有効断面積：A_b（mm²）

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d_b^{\,2} \cdot n$$

A_b：実際に使用するボルトの総有効断面積（mm²）
π：円周率（-）
d_b：ボルトネジ部の谷径と軸部の径の最小部の小さい方の径（mm）
n：ボルトの本数（本）

b．フランジハブの軸方向応力

使用状態のフランジハブの軸方向応力：$\sigma_H \leqq 1.5\sigma_f$，$\sigma_H \leqq 1.5\sigma_n$であること。

ガスケット締付時のフランジハブの軸方向応力：$\sigma_H \leqq 1.5\sigma_{fa}$，$\sigma_H \leqq 1.5\sigma_{na}$であること。

①使用状態のボルト荷重：W_o（N）

$$W_0 = W_{m1}$$

W_0：使用状態のボルト荷重（N）
W_{m1}：使用状態の最小ボルト荷重（N）

②ガスケット締付時のボルト荷重：W_g（N）

$$W_g = \frac{(A_m + A_b) \cdot \sigma_a}{2}$$

W_g：ガスケット締付時のボルト荷重（N）
A_m：ボルトの総有効断面積（mm²）
A_b：実際に使用するボルトの総有効断面積（mm²）
σ_a：常温におけるボルト材料の許容引張応力（MPa）

③フランジ内径面に加わる全荷重：H_D（N）

$$H_D=\frac{\pi}{4}\cdot B^2\cdot P$$

H_D：フランジ内径面に加わる全荷重（N）
π：円周率（-）
B：フランジの内径（mm）
P：最高使用圧力（MPa）

④ガスケット荷重：H_G（N）

$$H_G=W_0-H$$

H_G：ガスケット荷重（N）
W_0：使用状態のボルト荷重（N）
H：フランジに加わる全荷重（N）

⑤フランジに加わる全荷重とフランジ内径面に加わる荷重との差：H_T（N）

$$H_T=H-H_D$$

H_T：フランジに加わる全荷重とフランジ内径面に加わる荷重との差（N）
H：フランジに加わる全荷重（N）
H_D：フランジ内径面に加わる全荷重（N）

⑥ボルト穴の中心円からH_D作用点までの半径方向の距離：h_D（mm）
（H_D：フランジ内径面に加わる全荷重（N））

$$h_D=\frac{C-B}{2}$$

h_D：ボルト穴の中心円からH_D作用点までの半径方向の距離（mm）
C：ボルト穴の中心円の直径（mm）
B：フランジの内径（mm）

⑦ボルト穴の中心円からH_G作用点までの半径方向の距離：h_G（mm）
（H_G：ガスケット荷重（N））

$$h_G=\frac{C-G}{2}$$

h_G：ボルト穴の中心円からH_G作用点までの半径方向の距離（mm）
C：ボルト穴の中心円の直径（mm）
G：ガスケット反力円の直径（mm）

⑧ボルト穴の中心円からH_T作用点までの半径方向の距離：h_T（㎜）

（H_T：フランジに加わる全荷重とフランジの内径面に加わる荷重との差（N））

$$h_T=\frac{h_D+h_G}{2}$$

h_T：ボルト穴の中心円からH_T作用点までの半径方向の距離（㎜）
h_D：ボルト穴の中心円からH_D作用点までの半径方向の距離（㎜）
h_G：ボルト穴の中心円からH_G作用点までの半径方向の距離（㎜）

⑨フランジ内径面に加わる荷重によるモーメント：M_D（N・㎜）

$$M_D=H_D\cdot h_D$$

M_D：フランジ内径面に加わる荷重によるモーメント（N・㎜）
H_D：フランジ内径面に加わる全荷重（N）
h_D：ボルト穴の中心円からH_D作用点までの半径方向の距離（㎜）

⑩ガスケット荷重によるモーメント：M_G（N・㎜）

$$M_G=H_G\cdot h_G$$

M_G：ガスケット荷重によるモーメント（N・㎜）
H_G：ガスケット荷重（N）
h_G：ボルト穴の中心円からH_G作用点までの半径方向の距離（㎜）

⑪フランジに加わる全荷重とフランジ内径面に加わる荷重との差によるモーメント：M_T（N・㎜）

$$M_T=H_T\cdot h_T$$

M_T：フランジに加わる全荷重とフランジ内径面に加わる荷重との差によるモーメント（N・㎜）
H_T：フランジに加わる全荷重とフランジの内径面に加わる荷重との差（N）
h_T：ボルト穴の中心円からH_T作用点までの半径方向の距離（㎜）

⑫使用状態のフランジに作用するモーメント：M_o（N・㎜）

$$M_0=M_D+M_G+M_T$$

M_0：使用状態のフランジに作用するモーメント（N・㎜）
M_D：フランジ内径面に加わる荷重によるモーメント（N・㎜）
M_G：ガスケット荷重によるモーメント（N・㎜）
M_T：フランジに加わる全荷重とフランジ内径面に加わる荷重との差によるモーメント（N・㎜）

⑬ガスケット締付時のフランジに作用するモーメント：M_g（N・mm）

$$M_g = W_g \cdot \left(\frac{C - G}{2} \right)$$

M_g：ガスケット締付時のフランジに作用するモーメント（N・mm）
W_g：ガスケット締付時のボルト荷重（N）
C：ボルト穴の中心円の直径（mm）
G：ガスケット反力円の直径（mm）

⑭使用状態のフランジハブの軸方向応力：σ_H（MPa）
最高使用温度におけるフランジ材料の許容引張応力：σ_f（MPa）
最高使用温度における管台または胴材料の許容引張応力：σ_n（MPa）

$$\sigma_H = \frac{f \cdot M_0}{L \cdot g_1^2 \cdot B}$$

$\sigma_H \leqq 1.5\sigma_f$

$\sigma_H \leqq 1.5\sigma_n$

σ_H：使用状態のフランジハブの軸方向応力（MPa）
f：ハブ応力修正係数（-）
M_0：使用状態のフランジに作用するモーメント（N・mm）
L：係数（-）
g_1：フランジ背面のハブの厚さ（mm）
B：フランジの内径（mm）

⑮ガスケット締付時のフランジハブの軸方向応力：σ_H（MPa）
常温におけるフランジ材料の許容引張応力：σ_{fa}（MPa）
常温における管台または胴材料の許容引張応力：σ_{na}（MPa）

$$\sigma_H = \frac{f \cdot M_g}{L \cdot g_1^2 \cdot B}$$

$\sigma_H \leqq 1.5\sigma_{fa}$

$\sigma_H \leqq 1.5\sigma_{na}$

σ_H：ガスケット締付時のフランジハブの軸方向応力（MPa）
f：ハブ応力修正係数（-）
M_g：ガスケット締付時のフランジに作用するモーメント（N・mm）
L：係数（-）
g_1：フランジ背面のハブの厚さ（mm）
B：フランジの内径（mm）

c．フランジの半径方向応力

使用状態のフランジの半径方向応力：$\sigma_R \leqq \sigma_f$であること。

ガスケット締付時のフランジの半径方向応力：$\sigma_R \leqq \sigma_{fa}$であること。

①～⑬は，前項bと同じ。

⑭使用状態のフランジの半径方向応力：σ_R（MPa）

最高使用温度におけるフランジ材料の許容引張応力：σ_f（MPa）

$$\sigma_R = \frac{(1.33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_0}{L \cdot t^2 \cdot B}$$

$\sigma_R \leqq \sigma_f$

σ_R：使用状態のフランジの半径方向応力（MPa）

t：フランジの厚さ（mm）

e：係数（mm^{-1}）

M_0：使用状態のフランジに作用するモーメント（N・mm）

L：係数（-）

B：フランジの内径（mm）

⑮ガスケット締付時のフランジの半径方向応力：σ_R（MPa）

常温におけるフランジ材料の許容引張応力：σ_{fa}（MPa）

$$\sigma_R = \frac{(1.33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_g}{L \cdot t^2 \cdot B}$$

$\sigma_R \leqq \sigma_{fa}$

σ_R：ガスケット締付時のフランジの半径方向応力（MPa）

t：フランジの厚さ（mm）

e：係数（mm^{-1}）

M_g：ガスケット締付時のフランジに作用する
モーメント（N・mm）

L：係数（-）

B：フランジの内径（mm）

d．フランジの周方向応力

使用状態のフランジの周方向応力：$\sigma_T \leqq \sigma_f$であること。

ガスケット締付時のフランジの周方向応力：$\sigma_T \leqq \sigma_{fa}$であること。

①～⑬は，前項ｂと同じ。

⑭使用状態のフランジの周方向応力：σ_T（MPa）

最高使用温度におけるフランジ材料の許容引張応力：σ_f（MPa）

$$\sigma_T = \frac{Y \cdot M_0}{t^2 \cdot B} - Z \cdot \sigma_R$$

$\sigma_T \leqq \sigma_f$

σ_T：使用状態のフランジの周方向応力（MPa）

Y：係数（-）

M_0：使用状態のフランジに作用するモーメント（N・mm）

t：フランジの厚さ（mm）

B：フランジの内径（mm）

Z：係数（-）

σ_R：使用状態のフランジの半径方向応力（MPa）

⑮ガスケット締付時のフランジの周方向応力：σ_T（MPa）

常温におけるフランジ材料の許容引張応力：σ_{fa}（MPa）

$$\sigma_T = \frac{Y \cdot M_g}{t^2 \cdot B} - Z \cdot \sigma_R$$

$\sigma_T \leqq \sigma_{fa}$

σ_T：ガスケット締付時のフランジの周方向応力（MPa）

Y：係数（-）

M_g：ガスケット締付時のフランジに作用するモーメント（N・mm）

t：フランジの厚さ（mm）

B：フランジの内径（mm）

Z：係数（-）

σ_R：ガスケット締付時のフランジの半径方向応力（MPa）

e．フランジハブの軸方向とフランジの半径方向応力の平均

平均値≦σ_f，平均値≦σ_{fa}であること。

①使用状態のフランジハブの軸方向とフランジの半径方向応力の平均：(MPa)

最高使用温度におけるフランジ材料の許容引張応力：σ_f (MPa)

$$\frac{\sigma_H + \sigma_R}{2} \leqq \sigma_f$$

σ_f：最高使用温度におけるフランジ材料の許容引張応力（MPa）

σ_H：使用状態のフランジハブの軸方向応力（MPa）

σ_R：使用状態のフランジの半径方向応力（MPa）

②ガスケット締付時のフランジハブの軸方向とフランジの半径方向応力の平均：(MPa)

常温におけるフランジ材料の許容引張応力：σ_{fa} (MPa)

$$\frac{\sigma_H + \sigma_R}{2} \leqq \sigma_{fa}$$

σ_{fa}：常温におけるフランジ材料の許容引張応力（MPa）

σ_H：ガスケット締付時のフランジハブの軸方向応力（MPa）

σ_R：ガスケット締付時のフランジの半径方向応力（MPa）

f．フランジハブの軸方向とフランジの周方向応力の平均

平均値≦σ_f，平均値≦σ_{fa}であること。

①使用状態のフランジハブの軸方向とフランジの周方向応力の平均：(MPa)

最高使用温度におけるフランジ材料の許容引張応力：σ_f (MPa)

$$\frac{\sigma_H + \sigma_T}{2} \leqq \sigma_f$$

σ_f：最高使用温度におけるフランジ材料の許容引張応力（MPa）

σ_H：使用状態のフランジハブの軸方向応力（MPa）

σ_T：使用状態のフランジの周方向応力（MPa）

②ガスケット締付時のフランジハブの軸方向とフランジの周方向応力の平均：(MPa)

常温におけるフランジ材料の許容引張応力：σ_{fa} (MPa)

$$\frac{\sigma_H + \sigma_T}{2} \leqq \sigma_{fa}$$

σ_{fa}：常温におけるフランジ材料の許容引張応力（MPa）

σ_H：ガスケット締付時のフランジハブの軸方向応力（MPa）

σ_T：ガスケット締付時のフランジの周方向応力（MPa）

2.1.3 評価結果

評価結果を表－１～４に示す。必要厚さ等を満足しており，十分な構造強度を有すると評価した。

表－１　ろ過器　評価結果（板厚）

機器名称	評価項目		必要厚さ（mm）	最小厚さ（mm）
ろ過器	(1)胴板の厚さ		5.30	5.30 以上
	(2)鏡板の厚さ		3.70	3.70 以上
	(3)管台の厚さ	原水入口	3.00	3.00 以上
		ろ過処理水出口	3.00	3.00 以上
		逆洗ベント・空気入口	2.20	2.20 以上

表－２　ろ過器　評価結果（補強要否）

機器名称	評価項目	補強を要しない穴の最大径（mm）	穴の径（mm）
ろ過器	(4)胴板	99.22	99.22 以下
	(5)鏡板	83.65	83.65 以下

表－３　ろ過器　評価結果（ボルトの総有効断面積）

機器名称	評価項目	必要なボルトの総有効断面積（mm^2）	実際に使用するボルトの総有効断面積（mm^2）
ろ過器	(6) a．ボルトの総有効断面積	2992	2992 以上

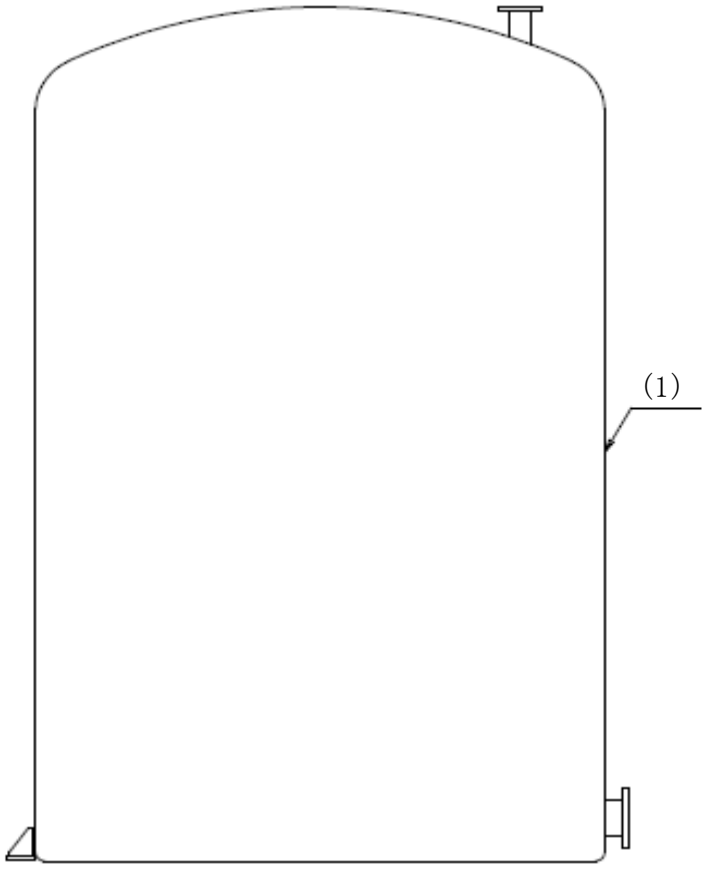
表－４　ろ過器　評価結果（胴フランジ応力）

機器名称	評価項目	計算上の胴フランジに加わる応力（MPa）	フランジの材料等の許容引張応力（MPa）
ろ過器	(6) b．使用状態のフランジハブの軸方向応力	28	28 以上
	(6) b．ガスケット締付時のフランジハブの軸方向応力	37	37 以上
	(6) c．使用状態のフランジの半径方向応力	30	30 以上
	(6) c．ガスケット締付時のフランジの半径方向応力	40	40 以上
	(6) d．使用状態のフランジの周方向応力	76	76 以上
	(6) d．ガスケット締付時のフランジの周方向応力	102	102 以上
	(6) e．使用状態のフランジハブの軸方向応力とフランジの半径方向応力の平均	29	29 以上
	(6) e．ガスケット締付時のフランジハブの軸方向応力とフランジの半径方向応力の平均	39	39 以上
	(6) f．使用状態のフランジハブの軸方向応力とフランジの周方向応力の平均	52	52 以上
	(6) f．ガスケット締付時のフランジハブの軸方向応力とフランジの周方向応力の平均	70	70 以上

2.2 ろ過処理水受タンク

2.2.1 評価箇所

強度評価箇所を図－２に示す。



図中の番号は，2.2.2，2.2.3 の番号に対応する。

図－２　ろ過処理水受タンク概要図

2.2.2 評価方法（JIS 規格　JIS K 7012）

(1) 材料（FRP）の評価

FRP の強度は，JIS 規格　JIS K 7012 に規定され，JSME 規格　PVD-3010 及び PVD-3110，PVC-3920 の評価手法により，評価する。

ａ．構造

ろ過処理水受タンクの構造は，たて置き円筒形とする。

b．強度評価

胴板の必要な厚さは，以下の計算式により計算した値とする。

胴板の計算上必要な厚さ：t_1

$$t_1=\frac{D_i\cdot H\cdot\rho}{0.204\cdot S\cdot\eta}$$

D_i ： 胴の内径（m）

H ： 水頭（m）

ρ ： 液体の比重。ただし，1 未満の場合は，1 とする。

S ： 許容引張応力（MPa）

η ： 継手効率（-）

2.2.3 評価結果

評価結果を表－５に示す。必要厚さを満足しており，十分な構造強度を有すると評価した。

表－５　ろ過処理水受タンク　評価結果（板厚）

機器名称	評価項目	必要厚さ（mm）	最小厚さ（mm）
ろ過処理水受タンク	(1)胴板の厚さ	2.30	2.30 以上

2.3 建屋内 RO

2.3.1 評価方法

建屋内 RO は，ASME 規格に準拠したものを製造者仕様範囲内の圧力及び温度で運用することにより構造強度を有すると評価する。

2.3.2 評価結果

評価結果を表－６に示す。製造者仕様範囲内の圧力及び温度を満足しており，十分な構造強度を有すると評価した。

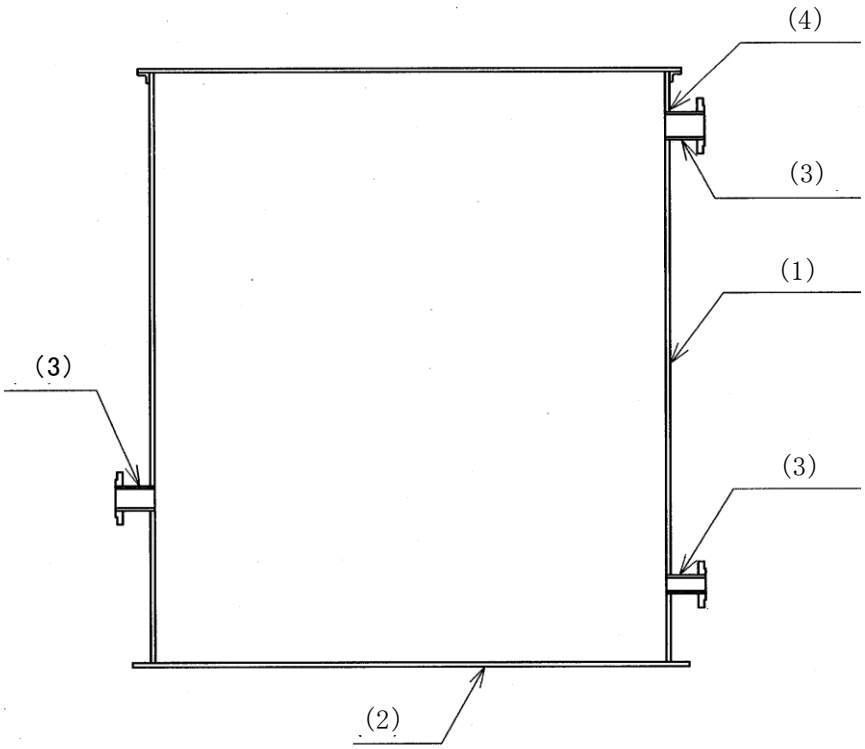
表－６　建屋内 RO　評価結果（製造者仕様範囲内の圧力及び温度）

機器名称	製造者仕様 最高使用圧力（MPa）	製造者仕様 最高使用温度（℃）	最高使用圧力 （MPa）	最高使用温度 （℃）
建屋内 RO	6.9	49	4.5 以下	40 以下

2.4 淡水化処理水受タンク

2.4.1 評価箇所

強度評価箇所を図－３に示す。



図中の番号は，2.4.2，2.4.3 の番号に対応する。

図－３　淡水化処理水受タンク概要図

2.4.2 評価方法（JSME 規格）

(1) 開放タンクの胴板の評価（JSME 規格　PVD-3010 及び PVD-3110，PVC-3920）

胴板の必要な厚さは，次に掲げる値のうち，いずれか大きい値とする。

ａ．胴板の規格上必要な最小厚さ：t_1

炭素鋼鋼板又は低合金鋼鋼板で作られたものの場合は 3mm，その他の材料で作られたものの場合は 1.5mm とする。

ｂ．胴板の計算上必要な厚さ：t_2

$$t_2=\frac{D_i\cdot H\cdot \rho}{0.204\cdot S\cdot \eta}$$

D_i ： 胴の内径（m）

H ： 水頭（m）

ρ ： 液体の比重。ただし，1 未満の場合は，1 とする。

S ： 許容引張応力（MPa）

η ： 継手効率（-）

ｃ．胴の内径に応じた必要厚さ：t_3

胴の内径の区分に応じ JSME 規格　表 PVC-3920-1 より求めた胴の厚さとする。

(2) 開放タンクの底板の評価（JSME 規格　PVD-3010 及び PVD-3110, PVC-3960(1), 3970(1)）

ａ．底板の形：平板

ｂ．底板の厚さ

地面，基礎等に直接接触する底板の厚さは，3mm 以上であること。

(3) 開放タンクの管台の評価（JSME 規格　PVD-3010 及び PVD-3110, PVC-3980）

管台の必要な厚さは，次に掲げる値のうち，いずれか大きい値とする。

ａ．管台の計算上必要な厚さ：t_1

$$t_1=\frac{D_i\cdot H\cdot\rho}{0.204\cdot S\cdot\eta}$$

D_i ： 管台の内径（m）

H ： 水頭（m）

ρ ： 液体の比重。ただし，1 未満の場合は，1 とする。

S ： 許容引張応力（MPa）

η ： 継手効率（-）

ｂ．管台の規格上必要な最小厚さ：t_2

管台の外径に応じて JSME 規格　表 PVC-3980-1 より求めた管台の厚さとする。

(4) 開放タンクの胴板の穴の補強評価

（JSME 規格　PVD-3010 及び PVD-3110, PVC-3950, PVD-3512）

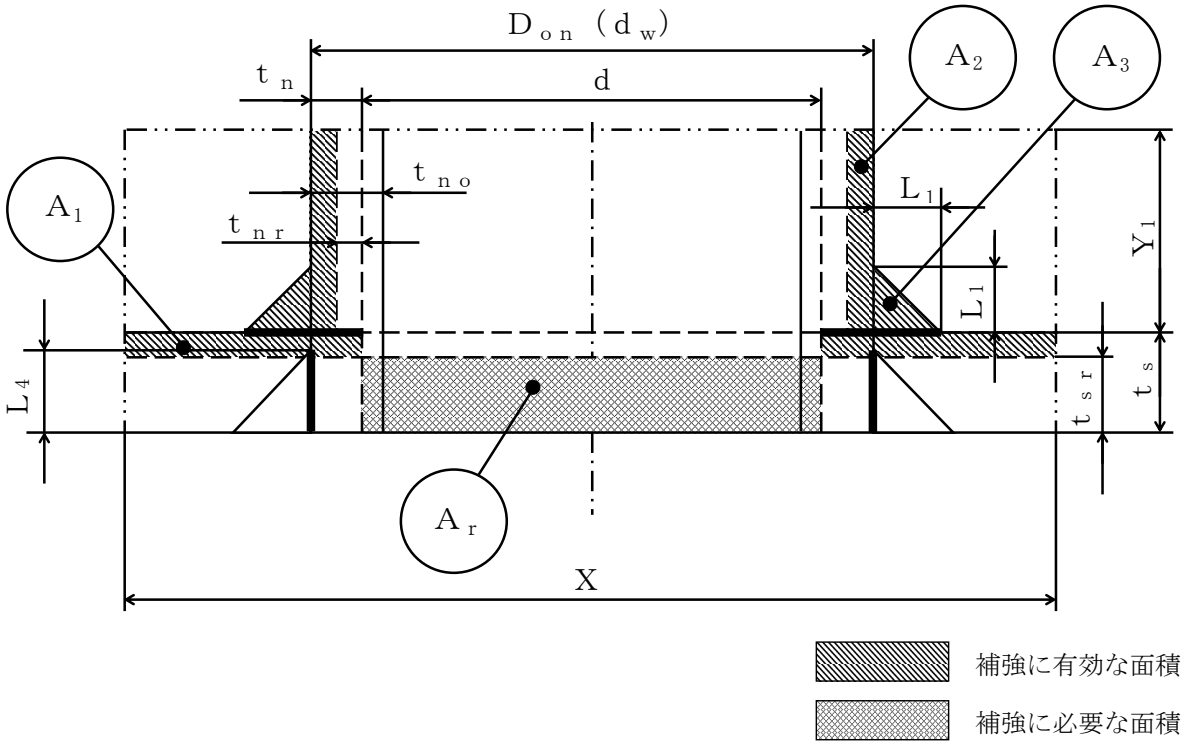
ａ．穴の径（円形の穴については直径，だ円形の穴については，長径をいう）が 85mm を超える場合は，穴を補強すること。

ｂ．補強に有効な範囲内にある補強に有効な面積が，補強に必要な面積より大きくなるようにすること。（図－４参照）

ｃ．大きい穴の補強を要しない最大径

内径が 1500mm 以下の胴に設ける穴の径が胴の内径の 2 分の 1（500mm を超える場合は，500mm）以下および内径が 1500mm を超える胴に設ける穴の径が胴の内径の 3 分の 1（1000mm を超える場合は，1000mm）以下の場合は，大きい穴の補強計算は必要ない。

ｄ．溶接部の強度として，予想される破断箇所の強さが，溶接部の負うべき荷重以上であること。（図－４参照）



d　：穴の径（㎜）

d_w：管台が取り付く穴の径（㎜）

D_{on}：管台の外径（㎜）

t_s：胴板の最小厚さ（㎜）

t_{sr}：胴板の計算上必要な厚さ（㎜）

t_n：管台の最小厚さ（㎜）

t_{nr}：管台の計算上必要な厚さ（㎜）

t_{no}：管台の呼び厚さ（㎜）

X，Y_1：補強の有効範囲（㎜）

L_1，L_4：溶接の脚長（㎜）

A_r　：補強に必要な面積（mm^2）

A_0　：補強に有効な面積（＝A_1＋A_2＋A_3）（mm^2）

図－４　補強計算概要図

2.4.3 評価結果

評価結果を表－７～８に示す。必要厚さ等を満足しており，十分な構造強度を有すると評価した。

表－７　淡水化処理水受タンク　評価結果（板厚）

機器名称	評価項目		必要厚さ（mm）	最小厚さ（mm）
淡水化処理水受タンク	(1)胴板の厚さ		3.00	3.00 以上
	(2)底板の厚さ		3.00	3.00 以上
	(3)管台	オーバーフロー	3.50	3.50 以上
		RO 処理水出口	3.50	3.50 以上
		ドレン	2.40	2.40 以上

表－８　淡水化処理水受タンク　評価結果（胴板の穴の補強）

機器名称	評価項目	評価結果	
淡水化処理水受タンク	(4)胴板（RO 処理水出口） (4)胴板（ドレン）	穴の補強の有無（mm）	穴の径（mm）
		85mm を超える	85mm 以下※1
	(4)胴板（オーバーフロー）	穴の補強の有無（mm）	穴の径（mm）
		85mm を超える	85mm を超える
		補強に必要な面積（mm^2）	補強に有効な総面積（mm^2）
		48.98	48.98 以上
		大きな穴の補強を要しない最大径（mm）	穴の径（mm）
		834	834 以下
		溶接部の負うべき荷重（N）	予想される破断箇所の強さ（N）
		-5.930×10^4	—※2

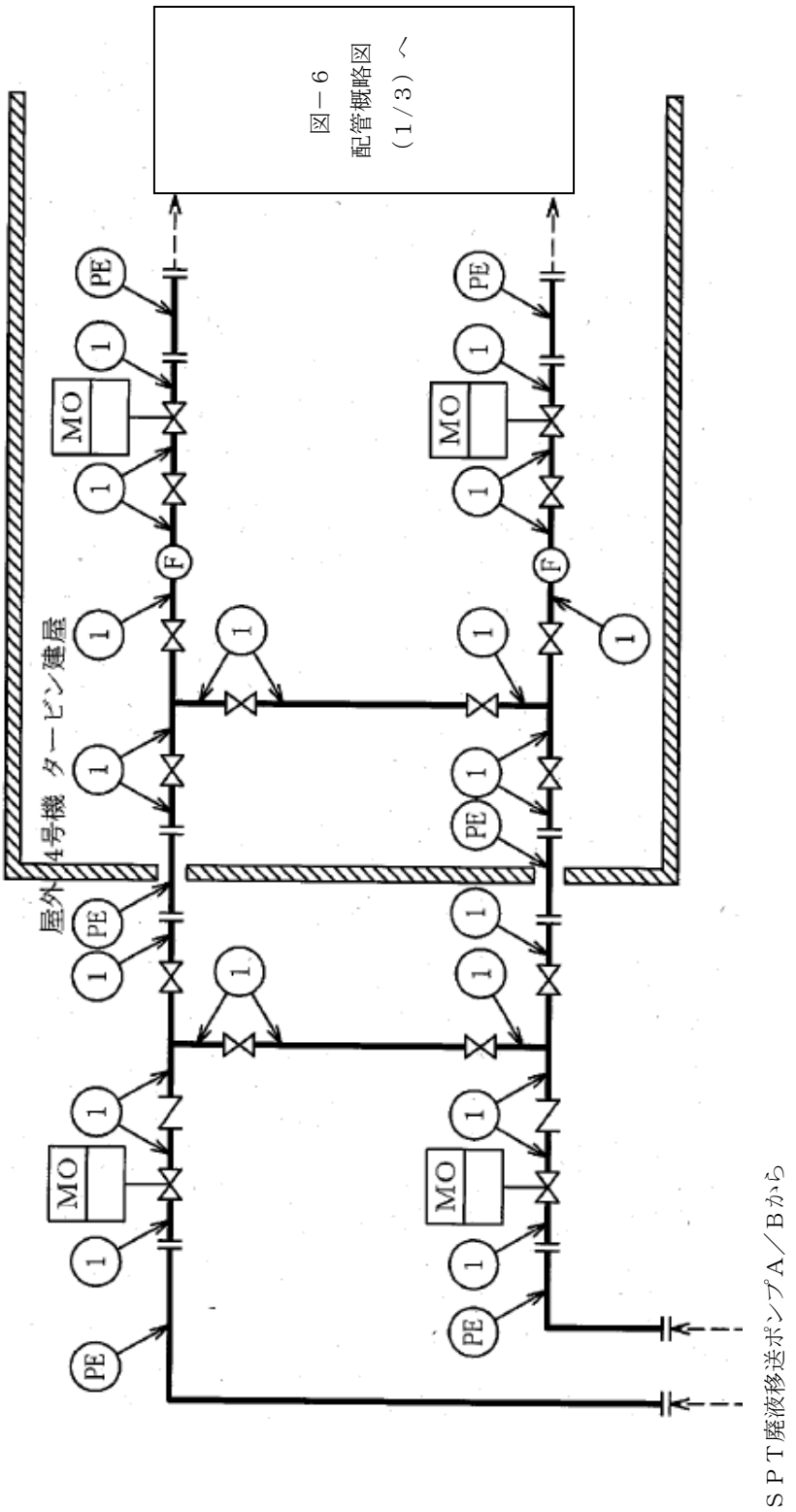
※１　穴の径が 85mm 以下であり，補強は不要。

※２　溶接部の負うべき荷重が負であり，溶接部の強度計算は不要。

2.5 主配管

2.5.1 評価箇所

強度評価箇所を図－５，６に示す。



記号凡例

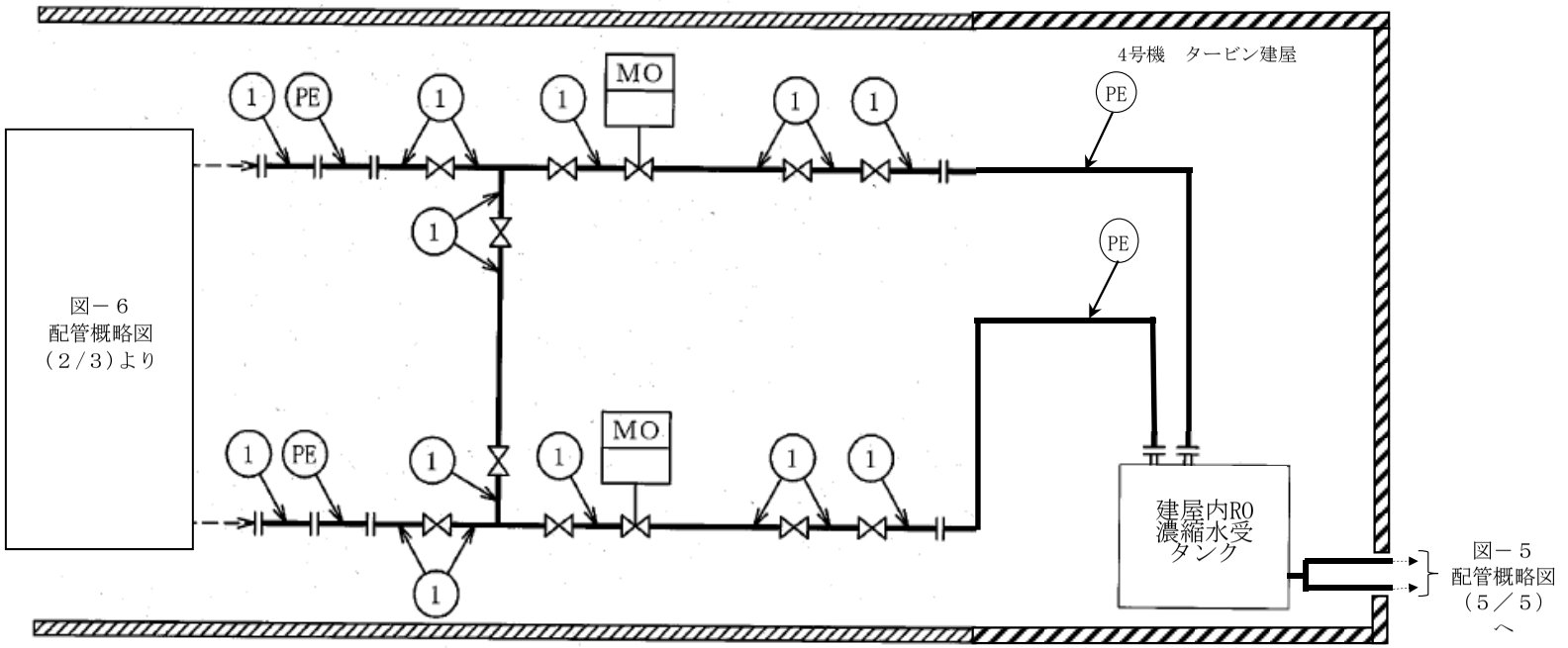
PE：ポリエチレン管

F：流量計

MO：MO 弁

図中の番号は，2.5.3 の番号に対応する。

図－５　配管概略図（建屋内 RO 附属配管を除く主配管）（１／５）



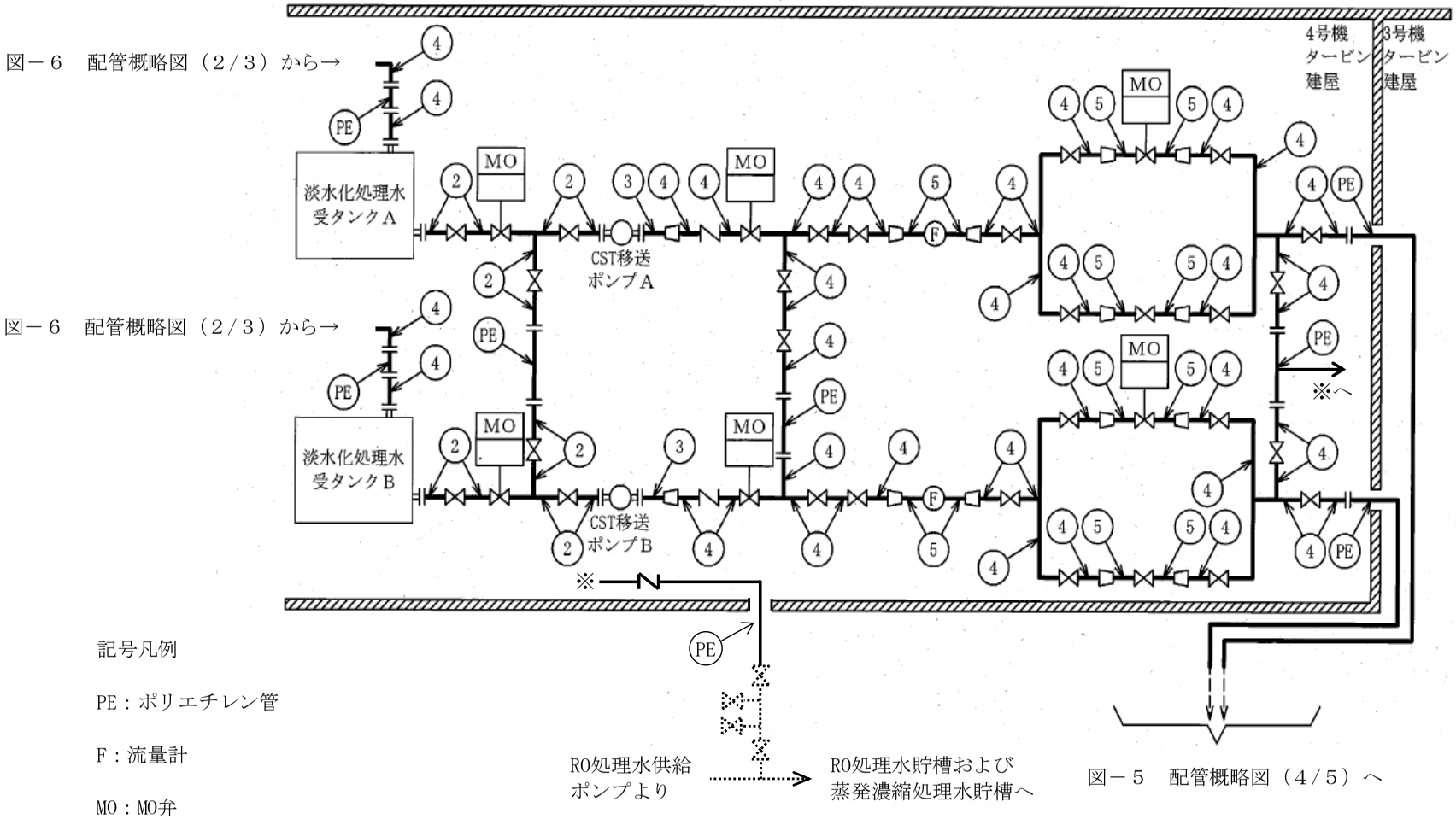
記号凡例

PE：ポリエチレン管

MO：MO 弁

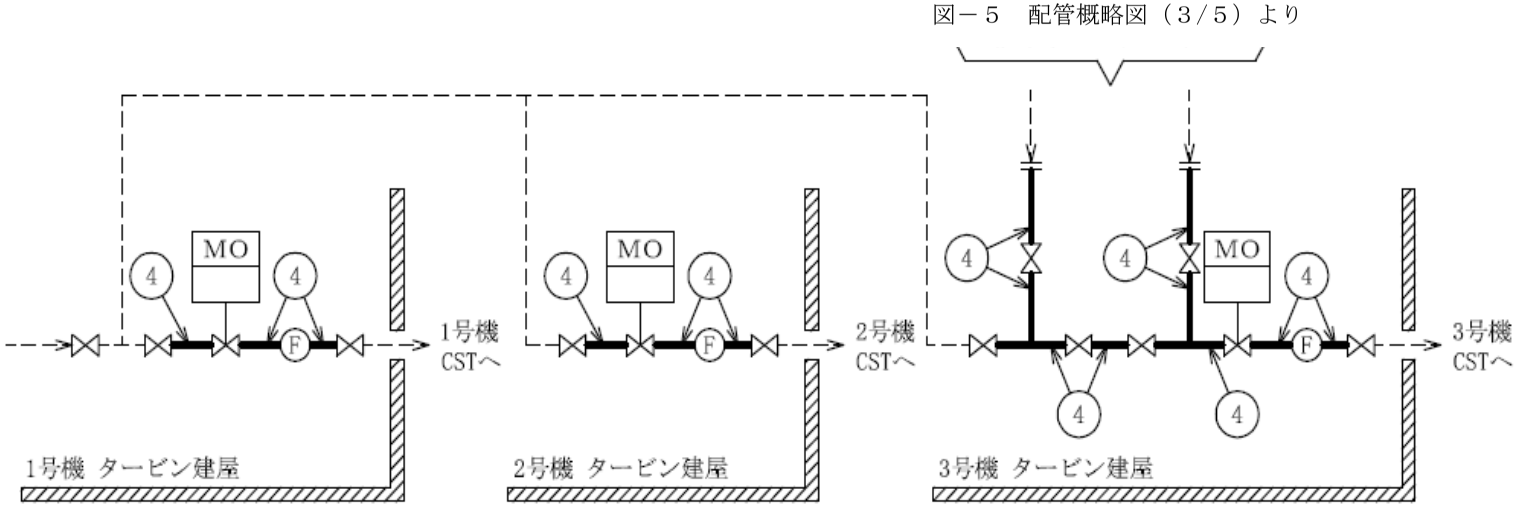
図中の番号は，2.5.3 の番号に対応する。

図－５　配管概略図（建屋内RO付属配管を除く主配管）（２／５）



図中の番号は，2.5.3の番号に対応する。

図－５　配管概略図（建屋内 RO 附属配管を除く主配管）（３/５）



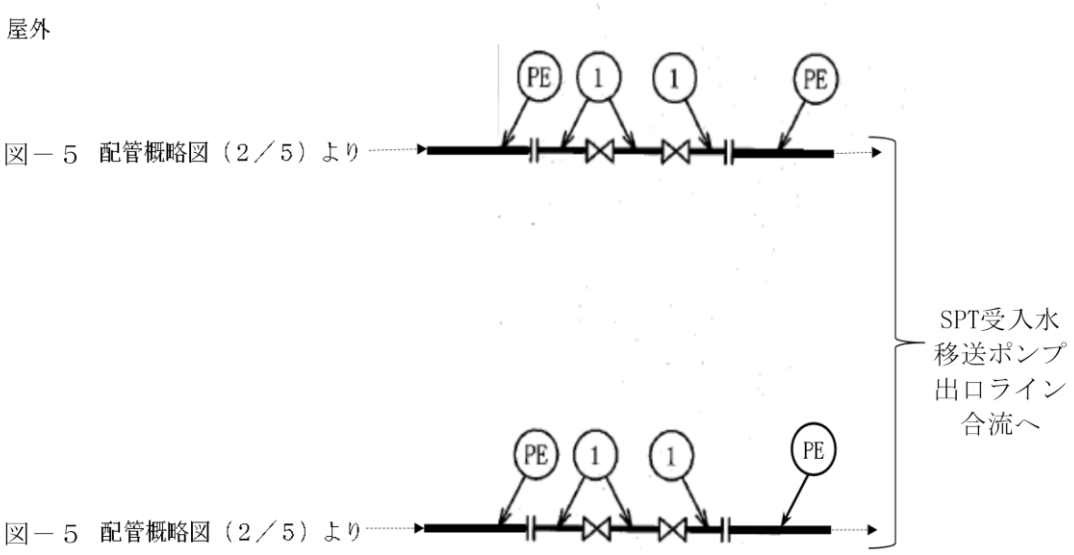
記号凡例

F：流量計

MO：MO 弁

図中の番号は，2.5.3 の番号に対応する。

図－５　配管概略図（建屋内 RO 附属配管を除く主配管）（４/５）

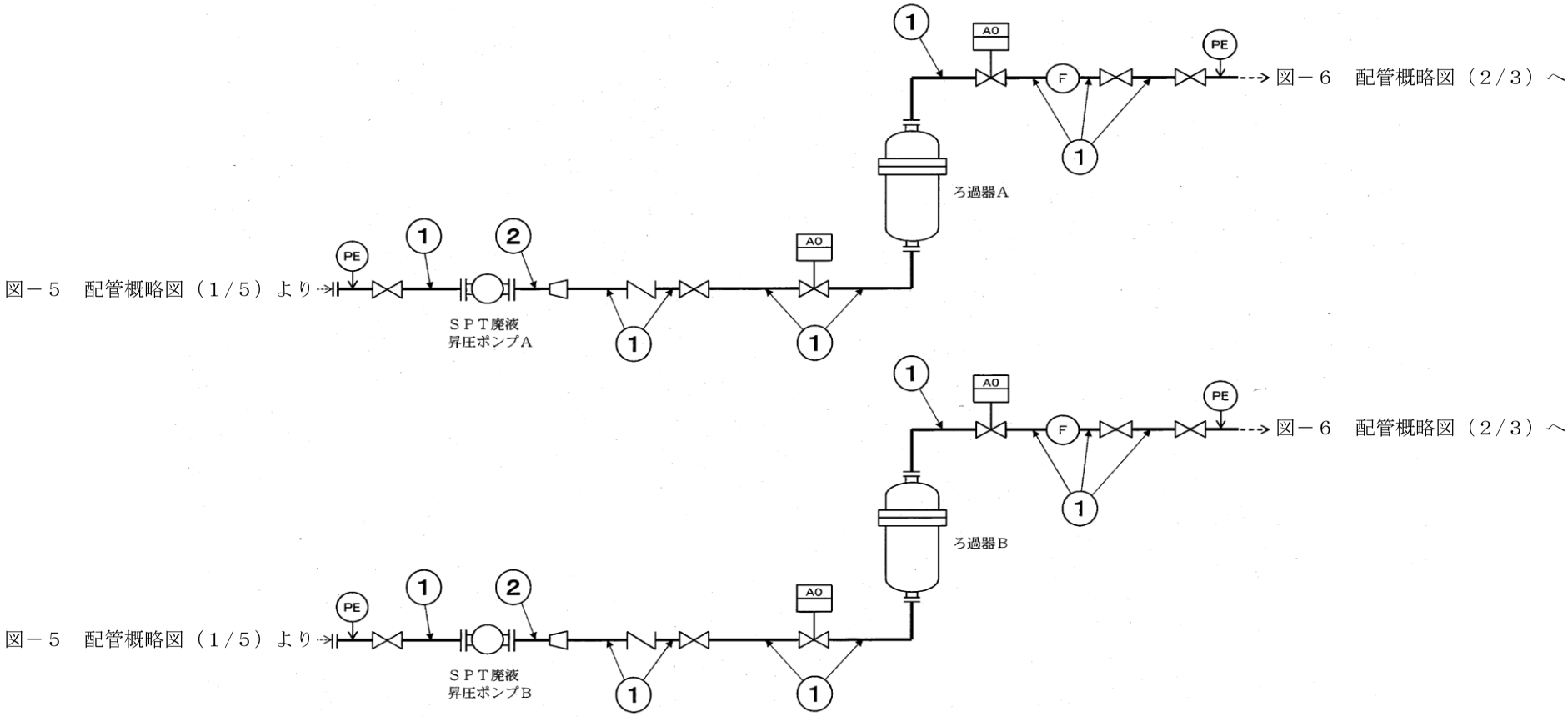


記号凡例

PE：ポリエチレン管

図中の番号は，2.5.3の番号に対応する。

図－５　配管概略図（建屋内RO付属配管を除く主配管）（５／５）



記号凡例

PE：ポリエチレン管

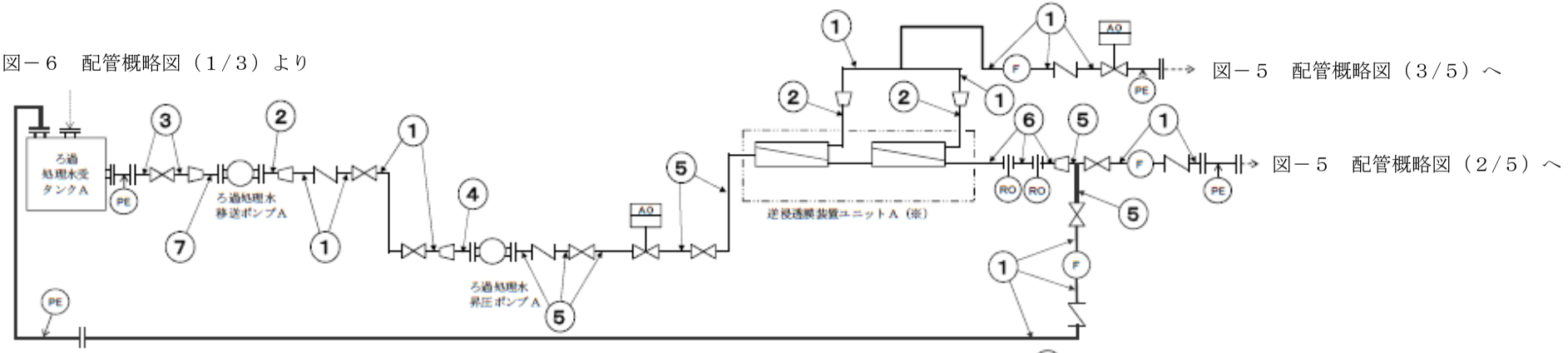
F：流量計

A0：A0 弁

図中の番号は，2.5.3 の番号に対応する。

図－６　配管概略図（建屋内 RO 附属主配管）（１/３）

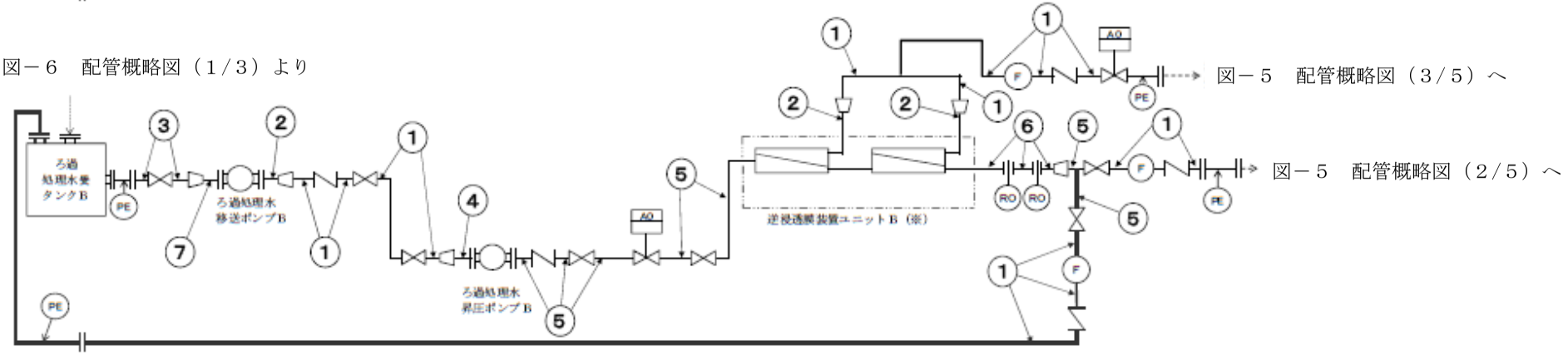
図－６　配管概略図（１/３）より



図－５　配管概略図（３/５）へ

図－５　配管概略図（２/５）へ

図－６　配管概略図（１/３）より



図－５　配管概略図（３/５）へ

図－５　配管概略図（２/５）へ

記号凡例

PE：ポリエチレン管

F：流量計

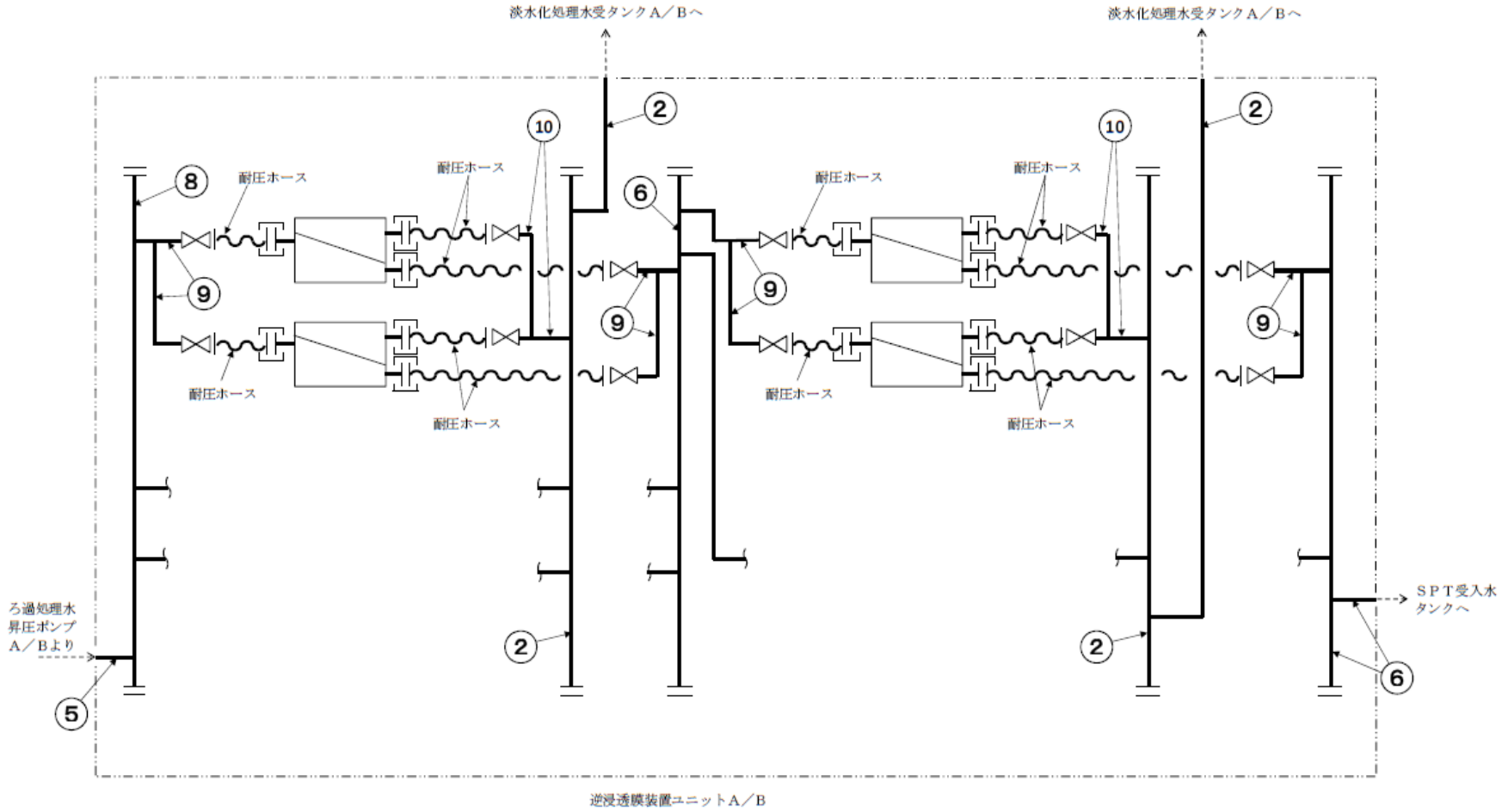
AO：AO 弁

RO：オリフィス

※ 図－６　配管概略図（３/３）参照

図中の番号は，2.5.3 の番号に対応する。

図－６　配管概略図（建屋内 RO 附属主配管）（２/３）



記号凡例

: 逆浸透膜装置

: 継手部

図中の番号は，2.5.3 の番号に対応する。

図－６　配管概略図（建屋内 RO 附属主配管）（３／３）

2.5.2 評価方法（JSME 規格　PPD-3411）

(1) 管の厚さの評価

管の必要な厚さは，次に掲げる値のうち，いずれか大きい方の値とする。

ａ．管の計算上必要な最小必要厚さ：t_1

$$t_1=\frac{P\cdot D_0}{2S\cdot\eta+0.8P}$$

P ： 最高使用圧力（MPa）

D_0：管の外径（mm）

S ：許容引張応力（MPa）

η ：継手効率（-）

ｂ．炭素鋼鋼管の規格上必要な最小必要厚さ：t_2

PPD-3411(3)の表 PPD-3411-1 より求めた管の厚さとする。

2.5.3 評価結果

評価結果を表－９，１０に示す。必要厚さ等を満足しており，十分な構造強度を有していると評価している。

表－９　配管の評価結果（管の厚さ）（建屋内 RO 附属配管を除く主配管）

No.	外径 (mm)	材料	最高使用圧力（MPa）	最高使用温度（℃）	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
①	89.10	STPT410	0.98	40	3.00	4.81
②	89.10	SUS316LTP	静水頭	40	0.40	4.81
③	48.60	SUS316LTP	0.98	40	0.22	4.46
④	89.10	SUS316LTP	0.98	40	0.40	4.81
⑤	60.50	SUS316LTP	0.98	40	0.27	4.81

表－１０　配管の評価結果（管の厚さ）（建屋内 RO 附属主配管）

No.	外径 (mm)	材料	最高使用圧力（MPa）	最高使用温度（℃）	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
①	89.10	STPT410	0.98	40	3.00	4.81
②	60.50	STPT410	0.98	40	2.40	4.81
③	165.20	STPT410	静水頭	40	3.80	6.21
④	114.30	STPT410	0.98	40	3.40	5.25
⑤	89.10	STPT410	4.50	40	3.00	4.81
⑥	76.30	STPT410	4.50	40	2.70	4.55
⑦	89.10	STPT410	静水頭	40	3.00	4.81
⑧	114.30	STPT410	4.50	40	3.40	5.25
⑨	48.60	STPT410	4.50	40	2.20	4.46
⑩	34.00	STPT410	0.98	40	1.70	3.93

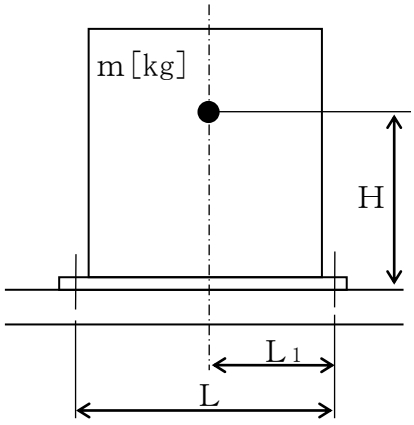
3. 耐震性評価

3.1 基礎ボルト※の強度評価

原子力発電所耐震設計技術指針の評価方法に準拠し，主要機器の基礎ボルトについて強度評価を実施した。評価の結果，基礎ボルトの強度が確保されることを確認した（表－１１）。

※機器が架台に据え付けられる構造の場合は取付ボルトと称する。

ａ．タンク



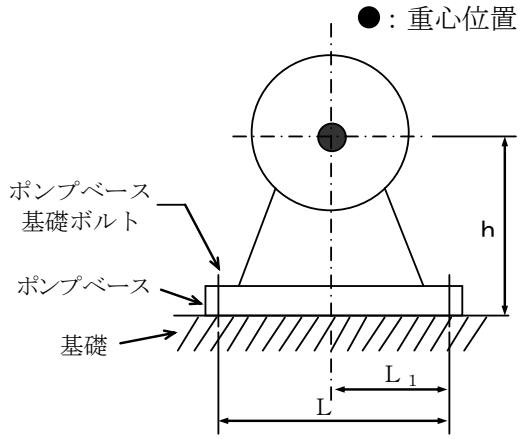
m：機器質量
g：重力加速度（9.80665 m/s^2）
H：据付面からの重心までの距離
L：基礎ボルト間の水平方向距離
L_1：重心と基礎ボルト間の水平方向距離
n_f：引張力の作用する基礎ボルトの評価本数
n：基礎ボルトの本数
A_b：基礎ボルトの軸断面積
C_H：水平方向設計震度（0.36）
C_V：鉛直方向設計震度（0）

基礎ボルトに作用する引張力：$F_b=\frac{1}{L}\left(m\times g\times C_H\times H-m\times g\times\left(1-C_V\right)\times L_1\right)$

基礎ボルトの引張応力：$\sigma_b=\frac{F_b}{n_f\times A_b}$

基礎ボルトのせん断応力：$\tau_b=\frac{m\times g\times C_H}{n\times A_b}$

b．ポンプ



m：機器の運転時質量
g：重力加速度（9.80665 m/s^2）
h：据付面から重心までの距離
M_P：ポンプ回転により働くモーメント（0）
※基礎ボルトにM_Pは作用しない
L：基礎ボルト間の水平方向距離
L_1：重心と基礎ボルト間の水平方向距離（L/2）
n_f：引張力の作用する基礎ボルトの評価本数
n：基礎ボルトの本数
A_b：基礎ボルトの軸断面積
C_H：水平方向設計震度（0.36）
C_V：鉛直方向設計震度（0）
C_P：ポンプ振動による震度

基礎ボルトに作用する引張力：$F_b=\frac{1}{L}\left(m\,g\,(C_H+C_P)\,h+M_P-m\,g(1-C_V-C_P)L_1\right)$

基礎ボルトの引張応力：$\sigma_b=\frac{F_b}{n_f A_b}$

基礎ボルトに作用するせん断力：$Q_b=m\,g(C_H+C_P)$

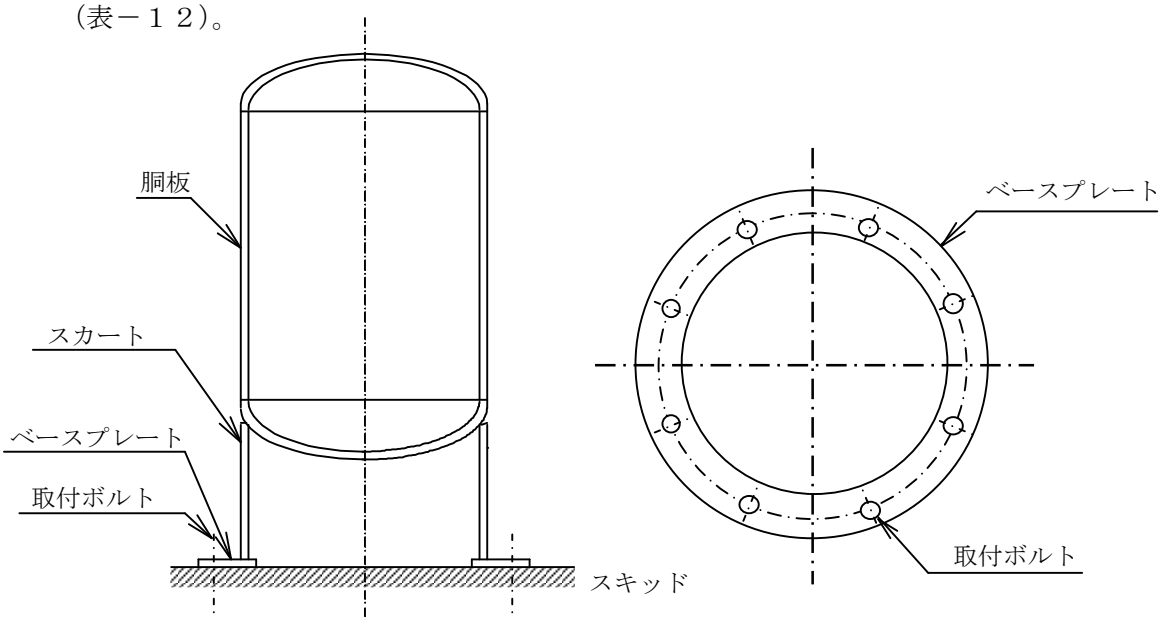
基礎ボルトのせん断応力：$\tau_b=\frac{Q_b}{n\,A_b}$

表－１１　基礎ボルト（取付ボルト）の強度評価結果

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
ろ過器スキッド	基礎ボルト	引張	0.36	＜ 0	－	MPa
		せん断	0.36	30	135	MPa
ろ過処理水受タンク（本体）	取付ボルト	引張	0.36	＜ 0	－	MPa
		せん断	0.36	40	135	MPa
ろ過処理水受タンクスキッド	基礎ボルト	引張	0.36	＜ 0	－	MPa
		せん断	0.36	21	135	MPa
建屋内 RO ユニット	基礎ボルト	引張	0.36	＜ 0	－	MPa
		せん断	0.36	51	135	MPa
SPT 廃液昇圧ポンプ	取付ボルト	引張	0.36	1	176	MPa
		せん断	0.36	3	135	MPa
ろ過処理水移送ポンプ	取付ボルト	引張	0.36	1	176	MPa
		せん断	0.36	3	135	MPa
ろ過処理水昇圧ポンプ	取付ボルト	引張	0.36	3	176	MPa
		せん断	0.36	5	135	MPa
CST 移送ポンプ	基礎ボルト	引張	0.36	1	183	MPa
		せん断	0.36	3	141	MPa
建屋内 RO 濃縮水移送ポンプ	基礎ボルト	引張	0.36	＜ 0	－	MPa
		せん断	0.36	3	161	MPa
増設 RO 濃縮水供給ポンプ	基礎ボルト	引張	0.36	＜ 0	－	MPa
		せん断	0.36	3	161	MPa

3.2 ろ過器の耐震性評価

本評価は，「付録１　スカート支持たて置円筒形容器（耐震設計上の重要度分類Ｂクラス）の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づいて評価を実施した。評価の結果，ろ過器の胴板，スカート及び取付ボルトの強度が確保されることを確認した（表－１２）。



図－７　概要図

表－１２　ろ過器の耐震性評価結果（１／２）

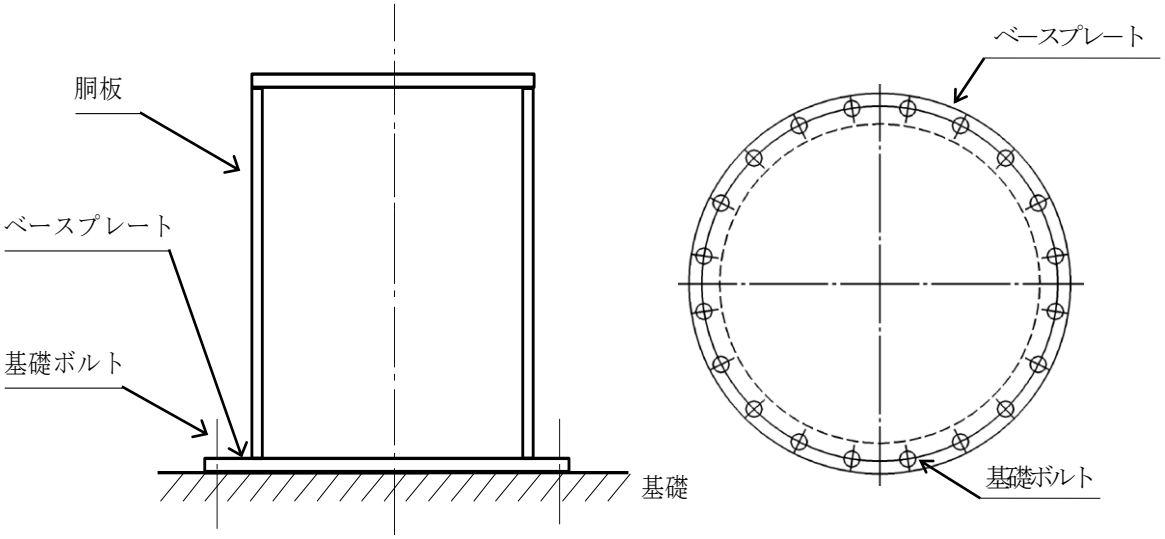
方向	固有周期[s]
水平方向	0.015
鉛直方向	0.005

表－１２　ろ過器の耐震性評価結果（２／２）

部材	材料	水平震度	応力種別	算出応力[MPa]	許容応力[MPa]
胴板	SM400A	0.36	組合せ	43	240
スカート	SM400A	0.36	組合せ	5	245
			座屈	$\frac{\eta \cdot \sigma_{s1}}{f_c}+\frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leqq 1$ $0.016 \leqq 1$	
取付ボルト	SS400	0.36	引張	11	176
			せん断	13	135

3.3 淡水化処理水受タンクの耐震性評価

本評価は,「付録２　平底たて置円筒形容器（耐震設計上の重要度分類Ｂ，Ｃクラス）の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づいて評価を実施した。評価の結果,淡水化処理水受タンクの胴板及び基礎ボルトの強度が確保されることを確認した（表－１３）。



図－８　概要図

表－１３　淡水化処理水受タンクの耐震性評価結果（１／２）

方向	固有周期[s]
水平方向	0.024
鉛直方向	0.005

表－１３　淡水化処理水受タンクの耐震性評価結果（２／２）

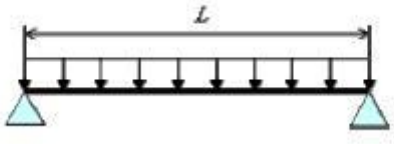
部材	材料	水平震度	応力種別	算出応力[MPa]	許容応力[MPa]
胴板	SM400C	0.36	一次一般膜	6	240
			座屈	$\frac{\eta \cdot \sigma_{x2}}{f_c}+\frac{\eta \cdot \sigma_{x4}}{f_b} \leqq 1$ $0.02 \leqq 1$	
基礎ボルト	SS400	0.36	引張	＜ 0	－
			せん断	9	135

3.4 主配管の耐震性評価

ａ．評価条件

評価条件として配管は，配管軸直角 2 方向拘束サポートにて支持される両端単純支持のはりモデル（図－１）とする。

次に，当該設備における主配管（鋼管）について，各種条件を表－１，２に示す。表－１，２より管軸方向については，サポート設置フロアの水平震度 0.36 が鉄と鉄の静止摩擦係数 0.52 より小さいことから，地震により管軸方向は動かないものと仮定する。



図－１ 等分布荷重 両端単純支持はりモデル

表－１ 配管系における各種条件（建屋内 RO 附属配管を除く主配管）

配管分類	主配管（鋼管）				
配管クラス	クラス３相当				
耐震クラス	B クラス相当				
設計温度［℃］	40				
配管材質	SUS316LTP				STPT410
配管口径	40A	50A	80A		80A
Sch	80	80	40		40
設計圧力［MPa］	0.98	0.98	静水頭	0.98	0.98
配管支持間隔［m］	4.9	5.4	6.4		6.5

表－２ 配管系における各種条件（建屋内 RO 附属主配管）

配管分類	主配管（鋼管）									
配管クラス	クラス３相当									
耐震クラス	B クラス相当									
設計温度［℃］	40									
配管材質	STPT410									
配管口径	25A	40A	50A	65A	80A			100A		150A
Sch	80	80	80	40	40			40		40
設計圧力［MPa］	0.98	4.5	0.98	4.5	静水頭	0.98	4.5	0.98	4.5	静水頭
配管支持間隔［m］	3.7	4.6	5.2	5.7	6.2			6.9		8.2

b．評価方法

水平方向震度による管軸直角方向の配管応力を評価する。

自重による応力 Sw は，下記の式で示される。

$$Sw = \frac{M}{Z} = \frac{w \cdot L^2}{8Z}$$

Sw ：自重による応力 ［MPa］

L ：支持間隔 ［mm］

M ：曲げモーメント ［N・mm］

Z ：断面係数 ［mm^3］

w ：等分布荷重 ［N/mm］

管軸直角方向の地震による応力 Ss は，自重による応力 Sw の震度倍で下記の式で示される。

$$Ss = \alpha \cdot Sw$$

Ss ：地震による応力 ［MPa］

α ：想定震度値 ［-］

また，評価基準値として JEAC4601-2008 に記載の供用応力状態 Cs におけるクラス３配管の一次応力制限を用いると，地震評価としては下記の式で示される。

$$S = Sp + Sw + Ss = Sp + Sw + \alpha \cdot Sw = Sp + (1+\alpha) \cdot Sw \leq 1.0Sy$$

S ：内圧，自重，地震による発生応力 ［MPa］

Sp ：内圧による応力 ［MPa］

Sy ：設計降伏点 ［MPa］

c．評価結果

両端単純支持はりモデルで，自重による応力 Sw が 30［MPa］以下となる配管サポート配置を仮定し，各応力を計算した結果を表－３，４に示す。表－３，４より，自重による応力 Sw を 30［MPa］以下となるようサポート配置を決定することで，配管は十分な強度を有するものと評価する。

表－３ 応力評価結果（建屋内 RO 附属配管を除く主配管）

配管分類	主配管（鋼管）				
配管材質	SUS316LTP				STPT410
配管口径	40A	50A	80A		80A
Sch	80	80	40		40
設計圧力［MPa］	0.98	0.98	静水頭	0.98	0.98
内圧，自重，地震による発生応力 S［MPa］	128	129	131		131
供用状態 Cs における一次許容応力［MPa］	175				245

表－４ 応力評価結果（建屋内 RO 附属主配管）

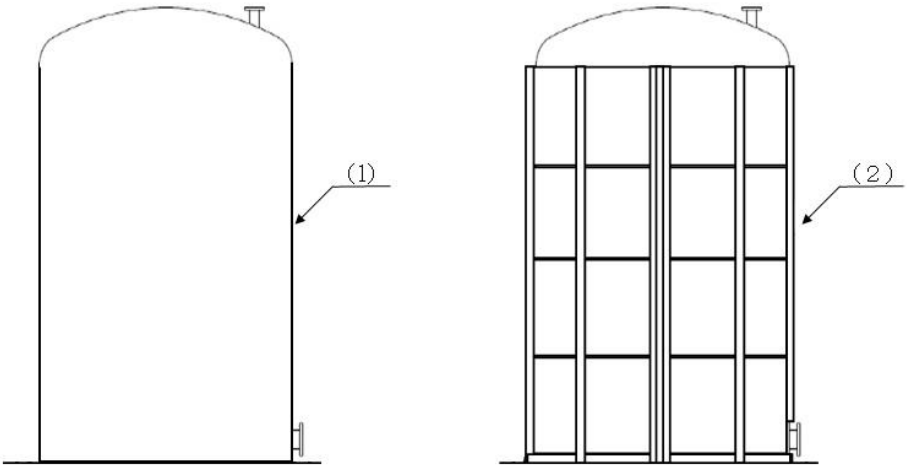
配管分類	主配管（鋼管）									
配管材質	STPT410									
配管口径	25A	40A	50A	65A	80A			100A		150A
Sch	80	80	80	40	40			40		40
設計圧力［MPa］	0.98	4.5	0.98	4.5	静水頭	0.98	4.5	0.98	4.5	静水頭
内圧，自重，地震による発生応力 S［MPa］	44	58	46	70	42	48	73	50	80	42
供用状態 Cs における一次許容応力［MPa］	245									

4. 追設するタンクの構造強度および耐震性評価

4.1 建屋内 RO 濃縮水受タンク構造強度評価

4.1.1 評価箇所

強度評価箇所を図－１に示す。



図中の番号は，4.1.3 の番号に対応する。

図－１　建屋内 RO 濃縮水受タンク概要図

4.1.2 評価方法（ポリエチレン製竪型耐食円筒型貯槽規格）

(1)胴板の評価

胴板の厚さは，内圧液により胴板の周方向に発生する応力，自重により胴板の軸方向に発生する応力が許容応力より小さいこととする。

ａ．胴板の周方向に発生する応力

$$\sigma_\theta = \frac{P \cdot d}{2t}$$

σ_θ：胴板の周方向の応力(MPa)
d　：貯槽の外径(mm)
t　：胴板の厚さ(mm)

$$P = g \cdot \rho \cdot H_L \cdot 10^{-9}$$

P　：最大水位時での水頭圧(MPa)
g　：重力の加速度(m/s^2)
ρ　：内容液密度(kg/m^3)
H_L：最大水位(mm)

b．胴板の軸方向に発生する応力

$$\sigma_y = \frac{m_t \cdot g}{\pi \cdot d \cdot t}$$

$$f = \frac{\sigma_{X,cr}}{F}$$

$$\sigma_{X,cr} = \frac{2 \cdot C \cdot Ep \cdot t}{\{3(1-\nu^2)\}^{1/2} \cdot d}$$

σ_y：胴板の軸方向に発生する応力(MPa)
m_t：タンク本体の質量(kg)
$\sigma_{X,cr}$：材料の圧縮座屈応力(MPa)
f：許容応力(MPa)
F：安全率(-)（長期荷重評価は 3）
C：座屈係数(-)　C = 1-0.901*(1-exp(-1/16*(d/2t)^0.5)
Ep：ポリエチレン縦弾性係数(MPa)
ν：ポアソン比(-)

(2)補強枠の評価

補強枠の厚さは，内圧及びタンク本体の膨張により補強枠の周方向に発生する応力が許容応力より小さいこととする。

a．補強枠の周方向に発生する応力

$$\sigma_\theta = \frac{P \cdot d}{2t_s} + \alpha \cdot \Delta T \cdot E_p \cdot \frac{t}{t_s}$$

σ_θ：補強枠の周方向の応力(MPa)
⊿T：温度の最大変化(℃)
Ep　：ポリエチレン縦弾性係数(MPa)
α　：ポリエチレン熱膨張係数(1/℃)
t_s：補強枠厚さ(mm)
P　：最大水位での水頭圧(MPa)

4.1.3 評価結果

評価結果を表－１に示す。強度評価の結果，胴板及び補強枠の応力は許容応力未満であり，十分な構造強度を有すると評価した。

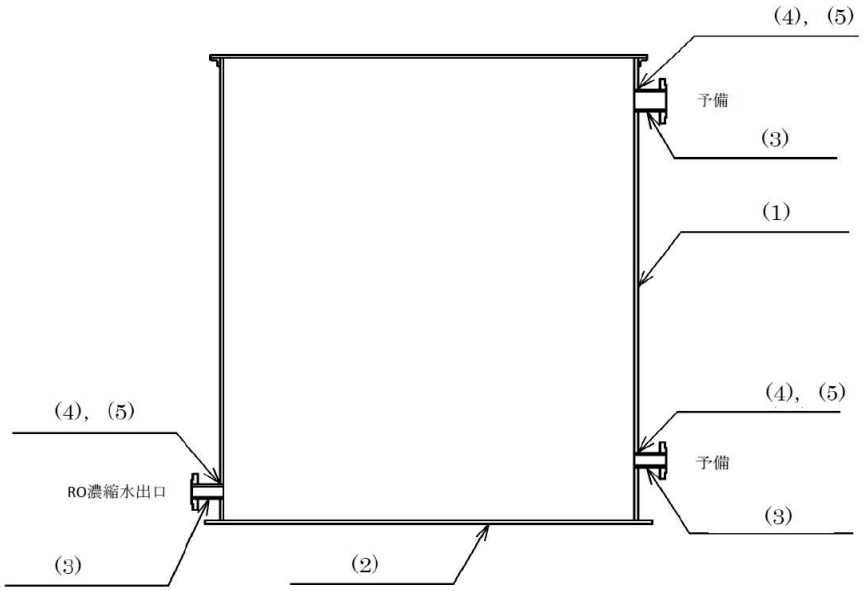
表－１　建屋内 RO 濃縮水受タンク　評価結果(板厚)

機器名称	評価項目		応力(MPa)	許容応力(MPa)
建屋内 RO 濃縮水受タンク	(1)胴板	周方向	4.7	5.0
		軸方向	0.43	0.70
	(2)補強枠	周方向	20	137

4.2 増設 RO 濃縮水受タンク構造強度評価

4.2.1 評価箇所

強度評価箇所を図－２に示す。



図中の番号は，4.2.3 の番号に対応する。

図－２　増設 RO 濃縮水受タンク概要図

4.2.2 評価方法（JSME 規格）

(1) 開放タンクの胴板の評価（JSME 規格　PVD-3010 及び PVD-3110，PVC-3920）

胴板の必要な厚さは，次に掲げる値のうち，いずれか大きい値とする。

ａ．胴板の規格上必要な最小厚さ：t_1

炭素鋼鋼板又は低合金鋼鋼板で作られたものの場合は 3mm，その他の材料で作られたものの場合は 1.5mm とする。

ｂ．胴板の計算上必要な厚さ：t_2

$$t_2=\frac{D_i\cdot H\cdot\rho}{0.204\cdot S\cdot\eta}$$

D_i ： 胴の内径（m）

H ： 水頭（m）

ρ ： 液体の比重。ただし，1 未満の場合は，1 とする。

S ： 許容引張応力（MPa）

η ： 継手効率（-）

ｃ．胴の内径に応じた必要厚さ：t_3

胴の内径の区分に応じ JSME 規格　表 PVC-3920-1 より求めた胴の厚さとする。

(2) 開放タンクの底板の評価（JSME 規格　PVD-3010 及び PVD-3110, PVC-3960(1), 3970(1)）

ａ．底板の形：平板

ｂ．底板の厚さ：3㎜ 以上（地面，基礎等に直接接触する底板）

(3) 開放タンクの管台の評価（JSME 規格　PVD-3010 及び PVD-3110, PVC-3980）

管台の必要な厚さは，次に掲げる値のうち，いずれか大きい値とする。

ａ．管台の計算上必要な厚さ：t_1

$$t_1=\frac{D_i\cdot H\cdot\rho}{0.204\cdot S\cdot\eta}$$

D_i ： 管台の内径（m）

H ： 水頭（m）

ρ ： 液体の比重。ただし，1 未満の場合は，1 とする。

S ： 許容引張応力（MPa）

η ： 継手効率（-）

ｂ．管台の規格上必要な最小厚さ：t_2

管台の外径に応じて JSME 規格　表 PVC-3980-1 より求めた管台の厚さとする。

(4) 開放タンクの胴板の穴の補強評価

（JSME 規格　PVD-3010 及び PVD-3110, PVC-3950, PVD-3512）

ａ．穴の径（円形の穴については直径，だ円形の穴については長径をいう）が 85㎜ を超える場合は，穴を補強すること。

ｂ．補強に有効な範囲内にある補強に有効な面積が，補強に必要な面積より大きくなるようにすること。

ｃ．大きい穴の補強を要しない最大径

内径が 1500㎜ 以下の胴に設ける穴の径が胴の内径の 2 分の 1（500㎜ を超える場合は，500㎜）以下および内径が 1500㎜ を超える胴に設ける穴の径が胴の内径の 3 分の 1（1000㎜ を超える場合は，1000㎜）以下の場合は，大きい穴の補強計算は必要ない。

ｄ．溶接部の強度として，予想される破断箇所の強さが，溶接部の負うべき荷重以上であること。

4.2.3 評価結果

評価結果を表－２～３に示す。必要厚さ等を満足しており，十分な構造強度を有すると評価した。

表－２　増設 RO 濃縮水受タンク　評価結果（板厚）

機器名称	評価項目		必要厚さ（mm）	最小厚さ（mm）
増設 RO 濃縮水受タンク	(1)胴板の厚さ		1.50	1.50 以上
	(2)底板の厚さ		3.00	3.00 以上
	(3)管台厚さ	排水出口	3.50	3.50 以上
		予備	3.50	3.50 以上
		予備	3.50	3.50 以上

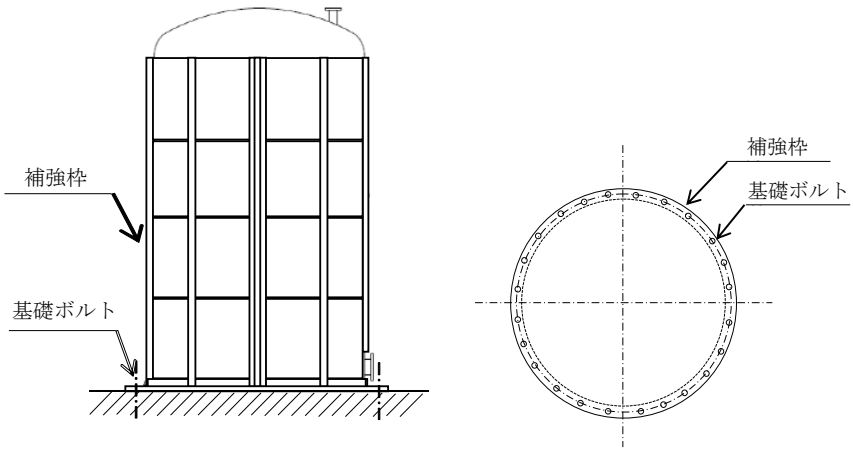
表－３　増設 RO 濃縮水受タンク　評価結果（胴板の穴の補強）

機器名称	評価項目	評価結果	
増設 RO 濃縮水受タンク	(4)胴板（RO 濃縮水出口） (4)胴板（予備）	穴の補強の有無（mm）	穴の径（mm）
		85mm を超える	85mm を超える
		補強に必要な面積（mm^2）	補強に有効な総面積（mm^2）
		6.961×10^1	6.961×10^1 以上
		大きな穴の補強を要しない最大径（mm）	穴の径（mm）
		1000	1000 以下
		溶接部の負うべき荷重（N）	予想される破断箇所の強さ（N）
		-6.080×10^4	—※1
	(5)胴板（予備）	穴の補強の有無（mm）	穴の径（mm）
		85mm を超える	85mm を超える
		補強に必要な面積（mm^2）	補強に有効な総面積（mm^2）
		1.019×10^2	1.019×10^2 以上
		大きな穴の補強を要しない最大径（mm）	穴の径（mm）
		1000	1000 以下
		溶接部の負うべき荷重（N）	予想される破断箇所の強さ（N）
		-8.921×10^4	—※1

※1　溶接部の負うべき荷重が負であり，溶接部の強度計算は不要。

4.3 建屋内 RO 濃縮水受タンク耐震性評価

本評価は,「ポリエチレン製竪型耐食円筒型貯槽規格」[ポリエチレンタンク協議会技術委員会]に基づいて評価を実施する。



図－３　概要図

(1) 胴板に発生する応力

地震による転倒モーメントにより胴板に発生する応力が許容応力より小さいことを確認する。

$$\sigma_x = \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot d^2 \cdot t}$$

$$M = K_H \cdot \alpha_t \cdot m_{total} \cdot g \cdot H$$

σ_x：転倒モーメントにより胴板に発生する応力(MPa)

M：地震による転倒モーメント(N*mm)

d：タンクの外径(mm)

t：胴板の厚さ(mm)

K_H：水平震度(-)

α_t：タンクの有効重量比(-)　$\alpha_t = 1 - 0.218 * d / H_L$　($H_L / d > 0.75$ の場合)

m_{total}：タンク全体の質量(kg)

g：重力加速度(m/s^2)

H:水平地震荷重の作用点高さ(mm)

H_L:最大水位(mm)

(2) 補強枠に発生する応力

地震による転倒モーメントにより補強枠に発生する応力が許容応力より小さいことを確認する。

$$\sigma_{xs} = \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot d^2 \cdot ts}$$

$$M = K_H \cdot \alpha_t \cdot m_{total} \cdot g \cdot H$$

σ_{xs}：転倒モーメントにより補強枠に発生する応力(MPa)

t_s：補強枠の厚さ(mm)

(3) 基礎ボルトに発生する応力

地震により基礎ボルトに発生する引張応力が，許容引張応力または，許容引張応力×１．４－せん断応力×１．６の何れか小さい値より小さいことを確認する。また，地震により基礎ボルトに発生するせん断応力が許容せん断応力より小さいことを確認する。

$$\sigma_b = \frac{1}{A_b \cdot n}\left(\frac{4 \cdot M}{L_b} - m_{total} \cdot g\right)$$

$$\tau_b = \frac{K_H \cdot m_{total} \cdot g}{A_b \cdot n}$$

$$M = K_H \cdot \alpha_t \cdot m_{total} \cdot g \cdot H$$

σ_b：基礎ボルトに発生する引張応力(MPa)

τ_b：基礎ボルトに発生するせん断応力(MPa)

L_b：基礎ボルトのピッチ円直径(mm)

n：基礎ボルトの本数(-)

A_b：基礎ボルト断面積(mm^2)

(4) 評価結果

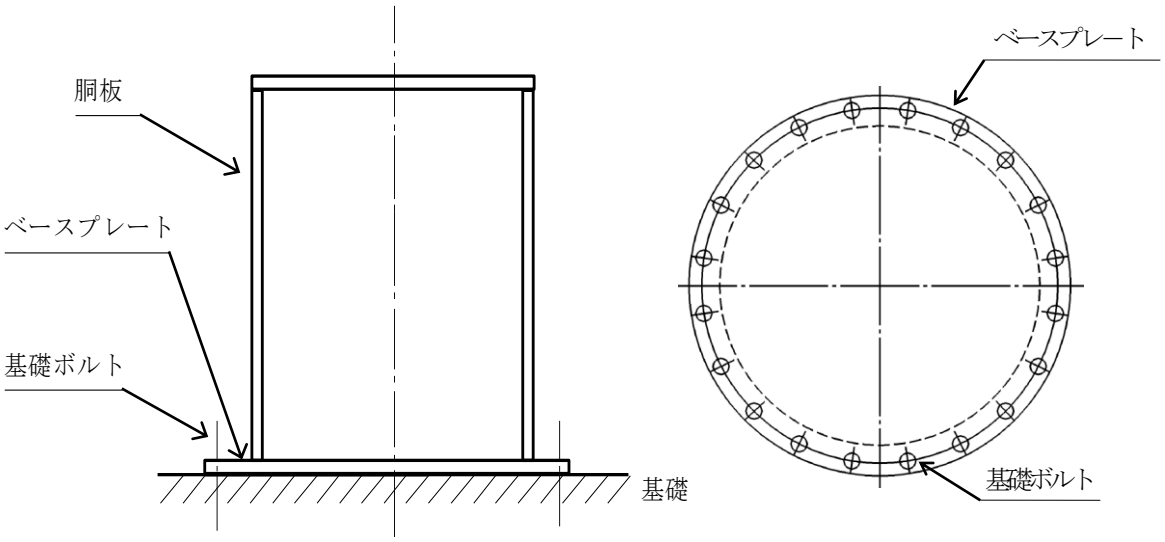
評価の結果，建屋内 RO 濃縮水受タンクの胴板，補強枠，基礎ボルトは強度が確保されることを確認した（表－４）。

表－４　建屋内 RO 濃縮水受タンクの耐震性評価結果

部材	材料	水平震度	応力種別	算出応力[MPa]	許容応力[MPa]
胴板	ポリエチレン	0.36	－	2.9	7.5
補強枠	SUS304		－	7	205
基礎ボルト	SS400		引張	2	176
			せん断	8	101

4.4 増設 RO 濃縮水受タンクの耐震性評価

本評価は，「付録２　平底たて置円筒形容器（耐震設計上の重要度分類Ｂ，Ｃクラス）の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づいて評価を実施した。評価の結果，増設 RO 濃縮水受タンクの胴板及び基礎ボルトの強度が確保されることを確認した（表－５）。



図－４　概要図

表－５　増設 RO 濃縮水受タンクの耐震性評価結果（１／２）

方向	固有周期[s]
水平方向	0.036
鉛直方向	0.006

表－５　増設 RO 濃縮水受タンクの耐震性評価結果（２／２）

部材	材料	水平震度	応力種別	算出応力[MPa]	許容応力[MPa]
胴板	SUS316L	0.36	一次一般膜	10	175
			座屈	$\frac{\eta \cdot \sigma_{x2}}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{x4}}{f_b} \leqq 1$ $0.05 \leqq 1$	
基礎ボルト	SS400	0.36	引張	1	176
			せん断	16	135

以上

付録1　スカート支持たて置円筒形容器（耐震設計上の重要度分類Ｂクラス）の耐震性についての計算書作成の基本方針

1. 一般事項

本基本方針は，スカート支持たて置円筒形容器（耐震設計上の重要度分類Ｂクラス）の耐震性についての計算方法を示す。

1.1 適用基準

本基本方針における計算方法は，原子力発電所耐震設計技術指針　JEAG4601-1987（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 62 年 8 月）に準拠する。

1.2 計算条件

(1) 容器及び内容物の質量は重心に集中するものとする。

(2) 地震力は容器に対して水平方向に作用するものとする。なお，鉛直方向に共振のおそれのあるものについては，動的な鉛直方向の地震力も考慮する。

(3) 容器はスカートで支持され，スカートは下端のベースプレートを円周上等ピッチの多数の基礎ボルトで基礎に固定された固定端とする。ここで，基礎については剛となるように設計する。

(4) 胴とスカートをはりと考え，変形モードは曲げ及びせん断変形を考慮する。

(5) 容器頂部に水平方向変位を拘束する構造物を設ける場合は，その部分をピン支持とする。

(6) スカート部材において，マンホール等の開口部があって補強をしていない場合は，欠損の影響を考慮する。

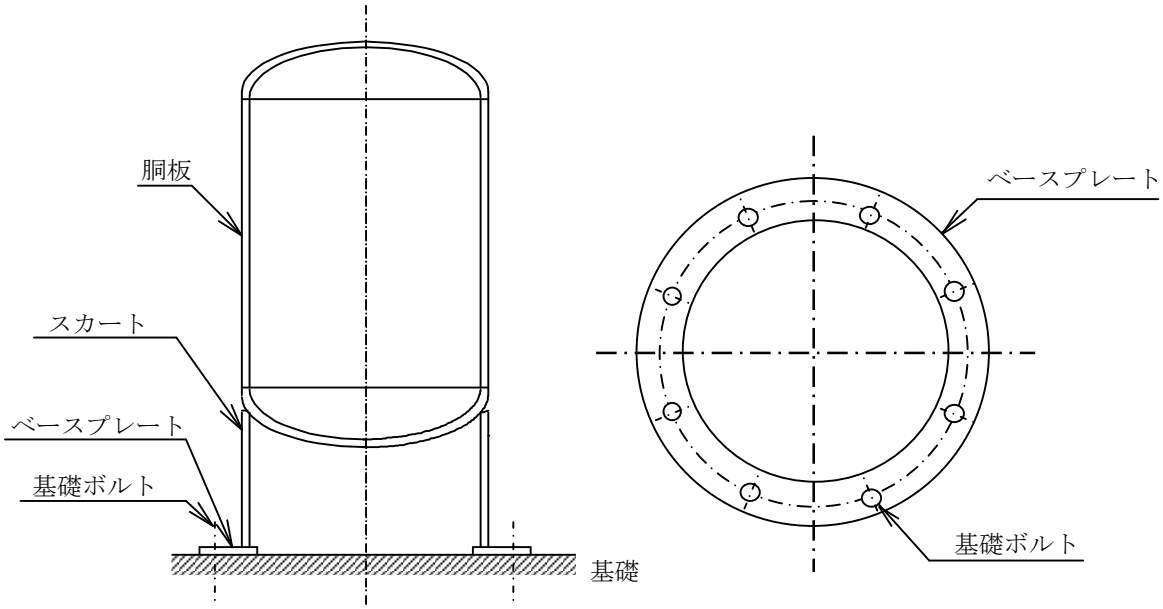


図1－1　スカート支持たて置円筒形容器の概要図

1.3 記号の説明

記　号	記　号　の　説　明	単　位
A	胴の軸断面積	mm^2
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
A_e	胴の有効せん断断面積	mm^2
A_s	スカートの軸断面積	mm^2
A_{se}	スカートの有効せん断断面積	mm^2
C_c	基礎ボルト計算における係数	－
C_H	水平方向設計震度	－
C_t	基礎ボルト計算における係数	－
C_v	鉛直方向設計震度	－
D_{bi}	ベースプレートの内径	mm
D_{bo}	ベースプレートの外径	mm
D_c	基礎ボルトのピッチ円直径	mm
D_i	胴の内径	mm
D_j	スカートに設けられた各開口部の穴径（$j=1,2,3\cdots j_1$）	mm
D_s	スカートの内径	mm
E	胴の縦弾性係数	MPa
E_s	スカートの縦弾性係数	MPa
e	基礎ボルト計算における係数	－
F	設計・建設規格　SSB-3121.1又はSSB-3131に定める値	MPa
F_c	基礎に作用する圧縮力	N
F_t	基礎ボルトに作用する引張力	N
f_b	曲げモーメントに対する許容座屈応力	MPa
f_c	軸圧縮荷重に対する許容座屈応力	MPa
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_t	スカートの許容引張応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
G	胴のせん断弾性係数	MPa
G_s	スカートのせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
H	水頭	mm
I	胴の断面二次モーメント	mm^4
I_s	スカートの断面二次モーメント	mm^4
j_1	スカートに設けられた開口部の穴の個数	－

記　号	記　号　の　説　明	単　位
K_H	水平方向のばね定数	N/m
K_v	鉛直方向のばね定数	N/m
k	基礎ボルト計算における中立軸の荷重係数	－
ℓ	胴のスカート接合点から重心までの距離	mm
ℓ_1，ℓ_2	基礎ボルト計算における中立軸から荷重作用点までの距離	mm
ℓ_r	容器の重心から上端支持部までの距離	mm
ℓ_s	スカートの長さ	mm
M_s	スカートに作用する転倒モーメント	N･mm
M_{s1}	スカートの上端部に作用する転倒モーメント	N･mm
M_{s2}	スカートの下端部に作用する転倒モーメント	N･mm
m_0	容器の運転時質量	kg
m_e	容器のスカート接合部から上部の空質量	kg
n	基礎ボルトの本数	－
P_r	最高使用圧力	MPa
Q	重心に作用する任意の水平力	N
Q′	Qにより上端の支持部に作用する反力	N
S	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5に定める値	MPa
S_a	胴の許容応力	MPa
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
s	基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比	－
T_H	水平方向固有周期	s
T_v	鉛直方向固有周期	s
t	胴板の厚さ	mm
t_1	基礎ボルト面積相当板幅	mm
t_2	圧縮側基礎相当幅	mm
t_s	スカートの厚さ	mm
Y	スカート開口部の水平断面における最大円周長さ	mm
z	基礎ボルト計算における係数	－
α	基礎ボルト計算における中立軸を定める角度	rad
δ	荷重Qによる容器の上端での変位量	mm
δ'	荷重Q′による容器の上端での変位量	mm
δ_0	荷重Q，Q′による容器の重心での変位量	mm
η	座屈応力に対する安全率	－
π	円周率	－

記　号	記　号　の　説　明	単　位
ρ'	液体の密度（＝比重×10^{-6}）	kg/mm^3
σ_0	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{0c}	胴の組合せ圧縮応力	MPa
σ_{0t}	胴の組合せ引張応力	MPa
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_c	基礎に生じる圧縮応力	MPa
σ_s	スカートの組合せ応力	MPa
σ_{s1}	スカートの運転時質量による軸方向応力	MPa
σ_{s2}	スカートの曲げモーメントによる軸方向応力	MPa
σ_{s3}	スカートの鉛直方向地震による軸方向応力	MPa
σ_{x1}，$\sigma_{\phi 1}$	静水頭又は内圧により胴に生じる軸方向及び周方向応力	MPa
σ_{x2}	胴の運転時質量による軸方向引張応力	MPa
σ_{x3}	胴の空質量による軸方向圧縮応力	MPa
σ_{x4}	地震により胴に生じる軸方向応力	MPa
σ_{x5}	胴の鉛直方向地震による軸方向引張応力	MPa
σ_{x6}	胴の鉛直方向地震による軸方向圧縮応力	MPa
σ_{xc}	胴の軸方向応力の和（圧縮側）	MPa
σ_{xt}	胴の軸方向応力の和（引張側）	MPa
σ_ϕ	胴の周方向応力の和	MPa
$\sigma_{\phi 2}$	静水頭に鉛直方向地震が加わり胴に生じる周方向応力	MPa
τ	地震により胴に生じるせん断応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_s	地震によりスカートに生じるせん断応力	MPa
$\Phi_1(x)$	圧縮荷重に対する許容座屈応力の関数	MPa
$\phi_2(x)$	曲げモーメントに対する許容座屈応力の関数	MPa

注：「設計・建設規格」とは，発電用原子力設備規格（設計・建設規格　JSME　S　NC1-2005（2007年追補版含む。））（日本機械学会　2007年9月）（以下「設計・建設規格」という。）をいう。

1.4 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表1－1に示すとおりとする。

表1－1　表示する数値の丸め方

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期		s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度		—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
最高使用圧力		MPa	—	—	小数点以下第2位
温度		℃	—	—	整数位
比重		—	小数点以下第3位	四捨五入	小数点以下第2位
質量		kg	—	—	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位*1
	胴板の厚さ	mm	—	—	小数点以下第1位
	スカートの厚さ	mm	—	—	小数点以下第1位
面積		mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
モーメント		N･mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
算出応力		MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*2		MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下第1位の場合は，小数点以下第1位表示とする。

＊2：設計・建設規格　付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は，比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て，整数位までの値とする。

＊3：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

2. 計算方法

2.1 固有周期の計算方法

(1) 計算モデル

本容器は，1.2 項より図 2－1 に示す下端固定の 1 質点系振動モデルあるいは下端固定上端支持の 1 質点系振動モデルとして考える。

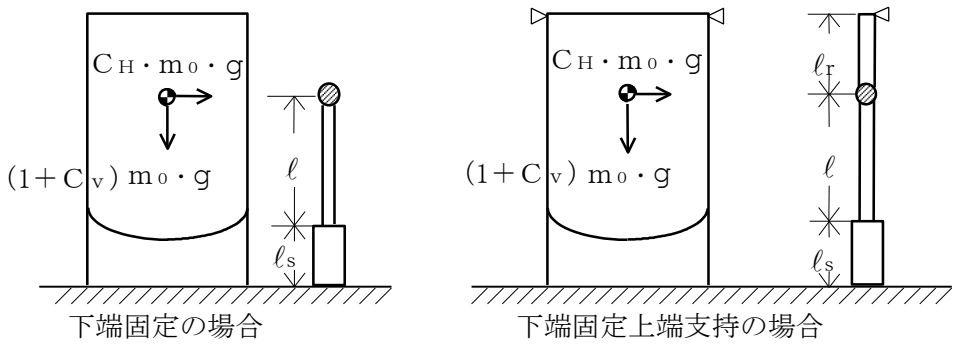


図2－1　固有周期の計算モデル

(2) 水平方向固有周期

a. 下端固定の場合

曲げ及びせん断変形によるばね定数K_Hは次式で求める。

$$K_H = 1000 \Big/ \left\{ \frac{\ell^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{1}{3 \cdot E_s \cdot I_s} \cdot (3 \cdot \ell^2 \cdot \ell_s + 3 \cdot \ell \cdot \ell_s{}^2 + \ell_s{}^3) + \frac{\ell}{G \cdot A_e} + \frac{\ell_s}{G_s \cdot A_{se}} \right\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.1)$$

ここで，スカートの開口部（図 2－2 参照）による影響を考慮し，胴及びスカートの断面性能は次のように求める。

胴の断面性能は

$$I = \frac{\pi}{8} \cdot (D_i + t)^3 \cdot t \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.2)$$

$$A_e = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot (D_i + t) \cdot t \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.3)$$

スカートの断面性能は

$$I_s = \frac{\pi}{8} \cdot (D_s + t_s)^3 \cdot t_s - \frac{1}{4} \cdot (D_s + t_s)^2 \cdot t_s \cdot Y \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.4)$$

スカート開口部の水平断面における最大円周長さは，（図 2－2 及び図 2－3 参照）

$$Y=\sum_{j=1}^{j\ 1}(D_s+t_s)\cdot\sin^{-1}\left(\frac{D_j}{D_s+t_s}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.5)$$

$$A_{se}=\frac{2}{3}\cdot\{\pi\cdot(D_s+t_s)-Y\}\cdot t_s \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.6)$$

したがって，固有周期は次式で求める。

$$T_H=2\cdot\pi\cdot\sqrt{\frac{m_0}{K_H}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.7)$$

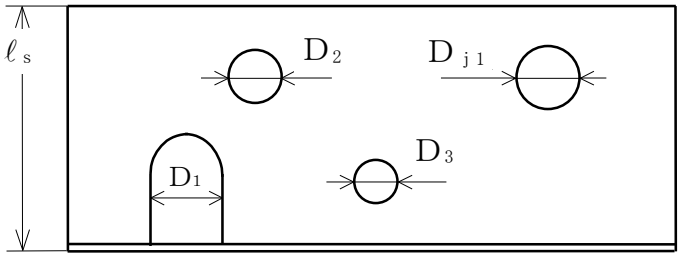


図2－2　スカート開口部の形状

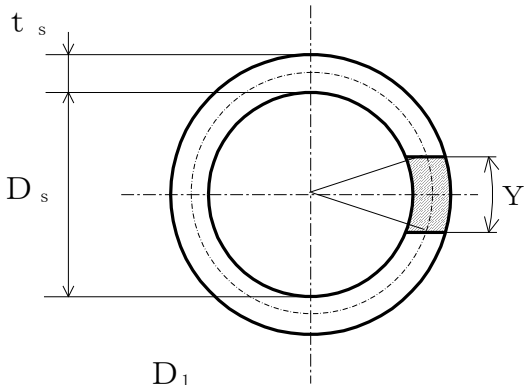


図2－3　スカート開口部の水平断面における最大円周長さ

b. 下端固定上端支持の場合

重心の位置に水平方向の荷重Qが作用したときに上端の支持部に生じる反力Q′は，図 2－4 に示すように荷重Q及び反力Q′による上端の変位量δとδ′が等しいとして求める。

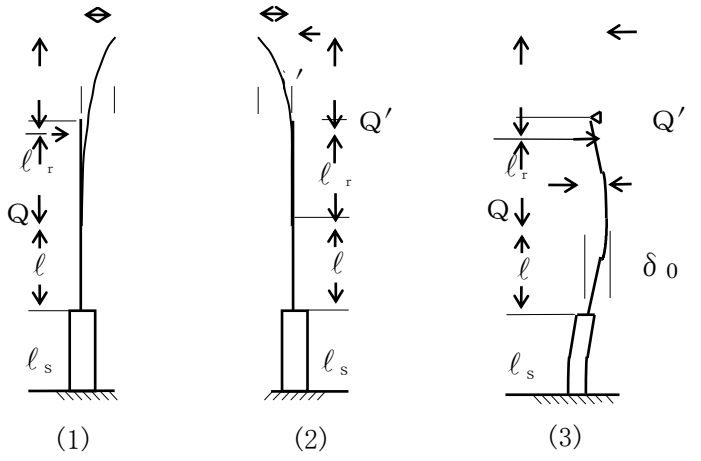


図 2－4　下端固定上端支持の場合の変形モデル

図 2－4 の(1)の場合

$$\delta=\frac{Q\cdot\ell^{2}}{6\cdot E\cdot I}\cdot(2\cdot\ell+3\cdot\ell_{r})+\frac{Q}{6\cdot E_{s}\cdot I_{s}}\cdot\{2\cdot\ell_{s}^{3}+3\cdot\ell_{s}^{2}\cdot\ell_{r}+6\cdot\ell_{s}\cdot\ell\cdot(\ell_{s}+\ell+\ell_{r})\}+\frac{Q\cdot\ell}{G\cdot A_{e}}+\frac{Q\cdot\ell_{s}}{G_{s}\cdot A_{se}}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\quad(2.1.8)$$

図 2－4 の(2)の場合

$$\delta'=\frac{Q'\cdot(\ell+\ell_{r})^{3}}{3\cdot E\cdot I}+\frac{Q'}{3\cdot E_{s}\cdot I_{s}}\cdot\{3\cdot(\ell+\ell_{r})^{2}+\ell_{s}+3\cdot(\ell+\ell_{r})\cdot\ell_{s}^{2}+\ell_{s}^{3}\}+\frac{Q'\cdot(\ell+\ell_{r})}{G\cdot A_{e}}+\frac{Q'\cdot\ell_{s}}{G_{s}\cdot A_{se}}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\quad(2.1.9)$$

(2.1.8) 式と (2.1.9) 式を等しく置くことにより，

$$Q'=Q\cdot\left\{\frac{\ell^{2}\cdot(2\cdot\ell+3\cdot\ell_{r})}{6\cdot E\cdot I}+\frac{2\cdot\ell_{s}^{3}+3\cdot\ell_{s}^{2}\cdot\ell_{r}+6\cdot\ell_{s}\cdot\ell\cdot(\ell_{s}+\ell+\ell_{r})}{6\cdot E_{s}\cdot I_{s}}+\frac{\ell}{G\cdot A_{e}}+\frac{\ell_{s}}{G_{s}\cdot A_{se}}\right\}\Big/\left\{\frac{(\ell+\ell_{r})^{3}}{3\cdot E\cdot I}+\frac{3\cdot(\ell+\ell_{r})^{2}+\ell_{s}+3\cdot(\ell+\ell_{r})\cdot\ell_{s}^{2}+\ell_{s}^{3}}{3\cdot E_{s}\cdot I_{s}}+\frac{\ell+\ell_{r}}{G\cdot A_{e}}+\frac{\ell_{s}}{G_{s}\cdot A_{se}}\right\}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\quad(2.1.10)$$

したがって，図 2－4 の(3)に示す重心位置での変位量δ_0は図 2－4 の(1)及び(2)の重心位置での変位量の重ね合せから求めることができ，ばね定数K_Hは次式で求める。

$$K_H=\frac{Q}{\delta_0}=1000\ /\left\{\ \frac{\ell^3}{3\cdot E\cdot I}+\frac{3\cdot\ell^2\cdot\ell_s+3\cdot\ell\cdot\ell_s{}^2+\ell_s{}^3}{3\cdot E_s\cdot I_s}\right.$$
$$+\left(1-\frac{Q'}{Q}\right)\cdot\left(\frac{\ell}{G\cdot A_e}+\frac{\ell_s}{G_s\cdot A_{se}}\right)-\frac{Q'}{Q}\cdot\left(\ \frac{2\cdot\ell^3+3\cdot\ell^2\cdot\ell_r}{6\cdot E\cdot I}\right.$$
$$\left.\left.+\frac{3\cdot\ell_s{}^2\cdot\ell+\ell_s{}^3+3\cdot\ell_s\cdot\ell^2+3\cdot\ell_s\cdot\ell\cdot\ell_r+\frac{3}{2}\ell_s{}^2+\ell_r}{3\cdot E_s\cdot I_s}\ \right)\right\}$$
$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\quad(2.1.11)$$

固有周期は（2.1.7）式により求める。

(3) 鉛直方向固有周期

軸方向変形によるばね定数K_vは，次式で求める。

$$K_v=1000\ /\left(\frac{\ell}{E\cdot A}+\frac{\ell_s}{E_s\cdot A_s}\right)\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\quad(2.1.12)$$

$$A=\pi\cdot(D_i+t)\cdot t\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\quad(2.1.13)$$

$$A_s=\{\pi\cdot(D_s+t_s)-Y\}\cdot t_s\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\quad(2.1.14)$$

したがって，固有周期T_vは次式で求める。

$$T_v=2\cdot\pi\cdot\sqrt{\frac{m_0}{K_v}}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\quad(2.1.15)$$

2.2 応力の計算方法

応力計算において,静的地震力を用いる場合は絶対値和を用い,動的地震力を用いる場合は,ＳＲＳＳ法を用いることができる。

2.2.1 胴の応力

(1) 静水頭又は内圧による応力

静水頭による場合（鉛直方向地震時を含む。）

$$\sigma_{\phi 1}=\frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i}{2 \cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.1)$$

$$\sigma_{\phi 2}=\frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i \cdot C_v}{2 \cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.2)$$

$$\sigma_{x1}=0 \quad \cdots\cdots (2.2.1.3)$$

内圧による場合

$$\sigma_{\phi 1}=\frac{P_r \cdot (D_i+1.2 \cdot t)}{2 \cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.4)$$

$$\sigma_{\phi 2}=0 \quad \cdots\cdots (2.2.1.5)$$

$$\sigma_{x1}=\frac{P_r \cdot (D_i+1.2 \cdot t)}{4 \cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.6)$$

(2) 運転時質量及び鉛直方向地震による応力

胴がスカートと接合する点を境界として，上部には胴自身の質量による圧縮応力が，下部には下部の胴自身の質量と内容物の質量による引張応力が生じる。

下部の胴について

$$\sigma_{x2}=\frac{(m_0-m_e) \cdot g}{\pi \cdot (D_i+t) \cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.7)$$

$$\sigma_{x5}=\frac{(m_0-m_e) \cdot g \cdot C_v}{\pi \cdot (D_i+t) \cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.8)$$

上部の胴について

$$\sigma_{x3}=\frac{m_e \cdot g}{\pi \cdot (D_i+t) \cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.9)$$

$$\sigma_{x6}=\frac{m_e \cdot g \cdot C_v}{\pi \cdot (D_i+t) \cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.10)$$

(3) 水平方向地震による応力

水平方向の地震力により胴はスカート接合部で最大となる曲げモーメントを受ける。この曲げモーメントによる軸方向応力と地震力によるせん断応力は次のように求める。

a. 下端固定の場合

$$\sigma_{x4}=\frac{4\cdot C_H\cdot m_0\cdot g\cdot \ell}{\pi\cdot(D_i+t)^2\cdot t} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.11)$$

$$\tau=\frac{2\cdot C_H\cdot m_0\cdot g}{\pi\cdot(D_i+t)\cdot t} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.12)$$

b. 下端固定上端支持の場合

$$\sigma_{x4}=\frac{4\cdot C_H\cdot m_0\cdot g\cdot \left|\ell-\frac{Q'}{Q}\cdot(\ell-r)\right|}{\pi\cdot(D_i+t)^2\cdot t} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.13)$$

$$\tau=\frac{2\cdot C_H\cdot m_0\cdot g\cdot\left(1-\frac{Q'}{Q}\right)}{\pi\cdot(D_i+t)\cdot t} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.14)$$

(4) 組合せ応力

(1)～(3)によって求めた胴の応力は以下のように組み合わせる。

a. 一次一般膜応力

(a) 組合せ引張応力

$$\sigma_\phi=\sigma_{\phi1}+\sigma_{\phi2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.15)$$

$$\sigma_{0t}=\frac{1}{2}\cdot\left\{\sigma_\phi+\sigma_{xt}+\sqrt{(\sigma_\phi-\sigma_{xt})^2+4\cdot\tau^2}\right\}$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.16)$$

ここで,

【絶対値和】

$$\sigma_{xt}=\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sigma_{x4}+\sigma_{x5} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.17)$$

【ＳＲＳＳ法】

$$\sigma_{xt}=\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sqrt{\sigma_{x4}^2+\sigma_{x5}^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.18)$$

(b) 組合せ圧縮応力

$$\sigma_\phi=-\sigma_{\phi1}-\sigma_{\phi2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.19)$$

σ_{xc}が正の値（圧縮側）のとき，次の組合せ圧縮応力を求める。

$$\sigma_{0c}=\frac{1}{2}\cdot\left\{\sigma_\phi+\sigma_{xc}+\sqrt{(\sigma_\phi-\sigma_{xc})^2+4\cdot\tau^2}\right\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.20)$$

ここで,

【絶対値和】

$$\sigma_{xc} = -\sigma_{x1} + \sigma_{x3} + \sigma_{x4} + \sigma_{x6} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.21)$$

【ＳＲＳＳ法】

$$\sigma_{xc} = -\sigma_{x1} + \sigma_{x3} + \sqrt{\sigma_{x4}^{2} + \sigma_{x6}^{2}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.22)$$

したがって，胴の組合せ一次一般膜応力の最大値は，絶対値和，ＳＲＳＳ法それぞれに対して，

σ_0＝Max｛組合せ引張応力（σ_{0t}），組合せ圧縮応力（σ_{0c}）｝

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.23)$$

とする。

一次応力は一次一般膜応力と同じになるので省略する。

2.2.2 スカートの応力

(1) 運転時質量及び鉛直方向地震による応力

スカート底部に生じる運転時質量及び鉛直方向地震による圧縮応力は次式で求める。

$$\sigma_{S1} = \frac{m_0 \cdot g}{\{\pi \cdot (D_s + t_s) - Y\} \cdot t_s} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.1)$$

$$\sigma_{S3} = \frac{m_0 \cdot g \cdot C_v}{\{\pi \cdot (D_s + t_s) - Y\} \cdot t_s} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.2)$$

(2) 水平方向地震による応力

水平方向の地震力によりスカートには曲げモーメントが作用する。この曲げモーメントによる軸方向応力と地震力によるせん断応力は次のように求める。

a. 下端固定の場合

$$\sigma_{S2} = \frac{M_s}{(D_s + t_s) \cdot t_s \cdot \left\{\frac{\pi}{4} \cdot (D_s + t_s) - \frac{Y}{2}\right\}} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.3)$$

$$\tau_S = \frac{2 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g}{\{\pi \cdot (D_s + t_s) - Y\} \cdot t_s} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.4)$$

ここで,

$$M_s = C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot (\ell_s + \ell) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.5)$$

b. 下端固定上端支持の場合

軸方向応力は（2.2.2.3）式で表されるが，曲げモーメントM_sは次のM_{s1}又はM_{s2}のいずれか大きい方の値とする。

$$M_{s1}=C_H\cdot m_0\cdot g\cdot\left|\ell-\frac{Q'}{Q}\cdot(\ell+\ell_r)\right| \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.6)$$

$$M_{s2}=C_H\cdot m_0\cdot g\cdot\left|\ell_s+\ell-\frac{Q'}{Q}\cdot(\ell_s+\ell+\ell_r)\right| \quad \cdots\cdots \quad (2.2.2.7)$$

$$\tau_S=\frac{2\cdot C_H\cdot m_0\cdot g\cdot(1-\frac{Q'}{Q})}{\{\pi\cdot(D_s+t_s)-Y\}\cdot t_s} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.8)$$

(3) 組合せ応力

組合せ応力は次式で求める。

【絶対値和】

$$\sigma_s=\sqrt{(\sigma_{s1}+\sigma_{s2}+\sigma_{s3})^2+3\cdot\tau_s^{\,2}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.9)$$

【ＳＲＳＳ法】

$$\sigma_s=\sqrt{(\sigma_{s1}+\sqrt{\sigma_{s2}^{\,2}+\sigma_{s3}^{\,2}})^2+3\cdot\tau_s^{\,2}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.10)$$

2.2.3 基礎ボルトの応力

(1) 引張応力

基礎に作用する転倒モーメントM_sは下端固定の場合，(2.2.2.5) 式を，下端固定上端支持の場合は (2.2.2.6) 式又は (2.2.2.7) 式を用いる。

転倒モーメントが作用した場合に生じる基礎ボルトの引張荷重と基礎部の圧縮荷重については，荷重と変位量の釣合い条件を考慮することにより求める。(図 2－5 参照)

以下にその手順を示す。

a. σ_b及びσ_cを仮定して基礎ボルトの応力計算における中立軸の荷重係数 k を求める。

$$k=\frac{1}{1+\frac{\sigma_b}{s\cdot\sigma_c}} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.3.1)$$

b. 基礎ボルトの応力計算における中立軸を定める角度αを求める。

$$\alpha=\cos^{-1}(1-2\cdot k) \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.3.2)$$

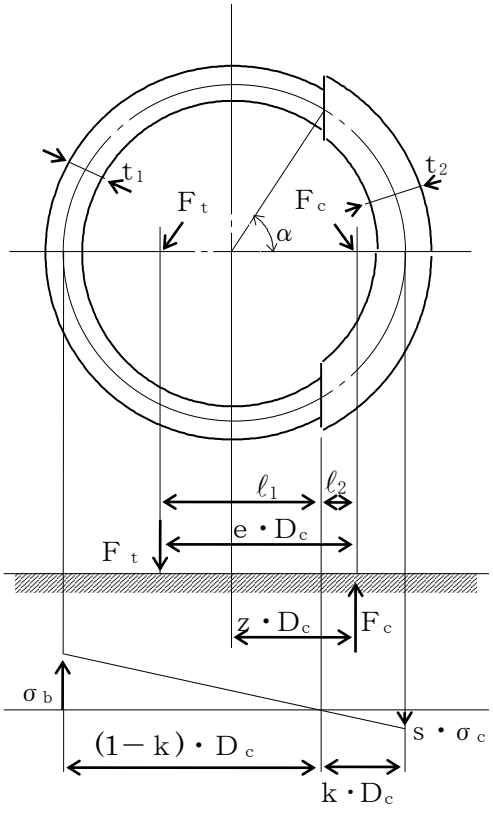


図 2－5　基礎の荷重説明図

c. 各定数ｅ，ｚ，C_t及びC_cを求める。

$$e=\frac{1}{2}\cdot\left\{\frac{(\pi-\alpha)\cdot\cos^2\alpha+\frac{1}{2}\cdot(\pi-\alpha)+\frac{3}{2}\cdot\sin\alpha\cdot\cos\alpha}{(\pi-\alpha)\cdot\cos\alpha+\sin\alpha}+\frac{\frac{1}{2}\cdot\alpha-\frac{3}{2}\cdot\sin\alpha\cdot\cos\alpha+\alpha\cdot\cos^2\alpha}{\sin\alpha-\alpha\cdot\cos\alpha}\right\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.3.3)$$

$$z=\frac{1}{2}\cdot\left(\cos\alpha+\frac{\frac{1}{2}\cdot\alpha-\frac{3}{2}\cdot\sin\alpha\cdot\cos\alpha+\alpha\cdot\cos^2\alpha}{\sin\alpha-\alpha\cdot\cos\alpha}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.3.4)$$

$$C_t=\frac{2\cdot\{(\pi-\alpha)\cdot\cos\alpha+\sin\alpha\}}{1+\cos\alpha} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.3.5)$$

$$C_c=\frac{2\cdot(\sin\alpha-\alpha\cdot\cos\alpha)}{1-\cos\alpha} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.3.6)$$

d. 各定数を用いてF_t及びF_cを求める。

【絶対値和】

$$F_t=\frac{M_s-(1-C_v)\cdot m_0\cdot g\cdot z\cdot D_c}{e\cdot D_c} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.3.7)$$

$$F_c=F_t+(1-C_v)\cdot m_0\cdot g \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.3.8)$$

【ＳＲＳＳ法】

$$F_t=\frac{\sqrt{M_s^2+(C_v\cdot m_0\cdot g\cdot z\cdot D_c)^2}}{e\cdot D_c}-\frac{z}{e}\cdot m_0\cdot g \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.3.9)$$

$$F_c=\frac{\sqrt{M_s^2+(C_v\cdot m_0\cdot g\cdot(z-e)\cdot D_c)^2}}{e\cdot D_c}+\left(1-\frac{z}{e}\right)\cdot m_0\cdot g \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.3.10)$$

基礎ボルトに引張力が作用しないのは，αがπに等しくなったときであり，(2.2.3.3) 式及び (2.2.3.4) 式においてαをπに近づけた場合の値ｅ＝0.75 及びｚ＝0.25 を (2.2.3.7) 式又は (2.2.3.9) 式に代入し，得られるF_tの値によって引張力の有無を次のように判定する。

$F_t \leqq 0$ ならば引張力は作用しない。

$F_t > 0$ ならば引張力が作用しているので次の計算を行う。

e. σ_b及びσ_cを求める。

$$\sigma_b = \frac{2 \cdot F_t}{t_1 \cdot D_c \cdot C_t} \quad \cdots\cdots (2.2.3.11)$$

$$\sigma_c = \frac{2 \cdot F_c}{(t_2 + s \cdot t_1) \cdot D_c \cdot C_c} \quad \cdots\cdots (2.2.3.12)$$

ここで,

$$t_1 = \frac{n \cdot A_b}{\pi \cdot D_c} \quad \cdots\cdots (2.2.3.13)$$

$$t_2 = \frac{1}{2} \cdot (D_{bo} - D_{bi}) - t_1 \quad \cdots\cdots (2.2.3.14)$$

σ_b及びσ_cがa項にて仮定した値と十分に近似していることを確認する。この場合のσ_b及びσ_cを基礎ボルトと基礎に生じる応力とする。

(2) せん断応力

a. 下端固定の場合

$$\tau_b = \frac{C_H \cdot m_0 \cdot g}{n \cdot A_b} \quad \cdots\cdots (2.2.3.15)$$

b. 下端固定上端支持の場合

$$\tau_b = \frac{C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot (1 - \frac{Q'}{Q})}{n \cdot A_b} \quad \cdots\cdots (2.2.3.16)$$

3. 評価方法

3.1 応力の評価

3.1.1 胴の応力評価

2.2.1 項で求めた組合せ応力が胴の最高使用温度における許容応力S_a以下であること。

応力の種類	許　容　応　力　S_a
一次一般膜応力	設計降伏点S_yと設計引張強さS_uの0.6倍のいずれか小さい方の値。ただし，オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金にあっては許容引張応力Sの1.2倍の方が大きい場合は，この大きい方の値とする。

一次応力の評価は算出応力が一次一般膜応力と同じ値であるので省略する。

3.1.2 スカートの応力評価

(1) 2.2.2 項で求めたスカートの組合せ応力が許容引張応力 f_t 以下であること。

$$f_t = \frac{F}{1.5} \cdot 1.5 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.1.2.1)$$

(2) 圧縮膜応力（圧縮応力と曲げによる圧縮側応力の組合せ）は次式を満足すること。(座屈の評価)

$$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leqq 1 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.1.2.2)$$

ここで，f_cは次による。

$\dfrac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \leqq \dfrac{1200 \cdot g}{F}$　のとき

$$f_c = F \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.1.2.3)$$

$\dfrac{1200 \cdot g}{F} < \dfrac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} < \dfrac{8000 \cdot g}{F}$　のとき

$$f_c = F \cdot \left[1 - \frac{1}{6800 \cdot g} \cdot \left\{ F - \phi_1 \left(\frac{8000 \cdot g}{F} \right) \right\} \cdot \left(\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right) \right]$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.1.2.4)$$

$$\frac{8000\cdot g}{F}\leqq\frac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s}\leqq 800 \quad \text{のとき}$$

$$f_c=\phi_1\left(\frac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.1.2.5)$$

ただし，$\phi_1(x)$は次の関数とする。

$$\phi_1(x)=0.6\cdot\frac{E_s}{x}\cdot\left[1-0.901\cdot\left\{1-\exp\left(-\frac{1}{16}\cdot\sqrt{x}\right)\right\}\right] \quad \cdots\cdots \quad (3.1.2.6)$$

また，f_bは次による。

$$\frac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s}\leqq\frac{1200\cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_b=F \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.1.2.7)$$

$$\frac{1200\cdot g}{F}<\frac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s}<\frac{9600\cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_b=F\cdot\left[1-\frac{1}{8400\cdot g}\cdot\left\{F-\phi_2\left(\frac{9600\cdot g}{F}\right)\right\}\cdot\left(\frac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s}-\frac{1200\cdot g}{F}\right)\right] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.2.2.8)$$

$$\frac{9600\cdot g}{F}\leqq\frac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s}\leqq 800 \quad \text{のとき}$$

$$f_b=\phi_2\left(\frac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.1.2.9)$$

ただし，$\phi_2(x)$は次の関数とする。

$$\phi_2(x)=0.6\cdot\frac{E_s}{x}\cdot\left[1-0.731\cdot\left\{1-\exp\left(-\frac{1}{16}\cdot\sqrt{x}\right)\right\}\right] \quad \cdots\cdots \quad (3.1.2.10)$$

ηは安全率で次による。

$$\frac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s}\leqq\frac{1200\cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$\eta=1 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.1.2.11)$$

$$\frac{1200\cdot g}{F}<\frac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s}<\frac{8000\cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$\eta=1+\frac{0.5\cdot F}{6800\cdot g}\cdot\left(\frac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s}-\frac{1200\cdot g}{F}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.1.2.12)$$

$$\frac{8000 \cdot g}{F} \leqq \frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \quad \text{のとき}$$

$$\eta = 1.5 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.1.2.13)$$

3.1.3 基礎ボルトの応力評価

2.2.3項で求めた基礎ボルトの引張応力σ_bは次式より求めた許容引張応力f_{ts}以下であること。

せん断応力τ_bはせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力f_{sb}以下であること。

$$f_{ts} = 1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.1.3.1)$$

かつ,

$$f_{ts} \leqq f_{to} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.1.3.2)$$

ただし，f_{to}及びf_{sb}は下表による。

	許容引張応力　f_{to}	許容せん断応力　f_{sb}
計　　算　　式	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

付録２　平底たて置円筒形容器（耐震設計上の重要度分類Ｂ，Ｃクラス）の耐震性についての計算書作成の基本方針

1. 一般事項

本基本方針は，平底たて置円筒形容器（耐震設計上の重要度分類Ｂ，Ｃクラス）の耐震性についての計算方法を示す。

1.1 適用基準

本基本方針における計算方法は，原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 62 年 8 月）に準拠する。

1.2 計算条件

(1) 容器及び内容物の質量は重心に集中するものとする。

(2) 地震力は容器に対して水平方向に作用するものとする。

(3) 容器は胴下端のベースプレートを円周上等ピッチの多数の基礎ボルトで基礎に固定された固定端とする。ここで，基礎については剛となるように設計する。

(4) 胴をはりと考え，変形モードは曲げ及びせん断変形を考慮する。

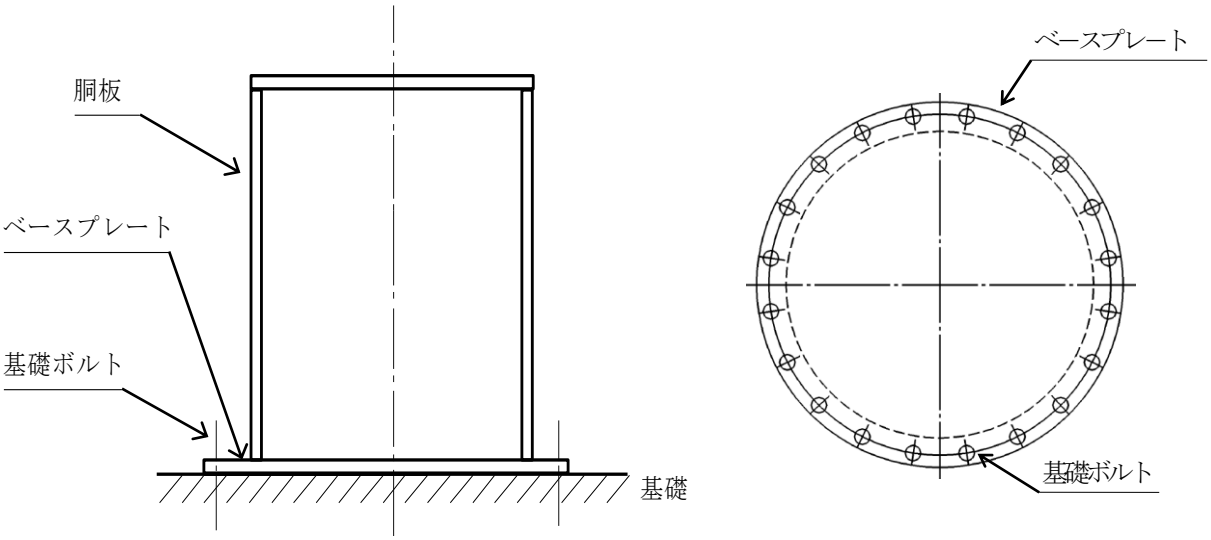


図 1－1　平底たて置円筒形容器の概要図

1.3 記号の説明

記　号	記　号　の　説　明	単　位
A	胴の軸断面積	mm^2
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
A_e	胴の有効せん断断面積	mm^2
C_c	基礎ボルト計算における係数	－
C_H	水平方向設計震度	－
C_t	基礎ボルト計算における係数	－
C_v	鉛直方向設計震度	－
D_{bi}	ベースプレートの内径	mm
D_{bo}	ベースプレートの外径	mm
D_c	基礎ボルトのピッチ円直径	mm
D_i	胴の内径	mm
E	胴の縦弾性係数	MPa
e	基礎ボルト計算における係数	－
F	設計・建設規格　SSB-3121.1又はSSB-3131に定める値	MPa
F_c	基礎に作用する圧縮力	N
F_t	基礎ボルトに作用する引張力	N
f_b	曲げモーメントに対する許容座屈応力	MPa
f_c	軸圧縮荷重に対する許容座屈応力	MPa
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
G	胴のせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
H	水頭	mm
I	胴の断面二次モーメント	mm^4
K_H	水平方向ばね定数	N/m
K_V	鉛直方向ばね定数	N/m
k	基礎ボルト計算における中立軸の荷重係数	－
ℓ_1，ℓ_2	基礎ボルト計算における中立軸から荷重作用点までの距離（図2－2に示す距離）	mm
ℓ_g	基礎から容器重心までの距離	mm
M_s	胴に作用する転倒モーメント	N･mm
m_0	容器の運転時質量	kg
m_e	容器の空質量	kg
n	基礎ボルトの本数	－
S	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5に定める値	MPa
S_a	胴の許容応力	MPa
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa

記　　号	記　　号　　の　　説　　明	単　　位
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
s	基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比	－
T_H	水平方向固有周期	s
T_V	鉛直方向固有周期	s
t	胴板の厚さ	mm
t_1	基礎ボルト面積相当板幅	mm
t_2	圧縮側基礎相当幅	mm
z	基礎ボルト計算における係数	－
α	基礎ボルト計算における中立軸を定める角度	rad
η	座屈応力に対する安全率	－
π	円周率	－
ρ'	液体の比重量（＝比重×10^{-6}）	kg/mm^3
σ_0	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{0c}	胴の組合せ圧縮応力	MPa
σ_{0t}	胴の組合せ引張応力	MPa
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_c	基礎に生じる圧縮応力	MPa
σ_{x1}，$\sigma_{\phi 1}$	静水頭により胴に生じる軸方向及び周方向応力	MPa
σ_{x2}	胴の空質量による軸方向圧縮応力	MPa
σ_{x3}	胴の鉛直方向地震による軸方向応力	MPa
σ_{x4}	胴の水平方向地震による軸方向応力	MPa
σ_{xc}	胴の軸方向応力の和（圧縮側）	MPa
σ_{xt}	胴の軸方向応力の和（引張側）	MPa
σ_ϕ	胴の周方向応力の和	MPa
$\sigma_{\phi 2}$	静水頭に鉛直方向地震が加わり胴に生じる周方向応力	MPa
τ	地震により胴に生じるせん断応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
ϕ_1（x）	圧縮荷重に対する許容座屈応力の関数	MPa
ϕ_2（x）	曲げモーメントに対する許容座屈応力の関数	MPa

注：「設計・建設規格」とは，発電用原子力設備規格（設計・建設規格　JSME　S　NC1-2005（2007年追補版含む。））（日本機械学会　2007年9月）（以下「設計・建設規格」という。）をいう。

1.4 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表1－1に示すとおりとする。

表1－1　表示する数値の丸め方

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期		s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度		—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度		℃	—	—	整数位
比重		—	小数点以下第3位	四捨五入	小数点以下第2位
質量		kg	—	—	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位*1
	胴板の厚さ	mm	—	—	小数点以下第1位
面積		mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
モーメント		N･mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
算出応力		MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*2		MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記　*1：設計上定める値が小数点以下第1位の場合は，小数点以下第1位表示とする。

*2：設計・建設規格　付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は，比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て，整数位までの値とする。

*3：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

2. 計算方法

2.1 固有周期の計算方法

(1) 計算モデル

本容器は，1.2 項より図 2－1 に示すような下端固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

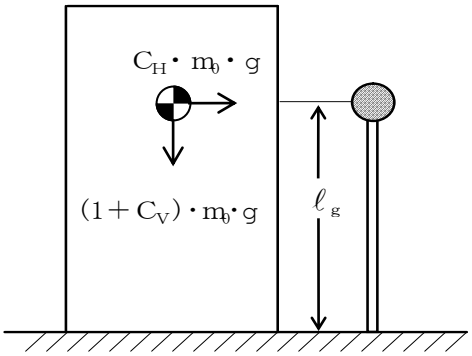


図 2－1　固有周期の計算モデル

(2) 水平方向固有周期

曲げ及びせん断変形によるばね定数K_Hは次式で求める。

$$K_H = \frac{1000}{\dfrac{\ell_g^{\,3}}{3 \cdot E \cdot I} + \dfrac{\ell_g}{G \cdot A_e}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.1)$$

ここで，胴の断面性能は次のように求める。

$$I = \frac{\pi}{8} \cdot (D_i + t)^3 \cdot t \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.2)$$

$$A_e = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot (D_i + t) \cdot t \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.3)$$

したがって，固有周期T_Hは次式で求める。

$$T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_H}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.4)$$

(3) 鉛直方向固有周期

軸方向変形によるばね定数K_Vは次式で求める。

$$K_V = \frac{1000}{\dfrac{\ell_g}{A \cdot E}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.5)$$

ここで，胴の断面性能は次のように求める。

$$A = \pi \cdot (D_i + t) \cdot t \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.6)$$

したがって，固有周期T_Vは次式で求める。

$$T_V = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_e}{K_V}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.7)$$

2.2 応力の計算方法

応力計算において，静的地震力を用いる場合は絶対値和を用い，動的地震力を用いる場合はＳＲＳＳ法を用いることができる。

2.2.1 胴の応力

(1) 静水頭及び鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{\phi 1}=\frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i}{2 \cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.1)$$

$$\sigma_{\phi 2}=\frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i \cdot C_V}{2 \cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.2)$$

$$\sigma_{x1}=0 \quad \cdots\cdots (2.2.1.3)$$

(2) 運転時質量及び鉛直方向地震による応力

胴がベースプレートと接合する点には胴自身の質量による圧縮応力と鉛直方向地震による軸方向応力が生じる。

$$\sigma_{x2}=\frac{m_e \cdot g}{\pi \cdot (D_i+t) \cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.4)$$

$$\sigma_{x3}=\frac{m_e \cdot g \cdot C_V}{\pi \cdot (D_i+t) \cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.5)$$

(3) 水平方向地震による応力

水平方向の地震力により胴はベースプレート接合部で最大となる曲げモーメントを受ける。この曲げモーメントによる軸方向応力と地震力によるせん断応力は次のように求める。

$$\sigma_{x4}=\frac{4 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \ell_g}{\pi \cdot (D_i+t)^2 \cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.6)$$

$$\tau=\frac{2 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g}{\pi \cdot (D_i+t) \cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.7)$$

(4) 組合せ応力

(1)～(3)によって求めた胴の応力は以下のように組み合わせる。

ａ．一次一般膜応力

(a) 組合せ引張応力

$$\sigma_{\phi}=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 2} \quad \cdots\cdots (2.2.1.8)$$

$$\sigma_{0t}=\frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{\phi}+\sigma_{xt}+\sqrt{(\sigma_{\phi}-\sigma_{xt})^2+4 \cdot \tau^2} \right\} \quad \cdots\cdots (2.2.1.9)$$

ここで，

【絶対値和】

$$\sigma_{xt}=\sigma_{x1}-\sigma_{x2}+\sigma_{x3}+\sigma_{x4} \quad \cdots\cdots (2.2.1.10)$$

【ＳＲＳＳ法】

$$\sigma_{xt}=\sigma_{x1}-\sigma_{x2}+\sqrt{\sigma_{x3}^2+\sigma_{x4}^2} \quad \cdots\cdots (2.2.1.11)$$

(b) 組合せ圧縮応力

$$\sigma_{\phi} = -\sigma_{\phi 1} - \sigma_{\phi 2} \quad \cdots\cdots (2.2.1.12)$$

σ_{xc}が正の値（圧縮側）のとき，次の組合せ圧縮応力を求める。

$$\sigma_{0c} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{\phi} + \sigma_{xc} + \sqrt{(\sigma_{\phi} - \sigma_{xc})^2 + 4 \cdot \tau^2} \right\} \quad \cdots\cdots (2.2.1.13)$$

ここで，

【絶対値和】

$$\sigma_{xc} = -\sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x3} + \sigma_{x4} \quad \cdots\cdots (2.2.1.14)$$

【ＳＲＳＳ法】

$$\sigma_{xc} = -\sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sqrt{\sigma_{x3}^2 + \sigma_{x4}^2} \quad \cdots\cdots (2.2.1.15)$$

したがって，胴の組合せ一次一般膜応力の最大値は，絶対値和，ＳＲＳＳ法それぞれに対して，

σ_0＝Max｛組合せ引張応力（σ_{0t}），組合せ圧縮応力（σ_{0c}）｝

$$\cdots\cdots (2.2.1.16)$$

とする。

一次応力は一次一般膜応力と同じになるので省略する。

2.2.2 基礎ボルトの応力

(1) 引張応力

転倒モーメントが作用した場合に生じる基礎ボルトの引張荷重と基礎部の圧縮荷重については，荷重と変位量の釣合い条件を考慮することにより求める。(図 2－2 参照)

以下にその手順を示す。

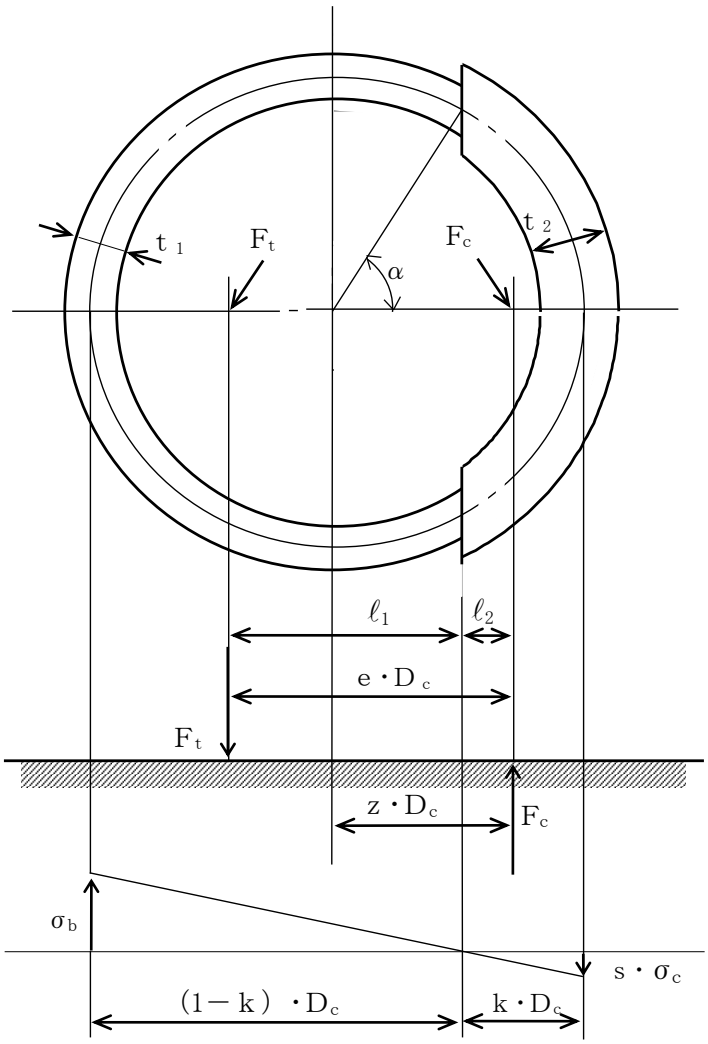


図 2－2　基礎の荷重説明図

a．σ_b及びσ_cを仮定して基礎ボルトの応力計算における中立軸の荷重係数 k を求める。

$$k = \frac{1}{1 + \dfrac{\sigma_b}{s \cdot \sigma_c}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.1)$$

b．基礎ボルトの応力計算における中立軸を定める角度αを求める。

$$\alpha = \cos^{-1}(1-2\cdot k) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.2)$$

c．各定数e，z，C_t及びC_cを求める。

$$e = \frac{1}{2}\cdot\left\{\frac{(\pi-\alpha)\cdot\cos^2\alpha+\frac{1}{2}\cdot(\pi-\alpha)+\frac{3}{2}\cdot\sin\alpha\cdot\cos\alpha}{(\pi-\alpha)\cdot\cos\alpha+\sin\alpha}+\frac{\frac{1}{2}\cdot\alpha-\frac{3}{2}\cdot\sin\alpha\cdot\cos\alpha+\alpha\cdot\cos^2\alpha}{\sin\alpha-\alpha\cdot\cos\alpha}\right\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.3)$$

$$z = \frac{1}{2}\cdot\left(\cos\alpha+\frac{\frac{1}{2}\cdot\alpha-\frac{3}{2}\cdot\sin\alpha\cdot\cos\alpha+\alpha\cdot\cos^2\alpha}{\sin\alpha-\alpha\cdot\cos\alpha}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.4)$$

$$C_t = \frac{2\cdot\{(\pi-\alpha)\cdot\cos\alpha+\sin\alpha\}}{1+\cos\alpha} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.5)$$

$$C_C = \frac{2\cdot(\sin\alpha-\alpha\cdot\cos\alpha)}{1-\cos\alpha} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.6)$$

d．各定数を用いてF_t及びF_cを求める。

【絶対値和】

$$F_t = \frac{M_s-(1-C_V)\cdot m_0\cdot g\cdot z\cdot D_c}{e\cdot D_c}$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.7)$$

$$F_c = F_t+(1-C_V)\cdot m_0\cdot g \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.8)$$

【ＳＲＳＳ法】

$$F_t = \frac{\sqrt{M_s^2+(C_V\cdot m_0\cdot g\cdot z\cdot D_c)^2}}{e\cdot D_c}-\frac{z}{e}\cdot m_0\cdot g \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.9)$$

$$F_c = \frac{\sqrt{M_s^2+(C_V\cdot m_0\cdot g\cdot(z-e)\cdot D_c)^2}}{e\cdot D_c}+\left(1-\frac{z}{e}\right)\cdot m_0\cdot g$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.10)$$

ここで，

$$M_s = C_H\cdot m_0\cdot g\cdot \ell_g \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.11)$$

基礎ボルトに引張力が作用しないのは，αがπに等しくなったときであり，（2.2.2.3）式及び（2.2.2.4）式においてαをπに近づけた場合の値e＝0.75 及びz＝0.25 を（2.2.2.7）式又は（2.2.2.9）式に代入し，得られるF_tの値によって引張力の有無を次のように判定する。

$F_t \leqq 0$ ならば引張力は作用しない。

$F_t > 0$ ならば引張力が作用しているので次の計算を行う。

e． σ_b及びσ_cを求める。

$$\sigma_b = \frac{2 \cdot F_t}{t_1 \cdot D_c \cdot C_t} \quad \cdots\cdots (2.2.2.12)$$

$$\sigma_c = \frac{2 \cdot F_c}{(t_2 + s \cdot t_1) \cdot D_c \cdot C_c} \quad \cdots\cdots (2.2.2.13)$$

ここで,

$$t_1 = \frac{n \cdot A_b}{\pi \cdot D_c} \quad \cdots\cdots (2.2.2.14)$$

$$t_2 = \frac{1}{2} \cdot (D_{bo} - D_{bi}) - t_1 \quad \cdots\cdots (2.2.2.15)$$

σ_b及びσ_cが a 項にて仮定した値と十分に近似していることを確認する。この場合のσ_b及びσ_cを基礎ボルトと基礎に生じる応力とする。

(2) せん断応力

$$\tau_b = \frac{C_H \cdot m_0 \cdot g}{n \cdot A_b} \quad \cdots\cdots (2.2.2.16)$$

3.評価方法

3.1 応力の評価

3.1.1 胴の応力評価

(1) 2.2.1 項で求めた組合せ応力が胴の最高使用温度における許容応力S_a以下であること。

応力の種類	設 計 応 力 S_a
一次一般膜応力	設計降伏点S_yと設計引張強さS_uの0.6倍のいずれか小さい方の値。ただし，オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金にあっては許容引張応力Sの1.2倍の方が大きい場合は，この大きい方の値とする。

一次応力の評価は算出応力が一次一般膜応力と同じ値であるので省略する。

(2) 圧縮膜応力（圧縮応力と曲げによる圧縮側応力の組合せ）は次式を満足すること。（座屈の評価）

$$\frac{\eta \cdot (\sigma_{x2}+\sigma_{x3})}{f_c}+\frac{\eta \cdot \sigma_{x4}}{f_b} \leqq 1 \quad \cdots\cdots (3.1.1.1)$$

ここで，f_cは次による。

$\dfrac{D_i+2 \cdot t}{2 \cdot t} \leqq \dfrac{1200 \cdot g}{F}$ のとき

$$f_c = F \quad \cdots\cdots (3.1.1.2)$$

$\dfrac{1200 \cdot g}{F} < \dfrac{D_i+2 \cdot t}{2 \cdot t} < \dfrac{8000 \cdot g}{F}$ のとき

$$f_c = F \cdot \left[1 - \frac{1}{6800 \cdot g} \cdot \left\{ F - \phi_1\left(\frac{8000 \cdot g}{F}\right)\right\} \cdot \left(\frac{D_i+2 \cdot t}{2 \cdot t} - \frac{1200 \cdot g}{F}\right)\right]$$

$$\cdots\cdots (3.1.1.3)$$

$\frac{8000\cdot g}{F} \leqq \frac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t} \leqq 800$ のとき

$$f_c=\phi_1\left(\frac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t}\right) \quad \cdots\cdots (3.1.1.4)$$

ただし，$\phi_1(x)$は次の関数とする。

$$\phi_1(x)=0.6\cdot\frac{E}{x}\cdot\left[1-0.901\cdot\left\{1-\exp\left(-\frac{1}{16}\cdot\sqrt{x}\right)\right\}\right] \quad \cdots\cdots (3.1.1.5)$$

また，f_bは次による。

$\frac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t} \leqq \frac{1200\cdot g}{F}$ のとき

$$f_b=F \quad \cdots\cdots (3.1.1.6)$$

$\frac{1200\cdot g}{F} < \frac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t} < \frac{9600\cdot g}{F}$ のとき

$$f_b=F\cdot\left[1-\frac{1}{8400\cdot g}\cdot\left\{F-\phi_2\left(\frac{9600\cdot g}{F}\right)\right\}\cdot\left(\frac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t}-\frac{1200\cdot g}{F}\right)\right] \quad \cdots\cdots (3.1.1.7)$$

$\frac{9600\cdot g}{F} \leqq \frac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t} \leqq 800$ のとき

$$f_b=\phi_2\left(\frac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t}\right) \quad \cdots\cdots (3.1.1.8)$$

ただし，$\phi_2(x)$は次の関数とする。

$$\phi_2(x)=0.6\cdot\frac{E}{x}\cdot\left[1-0.731\cdot\left\{1-\exp\left(-\frac{1}{16}\cdot\sqrt{x}\right)\right\}\right] \quad \cdots\cdots (3.1.1.9)$$

ηは安全率で次による。

$\frac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t} \leqq \frac{1200\cdot g}{F}$ のとき

$$\eta=1 \quad \cdots\cdots (3.1.1.10)$$

$\frac{1200\cdot g}{F} < \frac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t} < \frac{8000\cdot g}{F}$ のとき

$$\eta=1+\frac{0.5\cdot F}{6800\cdot g}\cdot\left(\frac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t}-\frac{1200\cdot g}{F}\right) \quad \cdots\cdots (3.1.1.11)$$

$\frac{8000\cdot g}{F} \leqq \frac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t}$ のとき

$$\eta=1.5 \quad \cdots\cdots (3.1.1.12)$$

3.1.2 基礎ボルトの応力評価

2.2.2 項で求めた基礎ボルトの引張応力σｂは次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。

$$f_{ts}=1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.1.2.1)$$

かつ,

$$f_{ts}\leqq f_{to} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.1.2.2)$$

ただし，f_{to} 及び f_{sb} は下表による。

	許容引張応力　f_{to}	許容せん断応力　f_{sb}
計 算 式	$\frac{F}{2}\cdot 1.5$	$\frac{F}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

別紙（４）

建屋内 RO 循環設備および追設する関連機器に係る確認事項

建屋内 RO 循環設備および追設する関連機器の構造強度・耐震性及び機能・性能等に関する確認事項を表－1～15 に示す。

表－1　確認事項（ろ過処理水受タンク，淡水化処理水受タンク）

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法について記録を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器の据付位置，据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることを確認する。 耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいの有無を確認する。	圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。 また，耐圧部から漏えいがないこと。
機能	警報確認	液位「高高」側※1の信号により警報が発生することを確認する。	液位「高高」側※1の信号により警報が発生すること。

※1　タンクにより信号名称は異なる。

表－2　確認事項（ろ過器，建屋内 RO）

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法について記録を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器の据付位置，据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることを確認する。 耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいの有無を確認する。	圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。 また，耐圧部から漏えいがないこと。
性能	運転性能確認	定格容量を通水する。	定格容量を通水できること。 処理前後の差圧に異常がないこと。 建屋内 RO 処理後の導電率が 40mS/m 以下であること。

表－3　確認事項（SPT 廃液移送ポンプ，SPT 廃液昇圧ポンプ，ろ過処理水移送ポンプ，ろ過処理水昇圧ポンプ，CST 移送ポンプ）

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度・耐震性	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器の据付位置，据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	漏えい確認※1	運転圧力で耐圧部分からの漏えいの有無を確認する。	耐圧部から著しい漏えいがないこと。
性能	運転性能確認	ポンプの運転確認を行う。	実施計画に記載した容量を満足すること。 また，異音，発煙，異常振動等がないこと。※1

※1　SPT 廃液移送ポンプについては，SPT 内部の水中に設置されており，漏えい確認及び運転性能確認における異音，発煙，異常振動等の確認が困難であり，対象外とする。

表－4　確認事項（建屋内 RO 循環設備主配管（鋼管））

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した外径，厚さについて記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認※1	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	配管の据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることを確認する。 耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいの有無を確認する。	圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。 また，耐圧部から漏えいがないこと。

※1　現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する。

表－5　確認事項（建屋内 RO 循環設備主配管（耐圧ホース，ポリエチレン管））

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した外径，厚さについて記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認 ※1	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	配管の据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	現場状況を考慮し製造者指定方法・圧力による漏えい有無を確認する。※1	耐圧部から漏えいがないこと。

※1　現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する。

表－6　確認事項（漏えい検知器，警報装置）

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度	外観確認 ※1	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	装置の据付位置，据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
機能	漏えい警報確認	漏えい信号により，警報が作動することを確認する。	警報が作動すること。

※1　現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する。

表－7　確認事項（４号機タービン建屋内堰等）

確認事項	確認項目	確認内容	判定
漏えい防止	寸法確認	主要寸法の記録を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
漏えい防止	据付確認	堰その他の設備の据付位置，据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。

表－8　確認事項（SPT 受入水タンク接続管台）

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した外径，厚さについて記録を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器の据付位置，据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることを確認する。 耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいの有無を確認する。	圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。 また，耐圧部から漏えいがないこと。

表－9　確認事項（容器，管の溶接検査）（１／２）

確認事項	確認項目	対象設備	確認内容	判定
溶接検査	材料検査	①ろ過器 ②SPT 廃液移送ポンプから淡水化処理水受タンクまでの外径 61mm 以上の鋼管 ③建屋内 RO 出口からろ過処理水受タンク入口までの外径 61mm 以上の鋼管 ④SPT 受入水タンク接続管台	材料が溶接規格等に適合するものであり，溶接施工法の母材の区分に適合することを確認する。	材料が溶接規格等に適合するものであり，溶接施工法の母材の区分に適合するものであること。
	開先検査	①ろ過器 ②SPT 廃液移送ポンプから淡水化処理水受タンクまでの外径 61mm 以上の鋼管 ③建屋内 RO 出口からろ過処理水受タンク入口までの外径 61mm 以上の鋼管 ④SPT 受入水タンク接続管台	開先形状等が溶接規格等に適合するものであることを確認する。	開先形状等が溶接規格等に適合するものであること。
	溶接作業検査	①ろ過器 ②SPT 廃液移送ポンプから淡水化処理水受タンクまでの外径 61mm 以上の鋼管 ③建屋内 RO 出口からろ過処理水受タンク入口までの外径 61mm 以上の鋼管 ④SPT 受入水タンク接続管台	あらかじめ確認された溶接施工法又は実績のある溶接施工法又は管理されたプロセスを有する溶接施工法であることを確認する。あらかじめ確認された溶接士により溶接が行われていることを確認する。	あらかじめ確認された溶接施工法および溶接士により溶接施工をしていること。

表－9　確認事項（容器，管の溶接検査）（２／２）

確認事項	確認項目	対象設備	確認内容	判定
溶接検査	非破壊試験	①ろ過器 ②SPT 廃液移送ポンプから淡水化処理水受タンクまでの外径 61mm 以上の鋼管 ③建屋内 RO 出口からろ過処理水受タンク入口までの外径 61mm 以上の鋼管 ④SPT 受入水タンク接続管台	溶接部について非破壊検査を行い，その試験方法及び結果が溶接規格等に適合するものであることを確認する。	溶接部について非破壊検査を行い，その試験方法及び結果が溶接規格等に適合するものであること。
	機械試験	①ろ過器	溶接部を代表する試験片にて機械試験を行い，当該試験片の機械的性質が溶接規格等に適合しているものであることを確認する。	溶接部を代表する試験片にて機械試験を行い，当該試験片の機械的性質が溶接規格等に適合しているものであること。
	耐圧・漏えい検査 外観検査	①ろ過器 ②SPT 廃液移送ポンプから淡水化処理水受タンクまでの外径 61mm 以上の鋼管 ③建屋内 RO 出口からろ過処理水受タンク入口までの外径 61mm 以上の鋼管 ④SPT 受入水タンク接続管台	検査圧力で保持した後，検査圧力に耐えていることを確認する。 耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいの有無を確認する。	検査圧力で保持した後，検査圧力に耐えていること。 耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいの有無及び外観上，傷・へこみ・変形等の異常がないこと。

表－10　確認事項（建屋内 RO 濃縮水受タンク，増設 RO 濃縮水受タンク）

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度・耐震性	材料確認※１	使用材料を記録により確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認※１	主要寸法（板厚，内径または外径，高さ）を記録により確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認	タンク本体の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	組立状態及び据付状態を確認する。	組立状態及び据付状態に異常がないこと。
		タンク基礎の不陸について確認する。	不陸がないこと。
	耐圧・漏えい確認※１	タンク運用水位以上に水を張り，耐圧部からの漏えいが無い事を確認する。	各部からの漏えいおよび水位の低下がないこと。
	地盤支持力確認	支持力試験にてタンク基礎の地盤支持力を確認する。※２	必要な支持力を有していること。
機能・性能	監視確認	水位計について，免震重要棟集中監視室にタンク水位が表示できることを確認する。	免震重要棟集中監視室にタンク水位が表示できること。
	寸法確認	堰内容量を確認する。	必要容量に相当する堰内容量があること。
	外観確認	基礎外周堰の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。

※１：増設 RO 濃縮水受タンクは用途変更して使用するため過去の記録を確認とする

※２：増設 RO 濃縮水受タンクを対象とする

表－11　確認事項（建屋内 RO 濃縮水移送ポンプ，増設 RO 濃縮水供給ポンプ）

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度・耐震性	外観確認	ポンプの外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	組立状態及び据付状態を確認する。	組立状態及び据付状態に異常がないこと。
		ポンプ基礎の不陸について確認する。	異常な不陸がないこと。
	漏えい確認	運転圧力で耐圧部分からの漏えいの有無を確認する。	耐圧部から著しい漏えいがないこと。
性能	運転性能確認	ポンプの運転確認を行う。	実施計画に記載した容量を満足すること。 また，異音，異臭，異常振動等がないこと。

表－12　確認事項（建屋内 RO 濃縮水移送ポンプから増設 RO 濃縮水受タンク間の既設鋼管部分）

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度・耐震性	材料確認 ※1	使用材料を記録により確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認 ※1	外径，厚さについて記録により確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認 ※1	配管の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	配管が図面のとおり据付ていることを立会いまたは記録により確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認 ※1	最高使用圧力の 1.5 倍で一定時間保持後，同圧力に耐えていること，また，耐圧部からの漏えいがないことを立会いまたは記録により確認する。	最高使用圧力の 1.5 倍に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。また，耐圧部から漏えいがないこと。
機能・性能	通水確認	通水ができることを立会いまたは記録により確認する。	通水ができること。

※1：当該鋼管は用途変更して使用するため過去の記録を確認とする

表－13　確認事項（追設する関連機器として設置するポリエチレン管）

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した材料について，製品検査成績書により確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法（外径相当）について，製品検査成績書により確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認	各部の外観について，立会いまたは記録により確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器が図面のとおり据付ていることを立会いまたは記録により確認する。	図面のとおり施工・据付ていること。
	耐圧・漏えい確認	最高使用圧力以上で一定時間保持後，同圧力に耐えていること，また，耐圧部からの漏えいがないことを立会いまたは記録により確認する。	最高使用圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。また，耐圧部から漏えいがないこと。
機能・性能	通水確認	通水ができることを立会いまたは記録により確認する。	通水ができること。

表－14　確認事項（建屋内 RO 濃縮水移送ポンプから増設 RO 濃縮水受タンク間の既設鋼管部分の溶接検査）

確認事項	確認項目	対象設備	確認内容	判定
溶接検査※1	材料検査	建屋内 RO 出口から 8.5m 盤 SPT 受入水移送ポンプ出口ライン合流	材料が溶接規格等に適合するものであり，溶接施工法の母材の区分に適合することを確認する。	材料が溶接規格等に適合するものであり，溶接施工法の母材の区分に適合するものであること。
	開先検査		開先形状等が溶接規格等に適合するものであることを確認する。	開先形状等が溶接規格等に適合するものであること。
	溶接作業検査		あらかじめ確認された溶接施工法又は実績のある溶接施工法又は管理されたプロセスを有する溶接施工法であることを確認する。あらかじめ確認された溶接士により溶接が行われていることを確認する。	あらかじめ確認された溶接施工法および溶接士により溶接施工をしていること。
	非破壊試験		溶接部について非破壊検査を行い，その試験方法及び結果が溶接規格等に適合するものであることを確認する。	溶接部について非破壊検査を行い，その試験方法及び結果が溶接規格等に適合するものであること。
	耐圧・漏えい検査		最高使用圧力の 1.5 倍で一定時間保持後，同圧力に耐えていること，また，耐圧部からの漏えいがないことを立会いまたは記録により確認する。	最高使用圧力の 1.5 倍で一定時間保持後，同圧力に耐えている事。耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいがないこと。
	外観検査		耐圧・漏えい検査後外観上，傷・へこみ・変形等の異常がないことを確認する。	外観上，傷・へこみ・変形等の異常がないこと。

※1：当該鋼管は用途変更して使用するため過去の記録を確認とする

表－15　確認事項（増設 RO 濃縮水受タンクの溶接検査）

確認事項	確認項目	対象設備	確認内容	判定
溶接検査※1	材料検査	①増設 RO 濃縮水受タンク	使用する材料が，溶接規格等に適合するものであり，溶接施工法の母材の区分に適合するものとする。	使用する材料が溶接規格等に適合するものであり，溶接施工法の母材の区分に適合するものであること。
	開先検査		開先形状等が溶接規格等に適合するものであることを確認する。	開先形状等が溶接規格等に適合するものであること。
	溶接作業検査		あらかじめ確認された溶接施工法又は実績のある溶接施工法又は管理されたプロセスを有する溶接施工法であることを確認する。あらかじめ確認された溶接士により溶接が行われていることを確認する。	あらかじめ確認された溶接施工法および溶接士により溶接施工をしていること。
	非破壊試験		溶接部について非破壊検査を行い，その試験方法及び結果が溶接規格等に適合するものであることを確認する。	溶接部について非破壊検査を行い，その試験方法及び結果が溶接規格等に適合するものであること。
	耐圧・漏えい検査		検査圧力で保持した後，検査圧力に耐えていることを確認する。 耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいの有無を確認する。	検査圧力で保持した後，検査圧力に耐えていること。 耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいがないこと。
	外観検査		耐圧・漏えい検査後外観上，傷・へこみ・変形等の異常がないことを確認する。	外観上，傷・へこみ・変形等の異常がないこと。

※1：当該機器は用途変更して使用するため過去の記録を確認とする

以上

別紙（５）

建屋内 RO 循環設備の関連設備における耐震性

汚染水処理設備等のうち建屋内 RO 循環設備の関連設備について，耐震性の評価を行う。なお，汚染水処理設備等のうち建屋内 RO 循環設備の関連設備とは，サプレッションプール水サージタンク(B)および建屋内 RO で生成される濃縮塩水の移送ルート上の設備のうち SPT 受入水タンクから RO 濃縮水供給ポンプまでの設備とし，具体的には以下に示す。

追設する関連機器の耐震性については「添付 13 別紙（3）建屋内 RO 循環設備および追設する関連機器の構造強度及び耐震性」に記載する。

建屋内 RO 循環設備の関連設備

・サプレッションプール水サージタンク(B)　（以下、SPT(B)）
・SPT 受入水移送ポンプ
・廃液 RO 供給ポンプ
・RO 濃縮水供給ポンプ
・SPT 受入水タンク
・廃液 RO 供給タンク（35m^3，40m^3，42m^3，110m^3）
・RO 濃縮水受タンク
・淡水化装置（逆浸透膜装置）（RO-3）
・主要配管（SPT 受入水タンクから RO 濃縮水供給ポンプまで）

1. 耐震性評価の基本方針

建屋内 RO 循環設備の関連設備における耐震性評価の基本方針は，添付資料-3「汚染水処理設備等に関する構造強度及び耐震性等の評価結果」のうち 1.1.2.「耐震性評価の基本方針」に示すとおり。

2. 耐震性評価

建屋内 RO 循環設備の関連設備における耐震性評価の確認結果を以下に示す。なお，SPT(B)は，工事計画認可申請書（57 資庁第 2974 号 昭和 57 年 4 月 20 日認可）において確認を実施している。

2.1 転倒評価

建屋内 RO 循環設備の関連設備のうち以下の設備について，添付資料-3「汚染水処理設備等に関する構造強度及び耐震性等の評価結果」に示すとおり転倒評価を行い，転倒しないことを確認した。

・SPT 受入水移送ポンプ

・廃液 RO 供給ポンプ
・RO 濃縮水供給ポンプ
・SPT 受入水タンク
・廃液 RO 供給タンク（35m³，40m³，42m³，110m³）
・RO 濃縮水受タンク
・淡水化装置（逆浸透膜装置）（RO-3）

2.2 角形タンクの応力評価

建屋内 RO 循環設備の関連設備のうち以下の角型タンクについては，汚染水処理設備等において設置している縦置円筒型タンクに比べてタンク容積に対する高さの比が小さく横長の形状であるため，地震によって角型タンクに生じる応力が少なく変形が生じにくい構造であることを確認した。

・SPT 受入水タンク
・廃液 RO 供給タンク（35m³，40m³，42m³，110m³）
・RO 濃縮水受タンク

2.3 各設備の設置場所における地盤支持力

各設備の設置場所における地盤については，表-1 に示すとおり地盤支持力の評価を行い，地震時において，各設備の鉛直荷重に対して十分な支持力を有していることを確認した。

地盤支持力の許容値は，「社団法人　日本道路協会　道路橋仕方書・同解説Ⅳ下部構造編」に準拠し，下記の算定式に基づく極限支持力から安全率 2 を除して算定する。

（極限支持力の算定式）

$$Q_u = A_u\left(\alpha kcN_cS_c + kqN_qS_q + \frac{1}{2}\gamma_1\beta B_eN_rS_r\right)$$

Q_u　：　極限支持力
A_e　：　有効載荷面積
α，β　：　基礎の形状係数
k　：　根入れ効果に対する割増し係数
c　：　地盤の粘着力
N_c，N_q，N_r：　荷重の傾斜を考慮した支持力係数
S_c，S_q，S_r：　支持力係数の寸法効果に関する補正係数
q　：　上載荷重（$q=\gamma_2 D_f$）
γ_1，γ_2：　支持地盤及び根入れ地盤の単位重量
D_f　：　基礎の有効根入れ深さ
B_e　：　荷重の偏心を考慮した基礎の有効載荷幅（$B_e=B-2e_B$）
B　：　基礎幅
e_B　：　荷重の偏心量

（各設備の鉛直荷重）

$W = m \times g$

W　：　鉛直荷重

m　：　機器等の質量

g　：　重力加速度

表－１　各設備の設置場所における地盤支持力の評価結果

評価対象機器※1	水平震度	鉛直荷重 [kN]	許容支持力 [kN]
淡水化装置（逆浸透膜装置）（RO-3）	0.3	648	1,885
SPT 受入水タンク※2	0.3	1,305	1,548
廃液 RO 供給タンク（40m³）※3	0.3	596	2,045

※１　同一エリアにて最も裕度の低い機器を記載

※２　同一エリアに設置している SPT 受入移送水ポンプは本評価結果に内包される

※３　同一エリアに設置している廃液 RO 供給タンク（35m³，42m³，110m³），廃液 RO 供給ポンプ，RO 濃縮水受タンク，RO 濃縮水供給ポンプは，本評価結果に内包される

2.4 主要配管の耐震性評価

建屋内 RO 循環設備の関連設備の主要配管のうち，ポリエチレン管については，可撓性により耐震性を確保している。

また，淡水化装置（逆浸透膜装置）内の配管・弁モジュールについては，添付資料-3「汚染水処理設備等に関する構造強度及び耐震性等の評価結果」に示すとおり転倒評価を行い，転倒しないことを確認した。

以上

参考資料（１）

建屋内 RO 循環設備および追設する関連機器の具体的な安全確保策

建屋内 RO 循環設備および追設する関連機器の漏えい発生防止対策，放射線遮へい対策，環境条件対策等について具体的な安全確保策を以下の通り定め，実施する。

1. 放射性物質の漏えい防止等に対する考慮

(1)漏えい発生防止

ａ．建屋内 RO 循環設備および追設する関連機器の移送配管は，耐食性を有するポリエチレン管及びライニングを施した鋼管等を使用する。ただし，建屋内 RO の逆浸透膜を連結する配管は，耐圧ホースとする。耐圧ホースの接続部は，サポート等により配管を固定することで，取合部が外れることがないようにする。

ｂ．タンク内に設置した水中ポンプとの取合配管は可撓性を有する耐圧ホースとする。

ｃ．建屋内 RO 循環設備で屋外敷設箇所のうち重機による作業や車両の通行がある箇所について，道路跨ぎ部の配管は地中に設置したトラフ内に敷設することで，車両の通過時に損傷しないようにする。地上部の配管はトラフ内に敷設することで，外部と接触しないようにする。

ｄ．CST 移送ポンプ出口分岐から RO 処理水供給ポンプ出口ライン合流までの移送配管は，漏えい堰等が設置されないフランジ構造の継ぎ手部についてシール材の充填を実施する。

(2)漏えい検知・漏えい拡大防止

ａ．漏えい検知のため，機器（建屋内 RO/タンク/ポンプ/弁ユニット等）を囲う堰内及びトラフ内に漏えい検知器を設置する。

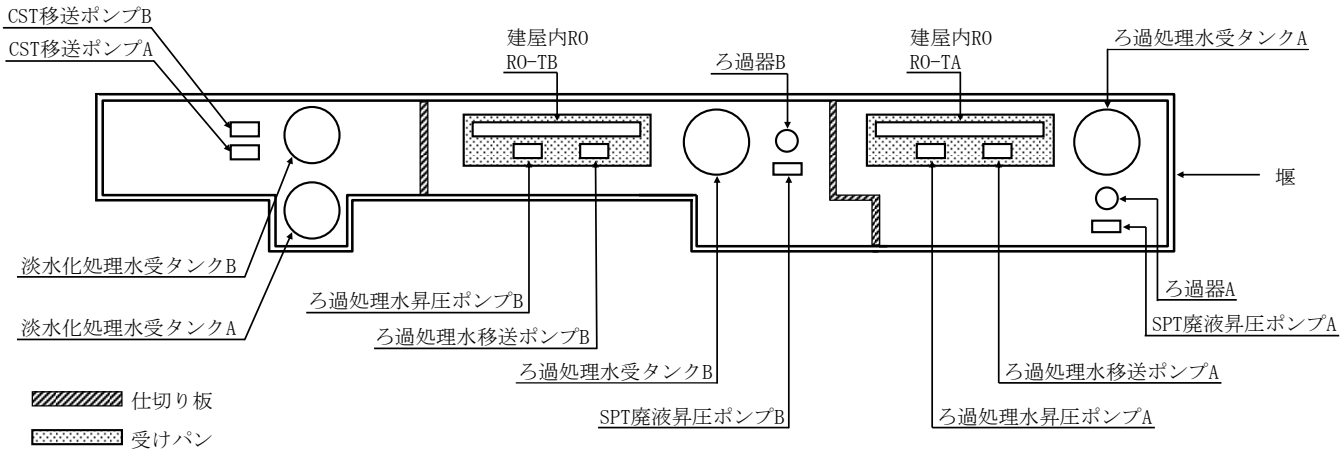
ｂ．漏えい拡大防止のため，SPT 廃液昇圧ポンプ，ろ過器，ろ過処理水受タンク，ろ過処理水移送ポンプ，ろ過処理水昇圧ポンプ，建屋内 RO，淡水化処理水受タンク，CST 移送ポンプ，建屋内 RO 濃縮水受タンク，建屋内 RO 濃縮水移送ポンプ，増設 RO 濃縮水受タンク，増設 RO 濃縮水供給ポンプ及び配管等の付帯設備を囲うように防水塗装を施した堰を設置する。

ｃ．漏えい検知による警報を免震重要棟に発報・表示し，運転員が速やかに必要な措置をとれるようにする。

ｄ．堰は，機器等に内包する処理水を受けられる容量を確保していることから，漏えいが発生した場合でも堰内に収まり，堰外へ漏えいすることはない（表－１，３）。
屋外に設置する増設 RO 濃縮水受タンクの基礎および堰についての説明はｅ項に記載する。

表－１　建屋内 RO 循環設備の漏えい拡大防止　堰仕様（設計値）

対象設備	縦幅(m)	横幅(m)	高さ(m)	容積(m^3)	保有水量(m^3)
ＳＰＴ廃液昇圧ポンプ ろ過器 ろ過処理水受タンク ろ過処理水移送ポンプ ろ過処理水昇圧ポンプ 建屋内 RO 淡水化処理水受タンク ＣＳＴ移送ポンプ及び配管等の付帯設備	約 3.8～ 約 6.6 m	約 48 m	約 0.4 m	約 95 m^3	約 85 m^3

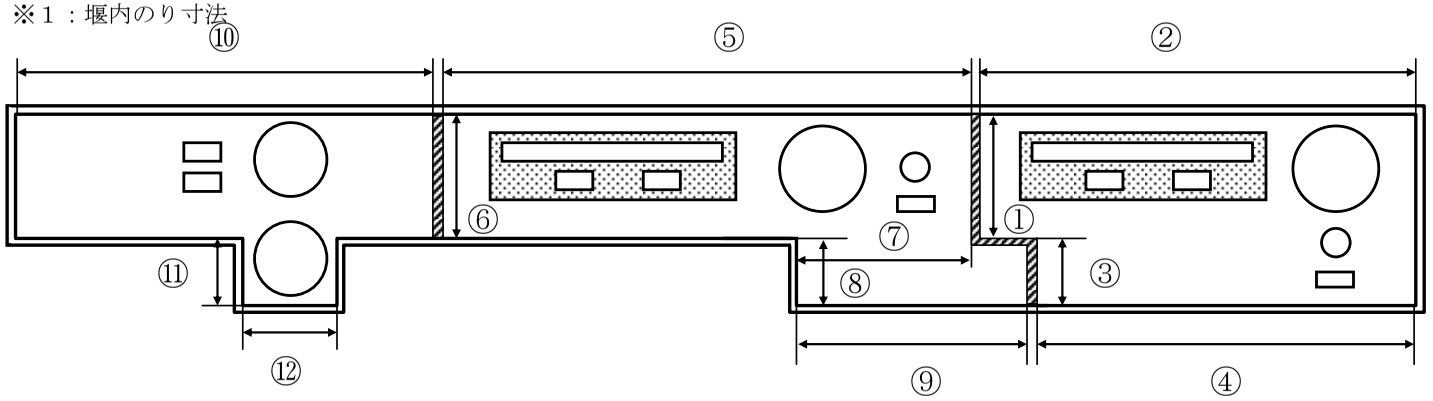


図－１　建屋内 RO 循環設備の漏えい拡大防止　堰配置図

表－２　建屋内 RO 循環設備の漏えい拡大防止評価

対象設備	保有水量 (m^3)	堰寸法※1 (m)		堰面積 (m^2)	必要な堰の高さ (m)	漏えい拡大防止堰の高さ (m)	評価
	a	b		c	d＝a／c	e	
ＳＰＴ廃液昇圧ポンプ ろ過器 ろ過処理水受タンク ろ過処理水移送ポンプ ろ過処理水昇圧ポンプ 建屋内 RO 淡水化処理水受タンク ＣＳＴ移送ポンプ及び配管等の付帯設備	約 85	①	約 3.8	約 240	0.36 以上	約 0.40	漏えい拡大防止堰の高さは，保有水量を貯留するために必要な堰の高さを満足しており，漏えいを防止できる。
		②	約 13.9				
		③	約 2.6				
		④	約 12.4				
		⑤	約 17.7				
		⑥	約 3.8				
		⑦	約 4.2				
		⑧	約 2.6				
		⑨	約 5.7				
		⑩	約 16.3				
		⑪	約 2.8				
		⑫	約 4.0				

注記　※１：堰内のり寸法

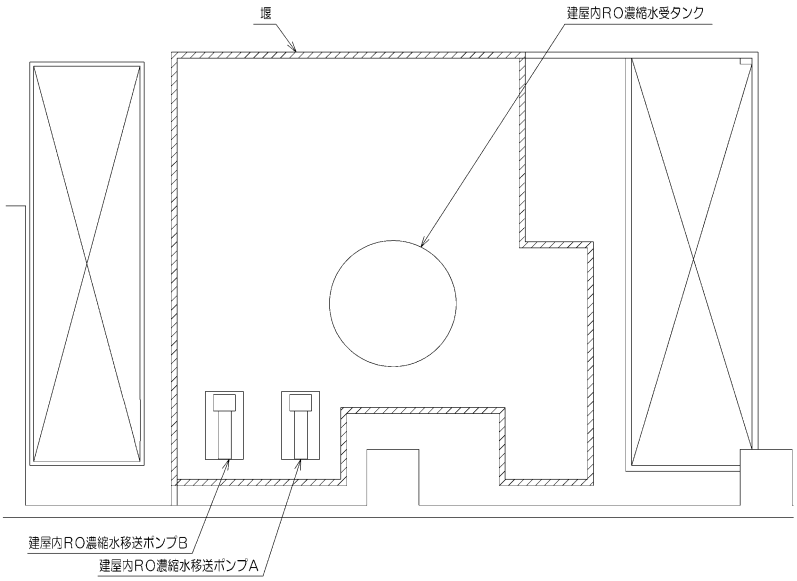


表－３　建屋内 RO 濃縮水受タンク堰高さ及び堰内容量

対象設備	想定漏えい量		基礎外周堰の堰内容量 (m^3)	（計画値）	
	運用水量 (m^3)	使用不可水量 (m^3)		基礎外周堰の堰内面積 (m^2)	基礎外周堰の高さ (m)
建屋内 RO 濃縮水受タンク	①	②	③※1	④	⑤※2
	30	0	30.1	68.3	0.44 以上

※１　③ = ④ × ⑤

※２　⑤ = (①＋②) ／④



図－２　建屋内 RO 濃縮水受タンクの漏えい拡大防止　堰配置図

ｅ．増設 RO 濃縮水受タンクの基礎及び堰に関する説明書

(a) タンク基礎の支持力

ｉ．評価方法

タンクの鉛直荷重と極限支持力を比較して評価を行う。支持力の算定式は「社団法人日本道路協会（2002）：道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編」に基づき次式を用いる。

計算した結果，①タンクの鉛直荷重＜②タンク基礎底面地盤の極限支持力であり，安全性を有していることを確認する。

①タンクの鉛直荷重：$W = m \times g$

②タンク基礎底面地盤の極限支持力：$Q_u = A_e\left(\alpha kcN_cS_c + kqN_qS_q + \frac{1}{2}\gamma_1\beta B_eN_rS_r\right)$

m	：機器質量
g	：重力加速度
A_e	：有効載荷面積
α，β	：基礎の形状係数
k	：根入れ効果に対する割増し係数
c	：地盤の粘着力
N_c，N_q，N_r	：荷重の傾斜を考慮した支持力係数
S_c，S_q，S_r	：支持力係数の寸法効果に関する補正係数
q	：上載荷重（$q=\gamma_2 D_f$）
γ_1，γ_2	：支持地盤及び根入れ地盤の単位重量（γ_1，γ_2＝15.9kN/m^2）
D_f	：基礎の有効根入れ深さ
B_e	：荷重の偏心を考慮した基礎の有効載荷幅（$B_e=B-2e_B$）
B	：基礎幅
e_B	：荷重の偏心量

ⅱ．管理

地盤改良後，簡易支持力測定器（キャスポル）※により地盤の強度を測定し，上記式により必要な極限支持力を有していることを確認する。

※ランマー（重錘）を一定の高さから地盤に自由落下させたときに生ずる衝撃加速度の最大値と地盤強度特性値と相関させる衝撃加速度法を基本原理とした簡易な測定器。

(b)タンク基礎の不陸

ⅰ．評価方法

タンクの設置高さが，設計高さに対して許容値以内※であることを確認する。

※ 設計高さ±30㎜（社内基準値）

ⅱ．管理

タンク基礎高さ（レベル）を測量し，当該高さが設計高さに対して±30㎜以内であることを確認する。

(c)増設 RO 濃縮水受タンクの堰内容量

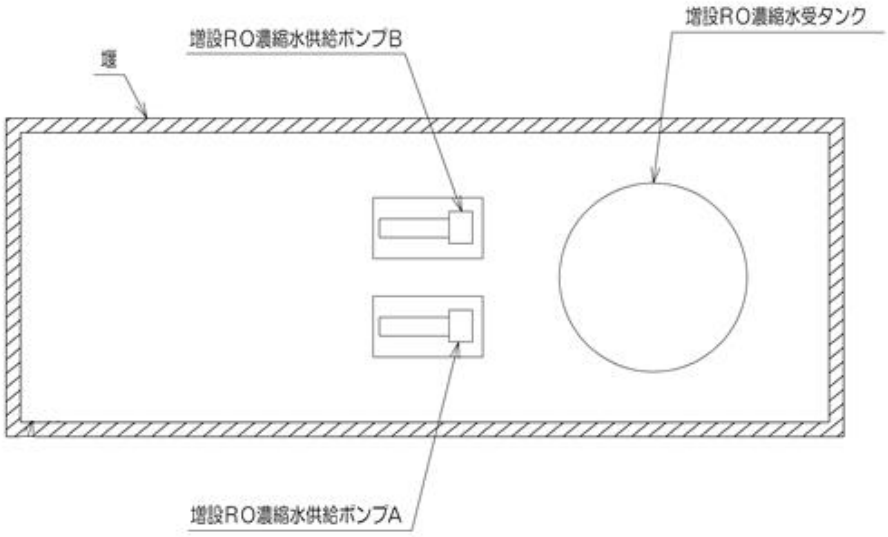
増設 RO 濃縮水受タンクから漏えいが生じた際に，漏えい水の拡大を抑制するための増設 RO 濃縮水受タンクの堰内容量は，機器等に内包する処理水を受けられる容量に，大雨時の作業等を考慮した余裕高さ（堰高さで 20 ㎝）分の容量との合計とする。増設 RO 濃縮水受タンクの堰高さ及び堰内容量を表－４に示す。

表－４　増設 RO 濃縮水受タンク堰高さ及び堰内容量

対象設備	想定漏えい量		基礎外周堰の堰内容量 (m^3)	（計画値）	
	運用水量 (m^3)	使用不可水量 (m^3)		基礎外周堰の堰内面積 (m^2)	基礎外周堰の高さ (m)
増設 RO 濃縮水受タンク	①	②	③※1	④	⑤※2
	30	0	43.7	65.2	0.67 以上

※１　③ = ④ × ⑤

※２　⑤ = (①＋②) ／④＋0.2（余裕分 20cm）



図－３　増設 RO 濃縮水受タンクの漏えい拡大防止　堰配置図

(3)放射線遮へいに対する考慮

建屋内 RO 循環設備および追設する関連機器の機器表面線量は，1mSv/h 以下となるよう適切な遮へいを設ける。

(4)水素対策

当該設備は，放射性物質の吸着処理を行うものではなく，長期的な保管も想定される使用済みの RO 膜等はベント孔を設けた保管容器に収容するため，内部に可燃性ガスが滞留することはない。なお，通水時に発生する水素は，系統水とともに排出される。

(5)崩壊熱除去

当該設備は，放射性物質の吸着処理を行うものではないため，保管後の RO 膜等の健全性に影響を与えるものではない。

(6) 敷地境界における実効線量

a．建屋内 RO 循環設備が敷地境界における実効線量に対して与える影響は，最も近い敷地境界評価地点 No.7 において約 0.0001mSv/年未満※であり，線量評価上有意な値ではない。

※ろ過器及び RO 装置の表面線量を運用上の最大値（1mSv/h）とし，本設備に最も近い評価済みの放射性廃棄物一時保管エリア N と表面線量率，表面積，距離，コンクリート遮蔽有無を比較することにより，敷地境界で最大となる評価点への影響を確認した結果。

b．追設する関連機器のうち屋外に設置する増設 RO 濃縮水受タンクが敷地境界における実効線量に対して与える影響は，最も近い敷地境界評価地点 No.14 において 1.01×10^{-4}mSv/年である。

2. 環境条件対策

(1)腐食

耐腐食性を有するステンレス，ライニング炭素鋼，ポリエチレン管等を使用する。

(2)熱による劣化

系統水の温度は，常温であるため熱による劣化の懸念はない（最高使用温度 40℃）。

(3)凍結

水を内包する配管等は，電気ヒータまたは保温材を設置する。

(4)生物汚染

建屋内 RO 循環設備および追設する関連機器は，滞留水を直接移送するものではなく，処理装置等を経由した SPT の貯留水を移送していることから，有意な微生物腐食等は発生しないと考えられる。

(5)耐放射線性

放射性影響が考えられるポリエチレン管について，内包する流体の照射線量率が十分低いため，放射線照射の影響は軽微と考えられる。

(6)紫外線

屋外敷設箇所のポリエチレン管は，トラフ内に設置または耐紫外線性を有する保温材等で覆う処置を講ずることで，紫外線による劣化を防止する。

(7)長期停止中の措置

当該設備を長期停止する場合は，必要に応じてフラッシングするとともに，内部の水抜きを実施し，腐食及び凍結を防止する。

以上

参考資料（２）

建屋内 RO 循環設備に係る放射性固体廃棄物発生量に関する評価

建屋内 RO 循環設備は，ろ過器，逆浸透膜装置を有していることから，放射性固体廃棄物が発生する。そのため，建屋内 RO 循環設備の運用に伴い発生する放射性固体廃棄物発生量について，以下の計算条件にて評価を行った。

１．計算条件

・建屋内 RO は，定格処理量（800m^3/日）とする。
・SPT 貯留水の放射能濃度は，平成 25 年 11 月時点の測定値とする。
・廃棄物保管容器の表面線量率は，10mSv/h 未満にする。

２．評価結果

（１）ろ過フィルタ

ろ過フィルタは，フィルタ差圧又は放射性物質の蓄積に伴う放射線量に応じて取替を実施する。いずれも処理済水の水質によるものの，廃棄物保管容器の表面線量率及びろ過フィルタの交換に伴う作業員の被ばく線量を十分抑制できる交換頻度は，約１年程度であることから，年間の廃棄物発生量は約 2m^3 の保管容器１個程度となる。

（２）RO 膜

RO 膜は，RO 膜差圧，放射性物質の蓄積に伴う放射線量又は装置下流の導電率に応じて取替を実施する。いずれも処理済水の水質によるものの，廃棄物保管容器の表面線量率及び RO 膜の交換に伴う作業員の被ばく線量を十分抑制できる交換頻度は，約半年程度であることから，年間の廃棄物発生量は約 2m^3 の保管容器４個程度となる。

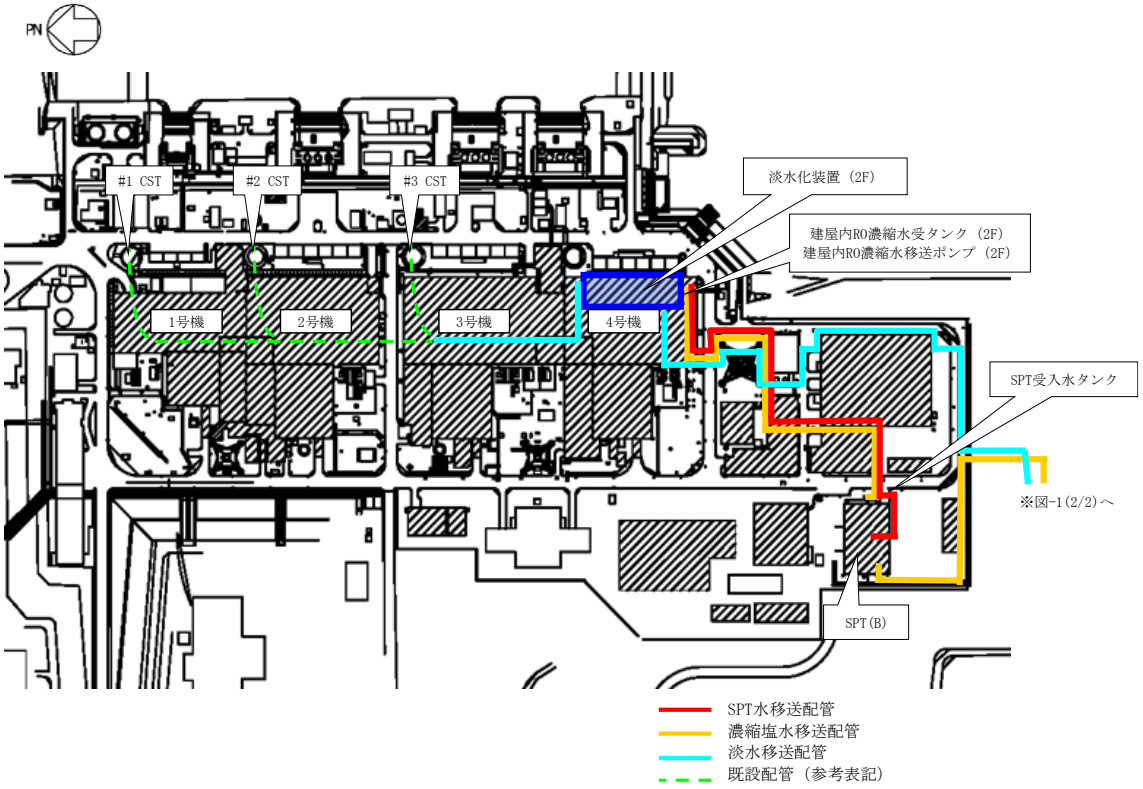
３．保管計画

建屋内 RO 循環設備で発生する固体廃棄物については，容器に収納した上で発電所内の屋外一時保管エリアにて保管する。

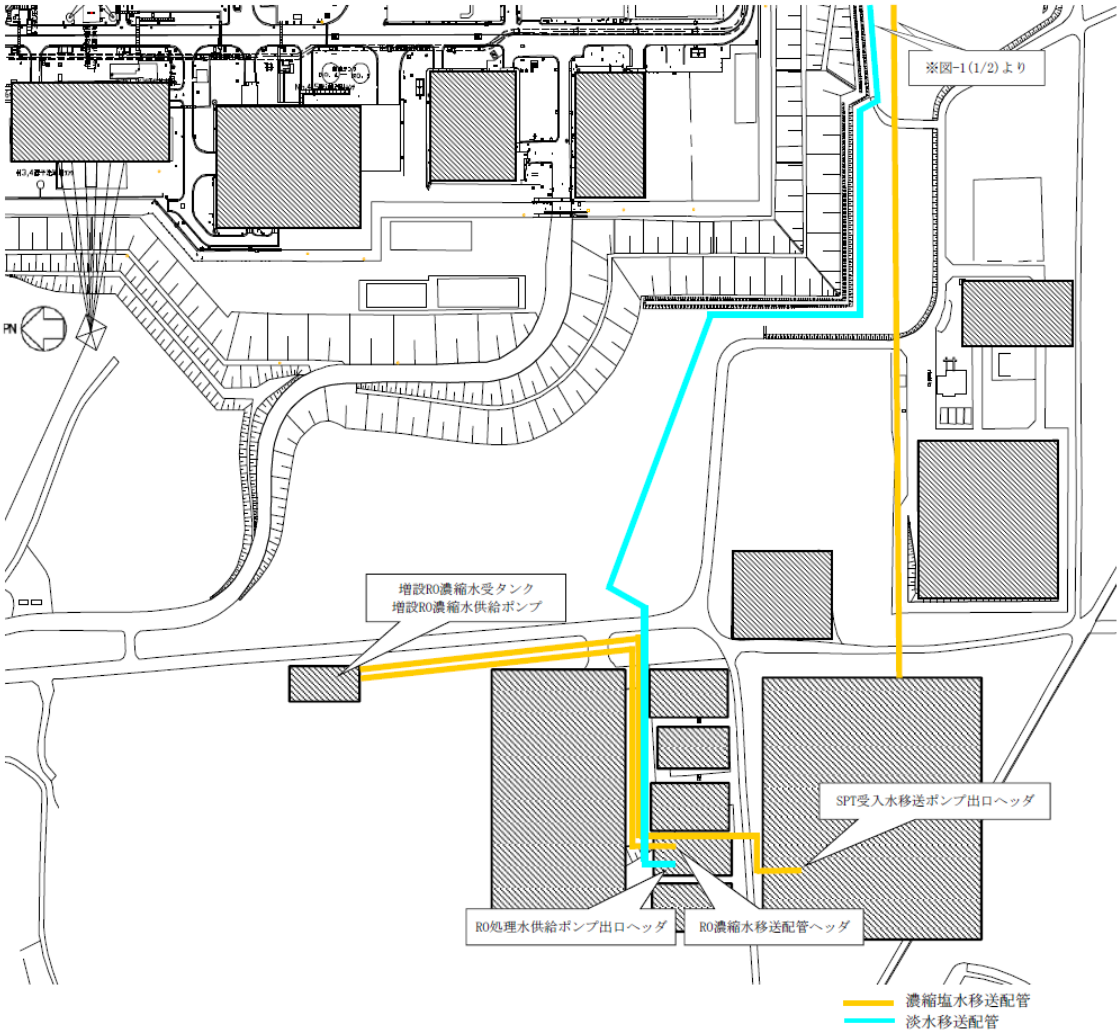
以上

建屋内 RO 循環設備および追設する関連機器の配置

建屋内 RO 循環設備および追設する関連機器の配置を図－１に示す。



図－１　建屋内 RO 循環設備および追設する関連機器の配置概略図（１／２）



図－１　建屋内 RO 循環設備および追設する関連機器の配置概略図（２／２）

建屋内 RO 循環設備および追設する関連機器のスロッシング評価

建屋内 RO 循環設備および追設する関連機器のうちタンクについて，地震発生時のタンク内包水のスロッシング評価を実施した。速度ポテンシャル理論に基づきスロッシング波高の評価を行った結果，スロッシング時のタンク内の液位がタンク天板に到達しないことを確認した。

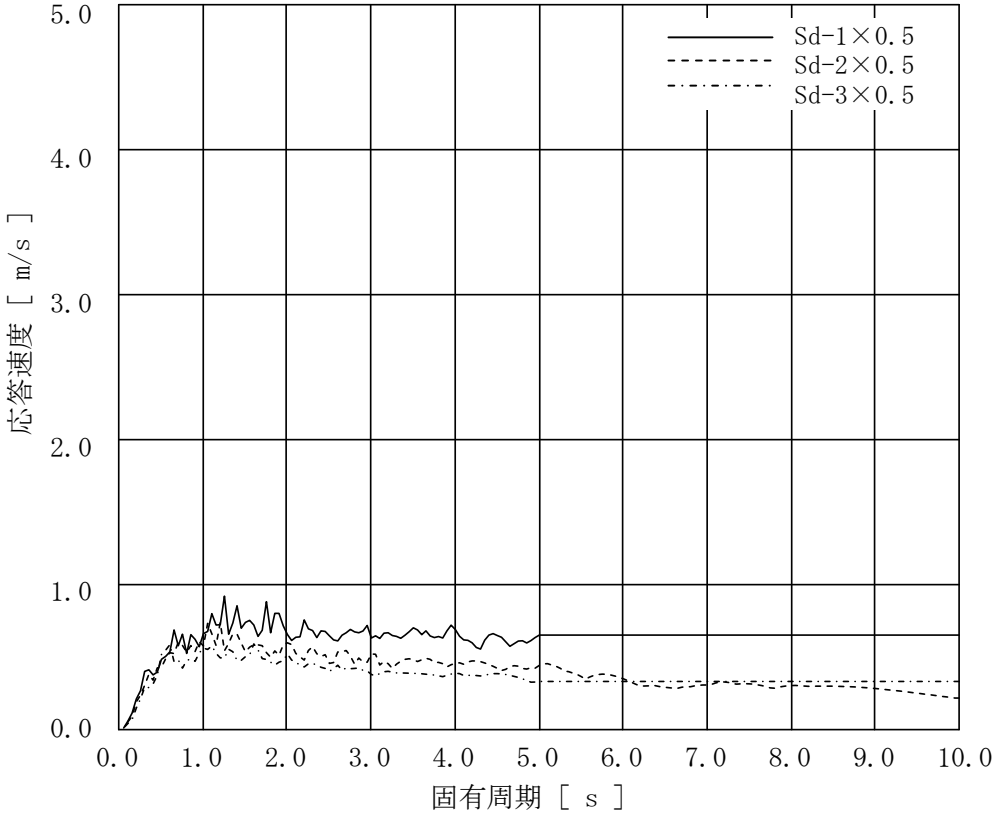
スロッシング評価の流れは下記の通り。

- 速度ポテンシャル理論に基づき，スロッシング固有周期（水面の一次固有周期）を算出する。
- タンク設置エリアの４号機タービン建屋２階における弾性設計用地震動:Sd-1,2,3 に対する速度応答スペクトルから，スロッシング固有周期に応じた速度応答値を求める。増設 RO 濃縮水受タンクは T.P.33.5m 盤における基準地震動：Ss-1,2,3 に対する速度応答スペクトル（参考資料（５）に記載）から，スロッシング固有周期に応じた速度応答値を求める。
- 速度ポテンシャル理論に基づき，速度応答値からスロッシング波高を算出する。
- 運用上の上限液位に対してスロッシング波高を考慮してもタンク高さを超えないことを確認する。

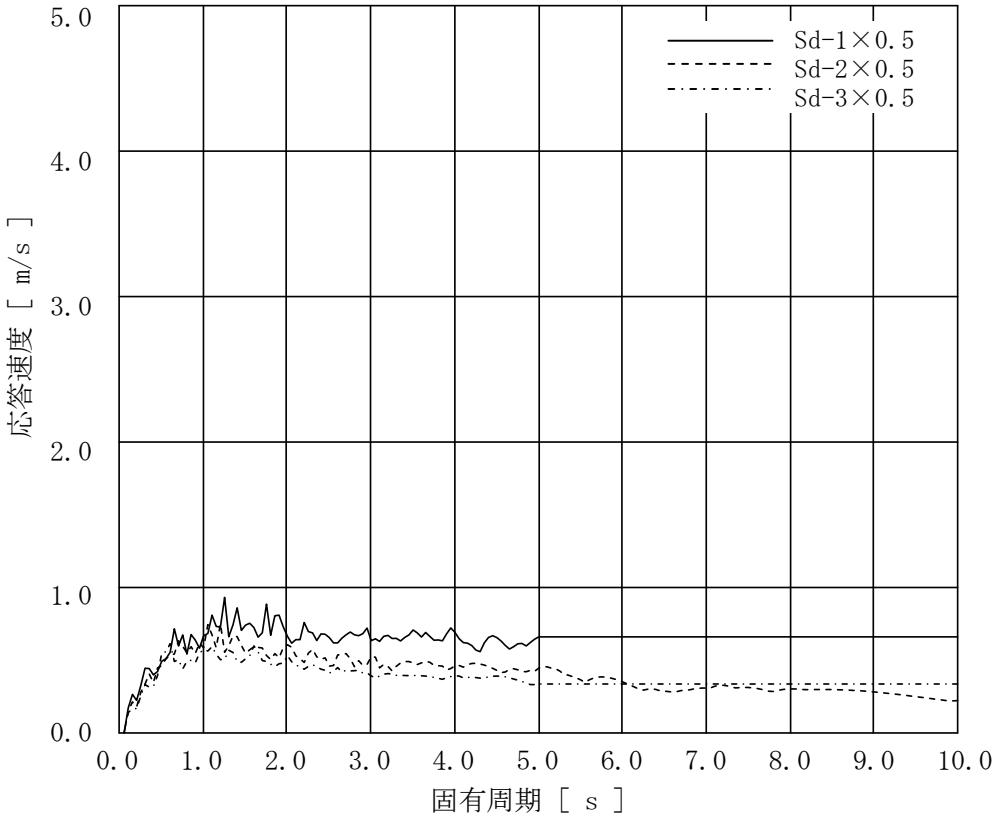
$$T_s = 2\pi\sqrt{\frac{D}{3.68g}\coth\left(\frac{3.68H}{D}\right)}$$

$$\eta = 0.837\left(\frac{D}{2g}\right)\left(\frac{2\pi}{T_s}\right)S_v$$

D ： タンク内径 [m]
H ： タンク液位 [m]
g ： 重力加速度 [m/s²]
T_s ： スロッシング固有周期 [s]
S_v ： 速度応答値 [m/s]
η ： スロッシング波高 [m]



図－１　速度応答スペクトル（NS 方向・減衰 0.5%）



図－２　速度応答スペクトル（EW 方向・減衰 0.5%）

表－１　建屋内 RO 循環設備および追設する関連機器のうちタンクのスロッシング評価結果

機器名称		スロッシング波高［mm］	スロッシング時液位［mm］	タンク高さ［mm］
ろ過処理水受タンク	10m³容量	354	3,045	3,500
淡水化処理水受タンク	10m³容量	361	3,485	3,800
建屋内 RO 濃縮水受タンク	30m³容量	386	5,216	5,250
増設 RO 濃縮水受タンク	30m³容量	533	4,933	4,982

以上

建屋内 RO 循環設備の関連設備におけるスロッシング評価

建屋内 RO 循環設備の関連設備のうちタンクについて，地震発生時のタンク内包水のスロッシング評価を実施した。速度ポテンシャル理論に基づきスロッシング波高の評価を行った結果，スロッシング時のタンク内の液位がタンク天板に到達しないことを確認した。
スロッシング評価の流れは下記の通り。

なお，追設する関連機器のスロッシング評価については「添付 13 参考資料（4）建屋内 RO 循環設備および追設する関連機器のスロッシング評価」に記載する。

- 速度ポテンシャル理論に基づき，スロッシング固有周期（水面の一次固有周期）を算出する。
- タンク設置エリアの T.P.8.5m 盤，T.P.33.5m 盤およびＳＰＴ建屋における基準地震動：Ss-1,2,3 に対する速度応答スペクトルから，スロッシング固有周期に応じた速度応答値を求める。
- 速度ポテンシャル理論に基づき，速度応答値からスロッシング波高を算出する。
- 運用上の上限液位に対してスロッシング波高を考慮してもタンク高さを超えないことを確認する。

（円型タンク）

$$T_s = 2\pi\sqrt{\frac{D}{3.68g}\coth\left(\frac{3.68H}{D}\right)}$$

$$\eta = 0.837\left(\frac{D}{2g}\right)\left(\frac{2\pi}{T_s}\right)S_v$$

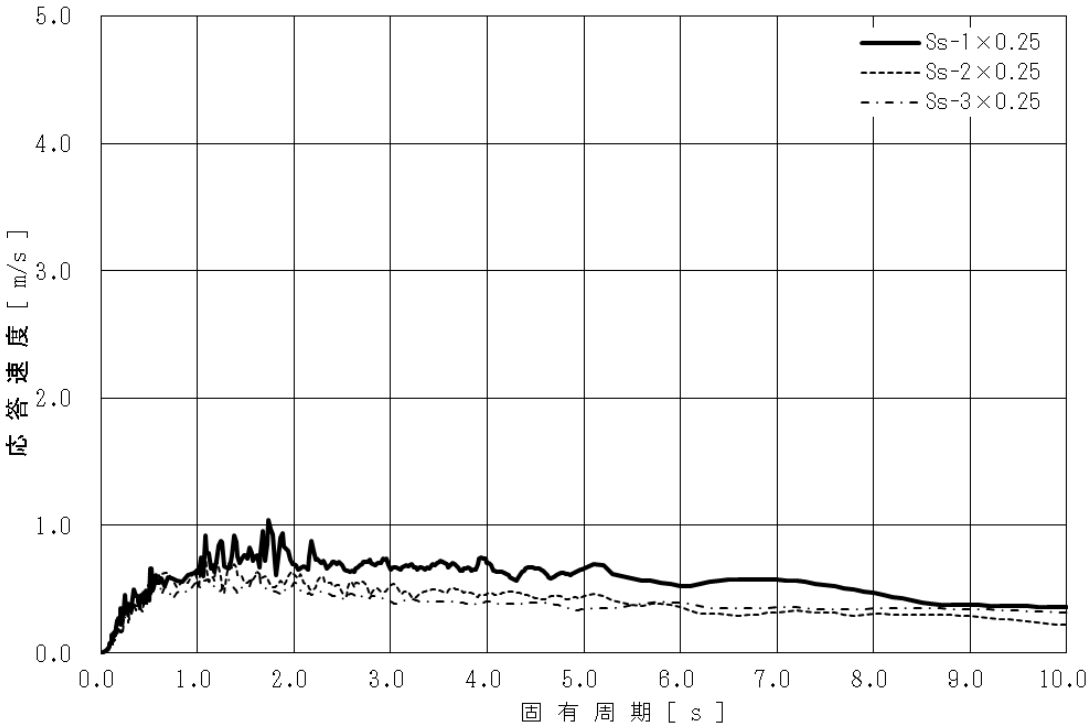
D ： タンク内径 [m]
H ： タンク液位 [m]
g ： 重力加速度 [m/s²]
T_s ： スロッシング固有周期 [s]
S_v ： 速度応答値 [m/s]
η ： スロッシング波高 [m]

（角型タンク）

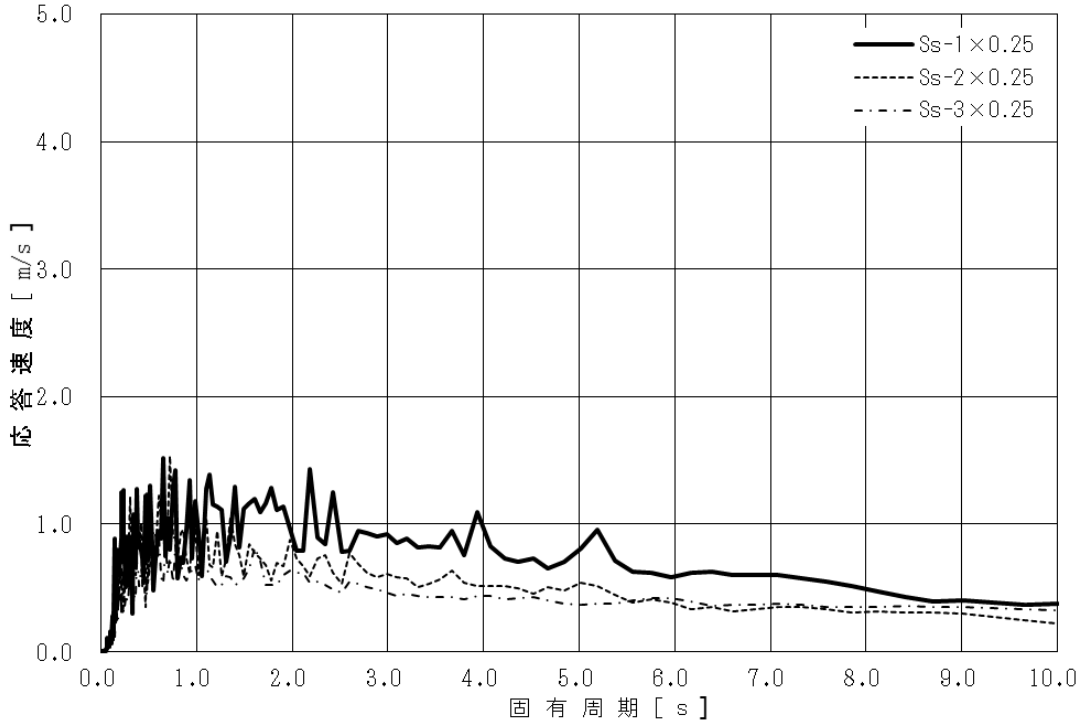
$$T_s = 2\pi\sqrt{\frac{L}{3.14g}\coth\left(\frac{3.14H}{L}\right)}$$

$$\eta = 0.811\left(\frac{L}{2g}\right)\left(\frac{2\pi}{T_s}\right)S_v$$

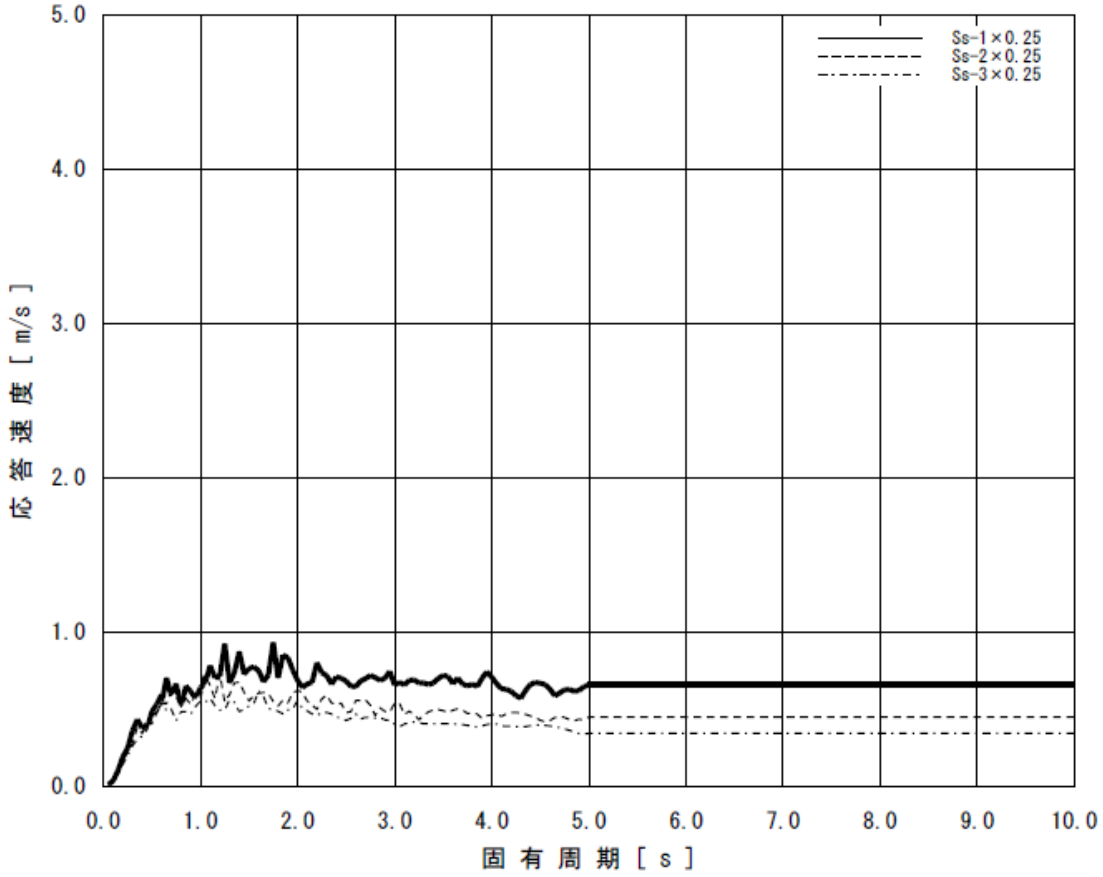
L ： タンク幅［m］
H ： タンク液位［m］
g ： 重力加速度［m/s²］
T_s ： スロッシング固有周期［s］
S_v ： 速度応答値［m/s］
η ： スロッシング波高［m］



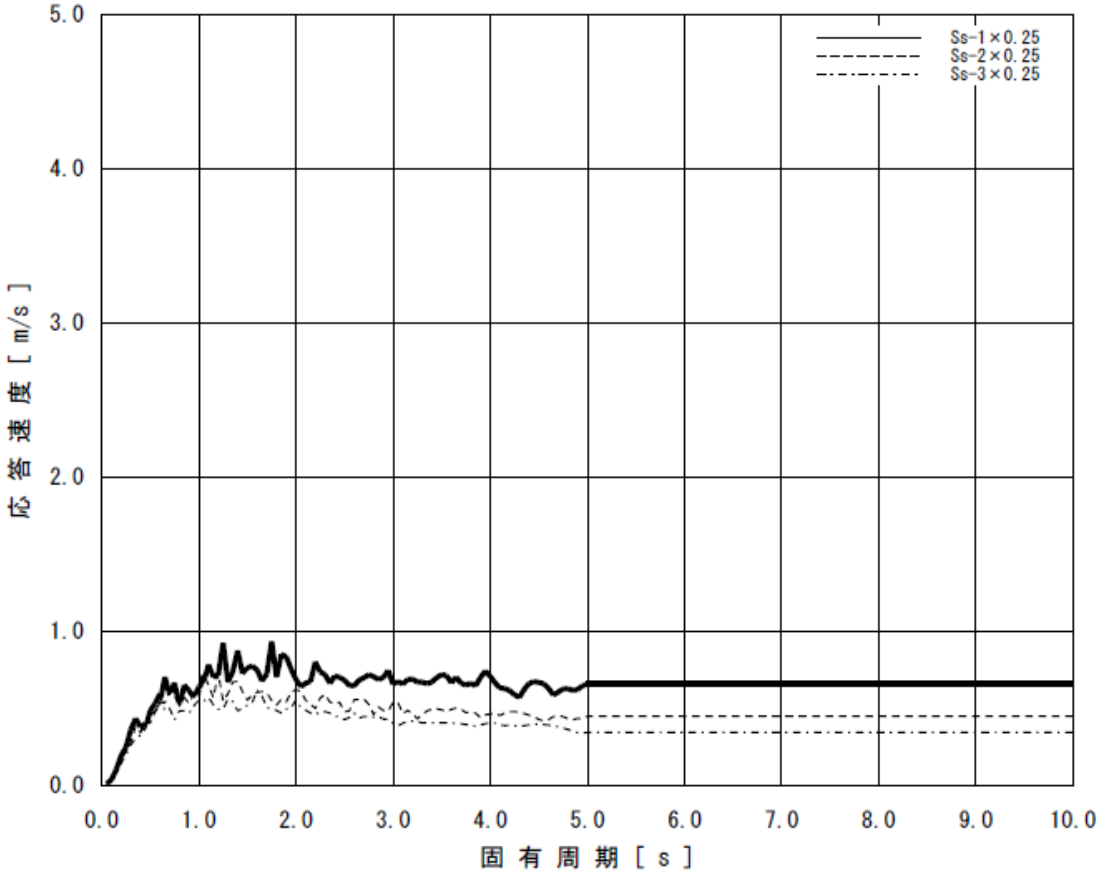
図－１　T.P.8.5m 盤　速度応答スペクトル（水平方向・減衰 0.5%）



図－２　T.P.33.5m 盤　速度応答スペクトル（水平方向・減衰なし）



図－３　ＳＰＴ建屋　速度応答スペクトル（NS 方向・減衰 0.5%）



図－４　ＳＰＴ建屋　速度応答スペクトル（EW 方向・減衰 0.5%）

表－１　建屋内 RO 循環設備の関連設備におけるタンクのスロッシング評価結果

機器名称			スロッシング波高［mm］	スロッシング時液位［mm］	タンク高さ［mm］
ＳＰＴ（Ｂ）	SPT 建屋	円型	742	10,095	11,000
ＳＰＴ受入水タンク	T.P.8.5m 盤	角型	344	2,495	2,560
ＲＯ濃縮水受タンク	T.P.33.5m 盤	角型	384	2,535	2,560
廃液ＲＯ供給タンク（35m^3）	T.P.33.5m 盤	角型	405	1,957	2,244
廃液ＲＯ供給タンク（42m^3）	T.P.33.5m 盤	角型	443	1,995	2,244
廃液ＲＯ供給タンク（40m^3）	T.P.33.5m 盤	角型	374	1,926	2,351
廃液ＲＯ供給タンク（110m^3）	T.P.33.5m 盤	角型	314	1,866	2,560

以上

滞留水移送装置の設計・確認の方針について

1.設計方針

1.1 設置の目的

滞留水移送装置は，2.5.1.5.1 に示す汚染水処理設備等の設備構成のうち，移送ポンプ及びこれに付帯する設備を原子炉建屋，タービン建屋，廃棄物処理建屋に新たに設置することにより，建屋水位の制御性及び信頼性を向上させることで，滞留水の建屋外への流出を防止することを目的に設置する。

1.2 要求される機能

(1)原子炉建屋，タービン建屋，廃棄物処理建屋の滞留水を，プロセス主建屋等へ移送できること。また，上記建屋の水位を制御できること。

(2)原子炉建屋，タービン建屋，廃棄物処理建屋の水位を適切に監視できること。

1.3 設計方針

(1)設備容量

原子炉の注水，雨水及び地下水の浸入等により各建屋に発生する滞留水に対して，十分対処可能な設備容量とする。

(2)長期停止に対する考慮

滞留水移送装置のうちポンプ，配管，制御用水位計は，故障により設備が長期間停止することがないように，建屋ごとに２系列設置する。また，電源は，異なる２系統の所内高圧母線から受電可能な設計とする。

(3)規格・規準

滞留水移送装置にて設置するポンプ，配管は，設計，材料の選定，製作及び検査について，発電用原子力設備規格設計・建設規格(JSME)，日本産業規格等※1を適用することにより信頼性を確保する。

※１ 「JIS Z 3801 手溶接技術検定における試験方法及び判定基準」，「JIS Z 3841 半自動溶接技術検定における試験方法及び判定基準」，「JIS Z 3040 溶接施工方法の確認試験方法」，「JWWA K 144 水道配水用ポリエチレン管」，「JIS G 3456 高温配管用炭素鋼鋼管」，「JIS G 3454　圧力配管用炭素鋼鋼管」，「JIS A 8604 工事用水中ポンプ」

(4)放射性物質の漏えい防止

滞留水移送装置は，液体状の放射性物質の漏えいを防止するため，次の各項を考慮した設計とする。

a. 漏えいの発生を防止するため，滞留水移送装置には設置環境や内部流体の性状等の状況に応じた適切な材料を使用する。また，ポリエチレン管とポリエチレン管の接続部は，融着構造とすること基本とする。
b. 液体状の放射性物質が漏えいした場合に備え，屋外の移送配管はトラフ内に設置するか二重管構造とし，屋内の移送配管のうち鋼管の接続部の周囲には堰等を設置することで漏えいの拡大を防止する。また，トラフ及び堰等の内部に漏えい検知器を設置し，漏えいの早期検出が可能な設計とする。
c. 漏えい検知の警報は，免震重要棟に表示し，異常を確実に運転員に伝え，警報発生時にはポンプ停止措置がとれるようにする。なお，現場確認の上，誤報と確認された場合は運転を再開する。
d. ポンプ立ち上がり部（ポンプ吐出からポリエチレン管接続部）以外で耐圧ホースを使用する場合には，二重管構造として漏えいの拡大防止を図る。

(5)放射線遮へいに対する考慮

滞留水移送装置は，放射線業務従事者が接近する必要がある箇所の空間線量率が数mSv/h以下となるよう，鋼材または鉛カーテン等により放射線を適切に遮へいする設計とする。

(6)誤操作の防止に対する考慮

滞留水移送装置は，運転員の誤操作，誤判断を防止するために，ポンプの手動操作等の重要な操作については，ダブルアクションを要する等の設計とする。

(7)移送ポンプ誤動作に対する考慮

滞留水移送装置は，故障により誤動作を引き起こさない構成としているが，仮に移送ポンプの誤動作が発生した場合でも，次の各項を考慮することで早期検知が可能な設計とする。

ａ．ポンプ起動水位になってもポンプが起動せず，更に水位が上昇した場合，警報が発報することで，検知可能な設計とする。
ｂ．ポンプ停止水位になってもポンプが停止せず，更に水位が低下した場合，警報が発報することで，検知可能な設計とする。

(8)検査可能性に対する設計上の考慮

滞留水移送装置は，適切な方法で検査ができるよう，漏えい検査・通水検査等の検査が可能な設計とする。

(9)設備保全に対する考慮

滞留水移送装置は，機器の重要度に応じた適切な保全が実施可能な設計とする。

(10)監視・操作に対する考慮

滞留水移送装置は，免震重要棟において計器の監視，警報発報及び遠隔操作が可能な設計とする。

(11)凍結に対する考慮

滞留水を移送している過程では,配管に水が流れているため凍結の恐れはない。滞留水の移送を停止した場合，屋外に敷設されているポリエチレン管等は，凍結による破損が懸念されるため，保温材等を取り付けて凍結防止を図る。なお，保温材は，高い気密性と断熱性を有する硬質ポリウレタン等を使用し，凍結しない十分な厚さを確保する。

保温材厚さの設定の際には，JIS A 9501 に基づき，震災以降に凍結事象が発生した外気温-8℃，内部流体の初期温度 5℃,配管口径 75A 相当に対して保温材厚さ 13㎜の条件において，内部流体が 25%※凍結するまでに十分な時間（12 時間程度）があることを確認した。なお，震災以降の実測データから，外気温-8℃が半日程度継続することはない。

※「JIS A 9501 保温保冷工事施工標準」において管内水の凍結割合を 25%以下と推奨

(12)紫外線に対する考慮

屋外に敷設されているポリエチレン管は，紫外線による劣化を防止するため，紫外線防止効果のあるカーボンブラックを添加した保温材又は被覆材を取り付ける。

(13)腐食に対する考慮

耐圧ホースの材料であるポリ塩化ビニル及び EPDM 合成ゴム，及びポリエチレン管については耐腐食性に優れていることを確認している。炭素鋼については，長期に渡る健全性維持のため，ポリエチレンによる内面ライニングを施した配管を使用する。

(14) 生物汚染

滞留水移送装置の移送ポンプの取水口には，メッシュを設けており，大きな藻等がポンプ内に浸入して機器を損傷させるようなことはない。

また，滞留水を移送している上では有意な微生物腐食等は発生しないと考えられる。ただし，異常な速度で腐食が進み漏えいが生じた場合において，微生物腐食が原因であると判明すれば，生物汚染を考慮した対策を講じる

(15)耐放射線性

滞留水移送装置に使用する耐圧ホースの材質はポリ塩化ビニル及びEPDM合成ゴムである。ポリ塩化ビニルの放射線照射による影響は,10^5～10^6Gy の集積線量において，破断時の伸びの減少等が確認されている。過去の測定において，２号機タービン建屋の滞留水表面上の線量当量率が 1Sv/h であったことから，耐圧ホースの照射線量率を1Gy/h と仮定すると，集積線量が 10^5Gy に到達する時間は 10^5 時間(11.4 年)と評価される。EPDM 合成ゴムの放射線照射による影響は，10^5Gy まで照射されても有意な材料特性の変化は確認されていない。耐圧ホースの照射線量率を 1Gy/h と仮定すると，集積線量が 10^5Gy に到達する時間は 10^5 時間(11.4 年)と評価される。このため，耐圧ホースは数年程度の使用では放射線照射の影響により大きく劣化することはないと考えられる。

ポリエチレンは，集積線量が 2×10^5Gy に達すると，引張強度は低下しないが，破断時の伸びが減少する傾向を示す。ポリエチレン管の照射線量率を 1Gy/h と仮定すると，2×10^5Gy に到達する時間は 2×10^5 時間（22.8 年）と評価される。そのため，ポリエチレン管は数年程度の使用では放射線照射の影響を受けることはないと考えられる。

1.4 主要な機器

滞留水移送装置は，主に移送ポンプ，移送配管，水位計で構成する。

なお，水位計については以下の考えに基づき設置する。

・制御用水位計：設置エリアの水位の確認を行う他，移送ポンプの制御を行う。

・監視用水位計：設置エリアの水位の確認を行い，局所的な水の滞留を監視する。

各建屋の滞留水は，移送ポンプにより，プロセス主建屋等に移送することにより水位調整を行う。なお，移送については，移送元の各建屋の水位及び移送先の各建屋の水位を考慮し実施する。

1.5 自然災害対策等

(1)津波

滞留水移送装置は，仮設防潮堤内に設置し，アウターライズ津波による浸水を防止する。また，アウターライズ津波を上回る津波の襲来に備え，大津波警報が出た際は，移送ポンプを停止し，汚染水の流出を防止する。なお，津波による配管損傷があった場合でも，移送ポンプを停止することで，汚染水の漏えいは限定的なものとなる。

(2)強風（台風・竜巻）

滞留水移送装置は，基本的に建屋内に設置し，屋外に配管を設置する場合はトラフをアンカにより固定するため，強風により損傷の可能性は低い。

(3)豪雨

滞留水移送装置の屋外配管は，トラフ内に設置するか二重管構造とし，雨水の浸入を防止する構造とする。雨水が浸入した場合は，漏えい検知の警報が発報し，運転員が適切な措置をとれるようにする。

(4)火災

滞留水移送装置は，火災発生防止および火災の影響軽減のため，実用上可能な限り不燃性または難燃性材料を使用するとともに設備周辺からは可能な限り可燃性を排除する。また，初期消火の対応が出来るよう，設備近傍に消火器を設置する。なお，火災発生は，火災報知器による検知可能な設計とする。

2. 滞留水移送装置の構造強度及び耐震性評価

2.1 構造強度

滞留水移送装置の移送配管のうち鋼管およびポリエチレン管は「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格　設計・建設規格」（JSME 規格），日本産業規格（JIS 規格），日本水道協会規格（JWWA 規格）等に準拠する。耐圧ホースについては，製造者仕様範囲内の圧力および温度で運用することで構造強度を有すると評価する。

2.2 耐震性

滞留水移送装置を構成する主要機器のうち，配管類（鋼管）の耐震性を評価するにあたっては，「JEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規程」等に準拠して構造強度評価を行う。また，耐圧ホース，ポリエチレン管は，材料の可撓性により耐震性を確保する。

別紙

(1)滞留水移送装置の構造強度及び耐震性について

(2)滞留水移送装置に係る確認事項について

以上

別紙（１）

滞留水移送装置の構造強度及び耐震性について

滞留水移送装置を構成する設備について，構造強度評価の基本方針及び耐震性評価の基本方針に基づき構造強度及び耐震性の評価を行う。

1. 基本方針

1.1 構造強度の基本方針

滞留水移送装置のうち，鋼材を使用している鋼管については，「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格　設計・建設規格」のクラス３機器に準拠して評価を行う。

ポリエチレン管は，日本水道協会規格等に準拠したものを適用範囲内で使用することで，構造強度を有すると評価する。また，耐圧ホースについては，製造者仕様範囲内の圧力および温度で運用することで構造強度を有すると評価する。

1.2 耐震性評価の基本方針

滞留水移送装置を構成する主要機器のうち放射性物質を内包するものは，「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」のＢクラス相当の設備と位置付けられる。鋼管については，定ピッチスパン法で評価されるサポート間隔とする。

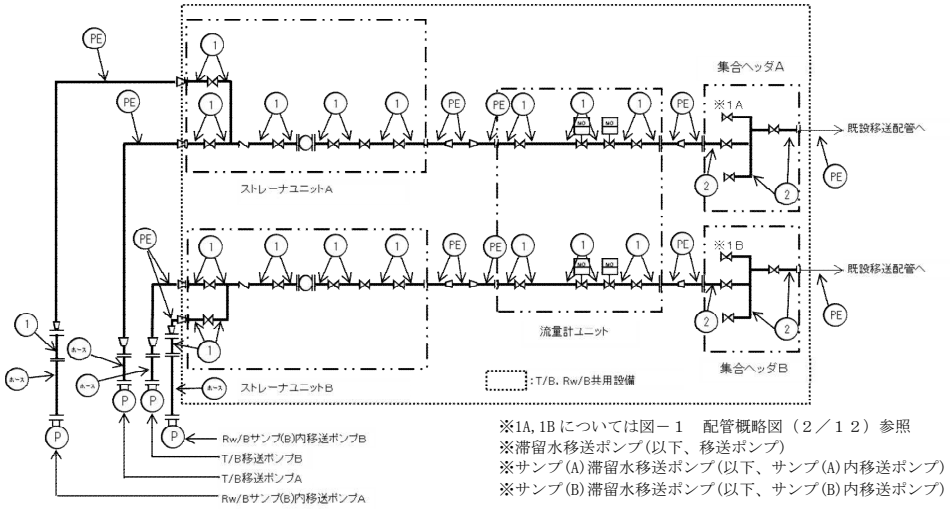
なお，耐圧ホース，ポリエチレン管は，可撓性により耐震性を確保する。

2. 評価結果

2.1　構造強度評価

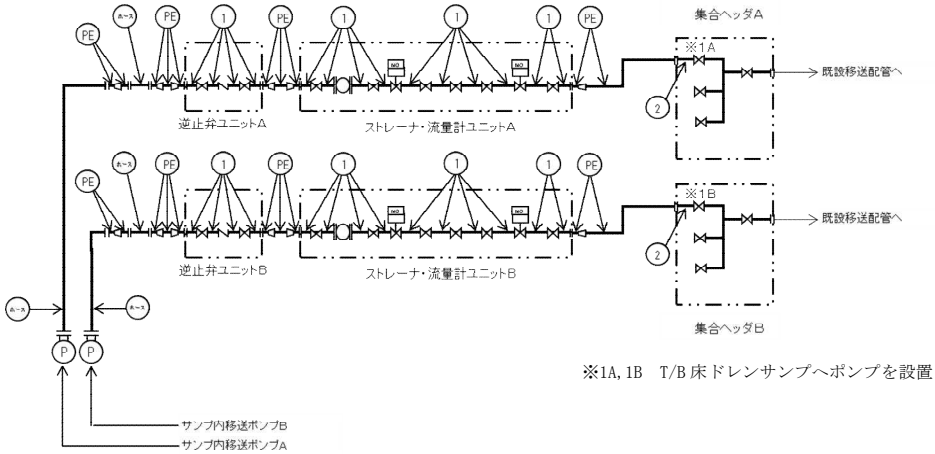
2.1.1　主配管（鋼管）

強度評価箇所を図－１に示す。



図－１　配管概略図（１／１２）

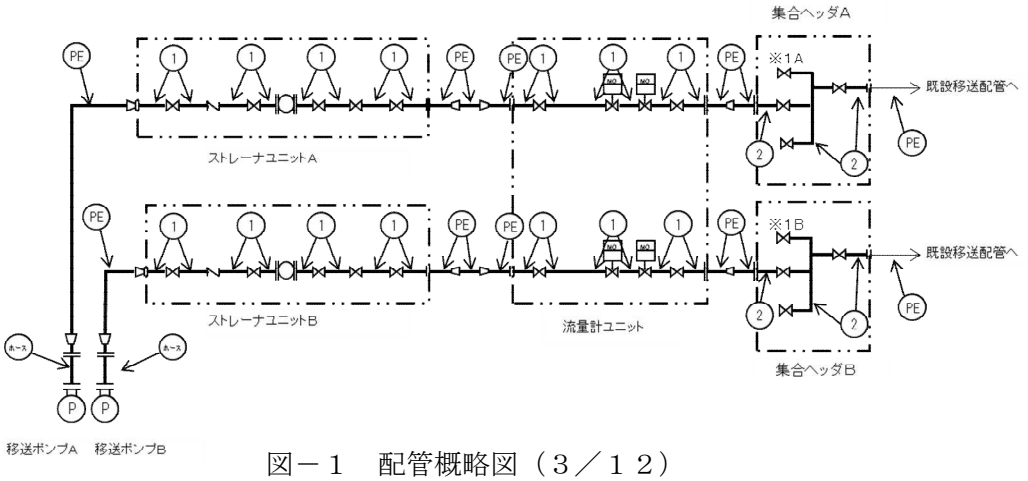
(1 号機 T/B)



※1A, 1B　T/B 床ドレンサンプへポンプを設置したもの

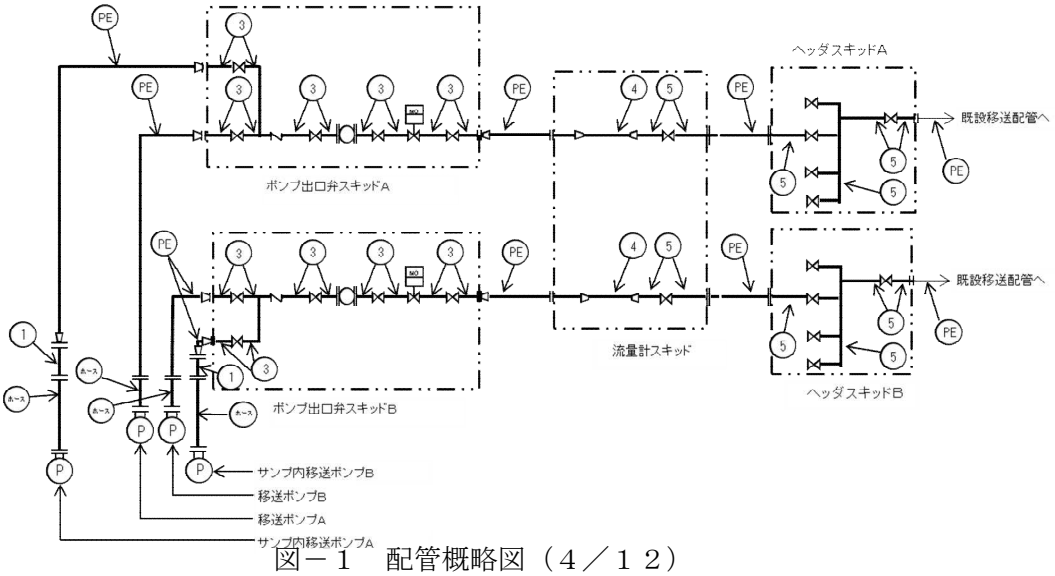
図－１　配管概略図（２／１２）

(1 号機 T/B)



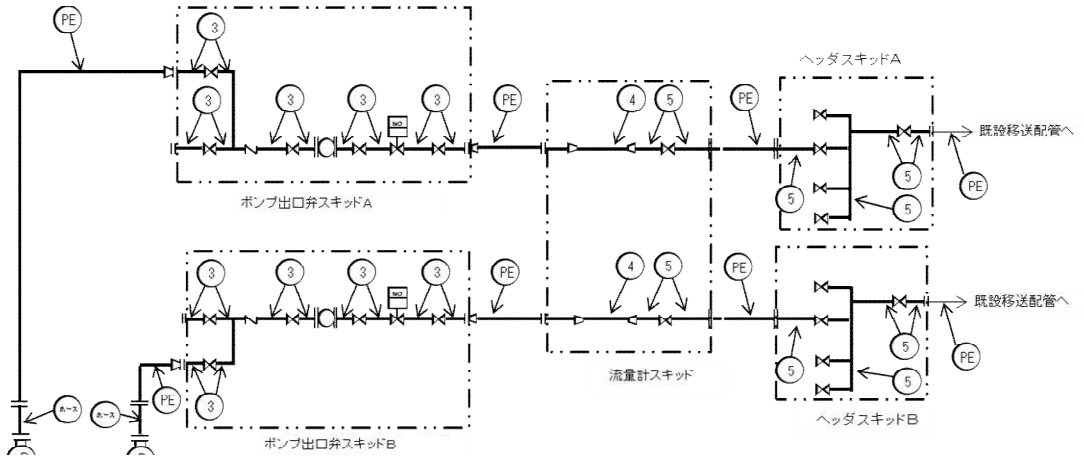
図－１　配管概略図（３／１２）

(1 号機 R/B)



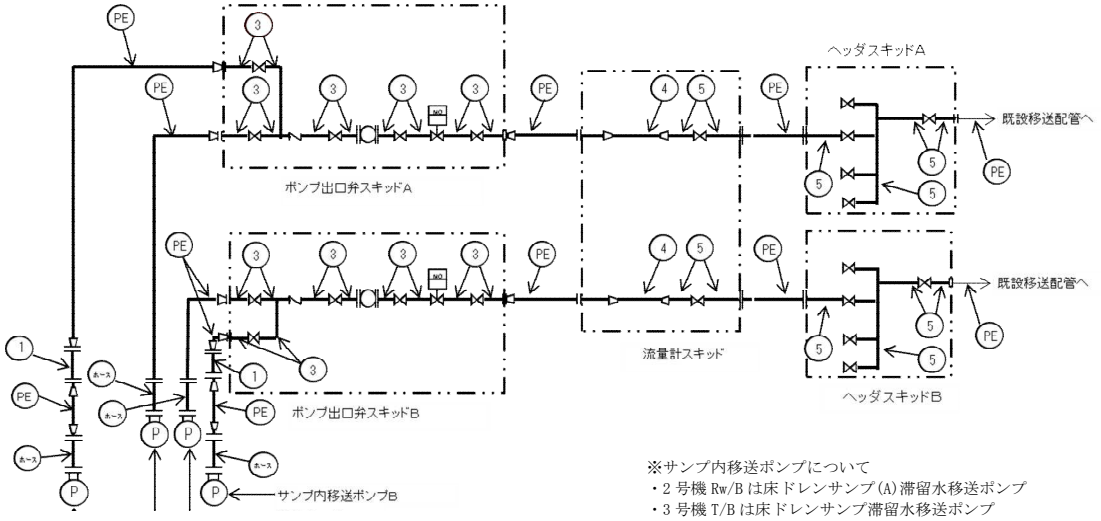
図－１　配管概略図（４／１２）

(2 号機 T/B)



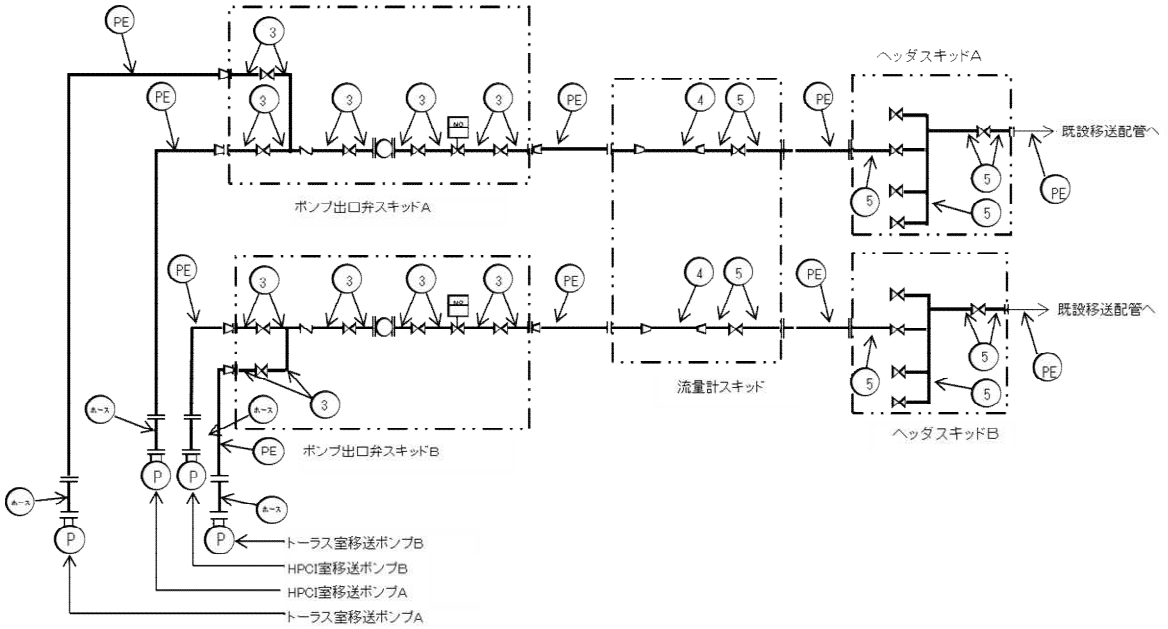
図－１　配管概略図（５／１２）

(2 号機 R/B)



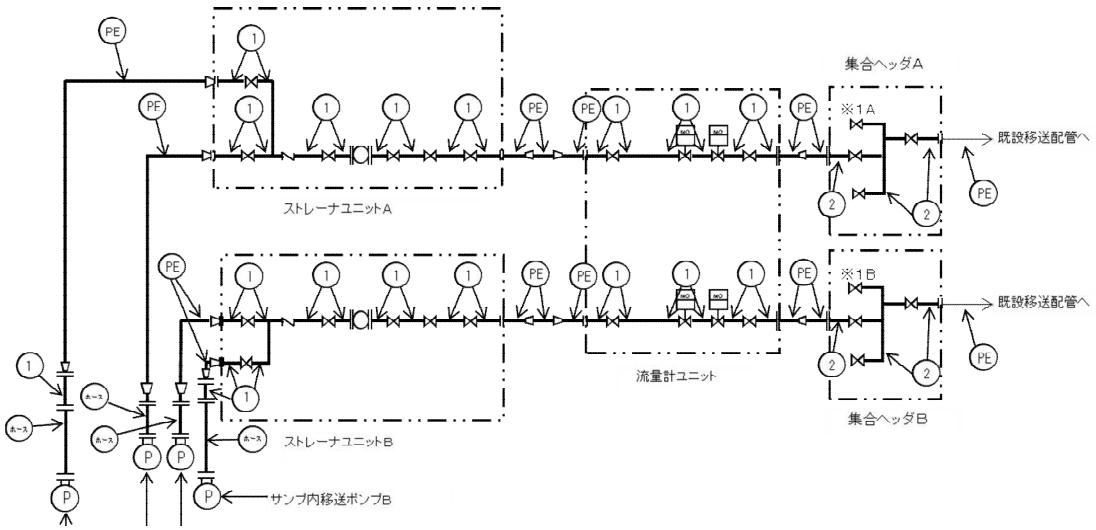
図－１　配管概略図（６／１２）

(2 号機 Rw/B　3 号機 T/B, Rw/B)



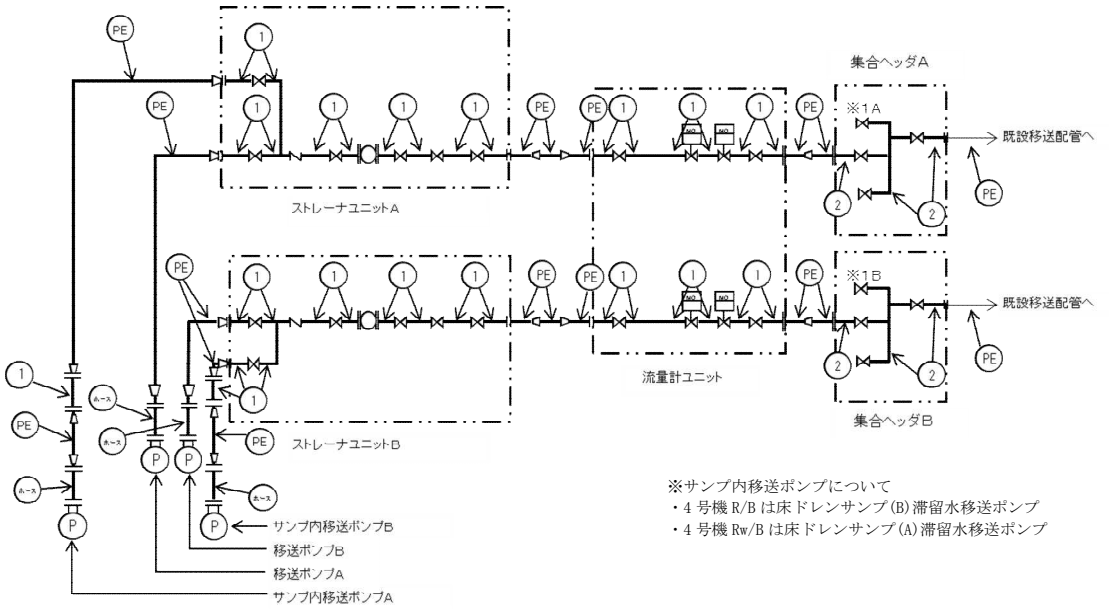
図－１　配管概略図（７／１２）

(3 号機 R/B)



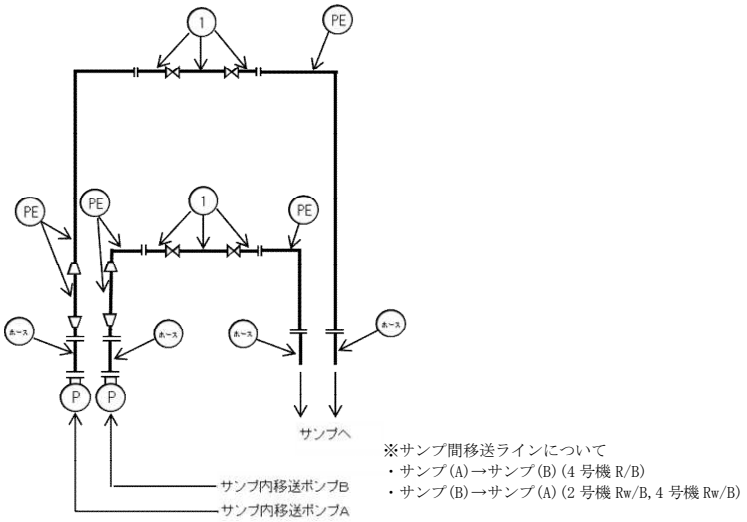
図－１　配管概略図（８／１２）

(4 号機 T/B)



図－１　配管概略図（９／１２）

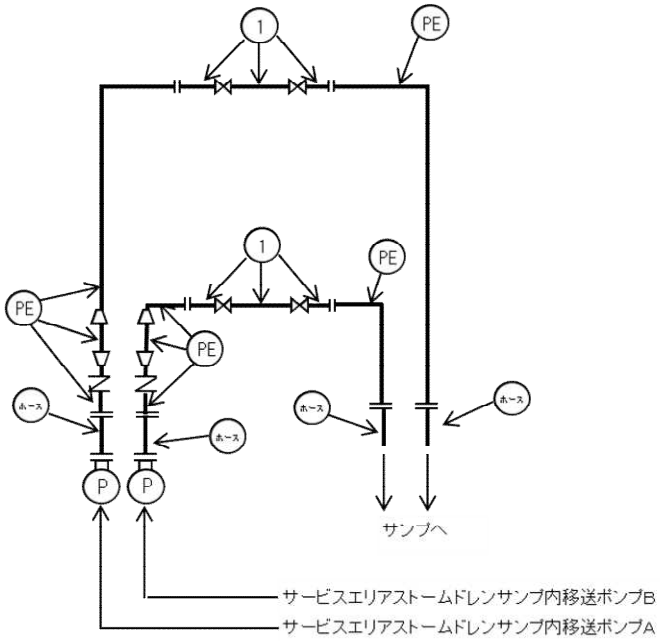
(4 号機 R/B, Rw/B)



図－１　配管概略図（１０／１２）

(サンプ間移送ライン(2 号機 Rw/B　4 号機 R/B, Rw/B))

図－１　配管概略図（１１／１２）
（サンプ間移送ライン(3 号機 Rw/B））



図－１　配管概略図（１２／１２）
（サンプ間移送ライン(3 号機 T/B））

2.1.2　評価方法

(1) 管の厚さの評価

管の必要な厚さは，次に掲げる値のいずれか大きい方の値とする。

ａ．内面に圧力を受ける管

$$t = \frac{P \cdot Do}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$$

ｔ：必要厚さ(mm)
Ｐ：最高使用圧力(MPa)
Ｄｏ：管の外径(mm)
Ｓ：許容引張応力(MPa)
η：継手効率

ｂ．炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小必要厚さ：ｔｒ

設計・建設規格　PPD-3411(3)の表 PPD-3411-1 より求めた値

2.1.3　評価結果

評価結果を表－１に示す。必要厚さを満足しており，十分な構造強度を有していると評価している。

表－１　配管の評価結果（管厚）

No.	外径 (mm)	材料	最高使用圧力(MPa)	最高使用温度(℃)	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
①	60.50	STPT410	0.96	40	2.40	4.81
②	114.30	STPT410	0.96	40	3.40	5.25
③	60.50	STPG370	0.96	40	2.40	3.40
④	89.10	STPG370	0.96	40	3.00	4.81
⑤	114.30	STPG370	0.96	40	3.40	5.25

2.2　耐震性評価

2.2.1　移送ポンプ

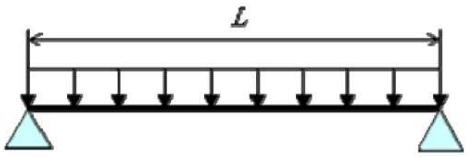
移送ポンプは，水中ポンプのため地震により有意な応力は発生しない。

2.2.2　主配管（鋼管）

配管支持の位置を決定するにあたっては，定ピッチスパン法により適正な支持間隔を確保する。定められた間隔で支持することにより，地震応力が過大とならないようにする。

ａ．評価条件

評価条件として配管は，配管軸直角２方向拘束サポートにて支持される両端単純支持の梁モデル（図－２）とする。



図－２　等分布荷重　両端単純支持はりモデル

次に当該設備における主配管（鋼管）について，各種条件を表－２に示す。

表－２　配管系における各種条件

配管分類	主配管（鋼管）				
配管クラス	クラス３相当				
耐震クラス	Ｂクラス相当(水平震度 0.36)				
設計温度［℃］	40				
配管材質	STPT410		STPG370		
配管口径	50A	100A	50A	80A	100A
Sch	80	40	40		
設計圧力［MPa］	0.96				
配管支持間隔［m］	4.5	5.9	4.0	4.9	5.6

b．評価方法

水平方向震度による管軸直角方向の配管応力評価する。

自重による応力 Sw は，下記の式で示される。

$$Sw = \frac{M}{Z} = \frac{w \cdot L^2}{8Z} \tag{1.1}$$

ここで　　Sw　：自重による応力　　[MPa]

L　：支持間隔　　[mm]

M　：曲げモーメント　　[N・mm]

Z　：断面係数　　[mm3]

w　：等分布荷重　　[N/mm]

管軸直角方向の地震による応力 Ss は，自重による応力 Sw の震度倍で下記の式で示される。

$$Ss = \alpha \cdot Sw \tag{1.2}$$

Ss　：地震による応力　　[MPa]

α　：想定震度値　　[-]

また，評価基準値として JEAC4601-2008 に記載の供用応力状態 Cs におけるクラス３配管の一次応力制限を用いると，地震評価としては下記の式で示される。

$$S = Sp + Sw + Ss = Sp + Sw + \alpha \cdot Sw = Sp + (1 + \alpha) \cdot Sw \leq 1.0Sy \tag{1.3}$$

ここで,　　S　：内圧，自重，地震による発生応力[MPa]

Sp　：内圧による応力　　[MPa]

Sy　：設計降伏点　　[MPa]

c. 評価結果

両端単純支持はりモデルで，自重による応力 Sw が 20［MPa]以下となる配管サポート配置を仮定し，各応力を計算した結果を表－３に示す。表－３より，自重による応力 Sw を 20［MPa]以下となるようサポート配置を決定することで，配管は十分な強度を有するものと評価する。

表－３　応力評価結果

配管分類	主配管（鋼管）				
配管材質	STPT410		STPG370		
配管口径	50A	100A	50A	80A	100A
Sch	80	40	40		
設計圧力［MPa］	0.96				
内圧，自重，地震による発生応力 S［MPa］	34	38	35	35	37
供用状態 Cs における一次応力許容値［MPa］	1.0Sy=245	1.0Sy=245	1.0Sy=215	1.0Sy=215	1.0Sy=215

*参考として、S クラス相当（水平震度 0.72）の評価を行った場合でも，S=41，45，42，42，44［MPa］となり，一次許容応力を下回る。

以上

別紙（２）

滞留水移送装置に係る確認事項について

滞留水移送装置の構造強度及び機能・性能に関する確認事項を表－１～７に示す。

表－1　確認事項（移送ポンプ）

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度	外観確認※1	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器の据付位置，据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	漏えい確認※2	－	－

※１　現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する。

※２　建屋滞留水移送ポンプについては，建屋地下の滞留水中に設置されており，漏えい確認が困難である。従って,性能確認での通水確認の判定基準を満足することをもって，漏えい確認の代替とする。

表－2　確認事項（主配管（鋼管））

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した外径,厚さについて記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認※1	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認※1	配管の据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認※1	最高使用圧力の１．５倍の水圧で保持した後，同圧力に耐えていることを確認する。 耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいの有無も確認する。	最高使用圧力の１．５倍の水圧に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。 また，耐圧部から漏えいがないこと。

※１　現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する。

表－3　確認事項（主配管（ポリエチレン管））

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した外径について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認※1	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	配管の据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	最高使用圧力以上の水圧に耐え，漏えいがないことを確認する。	耐圧検査：検査圧力に耐え，かつ，異常のないこと。 漏えい検査：耐圧部からの漏えいがないこと。

※１　現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する。

表－4　確認事項（主配管（耐圧ホース））

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した外径について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認※1	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認※1	配管の据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認※1	最高使用圧力の１．５倍の水圧で保持した後，同圧力に耐えていることを確認する。 耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいの有無も確認する。	最高使用圧力の１．５倍の水圧に耐え，かつ異常のないこと。 また，耐圧部から漏えいがないこと。

※１　現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する。

表－5　確認事項（滞留水移送装置（各追設設備（移送配管、移送ポンプ））

確認事項	確認項目	確認内容	判定
性能	通水・流量確認	①追設した各ポンプからプロセス主建屋までのラインを構成し，ポンプを起動し通水できること。	12㎥/h 以上の容量を通水できること。 移送先（プロセス主建屋）において通水ができていること。 サンプ間においても通水ができていること。
		②追設した各ポンプからプロセス主建屋までのラインを構成し，ポンプを起動し通水できることをポンプ性能検査記録，配管内部確認記録等により，確認する。※1	

※１　②は検査のため汚染水を増加させる可能性がある場合に適用する。

表－6　確認事項（漏えい検出装置及び自動警報装置）

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度	外観確認※1	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	装置の据付位置を確認する。	実施計画のとおりであること。
機能	漏えい警報確認※1	「漏えい」※2の信号により，警報が発生することを確認する。	「漏えい」※2の信号により，警報が発生すること。

※１　現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する。

※２　漏えい検知器により信号名称は異なる。

表－7　確認事項（水位計）

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度	外観確認※1	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認※1	装置の据付位置を確認する。	実施計画のとおりであること。
機能	監視機能確認	「水位高高」※2の信号により，警報が発生することを確認する。	「水位高高」※2の信号により，警報が発生すること。
		「水位差小」※2の信号により，警報が発生することを確認する。	「水位差小」※2の信号により，警報が発生すること。
性能	性能校正確認※1	校正器を用いて模擬入力を与え，水位計指示値が正しいことを確認する。	模擬入力に対する水位計指示値が，許容範囲内であること。

※１　現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する。

※２　水位計により信号名称は異なる。

以上

添付資料－１５

セシウム吸着装置におけるストロンチウムの除去について

1.　はじめに

セシウム吸着装置にストロンチウム吸着塔（以下,「Sr 吸着塔」という）を装荷し，汚染水に含まれる放射性のストロンチウムを除去することで，汚染水のリスク低減を図る。

Sr 吸着塔は,「2.37　モバイル型ストロンチウム除去装置等」のストロンチウム吸着塔と同一仕様とし，セシウム吸着装置の吸着塔スキッド間を接続する配管（以下，Cs/Sr 同時吸着用配管）を新たに設置して，従来のセシウム吸着塔（以下,「Cs 吸着塔」という），Sr 吸着塔の 2 段階で放射性のセシウム，ストロンチウムを除去する。

2.　基本設計

2.1　設計方針

(1)　処理能力

Sr 吸着塔は，汚染水に含まれるストロンチウムの濃度を低減する能力を有するものとする。

(2)　構造

Sr 吸着塔は，吸着材をステンレス鋼製の容器に充填し，外側に炭素鋼遮へい容器を設けた構造とする。

(3)　規格・基準等

Sr 吸着塔及び Cs/Sr 同時吸着用配管は，設計，材料の選定，製作及び検査について原則として適切と認められる規格及び基準によるものとする。

(4)　放射性物質の漏えい防止及び管理されない放出の防止

a.　Sr 吸着塔及び Cs/Sr 同時吸着用配管は，液体状の放射性物質の漏えい防止及び所外への管理されない放出を防止するため，設置環境や内部流体の性状等に応じた適切な材料を使用する。

b.　Cs/Sr 同時吸着用配管のフランジ部にパン等を設置し，漏えい水を既設のパイプチェース内に導き，漏えい検知器により漏えいを検知できる設計とする。

(5)　放射線遮へいに対する考慮

Sr 吸着塔は，放射線作業従事者の線量を低減する観点から，放射線を適切に遮へいする設計とする。

(6)　崩壊熱除去に対する考慮

Sr 吸着塔は，放射性物質の崩壊熱による温度上昇を考慮し，崩壊熱を除去できる設計とする。

(7)　可燃性ガスの滞留防止に対する考慮

Sr 吸着塔は，水の放射性分解により発生する可燃性ガスを排出できる設計とする。

3.　主要な機器

セシウム吸着装置の 4 系列のうち 2 系列に Sr 吸着塔を装荷し，Cs/Sr 同時吸着用配管により，汚染水に含まれる放射性のセシウム，ストロンチウムを除去する。

Sr 吸着塔は,「2.37 モバイル型ストロンチウム除去装置等」のストロンチウム吸着塔と同一仕様とし，4 塔中 3 塔に通水することにより Sr 濃度を低減する。（図-1，図-2 参照）

3.1　Sr 吸着塔の性能

Cs 吸着塔及び Sr 吸着塔を用いてセシウム／ストロンチウムを吸着する運転(以下,「Cs/Sr 同時吸着運転」という）の際のストロンチウムに対する除染係数は，セシウム吸着装置出口において $10 \sim 10^3$ を設計目標とする。

なお，ストロンチウムの処理はリスク低減の観点から実施するものであり，セシウム吸着装置出口の放射能濃度が低減されていることを確認する。

3.2　使用済吸着塔の発生量予測

a. 使用済みの Sr 吸着塔は，取替時に淡水置換及び水抜きを行い，使用済セシウム吸着塔保管施設（Ⅱ2.5.2.1.2 を参照）のコンクリート製ボックスカルバート内に貯蔵する。

b. Cs/Sr 同時吸着運転を継続して運転した場合における使用済吸着塔の発生頻度は,Cs 吸着塔が 4 日に 2 塔，Sr 吸着塔が 4 日に 2 塔と想定している。Cs 吸着塔を用いてセシウムを吸着する運転（以下，「Cs 吸着運転」という）における使用済み吸着塔の発生頻度が 4 日に 4 塔のため,従来の発生頻度から変更はなく,貯蔵に支障をきたすことはない。

c. 現状の汚染水処理はセシウム吸着装置及び第二セシウム吸着装置で処理を行っており，Cs 吸着運転時と Cs/Sr 同時吸着運転時のセシウム吸着装置の稼働率に変更はなく，Cs/Sr 同時吸着運転時においても吸着塔の発生量６塔／月程度となる。

3.3　具体的な安全確保策

セシウム吸着装置は，高濃度の放射性物質を扱うため，漏えい防止対策，放射線遮へい，崩壊熱除去，可燃性ガス滞留防止，環境条件等について具体的に安全確保策を以下の通り定め，実施する。

(1)　漏えい発生防止等

a.　Sr 吸着塔及び Cs/Sr 同時吸着用配管は，腐食による漏えい発生を防止するため，耐腐食性を有するステンレス材の使用を基本とする。

b.　セシウム吸着装置は，スキッド毎にパンを設けており，スキッド内部等の漏えい検知器により，漏えい発見時は免震重要棟集中監視室及びシールド中央制御室（シールド中操）に警報を発し，運転員が停止操作時の必要な措置を講ずる。また，巡視

点検等で漏えいが無いことを確認している。

c. Cs/Sr 同時吸着用配管のフランジ部にパン等を設置し，漏えい水をパイプチェースに既設の漏えい検知器まで導くことで，漏えいを検知する。(図-3 参照)

d. セシウム吸着装置は，焼却工作建屋内に設置しており，万一漏えいが発生しても，系外へ流出することはない。

(2) 放射線遮へい・被ばく低減に対する考慮

a. Sr 吸着塔は，Cs 吸着塔と同様に炭素鋼製の遮へい容器により遮へいし，スキッド表面の線量当量率を 4mSv/h 以下とする。

b. 使用済みのセシウム吸着装置の吸着塔は炭素鋼製の遮へい容器及びコンクリート製ボックスカルバートにより，放射線を遮へいする。

c. 滞留水もしくは高濃度の廃水を行う処理装置の配管は，直接，放射線業務従事者が近づく可能性のある箇所を対象に空間線量当量率が数 mSv/h 以下となるように遮へいを設置する。

d. Cs/Sr 同時吸着用配管付近に設置してある弁を操作する際に，表面線量が高線量である場合は，フラッシングをする等して，配管表面線量を下げる対策を実施する。

(3) 崩壊熱除去

Sr 吸着塔に吸着した放射性物質の崩壊熱は，処理水を通水することにより除熱する。

また，使用済みの Sr 吸着塔保管時における吸着塔内部の温度は，主要核種である Sr の吸着量を 1.7×10^{14} Bq/塔と設定した場合，約 143℃（ボックスカルバート内）となり，吸着材の耐熱温度である 200℃に対して十分余裕がある。(別添-1 参照)

(4) 可燃性ガスの滞留防止

a. 水の放射線分解により発生する可能性のある可燃性ガスは，通水時は処理水とともに排出される。通水停止時は可燃性ガスが滞留する可能性があるため，ベント管に設置してあるベント弁を手動で開操作して通気により排出する。

b. 使用済みの Sr 吸着塔は，可燃性ガスの発生を抑制するため，使用済セシウム吸着塔仮保管施設において内部の水抜きを実施する。

c. 使用済みの Sr 吸着塔は，ベント管を空けた状態で貯蔵することにより，可燃性ガスを大気に放出する設計とする。

貯蔵時における Sr 吸着塔の可燃性ガス濃度を評価した結果，約 1.1%であり可燃限界に達することはない。(別添-2 を参照)

(5) 環境条件等

a. 腐食

Sr 吸着塔及び Cs/Sr 同時吸着用配管は，耐腐食性を有するステンレス材を用いており，腐食により汚染水が漏えいする懸念はない。

b. 熱による劣化

汚染水の温度は，ほぼ常温のため，金属材料の劣化の懸念はない。

c. 凍結

汚染水を処理している過程では，水が流れているため凍結の恐れはない。汚染水の処理を停止した場合でも，吸着塔及びCs/Sr同時吸着用配管は焼却工作建屋内に設置されており，焼却工作建屋内は過去の実績から氷点下になることはないため，凍結の懸念はない。

また，使用済みの吸着塔は，水抜きを行い貯蔵する。

d. 生物汚染

長期保管中，Sr吸着塔は水抜きされた状態で保管されることから，生物汚染に対する配慮は必要ない。

e. 耐放射線性

Sr吸着塔は，ステンレス材を用いており，放射線による劣化はない。

f. 紫外線

Sr吸着塔は，ステンレス材を用いており，紫外線による劣化はない。

4. 構造強度及び耐震性

4.1 構造強度

Sr吸着塔は，Cs吸着塔と同一の評価条件であり，同等の構造強度を確保する。

Sr吸着塔は，「ASME Boiler and Pressure Vessel Code」に準拠する。また，Sr吸着塔の板厚は，「JSME　発電用原子力設備規格　設計・建設規格」に準拠することを確認する。

Cs/Sr同時吸着用配管は，セシウム吸着装置の配管と同一の運転条件であり，「JSME　発電用原子力設備規格　設計・建設規格」のクラス3配管に準拠する。

4.2 耐震性

Sr吸着塔は，Cs吸着塔と同一の評価条件であり，同等の耐震性を確保する。

Cs/Sr同時吸着用配管は，変位による破壊を防止する構造（定ピッチスパン法による配管サポート間隔の設定）とする。（別添-3参照）

5. その他

5.1 Cs/Sr同時吸着運転時における建屋滞留水の状況

建屋滞留水水位はT.P.1,564mm前後を維持するように計画しており，セシウム吸着装置のCs/Sr同時吸着運転（定格流量600m^3/日）を継続した場合，滞留水の増加量約400m^3/日（平成26年10月までの実績），炉注量約320m^3/日から想定すると，T.P.2,064mmに到達するまでに約3ヶ月の裕度がある。また，処理装置については，セシウム吸着装置以外に，第二セシウム吸着装置，除染装置があり，これら処理装置の稼働により，建屋滞留水の処理については十分な処理量を有している。なお，セシウム吸着装置がCs/Sr同時吸着運転時において，セシウム吸着装置をCs吸着運転を必要とする場合に３日以内に切替を行うことにより，第二セシウム吸着装置，除染装置の運

転が可能と判断されない状態となっても処理に影響を及ぼさない。

添付資料１５に記載の標高は，震災後の地盤沈下量（-709mm）と O.P.から T.P.への読替値（-727mm）を用いて，下式に基づき換算している。

＜換算式＞T.P.=旧 O.P.-1,436mm

5.2　運転時の留意事項

Cs/Sr 同時吸着運転と Cs 吸着運転の切替えに際しては，手動弁の操作を伴うことから，以下の誤操作防止対策を講じるとともに，切替え操作後の運転に際しては，通水時の AGH スキッド入口配管表面線量等の測定を実施する。

a.　切替え操作対象の弁には銘板を設置するとともに，特別な表示を行うことで確実な識別を行う。

b.　切替え操作にあたっては，手順書を用いて確実な操作を行うとともに，状態の確認を行うことで確実な操作を行う。なお，操作対象弁の施錠等の管理を実施することで，作業許可のない操作を防止する。

5.3　火災対策

火災発生を防止するため，実用上可能な限り不燃性又は難燃性材料を使用する。また，初期消火のために，近傍に消火器を設置する。なお，火災発生は，巡視点検，監視カメラにより確認できる。Sr 吸着塔は遮へい付きスキッド内にあり燃焼・延焼し難く，また Cs/Sr 同時吸着用配管はステンレス鋼製であり，燃焼しない。

さらに避難時における誘導用のために誘導表示を設置する。

6.　Sr 吸着塔の確認の方針について

6.1　構造強度及び機能・性能に関する事項

Cs/Sr 同時吸着用配管，Sr 吸着塔の構造強度及び機能・性能に関する確認事項を表-1 に示す。Sr 吸着塔は，海外からの輸入品につき記録又は立会により確認する。

6.2 溶接部に関する事項

溶接部に関する確認事項を表-2 に示す。当設備は，海外からの輸入品につき，記録又は立会により確認する。

7.　Sr 吸着塔の主要仕様

7.1　系統仕様

(1)ストロンチウム吸着塔

塔　　数	（最大）４塔／系
使　用　条　件	最高使用圧力：0.97MPa
	最高使用温度：66℃
除染係数(設計目標)	放射性ストロンチウムに対して10～10^3

7.2　機器仕様

(1)ストロンチウム吸着塔

構　　造	縦置き円筒形
外　　径	Φ914.4mm
上　　蓋	ASME SA240 TYPE 316/316L （厚さ50.8mm）
胴　　板	ASME SA240 TYPE 316/316L （厚さ9.5mm）
下　　板	ASME SA240 TYPE 316/316L （厚さ50.8mm）

(2)ストロンチウム吸着塔付属配管

呼び径	50A相当
材　　質	EPDM合成ゴム

(3)セシウム／ストロンチウム同時吸着用配管

呼び径／ 厚さ	50A/Sch40
材　　質	SUS316L

（配管仕様の詳細については，表２．５－１　汚染水処理設備等の主要配管仕様
セシウム吸着装置入口からセシウム吸着装置出口まで（鋼管）を参照）

表-1　確認事項（構造強度及び機能・性能）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法について記録を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
	外観・据付確認	各部の外観を確認する。 また，据付状態について確認する。 ※１	有意な欠陥がないこと。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で保持した後，漏えいの有無を確認する。 ※１	確認圧力に耐え，かつ構造物の有意な変形等がないこと。 また，耐圧部から著しい漏えいがないこと。
機能・性能	機能確認	通常運転状態にて流量の確認を行う。	流量が出ること・各部から漏えいのないこと。
	性能確認	通常運転状態にて系統出口水の放射濃度を確認する。※２	系統出口水の放射能が入口放射濃度より低減されていること。

※１ ： 現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する。

※２：ストロンチウム吸着塔通水時に確認する。

表-2　確認事項（海外製品溶接検査）（ストロンチウム吸着塔）

確認事項	確認項目	確認内容　※1	判定基準
溶接検査	材料確認	溶接に使用する材料が，ASME 規格等に適合するものであり，溶接施工法の母材の区分に適合することを記録で確認する。	使用する材料が，ASME 規格等に適合するものであり，溶接施工法の母材の区分に適合するものであること。
	開先検査	開先形状等が ASME 規格等に適合するものであることを記録で確認する。	開先形状等が ASME 規格等に適合するものであること。
	溶接作業検査	ASME 規格等に定められた溶接施工法により溶接されていること及び溶接士の資格を有しているものにより溶接が行われていることを記録で確認する。	ASME 規格等で確認された溶接施工法および溶接士により溶接施工をしていること。
	耐圧・ 漏えい検査	検査圧力で保持した後，検査圧力に耐えていること及び耐圧部分から漏えいがないことを記録で確認する。	検査圧力で保持した後，検査圧力に耐えていること及び耐圧部分から漏えいがないこと。
	外観検査	各部の外観を確認する。 ※2	外観上，傷・へこみ・変形等の異常がないこと。

※1：「表－2　確認事項（海外製品溶接検査）（ストロンチウム吸着塔）」の確認範囲は，「東京電力株式会社福島第一原子力発電所原子炉施設の保安及び特定核燃料物質の防護に関する規則」の第 26 条第 4 号に規定する範囲とする。なお，適用する規格等で使用が認められている材料の溶接部に関わる確認は，適用する規格等の条件に適合していることについて行う。

※2：現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する。

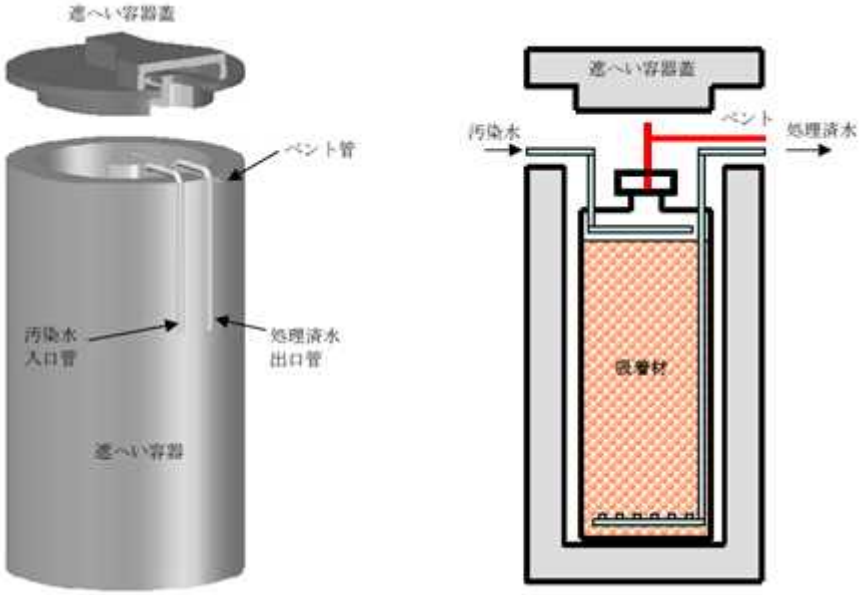


図-1　セシウム吸着装置のストロンチウム吸着塔外形及び概要図

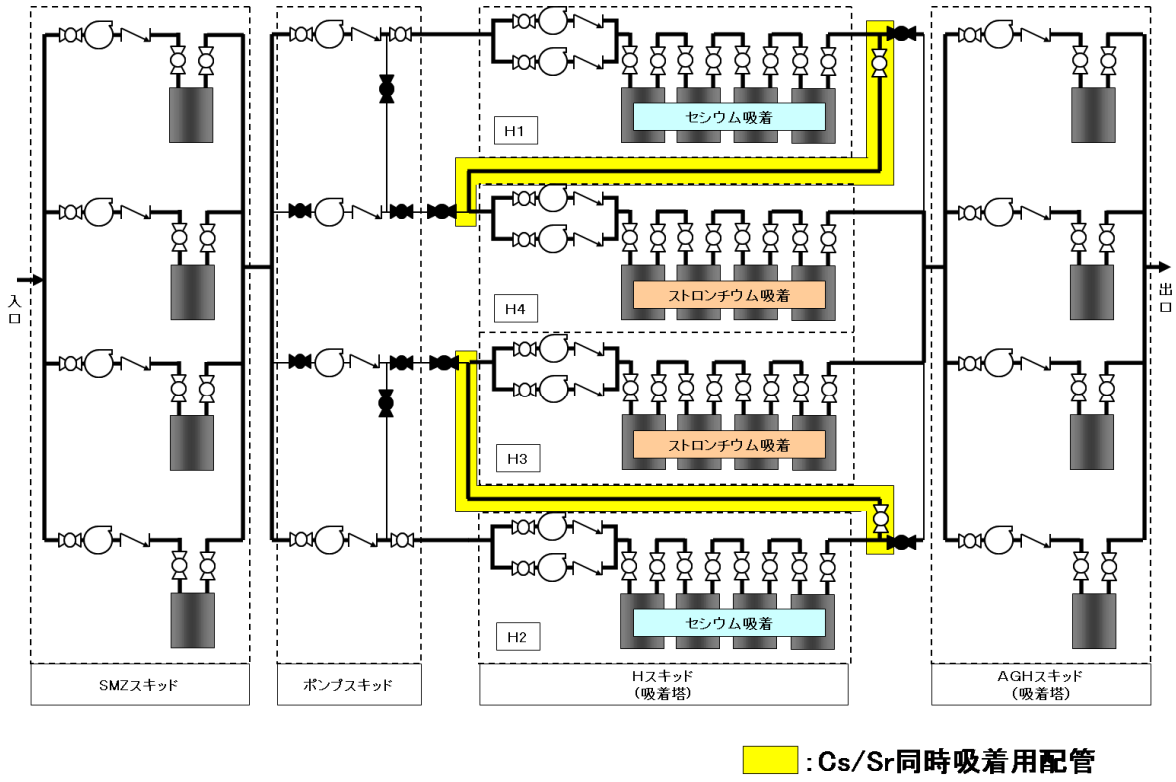


図-2　Cs/Sr 同時吸着運転時のセシウム吸着装置の系統概要

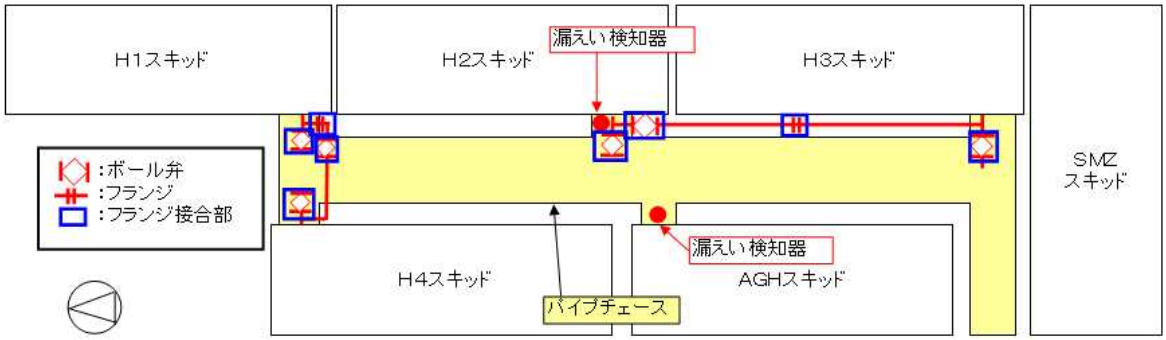


図-3　Cs/Sr 同時吸着用配管の漏えい検知概要

別添－１

使用済みストロンチウム吸着塔の温度評価について

1．概要

使用済みのストロンチウム吸着塔を対象に、コンクリート製ボックスカルバート内に抜水状態で貯蔵される場合の温度評価を行った。吸着塔に吸着した放射性物質による発熱を入熱条件とし、1 次元の定常温度評価を行い、太陽光からの入熱によるボックスカルバート上蓋の温度上昇を考慮した場合の吸着塔の温度が許容温度以下となることを確認した。

2．吸着塔の温度評価

2.1．評価方法

○評価手法：1 次元定常温度評価（評価体系については図－１を参照、考慮した伝熱機構および使用した熱伝導率等は表―１を参照）

○温度条件：

・外気温度：40℃（福島県の過去最高気温 39.1℃（1942 年 8 月 15 日）を切上げ）

・太陽光による温度上昇：13℃

○入熱条件：

・吸着塔 2 体をボックスカルバートに設置

・吸着塔発熱量：31.6W/体。

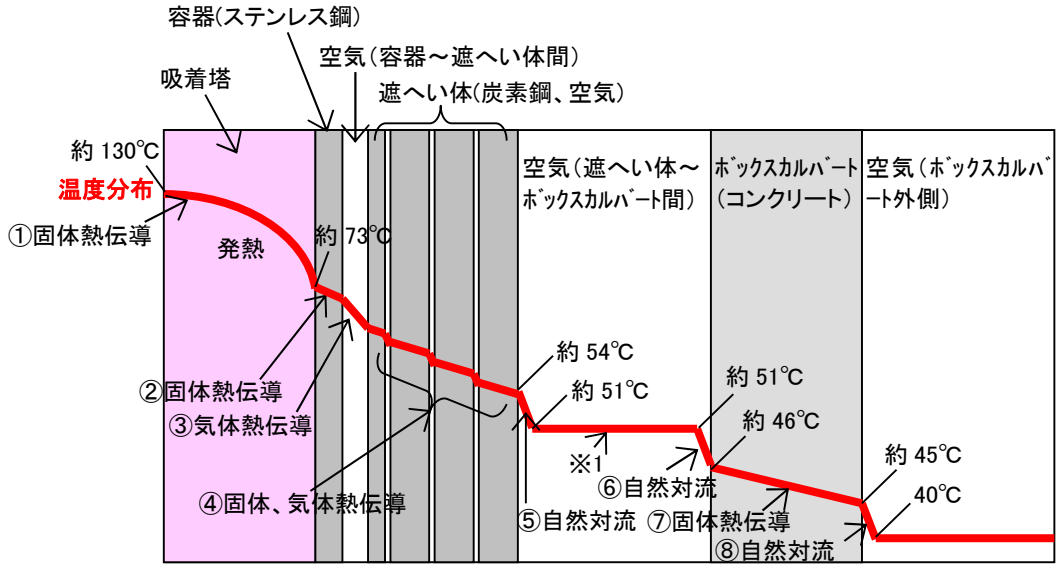
○放熱条件：

・ボックスカルバートの側面のうち 1 面からの放熱を考慮し、他のボックスカルバートに面する 3 面からの放熱は考慮しない。

・上蓋および床からの放熱は考慮しない。

・通気孔からの放熱は考慮しない。

・熱輻射による放熱は安全側に考慮しない。



図－１　評価体系の概念図（1 次元定常温度評価モデル）および温度分布（吸着塔）

※1：自然対流により混合され温度勾配はないものと仮定する。

表－１　考慮した伝熱機構および温度評価に用いた熱伝導率等（吸着塔）

番号	伝熱箇所	伝熱機構	伝熱距離	熱伝導率等
①	吸着塔	固体熱伝導	約 448mm	熱伝導率 0.024[W/(m･K)] （安全側に空気の熱伝導率と仮定）
②	容器（ステンレス鋼）	固体熱伝導	約 10mm	熱伝導率 16[W/(m･K)]
③	空気（容器～遮へい体間）	気体熱伝導	約 51mm	熱伝導率 0.024[W/(m･K)]
④	遮へい体(炭素鋼、空気)	固体、気体熱伝導	内面から 炭素鋼約 25mm 空気約 13mm 炭素鋼約 51mm 空気約 13mm 炭素鋼約 51mm 空気約 13mm 炭素鋼約 51mm	熱伝導率 炭素鋼 43[W/(m･K)] 空気 0.024[W/(m･K)] (保守的にエアギャップを考慮)
⑤	遮へい体から空気（遮へい体～ボックスカルバート間）	自然対流	—※1	熱伝達率 約 1.5[W/(m^2･K)]
⑥	空気（遮へい体～ボックスカルバート間）からボックスカルバート	自然対流	—※1	熱伝達率 約 1.5[W/(m^2･K)] （同時に入れる吸着塔の発熱分の熱流束も考慮）
⑦	ボックスカルバート（コンクリート）	固体熱伝導	約 203mm	熱伝導率 1.3[W/(m･K)] （同時に入れる吸着塔の発熱分の熱流束も考慮）
⑧	ボックスカルバートから空気（ボックスカルバート外側）	自然対流	—※1	熱伝達率 約 1.5 [W/(m^2･K)] （同時に入れる吸着塔の発熱分の熱流束も考慮）

※　1：自然対流による伝熱のため距離に依存しない。

2.2. 評価結果

評価の結果、コンクリートカルバート内に乾燥状態で貯蔵される場合、吸着材からの発熱により吸着塔の温度は約 130℃となった。また、太陽光からの入熱による温度上昇を考慮すると、約 143℃となり、吸着材の耐熱温度 200℃より低いことから安全上の問題はないと判断する。

別添－２

使用済みストロンチウム吸着塔の水素濃度評価について

1．概要

使用済みストロンチウム吸着塔を対象に、コンクリート製カルバート内に貯蔵される場合に発生する水素濃度の評価を行った。水素濃度は約 1.1%となり，水素可燃領域の 4%を下回ったことから安全上の問題はないとする。

2．吸着塔の水素濃度評価

2.1．評価方法

○評価手法：

・Sr 吸着塔において，吸着される放射能濃度が最大となる条件での水素発生量を計算する。

・給気区間と排気区間の水素濃度差による気体密度差により生じる差圧および流動抵抗にから評価式に基づき煙突効果（自然対流）により流入する空気量を計算する。

・　流入空気量と水素発生量の割合から水素濃度を計算する。

○水素発生条件：

・水素分子の発生量：約 0.1[L/h]

$$H = E \times G \times \frac{1}{A} \times \frac{1}{e}$$

H ：水素発生量[mol/s]

E ：崩壊熱 31.6[W]

G ：水素分子発生量 0.0045[個/eV]

A ：アボガドロ数 6.02×10^{23}[個/mol]

e ：エネルギーの単位換算係数 1.60×10^{-19}[J/eV]

○温度条件：

・吸気側と排気側の温度差による自然対流については保守的に考慮しない

○煙突高さ：入口管リングヘッダからベント管上部までの高さ約 40cm

○流動抵抗：

・ベント管の上部までの流動抵抗をハーゲン・ポアズイユの式より導出（ベント管の流動抵抗が支配的であるため、その他の流動抵抗は無視する。）

○流入空気量：

・吸気側配管と排気側配管の水素濃度差及び流動抵抗により導出。

○水素濃度

・流入空気量と水素の発生量の割合から導出。

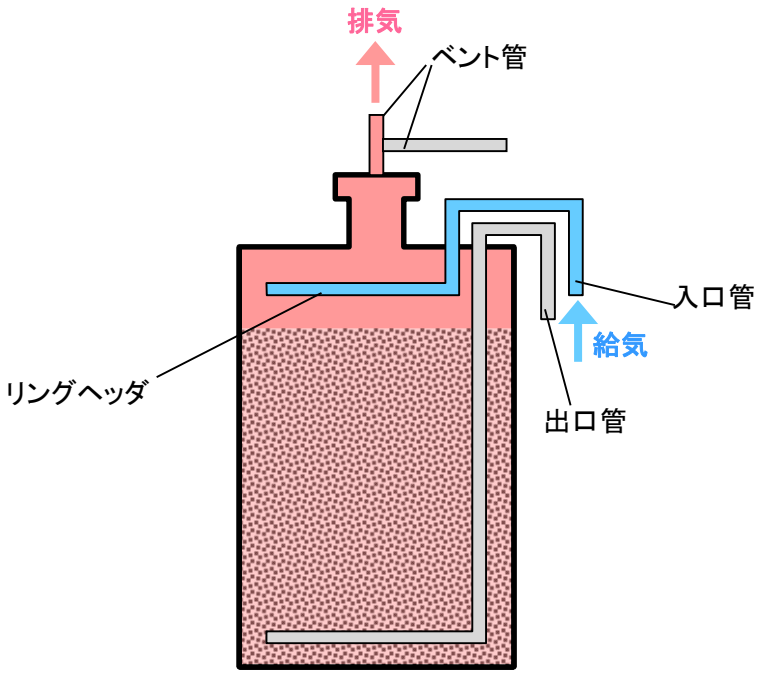


図1　評価体系の概念図

2.2. 評価結果

評価の結果、吸着塔内の水素濃度は 1.1%となり，水素可燃領域の 4%を下回ったことから安全上の問題はないと判断する。

別添－３

セシウム吸着装置のCs/Sr同時吸着用配管における耐震性の評価について

1．概要

配管支持の位置を決定するにあたっては，定ピッチスパン法により適正な支持間隔を確保する。定められた間隔で支持することにより，配管系の固有周期を設定し，地震応力が過大とならないようにする。また集中質量部，曲り部，分岐部に発生する応力は，直管部における値を上回らないものとする。

2．配管の耐震評価

（１）設計用地震動

項目	耐震クラス	適用する地震動等		設計用地震力
		水 平	鉛 直	
機器・配管系	B	静的震度（1.8・Ｃｉ＊1）	―	設計用地震力は，静的地震力とする。

注記 ＊1：Ｃｉ は，標準せん断力係数を 0.2 とし，建物・構築物の振動特性，地盤の種類等を考慮して求められる値とする。

（２）荷重の組合せと許容限界

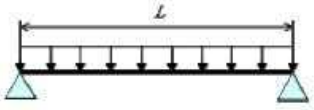
荷重の組合せと許容限界は，原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 JEAG4601・補－1984，JEAG4601－1987 及び JEAG4601－1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月，昭和 62 年 8 月及び平成 3 年 6 月）（以下「JEAG4601」という。）及び発電用原子力設備規格（設計・建設規格 JSME S NC1－2005（2007 年追補版含む））（日本機械学会 2005 年 9 月，2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）に準拠する。

(3) 耐震性評価

a．評価条件

評価条件として配管は，配管軸直角 2 方向拘束サポートにて支持される両端単純支持のはりモデル（図－１）とする。

図－１ 等分布荷重 両端単純支持はりモデル



次に，当該設備における主配管（鋼管）について，各種条件を表－１に示す。

表－１ 配管系における各種条件

配管分類	主配管（鋼管）
配管クラス	クラス３相当
耐震クラス	B クラス相当
設計温度 ［℃］	66
配管材質	SUS316L
配管口径	50A
Sch	40
設計圧力［MPa］	0.97
配管支持間隔［m］	2.8

b．評価方法

水平方向震度による管軸直角方向の配管応力評価する。

自重による応力 Sw は，下記の式で示される。

$$Sw = \frac{M}{Z} = \frac{w \cdot L^2}{8Z} \tag{1.1}$$

ここで　　Sw ：自重による応力　　[MPa]

L ：支持間隔　　[mm]

M ：曲げモーメント　　[N・mm]

Z ：断面係数　　[mm3]

w ：等分布荷重　　[N/mm]

管軸直角方向の地震による応力 Ss は，自重による応力 Sw の震度倍で下記の式で示される。

$$Ss = \alpha \cdot Sw \tag{1.2}$$

Ss ：地震による応力　　[MPa]

α ：想定震度値　　[-]

また，評価基準値として JEAG4601-2008 に記載の供用応力状態 Cs におけるクラス３配管の一次応力制限を用いると，地震評価としては下記の式で示される。

$$S = Sp + Sw + Ss = Sp + Sw + \alpha \cdot Sw = Sp + (1+\alpha) \cdot Sw \le 1.0Sy \tag{1.3}$$

ここで，　　S ：内圧，自重，地震による発生応力[MPa]

Sp ：内圧による応力　　[MPa]

Sy ：設計降伏点　　[MPa]

c．評価結果

両端単純支持はりモデルで，自重による応力 Sw が 10 [MPa]以下となる配管サポート配置を仮定し，各応力を計算した結果を表－２に示す。表－２より，自重による応力 Sw を 10 [MPa]以下となるようサポート配置を決定することで，配管は十分な強度を有するものと評価する。

表－2 応力評価結果

配管分類	主配管（鋼管）
配管材質	SUS316L
配管口径	50A
Sch	40
設計圧力 [MPa]	0.97
内圧，自重，地震による発生応力 S [MPa]	19*
供用状態 Cs における 一次許容応力 [MPa]	159

*2.5 添付資料-3 1.2.3(2)d.「表－３　セシウム吸着装置耐震評価結果」において，水平方向の静的震度 0.36 と 0.57 の耐震評価を実施している。静的震度 0.57 の場合は発生応力を評価すると S=21[MPa]となり，一次許容応力を下回る。

以上

添付資料－１６

セシウム吸着装置により高温焼却炉建屋の滞留水を浄化するために使用する配管について

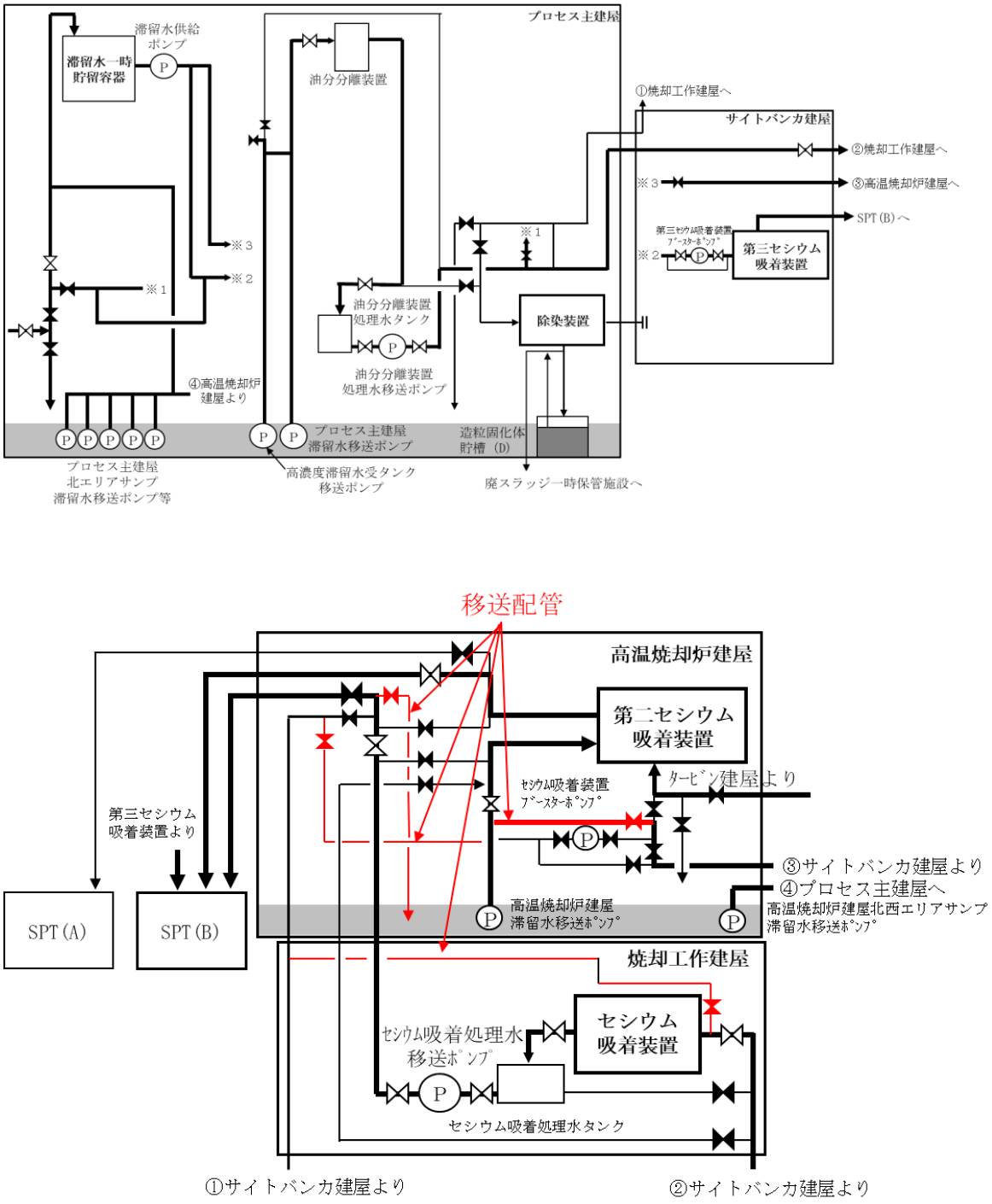
１．はじめに

高温焼却炉建屋に貯留している汚染水（以下，「滞留水」と言う。）をセシウム吸着装置へ移送する配管及び処理済水を高温焼却炉建屋へ移送する配管を設け，（以下，「移送配管」と言う。），高温焼却炉建屋の滞留水をセシウム吸着装置により循環浄化する。

２．基本設計

2.1 設置の目的

震災当時，タービン建屋等から高濃度の汚染水が流出するのを防止するため，汚染水を高温焼却炉建屋，プロセス主建屋の地下階へ移送した。その後，処理装置（セシウム吸着装置，第二セシウム吸着装置，除染装置）を設置し，処理装置前の水源として活用している。一方，平成 24 年以降，タービン建屋滞留水水位の低下，原子炉注水量の減少等により，セシウム吸着装置は，第二セシウム吸着装置の待機として維持している期間が長くなっている。そこで高濃度汚染水の漏えい時のリスクを低減するため，高温焼却炉建屋滞留水をセシウム吸着装置で循環浄化するための移送配管を設置する。既設処理装置の系統構成図に対する移送配管の設置範囲を図－１に示す。



図－１　処理装置（セシウム吸着装置，第二セシウム吸着装置，第三セシウム吸着装置，除染装置）の系統構成図に対する移送配管の設置範囲

2.2 設計方針

(1)仕様

移送配管は，汚染水処理設備等の主要配管と同等の仕様とする。仕様詳細は 2.5.2 基本仕様の「表 2.5-1 汚染水処理設備等の主要配管仕様」（以下抜粋）を参照。

表 2.5-1 汚染水処理設備等の主要配管仕様

名　称	仕　様	
高温焼却炉建屋１階取り合いから 高温焼却炉建屋弁ユニット出口まで	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃
	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A／Sch.80 STPG370 1.37MPa 66℃
高温焼却炉建屋弁ユニット出口から 高温焼却炉建屋１階東側取り合いまで	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃
	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A／Sch.80,100A／Sch.80 STPG370 1.37MPa 66℃
セシウム吸着装置南側取り合いから セシウム吸着装置入口まで	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A／Sch.80 STPG370 1.37MPa 66℃
高温焼却炉建屋１階東側取り合いから 高温焼却炉建屋１階ハッチまで	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A／Sch.80 STPG370 1.37MPa 66℃
	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃

(2)規格・基準等

移送配管は，設計，材料の選定，製作及び検査について原則として適切と認められる規格及び基準によるものとする。

(3)放射性物質の漏えい及び管理されない放出の防止

移送配管は，液体状の放射性物質の漏えい防止及び所外への管理されない放出を防止するため，設置環境や内部流体の性状等に応じた適切な材料を使用する。

(4)放射線遮へいに対する考慮

移送配管は，放射線作業従事者の線量を低減する観点から，放射線を適切に遮へいする設計とする。

３．構造強度及び耐震性

3.1 構造強度

移送配管は，「実用発電用原子炉及びその附属設備の技術基準に関する規則」において，廃棄物処理設備に相当するクラス 3 機器に準ずるものと位置付けられ，「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格」（以下，「JSME 規格」という。），日本産業規格（JIS）等の国内外の民間規格に適合した工業用品の採用，日本産業規格（JIS），またはこれらと同等の技術的妥当性を有する規格での設計・製作・検査を行う。

溶接（溶接施工法および溶接士）は JSME 規格，日本産業規格（JIS），および発電用火力設備に関する技術基準を定める省令にて認証された溶接，または同等の溶接とする。また JSME 規格で規定される材料の日本産業規格（JIS）年度指定は，技術的妥当性の範囲において材料調達性の観点から考慮しない場合もある。

さらに，JSME 規格に記載のない非金属材料（ポリエチレン管等）については，現場の作業環境等から採用を継続する必要があるが，これらの機器等については，日本産業規格（JIS）や日本水道協会規格，製品の試験データ等を用いて設計を行う。

移送配管の構造強度は，汚染水処理設備等の主要配管と同等になる為，構造強度評価に変更はない。（詳細は添付資料－3「表－20　配管構造強度評価結果」参照。）

3.2 耐震性

移送配管は，「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の B クラス相当の設備と位置づけられ，変位による破壊を防止する構造（定ピッチスパン法による配管サポート間隔の設定,配管等に可撓性のある材料を使用）を用いる。（鋼管の耐震性については別添 1 参照。）

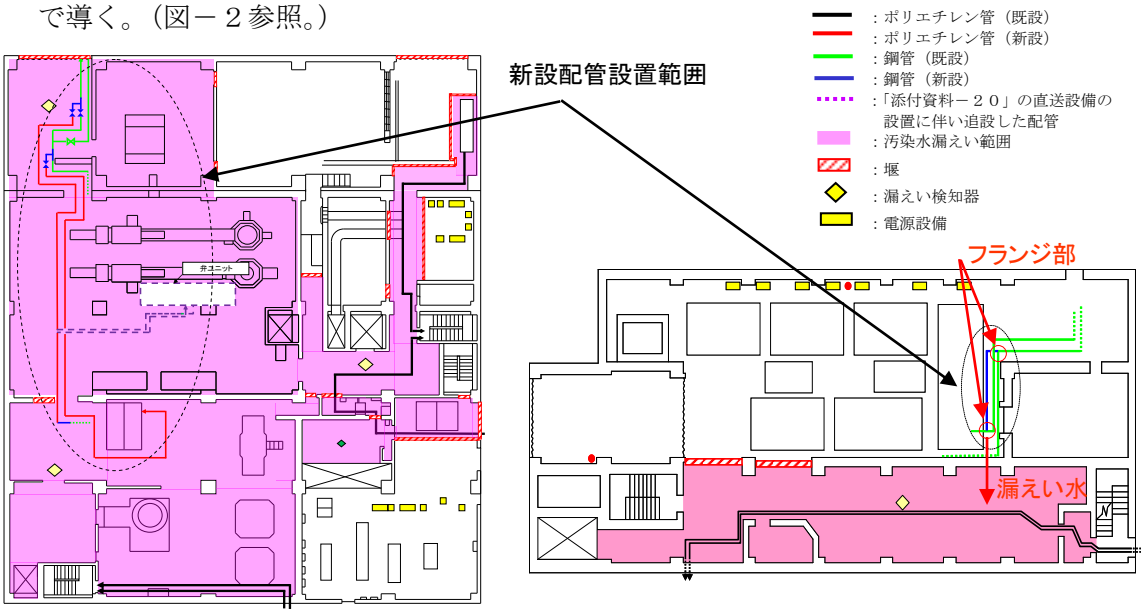
４．移送配管の具体的な安全確保策

移送配管は，高レベルの放射性物質を通すため，漏えい防止対策，放射線遮へい，環境条件等について具体的に安全確保策を以下の通り定め，実施する。

4.1 放射性物質の漏えい防止等に対する考慮

(1)漏えい検知・漏えい拡大防止

漏えいした場合，ポリエチレン管設置範囲は重要電源に水が行かないよう建屋内に堰を設けている。また早期発見のため漏えい検知器を設置している。鋼管のフランジ部は養生，受け等を実施し，漏えい水を既存の漏えい検知器が設置されている場所まで導く。（図－２参照。）



図－２　漏えい検知・漏えい拡大防止について

(2)放射線遮へい・被ばく低減に対する考慮

放射線業務従事者が接近する必要がある箇所は，空間線量当量率が数mSv/h 以下となるように鉛毛マット等による遮へいを設置する。

4.2　環境条件対策

(1)腐食

水による炭素鋼の腐食速度は，「材料環境学入門」（腐食防食協会編，丸善株式会社）より，0.1mm/年程度と評価される。炭素鋼を使用している移送配管は必要肉厚に対して十分な肉厚があり腐食代を有していることを確認している。

なお，移送配管は，建屋内に設置しており，腐食により万一漏えいが生じたとしても所外に放出されるようなことはない。

(2)耐放射線性

ポリエチレンは，集積線量が 2×10^5Gy に達すると，引張強度は低下しないが，破断時の伸びが減少する傾向を示すが，ポリエチレン管の照射線量率を 1Gy/h と仮定すると，2×10^5Gy に到達する時間は 2×10^5 時間（22.8 年）と評価される。そのため，ポリエチレン管は数年程度の使用では放射線照射の影響を受けることはないと考えられる。

(3)凍結，紫外線対策

移送配管は建屋内に設置するため凍結や紫外線の影響を受けることはないと考えられる。

4.3　その他

(1)使用済み吸着塔の発生量予測

高温焼却炉建屋の地下滞留水量は約 3000m^3 であり，セシウム濃度を 1/100 程度に浄化するため使用するセシウム吸着装置の吸着塔は20本程度(ボックスカルバート約10基程度)である。セシウム吸着装置の使用済み吸着塔は，使用済セシウム吸着塔一時保管施設（第一施設，第四施設）のコンクリート製ボックスカルバート内に貯蔵するが，使用済み吸着塔空き容量はボックスカルバート 350 基程度（平成 26 年 9 月時点）であり，他設備からの廃棄物発生量（高性能多核種除去設備検証試験装置：吸着塔 100 基／年程度(ボックスカルバート約 17 基/年相当)，モバイル型ストロンチウム除去装置：ボックスカルバート 11 基／月程度，サブドレン他水処理施設：吸着塔 5 本／年程度(ボックスカルバート約 3 基/年相当)を考慮しても保管容量には十分余裕があるため，貯蔵には支障をきたさない。

(2) 誤操作の防止に対する考慮

運転員の誤操作を防止するため，運転操作手順書を整備し，弁銘板の取付けと注意を喚起する表示を行う。

５．配管の確認の方針について

5.1 構造強度及び機能・性能に関する事項

移送配管の構造強度及び機能・性能に関する確認事項を表－1－1 および表－1－2 に示す。

5.2 溶接部に関する事項

溶接部に関する確認事項を表－2 に示す。

表－1－1　構造強度・耐震性及び機能の確認事項（鋼管）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	主要寸法について記録を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
	外観・据付確認	各部の外観を確認する。また，据付状態について確認する。※1	有意な欠陥がないこと。 また実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で保持した後，圧力に耐えていること及び耐圧部分から漏えいがないことを確認する。※1	確認圧力で保持した後，圧力に耐えていること及び耐圧部分から漏えいがないこと。
機能	機能確認	水が移送できることを確認する。	水が移送できること。

※1 ： 現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する

表－1－2　構造強度及び機能の確認事項（ポリエチレン管）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度	材料確認	主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	主要寸法について記録を確認する。	寸法が製造者寸法許容範囲内であること。
	外観・据付確認	各部の外観を確認する。また，据付状態について確認する。※1	有意な欠陥がないこと。 また実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	現場状況を考慮し製造者指定方法・圧力による漏えい有無を確認する。※1	耐圧部から漏えいがないこと。
機能	機能確認	水が移送できることを確認する。	水が移送できること。

※1 ： 現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する

表－2　確認事項（溶接検査）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
溶接検査	材料確認	溶接に使用する材料が，規格等に適合するものであり，溶接施工法の母材の区分に適合するものとする。	使用する材料が，規格等に適合するものであり，溶接施工法の母材の区分に適合するものであること。
	開先検査	開先形状等が規格等に適合するものであることを確認する。	開先形状等が規格等に適合するものであること。
	溶接作業検査	あらかじめ確認された溶接施工または実績のある溶接施工法または管理されたプロセスを有する溶接施工法であることを確認する。 あらかじめ確認された溶接士による溶接が行われていることを確認する。	あらかじめ確認された溶接施工または実績のある溶接施工法または管理されたプロセスを有する溶接施工法であること。 あらかじめ確認された溶接士による溶接が行われていること。
	非破壊試験	溶接部について非破壊検査を行い，その試験方法及び結果が溶接規格等に適合するものであることを確認する。	溶接部について非破壊検査を行い，その試験方法及び結果が溶接規格等に適合するものであること。
	耐圧・ 漏えい検査	規定圧力で保持した後，その圧力に耐えていること及び耐圧部分から漏えいがないことを確認する。※１※２	規定圧力で保持した後，その圧力に耐えていること及び耐圧部分から漏えいがないこと。
	外観検査	各部の外観を確認する。 ※１	外観上，傷・へこみ・変形等の異常がないこと。

※１ ： 現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する。

※２ ： 溶接規格等に規定された圧力による耐圧検査が困難な箇所については，代替となる非破壊試験を行う。

以上

セシウム吸着装置により高温焼却炉建屋の滞留水を浄化するために使用する配管の耐震性に関する計算書

配管支持の位置を決定するにあたっては，定ピッチスパン法により適正な支持間隔を確保する。定められた間隔で支持することにより，配管系の固有周期を設定し，地震応力が過大とならないようにする。また集中質量部，曲り部，分岐部に発生する応力 及び 固有周期は，直管部における値を上回らないものとする。

(1) 設計用地震動

項目	耐震クラス	適用する地震動等		設計用地震力
		水 平	鉛 直	
機器・配管系	B	静的震度（1.8・Ｃｉ＊1）	―	設計用地震力は，静的地震力とする。

注記 ＊1：Ｃｉ は，標準せん断力係数を 0.2 とし，建物・構築物の振動特性，地盤の種類等を考慮して求められる値とする。

(2) 荷重の組合せと許容限界

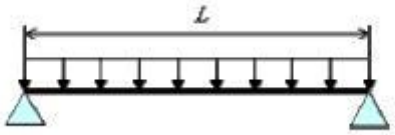
荷重の組合せと許容限界は，原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 JEAG4601・補－1984，JEAG4601－1987 及び JEAG4601－1991 追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 59 年 9 月，昭和 62 年 8 月及び平成 3 年 6 月）（以下「JEAG4601」という。）及び発電用原子力設備規格（設計・建設規格 JSME S NC1－2005（2007 年追補版含む））（日本機械学会 2005 年 9 月，2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）に準拠する。

(3) 耐震性評価

a. 評価条件

評価条件として配管は，配管軸直角 2 方向拘束サポートにて支持される両端単純支持のはりモデル（図－１）とする。

図－１ 等分布荷重 両端単純支持はりモデル



次に，当該設備における主配管（鋼管）について，各種条件を表－１に示す。

表－１ 配管系における各種条件

配管分類	主配管（鋼管）
配管クラス	クラス３相当
耐震クラス	B クラス相当
設計温度 ［℃］	66
配管材質	STPG370
配管口径	100A
Sch	80
設計圧力［MPa］	1.37
配管支持間隔［m］	7.5

b．評価方法

水平方向震度による管軸直角方向の配管応力評価する。

自重による応力 Sw は，下記の式で示される。

$$Sw = \frac{M}{Z} = \frac{w \cdot L^2}{8Z} \tag{1.1}$$

ここで　　Sw　：自重による応力　　［MPa］

L　：支持間隔　　［mm］

M　：曲げモーメント　　［N・mm］

Z　：断面係数　　［mm^3］

w　：等分布荷重　　［N/mm］

管軸直角方向の地震による応力 Ss は，自重による応力 Sw の震度倍で下記の式で示される。

$$Ss = \alpha \cdot Sw \tag{1.2}$$

Ss　：地震による応力　　［MPa］

α　：想定震度値　　［-］

また，評価基準値として JEAG4601-2008 に記載の供用応力状態 Cs におけるクラス３配管の一次応力制限を用いると，地震評価としては下記の式で示される。

$$S = Sp + Sw + Ss = Sp + Sw + \alpha \cdot Sw = Sp + (1+\alpha) \cdot Sw \leq 1.0Sy \tag{1.3}$$

ここで，　　S　：内圧，自重，地震による発生応力［MPa］

Sp　：内圧による応力　　［MPa］

Sy　：設計降伏点　　［MPa］

c．評価結果

両端単純支持はりモデルで，自重による応力 Sw が 30［MPa]以下となる配管サポート配置を仮定し，各応力を計算した結果を表－２に示す。表－２より，自重による応力 Sw を 30［MPa]以下となるようサポート配置を決定することで，配管は十分な強度を有するものと評価する。

表－2 応力評価結果

配管分類	主配管（鋼管）
配管材質	STPG370
配管口径	100A
Sch	80
設計圧力 ［MPa］	1.37
内圧，自重，地震による発生応力 S［MPa］	50*
供用状態 Cs における 一次許容応力［MPa］	189

*添付資料－３「表－３　セシウム吸着装置耐震評価結果」において，水平方向の静的震度 0.36 と 0.57 の耐震評価を実施している。静的震度 0.57 の場合は発生応力を評価すると S=56[MPa]となり，一次許容応力を下回る。

以上

第二セシウム吸着装置における Cs 及び Sr の除去について

1. はじめに

止水扉等により耐水性を向上している高温焼却炉建屋に設置されている第二セシウム吸着装置に Cs 及び Sr を除去する吸着塔（以下,「同時吸着塔」という）を装荷することで，滞留水の移送・貯留時におけるリスクの低減を図る。

2. 基本設計

2.1 設計方針

(1) 処理能力

同時吸着塔は,滞留水に含まれる Cs 濃度を適切な値に低減する能力を有すること。また，Sr については，滞留水に含まれる濃度を低減する能力を有すること。

(2) 構造

同時吸着塔は，吸着材をステンレス製の容器に充填し，周囲は鉛等による遮へい材で覆う構造とする。

(3) 規格・規準等

同時吸着塔は，設計，材料の選定，製作及び検査について，原則として適切と認められる規格及び規準によるものとする。

(4) 放射性物質の漏えい及び管理されない放出の防止

同時吸着塔は，液体状の放射性物質の漏えいの防止のため，設置環境や内部流体の性状等に応じた適切な材料を使用する。

(5) 放射線遮へいに対する考慮

同時吸着塔は，放射線業務従事者等の線量を低減する観点から，放射線を適切に遮へいする設計とする。

(6) 崩壊熱除去に対する考慮

同時吸着塔は，放射性物質の崩壊熱による温度上昇を考慮し，必要に応じて崩壊熱を除去出来る設計とする。

(7) 可燃性ガスの滞留防止に対する考慮

同時吸着塔は，水の放射線分解により発生する可燃性ガスを適切に排出出来る設計とする。

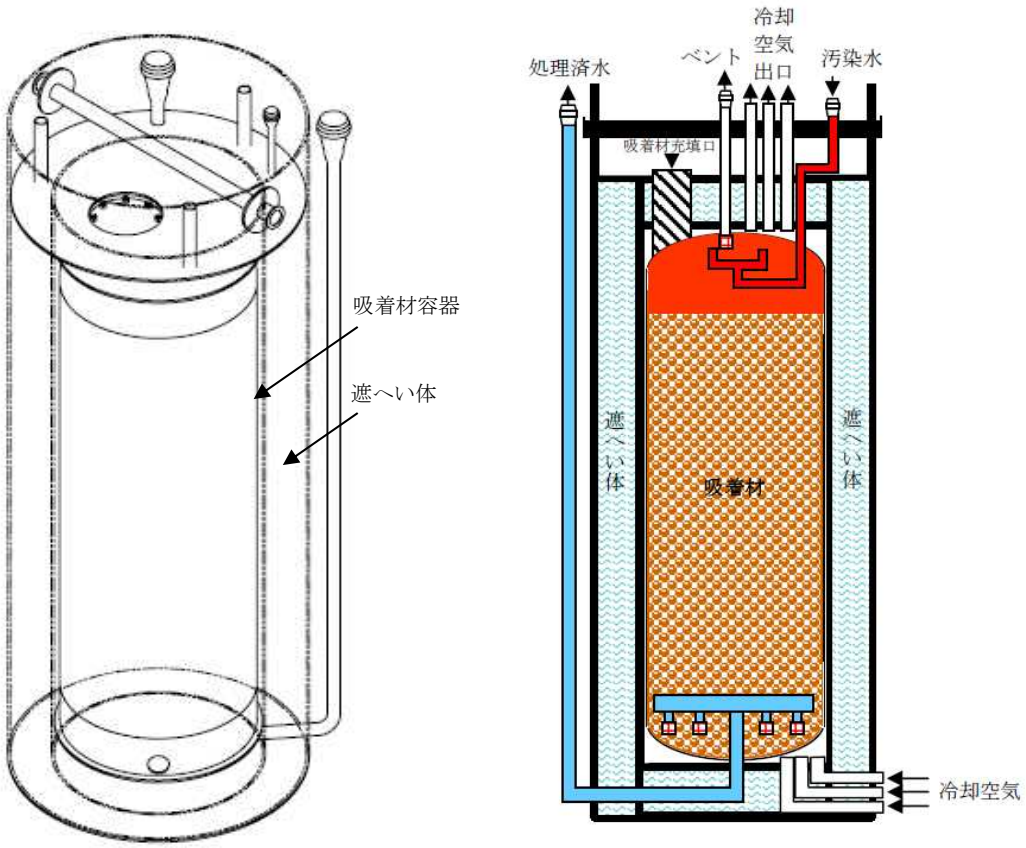
2.2 装置概要

同時吸着塔は，ステンレス製の容器（吸着材容器）に吸着材を充填し，周囲は鉛等で遮へいする構造とする。

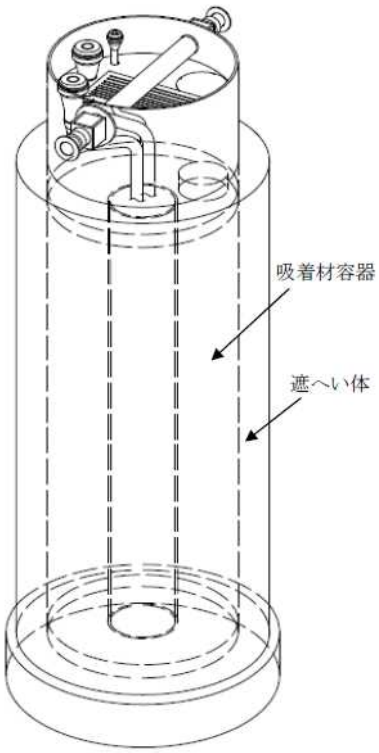
また，同時吸着塔には，吸着材容器が従来と同じ円筒形の構造（TYPE-A）のものと，中空円筒形の構造（TYPE-B1・B2・B3）のものがある。TYPE-A は，吸着材容器の外側の遮へい容器（二重筒構造）の中に鉛球等を充填する遮へい構造，TYPE-B1 は吸着材容器の外側を鉛板等で覆う遮へい構造，TYPE-B2・B3 は吸着材容器の外側を，鉛を鋳込んだ遮へいブロック等で覆う遮蔽構造とする。（図－１参照）

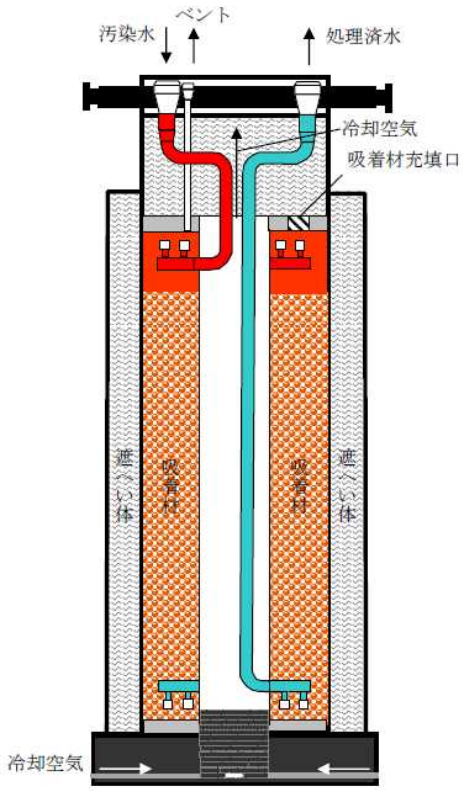
一部の同時吸着塔は，高性能多核種除去設備で発生した使用済 Cs/Sr 同時吸着塔（吸着材含む），サブドレン他浄化設備で発生した使用済 Cs/Sr 同時吸着材を再利用して使用する。

なお，TYPE-B1・B2・B3 を総称する場合は，TYPE-B と記載する。

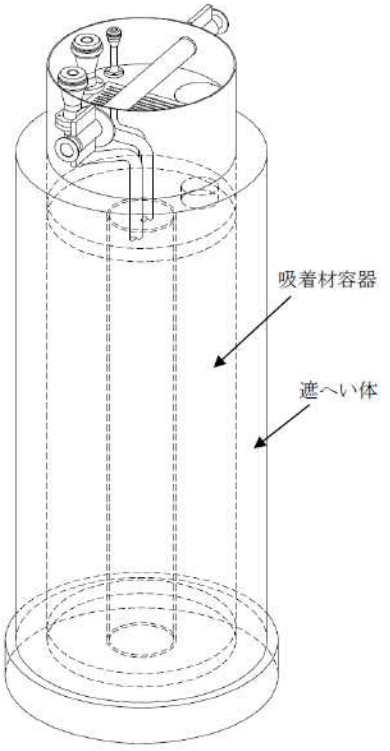


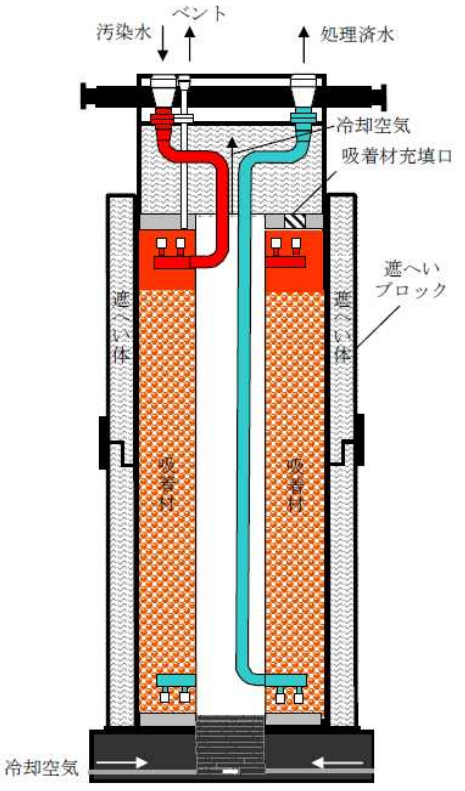
図－１（１／３）　同時吸着塔外形図及び概念図（TYPE-A）





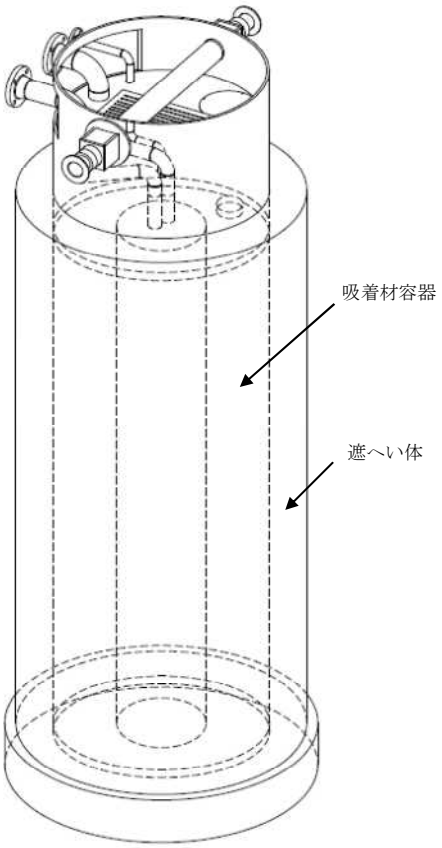
TYPE-B1

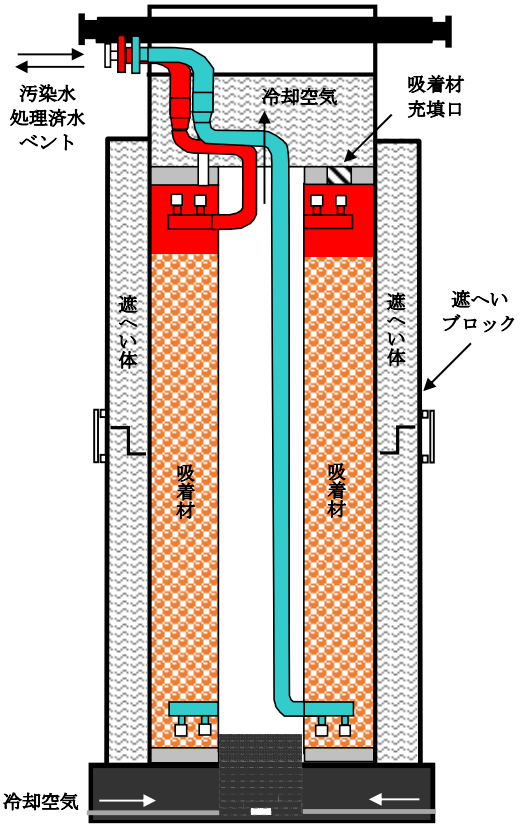




TYPE-B2

図－１（２／３）　同時吸着塔外形図及び概念図（TYPE-B1・B2）





図－１（３／３）　同時吸着塔外形図及び概念図（TYPE-B3）

2.3 同時吸着塔の性能

同時吸着塔による処理運転時の除染係数は，Cs については従来と同様，適切な値に低減することが要求される。一方，Sr の除去については，特に除染係数は設定せず，系統の出口放射能濃度が低減されていることを目標とする。

同時吸着塔の適用にあたっては，同時吸着塔の性能の低下等に備え，1 系列あたり，滞留水を同時吸着塔 2 塔（以下，「初期装荷の 2 塔」という。）及び Cs 吸着塔 2 塔に通水し，Cs 除去能力を維持した状態で，同時吸着塔の性能を確認※する。

また，同時吸着塔は，性能確認により，第二セシウム吸着装置の安定運転に支障がないことを確認した上で，塔数を増加させる。

※同時吸着塔の性能確認は，初期装荷の 2 塔の取替まで行う。

性能確認の方法は，最前段の同時吸着塔の入口／出口の試料を採取し，Cs 濃度を分析することで実施する。

初期装荷時に,最前段に装荷する同時吸着塔の性能確認の頻度は週 3 回程度とする。

また，初期装荷時に，後段に装荷した同時吸着塔の性能確認の頻度は，上記の性能確認の結果を踏まえ見直す予定。

なお，現状の滞留水の水質の場合，Cs 吸着塔は 2 塔で Cs 除去性能を満足する。

2.4 使用済吸着塔の貯蔵

同時吸着塔は，交換時，ろ過水による水置換・水抜きを行い，使用済セシウム吸着塔一時保管施設にて貯蔵する。

第二セシウム吸着装置からの使用済吸着塔の発生量は,年間 48 基程度と想定される。なお，使用済吸着塔保管容量が逼迫する場合には，第二セシウム吸着装置の稼働を優先し他設備の稼働を制限する。

3.構造強度及び耐震性

3.1 基本方針

3.1.1 同時吸着塔　構造強度評価の基本方針

同時吸着塔は,「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令」において，廃棄物処理設備に相当するクラス 3 機器に準ずるものと位置付けられる。クラス 3 機器の適用規格は,「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格　設計・建設規格」等（以下,「JSME 規格」という。）で規定されるが，第二セシウム吸着装置は，国内外の製造メーカーが技術的妥当性を有する規格や製造実績等を参考に設計・製作しており，これまで順調に処理を継続している。

従って，同時吸着塔は JSME 規格に限定するものではなく，American Society of Mechanical Engineers(以下,「ASME 規格」という。)BPVC Sec.Ⅷ,日本産業規格(JIS)，またはこれらと同等の技術的妥当性を有する規格での設計・製作・検査を行う。また，日本産業規格（JIS)，国内外の民間規格に適合した工業用品を採用する。

溶接（溶接施工法および溶接士）は JSME 規格，ASME 規格，日本産業規格（JIS)，および発電用火力設備に関する技術基準を定める省令にて認証された溶接，または同等の溶接とする。また，JSME 規格で規定される材料の日本産業規格（JIS）年度指定は，技術的妥当性の範囲において材料調達性の観点から考慮しない場合もある。

3.1.2 同時吸着塔　耐震性評価の基本方針

同時吸着塔は,「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の B クラス相当の設備と位置づけられる。耐震性を評価するにあたっては,「JEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規程」(以下,「耐震設計技術規程」という。）等に準拠して構造強度評価を行うことを基本とするが，評価手法，評価基準について実態にあわせたものを採用する。B クラス施設に要求される水平震度に対して耐震性を確保できない場合は，その影響について評価を行う。

なお，同時吸着塔については，参考として S クラス相当の評価を行う。

3.1.3 使用済セシウム吸着塔保管施設　構造強度の基本方針

『2.5　汚染水処理設備等　添付資料－３　2.1.1 構造強度評価の基本方針』に同じ。

3.1.4 使用済セシウム吸着塔保管施設　耐震評価の基本方針

『2.5　汚染水処理設備等　添付資料－３　2.1.2 耐震性評価の基本方針』に同じ。

3.2 評価結果

(1)構造強度評価（同時吸着塔）

吸着材容器について，設計・建設規格に準拠し，板厚評価を実施した。評価の結果，内圧または外圧に耐えられることを確認した（表－１）。

＜内面に圧力を受ける円筒形の胴の場合＞

$$t = \frac{PDi}{2S\eta - 1.2P}$$

t ： 胴の計算上必要な厚さ
Di ： 胴の内径
P ： 最高使用圧力
S ： 最高使用温度における材料の許容引張応力
η ： 長手継手の効率

＜外面に圧力を受ける円筒形の胴の場合＞

$$t = \frac{3PD_o}{4B}$$

t ： 胴の計算上必要な厚さ
Do： 胴の外径
P ： 最高使用圧力
B ： 設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図 1 から図 20 までにより求めた値

ただし，t の値は炭素鋼，低合金鋼の場合は t =3[mm]以上，その他の金属の場合は t=1.5[mm]以上とする。

表－１　同時吸着塔　構造強度結果

機器名称	TYPE	評価部位	必要肉厚[mm]	実厚[mm]
第二セシウム吸着装置 同時吸着塔	TYPE-A	板厚	9.6	12
	TYPE-B1・B2	板厚（外筒胴）	8.1	12.7
	TYPE-B1・B2	板厚（内筒胴）	7.3	12.7
第二セシウム吸着装置 同時吸着塔(S32205)	TYPE-B3	板厚(外筒胴)	5.0	12.7
	TYPE-B3	板厚(内筒胴)	7.2	12.7
第二セシウム吸着装置 同時吸着塔(S32750)	TYPE-B3	板厚(外筒胴)	4.1	12.7
	TYPE-B3	板厚(内筒胴)	7.2	12.7

(2)構造強度評価（配管（鋼製））

設計・建設規格に基づき板厚評価を実施した。評価の結果，最高使用圧力に耐えられることを確認した（表－２）。

$$t = \frac{PDo}{2S\eta + 0.8P}$$

t ： 管の計算上必要な厚さ
D_0 ： 管の外径
P ： 最高使用圧力[MPa]
S ： 最高使用温度における材料の許容引張応力[MPa]
η ： 長手継手の効率

表－２　同時吸着塔　配管構造強度評価結果

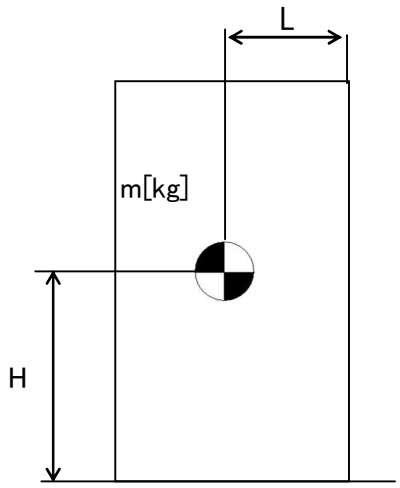
評価機器	口径	Sch.	材質	最高使用圧力[MPa]	最高使用温度[℃]	必要肉厚[mm]	実厚[mm]
配管①	50A	40	SUS316L	1.37	66	0.39	3.9
配管②	80A	40	SUS316L	1.37	66	0.57	5.5
配管③	50A	40	ASME SA790 S32205	1.37	66	0.22	3.91
配管④	80A	40	ASME SA790 S32205	1.37	66	0.33	5.49
配管⑤	50A	40	ASME SA790 S32750	1.37	66	0.19	3.91
配管⑥	80A	40	ASME SA790 S32750	1.37	66	0.27	5.49
配管⑦	50A	40	ASME SA312 S31603	1.37	66	0.40	3.91

(3)耐震性評価（第二セシウム吸着装置）

同時吸着塔（第二セシウム吸着装置）の耐震性評価は，機器質量及び据付面からの重心までの距離が大きいTYPE-Bにより評価する。

a. 転倒評価

地震による転倒モーメントと自重による安定モーメントを算出し，それらを比較することにより転倒評価を実施した。評価の結果，地震による転倒モーメントは自重による安定モーメントより小さいことから，転倒しないことを確認した（表－３）。



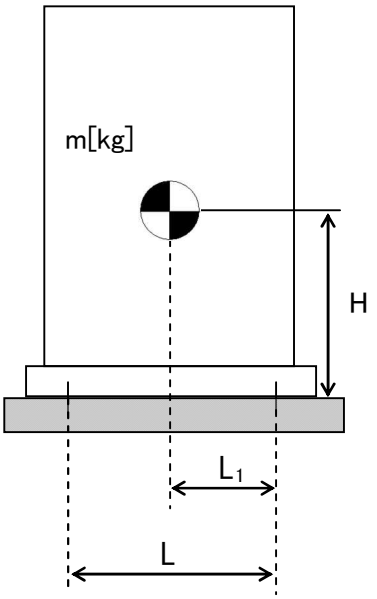
m ： 機器質量
g ： 重力加速度
H ： 据付面からの重心までの距離
L ： 転倒支点から機器重心までの距離
C_H ： 水平方向設計震度

地震による転倒モーメント：M_1[N・m]=m×g×C_H×H

自重による安定モーメント：M_2[N・m]=m×g×L

b. 基礎ボルトの強度評価

耐震設計技術規程の強度評価方法に準拠して評価を実施した。評価の結果，基礎ボルトの強度が確保されることを確認した（表－３）。



m ： 機器質量
g ： 重力加速度
H ： 据付面からの重心までの距離
L ： 基礎ボルト間の水平方向距離
L_1 ： 重心と基礎ボルト間の水平方向距離
n_f ： 引張力の作用する基礎ボルトの評価本数
n ： 基礎ボルトの本数
A_b ： 基礎ボルトの軸断面積
C_H ： 水平方向設計震度
C_V ： 鉛直方向設計震度

基礎ボルトに作用する引張力： $F_b = \frac{1}{L}\left(m \times g \times C_H \times H - m \times g \times (1 - C_V) \times L_1\right)$

基礎ボルトの引張応力： $\sigma_b = \frac{F_b}{n_f \times A_b}$

基礎ボルトのせん断応力： $\tau_b = \frac{m \times g \times C_H}{n \times A_b}$

表－３　第二セシウム吸着装置　同時吸着塔耐震評価結果

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
第二セシウム吸着装置 同時吸着塔	本体	転倒	0.36	170	195	kN･m
			0.41	193		
	基礎ボルト	せん断	0.36	41	133	MPa
			0.55	62		
		引張	0.36	<0	－	MPa
			0.55	56	143	

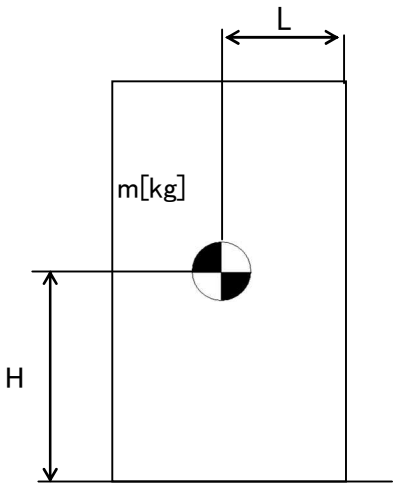
(4)耐震性評価（使用済セシウム吸着塔一時保管施設）

同時吸着塔（使用済セシウム吸着塔一時保管施設）の耐震性評価は，機器質量及び据付面からの重心までの距離が大きいTYPE-Bにより評価する。

a．転倒評価

地震による転倒モーメントと自重による安定モーメントを算出し，それらを比較することにより転倒評価を行った。なお，同時吸着塔10塔と同時吸着塔を格納する架台2台（一組）で評価を実施した。

評価の結果，地震による転倒モーメントは自重による安定モーメントより小さくなることから，転倒しないことを確認した（表－４）。



m ： 機器質量
g ： 重力加速度
H ： 据付面からの重心までの距離
L ： 転倒支点から機器重心までの距離
C_H ： 水平方向設計震度

地震による転倒モーメント：M_1[N・m]=m×g×C_H×H

自重による安定モーメント：M_2[N・m]=m×g×L

b. 滑動評価

同時吸着塔を格納する架台は，基礎ボルトにて固定していることから基礎ボルトに作用するせん断荷重と許容せん断荷重を比較することより滑動評価を実施した。基礎ボルトの許容せん断荷重は「日本建築学会：各種合成構造設計指針・同解説，鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」に基づき次式を用いた。評価の結果，基礎ボルトの破断による滑動が生じないことを確認した（表－４）。

$$q = mg(C_H - \alpha) \div n$$

$$q_a = 0.75 \cdot \phi_{S3}\left(0.5 \cdot {}_{SC}a \cdot \sqrt{F_c \cdot E_c}\right)$$

q ： アンカーボルト一本に作用するせん断荷重

q_a ： アンカーボルト一本当たりの許容せん断荷重

C_H ： 水平方向設計震度

m ： 機器重量

g ： 重力加速度

α ： 機器と床版の摩擦係数

n ： 機器あたりのアンカーボルト本数

ϕ_{S3}：短期荷重に対する低減係数

${}_{sc}a$： アンカーボルトの定着部の断面積

F_c ： コンクリート設計基準強度

E_c ： コンクリートのヤング率

表－４　使用済セシウム吸着塔一時保管施設　同時吸着塔耐震評価結果

機器名称	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
同時吸着塔＋架台	転倒	0.36	2.0×10^3	4.3×10^3	kN･m
		0.60	3.3×10^3		
	滑動 （ボルトせん断）	0.36	<0	－	kN
		0.60	10	77	

4. 同時吸着塔の具体的な安全確保策

同時吸着塔は，高濃度の放射性物質を扱うため，漏えい防止対策，放射線遮へい，崩壊熱除去，可燃性ガス滞留防止，環境条件等について具体的に安全確保策を以下の通り定め，実施する。

4.1 放射性物質漏えい防止等に対する考慮

(1)漏えい発生防止等

a. 同時吸着塔の吸着材容器は，腐食による漏えい発生を防止するために，耐腐食性を有するステンレス材の使用を基本とする。

(2)漏えい検知・漏えい拡大防止

『2.5　汚染水処理設備等　添付資料－５　1.1.(2)漏えい検知・漏えい拡大防止』に同じ。

(3)放射線遮へい・被ばく低減に対する考慮

a. 同時吸着塔は，放射線業務従事者の被ばく低減のため，現行の設備と同様に，吸着塔表面の線量当量率が 4mSv/h 以下となるように遮へいする。

b. 同時吸着塔は，吸着塔交換等の際，放射線業務従事者が近づく可能性があることから，吸着塔表面の線量当量率等の表示により注意喚起することで，放射線業務従事者の被ばく低減を図る。

(4)崩壊熱除去

a. 同時吸着塔に吸着した放射性物質の崩壊熱は,処理水を通水することにより除熱する。また，通水がない状態でも崩壊熱による温度上昇は１時間当たり 2℃未満である。

なお，吸着塔内部の温度は，最も高温となる水を抜いた状態であっても，吸着材及び構造材料に影響しない範囲で収束する。

(5) 可燃性ガスの滞留防止

a. 水の放射線分解により発生する可能性のある可燃性ガスは，通水時は処理水とともに排出される。通水停止後は，吸着塔上部に設けたオートベント弁・ベント管を介して可燃性ガスを屋外に排出する。

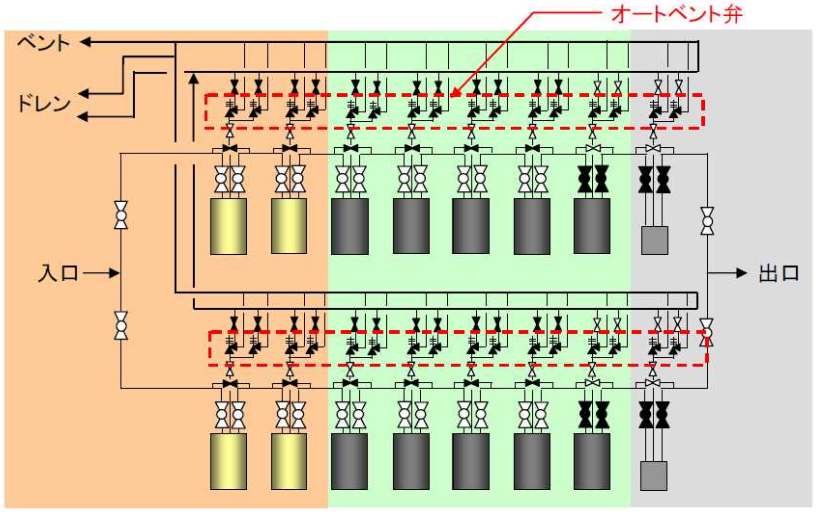


図２　系統概略図（オートベント弁の設置箇所）

4.2 環境条件対策

(1) 腐食

同時吸着塔は，耐腐食性を有するステンレス材を用いており，腐食により滞留水が漏えいする懸念はない。

(2) 熱による劣化

滞留水の温度は，ほぼ常温のため，金属材料の劣化の懸念はない。

(3) 凍結

滞留水を処理している過程では，水が流れているため凍結の恐れはない。滞留水の処理を停止した場合でも，同時吸着塔は屋内に設置されていることから，凍結の懸念はない。

(4) 使用済吸着塔長期保管時の考慮

同時吸着塔は耐腐食性を有する材料選定※，漏えい防止措置（水抜き状態での保管），安全評価（崩壊熱・可燃性ガス・遮へいに係わる解析評価）等により，長期保管を考慮した設計としている。また，以下の環境条件については，長期保管に影響しないことを確認している。

※同時吸着塔は，耐腐食性を有する材料（ステンレス材）であるが，腐食により損傷が発生する可能性を低減する観点で，吸着塔内部の滞留水をろ過水で置換し，水抜きした状態で貯蔵する。なお，新たな知見が確認された場合には，点検等の必要性について検討する。

a. 熱による劣化

同時吸着塔はステンレス材を用いており，温度評価の結果を踏まえると，熱による影響は考えにくい。

b. 凍結

長期保管中，同時吸着塔は水抜きされた状態で保管されることから，凍結に対する配慮は必要ない。

c. 生物汚染

長期保管中，同時吸着塔は水抜きされた状態で保管されることから，生物汚染に対する配慮は必要ない。

d. 耐放射線性

同時吸着塔は，ステンレス材を用いており，樹脂系のような放射線による劣化は考えにくい。

e. 紫外線

同時吸着塔はステンレス材を用いており，樹脂系のような紫外線劣化は考えにくい。

f. 可燃性ガスの滞留防止

使用済吸着塔は，可燃性ガスの発生抑制のため，内部の水抜きを実施する。また，ベントを開けた状態で保管することにより，可燃性ガスを大気に放出する。

4.3 火災対策

同時吸着塔は，火災発生を防止するため，実用上可能な限り不燃性又は難燃性材料を使用する。また，初期消火のために，近傍に消火器を設置し，避難口の表示を設置する。なお，火災発生は，巡視点検，監視カメラにより確認できる。

5. 温度評価

5.1 評価概要

滞留水の処理に伴い使用済吸着塔が発生する。これらは，水抜き後に使用済セシウム吸着塔一時保管施設に一時的に貯蔵するが，高濃度の放射性物質を内包していることから崩壊熱による温度上昇を評価し，同時吸着塔の機能への影響について確認を行う。

なお，同時吸着塔の温度評価では，保守的に，吸着材容器内部の温度上昇に伴い生じる，外気と吸着材容器内部の空気の置換を考慮しない。

5.2 評価方法

使用済セシウム吸着塔一時保管施設で保管する際の同時吸着塔内部の最高温度について評価を行う。

同時吸着塔は使用済セシウム吸着塔一時保管施設では図－３，４に示すように鉛遮へい体を含む容器として保管される。

＜TYPE-A＞

遮へい容器上下には配管があり，内部空気温度が上昇して対流が発生することで外気が入口配管から流入し，吸着材容器側面で上昇流となり，出口配管から流出する。これにより吸着材容器外表面及び遮へい容器内表面は空気の自然通風で除熱される。また，遮へい容器外表面は空気の自然対流で除熱される。

同時吸着塔の温度は，セシウム吸着（約 2.1×10^{15}Bq/塔），ストロンチウム吸着（約 1.2×10^{15}Bq/塔）による発熱量，外気温度を 40℃と仮定し，STAR-CD Ver4.08 を用いて三次元解析により求めた。

＜TYPE-B1・B2＞

TYPE-B1・B2 は，熱伝導率が小さく，吸着塔内の温度が高くなる TYPE-B1 により評価する。遮へい容器の上下に開口部を設けてあり，遮へい容器下部の中心部はラビリンス構造となっている。内部の空気温度が上昇して対流が発生すると，外気は下部開口部からラビリンス部を経て吸着材容器中空部で上昇流となり，遮へい容器上部の開口部から流出する。これにより，吸着材容器は空気の自然通風により除熱される。また，遮へい容器外表面は空気の自然対流で除熱される。

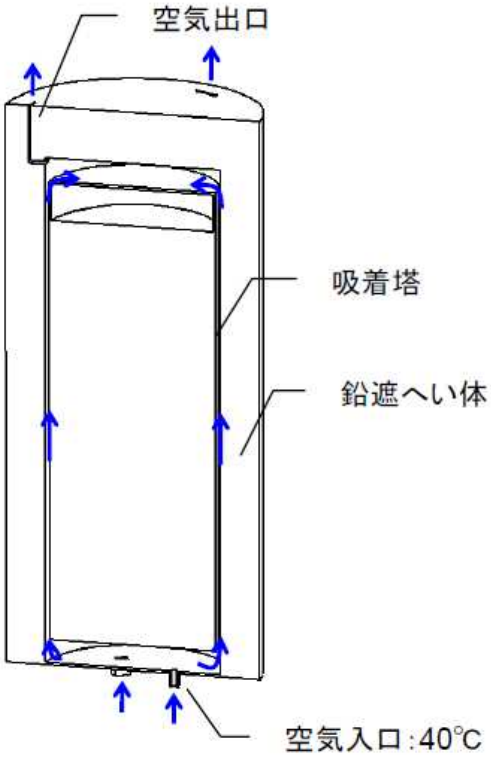
吸着塔の温度は，セシウム吸着（約 3.8×10^{15}Bq/塔），ストロンチウム吸着（約 2.2×10^{15}Bq/塔）による発熱量，外気温度を 40℃と仮定し，STAR-CCM+Ver.7.06 を用いて三次元解析により求めた。

＜TYPE-B3＞

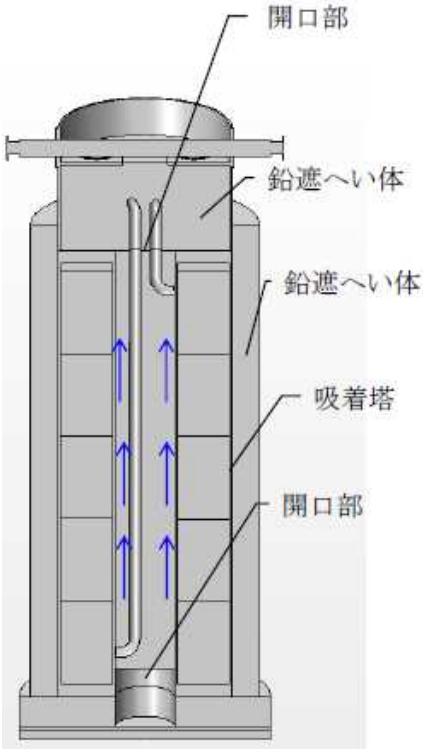
TYPE-B3 は，TYPE-B1・B2 と同様の構造である。吸着塔の温度は，セシウム吸着（約 3.8×10^{15}Bq/塔），ストロンチウム吸着（約 2.5×10^{15}Bq/塔）による発熱量，外気温度を 40℃と仮定し，STAR-CCM+Ver.12.04 を用いて三次元解析により求めた。

5.3 評価結果

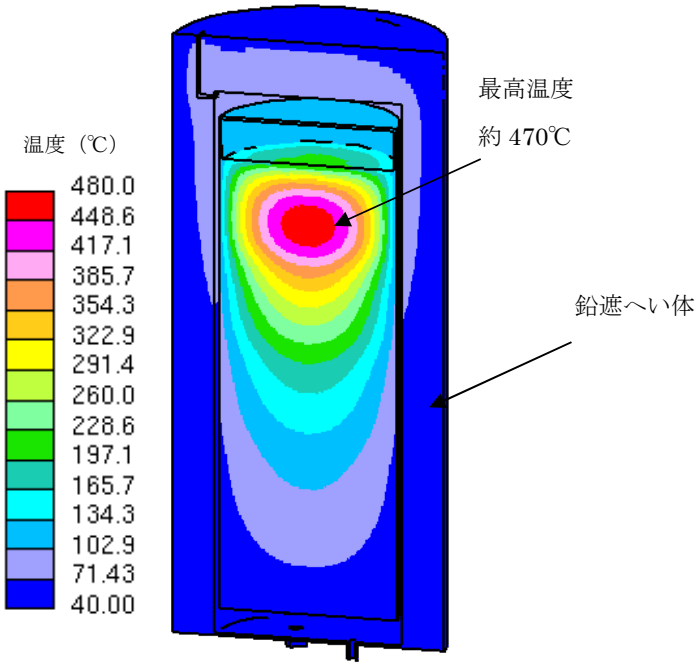
評価の結果，大気への放熱が定常になる際の同時吸着塔中心部温度は，TYPE-A において約 470℃，TYPE-B1・B2 において約 340℃，TYPE-B3 において約 320℃，鉛の最高温度は，TYPE-B1・B2 において約 210℃，TYPE-B3 において約 140℃と評価された。同時吸着塔内での発熱は吸着材の健全性（吸着材は 600℃程度まで安定）や鉛の遮へい性能に影響を与えるものではないことを確認した。TYPE-A の評価結果を図－５，TYPE-B の評価結果を図－６に示す。



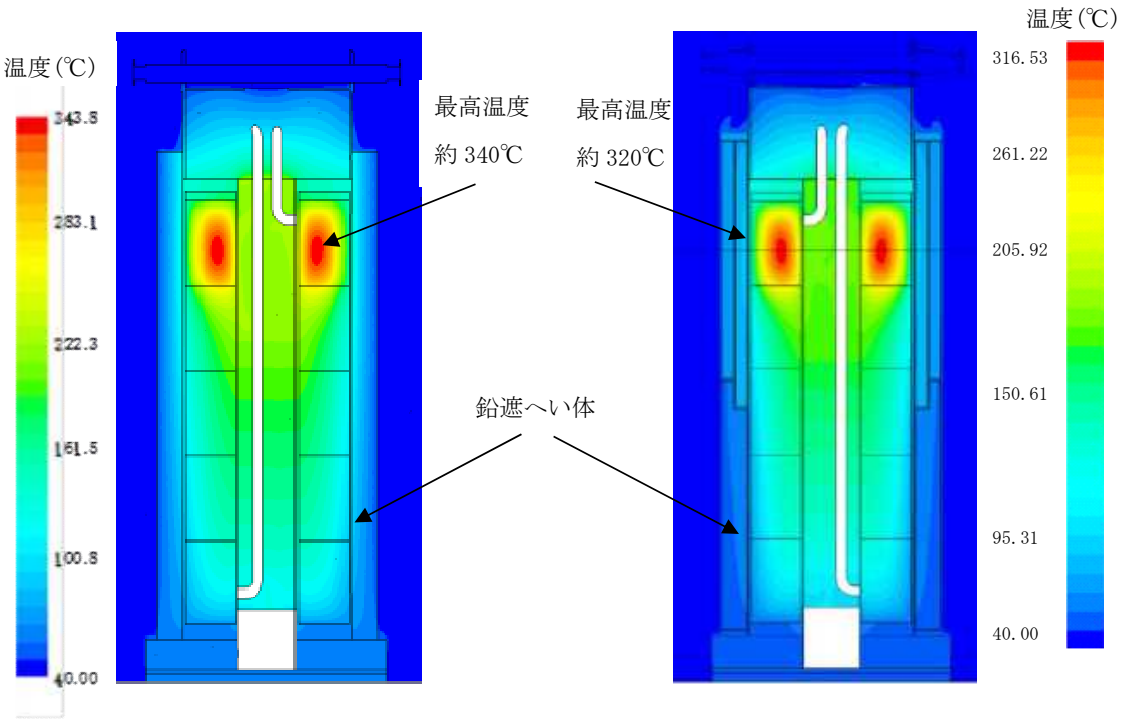
図－３　（TYPE-A）同時吸着塔
解析モデル（概念図）



図－４　（TYPE-B）同時吸着塔
解析モデル（概念図）



図－５　（TYPE-A）三次元解析による
同時吸着塔の温度分布



図－６　（左：TYPE-B1・B2，右：TYPE-B3）三次元解析による同時吸着塔の温度分布

6. 水素評価

6.1 評価概要

使用済吸着塔は，可燃性ガスの発生抑制のため，内部の水抜き後に使用済セシウム吸着塔一時保管施設に一時的に貯蔵するが，高濃度の放射性物質を内包しており，内部に残留する湿分等の放射線分解により，可燃性ガスが発生する恐れがあることから，使用済吸着塔内部の可燃性ガスの濃度を評価し，その濃度が 4%未満であることを確認する。なお，同時吸着塔の水素評価では，吸着材領域が水で満たされているとし，保守的に吸着塔内部の温度上昇は考慮しない。

6.2 評価方法

吸着塔内の吸着材充填領域から発生した可燃性ガスは，吸着塔上部の空間部に排出され，空気との混合気体となる。吸着塔は，保管時にベント管と取水側のノズルを開放し，上部空間の混合気体は空気との密度差により上昇しベント管から排出される。また，排出された混合気体の体積に応じて，取水側ノズルから空気が流入する（図 7 参照）。このときの混合気体の排出と空気の流入量を算出し，吸着塔内の水素濃度を評価した。

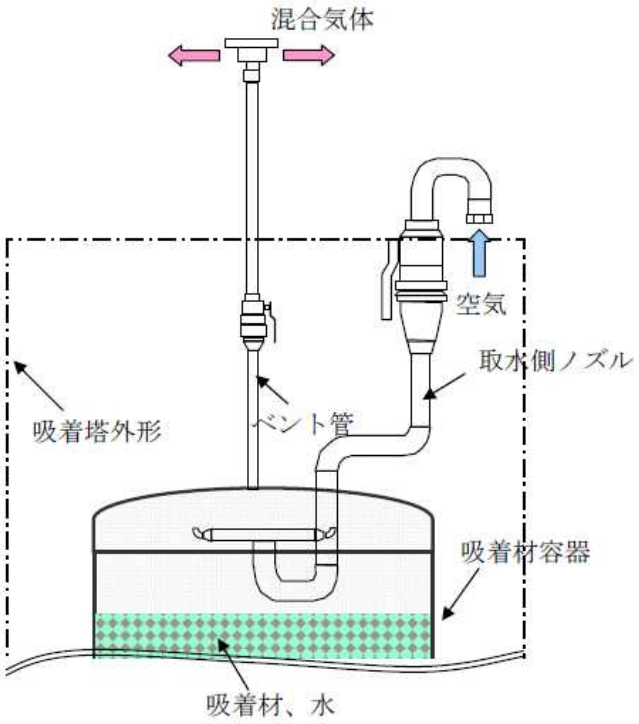


図 7　使用済吸着塔　保管時の概略図（TYPE-A の例）

6.3水素発生量

水素は，吸着した核種の崩壊エネルギーが容器内に残留する水に吸収され発生する。水素発生速度H(mol/s)は次式により求めた。

$$H = G \times E \div A$$

H：水素発生速度

G：水が100eVのエネルギーを吸収した際に発生する水素分子の個数，0.45

E：水が吸収するエネルギー：(TYPE-A)　　約1.69×10^{19}（100eV/s）

(TYPE-B1・B2) 約5.14×10^{19}（100eV/s）

(TYPE-B3)　　約7.13×10^{19}（100eV/s）

A：アボガドロ数（6.02×10^{23}個/mol）

6.4評価結果

評価の結果，吸着塔の自然換気が定常となる際の可燃性ガスの濃度は，TYPE-A において約3.0%，TYPE-B1・B2 において約3.1%，TYPE-B3 において約3.6%と評価された。

なお，吸着塔内部の温度上昇を考慮した場合（ΔT=15℃），吸着塔内部の可燃性ガスの濃度は，TYPE-A において約1.5%，TYPE-B1・B2 において約1.7%，TYPE-B3 において約2.5%と評価された。

7. 同時吸着塔の確認の方針について

7.1 構造強度及び機能・性能に関する事項

同時吸着塔の構造強度及び機能・性能に関する確認事項を表－５に示す。

7.2 溶接部に関する事項

溶接部に関する確認事項を表－６に示す。

なお，海外からの輸入品に関する確認記録には，工程管理表等が含まれる。

7.3 主配管（鋼管）に関する事項

主配管（鋼管）に関する確認項目を表－７に示す。

7.4 主配管（耐圧ホース）に関する事項

主配管（耐圧ホース）に関する確認項目を表－８に示す。

表－５　構造強度及び機能・性能に関する確認事項

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度・耐震性	材料確認	使用材料を確認する。	実施計画の通りであること（※1）
	寸法確認	主要寸法（板厚，内径（または外径））を確認する。	実施計画の通りであること（※1）
	外観確認 据付確認	吸着塔の外観に有意な欠陥がないことを確認する。 吸着塔の据付状態を確認する。	有意な欠陥がないこと。 吸着塔の据付状態に異常のないこと。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていること，各部からの漏えいのないことを確認する。	確認圧力に耐え，かつ構造物の変形がないこと。また，各部から漏えいのないこと。
機能・性能（※2）	機能確認	通常運転状態にて漏えい試験を行う。	各部から漏えいのないこと。
	性能確認	通常運転状態にて系統出口水の放射能濃度を確認する。	系統出口水の放射能が低減されていること。

（※1）別紙-1 参照

（※2）外観の確認等により代替する場合がある。

表－６　溶接部に関する確認事項

確認項目	確認内容 (※1)	判定
材料確認	使用材料を確認する。	実施計画に記載の材料が使用されていること。(※2)
		溶接に使用する材料が，ASME Sec.Ⅷ等に適合するものであり，溶接施工法の母材の区分に適合するものであること。
開先確認	開先面に溶接に悪影響を及ぼす欠陥，付着物の有無を確認する。	開先面に溶接に悪影響を及ぼす欠陥，付着物がないこと。
	開先形状がJSME規格・ASME規格等に適合していることを確認する。	開先形状がJSME規格・ASME規格等に適合していること。
溶接作業確認	溶接施工法が，確認試験等により，適合性が確認されたものであることを確認する。	溶接施工法が，溶接規格第２部に定める溶接施工法認証標準に基づく確認試験を実施し合格したもの，または電気事業法に基づき実施された検査において適合性が確認されたもの，または溶接施工法認証標準と同等の施工会社社内認証標準に基づく確認試験を実施し合格したもの，またはASME規格に基づき認定されたものであること。
	溶接士は，実機作業が可能となる次のいずれかの資格を有し，同資格が有効期限内であることを確認する。 ・溶接規格第３部に定める溶接士技能認証標準に基づく有資格者 ・溶接技能認証標準と同等と認められるJISの適合性証明書交付受領者 ・溶接技能認証標準と同等の施工会社社内技能認証標準に基づく有資格者 ・電気事業法に基づき実施された検査において適合性が確認された有資格者 ・ASME規格に基づき認定された有資格者	溶接士は，実機作業が可能となる次のいずれかの資格を有し，同資格が有効期限内であること。 ・溶接規格第３部に定める溶接士技能認証標準に基づく有資格者 ・溶接技能認証標準と同等と認められるJISの適合性証明書交付受領者 ・溶接技能認証標準と同等の施工会社社内技能認証標準に基づく有資格者 ・電気事業法に基づき実施された検査において適合性が確認された有資格者 ・ASME規格に基づき認定された有資格者
	溶接が，適合性を有する溶接施工法によって，溶接士の保有する資格の作業範囲内で行われていることを確認する。	溶接が，適合性を有する溶接施工法で行われていること。 溶接士が保有する資格の作業範囲内で行われていること。
非破壊確認(※4)	溶接部について非破壊検査を行い，その結果がJSME規格またはASME規格等に適合することを確認する。	溶接部の非破壊検査結果がJSME規格またはASME規格等に適合していること。
機械確認(※4)	溶接部を代表する試験片にて機械試験を行い，当該試験片の機械的性質がJSME規格等に適合することを確認する。(※3)	溶接部を代表する試験片の機械試験結果が，JSME規格等に適合していること。
耐圧確認	確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていること，各部からの漏えいのないことを確認する。 また，耐圧確認が困難な箇所については，代替試験にて確認する。	耐圧試験に耐え，かつ，漏えいがないこと。 代替試験については，JSME規格またはASME規格等に適合していること。
外観確認	溶接部の外観に異常がないことを確認する。	溶接部の外観に異常がないこと。

（※1）海外からの輸入品に関する確認範囲は，「東京電力株式会社福島第一原子力発電所原子炉施設の保安及び特定核燃料物質の防護に関する規則」の第 26 条第 4 号に規定する範囲とする。
なお，適用する規格等で使用が認められている材料の溶接部に関わる確認は，適用する規格等の条件に適合していることについて行う。

（※2）別紙-1 参照

（※3）実機と同じ溶接条件，同仕様の材料で製作した試験片により確認する場合がある。

（※4）適用する規格等に要求がない場合は確認を省略する。

表－７　確認事項（主配管（鋼管））

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した外径，厚さについて記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認 ※1	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認 ※1	配管の据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認 ※1 ※2	確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることを確認する。 耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいの有無を確認する。	圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。 また，耐圧部から漏えいがないこと。

※１　現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する。
※２　耐圧確認が困難な箇所については代替試験にて確認する。

表－８　確認事項（主配管（耐圧ホース））

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した外径について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認 ※1	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認 ※1	配管の据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認 ※1	確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることを確認する。 耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいの有無を確認する。	圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。 また，耐圧部から漏えいがないこと。

※１　現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する。

同時吸着塔の主要仕様

１．塔　　数　　（最大）５塔／系

２．使 用 条 件　　最高使用圧力：1.37MPa

　　最高使用温度：66℃

３．性　　能　　Cs：系統の出口放射能濃度が 10^2 オーダーBq/cc 以下であること

　　Sr：放射能濃度が低減されていること

４．主 要 仕 様

(1) TYPE-A

項　　目		仕　　様
構造		円筒形
材料	胴板	SUS316L
	遮へい材	Pb
	付属配管（鋼管）	SUS316L
寸法	外径	Φ914.4mm
	胴板（厚さ）	12mm
	付属配管（鋼管） （呼び径／厚さ）	50A／Sch.40 80A／Sch.40（相当材を含む）

(2)TYPE-B1

項　　目		仕　　様
構造		中空円筒形
材料	胴板	ASME SA240 TYPE 316L ASME SA312 TYPE 316L
	遮へい材	Pb
	付属配管（鋼管）	ASME SA312 TYPE 316L ASTM A312　TYPE 316L
寸法	外径（外筒胴）	Φ965.2mm
	内径（内筒胴）	Φ330.2mm
	胴板（厚さ）	12.7mm
	付属配管（鋼管） （呼び径／厚さ）	50A／Sch.40S 80A／Sch.40S

(2)TYPE-B2

項　　目		仕　　様
構造		中空円筒形
材料	胴板	ASME SA240 TYPE 316L ASME SA312 TYPE 316L ASME SA240 UNS S31803 ASME SA790 UNS S31803 ASME SA240 UNS S32205 ASME SA790 UNS S32205
	遮へい材	Pb
	付属配管（鋼管）	ASME SA312 TYPE 316L ASTM A312　TYPE 316L ASME SA790 UNS S32205 ASTM A790　UNS S32205 ASME SA790 UNS S31803 ASTM A790　UNS S31803
寸法	外径（外筒胴）	Φ965.2mm
	内径（内筒胴）	Φ330.2mm
	胴板（厚さ）	12.7mm
	付属配管（鋼管） （呼び径／厚さ）	50A／Sch.40S 80A／Sch.40S

(3) TYPE-B3

項　目		仕　様
構　造		中空円筒形
材　料	胴板	ASME SA240　S32205 ASME SA240　S32750 ASME SA790　S32205 ASME SA790　S32750
	遮へい材	Pb
	付属配管(鋼管)	ASME SA790　S32205 ASME SA790　S32750
寸　法	外径(外筒胴)	φ965.2mm
	内径(内筒胴)	φ330.2mm
	胴板(厚さ)	12.7mm
	付属配管(鋼管) (呼び径/厚さ)	50A／Sch.40 80A／Sch.40

以上

添付資料－１８

廃止（RO 濃縮塩水を移送する配管の追設について）

フランジタンク撤去に伴い本内容を削除

以上

滞留水移送装置による水位調整が不可能なエリアの対応について

1. 基本的対応方針について

滞留水移送装置は，１～４号機の各建屋に１箇所の排水位置を計画しているが，建屋排水系等の連通によって，建屋のほとんどのエリアで水位調整が行えるものと考えられる。しかしながら，今後の建屋水位低下や連通部の位置関係から，局所的に水位調整が出来なくなるエリアが発生することも想定される。このような状態変化に伴って，エリア水抜きが困難と評価した場合は，Ⅲ.3.1.7 の運用に基づき個別に対応を行う。

添付資料－２０

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の地下階を介さずに滞留水を処理装置へ移送する設備について

1.基本設計

1.1 設置の目的

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の地下階を介さずに滞留水を処理装置へ移送する設備（以下，「直送設備」という。）は，滞留水移送装置から送られる滞留水をプロセス主建屋地下階，高温焼却炉建屋地下階を介さずにセシウム吸着装置，第二セシウム吸着装置へ移送すること，滞留水をプロセス主建屋地下階，高温焼却炉建屋地下階へ移送することを目的とする。

1.2設計方針

(1)規格・基準

設計，材料の選定，製作及び検査について，JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（JSME 規格），日本産業規格（JIS 規格）等※1 を適用することにより信頼性を確保する。

※1

「金属材料に関する規格」

・JIS G 3454 圧力配管用炭素鋼鋼管（主配管）

・欧州規格（ポンプ）

「非金属材料に関する規格」

・JWWA K144 水道配水用ポリエチレン管（主配管）

・ISO 規格（主配管）

「溶接に関する規格」

・JSME S NB1 発電用原子力設備規格 溶接規格等

(2)長期停止に対する考慮

直送設備のうち移送ポンプについては多重化，配管については各移送先へ移送する配管を独立させることで，単一故障時に切替え作業等によって，速やかな移送再開が可能なよう設計する。また，電源喪失時においても，弁の手動操作により，プロセス主建屋地下階，高温焼却炉建屋地下階への移送，セシウム吸着装置への移送再開が可能な設計とする。

(3)誤操作の防止に対する考慮

直送設備は，運転員の誤操作を防止するため，運転操作手順書を整備し，弁銘板の取付けを行う。運転員の誤操作，誤判断を防止するために，特に重要な操作については，ダブ

ルアクションを要する等の設計とする。

(4)設備保全に対する考慮

直送設備は，機器の重要度に応じた有効な保全を計画し，実施が可能な設計とする。

(5)検査可能性に対する設計上の考慮

直送設備は，適切な方法で検査ができるよう，漏えい検査・通水検査等が可能な設計とする。

(6)監視・操作に対する考慮

直送設備は，シールド中央制御室もしくは免震重要棟集中監視室において計器の監視，警報発報及び遠隔操作が可能な設計とする。

1.3　主要な設備

直送設備の主要設備は，ポンプと配管から構成される。ポンプと配管の仕様詳細は 2.5.2 基本仕様（以下抜粋）を参照。

①第二セシウム吸着装置第二ブースターポンプ（完成品）

台数　　2

容量　　50m^3/h（1 台あたり）

揚程　　103m

②セシウム吸着装置ブースターポンプ（完成品）

台数　　2

容量　　50m^3/h（1 台あたり）

揚程　　103m

③配管

主要配管仕様（１／２）

名称	仕様	
４号機弁ユニットから プロセス主建屋，高温焼却炉建屋弁ユニット入口まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃
４号機弁ユニット入口分岐から ４号機弁ユニット出口合流まで	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃
	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch.40 STPG370 1.0MPa 40℃
高温焼却炉建屋弁ユニット入口から 高温焼却炉建屋弁ユニット出口まで	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch.80 STPG370 1.0MPa 40℃
高温焼却炉建屋弁ユニット出口から 高温焼却炉建屋北側取り合いまで	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃

主要配管仕様（２／２）

名称	仕様	
高温焼却炉建屋１階取り合いから 高温焼却炉建屋弁ユニット出口まで	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃
	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A／Sch.80 STPG370 1.37MPa 66℃
高温焼却炉建屋弁ユニット出口から 高温焼却炉建屋１階東側取り合いまで	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃
	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A/Sch.80, 100A/Sch.80 STPG370 1.37MPa 66℃
高温焼却炉建屋弁ユニット出口から 高温焼却炉建屋１階ハッチまで	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃
高温焼却炉建屋弁ユニット出口から 第二セシウム吸着装置入口まで	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃
	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A/Sch.80, 100A/Sch.80 STPG370 1.37MPa 66℃
プロセス主建屋１階西側取り合いから プロセス主建屋地下階	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A／Sch.80 STPG370,STPT370 1.37MPa 66℃

2. 構造強度及び耐震性

2.1 構造強度

直送設備は,「実用発電用原子炉及びその附属設備の技術基準に関する規則」において,廃棄物処理設備に相当するクラス 3 機器に準ずるものと位置付けられ,「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格」(以下,「JSME 規格」という。),日本産業規格(JIS)等の国内外の民間規格に適合した工業用品の採用,日本産業規格(JIS)またはこれらと同等の技術的妥当性を有する規格での設計・製作・検査を行う。

溶接(溶接施工法および溶接士)は JSME 規格,日本産業規格(JIS),および発電用火力設備に関する技術基準を定める省令にて認証された溶接,または同等の溶接とする。また JSME 規格で規定される材料の日本産業規格(JIS)年度指定は,技術的妥当性の範囲において材料調達性の観点から考慮しない場合もある。さらに,JSME 規格に記載のない非金属材料(ポリエチレン管等)については,日本産業規格(JIS)や日本水道協会規格(JWWA),ISO 規格を用いて設計を行う。

2.2 耐震性

直送設備を構成する主要機器のうち,ポンプ類,配管類(鋼管)は,「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の B クラス相当の設備と位置づけられ,耐震性を評価するにあたっては,「JEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規程」等に準拠する。

配管類は変位による破壊を防止する構造(定ピッチスパン法による配管サポート間隔の設定,配管等に可撓性のある材料を使用)を用いる。(詳細は別紙 1 参照。)

3. 直送設備の具体的な安全確保策

直送設備は高レベルの放射性物質を通すため，漏えい防止対策，放射線遮へい，自然災害対策，環境条件等について具体的に安全確保策を以下の通り定め，実施する。

3.1 放射性物質の漏えい防止等に対する考慮

(1)漏えい発生防止

漏えいの発生を防止するため，直送設備は設置環境や内部流体の性状等に応じた適切な材料を使用する。

(2) 漏えい検知・漏えい拡大防止

(a)屋内に設置する機器（弁ユニット,ブースターポンプ）の周囲には受けパンを設置し，その中に漏えい検知器を設置する。

(b)屋内に設置する配管のうちポリエチレン管や鋼管のフランジ部の設置範囲に堰を設けている。また早期発見のため漏えい検知器を設置している。

(c)漏えい検知の警報は，シールド中央制御室及び免震重要棟集中監視室に表示し，運転員が適切な措置をとれるようにする。

3.2 放射線遮へい等に対する考慮

(1) 放射線遮へいに対する考慮

放射線業務従事者等の線量を低減する観点から，直送設備の配管については，直接，放射線業務従事者が近づく可能性のある箇所を対象に，鉛マット等にて遮へいを行い，空間線量当量率（遮へいを含む配管表面から 1m の位置）の目標値を 1mSv/h 以下とする。

3.3 自然災害対策

(1)津波

直送設備については，仮設防潮堤によりアウターライズ津波による浸水を防止する。また，アウターライズ津波を上回る津波の襲来に備え，大津波警報が出た際は，系統を停止し，隔離弁を閉止することで，汚染水の流出を防止する。なお，津波による配管損傷があった場合でも，系統を停止することで，汚染水の漏えいは限定的なものとなる。

(2)強風

直送設備は強風による直接的な損傷の可能性が低い鉄筋コンクリート造の建屋内に設置する。

(3)豪雨

直送設備は，鉄筋コンクリート造の建屋内に設置するため，豪雨により設備の安全性が損なわれる可能性は低い。

(4)火災

直送設備については，実用上可能な限り不燃性又は難燃性材料を使用し，設備周辺からは可能な限り可燃物を排除し，各建屋は施錠管理を行うことで不用意な立入を制限すること及び設備点検することで火災の発生を予防している。巡視点検を行うことで火災の検知を行い，設備近傍に消火器を設置することで初期消火に対応ができるようにする。

3.4 環境条件対策

(1)腐食

主配管は耐腐食性を有するポリエチレン管，内面がポリエチレンライニングされた炭素鋼管もしくは，十分な肉厚を有する炭素鋼の鋼管を用いる。ポンプは既設と同様に耐腐食性を有するステンレス製のものを用いる。

(2)熱による劣化

系統水の温度は，常温であるため熱による劣化の懸念はない。

(3)凍結に対する考慮

滞留水を移送している過程では，水が流れているため凍結の恐れはない。滞留水の移送を停止した場合でも，直送設備は，４号機タービン建屋，高温焼却炉建屋内に設置されており，過去の実績から氷点下になることはないため，凍結の懸念はない。

(4) 紫外線に対する考慮

直送設備は建屋内に設置するため紫外線の影響を受けることはない。

(5)耐放射線性

ポリエチレンは，集積線量が 2×10^5Gy に達すると，引張強度は低下しないが，破断時の伸びが減少する傾向を示すが，ポリエチレン管の照射線量率を 1Gy/h と仮定すると，2×10^5Gy に到達する時間は 2×10^5 時間（22.8 年）と評価される。そのため，ポリエチレン管は数年程度の使用では放射線照射の影響を受けることはないと考えられる。

3.5. その他

(1) プロセス主建屋と高温焼却炉建屋のリスク低減

直送設備により，プロセス主建屋と高温焼却炉建屋を滞留水の貯留箇所から外すことが可能となる（プロセス主建屋と高温焼却炉建屋の滞留水処理の第一段階）が，現在の計画では，地下水他流入量の多い１～４号機の滞留水処理を早期に進める観点から，当該建屋の滞留水処理は 2018 年度下期以降に開始する予定。

そのため，滞留水処理開始までのリスク低減として以下を実施する。

・１～４号機の滞留水の放射能濃度に応じた移送による希釈運転
・高温焼却炉建屋地下階の循環浄化
（添付資料１８「セシウム吸着装置により高温焼却炉建屋の滞留水を浄化するために使用する配管について」の 4.3 項（1)「使用済み吸着塔の発生量予測」を参照。）

なお,プロセス主建屋については，滞留水処理を進めてリスク低減を行うことを基本とするため，循環浄化が実施出来るよう準備を進めるが，建屋滞留水の水位低下の進捗状況に応じて循環浄化の実施要否を判断する。なお，プロセス主建屋を循環浄化する際には，高温焼却炉建屋のリスク低減の結果や一時保管施設の状況を踏まえ，実施計画を別途定める。

4.直送設備に係る確認事項

直送設備の構造強度・耐震性及び機能・性能等に関する確認事項を表－１～６に示す。

表－１　確認事項（ポンプ）

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度・耐震性	外観確認 ※1	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認 ※1	機器の据付位置，据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	漏えい確認※1	運転圧力で耐圧部分からの漏えいの有無について確認する。	耐圧部から漏えいがないこと。
性能	運転性能確認※1	ポンプの運転性能の確認を行う。	実施計画に記載した容量を満足すること。また異音，発煙，異常振動等がないこと。

※１　現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する。

表－２　確認事項（鋼管）

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した外径，厚さについて記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認 ※1	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認 ※1	配管の据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認 ※1 ※2	確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることを確認する。 耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいの有無を確認する。	圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。 また，耐圧部から漏えいがないこと。

※１　現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する。

※２　耐圧確認が困難な箇所については代替試験にて確認する。

表－３　確認事項（ポリエチレン管）

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度	材料確認	実施計画に記載した材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した外径について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認 ※1	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認 ※1	配管の据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認 ※1 ※2	現場状況を考慮し製造者指定方法・圧力による漏えい有無を確認する。	耐圧部から漏えいがないこと。

※１　現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する。
※２　耐圧確認が困難な箇所については代替試験にて確認する。

表－４　確認事項（漏えい検知器）

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度	外観確認 ※1	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認 ※1	装置の据付位置を確認する。	実施計画のとおりであること。
機能	漏えい警報確認 ※1	漏えい信号により，警報が作動することを確認する。	警報が作動すること。

※１　現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する。

表－５　確認事項（管・ポンプ）

確認事項	確認項目	確認内容	判定
機能	通水確認	直送設備に通水する。	直送設備でセシウム吸着装置等へ水を移送できること。

表－６　確認事項（管の溶接検査）

確認項目	確認内容	判定
材料確認	材料が溶接規格等に適合するものであり，溶接施工法の母材の区分に適合することを確認する。	材料が溶接規格等に適合するものであり，溶接施工法の母材の区分に適合するものであること。
開先確認	開先形状等が溶接規格等に適合するものであることを確認する。	開先形状等が溶接規格等に適合するものであること。
溶接作業確認	あらかじめ確認された溶接施工法又は実績のある溶接施工法又は管理されたプロセスを有する溶接施工法であることを確認する。あらかじめ確認された溶接士により溶接が行われていることを確認する。	あらかじめ確認された溶接施工法および溶接士により溶接施工をしていること。
非破壊確認	溶接部について非破壊検査を行い，その試験方法及び結果が溶接規格等に適合するものであることを確認する。	溶接部について非破壊検査を行い，その試験方法及び結果が溶接規格等に適合するものであること。
耐圧・漏えい確認 外観確認 ※1	検査圧力で保持した後，検査圧力に耐えていることを確認する。 耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいの有無を確認する。	検査圧力で保持した後，検査圧力に耐えていること。 耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいの有無及び外観上，傷・へこみ・変形等の異常がないこと。

※１　耐圧確認が困難な箇所については代替試験にて確認する。

以上

別紙－１

直送設備の構造強度及び耐震性

直送設備を構成する設備について，構造強度評価の基本方針及び耐震性評価の基本方針に基づき構造強度及び耐震性の評価を行う。

1.基本方針

1.1 構造強度評価の基本方針

直送設備のうち，鋼材を使用している鋼管については，JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（JSME 規格）のクラス３機器に準じた評価を行う。

ポリエチレン管は，ISO 規格，JWWA 規格に適合したものを適用範囲内で使用することで，構造強度を有すると評価する。

1.2 耐震性評価の基本方針

直送設備のうち放射性物質を内包するものは，発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針の B クラス相当の設備と位置づけられる。耐震性評価にあたっては，JEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規程等に準拠することを基本とする。

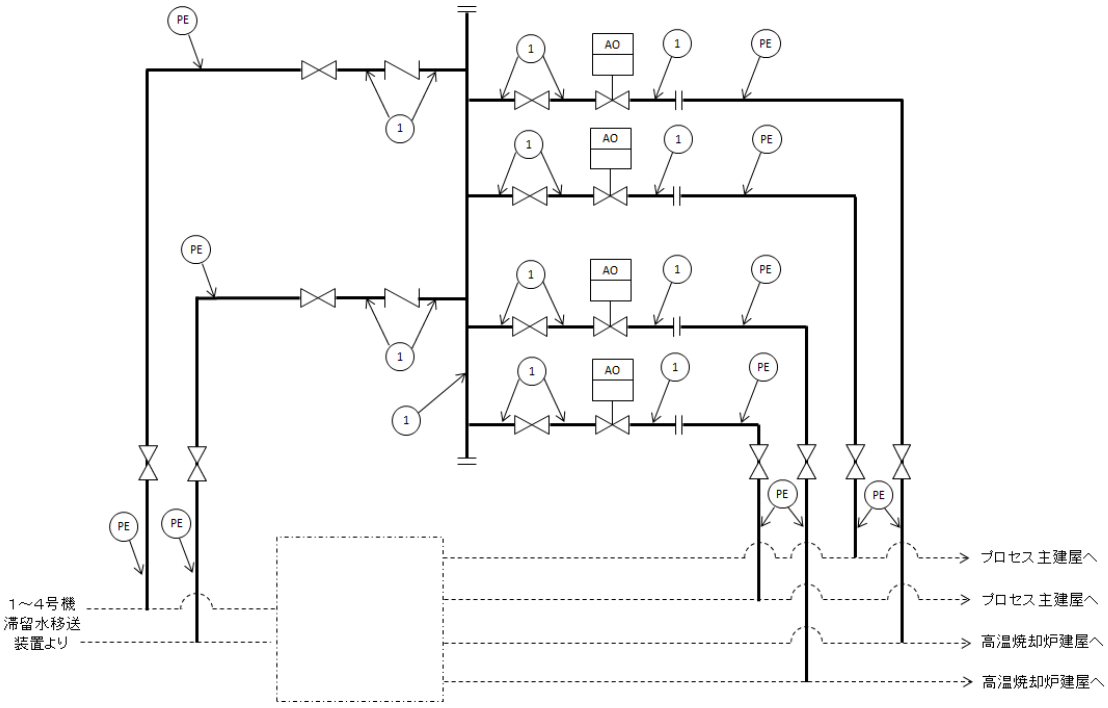
鋼管については，定ピッチスパン法で評価されるサポート間隔とする。なお，ポリエチレン管は，可撓性により耐震性を確保する。

2. 強度評価

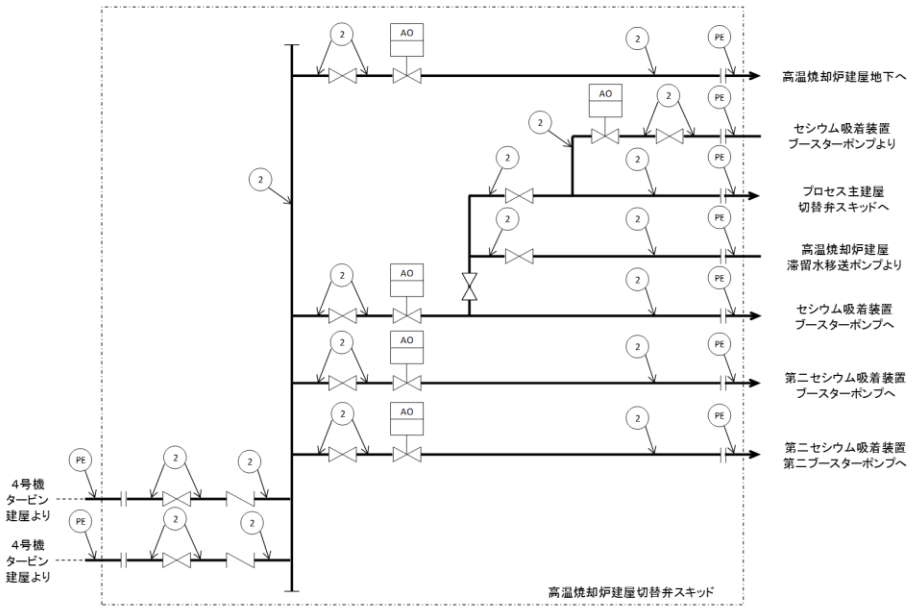
2.1 配管

2.1.1 評価箇所

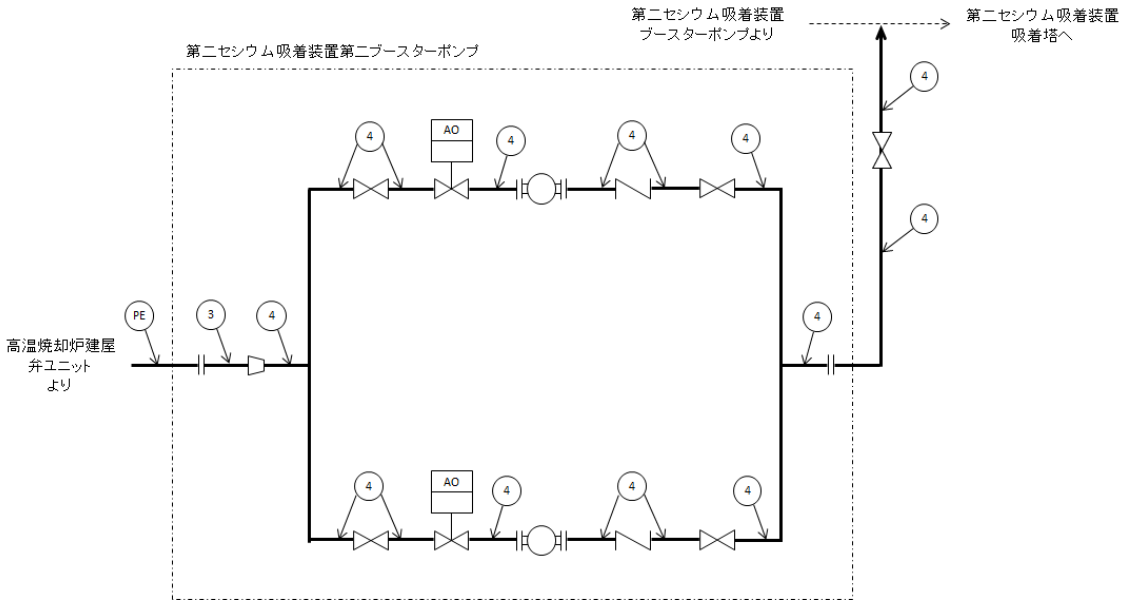
強度評価箇所を図－１に示す。



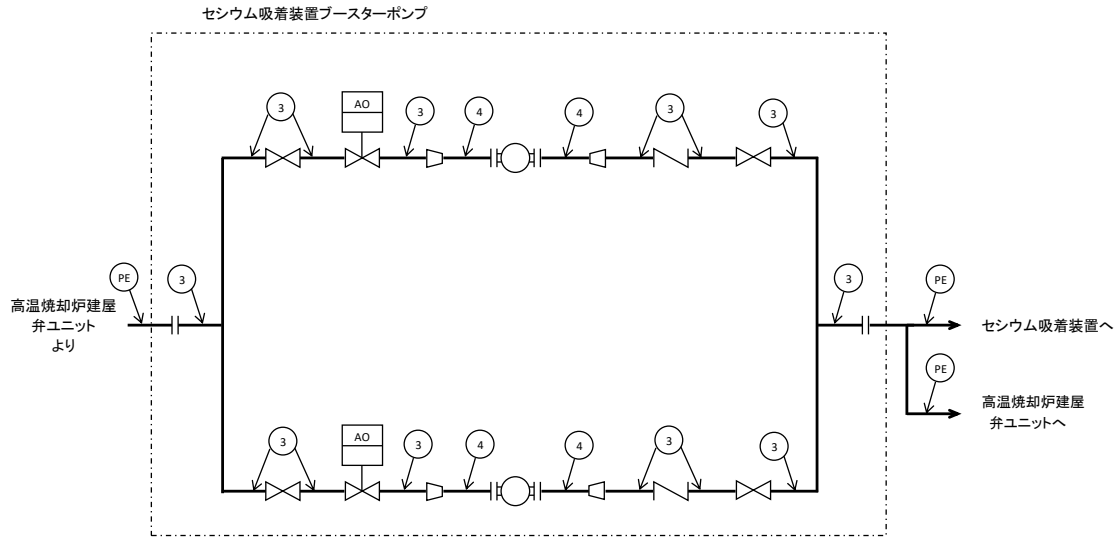
図－１（１/５）　４号機タービン建屋　弁ユニット周り概略配管図



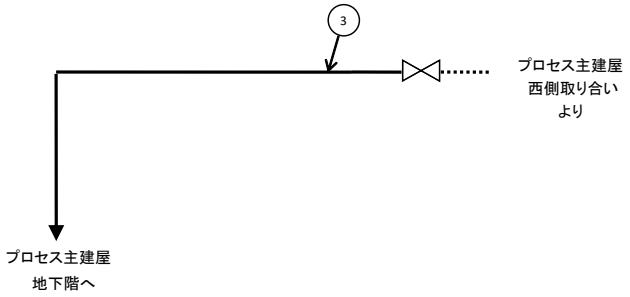
図－１（２/５）　高温焼却炉建屋　弁ユニット周り概略配管図



図－１（３/５）　高温焼却炉建屋　第二セシウム吸着装置第二ブースタポンプ周り概略配管図



図－１（４/５）　高温焼却炉建屋　セシウム吸着装置ブースタポンプ周り概略配管図



図－１（５/５）　プロセス主建屋　西側取り合いからプロセス建屋地下の概略配管図

2.1.2 評価方法（JSME 規格　PPD-3411）

(1) 管の厚さの評価

管の必要な厚さは，次に掲げる値のうち，いずれか大きい方の値とする。

ａ．管の計算上必要な最小必要厚さ：t_1

$$t_1=\frac{P\cdot D_0}{2S\cdot\eta+0.8P}$$

P ： 最高使用圧力（MPa）

D_0：管の外径（mm）

S ：許容引張応力（MPa）

η ：継手効率（-）

ｂ．炭素鋼鋼管の規格上必要な最小必要厚さ：t_2

PPD-3411(3)の表 PPD-3411-1 より求めた管の厚さとする。

2.1.3 評価結果

評価結果を表－1 に示す。必要厚さ等を満足しており，十分な構造強度を有していると評価している。

表－1　配管の評価結果（管の厚さ）

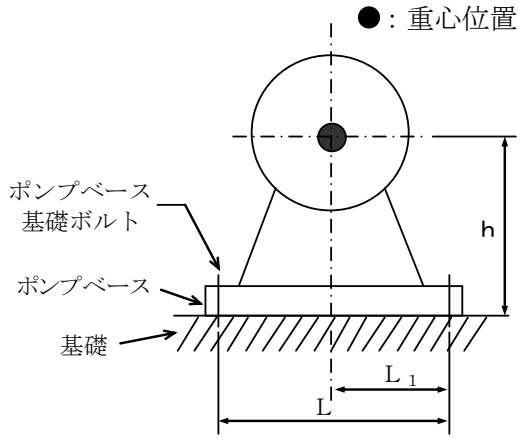
No.	口径	Sch	材料	最高使用圧力(MPa)	最高使用温度（℃）	必要肉厚(mm)	肉厚(mm)
配管①	100A	40	STPG370	1.0	40	0.62	6.0
配管②	100A	80	STPG370	1.0	40	0.62	8.6
配管③	100A	80	STPG370	1.37	66	0.84	8.6
配管④	80A	80	STPG370	1.37	66	0.66	7.6

3. 耐震性評価

3.1 基礎ボルト※の強度評価

原子力発電所耐震設計技術指針の評価方法に準拠し，主要機器の基礎ボルトについて強度評価を実施した。評価の結果，基礎ボルトの強度が確保されることを確認した（表－２）。※機器が架台に据え付けられる構造の場合は取付ボルトと称する。

a．ポンプ



m：機器の運転時質量

g：重力加速度（9.80665 m/s^2）

h：据付面から重心までの距離

M_P：ポンプ回転により働くモーメント（0）

※基礎ボルトにM_Pは作用しない

L：基礎ボルト間の水平方向距離

L_1：重心と基礎ボルト間の水平方向距離（L/2）

n_f：引張力の作用する基礎ボルトの評価本数

n：基礎ボルトの本数

A_b：基礎ボルトの軸断面積

C_H：水平方向設計震度（0.36）

C_V：鉛直方向設計震度（0）

C_P：ポンプ振動による震度

基礎ボルトに作用する引張力：$F_b=\frac{1}{L}\left(m\,g\,(C_H+C_P)\,h+M_P-m\,g(1-C_V-C_P)L_1\right)$

基礎ボルトの引張応力：$\sigma_b=\frac{F_b}{n_f A_b}$

基礎ボルトに作用するせん断力：$Q_b=m\,g(C_H+C_P)$

基礎ボルトのせん断応力：$\tau_b=\frac{Q_b}{n\,A_b}$

表－２　基礎ボルトの強度評価結果

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
第二セシウム吸着装置 第二ブースタポンプ	本体	転倒	0.36	6.0×10^{3}	4.5×10^{4}	N・m
			0.72	1.2×10^{4}	4.5×10^{4}	
	基礎ボルト	せん断	0.36	6.5×10^{0}	3.8×10^{1}	MPa
			0.72	1.3×10^{1}	3.8×10^{1}	
		引張	0.36	＜ 0	－	MPa
			0.72	＜ 0	－	

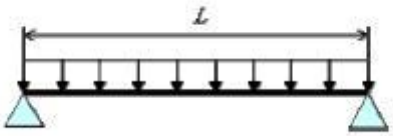
機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
セシウム吸着装置 ブースタポンプ	本体	転倒	0.36	7.6×10^{3}	5.8×10^{4}	N・m
			0.72	1.5×10^{4}	5.8×10^{4}	
	基礎ボルト	せん断	0.36	7.6×10^{0}	3.8×10^{1}	MPa
			0.72	1.6×10^{1}	3.8×10^{1}	
		引張	0.36	＜ 0	－	MPa
			0.72	＜ 0	－	

3.2 主配管の耐震性評価

ａ．評価条件

評価条件として配管は，配管軸直角 2 方向拘束サポートにて支持される両端単純支持のはりモデル（図－２）とする。

次に，当該設備における主配管（鋼管）について，各種条件を表－３に示す。



図－２ 等分布荷重 両端単純支持はりモデル

表－３ 配管系における各種条件

配管分類	主配管（鋼管）			
配管クラス	クラス３相当			
耐震クラス	B クラス相当			
No	①	②	③	④
配管口径	100A	100A	100A	80A
Sch	40	80	80	80
配管材質	STPG370	STPG370	STPG370	STPG370
設計圧力［MPa］	1.0	1.0	1.37	1.37
設計温度［℃］	40	40	66	66
配管支持間隔［m］	7.0	7.5	7.5	6.5

ｂ．評価方法

水平方向震度による管軸直角方向の配管応力を評価する。

自重による応力 Sw は，下記の式で示される。

$$Sw = \frac{M}{Z} = \frac{w \cdot L^2}{8Z}$$

Sw ：自重による応力 ［MPa］

L ：支持間隔 ［mm］

M ：曲げモーメント ［N・mm］

Z ：断面係数 ［mm^3］

w ：等分布荷重 ［N/mm］

管軸直角方向の地震による応力 Ss は，自重による応力 Sw の震度倍で下記の式で示される。

$$Ss = \alpha \cdot Sw$$

Ss ：地震による応力 ［MPa］

α　：想定震度値　　[-]

また，評価基準値として JEAC4601-2008 に記載の供用応力状態 Cs におけるクラス３配管の一次応力制限を用いると，地震評価としては下記の式で示される。

$$S = Sp + Sw + Ss = Sp + Sw + \alpha \cdot Sw = Sp + (1+\alpha) \cdot Sw \leq 1.0Sy$$

S　：内圧，自重，地震による発生応力　[MPa]

Sp　：内圧による応力　[MPa]

Sy　：設計降伏点　[MPa]

ｃ．評価結果

両端単純支持はりモデルで，自重による応力 Sw が 30 [MPa]以下となる配管サポート配置を仮定し，各応力を計算した結果を表－４に示す。表－４より，自重による応力 Sw を 30 [MPa]以下となるようサポート配置を決定することで，配管は十分な強度を有するものと評価する。

表－４ 応力評価結果（主配管（鋼管））

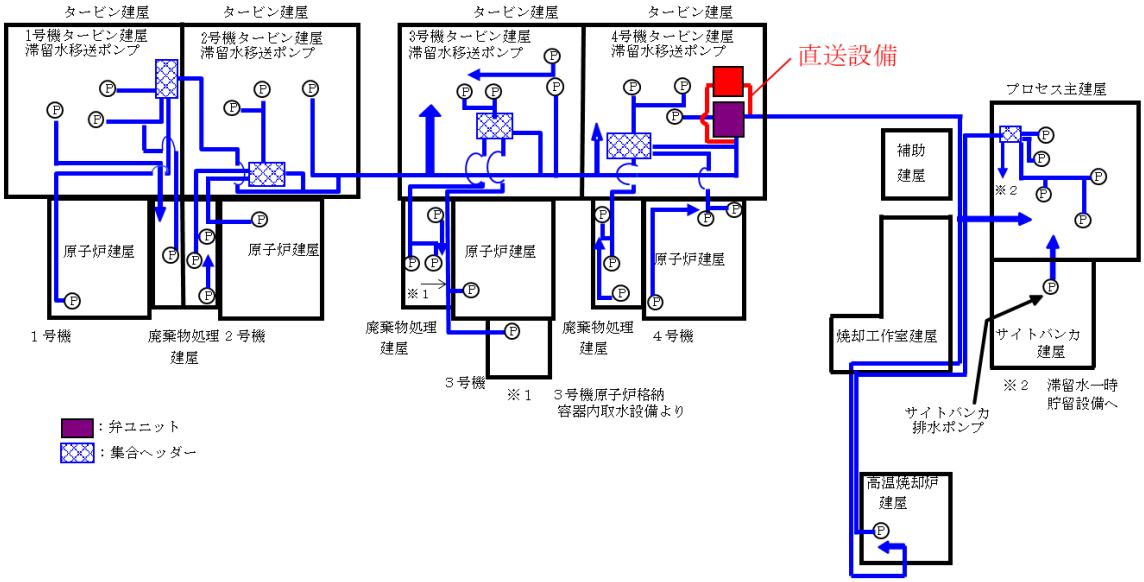
配管分類	主配管（鋼管）			
配管 No	①	②	③	④
配管口径	100A	100A	100A	80A
Sch	40	80	80	80
配管材質	STPG370	STPG370	STPG370	STPG370
設計圧力[MPa]	1.0	1.0	1.37	1.37
設計温度［℃］	40	40	66	66
内圧，自重，地震による発生応力 S［MPa］（水平地震動 0.36）	47.6	46.8	49.2	46.0
（水平地震動 0.72）	57.7	57.4	59.8	56.1
供用状態 Cs における一次許容応力［MPa］	215	215	189	189

以上

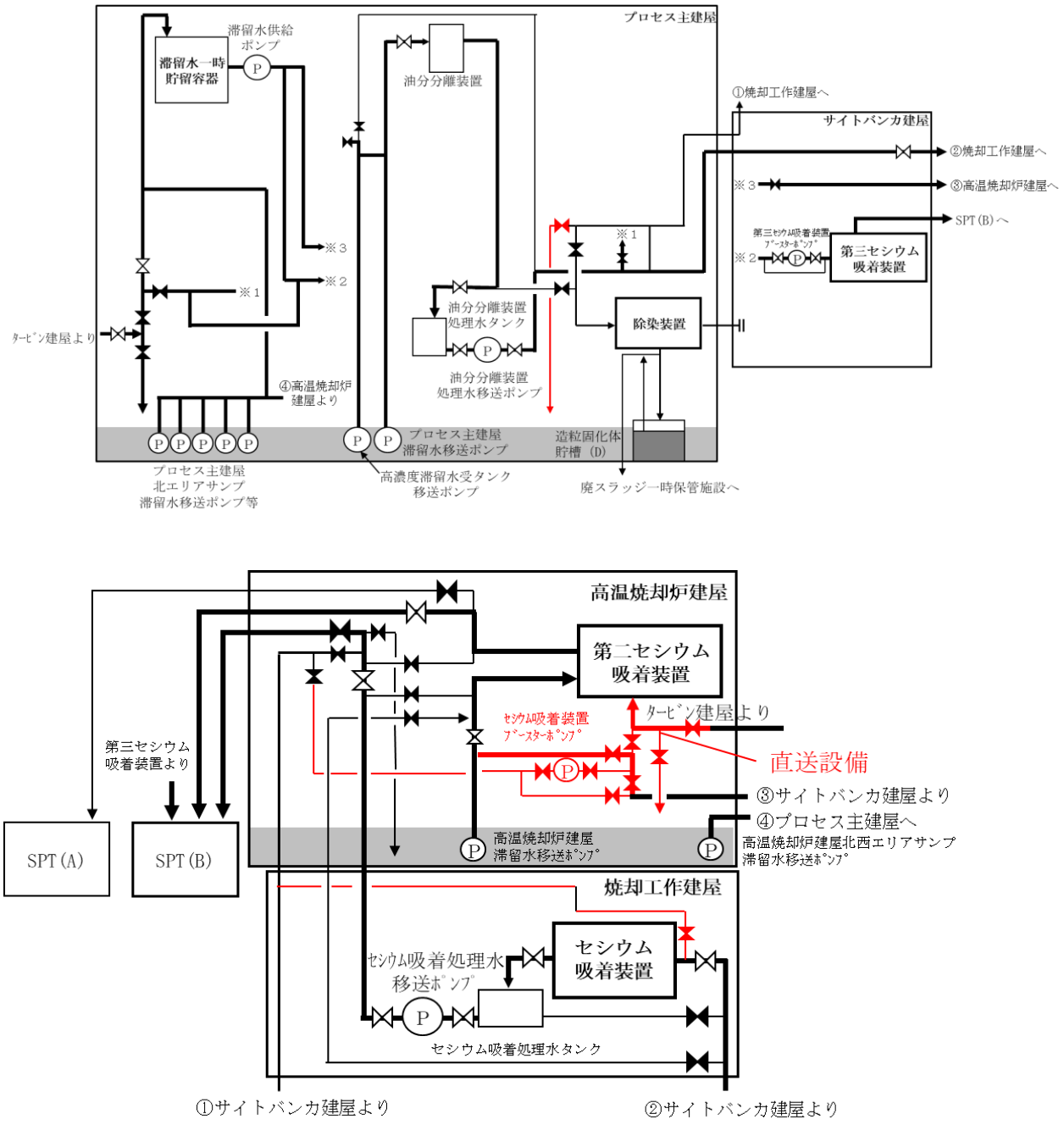
別紙－２

直送設備の範囲

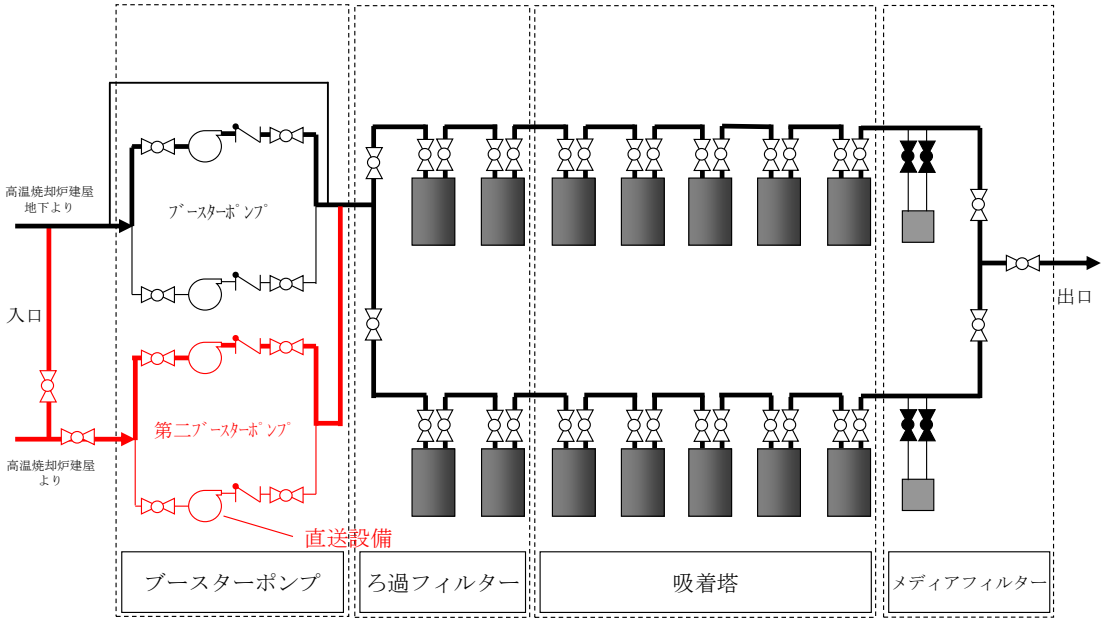
図－１～３に直送設備の範囲（赤色）を示す。



図－１　直送設備の範囲図（移送装置全体系統図）



図－２　直送設備の範囲図（処理装置の系統構成図）



図－３　直送設備の範囲図（第二セシウム吸着装置の系統構成図）

添付資料－２１

使用済セシウム吸着塔一時保管施設の架台とボックスカルバートについて

1.自然災害対策等

(1)津波

本施設は，アウターライズ津波が到達しないと考えられるT.P.約28m以上の場所に設置する。

(2)台風・竜巻等

ボックスカルバートおよび架台は重量物であり，台風・竜巻等の強風によって容易に動くことはない。

(3)積雪

ボックスカルバートはRC構造であり，架台は鋼製構造物であるので，福島県建築基準法施行細則に基づく積雪荷重に対する強度は十分高い。

(4)落雷

落雷が発生しても，ボックスカルバートおよび架台は，使用済みのセシウム吸着塔等を静的に保管する施設であり，安全機能に影響を及ぼすことはない。

(5)火災

ボックスカルバートおよび架台は鉄筋コンクリートあるいは鋼製構造物からなり，火災が発生する可能性は低いが，初期消火の対応ができるよう，近傍に消火器を設置する。

2. 架台とボックスカルバートに係る確認事項について

H25.8.14 以降に設計された使用済セシウム吸着塔一時保管施設の架台とボックスカルバートに係る主要な確認事項を表１，２に示す。

表１　架台の確認事項

確認事項	検査項目	確認内容	判定基準
構造検査	材料検査	主要材料（上部・下部はり）を品質記録にて確認する。	機器重量（吸着塔）に耐える部材が使用されていること。 ＢＣＲ２９５／ＳＳ４００
	寸法検査	吸着塔の保管スペースを品質記録にて確認する。	保管に際して，支障をきたさないスペースが確保されていること。 約１５３５㎜×約１６００㎜ 約１５１８㎜ （H25.8.13 以前に設計された架台）
	据付検査	実施計画書記載のとおりに据付されていることを確認する。	実施計画のとおり据付されていること。
	外観検査	各部の外観（確認可能な範囲）を確認する。	有意な欠陥がないこと。
性能検査	容量検査	実施計画書記載のとおりの吸着塔保管容量を確認する。	実施計画書記載のとおりの吸着塔保管容量があること。

表２　ボックスカルバートの確認事項

確認事項	検査項目	確認内容	判定基準
構造検査	材料検査	主要構造物（蓋・ボックスカルバート・コンクリート遮蔽版）における主要材料を品質記録にて確認する。	比重：2.3 以上
	寸法検査	主要構造物（蓋・ボックスカルバート・コンクリート遮蔽版）における主要厚さ寸法を品質記録にて確認する。	蓋：約 400㎜ ボックスカルバート：約 203㎜ コンクリート遮蔽版：約 200㎜
	据付検査	実施計画書記載のとおりに据付されていることを確認する。	実施計画のとおり据付されていること。
	外観検査	各部の外観（確認可能な範囲）を確認する。	有意な欠陥がないこと。
性能検査	容量検査	実施計画書記載のとおりの吸着塔保管容量を確認する。	実施計画書記載のとおりの吸着塔保管容量があること。

以　上

添付資料－２２

SPT 建屋の構造強度及び耐震性について

1　はじめに

サプレッション・プール水サージタンクが設置されている建屋（SPT 建屋）について，基準地震動 Ss に対し，地下外壁が崩壊しないことを確認する。なお，判定は地下階の耐震壁が終局限界に至らないことを確認する。

2　解析評価方針

SPT 建屋の耐震安全性評価は，基準地震動 Ss を用いた地震応答解析によることを基本とし，建物・構築物や地盤の応答性状を適切に表現できるモデルを設定した上で行う。

解析モデルは，地下階から地上階に設置された機器を含む建屋全域を NS，EW 方向とも多軸質点系モデルとする。

地下耐震壁の評価は，地震応答解析により得られた該当部位の最大せん断ひずみが，評価基準値（4.0×10^{-3}）を超えないことを確認することとする。

SPT 建屋の地震応答解析の評価手順例を，図 2-1 に示す。

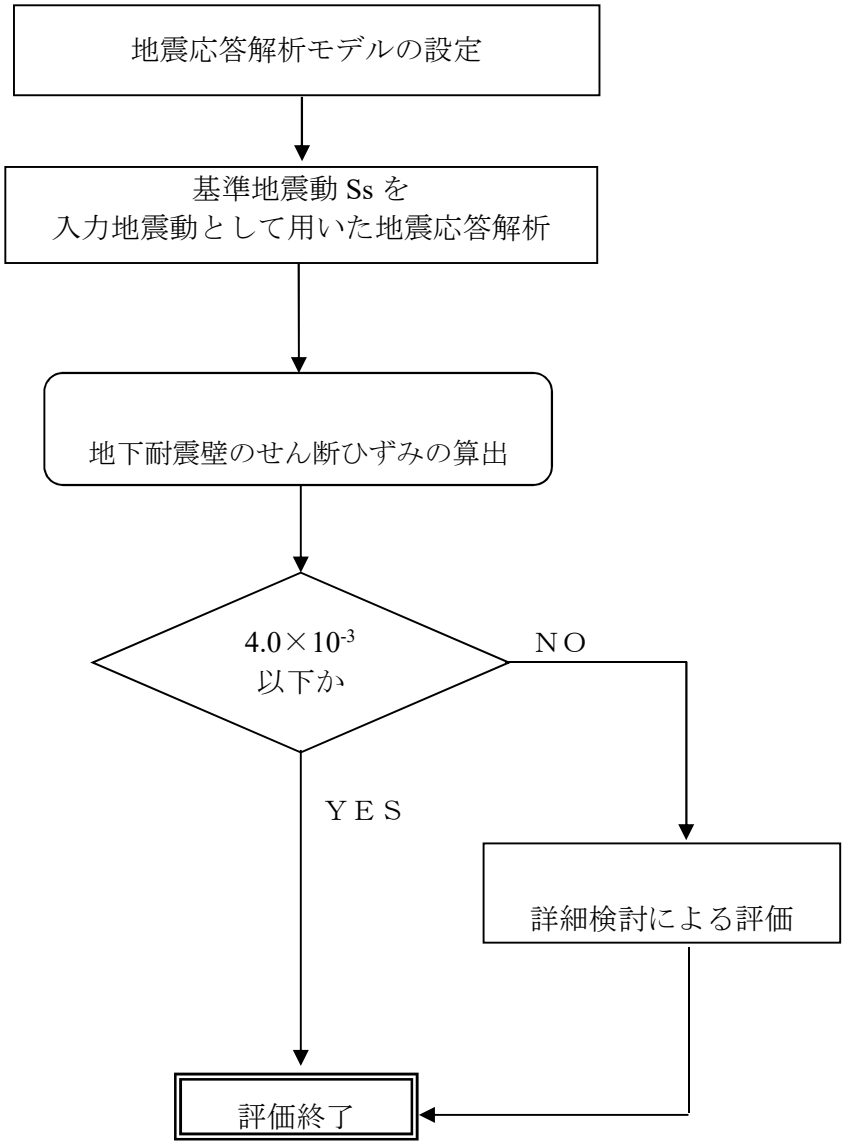


図 2-1　SPT 建屋の地震応答解析の評価手順例

3　解析に用いる入力地震動

SPT 建屋への入力地震動は，「福島第一原子力発電所　『発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針』の改訂に伴う耐震安全性評価結果　中間報告書」（原管発官１９第６０３号　平成２０年３月３１日付け）にて作成した解放基盤表面レベルに想定する基準地震動 Ss を用いることとする。

地震応答解析に用いる入力地震動の概念図を図 3-1 に示す。この SPT 建屋の解析モデルに入力する地震動は，一次元波動論に基づき，解放基盤表面レベルに想定する基準地震動 Ss に対する建屋基礎底面レベルの地盤応答として評価する。また，建屋基礎底面レベルにおけるせん断力を入力地震動に付加することにより，地盤の切欠き効果を考慮する。

このうち，解放基盤表面位置における基準地震動 Ss の加速度波形について，図 3-2 に示す。

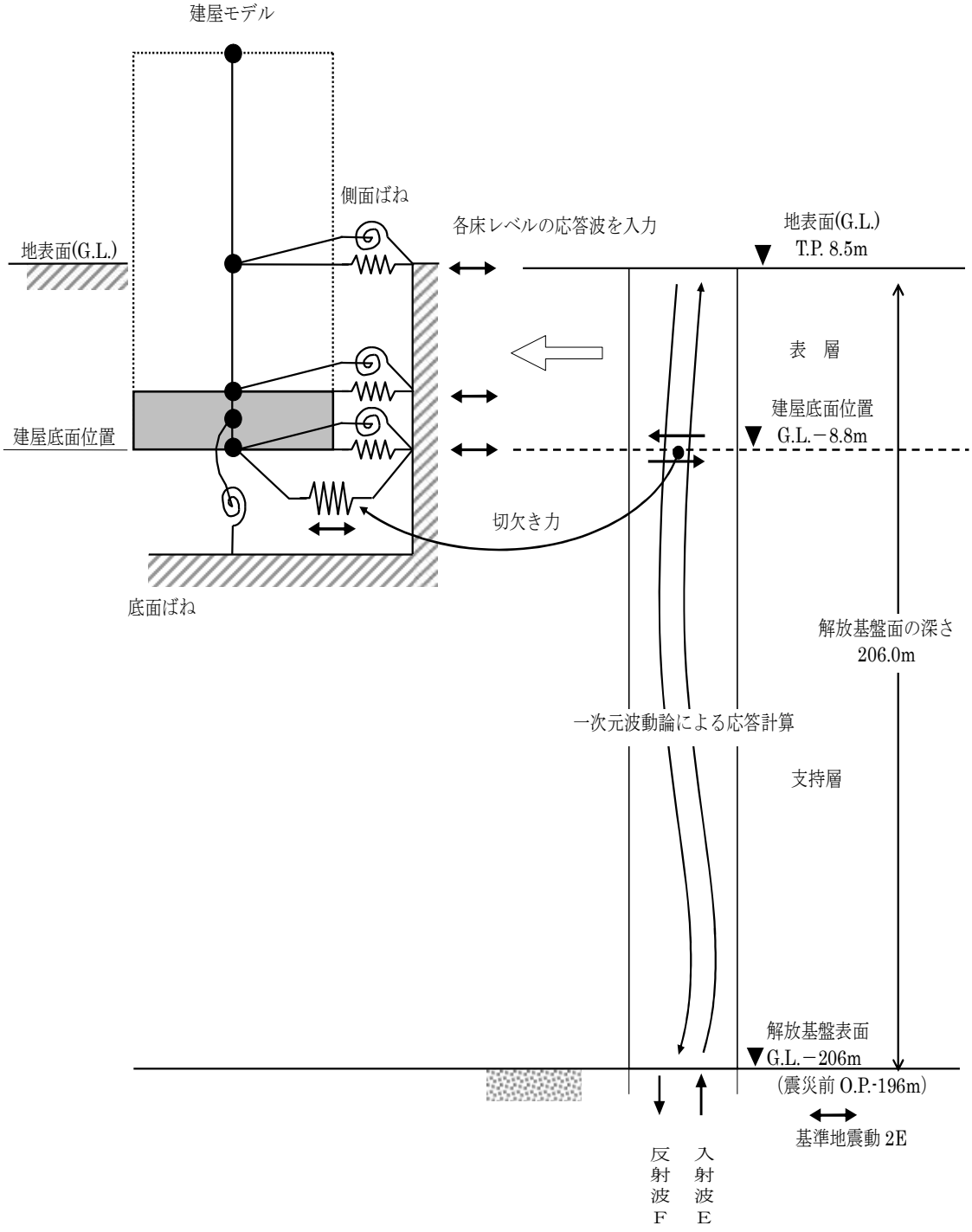
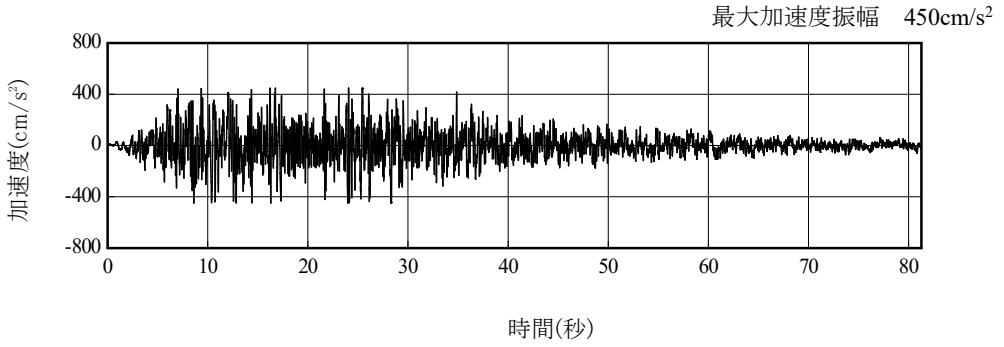
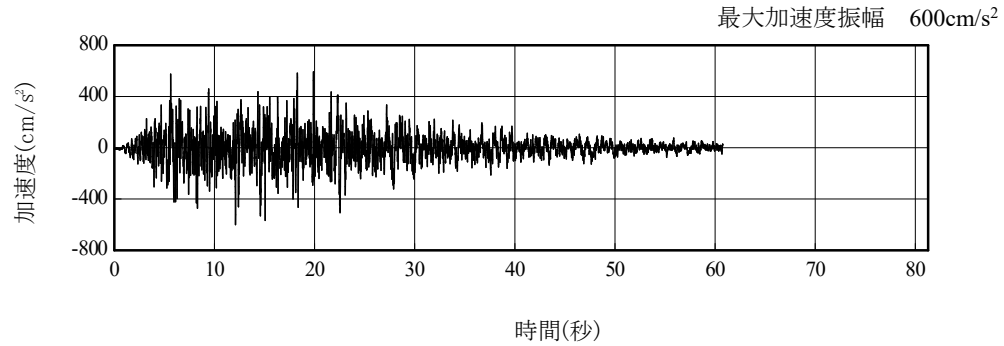


図 3-1　地震応答解析に用いる入力地震動の概念図

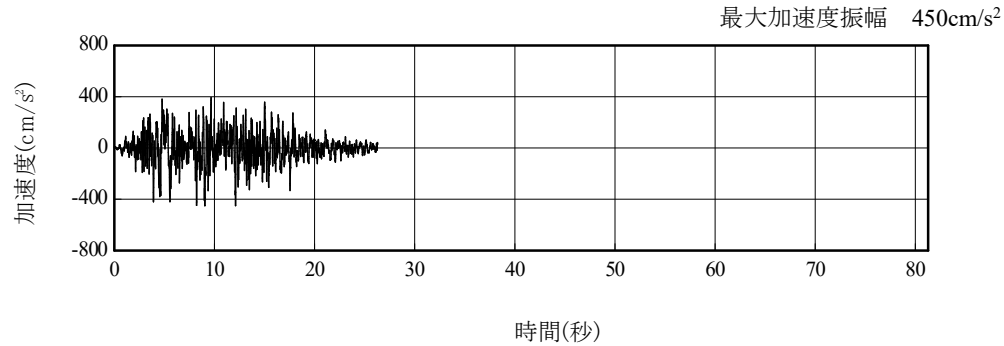
添付資料 22 に記載の標高は，震災後の地盤沈下量(-709㎜)と O.P.から T.P.への読替値(-727㎜)を用いて，下式に基づき換算している。
＜換算式＞　T.P.=旧 O.P.-1,436㎜



(Ss-1H)



(Ss-2H)



(Ss-3H)

図 3-2　解放基盤表面位置における地震動の加速度時刻歴波形（水平方向）

4　地震応答解析モデル

基準地震動 Ss に対する SPT 建屋の地震応答解析は，「3　解析に用いる入力地震動」で算定した入力地震動を用いた動的解析による。

地震応答解析モデルは，図 4-1 及び図 4-2 に示すように，建屋を曲げ変形とせん断変形をする質点系とし，地盤を等価なばねで評価した建屋－地盤連成系モデルとする。建屋－地盤連成系としての効果は地盤ばね及び入力地震動によって評価される。解析に用いるコンクリートの物性値を表 4-1 に，建屋解析モデルの諸元を表 4-2 に示す。

地盤定数は，水平成層地盤と仮定し，地震時のせん断ひずみレベルを考慮して定めた。解析に用いた地盤定数を表 4-3 に示す。

解析モデルにおいて，基礎底面地盤ばねについては，「JEAG 4601-1991」に示された手法を参考にして，成層補正を行ったのち，振動アドミッタンス理論に基づいて，スウェイ及びロッキングばね定数を近似的に評価する。また，埋込部分の建屋側面地盤ばねについては，建屋側面位置の地盤定数を用いて，水平及び回転ばねを「JEAG 4601-1991」により NOVAK ばねに基づいて近似法により評価する。

地盤ばねは振動数に依存した複素剛性として得られるが，図 4-3 に示すようにばね定数（Kc）として実部の静的な値を，また，減衰係数（Cc）として建屋－地盤連成系の 1 次固有振動数に対応する虚部の値と原点を結ぶ直線の傾きを採用することにより近似する。

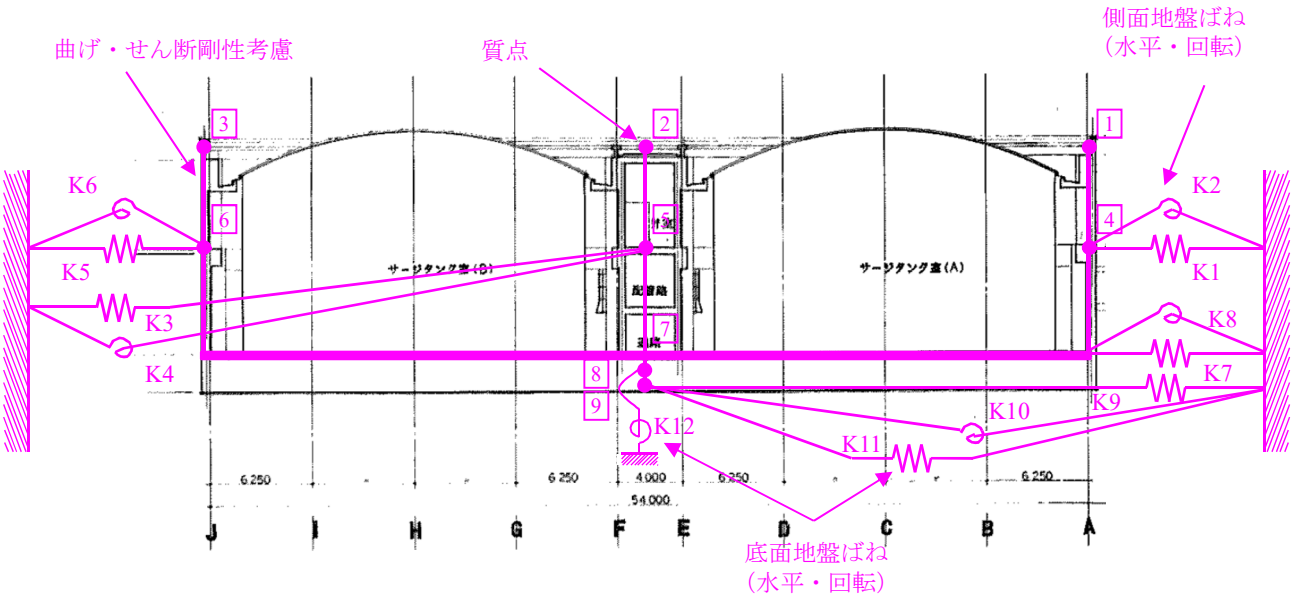


図 4-1　SPT 建屋　地震応答解析モデル（NS 方向）

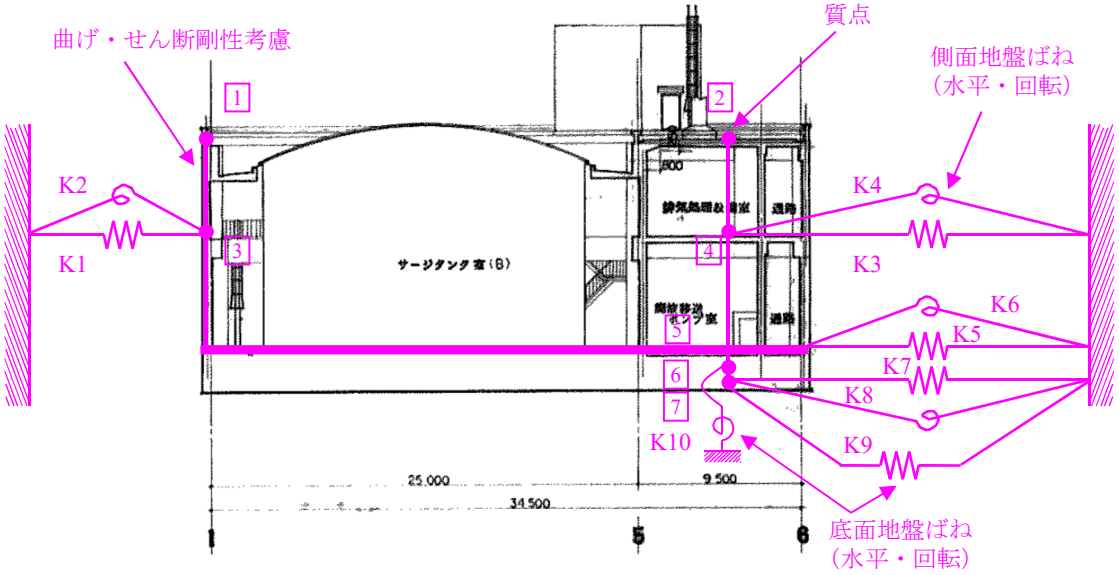


図 4-2　SPT 建屋　地震応答解析モデル（EW 方向）

表 4-1　地震応答解析に用いる物性値

	強度 Ｆｃ （N/mm^2）	ヤング係数 E （N/mm^2）	せん断弾性係数 G （N/mm^2）	ポアソン比 ν	単位体積重量*1 γ （kN/m^3）
コンクリート	22.1	2.06×10^4	0.88×10^4	0.2	24
鉄筋	SD345相当 (SD35)				

*1：鉄筋コンクリートの値を示す。

表4-2(1)　建屋解析モデルの諸元(NS方向)

軸	質点番号	重量 W(kN)	回転慣性重量 ×10^6 (kNm^2)	要素番号	せん断断面積 As(m^2)	断面2次モーメント I(m^4)
A通り	①	6228				
				1	10.4	954.6
	④	9268				
				4	21.3	3641.7
EF通り	②	12455				
				2	30.2	4704.9
	⑤	20104				
				5	31.1	6999.0
J通り	③	5884				
				3	12.9	2235.7
	⑥	9954				
				6	21.3	3934.2
基礎	⑧	199272	111.3			

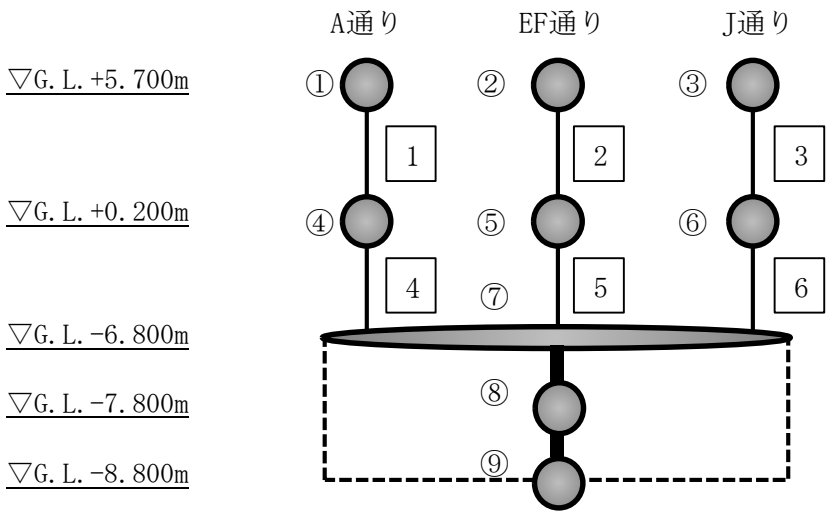


表4-2(2)　建屋解析モデルの諸元(EW方向)

軸	質点番号	重量 W(kN)	回転慣性重量 ×10^6 (kNm^2)	要素番号	せん断断面積 As(m^2)	断面2次モーメント I(m^4)
1通り	①	7601				
				1	21.9	8526.9
	③	11818				
				3	32.7	12757.9
5通り	②	16966				
				2	36.4	4073.8
	④	27508				
				4	53.8	14792.6
基礎	⑥	199272	266.1			

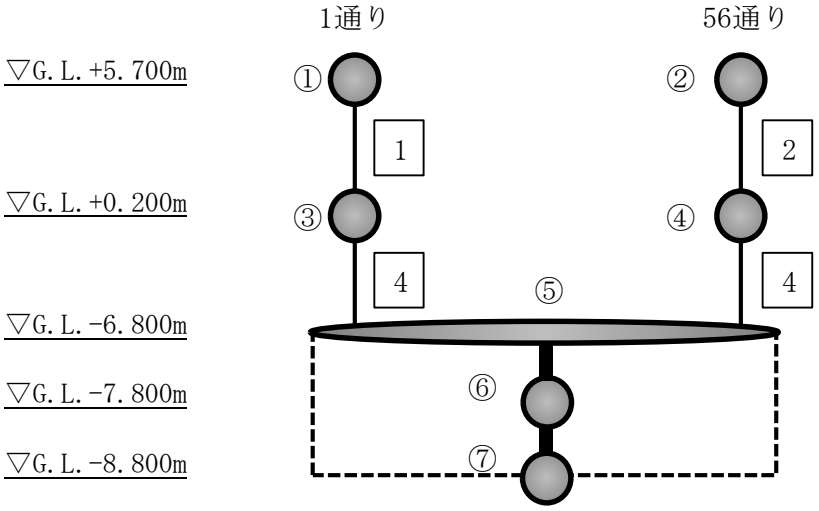


表 4-3 (1)　地盤定数 (Ss-1)

G.L. (m)	地　質	S波速度 Vs (m/s)	単位体積重量 γ (kN/m^3)	ポアソン比 ν	初期せん断弾性係数 G_0 (kN/m^2)	剛性低下率 G/G_0	せん断弾性係数 G (kN/m^2)	剛性低下後S波速度 Vs (m/s)	剛性低下後P波速度 Vp (m/s)	減衰定数 h (%)	層厚 H (m)
±0.0											
	砂岩	380	17.8	0.473	262,000	0.85	223,000	351	1550	3	8.1
−8.1											
		450	16.5	0.464	341,000		266,000	398	1530	3	11.9
−20.0											
		500	17.1	0.455	436,000		340,000	442	1540	3	70.0
−90.0	泥岩					0.78					
		560	17.6	0.446	563,000		439,000	495	1580	3	28.0
−118.0											
		600	17.8	0.442	653,000		509,000	530	1640	3	88.0
−206.0											
	(解放基盤)	700	18.5	0.421	924,000	1.00	924,000	700	1890	−	−

表 4-3 (2)　地盤定数 (Ss-2)

G.L. (m)	地　質	S波速度 Vs (m/s)	単位体積重量 γ (kN/m^3)	ポアソン比 ν	初期せん断弾性係数 G_0 (kN/m^2)	剛性低下率 G/G_0	せん断弾性係数 G (kN/m^2)	剛性低下後S波速度 Vs (m/s)	剛性低下後P波速度 Vp (m/s)	減衰定数 h (%)	層厚 H (m)
±0.0											
	砂岩	380	17.8	0.473	262,000	0.85	223,000	351	1550	3	8.1
−8.1											
		450	16.5	0.464	341,000		276,000	405	1560	3	11.9
−20.0											
		500	17.1	0.455	436,000		353,000	450	1570	3	70.0
−90.0	泥岩					0.81					
		560	17.6	0.446	563,000		456,000	504	1610	3	28.0
−118.0											
		600	17.8	0.442	653,000		529,000	540	1670	3	88.0
−206.0											
	(解放基盤)	700	18.5	0.421	924,000	1.00	924,000	700	1890	−	−

表 4-3 (3)　地盤定数 (Ss-3)

G.L. (m)	地　質	S波速度 Vs (m/s)	単位体積重量 γ (kN/m^3)	ポアソン比 ν	初期せん断弾性係数 G_0 (kN/m^2)	剛性低下率 G/G_0	せん断弾性係数 G (kN/m^2)	剛性低下後S波速度 Vs (m/s)	剛性低下後P波速度 Vp (m/s)	減衰定数 h (%)	層厚 H (m)
±0.0											
	砂岩	380	17.8	0.473	262,000	0.86	225,000	352	1560	3	8.1
−8.1											
		450	16.5	0.464	341,000		266,000	398	1530	3	11.9
−20.0											
		500	17.1	0.455	436,000		340,000	442	1540	3	70.0
−90.0	泥岩					0.78					
		560	17.6	0.446	563,000		439,000	495	1580	3	28.0
−118.0											
		600	17.8	0.442	653,000		509,000	530	1640	3	88.0
−206.0											
	(解放基盤)	700	18.5	0.421	924,000	1.00	924,000	700	1890	−	−

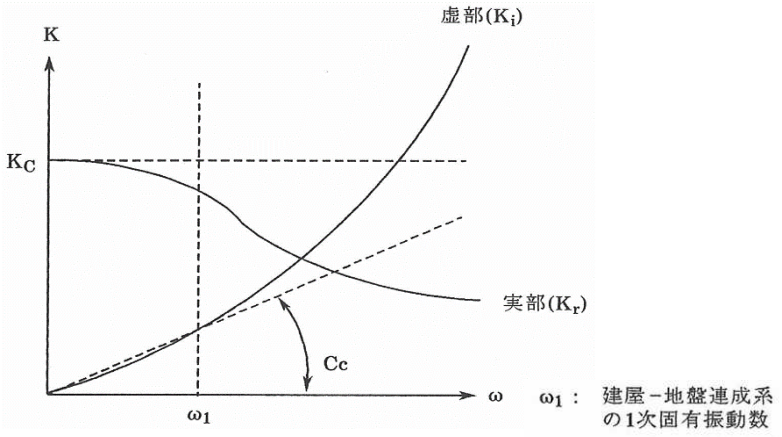


図 4-3　地盤ばねの近似

5　地震応答解析結果

地震応答解析により求められたNS方向，EW方向の最大応答加速度を，図5-1及び図5-2に示す。

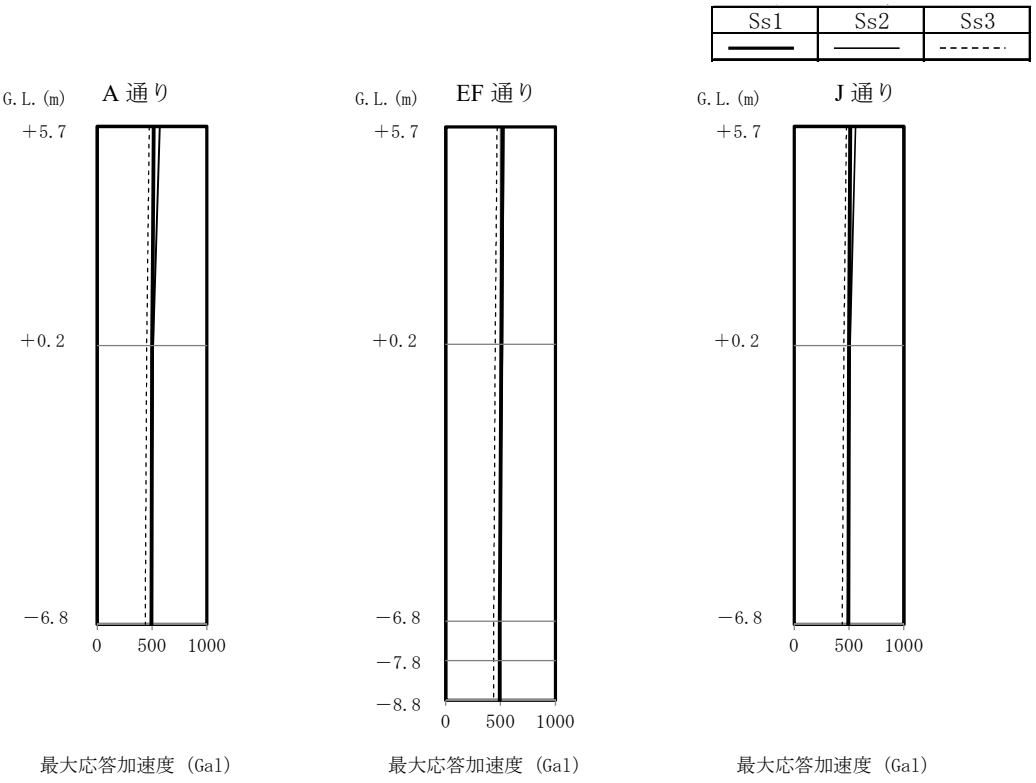


図5-1　最大応答加速度（NS方向）

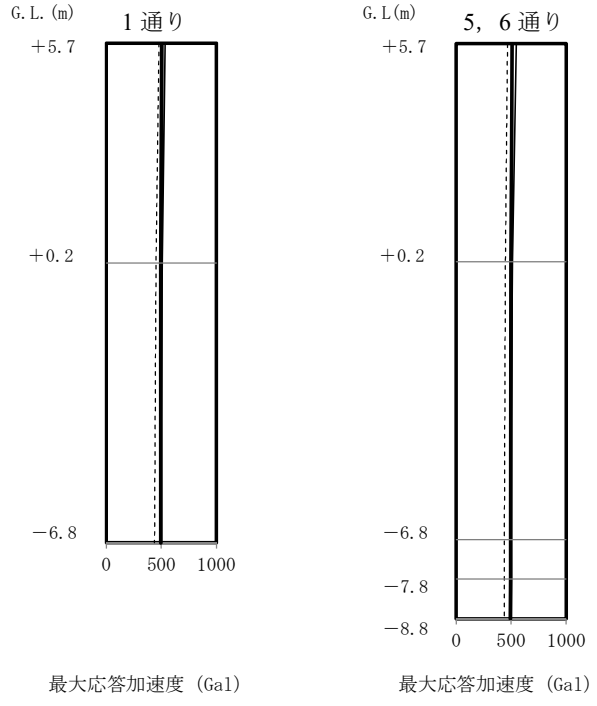


図5-2　最大応答加速度（EW方向）

6　耐震安全性評価結果

地震応答解析により得られた地下耐震壁のせん断ひずみ一覧を，表 6-1 及び表 6-2 に示す。せん断ひずみは，最大で 0.09×10^{-3} であり，評価基準値（4.0×10^{-3}）に対して十分余裕がある。また，地震応答解析結果に基づく接地圧は最大 195.2kN/m^2 であり，地盤の支持力試験の最大荷重 9806kN/m^2（100kgf/cm^2）※1 に対して十分な余裕がある。

以上のことから，SPT 建屋地下階の耐震安全性は確保されているものと評価した。

※1：運用補助共用施設の支持力試験の最大値の平均値

表 6-1　耐震壁のせん断ひずみ一覧（NS 方向）

（単位：$\times10^{-3}$）

軸	階	Ss-1H	Ss-2H	Ss-3H	評価基準
A 通り	地下階	0.06	0.06	0.06	4.0 以下
EF 通り	地下階	0.09	0.08	0.08	
J 通り	地下階	0.06	0.06	0.06	

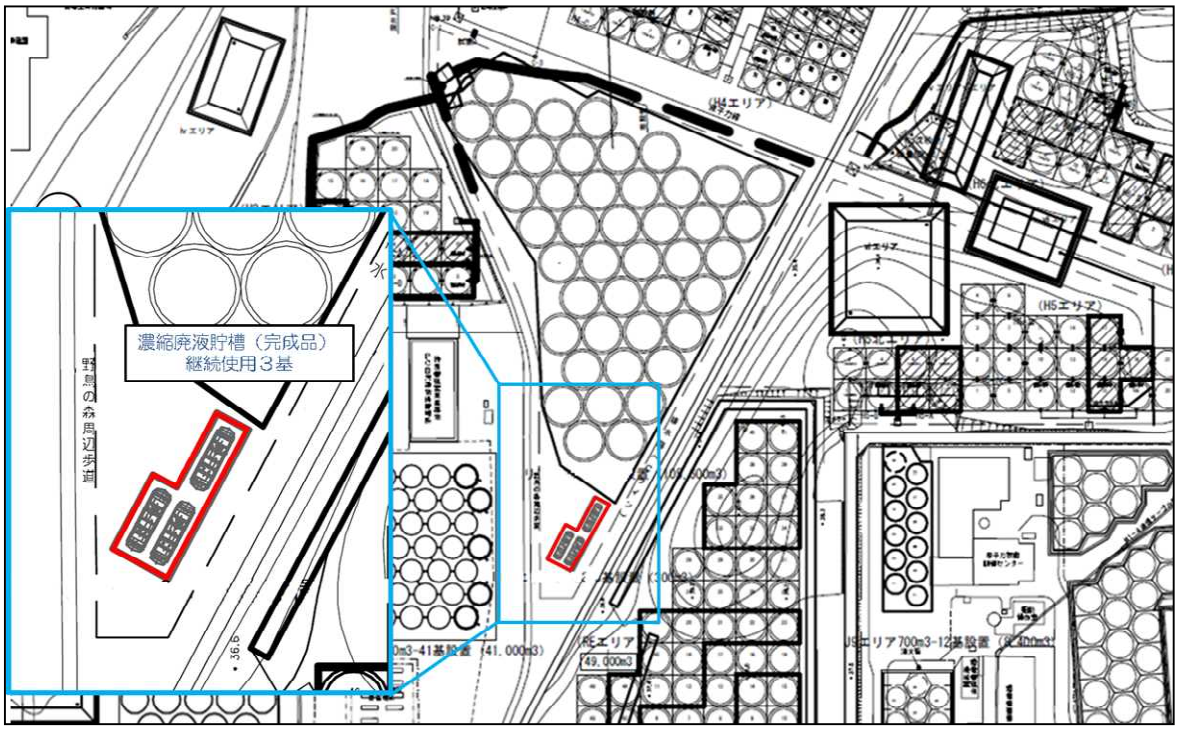
表 6-2　耐震壁のせん断ひずみ一覧（EW 方向）

（単位：$\times10^{-3}$）

軸	階	Ss-1H	Ss-2H	Ss-3H	評価基準
1 通り	地下階	0.06	0.05	0.05	4.0 以下
56 通り	地下階	0.07	0.07	0.06	

濃縮廃液貯槽（完成品）の安全確保策について

中低濃度タンクのうち，濃縮廃液貯槽（完成品）は，蒸発濃縮装置から発生した濃縮廃液を貯留する鋼製横置きタンクであるが，高レベルの放射性物質を扱うため設備の信頼性向上及び敷地境界線量の低減を目的とした安全確保策を以下の通り実施する。濃縮廃液貯槽（完成品）の設置場所を図－１に示す。



図－１　濃縮廃液貯槽（完成品）設置場所

1. 具体的な安全確保策について

1.1. 濃縮廃液貯槽（完成品）

濃縮廃液貯槽（完成品）は，新たに設置するコンクリート基礎上に設置する。

1.2. 放射線遮へい・被ばく低減に対する考慮

濃縮廃液貯槽（完成品）は，堰の周囲にコンクリート製の遮へい（遮蔽壁）を設置し放射線を適切に遮へいする。また，タンク表面の線量当量率の表示により注意喚起することで，放射線業務従事者の被ばく低減を図る。

1.3. 放射性物質漏えい防止等に対する考慮

（1）濃縮廃液貯留時の考慮

a.　漏えいの発生を防止するため，濃縮廃液貯槽（完成品）には設置環境や内部流体

の性状等に応じた適切な材料を使用するとともに，タンク水位の検出器を設ける。

b. タンクからの漏えいを早期検知するために，巡視点検にて漏えいの有無を確認する。また，漏えいの拡大を防止するために，タンク設置エリアに鉄筋コンクリートの基礎及び堰を設置する。堰の容量は，タンク 1 基分の貯留容量を確保出来る容量に，大雨時の作業等を考慮した余裕高さ（20cm）分の容量を加えた合計容量とする。

c. タンク水位は，免震重要棟集中監視室に表示し，異常を確実に運転員に伝え適切な措置をとれるようにする。

(2) 濃縮廃液（炭酸塩スラリー）移送時の考慮

a. 移送時はフランジ部、ホース結合部の抜け防止，吸水材及び養生シートによる養生を実施する。移送には二重にした耐圧ホースを使用し，ポンプ及びフランジ部は水受け内に設置する。移送中は万が一の漏えいに備えポンプ操作部に作業員が常駐し，移送時の異常事態に備える。

b. 移送時は雰囲気線量を確認しながら作業を行い，線量の高い場所では鉛マットによる被ばく低減対策を実施する。また、作業時間を限定し，交代することにより更なる被ばく低減を図る。

1.4 環境条件対策

(1) 腐食

海水による炭素鋼の腐食速度は，「材料環境学入門」（腐食防食協会編，丸善株式会社）より，0.1mm/年程度と評価される。一方，炭素綱を使用している濃縮廃液貯槽(完成品)は，必要肉厚に対して十分な肉厚があり腐食代を有していることを確認している。また，タンクの内面は FRP による防錆処理を実施している。

(2) 熱による劣化

濃縮廃液貯槽（完成品）に貯留する濃縮廃液の温度は，ほぼ常温のため，金属材料の劣化の懸念はない。

1.5 自然災害対策等

(1) 津波

濃縮廃液貯槽（完成品）は，アウターライズ津波が到達しないと考えられる T.P.約 33m に設置するため，津波の影響は受けない。

(2) 台風（強風）

建築基準法施行令及び建設省告示に基づいて評価した濃縮廃液貯槽（完成品）の遮蔽壁及び濃縮廃液貯槽（完成品）に加わる風荷重が，「発電用原子炉施設に関する耐震設計

審査指針」における耐震Ｓクラスの地震荷重に比べて小さいため，遮蔽壁及び濃縮廃液貯槽（完成品）は，台風（強風）により転倒しない。

2. 構造強度及び耐震性評価

2.1. 構造強度評価

継続使用する濃縮廃液貯槽（完成品）については，主たる内包物がスラリー状の炭酸塩となることを考慮し，設計・建設規格に準拠した板厚評価を実施した。評価の結果，内圧に耐えられることを確認した。（表－１）

a.円筒型タンクの胴の厚さ評価

$$t = \frac{DiH\rho}{0.204S\eta}$$

ｔ　：　胴の計算上必要な厚さ
Di　：　胴の内径
Ｈ　：　水頭
ρ　：　液体の比重
Ｓ　：　最高使用温度における材料の許容引張応力
η　：　長手継手の効率

ただし，ｔの値は炭素鋼，低合金鋼の場合はｔ=3[㎜]以上，その他の金属の場合はt=1.5[㎜]以上とする。また，内径の区分に応じた必要厚さを考慮する。

表－１　濃縮廃液貯槽（完成品）板厚評価結果

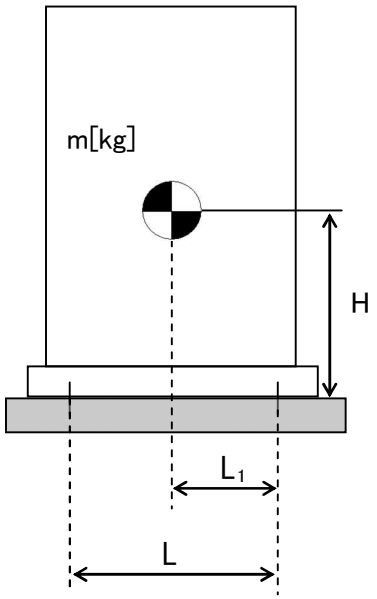
機器名称	評価部位	必要肉厚[㎜]	実厚[㎜]
濃縮廃液貯槽（完成品）	板厚	3	9

2.2. 耐震性評価

(1) 濃縮廃液貯槽（完成品）について

a. 基礎ボルトの強度評価

継続使用する濃縮廃液貯槽（完成品）は発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針のＢクラス相当の施設と位置づけられるため，耐震Ｂクラス相当と考えて，「JEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規程」の強度評価方法に準拠して評価を実施した。評価の結果，基礎ボルトの強度が確保されることを確認した。（表－２）



m ： 機器質量（178,186kg）
g ： 重力加速度（9.80665m/s^2）
H ： 据付面からの重心までの距離（2,335.4mm）
L ： 基礎ボルト間の水平方向距離（3,580mm）
L_1 ： 重心と基礎ボルト間の水平方向距離（1,790mm）
n_f ： 引張力の作用する基礎ボルトの評価本数（8 本）
n ： 基礎ボルトの本数（16 本）
A_b ： 基礎ボルトの軸断面積（1,017.8mm^2）
C_H ： 水平方向設計震度（0.36）
C_V ： 鉛直方向設計震度（0）

基礎ボルトに作用する引張力： $F_b = \frac{1}{L}\left(m \times g \times C_H \times H - m \times g \times (1 - C_V) \times L_1\right)$

基礎ボルトの引張応力： $\sigma_b = \frac{F_b}{n_f \times A_b}$

基礎ボルトのせん断応力： $\tau_b = \frac{m \times g \times C_H}{n \times A_b}$

また，許容応力は，以下の式で設定した。

基礎ボルトの許容せん断応力： $f_{sb} = 1.5\frac{F}{1.5\sqrt{3}}$

基礎ボルトの許容引張応力 ： $f_{ts} = \min\left(1.4 f_{to} - 1.6\tau_b \, , \, f_{to}\right)$

表－２ 濃縮廃液貯槽（完成品）の基礎ボルトの強度評価結果

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
濃縮廃液貯槽（完成品）	基礎ボルト	引張	0.36	<0	－	MPa
		せん断	0.36	39	135	MPa

b. 転倒評価及び滑動評価

濃縮廃液貯槽（完成品）は設置基礎に基礎ボルトで固定されていることから基礎ボルトに作用する地震時の引張応力及びせん断応力と許容引張応力及び許容せん断応力を比較することにより転倒評価及び滑動評価を実施した。評価の結果転倒及び滑動しないことを確認した。

(2) 基礎及び地盤について

基礎については，水平方向設計震度（Kh=0.3）にて構造物に発生する断面力に基づき応力度評価を実施し，許容値内であることを確認した。

濃縮廃液貯槽（完成品）の設置場所における地盤については，地盤支持力の評価を行い，地震時における濃縮廃液貯槽（完成品）の鉛直荷重に対して十分な支持力を有していることを確認する。

地盤支持力の許容値は,「社団法人　日本道路協会　道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編」に準拠し，極限支持力の算定式に基づく極限支持力から安全率 2 を除して算定する。

（極限支持力の算定式）

$$Q_u = A_u\left(\alpha kcN_cS_c + kqN_qS_q + \frac{1}{2}\gamma_1\beta B_eN_rS_r\right)$$

Q_u　：　極限支持力
A_e　：　有効載荷面積
α，β　：　基礎の形状係数
k　：　根入れ効果に対する割増し係数
c　：　地盤の粘着力
N_c，N_q，N_r：　荷重の傾斜を考慮した支持力係数
S_c，S_q，S_r：　支持力係数の寸法効果に関する補正係数
q　：　上載荷重（$q=\gamma_2 D_f$）
γ_1，γ_2：　支持地盤及び根入れ地盤の単位重量
D_f　：　基礎の有効根入れ深さ
B_e　：　荷重の偏心を考慮した基礎の有効載荷幅（$B_e=B-2e_B$）
B　：　基礎幅
e_B　：　荷重の偏心量

（各設備の鉛直荷重）

$$W = m \times g$$

W　：　鉛直荷重
m　：　機器等の質量
g　：　重力加速度

(3) 遮蔽壁について

遮蔽壁については，水平方向設計震度（Kh=0.3）にて構造物（遮蔽板，支柱材等）に発生する断面力に基づき応力度評価を実施し，許容値内であることを確認した。

3. 濃縮廃液貯槽（完成品）及び基礎のＳクラス相当に対する耐震性評価

濃縮廃液貯槽（完成品）及び基礎は，「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」のＢクラス相当の設備と位置づけられるが，当該貯槽は高濃度の放射性物質を内包しているため，参考としてＳクラス相当の評価を行い，健全性が維持されることを確認した。

(1) 濃縮廃液貯槽（完成品）について

a. 基礎ボルトの強度評価

「JEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規程」の強度評価方法に準拠して評価を実施した。評価の結果，基礎ボルトの強度が確保されることを確認した。（表－３）

表－３　濃縮廃液貯槽（完成品）の基礎ボルトの強度評価結果

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	鉛直震度	算出値	許容値	単位
濃縮廃液貯槽（完成品）	基礎ボルト	引張	0.72	0.36	33	123	MPa
		せん断	0.72	0.36	78	135	MPa

b. 転倒評価及び滑動評価

濃縮廃液貯槽（完成品）は設置基礎に基礎ボルトで固定されていることから基礎ボルトに作用する地震時の引張応力及びせん断応力と許容引張応力及び許容せん断応力を比較することにより転倒評価及び滑動評価を実施した。評価の結果転倒及び滑動しないことを確認した。

(2) 基礎及び地盤について

基礎については，タンク設置エリアにおける基準地震動 Ss-1,2,3 のうち，水平方向及び鉛直方向の応答加速度の組み合わせによる設計震度（水平震度：Kh=0.6，鉛直震度：Kv=0.16）にて構造物に発生する断面力に基づき応力度評価を実施し，許容値内であることを確認した。

濃縮廃液貯槽（完成品）の設置場所における地盤については，地盤支持力の評価を行い，地震時における濃縮廃液貯槽（完成品）の鉛直荷重に対して十分な支持力を有していることを確認する。

(3) 遮蔽壁について

遮蔽壁については，設置エリアにおける基準地震動 Ss-1,2,3 のうち，水平方向及び鉛直方向の応答加速度の組み合わせによる設計震度（水平震度：Kh=0.6，鉛直震度：Kv=0.16）にて構造物（遮蔽板，支柱材等）に発生する断面力に基づき応力度評価を実施し，許容値

内であることを確認した。

4. 濃縮廃液貯槽（完成品）の基礎外周堰の堰内容量について

濃縮廃液貯槽（完成品）から漏えいが生じた際に漏えい水の拡大を抑制するための基礎外周堰の堰内容量は，貯槽 1 基分の全容量が漏えいした場合でも貯留できる容量に，大雨時の作業等を考慮した余裕高さ（堰高さで 20cm 程度）分の容量との合計とする。基礎外周堰の堰内容量を表－４に示す。

表－４　濃縮廃液貯槽の基礎外周堰の堰内容量

設置場所	タンク設置基数	想定漏えい		基礎外周堰の堰内容量（m^3）	（計画値）			
		基数	容量（m^3）		基礎外周堰内面積（m^2）	タンク専有面積（m^2）	貯留可能面積（m^2）	基礎外周堰の高さ（m）
			①	② ※1	③	④	⑤ ※2	⑥※3
濃縮廃液貯槽（完成品）	3	1	100	165.14 以上	320	2.47	317.53	0.52

※１　②＝⑤×⑥

※２　⑤＝③―④

※３　⑥≧①／⑤＋0.2（余裕分 20cm）

5. 濃縮廃液貯槽（完成品）からの直接線ならびにスカイシャイン線による実効線量

継続使用する濃縮廃液貯槽（完成品）については，高濃度の放射性物質を内包していることから，設置場所における敷地境界線量を評価する。継続使用する濃縮廃液貯槽（完成品）を３基とし，安全確保策を施した後の設置状態をモデル化して評価した結果，設置場所からの最寄りの敷地境界線量評価地点(No.17)及び 2016 年 11 月現在で実効線量が最大となる敷地境界線量評価地点(No.7)における評価結果は以下の通りであり，影響のないことを確認した。

表－５　敷地境界線量評価結果

敷地境界評価地点	実効線量［mSv/年］
No.17	約 6.1×10^{-2}
No.7	約 1.2×10^{-3}

6. 構造強度及び機能・性能に関する確認事項

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度･耐震性	地盤支持力確認	支持力試験にてタンク基礎の地盤支持力を確認する。	必要な支持力を有していること。
	材料検査	遮蔽壁におけるコンクリート材料を品質記録にて確認する。	比重：2.1 以上
機能・性能	監視確認	水位計について，免震重要棟集中監視室にタンク水位が表示できることを確認する。	免震重要棟集中監視室にタンク水位が表示できること。
	寸法確認	基礎外周堰内の容量を確認する。	必要容量があること。
		遮蔽壁の高さおよびコンクリート板の厚さを確認する。	高さ：4.0m 以上 厚さ：0.15m 以上
	外観確認	基礎外周堰の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	遮蔽壁の組立状態及び据付状態を確認する。	組立状態及び据付状態に異常がないこと。
		濃縮廃液貯槽（完成品）の据付状態を確認する。	据付状態に異常がないこと。
		基礎の不陸について確認する。	異常な不陸がないこと。

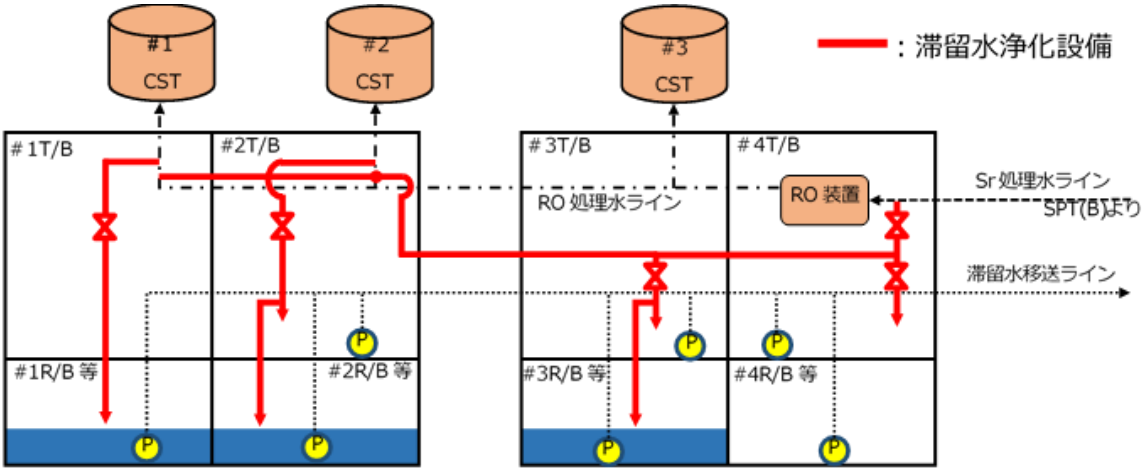
以上

滞留水浄化設備の設計・確認方法について

1.　基本設計

1.1.　設置の目的

１～４号機の滞留水を循環浄化する設備（以下，「滞留水浄化設備」という。）は，地下水他流入量の低下に伴い，第二セシウム吸着装置等の処理量も低下してくることから，処理装置の余剰水を活用して，１～４号機の滞留水を循環浄化し，滞留水のリスク低減することを目的とする。



図－１　滞留水浄化設備の設置範囲

1.2.　要求される機能

(1)汚染水処理設備にて処理された水を建屋内 RO 循環設備の配管から分岐した配管より，１～４号機建屋に注水できること。

1.3. 設計方針

(1)規格・基準

滞留水浄化設備は，設計，材料の選定，製作及び検査について，JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（JSME 規格），日本産業規格（JIS 規格）等※1 を適用することにより信頼性を確保する。

※1

「金属材料に関する規格」

・JIS G 3456 高温配管用炭素鋼鋼管（主配管）

・JIS G 3459 配管用ステンレス鋼鋼管（主配管）

「非金属材料に関する規格」

・JWWA K144 水道配水用ポリエチレン管（主配管）

(2)放射性物質の漏えい防止及び管理されない放出の防止

滞留水浄化設備は，液体状の放射性物質の漏えいを防止及び敷地外の管理されない放出を防止するため，次の各項を考慮した設計とする。

a．漏えいの発生を防止するため，滞留水浄化設備には設置環境や内部流体の性状等に応じた適切な材料を使用する。また，ポリエチレン管とポリエチレン管の接続部は，融着構造とする。

b．液体状の放射性物質が漏えいした場合に備え，屋内の移送配管のうち鋼管の接続部の周囲には堰等を設置することで漏えいの拡大を防止する。また，堰の内部に漏えい検知器を設置し，漏えいの早期検出が可能な設計とする。

c．漏えい検知の警報については，免震重要棟集中監視室に表示し，異常を確実に運転員に伝え，警報発生時には遠隔隔離弁にて全閉操作が行えるようにする。なお，現場確認の上，誤報と確認された場合は注水を再開する。

d．屋外に敷設される移送配管については二重構造とし，内側の移送配管で漏えいが発生した場合には内側の移送配管と外側の配管の間が漏えい水で満たされることで建屋内へ導く構造とする。

e．滞留水浄化設備移送配管の一部は他設備の配管に接続することから，接続先の上流設備への逆流を防止する設計とし，上流設備からの漏えいを防止する。

(3)放射線遮へいに対する考慮

放射線業務従事者等の線量を低減する観点から，滞留水浄化設備の配管については，配管の表面線量率が 1mSv/h 以下となるよう適切な遮へいを設ける。

(4)誤操作の防止に対する考慮

滞留水浄化設備は，運転員の誤操作を防止するため，運転操作手順書を整備し，弁銘板の取付けを行う。運転員の誤操作，誤判断を防止するために，特に重要な操作については，ダブルアクションを要する等の設計とする。

(5)検査可能性に対する設計上の考慮

滞留水浄化設備は，適切な方法で検査ができるよう，漏えい検査・通水検査等が可能な設計とする。

(6)設備保全に対する考慮

滞留水浄化設備は，機器の重要度に応じた有効な保全を計画し，実施が可能な設計とする。

(7)監視・操作に対する考慮

滞留水浄化設備は，免震重要棟集中監視室において警報発報及び弁の遠隔操作が可能な設計とする。

1.4. 主要な設備

滞留水浄化設備の主要設備は，建屋内RO循環設備で敷設した配管から，各建屋へ分岐する配管（ポリエチレン管・鋼管・耐圧ホース）で構成される。

2. 構造強度及び耐震性

2.1. 構造強度

滞留水浄化設備は，「実用発電用原子炉及びその附属設備の技術基準に関する規則」において，廃棄物処理設備に相当するクラス3機器に準ずるものと位置付けられ，「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格」(以下，「JSME規格」という。)，日本産業規格(JIS)等の国内外の民間規格に適合した工業用品の採用，日本産業規格（JIS）またはこれらと同等の技術的妥当性を有する規格での設計・製作・検査を行う。なお，JSME規格で規定される材料の日本産業規格（JIS）年度指定は，技術的妥当性の範囲において材料調達性の観点から考慮しない場合もある。

また，JSME規格に記載のない非金属材料（ポリエチレン管等）については，日本産業規格（JIS）や日本水道協会規格（JWWA），ISO規格を用いて設計を行い，耐圧ホースについては，製造者仕様範囲内の圧力及び温度で使用することで構造強度を有すると評価する。

2.2. 耐震性

滞留水浄化設備を構成する主要機器のうち，配管類（鋼管）は，「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」のBクラス相当の設備と位置づけられ，耐震性を評価するにあたっ

ては，「JEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規程」等に準拠する。

配管類は変位による破壊を防止する構造（定ピッチスパン法による配管サポート間隔の設定，配管に可撓性のある材料を使用）を用いる。（詳細は別紙１参照。）

3. 滞留水浄化設備の具体的な安全確保策

滞留水浄化設備の自然災害対策，環境条件等について具体的に安全確保策を以下の通り定め，実施する。

3.1. 自然災害対策

(1)津波

滞留水浄化設備については，防潮堤により日本海溝津波による浸水を防止する。また，日本海溝津波を上回る津波の襲来に備え，大津波警報が出た際は，系統を停止し，隔離弁を閉止することで，汚染水の流出を防止する。なお，津波による配管損傷があった場合でも，系統を停止することで，汚染水の漏えいは限定的なものとなる。

(2)強風

滞留水浄化設備は，主に，強風による直接的な損傷の可能性が低い鉄筋コンクリート造の建屋内に設置するが，一部，屋外に設置することから，強風による損傷が予想される場合，汚染水移送停止等の操作を行い，機器の損傷による汚染水漏えい防止を図る。

(3)豪雨

滞留水浄化設備は，主に，鉄筋コンクリート造の建屋内に設置するため，豪雨により設備の安全性が損なわれる可能性は低い。また，一部，屋外に設置する配管についても保護カバー等を設置するため，豪雨により設備の安全性が損なわれる可能性は低い。

(4)火災

滞留水浄化設備は，火災発生防止および火災の影響軽減のため，実用上可能な限り不燃性または難燃性材料を使用するとともに設備周辺からは可能な限り可燃性を排除する。また，初期消火の対応が出来るよう，設備近傍に消火器を設置する。

(5)その他

滞留水浄化設備は，上記の自然現象の他，火山，森林火災等により設備損傷のおそれがある場合，または設備損傷した場合は，運転する者が手動により免震重要棟集中監視室から設備を停止できる設計とする。

3.2. 環境条件対策

(1)腐食

主配管は耐腐食性を有するポリエチレン管，ステンレス鋼鋼管，内面がポリエチレンライニングされた炭素鋼鋼管，耐圧ホースを用いる。

(2)熱による劣化

系統水の温度は，常温であるため熱による劣化の懸念はない。

(3)凍結に対する考慮

汚染水処理設備にて処理された水を移送している過程では，水が流れているため凍結の恐れはない。汚染水処理設備にて処理された水の移送を停止した場合，１～４号機タービン建屋，１～３号機原子炉建屋内に設置する滞留水浄化設備は，過去の実績から氷点下になることはないため，凍結の懸念はないが，屋外に敷設するポリエチレン管は，凍結による破損が懸念されるため，凍結しない十分な厚さを確保した保温材を取り付ける。

(4) 紫外線に対する考慮

滞留水浄化設備は，主に，建屋内に設置するため紫外線の影響を受けることはないが，一部，屋外に設置するポリエチレン管には，紫外線による劣化を防止するための紫外線防止効果のあるカーボンブラックを添加した保温材，フィルム等で覆う処置を実施する。カーボンブラックを添加していない保温材を使用する場合は，カーボンブラックを添加した被覆材または紫外線による劣化のし難い材料である鋼板を取り付ける。

(5)耐放射線性

ポリエチレンは，集積線量が 2×10^5Gy に達すると，引張強度は低下しないが，破断時の伸びが減少する傾向を示すが，ポリエチレン管の照射線量率を 1Gy/h と仮定すると，2×10^5Gy に到達する時間は 2×10^5 時間（22.8 年）と評価される。耐圧ホースに使用される合成ゴムの放射線照射による影響は，1×10^5Gy まで照射されても有意な材料特性の変化は確認されておらず，耐圧ホースの照射線量率を 1Gy/h と仮定すると，集積線量が 1×10^5Gy に到達する時間は 1×10^5 時間(11.4 年)と評価される。そのため，ポリエチレン管，耐圧ホースは数年程度の使用では放射線照射の影響を受けることはないと考えられるが，放射線による材料特性に優位な変化がない期間を評価した上で，当該期間を超えて使用する場合には，あらかじめ交換等を行う。

4. 滞留水浄化設備に係わる確認事項

滞留水浄化設備の構造強度・耐震性及び機能・性能等に関する確認事項を表－１～５に示す。

表－１　確認事項（鋼管）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	主要寸法について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認※1	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認※1	配管の据付状態について確認する。	実施計画のとおり据付されていること。
	耐圧・漏えい確認※1※2	確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることを確認する。 耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいの有無を確認する。	確認圧力に耐え，かつ構造物の変形がないこと。 耐圧部から漏えいがないこと。

※１　現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する。

※２　鋼管とポリエチレン管のフランジ接続箇所については，間隙もしくは締付けトルクの確認にて耐圧・漏えい確認の代替とする。

表－２　確認事項（ポリエチレン管，耐圧ホース）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度	材料確認	主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	主要寸法について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認※1	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認※1	配管の据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認※1※2	確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることを確認する。 耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいの有無を確認する。	確認圧力に耐え，かつ構造物の変形がないこと。 耐圧部から漏えいがないこと。

※１　現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する。

※２　鋼管とポリエチレン管のフランジ接続箇所については，間隙もしくは締付けトルクの確認にて耐圧・漏えい確認の代替とする。

表－３　確認事項（漏えい検出装置及び自動警報装置）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度	外観確認※1	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	装置の据付位置を確認する。	実施計画のとおりであること。
機能	漏えい警報確認	「漏えい」※2の信号により，警報が発生することを確認する。	「漏えい」※2の信号により，警報が発生すること。

※１　現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する。

※２　漏えい検知器により信号名称は異なる。

表－４　確認事項（滞留水浄化設備）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
機能	通水確認	通水されていることを確認する。	通水されていること。

以　上

別紙－１

滞留水浄化設備の構造強度及び耐震性

滞留水浄化設備を構成する設備について，構造強度評価の基本方針及び耐震性評価の基本方針に基づき構造強度及び耐震性の評価を行う。

1. 基本方針

1.1. 構造強度評価の基本方針

滞留水浄化設備のうち，鋼材を使用している鋼管については，JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（JSME 規格）のクラス３機器に準じた評価を行う。

ポリエチレン管は，日本水道協会規格（JWWA 規格）に適合したものを適用範囲内で使用することで，構造強度を有すると評価する。また，耐圧ホースについては，製造者仕様範囲内の圧力及び温度で使用することで構造強度を有すると評価する。

1.2. 耐震性評価の基本方針

滞留水浄化設備のうち放射性物質を内包するものは，発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針の B クラス相当の設備と位置づけられる。耐震性評価にあたっては，JEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規程等に準拠することを基本とする。

また，各機器は必要な耐震性を確保するために，原則として以下の方針に基づき設計する。

・変位による破壊を防止する構造（定ピッチスパン法による配管サポート間隔の設定）

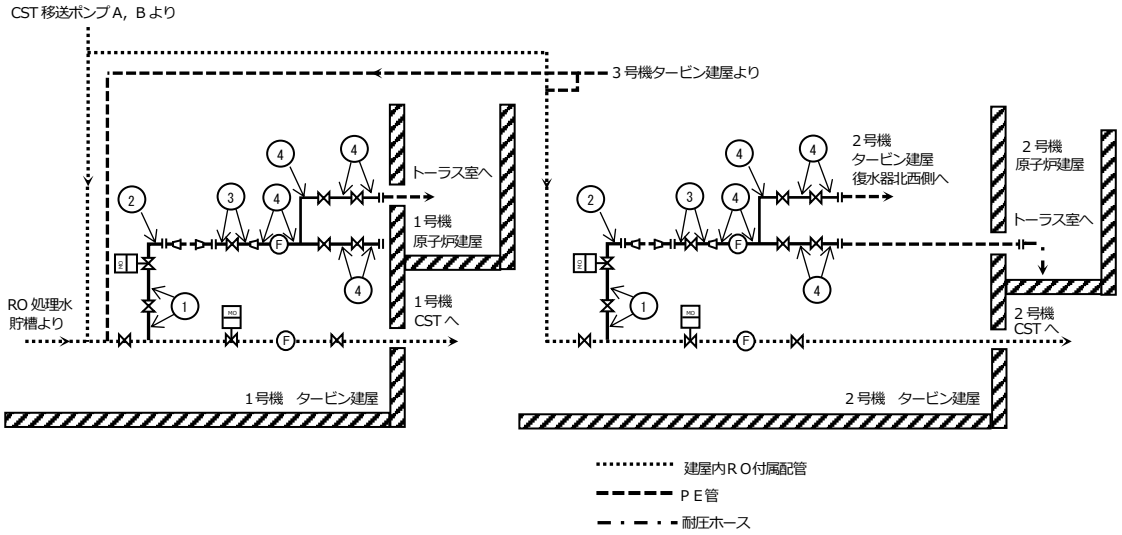
なお，ポリエチレン管，耐圧ホースは，可撓性により耐震性を確保する。

2. 構造強度評価及び耐震性評価

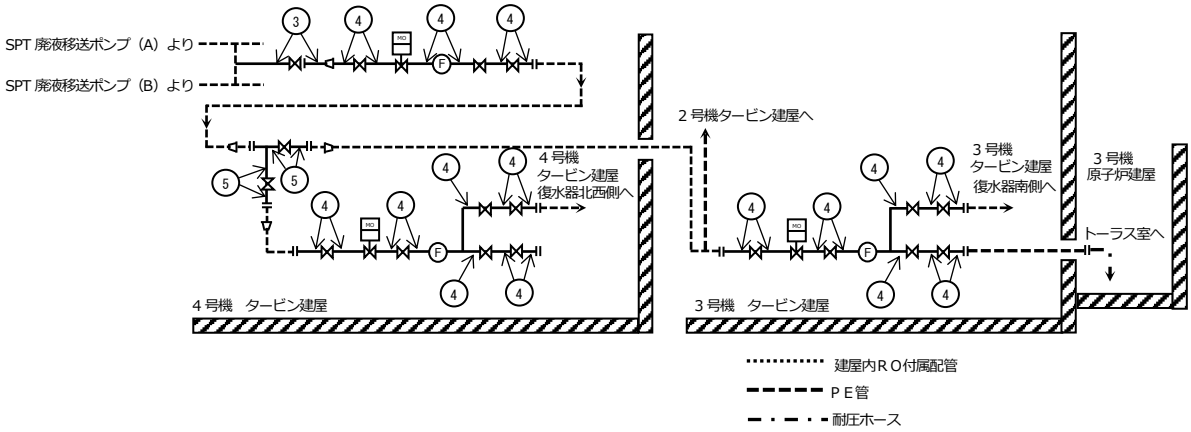
2.1. 主配管の構造強度評価

2.1.1 評価箇所

強度評価箇所を図－１に示す。



図－１　強度評価箇所（１／２）



図－１　強度評価箇所（２／２）

2.1.2 評価方法（JSME 規格　PPD-3411）

(1) 管の厚さの評価

管の必要な厚さは，次に掲げる値のうち，いずれか大きい方の値とする。

ａ．管の計算上必要な最小必要厚さ：t_1

$$t_1 = \frac{P \cdot Do}{2S \cdot \eta + 0.8P}$$

Ｐ：最高使用圧力（MPa）
Ｄｏ：管の外径（mm）
Ｓ：許容引張応力（MPa）
η：継手効率（-）

ｂ．炭素鋼鋼管の規格上必要な最小必要厚さ：t_2

PPD-3411(3)の表 PPD-3411-1 より求めた管の厚さとする。

2.1.3 評価結果

評価結果を表－１に示す。必要厚さ等を満足しており，十分な構造強度を有していると評価している。

表－１　配管の評価結果（管の厚さ）（滞留水浄化設備附属主配管）

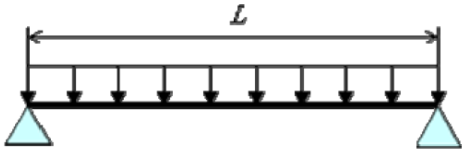
No.	外径 (mm)	材料	最高使用圧力(MPa)	最高使用温度(℃)	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
①	60.50	SUS316LTP	0.98	40	0.27	3.40
②	60.50	STPT410	0.98	40	2.40	4.81
③	89.10	STPT410	0.98	40	3.00	4.81
④	114.30	STPT410	0.98	40	3.40	5.25
⑤	165.20	STPT410	0.98	40	3.80	6.21

2.2. 主配管の耐震性評価

2.2.1 評価条件

評価条件として配管は，配管軸直角２方向拘束サポートにて支持される両端単純支持のはりモデル（図－２）とする。

次に，当該設備における主配管（鋼管）について，各種条件を表－２に示す。



図－２　等分布荷重　両端単純支持はりモデル

表－２　配管系における各種条件（滞留水浄化設備附属主配管）

配管分類	主配管（鋼管）				
配管クラス	クラス３相当				
耐震クラス	Ｂクラス相当（水平地震動 0.36）				
設計温度[℃]	40				
配管材質	SUS316LTP	STPT410			
配管口径	50A	50A	80A	100A	150A
Sch	40	80	40		
設計圧力[MPa]	0.98				
配管支持間隔[m]	2.5	2.5	3.1	3.4	4.1

2.2.2 評価方法

水平方向震度による管軸直角方向の配管応力を評価する。

自重による応力 Sw は，下記の式で示される。

$$Sw = \frac{M}{Z} = \frac{w \cdot L^2}{8Z}$$

Sw ：自重による応力　[MPa]
L　：支持間隔　[mm]
M　：曲げモーメント　[N・mm]
Z　：断面係数　[mm3]
w　：等分布荷重　[N/mm]

管軸直角方向の地震による応力 Ss は，自重による応力 Sw の震度倍で下記の式で示される。

$$Ss = \alpha \cdot Sw$$

Ss　：地震による応力　[MPa]
α　：想定震度値　[-]

また，評価基準値として JEAC4601-2008 に記載の供用応力状態 Cs におけるクラス３配管の一次応力制限を用いると，地震評価としては下記の式で示される。

$$S = Sp + Sw + Ss = Sp + Sw + \alpha \cdot Sw = Sp + (1+\alpha) \cdot Sw \leq 1.0Sy$$

S　：内圧，自重，地震による発生応力　[MPa]
Sp　：内圧による応力　[MPa]
Sy　：設計降伏点　[MPa]

2.2.3 評価結果

両端単純支持はりモデルで，自重による応力 Sw が 30 [MPa]以下となる配管サポート配置を仮定し，各応力を計算した結果を表－３に示す。表－３より，自重による応力 Sw を 30 [MPa]以下となるようサポート配置を決定することで，配管は十分な強度を有するものと評価する。

表－３　応力評価結果（滞留水浄化設備附属主配管）

配管分類	主配管（鋼管）				
配管材質	SUS316LTP	STPT410			
配管口径	50A	50A	80A	100A	150A
Sch	40	80	40		
設計圧力[MPa]	0.98				
内圧，自重，地震による発生応力 S[MPa]	17	14	18	19	21
供用状態 Cs における一次許容応力[MPa]	175	245	245	245	245

以上

添付資料－２５

第三セシウム吸着装置について

1. 基本設計

1.1 設置の目的

第三セシウム吸着装置は，処理装置（セシウム吸着装置，第二セシウム吸着装置，除染装置）の信頼性向上及び滞留水浄化の加速を目的として設置するものである。第三セシウム吸着装置は，1 号～4 号機タービン建屋等，高温焼却炉建屋及びプロセス主建屋に貯留している汚染水（以下，「滞留水」という。）に含まれる主要な放射性物質を除去する。なお，第三セシウム吸着装置の機能・性能に関する設計は，第二セシウム吸着装置と同等である。

1.2 要求される機能

滞留水中の放射性物質等の濃度及び量を適切な値に低減する能力を有すること。

1.3 設計方針

(1)処理能力

処理装置（セシウム吸着装置，第二セシウム吸着装置，第三セシウム吸着装置及び除染装置）全体で，原子炉への注水，雨水の浸入，地下水の浸透等により 1 号～4 号機タービン建屋等に発生する滞留水に対して十分対処できる処理容量とする。

(2)長期停止に対する考慮

a. 主要核種の除去を行う処理装置（セシウム吸着装置，第二セシウム吸着装置，第三セシウム吸着装置及び除染装置）は，単独もしくは組み合わせでの運転が可能な設計とする。また，セシウム吸着装置及び除染装置と第二セシウム吸着装置は，それぞれ異なる系統の所内高圧母線から受電する構成とし，第三セシウム吸着装置は，二つの異なる系統の所内高圧母線から受電する構成とする。

b. 第三セシウム吸着装置の動的機器は，その故障により滞留水の処理が長期間停止することがないように原則として多重化する。

(3)規格・規準等

第三セシウム吸着装置は，設計，材料の選定，製作及び検査において，原則として適切と認められる規格および基準によるものとする。

(4)放射性物質の漏えい防止及び管理されない放出の防止

第三セシウム吸着装置は，液体状の放射性物質の漏えいの防止及び系外への管理されない放出を防止するため，次の各項を考慮した設計とする。

a. 漏えいの発生を防止するため，機器等には設置環境や内部流体の性状等に応じた適切な材料を使用するとともに，タンク水位の検出器等を設ける。

b. 液体状の放射性物質が漏えいした場合は，漏えいの早期検出を可能にするとともに，漏えいを停止するのに適切な措置をとれるようにする。また，漏えい水の拡大を抑制するための堰等を設ける。

c. タンク水位，漏えい検知等の警報については，免震重要棟集中監視室に表示し，異常を確実に運転員に伝え適切な措置をとれるようにする。

(5)放射線遮へいに対する考慮

第三セシウム吸着装置は，放射線業務従事者等の線量を低減する観点から，放射線を適切に遮へいする設計とする。

(6)崩壊熱除去に対する考慮

第三セシウム吸着装置は，放射性物質の崩壊熱による温度上昇を考慮し，必要に応じて崩壊熱を除去できる設計とする。

(7)可燃性ガスの滞留防止に対する考慮

第三セシウム吸着装置は，水の放射線分解により発生する可燃性ガスを適切に排出できる設計とする。

(8)健全性に対する考慮

第三セシウム吸着装置は，機器の重要度に応じた有効な保全ができるものとする。

1.4 供用期間中に確認する項目

a. 第三セシウム吸着装置は，滞留水の放射性物質の濃度を原子炉注水に再利用可能な濃度まで低減できる能力を有すること。

1.5 主要な機器

第三セシウム吸着装置は 1 系列構成とし，第三セシウム吸着装置ブースターポンプ，吸着塔及び配管等で構成する。

滞留水移送装置により移送された 1 号～4 号機タービン建屋等，高温焼却炉建屋及びプロセス主建屋の滞留水は，第三セシウム吸着装置により放射性のセシウム，ストロンチウムを除去する。

吸着塔はＡ型・Ｂ型の２種類があり，吸着塔Ｂ型では，高性能多核種除去設備で発生

した使用済 Cs/Sr 同時吸着塔（吸着材含む），サブドレン他浄化設備で発生した使用済 Cs/Sr 同時吸着材を再利用して使用できる。

二次廃棄物となる使用済みの吸着材を収容した第三セシウム吸着装置吸着塔は，使用済セシウム吸着塔一時保管施設に一時的に貯蔵する。

第三セシウム吸着装置の主要な機器は，免震重要棟集中監視室の監視・制御装置により遠隔操作及び運転状況の監視を行う。

1.6 自然災害対策等

(1)津波

第三セシウム吸着装置は，アウターライズ津波による浸水を防止するため仮設防潮堤内に設置する。また，アウターライズ津波を上回る津波の襲来に備え，大津波警報が出た際は，系統を停止し，隔離弁を閉めることにより滞留水の流出を防止する。

(2)風雨（豪雨・台風・竜巻）

第三セシウム吸着装置は，風雨による設備損傷の可能性が低い鉄筋コンクリート造のサイトバンカ建屋内に設置する。

竜巻の発生の可能性が予見される場合には，汚染水処理設備の停止・隔離弁の閉止操作を行い，汚染水の拡大防止を図る。

(3)火災

第三セシウム吸着装置は，火災発生防止及び火災影響軽減のため，実用上可能な限り不燃性又は難燃性材料を使用するとともに設備周辺から可能な限り可燃物を排除する。また，初期消火の対応ができるよう，設備近傍に消火器を設置する。なお，火災発生は監視カメラ等により確認可能な設計とする。

1.7 構造強度及び耐震性

1.7.1 構造強度

第三セシウム吸着装置は，「実用発電用原子炉及びその付属設備の技術基準に関する規則」において，廃棄物処理設備に相当するクラス 3 機器に準ずるものと位置付けられる。

第三セシウム吸着装置（震災当初に設置した既存設備を除く）については，「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（JSME 規格）」（以下，「JSME 規格」という。），American Society of Mechanical Engineers（以下，「ASME 規格」という。），日本産業規格（JIS）等の国内外の民間規格に適合した工業用品の採用，日本産業規格（JIS），またはこれらと同等の技術的妥当性を有する規格での設計・製作・検査を行う。

また，JSME 規格で規定される材料の日本産業規格（JIS）年度指定は，技術的妥当性の範囲において材料調達性の観点から考慮しない場合もある。

さらに，JSME 規格に記載のない非金属材料（耐圧ホース，ポリエチレン管等）については，現場の作業環境等から採用を継続する必要があるが，これらの機器等については，日本産業規格（JIS）や日本水道協会規格（JWWA 規格），製品の試験データ等を用いて設計を行う。

1.7.2 耐震性

第三セシウム吸着装置は，「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」のＢクラス相当の設備と位置づけられる。耐震性を評価するにあたっては，「JEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規程」等に準拠して構造強度評価を行うことを基本とするが，評価手法，評価基準について実態にあわせたものを採用する。なお，第三セシウム吸着装置は，参考としてＳクラス相当の評価を行う。

耐圧ホース，ポリエチレン管は，材料の可撓性により耐震性を確保する。

2. 基本仕様

2.1 主要仕様

(1)第三セシウム吸着装置

系 列 数	1
処 理 量	600 m^3/日
性 能	Cs：系統の出口放射能濃度が 10^2 オーダーBq/cc 以下であること Sr：放射能濃度が低減されていること

(2)ろ過フィルタ

名称			仕様
種類		－	円筒形
容量		m^3/h/個	25
最高使用圧力		MPa	1.37
最高使用温度		℃	66
主要寸法	胴外径	mm	914.4
	胴板厚さ	mm	12
	上部・下部鏡板厚さ	mm	14
	高さ	mm	2,673
材料	胴板	－	SUS316L
	鏡板	－	SUS316L
	遮へい材	－	Pb
個数		個	2

(3)吸着塔Ａ型

名　　称			仕　　様
種　　類		－	円筒形
容　　量		m^3/h/個	25
最高使用圧力		MPa	1.37
最高使用温度		℃	66
主要寸法	胴　外　径	mm	914.4
	胴　板　厚　さ	mm	12
	上部・下部鏡板厚さ	mm	14
	高　　さ	mm	2,673
材料	胴　　板	－	SUS316L
	鏡　　板	－	SUS316L
	遮　へ　い　材	－	Pb
個　　数		個	4

(4) 吸着塔Ｂ型

名 称			仕　様
種 類		—	中空円筒形
容　量		m^3/h/個	25
最高使用圧力		MPa	1.37
最高使用温度		℃	66
主要寸法	外胴内径	mm	939.8
	外胴板厚さ	mm	12.7
	内胴内径	mm	330.2
	内胴板厚さ	mm	12.7
	上部平板厚さ	mm	76.2
	下部平板厚さ	mm	76.2
	高　さ	mm	3632
材料	外胴板	—	二相ステンレス（S32205） 二相ステンレス（S32750）
	内胴板	—	
	上部平板	—	
	下部平板	—	
	遮へい材	—	Pb
個　数		個	4

別紙

（１）第三セシウム吸着装置の構造強度に関する計算書

（２）第三セシウム吸着装置の耐震性に関する計算書

（３）サイトバンカ建屋の構造強度及び耐震性に関する検討結果

（４）第三セシウム吸着装置の具体的な安全確保策

（５）第三セシウム吸着装置に係る確認事項

以上

別紙（１）

第三セシウム吸着装置の構造強度に関する計算書

1. 構造強度評価の方針

第三セシウム吸着装置を構成する主要な機器及び主配管（鋼管）は，強度評価においては，「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格」（以下，「JSME 規格」という。）のクラス３機器またはクラス３配管に準じた評価を行う。

なお,吸着塔Ｂ型の許容応力値については,輸入品であるため,ASME 規格「Boiler and Pressure Vessels Code」Section Ⅱ； Material Specifications を準じて評価を行う。

2. ろ過フィルタ・吸着塔

2.1 評価方法

(1) 胴の厚さの評価

ａ．内面に圧力を受ける円筒形の胴の場合

円筒形の胴に必要な厚さは次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

（ａ）規格上必要な最小厚さ：t_1

炭素鋼鋼板又は低合金鋼鋼板で作られたものの場合は 3mm，その他の材料で作られたものの場合は 1.5mm とする。

（ｂ）内面に圧力を受ける胴の必要厚さ：t_2

$$t_2=\frac{P\cdot D_i}{2S\cdot\eta-1.2P}$$

t_2：胴板の計算上必要な厚さ（mm）
P ：最高使用圧力（MPa）
D_i ：胴の内径（mm）
S ：許容引張応力（MPa）
η ：継手効率（-）

ｂ．外面に圧力を受ける円筒形の胴の場合

円筒形の胴に必要な厚さは次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

（ａ）規格上必要な最小厚さ：t_1

炭素鋼鋼板又は低合金鋼鋼板で作られたものの場合は 3mm，その他の材料で作られたものの場合は 1.5mm とする。

（ｂ）外面に圧力を受ける胴の必要厚さ：t_2

$$t=\frac{3PD_o}{4B}$$

t ： 胴の計算上必要な厚さ
Do： 胴の外径
P ： 最高使用圧力
B ： 設計・建設規格 付録材料図表 Part7
図 1 から図 20 までにより求めた値。

(2) 鏡板の厚さの評価

a．さら形鏡板

さら形鏡板に必要な厚さは，次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

(a)フランジ部の計算上必要な厚さ：t_1

$$t_1=\frac{P\cdot D_i}{2S\cdot\eta-1.2P}$$

t_1 ：フランジ部の計算上必要な厚さ（mm）
P ：最高使用圧力（MPa）
D_i ：胴の内径（mm）
S ：許容引張応力（MPa）
η ：継手効率（-）

(b)鏡板の計算上必要な厚さ： t_2

$$t_2=\frac{P\cdot R\cdot W}{2S\cdot\eta-0.2P}$$

t_2 ：鏡板の計算上必要な厚さ（mm）
P ：最高使用圧力（MPa）
R ：鏡板の中央部における内面の半径（mm）
W ：さら形鏡板の形状による係数（-）
S ：許容引張応力（MPa）
r ：さら形鏡板のすみの丸みの内半径（mm）
η ：継手効率（-）

ここで，Wは次の計算式により計算した値とする。

$$W=\frac{1}{4}\left(3+\sqrt{\frac{R}{r}}\right)$$

R ：鏡板の中央部における内面の半径（mm）
r ：さら形鏡板のすみの丸みの内半径（mm）

b．平板

平板の厚さは，次に掲げる値のうちいずれかによるものとする。

(a)平板に穴を設ける場合であって，穴の径が平板の径の２分の１以下であり，穴の補強計算をおこなうもの。

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{K \cdot P}{S}}$$

t：必要厚さ（mm）
d：平板の径（mm）
K：取付方法による係数（-）
P：最高使用圧力(MPa)
S ：許容引張応力（MPa）

(b)平板に穴を設ける場合であって，穴の径が平板の径の２分の１以下であり，(a)項以外のもの。

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot K \cdot P}{S}}$$

t：必要厚さ（mm）
d：平板の径（mm）
K：取付方法による係数（-）
P：最高使用圧力(MPa)
S ：許容引張応力（MPa）

2.2 評価結果

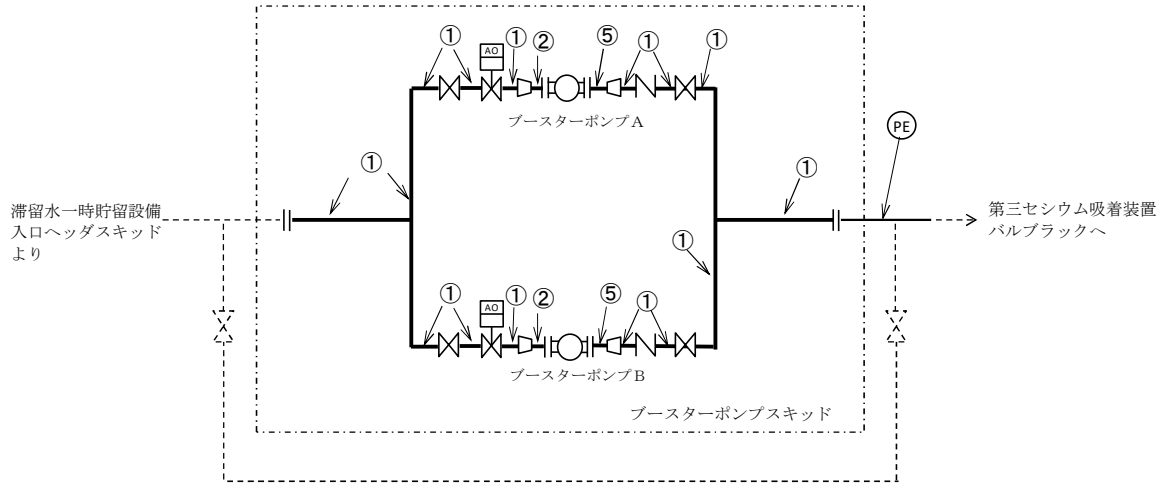
ろ過フィルタ・吸着塔の円筒形容器について設計・建設規格に準拠し，板厚評価を実施した。評価の結果，内圧に耐えられることを確認した（表－１）。

表－１　ろ過フィルタ・吸着塔の評価結果（板厚）

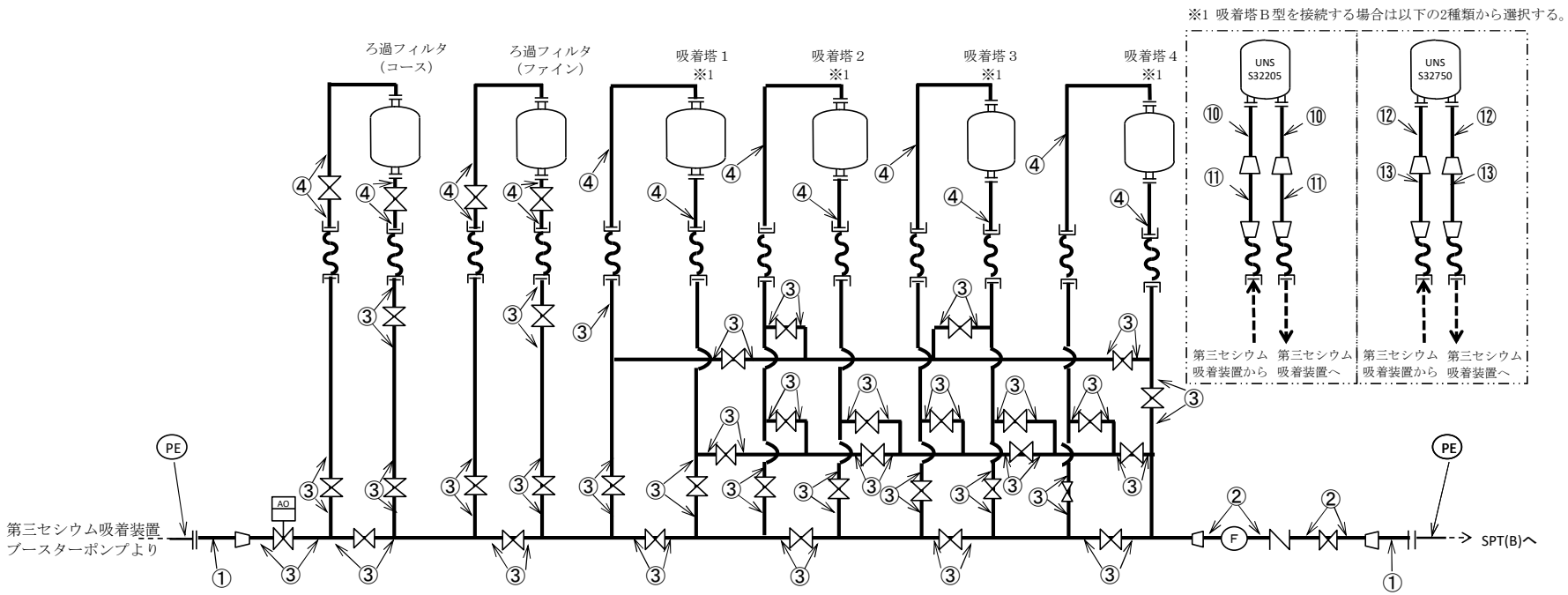
機器名称	評価項目	必要肉厚[mm]	実厚[mm]
第三セシウム吸着装置 ろ過フィルタ・吸着塔A型	胴板の厚さ	9.54	12.00
	上部鏡板の厚さ	8.68	14.00
	下部鏡板の厚さ	8.68	14.00
第三セシウム吸着装置 吸着塔Ｂ型(S32205)	胴板(外筒胴)の厚さ	5.0	12.7
	胴板(内筒胴)の厚さ	7.2	12.7
	上部平板の厚さ	65.35	76.2
	下部平板の厚さ	65.35	76.2
第三セシウム吸着装置 吸着塔Ｂ型(S32750)	胴板(外筒胴)の厚さ	4.1	12.7
	胴板(内筒胴)の厚さ	7.2	12.7
	上部平板の厚さ	59.32	76.2
	下部平板の厚さ	59.32	76.2

3. 主配管

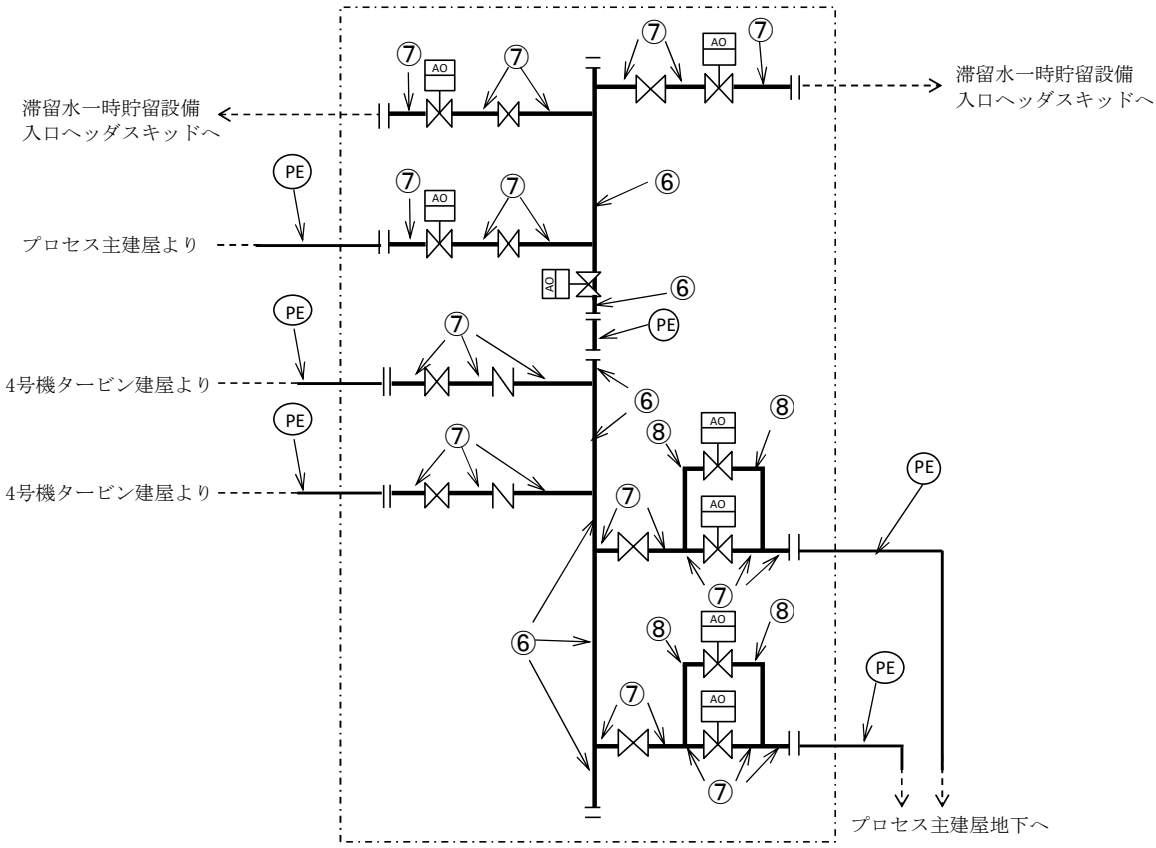
強度評価箇所を図－１に示す。



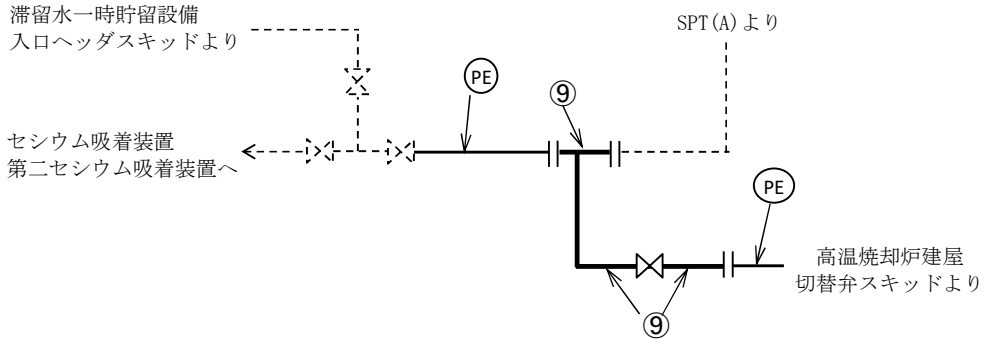
図－１　配管概略図（１／５）


※1 吸着塔Ｂ型を接続する場合は以下の2種類から選択する。
ろ過フィルタ
（コース）
ろ過フィルタ
（ファイン）
吸着塔１
※1
吸着塔２
※1
吸着塔３
※1
吸着塔４
※1
UNS
S32205
UNS
S32750
第三セシウム
吸着装置から
第三セシウム
吸着装置へ
第三セシウム
吸着装置から
第三セシウム
吸着装置へ
PE
AO
第三セシウム吸着装置
ブースターポンプより
F
PE
SPT(B)へ

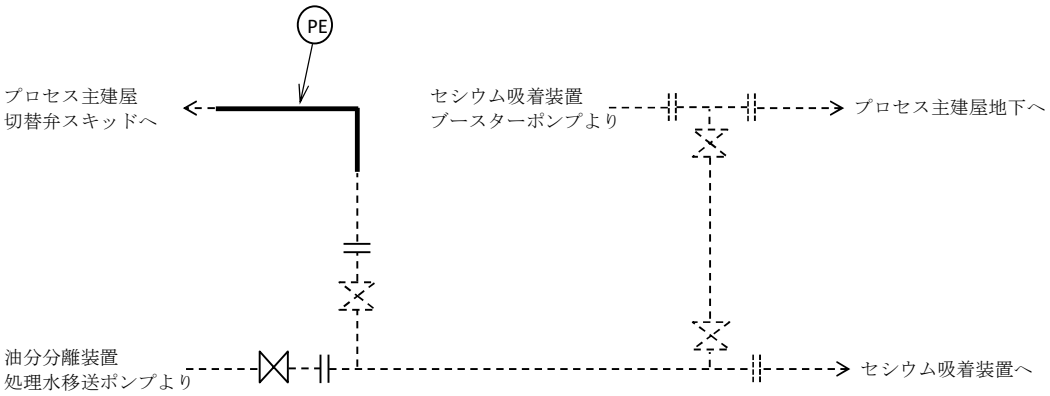
図－１　配管概略図（２／５）



図－１　配管概略図（３／５）



図－１　配管概略図（４／５）


PE
プロセス主建屋
切替弁スキッドへ
セシウム吸着装置
ブースターポンプより
プロセス主建屋地下へ
油分分離装置
処理水移送ポンプより
セシウム吸着装置へ

図－１　配管概略図（５／５）

3.1 評価方法

(1) 管の厚さの評価

管の必要な厚さは，次に掲げる値のうち，いずれか大きい方の値とする。

ａ．管の計算上必要な最小必要厚さ：t_1

$$t_1=\frac{P\cdot D_0}{2S\cdot\eta+0.8P}$$

P ：最高使用圧力（MPa）

D_0：管の外径（mm）

S ：許容引張応力（MPa）

η ：継手効率（-）

ｂ．炭素鋼鋼管の規格上必要な最小必要厚さ：t_2

PPD-3411(3)の表 PPD-3411-1 より求めた管の厚さとする。

3.2 評価結果

評価結果を表－３に示す。必要厚さ等を満足しており，十分な構造強度を有していると評価している。

表－３　主配管の評価結果（管厚）

No.	口径	Sch	材料	最高使用圧力(MPa)	最高使用温度(℃)	必要厚さ(mm)	最小厚さ(mm)
配管①	100	40	SUS316L	1.37	40	0.71	5.25
配管②	80	40	SUS316L	1.37	40	0.55	4.81
配管③	65	40	SUS316L	1.37	40	0.47	4.55
配管④	50	40	SUS316L	1.37	40	0.38	3.40
配管⑤	40	40	SUS316L	1.37	40	0.30	3.20
配管⑥	150	80	STPG370	1.0	40	3.80	9.62
配管⑦	100	80	STPG370	1.0	40	3.40	7.52
配管⑧	50	80	STPG370	1.0	40	2.40	4.81
配管⑨	100	80	STPG370	1.37	66	3.40	7.52
配管⑩	50	40	ASME SA790 S32205	1.37	40	0.22	3.42
配管⑪	80	40	ASME SA790 S32205	1.37	40	0.33	4.80
配管⑫	50	40	ASME SA790 S32750	1.37	40	0.18	3.42
配管⑬	80	40	ASME SA790 S32750	1.37	40	0.27	4.80

以上

別紙（２）

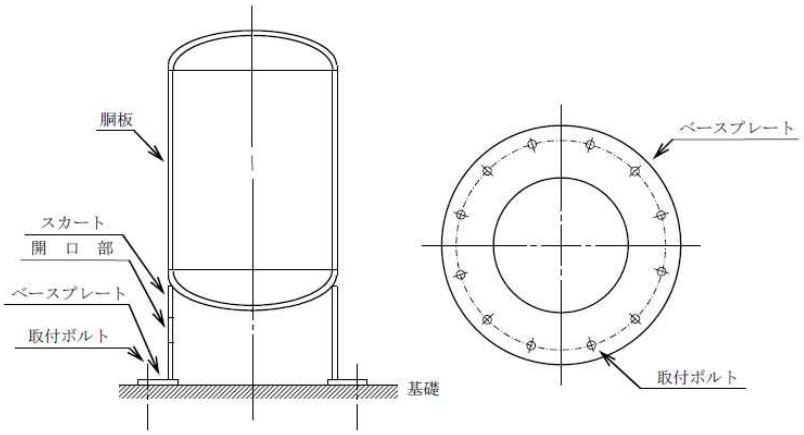
第三セシウム吸着装置の耐震性に関する計算書

1. 耐震設計の基本方針

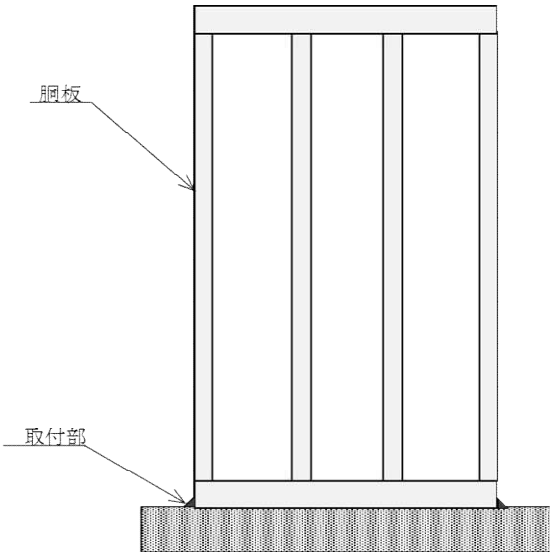
第三セシウム吸着装置は，「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」のＢクラス相当の設備と位置づけられる。耐震性を評価するにあたっては，「JEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規程」等に準拠して構造強度評価を行うことを基本とするが，評価手法，評価基準について実態にあわせたものを採用する。なお，第三セシウム吸着装置は，参考としてＳクラス相当の評価を行う。

2. ろ過フィルタ・吸着塔の耐震性評価

ろ過フィルタ・吸着塔Ａ型の評価は，「2.16.2 増設多核種除去設備 添付資料－３ 付録１スカート支持たて置円筒形容器（耐震設計上の重要度分類Ｂクラス）の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づいて評価を実施した。吸着塔Ｂ型の評価は，付録１「吸着塔Ｂ型の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づいて評価を実施した。評価の結果，胴板，スカート及び取付ボルト，取付部の強度が確保されることを確認した（表－１，２，３）。



図－１　ろ過フィルタ・吸着塔Ａ型概要図



図－２　吸着塔Ｂ型概要図

表－１　ろ過フィルタの耐震性評価結果（１／２）

単位：MPa

部材	材料	水平震度	応力	算出応力	許容応力
胴板	SUS316L	0.36	一次一般膜	σ_0= 52	S_a= 159
			膜＋曲げ	σ_0= 52	S_a= 159
スカート	SUS304	0.36	組合せ	σ_S= 4	F_t= 205
			圧縮と曲げの組合せ	$(\eta \cdot \sigma_{S1}/f_c + \eta \cdot \sigma_{S2}/f_b) \leqq 1$	
			（座屈の評価）	0.02	
取付ボルト	SUS316L	0.36	引張	σ_b= 7	F_{ts}= 131
			せん断	τ_b= 5	F_{sb}= 101

表－１　ろ過フィルタの耐震性評価結果（２／２）

単位：MPa

部材	材料	水平震度	応力	算出応力	許容応力
胴板	SUS316L	0.8	一次一般膜	σ_0= 52	S_a= 159
			膜＋曲げ	σ_0= 52	S_a= 159
スカート	SUS304	0.8	組合せ	σ_S= 7	F_t= 205
			圧縮と曲げの組合せ	$(\eta \cdot \sigma_{S1}/f_c + \eta \cdot \sigma_{S2}/f_b) \leqq 1$	
			（座屈の評価）	0.04	
取付ボルト	SUS316L	0.8	引張	σ_b= 35	F_{ts}= 131
			せん断	τ_b= 11	F_{sb}= 101

表－２　吸着塔Ａ型の耐震性評価結果（１／２）

単位：MPa

部材	材料	水平震度	応力	算出応力	許容応力
胴板	SUS316L	0.36	一次一般膜	σ_0= 52	S_a= 159
			膜＋曲げ	σ_0= 52	S_a= 159
スカート	SUS304	0.36	組合せ	σ_S= 4	F_t= 205
			圧縮と曲げの組合せ	$(\eta \cdot \sigma_{S1}/f_c + \eta \cdot \sigma_{S2}/f_b) \leqq 1$	
			（座屈の評価）	0.02	
取付ボルト	SUS316L	0.36	引張	σ_b= 8	F_{ts}= 131
			せん断	τ_b= 6	F_{sb}= 101

表－２　吸着塔Ａ型の耐震性評価結果（２／２）

単位：MPa

部材	材料	水平震度	応力	算出応力	許容応力
胴板	SUS316L	0.8	一次一般膜	σ_0= 52	S_a= 159
			膜＋曲げ	σ_0= 52	S_a= 159
スカート	SUS304	0.8	組合せ	σ_S= 8	F_t= 205
			圧縮と曲げの組合せ	$(\eta \cdot \sigma_{S1}/f_c + \eta \cdot \sigma_{S2}/f_b) \leqq 1$	
			（座屈の評価）	0.04	
取付ボルト	SUS316L	0.8	引張	σ_b= 39	F_{ts}= 131
			せん断	τ_b= 12	F_{sb}= 101

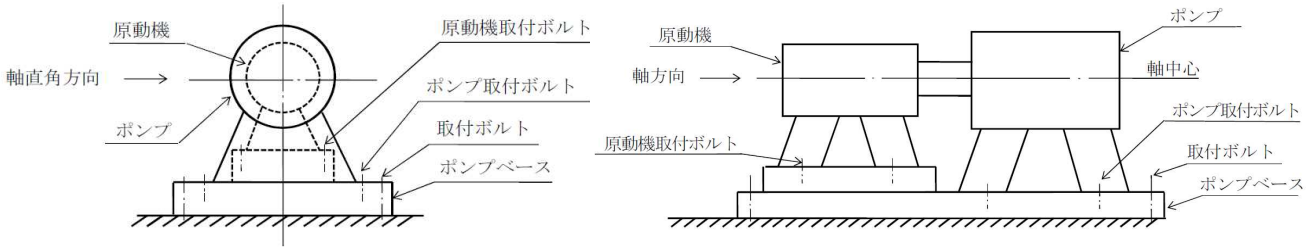
表－３　吸着塔Ｂ型の耐震性評価結果

単位：MPa

部材	材料	水平震度	応　力	算出応力	許容値
胴板	ASME SA240 S32205	0.36	一次一般膜	σｏ＝52	Ｓａ＝393
取付部	ASME SA36 相当	0.36	組　合　せ	σｂ＝16	ｆｔ＝108
胴板	ASME SA240 S32750	0.36	一次一般膜	σｏ＝52	Ｓａ＝477
取付部	ASME SA36 相当	0.36	組　合　せ	σｂ＝16	ｆｔ＝108

3. ポンプの耐震性評価

ポンプの評価は，「2.16.2 増設多核種除去設備 添付資料－３ 付録２横軸ポンプ及びスキッド（耐震設計上の重要度分類Ｂクラス）の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づいて評価を実施した。評価の結果，ポンプ取付ボルトの強度が確保されることを確認した（表－４）。



図－３　ポンプ概要図

表－４　ポンプの耐震性評価結果（１／２）

単位：MPa

部材	材料	水平震度	応力	算出応力	許容応力
取付ボルト	SS400	0.36	引張	σ_{b1}= 2	f_{ts1}= 176
			せん断	τ_{b1}= 4	f_{sb1}= 135
ポンプ取付ボルト	SUS316	0.36	引張	σ_{b2}= 9	f_{ts2}= 153
			せん断	τ_{b2}= 2	f_{sb2}= 118
原動機取付ボルト	SS400	0.36	引張	σ_{b4}= 2	f_{ts4}= 183
			せん断	τ_{b4}= 4	f_{sb4}= 141

表－４　ポンプの耐震性評価結果（２／２）

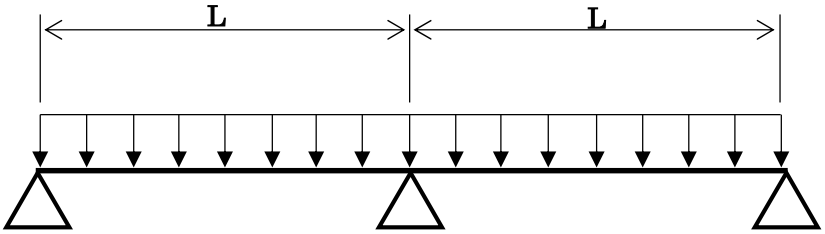
単位：MPa

部材	材料	水平震度	応力	算出応力	許容応力
取付ボルト	SS400	0.8	引張	σ_{b1}= 6	f_{ts1}= 176
			せん断	τ_{b1}= 6	f_{sb1}= 135
ポンプ取付ボルト	SUS316	0.8	引張	σ_{b2}= 9	f_{ts2}= 153
			せん断	τ_{b2}= 3	f_{sb2}= 118
原動機取付ボルト	SS400	0.8	引張	σ_{b4}= 5	f_{ts4}= 183
			せん断	τ_{b4}= 6	f_{sb4}= 141

4. 主配管の耐震性評価

a．評価条件

評価条件として配管は､配管軸直2方向拘束サポートにて支持される３点支持はりモデル(図－４）とする。



図－４　等分布荷重　３点支持はりモデル

次に、当該設備における配管（鋼管）について，各種条件を表－５に示す。

表－５　配管系における各種条件（１／２）

配管分類	主配管（鋼管）								
配管クラス	クラス３相当								
耐震クラス	Bクラス相当								
最高使用圧力［MPa］	1.37					1.0			1.37
最高使用温度［℃］	40								66
配管材質	SUS316L					STPG370			
配管口径［A］	100	80	65	50	40	150	100	50	100
Sch	40					80			
配管支持間隔※　［m］	3.3	2.9	2.7	2.4	2.2	3.8	3.2	2.5	3.2

※評価は保守的に4.0ｍとする

表－５　配管系における各種条件（２／２）

配管分類	主配管（鋼管）			
配管クラス	クラス３相当			
耐震クラス	Bクラス相当			
最高使用圧力［MPa］	1.37			
最高使用温度［℃］	40			
配管材質	ASME SA790 S32205		ASME SA790 S32750	
配管口径［A］	50	80	50	80
Sch	40			
配管支持間隔※　［m］	2.3	2.9	2.3	2.9

※評価は保守的に4.0ｍとする

b．評価方法

水平方向震度による配管応力を評価する。

自重による応力 Sw は，下記の式で示される。

$$Sw = \frac{M}{Z} = \frac{w \cdot L^2}{8Z} \qquad \text{(b.1)}$$

ここで Sw：自重による応力 [MPa]

L ：支持間隔 [mm]

M ：曲げモーメント [N・mm]

Z ：断面係数 [mm^3]

w ：等分布荷重 [N/mm]

地震による応力 Ss は，自重による応力 Sw の震度倍で下記の式で示される。

$$Ss = Ch \cdot Sw \qquad \text{(b.2)}$$

Ss：地震による応力 [MPa]

Ch：水平震度

また，評価基準として JEAG4601-2008 に記載の供用応力状態 Cs におけるクラス３配管の一次応力制限を用いると，地震評価としては下記の式で示される。

$$S = Sp + Sw + Ss = Sp + Sw + Ch \cdot Sw \leqq 1.0Sy \qquad \text{(b.3)}$$

ここで S：内圧、自重、地震による発生応力 [MPa]

Sp：内圧による応力 [MPa]

Sy：設計降伏点 [MPa]

c．評価結果

３点支持はりモデルで各応力計算をした結果を表－６に示す。

表－６より，いずれの場合においても許容値に対して十分な裕度があることが確認できた。

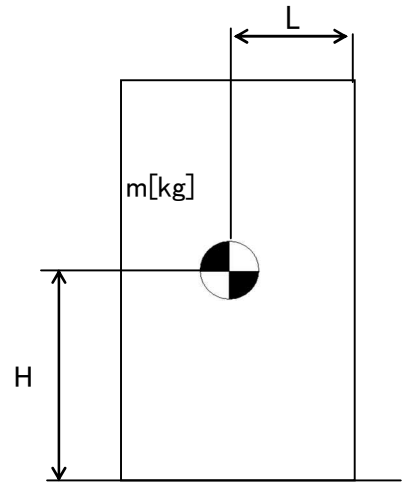
表－６　応力評価結果

No.	口径	Sch	材料	最高使用圧力 [MPa]	内圧，自重，地震による発生応力 S[MPa]	供用状態 Cs における一次応力許容値 [MPa]
配管①	100	40	SUS316L	1.37	28	175
配管②	80	40	SUS316L	1.37	30	175
配管③	65	40	SUS316L	1.37	32	175
配管④	50	40	SUS316L	1.37	37	175
配管⑤	40	40	SUS316L	1.37	42	175
配管⑥	150	80	STPG370	1.0	18	215
配管⑦	100	80	STPG370	1.0	20	215
配管⑧	50	80	STPG370	1.0	31	215
配管⑨	100	80	STPG370	1.37	23	189
配管⑩	50	40	ASME SA790 S32205	1.37	40	448
配管⑪	80	40	ASME SA790 S32205	1.37	29	448
配管⑫	50	40	ASME SA790 S32750	1.37	40	552
配管⑬	80	40	ASME SA790 S32750	1.37	29	552

5. 吸着塔の耐震性評価（使用済セシウム吸着塔一時保管施設）

a. 転倒評価

地震による転倒モーメントと自重による安定モーメントを算出し，それらを比較することにより転倒評価を実施した。評価の結果，地震による転倒モーメントは自重による安定モーメントより小さいことから，転倒しないことを確認した（表－７，８）。



m ： 機器質量
g ： 重力加速度
H ： 据付面からの重心までの距離
L ： 転倒支点から機器重心までの距離
C_H ： 水平方向設計震度

地震による転倒モーメント：M_1[N・m]=m×g×C_H×H
自重による安定モーメント：M_2[N・m]=m×g×L

b. 滑動評価

吸着塔を格納する架台は，基礎ボルトにて固定していることから基礎ボルトに作用するせん断荷重と許容せん断荷重を比較することより滑動評価を実施した。基礎ボルトの許容せん断荷重は「日本建築学会：各種合成構造設計指針・同解説，鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」に基づき次式を用いた。評価の結果，基礎ボルトの破断による滑動が生じないことを確認した（表－７，８）。

$$q = mg(C_H - \alpha) \div n$$

$$q_a = 0.75 \cdot \phi_{S3}\left(0.5 \cdot {}_{SC}a \cdot \sqrt{F_c \cdot E_c}\right)$$

q ： アンカーボルト一本に作用するせん断荷重

q_a ： アンカーボルト一本当たりの許容せん断荷重

C_H ： 水平方向設計震度

m ： 機器重量

g ： 重力加速度

α ： 機器と床版の摩擦係数

n ： 機器あたりのアンカーボルト本数

ϕ_{S3}：短期荷重に対する低減係数

${}_{sc}a$： アンカーボルトの定着部の断面積

F_c ： コンクリート設計基準強度

E_c ： コンクリートのヤング率

表－７　使用済セシウム吸着塔一時保管施設　吸着塔Ａ型耐震評価結果

機器名称	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
第三セシウム吸着装置※（吸着塔５塔×２列及び架台）	転倒	0.36	2.0×10^3	4.3×10^3	kN･m
		0.60	3.3×10^3		
	滑動（ボルトせん断）	0.36	<0	－	kN
		0.60	9	77	

※：ろ過フィルタ・吸着塔Ａ型のうち，機器重量，重心高さが評価上最も厳しい吸着塔Ａ型にて評価を実施

表－８　使用済セシウム吸着塔一時保管施設　吸着塔Ｂ型耐震評価結果

機器名称	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
第三セシウム吸着装置（吸着塔５塔×2 列及び架台）	転倒	0.36	2.0×10^3	4.3×10^3	kN･m
		0.60	3.3×10^3		
	滑動（ボルトせん断）	0.36	<0	－	kN
		0.60	10	77	

6.　付録

付録１　吸着塔Ｂ型の耐震性についての計算書作成の基本方針

以上

付録１　吸着塔Ｂ型の耐震性についての計算書作成の基本方針

1　一般事項

本基本方針は，吸着塔Ｂ型についての耐震性（耐震設計上の重要度分類Ｂクラス相当）の計算方法を示す。

1.1　適用基準

本基本方針における計算方法は，原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987 （日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 62 年 8 月）に準拠する。

1.2　計算条件

(1)　容器及び内容物の質量は重心に集中するものとする。

(2)　地震力は容器に対して水平方向から作用するものとする。

(3)　容器本体は下部プレートに溶接されている。下部プレートに容器本体と、遮へい体が容器本体とは独立して固定されている。

(4)　固有周期モデルは、遮へい体を除いた容器本体が下部プレートに固定された梁と考え，変形モードは曲げ及びせん断変形を考慮する。

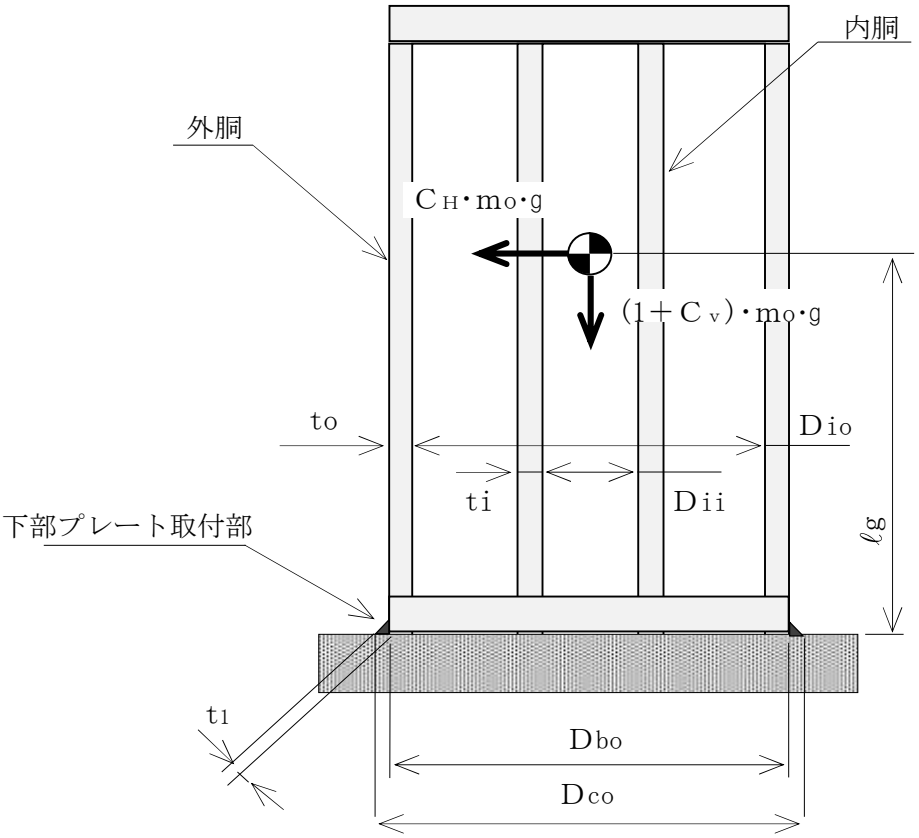


図1－1　概　要　図

1.3　記号の説明

記　　号	記　　号　　の　　説　　明	単　　位
A	胴の軸断面積	mm^2
A_e	胴の有効せん断断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	－
C_v	鉛直方向設計震度	－
D_{bo}	容器固定部のベース外径（容器と下部プレート溶接部の内径）	mm
D_{co}	容器と下部プレート溶接部の外径	mm
D_{io}	外胴の内径	mm
D_{ii}	内胴の内径	mm
E	外胴及び内胴の縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格　SSB-3121.1又はSSB-3131に定める値	MPa
F*	設計・建設規格　SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
f_t	下部プレートとの溶接部の許容引張応力	MPa
G	胴のせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
I	胴の断面二次モーメント	mm^4
K_H	水平方向ばね定数	N/m
K_V	鉛直方向ばね定数	N/m
ℓ_g	下部プレートから容器重心までの距離	mm
M_s	容器に作用する転倒モーメント	N･mm
m_o	容器の運転時質量	kg
m_e	容器の空質量	kg
S	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5に定める値。又は，ASME BPVC Section Ⅱ Part D Table 1Aによる。	MPa
S_a	胴の許容応力	MPa
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値。又は，ASME BPVC Section Ⅱ Part D Table Uによる。	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値。又は，ASME BPVC Section Ⅱ Part D Table Y-1による。	MPa
s	下部プレート溶接部の縦弾性係数比	－
T_H	水平方向固有周期	s
T_V	鉛直方向固有周期	s
t_o	外胴の厚さ	mm
t_i	内胴の厚さ	mm
t_1	下部プレート溶接部ののど厚	mm
π	円周率	－
Pr	内圧（最高使用圧力）	MPa

記　　号	記　　号　　の　　説　　明	単　　位
σ_{0}	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{0c}	胴の組合せ圧縮応力	MPa
σ_{0t}	胴の組合せ引張応力	MPa
σ_{2}	地震動のみによる胴の一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
$\sigma_{2\phi}$	地震動のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
σ_{2c}	地震動のみによる胴の一次応力と二次応力の和の変動値（圧縮側）	MPa
σ_{2t}	地震動のみによる胴の一次応力と二次応力の和の変動値（引張側）	MPa
σ_{2xc}	地震動のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和（圧縮側）	MPa
σ_{2xt}	地震動のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和（引張側）	MPa
σ_{b}	容器底部の組合せ応力	MPa
σ_{b1}	運転時質量により容器底部に生じる圧縮応力	MPa
σ_{b2}	水平方向地震により容器底部に生じる引張応力	MPa
σ_{b3}	鉛直方向地震により容器底部に生じる圧縮応力	MPa
$\sigma_{x1}, \sigma_{\phi 1}$	内圧により胴に生じる軸方向及び周方向応力	MPa
σ_{x2}	胴の空質量による軸方向圧縮応力	MPa
σ_{x3}	胴の鉛直方向地震による軸方向応力	MPa
σ_{x4}	胴の水平方向地震による軸方向応力	MPa
σ_{xc}	胴の軸方向応力の和（圧縮側）	MPa
σ_{xt}	胴の軸方向応力の和（引張側）	MPa
σ_{ϕ}	胴の周方向応力の和	MPa
$\sigma_{\phi 2}$	静水頭に鉛直方向地震が加わり胴に生じる周方向応力	MPa
τ	地震により胴に生じるせん断応力	MPa
τ_{b}	地震により容器底部に生じるせん断応力	MPa

注：「設計・建設規格」とは，発電用原子力設備規格（設計・建設規格　ＪＳＭＥ　ＳＮＣ１－2005（2007年追補版含む。））（日本機械学会　2007年9月）（以下「設計・建設規格」という。）をいう。

2　計算方法

2.1　固有周期の計算方法

(1)　計算モデル

本容器は，1.2項より図2－1に示すような下端固定の1質点系振動モデルとして考える。

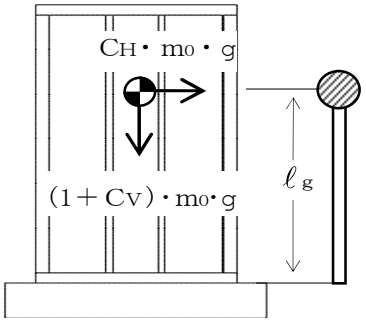


図2－1　固有周期の計算モデル

(2)　水平方向固有周期

曲げ及びせん断変形によるばね定数K_Hは次式で求める。

$$K_H=\frac{1000}{\frac{\ell_g{}^3}{3\cdot E\cdot I}+\frac{\ell_g}{G\cdot A_e}} \quad \cdots\cdots (2.1.1)$$

ここで，胴の断面性能は次のように求める。

$$I=\frac{\pi}{8}\cdot(D_{io}+t_o)^3\cdot t_o+\frac{\pi}{8}\cdot(D_{ii}+t_i)^3\cdot t_i \quad \cdots\cdots (2.1.2)$$

$$A_e=\frac{2}{3}\cdot\pi\cdot(D_{io}+t_o)\cdot t_o+\frac{2}{3}\cdot\pi\cdot(D_{ii}+t_i)\cdot t_i \quad \cdots (2.1.3)$$

したがって，固有周期T_Hは次式で求める。

$$T_H=2\cdot\pi\cdot\sqrt{\frac{m_0}{K_H}} \quad \cdots\cdots (2.1.4)$$

(3)　鉛直方向固有周期

軸方向変形によるばね定数K_Vは次式で求める。

$$K_V = \frac{1000}{\frac{\ell_g}{A \cdot E}} \quad \cdots\cdots (2.1.5)$$

ここで，胴の断面性能は次のように求める。

$$A = \pi \cdot (D_{io} + t_o) \cdot t_o + \pi \cdot (D_{ii} + t_i) \cdot t_i \quad \cdots\cdots (2.1.6)$$

したがって，固有周期T_vは次式で求める。

$$T_v = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_e}{K_v}} \quad \cdots\cdots (2.1.7)$$

2.2　応力の計算方法

応力計算において，静的地震力を用いる場合は，絶対値和を用い，動的地震力を用いる場合は，ＳＲＳＳ法を用いることができる。

2.2.1　外胴の応力

(1)　内圧による応力

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{P_r \cdot (D_{io} + 1.2 \cdot t_o)}{2 \cdot t_o} \quad \cdots\cdots (2.2.1.1)$$

$$\sigma_{\phi 2} = 0 \quad \cdots\cdots (2.2.1.2)$$

$$\sigma_{x1} = \frac{P_r \cdot (D_{io} + 1.2 \cdot t_o)}{4 \cdot t_o} \quad \cdots\cdots (2.2.1.3)$$

(2)　運転時質量及び鉛直方向地震による応力

胴がベースプレートと接合する点には，胴自身の質量による圧縮応力と鉛直方向地震による軸方向応力が生じる。

$$\sigma_{x2} = \frac{m_e \cdot g}{\pi \cdot (D_{io} + t_o) \cdot t_o} \quad \cdots\cdots (2.2.1.4)$$

$$\sigma_{x3} = \frac{m_e \cdot g \cdot C_V}{\pi \cdot (D_{io} + t_o) \cdot t_o} \quad \cdots\cdots (2.2.1.5)$$

(3)　水平方向地震による応力

水平方向の地震力により胴はベースプレート接合部で最大となる曲げモーメントを受ける。この曲げモーメントによる軸方向応力と地震力によるせん断応力は次のように求める。

$$\sigma_{x4} = \frac{4 \cdot C_H \cdot m_o \cdot g \cdot \ell_g}{\pi \cdot (D_{io} + t_o)^2 \cdot t_o} \quad \cdots\cdots (2.2.1.6)$$

$$\tau = \frac{2 \cdot C_H \cdot m_o \cdot g}{\pi \cdot (D_{io} + t_o) \cdot t_o} \quad \cdots\cdots (2.2.1.7)$$

(4)　組合せ応力

(1)～(3)によって求めた胴の応力は以下のように組み合わせる。

a.　一次一般膜応力

(a)　組合せ引張応力

$$\sigma_{\phi}=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 2} \quad \cdots\cdots (2.2.1.8)$$

$$\sigma_{0t}=\frac{1}{2}\cdot\left\{\sigma_{\phi}+\sigma_{xt}+\sqrt{(\sigma_{\phi}-\sigma_{xt})^{2}+4\cdot\tau^{2}}\right\} \quad \cdots\cdots (2.2.1.9)$$

ここで,

【絶対値和】

$$\sigma_{xt}=\sigma_{x1}-\sigma_{x2}+\sigma_{x3}+\sigma_{x4} \quad \cdots\cdots (2.2.1.10)$$

【ＳＲＳＳ法】

$$\sigma_{xt}=\sigma_{x1}-\sigma_{x2}+\sqrt{\sigma_{x3}^{2}+\sigma_{x4}^{2}} \quad \cdots\cdots (2.2.1.11)$$

(b)　組合せ圧縮応力

σ_{xc}が正の値（圧縮側）のとき，次の組合せ圧縮応力を求める。

$$\sigma_{\phi}=-\sigma_{\phi 1}-\sigma_{\phi 2} \quad \cdots\cdots (2.2.1.12)$$

$$\sigma_{0c}=\frac{1}{2}\cdot\left\{\sigma_{\phi}+\sigma_{xc}+\sqrt{(\sigma_{\phi}-\sigma_{xc})^{2}+4\cdot\tau^{2}}\right\} \quad \cdots\cdots (2.2.1.13)$$

ここで,

【絶対値和】

$$\sigma_{xc}=-\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sigma_{x3}+\sigma_{x4} \quad \cdots\cdots (2.2.1.14)$$

【ＳＲＳＳ法】

$$\sigma_{xc}=-\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sqrt{\sigma_{x3}^{2}+\sigma_{x4}^{2}} \quad \cdots\cdots (2.2.1.15)$$

したがって，胴の組合せ一次一般膜応力の最大値は，絶対値和，ＳＲＳＳ法それぞれに対して，

$$\sigma_{0}=\mathrm{Max}\ \{\text{組合せ引張応力}\ (\sigma_{0t}),\ \text{組合せ圧縮応力}\ (\sigma_{0c})\} \quad \cdots\cdots (2.2.1.16)$$

とする。

一次応力は一次一般膜応力と同じになるので省略する。

2.2.2　下部プレートとの溶接部の応力

(1) 運転時質量及び鉛直方向地震による応力

容器底部に生じる運転時質量及び鉛直方向地震による圧縮応力は次式で求める。

$$\sigma_{b1}=\frac{m_0 \cdot g}{\{\pi \cdot (D_{b0}+t_1)\} \cdot t_1} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.1)$$

$$\sigma_{b3}=\frac{m_0 \cdot g \cdot C_V}{\{\pi \cdot (D_{b0}+t_1)\} \cdot t_1} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.2)$$

(2) 水平方向地震による応力

水平方向の地震力により容器底部に作用する曲げモーメントにより生じる軸方向応力及び水平方向地震力によるせん断応力は次のように求める。

$$\sigma_{b2}=\frac{M_s}{(D_{b0}+t_1) \cdot t_1 \cdot \left\{\frac{\pi}{4} \cdot (D_{b0}+t_1)\right\}} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.3)$$

$$\tau_b=\frac{2 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g}{\{\pi \cdot (D_{b0}+t_1)\} \cdot t_1} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.4)$$

ここで，容器に作用する転倒モーメントM_sは，

$$M_s=C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \ell g \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.5)$$

(3) 組合せ応力

組合せ応力は次式で求める。

【絶対値和】

$$\sigma_b=\sqrt{(\sigma_{b1}+\sigma_{b2}+\sigma_{b3})^2+3 \cdot \tau_b{}^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.6)$$

【ＳＲＳＳ法】

$$\sigma_b=\sqrt{(\sigma_{b1}+\sqrt{\sigma_{b2}{}^2+\sigma_{b3}{}^2})^2+3 \cdot \tau_b{}^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.7)$$

3　評価方法

3.1　固有周期の評価

2.1 項で求めた固有周期から，水平方向及び鉛直方向の設計震度を求める。

3.2　応力の評価

3.2.1　胴の応力評価

2.2.1項で求めた組合せ応力が胴の最高使用温度における許容応力Ｓａ以下であること。

応力の種類	許　容　応　力　Sa	
	耐震クラスの重要度分類Ｂクラスの場合，弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動Ｓｓによる荷重の組合せの場合
一次一般膜応力	設計降伏点Ｓｙと設計引張強さＳｕの 0.6 倍のいずれか小さい方の値。ただし，オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金にあっては許容引張応力Ｓの 1.2 倍の方が大きい場合は，この大きい方の値とする。	設計引張強さＳｕの 0.6 倍

一次応力の評価は算出応力が一次一般膜応力と同じ値であるので省略する。

3.2.2　下部プレートとの溶接部の応力評価

2.2.2項で求めた溶接部の引張応力σｂは次式より求めた許容引張応力fｔ以下であること。

ただし，fｔは下表による。

	耐震クラスの重要度分類Ｂクラスの場合，弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動Ｓｓによる荷重との組合せの場合
許容引張応力 fｔ	$\frac{F}{1.5}\cdot 1.5$	$\frac{F^{*}}{1.5}\cdot 1.5$

なお，Fは溶接部であるため，η＝0.45倍とする。

別紙（３）

サイトバンカ建屋の構造強度及び耐震性に関する検討結果

1.評価方針

サイトバンカ建屋は，耐震Ｂクラスである第三セシウム吸着装置の間接支持構造物であるため，耐震Ｂクラス相当として評価する。

サイトバンカ建屋は，建設時に耐震Ｂクラスとして設計されている。第三セシウム吸着装置はサイトバンカ建屋２階の一部への配置となるため，当該設備支持躯体である２階床スラブ及び床スラブを支持する大梁について，建設時の応力に今回増設機器設置に伴う応力を加えて断面検討を行う。

第三セシウム吸着装置は，平面が 52.0m（NS 方向）×33.0m（EW 方向），地上高さ 23.8m，地下 8.704m の鉄筋コンクリート造のサイトバンカ建屋の２階床に支持されている。サイトバンカ建屋の２階平面図を図１－１に示す。

なお，評価は，「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会）」に準拠する。

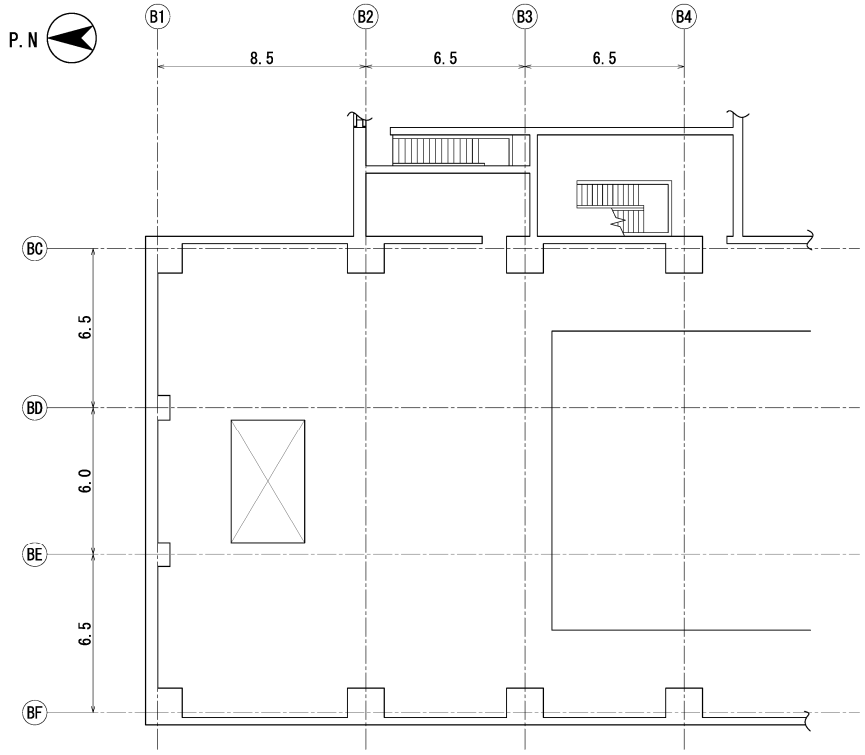


図１－１　２階平面図（単位：ｍ）

2. 評価条件

2.1 使用材料及び材料の許容応力度

サイトバンカ建屋に用いられている材料のうち，コンクリートは普通コンクリートで，コンクリートの設計基準強度 Fc は 22.1N/mm^2（225kg/cm^2）である。鉄筋は SD35 である。各使用材料の許容応力度を建設時の工学系単位から SI 単位に換算して表２－１及び表２－２に示す。

表２－１　コンクリートの許容応力度

（単位：N/mm^2）

	長　期		短　期	
	圧縮	せん断	圧縮	せん断
Fc=22.1	7.35	0.71	14.7	1.06

表２－２　鉄筋の許容応力度

（単位：N/mm^2）

		長　期		短　期	
		引張及び圧縮	せん断補強	引張及び圧縮	せん断補強
SD35	D29 以上	196	196	343	294
	D29 未満	215	196	343	294

2.2 荷重

評価にあたっては，長期荷重として，鉛直荷重を考慮する。また，短期荷重として，地震時に作用する荷重を考慮する。

(1) 鉛直荷重

鉛直荷重は，固定荷重，配管荷重，積載荷重及び機器荷重とする。

機器荷重以外の荷重については，建設時のものを考慮する。

機器荷重は、増設する第三セシウム吸着装置等の荷重を考慮する。

(2) 地震荷重

地震荷重は，建設時に考慮した設計地震力を増設機器荷重で割り増した荷重を考慮する。

3. 評価結果

3.1 床スラブの評価結果

第三セシウム吸着装置を支持する BE-BF/B1-B2 間の床スラブの応力解析は，短辺方向（EW 方向）に単位幅（1.0m）をもつ一方向版として計算を行う。検定比が最大となる部位を表３－１に示し，床スラブ配筋図を図３－１に示す。

これより，床スラブの作用応力は，許容応力以下であることを確認した。

表３－１　床スラブの作用応力と許容応力

検討箇所	断面（単位：mm）	応力	作用応力	許容応力	検定比
2 階 BE-BF 間 B1-B2 間	t=500 配筋 2-D25@200 縦横共	曲げモーメント	206.9 kN･m	215.2 kN･m	0.97
		せん断力	257.4 kN	279.9 kN	0.92

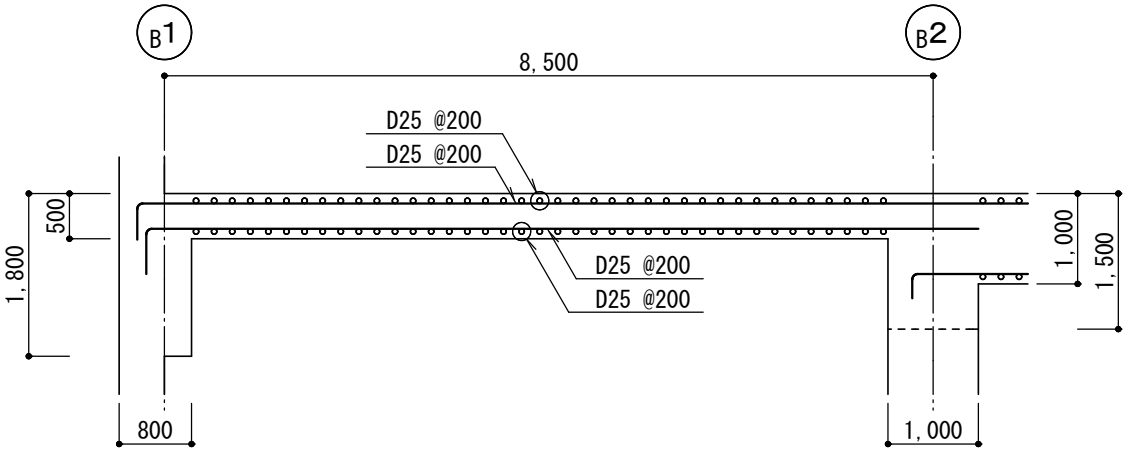


図３－１　床スラブ配筋図（単位：mm）

3.2 大梁の評価結果

床スラブを支持するBE通りB1-B2間の大梁の応力は，既往のフレーム応力解析による応力に第三セシウム吸着装置による追加荷重を考慮した応力を加えたものとする。検定比が最大となる部位を表３－２に示し，大梁配筋図を図３－２に示す。

これより，大梁の作用応力は，許容応力以下であることを確認した。

表３－２　大梁の作用応力と許容応力

検討箇所	断面（単位：mm）	荷重ケース	応力	作用応力	許容応力	検定比
2階 BE通り B1-B2間	B×D 1000×1500 主筋上端 6-D38 主筋下端 6-D38 あばら筋 3-D16@200	長期	曲げモーメント	1463 kN･m	1636 kN･m	0.90
			せん断力	1094 kN	1734 kN	0.63
	B×D 1000×1500 主筋上端 6-D38 主筋下端 6-D38 あばら筋 3-D16@200	短期（地震）	曲げモーメント	1614 kN･m	2864 kN･m	0.57
			せん断力	1165 kN	2602 kN	0.45

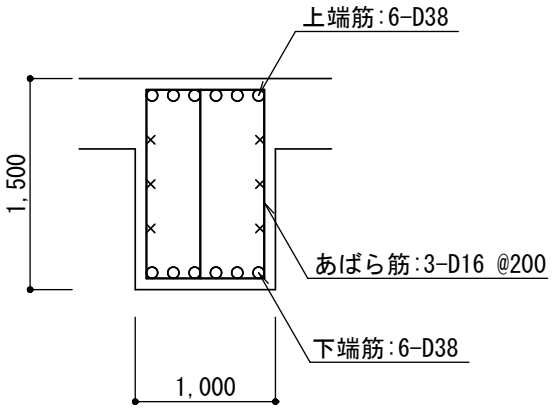


図３－２　大梁配筋図（単位：mm）

4.　付録

付録－１　サイトバンカ建屋に関する参考評価

サイトバンカ建屋に関する参考評価

1. はじめに

第三セシウム吸着装置が設置される建屋（サイトバンカ建屋）について，基準地震動Ssに対し，１階外壁及び地下外壁が崩壊しないことを確認する。なお，判定は１階及び地下階の耐震壁が終局限界に至らないことを確認する。

2. 解析評価方針

サイトバンカ建屋の耐震安全性評価は，基準地震動 Ss を用いた地震応答解析によることを基本とし，建物・構築物や地盤の応答性状を適切に表現できるモデルを設定した上で行う。

解析モデルは，地上２階に設置された機器を含む建屋全域を NS，EW 方向とも，１軸質点系モデルとする。

１階及び地下階の耐震壁の評価は，地震応答解析により得られた該当部位の最大せん断ひずみが，評価基準値（4.0×10^{-3}）を超えないことを確認することとする。

サイトバンカ建屋の地震応答解析の評価手順を図２－１に示す。

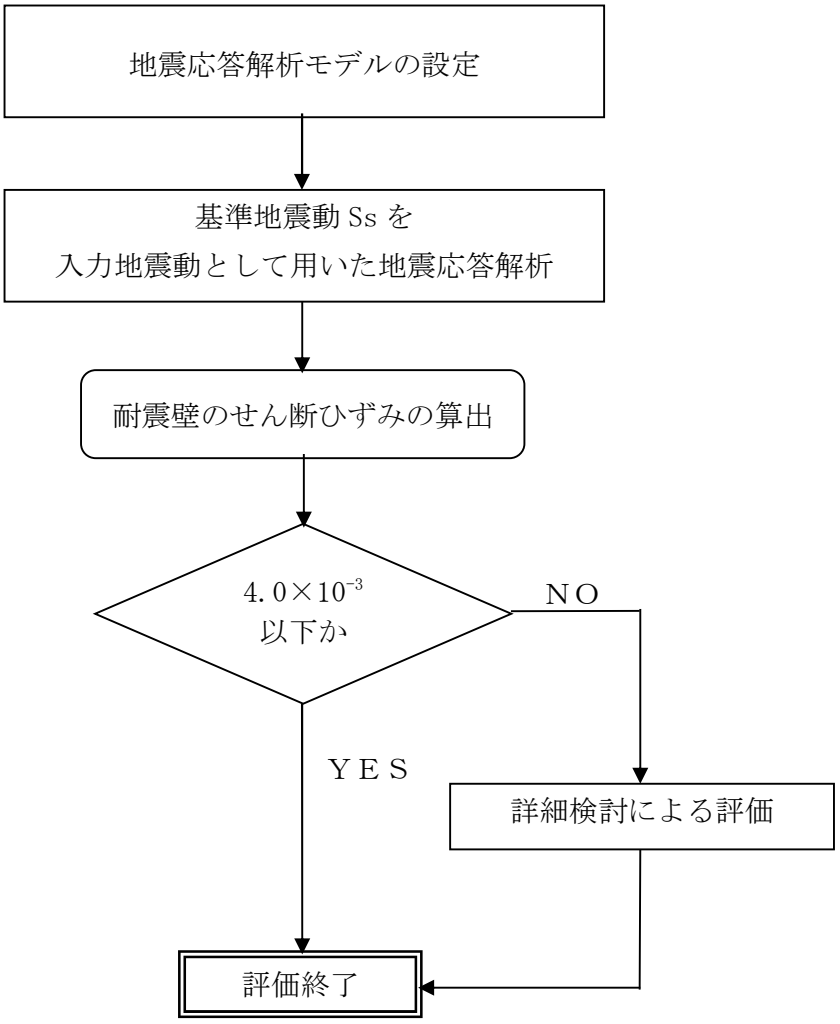


図２－１　サイトバンカ建屋の地震応答解析の評価手順

3. 解析に用いる入力地震動

サイトバンカ建屋への入力地震動は，「福島第一原子力発電所『発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針』の改訂に伴う耐震安全性評価結果　中間報告書」（原管発官１９第６０３号　平成２０年３月３１日付け）」にて作成した解放基盤表面レベルに想定する基準地震動 Ss を用いることとする。

地震応答解析に用いる入力地震動の概念図を図３－１に示す。このサイトバンカ建屋の解析モデルに入力する地震動は，一次元波動論に基づき，解放基盤表面レベルに想定する基準地震動 Ss に対する建屋基礎底面レベルの地盤応答として評価する。また，建屋基礎底面レベルにおけるせん断力を入力地震動に付加することにより，地盤の切欠き効果を考慮する。

このうち，解放基盤表面位置における基準地震動 Ss の加速度波形について，図３－２に示す。

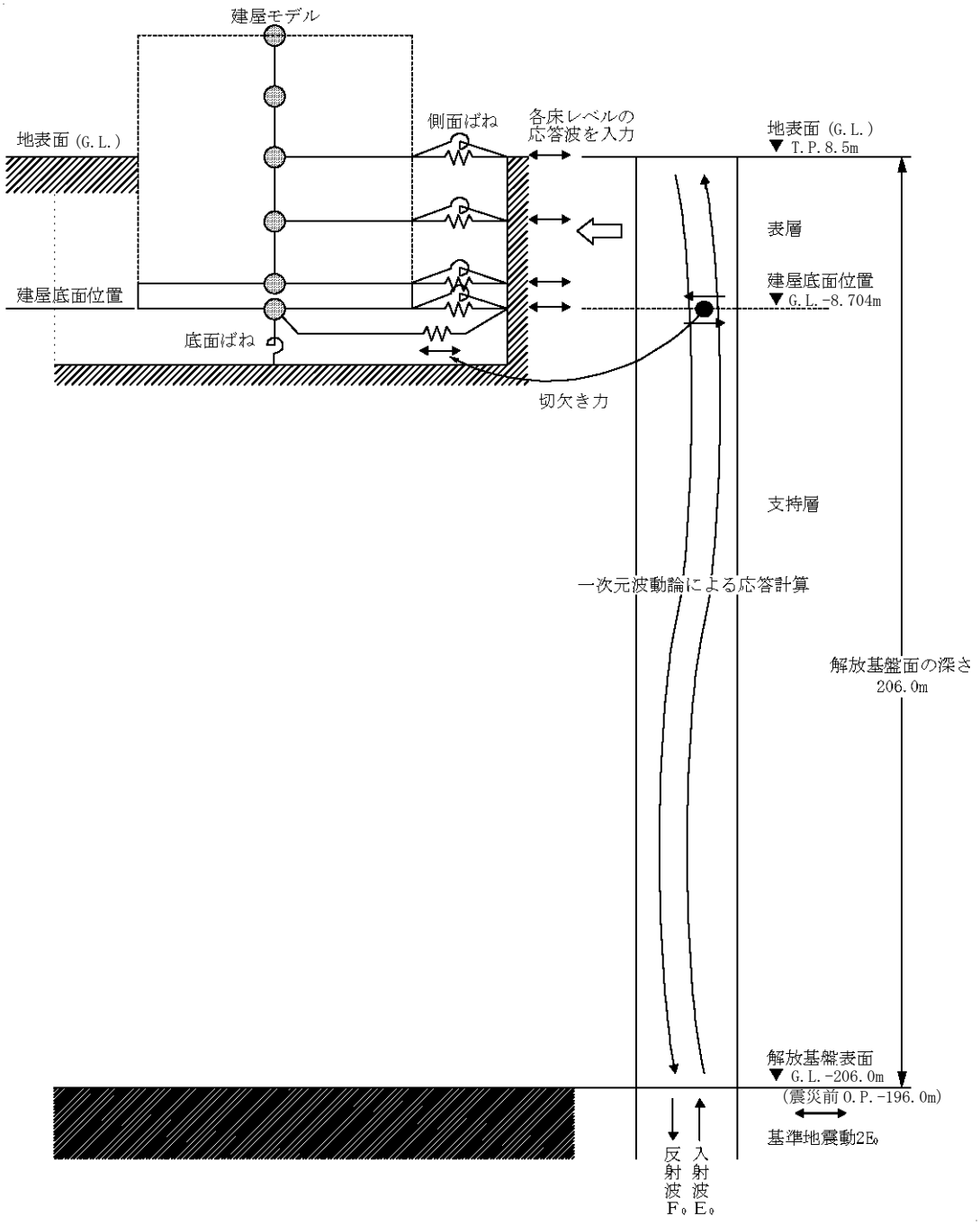
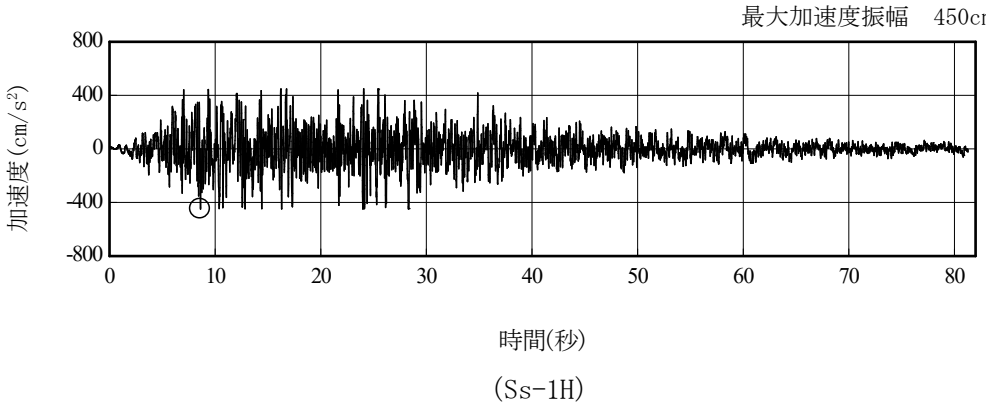


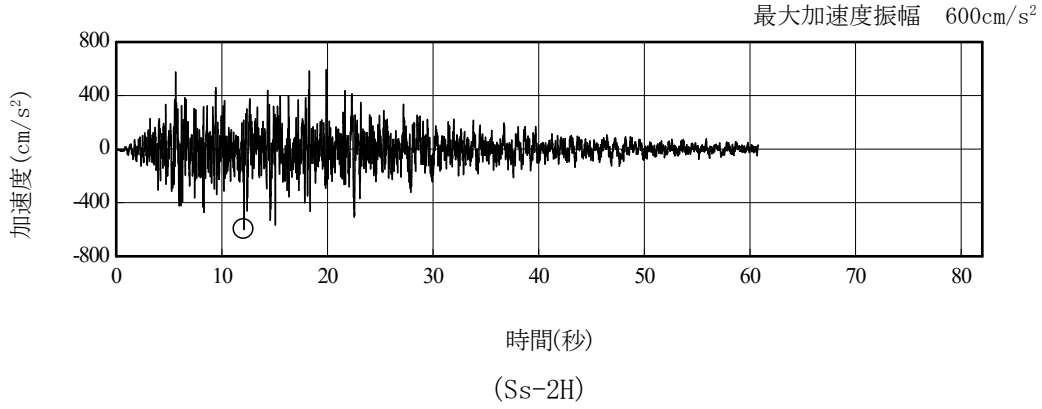
図３－１　地震応答解析に用いる入力地震動の概念図

添付資料 25 別紙(3)に記載の標高は，震災前の地盤沈下量（-709mm）と O.P.から T.P.への読替値（-727m）を用いて，下式に基づき換算している。

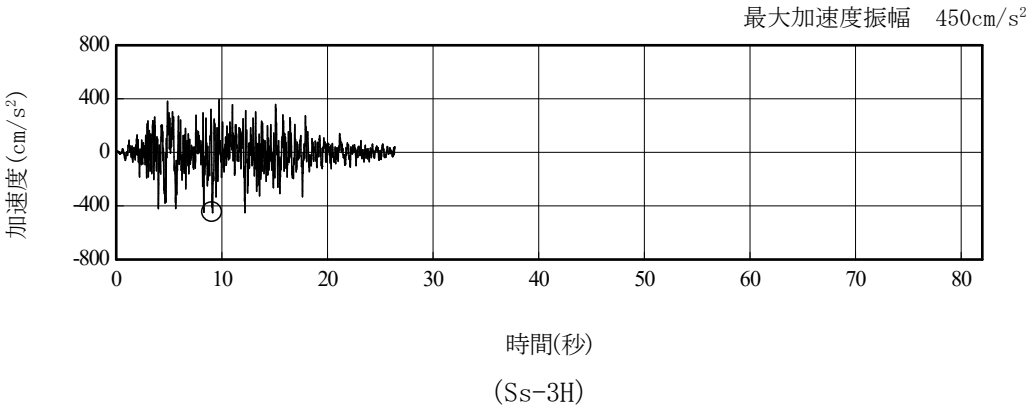
＜換算式＞ T.P.＝旧 O.P.－1,436mm



(Ss-1H)



(Ss-2H)



(Ss-3H)

図３－２　解放基盤表面位置における地震動の加速度時刻歴波形（水平方向）

4. 地震応答解析モデル

基準地震動 Ss に対するサイトバンカ建屋の地震応答解析は，「3. 解析に用いる入力地震動」で算定した入力地震動を用いた動的解析による。

地震応答解析モデルは，図４－１及び図４－２に示すように，建屋を曲げ変形とせん断変形をする質点系とし，地盤を等価なばねで評価した建屋－地盤連成系モデルとする。建屋－地盤連成系としての効果は地盤ばね及び入力地震動によって評価される。解析に用いるコンクリートの物性値を表４－１に，建屋解析モデルの諸元を表４－２に示す。

地盤定数は，水平成層地盤と仮定し，地震時のせん断ひずみレベルを考慮して定めた。解析に用いた地盤定数を表４－３に示す。

解析モデルにおいて，基礎底面地盤ばねについては，「JEAG4601-1991」に示された手法を参考にして，成層補正を行ったのち，振動アドミッタンス理論に基づいて，スウェイ及びロッキングばね定数を近似的に評価する。また，埋込部分の建屋側面地盤ばねについては，建屋側面位置の地盤定数を用いて，水平及び回転ばねを「JEAG4601-1991」にによりNOVAKばねに基づいて近似法により評価する。

地盤ばねは振動数に依存した複素剛性として得られるが，図４－３に示すようにばね定数（Kc）として実部の静的な値を，また，減衰係数（Cc）として建屋－地盤連成系の１次固有振動数に対応する虚部の値と原点を結ぶ直線の傾きを採用することにより近似する。

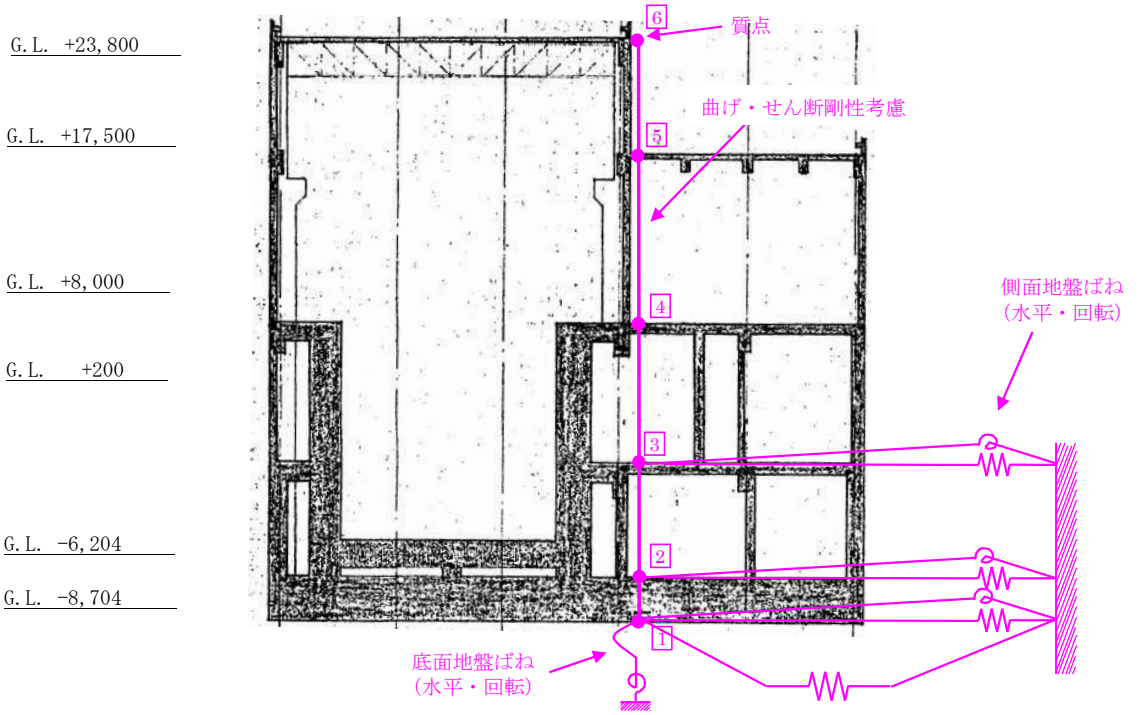


図４－１　サイトバンカ建屋　地震応答解析モデル（NS 方向）

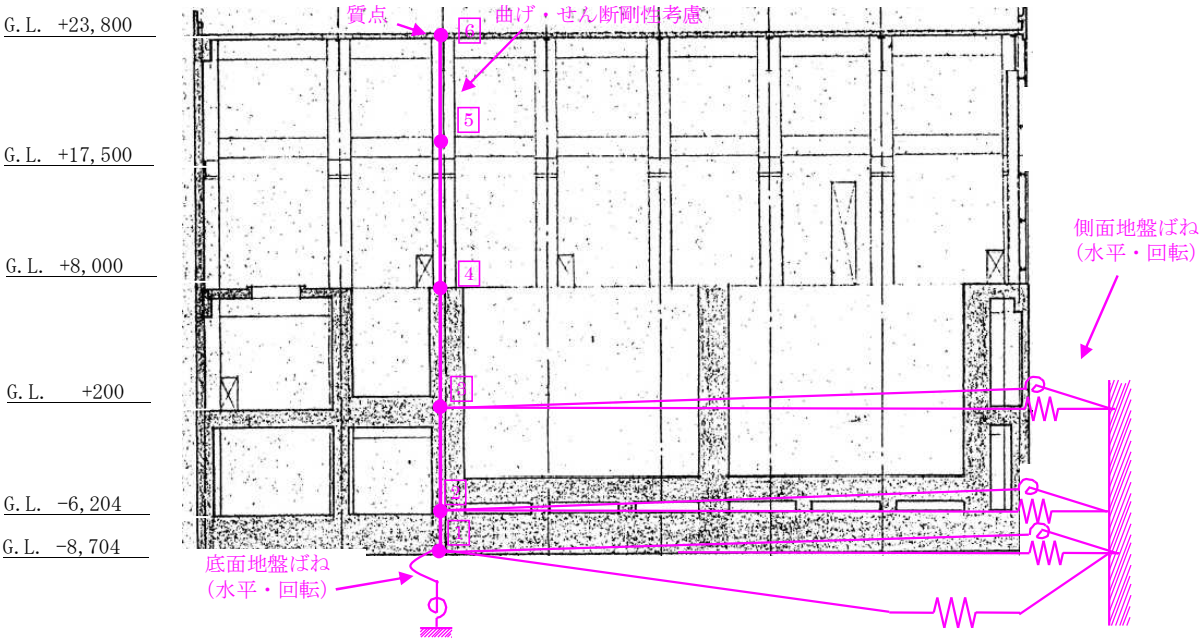


図４－２　サイトバンカ建屋　地震応答解析モデル（EW 方向）

表４－１　地震応答解析に用いる物性値

	強度 Fc (N/mm^2)	ヤング係数 E (N/mm^2)	せん断弾性係数 G (N/mm^2)	ポアソン比 ν	単位体積重量*1 γ (kN/m^3)
コンクリート	22.1	2.06×10^4	0.88×10^4	0.2	24
鉄筋	SD345 相当 (SD35)				

*1：鉄筋コンクリートの値を示す。

表４－２（１）　建屋解析モデルの諸元

(NS 方向)

質点番号	質点重量 W(kN)	回転慣性重量 I_G(×10^5kN･m^2)	せん断断面積 A_S(m^2)	断面二次モーメント I(m^4)
6	15,020	33.85		
			31.2	8,991
5	27,120	55.78		
			46.6	12,058
4	96,700	199.35		
			180.9	27,046
3	123,920	255.89		
			249.8	44,152
2	105,040	216.65		
			1605.5	330,135
1	52,430	107.90		
合計	420,230			

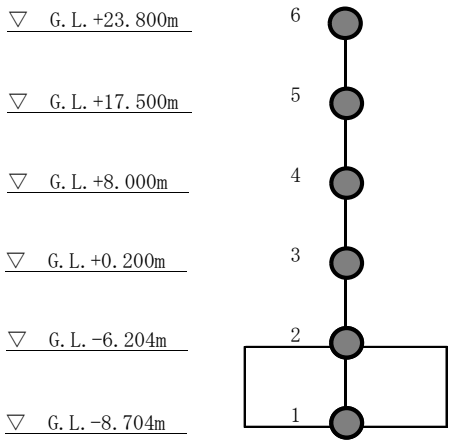


表４－２（２）　建屋解析モデルの諸元

(EW 方向)

質点番号	質点重量 W(kN)	回転慣性重量 I_G($\times 10^5$kN･m^2)	せん断断面積 A_S(m^2)	断面二次モーメント I(m^4)
6	15,020	5.02		
			10.0	423
5	27,120	24.06		
			20.5	604
4	96,700	86.26		
			168.6	6,787
3	123,920	110.95		
			203.1	13,936
2	105,040	93.79		
			1605.5	142,360
1	52,430	46.58		
合計	420,230			

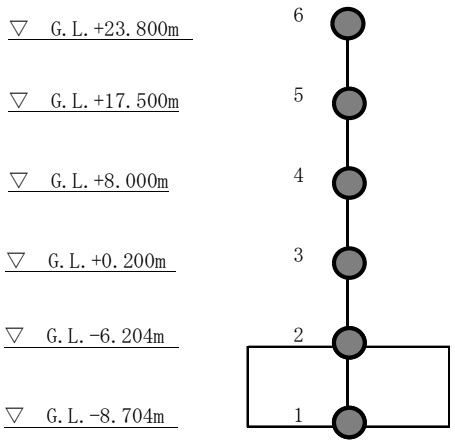


表４－３（１）　地盤定数（Ss-1）

G.L. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m^3)	ﾎﾟｱｿﾝ比 ν	せん断 弾性係数 G ($\times 10^5$kN/m^2)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^5$kN/m^2)	剛性 低下率 G/G_0	ヤング 係数 E ($\times 10^5$kN/m^2)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
±0.0										
	砂岩	380	17.8	0.473	2.23	2.62	0.85	6.57	3	8.1
-8.1										
		450	16.5	0.464	2.66	3.41	0.78	7.79	3	11.9
-20.0										
		500	17.1	0.455	3.40	4.36	0.78	9.89	3	70.0
-90.0	泥岩									
		560	17.6	0.446	4.39	5.63	0.78	12.70	3	28.0
-118.0										
		600	17.8	0.442	5.09	6.53	0.78	14.68	3	88.0
-206.0										
	(解放基盤)	700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-	-

表４－３（２）　地盤定数（Ss-2）

G.L. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m^3)	ﾎﾟｱｿﾝ比 ν	せん断 弾性係数 G ($\times 10^5$kN/m^2)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^5$kN/m^2)	剛性 低下率 G/G_0	ヤング 係数 E ($\times 10^5$kN/m^2)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
±0.0										
	砂岩	380	17.8	0.473	2.23	2.62	0.85	6.57	3	8.1
-8.1										
		450	16.5	0.464	2.76	3.41	0.81	8.08	3	11.9
-20.0										
		500	17.1	0.455	3.53	4.36	0.81	10.27	3	70.0
-90.0	泥岩									
		560	17.6	0.446	4.56	5.63	0.81	13.19	3	28.0
-118.0										
		600	17.8	0.442	5.29	6.53	0.81	15.26	3	88.0
-206.0										
	(解放基盤)	700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-	-

表４－３（３）　地盤定数（Ss-3）

G.L. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m^3)	ﾎﾟｱｿﾝ比 ν	せん断 弾性係数 G ($\times 10^5$kN/m^2)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^5$kN/m^2)	剛性 低下率 G/G_0	ヤング 係数 E ($\times 10^5$kN/m^2)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
±0.0										
-8.1	砂岩	380	17.8	0.473	2.25	2.62	0.86	6.63	3	8.1
-20.0	泥岩	450	16.5	0.464	2.66	3.41	0.78	7.79	3	11.9
-90.0		500	17.1	0.455	3.40	4.36	0.78	9.89	3	70.0
-118.0		560	17.6	0.446	4.39	5.63	0.78	12.70	3	28.0
-206.0		600	17.8	0.442	5.09	6.53	0.78	14.68	3	88.0
	(解放基盤)	700	18.5	0.421	9.24	9.24	1.00	26.26	-	-

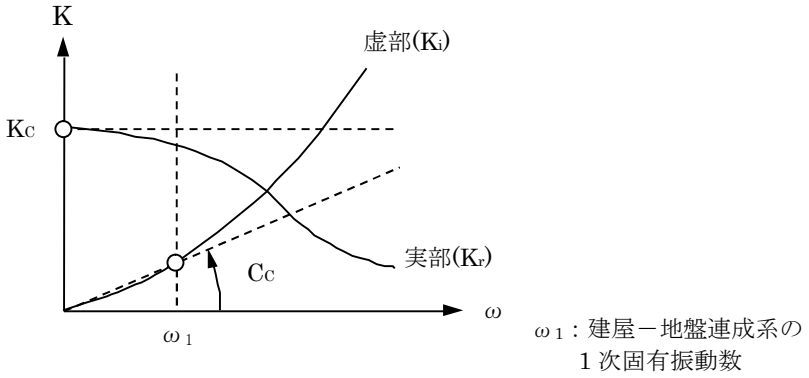


図４－３　地盤ばねの近似

5. 地震応答解析結果

地震応答解析により求められたNS方向，EW方向の最大応答加速度を，図５－１及び図５－２に示す。

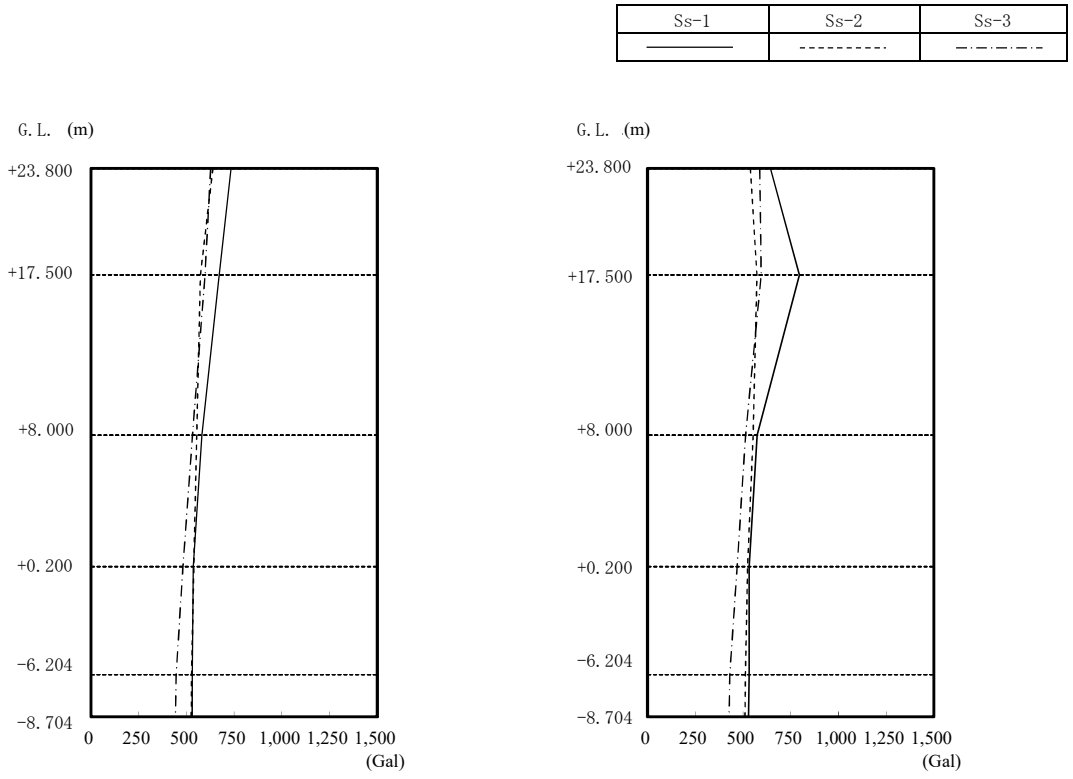


図５－１　最大応答加速度
（Ss-1～3，NS方向）

図５－２　最大応答加速度
（Ss-1～3，EW方向）

6. 耐震安全性評価結果

基準地震動Ssに対するサイトバンカ建屋の耐震壁のせん断ひずみ一覧を表６－１及び表６－２に示す。

耐震壁のせん断ひずみは，最大で0.08×10^{-3}（Ss-1，EW方向，B1F）であり，耐震壁の評価基準値（4.0×10^{-3}）に対して十分な余裕がある。

よって，サイトバンカ建屋１階及び地下階の耐震安全性は確保されているものと評価した。

表６－１　耐震壁のせん断ひずみ一覧（NS方向）

（単位：$\times10^{-3}$）

階	せん断ひずみ			許容値
	Ss-1	Ss-2	Ss-3	
1F	0.06	0.05	0.05	4.0以下
B1F	0.07	0.07	0.06	

表６－２　耐震壁のせん断ひずみ一覧（EW方向）

（単位：$\times10^{-3}$）

階	せん断ひずみ			許容値
	Ss-1	Ss-2	Ss-3	
1F	0.06	0.05	0.05	4.0以下
B1F	0.08	0.07	0.06	

別紙（４）

第三セシウム吸着装置の具体的な安全確保策

第三セシウム吸着装置の漏えい発生防止対策，放射線遮へい対策，崩壊熱除去，可燃性ガス滞留防止，環境条件対策等について具体的な安全確保策を以下の通り定め，実施する。

1. 放射性物質の漏えい防止等に対する考慮

(1)漏えい発生防止

ａ．第三セシウム吸着装置吸着塔の機器については，腐食による漏えい発生を防止するために，耐腐食性を有するＳＵＳ３１６Ｌ材，二相ステンレス材の使用を基本とし，移送配管はＳＵＳ３１６Ｌ材，二相ステンレス材または耐腐食性を有するポリエチレン管を使用する。

ｂ．ポンプの軸封部は，漏えいの発生し難いメカニカルシール構造とする。

(2)漏えい検知・漏えい拡大防止

ａ．第三セシウム吸着装置は，機器（弁ユニット・吸着塔架台，ブースターポンプ）の周囲に漏えい受けパン及び漏えい検知器を設け，漏えいを早期に検知する。

ｂ．漏えいを検知した場合は，免震重要棟集中監視室に警報を発報・表示し，運転員が停止操作等の必要な措置を講ずる。また，巡視点検等で漏えいがないことを確認する。

ｃ．第三セシウム吸着装置は，装置の設置エリアを覆う全体架台上に堰（堰内には漏えい検知器）が設置されているため，機器等の内包水が流出した場合においても全量が堰内にとどまり，堰外へ漏えいすることはない（表－１）。仮に漏えいが発生した場合でも系外に放出することを防止するため，第三セシウム吸着装置は建屋内に設置する。

ｄ．第三セシウム吸着装置の設置に伴い新規に敷設する移送配管について，以下の対応を行う。

・屋内に設置する配管のうち，ポリエチレン管と鋼管または鋼管と鋼管の取合いでフランジ接続となる箇所については，漏えい受けパンまたは堰と漏えい検知器により漏えいの早期検知を図る。

・屋外配管（ポリエチレン配管）については，原則として耐紫外線性を有するコルゲート管等で覆う二重構造とし，漏えいの拡大防止を図る。配管から漏えいした系統水は，コルゲート管等を通じて建屋内に導かれ，建屋内の漏えい受けパンまたは堰内に設置された漏えい検知器で漏えいを検知する。

表－１　漏えい拡大防止評価

対象設備	保有水量	貯留可能な堰面積※	必要な堰高さ	漏えい拡大防止堰高さ	評価
	a	b	c=a/b	d	
ブースターポンプ バルブラック ろ過フィルタ 吸着塔 移送配管	11.2(m³)	101(m²)	111(mm) 以上	120(mm) 以上	漏えい拡大防止堰の高さは，保有水量を貯留するために必要な高さを満足しており，漏えいの拡大を防止できる。

※：堰内のり寸法

2. 放射線遮へいに対する考慮

ａ．第三セシウム吸着装置吸着塔は，放射線業務従事者の被ばく低減のため，吸着塔表面の線量当量率が 2mSv/h 以下となるように遮へいする。

ｂ．第三セシウム吸着装置吸着塔は，吸着塔交換等の際，放射線業務従事者が近づく可能性があることから，吸着塔表面の線量当量率等の表示により注意喚起することで，放射線業務従事者の被ばく低減を図る。

ｃ．第三セシウム吸着装置のポンプ及び配管等については，放射線業務従事者の過度の被ばく防止を図るために，鉛板マットによる遮へいを設ける。

3. 崩壊熱除去に対する考慮

ａ．処理対象水に含まれる放射性物質の崩壊熱は，通水時は処理水とともに熱除去される。

ｂ．吸着塔内部の温度は，最も高温となる水を抜いた状態であっても，吸着材及び構造材料に影響しない範囲で収束する。（別添－１）

4. 可燃性ガスの滞留防止に対する考慮

ａ．水の放射線分解により発生する可能性のある可燃性ガスは，通水時は処理水とともに排出される。通水停止後は，吸着塔上部に設けたオートベント弁・ベント管を介して可燃性ガスを屋外に排出する。（別添－２）

ｂ．第三セシウム吸着装置にて発生する使用済みの吸着塔は，可燃性ガスの発生抑制のため，内部の水抜きを実施する。

ｃ．使用済み吸着塔一時保管施設においては，ベントを開けた状態で保管することにより，可燃性ガスを大気に放出する。

5. 環境条件対策

(1)腐食

耐腐食性を有するステンレス材，ポリエチレン管等を使用する。

(2)熱による劣化

吸着塔中心温度が高くなる吸着塔において，最大温度はA型にて約 120℃（容器外周部），B型にて約 210℃（容器内周部）であり，金属材料に有意な特性変化は生じない。

(3)凍結

滞留水を移送している過程では，水が流れているため凍結の恐れはない。滞留水の移送を停止した場合，屋外に敷設する移送配管等は，凍結による破損が懸念されることから保温材を設置する。

(4)生物汚染

使用済みセシウム吸着塔一時保管施設で保管する吸着塔は，内部の水を抜いた状態で保管するため，生物汚染に対する配慮は必要ない。

(5)紫外線

屋外敷設箇所のポリエチレン管は，耐紫外線性を有する保温材等で覆う処置を講ずることで，紫外線による劣化を防止する。

(6)耐放射線性

ポリエチレンは，集積線量が 2×10^5Gy に達すると，引張強度は低下しないが，破断時の伸びが減少する傾向を示すが，ポリエチレン管の照射線量率を 1Gy/h と仮定すると，2×10^5Gy に到達する時間は 2×10^5 時間（22.8 年）と評価される。そのため，ポリエチレン管は数年程度の使用では放射線照射の影響を受けることはないと考えられる。

(7)長期停止中の措置

第三セシウム吸着装置を長期停止する場合は，必要に応じてフラッシングするとともに，内部の水抜きを実施し，腐食及び凍結を防止する。

6. 放射性固体廃棄物の発生量

第三セシウム吸着装置から発生する吸着塔の年間の数は，ろ過フィルタが約 4 体，吸着塔が約 12 体と想定される。使用済み吸着塔は，使用済セシウム吸着塔一時保管施設のうち，保管容量が 230 体の第一施設または保管容量が 345 体の第四施設において保管する。なお，必要に応じて使用済セシウム吸着塔一時保管施設を増設する。

以上

第三セシウム吸着装置　温度評価

1. 評価概要

滞留水の処理に伴い使用済吸着塔が発生する。これらは，水抜き後に使用済セシウム吸着塔一時保管施設に一時的に貯蔵するが，高濃度の放射性物質を内包していることから崩壊熱による温度上昇を評価し，同時吸着塔の機能への影響について確認を行う。

2. 評価方法

＜吸着塔Ａ型＞

使用済セシウム吸着塔一時保管施設で保管する際の吸着塔内部の最高温度について評価を行う。吸着塔は使用済セシウム吸着塔一時保管施設では図－１に示すように鉛遮へい体を含む容器として保管される。

遮へい容器上下には空気出入口があり，内部空気温度が上昇して浮力が発生することで外気が入口から流入し，吸着塔側面で上昇流となり，出口から流出する。これにより吸着塔外表面及び遮へい容器内表面は空気の自然通風で除熱される。また，遮へい容器外表面は空気の自然対流で除熱される。

吸着塔の温度は，セシウム吸着（約 2.1×10^{15}Bq/塔），ストロンチウム吸着（約 1.05×10^{15}Bq/塔）による発熱量，外気温度を 40℃と仮定し，STAR-CD Ver4.08 を用いて三次元解析により求めた。

＜吸着塔Ｂ型＞

使用済セシウム吸着塔一時保管施設で保管する際の吸着塔内部の最高温度について評価を行う。吸着塔は使用済セシウム吸着塔一時保管施設では図－３に示すように鉛遮へい体を含む容器として保管される。

遮へい容器の上下に開口部を設けてあり，遮へい容器下部の中心部はラビリンス構造となっている。内部の空気温度が上昇して対流が発生すると，外気は下部開口部からラビリンス部を経て吸着材容器中空部で上昇流となり，遮へい容器上部の開口部から流出する。これにより，吸着材容器は空気の自然通風により除熱される。また，遮へい容器外表面は空気の自然対流で除熱される。

吸着塔の温度は，セシウム吸着（約 3.8×10^{15}Bq/塔），ストロンチウム吸着（約 2.5×10^{15}Bq/塔）による発熱量，外気温度を 40℃と仮定し，STAR-CCM+Ver.12.04 を用いて三次元解析により求めた。

3. 評価結果

評価の結果，大気への放熱が定常になる際の吸着塔中心部温度はＡ型において約 510℃，Ｂ型において約 320℃，鉛の最高温度はＡ型において約 70℃，Ｂ型において約 140℃と評価された。吸着塔内での発熱は吸着材の健全性（吸着材はＡ型において約 1,000℃，Ｂ型において約 600℃程度まで安定）や鉛の遮へい性能に影響を与えるものではないことを確認した。吸着塔Ａ型の評価結果を図－２に，吸着塔Ｂ型の評価結果を図－４に示す。

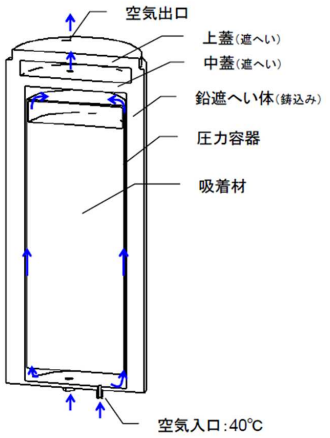


図１　吸着塔Ａ型解析モデル（概念図）

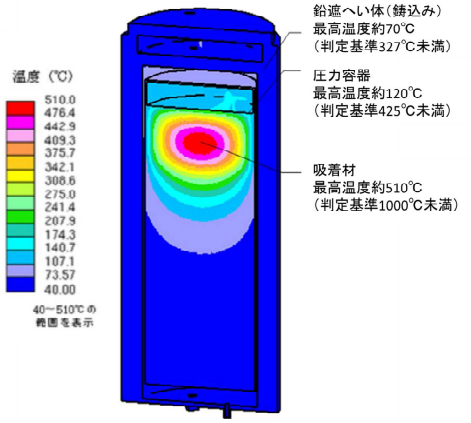


図２　吸着塔Ａ型の温度分布

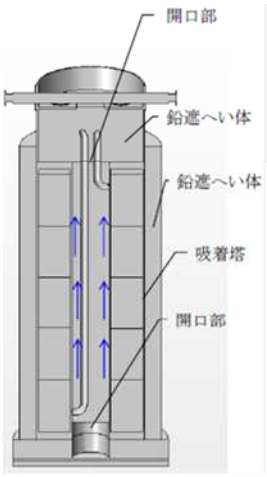


図３　吸着塔Ｂ型解析モデル（概念図）

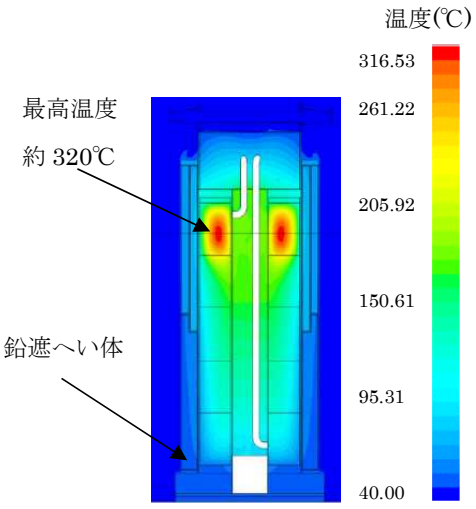


図４　吸着塔Ｂ型の温度分布

以上

第三セシウム吸着装置　水素評価

1．評価概要

使用済吸着塔は，可燃性ガスの発生抑制のため，内部の水抜き後に使用済セシウム吸着塔一時保管施設に一時的に貯蔵するが，高濃度の放射性物質を内包しており，内部に残留する湿分等の放射線分解により，可燃性ガスが発生する恐れがあることから，使用済吸着塔内部の可燃性ガスの濃度を評価し，その濃度が 4%未満であることを確認する。

なお，本評価では保守的に，吸着塔内部の温度上昇は考慮しないものとし，吸着材領域は水で満たされているものとした（実際は，使用済み吸着塔は水抜き後に保管される）。

2．評価方法

吸着塔内の吸着材充填領域から発生した可燃性ガスは，吸着塔上部の空間部に排出され，空気との混合気体となる。吸着塔は，保管時にベント管と取水側のノズルを開放し，上部空間の混合気体は空気との密度差により上昇しベント管から排出される。また，排出された混合気体の体積に応じて，取水側ノズルから空気が流入する（図１参照）。このときの混合気体の排出と空気の流入量を算出し，吸着塔内の水素濃度を評価した（水素濃度は水素発生量と流入空気量により評価を実施し，吸着塔の自然換気が定常となる際の可燃性ガス濃度を評価）。

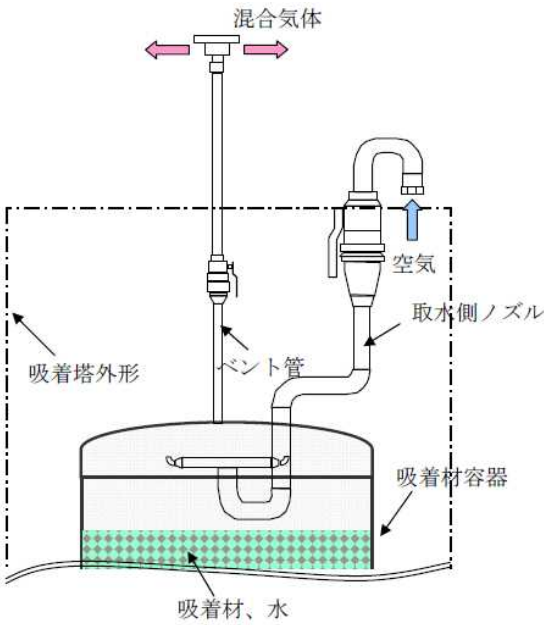


図１　使用済み吸着塔　保管時の概念図

3. 水素発生量

水素は，吸着した核種の崩壊エネルギーが容器内に残留する水に吸収され発生する。水素発生速度H(mol/s)は次式により求めた。

$$H = G \times E \div A$$

H：水素発生速度

G：水が100eVのエネルギーを吸収した際に発生する水素分子の個数，0.45

E：水が吸収するエネルギー：（A型）約1.35×10^{15}（MeV/s）

（B型）約7.13×10^{15}（MeV/s）

A：アボガドロ数（6.02×10^{23}個/mol）

4. 評価結果

評価の結果,吸着塔の自然換気が定常となる際の可燃性ガスの濃度はA型において約2.6%，B型において約 3.6%と評価された。なお，吸着塔内部の温度上昇を考慮した場合（ΔT=15℃），吸着塔内部の可燃性ガスの濃度はA型において約1.3%，B型において約2.5%と評価された。

以上

別紙（５）

第三セシウム吸着装置に係る確認事項

第三セシウム吸着装置の構造強度・耐震性及び機能・性能等に関する確認事項を表－１～１２に示す。

表－１　確認事項（ろ過フィルタ，吸着塔Ａ型）

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法について記録を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器の据付位置，据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることを確認する。 耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいの有無を確認する。	圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。 また，耐圧部から漏えいがないこと。

表－２　確認事項（第三セシウム吸着装置ブースターポンプＡ，Ｂ）

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度・耐震性	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器の据付位置，据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	漏えい確認	運転圧力で耐圧部分からの漏えいの有無を確認する。	耐圧部から著しい漏えいがないこと。
性能	運転性能確認※1	ポンプの運転確認を行う。	実施計画に記載した容量を満足すること。 また，異音，発煙，異常振動等がないこと。

※１　現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する。

表－３　確認事項（主配管（鋼管））

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した外径，厚さについて記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認 ※1	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認 ※1	配管の据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認 ※1 ※2	確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることを確認する。 耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいの有無を確認する。	圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。 また，耐圧部から漏えいがないこと。

※１　現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する。
※２　耐圧確認が困難な箇所については代替試験にて確認する。

表－４　確認事項（主配管（ポリエチレン管））

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した外径について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認 ※1	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認 ※1	配管の据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認 ※1 ※2	現場状況を考慮し製造者指定方法・圧力による漏えい有無を確認する。	耐圧部から漏えいがないこと。

※１　現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する。
※２　耐圧確認が困難な箇所については代替試験にて確認する。

表－５　確認事項（主配管（耐圧ホース））

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した外径について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認 ※1	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認 ※1	配管の据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認 ※1	確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることを確認する。 耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいの有無を確認する。	圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。 また，耐圧部から漏えいがないこと。

※１　現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する。

表－６　確認事項（漏えい検出装置及び警報装置）

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	装置の据付位置，据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
機能	漏えい警報確認	漏えい信号により，警報が作動することを確認する。	警報が作動すること。

表－７　確認事項（エリア放射線モニタ）

確認事項	確認項目		確認内容	判定
監視	構造確認	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
		据付確認	装置の据付位置，据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	機能確認	警報確認	設定値どおりに警報及び表示灯が作動することを確認する。	許容範囲以内で警報及び表示灯が作動すること。
	性能確認	線源校正確認	標準線源を用いて線量当量率を測定し，各検出器の校正が正しいことを確認する。	基準線量当量率に対する正味線量当量が，許容範囲以内であること。
		校正確認	モニタ内のテスト信号発生部により，各校正点の基準入力を与え，その時の指示値が正しいことを確認する。	各指示値が許容範囲以内であること。

表－８　確認事項（第三セシウム吸着装置全体堰）

確認事項	確認項目	確認内容	判定
漏えい防止	寸法確認	主要寸法の記録を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	堰の据付位置，据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。

表－９　確認事項（第三セシウム吸着装置）

確認事項	確認項目	確認内容	判定
性能	運転性能確認	実施計画に記載の容量が通水可能であることを確認する。	実施計画に記載した容量を通水することが可能であり，設備からの異音，発煙，異常振動等がないこと。
	性能確認	実施計画に記載の容量を通水した状態で，系統出口水の放射能濃度を確認する。	系統出口水の放射性物質濃度（Cs-134,Cs-137）が 10^2Bq/cc オーダー以下※1 を満足すること。Sr-90 については，放射性物質濃度が低減されていること。

※1　処理装置下流の逆浸透膜装置の受入条件

表－１０ 確認事項(吸着塔Ｂ型)

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法について記録を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
	外観確認	各部の外観を確認する。※１	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器の据付位置，据付状態について確認する。※１	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることについて記録を確認する。 耐圧確認終了後，漏えいの有無も確認する。	確認圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。 また，耐圧部から著しい漏えいがないこと。

※１：現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する。

表－１１　確認事項（ろ過フィルタ，吸着塔A型，鋼管の溶接検査）

確認事項	確認項目	対象設備	確認内容	判定
溶接検査	材料検査	①吸着塔 ②ろ過フィルタ ③鋼管	材料が溶接規格等に適合するものであり，溶接施工法の母材の区分に適合することを確認する。	材料が溶接規格等に適合するものであり，溶接施工法の母材の区分に適合するものであること。
	開先検査	①吸着塔 ②ろ過フィルタ ③鋼管	開先形状等が溶接規格等に適合するものであることを確認する。	開先形状等が溶接規格等に適合するものであること。
	溶接作業検査	①吸着塔 ②ろ過フィルタ ③鋼管	あらかじめ確認された溶接施工法又は実績のある溶接施工法又は管理されたプロセスを有する溶接施工法であることを確認する。あらかじめ確認された溶接士により溶接が行われていることを確認する。	あらかじめ確認された溶接施工法および溶接士により溶接施工をしていること。
	非破壊試験	①吸着塔 ②ろ過フィルタ ③鋼管	溶接部について非破壊検査を行い，その試験方法及び結果が溶接規格等に適合するものであることを確認する。	溶接部について非破壊検査を行い，その試験方法及び結果が溶接規格等に適合するものであること。
	機械試験	①吸着塔 ②ろ過フィルタ	溶接部を代表する試験片にて機械試験を行い，当該試験片の機械的性質が溶接規格等に適合しているものであることを確認する。	溶接部を代表する試験片にて機械試験を行い，当該試験片の機械的性質が溶接規格等に適合しているものであること。
	耐圧・漏えい検査※1	①吸着塔 ②ろ過フィルタ ③鋼管	検査圧力で保持した後，検査圧力に耐えていることを確認する。耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいの有無を確認する。	検査圧力で保持した後，検査圧力に耐えていること。耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいがないこと。
	外観検査※２	①吸着塔 ②ろ過フィルタ ③鋼管	耐圧・漏えい検査後外観上，傷・へこみ・変形等の異常がないことを確認する。	外観上，傷・へこみ・変形等の異常がないこと。

※1　耐圧確認が困難な箇所については代替試験にて確認する。

※2　耐圧検査後の確認が困難な箇所については先行外観検査を実施する。

表－１２ 確認事項（海外製品溶接検査（吸着塔Ｂ型，取合配管））

確認事項	確認項目	実施計画記載事項 ※１	確認内容	判定基準
溶接検査	材料検査	①吸着塔 ②取合配管	溶接に使用する材料が，ASME Sec. Ⅷ 等に適合するものであり，溶接施工法の母材の区分に適合することを記録で確認する。	溶接に使用する材料が，ASME Sec.Ⅷ等に適合するものであり，溶接施工法の母材の区分に適合するものであること。
	開先検査	①吸着塔 ②取合配管	開先形状等がASME Sec. Ⅷ等に適合するものであることを記録で確認する。	開先形状等がASME Sec.Ⅷ等に適合するものであること。
	溶接作業検査	①吸着塔 ②取合配管	ASME Sec.Ⅸ等に定められた溶接施工法により溶接されていること及び溶接士の資格を有しているものにより溶接が行われていることを記録で確認する。	ASME Sec.Ⅸ等で定められた溶接施工法および溶接士により溶接施工をしていること。
	非破壊検査	①吸着塔 ②取合配管	溶接部について非破壊検査（目視検査）を行い，その結果がASME B31.1 に適合するものであることを記録で確認する。	溶接部について非破壊検査(目視検査)を行い，その結果がASME B31.1 に適合するものであること。
	耐圧・漏えい検査	①吸着塔 ②取合配管	検査圧力で保持した後，検査圧力に耐えていること及び耐圧部分から漏えいがないことを確認する。	検査圧力で保持した後，検査圧力に耐えていること及び耐圧部分から漏えいがないこと。
	外観検査	①吸着塔 ②取合配管	各部の外観を確認する。※２	外観上，傷・へこみ・変形等の異常がないこと。

※１：「表－１２ 確認事項（海外製品溶接検査）」の確認範囲は，「東京電力株式会社福島第一原子力発電所原子炉施設の保安及び特定核燃料物質の防護に関する規則」の第26 条第4 号に規定する範囲とする。なお，適用する規格で使用が認められている材料の溶接部に関わる確認は，適用する規格の条件に適合していることについて行う。

※２：現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する。

以上

添付資料－２６

主要配管の確認事項について

「2.5.2 基本仕様　表２．５－１ 汚染水処理設備等の主要配管仕様（７／２１）　ＲＯ処理水貯槽及び蒸発濃縮処理水貯槽から処理水バッファタンク及びＣＳＴまで（ポリエチレン管)」の構造強度・耐震性及び機能・性能に関する確認事項を表－１に示す。

表－１　確認事項（主配管（ポリエチレン管))

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度・耐震性	材料確認	主な材料について確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	主要寸法について確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	配管の据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で保持した後,確認圧力に耐えていることについて確認する。 耐圧確認終了後,耐圧部分からの漏えいの有無を確認する。	確認圧力に耐え，かつ構造物の変形がないこと。 耐圧部から漏えいがないこと。
機能	通水確認	通水されていることを確認する。	通水されていること。

添付資料－２７

汚染水処理設備等に係る確認項目

汚染水処理設備等の工事に係る主要な確認項目を表－１に示す。

表－１ 淡水化装置（RO-1A/B，RO-2）の主配管の撤去に係る確認事項

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
機能	外観・据付確認	実施計画の通り施工されていることを確認する。	実施計画の通りであること。
	漏えい確認※1	運転圧力で保持した後，閉止部からの漏えいが無いことを確認する。	閉止部からの漏えいが無いこと。

※１　閉止部に運転圧力がかかる箇所に対して実施。

以　上

滞留水一時貯留設備について

1. 基本設計

1.1 設置の目的

滞留水一時貯留設備は，プロセス主建屋および高温焼却炉建屋に貯留している滞留水の処理にあたり，当該建屋に代わり 1 号～4 号機タービン建屋等にて発生する滞留水を一時貯留すること，ならびに滞留水一時貯留設備より処理装置（セシウム吸着装置，第二セシウム吸着装置，第三セシウム吸着装置）へ移送し，滞留水を処理とすることを目的として設置する。

1.2 要求される機能

1 号～4 号機タービン建屋等にて発生する滞留水を一時貯留し，処理装置（セシウム吸着装置，第二セシウム吸着装置，第三セシウム吸着装置）へ移送する能力を有すること。

1.3 設計方針

(1) 建屋内滞留水の処理・保管・管理

滞留水一時貯留設備は,1 号～4 号機タービン建屋等にて発生する滞留水を一時貯留し，適切に処理装置（セシウム吸着装置，第二セシウム吸着装置，第三セシウム吸着装置）へ移送することで，滞留水を処理できる設計とする。また，建屋内滞留水を取扱うことを踏まえ，液体状放射性物質の漏えい防止及び漏えい拡大防止ができる設計とする。

なお，大雨，台風に伴う 1 号～4 号機タービン建屋等への雨水の浸入，地下水の浸透等による滞留水発生量の増大時等には，プロセス主建屋または高温焼却炉建屋へ滞留水を受入，貯留する。

(2) 被ばく低減

滞留水一時貯留設備は，機器等の設計において遮へい機能を考慮した設計とする。

(3) 準拠規格及び基準

滞留水一時貯留設備を構成する構築物，系統及び機器の設計，材料の選定，製作及び検査については，発電用原子力設備規格　設計・建設規格（JSME），日本産業規格（JIS），日本水道協会規格（JWWA）等を適用することにより信頼性を確保する。

(4) 自然現象に対する設計上の考慮

a. 地震に対する設計上の考慮

滞留水一時貯留設備のうち，液体放射性物質を内包する設備は，「東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所における耐震クラス分類と地震動の適用の考え方

（2023 年 6 月 19 日一部改訂）」に基づいて，その安全機能が喪失した場合における公衆への放射線影響を確認することで耐震クラスを決定し，適切と考えられる設計用地震力に耐えられる設計とする。

なお，主要な機器の耐震性を評価するにあたっては，原子力発電所耐震設計技術規程（JEAG4601）等に準拠することを基本とするが，評価手法，評価基準について実態に合わせたものを採用する。ポリエチレン管，耐圧ホース等は，材料の可撓性により耐震性を確保する。

b. 地震以外に想定される自然現象（津波，豪雨，台風，竜巻，凍結等）に対する設計上の考慮

滞留水一時貯留設備は，地震以外の想定される自然現象（津波，豪雨，台風，竜巻，凍結等）によって，施設の安全性が損なわれないよう設計する。

(5) 外部人為事象に対する設計上の考慮

滞留水一時貯留設備は，想定される外部人為事象によって，施設の安全性を損なうことのない設計とする。また，第三者の不法な接近等に対し，これを防御するため，適切な措置を講じた設計とする。

(6) 火災に対する設計上の考慮

滞留水一時貯留設備は，火災発生防止及び火災影響軽減のため，実用上可能な限り不燃性又は難燃性材料を使用するとともに設備周辺から可能な限り可燃物を排除する。また，初期消火の対応ができるよう，設備近傍に消火器を設置する。なお，火災発生は監視カメラ等により確認可能な設計とする。

(7) 環境条件に対する設計上の考慮

滞留水一時貯留設備の構築物，系統及び機器は，経年事象を含む想定されるすべての環境条件に適合できる設計とする。

(8) 監視及び運転操作に対する設計上の考慮

滞留水一時貯留設備は，遠隔操作室の監視・制御装置により，遠隔操作及び運転状況の監視が可能な設計とする。また，滞留水一時貯留設備は，運転する者による誤操作を防止できる設計とするとともに，異常事象や設備の運転に影響を及ぼしうる自然現象等が発生した状況下においても，運転する者がこれらの事象に対処するために必要な設備を容易に操作できる設計とする。

(9) 信頼性に対する設計上の考慮

滞留水一時貯留設備は，ヒューマンエラーや機器の故障による放射性物質の漏えいが発生しないよう，高い信頼性を確保した設計とする。また，万が一，漏えいが発生したとしても，その量が極めて小さくなる設計とする。

(10) 検査可能性に対する設計上の考慮

滞留水一時貯留設備を構成する構築物，系統及び機器は，それらの健全性及び能力を確認するために，適切な方法によりその機能を検査できる設計とする。

1.4 主要な機器

滞留水一時貯留設備は，滞留水一時貯留容器，滞留水供給ポンプおよび配管等により構成する。

(1)滞留水一時貯留容器

滞留水一時貯留容器は，滞留水受入槽と滞留水一時貯留槽で構成されており，滞留水移送装置により移送された1号～4号機タービン建屋等の滞留水を一時貯留する。

(2)滞留水供給ポンプ

滞留水供給ポンプは，滞留水一時貯留容器から滞留水を処理装置へ移送する。

1.5 供用期間中に確認する項目

滞留水一時貯留設備は，滞留水を一時貯留し，処理装置へ移送できること。

2. 基本仕様

2.1 滞留水一時貯留設備の主要仕様

(1) 滞留水一時貯留容器

a. 滞留水受入槽

名称			滞留水受入槽
種類			たて置円筒形
容量		m^3/基	15
最高使用圧力		MPa	静水頭
最高使用温度		℃	40
主要寸法	胴内径	mm	2800
	胴板厚さ	mm	12
	円錐鏡板厚さ	mm	12
	高さ	mm	4293
材料	胴板	-	SM400B（内面ゴムライニング）
	円錐鏡板	-	SM400B（内面ゴムライニング）
基数		基	2

b. 滞留水一時貯留槽

名称			滞留水一時貯留槽
種類			たて置円筒形
容量		m^3/基	24
最高使用圧力		MPa	静水頭
最高使用温度		℃	40
主要寸法	胴内径	mm	3100
	胴板厚さ	mm	12
	鏡板厚さ	mm	12
	高さ	mm	4406
材料	胴板	-	SM400B（内面ゴムライニング）
	鏡板	-	SM400B（内面ゴムライニング）
基数		基	2

(2) ポンプ

a. 滞留水供給ポンプ（完成品）

台　　数　　2台

容　　量　　30 m^3/h

(3) 主配管

主要配管仕様（１／３）

名称	仕様	
プロセス主建屋切替弁スキッド出口から入口ヘッダスキッド入口まで（ポリエチレン管）	呼び径	100A 相当
	材質	ポリエチレン
	最高使用圧力	1.0MPa
	最高使用温度	40℃
入口ヘッダスキッド入口から入口ヘッダスキッド出口まで（鋼管）	呼び径／厚さ	100A/Sch.40, 150A/ Sch.40
	材質	STPG370
	最高使用圧力	1.0MPa
	最高使用温度	40℃
	呼び径／厚さ	100A/Sch.40
	材質	STPG370
	最高使用圧力	1.37MPa
	最高使用温度	40℃
入口ヘッダスキッド出口から滞留水受入槽まで（鋼管）	呼び径／厚さ	100A/Sch.40
	材質	STPG370
	最高使用圧力	1.0MPa
	最高使用温度	40℃
（ポリエチレン管）	呼び径	100A 相当
	材質	ポリエチレン
	最高使用圧力	1.0MPa
	最高使用温度	40℃
滞留水受入槽から滞留水一時貯留槽まで（耐圧ホース）	呼び径	200A 相当
	材質	EPDM 合成ゴム
	最高使用圧力	静水頭
	最高使用温度	40℃

主要配管仕様（２／３）

名称	仕様	
滞留水一時貯留槽から 滞留水供給ポンプ入口まで （鋼管）	呼び径／厚さ	100A/Sch.40
	材質	STPG370
	最高使用圧力	静水頭
	最高使用温度	40℃
	呼び径／厚さ	100A/Sch.40，125A/Sch.40，150A/Sch.40
	材質	STPG370
	最高使用圧力	1.37MPa
	最高使用温度	40℃
（ポリエチレン管）	呼び径	100A 相当
	材質	ポリエチレン
	最高使用圧力	静水頭，1.37MPa
	最高使用温度	40℃
滞留水供給ポンプ出口から 滞留水供給ポンプスキッド出口まで （鋼管）	呼び径／厚さ	80A/Sch.40，100A/Sch.40，150A/ Sch.40
	材質	STPG370
	最高使用圧力	1.37MPa
	最高使用温度	40℃
滞留水供給ポンプスキッド出口から 入口ヘッダスキッド入口まで （ポリエチレン管）	呼び径	100A 相当
	材質	ポリエチレン
	最高使用圧力	1.37MPa
	最高使用温度	40℃

主要配管仕様（３／３）

名称	仕様	
入口ヘッダスキッド出口から 第三セシウム吸着装置入口まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 1.37MPa 40℃
プロセス主建屋切替弁スキッド近傍配管分岐からプロセス主建屋１階北側分岐部まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 1.37MPa，1.0MPa 40℃
第三セシウム吸着装置入口分岐部から第三セシウム吸着装置ブースターポンプ出口分岐部まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 1.37MPa 40℃
入口ヘッダスキッド出口からサイトバンカ建屋１階西側分岐部まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 1.37MPa 40℃
プロセス主建屋１階西側移送配管分岐部からプロセス主建屋切替弁スキッド移送配管部まで （鋼管） （ポリエチレン管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度 呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch.80 STPG370 1.37MPa 66℃ 100A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 40℃
第二セシウム吸着装置入口分岐部から第二セシウム吸着装置ブースターポンプ出口分岐部まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 ポリエチレン 1.37MPa 40℃

別紙

（１）滞留水一時貯留設備の具体的な安全確保策について

（２）滞留水一時貯留設備の耐震性に関する説明書

（３）滞留水一時貯留設備の構造強度に関する説明書

（４）滞留水一時貯留設備に係る確認事項

（５）検査可能性に関する考慮事項

以上

別紙（１）

滞留水一時貯留設備の具体的な安全確保策について

滞留水一時貯留設備は，放射性物質を含む滞留水を扱うため，漏えい発生防止対策，放射線遮へい対策，崩壊熱除去，可燃性ガス滞留防止，環境条件対策等について，具体的な安全確保策を以下のとおり定め実施する。

1.　放射性固体廃棄物の処理・保管・管理

滞留水一時貯留設備の設置に伴い発生する固体廃棄物の取扱いについては，発電所全体の放射性固体廃棄物の処理・保管・管理の対応に従う。（「Ⅱ 1.8 放射性固体廃棄物の処理・保管・管理」参照。）運転に伴い，滞留水受入槽で分離する固形分については，受入槽の底部に蓄積した後にスラッジ排出ポンプにより，プロセス主建屋地下へ移送・排出する。

2.　放射性液体廃棄物の処理・保管・管理

滞留水一時貯留設備の設置に伴い発生する液体廃棄物の取扱いについては，発電所全体の放射性液体廃棄物の処理・保管・管理の対応に従う。（「Ⅱ 1.9 放射性液体廃棄物の処理・保管・管理」参照。）

2.1　放射性物質の漏えい防止及び漏えい拡大防止

(1) 漏えい発生防止

a. 高線量の滞留水を扱うため，接液部は耐放射線性，耐食性を併せ持つ材質を使用する。

b. 滞留水を移送する配管は耐食性を有する鋼管並びにポリエチレン管等とする。なお，鋼管の内面にはライニングを施す。

c. 移送配管のうち，ポリエチレン管とポリエチレン管の接合部は漏えい発生防止のために融着構造とする。

d. 滞留水供給ポンプおよびスラッジ排出ポンプは，耐食性に優れた二相ステンレス鋼等を使用するとともに，軸封部は漏えいの発生し難いメカニカルシール構造とする。

(2) 漏えい検知・漏えい拡大防止

a. 滞留水一時貯留容器，滞留水供給ポンプおよびスラッジ排出ポンプ等は，以下の対応を行う。

・漏えいの早期検知および漏えいの拡大防止として，機器の周囲に堰を設けるとともに漏えい検知器を設置する。（表－１）

・漏えい検知の警報は，免震重要棟集中監視室に表示し，運転員が流量等の運転監視パラメータの状況を確認し，ポンプ運転・停止等の適切な対応がとれるようにする。

b. 移送配管等は，以下の対応を行う。

・鋼管と鋼管，ポリエチレン管と鋼管との取合い等でフランジ接続となる箇所については，堰を設置し，漏えい拡大防止を図る。また，堰内には漏えい検知器を設置する。漏えい検知の警報は，免震重要棟集中監視室に表示し，運転員により流量等の運転監視パラメータの状況を確認し，ポンプ運転・停止等の適切な対応がとれるようにする。

・屋外に敷設される移送配管については，コルゲート管等で移送配管を覆う二重構造とする。

表－１　滞留水一時貯留設備全体堰の評価

対象設備	保有水量	漏えい検知から移送停止までの水量※1	貯留可能な堰面積※2	必要な堰高さ	漏えい拡大防止堰高さ	評価
	a	b	c	d=(a+b)/c	e	
滞留水受入槽 滞留水一時貯留槽 滞留水供給ポンプ スラッジ排出ポンプ 移送配管	80.0(m^3)	7(m^3)	118.4(m^2)	735(mm) 以上	745(mm) 以上	漏えい拡大防止堰の高さは，保有水量を貯留するために必要な高さを満足しており，漏えいの拡大を防止できる。

※１： 900 m^3/日(2023 年の最大移送量実績である約 870m^3/日を考慮し，漏えい発生時の滞留水一時貯留設備への移送流量として設定)で移送され，漏えい検知から移送停止するまでの時間を 10 分とした際の水量

※２：堰内のり寸法に基づいた面積

3.　放射性気体廃棄物の処理・管理

滞留水一時貯留設備の設置に伴い発生する気体廃棄物の取扱いについては，発電所全体の放射性気体廃棄物の処理・管理の対応に従う。(「Ⅱ 1.10 放射性気体廃棄物の処理・管理」参照。)

滞留水一時貯留設備のタンク上部の気相部については，内部で液位変動による気相部の押し込みや水素掃気に伴い気相部の外部への排気が発生することから，ベントフィルタを設ける。排気中に含まれる粒子状の放射性物質は，フィルタを通すことにより，放射性物質を十分低い濃度になるまで除去した後，建屋内に放出する。

4. 被ばく低減

(1) 滞留水一時貯留設備からの放射線による雰囲気線量当量率は，遮へいを設け，遮へい体表面での線量を 1.0mSv/h 以下とする。

(2) 設備の運転は，免震重要棟集中監視室にて運転操作及び監視を可能とする。

(3) 保守作業時の作業員の被ばく低減のため，保守作業前に機器のフラッシングが行える設計とする。

(4) 滞留水一時貯留設備の運転等に係る関係者以外の者が不要に近づくことがないよう，標識や立入禁止区域等を設ける。

5. 放射性物質の放出抑制等による敷地周辺の放射線防護等

滞留水一時貯留設備から大気中へ放出される放射性物質の適切な抑制対策や設備からの放射線に対する遮へい対策を実施することにより，敷地周辺の線量を達成できる限り低減する設計とする。

滞留水一時貯留設備に関する線量評価については，「Ⅲ 第３編 2.2.3 放射性液体廃棄物等による線量評価」に記載の通り。

6. 作業者の被ばく線量の管理等

滞留水一時貯留設備に対する作業者の被ばく線量の管理等は，発電所全体の作業者の被ばく線量の管理等に従う。(「Ⅱ 1.12 作業者の被ばく線量の管理等」を参照。)

7. 緊急時対策

滞留水一時貯留設備に対する緊急時対策は，発電所全体の緊急時対策に従う。(「Ⅱ 1.13 緊急時対策」を参照。)

8. 設計上の考慮

8.1　準拠規格及び基準

滞留水一時貯留設備を構成する主要な機器は，「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」において，廃棄物処理設備に相当すると位置付けられる。これに対する適用規格は，「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格」（以下，「設計・建設規格」という。）で規定され，機器区分クラス３の規定を適用することを基本とする。滞留水を内包する容器及び鋼管については，設計・建設規格のクラス３機器の規定を適用する。

なお，その他の機器は，JIS 等規格適合品を用いることとし，ポリエチレン管は，JWWA または ISO 規格に準拠する。

また，JSME 規格で規定される材料の日本産業規格の(JIS)の年度指定は，技術的妥当性の範囲において材料調達性の観点から考慮しない場合もある。原子力発電所での使用実績がない材料を使用する場合は，他産業での使用実績等を活用しつつ，必要に応じて試験等を行うことで，経年劣化等の影響についての評価を行う。

具体的な規格および基準は以下のとおり。

・JIS G 3101 一般構造用圧延鋼材
・JIS G 3106 溶接構造用圧延鋼材
・JIS G 3193 熱間圧延鋼板及び鋼帯の形状，寸法，質量及びその許容差
・JIS G 3454 圧力配管用炭素鋼鋼管
・JIS G 4303 ステンレス鋼棒
・JIS G 5121 ステンレス鋼鋳鋼品
・JIS B 1178 基礎ボルト
・JIS B 2220 鋼製管フランジ
・JIS B 8265 圧力容器の構造 一般事項
・JIS B 8301 遠心ポンプ、斜流ポンプ及び軸流ポンプ－試験方法
・JIS B 8302 ポンプ吐出し量測定方法
・JIS B 8310 ポンプの騒音レベル測定方法
・JIS C 4213 低圧三相かご形誘導電動機－低圧トップランナーモータ
・JIS Z 3801 手溶接技術検定における試験方法及び判定基準
・JIS Z 3841 半自動溶接技術検定における試験方法及び判定基準
・JEC-2110 誘導機
・JWWA K 144 水道配水用ポリエチレン管
・JIS K6331 送水用ゴムホース（ウォーターホース）

8.2　自然現象に対する設計上の考慮

(1)　地震に対する設計上の考慮

滞留水一時貯留設備の地震に対する設計上の考慮は，「別紙（２）　滞留水一時貯留設備の耐震性に関する説明書」に記載の通り。

(2)　地震以外に想定される自然現象（津波，豪雨，台風，竜巻等）に対する設計上の考慮

滞留水一時貯留設備に対する地震以外に想定される自然現象に対する設計上の考慮は以下の通り。

a．津波

滞留水一時貯留設備は，日本海溝津波による浸水を防止するため，防潮堤内に設置する。また，日本海溝津波を上回る津波の襲来に備え，大津波警報が出た際は，系統を停止し，隔離弁を閉めることにより滞留水の流出を防止する。

b．豪雨

滞留水一時貯留設備は，豪雨による影響を受けにくい建屋内に設置する。屋外敷設のポリエチレン管については，架空構造および二重管構造とすることにより，豪雨の影響を受けにくい設計とする。

c．積雪

滞留水一時貯留設備は，積雪による影響を受けにくい建屋内に設置する。屋外敷設のポリエチレン管については，管状で傾斜があるため，配管上部に積雪し難い構造である。

d．落雷

滞留水一時貯留設備は，構内接地網へ連接する等により，落雷に伴う雷サージ侵入による設備の損傷を防止する設計とする。

e．台風（強風，高潮）

滞留水一時貯留設備は，台風による影響を受けにくい建屋内に設置する。屋外敷設のポリエチレン管については，材料の可撓性により設備の損傷を防止する設計とする。

f．竜巻

竜巻の発生の可能性が予見される場合には，滞留水一時貯留設備の停止・隔離弁の閉止操作を行い，汚染水の拡大防止を図る。

g．凍結

滞留水一時貯留設備は，建屋内に設置することから，凍結の恐れは小さいと考える。水

の移送を停止した場合，屋外敷設のポリエチレン管は凍結による破損が懸念される。そのため，屋外敷設のポリエチレン管に保温材を取り付け，凍結防止を図る。

なお，保温材は高い気密性と断熱性を有する硬質ポリウレタン等を使用し，凍結しない十分な厚さを確保する。

h．紫外線

滞留水一時貯留設備のうち，屋外敷設箇所のポリエチレン管は，紫外線による劣化を防ぐため，紫外線劣化防止効果のあるカーボンブラックを添加した保温材を取り付ける。もしくは，カーボンブラックを添加していない保温材を使用する場合は，カーボンブラックを添加した被覆材または紫外線による劣化のし難い材料（鋼板等）を取り付ける。

i．高温

滞留水一時貯留設備は，熱による劣化が懸念されるポリエチレン管については，処理対象水の温度がほぼ常温のため，熱による材料の劣化の可能性は十分低い。

j．生物学的事象

滞留水一時貯留設備は，建屋貫通孔等からの小動物の侵入が想定されるため，
建屋貫通孔や電路端部等に対してシール材を施工することにより，侵入を防止する設計とすることで対策を行う。

k．その他

滞留水一時貯留設備は，上記の自然現象の他，火山，森林火災等により設備損傷のおそれがある場合，または設備損傷した場合は，運転する者が手動により免震重要棟集中監視室から設備を停止できる設計とする。

8.3　外部人為事象に対する設計上の考慮

滞留水一時貯留設備に対する主な外部人為事象は，発電所全体の外部人為事象に対する設計上の考慮に従う。(「Ⅱ 1.14 設計上の考慮」参照)。

(1)電磁的障害

滞留水一時貯留設備は，電磁的障害による擾乱に対して，制御盤へ入線する電源受電部へのラインフィルタや絶縁回路の設置，外部からの信号入出力部へのラインフィルタや絶縁回路の設置，通信ラインにおける光ケーブルの適用等により，影響を受けない設計とする。

(2)不正アクセス行為（サイバーテロを含む）

不正アクセス行為（サイバーテロを含む）を未然に防止するため，滞留水一時貯留設備の操作に係る監視・制御装置が，電気通信回線を通じて不正アクセス行為（サイバーテロを含む）を受けることがないように，外部からの不正アクセスを遮断する設計とする。

8.4　火災に対する設計上の考慮

滞留水一時貯留設備は，火災発生防止及び火災影響軽減のため，実用上可能な限り不燃性又は難燃性材料を使用するとともに設備周辺から可能な限り可燃物を排除する。

また，初期消火の対応ができるよう，設備近傍に消火器を設置する。なお，火災発生は監視カメラ等により確認可能な設計とする。

8.5　環境条件に対する設計上の考慮

滞留水一時貯留設備において使用する材料等に対して，環境条件に対する設計上の考慮は以下の通り。

(1)圧力及び温度

滞留水一時貯留設備は通常運転時及び異常事象発生時に想定される圧力・温度を踏まえて，適切な最高使用圧力・最高使用温度を有する機器等を選定する。

(2)腐食に対する考慮

滞留水一時貯留設備については，耐腐食性に優れた二相ステンレス鋼，ポリエチレン，合成ゴム，十分な肉厚を有する炭素鋼等を使用する。

(3)放射線

滞留水一時貯留設備の材質として使用するポリエチレン等については，放射線による材料特性に有意な変化がない期間を評価した上で，当該期間を超えて使用する場合には，あらかじめ交換等を行う。

(4)崩壊熱

処理対象水に含まれる放射性物質の崩壊熱は，通水時は処理水とともに熱除去されるため，考慮の必要はないと考える。

(5) 長期停止中の措置

滞留水一時貯留設備を長期停止する場合は，必要に応じてフラッシングするとともに，内部の水抜きを実施し，漏えいや腐食防止を図る。

(6) 可燃性ガス滞留防止対策

滞留水一時貯留容器において，水の放射線分解により発生する可燃性ガス（水素ガス）の滞留防止のため，ベントラインを設置する。

8.6　運転する者の操作に対する設計上の考慮

滞留水一時貯留設備の運転する者の操作に対する設計上の考慮は以下の通り。

(1) 滞留水一時貯留設備の運転操作は監視・操作端末等により遠隔操作で実施する。滞留水一時貯留設備はプロセス計器だけでなく，監視カメラを多用し，現場の状況を映像で確認することが可能な設計とする。

(2) 誤操作・誤判断を防止するため，弁操作や運転モードの切替等の重要な操作に関してはダブルアクションを要する設計とする。

8.7　検査可能性に対する設計上の考慮

滞留水一時貯留設備の検査可能性に対する設計上の考慮は，「別紙（５）　検査可能性に関する考慮事項」に記載の通り。

以上

別紙（２）

滞留水一時貯留設備の耐震性に関する説明書

滞留水一時貯留設備を構成する設備について，耐震設計の基本方針に基づき，構造強度の評価を行う。

1. 耐震設計の基本方針

滞留水一時貯留設備のうち，液体放射性物質を内包する設備については，「東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所における耐震クラス分類と地震動の適用の考え方（2023 年 6 月 19 日一部改訂)」を踏まえ，その安全機能が喪失した場合における公衆への放射線影響を評価した結果，直接線・スカイシャイン線による外部被ばく線量と，漏えいした滞留水の一部がダストとして大気中に拡散した場合の外部及び内部被ばく線量を合わせた場合，その実効線量は 5mSv 以下と評価される。また，長期的に使用する設備に該当することから，耐震 B＋クラスと位置付けられる。

滞留水一時貯留設備は，耐震 B＋クラスに要求される地震動に対して必要な強度を確保する。主要な機器及び鋼管の耐震性を評価するにあたっては，「原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG4601）等」に準拠して構造強度評価を行うことを基本とするが，評価手法，評価基準について実態に合わせたものを採用する。なお，滞留水一時貯留設備に使用する耐圧ホース，ポリエチレン管等については，材料の可撓性により耐震性を確保する。

また，滞留水一時貯留設備は，原子炉設置許可申請書及び工事計画認可申請書において，発災前に耐震 B クラスとして許可及び認可を受けたプロセス主建屋に設置する。B+クラスの設備を設置するにあたり，滞留水一時貯留設備が設置される建屋（プロセス主建屋）について滞留水一時貯留設備の間接支持機能維持の観点から，1/2Ss450 に対し，１～４階外壁及び地下外壁が崩壊しないことを確認する。

なお，判定は１～４階及び地下階の耐震壁の最大せん断ひずみが，評価基準値（4.0×10^{-3}）を超えないことを確認する。

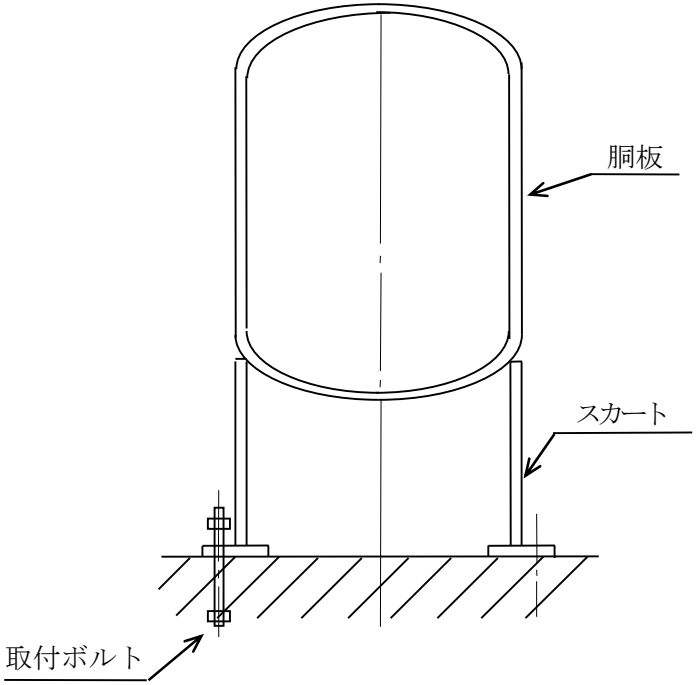
1.1　設備重要度による耐震クラス分類

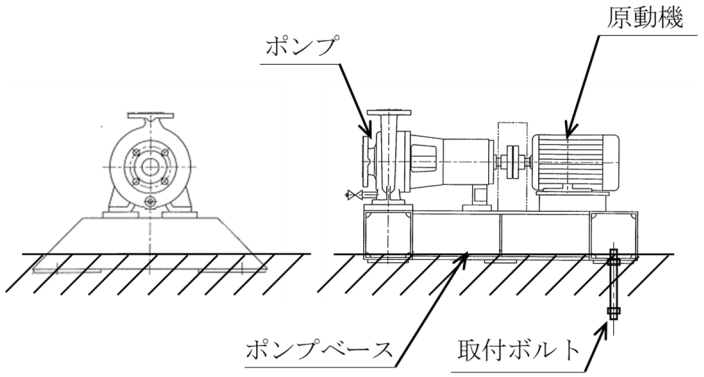
表－１　機器毎の耐震クラス分類，据付場所および床面高さ

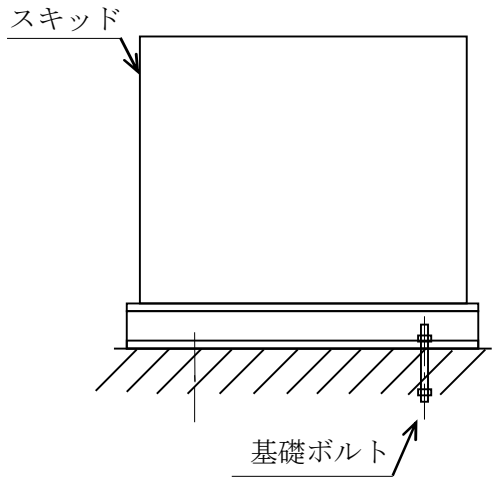
耐震クラス別 / 系統設備	Ｂ＋		
	機器名称	据付場所	床面高さ(m)
滞留水一時貯留設備			
(1)容器	滞留水受入槽	プロセス主建屋４階	T.P.24.0
	滞留水一時貯留槽	プロセス主建屋４階	T.P.24.0
(2)ポンプ	滞留水供給ポンプ	プロセス主建屋４階	T.P.24.0
(3)配管	主配管		
	滞留水供給ポンプスキッド内配管	プロセス主建屋４階	T.P.24.0
	バルブラック内配管	プロセス主建屋４階	T.P.24.0
	入口ヘッダスキッド内配管	プロセス主建屋２階	T.P.12.6
	処理装置移送ラインバイパス配管	プロセス主建屋１階	T.P.8.8
(4)スキッド	滞留水供給ポンプスキッド	プロセス主建屋４階	T.P.24.0
	バルブラック	プロセス主建屋４階	T.P.24.0
	入口ヘッダスキッド	プロセス主建屋２階	T.P.12.6

1.2　構造計画

表－２　構造計画

主要区分	計画の概要		概略構造図	摘要
	基礎・支持構造物	主体構造		
(1)スカート支持たて置円筒形容器	胴をスカートで支持し，スカートを取付ボルトでスキッドに据え付ける。	上面及び下面に鏡板を有するたて置円筒形		・滞留水受入槽 ・滞留水一時貯留槽

主要区分	計画の概要		概略構造図	摘要
	基礎・支持構造物	主体構造		
(2)横軸ポンプ	ポンプはポンプベースに固定され，ポンプベースは取付ボルトによりスキッドに据え付ける。	うず巻形		・滞留水供給ポンプ

主要区分	計画の概要		概略構造図	摘要
	基礎・支持構造物	主体構造		
(3)スキッド*	スキッド架構を基礎ボルトで基礎に据え付ける。	垂直自立形		・滞留水供給ポンプスキッド ・バルブラック ・入口ヘッダスキッド

＊スキッドとは，ポンプ，弁，配管等の機器類をベースとなるフレーム上に配置し，一体化した構造体である。（スキッド毎に構造は異なるため，便宜上，概略構造図は直方体で表記）

1.3　設計用地震力

表－３　適用する設計用地震力

項目	耐震クラス	静的地震力		動的地震力		備考
		水　平	鉛　直	水　平	鉛　直	
機器・配管系	Ｂ＋	――	――	1/2Ss450*1	1/2Ss450*1	＊1 機能維持
		1.8・C_i※	――	1/2Sd225*2 （共振時のみ）	1/2Sd225*2 （共振時のみ）	＊2 弾性範囲

注記　※　：　C_iは，標準せん断力係数を 0.2 とし，建物・構造物の振動特性，地盤の種類等を考慮して求められる値とする。

1.4　荷重の組合せと許容限界

荷重の組合せと許容限界は,以下の通りとする。ただし，本設備では保守的に1/2Ss450の動的地震力に対しても供用状態Ｃｓとして評価を実施する。（1/2Ss450の動的地震力に対しても供用状態Ｃｓとして評価することで静的地震力による評価の記載を省略する）

記号の説明

Ｄ　　：死荷重

P_d　：当該設備に設計上定められた最高使用圧力による荷重

M_d　：当該設備に設計上定められた機械的荷重

S_B　：Ｂクラスの設備に適用される地震動より求まる地震力又はＢクラス設備に適用される静的地震力

S_{B+}　：Ｂ＋クラスの設備に適用される地震動

S_y　：設計降伏点　　設計・建設規格　付録材料図表　Part5表8に規定される値

S_u　：設計引張強さ　設計・建設規格　付録材料図表　Part5表9に規定される値

Ｓ　　：許容引張応力　設計・建設規格　付録材料図表　Part5表5～7に規定される値

f_t　：許容引張応力　支持構造物(ボルト等を除く。)に対して設計・建設規格SSB-3121.1により規定される値。ボルト等に対して設計・建設規格SSB-3131により規定される値

f_s　：許容せん断応力　同上

f_c　：許容圧縮応力　支特構造物(ボルト等を除く。)に対して設計・建設規格SSB-3121.1により規定される値。

f_b　：許容曲げ応力　同上

f_t^*　：許容引張応力　支持構造物(ボルト等を除く。)に対して設計・建設規格SSB-3121.1，ボルト等に対して設計・建設規格SSB-3131により規定されるS_yを1.2S_yと読み替えて求めた値

f_s^*　：許容せん断応力　同上

f_c^*　：許容圧縮応力　支特構造物(ボルト等を除く。)に対して設計・建設規格SSB-3121.1により規定されるS_yを1.2S_yと読み替えて求めた値。

f_b^*　：許容曲げ応力　同上

τ_b　：ボルトに生じるせん断応力

表－４　荷重の組合せ，許容応力状態及び許容応力

(1)容器（クラス３容器）

耐　震 クラス	荷重の組合せ	供用状態 （許容応力状態）	許　　容　　限　　界		適用範囲
			一次一般膜応力	一次膜応力＋一次曲げ応力	
B＋	$D+P_d+M_d+S_B$	C_S	S_yと0.6･S_uの小さい方。 ただし，オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記の値と1.2･Sのうち大きい方とする。	S_y ただし，オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金についてはS_yと1.2･Sのうち大きい方とする。	・滞留水受入槽 ・滞留水一時貯留槽
	$D+P_d+M_d+S_{B+}$	D_S	0.6･S_u	左欄の1.5倍	

(2)支持構造物（クラス３支持構造物）（注1，注2）

耐震クラス	荷重の組合せ	供用状態（許容応力状態）	許容限界（ボルト等以外）					許容限界（ボルト等）			適用範囲
			一次応力					一次応力			
			引張	せん断	圧縮	曲げ	組合せ	引張	せん断	組合せ	
B＋	D＋P_d＋M_d＋S_B	C_S	1.5・f_t	1.5・f_s	1.5・f_c	1.5・f_b	1.5・f_t	1.5・f_t	1.5・f_s	Min{1.5・f_t, (2.1・f_t−1.6・τ_b)}	・基礎ボルト ・取付ボルト ・スカート
	D＋P_d＋M_d＋S_{B+}	D_S	1.5・f_t^*	1.5・f_s^*	1.5・f_c^*	1.5・f_b^*	1.5・f_t^*	1.5・f_t^*	1.5・f_s^*	Min{1.5・f_t^*, (2.1・f_t^*−1.6・τ_b)}	

注１：耐圧部に溶接により直接取り付けられる支持構造物であって，耐圧部と一体の応力解析を行うものについては，耐圧部と同じ許容応力とする。

注２：鋼構造設計規準（日本建築学会　2005 年改定）等の幅厚比の規定を満足する。

(3)配管（クラス３配管）

耐　震 クラス	荷重の組合せ	供用状態 （許容応力状態）	許　　容　　限　　界 一次応力	適用範囲
Ｂ＋	Ｄ＋Ｐd＋Ｍd＋ＳB	Ｃs	Ｓy ただし，オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記の値と 1.2･Ｓのうち大きい方とする。	・主配管（鋼管）
	Ｄ＋Ｐd＋Ｍd＋ＳB＋	Ｄs	0.9･Ｓu	

表－５　機器毎の使用材料の許容応力評価条件

(1)滞留水受入槽，滞留水一時貯留槽

評価部材	材料	温度条件 (℃)		Sy (MPa)	Su (MPa)
胴板	SM400B (板厚≦16mm)	最高使用温度	40	245	400
スカート	SM400B (板厚≦16mm)	周囲環境温度	40	245	400
取付ボルト	SS400 (40mm＜径)	周囲環境温度	40	215	400

(2)滞留水供給ポンプ

評価部材	材料	温度条件 (℃)		Sy (MPa)	Su (MPa)
ポンプ基礎ボルト	SS400 (40mm＜径)	周囲環境温度	40	215	400
ポンプ取付ボルト	SUS316	最高使用温度	40	205	520
原動機取付ボルト	SS400 (16mm＜径≦40mm)	最高使用温度	40	235	400

(3)スキッド類（滞留水供給ポンプスキッド，バルブラック，入口ヘッダスキッド）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		Sy (MPa)	Su (MPa)
スキッド取付ボルト	SS400 (16mm＜径≦40mm)	周囲環境温度	40	235	400

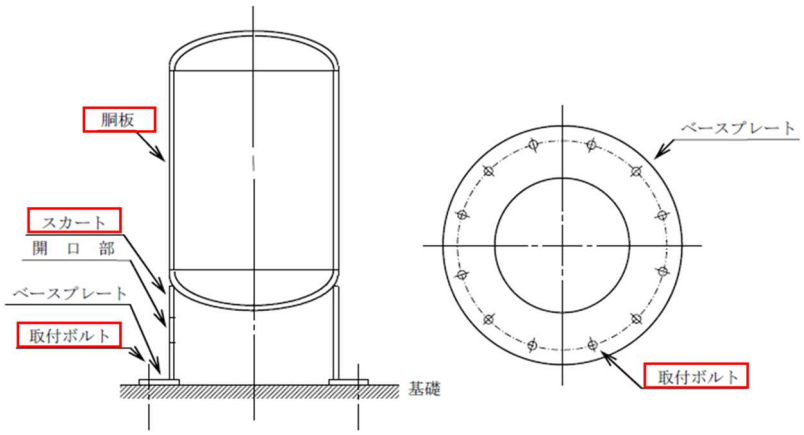
(4)主配管（鋼管）

材料	温度条件 (℃)		Sy (MPa)	Su (MPa)
STPG370	最高使用温度	40	215	370
		66	189	357

2.　耐震性評価の結果

2.1　容器

本評価は，「2.16.2 増設多核種除去設備 添付資料－３ 付録１スカート支持たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」（耐震設計上の重要度分類Ｂ+クラス）に基づいて評価を実施した。評価の結果，固有周期は 0.05 秒以下であり，剛であること，胴板，スカート及び取付ボルト，取付部の強度が確保されることを確認した（表－６，７，８，９）。



図－１　容器評価箇所

表－６　滞留水受入槽の固有周期　（単位：ｓ）

方向	固有周期
水平方向	0.037
鉛直方向	0.013

表－７　滞留水受入槽の耐震性評価結果（地震力：1/2Ss450，供用状態：C_S）

部材	材料	水平震度	鉛直震度	応力	算出応力	許容応力
胴板	SM400B	0.68	0.48	一次一般膜	σ_0= 10	S_a= 240
				膜＋曲げ	σ_0= 10	S_a= 240
スカート	SM400B	0.68	0.48	組合せ	σ_S= 19	F_t= 245
				圧縮と曲げの組合せ（座屈評価）	$(\eta\cdot(\sigma_{s1}+\sigma_{s3})/f_c+\eta\cdot\sigma_{S2}/f_b)\leqq 1$	
					0.09	
取付ボルト	SS400	0.68	0.48	引張	σ_b= 42	F_{ts}= 161
				せん断	τ_b= 25	F_{sb}= 124

※　許容引張応力は Min{1.5・ｆｔ,(2.1・ｆｔ－1.6・τｂ)}にて算定

表－８　滞留水一時貯留槽の固有周期　（単位：ｓ）

方向	固有周期
水平方向	0.025
鉛直方向	0.011

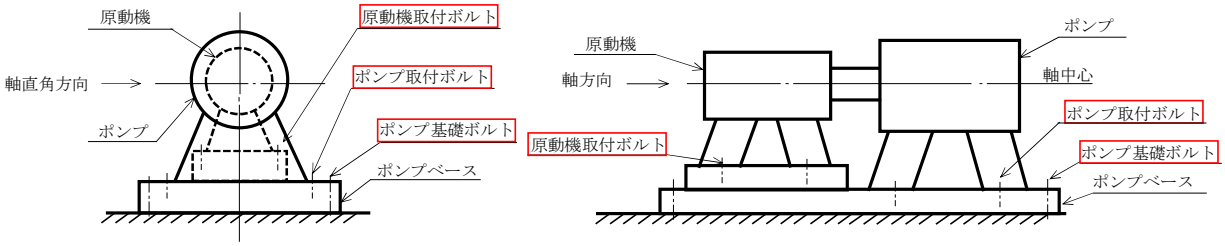
表－９　滞留水一時貯留槽の耐震性評価結果（地震力：1/2Ss450，供用状態：Ｃｓ）

部材	材料	水平震度	鉛直震度	応力	算出応力	許容応力
胴板	SM400B	0.68	0.48	一次一般膜	σ_0= 12	S_a= 240
				膜＋曲げ	σ_0= 12	S_a= 240
スカート	SM400B	0.68	0.48	組合せ	σ_S= 15	F_t= 245
				圧縮と曲げの組合せ（座屈評価）	$(\eta\cdot(\sigma_{s1}+\sigma_{s3})/f_c+\eta\cdot\sigma_{S2}/f_b)$ ≦1	
					0.07	
取付ボルト	SS400	0.68	0.48	引張	σ_b= 23	F_{ts}= 161
				せん断	τ_b= 33	F_{sb}= 124

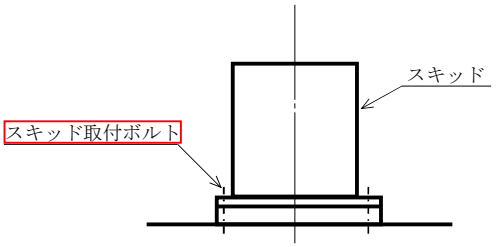
※　許容引張応力は Min{1.5・ｆｔ,(2.1・ｆｔ－1.6・τｂ)}にて算定

2.2　ポンプ，スキッド類

ポンプ，スキッド類の評価は，剛であることを踏まえ，「2.16.2 増設多核種除去設備 添付資料－３ 付録３横軸ポンプ及びスキッドの耐震性についての計算書作成の基本方針」（耐震設計上の重要度分類Ｂ+クラス）に基づいて評価を実施した。評価の結果，ポンプ取付ボルト等の強度が確保されることを確認した（表－１０，１１）。



図－２　ポンプ評価箇所



図－３　スキッド評価箇所

表－１０　滞留水供給ポンプの耐震性評価結果（地震力：1/2Ss450，供用状態：C_S）

部材	材料	水平震度	鉛直震度	応力	算出応力	許容応力
ポンプ 基礎ボルト	SS400	0.68	0.48	引張	σ_{b1}= 7	f_{ts1}= 161
				せん断	τ_{b1}= 7	f_{sb1}= 124
ポンプ 取付ボルト	SUS316	0.68	0.48	引張	σ_{b2}= 0	f_{ts2}= 153
				せん断	τ_{b2}= 3	f_{sb2}= 118
原動機 取付ボルト	SS400	0.68	0.48	引張	σ_{b4}= 7	f_{ts4}= 176
				せん断	τ_{b4}= 5	f_{sb4}= 135

表－１１　スキッド類の耐震性評価結果（地震力：1/2Ss450，供用状態：C_S）

機器名称	部材	材料	水平震度	鉛直震度	応力	算出応力	許容応力
滞留水供給 ポンプスキッド	スキッド 取付ボルト	SS400	0.68	0.48	引張	σ_{b1}= －	f_{ts1}= 176
					せん断	τ_{b1}= 19	f_{sb1}= 135
バルブラック	スキッド 取付ボルト	SS400	0.68	0.48	引張	σ_{b1}= －	f_{ts1}= 176
					せん断	τ_{b1}= 20	f_{sb1}= 135
入口ヘッダ スキッド	スキッド 取付ボルト	SS400	0.65	0.46	引張	σ_{b1}= －	f_{ts1}= 176
					せん断	τ_{b1}= 26	f_{sb1}= 135

※　許容引張応力は Min{1.5・ｆｔ,(2.1・ｆｔ－1.6・τｂ)}にて算定

2.3　主配管（鋼管）

共振による加速度増大の防止を目的とし，対象の配管を多質点モデルとして固有値解析を実施し，固有周期が 0.05 秒以下となるようなサポート構造を導出したうえで，各対象に一律の震度を与えて地震応力等を求める解析による評価を実施した。評価の結果，算出応力が許容応力以下であることを確認した。

表－１２　配管系における各種条件

配管分類	主配管（鋼管）							
配管クラス	クラス３相当							
耐震クラス	B＋クラス							
最高使用圧力［MPa］	1.37				1.0		静水頭	1.37
最高使用温度［℃］	40							66
配管材質	STPG370							
配管口径［A］	80	100	125	150	100	150	100	100
Sch	40							80

表－１３　主配管（鋼管）の固有周期（単位：ｓ）

機器名称	固有周期
滞留水供給ポンプスキッド内配管	0.050
バルブラック内配管	0.049
入口ヘッダスキッド内配管	0.049
処理装置移送ラインバイパス配管	0.050

表－１４　応力評価結果（主配管（鋼管））（地震力：1/2Ss450，供用状態：Ｃs）

機器名称	配管材質	水平震度	鉛直震度	算出応力	許容応力
滞留水供給ポンプスキッド内配管	STPG370	0.68	0.48	38	215
バルブラック内配管	STPG370	0.68	0.48	19	215
入口ヘッダスキッド内配管	STPG370	0.65	0.46	29	215
処理装置移送ラインバイパス配管	STPG370	0.57	0.44	23	189

3.　耐震クラス分類および設計震度に関する考え方

3.1　耐震クラス分類の考え方

滞留水一時貯留設備のうち，液体放射性物質を内包する設備については，その安全機能が喪失した場合における公衆への放射線影響を評価した結果，直接線・スカイシャイン線による外部被ばく線量と，漏えいした滞留水の一部がダストとして大気中に拡散した場合の外部及び内部被ばく線量を合わせた場合，その実効線量は5mSv以下と評価されること，および長期的に使用する設備に該当することから，耐震B＋クラスと位置付けられる。

a.機能喪失による公衆への放射線影響の程度について

滞留水一時貯留設備について，機能喪失による公衆への放射線影響を確認するため，線量評価を実施した。評価条件については，設備から全量漏えいした場合を想定した条件にて設定する。評価条件における放射性物質量を表－１５に示す。

表－１５　評価条件における放射性物質量

核種	濃度（Bq/L）	容積（m^3）	放射性物質量（Bq）
Cs-137(Ba-137m)	1.3E+08	100※1	1.3E+13
Cs-134	6.6E+06		6.6E+11
Sr-90(Y-90)	3.0E+07		3.0E+12

※1　プロセス主建屋４階設置の主要機器の内包水量84m^3に対して保守的に設定。

○漏えいした放射性物質の直接線・スカイシャイン線による被ばく評価

地震により安全機能（遮へい機能・閉じ込め機能）を失った際の公衆被ばく影響が，１週間（７日間）継続したことを想定する。最寄りの線量評価点（BP7）における直接線・スカイシャイン線による被ばく量は0.016 mSv程度である。

○漏えいした放射性物質の大気中への拡散による被ばく評価

地震により安全機能（遮へい機能・閉じ込め機能）を失った際に，漏えいした放射性物質がダストとして放出したことを想定する。実効放出継続時間を2時間と仮定した場合の，最寄り線量評価点（BP7）におけるクラウドシャイン線，グランドシャイン線による外部被ばくおよびクラウドの吸入による内部被ばく量は0.17 mSv程度である。

3.2　Ｂ＋クラスの設計震度について

ａ．静的地震力の評価

機器に対する静的地震力の評価は，Ｂ＋クラスに求められる静的震度として、建屋・構築物の層せん断力係数 1.5Ci に 1.2 を乗じた 1.8Ci を用いて評価を行う。この評価は，後述する b．にて供用状態Ｃｓとして評価を実施することから省略する。

b．1/2Ss450 機能維持

滞留水一時貯留設備では 1/2Ss450 に対する，設備を設置するプロセス主建屋の各フロアでの水平（２方向)，鉛直，水平２方向の各時刻の応答加速度を重ね合わせの最大応答加速度は以下の通りである。

ここで本設備では水平２方向の考慮について，JEAC4601-2021 に記載の考え方に則り，本設備が剛であることから，水平２方向の各時刻の応答加速度を時々刻々重ね合わせたものを水平方向の応答加速度として用いた。なお，保守性のため，水平２方向の各時刻の応答加速度を重ね合わせた最大応答加速度を各機器の弱軸側に付与して評価を行う。また，上記に加えて本設備ではこの重ね合わせた水平方向の最大応答加速度での評価結果においても，許容値に対して 1.5 以上の裕度があるため，水平２方向地震動に対してさらに余裕があることを確認している。

なお，NS 方向には水平方向の検討用地震動 1/2Ss450-1H，EW 方向には検討用地震動に組み合わせる模擬地震波 1/2Ss450-1P を入力している。

表－１６　プロセス主建屋における設備設置箇所の最大応答加速度（1/2Ss450）

プロセス主建屋	最大応答加速度[cm/s^2]			
	水平 NS 方向	水平 EW 方向	水平 2 方向 重ね合わせ	鉛直方向
４階(T.P.24.0)	460	545	552	387
２階(T.P.12.6)	415	516	523	370
１階(T.P.8.8)	368	460	461	352

このため，機器に対する評価では最大応答加速度に 1.2 を乗じて重力加速度で除した値を評価に用いる震度とし，備を設置するプロセス主建屋の各フロアに応じて以下の通りに評価を行う。

表－１７　プロセス主建屋における設備設置箇所の設計震度（1/2Ss450）

プロセス主建屋	水平震度	鉛直震度
４階(T.P.24.0)	0.68	0.48
２階(T.P.12.6)	0.65	0.46
１階(T.P.8.8)	0.57	0.44

c．1/2Sd225 弾性範囲（共振時のみ）

1/2Sd225 における機器に対する評価では，ｂ．に記載する値に 1/2 を乗じて求め，評価を行う。なお，本設備の機器および主配管（鋼管）は剛（固有周期が 0.05 秒以下）となるように設計しているため，c．の評価は不要である。

4.　プロセス主建屋の耐震性に関する評価

4.1　はじめに

滞留水一時貯留設備が設置される建屋（プロセス主建屋）について 1/2Ss450 に対し，１～４階外壁及び地下外壁が崩壊しないことを確認する。なお，判定は１～４階及び地下階の耐震壁の最大せん断ひずみが，評価基準値（4.0×10^{-3}）を超えないことを確認する。

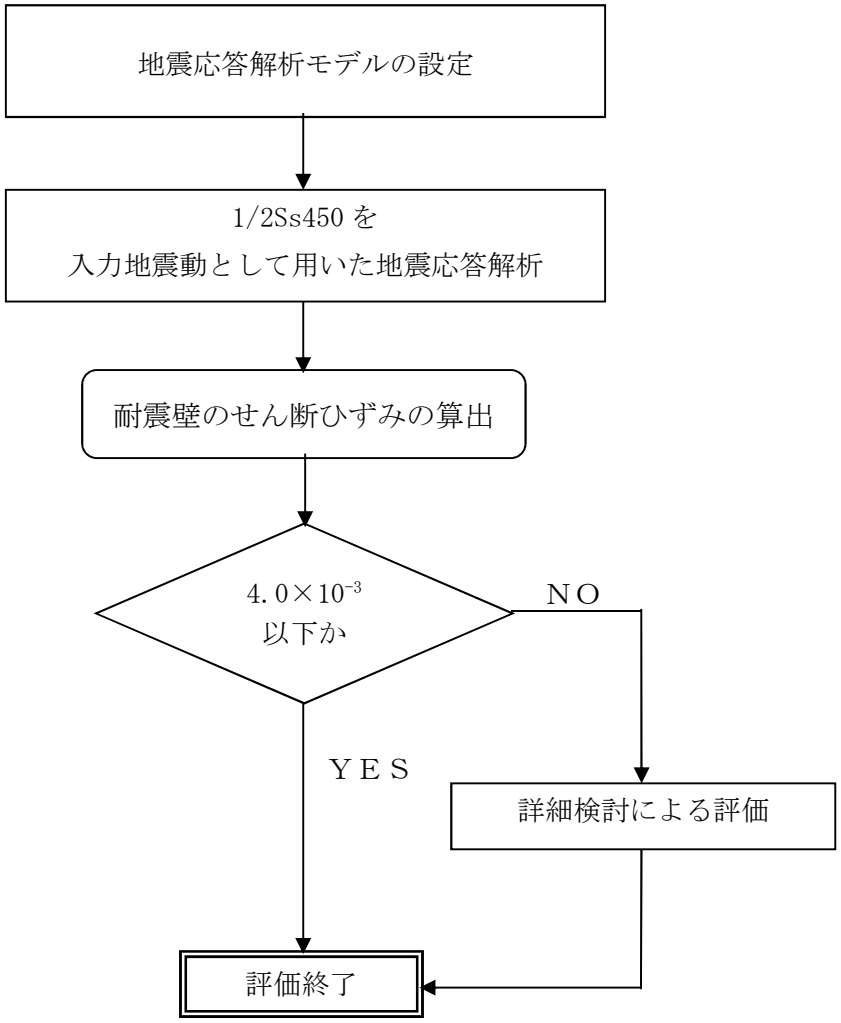
4.2　解析評価方針

プロセス主建屋の耐震安全性評価は，1/2Ss450 を用いた地震応答解析によることを基本とし，建物・構築物や地盤の応答性状を適切に表現できるモデルを設定した上で行う。

解析モデルは，建屋全域を NS 方向は１軸質点系モデル，EW 方向は多軸質点系モデルとする。

１～４階及び地下階の耐震壁の評価は，地震応答解析により得られた該当部位の最大せん断ひずみが，評価基準値（4.0×10^{-3}）を超えないことを確認することとする。

プロセス主建屋の地震応答解析の評価手順例を，図－４に示す。



図－４　プロセス主建屋の地震応答解析の評価手順例

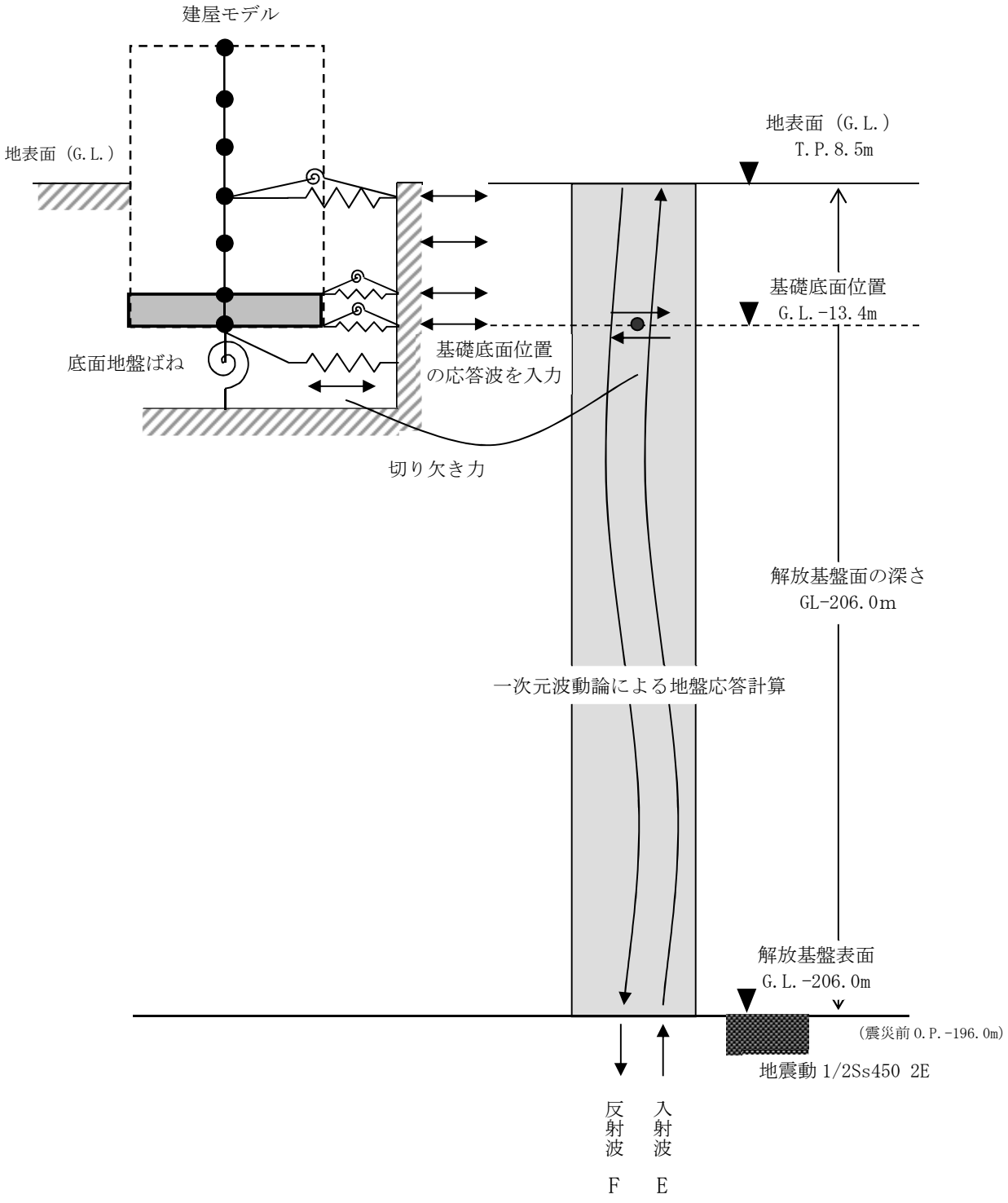
4.3　解析に用いる入力地震動

プロセス主建屋への入力地震動は，第２７回特定原子力監視・評価検討会（平成 26 年 10 月 3 日）にて説明した検討用地震動（以下，「Ss900」という。）を用いることとする。

地震応答解析に用いる入力地震動の概念図を図－５に示す。このプロセス主建屋の解析モデルに入力する地震動は，一次元波動論に基づき，解放基盤表面レベルに想定する 1/2Ss450 に対する建屋基礎底面レベルの地盤応答として評価する。また，建屋基礎底面レベルにおけるせん断力を入力地震動に付加することにより，地盤の切欠き効果を考慮する。

このうち，解放基盤表面位置における Ss900 の加速度波形について，図－６～図－８に示す。1/2Ss450 については，Ss900 を 1/2 倍したものを用いる。

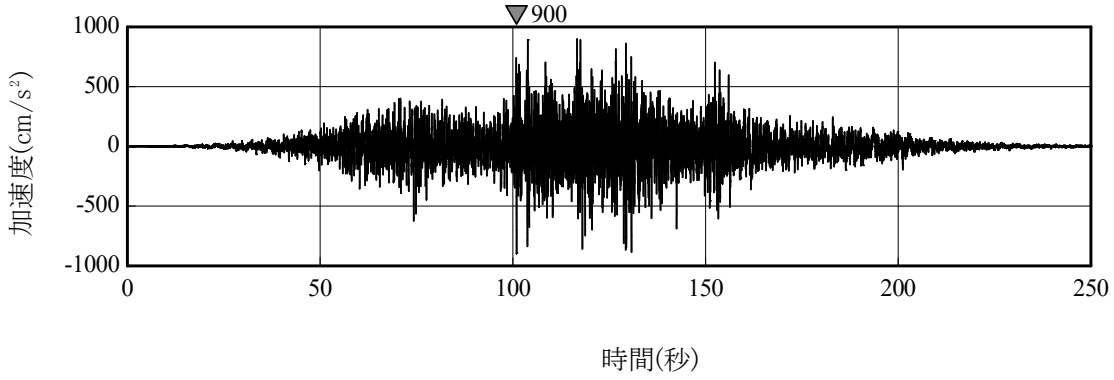
設備を評価するに当たって，水平 2 方向を考慮することとしており，この評価に当たっては，全く同じ地震動が同時に水平 2 方向に入力されることは現実的に考えにくいことから，Ss900-1 を作成した方法と同一の方法で，目標とする応答スペクトルに適合する位相の異なる模擬地震波を利用する。なお，Ss900-1 の水平方向の位相が，2011 年東北地方太平洋沖地震において福島第一原子力発電所敷地内の地震観測記録の NS 方向の位相を基に作成していることから，模擬地震波はそれと直交する EW 方向の位相を基に作成する。（図－８）（参考－1 参照）



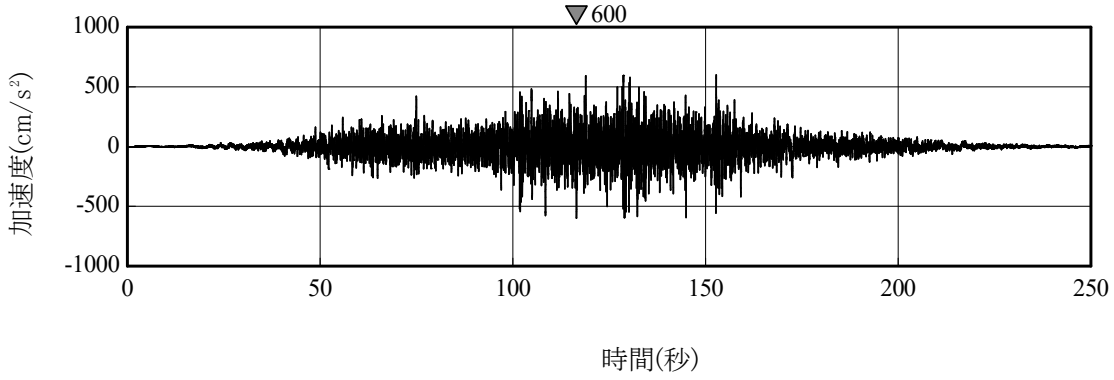
図－５　地震応答解析に用いる入力地震動の概念図

記載の標高は，震災前の地盤沈下量（-709㎜）と O.P.から T.P.への読替値（-727m）を用いて，下式に基づき換算している。

＜換算式＞ T.P.＝旧 O.P.－1,436㎜

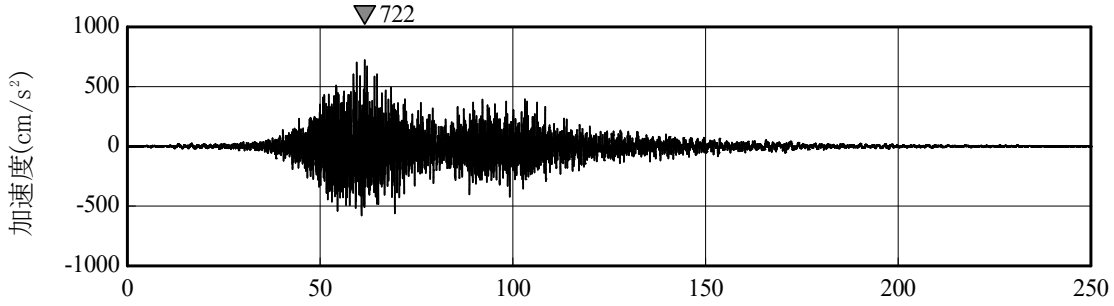


(a)　水平方向

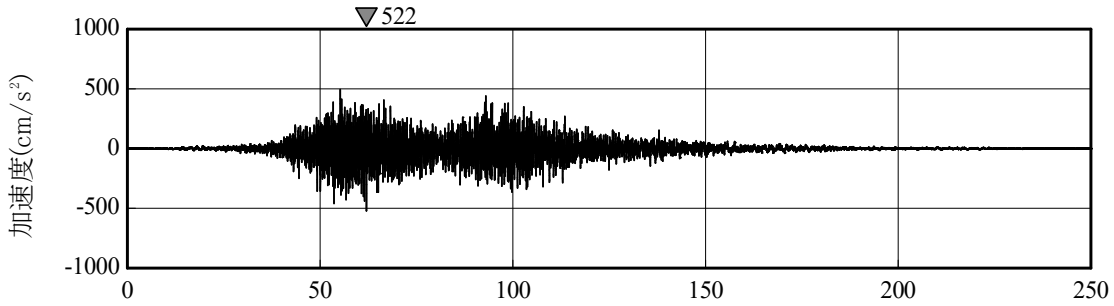


(b)　鉛直方向

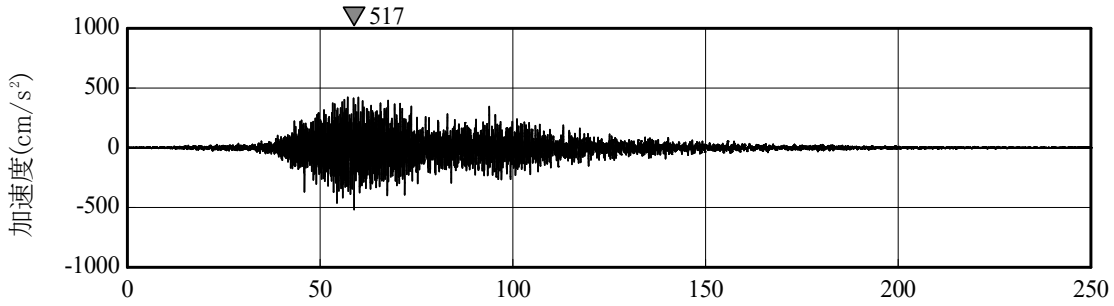
図－６　解放基盤表面位置における地震動の加速度時刻歴波形（Ss900-1）



(a)　NS 方向

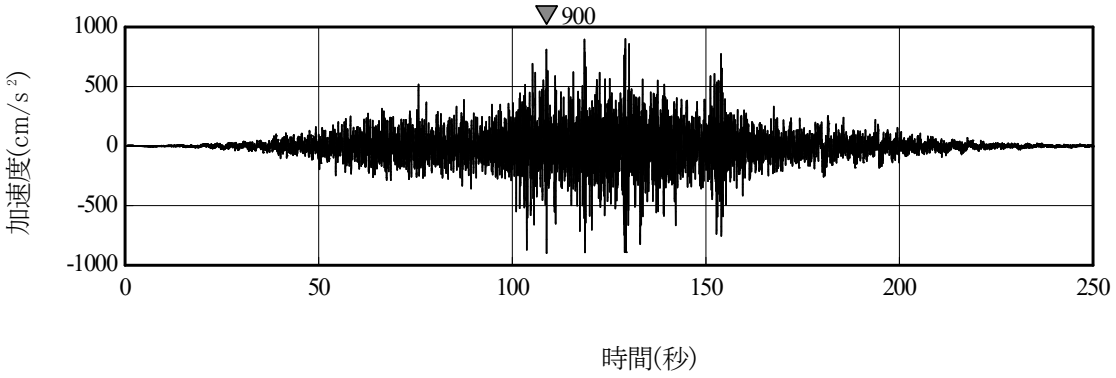


(b)　EW 方向



(c)　鉛直方向

図－７　解放基盤表面位置における地震動の加速度時刻歴波形（Ss900-2）



図－８　Ss900-1（水平方向）と組み合わせる模擬地震波

4.4　地震応答解析モデル

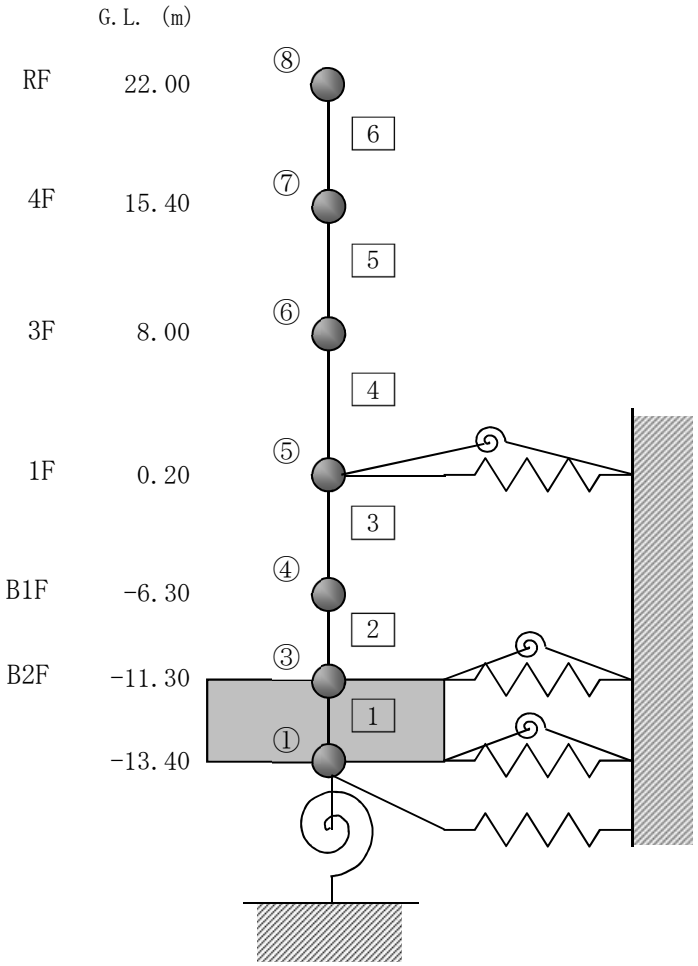
1/2Ss450 に対するプロセス主建屋の地震応答解析は,「4.3　解析に用いる入力地震動」で算定した入力地震動を用いた動的解析による。

地震応答解析モデルは，図－９及び図－１０に示すように，建屋を曲げ変形とせん断変形をする質点系とし，地盤を等価なばねで評価した建屋－地盤連成系モデルとする。建屋－地盤連成系としての効果は地盤ばね及び入力地震動によって評価される。解析に用いるコンクリートの物性値を表－１８に，建屋解析モデルの諸元を表－１９に示す。

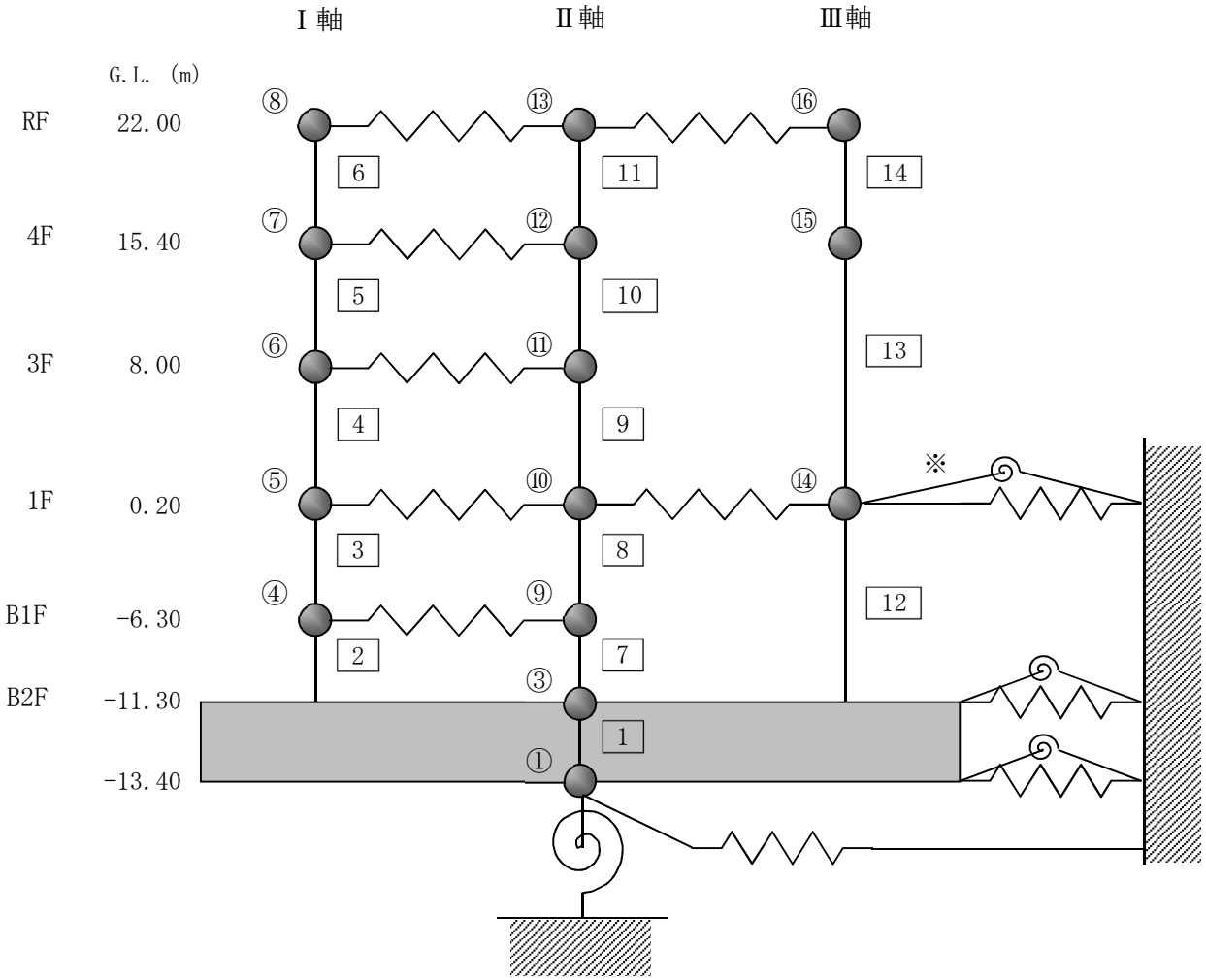
地盤定数は，水平成層地盤と仮定し，地震時のせん断ひずみレベルを考慮して定めた。解析に用いた地盤定数を表－２０に示す。

解析モデルにおいて，基礎底面地盤ばねについては,「JEAG4601-1991」に示された手法を参考にして，成層補正を行ったのち，振動アドミッタンス理論に基づいて，スウェイ及びロッキングばね定数を近似的に評価する。また，埋込部分の建屋側面地盤ばねについては,建屋側面位置の地盤定数を用いて,水平及び回転ばねを「JEAG4601-1991」により NOVAK ばねに基づいて近似法により評価する。

地盤ばねは振動数に依存した複素剛性として得られるが，図－１１に示すようにばね定数（Kc）として実部の静的な値を，また，減衰係数（Cc）として建屋－地盤連成系の１次固有振動数に対応する虚部の値と原点を結ぶ直線の傾きを採用することにより近似する。

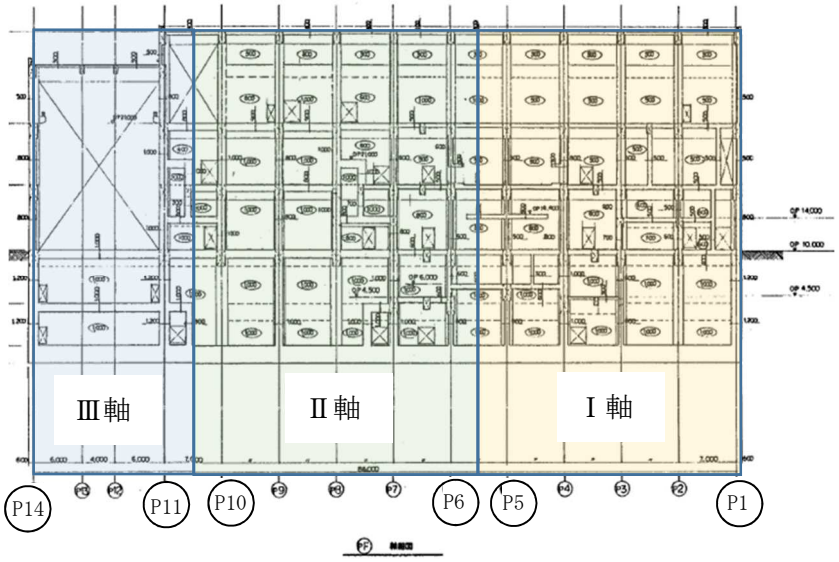


図－９　プロセス主建屋　地震応答解析モデル（NS 方向）



※実際の解析モデルでは，G.L.0.2m 位置の地盤ばねに関しては質点 5，10，14 のそれぞれに設けられるが，図化の都合上，ここでは質点 14 のみの描画としている。

図－１０（１）　プロセス主建屋　地震応答解析モデル（EW 方向）



図－１０（２）　プロセス主建屋の NS 方向軸組図

表－１８　地震応答解析に用いる物性値

	強度*1 Fc (N/mm^2)	ヤング係数*1 E (N/mm^2)	せん断弾性係数*1 G (N/mm^2)	ポアソン比 ν	単位体積重量*2 γ (kN/m^3)
コンクリート	35.0	2.57×10^4	1.07×10^4	0.2	24
鉄筋	SD345 相当 (SD35)				

*1：実強度に基づく。

*2：鉄筋コンクリートの値を示す。

表－１９（１）　建屋解析モデルの諸元

（NS 方向）

質点番号	質点重量[*1] W(kN)	回転慣性重量[*1] I_G($\times10^6$kN・m^2)	せん断断面積 A_s(m^2)	断面2次ﾓｰﾒﾝﾄ I(m^4)
8	162,038	99.9	253.7	97,496.7
7	229,033	93.7	360.5	153,493.9
6	293,483	120.0	439.2	193,425.2
5	532,903 (68,566)	328.9 (42.4)	755.2	410,216.2
4	346,362 (121,308)	141.7 (49.6)	737.5	426,405.9
3	479,573 (52,742)	304.2 (33.5)	6,208.6	3,934,125.4
1	156,458	99.2		

※1：重量は付加した重量を含む。（（ ）内は貯水による付加質量）

表－１９（２）　建屋解析モデルの諸元

(EW 方向)

Ⅰ軸				
質点番号	質点重量[*1] W(kN)	回転慣性重量[*1] I_G(×10^6kN・m^2)	せん断断面積 A_s(m^2)	断面2次ﾓｰﾒﾝﾄ I(m^4)
8	58,975	24.1	53.2	2,468.1
7	81,789	16.4	81.4	23,468.3
6	134,184	54.8	116.3	17,043.2
5	176,822 (30,912)	72.4 (12.7)	181.9	50,384.4
4	166,947 (54,691)	20.7 (6.8)	184.9	47,389.8

Ⅱ軸				
質点番号	質点重量[*1] W(kN)	回転慣性重量[*1] I_G(×10^6kN・m^2)	せん断断面積 A_s(m^2)	断面2次ﾓｰﾒﾝﾄ I(m^4)
13	67,166	27.5	83.9	8,311.7
12	98,994	19.9	106.0	31,412.8
11	159,298	65.1	164.2	43,673.4
10	197,090 (33,705)	80.6 (13.8)	174.5	22,440.8
9	172,430 (59,632)	22.0 (7.6)	197.9	25,033.1
3	483,522 (56,691)	204.6 (24.0)	6,208.6	2,622,860.7
1	156,458	66.1		

Ⅲ軸				
質点番号	質点重量[*1] W(kN)	回転慣性重量[*1] I_G(×10^6kN・m^2)	せん断断面積 A_s(m^2)	断面2次ﾓｰﾒﾝﾄ I(m^4)
16	35,897	14.7	86.1	45,433.8
15	48,250	19.8		
			125.7	66,358.3
14	162,028 (6,985)	66.4 (2.9)		
			164.9	82,997.0

Ⅰ－Ⅱ	Ⅱ－Ⅲ
床ばね (×10^4kN/m)	
745	785
992	
2,163	
2,380	3,675
1,001	

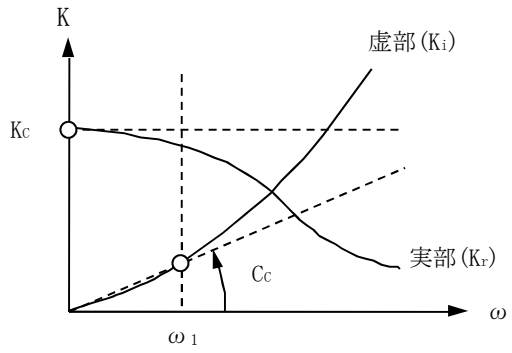
※1: 重量は付加した重量を含む。(( )内は貯水による付加質量)

表－２０（１）　地盤定数（1/2Ss450-1）

標高 G.L. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m^3)	ﾎﾟｱｿﾝ 比 ν	せん断 弾性係数 G (×10^{5}kN/m^2)	初期せん断 弾性係数 G_0 (×10^{5}kN/m^2)	剛性 低下率 G/G_0	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
0.0									
	砂岩	380	17.8	0.473	2.23	2.62	0.85	3	8.1
-8.1	泥岩	450	16.5	0.464	2.73	3.41	0.80	3	11.9
-20.0		500	17.1	0.455	3.49	4.36	0.80	3	70.0
-90.0		560	17.6	0.446	4.50	5.63	0.80	3	28.0
-118.0		600	17.8	0.442	5.22	6.53	0.80	3	88.0
-206.0	(解放基盤)	700	18.5	0.421	9.24	9.24	－	－	－

表－２０（２）　地盤定数（1/2Ss450-2）

標高 G.L. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m^3)	ﾎﾟｱｿﾝ 比 ν	せん断 弾性係数 G (×10^{5}kN/m^2)	初期せん断 弾性係数 G_0 (×10^{5}kN/m^2)	剛性 低下率 G/G_0	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
0.0									
	砂岩	380	17.8	0.473	2.33	2.62	0.89	3	8.1
-8.1	泥岩	450	16.5	0.464	3.03	3.41	0.89	3	11.9
-20.0		500	17.1	0.455	3.88	4.36	0.89	3	70.0
-90.0		560	17.6	0.446	5.01	5.63	0.89	3	28.0
-118.0		600	17.8	0.442	5.81	6.53	0.89	3	88.0
-206.0	(解放基盤)	700	18.5	0.421	9.24	9.24	－	－	－



ω_1：建屋－地盤連成系の
1 次固有振動数

図－１１　地盤ばねの近似

4.5　耐震安全性評価

1/2Ss450 に対するプロセス主建屋の耐震壁のせん断ひずみ一覧を表－２１及び表－２２に示す。

耐震壁のせん断ひずみは，最大で 0.11×10^{-3} であり，耐震壁の評価基準値（4.0×10^{-3}）に対して十分な余裕がある。（図－１２）

表－２１　耐震壁のせん断ひずみ一覧（NS 方向）

（$\times10^{-3}$）

階	1/2Ss450-1	1/2Ss450-2	評価基準値
4F	0.04	0.02	4.0 以下
3F	0.05	0.03	
1F～2F	0.07	0.04	
B1F	0.06	0.04	
B2F	0.08	0.04	

表－２２　耐震壁のせん断ひずみ一覧（EW 方向）

Ⅰ軸　（$\times10^{-3}$）

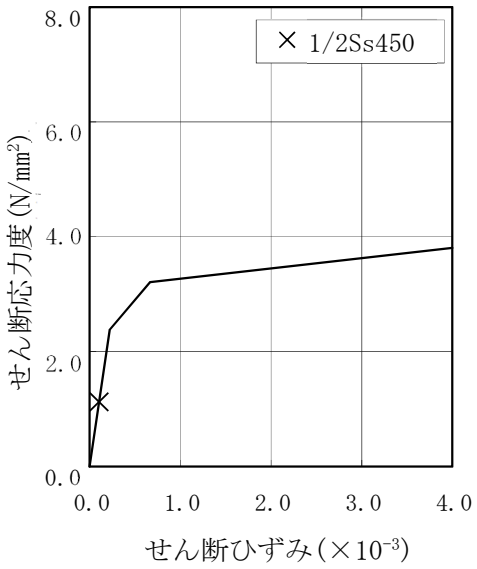
階	1/2Ss450-1	1/2Ss450-2	評価基準値
4F	0.06	0.03	4.0 以下
3F	0.09	0.04	
1F～2F	0.11	0.05	
B1F	0.08	0.04	
B2F	0.11	0.06	

Ⅱ軸　（$\times10^{-3}$）

階	1/2Ss450-1	1/2Ss450-2	評価基準値
4F	0.03	0.02	4.0 以下
3F	0.07	0.03	
1F～2F	0.09	0.04	
B1F	0.09	0.04	
B2F	0.11	0.05	

Ⅲ軸　（$\times10^{-3}$）

階	1/2Ss450-1	1/2Ss450-2	評価基準値
4F	0.04	0.02	4.0 以下
1F～3F	0.05	0.02	
B2F B1F	0.07	0.03	



図－１２　せん断スケルトン曲線上の最大応答値

また，1/2Ss450 に対する最大接地圧を，表－２３に示す。最大接地圧は，地盤の極限支持力度（9800kN/m²） を超えないことを確認した。

よって，プロセス主建屋の耐震安全性は確保されているものと評価した。

表－２３　1/2Ss450 に対する最大接地圧

	NS 方向	EW 方向
地震動	1/2Ss450-1	1/2Ss450-1
鉛直力Ｎ (×10⁵kN)	23.7	23.7
転倒モーメントＭ (×10⁶kN･m)	10.3	10.2
最大接地圧 (kN/m²)	496.4	521.0

水平2方向及び鉛直方向地震力の同時入力時に用いる模擬地震波について

1. はじめに

水平2方向及び鉛直方向地震力の同時入力による検討を行う際に，Ss900-1を用いている。

この際，水平1方向にはSs900-1を用いるが，その直交方向にはSs900-1とは位相の異なる模擬地震波を用いる。

水平2方向及び鉛直方向地震力の同時入力による検討において，全く同じ地震動が同時に水平2方向に入力されることは現実的に考えにくいことから，Ss900-1を作成した方法と同一の方法で，目標とする応答スペクトルに適合する模擬地震波を利用する。

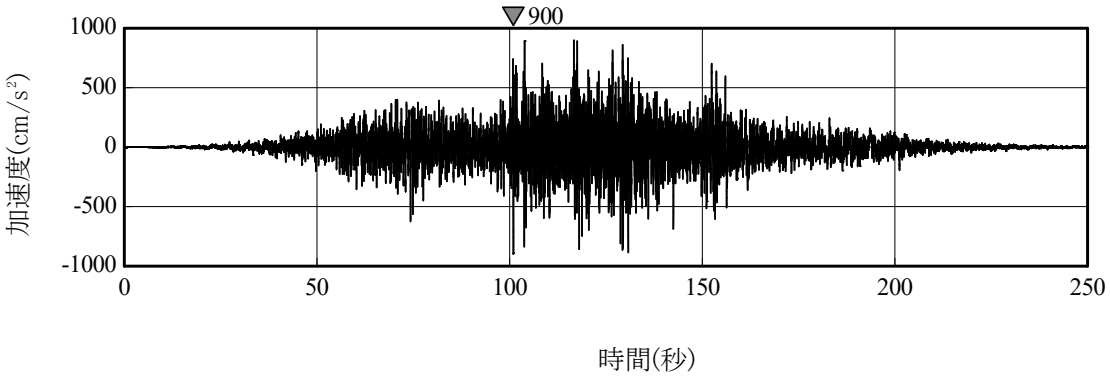
2. 模擬地震波の作成方針

応答スペクトル法に基づく手法による Ss900-1 については，水平方向の地震動に方向性がないことから，水平2方向及び鉛直方向地震力の同時入力による検討を行う場合，水平2方向のうち1方向について模擬地震波を作成し入力する方法が考えられる。

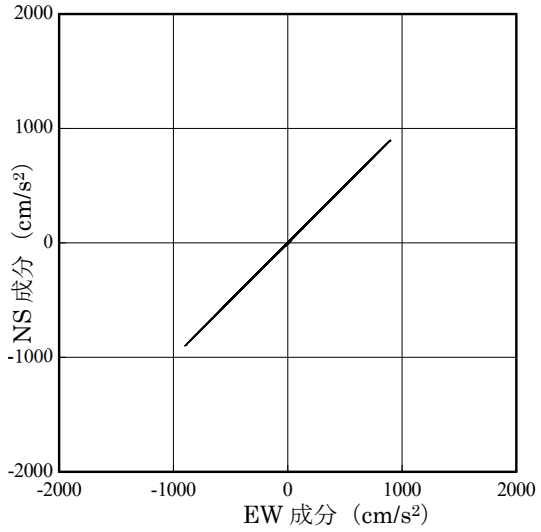
Ss900-1 の位相は，2011 年東北地方太平洋沖地震において福島第一原子力発電所内の地震観測記録のNS方向の位相を基に模擬地震波を作成している。そこで組み合わせる地震動は，同一の方法で NS 方向と直交する EW 方向の位相を基に作成した模擬地震波とする。

敷地で得られた観測記録による確認

自由地盤観測点における，2011年東北地方太平洋沖地震（以下，3.11地震），2021年2月13日の福島県沖の地震（以下，2.13地震）及び2022年3月16日の福島県沖の地震（以下，3.16地震）の観測記録から，当該サイトにおいて，水平2方向の地震波で位相差が生じる傾向を確認した。確認の方法として，Ss900-1を同時に水平2方向に入力したオービット（図２－１）と，観測記録の水平2方向のオービット（図２－２，図２－３及び図２－４）との比較を行った。図２－１から，全く同じ地震動を同時に水平2方向に入力した場合，オービットは現実的に考えにくい 45° 方向に直線的な軌跡を示す。一方，図２－２，図２－３及び図２－４より観測記録ではオービットは位相差によって生じるランダムな軌跡を示すことを確認した。

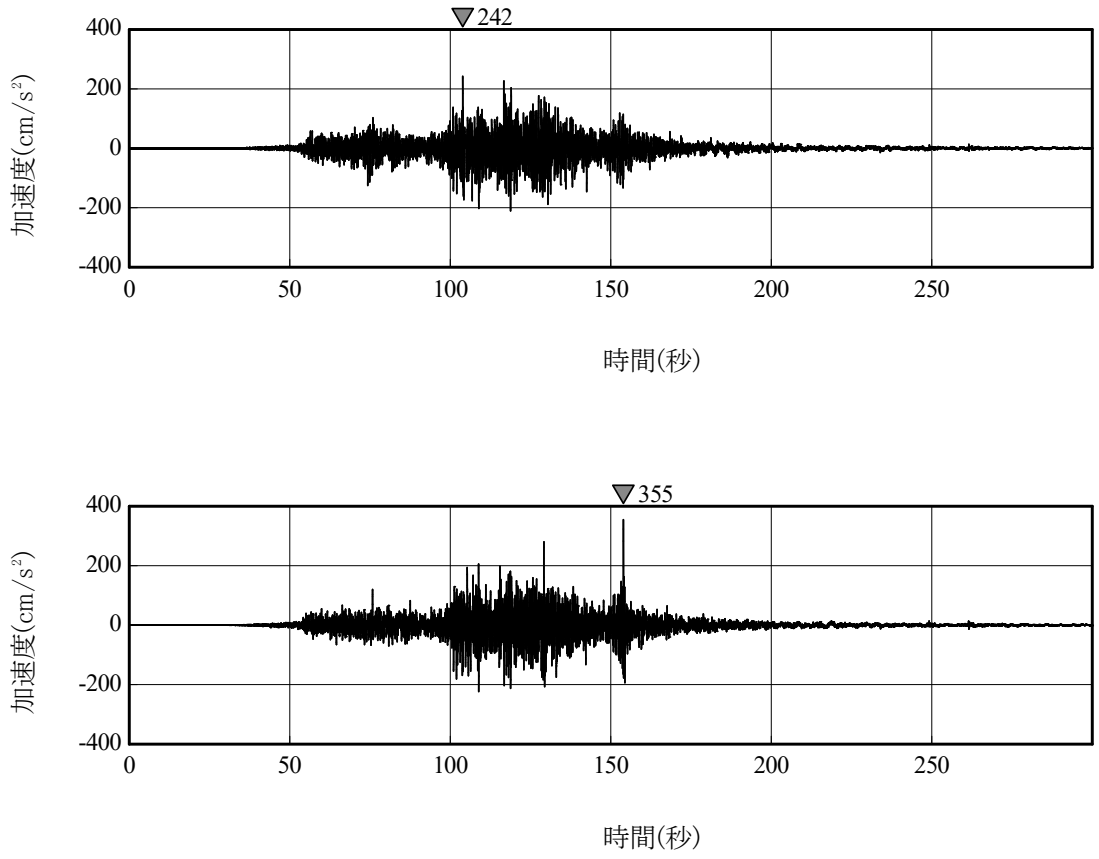


(a)　加速度時刻歴波形

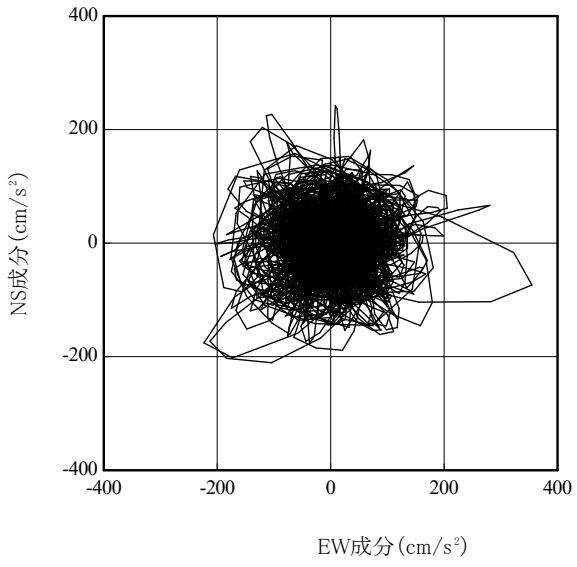


(b)　水平 2 方向の加速度成分のオービット

図２－１　Ss900-1

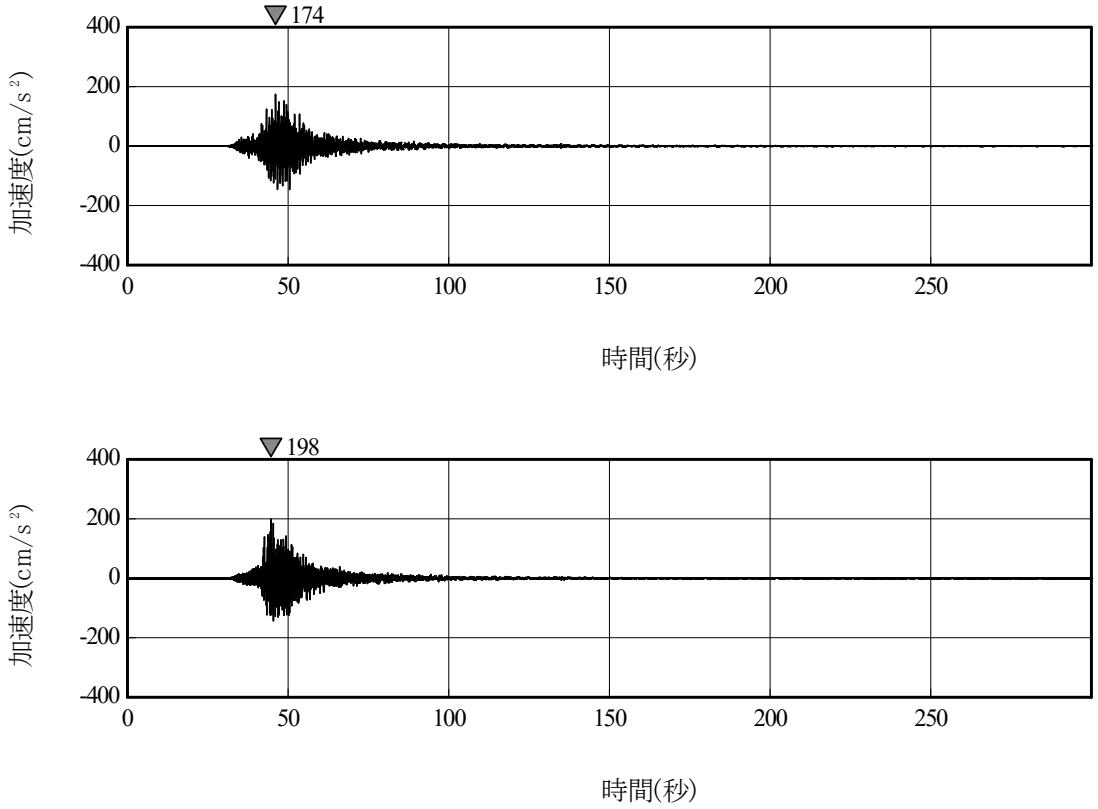


(a)　加速度時刻歴波形

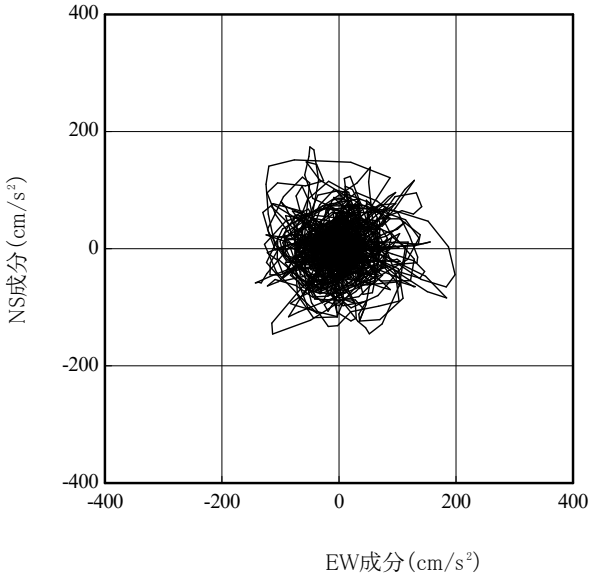


(b)　水平 2 方向の加速度成分のオービット

図２－２　3.11 地震観測記録（自由地盤観測点）

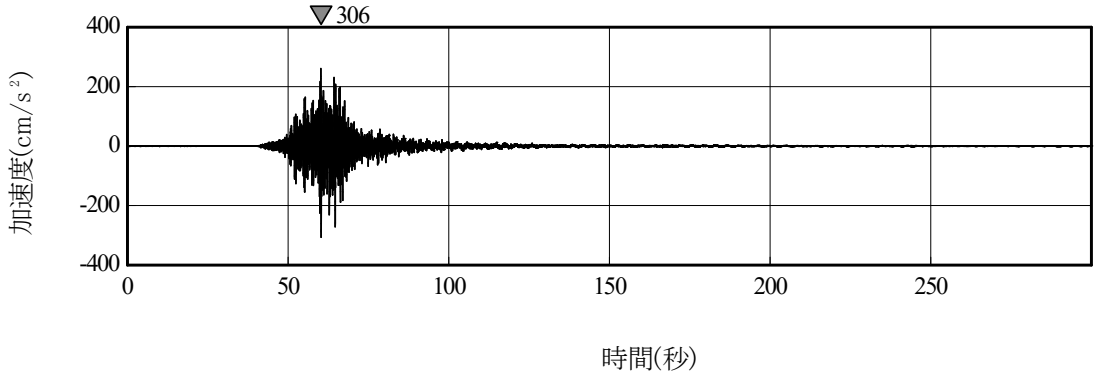


(a)　加速度時刻歴波形

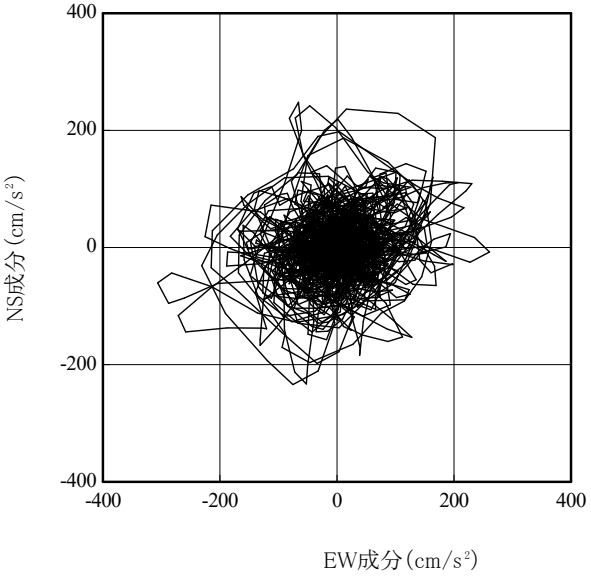


(b)　水平 2 方向の加速度成分のオービット

図２－３　2.13 地震観測記録（自由地盤観測点）



(a)　加速度時刻歴波形

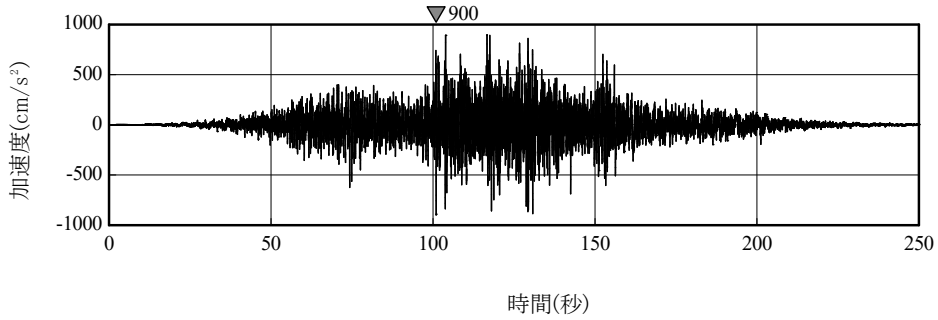


(b)　水平 2 方向の加速度成分のオービット

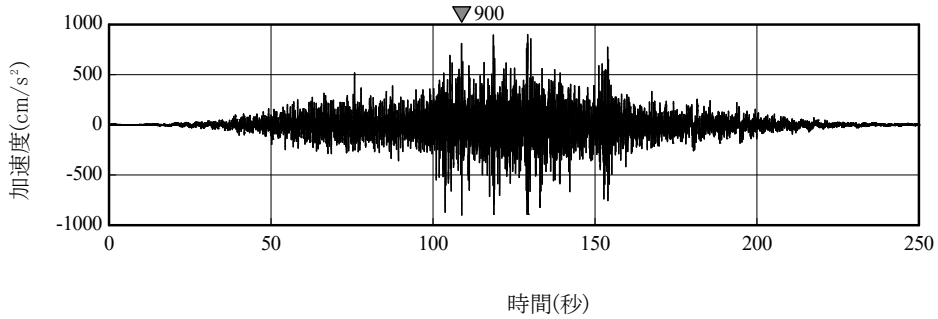
図２－４　3.16 の福島県沖の地震観測記録（自由地盤観測点）

3．模擬地震波の作成結果

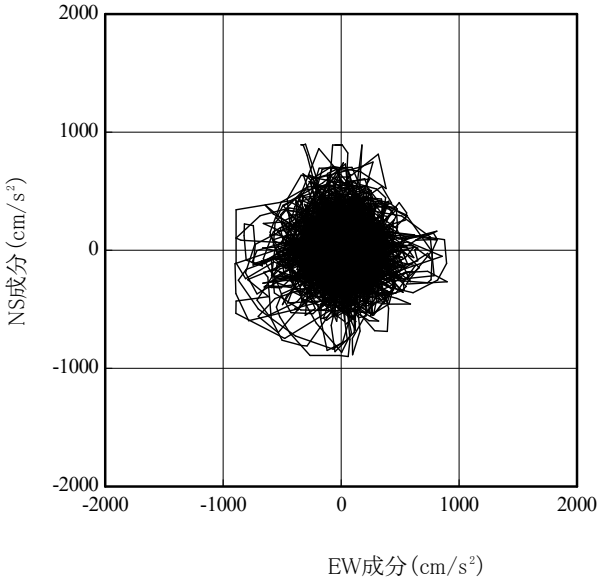
Ss900-1 及び Ss900-1 と組み合わせる模擬地震波の加速度時刻歴波形及びそれぞれの地震波を 2 方向入力した場合のオービット及び応答スペクトルを図３－１に示す。



(a)　Ss900-1 の加速度時刻歴波形

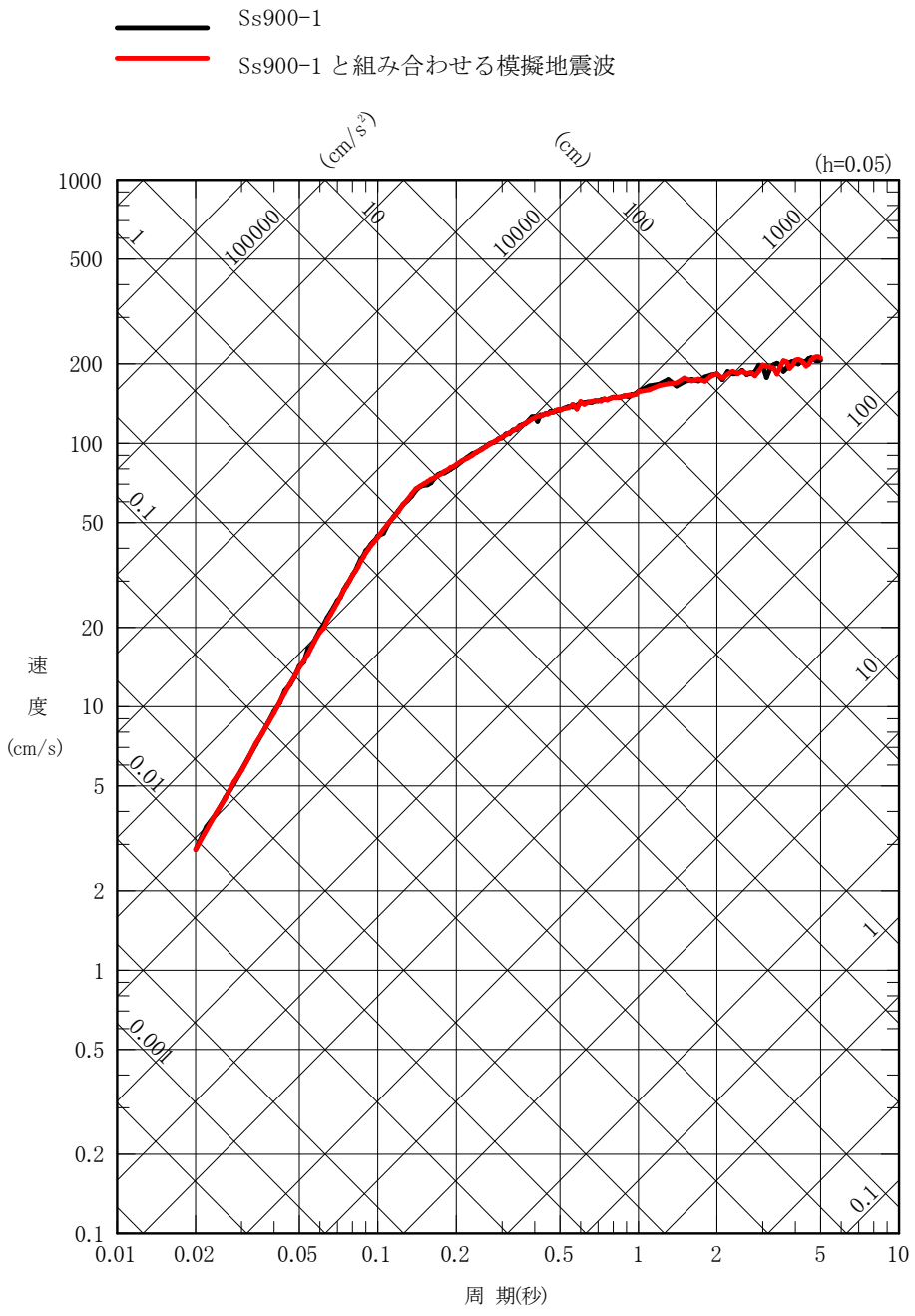


(b)　Ss900-1 と組み合わせる模擬地震波の加速度時刻歴波形



(c)水平 2 方向の加速度成分のオービット

図３－１　Ss900-1(1/2)



(d)　水平 2 方向の地震動の応答スペクトル

図３－１　Ss900-1（2/2）

別紙（３）

滞留水一時貯留設備の構造強度に関する説明書

1. 構造強度評価の基本方針

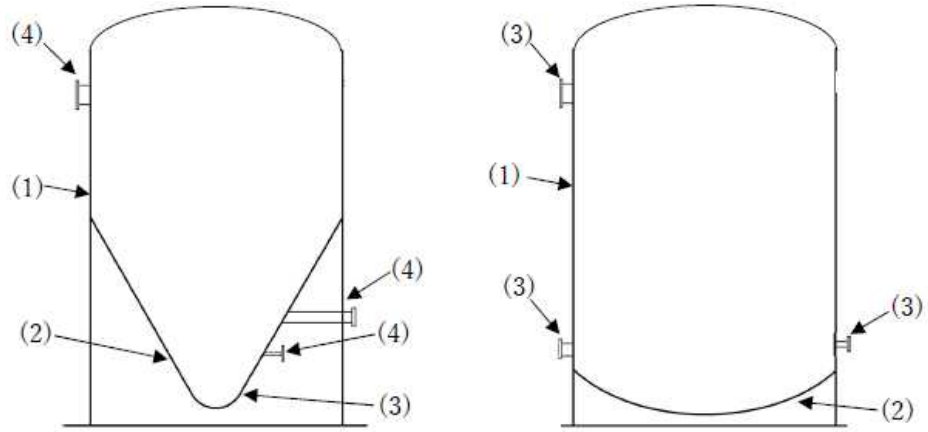
滞留水一時貯留設備を構成する主要な機器及び主配管（鋼管）は，強度評価においては，「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格」（以下，「JSME 規格」という。）のクラス３機器またはクラス３配管に準じた評価を行う。

2. 強度評価

2.1 滞留水受入槽，滞留水一時貯留槽

2.1.1 評価箇所

強度評価箇所を図－１に示す。



“(　)”は 2.1.3 の番号に対応する

図－１　滞留水受入槽概要図

2.1.2　評価方法

2.1.2.1　胴，底板の厚さの評価

(1) 円筒胴の厚さの評価

円筒胴に必要な厚さは，次に掲げる値のうち，いずれか大きい値とする。

a．計算上必要な厚さ：t_1

$$t_1=\frac{D_i \cdot H \cdot \rho}{0.204 \cdot S \cdot \eta}$$

t_1：必要厚さ（mm）
D_i：胴の内径（m）
H：水頭（m）
ρ：液体の比重。ただし，１未満の場合は１とする。
S：許容引張応力（MPa）
η：継手効率（-）

b．規格上必要な最小厚さ：t_2

炭素鋼鋼板又は低合金鋼板で作られた場合は 3mm，その他の材料で作られた場合は 1.5mm とする。

(2) 円すい胴の厚さの評価

円すい胴に必要な厚さは，次に掲げる値のうち，いずれか大きい値とする。

a．計算上必要な厚さ：t_1，t_2

$$t_1=\frac{P \cdot D_i}{2 \cdot \cos\theta \cdot (S \cdot \eta - 0.6 \cdot P)}$$

$$t_2=\frac{P \cdot D_i \cdot W}{4 \cdot \cos\theta \cdot (S \cdot \eta - 0.1 \cdot P)}$$

ただし，$$W=\frac{1}{4} \cdot \left(3+\sqrt{\frac{D_i}{2 \cdot r_o \cdot \cos\theta}}\right)$$

t：必要厚さ（mm）
P：最高使用圧力（MPa）
D_i：円すいの部分がすその丸みの部分に接続する部分の軸に垂直な断面の内径（mm）
θ：円すいの頂角の２分の１（°）
S：許容引張応力（MPa）
η：継手効率（-）
r_o：胴の大径端側のすその丸みの部分の内半径

b．規格上必要な最小厚さ：t_3

炭素鋼鋼板又は低合金鋼板で作られた場合は 3mm，その他の材料で作られた場合は 1.5mm とする。

(3) 下部鏡板の厚さの評価

下部鏡板に必要な厚さは，次に掲げる値とする。

滞留水受入槽

a. 全半球鏡板の計算上必要な厚さ：t_1

$$t_1=\frac{P\cdot R}{2\cdot S\cdot \eta-0.2\cdot P}$$

t_1：必要厚さ（mm）
P　：最高使用圧力（MPa）
R　：鏡板の内半径（mm）
S　：許容引張応力（MPa）
η　：継手効率（-）

滞留水一時貯留槽

a. さら型鏡板の計算上必要な厚さ：t_1

$$t_1=\frac{P\cdot R\cdot W}{2\cdot S\cdot \eta-0.2\cdot P}$$

t_1：必要厚さ（mm）
P　：最高使用圧力（MPa）
R　：鏡板の中央部における内面の半径（mm）
W　：さら型鏡板の形状による係数(-)
S　：許容引張応力（MPa）
η　：継手効率（-）

ここで，Wは以下の式により計算した値とする。

$$W=\frac{1}{4}\cdot\left(3+\sqrt{\frac{R}{r}}\right)$$

R　：鏡板の中央部における内面の半径（mm）
r　：さら型鏡板のすみの丸みの内半径（mm）

(4) 管台の厚さの評価

管台に必要な厚さは，次に掲げる値のうち，いずれか大きい値とする。

a．計算上必要な厚さ：t_1

$$t_1=\frac{D_i\cdot H\cdot \rho}{0.204\cdot S\cdot \eta}$$

t_1：必要厚さ（mm）
D_i：管台の内径（m）
H　：水頭（m）
ρ　：液体の比重。ただし，１未満の場合は１とする。
S　：許容引張応力（MPa）
η　：継手効率（-）

b．規格上必要な最小厚さ：t_2

管台の外径に応じて，JSME 規格 表 PVC-3980-1 より求めた管台の厚さとする。

2.1.2.2　胴の穴の補強計算

ａ．補強に有効な範囲内にある補強に有効な面積が，補強に必要な面積より大きくなるようにする。

ｂ．大きい穴の補強を要しない穴の最大径

下においては，大きい穴の補強計算は必要ない。

・内径 1500㎜ 以下の胴において，穴の径が胴の内径の 2 分の 1 以下の場合

・内径 1500㎜ 以上の胴において，穴の径が胴の内径の 3 分の 1 以下の場合

ｃ．溶接部の強度として，予想される破断箇所の強さが，溶接部の負うべき荷重以上であること。

2.1.3　評価結果

滞留水受入槽に対して実施した強度評価の結果を表－１，２に示す。また，滞留水一時貯留槽に対して実施した強度評価の結果を表－３，４に示す。いずれの項目においても，必要厚さ等を満足しており，十分な構造強度を有すると評価している。

表－１　滞留水受入槽の評価結果（板厚）

機器名称	評価項目	必要厚さ (㎜)	最小厚さ (㎜)
滞留水受入槽	（１）胴板(円筒)の厚さ	3.0	8.5
	（２）胴板(円すい)の厚さ	3.0	8.5
	（３）下部鏡板の厚さ	0.1	8.5
	（４）管台の厚さ（50A）	2.4	2.7
	（４）管台の厚さ（100A）	3.5	4.5
	（４）管台の厚さ（200A）	3.5	6.4

表－２　滞留水受入槽の評価結果（胴の穴の補強計算）

<table>
<tr><th>機器名称</th><th>評価項目</th><th colspan="3">評価結果</th></tr>
<tr><td rowspan="12">滞留水
受入槽</td><td rowspan="6">（４）管台(100A)</td><td>補強に必要な面積
(mm2)</td><td colspan="2">補強に有効な総面積(mm2)</td></tr>
<tr><td>58.1</td><td colspan="2">1048.2</td></tr>
<tr><td>大きな穴の補強を要
しない最大径（mm）</td><td colspan="2">穴の径
(mm)</td></tr>
<tr><td>933.3</td><td colspan="2">115.4</td></tr>
<tr><td>溶接部の負うべき負
荷（N）</td><td colspan="2">予想の破断箇所の強さ
(N)</td></tr>
<tr><td>-86,040</td><td colspan="2">－※</td></tr>
<tr><td rowspan="6">（４）管台(200A)</td><td>補強に必要な面積
(mm2)</td><td colspan="2">補強に有効な総面積(mm2)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">109.5</td><td>管台が胴の内側に
突出している</td><td>2152.5</td></tr>
<tr><td>管台が胴の内側に
突出していない</td><td>1962.0</td></tr>
<tr><td>大きな穴の補強を要
しない最大径（mm）</td><td colspan="2">穴の径
(mm)</td></tr>
<tr><td>933.3</td><td colspan="2">218.0</td></tr>
<tr><td>溶接部の負うべき負
荷（N）</td><td colspan="2">予想の破断箇所の強さ
(N)</td></tr>
<tr><td>-162,780</td><td colspan="2">－※</td></tr>
</table>

※溶接部の負うべき荷重が負であり溶接部の強度計算は不要

表－３　滞留水一時貯留槽の評価結果（板厚）

機器名称	評価項目	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
滞留水一時貯留槽	（１）胴板(円筒)の厚さ	3.0	8.5
	（２）下部鏡板の厚さ	1.2	8.5
	（３）管台の厚さ（50A)	2.4	2.7
	（３）管台の厚さ（100A)	3.5	4.5
	（３）管台の厚さ（200A)	3.5	6.4

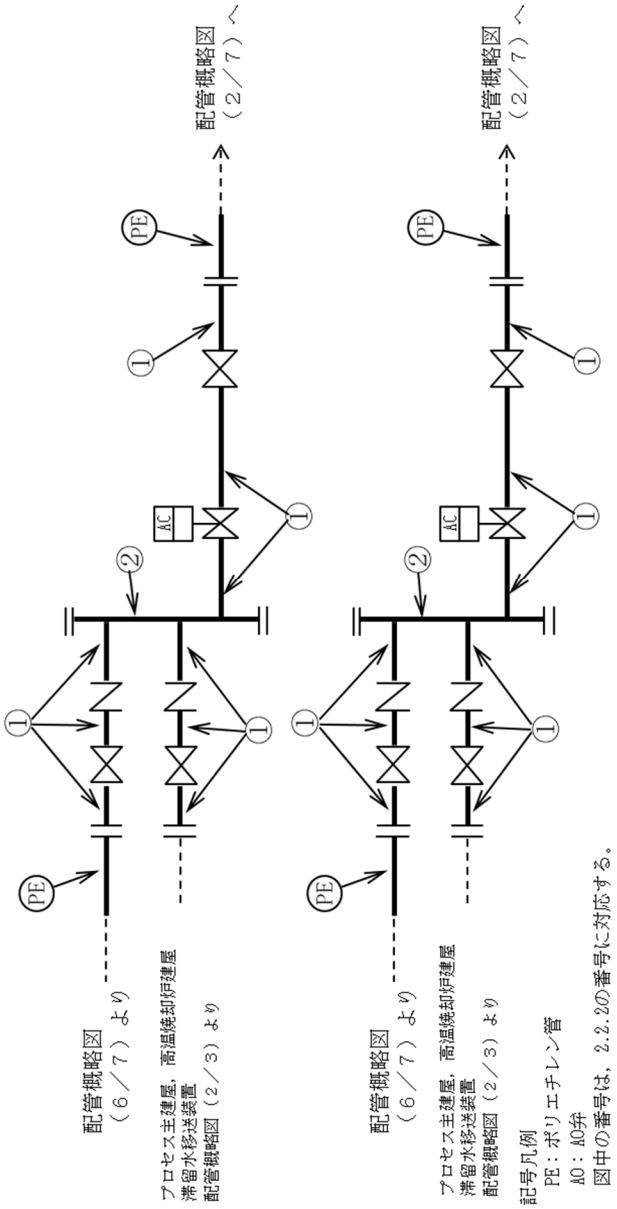
表－４　滞留水一時貯留槽の評価結果（胴の穴の補強計算）

機器名称	評価項目	評価結果	
滞留水一時貯留槽	（３）管台(100A)	補強に必要な面積 (mm2)	補強に有効な総面積 (mm2)
		58.1	1142.8
		大きな穴の補強を要しない最大径（mm)	穴の径 (mm)
		1033.3	115.4
		溶接部の負うべき負荷（N)	予想の破断箇所の強さ（N)
		-86,040	－※
	（３）管台(200A)	補強に必要な面積 (mm2)	補強に有効な総面積 (mm2)
		109.5	1962.0
		大きな穴の補強を要しない最大径（mm)	穴の径 (mm)
		1033.3	218.0
		溶接部の負うべき負荷（N)	予想の破断箇所の強さ（N)
		-162,780	－※

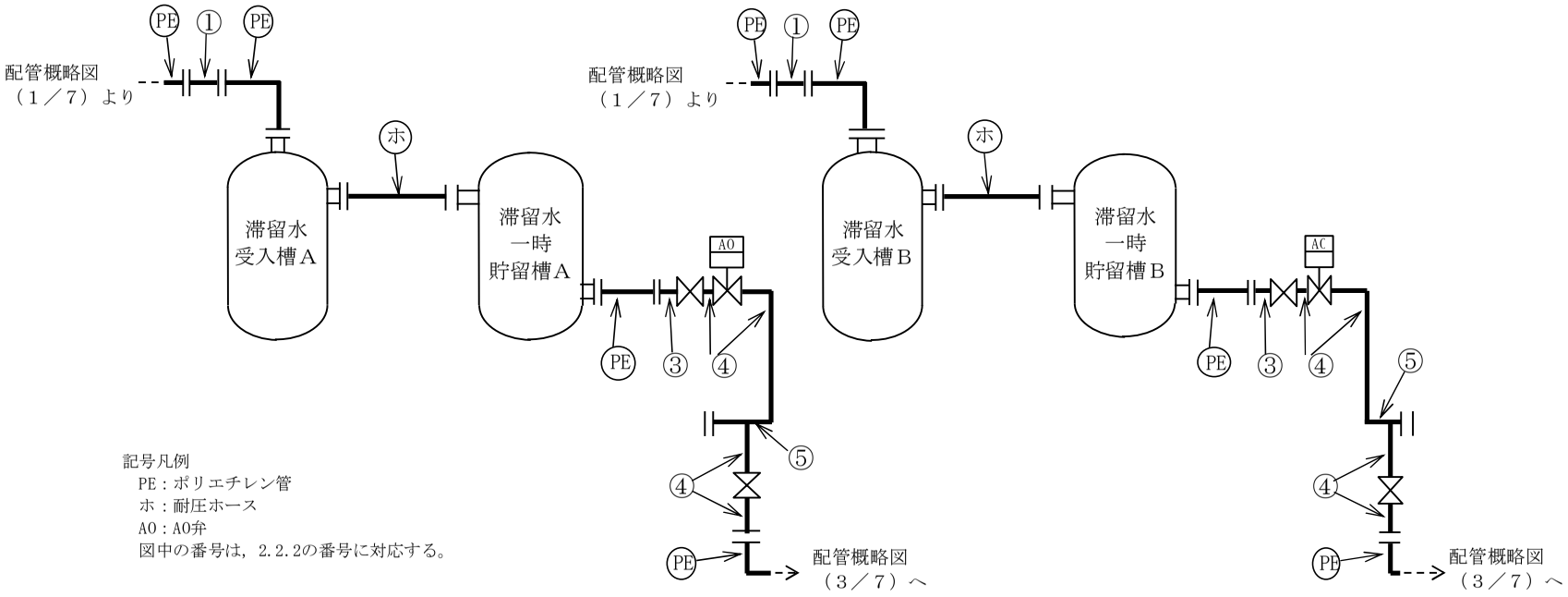
※溶接部の負うべき荷重が負であり溶接部の強度計算は不要

2.2　主配管

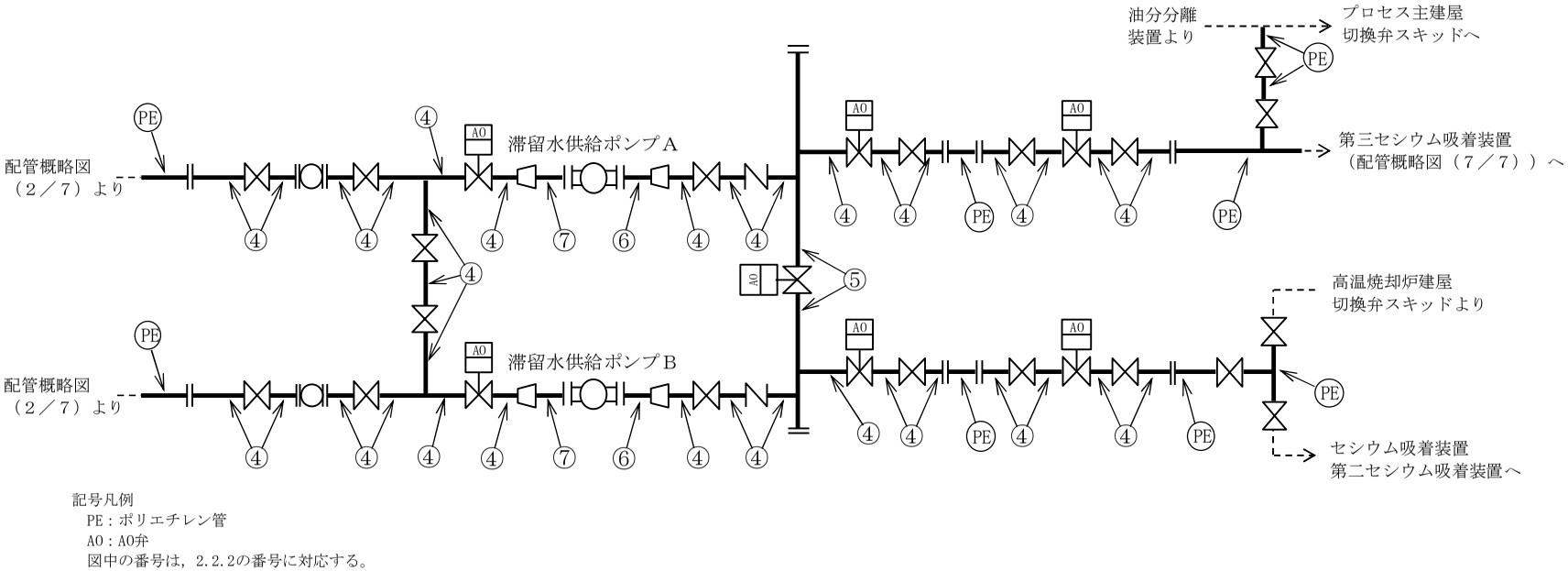
強度評価箇所を図－２に示す。



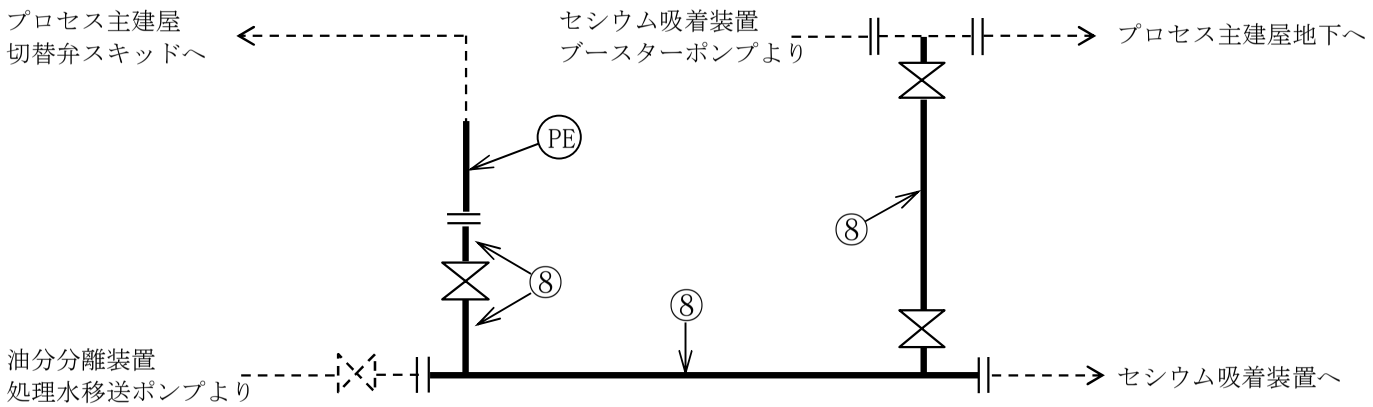
図－２　配管概略図（１／７）


配管概略図
（１／７）より
PE
①
PE
ホ
滞留水
受入槽Ａ
滞留水
一時
貯留槽Ａ
AO
PE
③
④
⑤
④
PE
配管概略図
（３／７）へ
配管概略図
（１／７）より
PE
①
PE
ホ
滞留水
受入槽Ｂ
滞留水
一時
貯留槽Ｂ
AC
PE
③
④
⑤
④
PE
配管概略図
（３／７）へ
記号凡例
PE：ポリエチレン管
ホ：耐圧ホース
AO：AO弁
図中の番号は，2.2.2の番号に対応する。

図－２　配管概略図（２／７）

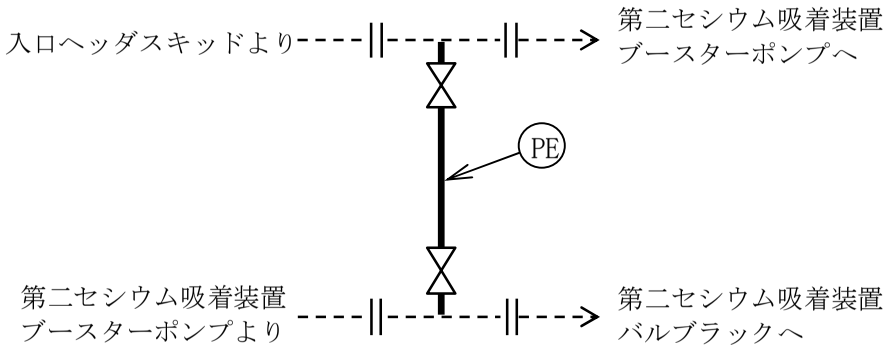

油分分離
装置より
プロセス主建屋
切換弁スキッドへ
PE
AO
滞留水供給ポンプA
第三セシウム吸着装置
（配管概略図（７／７））へ
配管概略図
（２／７）より
④
⑤
⑥
⑦
高温焼却炉建屋
切換弁スキッドより
滞留水供給ポンプB
セシウム吸着装置
第二セシウム吸着装置へ
記号凡例
PE：ポリエチレン管
AO：AO弁
図中の番号は，2.2.2の番号に対応する。

図－２　配管概略図（３／７）



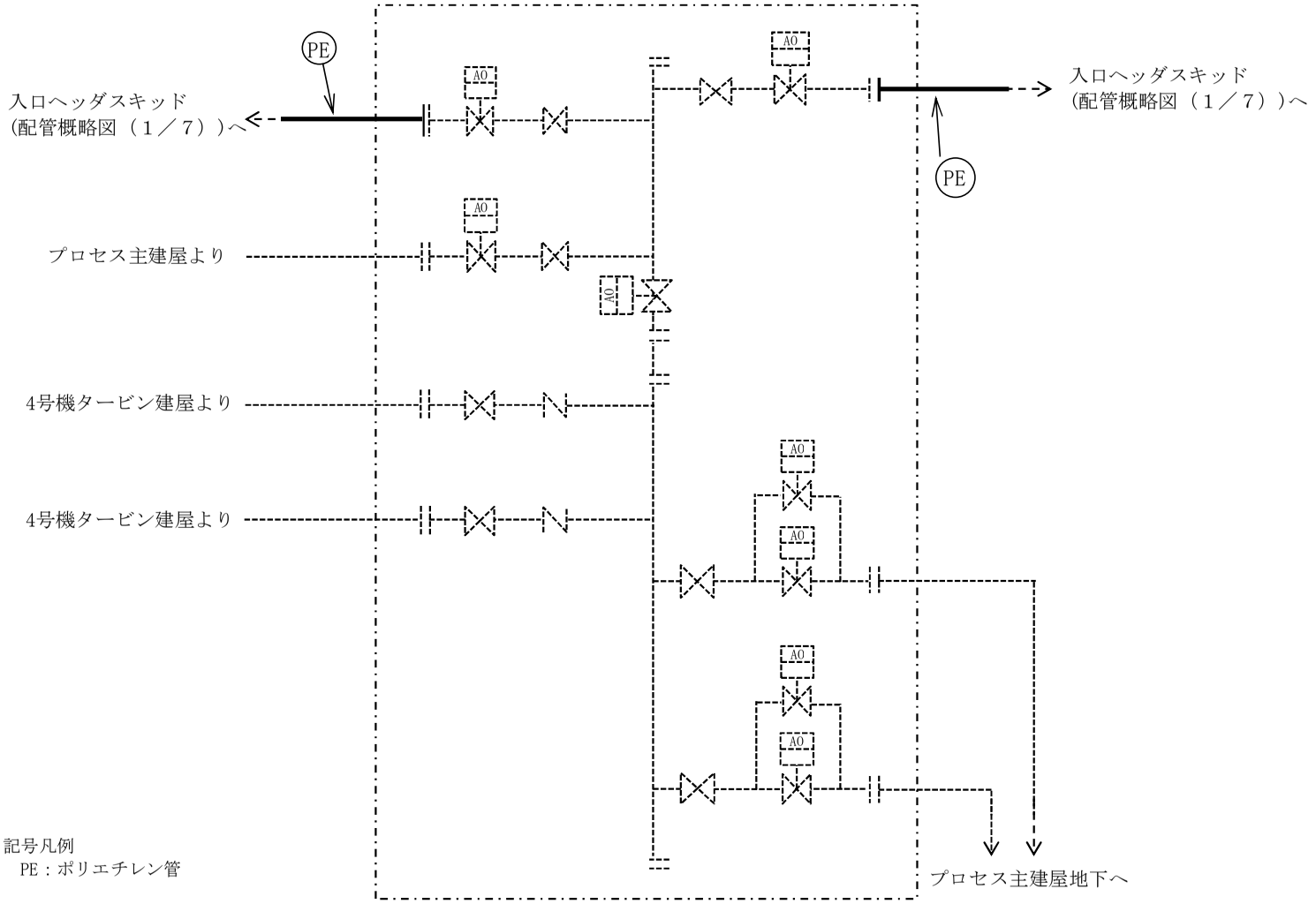
記号凡例
PE：ポリエチレン管
図中の番号は，2.2.2の番号に対応する。

図－２　配管概略図（４／７）

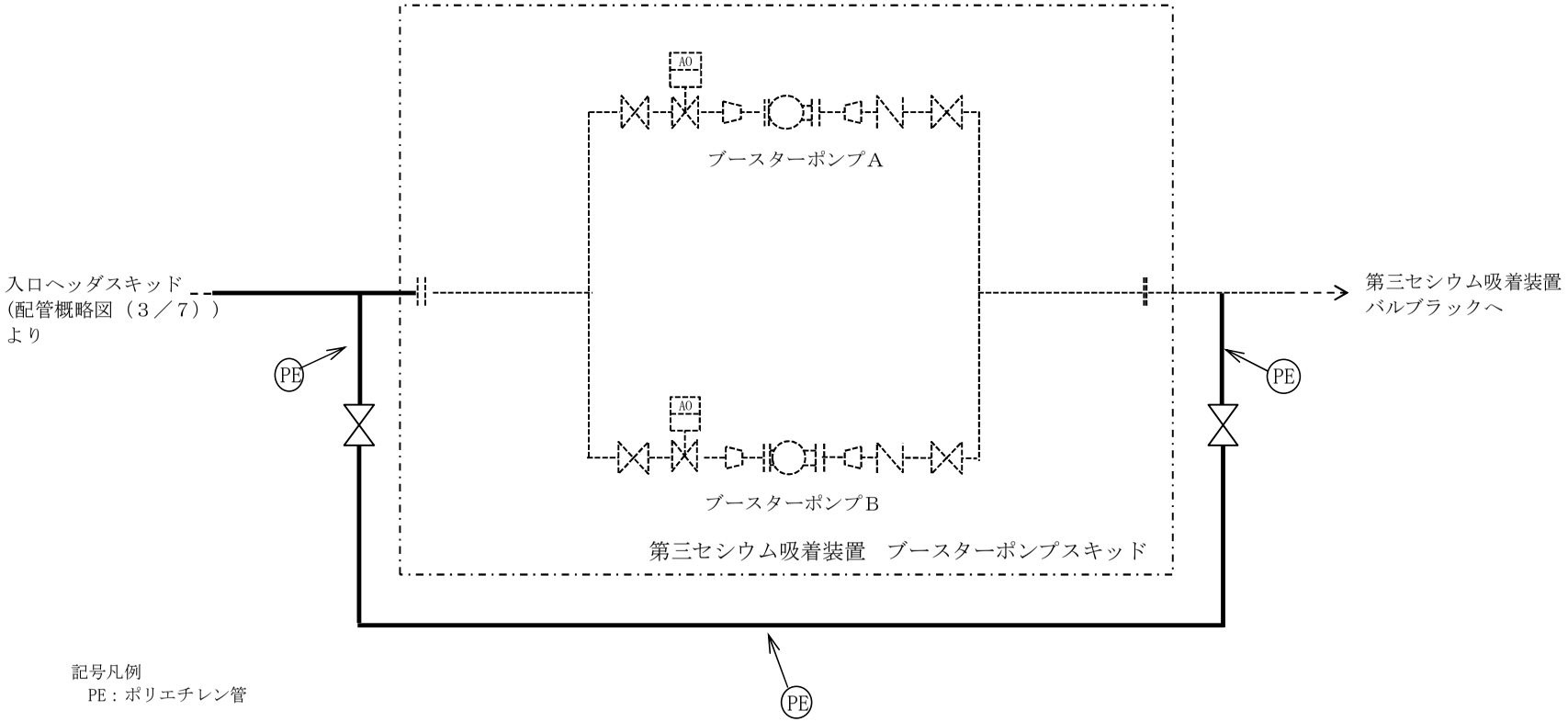


記号凡例
PE：ポリエチレン管

図－２　配管概略図（５／７）


PE
入口ヘッダスキッド
(配管概略図（１／７）)へ
AO
入口ヘッダスキッド
(配管概略図（１／７）)へ
PE
プロセス主建屋より
4号機タービン建屋より
4号機タービン建屋より
プロセス主建屋地下へ
記号凡例
PE：ポリエチレン管

図－２　配管概略図（６／７）


入口ヘッダスキッド
(配管概略図（３／７）)
より
PE
AO
ブースターポンプA
AO
ブースターポンプB
第三セシウム吸着装置　ブースターポンプスキッド
PE
PE
第三セシウム吸着装置
バルブラックへ
記号凡例
PE：ポリエチレン管

図－２　配管概略図（７／７）

2.2.1　評価方法

管に必要な厚さは，次に掲げる値のうち，いずれか大きい方の値とする。

ａ．計算上必要な厚さ：t_1

$$t_1 = \frac{P \cdot D_0}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$$

t_1：必要厚さ（mm）
P　：最高使用圧力（MPa）
D_0：管の外径（mm）
S　：許容引張応力（MPa）
η　：継手効率（-）

ｂ．規格上必要な最小厚さ：t_2

管台の外径に応じて，JSME 規格 表 PPD-3411-1 より求めた管の厚さとする。

2.2.2　評価結果

評価結果を表－５に示す。必要厚さを満足しており，十分な構造強度を有していると評価している。

表－５　主配管の評価結果

評価機器	口径	Sch	材料	最高使用圧力(MPa)	最高使用温度(℃)	必要厚さ(mm)	最小厚さ(mm)
配管①	100A	40	STPG370	1.0	40	3.4	5.25
配管②	150A	40	STPG370	1.0	40	3.8	6.21
配管③	100A	40	STPG370	静水頭	40	3.4	5.25
配管④	100A	40	STPG370	1.37	40	3.4	5.25
配管⑤	150A	40	STPG370	1.37	40	3.8	6.21
配管⑥	80A	40	STPG370	1.37	40	3.0	4.81
配管⑦	125A	40	STPG370	1.37	40	3.8	5.77
配管⑧	100A	80	STPG370	1.37	66	3.4	7.52

以上

別紙（４）

滞留水一時貯留設備に係る確認事項

滞留水一時貯留設備に係る主要な確認事項を表－１～７に示す。

表－１　確認事項（滞留水受入槽，滞留水一時貯留槽）

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法について記録を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器の据付位置，据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で一定時間保持後，同圧力に耐えていること，また，耐圧部からの漏えいがないことを立会または記録により確認する。	確認圧力に耐え，かつ構造物の変形等ないこと。また，耐圧部からの漏えいがないこと。

表－２　確認事項（滞留水供給ポンプ）

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度・耐震性	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器の据付位置，据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	漏えい確認	運転圧力で耐圧部分からの漏えいの有無を確認する。	耐圧部から著しい漏えいがないこと。
性能	運転性能確認	ポンプの運転確認を行う。	実施計画に記載した容量を満足すること。 また，異音，発煙，異常振動等がないこと。

表－３－１　確認事項（主配管（鋼管））

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した外径／厚さについて記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	配管の据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認 注1	①最高使用圧力の 1.5 倍で一定時間保持後，同圧力に耐えていること，また，耐圧部からの漏えいがないことを確認する。	最高使用圧力の 1.5 倍に耐え，かつ異常のないこと。また，耐圧部からの漏えいがないこと。
		②確認圧力で一定時間保持後，同圧力に耐えていること，また，耐圧部からの漏えいがないことを確認する。	確認圧力に耐え，かつ異常のないこと。また，耐圧部からの漏えいがないこと。
		③運転圧力で耐圧部からの漏えいのないことを確認する。※1	耐圧部から漏えいがないこと。
機能・性能	通水確認	通水ができることを確認する。	通水できること。

※１：運転圧力による耐圧部の漏えい検査が実施できない配管フランジ部については，トルク確認等の代替検査を実施する。

注１：耐圧・漏えい確認は，①②③のいずれかとする。

表－３－２　確認事項（主配管（ポリエチレン管））

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した外径について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	配管の据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認 注1	①最高使用圧力以上で一定時間保持後，同圧力に耐えていること，また，耐圧部からの漏えいがないことを確認する。	最高使用圧力に耐え，かつ異常のないこと。また，耐圧部からの漏えいがないこと。
		②運転圧力で耐圧部からの漏えいのないことを確認する。※1	耐圧部から漏えいがないこと。
機能・性能	通水確認	通水ができることを確認する。	通水できること。

※１：運転圧力による耐圧部の漏えい検査が実施できない配管フランジ部については，トルク確認等の代替検査を実施する。

注１：耐圧・漏えい確認は，①②のいずれかとする。

表－３－３　確認事項（主配管（耐圧ホース））

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認※1	配管の据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認 注1	①確認圧力で一定時間保持後，同圧力に耐えていること，また，耐圧部からの漏えいがないことを立会または記録により確認する。	確認圧力に耐え，かつ異常のないこと。また，耐圧部からの漏えいがないこと。
		②運転圧力で耐圧部からの漏えいのないことを確認する。※2	耐圧部から漏えいがないこと。
機能・性能	通水確認	通水ができることを確認する。	通水できること。

※１：現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて品質記録を確認する。

※２：運転圧力による耐圧部の漏えい検査が実施できない配管フランジ部については，トルク確認等の代替検査を実施する。

注１：耐圧・漏えい確認は，①②のいずれかとする。

表－４　確認項目（滞留水一時貯留設備全体堰）

確認事項	確認項目	確認内容	判定
漏えい防止	寸法確認	漏えい拡大防止のための堰の高さ※以上であることを記録により確認する。	漏えい拡大防止のための堰の高さ※以上であること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	堰の据付位置，据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。

※設備の保有水量等から算出した値（745mm）

表－５　確認項目（漏えい検出装置及び警報装置）

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	装置の据付位置，据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
機能	漏えい警報確認	漏えいの信号により，警報が発生することを確認する。	漏えいの信号により警報が発生すること。

表－６　確認項目（滞留水一時貯留設備）

確認事項	確認項目	確認内容	判定
性能	運転性能確認	処理装置へ実施計画に記載の容量が通水可能であることを確認する。	実施計画に記載した容量を処理装置へ通水することが可能であり，設備からの異音，発煙，異常振動等がないこと。

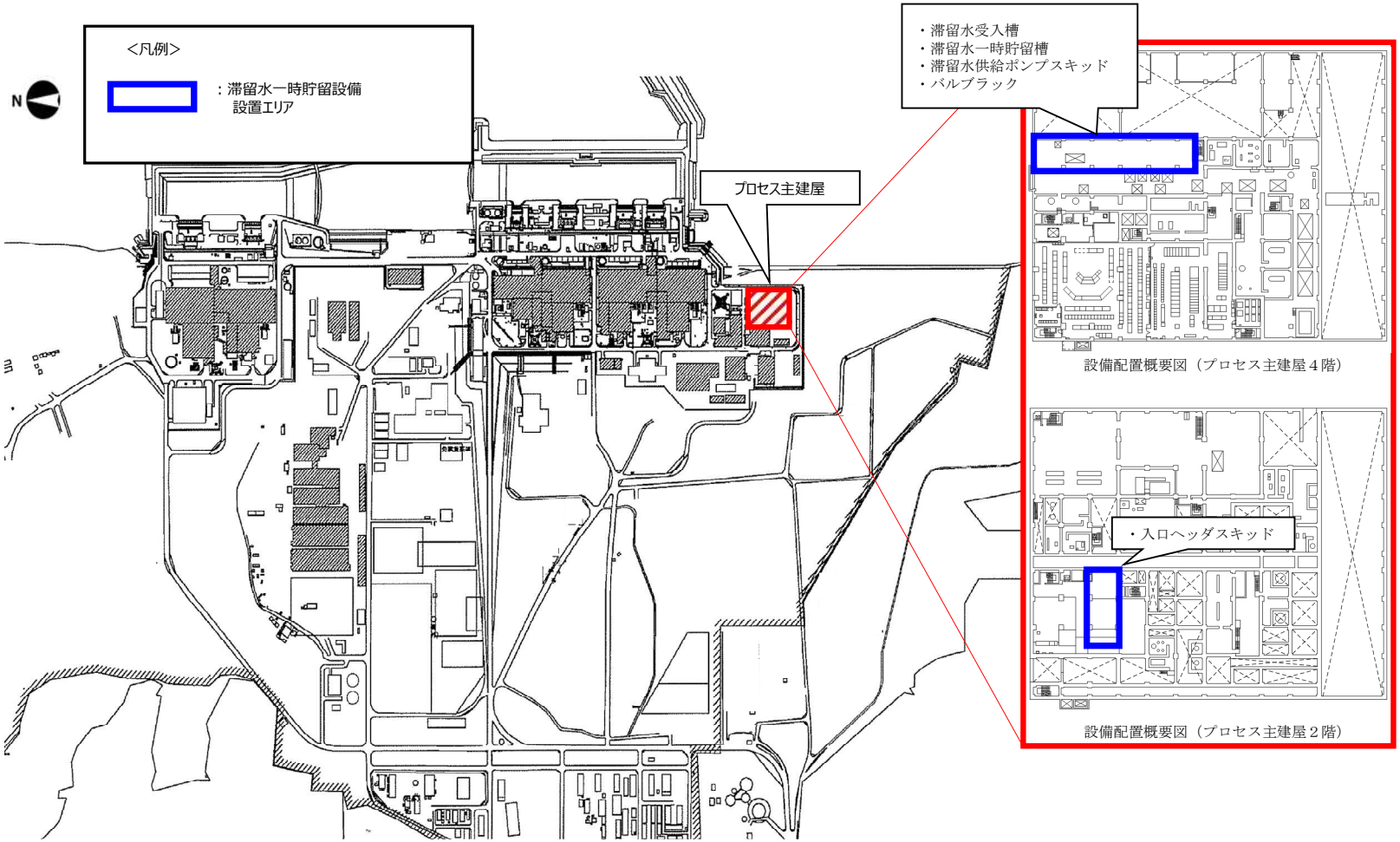
表－７　確認事項（滞留水受入槽，滞留水一時貯留槽，鋼管の溶接検査）

確認事項	確認項目	対象設備	確認内容	判定
溶接検査	材料検査	滞留水受入槽 滞留水一時貯留槽 鋼管	材料が溶接規格等に適合するものであり，溶接施工法の母材の区分に適合することを確認する。	材料が溶接規格等に適合するものであり，溶接施工法の母材の区分に適合するものであること。
	開先検査	滞留水受入槽 滞留水一時貯留槽 鋼管	開先形状等が溶接規格等に適合するものであることを確認する。	開先形状等が溶接規格等に適合するものであること。
	溶接作業検査	滞留水受入槽 滞留水一時貯留槽 鋼管	あらかじめ確認された溶接施工法又は実績のある溶接施工法又は管理されたプロセスを有する溶接施工法であることを確認する。あらかじめ確認された溶接士により溶接が行われていることを確認する。	あらかじめ確認された溶接施工法および溶接士により溶接施工をしていること。
	非破壊試験	滞留水受入槽 滞留水一時貯留槽 鋼管	溶接部について非破壊検査を行い，その試験方法及び結果が溶接規格等に適合するものであることを確認する。	溶接部について非破壊検査を行い，その試験方法及び結果が溶接規格等に適合するものであること。
	耐圧・漏えい検査 ※1	滞留水受入槽 滞留水一時貯留槽 鋼管	検査圧力で保持した後，検査圧力に耐えていることを確認する。耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいの有無を確認する。	検査圧力で保持した後，検査圧力に耐えていること。 耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいがないこと。
	外観検査 ※2	滞留水受入槽 滞留水一時貯留槽 鋼管	耐圧・漏えい検査後外観上，傷・へこみ・変形等の異常がないことを確認する。	外観上，傷・へこみ・変形等の異常がないこと。 また，溶接部の溶接施工状況に異常がないこと。

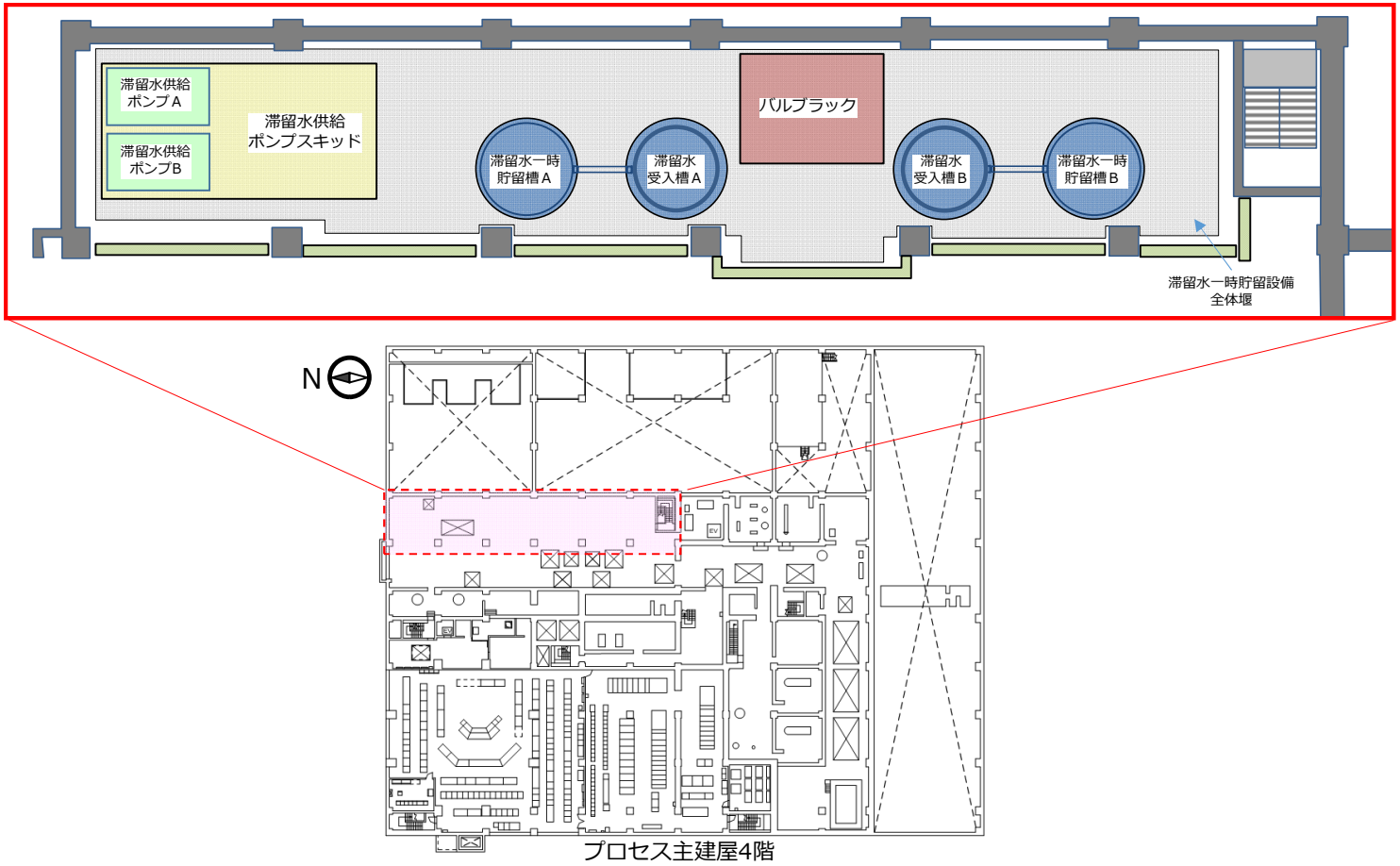
※1　耐圧確認が困難な箇所については代替試験にて確認する。

※2　耐圧検査後の確認が困難な箇所については先行外観検査を実施する。

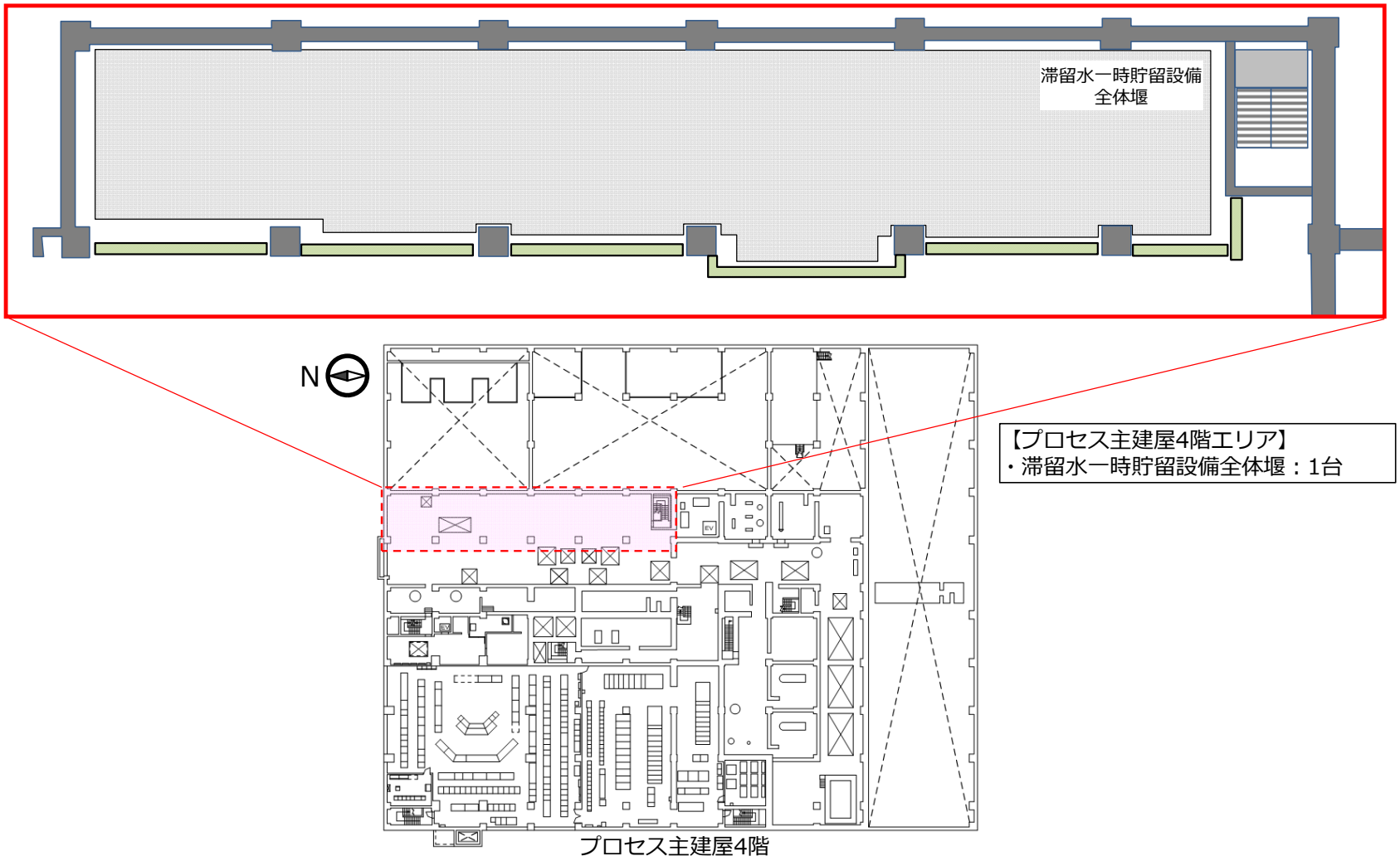
以上



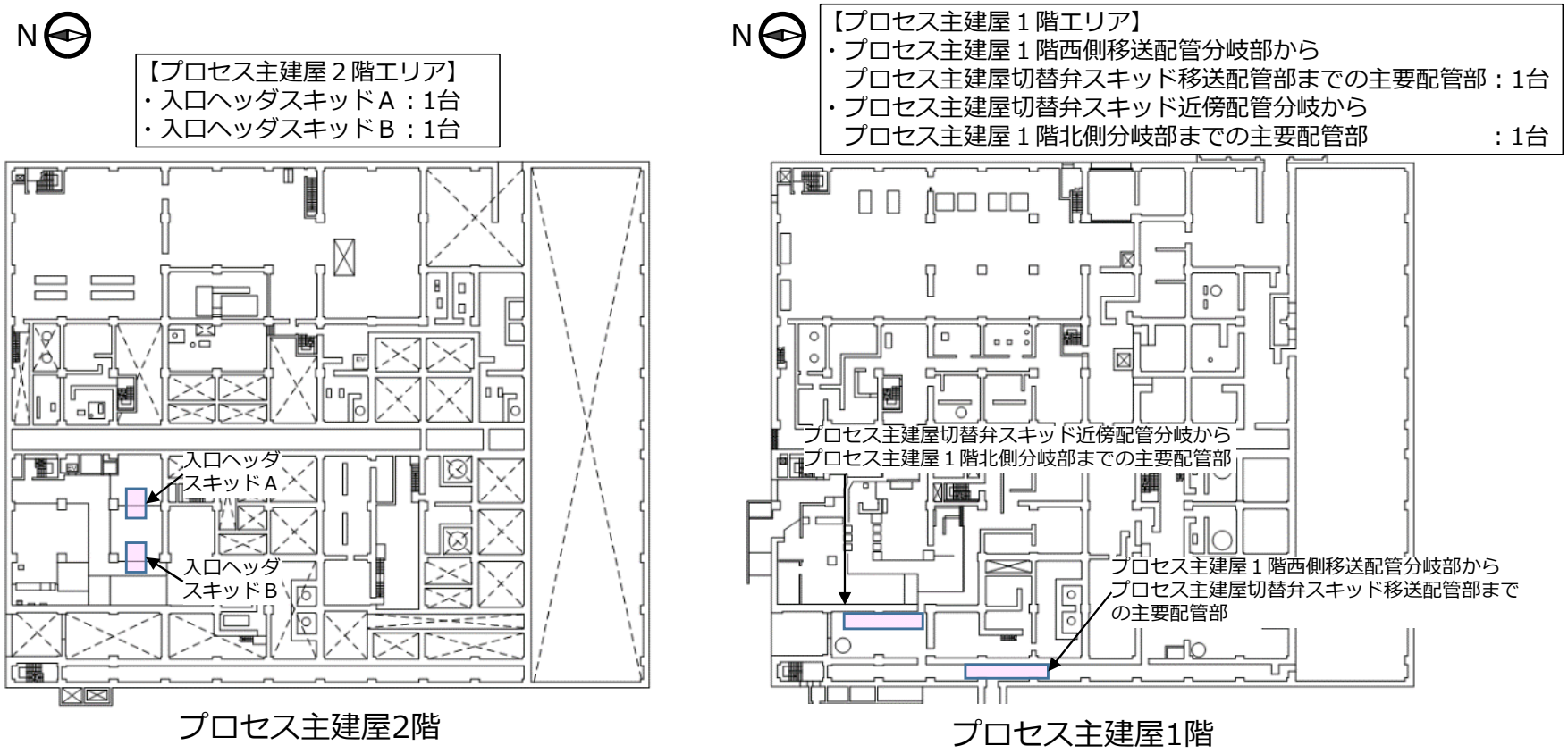
滞留水一時貯留設備の配置概要（１／２）



滞留水一時貯留設備の配置概要（２／２）

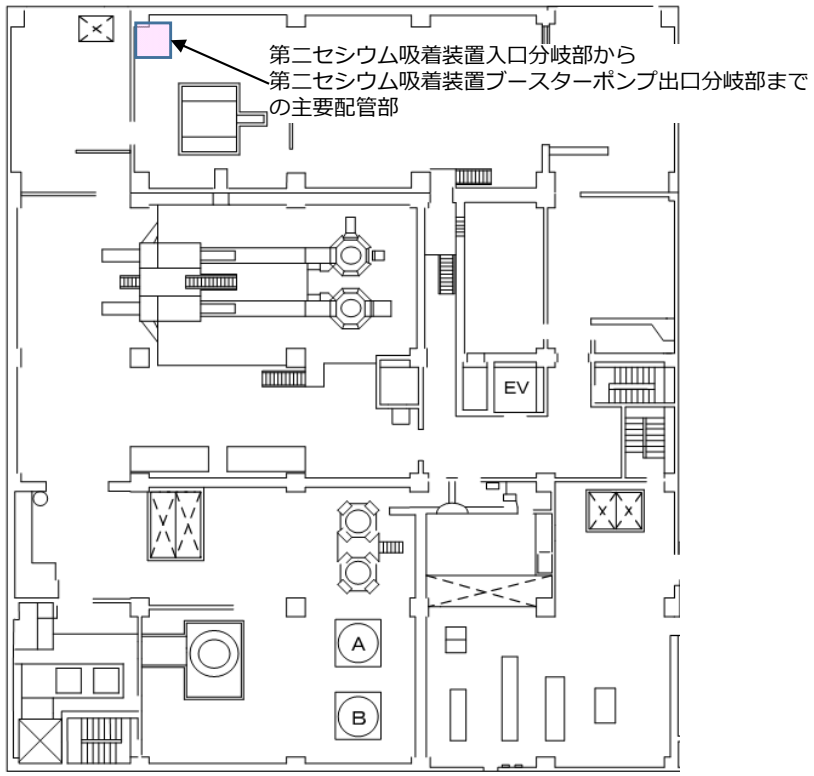


滞留水一時貯留設備の漏えい検出装置の設置位置（１／３）



滞留水一時貯留設備の漏えい検出装置の設置位置（２／３）

【高温焼却炉建屋１階エリア】
・第二セシウム吸着装置入口分岐部から
　第二セシウム吸着装置ブースターポンプ
　出口分岐部までの主要配管部　　：1台



高温焼却炉建屋1階

滞留水一時貯留設備の漏えい検出装置の設置位置（３／３）

別紙（５）

検査可能性に関する考慮事項

滞留水一時貯留設備の設置にあたっては，今後の保全を考慮した設計とする。設備保全の管理については，点検長期計画を作成し，点検計画に基づき，点検を実施していく。

今回設置する機器は使用前検査対象に合わせて，代表的な機器の点検に対する考慮は以下の通り。

(1) タンク

・外観・フランジ点検

内部の点検が実施可能な設計とする。

(2) ポンプ，弁

・外観点検，取替，性能検査（ポンプ）

点検や取替が可能な設計とする。ポンプについては性能検査が可能な設計とする。

(3) 配管

・外観・フランジ点検

フランジ（シール）部のガスケット交換等の点検が実施可能な設計とする。

(4) 漏えい検知器

・外観点検，取替，機能確認

点検や，取替，機能確認が可能な設計とする。

なお，長納期の機器について予備品を確保する。

以上

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置について

1. 基本設計

1.1 設置の目的

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置は，移送ポンプ及びこれに付帯する設備をプロセス主建屋及び高温焼却炉建屋に新たに設置することにより，プロセス主建屋または高温焼却炉建屋の滞留水を滞留水一時貯留設備へ移送し，処理することを目的として設置する。

1.2 要求される機能

プロセス主建屋または高温焼却炉建屋の滞留水を滞留水一時貯留設備へ移送する能力を有すること。

1.3 設計方針

(1) 建屋内滞留水の移送

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置は，プロセス主建屋または高温焼却炉建屋の滞留水を滞留水一時貯留設備へ移送できる設計とする。また，建屋内滞留水を取扱うことを踏まえ，液体状放射性物質の漏えい防止及び漏えい拡大防止ができる設計とする。

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋に発生する滞留水に対して，十分対処可能な設備容量とする。

(2) 被ばく低減

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置は，系統内部をろ過水等によりフラッシングが可能な設計とする。

(3) 準拠規格及び基準

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置を構成する構築物，系統及び機器の設計，材料の選定，製作及び検査については，発電用原子力設備規格　設計・建設規格（JSME），日本産業規格（JIS），日本水道協会規格（JWWA）等を適用することにより信頼性を確保する。

(4) 自然現象に対する設計上の考慮

a. 地震に対する設計上の考慮

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置のうち，液体放射性物質を内包する設備は，「東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所における耐震クラス分類と地震動の適用の考え方（2023 年 6 月 19 日一部改訂）」に基づいて，その安全機

能が喪失した場合における公衆への放射線影響を確認することで耐震クラスを決定し，適切と考えられる設計用地震力に耐えられる設計とする。

なお，主要な機器の耐震性を評価するにあたっては，原子力発電所耐震設計技術規程（JEAG4601）等に準拠することを基本とするが，評価手法，評価基準について実態に合わせたものを採用する。ポリエチレン管，耐圧ホース等は，材料の可撓性により耐震性を確保する。

b．地震以外に想定される自然現象（津波，豪雨，台風，竜巻，凍結等）に対する設計上の考慮

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置は，地震以外の想定される自然現象（津波，豪雨，台風，竜巻，凍結等）によって，施設の安全性が損なわれないよう設計する。

(5) 外部人為事象に対する設計上の考慮

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置は，想定される外部人為事象によって，施設の安全性を損なうことのない設計とする。また，第三者の不法な接近等に対し，これを防御するため，適切な措置を講じた設計とする。

(6) 火災に対する設計上の考慮

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置は，火災発生防止及び火災影響軽減のため，実用上可能な限り不燃性又は難燃性材料を使用するとともに設備周辺から可能な限り可燃物を排除する。また，初期消火の対応ができるよう，設備近傍に消火器を設置する。なお，火災発生は監視カメラ等により確認可能な設計とする。

(7) 環境条件に対する設計上の考慮

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置の構築物，系統及び機器は，経年事象を含む想定されるすべての環境条件に適合できる設計とする。

(8) 監視及び運転操作に対する設計上の考慮

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置は，遠隔操作室の監視・制御装置により，遠隔操作及び運転状況の監視が可能な設計とする。また，プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置は，運転する者による誤操作を防止できる設計とするとともに，異常事象や設備の運転に影響を及ぼしうる自然現象等が発生した状況下においても，運転する者がこれらの事象に対処するために必要な設備を容易に操作できる設計とする。

(9) 信頼性に対する設計上の考慮

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置は，ヒューマンエラーや機器の故障による放射性物質の漏えいが発生しないよう，高い信頼性を確保した設計とする。また，万が一，漏えいが発生したとしても，その量が極めて小さくなる設計とする。

(10) 検査可能性に対する設計上の考慮

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置を構成する構築物，系統及び機器

は，それらの健全性及び能力を確認するために，適切な方法によりその機能を検査できる設計とする。

1.4 主要な機器

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置は，移送ポンプ及び移送配管等により構成する。

(1)滞留水移送ポンプ

滞留水移送ポンプは，各サンプ等から滞留水を滞留水一時貯留設備へ移送する。

1.5 供用期間中に確認する項目

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置は，滞留水を滞留水一時貯留設備へ移送できること。

2. 基本仕様

2.1 プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置の主要仕様

(1) 滞留水移送ポンプ

a. プロセス主建屋北エリアサンプ滞留水移送ポンプ（完成品）

台　　数　　2 台

容　　量　　13 m^3/h

b. プロセス主建屋北東エリアサンプ滞留水移送ポンプ（完成品）

台　　数　　2 台

容　　量　　13 m^3/h

c. プロセス主建屋北西エリアサンプ滞留水移送ポンプ（完成品）

台　　数　　2 台

容　　量　　13 m^3/h

d. プロセス主建屋南エリアサンプ滞留水移送ポンプ（完成品）

台　　数　　2 台

容　　量　　13 m^3/h

e. プロセス主建屋西エリアサンプ滞留水移送ポンプ（完成品）

台　　数　　2 台

容　　量　　13 m^3/h

f. 高温焼却炉建屋北西エリアサンプ滞留水移送ポンプ（完成品）

台　　数　　2 台

容　　量　　13 m^3/h

(2) 主配管

主要配管仕様（１／３）

名称	仕様	
プロセス主建屋北エリアサンプから集合ヘッダ入口まで（耐圧ホース）	呼び径／厚さ	50A 相当
	材質	合成ゴム
	最高使用圧力	0.96MPa
	最高使用温度	40℃
（鋼管）	呼び径／厚さ	50A/Sch.80
	材質	STPT410
	最高使用圧力	0.96MPa
	最高使用温度	40℃
（ポリエチレン管）	呼び径	50A 相当，80A 相当
	材質	ポリエチレン
	最高使用圧力	0.96MPa
	最高使用温度	40℃
プロセス主建屋北東エリアサンプから集合ヘッダ入口まで（耐圧ホース）	呼び径／厚さ	50A 相当
	材質	合成ゴム
	最高使用圧力	0.96MPa
	最高使用温度	40℃
（鋼管）	呼び径／厚さ	50A/Sch.80
	材質	STPT410
	最高使用圧力	0.96MPa
	最高使用温度	40℃
（ポリエチレン管）	呼び径	50A 相当，80A 相当
	材質	ポリエチレン
	最高使用圧力	0.96MPa
	最高使用温度	40℃

主要配管仕様（２／３）

名称	仕様	
プロセス主建屋北西エリアサンプから集合ヘッダ入口まで （耐圧ホース）	呼び径／厚さ	50A 相当
	材質	合成ゴム
	最高使用圧力	0.96MPa
	最高使用温度	40℃
（鋼管）	呼び径／厚さ	50A/Sch.80
	材質	STPT410
	最高使用圧力	0.96MPa
	最高使用温度	40℃
（ポリエチレン管）	呼び径	50A 相当，80A 相当
	材質	ポリエチレン
	最高使用圧力	0.96MPa
	最高使用温度	40℃
プロセス主建屋南エリアサンプから集合ヘッダ入口まで （耐圧ホース） （鋼管）	呼び径／厚さ	50A 相当
	材質	合成ゴム
	最高使用圧力	0.96MPa
	最高使用温度	40℃
（ポリエチレン管）	呼び径／厚さ	50A/Sch.80
	材質	STPT410
	最高使用圧力	0.96MPa
	最高使用温度	40℃
	呼び径	50A 相当，80A 相当
	材質	ポリエチレン
	最高使用圧力	0.96MPa
	最高使用温度	40℃

主要配管仕様（３／３）

名称	仕様	
プロセス主建屋西エリアサンプから集合ヘッダ入口まで（耐圧ホース）	呼び径／厚さ	50A 相当
	材質	合成ゴム
	最高使用圧力	0.96MPa
	最高使用温度	40℃
（鋼管）	呼び径／厚さ	50A/Sch.80
	材質	STPT410
	最高使用圧力	0.96MPa
	最高使用温度	40℃
（ポリエチレン管）	呼び径	50A 相当，80A 相当
	材質	ポリエチレン
	最高使用圧力	0.96MPa
	最高使用温度	40℃
高温焼却炉建屋北西エリアサンプから集合ヘッダ入口まで（耐圧ホース）	呼び径／厚さ	50A 相当
	材質	合成ゴム
	最高使用圧力	0.96MPa
	最高使用温度	40℃
（鋼管）	呼び径／厚さ	50A/Sch.80
	材質	STPT410
	最高使用圧力	0.96MPa
	最高使用温度	40℃
（ポリエチレン管）	呼び径	50A 相当，80A 相当
	材質	ポリエチレン
	最高使用圧力	0.96MPa
	最高使用温度	40℃
集合ヘッダ入口から滞留水一時貯留設備入口ヘッダスキッド入口まで（ポリエチレン管）	呼び径	80A 相当， 100A 相当
	材質	ポリエチレン
	最高使用圧力	0.96MPa
	最高使用温度	40℃

別紙

（１）プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置の具体的な安全確保策について

（２）プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置の耐震性に関する説明書

（３）プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置の構造強度に関する説明書

（４）プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置に係る確認事項

（５）検査可能性に関する考慮事項

以上

別紙（１）

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置の具体的な安全確保策について

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置は，放射性物質を含む滞留水を扱うため，漏えい発生防止対策，放射線遮へい対策，崩壊熱除去，可燃性ガス滞留防止，環境条件対策等について，具体的な安全確保策を以下のとおり定め実施する。

1.　放射性固体廃棄物の処理・保管・管理

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置の設置に伴い発生する固体廃棄物の取扱いについては，発電所全体の放射性固体廃棄物の処理・保管・管理の対応に従う。（「Ⅱ 1.8 放射性固体廃棄物の処理・保管・管理」参照。）

2.　放射性液体廃棄物の処理・保管・管理

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置の設置に伴い発生する液体廃棄物の取扱いについては，発電所全体の放射性液体廃棄物の処理・保管・管理の対応に従う。（「Ⅱ 1.9 放射性液体廃棄物の処理・保管・管理」参照。）

2.1　放射性物質の漏えい防止及び漏えい拡大防止

(1) 漏えい発生防止

a. 高線量の滞留水を扱うため，接液部は耐放射線性，耐食性を併せ持つ材質を使用する。

b. 機器，配管及び耐圧ホースの接続は溶接接続もしくはフランジ接続としカムロック等の接続方法を用いない。

c. 滞留水の性状を考慮し，滞留水を内包するストレーナについては高耐食性の高い二層ステンレス鋼を用いる。鋼管及び弁については高耐食性の高めるため炭素鋼にライニングを施したものを用いる。

d. 移送配管のうち，ポリエチレン管とポリエチレン管の接合部は漏えい発生防止のために融着構造とする

(2) 漏えい検知・漏えい拡大防止

a. 移送配管について，鋼管と鋼管，ポリエチレン管と鋼管との取合い等でフランジ接続となる箇所については，堰を設置し，漏えい拡大防止を図る。また，堰内には漏えい検知器を設置する。漏えい検知の警報は，免震重要棟集中監視室に表示し，運転員により流量等の運転監視パラメータの状況を確認し，ポンプ運転・停止等の適切な対応がとれるようにする。

b. 耐圧ホースは，地上階床面より低いレベルに設置することを基本とする。耐圧ホースは二重構造とし，漏えい水は建屋地下階に導く。

c. 屋外に敷設される移送配管については二重構造とし，内側の移送配管で漏えいが発生した場合には内側の移送配管と外側の配管の間が漏えい水で満たされることで建屋内へ導く構造とする。

3. 放射性気体廃棄物の処理・管理

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置の設置に伴い発生する気体廃棄物の取扱いについては，発電所全体の放射性気体廃棄物の処理・管理の対応に従う。(「Ⅱ 1.10 放射性気体廃棄物の処理・管理」参照。)

4. 被ばく低減

(1) プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置からの放射線による雰囲気線量当量率は，遮へいを設け，遮へい体表面での線量を 1.0mSv/h 以下とする。

(2) 設備の運転は，免震重要棟集中監視室にて運転操作及び監視を可能とする。

(3) 保守作業時の作業員の被ばく低減のため，保守作業前に機器のフラッシングが行える設計とする。

(4) プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置の運転等に係る関係者以外の者が不要に近づくことがないよう，標識や立入禁止区域等を設ける。

5. 放射性物質の放出抑制等による敷地周辺の放射線防護等

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置から大気中へ放出される放射性物質の適切な抑制対策や設備からの放射線に対する遮へい対策を実施することにより，敷地周辺の線量を達成できる限り低減する設計とする。

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置に関する線量評価については，「Ⅲ 第３編 2.2.3 放射性液体廃棄物等による線量評価」に記載の通り。

6. 作業者の被ばく線量の管理等

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置に対する作業者の被ばく線量の管理等は，発電所全体の作業者の被ばく線量の管理等に従う。(「Ⅱ 1.12 作業者の被ばく線量の管理等」を参照。)

7. 緊急時対策

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置に対する緊急時対策は，発電所全体の緊急時対策に従う。(「Ⅱ 1.13 緊急時対策」を参照。)

8. 設計上の考慮

8.1　準拠規格及び基準

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置を構成する主要な機器は，「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令」において，廃棄物処理設備に相当すると位置付けられる。これに対する適用規格は，「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格」（以下，「設計・建設規格」という。）で規定され，機器区分クラス３の規定を適用することを基本とする。

なお，クラス３機器に該当しないその他の機器は，JIS 等規格適合品を用いることとし，ポリエチレン管は，JWWA または ISO 規格に準拠する。

また，JSME 規格で規定される材料の日本産業規格の(JIS)の年度指定は，技術的妥当性の範囲において材料調達性の観点から考慮しない場合もある。原子力発電所での使用実績がない材料を使用する場合は，他産業での使用実績等を活用しつつ，必要に応じて試験等を行うことで，経年劣化等の影響についての評価を行う。

具体的な規格及び基準は以下のとおり。

・JIS G 3101 一般構造用圧延鋼材
・JIS G 3193 熱間圧延鋼材及び鋼帯の形状，寸法，質量及びその許容差
・JIS G 3456 高温配管用炭素鋼管
・JIS G 3466 一般構造用角形鋼管
・JIS G 3459 配管用ステンレス鋼管
・JIS G 4305 冷間圧延ステンレス鋼板及び鋼帯
・JIS G 5121 ステンレス鋼鋳鋼品
・JIS G 5502 球状黒鉛鋳鉄品
・JIS B 1180 六角ボルト
・JIS B 1181 六角ナット
・JIS B 2220 鋼製菅フランジ
・JIS B 4303 ステンレス鋼棒
・JIS B 8265 圧力容器の構造 一般事項
・JWWA K 144 水道配水用ポリエチレン管
・JIS K 6331 送水用ゴムホース(ウォーターホース)

8.2　自然現象に対する設計上の考慮

(1)　地震に対する設計上の考慮

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置の地震に対する設計上の考慮は，「別紙（２）プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置の耐震性に関する説明書」に記載の通り。

(2)　地震以外に想定される自然現象（津波，豪雨，台風，竜巻等）に対する設計上の考慮

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置に対する地震以外に想定される自然現象に対する設計上の考慮は以下の通り。

a．津波

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置は，日本海溝津波による浸水を防止するため，防潮堤内に設置する。また，日本海溝津波を上回る津波の襲来に備え，大津波警報が出た際は，系統を停止し，隔離弁を閉めることにより滞留水の流出を防止する。

b．豪雨

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置は，豪雨による影響を受けにくい建屋内に設置する。屋外敷設のポリエチレン管については，架空構造を基本とすること及び二重構造とすることにより，豪雨の影響を受けにくい設計とする。

c．積雪

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置は，積雪による影響を受けにくい建屋内に設置する。屋外敷設のポリエチレン管については，配管の外側を覆うトラフ上部に傾斜を設けるため，配管及びトラフに積雪し難い構造である。

d．落雷

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置は，構内接地網へ連接する等により，落雷に伴う雷サージ侵入による設備の損傷を防止する設計とする。

e．台風（強風，高潮）

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置は，台風による影響を受けにくい建屋内に設置する。屋外敷設のポリエチレン管については，材料の可撓性により設備の損傷を防止する設計とする。

f．竜巻

竜巻の発生の可能性が予見される場合には，設備の停止・隔離弁の閉止操作を行い，汚染水の拡大防止を図る。

g．凍結

屋外に敷設する配管等は，凍結による破損が懸念される（特に水の移送を停止した場合）ため，保温材等を取り付けて凍結防止を図る。

なお，保温材は高い気密性と断熱性を有する硬質ポリウレタン等を使用し，凍結しない

十分な厚さを確保する。

h．紫外線

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置のうち，屋外敷設箇所のポリエチレン管は，紫外線による劣化を防ぐため，紫外線による劣化のし難い材料（鋼板等）を取り付ける。

i．高温

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置は，熱による劣化が懸念されるポリエチレン管については，処理対象水の温度がほぼ常温のため，熱による材料の劣化の可能性は十分低い。

j．生物学的事象

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置は，建屋貫通孔等からの小動物の侵入が想定されるため，建屋貫通孔や電路端部等に対してシール材を施工することにより，侵入を防止する設計とすることで対策を行う。

k．その他

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置は，上記の自然現象の他，火山，森林火災等により設備損傷のおそれがある場合，または設備損傷した場合は，運転する者が手動により免震重要棟集中監視室から設備を停止できる設計とする。

8.3　外部人為事象に対する設計上の考慮

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置に対する主な外部人為事象は，発電所全体の外部人為事象に対する設計上の考慮に従う。(「Ⅱ 1.14 設計上の考慮」参照)。

(1)電磁的障害

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置は，電磁的障害による擾乱に対して，制御盤へ入線する電源受電部や，外部からの信号入出力部へのノイズフィルタや絶縁回路の設置，通信ラインにおける光ケーブルの適用等により，影響を受けない設計とする。

(2)不正アクセス行為（サイバーテロを含む）

不正アクセス行為（サイバーテロを含む）を未然に防止するため，プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置の操作に係る監視・制御装置が，電気通信回線を通じて不正アクセス行為（サイバーテロを含む）を受けることがないように，外部からの不正アクセスを遮断する設計とする。

8.4　火災に対する設計上の考慮

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置は，火災発生防止及び火災影響軽減のため，実用上可能な限り不燃性又は難燃性材料を使用するとともに設備周辺から可能な限り可燃物を排除する。

また，初期消火の対応ができるよう，設備近傍に消火器を設置する。なお，火災発生は監視カメラ等により確認可能な設計とする。

8.5　環境条件に対する設計上の考慮

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置において使用する材料等に対して，環境条件に対する設計上の考慮は以下の通り。

(1)圧力及び温度

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置は通常運転時及び異常事象発生時に想定される圧力・温度を踏まえて，適切な最高使用圧力・最高使用温度を有する機器等を選定する。

(2)腐食に対する考慮

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置については，耐腐食性の優れた二相ステンレス鋼，ポリエチレン，合成ゴム，十分な肉厚を有するライニングを施した炭素鋼等を使用する。

(3)放射線

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置の材質として使用するポリエチレン等については，放射線による材料特性に有意な変化がない期間を評価した上で，当該期間を超えて使用する場合には，あらかじめ交換等を行う。

(4)崩壊熱

処理対象水に含まれる放射性物質の崩壊熱は，通水時は処理水とともに熱除去されるため，考慮の必要はないと考える。

(5) 長期停止中の措置

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置を長期停止する場合は，必要に応じてフラッシングするとともに，内部の水抜きを実施し，漏えいや腐食防止を図る。

(6) 可燃性ガス滞留防止対策

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置において，水の放射線分解により発生する可燃性ガス（水素ガス）については，通水時は内包水とともに排出されることから考慮の必要はないと考える。通水停止時において，可燃性ガスが発生した場合でも，ベント弁を手動で開操作して通気により排出することも可能な設計とする。

8.6　運転する者の操作に対する設計上の考慮

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置の運転する者の操作に対する設計上の考慮は以下の通り。

(1) プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置の運転操作（ポンプの起動・停止や弁の開・閉）は監視・操作端末等により遠隔操作で実施する。また，本設備はプロセス計器だけでなく，監視カメラを多用し，現場の状況を映像で確認することが可能な設計とする。

(2) 誤操作・誤判断を防止するため，弁操作や運転モードの切替等の重要な操作に関してはダブルアクションを要する設計とする。

(3) 漏えい検知器の作動により警報が発生した場合は，運転員の手動停止操作にて運転停止が可能な構成（遠隔でのポンプ停止・隔離弁閉止機能）とする。

8.7　検査可能性に対する設計上の考慮

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置の検査可能性に対する設計上の考慮は，「別紙（５）　検査可能性に関する考慮事項」に記載の通り。

以上

別紙（２）

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置の耐震性に関する説明書

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置を構成する設備について，耐震設計の基本方針に基づき，構造強度の評価を行う。

1. 耐震設計の基本方針

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置のうち，液体放射性物質を内包し，地上階に設置する設備については，「東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所における耐震クラス分類と地震動の適用の考え方（2023 年 6 月 19 日一部改訂）を踏まえ，その安全機能が喪失した場合における公衆への放射線影響を評価した結果，直接線・スカイシャイン線による外部被ばく線量と，漏えいした滞留水の一部がダストとして大気中に拡散した場合の外部及び内部被ばく線量を合わせた場合，その実効線量は 50μSv 以下と評価される。ただし，プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置は滞留水一時貯留設備の一連の系統として取り扱うことから，プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置は耐震 B+クラスと位置付けて設計する。

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置は，耐震 B+クラスに要求される地震動に対して必要な強度を確保する。主要な機器及び鋼管の耐震性を評価するにあたっては，「原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG4601）等」に準拠して構造強度評価を行うことを基本とするが，評価手法，評価基準について実態に合わせたものを採用する。なお，プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置に使用する耐圧ホース，ポリエチレン管等については，材料の可撓性により耐震性を確保する。

また，プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置は，原子炉設置許可申請書及び工事計画認可申請書において，発災前に耐震 B クラスとして許可及び認可を受けたプロセス主建屋及び高温焼却炉建屋に設置する。設備を設置するにあたり，滞留水移送装置が設置される建屋（プロセス主建屋及び高温焼却炉建屋）について滞留水移送装置の間接支持機能維持の観点から，1/2Ss450 に対し，プロセス主建屋においては１～４階外壁及び地下外壁が崩壊しないこと，高温焼却炉建屋においては，１，２階外壁及び地下外壁が崩壊しないこと確認する。

なお，判定は耐震壁の最大せん断ひずみが，評価基準値（4.0×10^{-3}）を超えないことを確認する。

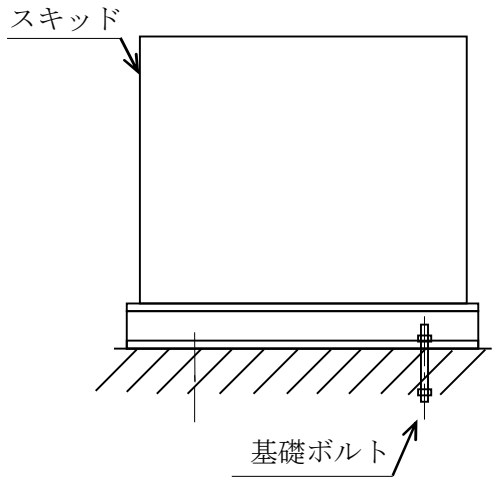
1.1　設備重要度による耐震クラス分類

表－１　機器毎の耐震クラス分類，据付場所及び床面高さ

耐震クラス別 / 系統設備	B＋		
	機器名称	据付場所	床面高さ(m)
プロセス主建屋・高温焼却炉建屋滞留水移送装置			
(1)スキッド	スキッド①	プロセス主建屋１階	T.P.8.8
		高温焼却炉建屋１階	T.P.8.8
	スキッド②	プロセス主建屋１階	T.P.8.8
		高温焼却炉建屋１階	T.P.8.8
(2)配管	主配管		
	プロセス主建屋南エリアサンプスキッド①，②内配管	プロセス主建屋１階	T.P.8.8
	プロセス主建屋西エリアサンプスキッド①，②内配管	プロセス主建屋１階	T.P.8.8
	プロセス主建屋北エリアサンプスキッド①，②内配管	プロセス主建屋１階	T.P.8.8
	プロセス主建屋北東エリアサンプスキッド①，②内配管	プロセス主建屋１階	T.P.8.8
	プロセス主建屋北西エリアサンプスキッド①，②内配管	プロセス主建屋１階	T.P.8.8
	高温焼却炉建屋北西エリアサンプスキッド①，②内配管	高温焼却炉建屋１階	T.P.8.8

1.2　構造計画

表－２　構造計画

主要区分	計画の概要		概略構造図	摘要
	基礎・支持構造物	主体構造		
(1)スキッド*	スキッド架構を基礎ボルトで基礎に据え付ける。	垂直自立形		スキッド① スキッド②

＊スキッドとは，ポンプ，弁，配管等の機器類をベースとなるフレーム上に配置し，一体化した構造体である。（スキッド毎に構造は異なるため，便宜上，概略構造図は直方体で表記）

1.3　設計用地震力

表－３　適用する設計用地震力

項目	耐震クラス	静的地震力		動的地震力		備考
		水　平	鉛　直	水　平	鉛　直	
機器・配管系	Ｂ＋	――	――	1/2Ss450*1	1/2Ss450*1	＊1 機能維持
		1.8・C_i※	――	1/2Sd225*2 （共振時のみ）	1/2Sd225*2 （共振時のみ）	＊2 弾性範囲

注記　※　：　C_iは，標準せん断力係数を 0.2 とし，建物・構造物の振動特性，地盤の種類等を考慮して求められる値とする。

1.4　荷重の組合せと許容限界

荷重の組合せと許容限界は,以下の通りとする。ただし，本設備では保守的に1/2Ss450の動的地震力に対しても許容応力状態B_ASとして評価を実施する。(1/2Ss450の動的地震力に対しても許容応力状態B_ASとして評価することで静的地震力による評価の記載を省略する)

記号の説明

D　　：死荷重

P_d　：当該設備に設計上定められた最高使用圧力による荷重

M_d　：当該設備に設計上定められた機械的荷重

S_{B+}　：Ｂ＋クラスの設備に適用される地震動より求まる地震力又はＢ＋クラス設備に適用される静的地震力

B_AS　：Ｂ＋クラスの設備の地震時許容応力状態

$Ⅳ_AS$　：設計・建設規格の供用状態Ｄ相当の許容応力を基準として，それに地震により生じる応力に対する特別な応力の制限を加えた許容応力状態

S_y　：設計降伏点　　設計・建設規格　付録材料図表　Part5表8に規定される値

S_u　：設計引張強さ　設計・建設規格　付録材料図表　Part5表9に規定される値

S　　：許容引張応力　設計・建設規格　付録材料図表　Part5表5～7に規定される値

f_t　：許容引張応力　支持構造物(ボルト等を除く。)に対して設計・建設規格SSB-3121.1により規定される値。ボルト等に対して設計・建設規格SSB-3131により規定される値

f_s　：許容せん断応力　同上

f_c　：許容圧縮応力　支特構造物(ボルト等を除く。)に対して設計・建設規格SSB-3121.1により規定される値。

f_b　：許容曲げ応力　同上

τ_b　：ボルトに生じるせん断応力

※　表2.14.2.2-4における，f_t^*，f_s^*，f_c^*，f_b^*はそれぞれ許容応力状態$Ⅳ_AS$に対する許容応力を指す。

表－４　荷重の組合せ，許容応力状態及び許容応力

(1)支持構造物（クラス３支持構造物）（注1，注2）

耐震クラス	荷重の組合せ	許容応力状態	許容限界（ボルト等以外） 一次応力					許容限界（ボルト等） 一次応力			適用範囲
			引張	せん断	圧縮	曲げ	組合せ	引張	せん断	組合せ	
B＋	D＋P_d＋M_d＋S_B	B_AS	1.5・f_t	1.5・f_s	1.5・f_c	1.5・f_b	1.5・f_t	1.5・f_t	1.5・f_s	Min{1.5・f_t, (2.1・f_t－1.6・τ_b)}	・基礎ボルト ・取付ボルト
	D＋P_d＋M_d＋S_{B+}	IV_AS	1.5・f_t^*	1.5・f_s^*	1.5・f_c^*	1.5・f_b^*	1.5・f_t^*	1.5・f_t^*	1.5・f_s^*	Min{1.5・f_t^*, (2.1・f_t^*－1.6・τ_b)}	

注１：耐圧部に溶接により直接取り付けられる支持構造物であって，耐圧部と一体の応力解析を行うものについては，耐圧部と同じ許容応力とする。

注２：鋼構造設計規準（日本建築学会　2005 年改定）等の幅厚比の規定を満足する。

(2)配管（クラス３配管）

耐　震 クラス	荷重の組合せ	許容応力状態	許　　容　　限　　界 一次応力	適用範囲
Ｂ＋	Ｄ＋Ｐd＋Ｍd＋ＳB	ＢAＳ	Ｓy ただし，オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記の値と1.2･Ｓのうち大きい方とする。	・主配管（鋼管）
	Ｄ＋Ｐd＋Ｍd＋ＳB＋	ⅣAＳ	0.9･Ｓu	

表－５　機器毎の使用材料の許容応力評価条件

(1)スキッド類

評価部材	材料	温度条件 (℃)		Sy (MPa)	Su (MPa)
スキッド取付ボルト	SS400 (16mm＜径≦40mm)	周囲環境温度	40	235	400

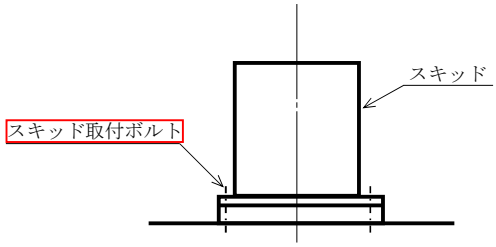
(2)主配管（鋼管）

材料	温度条件 (℃)		Sy (MPa)	Su (MPa)
STPT410	最高使用温度	40	245	410

2.　耐震性評価の結果

2.1　ポンプ，スキッド類

スキッド類の評価は，剛であることを踏まえ，「2.16.2 増設多核種除去設備 添付資料－３ 付録３横軸ポンプ及びスキッドの耐震性についての計算書作成の基本方針」（耐震設計上の重要度分類Ｂ+クラス）に基づいて評価を実施した。評価の結果，ポンプ取付ボルト等の強度が確保されることを確認した（表－６）。なお，算出応力は許容応力と比較して 1.5 倍以上の裕度があり，水平２方向入力の影響はない。



図－１　スキッド評価箇所

表－６　スキッド類の耐震性評価結果（地震力：1/2Ss450，許容応力状態：$B_A S$）

機器名称	部材	材料	水平震度	鉛直震度	応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
プロセス主建屋 南エリアサンプ スキッド①	スキッド 取付ボルト	SS400	0.57	0.44	引張	σ_{b1}= 2	f_{ts1}= 176
					せん断	τ_{b1}= 1	f_{sb1}= 135
プロセス主建屋 南エリアサンプ スキッド②	スキッド 取付ボルト	SS400	0.57	0.44	引張	σ_{b1}= 8	f_{ts1}= 176
					せん断	τ_{b1}= 3	f_{sb1}= 135
プロセス主建屋 西エリアサンプ スキッド①	スキッド 取付ボルト	SS400	0.57	0.44	引張	σ_{b1}= 4	f_{ts1}= 176
					せん断	τ_{b1}= 2	f_{sb1}= 135
プロセス主建屋 西エリアサンプ スキッド②	スキッド 取付ボルト	SS400	0.57	0.44	引張	σ_{b1}= 9	f_{ts1}= 176
					せん断	τ_{b1}= 3	f_{sb1}= 135
プロセス主建屋 北エリアサンプ スキッド①	スキッド 取付ボルト	SS400	0.57	0.44	引張	σ_{b1}= 4	f_{ts1}= 176
					せん断	τ_{b1}= 2	f_{sb1}= 135
プロセス主建屋 北エリアサンプ スキッド②	スキッド 取付ボルト	SS400	0.57	0.44	引張	σ_{b1}= 8	f_{ts1}= 176
					せん断	τ_{b1}= 2	f_{sb1}= 135

機器名称	部材	材料	水平震度	鉛直震度	応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
プロセス主建屋 北東エリアサンプ スキッド①	スキッド 取付ボルト	SS400	0.57	0.44	引張	σ_{b1}= 2	f_{ts1}= 176
					せん断	τ_{b1}= 1	f_{sb1}= 135
プロセス主建屋 北東エリアサンプ スキッド②	スキッド 取付ボルト	SS400	0.57	0.44	引張	σ_{b1}= 8	f_{ts1}= 176
					せん断	τ_{b1}= 2	f_{sb1}= 135
プロセス主建屋 北西エリアサンプ スキッド①	スキッド 取付ボルト	SS400	0.57	0.44	引張	σ_{b1}= 2	f_{ts1}= 176
					せん断	τ_{b1}= 1	f_{sb1}= 135
プロセス主建屋 北西エリアサンプ スキッド②	スキッド 取付ボルト	SS400	0.57	0.44	引張	σ_{b1}= 8	f_{ts1}= 176
					せん断	τ_{b1}= 2	f_{sb1}= 135
高温焼却炉建屋 北西エリアサンプ スキッド①	スキッド 取付ボルト	SS400	0.61	0.47	引張	σ_{b1}= 4	f_{ts1}= 176
					せん断	τ_{b1}= 2	f_{sb1}= 135
高温焼却炉建屋 北西エリアサンプ スキッド②	スキッド 取付ボルト	SS400	0.61	0.47	引張	σ_{b1}= 9	f_{ts1}= 176
					せん断	τ_{b1}= 4	f_{sb1}= 135

※　許容引張応力は$Min\{1.5 \cdot f_t, (2.1 \cdot f_t - 1.6 \cdot \tau_b)\}$にて算定

2.3　主配管（鋼管）

共振による加速度増大の防止を目的とし，対象の配管を多質点モデルとして固有値解析を実施し，固有周期が 0.05 秒以下となるようなサポート構造を導出したうえで，各対象に一律の震度を与えて地震応力等を求める解析による評価を実施した。評価の結果，算出応力が許容応力以下であることを確認した。

表－７　配管系における各種条件

配管分類	主配管（鋼管）
配管クラス	クラス３相当
耐震クラス	B＋クラス
最高使用圧力［MPa］	0.96
最高使用温度［℃］	40
配管材質	STPT410
配管口径［A］	50
Sch	80

表－８　主配管（鋼管）の固有周期（単位：ｓ）

機器名称	固有周期
プロセス主建屋南エリアサンプ　スキッド①，②内配管	0.042
プロセス主建屋西エリアサンプ　スキッド①，②内配管	0.045
プロセス主建屋北エリアサンプ　スキッド①，②内配管	0.045
プロセス主建屋北東エリアサンプ　　スキッド①，②内配管	0.045
プロセス主建屋北西エリアサンプ　スキッド①，②内配管	0.045
高温焼却炉建屋北西エリアサンプ　スキッド①，②内配管	0.042

表－９　応力評価結果（主配管（鋼管））（地震力：1/2Ss450，許容応力状態：B_AS）

機器名称	配管材質	水平震度	鉛直震度	算出応力	許容応力
プロセス主建屋 南エリアサンプ スキッド①，②内配管	STPT410	0.57	0.44	27	245
プロセス主建屋 西エリアサンプ スキッド①，②内配管	STPT410	0.57	0.44	19	245
プロセス主建屋 北エリアサンプ スキッド①，②内配管	STPT410	0.57	0.44	19	245
プロセス主建屋 北東エリアサンプ スキッド①，②内配管	STPT410	0.57	0.44	18	245
プロセス主建屋 北西エリアサンプ スキッド①，②内配管	STPT410	0.57	0.44	18	245
高温焼却炉建屋 北西エリアサンプ スキッド①，②内配管	STPT410	0.61	0.47	27	245

3.　耐震クラス分類及び設計震度に関する考え方

3.1　耐震クラス分類の考え方

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置のうち，液体放射性物質を内包する設備については，その安全機能が喪失した場合における公衆への放射線影響を評価した結果，直接線・スカイシャイン線による外部被ばく線量と，漏えいした滞留水の一部がダストとして大気中に拡散した場合の外部及び内部被ばく線量を合わせた場合，その実効線量は50μSv以下と評価されるが，プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置は滞留水一時貯留設備の一連の系統として取り扱うことを踏まえ，耐震B+クラスとして評価を実施する。

a.機能喪失による公衆への放射線影響の程度について

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置について，機能喪失による公衆への放射線影響を確認するため，線量評価を実施した。評価条件については，設備から全量漏えいした場合を想定した条件にて設定する。評価条件における放射性物質量を表－１０に示す。

表－１０　評価条件における放射性物質量

核種	濃度（Bq/L）	容積（m^3）	放射性物質量（Bq）
Cs-137(Ba-137m)	1.3E+08	16※1	2.1E+12
Cs-134	6.6E+06		1.1E+11
Sr-90(Y-90)	3.0E+07		4.8E+11

※1　保守的に系統内が全量満水であったと仮定し設定

○漏えいした放射性物質の直接線・スカイシャイン線による被ばく評価

地震により安全機能（遮へい機能・閉じ込め機能）を失った際の公衆被ばく影響が，１週間（７日間）継続したことを想定する。最寄りの線量評価点（BP7）における直接線・スカイシャイン線による被ばく量は0.004 mSv程度である。

○漏えいした放射性物質の大気中への拡散による被ばく評価

地震により安全機能（遮へい機能・閉じ込め機能）を失った際に，漏えいした放射性物質がダストとして放出したことを想定する。実効放出継続時間を1時間と仮定した場合の，最寄り線量評価点（BP7）におけるクラウドシャイン線，グランドシャイン線による外部被ばく及びクラウドの吸入による内部被ばく量は0.028 mSv程度である。

3.2　Ｂ＋クラスの設計震度について

ａ．静的地震力の評価

機器に対する静的地震力の評価は，Ｂ＋クラスに求められる静的震度として，建屋・構築物の層せん断力係数 1.5Ci に 1.2 を乗じた 1.8Ci を用いて評価を行う。この評価は，後述する b. にて許容応力状態B_ASとして評価を実施することから省略する。

b. 1/2Ss450 機能維持

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置では 1/2Ss450 に対する，設備を設置するプロセス主建屋および高温焼却炉建屋の各フロアでの水平（２方向），鉛直，水平２方向の各時刻の応答加速度を重ね合わせた最大応答加速度は以下の通りである。

ここで本設備では水平２方向の考慮について，本設備が剛であることから，水平２方向の各時刻の応答加速度を時々刻々ベクトル和したものを水平方向の応答加速度とし，重ね合わせ後の値が最大となるものを最大応答加速度として用いた。（表－１１）なお，保守性のため，最大応答加速度を各機器の辺方向に付与して評価を行う。また，上記に加えて本設備では算出応力が許容応力と比較して 1.5 倍以上の裕度があることも確認しており，水平 2 方向入力の影響はない。

なお，NS 方向には水平方向の検討用地震動 1/2Ss450-1，EW 方向には検討用地震動に組み合わせる模擬地震波を入力しており，地震動の詳細は 4.プロセス主建屋の耐震性に関する評価，5.高温焼却炉建屋の耐震性に関する評価に示す。

表－１１　各建屋における設備設置箇所の最大応答加速度（1/2Ss450）

建屋	最大応答加速度[cm/s^2]			
	水平 NS 方向	水平 EW 方向	水平 2 方向 重ね合わせ	鉛直方向
プロセス主建屋 １階(T.P.8.8)	368	460	461	352
高温焼却炉建屋 １階(T.P.8.8)	473	495	496	381

※ 時々刻々の加速度をベクトル合成した加速度の最大値を示す

このため，機器に対する評価では最大応答加速度に 1.2 を乗じて重力加速度で除した値を評価に用いる震度とし，設備を設置するプロセス主建屋および高温焼却炉建屋の各フロアに応じて以下の通りに評価を行う。

表－１２　各建屋における設備設置箇所の設計震度（1/2Ss450）

建屋	水平震度	鉛直震度
プロセス主建屋 １階(T.P.8.8)	0.57	0.44
高温焼却炉建屋 １階(T.P.8.8)	0.61	0.47

c．1/2Sd225 弾性範囲（共振時のみ）

1/2Sd225 における機器に対する評価では，ｂ．に記載する値に 1/2 を乗じて求め，評価を行う。なお，本設備の機器及び主配管（鋼管）は剛（固有周期が 0.05 秒以下）となるように設計しているため，c．の評価は不要である。

4.　プロセス主建屋の耐震性に関する評価

4.1　はじめに

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置が設置される建屋（プロセス主建屋）の耐震性については「添付資料－２８別紙（２）4. プロセス主建屋の耐震性に関する評価」において確認している。

5.　高温焼却炉建屋の耐震性に関する評価

5.1　はじめに

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置が設置される建屋（高温焼却炉建屋）について 1/2Ss450 に対し，１，２階外壁及び地下外壁が崩壊しないことを確認する。なお，判定は１，２階及び地下階の耐震壁の最大せん断ひずみが，評価基準値（4.0×10^{-3}）を超えないことを確認することとする。

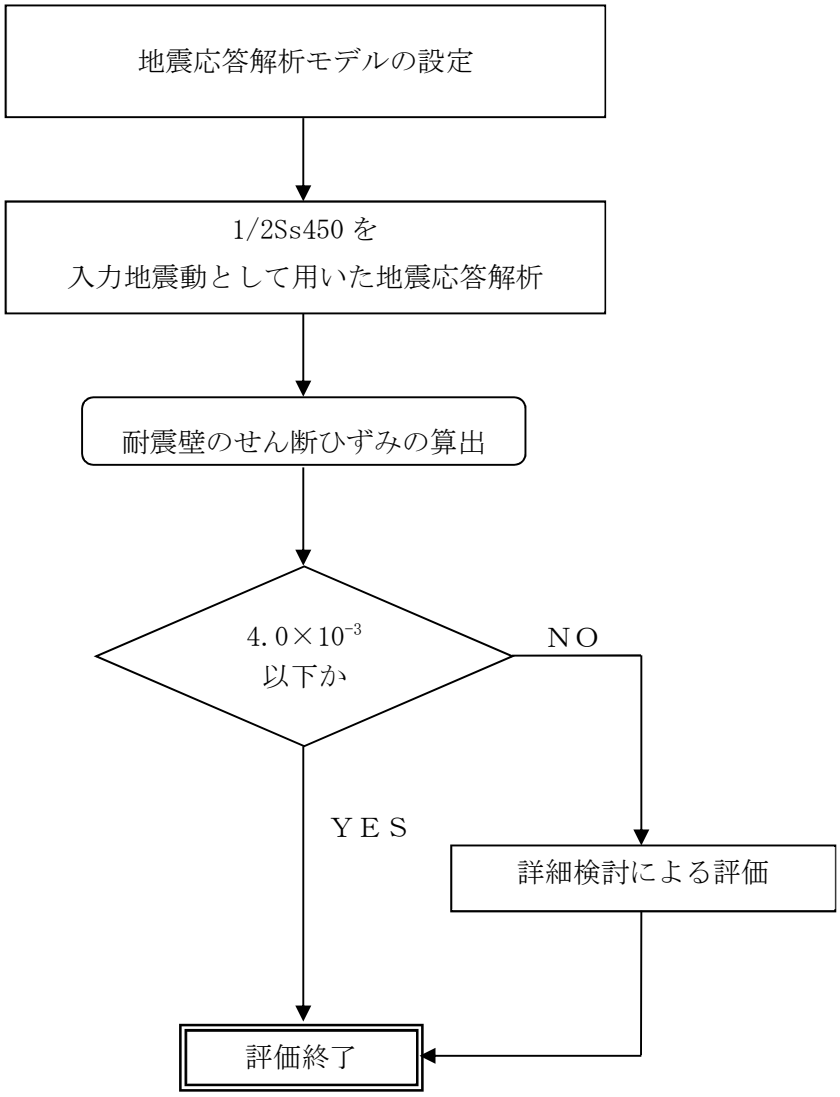
5.2　解析評価方針

高温焼却炉建屋の耐震安全性評価は，1/2Ss450 を用いた地震応答解析によることを基本とし，建物・構築物や地盤の応答性状を適切に表現できるモデルを設定した上で行う。

解析モデルは，建屋全域を１軸質点系モデルとする。

１，２階及び地下階の耐震壁の評価は，地震応答解析により得られた該当部位の最大せん断ひずみが，評価基準値（4.0×10^{-3}）を超えないことを確認することとする。

高温焼却炉建屋の地震応答解析の評価手順を，図－２に示す。



図－２　高温焼却炉建屋の地震応答解析の評価手順

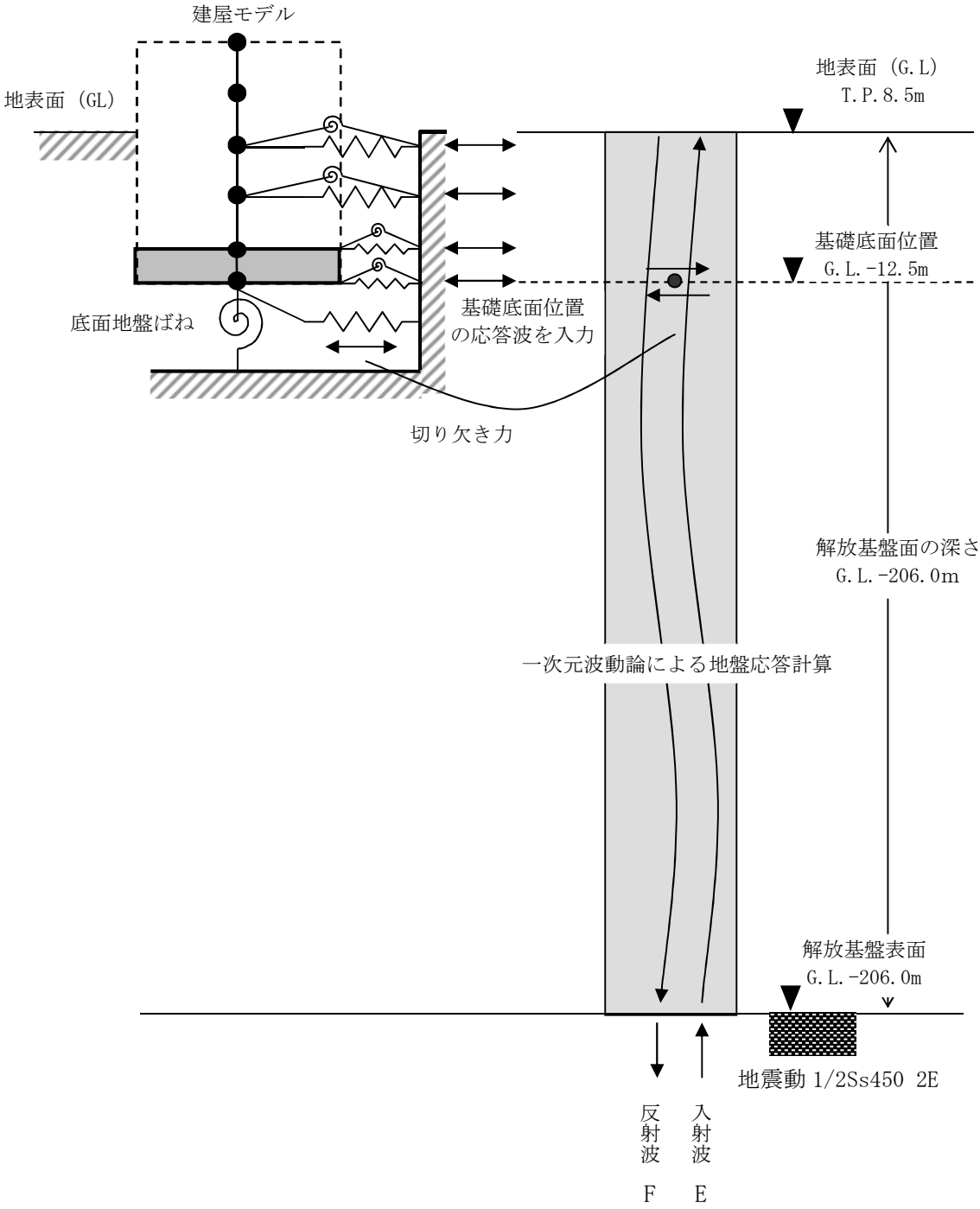
5.3　解析に用いる入力地震動

高温焼却炉建屋への入力地震動は，第２７回特定原子力監視・評価検討会（平成 26 年 10 月 3 日）にて説明した検討用地震動（以下，「Ss900」という。）を用いることとする。

地震応答解析に用いる入力地震動の概念図を図－３に示す。この高温焼却炉建屋の解析モデルに入力する地震動は，一次元波動論に基づき，解放基盤表面レベルに想定する 1/2Ss450 に対する建屋基礎底面レベルの地盤応答として評価する。また，建屋基礎底面レベルにおけるせん断力を入力地震動に付加することにより，地盤の切欠き効果を考慮する。

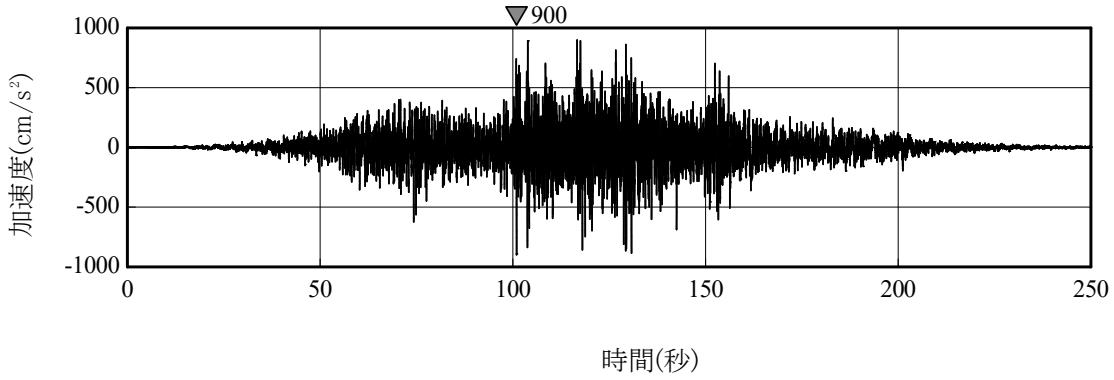
このうち，解放基盤表面位置における Ss900 の加速度波形について，図－４～図－６に示す。1/2Ss450 については，Ss900 を 1/2 倍したものを用いる。

設備を評価するに当たって，水平 2 方向を考慮することとしており，この評価に当たっては，全く同じ地震動が同時に水平 2 方向に入力されることは現実的に考えにくいことから，Ss900-1 を作成した方法と同一の方法で，目標とする応答スペクトルに適合する位相の異なる模擬地震波を利用する。なお，Ss900-1 の水平方向の位相が，2011 年東北地方太平洋沖地震において福島第一原子力発電所敷地内の地震観測記録の NS 方向の位相を基に作成していることから，模擬地震波はそれと直交する EW 方向の位相を基に作成する。（図－６）（添付資料－２８別紙（２）参考－1 参照）

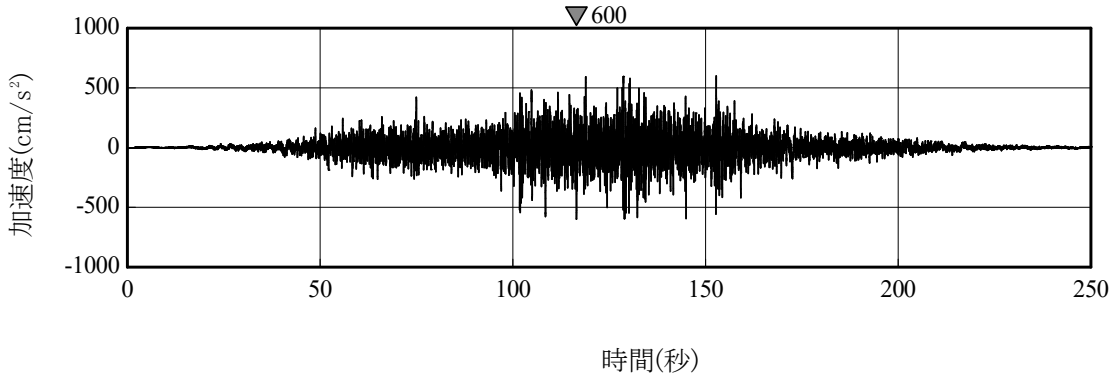


図－３　地震応答解析に用いる入力地震動の概念図

記載の標高は震災後の地盤沈下量(-709㎜)と O.P.から T.P.への読替値(-727㎜)を用いて，下式に基づき換算している。
＜換算式＞T.P.=旧 O.P.－1,436㎜

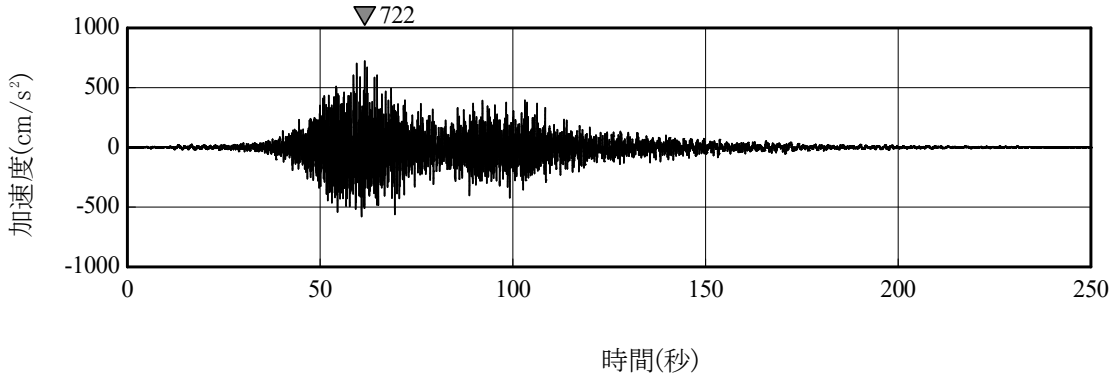


(a)　水平方向

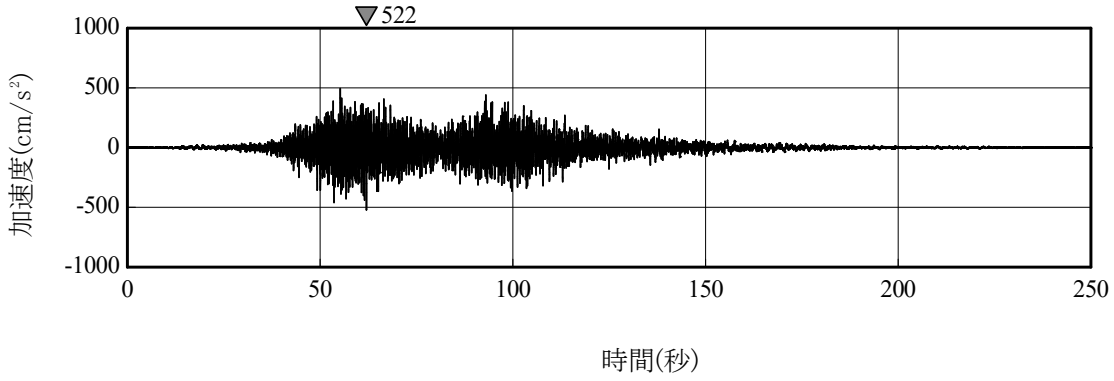


(b)　鉛直方向

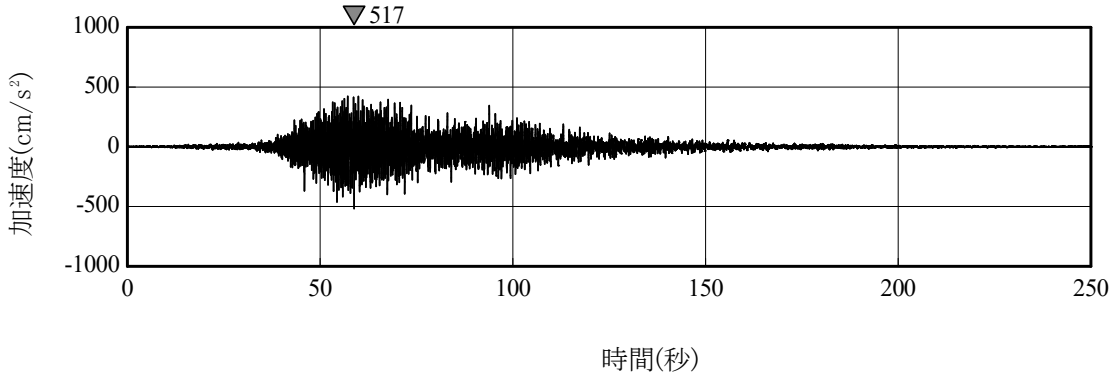
図－４　解放基盤表面における地震動の加速度時刻歴波形（Ss900-1）



(a)　NS 方向

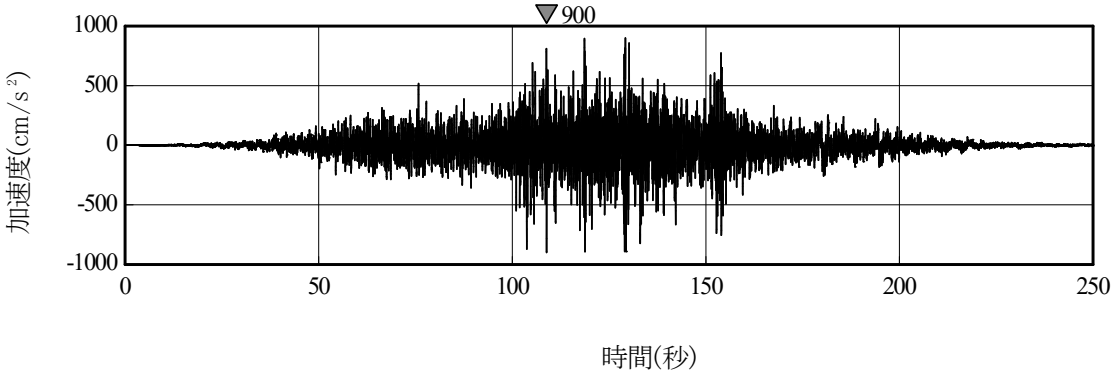


(b)　EW 方向



(c)　鉛直方向

図－５　解放基盤表面における地震動の加速度時刻歴波形（Ss900-2）



図－６　Ss900-1（水平方向）と組み合わせる模擬地震波

5.4 地震応答解析モデル

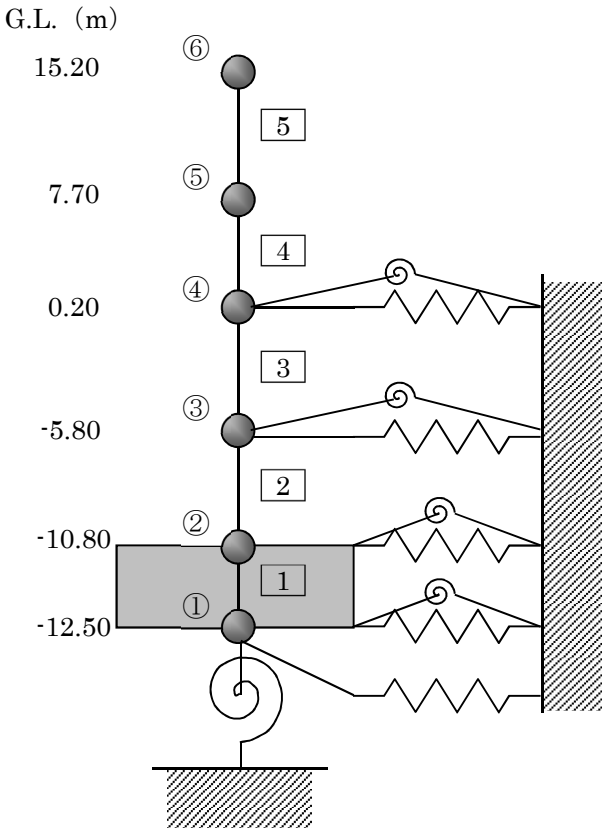
1/2Ss450 に対する高温焼却炉建屋の地震応答解析は,「5.3 解析に用いる入力地震動」で算定した入力地震動を用いた動的解析による。

地震応答解析モデルは,図－７に示すように,建屋を曲げ変形とせん断変形をする質点系とし,地盤を等価なばねで評価した建屋－地盤連成系モデルとする。建屋－地盤連成系としての効果は地盤ばね及び入力地震動によって評価される。解析に用いるコンクリートの物性値を表－１３に,建屋解析モデルの諸元を表－１４に示す。

地盤定数は,水平成層地盤と仮定し,地震時のせん断ひずみレベルを考慮して定めた。解析に用いた地盤定数を表－１５に示す。

解析モデルにおいて,基礎底面地盤ばねについては,「JEAG4601-1991」に示された手法を参考にして,成層補正を行ったのち,振動アドミッタンス理論に基づいて,スウェイ及びロッキングばね定数を近似的に評価する。また,埋込部分の建屋側面地盤ばねについては,建屋側面位置の地盤定数を用いて,水平及び回転ばねを「JEAG4601-1991」により NOVAK ばねに基づいて近似法により評価する。

地盤ばねは振動数に依存した複素剛性として得られるが,図－８に示すようにばね定数（Kc）として実部の静的な値を,また,減衰係数（Cc）として建屋－地盤連成系の１次固有振動数に対応する虚部の値と原点を結ぶ直線の傾きを採用することにより近似する。



図－７　高温焼却炉建屋地震応答解析モデル

表－１３　地震応答解析に用いる物性値

	コンクリート強度*1 Fc (N/mm^2)	ヤング係数*1 E (N/mm^2)	せん断弾性係数*1 G (N/mm^2)	ポアソン比 ν	単位体積重量*2 γ (kN/m^3)
コンクリート	40	2.81×10^4	1.17×10^4	0.2	24.5
鉄筋	SD345 相当 (SD35)				

*1：実強度に基づく。

*2：鉄筋コンクリートの値とする。

表－１４　建屋解析モデルの諸元

(NS 方向)

質点番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 I_G (×10^6 kN･m^2)	部材番号	せん断断面積 As(m^2)	断面２次ﾓｰﾒﾝﾄ I(m^4)
⑥	40,589	－	5	36.65	4,112
⑤	53,375	－	4	65.18	7,150
④	87,732	－	3	84.69	16,014
③	103,215	－	2	76.18	12,521
②	66,362	－	1	1,591.00	245,147
①	35,545	61.717			

(EW 方向)

質点番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 I_G(×10^6 kN･m^2)	部材番号	せん断断面積 As(m^2)	断面２次ﾓｰﾒﾝﾄ I(m^4)
⑥	40,589	－	5	36.62	5,417
⑤	53,375	－	4	60.20	8,761
④	87,732	－	3	91.73	13,144
③	103,215	－	2	93.72	19,184
②	66,362	－	1	1,591.00	181,507
①	35,545	46.244			

・基礎の形状　43.0m (NS) ×37.0m (EW) ×1.7m (厚さ)

・建屋総重量　386,818 kN

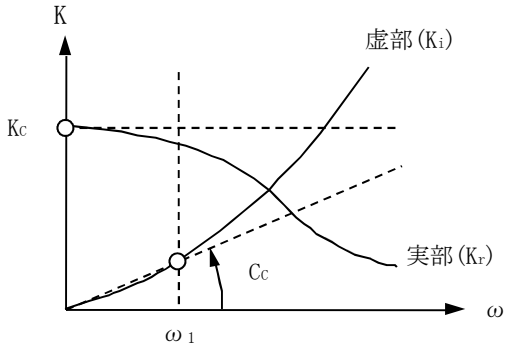
表－１５　地盤定数

(1/2Ss450-1)

標高 G.L. (m)	地質	せん断波速度 Vs (m/s)	単位体積重量 γ (kN/m^3)	ポアソン比 ν	せん断弾性係数 G ($\times 10^5$kN/m^2)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^5$kN/m^2)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h (%)	層厚 H (m)
0.0									
	砂岩	380	17.8	0.473	2.23	2.62	0.85	3	8.1
-8.1	泥岩	450	16.5	0.464	2.73	3.41	0.80	3	11.9
-20.0		500	17.1	0.455	3.49	4.36	0.80	3	70.0
-90.0		560	17.6	0.446	4.50	5.63	0.80	3	28.0
-118.0		600	17.8	0.442	5.22	6.53	0.80	3	88.0
-206.0	(解放基盤)	700	18.5	0.421	9.24	9.24	-	-	-

(1/2Ss450-2)

標高 G.L. (m)	地質	せん断波速度 Vs (m/s)	単位体積重量 γ (kN/m^3)	ポアソン比 ν	せん断弾性係数 G ($\times 10^5$kN/m^2)	初期せん断弾性係数 G_0 ($\times 10^5$kN/m^2)	剛性低下率 G/G_0	減衰定数 h (%)	層厚 H (m)
0.0									
	砂岩	380	17.8	0.473	2.33	2.62	0.89	3	8.1
-8.1	泥岩	450	16.5	0.464	3.03	3.41	0.89	3	11.9
-20.0		500	17.1	0.455	3.88	4.36	0.89	3	70.0
-90.0		560	17.6	0.446	5.01	5.63	0.89	3	28.0
-118.0		600	17.8	0.442	5.81	6.53	0.89	3	88.0
-206.0	(解放基盤)	700	18.5	0.421	9.24	9.24	-	-	-



ω_1：建屋－地盤連成系の
1 次固有振動数

図－８　地盤ばねの近似

5.5. 耐震安全性評価

1/2Ss450 に対する高温焼却炉建屋の耐震壁のせん断ひずみ一覧を表－１６及び表－１７に示す。

耐震壁のせん断ひずみは，最大で 0.14×10^{-3} であり，耐震壁の評価基準値（4.0×10^{-3}）に対して十分な余裕がある。（図－９）

表－１６　耐震壁のせん断ひずみ一覧

(NS 方向)

（$\times10^{-3}$）

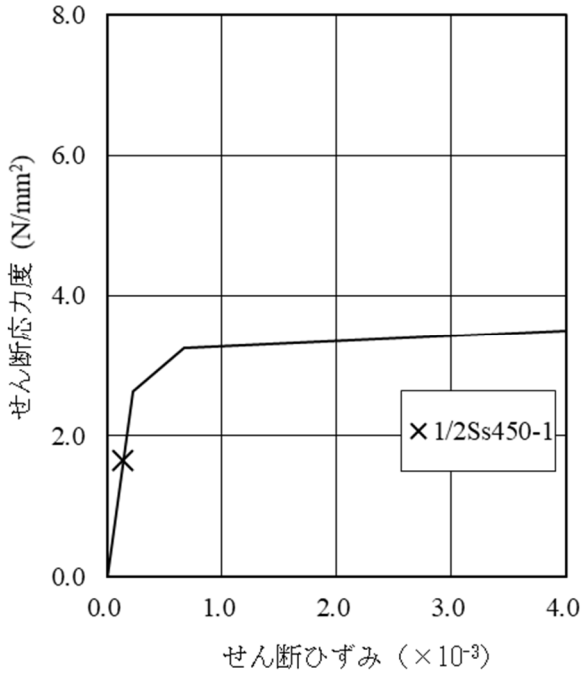
階	1/2Ss450-1	1/2Ss450-2	評価基準値
2F	0.07	0.04	4.0 以下
1F	0.08	0.05	
B1F	0.10	0.05	
B2F	0.14	0.08	

表－１７　耐震壁のせん断ひずみ一覧

(EW 方向)

（$\times10^{-3}$）

階	1/2Ss450-1	1/2Ss450-2	評価基準値
2F	0.07	0.03	4.0 以下
1F	0.09	0.04	
B1F	0.09	0.04	
B2F	0.12	0.05	



図－９　せん断スケルトン曲線上の最大応答値（NS 方向，B2F，1/2Ss450-1）

また，1/2Ss450 に対する最大接地圧を，表－１８に示す。最大接地圧に対して，地盤の極限支持力度※1は十分な余裕がある。

よって，高温焼却炉建屋の耐震安全性は確保されているものと評価した。

※１：「福島第一原子力発電所　検討用地震動に対する建屋検討結果」（2016 年 8 月 23 日規制庁面談資料）に示す地盤の支持力試験の最大荷重

表－１８　1/2Ss450 に対する最大接地圧

	NS 方向	EW 方向
地震動	1/2Ss450-1	1/2Ss450-1
鉛直力 N （×10⁵kN）	4.28	4.28
転倒モーメント M （×10⁶kN･m）	1.63	1.55
最大接地圧 （kN/m²）	412.4	427.0
地盤の極限支持力度 （kN/m²）	9806	

別紙（３）

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置の構造強度に関する説明書

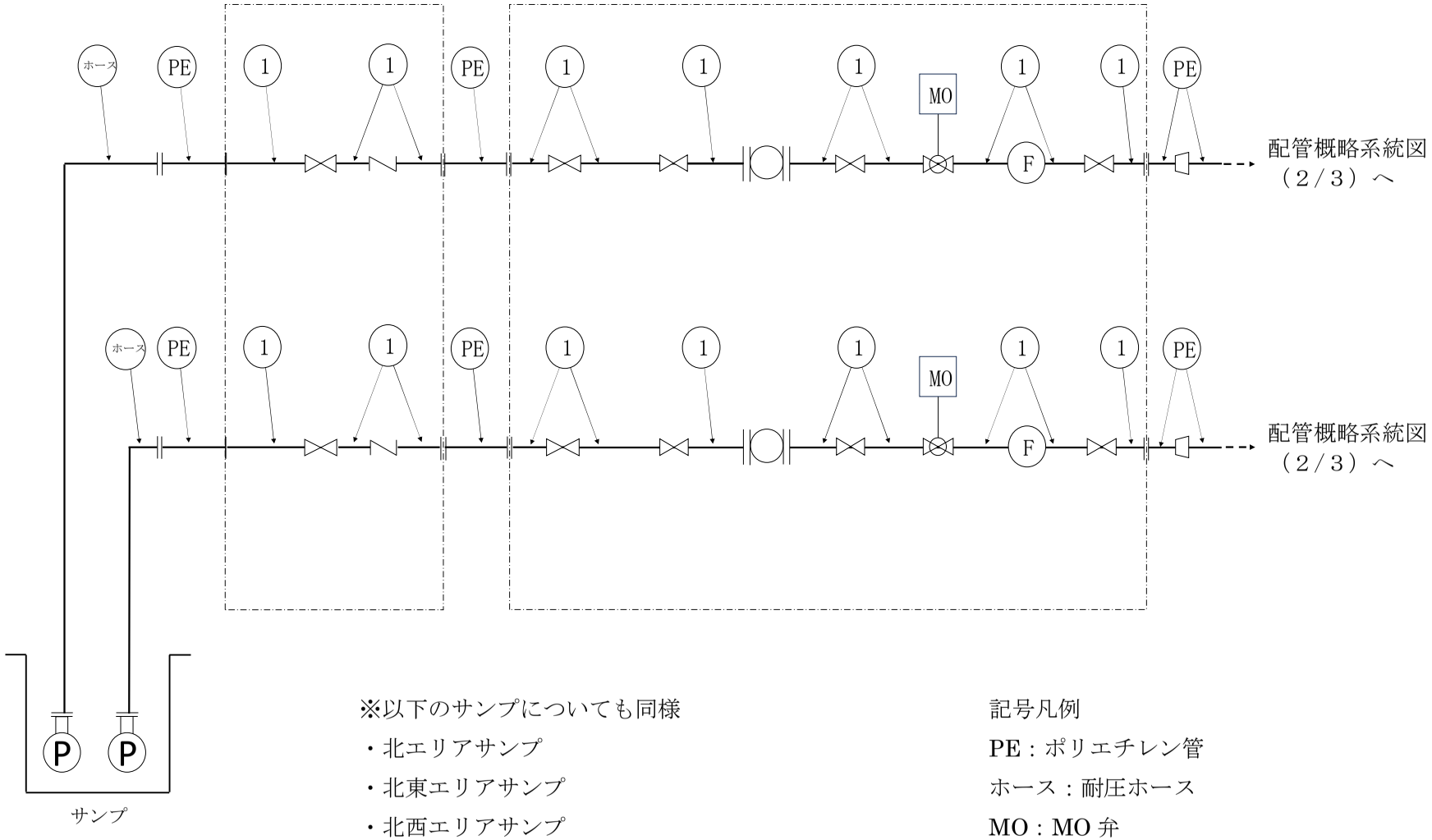
1. 構造強度評価の基本方針

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置を構成する主要な機器及び主配管（鋼管）は，強度評価においては，「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格」（以下，「JSME 規格」という。）のクラス３機器またはクラス３配管に準じた評価を行う。

2. 強度評価

2.1　主配管

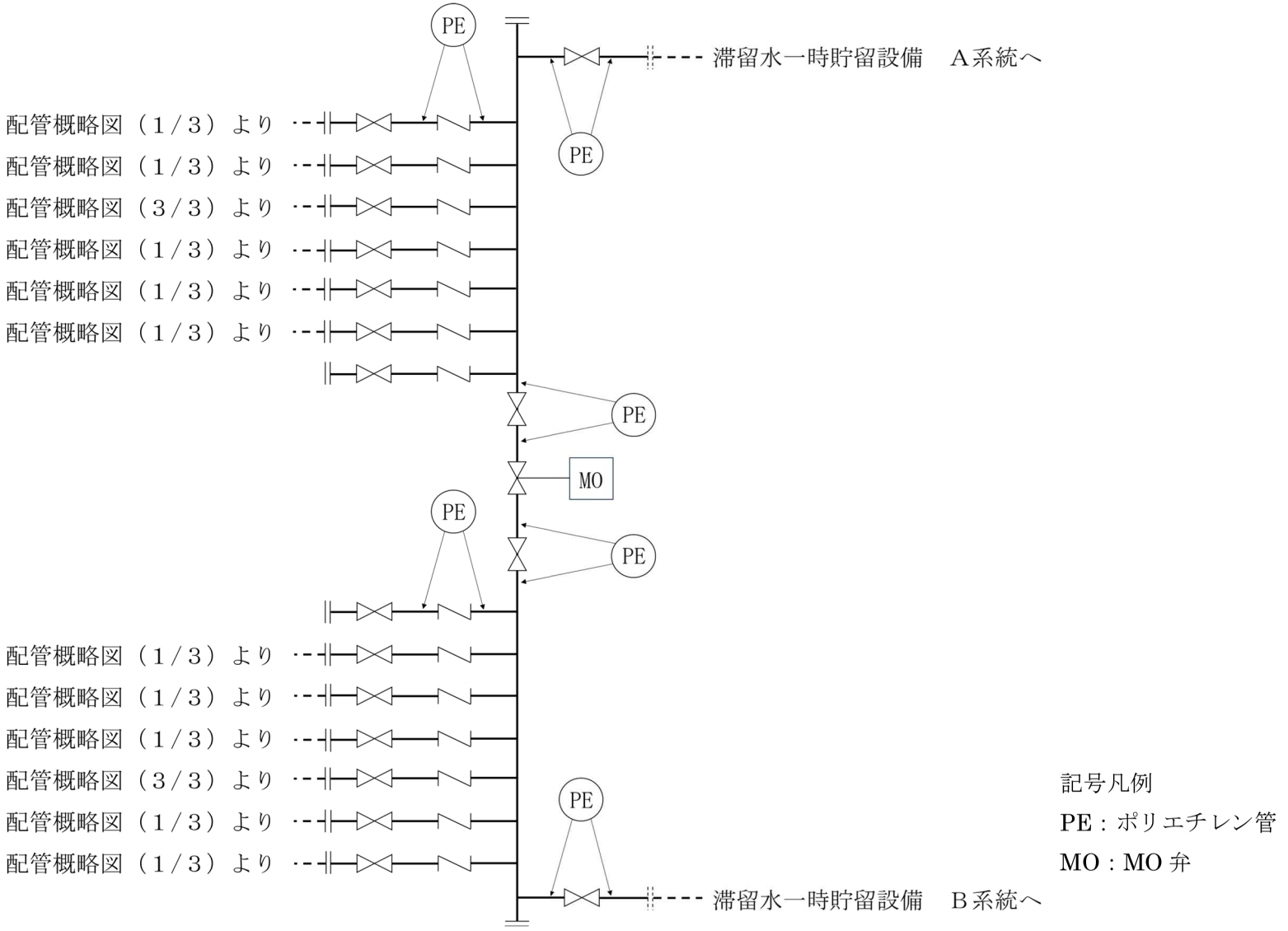
強度評価箇所を図－１に示す。



※以下のサンプについても同様
- 北エリアサンプ
- 北東エリアサンプ
- 北西エリアサンプ
- 南エリアサンプ
- 西エリアサンプ

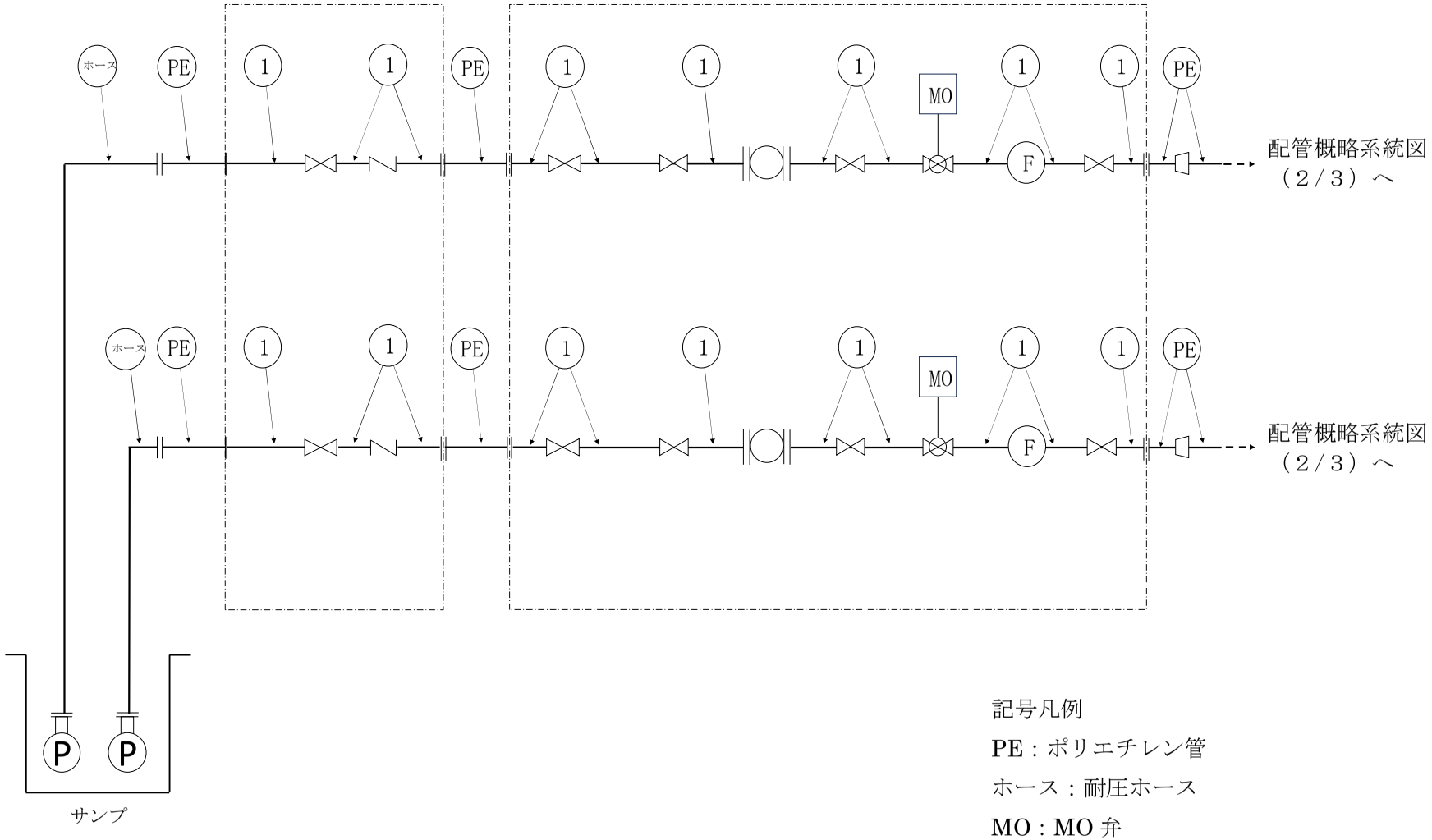
記号凡例
PE：ポリエチレン管
ホース：耐圧ホース
MO：MO 弁
F：流量計
図中の番号は，2.2.2 の番号に対応する。

図－1　配管概略図（1／3）
（PMB）



図－1　配管概略図（2／3）

（PMB）



記号凡例

PE：ポリエチレン管

ホース：耐圧ホース

MO：MO 弁

F：流量計

図中の番号は，2.2.2 の番号に対応する。

図－１　配管概略図（３／３）

(HTI)

2.1.1　評価方法

管に必要な厚さは，次に掲げる値のうち，いずれか大きい方の値とする。

ａ．計算上必要な厚さ：t_1

$$t_1 = \frac{P \cdot D_0}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$$

t_1：必要厚さ（mm）
P　：最高使用圧力（MPa）
D_0：管の外径（mm）
S　：許容引張応力（MPa）
η　：継手効率（-）

ｂ．規格上必要な最小厚さ：t_2

管台の外径に応じて，JSME 規格 表 PPD-3411-1 より求めた管の厚さとする。

2.2.2　評価結果

評価結果を表－１に示す。必要厚さを満足しており，十分な構造強度を有していると評価している。

表－１　主配管の評価結果

評価機器	口径	Sch	材料	最高使用圧力(MPa)	最高使用温度(℃)	必要厚さ(mm)	最小厚さ(mm)
配管①	50A	80	STPT410	0.96	40	2.4	4.81

以上

別紙（４）

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置に係る確認事項

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置に係る主要な確認事項を表－１～６に示す。

表－１　確認事項（滞留水移送ポンプ）

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度・耐震性	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認※1	機器の据付位置，据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
性能	運転性能確認	ポンプの運転確認を行う。	ポンプ出口の流量が 13m³/h 以上であること。※2 また，異音，発煙，異常振動等がないこと。

※1　現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて品質記録を確認する。

※2　設備設置後にポンプ出口での流量を確認することができない場合，工場での確認記録等により十分な流量となることを確認する。

表－２　確認事項（主配管（鋼管））

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した外径／厚さについて記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	配管の据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	①最高使用圧力の1.5倍で一定時間保持後，同圧力に耐えていること，また，耐圧部からの漏えいがないことを確認する。	最高使用圧力の 1.5 倍に耐え，かつ異常のないこと。また，耐圧部からの漏えいがないこと。
		②運転圧力で耐圧部からの漏えいのないことを確認する。	耐圧部から漏えいがないこと。

注１：耐圧・漏えい確認は，①②のいずれかとする。

表－３　確認事項（主配管（ポリエチレン管））

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した外径について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	配管の据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	①最高使用圧力以上で一定時間保持後，同圧力に耐えていること，また，耐圧部からの漏えいがないことを確認する。	最高使用圧力に耐え，かつ異常のないこと。また，耐圧部からの漏えいがないこと。
		②運転圧力で耐圧部からの漏えいのないことを確認する。	耐圧部から漏えいがないこと。

注１：耐圧・漏えい確認は，①②のいずれかとする。

表－４　確認事項（主配管（耐圧ホース））

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認※1	配管の据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	①確認圧力で一定時間保持後，同圧力に耐えていること，また，耐圧部からの漏えいがないことを立会または記録により確認する。	確認圧力に耐え，かつ異常のないこと。また，耐圧部からの漏えいがないこと。
		②運転圧力で耐圧部からの漏えいのないことを確認する。※2	耐圧部から漏えいがないこと。

※１：現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて品質記録を確認する。

※２：運転圧力による耐圧部の漏えい検査が実施できない配管フランジ部については，トルク確認等の代替検査を実施する。

注１：耐圧・漏えい確認は，①②のいずれかとする。

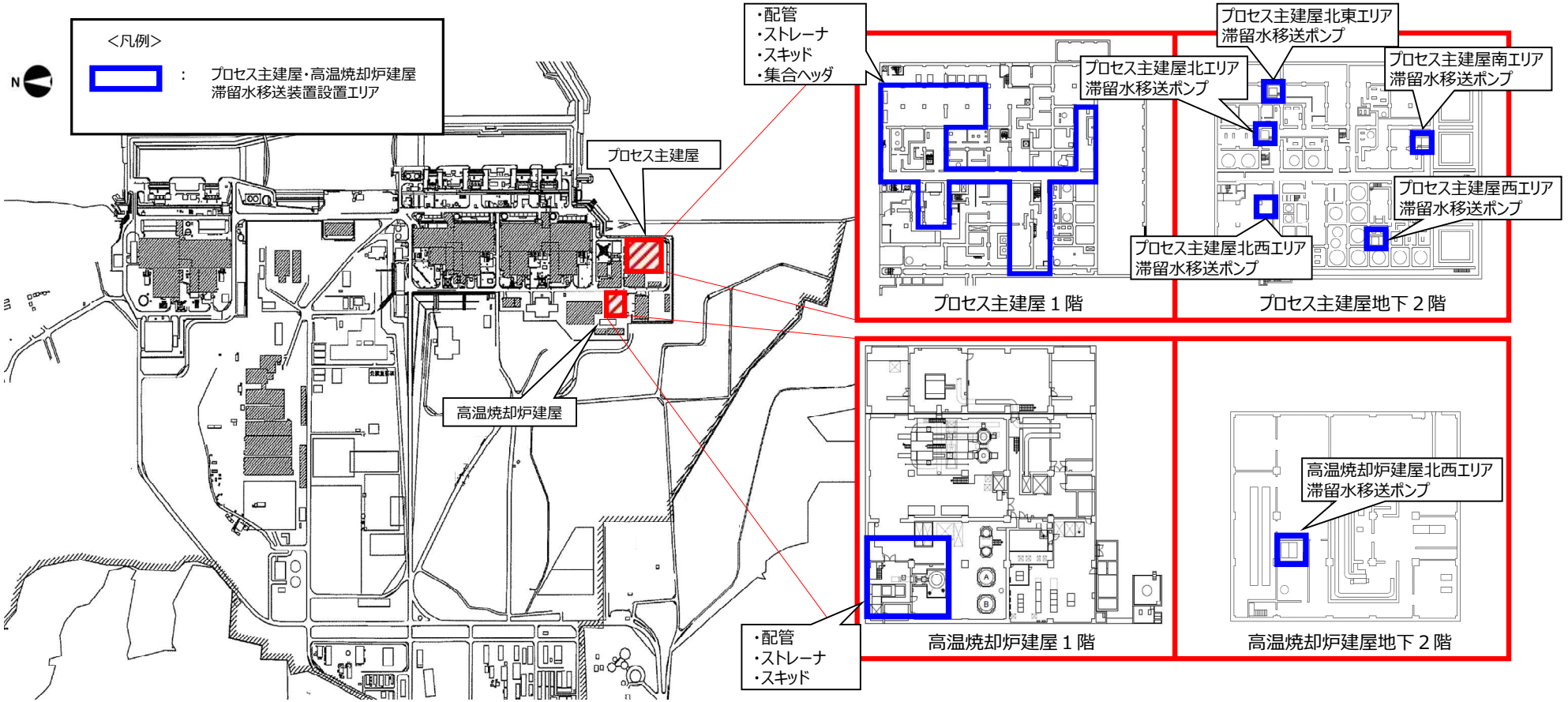
表－５　確認項目（漏えい検出装置及び警報装置）

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	装置の据付位置，据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
機能	漏えい警報確認	漏えいの信号により，警報が発生することを確認する。	漏えいの信号により警報が発生すること。

表－６　確認事項（滞留水移送装置）

確認事項	確認項目	確認内容	判定
性能確認	移送確認	各ポンプから滞留水一時貯留設備までのラインを構成し，ポンプを起動し移送できること。	運転流量で移送先（滞留水一時貯留設備）へ移送できること。

以上



プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置の配置概要



プロセス主建屋１階

N

□ ：サンプ等直上エリア

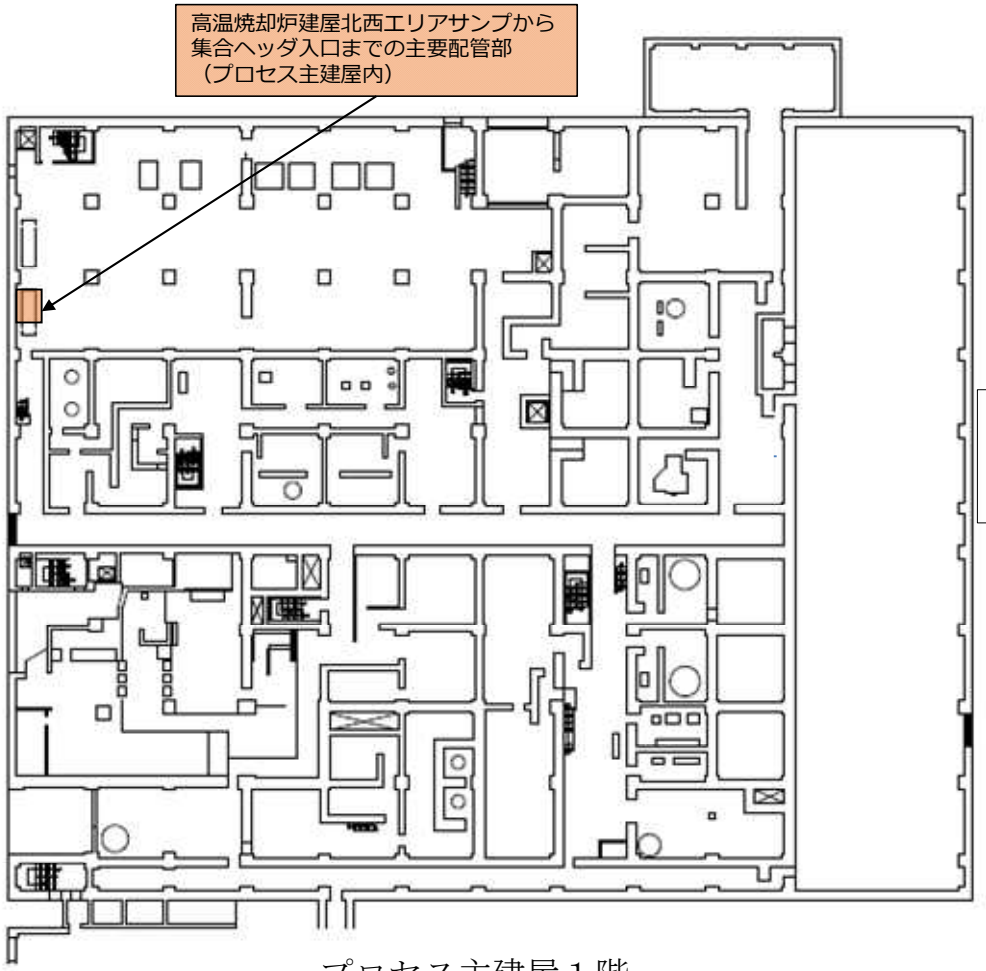
：スキッド①

：スキッド②

：集合ヘッダ

【プロセス主建屋１階エリア】
・集合ヘッダ　Ａ系：１台
・集合ヘッダ　Ｂ系：１台
・北東エリアサンプスキッド①　Ａ系：１台
・北東エリアサンプスキッド①　Ｂ系：１台
・北東エリアサンプスキッド②　Ａ系：１台
・北東エリアサンプスキッド②　Ｂ系：１台
・北エリアサンプスキッド①　Ａ系：１台
・北エリアサンプスキッド①　Ｂ系：１台
・北エリアサンプスキッド②　Ａ系：１台
・北エリアサンプスキッド②　Ｂ系：１台
・北西エリアサンプスキッド①　Ａ系：１台
・北西エリアサンプスキッド①　Ｂ系：１台
・北西エリアサンプスキッド②　Ａ系：１台
・北西エリアサンプスキッド②　Ｂ系：１台
・西エリアサンプスキッド①　Ａ系：１台
・西エリアサンプスキッド①　Ｂ系：１台
・西エリアサンプスキッド②　Ａ系：１台
・西エリアサンプスキッド②　Ｂ系：１台
・南エリアサンプスキッド①　Ａ系：１台
・南エリアサンプスキッド①　Ｂ系：１台
・南エリアサンプスキッド②　Ａ系：１台
・南エリアサンプスキッド②　Ｂ系：１台

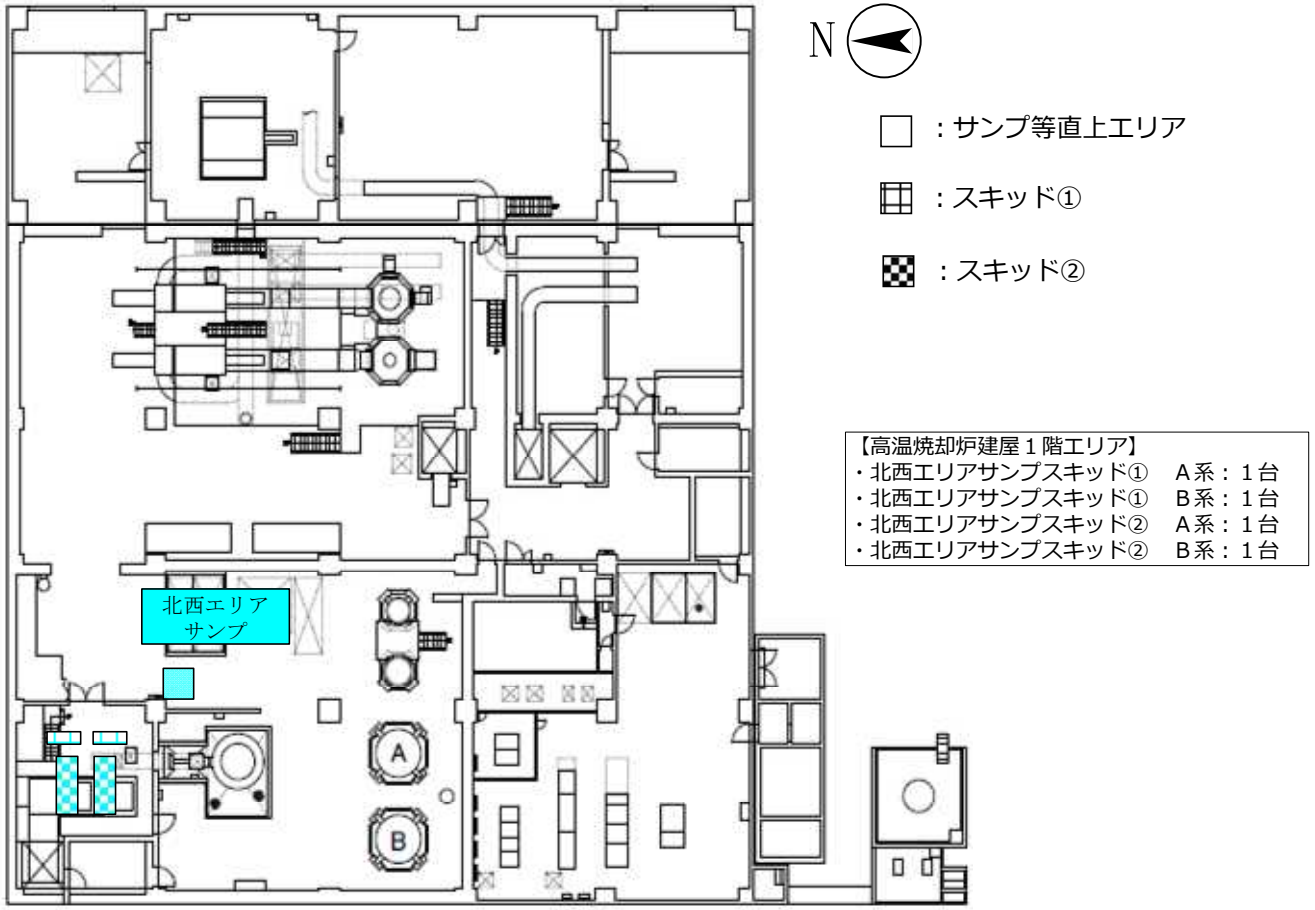
プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置の漏えい検出装置の設置位置（１／４）



【プロセス主建屋１階エリア】
・高温焼却炉建屋北西エリアサンプから集合ヘッダ入口までの主要配管部（プロセス主建屋内）Ａ系：1台
・高温焼却炉建屋北西エリアサンプから集合ヘッダ入口までの主要配管部（プロセス主建屋内）Ｂ系：１台

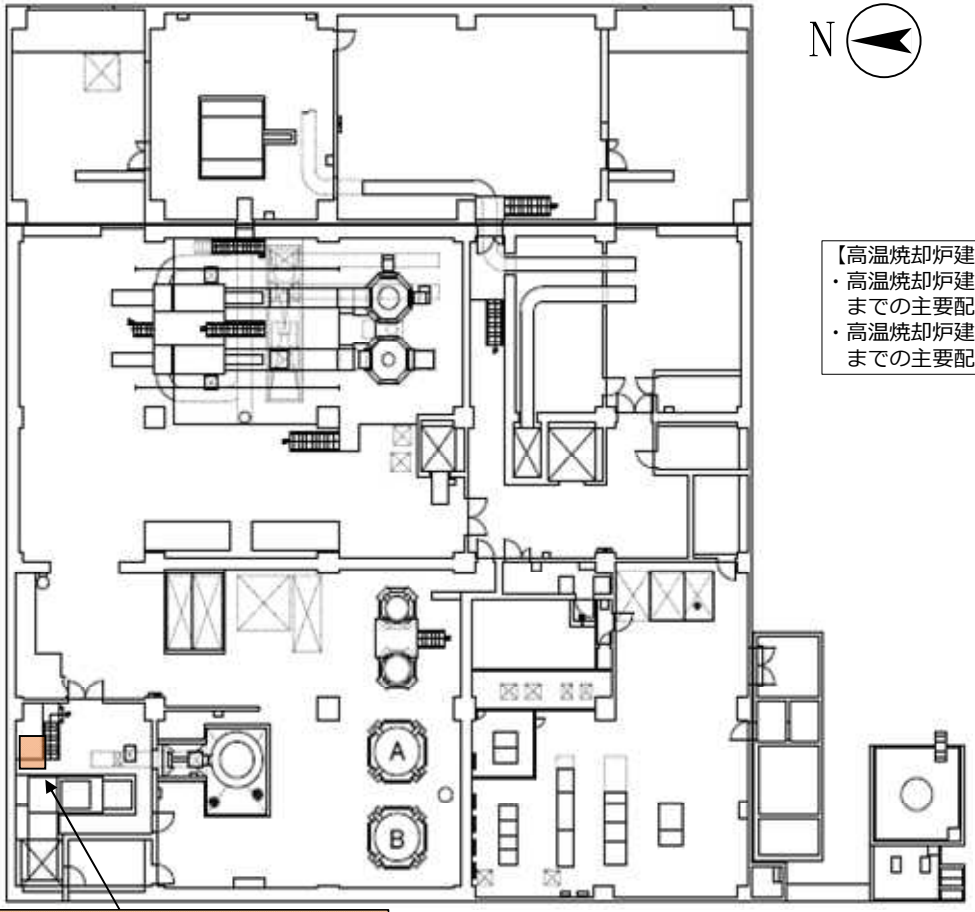
プロセス主建屋１階

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置の漏えい検出装置の設置位置（２／４）



高温焼却炉建屋１階

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置の漏えい検出装置の設置位置（３／４）



【高温焼却炉建屋１階エリア】
・高温焼却炉建屋北西エリアサンプから集合ヘッダ入口までの主要配管部（高温焼却炉建屋内）Ａ系：1台
・高温焼却炉建屋北西エリアサンプから集合ヘッダ入口までの主要配管部（高温焼却炉建屋内）Ｂ系：1台

高温焼却炉建屋１階

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置の漏えい検出装置の設置位置（４／４）

別紙（５）

検査可能性に関する考慮事項

プロセス主建屋，高温焼却炉建屋の滞留水移送装置の設置にあたっては，今後の保全を考慮した設計とする。設備保全の管理については，点検長期計画を作成し，点検計画に基づき，点検を実施していく。

今回設置する機器は使用前検査対象に合わせて，代表的な機器の点検に対する考慮は以下の通り。

(1) ポンプ，弁，水位計

・外観点検，取替，性能検査（ポンプ）

点検や，取替が可能な設計とする。ポンプについては性能検査が可能な設計とする。

(2) 配管

・外観点検

・フランジ点検

フランジ（シール）部のガスケット交換等の点検が実施可能な設計とする。

(3) 漏えい検知器

・外観点検，取替，機能確認

点検や，取替，機能確認が可能な設計とする。

なお，長納期の機器について予備品を確保する。

以上

2.16　放射性液体廃棄物処理施設及び関連施設

2.16.1　多核種除去設備

2.16.1.1　基本設計

2.16.1.1.1　設置の目的

放射性液体廃棄物処理施設及び関連施設は，汚染水処理設備の処理済水に含まれる放射性核種（トリチウムを除く）を十分低い濃度になるまで除去する多核種除去設備，多核種除去設備の処理済水を貯留するタンク，槽類から構成する。

多核種除去設備は，処理済水に含まれる放射性核種（トリチウムを除く）を『東京電力株式会社福島第一原子力原子炉施設の保安及び特定核燃料物質の防護に関して必要な事項を定める告示』に定める周辺監視区域外の水中の濃度限度（以下,「告示濃度限度」という。）を下回る濃度まで低減する。

なお，多核種除去設備の性能を確認する試験（以下,「確認試験」という。）において，多核種除去設備が上記性能を有する設備であることについて確認した。

2.16.1.1.2　要求される機能

(1)　発生する液体状の放射性物質の量を上回る処理能力を有すること。

(2)　発生する液体状の放射性物質について適切な方法によって，処理，貯留，減衰，管理等を行い，放射性物質等の濃度及び量を適切な値に低減する能力を有すること。

(3)　放射性液体廃棄物が漏えいし難いこと。

(4)　漏えい防止機能を有すること。

(5)　放射性液体廃棄物が，万一，機器・配管等から漏えいした場合においても，施設からの漏えいを防止でき，又は敷地外への管理されない放出に適切に対応できる機能を有すること。

(6)　施設内で発生する気体状及び固体状の放射性物質及び可燃性ガスの検出，管理及び処理が適切に行える機能を有すること。

2.16.1.1.3　設計方針

(1)　放射性物質の濃度及び量の低減

多核種除去設備は，汚染水処理設備で処理した水を，ろ過，凝集沈殿，イオン交換等により周辺環境に対して，放射性物質の濃度及び量を合理的に達成できる限り低くする設計とする。

(2)　処理能力

多核種除去設備は，滞留水の発生原因となっている雨水，地下水の建屋への流入量を上回る処理容量とする。

(3)　材料

多核種除去設備の機器等は，処理対象水の性状を考慮し，適切な材料を用いた設計とする。

(4)　放射性物質の漏えい防止及び管理されない放出の防止

多核種除去設備の機器等は，液体状の放射性物質の漏えい防止及び敷地外への管理されない放出を防止するため，次の各項を考慮した設計とする。

a.　漏えいの発生を防止するため，機器等には適切な材料を使用するとともに，タンク水位の検出器，インターロック回路等を設ける。

b.　液体状の放射性物質が漏えいした場合は，漏えいの早期検出を可能にするとともに，漏えい液体の除去を容易に行えるようにする。

c.　タンク水位，漏えい検知等の警報については，免震重要棟集中監視室及びシールド中央制御室等に表示し，異常を確実に運転員に伝え適切な措置をとれるようにし，これを監視できるようにする。

d.　多核種除去設備の機器等は，可能な限り周辺に堰を設けた区画内に設け，漏えいの拡大を防止する。また，処理対象水の移送配管類は，万一，漏えいしても排水路を通じて環境に放出することがないように，排水路から可能な限り離隔するとともに，排水路を跨ぐ箇所はボックス鋼内等に配管を敷設する。さらに，ボックス鋼端部から排水路に漏えい水が直接流入しないように土のうを設ける。

(5)　被ばく低減

多核種除去設備は，遮へい，機器の配置等により被ばくの低減を考慮した設計とする。

(6)　可燃性ガスの管理

多核種除去設備は，水の放射線分解により発生する可燃性ガスを適切に排出できる設計とする。また，排出する可燃性ガスに放射性物質が含まれる可能性がある場合には，適切に除去する設計とする。

(7)　健全性に対する考慮

放射性液体廃棄物処理施設及び関連施設は，機器の重要度に応じた有効な保全が可能な設計とする。

2.16.1.1.4　供用期間中に確認する項目

多核種除去設備処理済水に含まれる除去対象の放射性核種濃度（トリチウムを除く）が告示濃度限度未満であること。

2.16.1.1.5　主要な機器

多核種除去設備は，３系列から構成し，各系列は前処理設備と多核種除去装置で構成する。さらに共通設備として，前処理設備から発生する沈殿処理生成物及び放射性核種を吸着した吸着材を収容して貯蔵する高性能容器，薬品を供給するための薬品供給設備，処理済水のサンプリング，多核種処理水タンクへ移送する多核種移送設備，多核種除去設備の運転監視を行う監視制御装置，電源を供給する電源設備等で構成する。なお，２系列運転で定格処理容量を確保するが，RO 濃縮塩水の処理を早期に完了させる観点から，３系列同時運転も可能な構成とする。また，装置の処理能力を確認するための試料採取が可能な設備とする。

多核種除去設備は電源が喪失した場合，系統が隔離されるため，電源喪失による設備から外部への漏えいが発生することはない。

多核種除去設備の主要な機器は免震重要棟集中監視室またはシールド中央制御室の監視・制御装置により遠隔操作及び運転状況の監視を行う。また，多核種除去設備の設置エリアには放射線レベル上昇が確認できるようエリア放射線モニタを設置し監視を行う。監視・制御装置は，故障により各設備の誤動作を引き起こさない構成とする。更に，運転員の誤操作，誤判断を防止するため，装置毎に配置する等の配慮を行うとともに，特に重要な装置の緊急停止操作についてはダブルアクションを要する等の設計とする。

多核種除去設備で処理された水は，処理済水貯留用タンク・槽類で貯留する。処理済水貯留用タンク・槽類に貯留した水のうち，トリチウムを除く放射性核種の告示濃度比総和 1 以上の水（以下，処理途上水という。）は，移送配管を用いて RO 濃縮水貯槽へ移送し，その後，多核種除去設備，増設多核種除去設備または高性能多核種除去設備を用いて，再浄化（以下，二次処理という。）を行う。

(1) 多核種除去設備

a.　前処理設備

前処理設備は，アルファ核種，コバルト 60，マンガン 54 等の除去を行う鉄共沈処理設備及び吸着阻害イオン（マグネシウム，カルシウム等）の除去を行う炭酸塩沈殿処理設備で構成する。

鉄共沈処理は，後段の多核種除去装置での吸着材の吸着阻害要因となる除去対象核種の錯体を次亜塩素酸により分解すること及び処理対象水中に存在するアルファ核種を水酸化鉄により共沈させ除去することを目的とし，次亜塩素酸ソーダ，塩化第二鉄を添加した後，pH 調整のために苛性ソーダを添加して水酸化鉄を生成させ，さらに凝集剤と

してポリマーを投入する。

また，炭酸塩沈殿処理は，多核種除去装置での吸着材によるストロンチウムの除去を阻害するマグネシウム，カルシウム等の２価の金属を炭酸塩により除去することを目的とし，炭酸ソーダと苛性ソーダを添加し，２価の金属の炭酸塩を生成させる。

沈殿処理等により生成された生成物は，クロスフローフィルタにより濃縮し，高性能容器に排出する。

b.　多核種除去装置

多核種除去装置は，１系列あたり１６基の吸着塔及び２基の処理カラムで構成する。

多核種除去装置は，除去対象核種に応じて吸着塔，処理カラムに収容する吸着材（活性炭，キレート樹脂等）の種類が異なっており，処理対象水に含まれるコロイド状及びイオン状の放射性核種を分離・吸着処理する機能を有する。また，吸着塔，処理カラムに収容する吸着材の構成は，処理対象水の性状に応じて変更する。

吸着塔に含まれる吸着材は，所定の容量を通水した後，高性能容器へ排出する。また，処理カラムに含まれる吸着材は，所定の容量を通水した後，処理カラムごと交換する。吸着材を収容した高性能容器は使用済セシウム吸着塔一時保管施設にて，使用済みの処理カラムは，使用済セシウム吸着塔一時保管施設あるいは大型廃棄物保管庫にて貯蔵する。なお，使用済みの処理カラムは一年あたり６体程度発生する。

c.　高性能容器（HIC；High Integrity Container）

高性能容器は使用済みの吸着材，沈殿処理生成物を貯蔵する。

使用済みの吸着材は，収容効率を高めるために脱水装置（SEDS；Self-Engaging Dewatering System）により脱水処理される。

沈殿処理生成物の高性能容器への移送は自動制御で行い，使用済みの吸着材の移送は手動操作によって行う。なお，使用済み吸着材の移送は現場で輸送状況を確認し操作する。高性能容器内の貯蔵量は，水位センサにて監視する。

交換した使用済みの高性能容器は，使用済セシウム吸着塔一時保管施設で貯蔵する。一時保管施設における貯蔵期間（約２０年間）においては，高性能容器の健全性は維持されるものと評価している。なお，使用済みの高性能容器は，３系列同時運転において，一年あたりタイプ１の場合において 733 体程度発生し，タイプ２の場合において 803 体程度発生する。

高性能容器取扱い時に落下による漏えいを発生させないよう高性能容器への補強体等を取り付ける。

d.　薬品供給設備

薬品供給設備は，各添加薬液に対してそれぞれタンクを有し，沈殿処理や pH 調整のた

め，ポンプにより薬品を前処理設備や多核種除去装置に供給する。添加する薬品は，次亜塩素酸ソーダ，苛性ソーダ，炭酸ソーダ，塩酸，塩化第二鉄，ポリマーである。

何れも不燃性であり，装置内での反応熱，反応ガスも有意には発生しない。

e.　電源設備

電源は，異なる２系統の所内高圧母線から受電できる構成とする。なお，電源が喪失した場合でも，設備からの外部への漏えいは発生することはない。

f.　橋形クレーン

高性能容器，処理カラムを取り扱うための橋形クレーンを２基設ける。

g．多核種移送設備

多核種移送設備は，多核種除去設備で処理された水を採取し，分析後の水を処理済水貯留用のタンクに移送するための設備で，サンプルタンク，多核種除去設備用処理済み水移送ポンプおよび移送配管で構成する。

また，『2.16.1　多核種除去設備』で処理された水は，移送配管を通じて『2.16.2　増設多核種除去設備』のサンプルタンク（増設多核種除去設備用処理済水一時貯留タンク）または『2.16.3　高性能多核種除去設備』のサンプルタンク（高性能多核種除去設備用処理済水一時貯留タンク）に移送することも可能な構成とする。

(2) 多核種除去設備関連施設

a.　処理済水貯留用タンク・槽類

処理済水貯留用タンク・槽類は，多核種除去設備の処理済水を貯留する。

タンク・槽類は，鋼製の円筒形タンクを使用する。

2.16.1.1.6　自然災害対策等

(1)　津波

多核種除去設備及び関連施設は，アウターライズ津波が到達しないと考えられる T.P. 約 28m 以上の場所に設置する。

(2)　台風

台風による設備の損傷を防止するため，上屋外装材は建築基準法施行令に基づく風荷重に対して設計している。

(3)　積雪

積雪による設備の損傷を防止するため，上屋外装材は建築基準法施行令および福島県建

築基準法施行規則細則に基づく積雪荷重に対して設計している。

(4) 落雷

接地網を設け，落雷による損傷を防止する。

(5) 竜巻

竜巻の発生の可能性が予見される場合は，設備の停止・隔離弁の閉止操作等を行い，汚染水の拡大防止を図る。また，車両などの飛来物によって，設備を破壊させることがないよう，車両を設備から遠ざける措置をとる。

(6) 火災

火災発生を防止するため，実用上可能な限り不燃性又は難燃性材料を使用する。また，火災検知性を向上させるため，消防法基準に準拠した火災検出設備を設置するとともに，初期消火のために近傍に消火器を設置する。さらに，避難時における誘導用のために誘導灯を設置する。

2.16.1.1.7 構造強度及び耐震性

(1) 構造強度

多核種除去設備等を構成する機器は，「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則（平成２５年６月２８日原子力規制委員会規則第６号）」において，廃棄物処理設備に相当するクラス３機器と位置付けられる。この適用規格は，「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格　設計・建設規格」（以下，「設計・建設規格」という。）で規定される。ただし，増設する吸着塔 15，16 を除き，福島第一原子力発電所構内の作業環境，機器等の設置環境等が通常時と大幅に異なっているため，設計・建設規格の要求を全て満足して設計・製作・検査を行うことは困難である。

このため，設備の健全性は，製品の試験データ，材料納品書，管理要領，作業記録，耐圧漏えい試験又は運転圧力による漏えい試験等の結果により確認している。

具体的には，国内製作機器については， JIS 等の規格に適合した一般産業品の機器等や，設計・建設規格に定める材料と同等の信頼性を有する材料等を採用する。

なお，材料調達性の観点から，JSME 規格で規定される材料の日本産業規格(JIS)年度指定を考慮しない場合は，技術的妥当性を確認する。

また，耐圧試験については，最高使用圧力以上の耐圧試験，気圧による漏えい試験，運転圧力による漏えい試験又は機器製造メーカの規定による耐圧漏えい試験等の実施により，設備の健全性を確認する。溶接部については，溶接施工会社の管理要領や実施した施工法，施工者の資格，系統機能試験等による漏えい等の異常がないことの確認により，溶接部の健全性を確認するとともに，非破壊検査や耐圧漏えい検査の要求のある機

器の一部溶接部では，外観検査等により溶接部に有意な欠陥等ないことをもって健全性を確認している。

なお，増設する吸着塔 15，16 は，設計・建設規格のクラス３機器に準じた設計とする。

海外製作機器については，「欧州統一規格（European Norm）」（以下，「EN 規格」という。），仏国圧力容器規格（以下，CODAP という。）等の海外規格に準拠した材料検査，耐圧漏えい検査等の結果により，健全性を確認している。クラス 3 機器に該当しない機器（耐圧ホース，ポリエチレン管等）については，日本産業規格（JIS），日本水道協会規格または ISO 規格等の適合品または，製品の試験データ等により健全性を確認している。

なお，構造強度に関連して経年劣化の影響を評価する観点から，原子力発電所での使用実績がない材料を使用する場合は，他産業での使用実績等を活用しつつ，必要に応じて試験等を行うことで，経年劣化の影響についての評価を行う。なお，試験等の実施が困難な場合にあっては，巡視点検等による状態監視を行うことで，健全性を確保する。

(2) 耐震性

多核種除去設備等を構成する機器のうち放射性物質を内包するものは，2021 年 9 月 8 日の原子力規制委員会で示された耐震設計の考え方を踏まえ，その安全機能の重要度，地震によって機能の喪失を起こした場合の安全上の影響（公衆への被ばく影響）や廃炉活動への影響等を考慮した上で，核燃料物質を非密封で扱う燃料加工施設や使用施設等における耐震クラス分類を参考にして適切な耐震設計上の区分を行うとともに，適切と考えられる設計用地震力に耐えられる設計とする。

ただし，2021 年 9 月 8 日以前に認可された機器については，「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」を参考にして耐震クラスを分類している。

耐震性を評価するにあたっては，「JEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規程」等に準拠する。要求される地震力に対して耐震性を確保できない場合は，その影響について評価を行う。

2.16.1.1.8　機器の故障への対応

(1) 機器の単一故障

多核種除去設備は，３つの処理系列を有し，電源についても多重化している。そのため，動的機器，電源系統の単一故障については，処理系列の切替作業等により，速やかな処理の再開が可能である。

(2) 除染能力の低下

放射性核種の濃度測定の結果，有意な濃度が確認された場合には，処理済水を再度多核種除去設備に戻す再循環処理を実施する。

(3) 高性能容器の落下

高性能容器については，多核種除去設備での運用を考慮した高さから落下しても容器の健全性に問題ないことが確認されているものを使用する。

また，万一の容器落下破損による漏えい時の対応として，回収作業に必要な吸引車等を配備し，吸引車を操作するために必要な要員を確保する。また，漏えい回収訓練及び吸引車の点検を定期的に行う。

2.16.1.2　基本仕様

2.16.1.2.1　主要仕様

(1)　多核種除去設備

処理方式　　凝集沈殿方式＋吸着材方式

処理容量・処理系列　　250m^3/日/系列×3 系列

(2)　バッチ処理タンク

名称			バッチ処理タンク
種類		－	たて置円筒形
容量		m^3/個	33.1
最高使用圧力		MPa	静水頭
最高使用温度		℃	60
主要寸法	胴内径	mm	3100
	胴板厚さ	mm	9
	下部鏡板厚さ	mm	9
	高さ	mm	6100
材料	胴板	－	SUS316L・内面ゴムライニング
	下部鏡板	－	SUS316L・内面ゴムライニング
個数		個	2（1 系列あたり）

(3)　スラリー移送ポンプ(完成品)

台　　数　　1 台（1 系列あたり）

容　　量　　36 m^3/h

(4) 循環タンク

名称			循環タンク
種類		―	たて置円筒形
容量		m^3/個	5.87
最高使用圧力		MPa	静水頭
最高使用温度		℃	60
主要寸法	胴内径	mm	1850
	胴板厚さ	mm	9
	下部鏡板厚さ	mm	9
	高さ	mm	3650
材料	胴板	―	SUS316L
	下部鏡板	―	SUS316L
個数		個	1（1系列あたり）

(5) 循環ポンプ1（完成品）

台　　数　　1台（1系列あたり）

容　　量　　191 m^3/h

(6) デカントポンプ（完成品）

台　　数　　1台（1系列あたり）

容　　量　　120 m^3/h

(7) デカントタンク

名称			デカントタンク
種類		―	たて置円筒形
容量		m^3/個	35.57
最高使用圧力		MPa	静水頭
最高使用温度		℃	60
主要寸法	胴内径	mm	3100
	胴板厚さ	mm	9
	下部鏡板厚さ	mm	9
	高さ	mm	5979
材料	胴板	―	SS400・内面ゴムライニング
	下部鏡板	―	SS400・内面ゴムライニング
個数		個	1（1系列あたり）

(8) 供給ポンプ1（完成品）

台　　数　　1台（1系列あたり）

容　　量　　12.5 m^3/h

(9) 共沈タンク

名称			共沈タンク
種類		－	たて置円筒形
容量		m^3/個	3.42
最高使用圧力		MPa	静水頭
最高使用温度		℃	60
主要寸法	胴内径	mm	1400
	胴板厚さ	mm	6
	下部鏡板厚さ	mm	6
	高さ	mm	3921
材料	胴板	－	SS400・内面ゴムライニング
	下部鏡板	－	SS400・内面ゴムライニング
個数		個	1（1系列あたり）

(10) 供給タンク

名称			供給タンク
種類		－	たて置円筒形
容量		m^3/個	3.69
最高使用圧力		MPa	静水頭
最高使用温度		℃	60
主要寸法	胴内径	mm	1400
	胴板厚さ	mm	6
	下部鏡板厚さ	mm	6
	高さ	mm	3646
材料	胴板	－	SS400・内面ゴムライニング
	下部鏡板	－	SS400・内面ゴムライニング
個数		個	1（1系列あたり）

(11) 供給ポンプ2（完成品）

台　　数　　1台（1系列あたり）

容　　量　　12.5 m^3/h

(12) 循環ポンプ 2（完成品）

台　　数　　1 台（1 系列あたり）

容　　量　　313 m^3/h

(13) 吸着塔入口バッファタンク

名称			吸着塔入口バッファタンク
種類		－	たて置円筒形
容量		m^3/個	6.52
最高使用圧力		MPa	静水頭
最高使用温度		℃	60
主要寸法	胴内径	mm	1500
	胴板厚さ	mm	9
	底板厚さ	mm	25
	高さ	mm	4135
材料	胴板	－	SUS316L
	底板	－	SUS316L
個数		個	1（1 系列あたり）

(14) ブースターポンプ 1（完成品）

台　　数　　1 台（1 系列あたり）

容　　量　　12.5 m^3/h

(15) ブースターポンプ 2（完成品）

台　　数　　1 台（1 系列あたり）

容　　量　　12.5 m^3/h

(16) 吸着塔 1～14

名称			吸着塔 1～14
種類		－	たて置円筒形
容量		m^3/個	1
最高使用圧力		MPa	1.37
最高使用温度		℃	60
主要寸法	胴内径	mm	1054
	胴板厚さ	mm	18
	上部鏡板厚さ	mm	20
	下部鏡板厚さ	mm	20
	高さ	mm	2046
材料	胴板	－	SUS316L
	上部鏡板	－	SUS316L
	下部鏡板	－	SUS316L
個数		基	14（1 系列あたり）

(17) 吸着塔 15,16

名　　称			吸着塔 15,16
種　　類		－	たて置円筒形
容　　量		m^3/個	1
最高使用圧力		MPa	0.70
最高使用温度		℃	60
主要寸法	胴　内　径	mm	890.4
	胴板厚さ	mm	12
	平板厚さ（蓋）	mm	55
	平板厚さ（底）	mm	60
	高　さ	mm	3209
材料	胴　板	－	SM490A・内面ゴムライニング
	平　板（蓋）	－	SM490A・内面ゴムライニング
	平　板（底）	－	SM490A・内面ゴムライニング
	胴フランジ	－	SM490A・内面ゴムライニング
個　　数		基	2（1 系列あたり）

(18) 処理カラム

名称			処理カラム
種類		―	たて置円筒形
容量		m^3/個	3
最高使用圧力		MPa	1.37
最高使用温度		℃	60
主要寸法	胴内径	mm	1354
	胴板厚さ	mm	20
	上部鏡板厚さ	mm	22
	下部鏡板厚さ	mm	22
	高さ	mm	2667
材料	胴板	―	SUS316L
	上部鏡板	―	SUS316L
	下部鏡板	―	SUS316L
個数		基	2（1系列あたり）

(19) 移送タンク

名称			移送タンク
種類		―	たて置円筒形
容量		m^3/個	4.12
最高使用圧力		MPa	静水頭
最高使用温度		℃	60
主要寸法	胴内径	mm	1400
	胴板厚さ	mm	6
	底板厚さ	mm	16
	高さ	mm	3006
材料	胴板	―	SS400・内面ゴムライニング
	底板	―	SS400・内面ゴムライニング
個数		個	1（1系列あたり）

(20) 移送ポンプ（完成品）

台　　数　　1台（1系列あたり）

容　　量　　12.5 m^3/h

(21) 前段クロスフローフィルタ（完成品）

台　　数　　2台（1系列あたり）

(22) 後段クロスフローフィルタ（完成品）

最高使用圧力		MPa	0.98
最高使用温度		℃	60
主要寸法	外径	mm	340
	高さ	mm	1126
材料		－	1.4404（海外製品） SUS316L（国内製品）
台数（1系列あたり）		台	6

(23) 出口フィルタ（完成品）

台　　数　　1台（1系列あたり）

(24) 高性能容器（タイプ1）（完成品）

基　　数　　12基（多核種除去設備での設置台数）

容　　量　　2.86 m^3

(25) 高性能容器（タイプ2）（完成品）

基　　数　　12基（多核種除去設備での設置台数）

容　　量　　2.61 m^3

(26) 苛性ソーダ貯槽（完成品）

名称			苛性ソーダ貯槽
種類		－	たて置円筒形
容量		m^3/個	15
最高使用圧力		MPa	静水頭
最高使用温度		℃	40
主要寸法	胴外径	mm	2610
	胴板厚さ	mm	18
	高さ	mm	3315
材料	胴板	－	ポリエチレン
	底板	－	ポリエチレン
個数		個	1

(27)　炭酸ソーダ貯槽（完成品）

名称			炭酸ソーダ貯槽
種類		－	たて置円筒形
容量		m^3/個	50
最高使用圧力		MPa	静水頭
最高使用温度		℃	40
主要寸法	胴外径	mm	3315
	胴板厚さ	mm	17
	高さ	mm	6200
材料	胴板	－	ポリエチレン
	底板	－	ポリエチレン
個数		個	2

(28)　次亜塩素酸ソーダ貯槽（完成品）

名称			次亜塩素酸ソーダ貯槽
種類		－	たて置円筒形
容量		m^3/個	3
最高使用圧力		MPa	静水頭
最高使用温度		℃	40
主要寸法	胴外径	mm	1620
	胴板厚さ	mm	7
	高さ	mm	1650
材料	胴板	－	ポリエチレン
	底板	－	ポリエチレン
個数		個	1

(29)　塩酸貯槽（完成品）

名称			塩酸貯槽
種類		―	たて置円筒形
容量		m^3/個	30
最高使用圧力		MPa	静水頭
最高使用温度		℃	40
主要寸法	胴外径	mm	2905
	胴板厚さ	mm	14
	高さ	mm	4985
材料	胴板	―	ポリエチレン
	底板	―	ポリエチレン
個数		個	1

(30)　塩化第二鉄貯槽（完成品）

名称			塩化第二鉄貯槽
種類		―	たて置円筒形
容量		m^3/個	4
最高使用圧力		MPa	静水頭
最高使用温度		℃	40
主要寸法	胴外径	mm	1815
	胴板厚さ	mm	6.5
	高さ	mm	1815
材料	胴板	―	ポリエチレン
	底板	―	ポリエチレン
個数		個	1

(31)　サンプルタンク

名称			サンプルタンク
種類		―	たて置円筒形
容量		m^3/個	1100
最高使用圧力		MPa	静水頭
最高使用温度		℃	40
主要寸法	胴内径	mm	12000
	胴板厚さ	mm	12
	底板厚さ	mm	16
	高さ	mm	10822
材料	胴板	―	SS400
	底板	―	SS400
個数		個	4

(32)　処理済水移送ポンプ

台　　数　　2台

容　　量　　40 m^3/h

(33)　炭酸ソーダ供給ポンプ（完成品）

台　　数　　3台

容　　量　　0.2 m^3/h

(34) 配管

主要配管仕様（１／４）

名　称	仕　様	
ＲＯ濃縮水移送ポンプ配管分岐部から多核種除去設備入口まで（ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 1.15MPa 1.0MPa 0.98MPa 40℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.80 100A/Sch.80 STPG370 1.15MPa 40℃
多核種除去設備入口からブースターポンプ１まで（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.80 STPG370 0.98MPa 60℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	25A/Sch.40 32A/Sch.40 50A/Sch.40 65A/Sch.40 100A/Sch.40 125A/Sch.40 150A/Sch.40 200A/Sch.40 250A/Sch.40 300A/Sch.40 SUS316L 0.98MPa 60℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	200A/Sch.40 100A/Sch.40 KS D 3576 STS 316L 0.98MPa 60℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.40 SUS316L 1.37MPa 60℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.40 SUS316L 静水頭 60℃
（耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当 EPDM 0.98MPa 60℃
（耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	150A 相当 EPDM 静水頭 60℃

主要配管仕様（２／４）

名　称	仕　様	
ブースターポンプ１から 移送タンクまで （鋼管）	呼び径／厚さ	32A/Sch.40 50A/Sch.40 80A/Sch.40
	材質	SUS316L
	最高使用圧力	1.37MPa
	最高使用温度	60℃
（鋼管）	呼び径／厚さ	50A/Sch.40
	材質	SUS316L
	最高使用圧力	0.7MPa
	最高使用温度	60℃
（鋼管）	呼び径／厚さ	50A/Sch.40 100A/Sch.40
	材質	STPG370+ﾗｲﾆﾝｸﾞ
	最高使用圧力	0.7MPa
	最高使用温度	60℃
（耐圧ホース）	呼び径	50A 相当
	材質	EPDM
	最高使用圧力	1.37MPa
	最高使用温度	60℃
移送タンクから 多核種除去設備出口まで （鋼管）	呼び径／厚さ	32A/Sch.40 50A/Sch.40
	材質	SUS316L
	最高使用圧力	1.15MPa
	最高使用温度	60℃
（鋼管）	呼び径／厚さ	50A/Sch.40
	材質	SUS316L
	最高使用圧力	静水頭
	最高使用温度	60℃
（鋼管）	呼び径／厚さ	50A/Sch.80
	材質	STPG370
	最高使用圧力	1.15MPa
	最高使用温度	60℃
（鋼管）	呼び径／厚さ	50A/Sch.80 100A/Sch.80
	材質	STPG370
	最高使用圧力	1.15MPa
	最高使用温度	40℃

主要配管仕様（３／４）

名称	仕様	
多核種除去設備出口から 処理済水貯留用タンク・槽類※1 まで※2 （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 1.0MPa 1.15MPa 40℃
（ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 150A 相当 200A 相当 ポリエチレン 0.98MPa 40℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	150A/Sch.40 100A/Sch.40 SUS316L 0.98MPa 40℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch.40 SUS316L 1.0MPa 40℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	40A/Sch.40 65A/Sch.40 100A/Sch.40 150A/Sch.40 200A/Sch.40 STPG370+ﾗｲﾆﾝｸﾞ 0.98MPa 40℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch.20S SUS316LTP 0.98MPa 40℃
（耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 合成ゴム 0.98MPa 40℃

主要配管仕様（４／４）

名称	仕様	
多核種除去設備用移送ポンプ出口から多核種除去設備入口まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 0.98MPa 40℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	65A/Sch.80 100A/Sch.80 STPG370 1.15MPa 40℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch.40 STPG370+ﾗｲﾆﾝｸﾞ 0.98MPa 40℃
多核種除去設備建屋入口から炭酸ソーダ貯槽まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	65A 相当 ポリエチレン 0.5MPa 60℃
炭酸ソーダ貯槽から共沈タンクまで （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	125A/Sch.40 65A/Sch.40 50A/Sch.40 40A/Sch.40 25A/Sch.40 SUS316L 0.5MPa 40℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	65A/Sch.40 40A/Sch.40 SUS316L 0.5MPa 60℃
（耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	40A 相当 EPDM 0.5MPa 40℃ 60℃
処理済水貯留用タンク・槽類からRO 濃縮水貯槽まで※3 （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 0.98MPa 40℃

※1：多核種処理水貯槽，RO 濃縮水貯槽または Sr 処理水貯槽

※2：K4 エリアタンクへの配管の一部は，「Ⅱ 2.50 ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設」と兼用する。

※3：「Ⅱ 2.16.3 高性能多核種除去設備」と兼用する。

(35)　放射線監視装置

放射線監視装置仕様

項目	仕様
名称	エリア放射線モニタ
基数	2 基
種類	半導体検出器
取付箇所	多核種除去設備設置エリア
計測範囲	10^{-3}mSv/h～10^{1}mSv/h

2.16.1.3 添付資料

添付資料－１：　全体概要図及び系統構成図

添付資料－２：　放射性液体廃棄物処理設備等に関する構造強度及び耐震性等の評価結果

添付資料－３：　多核種除去設備上屋の耐震性に関する検討結果

添付資料－４：　多核種除去設備等の具体的な安全確保策

添付資料－５：　高性能容器の健全性評価

添付資料－６：　除去対象核種の選定

添付資料－７：　高性能容器落下破損時の漏えい物回収作業における被ばく線量評価

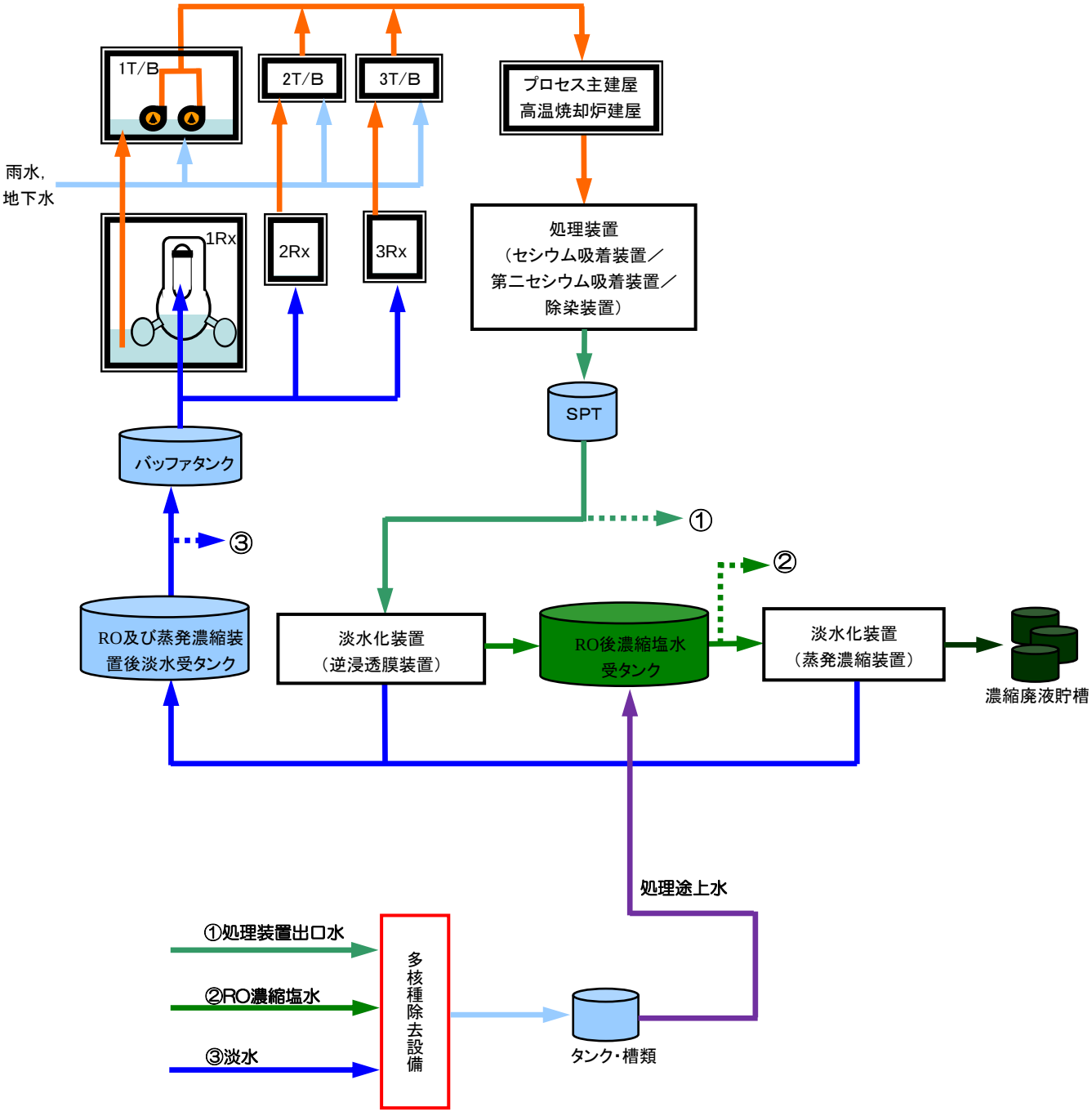
添付資料－８：　放射性液体廃棄物処理施設及び関連施設の試験及び工事計画

添付資料－９：　多核種除去設備に係る確認事項

添付資料－１０：保管中高性能容器内水抜き装置の設置について

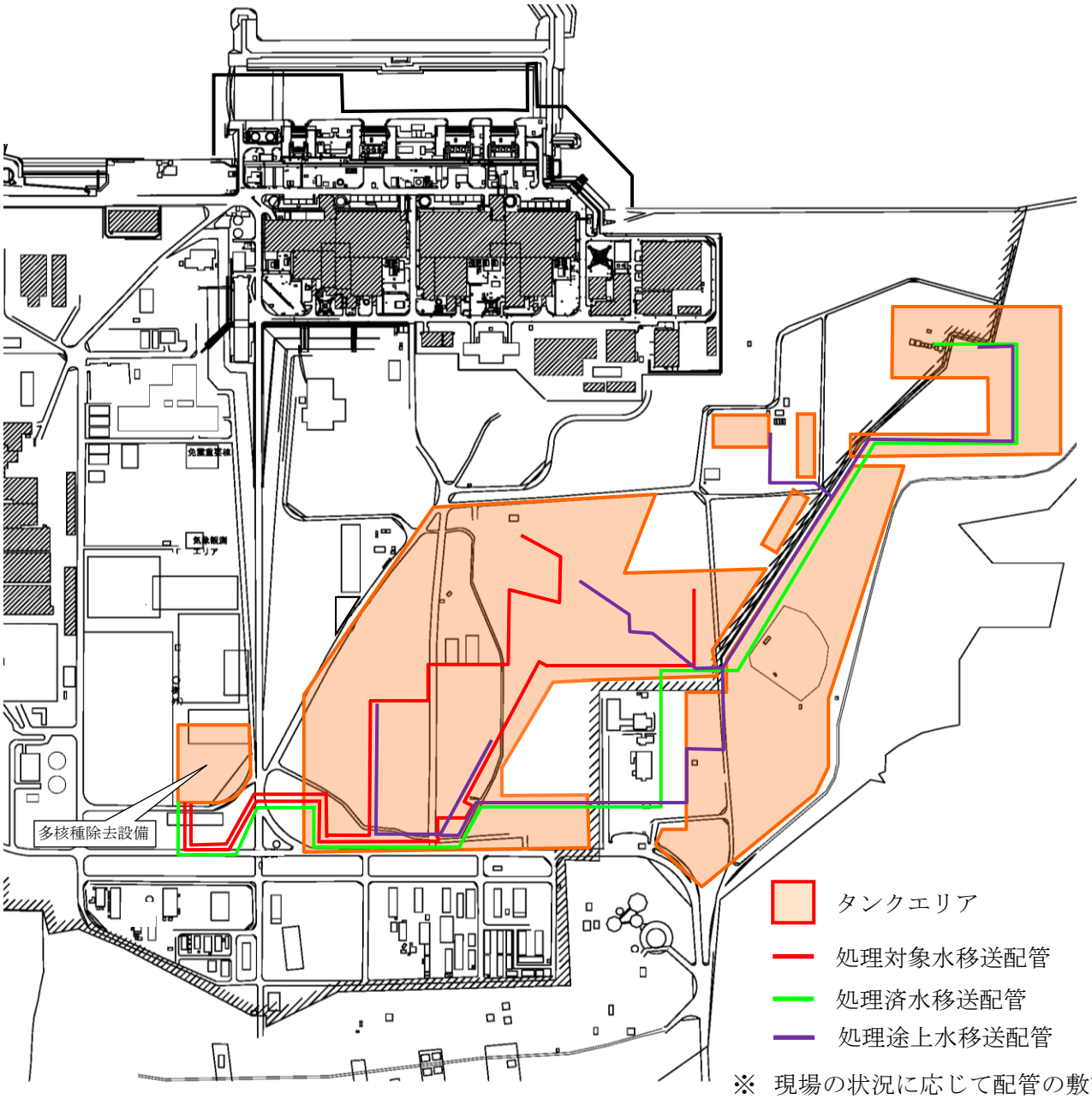
添付資料－１１：多核種除去設備の確認試験結果について

添付資料－１２：処理途上水の二次処理について

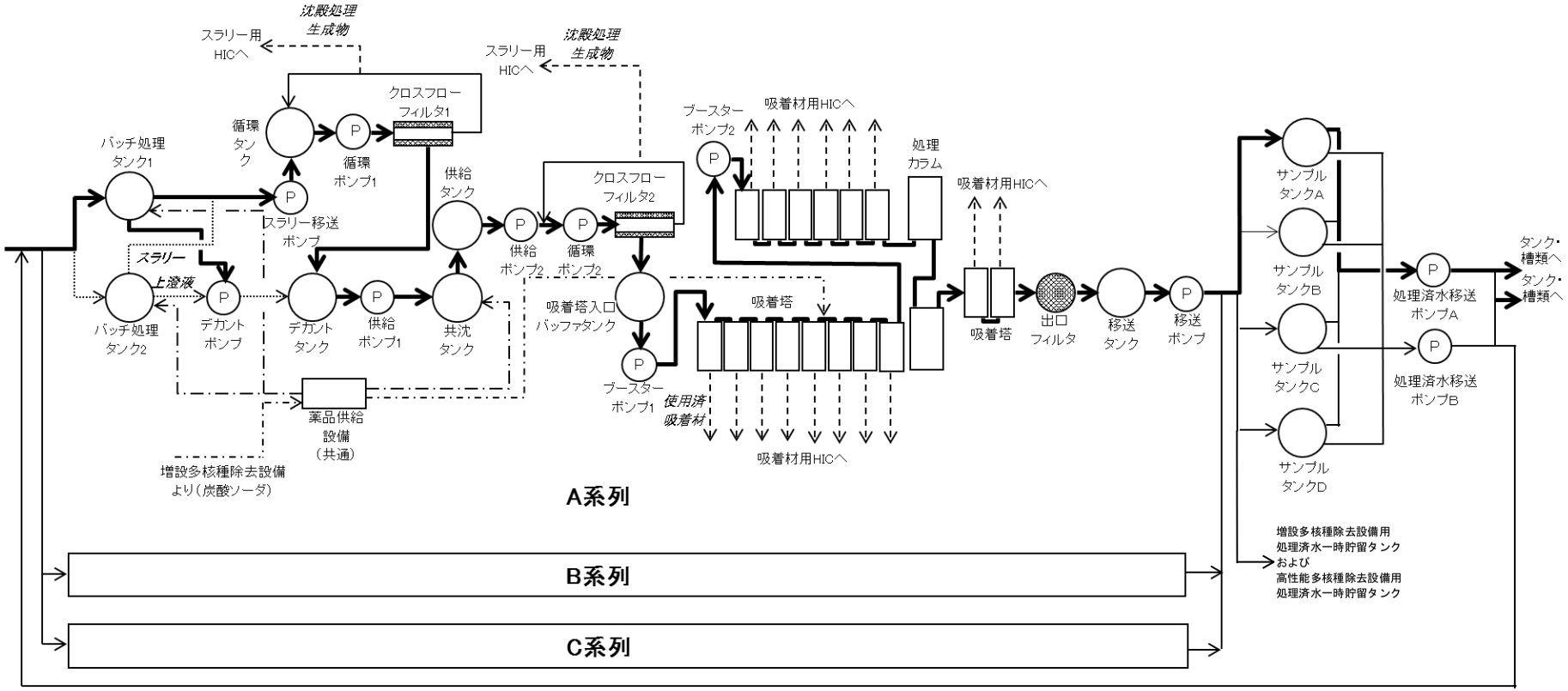


(a)　配置概要

図－１　汚染水処理設備並びに多核種除去設備等の全体概要図



図－２　多核種除去設備の配置概要図



図－３　多核種除去設備の系統構成図

放射性液体廃棄物処理設備等に関する構造強度及び耐震性等の評価結果

放射性液体廃棄物処理設備等を構成する設備について,構造強度評価の基本方針及び耐震性評価の基本方針に基づき構造強度及び耐震性等の評価を行う。

1.1 基本方針

1.1.1 構造強度評価の基本方針

多核種除去設備等を構成する機器は,「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則（平成２５年６月２８日原子力規制委員会規則第６号)」において，廃棄物処理設備に相当するクラス３機器と位置付けられる。この適用規格は,「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格　設計・建設規格」(以下,「設計・建設規格」という。）で規定される。ただし，福島第一原子力発電所構内の作業環境，機器等の設置環境等が通常時と大幅に異なっているため，設計・建設規格の要求を全て満足して設計・製作・検査を行うことは困難である。従って，可能な限り設計・建設規格のクラス３機器相当の設計・製作・検査を行うものの，JIS 等の規格に適合した一般産業品の機器等や，設計・建設規格に定める材料と同等の信頼性を有する材料・施工方法等を採用する。また，溶接部については，系統機能試験等を行い，漏えい等の異常がないことを確認する。

なお，構造強度に関連して経年劣化の影響を評価する観点から，原子力発電所での使用実績がない材料を使用する場合は，他産業での使用実績等を活用しつつ，必要に応じて試験等を行うことで，経年劣化の影響についての評価を行う。なお，試験等の実施が困難な場合にあっては，巡視点検等による状態監視を行うことで，健全性を確保する。

1.1.2 耐震性評価の基本方針

多核種除去設備等を構成する機器のうち放射性物質を内包するものは，2021 年 9 月 8 日の原子力規制委員会で示された耐震設計の考え方を踏まえ，その安全機能の重要度，地震によって機能の喪失を起こした場合の安全上の影響（公衆への被ばく影響）や廃炉活動への影響等を考慮した上で，核燃料物質を非密封で扱う燃料加工施設や使用施設等における耐震クラス分類を参考にして適切な耐震設計上の区分を行うとともに，適切と考えられる設計用地震力に耐えられる設計とする。

ただし，2021 年 9 月 8 日以前に認可された機器については,「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」を参考にして耐震クラスを分類し，参考評価として，基準地震動Ｓｓ相当の水平震度に対して健全性が維持されることを確認している。

耐震性を評価するにあたっては,「JEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規程」等に準拠する。要求される地震力に対して耐震性を確保できない場合は，その影響について評価を行う。

1.2　評価結果

1.2.1　ポンプ類

(1)構造強度評価

ポンプは一般産業品とするため，設計・建設規格の要求には必ずしも適合しない。しかしながら，以下により高い信頼性を確保した。

・公的規格に適合したポンプを選定する。

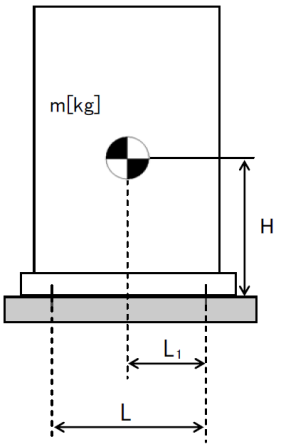
・耐腐食性（塩分対策）を有したポンプを選定する。

・試運転により，有意な変形や漏えい，運転状態に異常がないことを確認する。

(2)耐震性評価

a.基礎ボルトの強度評価

耐震設計技術規程の強度評価方法に準拠して評価を実施した。評価の結果，基礎ボルトの強度が確保されることを確認した（表１）。



L　：　基礎ボルト間の水平方向距離

m　：　機器重量

g　：　重力加速度

H　：　据付面からの重心までの距離

L_1　：　重心と基礎ボルト間の水平方向距離

n_f　：　引張力の作用する基礎ボルトの評価本数

n　：　基礎ボルトの本数

A_b　：　基礎ボルトの軸断面積

C_H　：　水平方向設計震度

C_V　：　鉛直方向設計震度

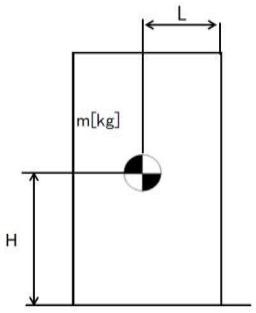
基礎ボルトに作用する引張力：$F_b = \frac{1}{L}\left(m \times g \times C_H \times H - m \times g \times \left(1 - C_V\right) \times L_1\right)$

基礎ボルトの引張応力：$\sigma_b = \frac{F_b}{n_f \times A_b}$

基礎ボルトのせん断応力：$\tau_b = \frac{m \times g \times C_H}{n \times A_b}$

b. 転倒評価

地震による転倒モーメントと自重による安定モーメントを算出し，それらを比較することにより転倒評価を実施した。評価の結果，地震による転倒モーメントは自重による安定モーメントより小さくことから，転倒しないことを確認した。また，地震による転倒モーメント＞自重による安定モーメントとなるものについては，a. での計算により基礎ボルトの強度が確保されることから転倒しないことを確認した(表１)。



C_H ： 水平方向設計震度
m ： 機器重量
g ： 重力加速度
H ： 据付面からの重心までの距離
L ： 転倒支点から機器重心までの距離

地震による転倒モーメント：$M_1 = m \times g \times C_H \times H$

自重による安定モーメント：$M_2 = m \times g \times L$

表１：ポンプ耐震評価結果（１／３）

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
スラリー移送ポンプ	本体	転倒	0.36	3.17×10^{5}	6.71×10^{5}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.36	－	－	MPa
		せん断	0.36	1	139	MPa
循環ポンプ１	本体	転倒	0.36	2.34×10^{6}	4.70×10^{6}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.36	－	－	MPa
		せん断	0.36	4	133	MPa
デカントポンプ	本体	転倒	0.36	6.84×10^{5}	1.32×10^{6}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.36	－	－	MPa
		せん断	0.36	2	139	MPa
供給ポンプ１	本体	転倒	0.36	1.95×10^{5}	4.80×10^{5}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.36	－	－	MPa
		せん断	0.36	1	139	MPa
供給ポンプ２	本体	転倒	0.36	3.28×10^{5}	7.36×10^{5}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.36	－	－	MPa
		せん断	0.36	2	139	MPa
循環ポンプ２	本体	転倒	0.36	2.59×10^{6}	5.21×10^{6}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.36	－	－	MPa
		せん断	0.36	4	133	MPa
ブースターポンプ１	本体	転倒	0.36	4.85×10^{5}	1.02×10^{6}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.36	－	－	MPa
		せん断	0.36	2	139	MPa
ブースターポンプ２	本体	転倒	0.36	4.85×10^{5}	1.02×10^{6}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.36	－	－	MPa
		せん断	0.36	2	139	MPa
処理済水移送ポンプ	本体	転倒	0.36	8.30×10^{5}	1.10×10^{6}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.36	－	－	MPa
		せん断	0.36	2	141	MPa

※引張評価の算出値「－」については，引張応力が作用していない。

表１：ポンプ耐震評価結果（２／３）

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
スラリー移送ポンプ	本体	転倒	0.80	7.04×10^{5}	6.71×10^{5}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.80	1	180	MPa
		せん断	0.80	3	139	MPa
循環ポンプ１	本体	転倒	0.80	5.18×10^{6}	4.70×10^{6}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.80	1	173	MPa
		せん断	0.80	8	133	MPa
デカントポンプ	本体	転倒	0.80	1.52×10^{6}	1.32×10^{6}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.80	1	180	MPa
		せん断	0.80	5	139	MPa
供給ポンプ１	本体	転倒	0.80	4.33×10^{5}	4.80×10^{5}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.80	－	－	MPa
		せん断	0.80	2	139	MPa
供給ポンプ２	本体	転倒	0.80	7.29×10^{5}	7.36×10^{5}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.80	－	－	MPa
		せん断	0.80	3	139	MPa
循環ポンプ２	本体	転倒	0.80	5.74×10^{6}	5.21×10^{6}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.80	1	173	MPa
		せん断	0.80	9	133	MPa
ブースターポンプ１	本体	転倒	0.80	1.08×10^{6}	1.02×10^{6}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.80	1	180	MPa
		せん断	0.80	4	139	MPa
ブースターポンプ２	本体	転倒	0.80	1.08×10^{6}	1.02×10^{6}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.80	1	180	MPa
		せん断	0.80	4	139	MPa
処理済水移送ポンプ	本体	転倒	0.80	1.90×10^{6}	1.10×10^{6}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.80	3	183	MPa
		せん断	0.80	5	141	MPa

※引張評価の算出値「－」については，引張応力が作用していない。

表１：ポンプ耐震評価結果（３／３）

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
炭酸ソーダ供給ポンプ	本体	転倒	0.36	2.03×10^5	1.28×10^5	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.36	2	183	MPa
		せん断	0.36	2	141	MPa

1.2.2　タンク類，吸着塔及び処理カラム

(1)構造強度評価

タンク類は，SUS316L（バッチ処理タンクについてはゴムライニング付）もしくは炭素鋼（ライニング付）とするが材料の調達において一般産業品とするため，材料証明がなく，設計・建設規格の要求には必ずしも適合しない。しかしながら，以下により高い信頼性を確保した。

・工場にて溶接を行い高い品質を確保する。

・水張りによる溶接部の漏えい確認等を行う。

また，吸着塔 1～14 及び処理カラムは，SUS316L とするが材料の調達において一般産業品とするため，材料証明がなく，設計・建設規格の要求には必ずしも適合しない。しかしながら，以下を考慮することで，高い信頼性を確保した。

・公的規格に適合した一般産業品の SUS316L を用いて吸着塔，処理カラムを製作する。

・溶接継手は，PT 検査，運転圧による漏えい確認等を行う。

・工場にて溶接を行い高い品質を確保する。

なお，吸着塔 15，16 については，設計・建設規格のクラス 3 容器に準じた設計とする。

a.スカート支持たて置円筒形容器

スカート支持たて置円筒形容器については，設計・建設規格に準拠し，板厚評価を実施した。評価の結果，水頭圧（開放型タンク），最高使用圧力（密閉型タンク）に耐えられることを確認した（表２）。

(開放型の場合)

$$t = \frac{DiH\rho}{0.204S\eta}$$

t ： 胴の計算上必要な厚さ
Di ： 胴の内径
H ： 水頭
ρ ： 液体の比重
S ： 最高使用温度における材料の許容引張応力
η ： 長手継手の効率

(密閉型の場合)

(1) 胴の厚さ

$$t = \frac{PD_i}{2S\eta - 1.2P}$$

t ： 胴の計算上必要な厚さ
Di： 胴の内径
P ： 最高使用圧力
S ： 最高使用温度における材料の許容引張応力
η ： 長手継手の効率

ただし，t の値は炭素鋼，低合金鋼の場合は t = 3.00[mm]以上，その他の金属の場合は t = 1.50[mm]以上とする。

(2) 平板の厚さ

$$t = d\sqrt{\frac{2KP}{S}}$$

t ：平板の計算上必要な厚さ
d ：ボルト中心円の直径または平板の径
P ：最高使用圧力
S ：平板の許容引張応力
K ：平板の取付け方法による係数

(3) 胴フランジの厚さ

$$t = \sqrt{\frac{6M_0}{\sigma_f(\pi C - nd_h)}}$$

M_0 ：フランジに作用するモーメント
σ_f ：最高使用温度におけるフランジの許容引張応力
C ：ボルト穴中心円の直径
n ：ボルト本数
d_h ：ボルト穴直径

表２：スカート支持たて置円筒形容器板厚評価結果

機器名称	評価部位	必要肉厚[mm]	実厚[mm]
バッチ処理タンク	胴板	1.50	7.80
	鏡板	2.67	7.80
循環タンク	胴板	1.50	7.80
	鏡板	1.14	8.35
デカントタンク	胴板	3.00	7.45
	鏡板	1.26	6.00
共沈タンク	胴板	3.00	4.60
	鏡板	0.31	3.90
供給タンク	胴板	3.00	4.60
	鏡板	0.32	3.90
吸着塔 1～14	胴板	9.57	16.50
	鏡板	10.18	18.50
吸着塔 15，16	胴板	3.64	10.73
	平板（蓋）	47.07	54.00
	平板（底）	54.57	58.05
	胴フランジ	28.12	56.00
処理カラム	胴板	12.29	18.70
	鏡板	13.09	20.70

b.平底たて置円筒形容器

平底たて置円筒形容器については，設計・建設規格に準拠し，板厚評価を実施した。評価の結果，水頭圧に耐えられることを確認した(表３)。

$$t = \frac{D_i H \rho}{0.204 S \eta}$$

t ： 胴の計算上必要な厚さ
Di ： 胴の内径
H ： 水頭
ρ ： 液体の比重
S ： 最高使用温度における材料の許容引張応力
η ： 長手継手の効率

ただし，t の値は炭素鋼，低合金鋼の場合は t = 3.00[mm]以上，その他の金属の場合は t = 1.50[mm]以上とする。

表３：平底たて置円筒形容器板厚評価結果

機器名称	評価部位	必要肉厚[mm]	実厚[mm]
吸着塔入口バッファタンク	胴板	1.50	7.80
	底板	3.00	23.70
移送タンク	胴板	3.00	4.60
	底板	3.00	14.45
炭酸ソーダ貯槽	胴板	4.55	12.00
	底板	3.00	9.00

c.三脚たて置円筒形容器

三脚たて置円筒形容器については，設計・建設規格に準拠し，板厚評価を実施した。評価の結果，最高使用圧力に耐えられることを確認した（表４）。

$$t = \frac{PD_i}{2S\eta - 1.2P}$$

ｔ：胴の計算上必要な厚さ
Di：胴の内径
Ｐ：最高使用圧力
Ｓ：最高使用温度における材料の許容引張応力
η：長手継手の効率

ただし，ｔの値は炭素鋼，低合金鋼の場合はｔ＝3.00[mm]以上，その他の金属の場合はｔ＝1.50[mm]以上とする。

表４：三脚たて置円筒形容器板厚評価結果

機器名称	評価部位	必要肉厚[mm]	実厚[mm]
出口フィルタ	胴板	1.92	3.50
	鏡板	1.34	3.10

d. 円筒型タンク

円筒型タンクについては，設計・建設規格に準拠し，板厚評価を実施した。評価の結果，水頭圧に耐えられることを確認した（表５）。

$$t = \frac{DiH\rho}{0.204S\eta}$$

t ： 胴の計算上必要な厚さ
Di ： 胴の内径
H ： 水頭
ρ ： 液体の比重
S ： 最高使用温度における材料の許容引張応力
η ： 長手継手の効率

ただし，t の値は炭素鋼，低合金鋼の場合は t = 3.00[mm]以上，その他の金属の場合は t = 1.50[mm]以上とする。

表５：円筒型タンク板厚評価結果

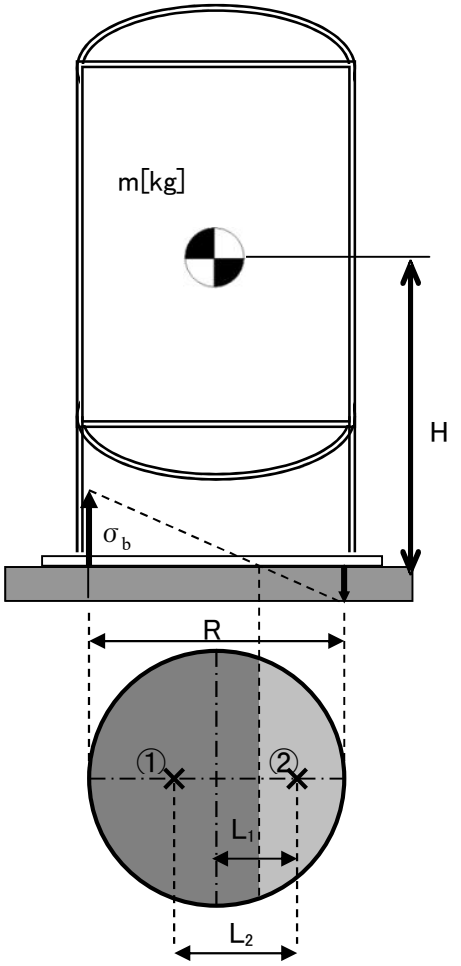
機器名称	評価部位	必要肉厚[mm]	実厚[mm]
サンプルタンク	タンク板厚	5.89	12.00

(2)耐震性評価

a. スカート支持たて置円筒形容器

(a)基礎ボルトの強度評価

耐震設計技術規程の強度評価方法に準拠して評価を実施した。評価の結果，基礎ボルトの強度が確保されることを確認した（表６）。



m　：機器重量
g　：重力加速度
H　：据付面からの重心までの距離
n　：基礎ボルトの本数
A_b　：基礎ボルトの軸断面積
C_H　：水平方向設計震度
C_V　：鉛直方向設計震度
C_t　：中立軸の位置より求める係数
σ_b：基礎ボルトに作用する引張応力
F_t　：基礎ボルトに作用する引張力
①　：基礎ボルトに作用する引張力の作用点
②　：基礎部に作用する圧縮力の作用点
R　：基礎ボルトのピッチ円直径
L_1　：基礎ボルトのピッチ円中心から②までの距離
L_2　：①から②までの距離

基礎ボルトに作用する引張力：$F_t = \dfrac{1}{L_2}\left(m \times g \times C_H \times H - m \times g \times (1 - C_V) \times L_1\right)$

基礎ボルトに作用する引張応力：$\sigma_b = \dfrac{2\pi \times F_t}{n \times A_b \times C_t}$

基礎ボルトのせん断応力：$\tau_b = \dfrac{m \times g \times C_H}{n \times A_b}$

(b)胴板の強度評価

耐震設計技術規程の強度評価方法に準拠して，胴板の強度評価を実施した。

一次一般膜応力σ０を下記の通り評価し，許容値を下回ることを確認した(表６)。

$$\sigma_0 = Max\{\sigma_{0t}, \sigma_{0c}\}$$

$$\sigma_{0t} = \frac{1}{2}\cdot\left\{\sigma_\phi + \sigma_{xt} + \sqrt{(\sigma_\phi - \sigma_{xt})^2 + 4\cdot\tau^2}\right\}$$

$$\sigma_{0c} = \frac{1}{2}\cdot\left\{\sigma_\phi + \sigma_{xc} + \sqrt{(\sigma_\phi - \sigma_{xc})^2 + 4\cdot\tau^2}\right\}$$

σ_{0t}：一次一般膜応力（引張側）
σ_{0c}：一次一般膜応力（圧縮側）
σ_ϕ　：胴の周方向応力の和
σ_{xt}：胴の軸方向応力の和（引張側）
σ_{xc}：胴の軸方向応力の和（圧縮側）
τ　：地震により胴に生じるせん断応力

(c)スカートの強度評価

耐震設計技術規程の強度評価方法に準拠して，スカートの強度評価を実施した。

組合せ応力σｓを下記の通り評価し，許容値を下回ることを確認した(表６)。

$$\sigma_s = \sqrt{(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)^2 + 3\cdot\tau^2}$$

σ_1：スカートの質量による軸方向応力
σ_2：スカートの鉛直方向地震による軸方向応力
σ_3：スカートの曲げモーメントによる軸方向応力
τ：地震によるスカートに生じるせん断応力

また，座屈評価を下記の式により行い，スカートに座屈が発生しないことを確認した(表６)。

$$\frac{\eta\cdot(\sigma_1 + \sigma_2)}{f_c} + \frac{\eta\cdot\sigma_3}{f_b} \leqq 1$$

σ_1：スカートの質量による軸方向応力
σ_2：スカートの鉛直方向地震による軸方向応力
σ_3：スカートの曲げモーメントによる軸方向応力
f_c：軸圧縮荷重に対する許容座屈応力
f_b：曲げモーメントに対する許容座屈応力
η：座屈応力に対する安全率

表６：スカート支持たて置円筒形容器耐震評価結果（１／２）

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
バッチ処理タンク	胴板	一次一般膜	0.36	15	163	MPa
	スカート	組合せ	0.36	10	205	MPa
		座屈	0.36	0.05	1	-
	基礎ボルト	引張	0.36	1	130	MPa
		せん断	0.36	33	101	MPa
循環タンク	胴板	一次一般膜	0.36	8	163	MPa
	スカート	組合せ	0.36	9	205	MPa
		座屈	0.36	0.04	1	-
	基礎ボルト	引張	0.36	1	131	MPa
		せん断	0.36	18	101	MPa
デカントタンク	胴板	一次一般膜	0.36	12	233	MPa
	スカート	組合せ	0.36	17	241	MPa
		座屈	0.36	0.10	1	-
	基礎ボルト	引張	0.36	1	440	MPa
		せん断	0.36	21	338	MPa
共沈タンク	胴板	一次一般膜	0.36	5	233	MPa
	スカート	組合せ	0.36	10	241	MPa
		座屈	0.36	0.05	1	-
	基礎ボルト	引張	0.36	11	180	MPa
		せん断	0.36	11	139	MPa
供給タンク	胴板	一次一般膜	0.36	6	233	MPa
	スカート	組合せ	0.36	11	241	MPa
		座屈	0.36	0.06	1	-
	基礎ボルト	引張	0.36	9	180	MPa
		せん断	0.36	13	139	MPa
吸着塔 1～14	胴板	一次一般膜	0.36	41	163	MPa
	スカート	組合せ	0.36	4	205	MPa
		座屈	0.36	0.02	1	-
	基礎ボルト	引張	0.36	2	131	MPa
		せん断	0.36	3	101	MPa
吸着塔 15, 16	胴板	一次一般膜	0.36	27	282	MPa
	スカート	組合せ	0.36	7	309	MPa
		座屈	0.36	0.03	1	-
	基礎ボルト	引張	0.36	9	158	MPa
		せん断	0.36	6	121	MPa
処理カラム	胴板	一次一般膜	0.36	48	163	MPa
	スカート	組合せ	0.36	4	205	MPa
		座屈	0.36	0.02	1	-
	基礎ボルト	引張	0.36	1	131	MPa
		せん断	0.36	12	101	MPa

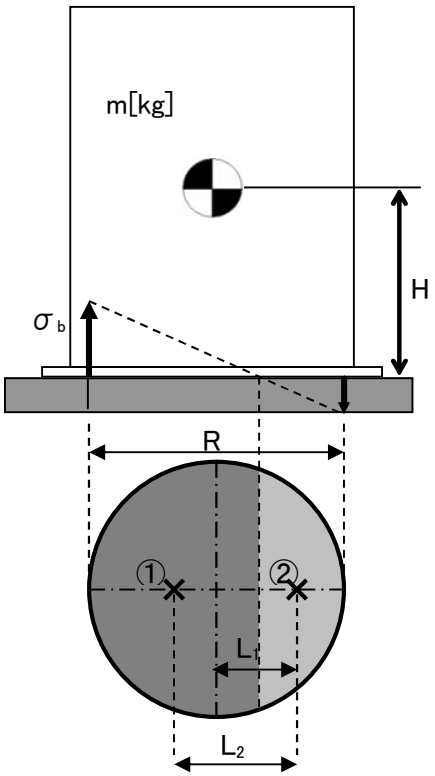
表６：スカート支持たて置円筒形容器耐震評価結果（２／２）

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
バッチ処理タンク	胴板	一次一般膜	0.80	21	163	MPa
	スカート	組合せ	0.80	17	205	MPa
		座屈	0.80	0.08	1	-
	基礎ボルト	引張	0.80	75	131	MPa
		せん断	0.80	26	101	MPa
循環タンク	胴板	一次一般膜	0.80	12	163	MPa
	スカート	組合せ	0.80	16	205	MPa
		座屈	0.80	0.07	1	-
	基礎ボルト	引張	0.80	42	121	MPa
		せん断	0.80	39	101	MPa
デカントタンク	胴板	一次一般膜	0.80	20	233	MPa
	スカート	組合せ	0.80	32	241	MPa
		座屈	0.80	0.17	1	-
	基礎ボルト	引張	0.80	63	440	MPa
		せん断	0.80	47	338	MPa
共沈タンク	胴板	一次一般膜	0.80	8	233	MPa
	スカート	組合せ	0.80	20	241	MPa
		座屈	0.80	0.10	1	-
	基礎ボルト	引張	0.80	72	180	MPa
		せん断	0.80	25	139	MPa
供給タンク	胴板	一次一般膜	0.80	10	233	MPa
	スカート	組合せ	0.80	21	241	MPa
		座屈	0.80	0.10	1	-
	基礎ボルト	引張	0.80	73	180	MPa
		せん断	0.80	28	139	MPa
吸着塔 1～14	胴板	一次一般膜	0.80	41	163	MPa
	スカート	組合せ	0.80	8	205	MPa
		座屈	0.80	0.04	1	-
	基礎ボルト	引張	0.80	16	131	MPa
		せん断	0.80	7	101	MPa
吸着塔 15，16	胴板	一次一般膜	0.80	27	282	MPa
	スカート	組合せ	0.80	14	309	MPa
		座屈	0.80	0.05	1	-
	基礎ボルト	引張	0.80	44	158	MPa
		せん断	0.80	13	121	MPa
処理カラム	胴板	一次一般膜	0.80	48	163	MPa
	スカート	組合せ	0.80	8	205	MPa
		座屈	0.80	0.03	1	-
	基礎ボルト	引張	0.80	39	131	MPa
		せん断	0.80	26	101	MPa

b. 平底たて置円筒形容器

(a) 基礎ボルトの強度評価

耐震設計技術規程の強度評価方法に準拠して評価を実施した。評価の結果，基礎ボルトの強度が確保されることを確認した（表７）。



m　：機器重量
g　：重力加速度
H　：据付面からの重心までの距離
n　：基礎ボルトの本数
A_b　：基礎ボルトの軸断面積
C_H　：水平方向設計震度
C_V　：鉛直方向設計震度
C_t　：中立軸の位置より求める係数
σ_b：基礎ボルトに作用する引張応力
F_t　：基礎ボルトに作用する引張力
①　：基礎ボルトに作用する引張力の作用点
②　：基礎部に作用する圧縮力の作用点
R　：基礎ボルトのピッチ円直径
L_1　：基礎ボルトのピッチ円中心から②までの距離
L_2：①から②までの距離

基礎ボルトに作用する引張力：$F_t = \dfrac{1}{L_2}\left(m \times g \times C_H \times H - m \times g \times (1 - C_V) \times L_1\right)$

基礎ボルトの引張応力：$\sigma_b = \dfrac{2\pi \times F_t}{n \times A_b \times C_t}$

基礎ボルトのせん断応力：$\tau_b = \dfrac{m \times g \times C_H}{n \times A_b}$

(b)胴板の強度評価

耐震設計技術規程の強度評価方法に準拠して，胴板の強度評価を実施した。

一次一般膜応力σ０を下記の通り評価し，許容値を下回ることを確認した(表７)。

$$\sigma_0 = Max\{\sigma_{0t}, \sigma_{0c}\}$$

$$\sigma_{0t} = \frac{1}{2}\cdot\left\{\sigma_\phi + \sigma_{xt} + \sqrt{(\sigma_\phi - \sigma_{xt})^2 + 4\cdot\tau^2}\right\}$$

$$\sigma_{0c} = \frac{1}{2}\cdot\left\{\sigma_\phi + \sigma_{xc} + \sqrt{(\sigma_\phi - \sigma_{xc})^2 + 4\cdot\tau^2}\right\}$$

σ_{0t}：一次一般膜応力（引張側）
σ_{0c}：一次一般膜応力（圧縮側）
σ_ϕ　：胴の周方向応力の和
σ_{xt}：胴の軸方向応力の和（引張側）
σ_{xc}：胴の軸方向応力の和（圧縮側）
τ　：地震により胴に生じるせん断応力

また，座屈評価を下記の式により行い，胴板に座屈が発生しないことを確認した(表７)。

$$\frac{\eta\cdot(\sigma_1 + \sigma_2)}{f_c} + \frac{\eta\cdot\sigma_3}{f_b} \leqq 1$$

σ_1：胴の空質量による軸方向圧縮応力
σ_2：胴の鉛直方向地震による軸方向応力
σ_3：胴の水平方向地震による軸方向応力
f_c：軸圧縮荷重に対する許容座屈応力
f_b：曲げモーメントに対する許容座屈応力
η：座屈応力に対する安全率

表７：平底たて置円筒形容器耐震評価結果

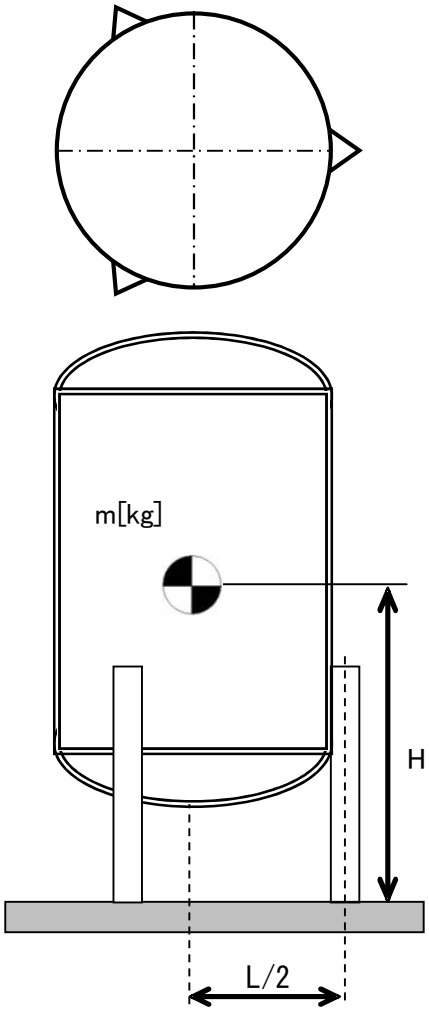
機器名称	評価部位		水平震度	算出値	許容値	単位
吸着塔入口バッファタンク	胴板	一次一般膜	0.36	7	163	MPa
		座屈	0.36	0.04	1	－
	基礎ボルト	引張	0.36	6	131	MPa
		せん断	0.36	10	101	MPa
	胴板	一次一般膜	0.80	14	163	MPa
		座屈	0.80	0.08	1	－
	基礎ボルト	引張	0.80	55	131	MPa
		せん断	0.80	21	101	MPa
移送タンク	胴板	一次一般膜	0.36	5	233	MPa
		座屈	0.36	0.03	1	－
	基礎ボルト	引張	0.36	2	180	MPa
		せん断	0.36	12	139	MPa
	胴板	一次一般膜	0.80	11	233	MPa
		座屈	0.80	0.05	1	－
	基礎ボルト	引張	0.80	52	180	MPa
		せん断	0.80	26	139	MPa
炭酸ソーダ貯槽	胴板	一次一般膜	0.36	6	15	MPa
		座屈	0.36	0.34	1	－
	基礎ボルト	引張	0.36	－	－	MPa
		せん断	0.36	44	141	MPa

※引張評価の算出値「－」については，引張応力が作用していない。

c.三脚たて置円筒形容器

(a)基礎ボルトの強度評価

耐震設計技術規程並びに「JPI-7R-71-96 石油学会規格 竪形容器用レグ」の強度評価方法に準拠して評価を実施した。評価の結果，基礎ボルトの強度が確保されることを確認した（表８）。



L　：脚断面の図心の描く円の直径
m　：機器重量
g　：重力加速度
H　：据付面からの重心までの距離
A_b　：基礎ボルトの軸断面積
C_H　：水平方向設計震度
C_V　：鉛直方向設計震度

基礎ボルトの引張応力：$\sigma_b = \dfrac{1}{3\times A_b}\left(\dfrac{4\times m\times g\times C_H\times H}{L} - m\times g\times\left(1-C_V\right)\right)$

基礎ボルトのせん断応力：$\tau_b = \dfrac{1}{3\times A_b}\left(m\times g\times C_H - 0.1\times m\times g\times\left(1-C_V\right)\right)$

(b)脚の強度評価

耐震設計技術規程並びに「JPI-7R-71-96 石油学会規格 竪形容器用レグ」の強度評価方法に準拠して，脚の強度評価を実施した。

組合せ応力σ$_s$を下記の通り評価し，許容値を下回ることを確認した(表８)。

$$\sigma_s = \sqrt{(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

σ$_1$：脚の質量による軸方向応力
σ$_2$：脚の鉛直方向地震による軸方向応力
σ$_3$：脚の曲げモーメントによる軸方向応力
τ ：地震による脚に生じるせん断応力

また，座屈評価を下記の式により行い，脚に座屈が発生しないことを確認した(表８)。

$$\frac{\eta \cdot (\sigma_1 + \sigma_2)}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_3}{f_b} \leqq 1$$

σ$_1$：脚の質量による軸方向応力
σ$_2$：脚の鉛直方向地震による軸方向応力
σ$_3$：脚の曲げモーメントによる軸方向応力
f$_c$：軸圧縮荷重に対する許容座屈応力
f$_b$：曲げモーメントに対する許容座屈応力
η ：座屈応力に対する安全率

(c)胴板の強度評価

耐震設計技術規程並びに「JPI-7R-71-96 石油学会規格 竪形容器用レグ」の強度評価方法に準拠して，胴板の強度評価を実施した。

一次一般膜応力σ$_0$を下記の通り評価し，許容値を下回ることを確認した(表８)。

$$\sigma_0 = Max\{\sigma_{0\phi}, \sigma_{0x}\}$$

$$\sigma_{0x} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x5} + \sigma_{x7}$$

$$\sigma_{0\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 7}$$

σ$_{0\phi}$：一次一般膜応力（周方向）
σ$_{0x}$：一次一般膜応力（軸方向）
σ$_{\phi 1}$：内圧による周方向応力
σ$_{x1}$：内圧による軸方向応力
σ$_{x2}$：運転時質量による軸方向応力
σ$_{x5}$：地震力により生じる
　　転倒モーメントによる軸方向応力
σ$_{\phi 7}$：胴の鉛直方向地震による周方向応力
σ$_{x7}$：胴の鉛直方向地震による軸方向応力

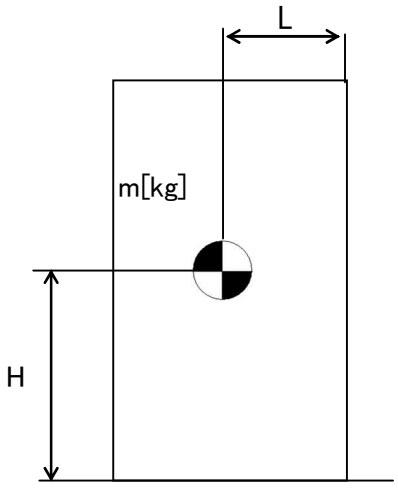
表８：三脚たて置円筒形容器耐震評価結果

機器名称	評価部位		水平震度	算出値	許容値	単位
出口フィルタ	胴板	一次一般膜	0.36	37	163	MPa
	脚	組合せ	0.36	57	205	MPa
		座屈	0.36	0.29	1	-
	基礎ボルト	引張	0.36	37	153	MPa
		せん断	0.36	3	118	MPa
	胴板	一次一般膜	0.80	37	163	MPa
	脚	組合せ	0.80	120	205	MPa
		座屈	0.80	0.61	1	-
	基礎ボルト	引張	0.80	92	153	MPa
		せん断	0.80	6	118	MPa

d.円筒型タンク

(a)転倒評価

地震による転倒モーメントと自重による安定モーメントを算出し，それらを比較することにより転倒評価を実施した。評価の結果，地震による転倒モーメントは自重による安定モーメントより小さいことから，転倒しないことを確認した（表９）。



C_H ： 水平方向設計震度
m ： 機器質量
g ： 重力加速度
H ： 据付面からの重心までの距離
L ： 転倒支点から機器重心までの距離

地震による転倒モーメント：$M_1 = m \times g \times C_H \times H$

自重による安定モーメント：$M_2 = m \times g \times L$

表９　：円筒型タンク耐震評価結果

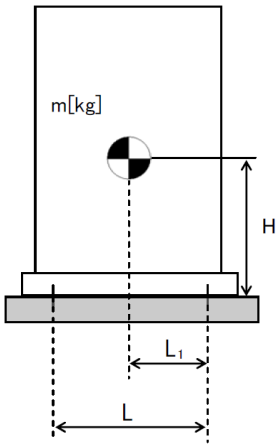
機器名称	評価部位	評価項目	水平地震動	算出値	許容値	単位
サンプルタンク	本体	転倒	0.36	2.20×10^{10}	7.20×10^{10}	N･mm
			0.80	4.80×10^{10}		

1.2.3　スキッド

(1)耐震性評価

a. 基礎ボルトの強度評価

耐震設計技術規程の強度評価方法に準拠して評価を実施した。評価の結果，基礎ボルトの強度が確保されることを確認した（表１０）。



L　：基礎ボルト間の水平方向距離
m　：機器重量
g　：重力加速度
H　：据付面からの重心までの距離
L_1　：重心と基礎ボルト間の水平方向距離
n_f：引張力の作用する基礎ボルトの評価本数
n　：基礎ボルトの本数
A_b　：基礎ボルトの軸断面積
C_H　：水平方向設計震度
C_V　：鉛直方向設計震度

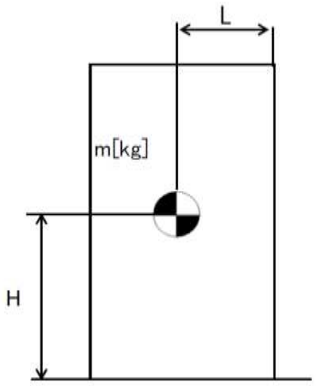
基礎ボルトに作用する引張力：$F_b = \frac{1}{L}\left(m\times g\times C_H\times H - m\times g\times\left(1-C_V\right)\times L_1\right)$

基礎ボルトの引張応力：$\sigma_b = \frac{F_b}{n_f\times A_b}$

基礎ボルトのせん断応力：$\tau_b = \frac{m\times g\times C_H}{n\times A_b}$

b. 転倒評価

地震による転倒モーメントと自重による安定モーメントを算出し，それらを比較することにより転倒評価を実施した。評価の結果，地震による転倒モーメントは自重による安定モーメントより小さく，転倒しないことを確認した。また，地震による転倒モーメント＞自重による安定モーメントとなるものについては，a. での計算により基礎ボルトの強度が確保されることから転倒しないことを確認した（表１０）。



C_H ：水平方向設計震度
m ：機器重量
g ：重力加速度
H ：据付面からの重心までの距離
L ：転倒支点から機器重心までの距離

地震による転倒モーメント：$M_1 = m \times g \times C_H \times H$
自重による安定モーメント：$M_2 = m \times g \times L$

表１０：スキッド耐震評価結果（１／５）

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
バッチ処理タンクスキッド	本体	転倒	0.36	9.27×10^{8}	1.08×10^{9}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.36	－	－	MPa
		せん断	0.36	23	139	MPa
バッチ処理タンク用弁スキッド	本体	転倒	0.36	5.29×10^{6}	1.85×10^{7}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.36	－	－	MPa
		せん断	0.36	6	139	MPa
循環タンクスキッド	本体	転倒	0.36	4.04×10^{8}	4.94×10^{8}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.36	－	－	MPa
		せん断	0.36	25	139	MPa
循環タンク用弁スキッド	本体	転倒	0.36	5.42×10^{6}	1.16×10^{7}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.36	－	－	MPa
		せん断	0.36	8	139	MPa
スラリー移送ポンプスキッド	本体	転倒	0.36	1.80×10^{6}	5.75×10^{6}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.36	－	－	MPa
		せん断	0.36	5	139	MPa
クロスフローフィルタスキッド１	本体	転倒	0.36	6.80×10^{7}	1.40×10^{8}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.36	－	－	MPa
		せん断	0.36	16	139	MPa
デカントタンクスキッド	本体	転倒	0.36	4.71×10^{8}	7.95×10^{8}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.36	－	－	MPa
		せん断	0.36	50	139	MPa
共沈・供給タンクスキッド	本体	転倒	0.36	9.16×10^{7}	1.56×10^{8}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.36	－	－	MPa
		せん断	0.36	16	139	MPa
クロスフローフィルタスキッド２	本体	転倒	0.36	1.14×10^{8}	2.11×10^{8}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.36	－	－	MPa
		せん断	0.36	25	139	MPa
吸着塔入口バッファタンクスキッド	本体	転倒	0.36	8.61×10^{7}	1.04×10^{8}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.36	－	－	MPa
		せん断	0.36	13	139	MPa
ブースターポンプ１スキッド	本体	転倒	0.36	2.56×10^{6}	7.62×10^{6}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.36	－	－	MPa
		せん断	0.36	5	139	MPa
ブースターポンプ２スキッド	本体	転倒	0.36	2.44×10^{6}	8.36×10^{6}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.36	－	－	MPa
		せん断	0.36	5	139	MPa

※引張評価の算出値「－」については，引張応力が作用していない。

表１０：スキッド耐震評価結果（２／５）

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
吸着塔 1～14 スキッド１	本体	転倒	0.36	1.50×10^{8}	2.28×10^{8}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.36	－	－	MPa
		せん断	0.36	21	139	MPa
吸着塔 1～14 スキッド２	本体	転倒	0.36	1.33×10^{8}	1.91×10^{8}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.36	－	－	MPa
		せん断	0.36	19	139	MPa
吸着塔 1～14 スキッド３	本体	転倒	0.36	1.33×10^{8}	1.91×10^{8}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.36	－	－	MPa
		せん断	0.36	19	139	MPa
吸着塔 1～14 スキッド４	本体	転倒	0.36	1.22×10^{8}	1.88×10^{8}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.36	－	－	MPa
		せん断	0.36	18	139	MPa
吸着塔 15，16 スキッド	本体	転倒	0.36	9.14×10^{7}	9.33×10^{7}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.36	-	-	MPa
		せん断	0.36	5	121	MPa
処理カラム スキッド	本体	転倒	0.36	1.04×10^{8}	1.43×10^{8}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.36	－	－	MPa
		せん断	0.36	13	139	MPa
出口移送 スキッド	本体	転倒	0.36	3.10×10^{7}	9.89×10^{7}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.36	－	－	MPa
		せん断	0.36	18	139	MPa
ＡＬＰＳ入口弁 スキッド（Ⅰ）	本体	転倒	0.36	1.89×10^{7}	6.14×10^{7}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.36	－	－	MPa
		せん断	0.36	5	139	MPa
ＡＬＰＳ入口弁 スキッド（Ⅱ）	本体	転倒	0.36	3.13×10^{6}	1.42×10^{7}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.36	－	－	MPa
		せん断	0.36	3	139	MPa
ＡＬＰＳ出口弁 スキッド	本体	転倒	0.36	6.57×10^{6}	2.27×10^{7}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.36	－	－	MPa
		せん断	0.36	3	139	MPa
排水タンク スキッド	本体	転倒	0.36	2.90×10^{7}	8.44×10^{7}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.36	－	－	MPa
		せん断	0.36	18	139	MPa
ＨＩＣ遮へい体	本体	転倒	0.36	9.28×10^{7}	2.05×10^{8}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.36	－	－	MPa
		せん断	0.36	23	139	MPa

※引張評価の算出値「－」については，引張応力が作用していない。

表１０：スキッド耐震評価結果（３／５）

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
バッチ処理タンクスキッド	本体	転倒	0.80	2.06×10^{9}	1.08×10^{9}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.80	116	171	MPa
		せん断	0.80	51	139	MPa
バッチ処理タンク用弁スキッド	本体	転倒	0.80	1.18×10^{7}	1.85×10^{7}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.80	－	－	MPa
		せん断	0.80	13	139	MPa
循環タンクスキッド	本体	転倒	0.80	8.97×10^{8}	4.94×10^{8}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.80	112	165	MPa
		せん断	0.80	55	139	MPa
循環タンク用弁スキッド	本体	転倒	0.80	1.21×10^{7}	1.16×10^{7}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.80	1	180	MPa
		せん断	0.80	17	139	MPa
スラリー移送ポンプスキッド	本体	転倒	0.80	4.00×10^{6}	5.75×10^{6}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.80	－	－	MPa
		せん断	0.80	10	139	MPa
クロスフローフィルタスキッド１	本体	転倒	0.80	1.52×10^{8}	1.40×10^{8}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.80	4	180	MPa
		せん断	0.80	36	139	MPa
デカントタンクスキッド	本体	転倒	0.80	1.05×10^{9}	7.95×10^{8}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.80	44	73	MPa
		せん断	0.80	112	139	MPa
共沈・供給タンクスキッド	本体	転倒	0.80	2.04×10^{8}	1.56×10^{8}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.80	11	180	MPa
		せん断	0.80	35	139	MPa
クロスフローフィルタスキッド２	本体	転倒	0.80	2.53×10^{8}	2.11×10^{8}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.80	14	166	MPa
		せん断	0.80	54	139	MPa
吸着塔入口バッファタンクスキッド	本体	転倒	0.80	1.92×10^{8}	1.04×10^{8}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.80	57	180	MPa
		せん断	0.80	27	139	MPa
ブースターポンプ１スキッド	本体	転倒	0.80	5.69×10^{6}	7.62×10^{6}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.80	－	－	MPa
		せん断	0.80	11	139	MPa
ブースターポンプ２スキッド	本体	転倒	0.80	5.41×10^{6}	8.36×10^{6}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.80	－	－	MPa
		せん断	0.80	11	139	MPa

※引張評価の算出値「－」については，引張応力が作用していない。

表１０：スキッド耐震評価結果（４／５）

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
吸着塔 1～14 スキッド１	本体	転倒	0.80	3.32×10^{8}	2.28×10^{8}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.80	35	177	MPa
		せん断	0.80	47	139	MPa
吸着塔 1～14 スキッド２	本体	転倒	0.80	2.94×10^{8}	1.91×10^{8}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.80	34	180	MPa
		せん断	0.80	41	139	MPa
吸着塔 1～14 スキッド３	本体	転倒	0.80	2.94×10^{8}	1.91×10^{8}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.80	34	180	MPa
		せん断	0.80	41	139	MPa
吸着塔 1～14 スキッド４	本体	転倒	0.80	2.70×10^{8}	1.88×10^{8}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.80	27	180	MPa
		せん断	0.80	39	139	MPa
吸着塔 15，16 スキッド	本体	転倒	0.80	2.03×10^{8}	9.33×10^{7}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.80	18	158	MPa
		せん断	0.80	11	121	MPa
処理カラム スキッド	本体	転倒	0.80	2.30×10^{8}	1.43×10^{8}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.80	31	180	MPa
		せん断	0.80	28	139	MPa
出口移送 スキッド	本体	転倒	0.80	6.89×10^{7}	9.89×10^{7}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.80	－	－	MPa
		せん断	0.80	40	139	MPa
ＡＬＰＳ入口弁 スキッド（Ⅰ）	本体	転倒	0.80	4.19×10^{7}	6.14×10^{7}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.80	－	－	MPa
		せん断	0.80	10	139	MPa
ＡＬＰＳ入口弁 スキッド（Ⅱ）	本体	転倒	0.80	6.96×10^{6}	1.42×10^{7}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.80	－	－	MPa
		せん断	0.80	7	139	MPa
ＡＬＰＳ出口弁 スキッド	本体	転倒	0.80	1.46×10^{7}	2.27×10^{7}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.80	－	－	MPa
		せん断	0.80	6	139	MPa
排水タンク スキッド	本体	転倒	0.80	6.44×10^{7}	8.44×10^{7}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.80	－	－	MPa
		せん断	0.80	40	139	MPa
ＨＩＣ遮へい体	本体	転倒	0.80	2.07×10^{8}	2.05×10^{8}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.80	1	173	MPa
		せん断	0.80	50	139	MPa

※引張評価の算出値「－」については，引張応力が作用していない。

表１０：スキッド耐震評価結果（５／５）

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
炭酸ソーダ供給ポンプスキッド	本体	転倒	0.36	3.86×10^{6}	1.05×10^{7}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.36	－	－	MPa
		せん断	0.36	7	141	MPa
共沈タンク用薬液弁スキッド	本体	転倒	0.36	7.05×10^{5}	6.05×10^{5}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.36	1	183	MPa
		せん断	0.36	2	141	MPa

※引張評価の算出値「－」については，引張応力が作用していない。

1.2.4　高性能容器

(1)構造強度評価

高性能容器本体は，ポリエチレン製の容器であり設計・建設規格の要求に適合するものではない。しかしながら，高性能容器（タイプ 1）は，米国において低レベル放射性廃棄物の最終処分に使用されている容器であり，米国 NRC（Nuclear Regulatory Commission，原子力規制委員会）から権限を委譲されたサウスカロライナ州健康環境局（S.C. Department of Health and Environmental Control）の認可を得ており，多数の使用実績がある。また，高性能容器（タイプ 1）から更に落下に対する強度を向上させた高性能容器（タイプ 2）を併せて使用する。

a.　重量に対する評価

・高性能容器（タイプ 1）は設計収容重量約 4.5t で米国認可を受けており，多核種除去設備で使用する場合の収容物重量は最大 3.5t であることから設計収容重量に対して十分な裕度がある。高性能容器（タイプ 2）は多核種除去設備で使用する場合の収容物重量を最大 3.2t としている。

・多核種除去設備で使用する場合の高性能容器の補強体等を含んだ総重量はタイプ 1 で約 5.2t，タイプ 2 で約 4.7t である。これに対し，設計総重量は裕度を考慮しタイプ 1 において 6.0t，タイプ 2 において 5.5t として，高性能容器の転倒評価及び吊り上げ時の吊り耳の構造強度確認を行っている。

高性能容器は，交換時にクレーンによる吊り上げ作業が発生するため，その際の吊り耳の強度評価を実施した。評価の結果，吊り耳の強度が確保されることを確認した（表１１）。

(a) 高性能容器（タイプ 1）

吊り耳に作用する引張応力：

$$\sigma 1 = \frac{m \times g}{\mathrm{A1} \times n}$$

但し，$A1 = w1 \times t$

吊り耳に作用するせん断応力：

$$\tau 1 = \frac{m \times g}{\mathrm{A2} \times n}$$

但し，$A2 = w2 \times t$

吊り耳（溶接部）に作用するせん断応力：

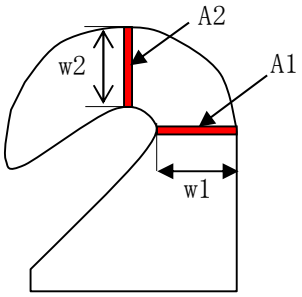
$$\tau 2 = \frac{m \times g}{\mathrm{A3} \times n}$$

但し，$A3 = \sum (al)$

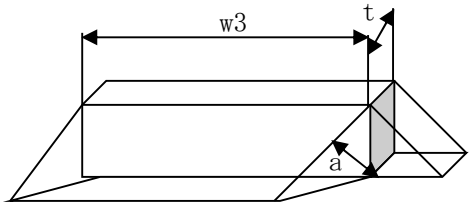
$=(\mathrm{w3}+\mathrm{t}) \times \mathrm{a} \times 2$

m ： 機器重量
g ： 重力加速度
n ： 吊り耳考慮本数
w1： 吊り耳幅
w2： 吊り耳幅
t ： 吊り耳厚さ
A1： 引張荷重が作用する吊り耳断面積／本
A2： せん断荷重が作用する吊り耳断面積／本
σ1： 吊り耳に作用する引張応力（MPa）
τ1： 吊り耳に作用するせん断応力（MPa）
w3： 吊り耳幅（下端）
a ： 各すみ肉溶接のど厚
l ： 各すみ肉溶接の長さ

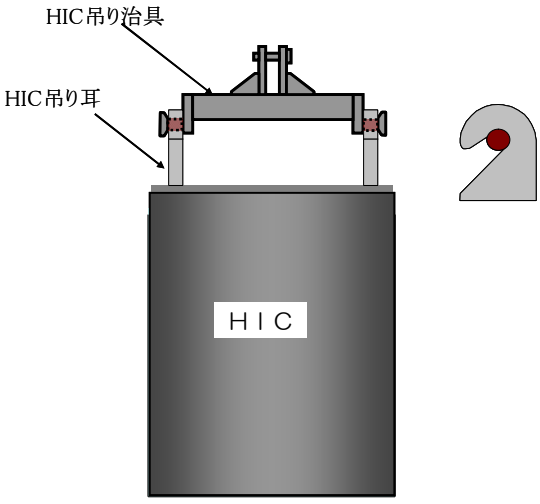
A3： 吊り耳溶接部の面積
τ2： 吊り耳溶接部に作用するせん断応力
β ： 溶接部係数



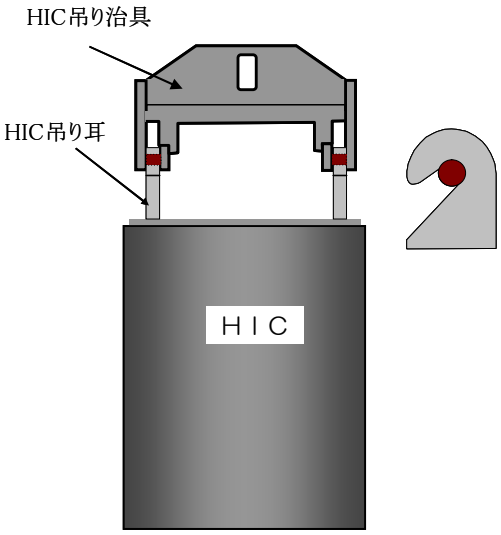
吊り耳



吊り耳（溶接部）



HIC 吊り上げ条件
（多核種除去設備設置エリア）



HIC 吊り上げ条件
（一時保管施設）

(b) 高性能容器（タイプ 2）

吊り耳に作用する引張応力：

$$\sigma 1 = \frac{m \times g}{\mathrm{A1} \times n}$$

但し，$A1 = w1 \times t$

吊り耳に作用するせん断応力：

$$\tau 1 = \frac{m \times g}{\mathrm{A2} \times n}$$

但し，$A2 = w2 \times t$

吊り耳（溶接部）に作用するせん断応力：

$$\tau 2 = \frac{m \times g}{\mathrm{A3} \times n}$$

但し，$A3 = \sum(al)$

$=(\mathrm{w3}+\mathrm{t}) \times \mathrm{a} \times 2$

m ： 機器重量
g ： 重力加速度
n ： 吊り耳考慮本数
w1： 吊り耳幅
w2： 吊り耳幅
t ： 吊り耳厚さ
A1： 引張荷重が作用する吊り耳断面積／本
A2： せん断荷重が作用する吊り耳断面積／本
σ1： 吊り耳に作用する引張応力（MPa）
τ1： 吊り耳に作用するせん断応力（MPa）
w3： 吊り耳幅（下端）
a ： 各すみ肉溶接のど厚
l ： 各すみ肉溶接の長さ
A3： 吊り耳溶接部の面積
τ2： 吊り耳溶接部に作用するせん断応力
β ： 溶接部係数

表１１　高性能容器（タイプ 1，2）強度評価結果

機器名称	評価部位	評価項目	算出値	許容値	単位
高性能容器（タイプ 1）	吊り耳	引張	11	116	MPa
		せん断	12	67	
	吊り耳（溶接部）	せん断	6	30	
高性能容器（タイプ 2）	吊り耳	引張	7	136	MPa
		せん断	7	78	
	吊り耳（溶接部）	せん断	5	35	

b. 圧力に対する評価

高性能容器（タイプ 1）の外圧に対する設計圧力は 25 kPa である。多核種除去設備で用いる高性能容器の外圧は屋外設置のため大気圧程度であることから，設計圧力を満足している。なお，高性能容器（タイプ 2）については外圧に対する設計要求はないが，高性能容器（タイプ 1）と同一の材質及び厚さであることから，同程度の強度を有していると考えられる。

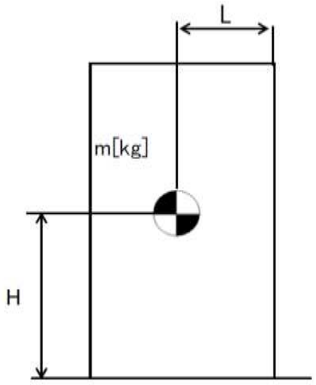
一方，内圧に対しては，高性能容器（タイプ 1）は，米国認可に当たり 50kPa で試験を行い，容器に歪みがないことを確認している。

また，高性能容器の工場製作段階において，タイプ 1，2 とも最大 50kPa で試験を行い，容器に漏えいがないことを確認している。なお，これらの容器には，ベント機能を設けていることから，多核種除去設備で使用する際の内圧は，静水頭程度となるため，試験圧力を満足している。

(2)耐震性評価

a.　転倒評価

地震による転倒モーメントと自重による安定モーメントを算出し，それらを比較することにより転倒評価を行った。評価の結果，地震による転倒モーメントは自重による安定モーメントより小さく，転倒しないことを確認した（表１２）。



C_H：水平方向設計震度
m：機器重量
g：重力加速度
H：据付面からの重心までの距離
L：転倒支点から機器重心までの距離

地震による転倒モーメント：$M_1 = m \times g \times C_H \times H$
自重による安定モーメント：$M_2 = m \times g \times L$

表１２　評価結果

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
高性能容器（タイプ1）（補強体付き）	本体	転倒	0.36	2.04×10^7	4.56×10^7	N･mm
			0.80	4.19×10^7		
高性能容器（タイプ2）（補強体付き）	本体	転倒	0.36	1.91×10^7	4.03×10^7	N･mm
			0.80	3.84×10^7		

ｂ．　滑動評価

一時保管施設（第二施設）貯蔵時の高性能容器について，地震時の水平荷重によるすべり力と接地面の摩擦力を比較することにより，滑動評価を実施した。評価の結果，地震時の水平荷重によるすべり力は，接地面の摩擦力より小さいことから，滑動しないことを確認した（表１３）。なお，本評価は鋼製の補強体付き高性能容器をコンクリート製のボックスカルバート上に設置した際の評価であり，実際の高性能容器貯蔵時はボックスカルバート底面にゴム製の緩衝材を設置するため，滑動はさらに生じ難くなると考える。

水平震度を 0.60 まで拡張した評価では，地震時の水平荷重によるすべり力が設置面の摩擦力より大きくなり，滑動する結果となる。この結果高性能容器がボックスカルバート内面に，あるいは高性能容器が相互に接触することが想定されるが，地震応答加速度時刻歴をもとに算出した設置床に対する相対速度は最大でも０．５ｍ／秒未満にとどまり，添付５に示す高さ４．５ｍから（タイプ１）あるいは高さ７．１ｍから（タイプ２）の落下試験における衝突速度（それぞれ９．３ｍ／秒あるいは１１．８ｍ／秒）より十分小さな速度でしか接触しないと見込まれることから，高性能容器の健全性に影響を及ぼすことはない。

高性能容器とボックスカルバートの間隔が更に小さい第三施設においては接触時の速度は更に小さくなり，健全性評価は上記に内包される。

表１３　滑動評価結果

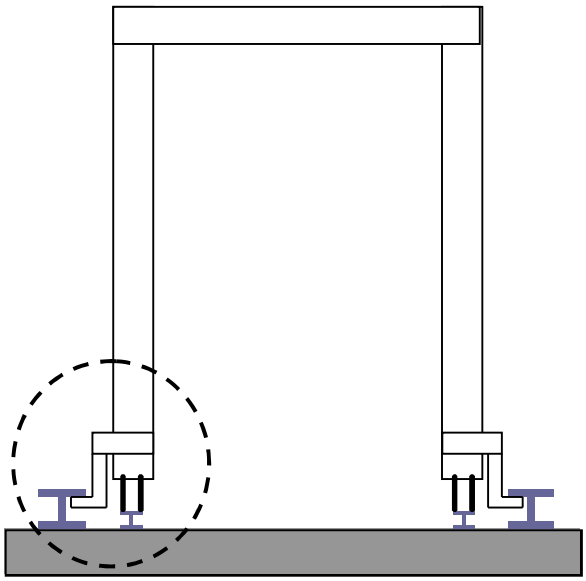
機器名称	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
高性能容器 （タイプ１及びタイプ２） （補強体付き）	滑動	0.36	0.36	0.40	－
		0.60	0.60	0.40	

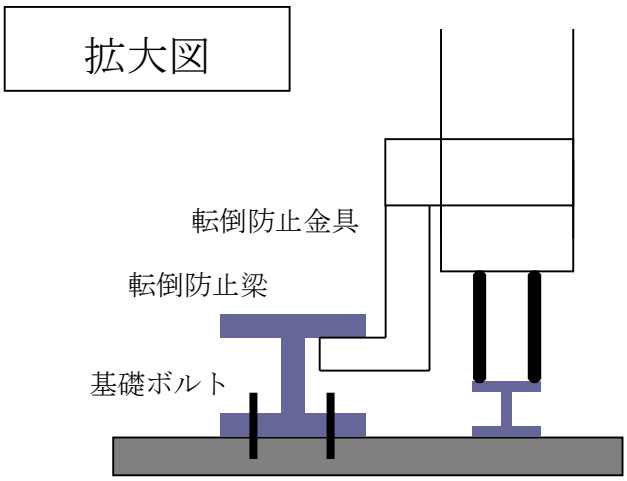
1.2.5 クレーン類

(1)耐震性評価

a. 基礎ボルト等の強度評価

耐震設計技術規程並びに「クレーン構造規格」の強度評価方法に準拠して評価を実施した。評価の結果，基礎ボルト・転倒防止金具・転倒防止梁の強度が確保されることを確認した（表１４）。





b. 転倒評価

地震による転倒モーメントと自重による安定モーメントを算出し，それらを比較することにより転倒評価を実施した。評価の結果，地震による転倒モーメントが自重による安定モーメントより小さくなるものについては，転倒しないことを確認した。また，地震による転倒モーメントが自重による安定モーメントより大きくなるものについては，a. での計算により基礎ボルト・転倒防止金具・転倒防止梁の強度が確保されることから転倒しないことを確認した（表１４）。

表１４：クレーン類耐震評価結果

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
高性能容器交換用クレーン	本体	転倒	0.36	5.47×10^4	7.44×10^4	kg･m
	基礎ボルト	引張	0.36	－	－	Kg
	転倒防止金具	変形	0.36	－	－	N/mm^2
	転倒防止梁	変形	0.36	－	－	N/mm^2
	本体	転倒	0.80	1.21×10^5	7.44×10^4	kg･m
	基礎ボルト	引張	0.80	542	1435	kg
	転倒防止金具	変形	0.80	37.7	175	N/mm^2
	転倒防止梁	変形	0.80	12.4	175	N/mm^2
処理カラム交換用クレーン	本体	転倒	0.36	2.24×10^4	2.25×10^4	kg･m
	基礎ボルト	引張	0.36	－	－	kg
	転倒防止金具	変形	0.36	－	－	N/mm^2
	転倒防止梁	変形	0.36	－	－	N/mm^2
	本体	転倒	0.80	4.96×10^4	2.25×10^4	kg･m
	基礎ボルト	引張	0.80	467	1435	kg
	転倒防止金具	変形	0.80	32.5	175	N/mm^2
	転倒防止梁	変形	0.80	10.7	175	N/mm^2

※　算出値「－」については，引張荷重・応力が作用していない。

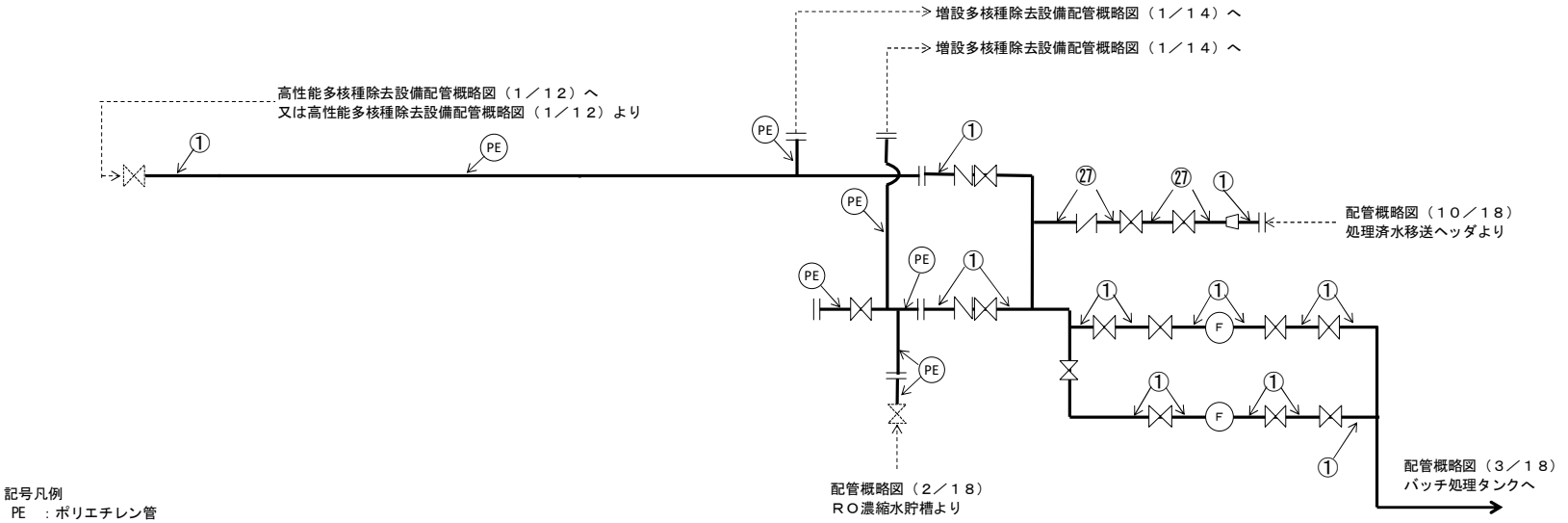
1.2.6　配管

1.2.6.1　構造強度評価

1.2.6.1.1　配管（鋼管）

1.2.6.1.1.1　評価箇所

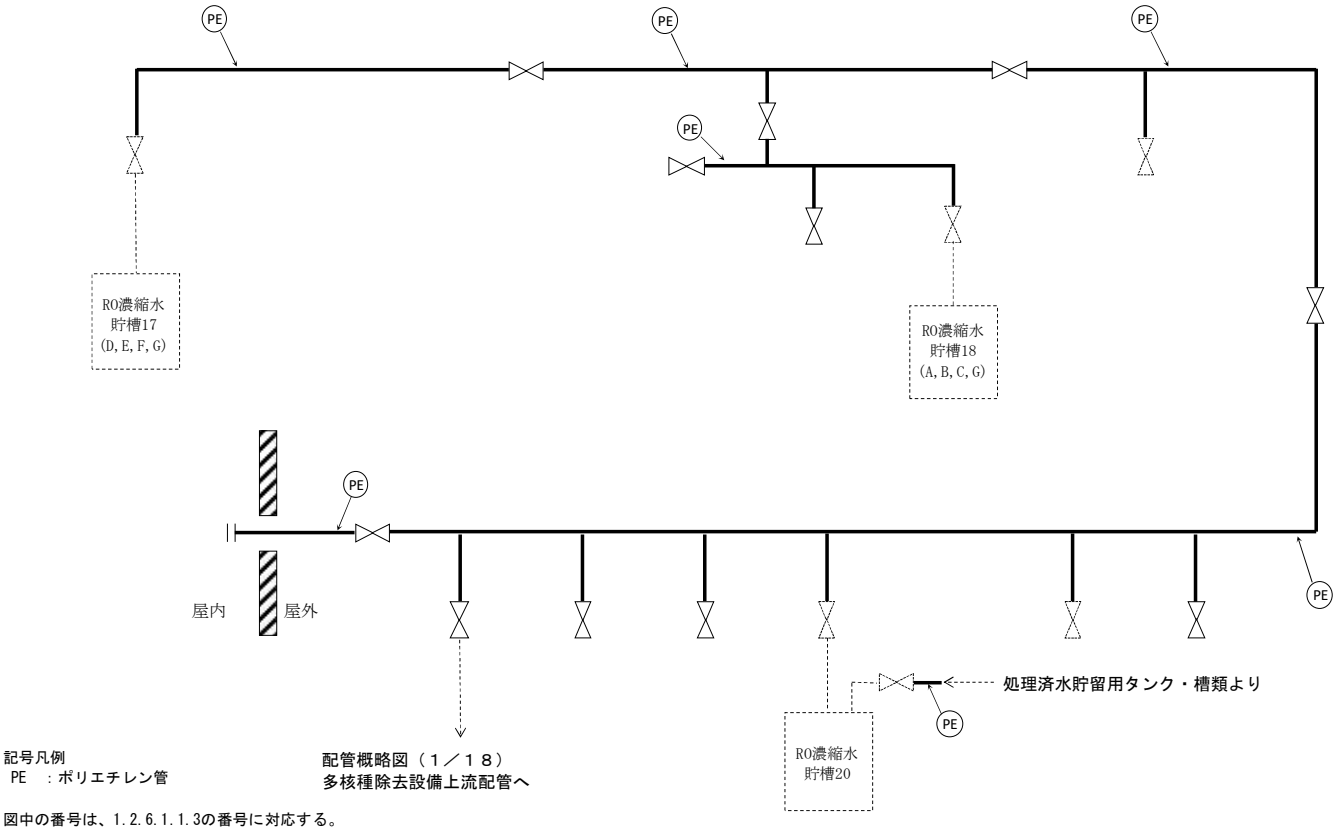
強度評価箇所を図－１に示す。



記号凡例
PE　：ポリエチレン管

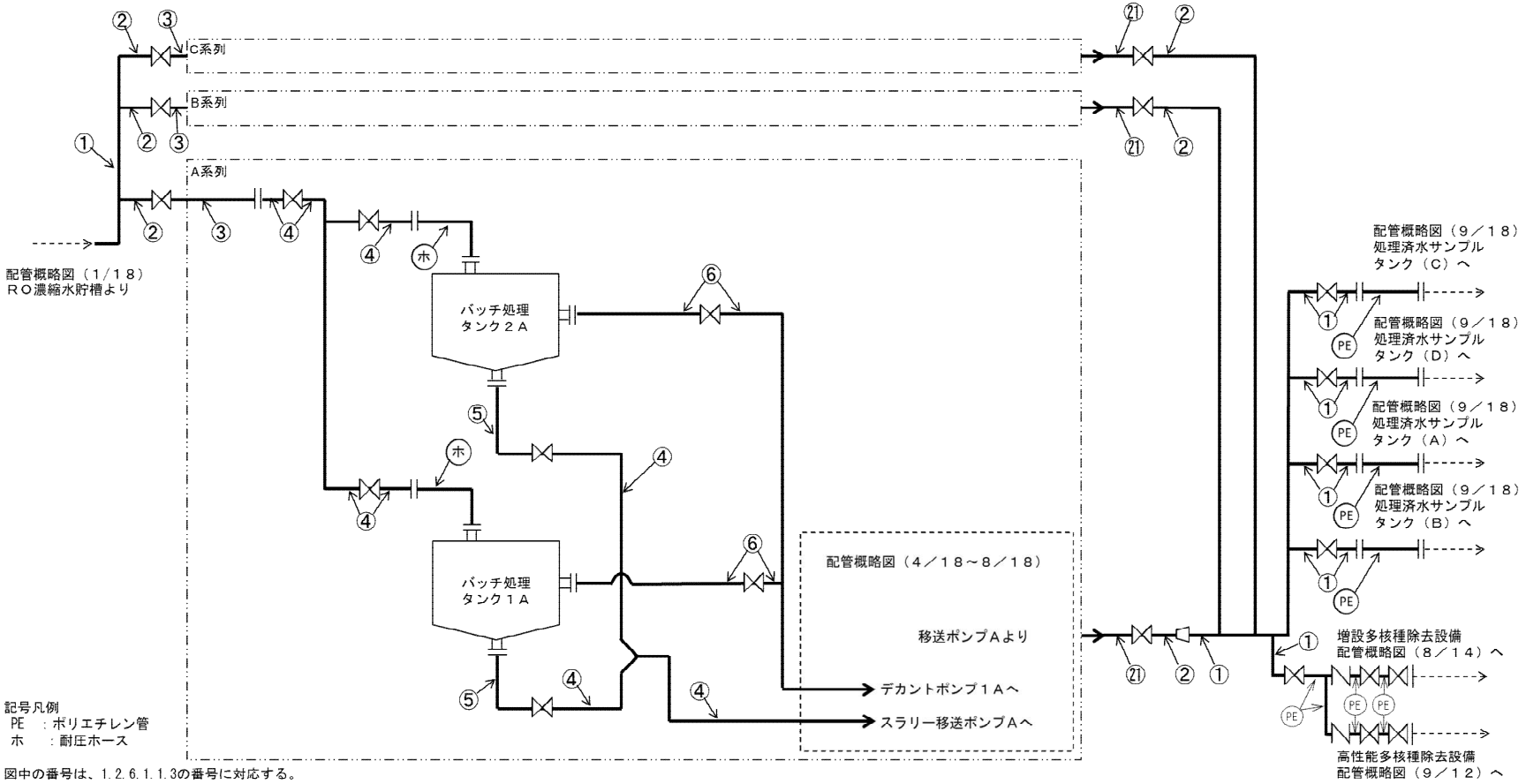
図中の番号は、1.2.6.1.1.3の番号に対応する。

図－1　配管概略図（1／18）

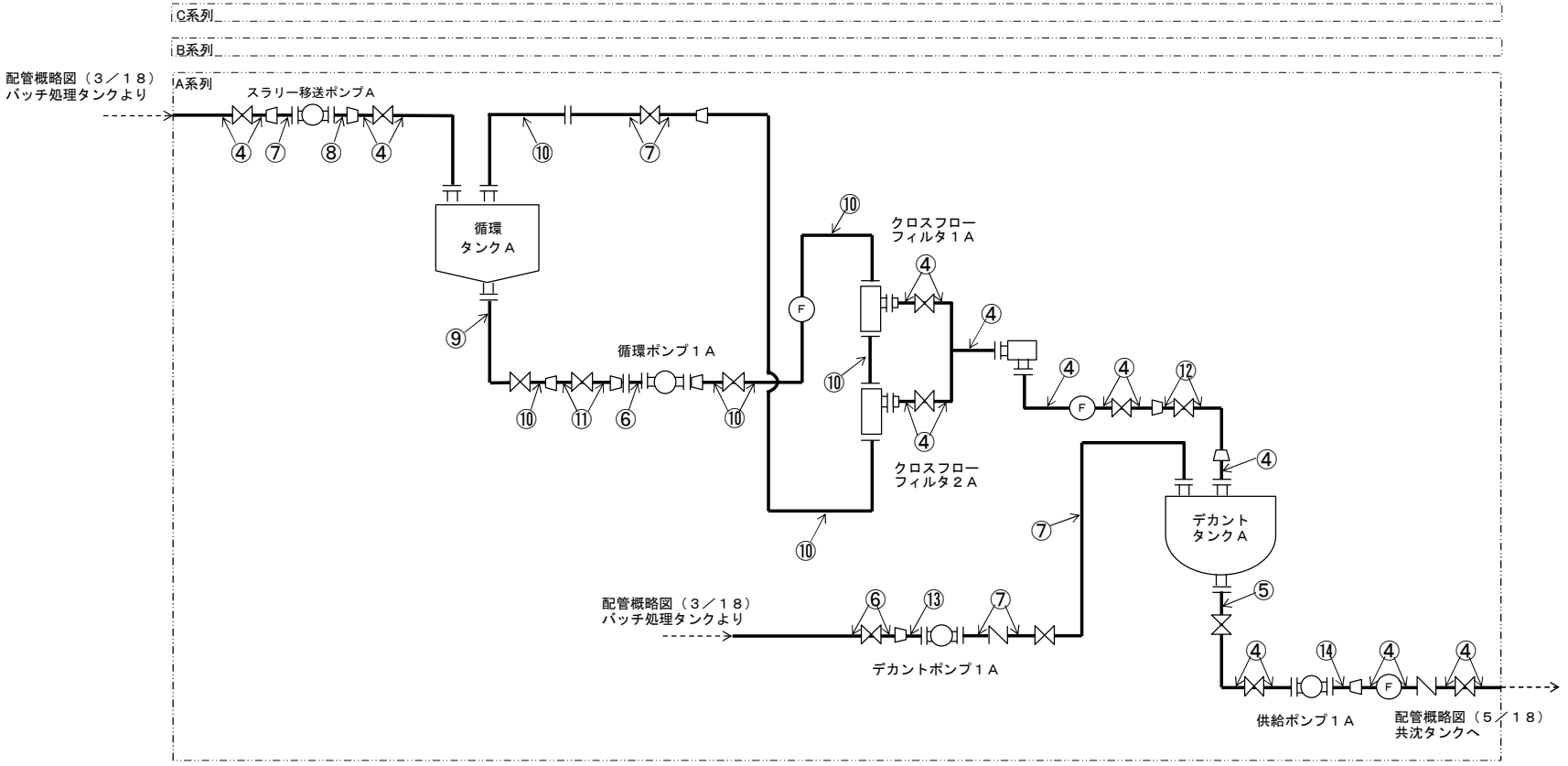


図中の番号は、1.2.6.1.1.3の番号に対応する。

図－１　配管概略図（２／１８）

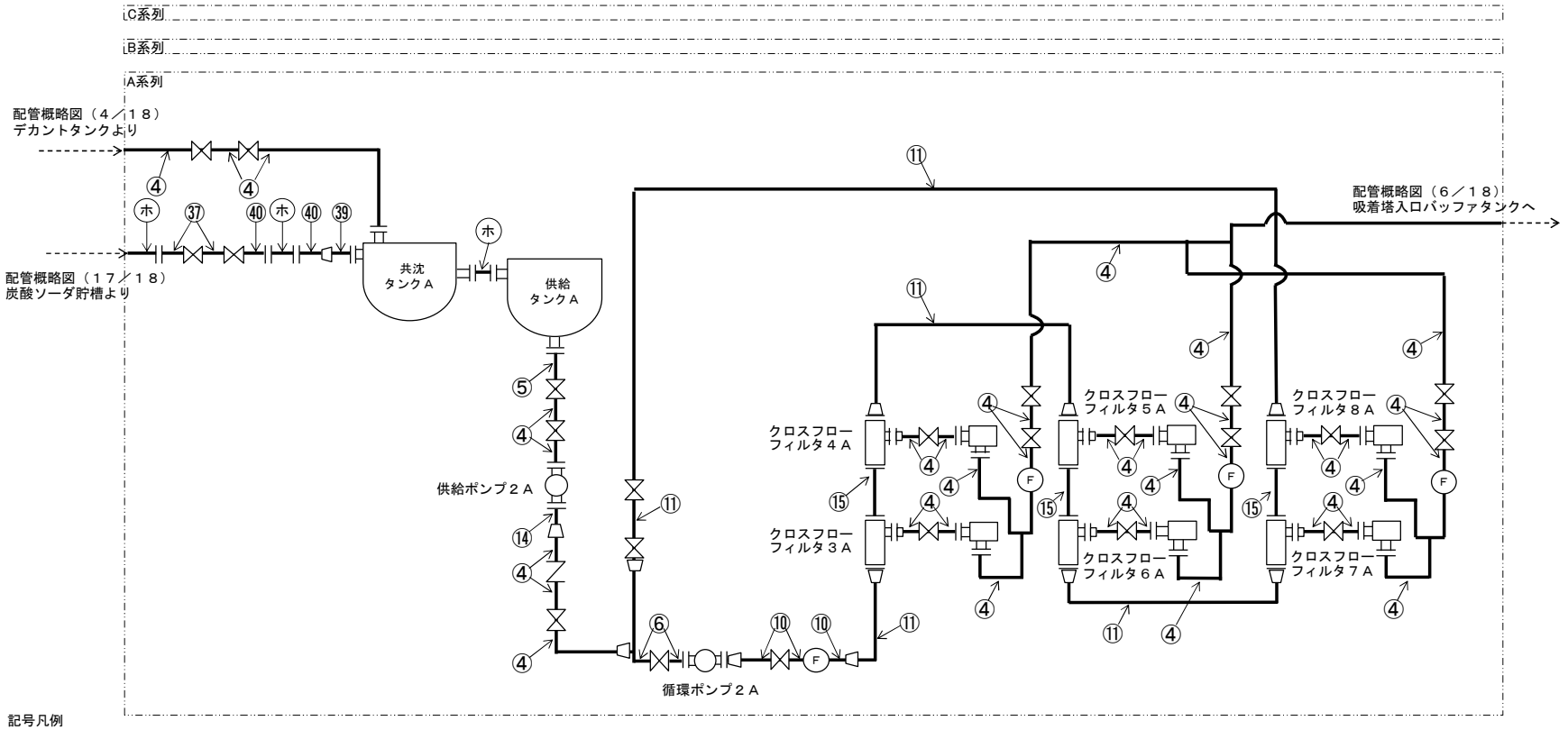

C系列
B系列
A系列
配管概略図（1／18）
RO濃縮水貯槽より
バッチ処理
タンク２A
バッチ処理
タンク１A
配管概略図（4／18～8／18）
移送ポンプAより
デカントポンプ１Aへ
スラリー移送ポンプAへ
配管概略図（9／18）
処理済水サンプル
タンク（C）へ
配管概略図（9／18）
処理済水サンプル
タンク（D）へ
配管概略図（9／18）
処理済水サンプル
タンク（A）へ
配管概略図（9／18）
処理済水サンプル
タンク（B）へ
増設多核種除去設備
配管概略図（8／14）へ
高性能多核種除去設備
配管概略図（9／12）へ
記号凡例
PE　：ポリエチレン管
ホ　：耐圧ホース
図中の番号は、1.2.6.1.1.3の番号に対応する。

図－１　配管概略図（３／１８）



図中の番号は、1.2.6.1.1.3の番号に対応する。

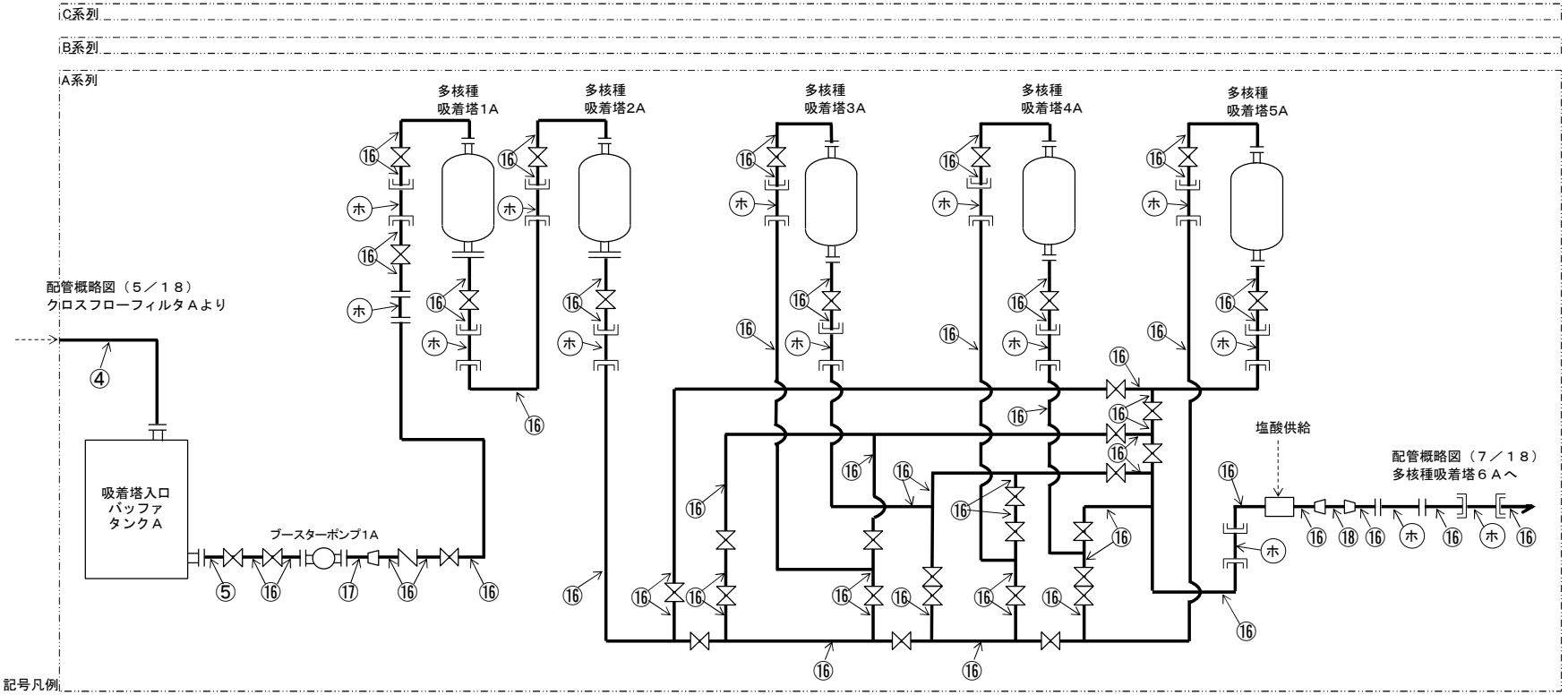
図－１　配管概略図（４／１８）



記号凡例
ホ　：耐圧ホース
PVC：ポリ塩化ビニール

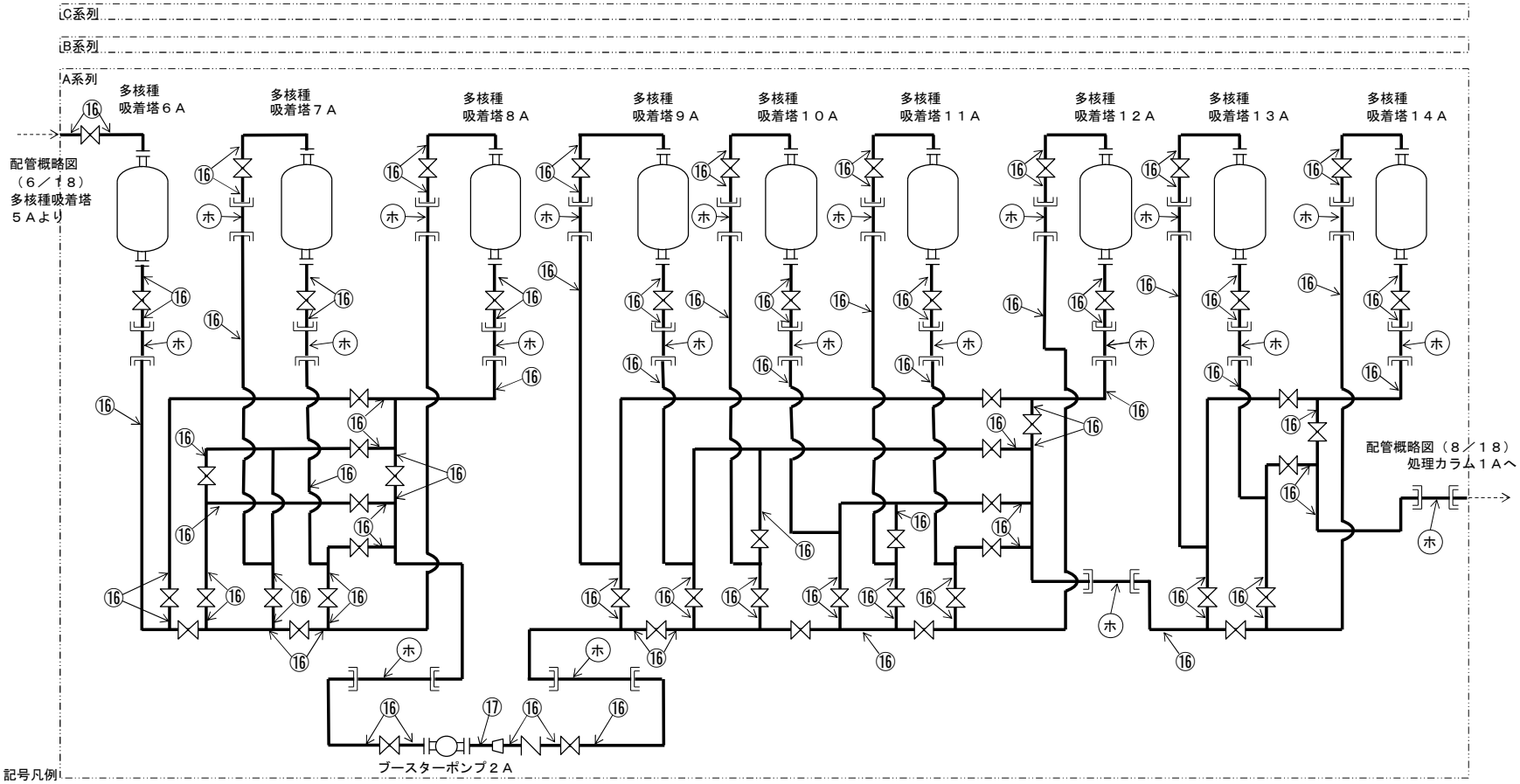
図中の番号は、1.2.6.1.1.3の番号に対応する。

図－１　配管概略図（５／１８）



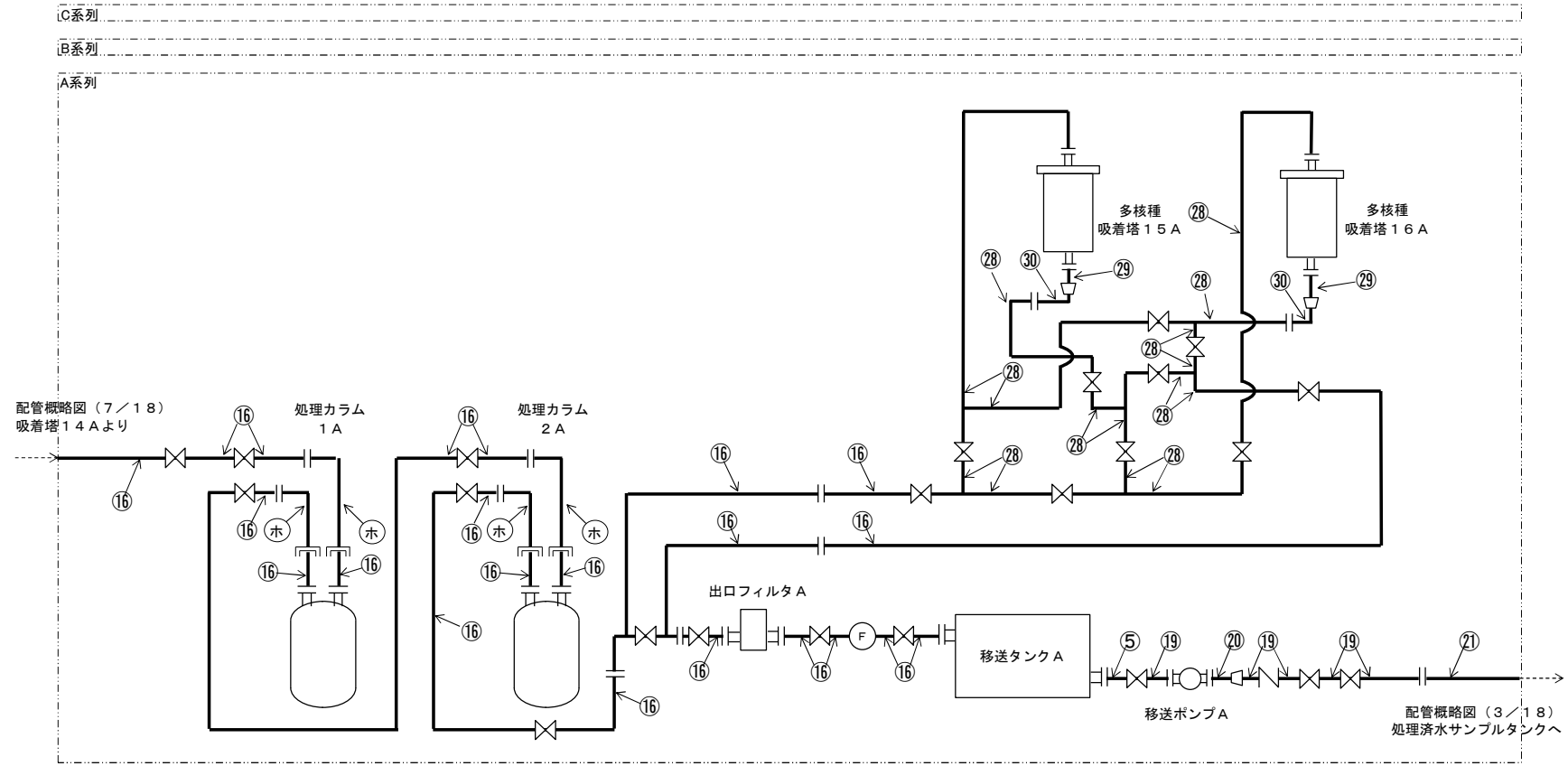
図中の番号は、1.2.6.1.1.3の番号に対応する。

図－１　配管概略図（６／１８）



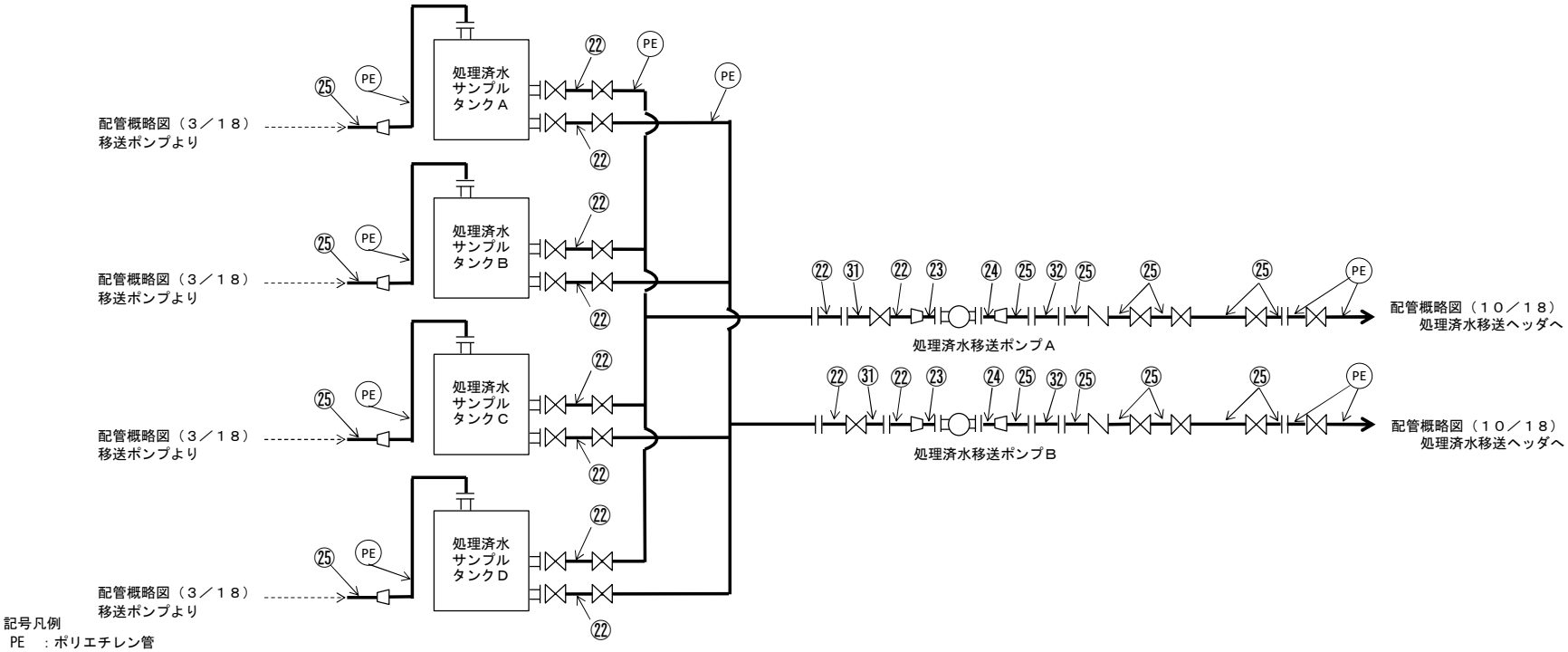
図中の番号は、1.2.6.1.1.3の番号に対応する。

図－１　配管概略図（７／１８）



図中の番号は、1.2.6.1.1.3の番号に対応する。

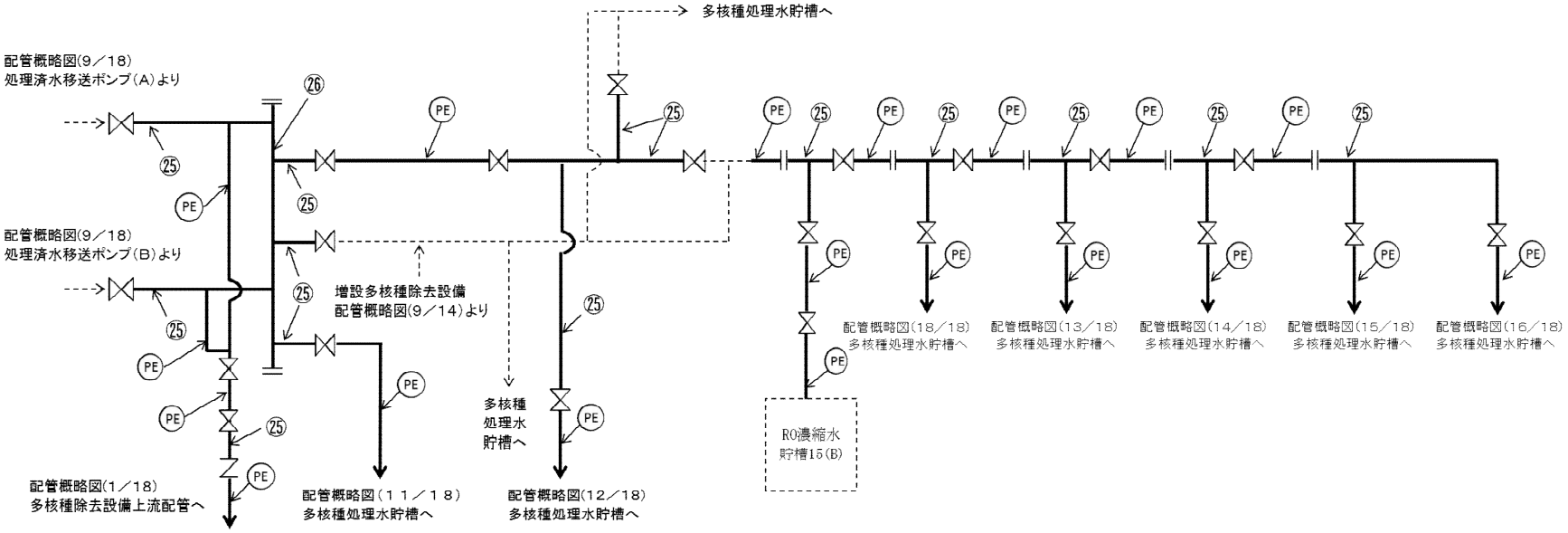
図－１　配管概略図（８／１８）



記号凡例
PE　：ポリエチレン管

図中の番号は、1.2.6.1.1.3の番号に対応する。

図－１　配管概略図（９／１８）

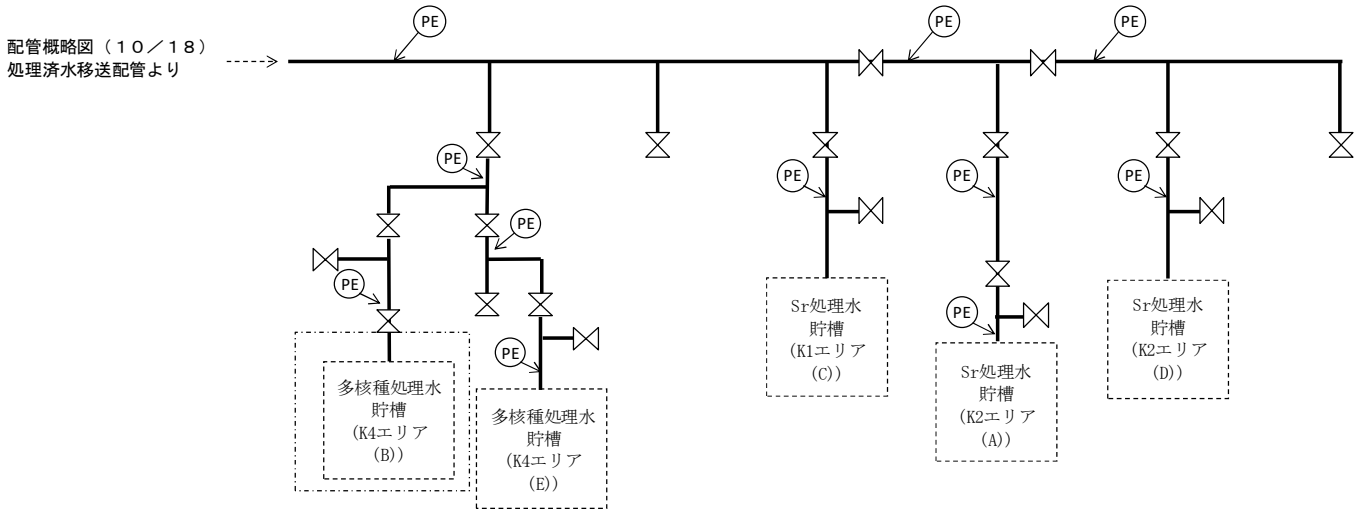


記号凡例
PE　：ポリエチレン管

図中の番号は、1.2.6.1.1.3の番号に対応する。

※使用する材料に変更の無い範囲で図に示す
配管構成は変更となる場合がある

図－１　配管概略図（１０／１８）

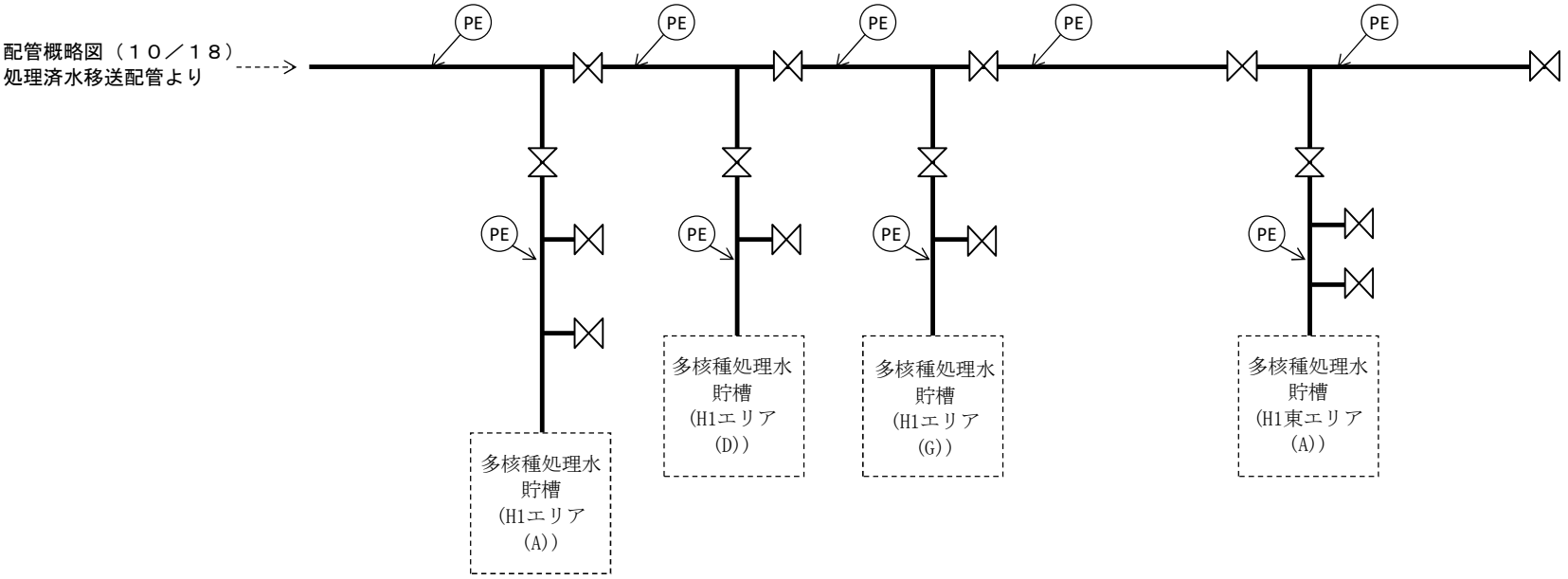


記号凡例
PE　：ポリエチレン管

図中の番号は、1.2.6.1.1.3の番号に対応する。

※使用する材料に変更の無い範囲で図に示す
配管構成は変更となる場合がある

図－１　配管概略図（１１／１８）

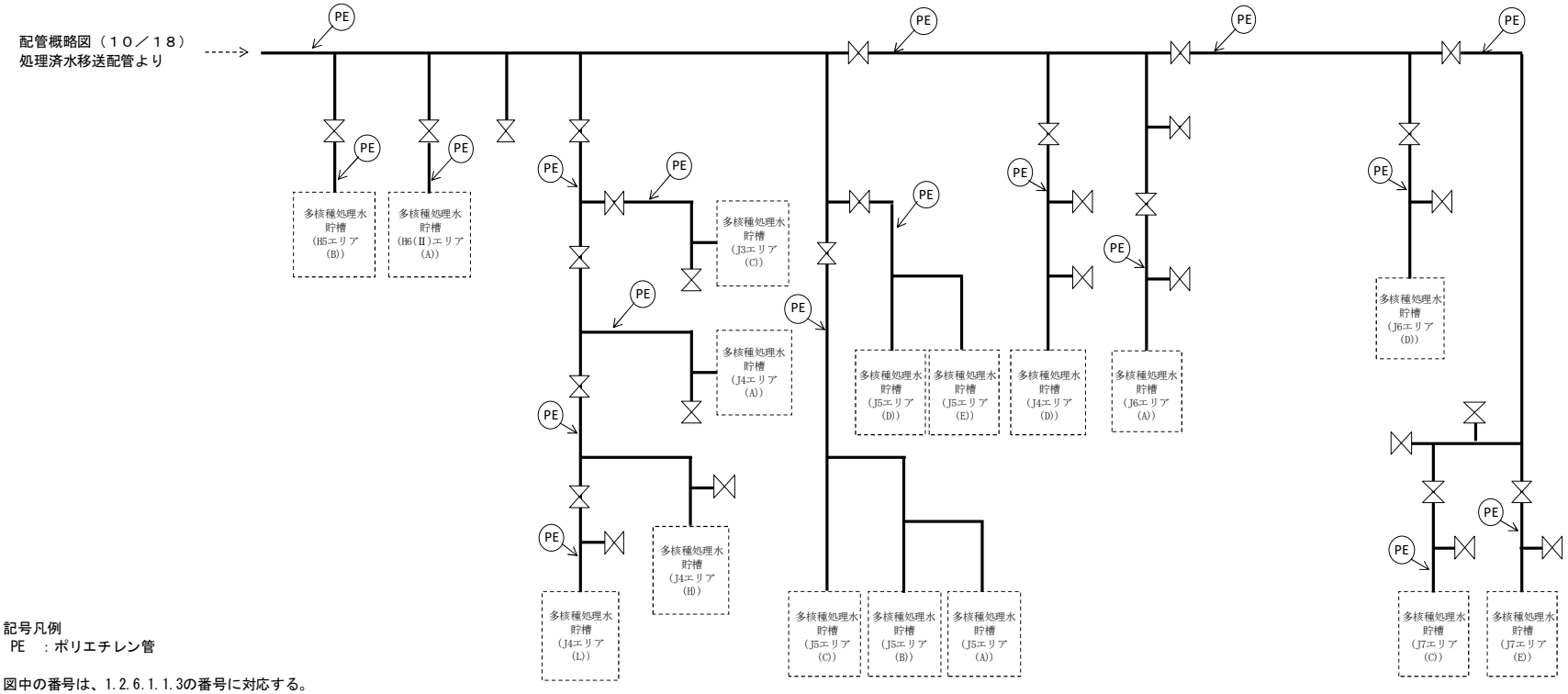


記号凡例
PE　：ポリエチレン管

図中の番号は、1.2.6.1.1.3の番号に対応する。

※使用する材料に変更の無い範囲で図に示す
配管構成は変更となる場合がある

図－１　配管概略図（１２／１８）

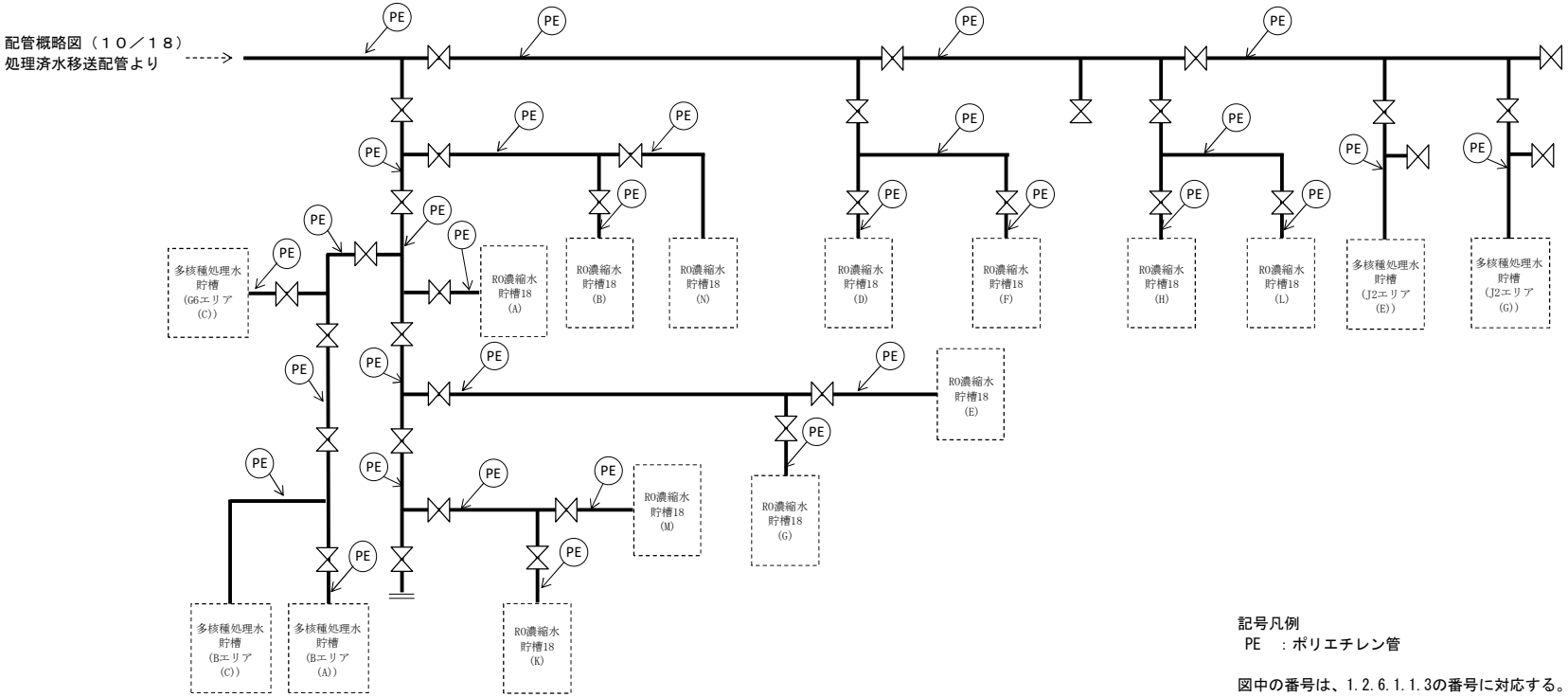


記号凡例
PE　：ポリエチレン管

図中の番号は、1.2.6.1.1.3の番号に対応する。

※使用する材料に変更の無い範囲で図に示す
配管構成は変更となる場合がある

図－１　配管概略図（１３／１８）

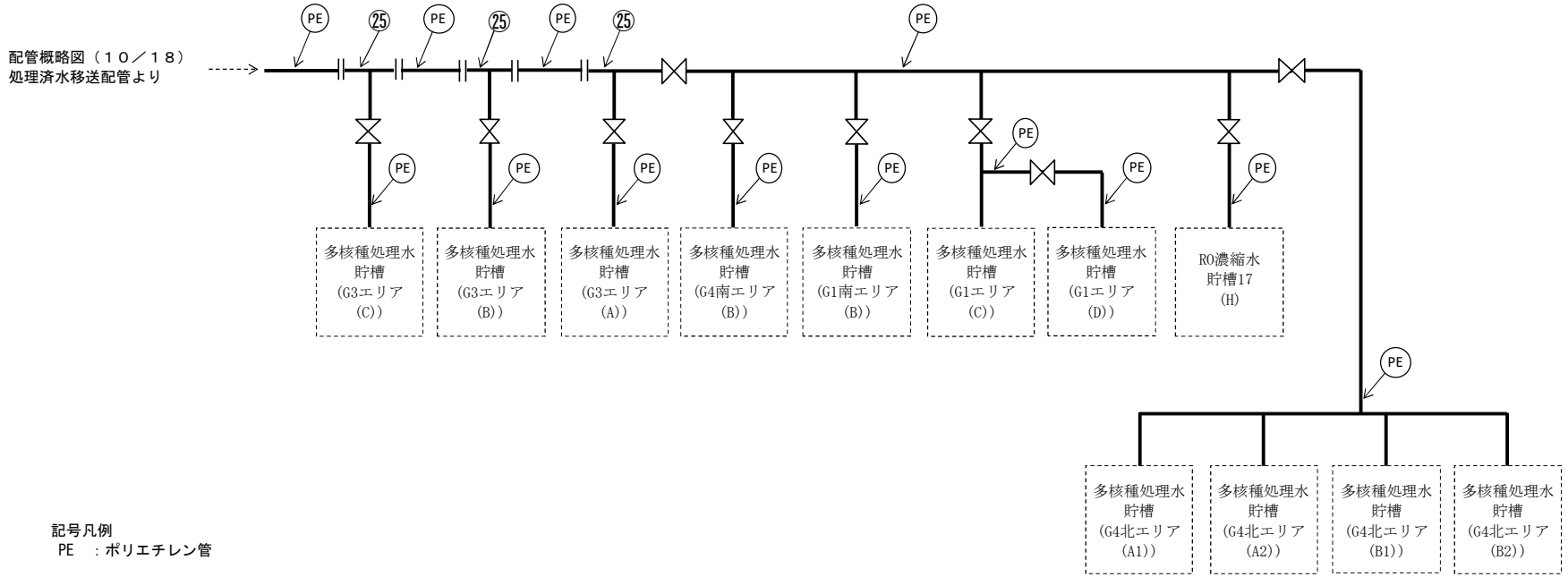


記号凡例
PE　：ポリエチレン管

図中の番号は、1.2.6.1.1.3の番号に対応する。

※使用する材料に変更の無い範囲で図に示す
配管構成は変更となる場合がある

図－１　配管概略図（１４／１８）

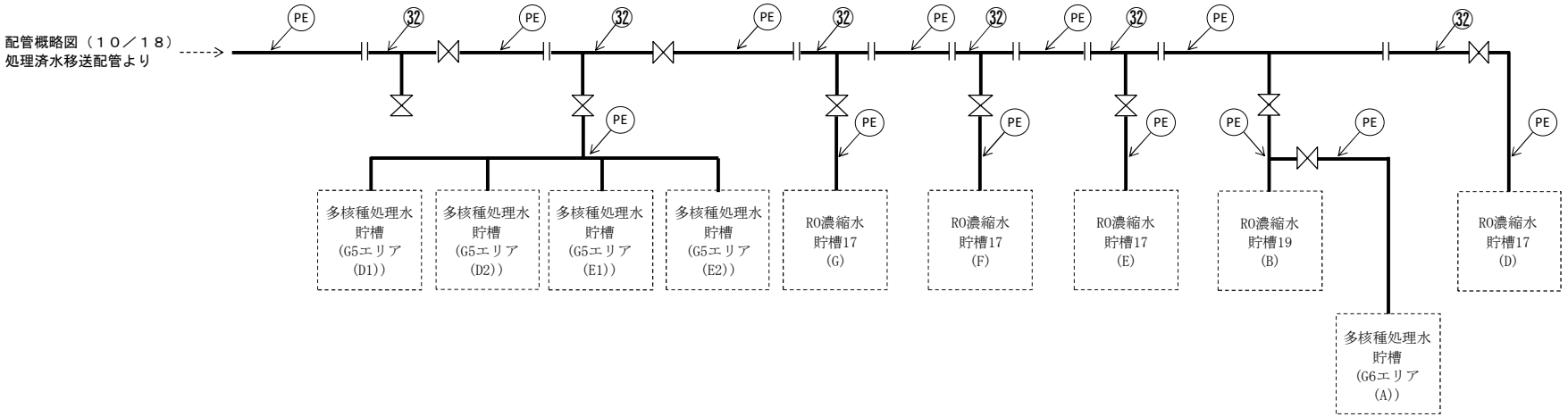


記号凡例
PE　：ポリエチレン管

図中の番号は、1.2.6.1.1.3の番号に対応する。

※使用する材料に変更の無い範囲で図に示す
配管構成は変更となる場合がある

図－１　配管概略図（１５／１８）

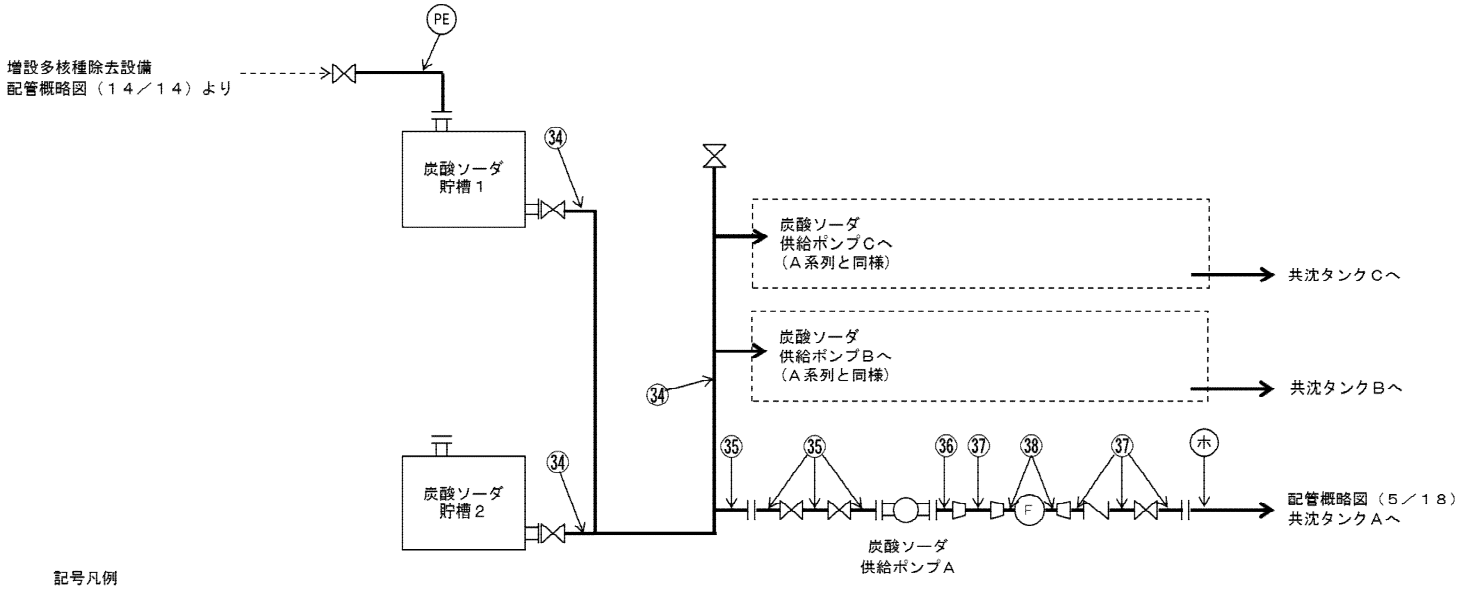


記号凡例
PE　：ポリエチレン管

図中の番号は、1.2.6.1.1.3の番号に対応する。

※使用する材料に変更の無い範囲で図に示す
配管構成は変更となる場合がある

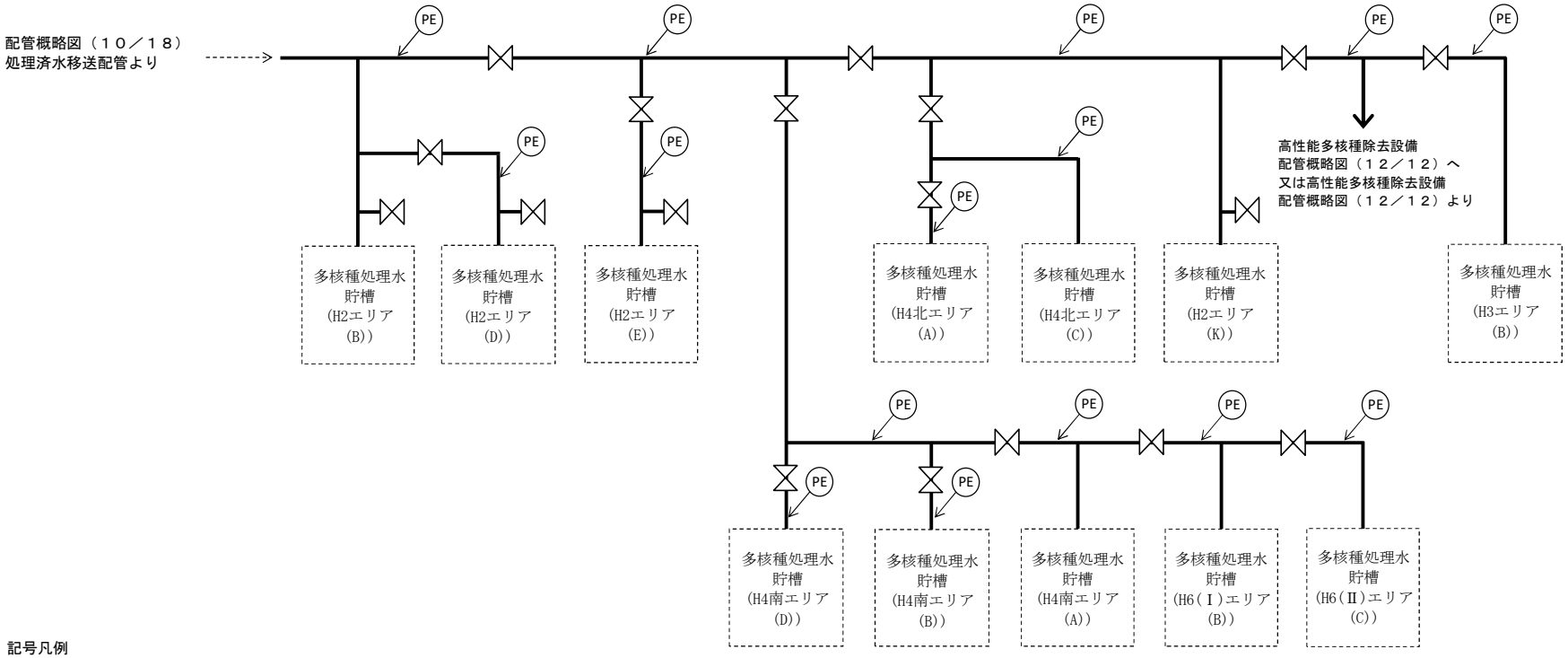
図－１　配管概略図（１６／１８）



記号凡例
PE　：ポリエチレン管
ホ　：耐圧ホース

図中の番号は、1.2.6.1.1.3の番号に対応する。

図－１　配管概略図（１７／１８）



記号凡例
PE　：ポリエチレン管

図中の番号は、1.2.6.1.1.3の番号に対応する。

※使用する材料に変更の無い範囲で図に示す
配管構成は変更となる場合がある

図－１　配管概略図（１８／１８）

1.2.6.1.1.2　評価方法

(1)　管の厚さの評価

管の必要な厚さは，次に揚げる値のいずれか大きい方の値とする。

a.　内面に圧力を受ける管

$$t_1 = \frac{P \cdot D_O}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$$

t_1 ：必要厚さ（mm）
P　：最高使用圧力（MPa）
Do：管台の外径（m）
S　：許容引張応力（MPa）
η　：継手効率（-）

b.　炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小必要厚さ：t_2

設計・建設規格　PPD-3411（3）の表 PPD-3411-1 より求めた値

1.2.6.1.1.3　評価結果

評価結果を表－１５に示す。必要厚さ等を満足しており，十分な構造強度を有していると評価している。

表－１５　配管の評価結果（管厚）

No.	外径（mm）	材料	最高使用圧力(MPa)	最高使用温度（℃）	必要厚さ（mm）	最小厚さ（mm）
1	114.30	STPG370	1.15	40	3.40	7.52
2	60.50	STPG370	1.15	40	2.40	4.81
3	60.50	STPG370	0.98	60	2.40	4.81
4	60.50	SUS316L	0.98	60	0.28	3.40
5	60.50	SUS316L	静水頭	60	－	3.40
6	165.20	SUS316L	0.98	60	0.74	6.21
7	114.30	SUS316L	0.98	60	0.52	5.25
8	76.30	SUS316L	0.98	60	0.35	4.55
9	216.30	SUS316L	静水頭	60	－	7.17
10	216.30	SUS316L	0.98	60	0.97	7.17
11	267.40	SUS316L	0.98	60	1.20	8.13
12	34.00	SUS316L	0.98	60	0.16	2.90
13	139.80	SUS316L	0.98	60	0.63	5.77
14	42.70	SUS316L	0.98	60	0.20	3.10

No.	外径 （mm）	材料	最高使用 圧力(MPa)	最高使用 温度（℃）	必要厚さ （mm）	最小厚さ （mm）
15	318.50	SUS316L	0.98	60	1.43	9.01
16	60.50	SUS316L	1.37	60	0.38	3.40
17	42.70	SUS316L	1.37	60	0.27	3.10
18	89.10	SUS316L	1.37	60	0.56	4.81
19	60.50	SUS316L	1.15	60	0.32	3.40
20	42.70	SUS316L	1.15	60	0.23	3.10
21	60.50	STPG370	1.15	60	2.40	4.81
22	165.20	STPG370	0.98	40	3.80	6.21
23	76.30	STPG370	0.98	40	2.70	4.55
24	48.60	STPG370	0.98	40	2.20	3.20
25	114.30	STPG370	0.98	40	3.40	5.25
26	216.30	STPG370	0.98	40	3.80	7.17
27	76.30	STPG370	1.15	40	2.70	6.12
28	60.50	SUS316L	0.7	60	0.20	3.40
29	114.30	STPG370	0.7	60	3.40	5.25
30	60.50	STPG370	0.7	60	2.40	3.40
31	165.20	SUS316L	0.98	40	0.73	6.21
32	114.30	SUS316L	0.98	40	0.51	5.25
34	139.80	SUS316L	0.5	40	0.32	5.77
35	76.30	SUS316L	0.5	40	0.18	4.55
36	60.50	SUS316L	0.5	40	0.14	3.40
37	48.60	SUS316L	0.5	40	0.11	3.20
38	34.00	SUS316L	0.5	40	0.08	2.90
39	76.30	SUS316L	0.5	60	0.18	4.55
40	48.60	SUS316L	0.5	60	0.12	3.20

注１）継手類は JIS 等の規格品を適用することで，管に対し十分な厚さを有し，管の強度評価に包絡される。

注２）管及び機器の取合箇所において，変位の吸収や着脱の必要性から強度計算の規格外となるホース類を適用する箇所がある。これらについては配管の流体・圧力・温度条件に合致した十分実績のあるものを採用することで，必要な強度を確保するものとする。

1.2.6.1.2　配管（ポリエチレン管）

配管（ポリエチレン管）は鋼材ではなく，一般産業品であるため，設計・建設規格の要求に適合するものではない。しかしながら，配管（ポリエチレン管）は，一般に耐食性，電気特性（耐電気腐食），耐薬品性を有しており，鋼管と同等の信頼性を有している。また，以下により高い信頼性を確保する。

・日本水道協会規格、ＩＳＯ規格に適合したポリエチレン管を採用する。
・継手は，可能な限り融着構造とする。

また，配管（ポリエチレン管）には保温材を取り付け凍結防止対策を施す。なお，本対策は，配管（ポリエチレン管）の紫外線劣化対策を兼ねる。

1.2.6.1.3　配管（耐圧ホース）

配管（耐圧ホース）は鋼材ではなく，一般産業品であるため，設計・建設規格の要求に適合するものではない。しかしながら，以下により高い信頼性を確保する。

・耐圧ホースで発生した過去の不適合のうち，チガヤによる耐圧ホースの貫通に関してはチガヤが生息する箇所においては鉄板敷き等の対策を施す。
・継手金属と樹脂の結合部（カシメ部）の外れ防止対策として，結合部に外れ防止金具を装着する。
・通水等による漏えい確認を行う。

1.2.6.2　耐震性評価

1.2.6.2.1　配管（鋼管）

配管（鋼管）は，原子力発電所の耐震設計に用いられている定ピッチスパン法等によりサポートスパンを確保する。

1.2.6.2.2　配管（ポリエチレン管）

配管（ポリエチレン管）は，可撓性を有しており地震により有意な応力は発生しない。

1.2.6.2.3　配管（耐圧ホース）

配管（耐圧ホース）は，可撓性を有しており地震により有意な応力は発生しない。

以上

別紙－１

耐震クラスの設定について

多核種除去設備等を構成する機器のうち放射性物質を内包するものは，2021 年 9 月 8 日の原子力規制委員会で示された耐震設計の考え方を踏まえ，その安全機能の重要度，地震によって機能の喪失を起こした場合の安全上の影響（公衆への被ばく影響）や廃炉活動への影響等を考慮した上で，核燃料物質を非密封で扱う燃料加工施設や使用施設等における耐震クラス分類を参考にして適切な耐震設計上の区分を行うとともに，適切と考えられる設計用地震力に耐えられる設計とする。

本資料では，上記の方針に基づく耐震クラスの設定について記載する。

ただし，本資料に記載が無い，2021 年 9 月 8 日以前に認可された機器については，「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」を参考にして耐震クラスを分類している。

１．Ｃクラスに設定する設備

（１）対象設備

移送タンク，移送ポンプ，移送タンク～サンプルタンク間の主配管

ただし，Ｂクラス相当にて評価を示す場合が有る。

（２）設定の理由

ａ．破損シナリオ

地震により安全機能を失った際の公衆への被ばく影響を評価するため，対象設備が破損して内包する液体放射性物質が漏えいすることを想定する。

ｂ．影響評価

対象設備の内包水が全て漏えいすると想定し，公衆への被ばく影響を評価する。対象設備では配管構成上，吸着塔を通水した処理済水のみを取り扱うため，処理済水の分析結果（平成 25 年 7 月）を内包水の放射能濃度として設定する。

直接線・スカイシャイン線による被ばくについては，想定よりも保守側の条件（放射能濃度は同一で，漏えい量が多く，最寄りの敷地境界までの距離が短い条件）にて年間 1μSv 未満であると評価していることから，本想定の場合も同様に年間 1μSv 未満になると評価した。

漏えい水の気中移行による被ばくについては，想定よりも保守側の条件（放射能濃度は同一で，漏えい量が多く，最寄りの敷地境界までの距離が短い条件）にて年間 1μSv 未満であると評価していることから，本想定の場合も同様に年間 1μSv 未満になると評価した。

ｃ．耐震クラス

破損シナリオによる公衆への被ばく影響は年間 2μSv 未満であり 50μSv 以下であることから，耐震クラスはＣクラスと評価する。

以上

多核種除去設備上屋の耐震性に関する検討結果

1. Ｂクラス施設としての評価

1.1 評価方針

多核種除去設備上屋は，耐震設計審査指針上のＢクラス相当の建物と位置づけられるため，耐震Ｂクラスとしての評価を実施する。

多核種除去設備建屋は，地上１階建で平面が 59.4m（NS）×58.6m（EW）の鉄骨造の建物である。基礎底面からの高さは約 20.2mであり，地上高さは約 18.9mである。基礎スラブは厚さ 1.5mのべた基礎で，長期許容支持力 170kN/m^{2}以上の地盤に設置する。建屋の平面図及び断面図を図－１～図－４に示す。

建物に加わる地震時の水平力を，NS 方向はブレース，EW 方向は柱・梁ともトラス形式のフレームで負担する。

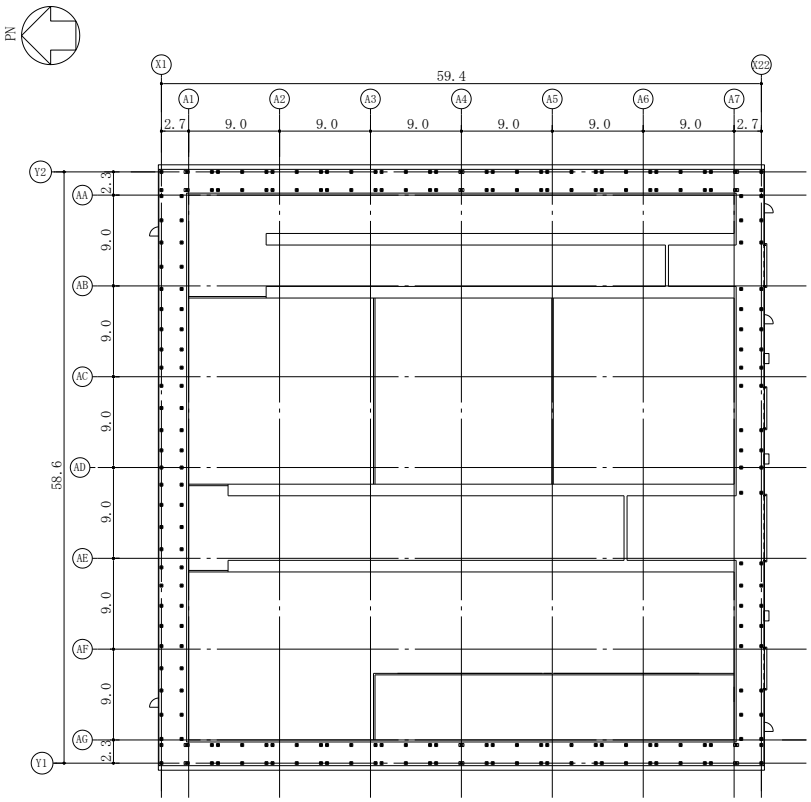
耐震性の評価は，地上 1 階の地震層せん断力係数として 0.3 を採用した場合の当該部位の応力に対して行う。

多核種除去設備建屋の評価手順を図－５に示す。

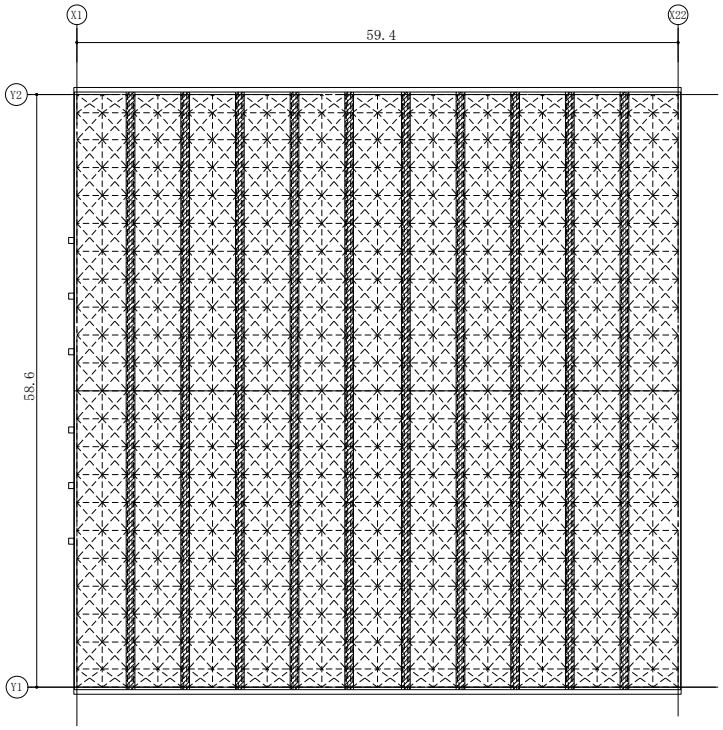
添付資料３では，設計 GL. 0m= T.P.36.0m(※)とする。

(※) 震災後の地盤沈下量(-709mm)と O.P.から T.P.への換算値(-727mm)を用いて，下式に基づき換算している。

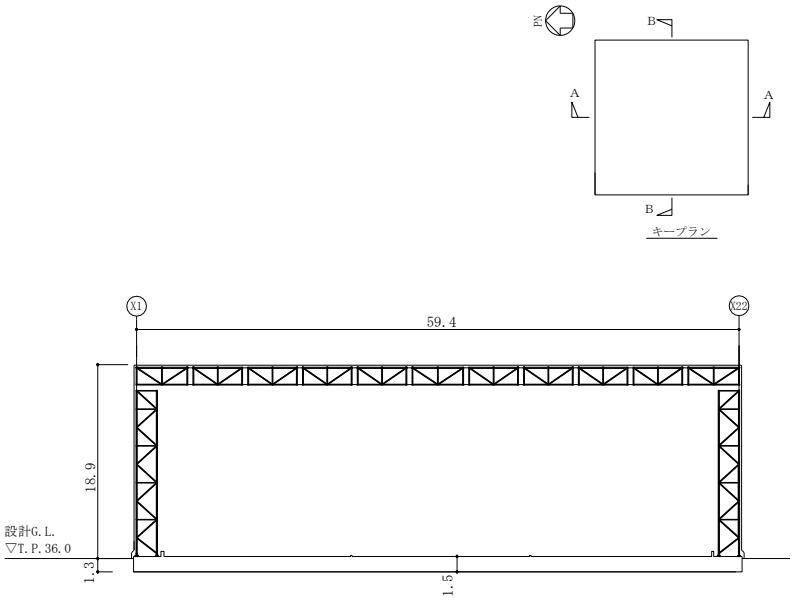
＜換算式＞ T.P.=旧 O.P.-1,436mm



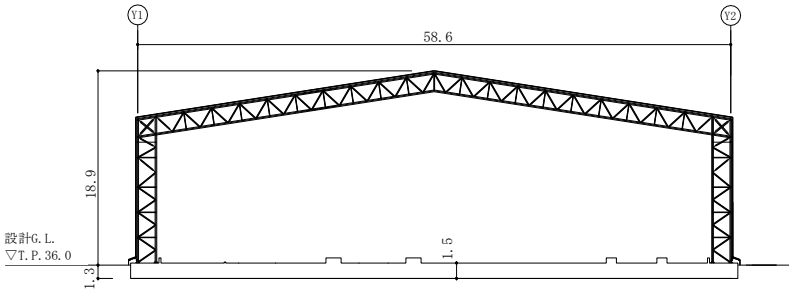
図－１　建屋平面図（設計 G.L.+0.2）（単位：m）



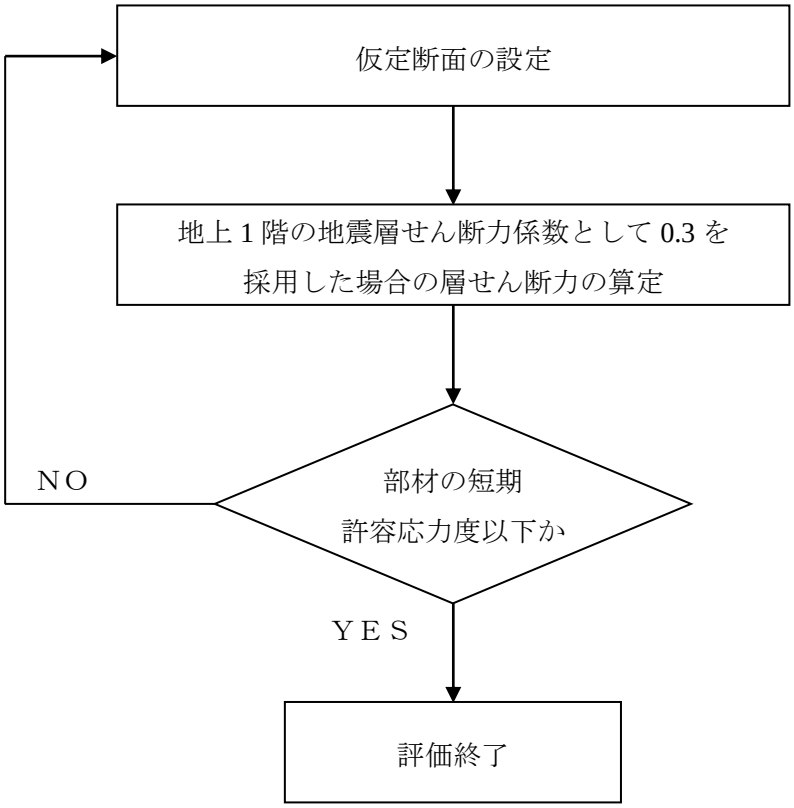
図－２　屋根平面図（設計 G.L.+18.9）（単位：m）



図－３　Ａ－Ａ断面図（NS 方向）（単位：m）



図－４　Ｂ－Ｂ断面図（EW 方向）（単位：m）



図－５　Ｂクラス施設としての建屋の耐震安全性評価手順

1.2 評価条件（検討に用いる設計用地震力の設定）

地震層せん断力係数及び設計用地震力を表－１に示す。評価に用いる材料の許容応力度を表－２～表－４に，基礎地盤の許容支持力度を表－５に示す。

表－１　地震層せん断力係数及び設計用地震力

G.L. (m)	W_i (kN)	地震層せん断力係数		設計用地震力（S_B） (kN)	
		NS	EW	NS	EW
+18.7～ +0.2	4250	0.30		1275	

表－２　構造用鋼材の許容応力度

（単位：N/mm^2）

	板厚	材料	基準強度Ｆ	許容応力度
構造用鋼材	t ≦40mm	SS400，SN400B STK400，STKR400	235	「鋼構造設計規準」に従って左記Ｆの値により求める。
	t ≦40mm	SM490C SNR490B	325	

表－３　コンクリートの許容応力度

（単位：N/mm^2）

		長　期		短　期	
		圧縮	せん断	圧縮	せん断
基礎 スラブ	F_c＝30	10	0.79	20	1.18

表－４　鉄筋の許容応力度

（単位：N/mm^2）

		長　期		短　期	
		引張及び圧縮	せん断補強	引張及び圧縮	せん断補強
基礎スラブ	SD345	215※	195	345	345

※：呼び径 D29 以上の太さの鉄筋に対しては 195 とする。

表－５　基礎地盤の許容支持力度

（単位：N/mm^2）

	長　期	短　期
支持地盤	0.17	0.34

注：建築基準法施行令第 93 条及び平成 13 年国土交通省告示第 1113 号に基づき算定した。

1.3 評価結果

(1) 上部架構の評価結果

解析モデルは，全ての部材を線材置換した立体モデルで，柱脚はピンとする。

検討により得られた部材応力の内，応力度／短期許容応力度が最大となる鉄骨部材の断面検討結果を表－６に示す。

これより鉄骨部材の応力度は，短期許容応力度以下であることを確認した。

表－６　鉄骨部材の応力度と短期許容応力度

部位	荷重条件	応力度 (N/mm^2)	短期許容応力度 (N/mm^2)	応力度／短期許容応力度
トラス梁 (STK400)	積雪荷重	62 (圧縮)	170 (圧縮)	0.37
トラス柱 (STK400)	積雪荷重	56 (圧縮)	162 (圧縮)	0.35

(2) 基礎スラブの評価結果

基礎スラブの応力解析は，弾性地盤上に支持された版として有限要素法を用いて行う。解析モデルは，四辺形の均質等方な板要素により構成し，支持地盤は等価な弾性ばねとしてモデル化する。

必要鉄筋比が最大となる要素と面外せん断力が最大となる要素の断面検討結果を表－７及び表－８に示す。

これより，設計鉄筋比は必要鉄筋比を上回り，また面外せん断力は短期許容せん断力以下であることを確認した。基礎スラブ配筋図を図－６に示す。

なお，基礎地盤に生じる接地圧は短期で最大 0.08 N/mm^2 であり，基礎地盤の短期許容支持力度 0.34 N/mm^2 以内となっている。

表－７　軸力及び曲げモーメントに対する検討結果

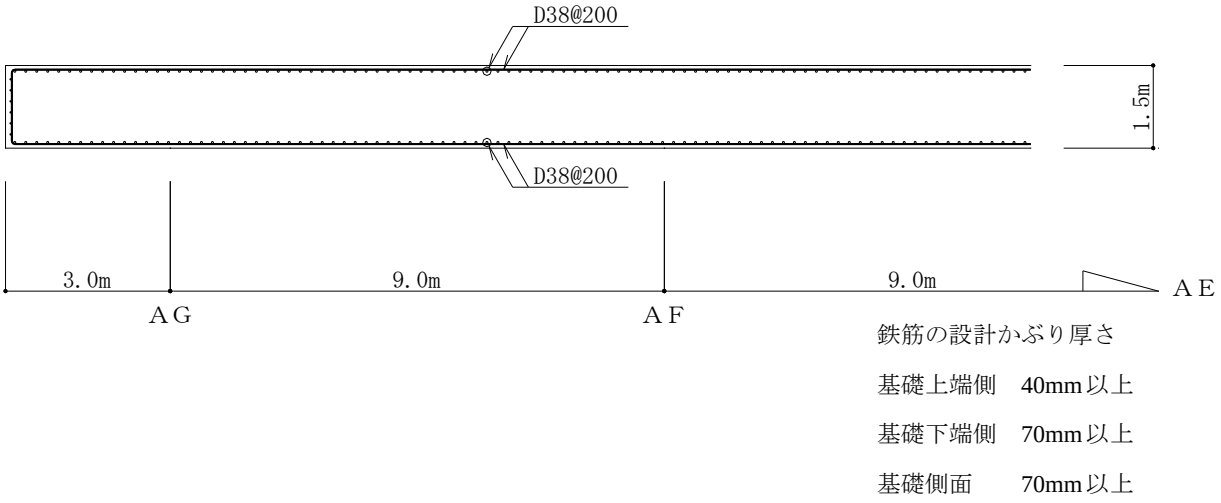
応　力		必要鉄筋比 (%)	設計鉄筋比 (%)	必要鉄筋比 ／設計鉄筋比
軸　力※ (kN/m)	曲げモーメント (kN･m/m)			
65	619	0.10	0.38	0.27

※：圧縮を正とする。

表－８　面外せん断力に対する検討結果

応　力 面外せん断力(kN/m)	短期許容 せん断力(kN/m)	応力／短期許容せん断力
500	1316	0.38

以上のことから，設計用地震力に対する耐震安全性は確保されているものと評価した。



図－６　基礎スラブ配筋図（A1 通り）

2.基準地震動Ｓｓに対する評価

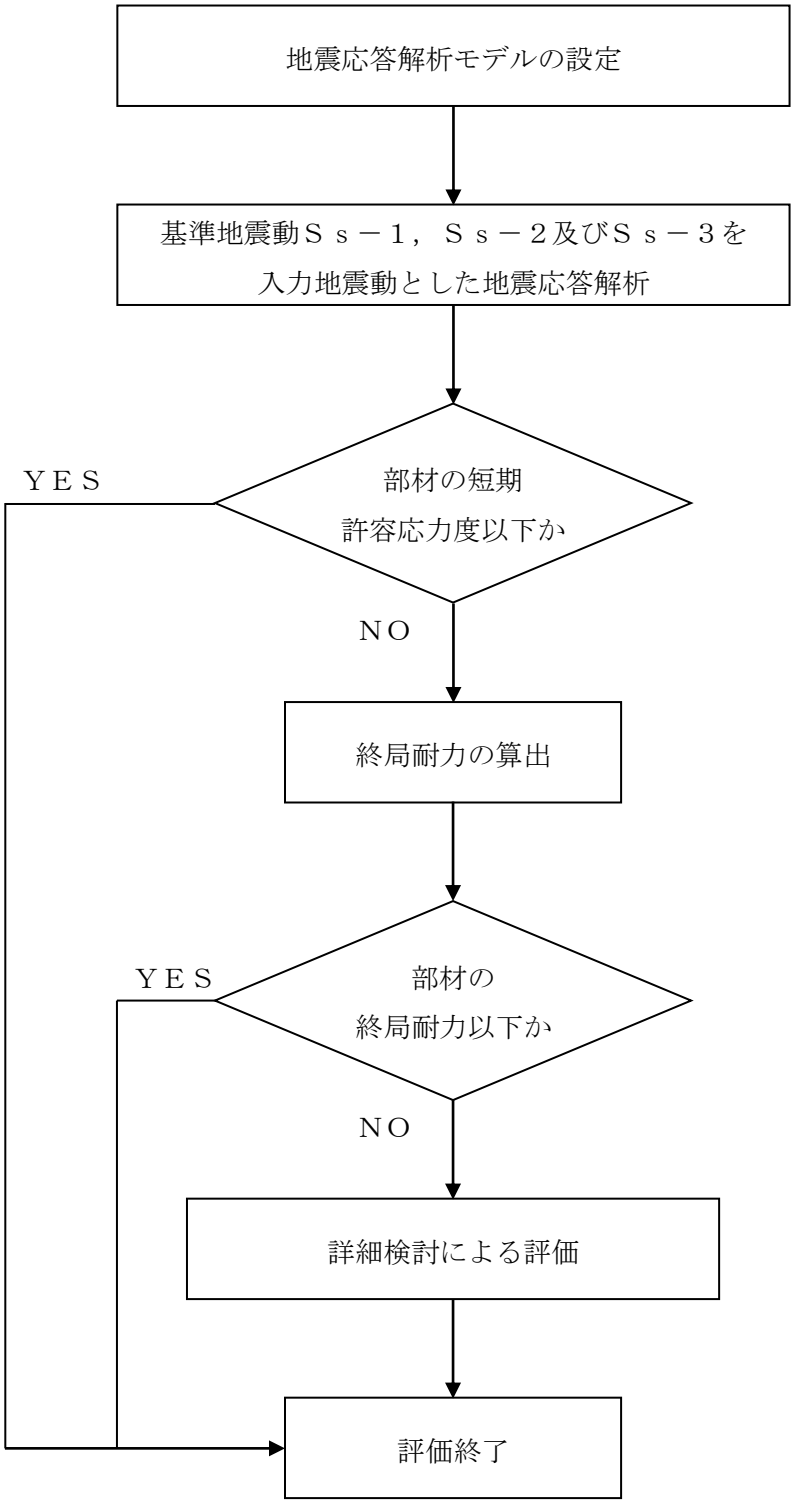
2.1 解析評価方針

建屋について，参考評価として基準地震動Ｓｓによる地震力に対し，崩壊しないことを確認する。

解析モデルは，基礎及び地上階の曲げ，せん断及び軸剛性を評価した質点系モデルとする。

部材の評価は，地震応答解析により得られた当該部位の応力に対して，部材の終局耐力と比較することによって行う。ただし，部材応力が短期許容応力度以下である場合は，終局耐力との比較を省略する。

基準地震動Ｓｓに対する建屋の耐震性評価手順を図－７に示す。

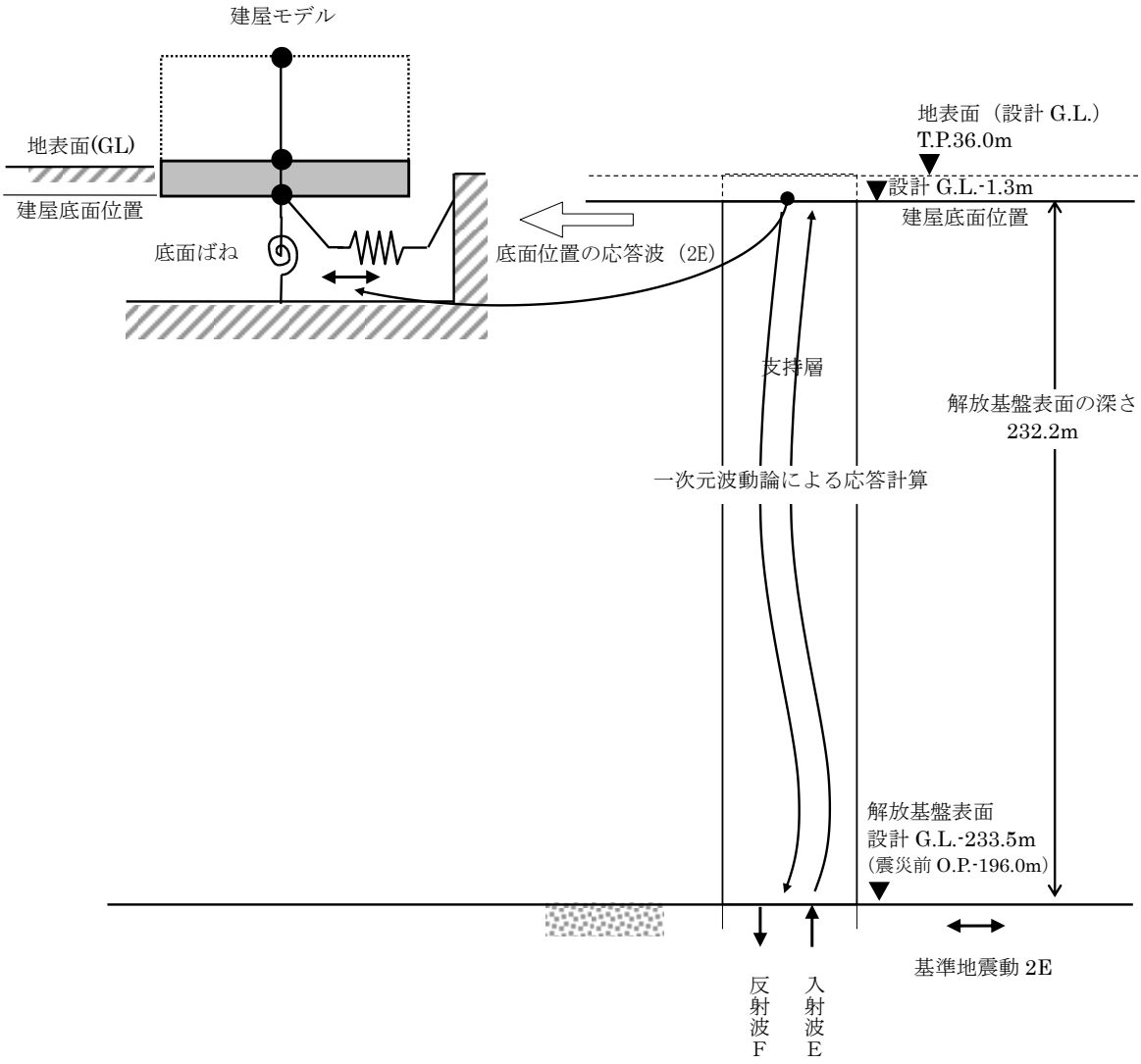


図－７　基準地震動Ｓｓに対する建屋の耐震性評価手順

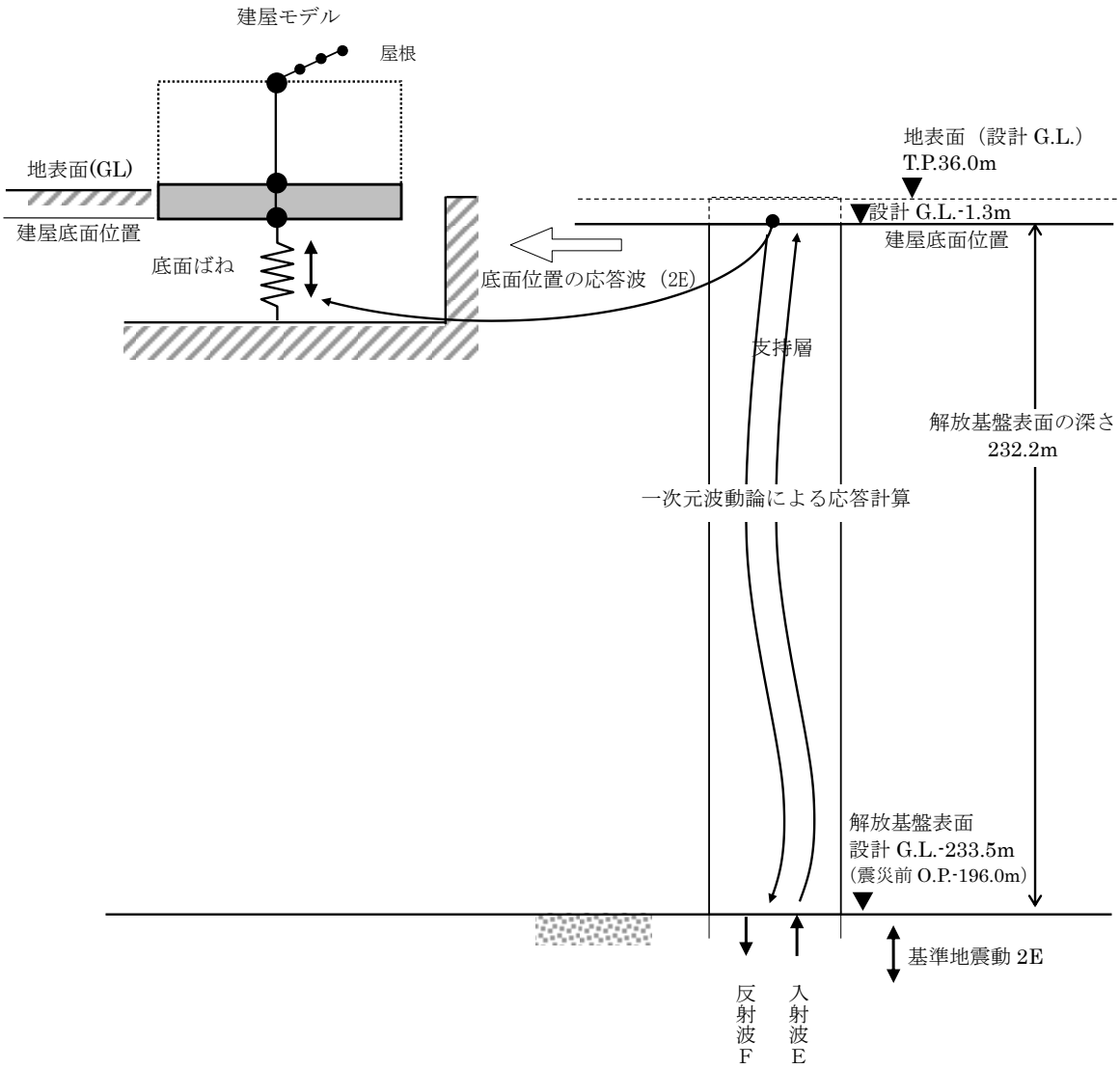
2.2 解析に用いる入力地震動

建屋への入力地震動は，「福島第一原子力発電所『発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針』の改訂に伴う耐震安全性評価　中間報告書」（原管発官１９第６０３号　平成 20 年 3 月 31 日付）にて作成した解放基盤表面レベルに想定するＳｓ－１，Ｓｓ－２及びＳｓ－３に基づき算定することとする。

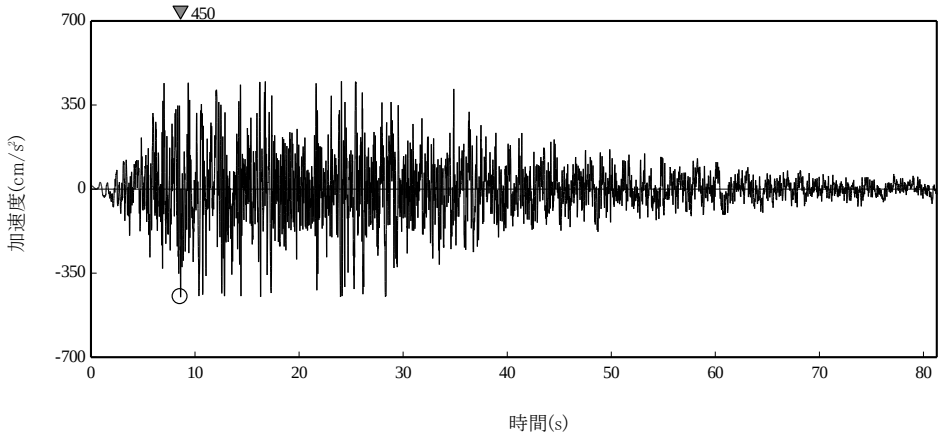
地震応答解析に用いる入力地震動の概念図を図－８及び図－９に示す。この建屋の解析モデルは，建屋と地盤の相互作用を考慮したスウェイ・ロッキングモデルである。モデルに入力する地震動は，一次元波動論に基づき，解放基盤表面レベルに想定する基準地震動Ｓｓに対する地盤の応答として評価する。解放基盤表面位置における基準地震動Ｓｓ－１，Ｓｓ－２及びＳｓ－３の加速度波形を図－１０及び図－１１に示す。



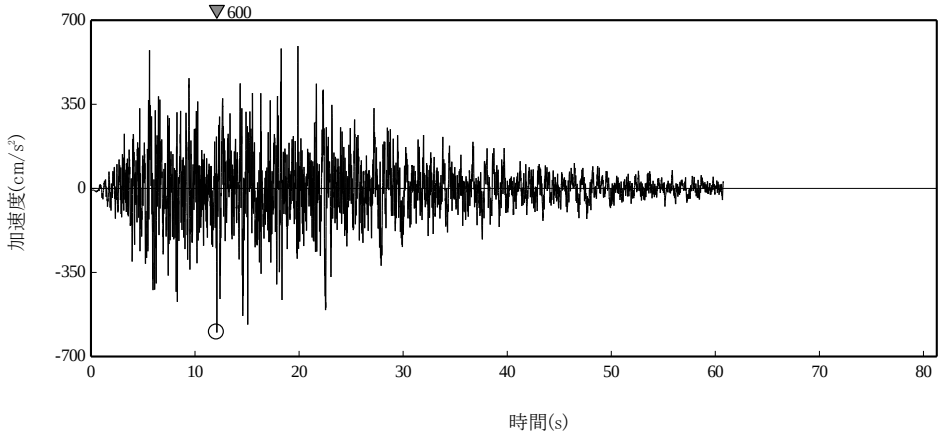
図－８　地震応答解析に用いる入力地震動の概念図（水平方向）



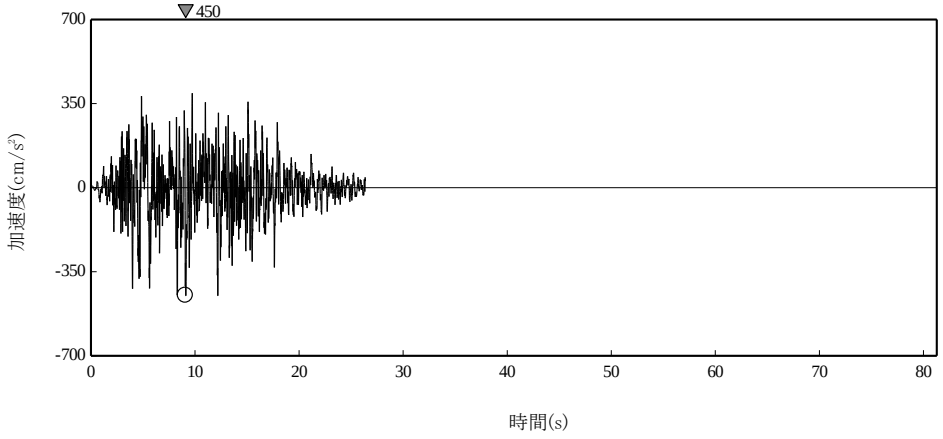
図－９　地震応答解析に用いる入力地震動の概念図（鉛直方向）



（Ｓｓ－１Ｈ）

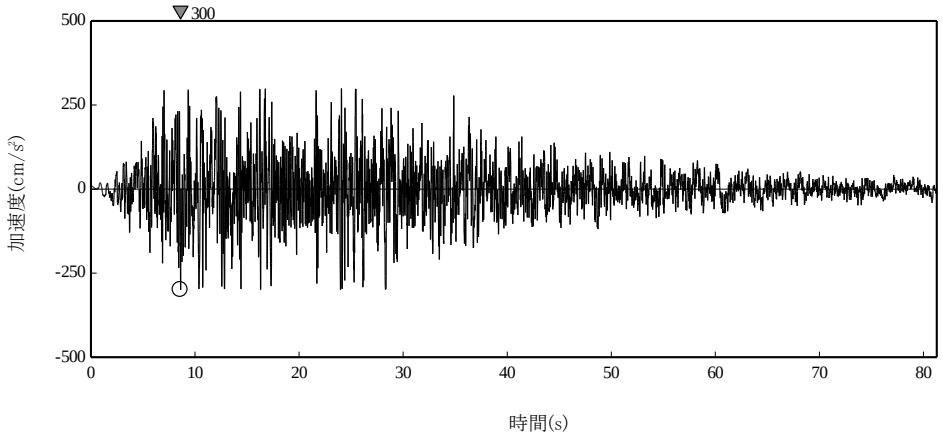


（Ｓｓ－２Ｈ）

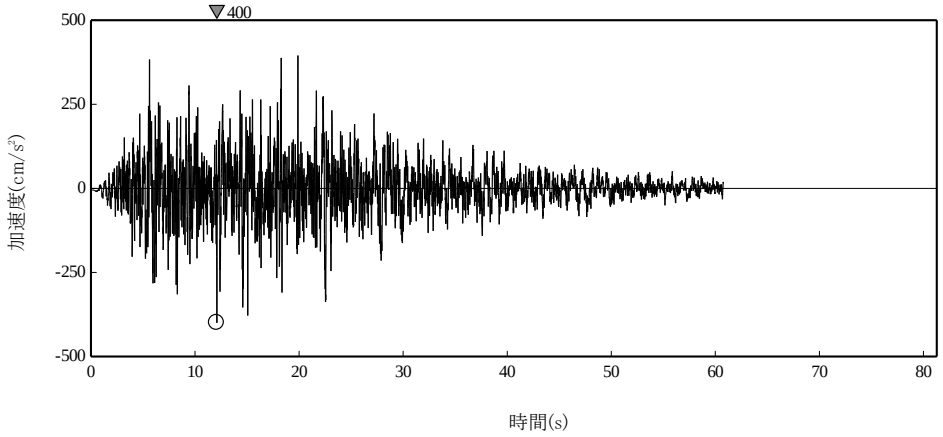


（Ｓｓ－３Ｈ）

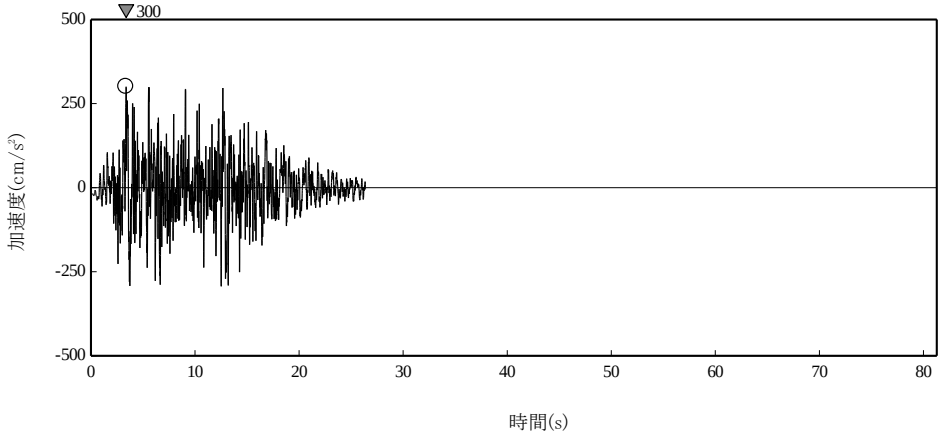
図－１０　解放基盤表面位置における地震動の加速度波形（水平方向）



（Ｓｓ－１Ｖ）



（Ｓｓ－２Ｖ）



（Ｓｓ－３Ｖ）

図－１１　解放基盤表面位置における地震動の加速度波形（鉛直方向）

2.3 地震応答解析モデル

基準地震動Ｓｓに対する建屋の地震応答解析は，「2.2　解析に用いる入力地震動」で算定した入力地震動を用いた動的解析による。

地震応答解析モデルは，水平方向については建屋の曲げ変形とせん断変形を考慮した質点系，鉛直方向はトラス柱の上下軸変形及びトラス梁の曲げ変形とせん断変形を考慮した質点系とし，地盤を等価なばねで評価した建屋－地盤連成系モデルとする。解析に用いる物性値は以下のとおりとし，建屋解析モデルの諸元を表－９及び表－１０に示す。

a)コンクリート

・ヤング係数　　$E = 2.44 \times 10^4$ N/mm^2　（$F_c = 30$ N/mm^2 ）；基礎部

・ポアソン比　　$\nu = 0.2$

・単位体積重量　　$\gamma = 24$ kN/m^3

・減衰定数　　$h = 5\%$

b)鉄骨

・ヤング係数　　$E = 2.05 \times 10^5$ N/mm^2

・ポアソン比　　$\nu = 0.3$

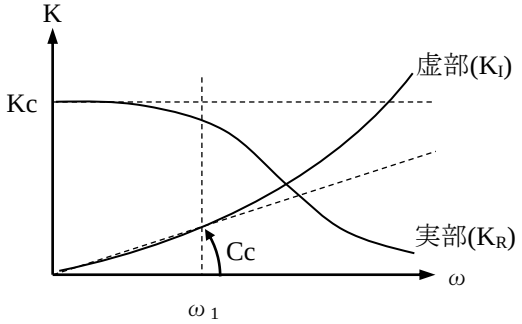
・単位体積重量　　$\gamma = 77$ kN/m^3

・減衰定数　　$h = 2\%$

地盤定数は，水平成層地盤と仮定し，地震時のせん断ひずみレベルを考慮して定めた。解析に用いた地盤定数を表－１１～表－１３に示す。

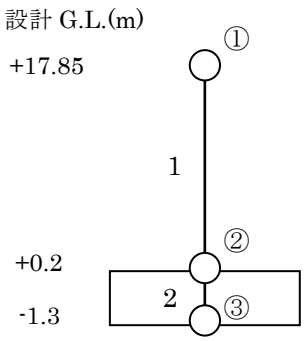
基礎底面地盤ばねについては，「JEAC4601-2008」に示された手法を参考にして，成層補正を行ったのち，振動アドミッタンス理論に基づいて，水平方向はスウェイ及びロッキングばねを，鉛直方向は鉛直ばねを近似的に評価する。

地盤ばねは振動数に依存した複素剛性として得られるが，図－１２に示すようにばね定数（K_C）として実部の静的な値を，また，減衰係数（C_C）として建屋－地盤連成系の 1 次固有振動数ω_1に対応する虚部の値と原点を結ぶ直線の傾きを採用することにより近似する。



図－１２　地盤ばねの近似

表－９　建屋の振動諸元(水平方向)

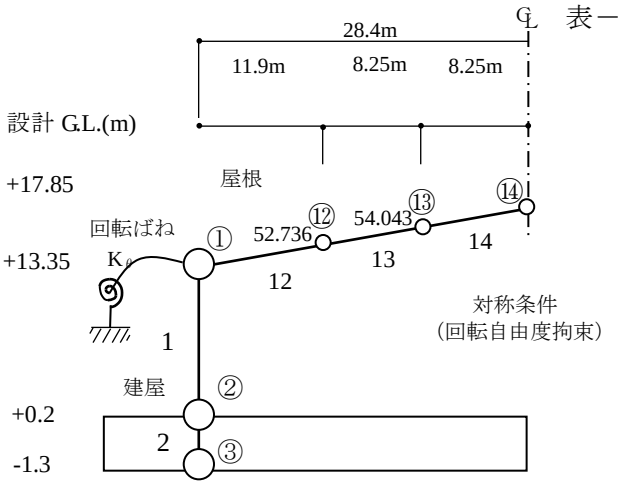


質点番号	質点重量 W(kN)	回転慣性重量 I_G ($\times 10^6$ kN･m^2)	部材番号	せん断断面積 A_s(m^2)	断面二次モーメント I ($\times 10^5$m^4)
①	3700	－	－	－	－
			1	7.90×10^{-3} (NS) 29.0×10^{-3}	－
②	132790	39.87			
			2	3600.0	10.8
③	64800	19.46			
			－	－	－

・基礎形状　60.0m(NS)×60.0m(EW)×1.5m(厚さ)

・総重量　201290 kN

表－１０　建屋の振動諸元(鉛直方向)



建屋

質点番号	質点重量 W(kN)	部材番号	軸断面積 A(m^2)
①	1140	－	－
		1	465.0×10^{-3}
②	132790		
		2	3600.0
③	64800		
		－	－

屋根

質点番号	質点重量 W(kN)	部材番号	軸断面積 A($\times 10^{-3}$m^2)	せん断断面積 A_s($\times 10^{-3}$ m^2)	断面二次モーメント I (m^4)
①	1140	－	－	－	－
		12	382	67.3	0.277
⑫	1120				
		13	332	61.8	0.241
⑬	960				
		14	354	65.5	0.257
⑭	480				
		－	－	－	－

柱端部回転ばね $K_\theta = 2.36\times10^7$ kN･m/rad

表－１１　地盤定数（Ｓｓ－１Ｈ）

設計G.L.（m）	層厚（m）	地質	単位体積重量 γ（kN/m^3）	ポアソン比	初期せん断波速度 Vs_0（m/s）	初期せん断弾性係数 G_0（kN/m^2）	Ｓｓ－１Ｈ地震時				
							剛性低下率 G/G_0	せん断弾性係数 G（kN/m^2）	せん断波速度 Vs（m/s）	縦波速度 Vp（m/s）	減衰定数 h（%）
-1.3～-9.2	7.9	段丘堆積層	15.6	0.480	315	158,000	0.58	92,000	240	1,230	7
-9.2～-35.6	26.4	砂岩	17.8	0.473	380	262,000	0.63	165,000	302	1,330	8
-35.6～-47.5	11.9	泥岩	16.5	0.464	450	341,000	0.77	263,000	395	1,530	3
-47.5～-117.5	70.0		17.1	0.455	500	436,000	0.77	336,000	439	1,530	3
-117.5～-145.5	28.0		17.6	0.446	560	563,000	0.77	434,000	492	1,580	3
-145.5～-233.5	88.0		17.8	0.442	600	653,000	0.75	490,000	520	1,610	3
G.L.-233.5（震災前O.P.-196.0m）	－	解放基盤	18.5	0.421	700	924,000	－	924,000	700	1,890	－

表－１２　地盤定数（Ｓｓ－２Ｈ）

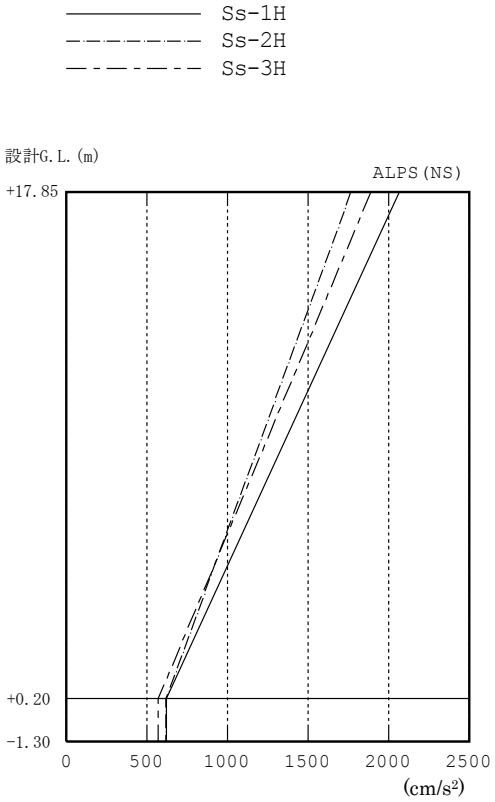
設計G.L.（m）	層厚（m）	地質	単位体積重量 γ（kN/m^3）	ポアソン比	初期せん断波速度 Vs_0（m/s）	初期せん断弾性係数 G_0（kN/m^2）	Ｓｓ－２Ｈ地震時				
							剛性低下率 G/G_0	せん断弾性係数 G（kN/m^2）	せん断波速度 Vs（m/s）	縦波速度 Vp（m/s）	減衰定数 h（%）
-1.3～-9.2	7.9	段丘堆積層	15.6	0.480	315	158,000	0.57	90,000	238	1,210	7
-9.2～-35.6	26.4	砂岩	17.8	0.473	380	262,000	0.64	168,000	304	1,340	8
-35.6～-47.5	11.9	泥岩	16.5	0.464	450	341,000	0.78	266,000	398	1,530	3
-47.5～-117.5	70.0		17.1	0.455	500	436,000	0.78	340,000	442	1,540	3
-117.5～-145.5	28.0		17.6	0.446	560	563,000	0.82	462,000	507	1,630	3
-145.5～-233.5	88.0		17.8	0.442	600	653,000	0.81	529,000	540	1,670	3
G.L.-233.5（震災前O.P.-196.0m）	－	解放基盤	18.5	0.421	700	924,000	－	924,000	700	1,890	－

表－１３　地盤定数（Ｓｓ－３$_H$）

設計G.L. (m)	層厚 (m)	地質	単位体積重量 γ (kN/m^3)	ポアソン比	初期 せん断波速度 Vs_0(m/s)	初期 せん断弾性係数 G_0(kN/m^2)	Ｓｓ－３$_H$地震時				
							剛性低下率 G/G_0	せん断弾性係数 G(kN/m^2)	せん断波速度 Vs(m/s)	縦波速度 Vp(m/s)	減衰定数 h(%)
-1.3～-9.2	7.9	段丘堆積層	15.6	0.480	315	158,000	0.60	95,000	244	1,250	6
-9.2～-35.6	26.4	砂岩	17.8	0.473	380	262,000	0.66	173,000	309	1,360	7
-35.6～-47.5	11.9	泥岩	16.5	0.464	450	341,000	0.78	266,000	398	1,530	3
-47.5～-117.5	70.0		17.1	0.455	500	436,000	0.76	331,000	436	1,520	3
-117.5～-145.5	28.0		17.6	0.446	560	563,000	0.73	411,000	479	1,530	3
-145.5～-233.5	88.0		17.8	0.442	600	653,000	0.77	503,000	526	1,630	3
G.L.-233.5 (震災前O.P.-196.0m)	－	解放基盤	18.5	0.421	700	924,000	－	924,000	700	1,890	－

2.4 地震応答解析結果

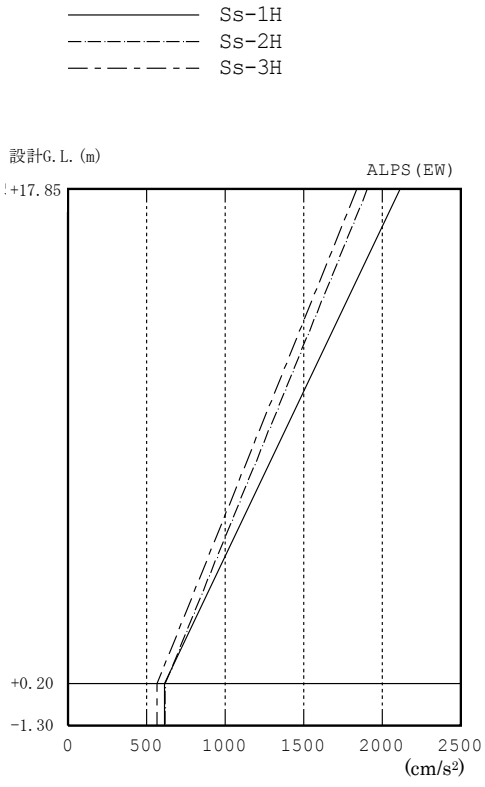
地震応答解析により求められたNS方向，EW方向及び鉛直方向の最大応答加速度を図－１３～図－１５に示す。



ALPS(NS)
(cm/s²)

Ss-1H	Ss-2H	Ss-3H
2063	1765	1888
621	618	570
620	618	569

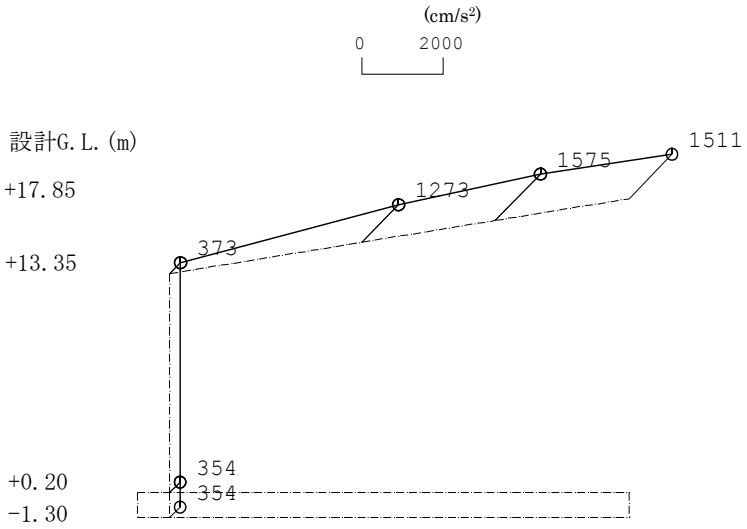
図－１３　最大応答加速度（NS 方向）



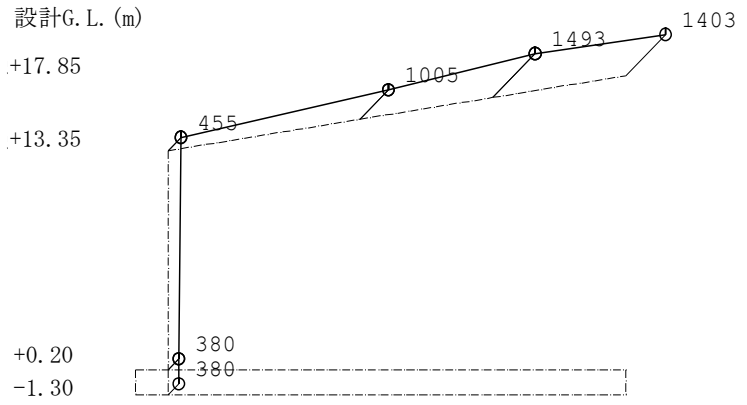
ALPS(EW)
(cm/s²)

Ss-1H	Ss-2H	Ss-3H
2111	1904	1837
612	617	564
612	617	564

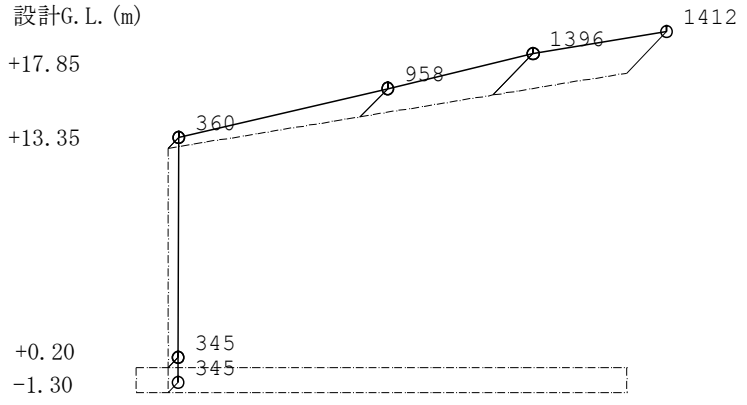
図－１４　最大応答加速度（EW 方向）



（Ｓｓ－１Ｖ）



（Ｓｓ－２Ｖ）



（Ｓｓ－３Ｖ）

図－１５　最大応答加速度（鉛直方向）

2.5 耐震安全性評価結果

(1) 上部架構の評価結果

地震応答解析により得られた部材応力の内，応力度／短期許容応力度が最大となる鉄骨部材の断面検討結果を表－１４に示す。

これより地震応答解析による鉄骨部材の応力度は，短期許容応力度以下であることを確認した。

表－１４　鉄骨部材の応力度と短期許容応力度

部位	方向	応力度 （N/mm^2）	短期許容応力度※ （N/mm^2）	応力度／短期許容応力度
トラス梁 （STK400）	NS	121 （圧縮）	157 （圧縮）	0.78
トラス柱 （STK400）	NS	132 （圧縮）	172 （圧縮）	0.77

※：F 値を 1.1 倍している。

(2) 基礎スラブの評価結果

必要鉄筋比が最大となる要素と面外せん断力が最大となる要素の断面検討結果を表－１５及び表－１６に示す。

これより，設計鉄筋比は必要鉄筋比を上回り，また面外せん断力は短期許容せん断力以下であることを確認した。

なお，基礎地盤に生じる接地圧は最大 0.14 N/mm^2 であり，基礎地盤の短期許容支持力度 0.34 N/mm^2 以内となっている。

表－１５　軸力及び曲げモーメントに対する検討結果

応　力		必要鉄筋比 (%)	設計鉄筋比 (%)	必要鉄筋比 ／設計鉄筋比
軸　力※ (kN/m)	曲げモーメント (kN･m/m)			
-240	889	0.17	0.38	0.45

※：圧縮を正とする。

表－１６　面外せん断力に対する検討結果

応　力 面外せん断力(kN/m)	短期許容 せん断力(kN/m)	応力／短期許容せん断力
741	1316	0.57

以上のことから，Ｓｓ地震力に対する耐震安全性は確保されているものと評価した。

以上

多核種除去設備の具体的な安全確保策

多核種除去設備は，高濃度の放射能を扱う設備ため，漏えい防止対策，放射線遮へい・崩壊熱除去，可燃性ガス滞留防止について具体的に安全確保策を以下の通り定め，実施する。

1. 放射性物質の漏えい防止等に対する考慮

(1) 漏えい発生防止

a. 処理対象水，処理済水の移送配管は，耐腐食性を有するポリエチレン管，ステンレスの鋼管もしくは十分な肉厚を有する炭素鋼の鋼管を基本とする。（別添－１）

b. 放射性流体を内包する配管のうち，ポリエチレン管より可撓性を有する配管を使用する必要がある箇所（各スキッド間，各吸着塔間，吸着材排出ライン，処理カラム取合部，脱水装置）は，耐圧ホース（EPDM；エチレンプロピレンジエンモノマー）を使用する。ただし，福島第一原子力発電所で発生した耐圧ホース（PVC；ポリ塩化ビニル）と継手金属との結合部（カシメ部）の外れ事象に鑑み，耐圧ホース（EPDM）と継手金属の結合部（カシメ部）に外れ防止金具を装着する。

c. 吸着塔，処理カラムは，耐腐食性を有するSUS316Lまたは炭素鋼（ゴムライニング付）とする。（別添－１）

d. 高性能容器本体は，強度，耐腐食性，耐久性，耐放射線性，耐薬品性に優れたポリエチレンとする。（別添－１）

e. 鋼材もしくはポリエチレンの継手部は，可能な限り溶接構造もしくは融着構造とする。また，Ｇ１南，Ｈ５，Ｈ６（Ⅰ），Ｂ，Ｂ南，Ｈ３，Ｈ６（Ⅱ）エリアタンク設置に伴い新設する移送配管は，漏えい堰等が設置されないフランジ構造の継手部についてシール材又は発泡剤の充填を実施し，Ｇ６，Ｇ１，Ｇ４南，Ｇ４北，Ｇ５エリアタンク設置に伴い新設する移送配管及びＨ８エリアタンクに多核種除去設備で処理した処理済水を移送するため新設する移送配管は，供用の終了後に配管の水抜きを実施する。供用の終了後とは，タンクが満水の状態となった後を示す。

f. タンク・槽類には水位検出器を設け，オーバーフローを防止する。

g. ポンプの軸封部は，漏えいの発生し難いメカニカルシール構造とする。

h. バックパルスポットは，シリンダシール部，軸シール部からの微少にじみによる炭酸塩の析出及び固着による動作不良が発生した経緯を踏まえ，軸シールの多重化等によるシール性を向上させた改良型バックパルスポットを使用する。

i. バッチ処理タンクの腐食による漏えい事象を踏まえ，すき間腐食の発生の可能性があるフランジに対し，ガスケット型犠牲陽極等を施すとともに腐食環境の促進となる次亜塩素酸の注入はしない。

j. クロスフローフィルタのガスケットは，耐放射線性に優れる合成ゴム（EPDM）を使用

する。

k. タンク運用に合わせて敷設する耐圧ホース，ポリエチレン管は設計・建設規格（JSME）に記載のない非金属材料である為，日本産業規格（JIS），日本水道協会規格（JWWA），ISO 規格，製品の試験データ等を用いて設計を行う。なお，耐圧ホース，ポリエチレン管の耐震性については，可撓性を有しており地震による有意な応力は発生しない。

(2) 漏えい検知・漏えい拡大防止・混水防止

a. 多核種除去設備はスキッド毎に漏えいパンを設け，エリア外への漏えいを防止するとともに，漏えい検知器を設ける。また，多核種除去設備設置エリアの最外周及びその内側にも漏えいの拡大を防止する堰を設ける（図１）。最外周堰の高さは，各容器からの漏えい廃液全量を貯留するために必要な堰高さとすることで，施設外漏えいを防止する。さらに，カメラを設けて免震重要棟集中監視室またはシールド中央制御室で漏えいを監視する。

b. 漏えい堰等が設置されない移送配管等で継手部がフランジ構造となる場合には，漏えい拡大防止カバーで覆った上で中に吸水シートを入れ，漏えい水の拡大防止に努める。

c. 漏えいを検知した場合には，免震重要棟集中監視室及びシールド中央制御室に警報を発し，運転操作員によりカメラ，流量等の運転監視パラメータ等の状況を確認し，適切な対応を図る。また，大量の漏えいが確認された場合には，緊急停止スイッチにより多核種除去設備の運転を停止する。

d. 漏えい水のコンクリートへの浸透を防止するため，多核種除去設備設置エリアには床塗装を実施する。

e. 多核種除去設備の設置に伴い新規に敷設する屋外移送配管について，以下の対応を行う。

・ポリエチレン管とポリエチレン管の接合部は漏えい発生を防止するため融着構造とすることを基本とし，ポリエチレン管と鋼管の取合い等でフランジ接続となる箇所については養生を行い，漏えい拡大防止を図る。また，処理対象水の移送配管は，万一漏えいが発生した場合でも構内排水路を通じて環境に汚染水が放出することがないように，排水路から可能な限り離隔して配管等を敷設するとともに，排水路を跨ぐ箇所は，ボックス鋼内等に配管を敷設する。さらに，ボックス鋼端部から排水路に漏えい水が直接流入しないように土嚢を設ける。

・移送配管から漏えいが確認された場合は，ポンプ等を停止し，系統の隔離及び土嚢の設置等により漏えいの拡大防止を図る。

・移送配管の更なる漏えい検知・漏えい拡大防止策について，速やかに検討し，RO 濃縮水処理によるリスク低減効果，漏えい拡大防止策の有効性や工期等を踏まえ，可能なものから実施する。対策が完了するまでの間は，巡視点検による漏えい検知を要員へ周知し，確実に実施する。

f. 多核種除去設備の設置エリアは，エリア放射線モニタにより連続的に監視し，放射線レベルが高い場合には免震重要棟集中監視室，シールド中央制御室及び現場に警報を発する。

g. タンク運用等に合わせて，追加で敷設する屋外移送配管については，e. の措置に加えて，以下の対応を行う。

移送配管は，使用開始までに漏えい確認等を実施し，施工不良等による大規模な漏えいの発生を防止する。また，フランジ継手部は，ガスケットの経年劣化により微小漏えいの発生が懸念されることから，架空化により視認性を向上させ，毎日の巡視点検により漏えいの有無を確認する。

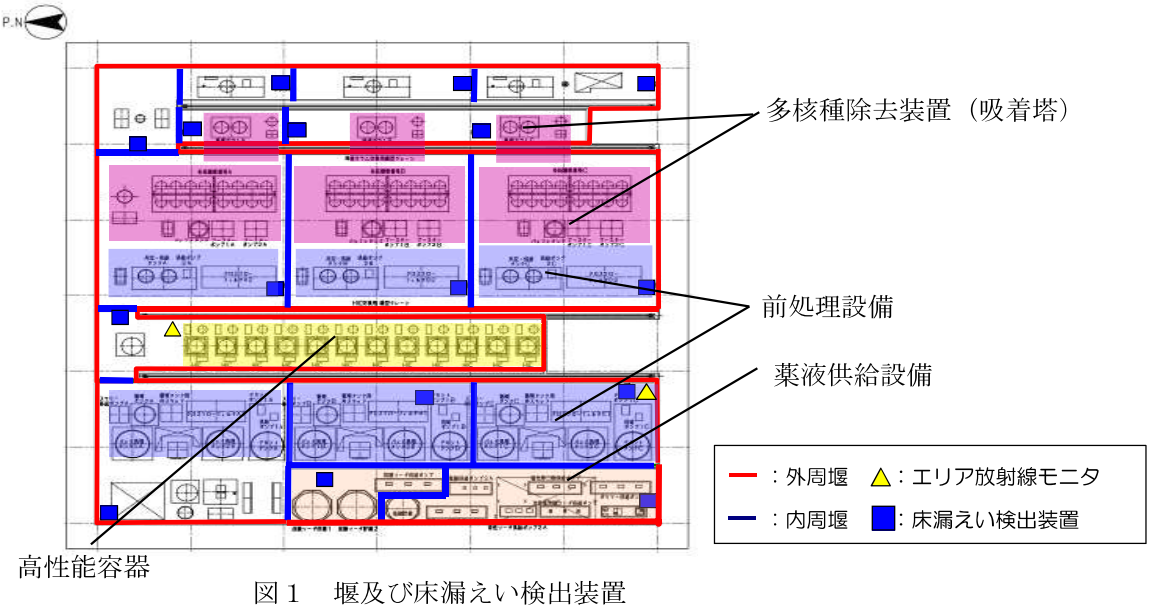


図１　堰及び床漏えい検出装置

2. 放射線遮へい・崩壊熱除去

(1) 線源条件の設定

放射線遮へい・崩壊熱除去評価で必要となる高性能容器，各吸着塔での線源強度は，処理対象水の放射能濃度を，発電所構内で貯留している RO 濃縮塩水及び処理装置出口水のサンプリングデータから保守的に設定し，さらに，前処理設備，多核種除去装置での核種除去性能を考慮して決定する。

(2) 放射線遮へい・被ばく低減に対する考慮

a. 多核種除去装置，高性能容器等からの放射線による雰囲気線量当量率（機器表面から 1m の位置）が 1mSv/h 以下となるように遮へいを設ける（別添－２）。また，多核種除去設備からの直接線・スカイシャイン線による敷地境界での実効線量を低減するための遮へいをクロスフローフィルタスキッド及び循環弁スキッドに設ける。これらの

対応により，最寄りの評価点(No.66)における直接線・スカイシャイン線の評価結果は年間約 0.30mSv となる。

評価点	年間線量（mSv/年）
No.66	0.30
（参考）No.70	0.14
（参考）No.71	0.088

b. ポンプ等の動的機器は，保守作業を考慮し遮へい体内が高線量雰囲気となる吸着塔スキッドとは区分して配置するとともに，作業スペースを確保する。さらに，保守作業時の放射線業務従事者の被ばく低減のため，機器のフラッシングが行える構成とする。

c. 多核種除去設備の運転操作等に係る放射線業務従事者以外の者が不要に近づくことがないよう，標識等を設ける。さらに，放射線レベルの高い区域は標識を設け，運転操作等に係る放射線業務従事者の被ばく低減を図る。

d. 高性能容器輸送時は，適切な遮へい機能を有する鋼製の容器に収容し，放射線業務従事者の被ばく低減を図る。

(3) 崩壊熱除去

a. 処理対象水に含まれる放射性物質の崩壊熱は，通水により熱除去する。

b. 使用済みの吸着材あるいは沈殿処理生成物を収容する高性能容器，処理カラムのうち，最も発熱量が大きいストロンチウム吸着材を収容する高性能容器の貯蔵時においても，容器の健全性に影響を与えるものではない。

3. 可燃性ガスの滞留防止

a. 多核種除去設備では，水の放射線分解により発生する可燃性ガスは，通水時は処理対象水により排出される。また，多核種除去設備の運転停止時は，発熱量が大きいストロンチウム吸着材を収容している吸着塔のベントを開ける運用とする。

b. 使用済みの吸着材，沈殿処理生成物を収容する高性能容器は，可燃性ガスの発生を考慮して圧縮活性炭高性能フィルタを介したベント孔を設ける。

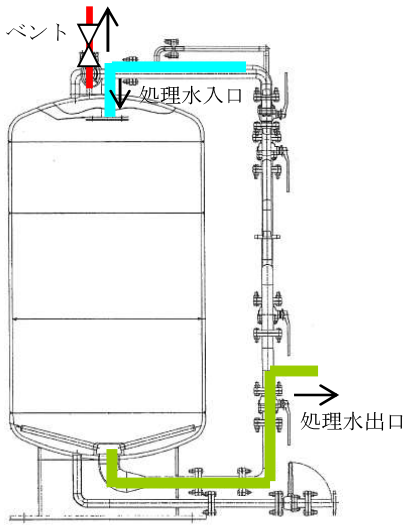
4. 誤操作の防止に対する考慮

運転操作員による誤操作により設備が自動停止した事象を受け，機器の選択操作をダブルアクションを要する設計とする。

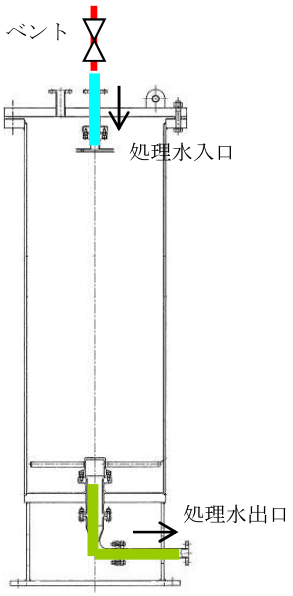
5. 不具合事象への対応

多核種除去設備でこれまでに確認された不具合事象に対し，必要となる対策を実施してきた。今後発生する不具合についても同様に，必要に応じた対策を適宜実施・反映してい

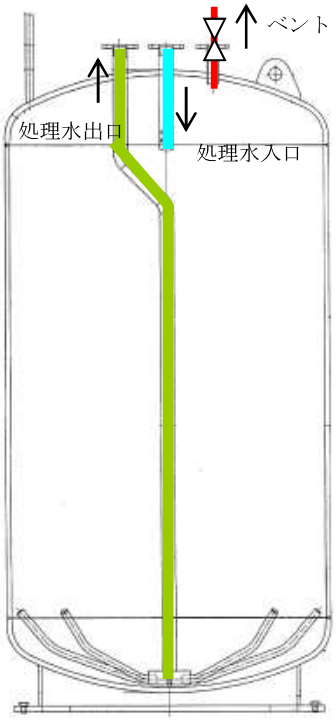
く。



a. 吸着塔 1～14 概要図



b. 吸着塔 15, 16 概要図



c. 処理カラム概要図

6. その他

(1) 処理済水の保管容量

多核種除去設備等で処理した処理済み水を貯蔵する多核種処理水貯槽については，必要に応じて保管容量の見直しを実施することとする。

(2) 高性能容器の発生量

多核種除去設備において，高性能容器（タイプ 2）は年間約 803 基（高性能容器（タイプ 1）は年間約 733 基）発生すると想定される（2016.1.1～2016.12.31 までの積算処理量及び高性能容器の発生量を基に処理量 750m^3/日×3 系列運転（稼働率 80%）における年間の高性能容器の発生数を評価）。

高性能容器（タイプ 1）は，使用済セシウム吸着塔一時保管施設のうち，第二施設（保管容量 736 基）に保管する。2017.8.30 現在，未使用の高性能容器（タイプ 1）は 78 基あり，新たな製作予定はない。

高性能容器（タイプ 2）は，使用済セシウム吸着塔一時保管施設のうち，第二施設（保管容量 736 基）及び第三施設（保管容量 4,608 基）に保管する。

なお，必要に応じて使用済セシウム吸着塔一時保管施設を増設する。

7. 環境条件を踏まえた対応

(1) 腐食

多核種除去装置は，汚染水処理設備の処理済水を処理することから塩化物イオン濃度が高く，また薬液注入によりpHが変動することから，耐腐食性を有する材料を選定する（別添－１）。

(2) 熱による劣化

熱による劣化が懸念されるポリエチレン管については，汚染水処理設備の処理済水の温度がほぼ常温のため，劣化の可能性は十分低い。

(3) 凍結

水を移送している過程では，凍結の恐れはない。水の移送を停止した場合，屋外に敷設されているポリエチレン管等は，凍結による破損が懸念される。そのため，屋外敷設のポリエチレン管等に保温材を取り付ける。また，建屋内の配管については，40A以下の配管に対し，保温，ヒータを設置する。

今後，タンク運用等に合わせて，追加で敷設する屋外移送配管については，凍結しない十分な厚さ（100Aに対して21.4㎜以上）を確保した保温材を取り付ける。なお，保温材は，高い気密性と断熱性を有する硬質ポリウレタン等を使用する。

保温材厚さの設定の際には，「建設設備の凍結防止（空気調和・衛生工学会）」に基づき，震災以降に凍結事象が発生した外気温-8℃，内部流体の初期温度 5℃，保温材厚さ 21.4㎜の条件において，内部流体が25%※凍結するまでに十分な時間（50時間程度）があることを確認した。なお，震災以降の実測データから，外気温-8℃が半日程度継続することはない。

※「JIS A 9501 保温保冷工事施工標準」において管内水の凍結割合を25%以上と推奨

(4) 耐放射線性

ポリエチレンは，集積線量が 2×10^5Gy に達すると，引張強度は低下しないが，破断時の伸びが減少する傾向を示す。ポリエチレン管の照射線量率を1Gy/hと仮定すると，2×10^5Gy に到達する時間は 2×10^5時間（22.8年）と評価される。そのため，ポリエチレン管は数年程度の使用では放射線照射の影響を受けることはないと考えられる。

なお，系統バウンダリを構成するその他の部品には，ガスケット，グランドパッキンがあるが，他の汚染水処理設備等で使用実績のある材料を使用しており，数年程度の使用は問題ない。

(5) 紫外線

屋外に敷設されているポリエチレン管等は，紫外線による劣化を防止するため，紫外線防止効果のあるカーボンブラックを添加した保温材を取り付ける，もしくは，カーボンブラックを添加していない保温材を使用する場合は，カーボンブラックを添加した被覆材または紫外線による劣化のし難い材料である鋼板を取り付ける。

別添－１

多核種除去設備に使用する材料の適合性評価

1. はじめに

多核種除去設備は，RO 濃縮塩水等を処理することから，系統内の塩化物イオン濃度が高く，また，前処理設備等での薬液注入により，pH が変動することから，多核種除去設備の使用環境における材料の適合性について評価を実施した。

2. 使用環境における材料の適合性について

多核種除去設備を構成する主な機器の材料選定理由を表 1 に示す。表 1 の材料のうち，SUS316L，炭素鋼に対する耐食性について評価を行った。

表 1　多核種除去設備を構成する主な機器の使用材料と選定理由

機器	材料	選定理由
吸着塔及び 処理カラム	SUS316L 炭素鋼	処理対象水に海水由来の塩分が含まれていることから，耐食性に優れる SUS316L または炭素鋼（ゴムライニング付）を使用する。
高性能容器	ポリエチレン	収容するスラリー及び吸着材の脱水後の残水には，海水由来の塩分が含まれていることから，約 20 年の貯蔵期間を想定し，金属材料よりも耐食性に優れるポリエチレンを使用する。
タンク類	SUS316L 炭素鋼	処理対象水に海水由来の塩分が含まれていることから，耐食性に優れる SUS316L（バッチ処理タンクはゴムライニング付）及び炭素鋼（ゴムライニング付）を使用する。
配管 （鋼管）	SUS316L 炭素鋼	処理対象水に海水由来の塩分が含まれていることから，耐食性に優れる SUS316L を使用する。また，全面腐食の懸念はあるが，十分な肉厚が確保されている炭素鋼を使用する。
配管 （ポリエチレン管）	ポリエチレン	耐食性に優れることから，屋外配管に主に使用する。
配管 （耐圧ホース）	EPDM （エチレンプロピレンジエンモノマー）	可撓性のある配管を使用する必要がある箇所（各スキッド間（各スキッド間，各吸着塔間，吸着材排出ライン等）に使用する。

2.1 ステンレス鋼（SUS316L）及び炭素鋼の耐食性について

ステンレス鋼（SUS316L）及び炭素鋼の腐食モードを表 2 に示す。これらの腐食モードに対する耐食性について，表 3 に示す使用範囲を考慮し評価を実施した。ただし，ガルバニック腐食については，絶縁パッキンや絶縁ボルト等を使用しており，異材溶接箇所はないことから，評価対象外とした。

表 2　使用材料における腐食モード

使用材料	腐食モード
ステンレス鋼 （SUS316L）	塩化物応力腐食割れ（SCC）
	すきま腐食
	孔食
	全面腐食
炭素鋼	全面腐食
	ガルバニック腐食※

※評価対象外

表 3　ステンレス鋼（SUS316L）及び炭素鋼を使用する範囲の環境

使用材料	使用範囲	塩化物イオン濃度[ppm]	常用温度[℃]	最大流速[m/s]	pH
ステンレス鋼 （SUS316L）	前処理ステージⅠ （バッチ処理タンク入口配管のみ）	13000	40	2.6	7
	前処理ステージⅠ （バッチ処理タンク入口配管以外）	13000	60	1.7	7.5～8.5
	前処理ステージⅡ	13000	60	2.8	11.8～12.2
	多核種吸着塔 1～5 塔目	13000	40	1.5	11.8～12.2
	多核種吸着塔 6～14 塔目 処理カラム～移送ポンプ	13000	40	1.5	6～7
炭素鋼	多核種吸着塔 15～16 塔目	13000	40	1.5	6～7
	ALPS 入口～前処理ステージⅠ 移送ポンプ～ALPS 出口	13000	40	1.7	6～7

a. ステンレス鋼の塩化物応力腐食割れ（SCC）

塩化物応力腐食割れ（SCC）の発生には，使用温度と塩化物イオン濃度が寄与する。塩化物イオン濃度が 10ppm を超える条件においては一般的に 316 系の SCC 発生限界温度は 100℃といった値がよく用いられており，使用温度 60℃，塩化物イオン濃度 13000ppm の使用環境では，塩化物応力腐食割れ（SCC）が発生する可能性は低いと考えられる。[1)]

1) 化学工学協会編:“多管式ステンレス鋼熱交換器の応力腐食割れ,” 化学工業社 (1984).

b. ステンレス鋼のすきま腐食

すきま腐食の発生には，使用温度と塩化物イオン濃度が寄与する。SUS316 において，使用温度 60℃，塩化物イオン濃度 13000ppm の使用環境下では，すきま腐食が発生する可能性は否定できない。[1)]このため，すきま腐食が発生する可能性のある箇所について定期的な点検・保守を行っていく。また，すきま腐食が発生する可能性が高いと考えられるバッチ処理タンクについてはゴムライニングを施工する。

c. ステンレス鋼の孔食

孔食の発生には，自然電位，使用温度，塩化物イオン濃度が寄与する。ステンレス鋼の自然電位は pH に依存し，pH が低いほど自然電位は高く孔食が発生する可能性が高くなるが多核種除去設備の使用環境 pH = 6 では 0.137 V vs. SCE 程度であり，使用温度 60℃，塩化物イオン濃度 13000ppm という条件は，孔食が発生する可能性が低い領域であることから，多核種除去設備の使用環境においては，孔食が発生する可能性は低いと考えられる。[2) 3)]

d. ステンレス鋼の全面腐食

全面腐食の発生には，pH 及び流速が寄与する。pH6～12.2 の使用環境では不動態皮膜は安定である。また，最大流速 2.8m/s（9.2feet/s）では，全面腐食が進行する速度は小さいと考えられる。[4) 5)]

e. 炭素鋼の全面腐食

使用温度 30℃，塩化物イオン濃度 12000ppm における腐食速度は 0.85mm/year 程度である。一般的に温度が高いほど腐食速度は増加傾向にあり，20℃に対して，40℃では 1.4 倍程度である。以上の点を考慮すると，使用温度 40℃，塩化物イオン濃度 13000ppm における腐食速度は，1.2mm/year 程度となる。[6) 7)]

多核種除去設備で使用する炭素鋼配管の肉厚は，50A のもので 5.5mm であり，2～3 年程度は使用上問題ないと判断できる。また，定期的な点検・保守についても併せて行っていく。

1) 宮坂松甫他，「ポンプの高信頼性と材料」，ターボ機械 第 36 巻 第 9 号，2008 年 9 月
2) M. Akashi, G. Nakayama, T. Fukuda: CORROSION/98 Conf., NACE International, Paper No. 158 (1998).
3) ステンレス協会編: “ステンレス鋼データブック,” 日刊工業新聞社, p. 270 (2000).
4) ステンレス協会編，ステンレス鋼便覧 第 3 版，日刊工業新聞社
5) 腐食防食協会編，腐食・防食ハンドブック，丸善
6) 木下ら，防食技術，32，31-36(1983)
7) 腐食防食協会：“金属の腐食・防食 Q&A コロージョン 110 番”，丸善，P10(1988)

2.2 腐食に対する対応方針

評価結果から，ステンレス鋼及び炭素鋼に対する対応方針を表 4 に示す。

表 4 腐食に対する対応方針

使用材料	腐食モード	対応方針
ステンレス鋼 （SUS316L）	すきま腐食	・運転中の巡視点検 ・代表部位に対する定期的な分解点検等 ・万一の漏えい対策として，当該部位のビニール養生および受けパン設置
炭素鋼	全面腐食	・運転中の巡視点検 ・代表部位に対する定期的な肉厚測定等

ステンレス鋼（SUS316L）は，海水ポンプ等の海水環境で使用される材質としては最も一般的であり，これまでの使用実績を考慮しても，運転開始直後に腐食が発生する可能性は低いと考えられる。しかしながら，腐食発生の可能性は否定できないことから，表 4 の対応方針を保全計画に反映する。

以　上

別添－２

高性能容器に対する線量当量率評価結果

１．概要

放射線遮へい・被ばく低減を考慮するにあたり，高性能容器（HIC）に対する線量当量率評価を実施した。

２．評価条件

（１） 線源

前処理で発生するスラリーと吸着材をそれぞれ線源として設定した。また，スラリー及び吸着材 1～6 は HIC 内に均一に充填されるものとした。

なお，吸着材 7 については，含まれる放射性物質の濃度が低く，また，処理カラムによる遮へい効果が高いため，線量当量率としては低くなることから評価対象から除外した。

（２） 評価モデル

スラリーを充填する HIC の評価モデルを図 1 に，吸着材を充填する HIC の評価モデルを図 2 に示す。HIC は円柱形状でモデル化し，スラリー及び吸着材は均一に充填するものとした。なお，実際の運転状態を考慮し，スラリーを充填する HIC は，遮へい体の上部に開口部を設け，吸着材を充填する HIC は遮へい体の上部に開口部は設けないものとして評価を実施した。評価点は，水平方向（線源領域の中心位置）及び高さ方向に遮へい体表面から 1m に設定した。

（３） 評価方法

線量評価では，制動エックス線を考慮した γ 線線源強度を核種生成減衰計算コード ORIGEN-S により求め，線量当量率の計算には点減衰積分コード QAD-CGGP2R を使用した。

３．評価結果

評価点における各々の HIC の線量当量率を表 1 に示す。また，HIC 容器表面の線量当量率を表 2 に示す。

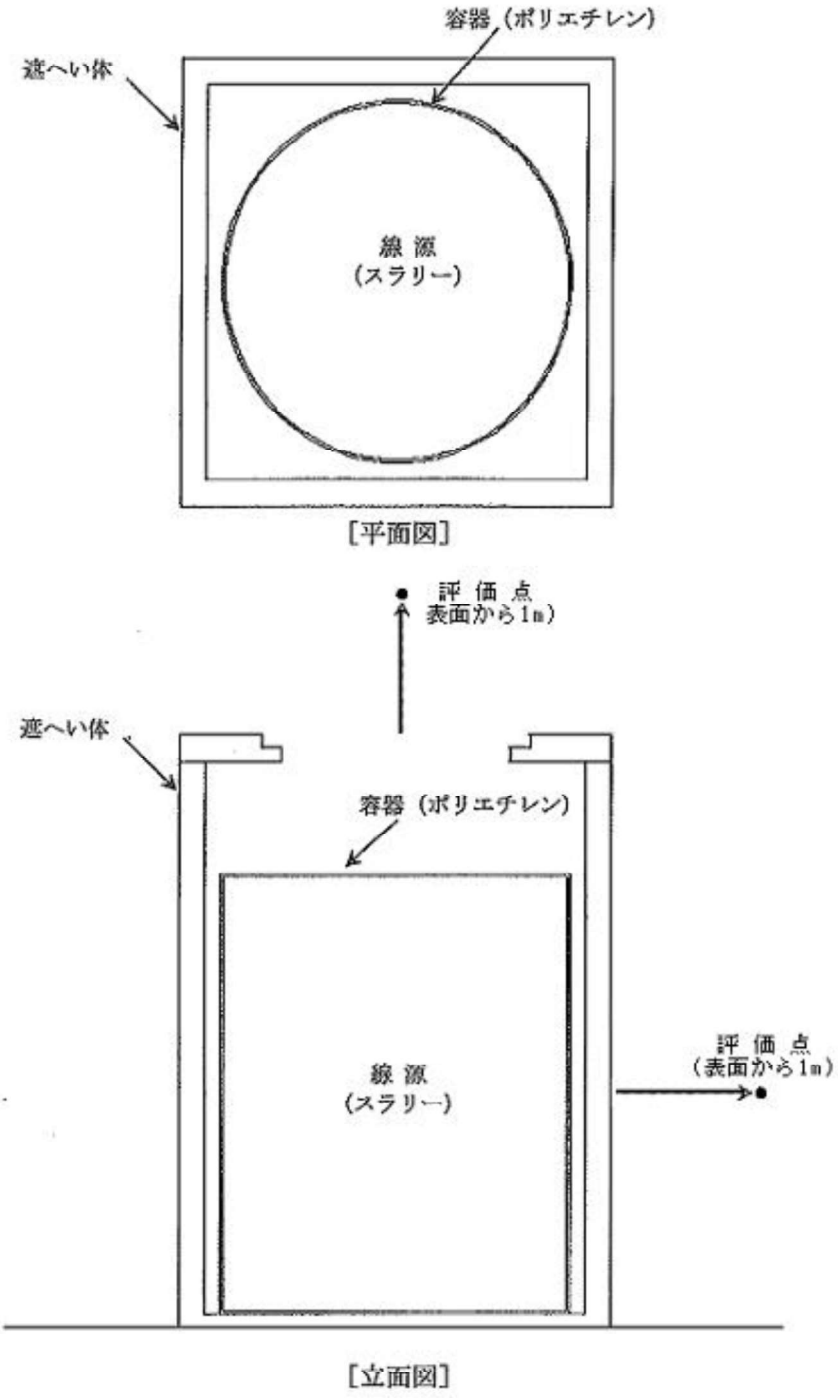


図 1　スラリーを充填する HIC の評価モデル

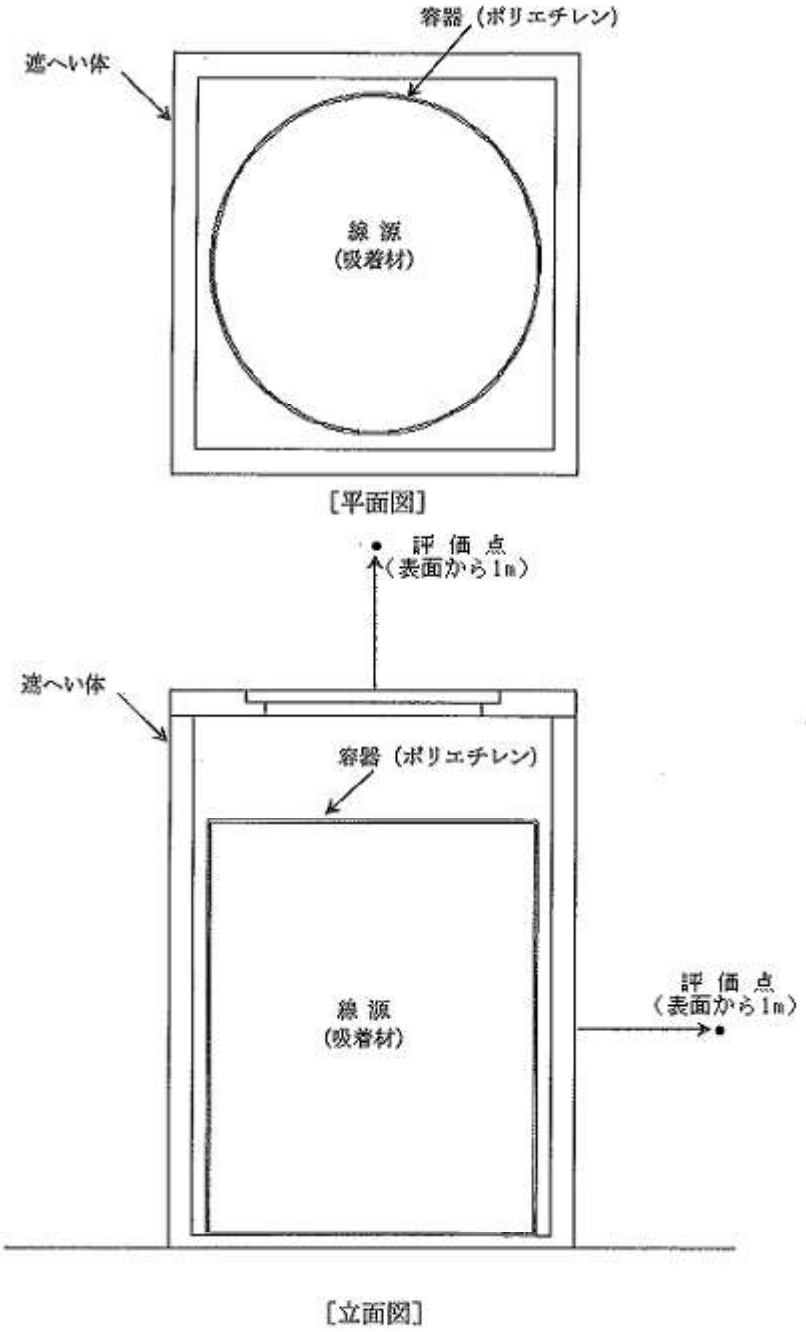


図 2　吸着材を充填する HIC の評価モデル

表 1　遮へい体表面から 1m における HIC の線量当量率評価結果

HIC 充填物		遮へい体	線量当量率 (mSv/h)※1	
			水平方向	上部方向
スラリー	鉄共沈処理	鉄 112mm	9.1E-02	1.2E+01
	炭酸塩沈殿処理	鉄 112mm	1.2E-02	2.9E+00
吸着材	吸着材 1/4	鉄 112mm	2.8E-16	2.6E-16
	吸着材 2	鉄 112mm	5.9E-02	4.2E-02
	吸着材 3	鉄 112mm	4.5E-01	3.3E-01
	吸着材 6	鉄 112mm	4.1E-02	3.1E-02
	吸着材 5	鉄 112mm	5.3E-03	3.9E-03

※1　遮へい体表面から 1m における線量当量率

表 2　HIC 容器表面における線量当量率評価結果

HIC 充填物		線量当量率(mSv/h) ※2	
		水平方向	上部方向
スラリー	鉄共沈処理	1.2E+02	1.3E+02
	炭酸塩沈殿処理	2.8E+01	3.0E+01
吸着材	吸着材 1/4	8.0E-01	8.4E-01
	吸着材 2	1.2E+02	1.3E+02
	吸着材 3	4.7E+02	5.1E+02
	吸着材 6	7.0E+01	7.6E+01
	吸着材 5	9.9E+00	1.1E+01

※2　HIC 容器表面における線量当量率

炭酸ソーダ供給に係る機器の具体的な安全確保策

炭酸ソーダ供給に係る下記の機器の具体的な安全確保策を以下の通り定め，実施する。なお，下記の機器については「添付資料－４　多核種除去設備の具体的な安全確保策」本文の対象範囲外とする。

a. 炭酸ソーダ貯槽
b. 炭酸ソーダ供給ポンプ
c. 主要配管
・多核種除去設備入口から炭酸ソーダ貯槽まで
（ポリエチレン管）
・炭酸ソーダ貯槽から共沈タンクまで
（鋼管）（耐圧ホース）

1. 放射性物質の漏えい防止等に対する考慮

(1) 漏えい発生防止

a. 腐食による漏えい発生防止のため，液性等に応じて，ポリエチレン（ＰＥ），ステンレス鋼等を採用する。（別添－１）
b. タンクには水位検出器を設け，オーバーフローを防止するため，インターロックの作動によりポンプを停止する設計とする。
c. 鋼材の継手部は，可能な限り溶接構造とする。ポリエチレンの継手部は，可能な限り融着構造とする。
d. ポンプは，軸封部が無く軸封部があるポンプと比較して漏えいリスクの低いダイヤフラムポンプを採用する。

(2) 漏えい検知・漏えい拡大防止

a. スキッド毎に漏えいパン及び漏えい検知器を設け，漏えいを早期に検知する。また，漏えいの拡大を防止する堰及び床面に漏えい検知器を設ける。
b. 漏えいを検知した場合には，免震重要棟集中監視室及びシールド中央制御室に警報を発し，運転操作員によりカメラ，流量等の運転監視パラメータ等の状況を確認し，適切な対応を図る。
c. 漏えい水のコンクリートへの浸透を防止するため，設置エリアには床塗装を実施する。
d. ポリエチレン管とポリエチレン管の接合部は漏えい発生を防止するため融着構造とすることを基本とし，ポリエチレン管と鋼管の取合い等でフランジ接続となる箇所については養生を行い，漏えい拡大防止を図る。

・移送配管から漏えいが確認された場合は，ポンプを停止し，系統の隔離及び土嚢の設置等により漏えいの拡大防止を図る。
・移送配管は，使用開始までに漏えい確認等を実施し，施工不良等による大規模な漏えいの発生を防止する。

2. 放射線遮へい・崩壊熱除去

(1) 放射線遮へい（被ばくに対する考慮）

a. 機器からの放射線による雰囲気の線量当量率が0.1mSv/h 以下（放射線業務従事者が作業を行う位置で，遮へい体を含む機器表面から1m の位置）となるよう適切な遮へいを設ける。

b. 通常運転時は，免震重要棟集中監視室及びシールド中央制御室から遠隔での監視及び操作を可能とする。

c. 保守作業時の放射線業務従事者の被ばく低減のため，機器の洗浄が行える構成とする。

(2) 崩壊熱除去

処理対象水に含まれる放射性物質の崩壊熱は，通水時は処理水とともに熱除去される。

3. 可燃性ガスの滞留防止

水の放射線分解により発生する可能性のある可燃性ガスは，通水時は処理水とともに排出される。

4. 環境条件を踏まえた対応

(1) 腐食

汚染水処理設備の処理済水を処理することから塩化物イオン濃度が高く，また薬液注入によりｐＨが変動することから，耐腐食性を有する材料を選定する（別添－１）。

(2) 凍結

水を移送している過程では，凍結の恐れはない。水の移送を停止した場合，凍結による破損が懸念される40A 以下の配管に対し，保温材もしくはヒータを設置する。なお，保温材は，高い気密性と断熱性を有する硬質ポリウレタン等を使用する。

保温材厚さの設定の際には，「建設設備の凍結防止（空気調和・衛生工学会）」に基づき，震災以降に凍結事象が発生した外気温-8℃，内部流体の初期温度5℃，保温材厚さ21.4㎜の条件において，内部流体が25%※凍結するまでに十分な時間（50 時間程度）があることを確認した。なお，震災以降の実測データから，外気温-8℃が半日程度継続することはない。

※「JIS A 9501 保温保冷工事施工標準」において管内水の凍結割合を25%以下と推奨

(3) 耐放射線性

ポリエチレンは，集積線量が 2×10^5Gy に達すると，引張強度は低下しないが，破断時の伸びが減少する傾向を示す。ポリエチレン管の照射線量率を 1Gy/h と仮定すると，2×10^5Gy に到達する時間は 2×10^5 時間（22.8 年）と評価される。そのため，ポリエチレン管は数年程度の使用では放射線照射の影響を受けることはないと考えられる。

系統バウンダリを構成するガスケット，グランドパッキンについては，他の汚染水処理設備で使用実績のある材料を使用しており，数年程度の使用は問題ない。

(4)熱による劣化

熱による劣化が懸念されるポリエチレン管については，処理済水による炭酸ソーダ供給に係る機器で扱う水の温度がほぼ常温のため，劣化の可能性は十分低い。

5. 規格・基準等

「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格」，日本産業規格（JIS 規格），ISO規格を準拠する。

6. 耐震性及び構造強度

(1) 耐震性

「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」のB クラスに相当する設備と位置付ける。機器及び鋼管の耐震性を評価するにあたっては，「JEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規程」等に準拠する。評価の結果，各機器について算出応力に対し十分な強度を有することを確認した。また，鋼管については，定ピッチスパン法に基づき定められた間隔で支持することにより，地震応力が過大とならないようにする。

耐震性評価は，「添付資料－２ 放射性液体廃棄物処理設備等に関する構造強度及び耐震性等の評価結果」参照。なお，ポリエチレン管，耐圧ホースについては，材料の可撓性により耐震性を確保する。

(2) 構造強度

「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格」に準拠し設計する。評価の結果，各機器について必要厚さを満足しており，十分な構造強度を有することを確認した。

構造強度評価は，「添付資料－２ 放射性液体廃棄物処理設備等に関する構造強度及び耐震性等の評価結果」を参照。なお，ポリエチレン管はISO規格，または，JISに準拠し耐圧ホースは，流体・圧力・温度条件に合致した十分実績のあるものを採用することで、必要な強度を確保するものとする。

以上

高性能容器の健全性評価

1. 概要

多核種除去設備で発生する使用済みの吸着材及び沈殿処理生成物の貯蔵は，耐久性，耐放射線性，耐薬品性に優れた高性能容器（HIC;High Integrity Container）（以下，「HIC」という）を使用する。今回，HIC を福島第一原子力発電所構内で貯蔵することから，この健全性について評価した。なお，高性能容器はタイプ 1，2 ともに同一の品質保証計画にて製作されている。

2. 主要仕様

HIC の主要仕様を表１に,概略図を図１に示す。HIC には落下時の健全性を確保するため，鋼製の補強体等を取り付ける。（図２）。

表１　主要仕様

項目		仕様	
		高性能容器（タイプ 1）	高性能容器（タイプ 2）
材　料	本体	ポリエチレン	ポリエチレン
寸　法	外径	1,524 mm （60 インチ）	1,469mm（57 53/64 インチ）
	高さ	1,854.2 mm（73 インチ）	1,864.7mm （73 7/16 インチ）
	最小厚さ	11.4 mm （0.45 インチ）	11.4mm（0.45 インチ）
容　量		2.86 m^3	2.61m^3
最高使用圧力(内圧)		静水頭	静水頭
重　量	空重量	約 1.7 ton （補強体含む）	約 1.5ton （補強体含む）
	設計総重量	6.0 ton （収容物及び上蓋等付属品含む）	5.5ton （収容物及び上蓋等付属品含む）

カッコ内は製作値

3. 健全性評価

(1) 腐食・化学的影響について

a. 収容物（化学成分）

HIC 本体はポリエチレンで構成されており，一部の有機溶媒を除き，一般的な化学薬品に対して良好な耐性を有する。

HIC に収容する吸着材（表２），沈殿処理生成物及び処理過程で添加する薬品成分（次亜塩素酸ソーダ，苛性ソーダ，炭酸ソーダ，塩酸，塩化第二鉄，ポリマー）の化学成分に対してポリエチレンは安定している。

表２　HIC に収容する吸着材の種類

No.※1	吸着材の組成	除去対象核種
1	活性炭	コロイド
2	チタン酸塩	Sr（M^{2+}）
3	フェロシアン化合物	Cs
4	Ag 添着活性炭	I
5	酸化チタン	Sb
6	キレート樹脂	Co（M^{2+}，M^{3+}）
7	樹脂系吸着材	Ru，負電荷コロイド

※1：No.1～No.6 は吸着塔，No.7 は処理カラム

b.　水分・水質

多核種除去設備で使用する HIC は，自由水体積で 100%までの範囲を取り得るが，HIC 本体を構成するポリエチレンは水に対して安定であり，水分が HIC の健全性に影響を与えることはない。

また，多核種除去設備において，pH は 6～12.2 となる仕様であるが，HIC 本体のポリエチレンは耐アルカリ性が高いため，水質が HIC の健全性に影響を与えることはない。

(2) 耐熱性について

HIC の設計温度は，IAEA Safety Standards に示される A 型輸送容器に対する使用温度の条件（-40℃～70℃（158° F））に余裕をみて，-40℃から 76.6℃（170° F）とする。米国認可時の試験では，170° F においてポリエチレンの材料特性を維持できることが確認されている。

多核種除去設備で使用する HIC は，屋外配置であり，使用環境の温度下限は-10℃を想定していることから，設計温度下限については問題ない。一方，設計温度上限について， HIC 温度評価の結果，最も発熱量が大きいストロンチウム吸着材（吸着材２）を収容する場合において，HIC 容器表面温度は一時保管施設（第二施設）貯蔵時で約 60℃，一時保管施設（第三施設）貯蔵時で約 57℃となる。さらに夏期の太陽光からの入熱によるボックスカルバート上蓋の温度上昇を考慮しても，HIC 容器表面温度は一時保管施設（第二施設）貯蔵時で約 73℃，一時保管施設（第三施設）貯蔵時において約 70℃となることから，HIC の設計温度 76.6℃に対して低い（別添－１）。また，ポリエチレンは，95℃のクリープ試験において，長期間にわたり屈曲点が現れていないことから，想定される使用環境において貯蔵時の熱負荷における劣化はない（別添－２）。このため，温度について十分に余裕がある。

(3) 耐放射線性について

HIC は照射線量 10^6 Gy として設計している。また，SC DHEC の認可に当たり，3×10^6 Gy の照射まで材料特性（強度・延性）が維持されることを確認している。多核種除去設備で使用する HIC の照射線量は，貯蔵開始時で約 0.5 Gy/h（年間 約 5×10^3 Gy）であり，一時保管施設貯蔵時の放射線の影響については問題ない。（別添－３）

ただし，経年劣化の知見拡充のため，未使用の HIC 等をボックスカルバート内に収容し，放射線による劣化傾向を確認する。

(4) 耐紫外線性について

HIC は，ポリエチレン材であるため，紫外線環境下は１年未満となるよう設計している。これは米国認可要件を採用しており，２年間の紫外線曝露試験の結果，推定寿命が１～２年と評価したことによる。

多核種除去設備で用いる HIC は，多核種除去設備運転中に紫外線環境下となるため，交換周期の長い HIC 上部には着脱式のカバーを設置し，一時保管施設貯蔵時は上蓋をしたボックスカルバートに収納する。さらに，一時保管施設（第二施設）においては通路に面する上蓋貫通孔に遮光型ガラリを設置しており（図４），一時保管施設（第三施設）においては，上蓋の貫通孔を２回以上屈折させ（図５），また吸気孔は外側が下向きとなるよう設置しており（別添－１図６），内部に直射日光は到達しない。ボックスカルバート内に微量の拡散光が侵入したとしても HIC は光を通さない鋼製の補強体で覆われており，HIC のポリエチレン部が１年以上の紫外線環境下となることはない。

また，使用前の HIC が過度に紫外線環境評価下に晒されないよう，製造から工場出荷までの紫外線照射時間を出荷時の品質保証書で確認し，輸送時に遮光カバーを取り付ける運用・管理を実施する。

(5) 密閉性について

密閉性については，SC DHEC の認可要件として，保管期間等を考慮した信頼性の高いシールを選定することとされており，HIC は密閉性のあるねじ込み蓋を採用している。さらに，HIC に収容した液体が一時保管施設貯蔵中に外部へ漏えいしないよう，収容物の体積膨張を考慮した空間容積を確保する。

また，HIC 転倒時の漏えいを想定して，図６に示すベントフィルタに 10 kPa の水圧をかけて透過試験を実施した結果，水の透過量は約 1ml/s と少量であることを確認している。スラリーの粘性は水に比べて高いことから，HIC 転倒時における収容物の漏えいは更に限定的となる。よって，万一，HIC が転倒し，スラリーが漏えいした場合には，ふき取り等により速やかに回収することで対応する。

なお，ねじ込み蓋を開けることにより，HIC の収容物を確認できる構造としている。

(6) ベント機能について

SC DHEC の認可要件として内圧を開放するベントを設けることとされている。ベントフィルタの設置目的は，HIC 内部で発生する可燃性ガスを大気へ放出するとともに，HIC への湿分の浸入及び HIC からの収容物の流出を最小限とすることである。ベントフィルタは，３重構造により，フィルタエレメントへの収容物（液体）の飛散を防止する設計としており，HIC 移送時等に収容物の揺れ等が発生しても，フィルタが閉塞することはない（図６）。なお，万一，HIC が転倒し，スラリーがフィルタに付着した際は，念のため，HIC の上蓋を取り替える。

HIC 内の水分の蒸発は無視できるほど小さいことから，ベントフィルタ等が目詰まりすることはない。また，蒸発した水分によるベントフィルタ等の凍結に対しては，スラリーの発熱量は小さく，雰囲気温度０℃付近では水蒸気の発生はほとんどないため，問題ない。仮に，ベント機能が喪失した場合，発生した水素が HIC 内部に蓄積することになるが，着火源がないため水素爆発には至らない。

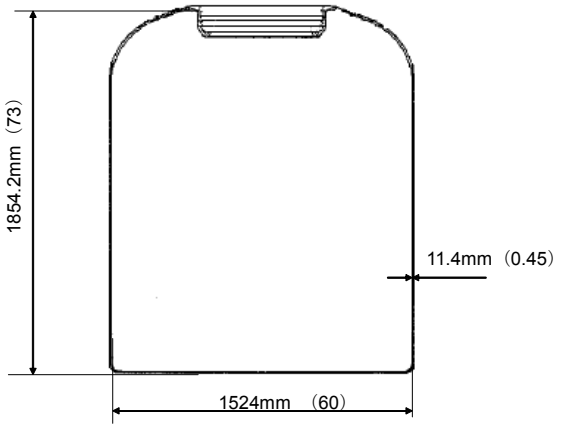
(7) 寿命について

SC DHEC は，高性能容器（タイプ１）に対し最低 300 年間は構造を維持し，廃棄物を収容していることを認可要件としており，妥当と判断している。また，高性能容器（タイプ２）は高性能容器（タイプ１）と同一の材質であることから，同程度の寿命であることが考えられる。以上のことから，多核種除去設備で使用する高性能容器の一時保管施設貯蔵中の構造維持は問題とならない。

(8) 落下に対する評価について

HIC 取扱いにおける落下防止対策や落下時の漏えい発生防止対策を行っており，落下時の漏えい発生防止対策では，HIC への補強体取り付け，傾斜落下防止等の為の設備対応及び想定される落下ケースについての落下試験を行い，落下時の健全性に問題ないことを確認している（別添－４）。

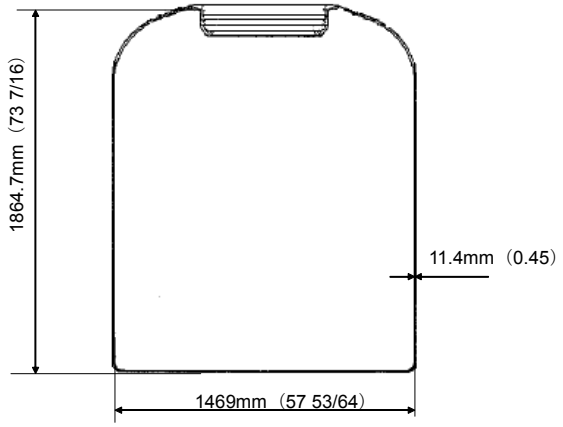
以 上





カッコ内は製作値（インチ）

(a) 高性能容器（タイプ 1）

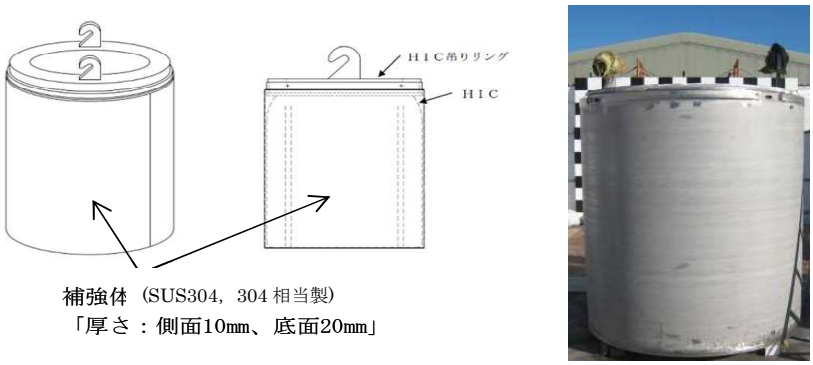




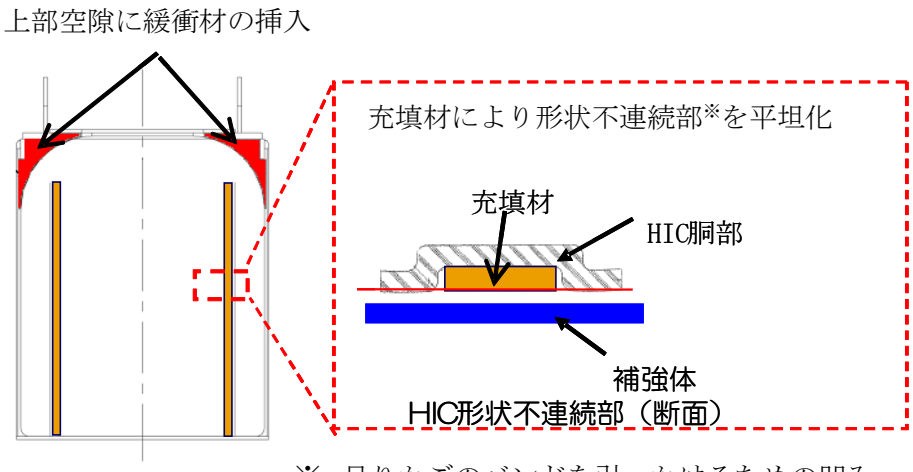
カッコ内は製作値（インチ）

(b) 高性能容器（タイプ 2）

図 1　HIC 概要

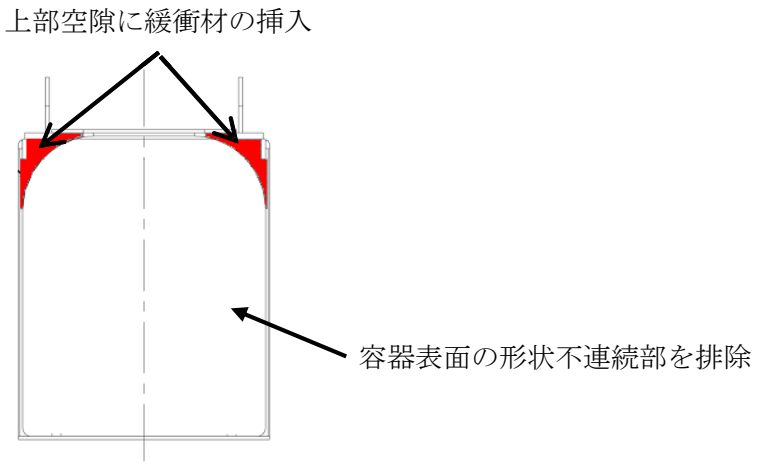


(a) 補強体



※ 吊りかごのバンドを引っかけるための凹み

(b) 高性能容器（タイプ 1）補強



(c) 高性能容器（タイプ 2）補強

図 2　HIC 補強概要

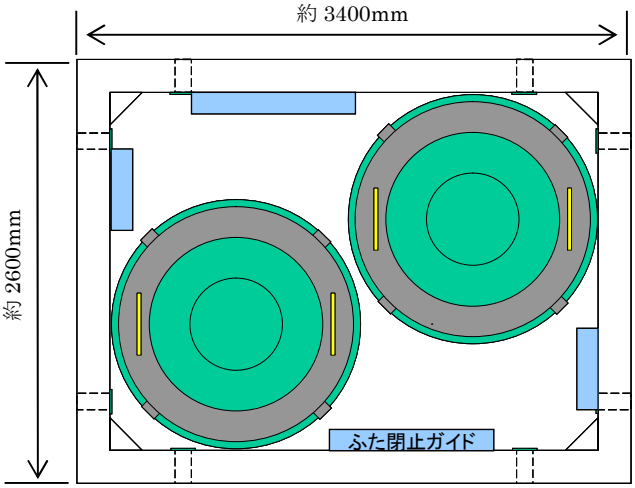
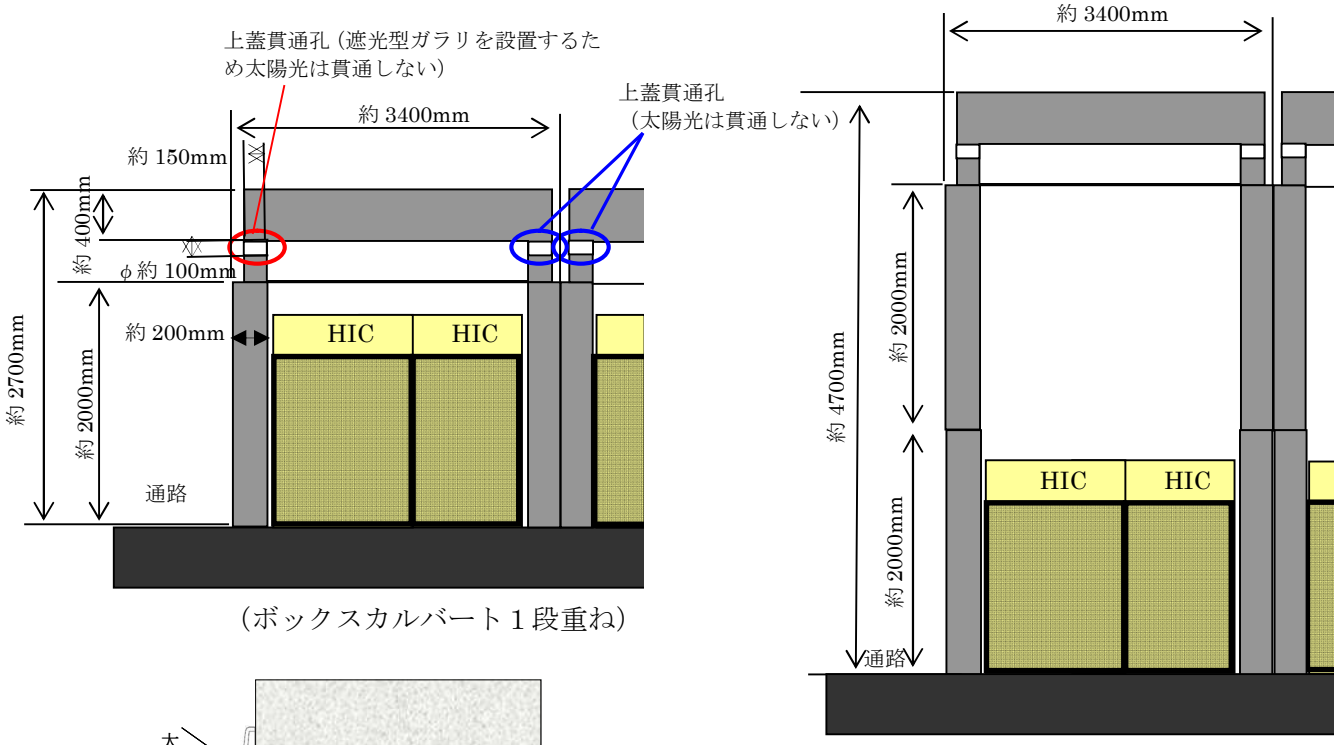
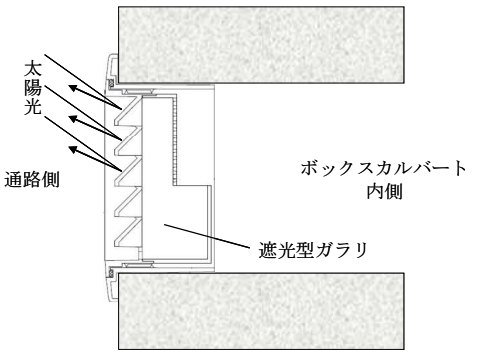


図３　ボックスカルバート内 HIC 収容（平面）概略図



（ボックスカルバート１段重ね）

（ボックスカルバート２段重ね）



通路側上蓋貫通孔



遮光型ガラリ

図４　一時保管施設（第二施設）ボックスカルバート内 HIC 収容概略

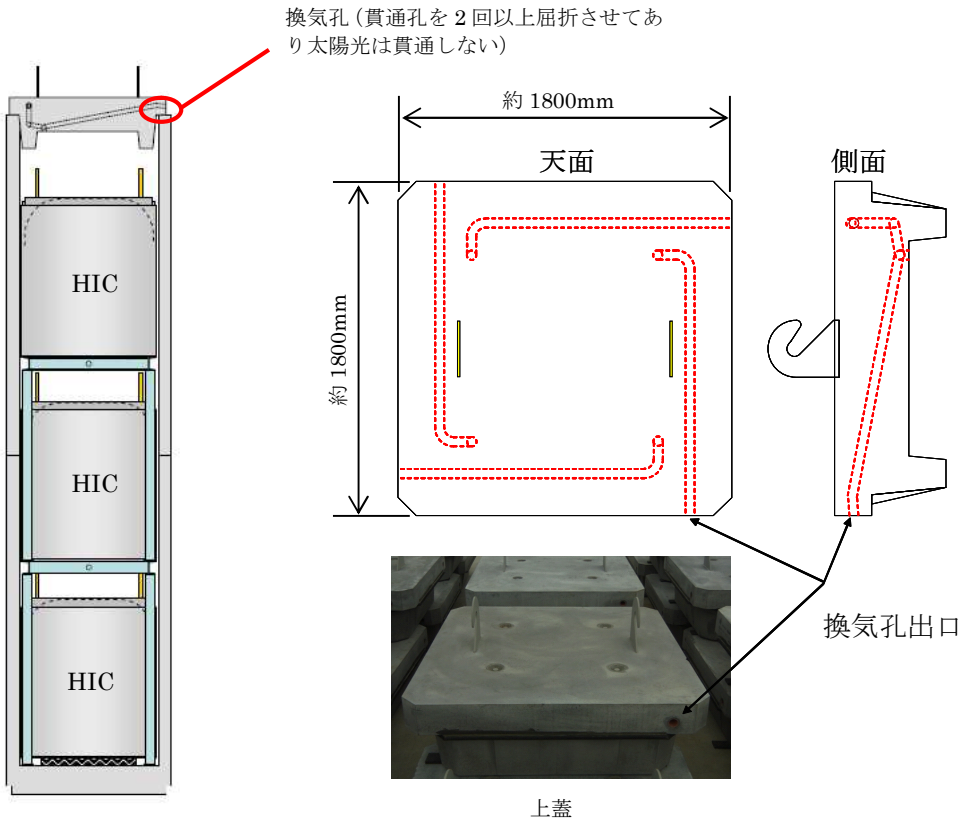
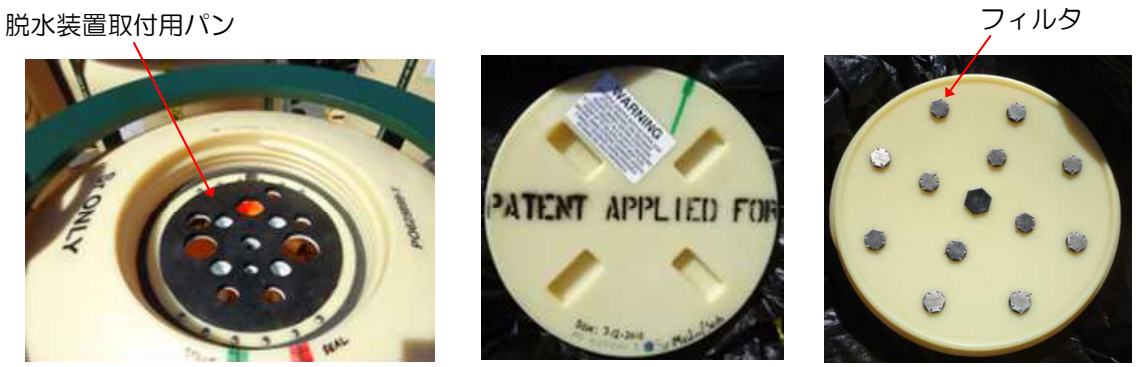
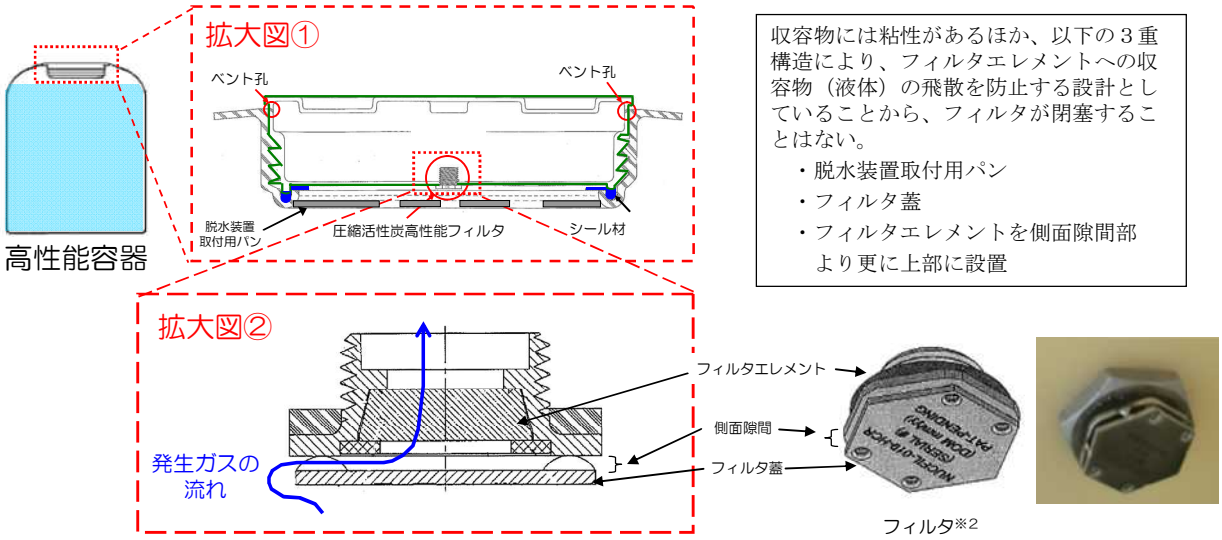


図５　一時保管施設（第三施設）ボックスカルバート内 HIC 収容概略



（a）写真



（b）ベント構造概略

※１　ベント構造は，水素発生量に応じ２種類（①フィルタ　２個，ベント孔 16 個　②フィルタ 13 個，ベント孔 32 個）を使用することで，可燃限界に対して十分低い濃度を確保する。

※２　フィルタは，カーボンコンポジット材（炭素繊維強化炭素複合材）を採用しており，0.4μｍの微粒子を 99.97%阻止できる。

図６　HIC ベント構造※１

HIC の温度評価

(1)一時保管施設（第二施設）

温度評価は，HIC の収容物である吸着材からの発熱を入熱条件とし，一次元の定常温度評価により HIC 容器温度を算出したうえで，太陽光から入熱によるボックスカルバート上蓋の温度上昇を考慮した場合の HIC 容器温度が設計温度 76.6℃以下となることを確認する。

1. HIC 内部の発熱による容器温度の評価概要

○評価手法：１次元定常温度評価（評価体系については，図１参照）

○入熱条件：発熱量が最大となる吸着材２を充填した HIC（発熱量 58.8[W]）２基を発熱体とした。

○初期条件：

・ボックスカルバート外気温度 40℃

・ボックスカルバートは２段重ねに比べて保守的となる１段重ねで評価を実施

○その他の評価条件：

・上蓋貫通孔からの空気の出入りは考慮しない(図２参照)。

・HIC 接地面への除熱は考慮しない(図２参照)。

・ボックスカルバートの側面のうち，他のボックスカルバートに面する３面からの除熱は考慮しない(図２参照)。

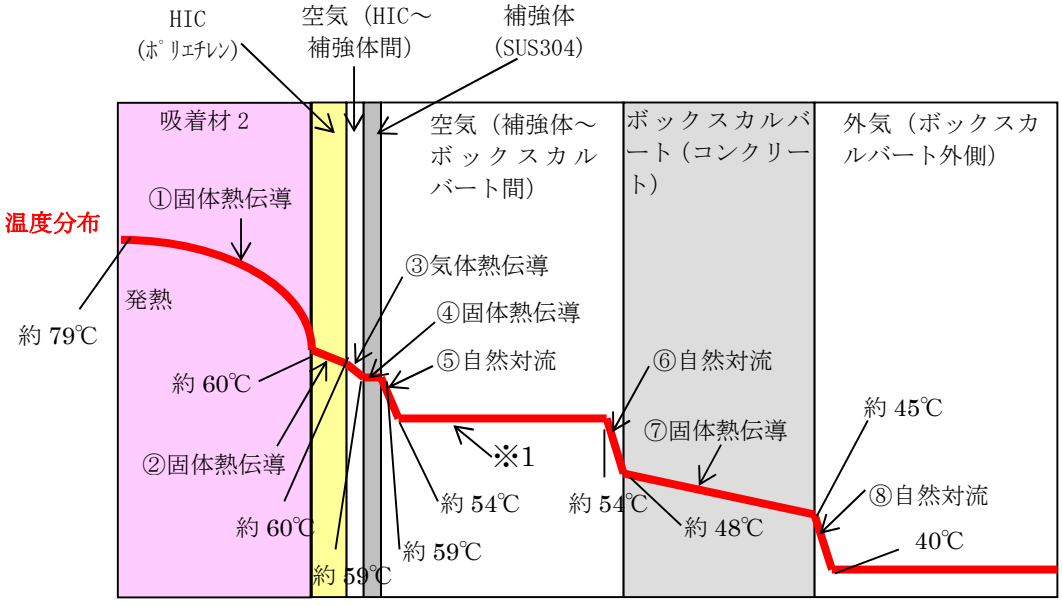


図１　評価体系の概念図（1 次元定常温度評価モデル）

※　1 HIC のボックスカルバート内への収容時，補強体～ボックスカルバート間の距離は収容の状況に応じ一定にないことから，この間の温度勾配はないこととする。

表 1 考慮した熱伝達機構及び温度評価に用いた熱伝導率等

番号	伝熱箇所	伝熱機構	距離	熱伝導率等
①	吸着材 2	固体熱伝導	1446mm	熱伝導率 0.15［W/mK］
②	HIC（ポリエチレン）	固体熱伝導	11.4mm	熱伝導率 0.46［W/mK］
③	空気（HIC～補強体間）	気体熱伝導	3mm	熱伝導率 0.028［W/mK］
④	補強体（SUS304）	固体熱伝導	10mm	熱伝導率 51［W/mK］
⑤	補強体から空気（補強体～ボックスカルバート間）	自然対流	－ ※2	熱伝達率 1.7［W/m^{2}K］
⑥	空気（補強体～ボックスカルバート間）からコンクリート	自然対流	－ ※2	熱伝達率 1.7［W/m^{2}K］
⑦	コンクリート	固体熱伝導	400mm	熱伝導率 1.3［W/mK］
⑧	空気（ボックスカルバート外）	自然対流	－ ※2	熱伝達率 2.4［W/m^{2}K］

※2　自然対流による伝熱のため距離に依存しない。

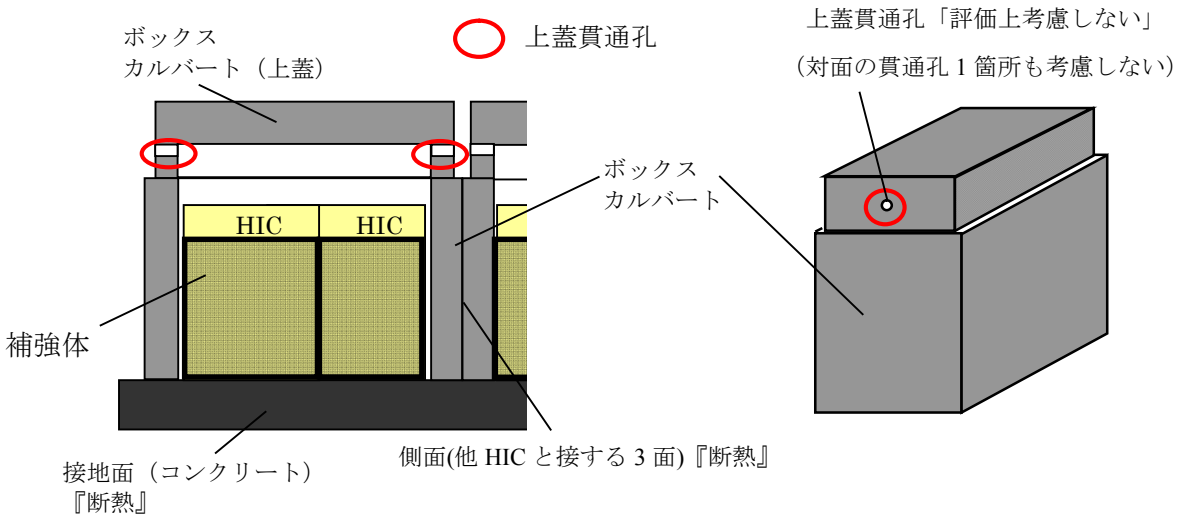


図 2 温度評価条件（ボックスカルバート）

2. 太陽光からの入熱によるボックスカルバート上蓋の温度評価

太陽光からの入熱によるボックスカルバート上蓋の温度上昇の評価を実施した。評価体系の概念を図３に示す。上蓋コンクリートのみをモデル化し，太陽光からの入熱及び大気放射による入熱を上蓋コンクリート上表面に与え，上蓋コンクリート下表面における温度を評価した。

○評価手法：非定常温度評価（評価体系については，図３参照）

○入熱条件：2011 年 5 月 25 日（2011 年において全天日射量が最大となる日）福島気象台の全天日射量（図４参照）にコンクリート吸収率 0.75 を乗じた値。

○外気温度条件：2011 年 8 月 14 日（2011 年において最高気温が最大となる日）福島気象台の外気温度分布を使用（ただし，当日の最高気温 36.3℃が，1.の評価条件 40℃と一致するように各時間の気温を 3.7℃かさ上げした仮想温度分布を使用）（図５参照）

○評価上考慮した熱物性：

・ボックスカルバート上蓋の上表面からの輻射伝熱による除熱及び上下表面からの自然対流による除熱を考慮。

○その他の評価条件：

・上蓋コンクリート側面は断熱とし，上表面からの蒸発潜熱による除熱は考慮しない。

3. 評価結果

HIC 内部の発熱による容器温度を評価した結果，HIC 容器の温度は，約 60℃となった。

また，太陽光からの入熱によるボックスカルバート上蓋の温度を評価した結果，上蓋下面の最高温度は約 53℃となった。仮に外気温度が 40℃で一定で太陽光からの入熱が無い場合，上蓋下面の温度は 40℃であることから，太陽光からの入熱があった場合と無い場合の上蓋下面の温度差は最大約 13℃となる。

よって，HIC 内部の発熱による容器温度の評価結果である約 60℃に上蓋の温度上昇を約 13℃が全て加算された場合においても容器温度は約 73℃となり，HIC の設計温度 76.6℃に対して低いことから，安全上の問題はないと判断する。

なお，評価結果の妥当性確認を目的として，今後，HIC の温度測定方法等について検討を実施する。

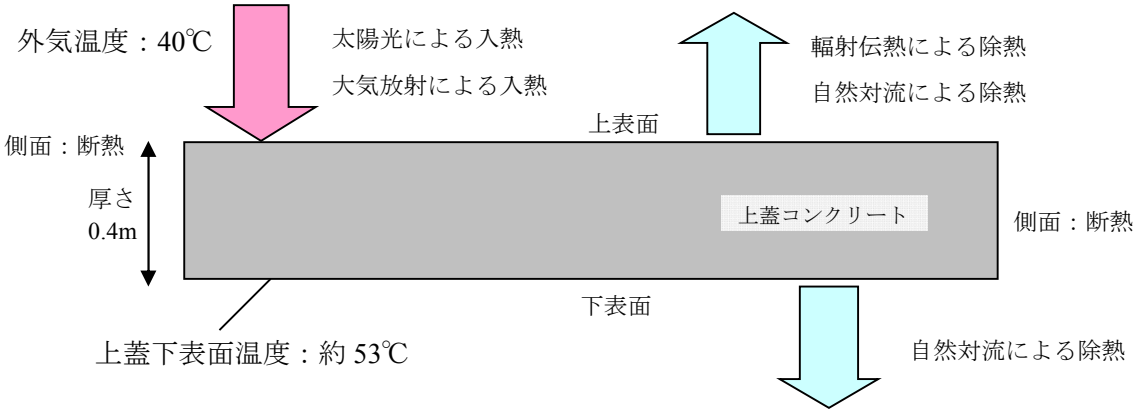


図 3　太陽光からの入熱によるボックスカルバート上蓋の温度評価体系の概念

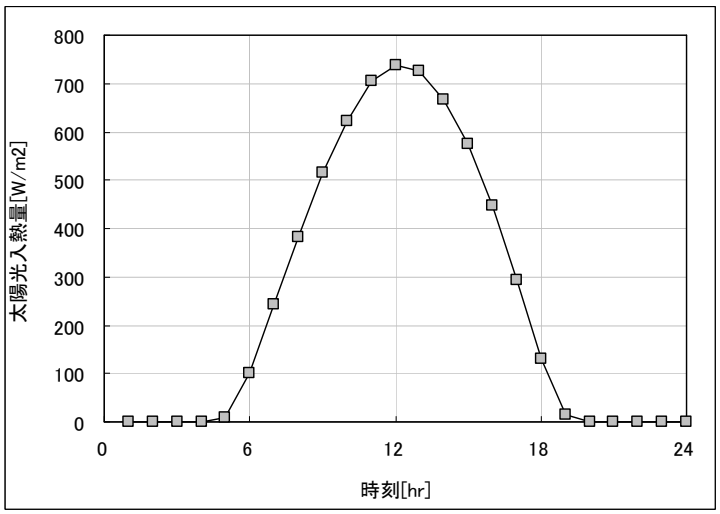


図 4　太陽光入熱量の時間変化（2011/5/25）

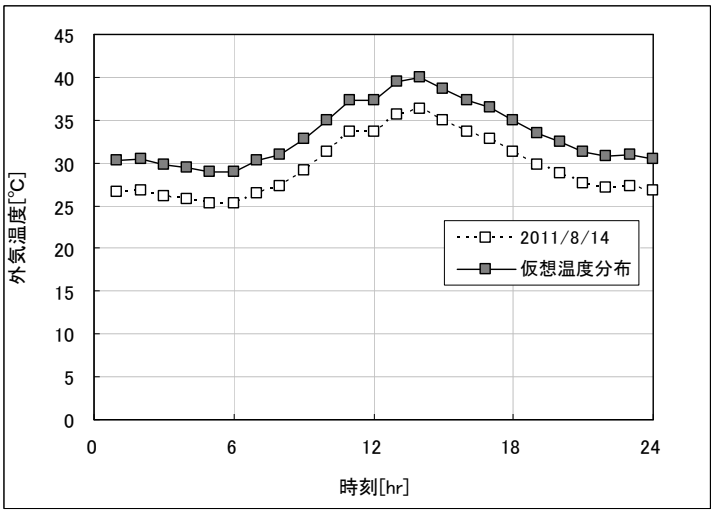


図 5　外気温度の時間変化

(2)一時保管施設（第三施設）

温度評価は,HICの収容物である吸着材及び沈殿処理生成物からの発熱を入熱条件とし,三次元の定常温度評価により HIC 容器温度を算出したうえで,太陽光から入熱によるボックスカルバート上蓋の温度上昇を考慮した場合の HIC 容器温度が設計温度 76.6℃以下となることを確認する。

1. HIC 内部の発熱による容器温度の評価概要

○評価手法，体系：

3 次元定常温度評価（評価体系については，図 6 参照※3）

※3 敷地境界線量評価を踏まえた容器配置の運用上，最も除熱条件が厳しくなる配置で評価を実施。また，水平方向は対象性を考慮してモデル化範囲を限定。

○入熱条件：縦 2 列の HIC（タイプ 2）（吸着材 2【発熱量 53.7[W]】×2 基（下段左，中段左），沈殿処理生成物（炭酸塩沈殿処理スラリー）【発熱量 6.5[W]】×4 基)6 基を発熱体とした。なお，発熱量が炭酸塩沈殿処理スラリーより大きく，吸着材 2 より小さい鉄共沈処理スラリーの評価は吸着材 2 の評価に，他の吸着材の評価は炭酸塩沈殿処理スラリーの評価に内包される。

○初期条件：ボックスカルバート外気温度 40℃

○その他の評価条件：

・輻射伝熱は考慮しない。

・ボックスカルバートの側面のうち，他のボックスカルバートに面する 3 面からの除熱は考慮しない。

・HIC 接地面への除熱は考慮しない。

・ボックスカルバートの貫通孔については，換気孔 8 箇所，隣のボックスカルバートとのアクセス用の通気口 4 箇所及び 75 度傾斜の吸気孔 2 箇所を考慮。

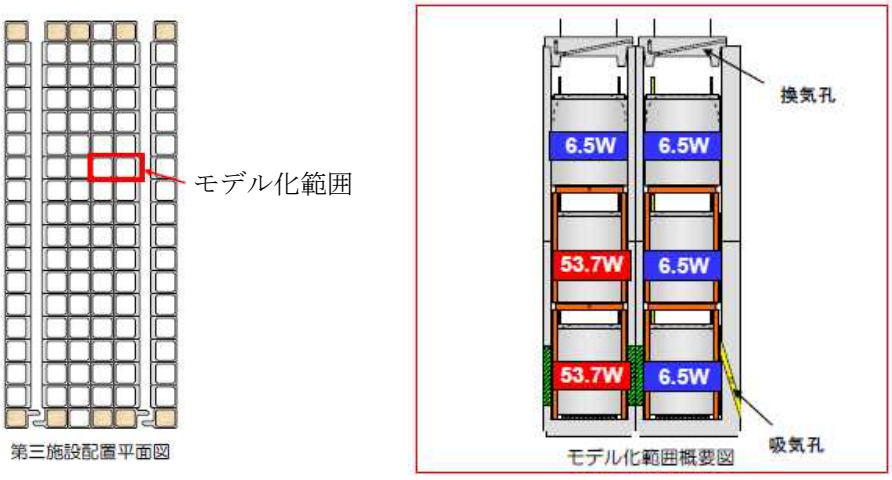


図 6　評価体系概念

表 1 考慮した熱伝達機構及び温度評価に用いた熱伝導率

伝熱箇所	伝熱機構	熱伝導率等
収容物	固体熱伝導	熱伝導率 0.15［W/mK］※4
HIC（ポリエチレン）	固体熱伝導	熱伝導率 0.46［W/mK］
空気	気体熱伝導	熱伝導率 0.028［W/mK］
補強体（SUS 材）	固体熱伝導	熱伝導率 15.9［W/mK］
ゴムマット	固体熱伝導	熱伝導率 0.13［W/mK］
コンクリート	固体熱伝導	熱伝導率 1.3［W/mK］

※4 収容物の熱伝導率は，吸着材 0.15[W/mK]及び沈殿処理生成物（炭酸塩沈殿処理スラリー）0.63[W/mK]のうち，保守的に吸着材の熱伝導率を用いる。

表２　各 HIC 内に収納される廃棄物の発熱量※5

種類	沈殿処理生成物		吸着材					
	鉄共沈	炭酸塩沈殿	1	2	3	4	5	6
発熱量(W)	18.4	6.5	0.0019	53.7	0.59	0.0019	0.025	0.33

※5 各 HIC 内に収容される廃棄物の発熱量が記載値を下回ることは，補強体に覆われていない HIC 上部における線量当量率の測定値が，「Ⅱ-2-16-1 添付資料-４ 別添-２ 表２」に記載される上部方向の線量等量率を下回ることをもって確認する。

2. 太陽光からの入熱によるボックスカルバート上蓋の温度評価

(1)2.と同じ

3. 評価結果

HIC 内部の発熱による容器温度を評価した結果，HIC 容器の温度は，約 57℃となった。

また，太陽光からの入熱によるボックスカルバート上蓋の温度変化を評価した結果，上蓋下面は約 13℃上昇した。

よって，HIC 内部の発熱による容器温度の評価結果である約 57℃に上蓋の温度上昇約 13℃が全て加算された場合においても容器温度は約 70℃となり，HIC の設計温度 76.6℃に対して低いことから，安全上の問題はないと判断する。また，一時保管施設（第三施設）への HIC 収容の際は，容器温度が約 70℃を超えることがないように HIC を配置する。

なお第三施設への格納に際しては図６の評価体系概念に示す範囲のうち，発熱量 53.7[W]と扱う HIC の収容数を 2 基までとすることを制限とする。

以　上

ポリエチレンのクリープに対する評価について

架橋ポリエチレン管のクリープ特性は，図１に示すような熱間内圧クリープ試験で測定される。

一般的なプラスチック管のクリープ線図には，時間に対してクリープの発生する円周応力が急降下する屈曲点があらわれる。この急降下はプラスチックの酸化劣化による脆性破壊の開始をあらわしており，この時間を使用限界（寿命時間）とするのが一般的である※1。HIC の材料である架橋ポリエチレンは，巨大な網目分子構造を持っており，酸化劣化の影響を受けにくい。円周応力３MPa 程度においても，95℃以下のクリープ線図の屈曲点は，長期間（一時保管施設の貯蔵として 20 年を想定しても）あらわれず，時間に対して直線状になっている特性がある※1。

※１　架橋ポリエチレン　技術資料　架橋ポリエチレン工業会

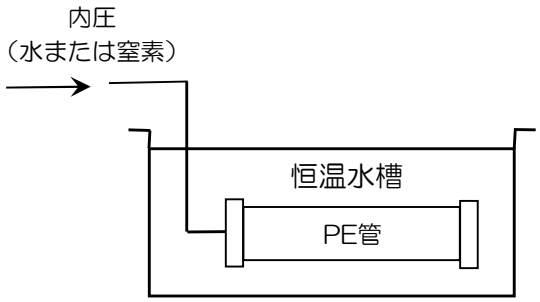


図１．熱間内圧クリープ試験の概念図

以 上

HIC 貯蔵時における照射劣化の影響評価

HIC の一時保管施設における貯蔵期間（20 年）において，内包する放射性物質からの放射線照射による劣化を HIC の材料である架橋ポリエチレンに対する照射後の引張試験および高速曲げ試験結果から評価する。

(1) HIC 貯蔵条件

○貯蔵場所：一時保管施設のボックスカルバート（コンクリート製）内

○貯蔵期間：20 年

○貯蔵期間（20 年）における積算線量

・前処理 1 スラリー用 HIC（前処理 2 スラリーと比べ表面線量が高い）：1.3×10^{4}Gy

・吸着材 3 用 HIC（吸着材のうち，最も表面線量が高い）：4.6×10^{4}Gy

＜参考＞

積算線量（40 年）「貯蔵期間 2 倍（40 年相当）における評価値」

・前処理 1 スラリー用 HIC：2.5×10^{4}Gy

・吸着材 3 用 HIC：9.1×10^{4}Gy

(2) 架橋ポリエチレン照射試験条件

架橋ポリエチレンに対する照射試験の条件を表 1 に示す。

表 1　架橋ポリエチレン照射試験条件

	空気雰囲気
線量率	1000 Gy/h
積算線量	5.0×10^{4}Gy（50 時間照射）
	1.0×10^{5}Gy（100 時間照射）
温度	室温
サンプル数	各積算線量につき 2 サンプル
照射後	①引張試験，②シャルピー衝撃試験（高速曲げ試験）

(3) 照射後引張試験

照射後の架橋ポリエチレンに対し引張試験を行った。試験結果を表 2 に示す。

表 2　照射後引張試験結果

	最大応力〔N／mm²〕	
	サンプル１	サンプル２
照射なし	24.5	24.4
5.0×10^{4}Gy（50 時間照射）	23.9	23.9
1.0×10^{5}Gy（100 時間照射）	24.3	24.4

(4) 照射後シャルピー衝撃試験（高速曲げ試験）

照射後の架橋ポリエチレンに対しシャルピー衝撃試験を行った。試験結果を表 3 に示す。なお，試験はひずみ速度 280 s^{-1}※で行っている。

※落下時のひずみ速度：$100s^{-1}$ 程度

表 3　照射後シャルピー衝撃試験結果

	公称ひずみ〔%〕	
	サンプル１	サンプル２
照射なし	80	80
5.0×10^{4}Gy（50 時間照射）	80	80
1.0×10^{5}Gy（100 時間照射）	80	80

(5) 照射試験の結果

照射後の材料試験の結果，1.0×10^{5}Gy 照射後にも材料特性に有意な変化は確認されなかった。1.0×10^{5}Gy は，表面線量の高い吸着材 3 の仮に 40 年貯蔵した場合における積算線量よりも高く，貯蔵期間 20 年では HIC の材料特性に影響は無い。

以上

高性能容器落下時の健全性確認

1. 概要

多核種除去設備の運転に伴い二次廃棄物（使用済み吸着材，沈殿処理生成物）が発生し，二次廃棄物を収容した HIC を多核種除去設備エリアから使用済セシウム吸着塔一時保管施設へ移送する。

HIC 取扱い時に万一 HIC を落下させた場合を考慮し，漏えい発生防止対策として，HIC への補強体の取付け及び傾斜落下防止対策等の設備対応を行った。更に，対策実施後に発生する可能性のある落下姿勢を整理した上で，HIC への影響が大きいと想定される落下ケースについて落下試験を実施することにより落下時の健全性確認を行った。

2. 落下時の漏えい発生防止対策

HIC の取扱い時に万一落下事象が発生した場合を考慮し，以下の施設対応等を行った。

・垂直落下に対しては，補強体及び緩衝材によって HIC の健全性を保つ。
・傾斜落下及び逆さ傾斜落下に対しては，傾斜落下防止対策によって，当該の落下姿勢の発生を防止する。
・角部落下に対しては，補強体及び緩衝材によって HIC の健全性を保つ。

また，HIC，多核種除去設備設置エリア及び一時保管施設に対する具体的な対策を以下に示す。

(1) HIC に対する対策

・HIC に補強体を取り付ける。

(2) 多核種除去設備設置エリアでの対策

a. 緩衝材及び傾斜落下防止架台の設置

・HIC 遮へい体内，輸送用遮へい体内に緩衝材を設置する。
・トレーラ後部に門型の傾斜落下防止架台を追設することにより傾斜落下を防止する。

b. クレーン東西方向への移動操作の制限（傾斜落下防止）

・HIC 取扱時は，東西の移動（横行）機能のないクレーン操作機を使用し，傾斜落下を防止する。

c. 角部への緩衝材取付

・HIC の吊上げ・吊下ろし時に HIC 遮へい体，輸送用遮へい体の側板上部に緩衝材を取付けることにより角部落下時の影響を緩和する。

(3) 一時保管施設での対策

・クレーン吊上げ高さ制限（第二施設においてタイプ 1 は 3m，タイプ 2 は 5m，第三施設においてタイプ 2 は 9.5m）とリミットスイッチ等による移動可能範囲の制限により，傾斜落下が発生する箇所への HIC の移動を防止する。

・第二施設においては，ボックスカルバート内に傾斜落下防止の器具を予め収容したうえで，HIC の収容作業を行うことにより斜め落下の可能性を排除する。

3. 落下時の健全性確認

2.の対策実施後，発生する可能性のある落下姿勢を整理し，HIC への影響が大きいと想定されるケースについて，表 1 の①，②の条件でタイプ 1 の落下試験を複数回実施した。

また，タイプ 2 については，より高い落下条件を想定しても健全性を維持できることを開発方針とし，表 1 の③，④，⑤の条件で落下試験を複数回実施した。

表 1　落下試験の条件

	試験体	落下高さ	落下面	落下姿勢	試験回数
①	高性能容器（タイプ 1）（補強体付き）	4.5m	緩衝材	垂直	2 回
②	高性能容器（タイプ 1）（補強体付き）	2.6m	□100mm 角棒（緩衝材敷設）	垂直	2 回
③	高性能容器（タイプ 2）（補強体付き）	9.5m	緩衝材	垂直	2 回
④	高性能容器（タイプ 2）（補強体付き）	7.1m	鋼板	垂直	2 回
⑤	高性能容器（タイプ 2）（補強体付き）	3.1m	□200mm 角棒	垂直	2 回

4.試験結果

試験の良否判定は HIC 破損による内容物の漏えいの有無及び HIC 本体の異常な損傷等の有無により行った。

試験の結果，各試験ケースとも内容物の漏えいはなく，また，HIC 本体にも異常な損傷等がないことから，落下時の漏えい発生防止対策は有効であり HIC が落下した場合にも健全性は維持されると判断する。

5.HIC の運用方針

4.の試験結果を踏まえ，HIC については落下試験で健全性が確認できている範囲で運用を行う。一時保管施設（第二施設）における貯蔵方法としては，高性能容器はボックスカルバート内に 2 体を平置きで貯蔵する。また，高性能容器（タイプ 1）は，2 段重ねしているボックスカルバート内には収容しないこととする。

一時保管施設（第三施設）における貯蔵方法としては，高性能容器（タイプ 2）を 3 段積みできるボックスカルバート内に収容する。

以上

除去対象核種の選定

1. 除去対象核種の選定方針

多核種除去設備の処理対象水（淡水，RO 濃縮塩水及び処理装置出口水）は，１～３号機原子炉内の燃料に由来する放射性物質（以下，「FP 核種」という）及びプラント運転時の保有水に含まれていた腐食生成物に由来する放射性物質（以下，「CP 核種」という）を含んでいると想定される。多核種除去設備の設計として，処理対象水が万一環境への漏えいした場合の周辺公衆への放射線被ばくのリスクを低減するため，処理対象水に含まれる FP 核種及び CP 核種のうち，多核種除去設備で除去すべき高い濃度で存在する核種を推定することが必要となる。

よって，処理対象水に含まれる放射性物質の濃度を推定するにあたり，FP 核種については，炉心インベントリの評価結果から有意な濃度で存在すると想定される核種を選定し，そのうち，2011/3 に放射性物質の測定を実施している核種については，測定結果から滞留水中の濃度を推定し，測定していない核種については，炉心インベントリの評価結果から滞留水に含まれる濃度を推定した。

また，CP 核種については，プラント運転時の原子炉保有水に含まれていた核種が滞留水に移行していること，また，高温焼却炉建屋に滞留水を移送した際に，濃縮廃液タンクの保有水に含まれていた核種が混入したことが考えられることから，プラント運転時の原子炉及び濃縮廃液タンクの保有水に対する CP 核種の測定結果を用いて，滞留水に含まれる濃度を推定した。

FP 核種，CP 核種共に多核種除去設備の稼動時期が原子炉停止後より 1 年後(365 日後)以降となると想定されたことから，半減期を考慮し原子炉停止 365 日後の滞留水中濃度を減衰補正により推定した。減衰補正により得られた原子炉停止後 365 日後の推定濃度が告示濃度限度※1 に対し，1/100 を超える核種を滞留水中に有意な濃度で存在するものとして多核種除去設備の除去対象核種として選定した。ただし，トリチウム※2 については除去することが困難であるため除去対象核種から除外した。

※1 核原料物質又は核燃料物質の製錬の事業に関する規則等の規定に基づく線量限度等を定める告示 (別表第一第六欄周辺監視区域外の水中の濃度限度)

※2 H23 年 9 月～H25 年 1 月に採取した淡水化装置（逆浸透膜装置）入口水トリチウム測定値：8.5×10^{2}Bq/cm^{3}～4.2×10^{3}Bq/cm^{3}

2. 除去対象核種の選定結果

FP 核種から 56 核種，CP 核種から 6 核種を選定し，それらを加えた計 62 核種を除去対象核種として選定した（表 1 参照）。

表 1　除去対象核種一覧

No.	放射性物質の種類	線種	No.	放射性物質の種類	線種
1	Rb-86	β γ	32	Ba-140	β γ
2	Sr-89	β	33	Ce-141	β γ
3	Sr-90	β	34	Ce-144	β γ
4	Y-90	β	35	Pr-144	β γ
5	Y-91	β γ	36	Pr-144m	γ
6	Nb-95	β γ	37	Pm-146	β γ
7	Tc-99	β	38	Pm-147	β γ
8	Ru-103	β γ	39	Pm-148	β γ
9	Ru-106	β	40	Pm-148m	β γ
10	Rh-103m	β γ	41	Sm-151	β γ
11	Rh-106	γ	42	Eu-152	β γ
12	Ag-110m	β γ	43	Eu-154	β γ
13	Cd-113m	γ	44	Eu-155	β γ
14	Cd-115m	β γ	45	Gd-153	γ
15	Sn-119m	γ	46	Tb-160	β γ
16	Sn-123	β γ	47	Pu-238	α
17	Sn-126	β γ	48	Pu-239	α
18	Sb-124	β γ	49	Pu-240	α
19	Sb-125	β γ	50	Pu-241	β
20	Te-123m	γ	51	Am-241	α
21	Te-125m	γ	52	Am-242m	α
22	Te-127	β γ	53	Am-243	α
23	Te-127m	β γ	54	Cm-242	α
24	Te-129	β γ	55	Cm-243	α
25	Te-129m	β γ	56	Cm-244	α
26	I-129	β γ	57	Mn-54	γ
27	Cs-134	β γ	58	Fe-59	γ
28	Cs-135	β	59	Co-58	γ
29	Cs-136	β γ	60	Co-60	β γ
30	Cs-137	β γ	61	Ni-63	β
31	Ba-137m	γ	62	Zn-65	β γ

高性能容器落下破損時の漏えい物回収作業における被ばく線量評価

1. 概要

多核種除去設備の運転に伴い二次廃棄物（使用済み吸着材，沈殿処理生成物）が発生し，二次廃棄物を収容した高性能容器(HIC;High Integrity Container)（以下，「HIC」という）を多核種除去設備エリアから使用済セシウム吸着塔一時保管施設へ移送する。

HIC 取扱いにおける安全確保のため，落下防止対策，漏えい発生防止の実施により HIC の落下・破損の可能性を低減するが，万一の漏えい事象への対策として漏えい物回収についての作業手順の検討と作業における被ばく線量評価を行った。

2. 落下モードの想定

万一 HIC が落下する場合の落下モードとしては吊りワイヤー切断等が考えられ，クレーン可動制限の対策を実施していることから，垂直落下を想定する。

垂直落下に対しては，落下試験結果等から，補強体及び緩衝材を取り付けることによって，HIC 本体の損傷がないこと及び補強体にき裂等の損傷はなく，内容物の漏えいがないことを確認している。

3. 漏えい範囲の想定

HIC 内のスラリー及び脱水処理された廃吸着材は，仮に HIC 落下損傷により床面に漏えいしても粘性のない液体に比べ漏えい量及び床面への広がりは限定されるものと想定される。

(1) 多核種除去設備エリア

HIC 設置エリアは堰により漏えい範囲が限定される。また，トレーラヤードには，HIC が落下しないような措置（クレーン可動範囲の制限）をするが，万一の落下時の漏えい拡大防止の観点からトレーラヤードの南端にはスロープ堰を設置する。併せて，漏えい物の飛散を考慮してトレーラヤードに搬入口を設置する。

(2) 一時保管施設（第二施設）エリア

ボックスカルバート設置エリアは堰により漏えい範囲が限定されるが，排水のための堰の切れ間には土嚢を設置する。さらにトレーラエリアには HIC が落下しないような措置およびクレーン可動範囲の制限および柵を設置する。また，トレーラエリアの北端には盛り上げ堰を設置する。

ボックスカルバート間の隙間は狭隘であり，ボックスカルバート間通路へ HIC が落下することはなく，通路上への漏えいが発生する可能性も低いと考えられる。また，ボックスカルバート内下部は塗装され水密構造となっているため，ボックスカルバート内に HIC が落下し漏えいが発生した場合でも外部への漏えい物の流出は発生しない。

4. 評価ケースについて

回収作業時の被ばく線量を評価するにあたり，一時保管施設のトレーラエリアで吸着材 3 の HIC が落下し漏えいが発生した場合の回収手順を最も厳しいケースとして評価する。評価に用いる線量条件を表 1 に示す。

（評価ケース選定時の考慮事項）

・HIC 落下による損傷はクレーン作業時に発生することが想定されることから，クレーン稼働範囲での漏えい発生を考え，トレーラによる移動エリアでの漏えいは想定しない。

・クレーンの稼働範囲には堰を設けることにより，スラリーおよび廃吸着材の漏えい範囲は限定される。

・スラリーは流動性があるため，堰内で漏えい範囲が拡大するが，溜め枡や漏えい物水位の最深部に回収ポンプを配置し，ろ過水で希釈することで，比較的低い線量下での回収作業が可能である。

・廃吸着材は流動性がないため，漏えい物の拡散範囲が狭く，高線量の漏えい物に作業員が接近して回収作業を行う必要がある。

・遮へい体が設置されている多核種除去設備エリアと比較し，一時保管施設トレーラエリアは，漏えい物からの線量を遮断するものがなく，作業員の被ばく線量が多くなると考えられる。

表 1　吸着材 3（Cs）漏えい時の線量条件

漏えい物（吸着材）の縁からの距離〔m〕	線量率※1〔mSv/h〕
0	78
1	27
2	12
3	6.8
4	4.3
5	3

※1 線量率：各々の距離における高さ 1.5m の点での評価値

5. 回収作業手順と被ばく線量評価

(1)漏えい発生に対する準備

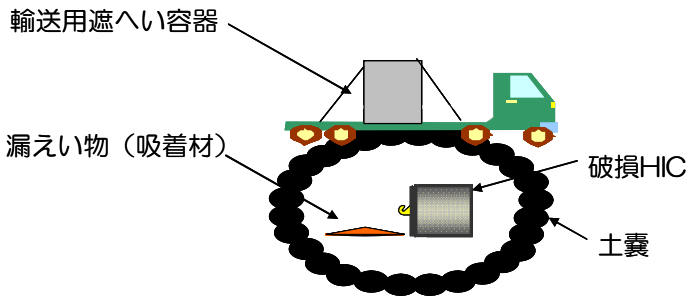
HIC 取扱い時には，5 人程度の作業員が現場作業に従事しており，漏えい発生時の初期対応（土嚢設置による漏えい拡大等）に従事する。なお，土嚢は多核種除去設備設置エリア，一時保管施設エリアに予め準備しておく。

その後の漏えい物回収作業等に従事する作業員（数十人程度を想定）は，多核種除去設備操作室や免震重要棟，バックオフィス（J ヴィレッジ等）から吸引車等の必要資機材を準備したうえ，1,2 時間程度での現場集合が可能である

(2)作業手順と被ばく線量

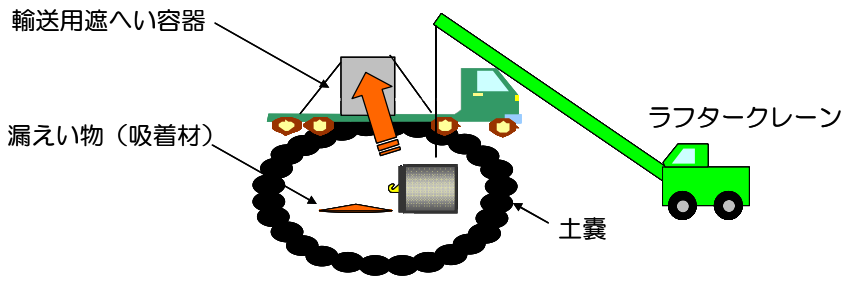
一時保管施設のトレーラエリアにおいて吸着材が漏えいした場合を想定し，その際の回収手順を示す。また想定被ばく線量を表 2 に示す。回収作業は，予め機材を準備することで数時間から半日程度で実施でき，想定される総被ばく線量は 50mSv･人以下である。

＜回収手順 1＞漏えい拡大防止（土嚢設置）



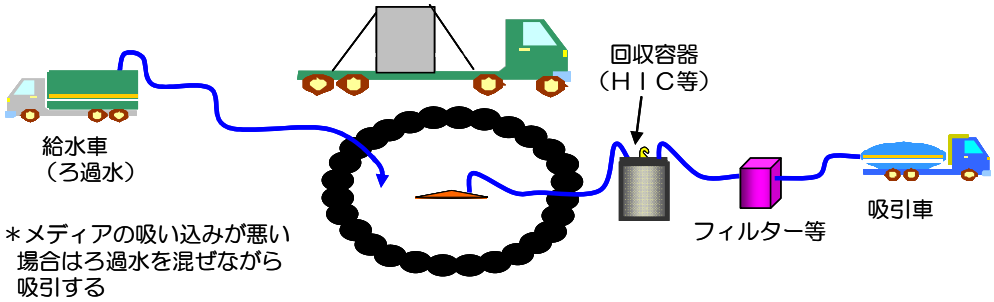
・HIC の輸送作業に従事していた作業員（5 人程度）が初動対応として，土嚢を設置。
・系外漏えい防止のため，一時保管施設の雨水排水用の堰の切れ間に土嚢を設置。
・被ばく低減のため，HIC から 3m 離隔した場所に土嚢を設置。
・被ばく線量は，漏えい物から 3m 程度に近づく作業時間から算出。
・土嚢は予め一時保管エリアに準備してあり，土嚢の移動距離は数十 m 程度であるため，作業時間は 10 分程度。

＜回収手順 2＞HIC 回収



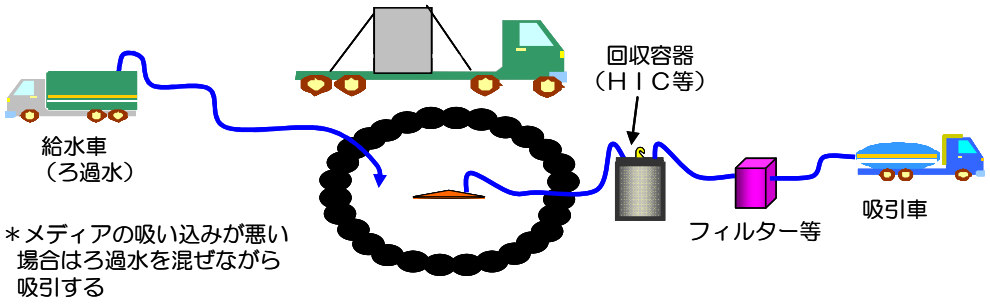
・漏えい物の回収作業における被ばく線量を下げるため，線源となる HIC を回収する。
・HIC 吊り具は，補強体に溶接で取り付けられており，破損はないものと考える。
・HIC を取り扱う門型クレーンに何らかの異常が発生した場合を想定し，HIC の回収はラフタークレーンを使用する。
・玉がけ作業は作業員が接近して行うが，クレーン操作は 10m 程度離れたラフタークレーン操作室で行うため，被ばくの影響はほとんどない。
・HIC への玉掛けが行いにくい横倒し状態を想定し，玉掛け作業は 2 人で行う。
・HIC は輸送用遮へい容器内へ回収する。

＜回収手順 3＞漏えい物回収



・吸引車（１Ｆ構内に予め準備）を使用し，回収物吐き出し作業等による更なる被ばくを避けるため回収容器（HIC 等）へ漏えい物を直接回収する。
・メディアもスラリーも吸着した放射性物質が気相へ移行することはないが，念のため，フィルターを介して吸引する。
・吸い込みノズルを操作する作業員は 1 人で行い，被ばく線量を考慮して，5 分程度で交代することを想定する。
・吸い込みノズルは漏えい物から 2m 程度離れた距離で操作する。

＜回収手順 4＞回収後の除染



・ろ過水を使用し，床面等の除染を実施する。
・車輌サーベイ実施後，トレーラを移動させる。
・使用後のろ過水は水中ポンプ（１Ｆ構内に予め準備）を使用し，回収後，汚染水を収納しているタンク等へ移送する。
・漏えい物を回収した後は 1mSv/h 以下である。
・トレーラエリアは床塗装が実施してあり，15 人程度が約 1 時間作業を実施すれば，十分に除染できると考えられる。

表 2　回収作業時の想定被ばく線量

作業内容	想定被ばく線量※2	
①漏えい拡大防止（土嚢設置）	5 人×10 分×6.8mSv/h(@3m)	5.7mSv･人
②HIC 回収	2 人×2 分×27mSv/h(@1m)	1.8mSv･人
③漏えい物回収	18 人×5 分×12mSv/h(@2m)	18mSv･人
④回収後の除染	15 人×60 分×1mSv/h 以下	15mSv･人以下

※2 作業人数，時間は漏えい物に接近して行う作業の人数・時間である。

以上

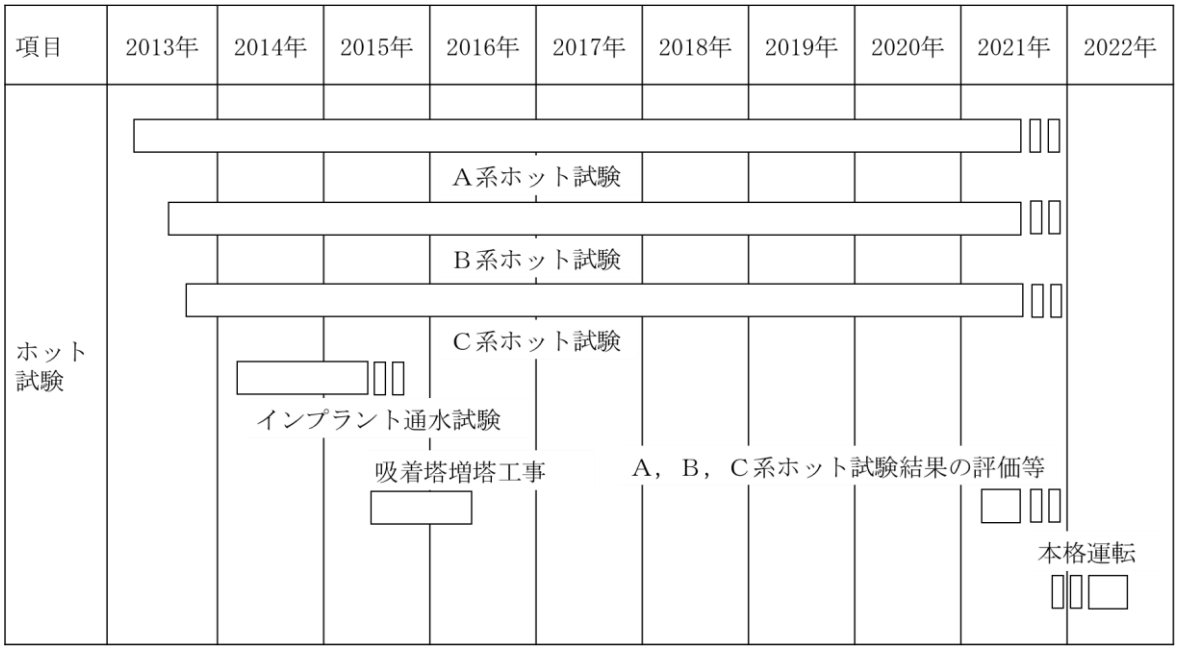
放射性液体廃棄物処理施設及び関連施設の試験及び工事計画

放射性液体廃棄物処理施設及び関連施設は，設備の安定運転の維持，安全確保の観点から以下の試験及び工事について計画し，実施する。

1. 汚染水を用いた通水試験（ホット試験）の実施

多核種除去設備は，福島第一原子力発電所内に貯留している汚染水に含まれる放射性核種を除去し，汚染水の漏えいによる放射線被ばくのリスクを低減させるもので，早期に稼働させるべく，十分な安全対策を施した上で汚染水を用いた通水試験（ホット試験）を実施している。ホット試験にて放射性核種の除去性能及び性能維持に関する確認を行う。また，各系のホット試験と併せて実施してきたインプラント通水試験の結果を踏まえ，吸着塔の増塔工事を実施し，除去性能及び性能維持に関する確認を行う。

2. 工程（2021 年 10 月現在の計画）



以上

多核種除去設備に係る確認事項

多核種除去設備に係る主要な確認事項を表－１～１５に示す。後段クロスフローフィルタについては海外製品と国内製品があるため，各々に対する確認事項を示す。

なお，ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設と兼用する配管（鋼管，ポリエチレン管，耐圧ホース）に係る主要な確認事項は，「Ⅱ 2.50 ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設」に示す。

表－１　確認事項

（デカントタンク，共沈タンク，供給タンク，バッチ処理タンク，循環タンク，
移送タンク，吸着塔入口バッファタンク，吸着塔１～14，処理カラム，
高性能容器（タイプ 1），高性能容器（タイプ 2））

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について，材料証明書等により確認する。	実施計画の記載とおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法について，記録または材料証明書により確認する。	実施計画の記載とおりであること。
	外観確認	各部の外観について記録等により確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器が系統構成図とおり据付ていることを記録等により確認する。	実施計画のとおり施工・据付ていること。
	耐圧・漏えい確認	①確認圧力で一定時間保持した後，確認圧力に耐えていること，また耐圧部からの漏えいがないことを記録等により確認する。	確認圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。また，耐圧部から著しい漏えいがないこと。
		②運転圧力で耐圧部からの漏えいのないことを記録等により確認する。	耐圧部から著しい漏えいがないこと。
		③浸透探傷検査記録または外観検査記録による代替検査を実施し，耐圧部に異常の無いことを確認する。	耐圧部に有意な欠陥等がないこと。

注：①②③は，いずれかとする。

表－２　確認事項（サンプルタンク）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について，材料証明書により確認する。	実施計画の記載とおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法について，記録または材料証明書により確認する。	実施計画の記載とおりであること。
	外観確認	各部の外観について，記録を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器が系統構成図とおり据付ていることを記録により確認する。	実施計画のとおり施工・据付ていること。
		タンク基礎の不陸を記録により確認する。また，支持力試験にて，タンク基礎の地盤支持力を記録により確認する。	タンク基礎の不陸に異常がないこと。また，必要な支持力を有していること。
	耐圧・漏えい確認	運用水位以上で，一定時間保持後，確認圧力に耐えること，また漏えいがないことを記録により確認する。	確認圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。また，耐圧部から著しい漏えいがないこと。

表－３　確認事項

（前段クロスフローフィルタ，出口フィルタ）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	外観確認	各部の外観について，記録により確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器が系統構成図とおり据付ていることを記録により確認する。	実施計画のとおり施工・据付ていること。
	耐圧・漏えい確認	CODAP2005 等に基づき，確認圧力で一定時間保持した後，確認圧力に耐えていること，また耐圧部からの漏えいがないことを記録等により確認する。	確認圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。 また，耐圧部から著しい漏えいがないこと。

表－４　確認事項

（後段クロスフローフィルタ）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法について記録を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
	外観確認	○海外製品 各部の外観について，記録により確認する。 ○国内製品 各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器の据付位置，据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付ていること。
	耐圧・漏えい確認	○海外製品 CODAP2005 等に基づき，確認圧力で一定時間保持した後，確認圧力に耐えていること，また耐圧部からの漏えいがないことを記録等により確認する。 ○国内製品 確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることを確認する。耐圧確認終了後，漏えいの有無も確認する。	確認圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。 また，耐圧部から著しい漏えいがないこと。

表－５　確認事項

（苛性ソーダ貯槽，炭酸ソーダ貯槽，次亜塩素酸ソーダ貯槽，塩酸貯槽，塩化第二鉄貯槽）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した材料について，製品検査記録等により確認する。	実施計画の記載とおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法について，製品検査記録により確認する。	実施計画の記載とおりであること。
	外観確認	各部の外観について，記録により確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器が系統構成図とおり据付ていることを記録により確認する。	実施計画のとおり施工・据付ていること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で一定時間保持した後，確認圧力に耐えていること，また耐圧部からの漏えいがないことを記録等により確認する。	確認圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。また，耐圧部から著しい漏えいがないこと。

表－６　確認事項

（スラリー移送ポンプ，循環ポンプ１／２，デカントポンプ，供給ポンプ１／２
ブースターポンプ１／２，移送ポンプ，処理済水移送ポンプ）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	外観確認	各部の外観について，記録等により確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器が系統構成図とおり据付ていることを立会いまたは記録により確認する。	実施計画のとおり施工・据付ていること。
	漏えい確認	運転圧力で耐圧部からの漏えいがないことを記録等により確認する。	耐圧部から著しい漏えいがないこと。
性能	運転性能確認	ポンプの運転確認を実施し，異常のないことを立会いまたは記録により確認する。	異音，振動等の異常がないこと。

表－７　確認事項（吸着塔 15,16）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について，材料証明書を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法について，記録または材料証明書を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
	外観確認	各部の外観について，記録により確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器の据付位置，据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付ていること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることを確認する。耐圧確認終了後，漏えいの有無も確認する。	確認圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。また，耐圧部から著しい漏えいがないこと。

表－８　確認事項　主配管（鋼管）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について，材料証明書または納品書により確認する。	実施計画の記載とおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法について，材料証明書または納品書により確認する。	実施計画の記載とおりであること。
	外観確認	各部の外観について，立会いまたは記録により確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器が図面のとおり据付ていることを立会いまたは記録により確認する。	図面のとおり施工・据付ていること。
	耐圧・漏えい確認 注１	①:最高使用圧力の 1.5 倍で一定時間保持後，同圧力に耐えていること，また，耐圧部からの漏えいがないことを立会いまたは記録により確認する。	最高使用圧力の 1.5 倍に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。また，耐圧部から漏えいがないこと。
		②:運転圧力で耐圧部からの漏えいのないことを立会いまたは記録により確認する。※１	耐圧部から漏えいがないこと。
機能・性能	通水確認	通水ができることを立会いまたは記録により確認する。	通水ができること。

※１：運転圧力による耐圧部の漏えい検査が実施できない配管フランジ部については，
　　トルク確認等の代替検査を実施する。

注１：耐圧漏えい確認は，①②のいずれかとする。

表－９　確認事項（ポリエチレン管）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した材料について，製品検査成績書により確認する。	実施計画の記載とおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法（外径相当）について，製品検査成績書により確認する。	実施計画の記載とおりであること。
	外観確認	各部の外観について，立会いまたは記録により確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付け確認	機器が図面のとおりに据え付いていることを立会いまたは記録により確認する。	図面のとおり施工・据え付いていること。
	耐圧・漏えい確認※１※２	①：最高使用圧力以上で一定時間保持後，同圧力に耐えていること。また，耐圧部からの漏えいがないことを立会いまたは記録により確認する。	最高使用圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。また，耐圧部から漏えいがないこと。
		②：気圧により，耐圧部からの漏えいのないことを立会いまたは記録で確認する。	耐圧部から漏えいがないこと。
		③：運転圧力で耐圧部からの漏えいがないことを立会いまたは記録で確認する。	
機能・性能	通水確認	通水ができることを立会いまたは記録により確認する。	通水ができること。

※１：耐圧漏えい確認は，①②③のいずれかとする。

※２：耐圧・漏えい確認が実施できない配管フランジ部については，トルク確認等の代替検査を実施する。

表－１０　確認事項（耐圧ホース）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した材料について，製品検査成績書等により確認する。	実施計画の記載とおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法（外径相当）について，製品検査成績書等により確認する。	実施計画の記載とおりであること。
	外観確認	各部の外観について，記録等により確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器が系統構成図とおり据付ていることを記録等により確認する。	実施計画のとおり施工・据付ていること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で一定時間保持した後，確認圧力に耐えていること，また耐圧部からの漏えいがないことを記録等により確認する。	確認圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。また，耐圧部から著しい漏えいがないこと。

表－１１　確認事項　多核種除去設備

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
性能	運転性能確認	実施計画に記載の処理容量が通水可能であることを確認する。	実施計画に記載した処理容量が通水可能であり，設備からの異音、振動等の異常がないこと。
	除去性能	処理済水に含まれる放射性核種（トリチウムを除く）について，除去対象とする 62 核種の放射能濃度を確認する。	『東京電力株式会社福島第一原子力発電所原子炉施設の保安及び特定核燃料物質の防護に関して必要な事項を定める告示』に定める周辺監視区域外の水中の濃度限度未満であること。

表－１２　確認事項（漏えい検出装置および警報装置※2）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	外観確認	各部の外観について，記録等により確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	装置の据付位置，据付状態について，記録等により確認する。	実施計画のとおり施工・据付ていること。
機能	漏えい警報確認	設定とおりに警報が作動することを記録等により確認する。	漏えいを検知し，警報が作動すること。設定とおりに警報が作動すること。

※2：漏えい検出装置および警報装置については，最新の点検データにより，健全性を確認する。

表－１３　確認事項（エリア放射線モニタ※3）

確認事項	確認項目		確認内容	判定基準
監視	構造確認	外観確認	各部の外観について，記録等により確認する。	有意な欠陥がないこと。
		据付確認	機器の据付位置，据付状態について，記録等により確認する。	実施計画のとおりに施工・据付ていること。
	機能確認	警報確認	設定値どおり警報及び表示灯が作動することを記録等により確認する。	許容範囲以内で警報及び表示灯が作動すること。
	性能確認	線源校正確認	標準線源を用いて線量当量率を測定し，各検出器の校正が正しいことを記録等により確認する。	基準線量当量率に対する正味線量当量率が，許容範囲以内であること。
		校正確認	モニタ内のテスト信号発生部により，各校正点の基準入力を与え，その時の指示値が正しいことを記録等により確認する。	各指示値が許容範囲以内に入っていること。

※3：エリア放射線モニタ等の機器については，最新の点検データにより，健全性を確認する。

表－１４　確認事項（基礎）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度	材料確認	構造体コンクリートの圧縮強度を記録等により確認する。	構造体コンクリート強度が，実施計画に記載されている設計基準強度に対して，JASS 5N の基準を満足すること。
		鉄筋の材質，強度，化学成分を記録等により確認する。	JIS G 3112 に適合すること。
	寸法確認	構造体コンクリート部材の断面寸法を記録等により確認する。	構造体コンクリート部材の断面寸法が，実施計画に記載されている寸法に対して，JASS 5N の基準を満足すること。
	据付確認	鉄筋の径，間隔を記録等により確認する。	鉄筋の径が実施計画に記載されているとおりであること。鉄筋の間隔が実施計画に記載されているピッチにほぼ均等に分布していること。

表－１５　確認事項（堰その他の設備）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
漏えい防止	材料確認	実施計画に記載されている主な材料について記録により確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	漏えいの防止のための外周堰の高さ 490mm※4 以上であることを記録等により確認する。	外周堰の高さが 490mm 以上あること。
	外観確認	外周堰の各部の外観について，記録等により確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	外周堰その他の設備の据付位置，据付状態について，記録等により確認する。	実施計画のとおり施工・据付ていること。

※4：設備保有水量から算出した値

多核種除去設備の溶接部に係る主要な確認事項を表－１６～表－２０に示す。後段クロスフローフィルタについては海外製品と国内製品があるため，各々に対する確認事項を示す。

表－１６　確認事項

（デカントタンク，共沈タンク，供給タンク，バッチ処理タンク，循環タンク，吸着塔入口バッファタンク，吸着塔 1～14）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
溶接検査 (1/3)	材料検査	使用材料が JIS 規格に適合していることを材料証明書又は納品書等により確認する。	使用材料が JIS 規格に適合していること。
	開先検査	①開先面に溶接に悪影響を及ぼす欠陥等ないことを溶接施行記録等により確認する。	開先面に溶接に悪影響を及ぼす欠陥等ないこと。
		②開先形状の管理が行われていることを溶接施行記録または管理要領等により確認する。	開先形状の管理が行われていること。
	溶接作業検査 (1/2)	①溶接施工法が次のいずれかであることを施工法認可証，確認試験記録等により確認する。 ・溶接規格第 2 部に定める溶接施工法認証標準に基づく確認試験を実施し合格したもの ・電気事業法に基づき実施された検査において適合性が確認されたもの ・溶接施工法認証標準と同等の施工会社社内認証標準に基づく確認試験を実施し合格したもの ・ASME 規格に基づく確認試験を実施し合格したものであること。	溶接施工法が次のいずれかであること。 ・溶接規格第 2 部に定める溶接施工法認証標準に基づく確認試験を実施し合格したもの ・電気事業法に基づき実施された検査において適合性が確認されたもの ・溶接施工法認証標準と同等の施工会社社内認証標準に基づく確認試験を実施し合格したもの ・ASME 規格に基づく確認試験を実施し合格したものであること。

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
溶接検査 (2/3)	溶接作業検査 (2/2)	また，溶接士は，実作業が可能となる次のいずれかの資格を有していることを有資格者証明書等により確認する。 ・溶接規格第 3 部に定める溶接士技能認証標準に基づく有資格者 ・JIS 規格に基づく有資格者 ・溶接士技能認証標準と同等の施工会社社内技能認証標準に基づく有資格者 ・ASME 規格に基づき認定された有資格者	溶接士は，実作業が可能となる次のいずれかの資格を有していること。 ・溶接規格第 3 部に定める溶接士技能認証標準に基づく有資格者 ・JIS 規格に基づく有資格者 ・溶接士技能認証標準と同等の施工会社社内技能認証標準に基づく有資格者 ・ASME 規格に基づき認定された有資格者
		②溶接が，あらかじめ決められた溶接施工法であり，溶接士が保有する資格範囲内で溶接されていることを溶接記録又は管理要領等により確認する。	溶接が，あらかじめ決められた溶接施工法であり，溶接士が保有する資格範囲内で溶接されていること。
	非破壊検査	①非破壊検査（浸透探傷検査※5）を実施し，溶接部に欠陥指示模様がないことを記録等により確認する。	溶接部に欠陥指示模様がないこと。
		②外観検査記録による代替検査を実施し，溶接部に有意な欠陥等がないことを記録等により確認する。	溶接部に有意な欠陥がないこと。

※5：浸透探傷検査に使用する探傷剤は必要によりメーカーカタログにて確認する。

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
溶接検査 (3/3)	耐圧・漏えい検査	①確認圧力で一定時間保持した後，確認圧力に耐えていること，また耐圧部からの漏えいがないことを記録等により確認する。	確認圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。また，耐圧部から著しい漏えいがないこと。
		②運転圧力で漏えい検査を実施し，漏えい等が無いことを記録等により確認する。	耐圧部から著しい漏えいがないこと。
		③浸透探傷検査記録または外観検査記録による代替検査を実施し，耐圧部に異常の無いことを確認する。※6	溶接部に有意な欠陥等がないこと。
	外観検査	①溶接部の外観確認を行い，異常のないことを記録等により確認する。	溶接部に有意な欠陥がないこと。
		②浸透探傷検査記録による代替検査を実施し，溶接部に異常の無いことを確認する。	

※6：タンクの汚染水入口ノズルと天板の溶接部等

注１：①②③は，いずれかとする。

表－１７　確認事項（主配管）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
溶接検査 (1/3)	材料検査	使用材料が JIS 規格等に適合していることを材料証明書又は納品書等により確認する。※7	使用材料が JIS 規格等に適合していること。
	開先検査	①開先面に溶接に悪影響を及ぼす欠陥等ないことを溶接施行記録等により確認する。	開先面に溶接に悪影響を及ぼす欠陥等ないこと。
		②開先形状の管理が行われていることを溶接施行記録または管理要領等により確認する。	開先形状の管理が行われていること。
	溶接作業検　査 (1/2)	①溶接施工法が次のいずれかであることを施工法認可証，確認試験記録等により確認する。 ・溶接規格第 2 部に定める溶接施工法認証標準に基づく確認試験を実施し合格したもの ・電気事業法に基づき実施された検査において適合性が確認されたもの ・溶接施工法認証標準と同等の施工会社社内認証標準に基づく確認試験を実施し合格したもの	溶接施工法が次のいずれかであること。 ・溶接規格第 2 部に定める溶接施工法認証標準に基づく確認試験を実施し合格したもの ・電気事業法に基づき実施された検査において適合性が確認されたもの ・溶接施工法認証標準と同等の施工会社社内認証標準に基づく確認試験を実施し合格したもの

※7：素材メーカ及び継手メーカによる溶接構造の配管等は，JIS 規格及び「配管用ステンレス鋼製スタブエンド」（日本金属継手協会規格）に基づき，製作されていることを材料証明書により確認する。

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
溶接検査 (2/3)	溶接作業検査 (2/2)	また，溶接士は，実作業が可能となる次のいずれかの資格を有していることを有資格者証明書等により確認する。 ・溶接規格第 3 部に定める溶接士技能認証標準に基づく有資格者 ・JIS 規格に基づく有資格者 ・溶接士技能認証標準と同等の施工会社社内技能認証標準に基づく有資格者	溶接士は，実作業が可能となる次のいずれかの資格を有していること。 ・溶接規格第 3 部に定める溶接士技能認証標準に基づく有資格者 ・JIS 規格に基づく有資格者 ・溶接士技能認証標準と同等の施工会社社内技能認証標準に基づく有資格者
		②溶接が，あらかじめ決められた溶接施工法であり，溶接士が保有する資格範囲内で溶接されていることを溶接施工記録又は管理要領等により確認する。	溶接が，あらかじめ決められた溶接施工法であり，溶接士が保有する資格範囲内で溶接されていること。
	非破壊検査	①非破壊検査（浸透探傷検査※8）を実施し，溶接部に欠陥指示模様がないことを記録等により確認する。	溶接部に欠陥指示模様がないこと。
		②外観検査記録による代替検査を実施し，溶接部に有意な欠陥等がないことを記録等により確認する。	溶接部に有意な欠陥がないこと。

※8：浸透探傷検査に使用する探傷剤は必要によりメーカーカタログにて確認する。

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
溶接検査 (3/3)	耐圧・漏えい検査	①確認圧力で一定時間保持した後，確認圧力に耐えていること，また耐圧部からの漏えいがないことを記録等により確認する。	確認圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。また，耐圧部から著しい漏えいがないこと。
		②運転圧力で耐圧部からの漏えい検査を実施し，漏えい等が無いことを記録等により確認する。	耐圧部から著しい漏えいがないこと。
	外観検査	溶接部の外観確認を行い，異常の無いことを記録等により確認する。	溶接部に有意な欠陥がないこと。

注１：①②は，いずれかとする。

表－１８　確認事項（前段クロスフローフィルタ）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
溶接検査	材料検査	使用材料が，EN 規格等の海外規格に準拠していることを材料証明書により確認する。	使用材料が，EN 規格等の海外規格に準拠していること。
	開先検査	開先形状が，EN 規格等に準拠していることを製作図等により確認する。	開先形状が，EN 規格等に準拠していること。
	溶接作業検査	EN 規格に定められた溶接施工法及び溶接士の資格を有していることを記録等により確認する。	EN 規格に基づく，溶接施工法及び溶接士により溶接施工されていること。
	非破壊試験	長手溶接部について，非破壊検査（放射性透過試験）を実施し，試験方法及び結果が CODETI2006 等に適合していることを記録により確認する。	非破壊検査（放射性透過試験）の試験方法及び結果が CODETI2006 等に適合していること。
	耐圧漏えい検査	CODAP2005 等に基づき確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていること また，耐圧部からの漏えいがないことを記録等により確認する。	確認圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。 また，耐圧部から著しい漏えいがないこと。
	外観検査	溶接部の外観確認を行い，異常のないことを記録等により確認する。	溶接部に有意な欠陥がないこと。

表－１９　確認事項（後段クロスフローフィルタ）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
溶接検査 (1/2)	材料検査	○海外製品 使用材料が，EN 規格等の海外規格に準拠していることを材料証明書により確認する。 ○国内製品 材料が溶接規格等に適合するものであり，溶接施工法の母材の区分に適合することを確認する。	○海外製品 使用材料が，EN 規格等の海外規格に準拠していること。 ○国内製品 材料が溶接規格等に適合するものであり，溶接施工法の母材の区分に適合するものであること。
	開先検査	○海外製品 開先形状が，EN 規格等に準拠していることを製作図等により確認する。 ○国内製品 開先形状等が溶接規格等に適合するものであることを確認する。	○海外製品 開先形状が，EN 規格等に準拠していること。 ○国内製品 開先形状等が溶接規格等に適合するものであること。
	溶接作業検査	○海外製品 EN 規格に定められた溶接施工法及び溶接士の資格を有していることを記録等により確認する。 ○国内製品 あらかじめ確認された溶接施工法及び溶接士により溶接が行われていることを確認する。	○海外製品 EN 規格に基づく，溶接施工法及び溶接士により溶接施工されていること。 ○国内製品 あらかじめ確認された溶接施工法及び溶接士により溶接施工していること。

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
溶接検査 (2/2)	非破壊試験	○海外製品 長手溶接部について，非破壊検査（放射性透過試験）を実施し，試験方法及び結果がCODETI2006等に適合していることを記録により確認する。 ○国内製品 溶接部について非破壊検査を行い，その試験方法及び結果が溶接規格等に適合するものであることを確認する。	○海外製品 非破壊検査（放射性透過試験）の試験方法及び結果がCODETI2006等に適合していること。 ○国内製品 溶接部について非破壊検査を行い，その試験方法及び結果が溶接規格等に適合するものであること。
	機械試験	○国内製品 溶接部を代表する試験片にて機械試験を行い，当該試験片の機械的性質が溶接規格等に適合しているものであることを確認する。	○国内製品 溶接部を代表する試験片にて機械試験を行い，当該試験片の機械的性質が溶接規格等に適合しているものであること。
	耐圧漏えい検査	○海外製品 CODAP2005等に基づき確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていること，また，耐圧部からの漏えいがないことを記録等により確認する。 ○国内製品 確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることを確認する。耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えい有無を確認する。	○海外製品 確認圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。 また，耐圧部から著しい漏えいがないこと。 ○国内製品 確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていること。耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいがないこと。
	外観検査	○海外製品 溶接部の外観確認を行い，異常のないことを記録等により確認する。 ○国内製品 耐圧・漏えい検査後外観上，傷・へこみ・変形等の異常がないことを確認する。	外観上，傷・へこみ・変形等の異常がないこと。また，溶接部の溶接施工状況に異常がないこと。

表－２０　確認事項（主配管　海外製品溶接検査）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
溶接検査	材料検査	使用材料が，ASTM 規格等の海外規格に準拠していることを材料証明書により確認する。※9	使用材料が，ASTM 規格等の海外規格等に準拠していること。
	開先検査	開先形状の管理が行われていることを管理要領等により確認する。	開先形状の管理が行われていること。
	溶接作業検査	ASME 規格に定められた溶接施工法及び溶接士の資格を有していることを記録等により確認する。	ASME 規格に基づく，溶接施工法及び溶接士により溶接施工されていること。
	耐圧漏えい検査	確認圧力で一定時間保持した後，確認圧力に耐えていること，また耐圧部からの漏えいがないことを記録等により確認する。	確認圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。また，耐圧部から著しい漏えいがないこと。
	外観検査	溶接部の外観確認を行い，異常の無いことを記録等により確認する。	溶接部に有意な欠陥がないこと。

※9：素材メーカによる溶接構造の配管等は，海外材料規格に基づき製作されていることを材料証明書により確認する。

注２：「表－１８～２０確認事項」のうち海外製品の確認範囲は，「東京電力株式会社　福島第一原子力発電所原子炉施設の保安及び特定核燃料物質の防護に関する規則」の第 26 条第 4 号に規定する範囲とする。

添付資料－２　1.2.6.1.1.1　図－１　配管概略図（９／１５）に記載のあるＥ，Ｈ５北，Ｈ６北エリアへの多核種処理設備処理済水移送配管に関する確認事項を表－２１に示す。

表－２１　確認事項（Ｅエリア等への多核種処理設備処理済水移送配管）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した材料について，製品検査成績書等により確認する。	実施計画の記載とおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法（外径相当）について，製品検査成績書等により確認する。	実施計画の記載とおりであること。
	外観確認	各部の外観について記録等により確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	取付・取外し運用を行う配管の接続前および接続後において，機器が系統構成図とおりに据付されていることを記録等により確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	取付・取外し運用を行う配管の接続前および接続後において，最高使用圧力以上で一定時間保持後，確認圧力に耐えていること，また耐圧部からの漏えいがないことを記録等により確認する。	確認圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。また，耐圧部から著しい漏えいがないこと。

RO 濃縮水処理設備から用途変更する機器に関する確認事項を表－２２に示す。

RO 濃縮水処理設備から他設備へ用途変更する機器は，用途変更に伴い，構造強度・耐震性，機能及び性能について変更はないことから，用途変更後も機器を継続使用する。なお，用途変更する機器に係わる確認事項については，継続使用しながら確認を実施する。

表－２２－１　確認事項（主配管（PE 管））

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	主要寸法について記録を確認する。	製造者寸法許容範囲内であること。
	外観確認	各部の外観を確認する。※1	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	配管の据付状態について確認する。※1	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	現場状況を考慮し製造者指定方法・圧力による漏えい有無を確認する。	耐圧部から著しい漏えいがないこと。

※1　現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する。

表－２２－２　確認事項（主配管（閉止部））

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	外観・据付確認	配管閉止部の外観，据付状態について確認する。	実施計画の通りであること。
機能	機能確認	配管が実施計画の通り施工されていることを確認する。	実施計画の通りであること。

多核種除去設備の薬品供給設備に係る主要な確認事項を表－２３～２６に示す。

表－２３　確認事項（炭酸ソーダ供給ポンプ）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器の据付位置，据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	漏えい確認	運転圧力で耐圧部分からの漏えいの有無を記録で確認する。	耐圧部から漏えいがないこと。
性能	運転性能確認	ポンプの運転確認を行う。	実施計画に記載した容量を満足すること。 また，異音，異常振動等がないこと。

表－２４　確認事項（主配管（鋼管））

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について材料証明書等を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した外径，厚さについて記録または材料証明書等を確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器の据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることを記録で確認する。耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいの有無を記録で確認する。	確認圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。また，耐圧部から漏えいがないこと。

表－２５　確認事項（耐圧ホース）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について検査成績書等を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法（外径相当）について検査成績書等を確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器の据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることを記録で確認する。耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいの有無を記録で確認する。	確認圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。また，耐圧部から漏えいがないこと。

表－２６　確認事項（ポリエチレン管）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について材料証明書等を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した外径，厚さについて記録または材料証明書等を確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器の据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工･据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	最高使用圧力以上の圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることを記録で確認する。耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいの有無を記録で確認する。	最高使用圧力以上の圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。また，耐圧部から漏えいがないこと。

以上

保管中高性能容器内水抜き装置の設置について

1. 概要

『2.16.1 多核種除去設備』及び『2.16.2 増設多核種除去設備』における処理の過程で発生した使用済みの吸着材又は沈殿処理生成物を貯蔵している高性能容器（HIC；High Integrity Container）の保管中に，容器内の液位が上昇する事象が確認された。

このため，保管中の高性能容器内の液位上昇が想定される場合に，上澄み水を回収して液位を低下させることを目的として保管中高性能容器内水抜き装置を設置する。

2. 主要仕様

保管中高性能容器内水抜き装置は，１系列構成とし，ポンプ，配管，監視制御設備等で構成され，使用済セシウム吸着塔一時保管施設（第二施設）のボックスカルバート内に設置する。

本装置は，保管中の高性能容器の上澄み水を回収し，上澄み水貯蔵用の別の高性能容器に移送することが可能な構成とする。なお，上澄み水貯蔵用の高性能容器は，高性能容器（タイプ2）を使用する。また，本装置で回収された上澄み水は，多核種除去設備または増設多核種除去設備で処理する。

保管中高性能容器内水抜き装置の主要仕様を以下に示す。また，設置位置及び概要図を，それぞれ図１，図２に示す。

(1) ポンプ

a. 保管中高性能容器内水抜きポンプ（完成品）

台　　数	1台
容　　量	30 L/min以上
駆動方法	空気駆動

(2) 配管

表１　主要配管仕様（１／２）

名称	仕様	
水抜き対象高性能容器から保管中高性能容器内水抜きポンプまで（鋼管）	呼び径／厚さ	25A/Sch.40 25A/Sch.10S
	材質	SUS316L
	最高使用圧力	大気圧
	最高使用温度	40 ℃

表１　主要配管仕様（２／２）

名称	仕様	
水抜き対象高性能容器から保管中高性能容器内水抜きポンプまで （耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	25A 相当 ポリ塩化ビニル 大気圧 40 ℃
保管中高性能容器内水抜きポンプから上澄み水貯蔵用高性能容器まで （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	25A/Sch.40 25A/Sch.10S SUS316L 0.4 MPa 40 ℃
（耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	25A 相当 ポリ塩化ビニル 0.4 MPa 40 ℃

(3)　上澄み水貯蔵用高性能容器（タイプ 2）（完成品）

基数　　5 基

容量　　2.61m^3

3.　健全性評価

(1)　放射性物質の漏えい発生防止等について

a.　漏えい発生防止

(a)　上澄み水の移送配管は，耐腐食性を有するステンレス鋼管又は耐圧ホース（二重管）を使用する。

耐圧ホースを使用する箇所については，福島第一原子力発電所で発生した耐圧ホースと継手金属との結合部（カシメ部）の外れ事象に鑑み，耐圧ホースと継手金属の結合部に外れ防止金具を装着する。また，福島第一原子力発電所で発生した耐圧ホースの劣化による漏えい発生事象に鑑み，上澄み水の回収作業時に，耐圧ホースの曲げ部が許容曲げ半径より小さい半径となっていないこと，耐圧ホースに変色，剥離，亀裂等の劣化がないことを確認する。

(b)　保管中高性能容器内水抜きポンプは，耐腐食性を有するステンレス鋼製とする。

(c)　上澄み水貯蔵用の高性能容器には液位検出器を設け，オーバーフローを防止するためにインターロックの作動によりポンプを停止できる設計とする。

b.　漏えい検出・漏えい拡大防止

(a)　保管中高性能容器内水抜き装置のポンプ，配管等及び高性能容器には漏えいパンを設け，外部への漏えいを防止する。

(b)　漏えいパン内には漏えい検出装置を設置し，漏えいを検出した場合には，現地の監視盤に警報を発するとともに，インターロックの作動によりポンプを停止でき

る設計とする。

(c) 漏えいパンが設置されていない耐圧ホース部については，上澄み水の回収作業中は監視員を配置し，漏えいの発生を監視する。

なお，漏えいパンが設置されていない耐圧ホース部で万一漏えいが発生した場合でも，漏えい水は防水塗装を施したボックスカルバート内に留まるため，外部に漏えいすることはない。

(2) 放射線遮へい及び被ばくの低減について

上澄み水の回収操作は遠隔で行える設計とし，離隔距離を確保することにより被ばくを低減する。

(3) 可燃性ガスの滞留防止及び粒子状放射性物質の除去について

上澄み水の回収作業に伴い，保管中の高性能容器内に滞留していた可燃性ガスが放出されるおそれがあるため，局所排風機により，保管中高性能容器内水抜き装置及び高性能容器が設置されるカバー内に可燃性ガスが滞留することを防止する。また，排出する可燃性ガスに粒子状の放射性物質が含まれる可能性がある場合には，局所排風機にＨＥＰＡフィルタを設置し，粒子状の放射性物質を除去する。

(4) 環境条件等への対策について

a. 腐食

保管中高性能容器内水抜き装置は，塩化物イオン濃度が高い上澄み水を回収することから，耐腐食性を有する材料を選定する。

b. 熱による劣化

保管中高性能容器内水抜き装置の処理水の温度は，ほぼ常温のため，材料の劣化の懸念はない。

c. 凍結

上澄み水を回収する過程では，系統水が流れているため凍結のおそれはない。また，上澄み水回収作業の終了時には，ポンプ，配管内を水抜きすることから凍結のおそれはない。

d. 耐放射線性

系統バウンダリを構成するシール部材として，ダイヤフラム，ガスケットが挙げられるが，他の汚染水処理設備等で使用実績のある材料（EPDM，黒鉛）を使用しており，その使用実績から，数年程度の使用は問題ないと考えられる。

e. 長期停止中の措置

保管中高性能容器内水抜き装置を長期停止する場合は，必要に応じて装置内をフラッシングするとともに，内部の水抜きを実施することにより，腐食及び凍結を防止する。

(5)　自然災害等への対策について

a.　津波

保管中高性能容器内水抜き装置は,アウターライズ津波が到達しないと考えられるT.P.約28m以上の場所に設置する。

b.　火災

火災発生を防止するため，可能な限り不燃性又は難燃性材料を使用する。また，初期消火の対応ができるよう，保管中高性能容器内水抜き装置を設置するボックスカルバート近傍に消火器を設置する。水抜き作業時は作業員が常時設備近傍にいることから，火災が発生した場合には早期に検知し初期対応を実施する。

c.　豪雨，台風及び竜巻

保管中高性能容器内水抜き装置は，雨水の浸入防止のため，耐候性を有するカバー内に設置する。

台風の接近や竜巻の発生等により，強風の発生が予見される場合には，耐候性を有するカバーに替えて鋼製の蓋で装置を覆うことにより装置の損傷を防止するとともに，水抜き作業を中止する。

(6)　構造強度及び耐震性について

a.　構造強度

保管中高性能容器内水抜き装置を構成する主要な機器は,「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則（平成２５年６月２８日原子力規制委員会規則第６号）」において，廃棄物処理設備に相当すると位置付けられる。これに対する適用規格は,「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格」（以下,「設計・建設規格」という。）で規定され，機器区分クラス３の規定を適用することを基本とするが,クラス３機器に該当しない機器や,設計・建設規格の適用が困難な場合は，JIS等の一般産業品を採用する。

b.　耐震性

保管中高性能容器内水抜き装置を構成する機器のうち放射性物質を内包するものは,「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」のＢクラス相当の設備と位置づけられ，耐震性を評価するにあたっては,「JEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規程」（以下,「耐震設計技術規定」という。）等に準拠する。また，参考評価として，基準地震動Ss相当の水平震度に対して健全性が維持されることを確認する。

(7)　機器の単一故障への対策について

保管中高性能容器内水抜き装置は，１系列構成であるが，動的機器，電源系統等の単一故障については，機器の取替等により速やかな処理再開が可能である。

(8)　機器の保全について

保管中高性能容器内水抜き装置は，機器の重要度に応じた有効な保全が可能な設計とする。

以上

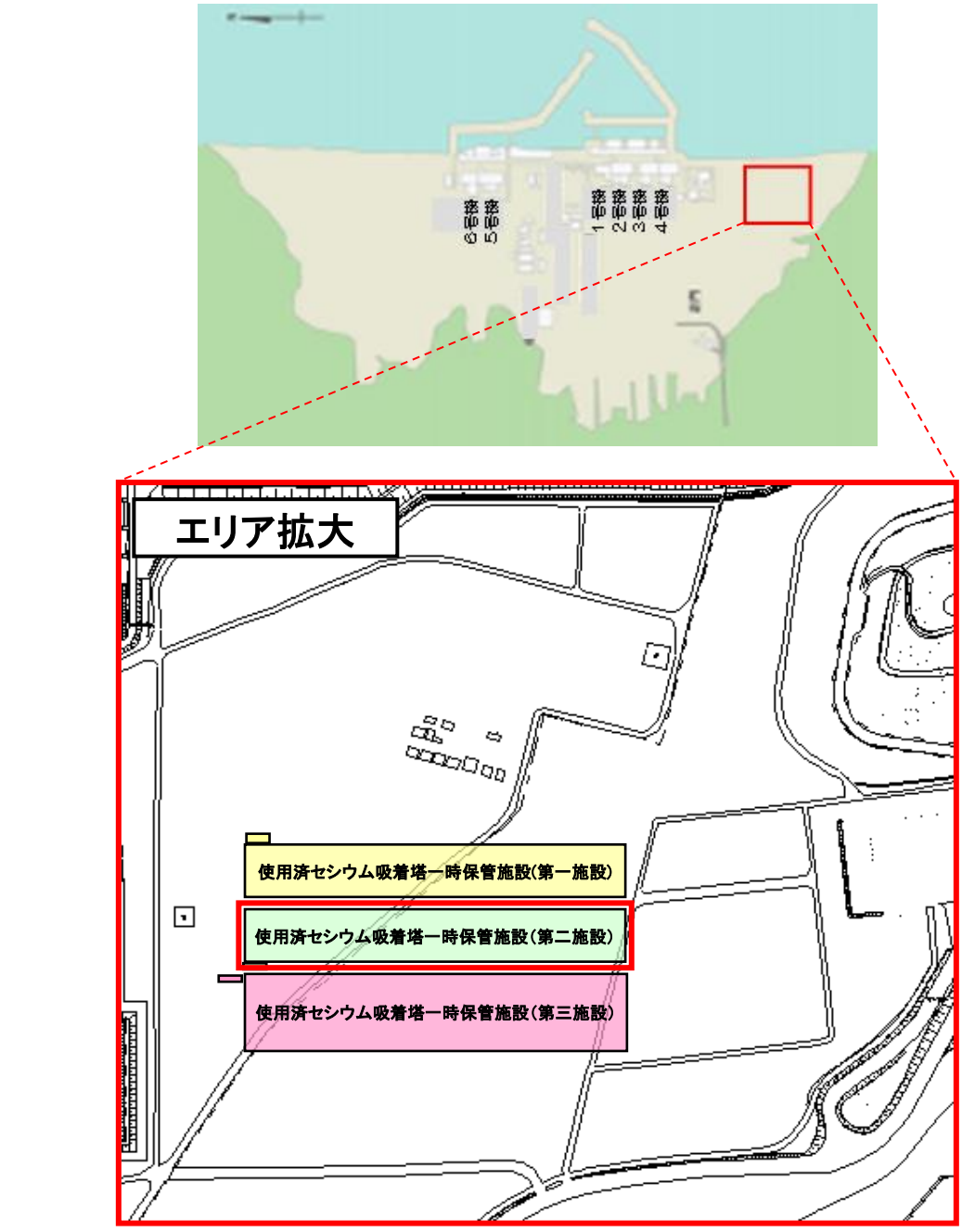


図１　保管中高性能容器内水抜き装置設置位置

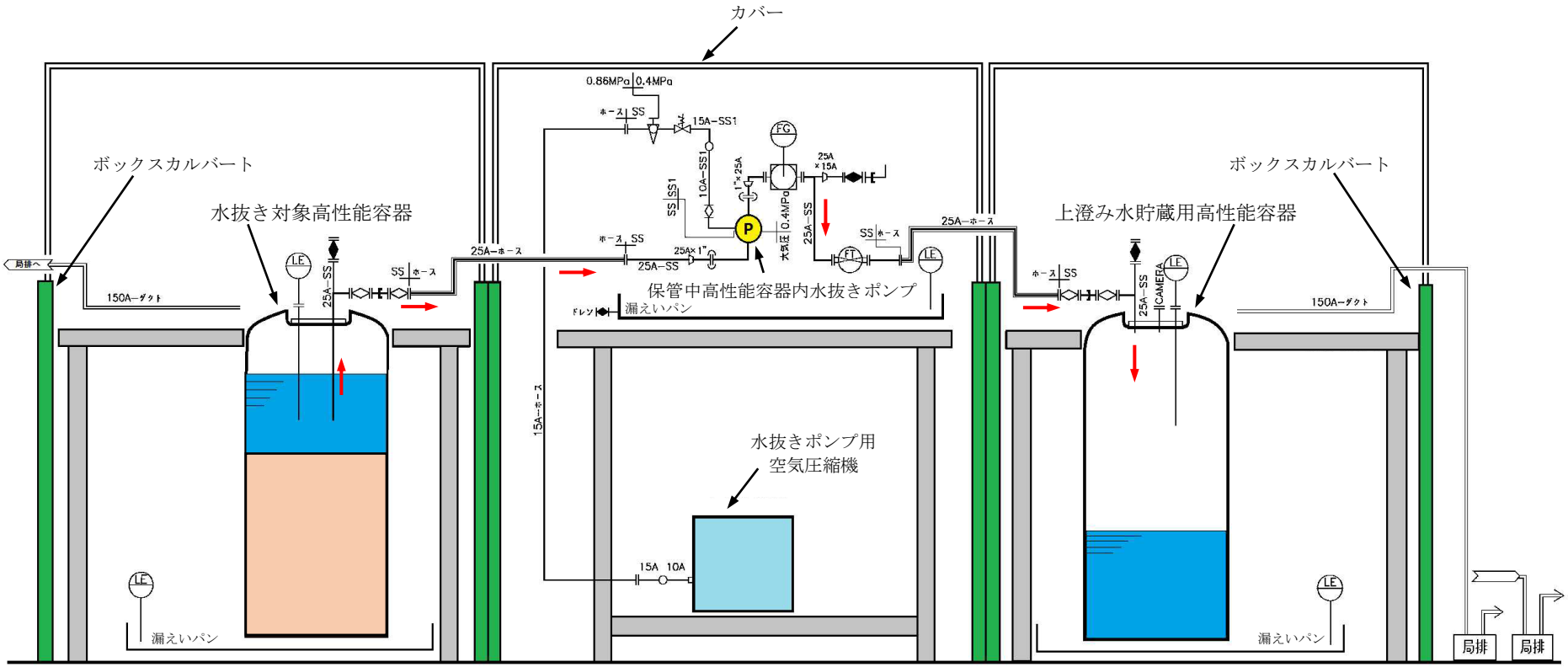


図２　保管中高性能容器内水抜き装置概要図

保管中高性能容器内水抜き装置に関する構造強度及び耐震性の評価結果

保管中高性能容器内水抜き装置を構成する設備について，構造強度及び耐震性の評価を行う。

1. ポンプ

(1) 構造強度評価

ポンプは一般産業品とするため，設計・建設規格の要求には必ずしも適合しない。しかしながら，以下により高い信頼性を確保する。

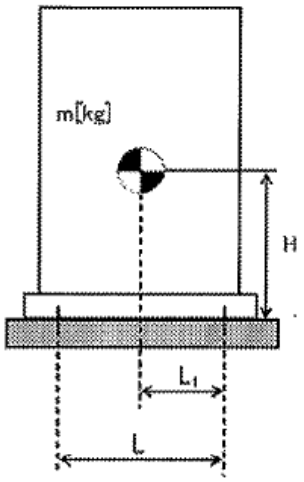
・耐腐食性（塩分対策）を有したポンプを選定する。

・試運転により，有意な変形や漏えい，運転状態に異常がないことを確認する。

(2) 耐震性評価

a. 基礎ボルトの強度評価

耐震設計技術規定の強度評価方法に準拠して評価を実施した。評価の結果，基礎ボルトの強度が確保されていることを確認した（表１）。



Ｌ：基礎ボルト間の水平方向距離

ｍ：機器重量

ｇ：重力加速度

Ｈ：据付面からの重心までの距離

L_1：重心と基礎ボルト間の水平方向距離

n_f：引張力の作用する基礎ボルトの評価本数

ｎ：基礎ボルトの本数

A_b：基礎ボルトの軸断面積

C_H：水平方向設計震度

C_V：鉛直方向設計震度

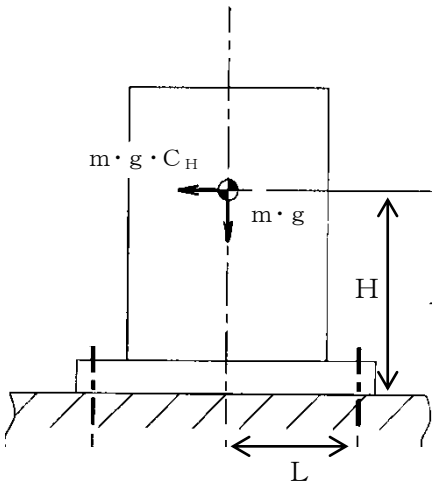
基礎ボルトに作用する引張力：$F_b = \frac{1}{L}\left(m \times g \times C_H \times H - m \times g \times \left(1 - C_V\right) \times L_1\right)$

基礎ボルトの引張応力：$\sigma_b = \frac{F_b}{n_f \times A_b}$

基礎ボルトのせん断応力：$\tau_b = \frac{m \times g \times C_H}{n \times A_b}$

b.　転倒評価

地震による転倒モーメントと自重による安定モーメントを算出し，それらを比較することにより転倒評価を実施した。評価の結果，地震による転倒モーメントは自重による安定モーメントより小さくなることから，転倒しないことを確認した（表１）。また，地震による転倒モーメントが自重による安定モーメントより大きくなるものについては，a.での計算により基礎ボルトの強度が確保されていることから，転倒しないことを確認した。



m：機器質量
g：重力加速度
H：据付面から重心までの距離
L：転倒支点から機器重心までの距離
C_H：水平方向設計震度

地震による転倒モーメント：$M_1 = m \times g \times C_H \times H$
自重による安定モーメント：$M_2 = m \times g \times L$

表１　耐震評価結果（１／２）

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
保管中高性能容器内水抜きポンプ	本体	転倒	0.36	1.06×10^{4}	1.33×10^{4}	N・mm
	基礎ボルト	引張	0.36	－	153	MPa
		せん断	0.36	1	118	MPa
保管中高性能容器内水抜きポンプユニット	本体	転倒	0.36	2.48×10^{5}	1.15×10^{6}	N・mm
	基礎ボルト	引張	0.36	－	183	MPa
		せん断	0.36	1	141	MPa
保管中高性能容器内水抜きポンプ架台	本体	転倒	0.36	7.59×10^{6}	1.32×10^{7}	N・mm
	基礎ボルト	引張	0.36	－	183	MPa
		せん断	0.36	7	141	MPa

表１　耐震評価結果（２／２）

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
保管中高性能容器内水抜きポンプ	本体	転倒	0.80	2.34×10^{4}	1.33×10^{4}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.80	1	153	MPa
		せん断	0.80	1	118	MPa
保管中高性能容器内水抜きポンプユニット	本体	転倒	0.80	5.50×10^{5}	1.15×10^{6}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.80	－	183	MPa
		せん断	0.80	3	141	MPa
保管中高性能容器内水抜きポンプ架台	本体	転倒	0.80	1.69×10^{7}	1.32×10^{7}	N･mm
	基礎ボルト	引張	0.80	5	183	MPa
		せん断	0.80	14	141	MPa

2.　配管

(1)　構造強度評価

a.　配管（鋼管）

配管（鋼管）はJIS規格に適合した一般産業品とするため，設計・建設規格の要求には必ずしも適合しない。しかしながら，以下により高い信頼性を確保する。

・材料は「JIS G 3459」，耐圧設計は設計・建設規格「PPD-3411(1)」に適合した配管（鋼管）を選定する。
・耐腐食性（塩分対策）を有した配管（SUS316L）を選定する。
・通水等による漏えい確認を行う。

b.　配管（耐圧ホース）

配管（耐圧ホース）は鋼材ではなく，一般産業品であるため，設計・建設規格の要求には適合しない。しかしながら，以下により高い信頼性を確保する。

・耐圧ホースと継手金属との結合部には，外れ防止金具を装着する。
・耐圧ホースの曲げ部は，許容曲げより大きい曲げで使用する。
・通水等による漏えい確認を行う。

(2)　耐震性評価

a.　配管（鋼管）

配管（鋼管）は，原子力発電所の耐震設計に用いられている定ピッチスパン法等によりサポートスパンを決定する。

b.　配管（耐圧ホース）

配管（耐圧ホース）は，可撓性を有しており地震により有意な応力は発生しない。

以上

別添－２

保管中高性能容器内水抜き装置に係る確認事項

保管中高性能容器内水抜き装置に係る主要な確認事項を表１～５に示す。

なお，上澄み水貯蔵用の高性能容器については，『2.16.1 多核種除去設備』及び『2.16.2 増設多核種除去設備』の高性能容器と同等の検査を実施する。

表１　確認事項

（鋼管）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した材料について，材料証明書等により確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法について，検査記録等により確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認	各部の外観について，記録等により確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器が系統構成図どおり据付されていることを記録等により確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で一定時間保持後，確認圧力に耐えていること，また，耐圧部からの漏えいがないことを，記録等により確認する。※１	確認圧力に耐え，かつ，構造物の著しい変形等がないこと。 また，耐圧部からの著しい漏えいがないこと。

※１　現地で施工するフランジ部については，運転圧による漏えい確認又は，締結部のトルク確認等を実施する。

表２　確認事項

（耐圧ホース）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した材料について，材料証明書等により確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法（内径相当）について，検査記録等により確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認	各部の外観について，記録等により確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器が系統構成図どおり据付されていることを記録等により確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で一定時間保持後，確認圧力に耐えていること，耐圧部からの漏えいがないことを，記録等により確認する。	確認圧力に耐え，かつ，構造物の著しい変形等がないこと。 また，耐圧部からの著しい漏えいがないこと。

表３　確認事項

（保管中高性能容器内水抜きポンプ（完成品））

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	外観確認	各部の外観について，記録等により確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器が系統構成図どおり据付されていることを記録等により確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	漏えい確認	運転圧力において耐圧部からの漏えいがないことを確認する。	耐圧部からの著しい漏えいがないこと。
性能	運転性能確認	ポンプの運転状態に異常がないことを確認する。	実施計画に記載した容量を満足すること。 また，異音，振動等の異常がないこと。
機能	インターロック確認	上澄み水貯蔵用高性能容器液位高高信号により，ポンプが停止することを確認する。	警報が作動すること。 ポンプが停止すること。

表４　確認事項

（漏えい検出装置及び自動警報装置）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度	外観確認	各部の外観について，記録等により確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器の据付位置，据付状態について，記録等により確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
機能	漏えい警報確認	漏えい信号により，警報が作動することを確認する。	警報が作動すること。
	インターロック確認	漏えい信号によりポンプが停止することを確認する。	警報が作動すること。 ポンプが停止すること。

表５　確認事項

（保管中高性能容器内水抜き装置）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
性能	運転性能確認	保管中高性能容器内水抜き装置の運転状態に異常がないことを確認する。	水抜き対象高性能容器から，上澄み水貯蔵用高性能容器に上澄み水が回収されること。 また，異音，振動等の異常がないこと。

以上

別添－３

工事工程表

	平成27年	平成28年									
	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月
保管中高性能容器内水抜き装置											△①△②△③

□：現地据付組立

①　：構造，強度又は漏えいに係る試験をすることができる状態になった時

②　：発電用原子炉施設の設備の組立てが完了した時

③　：発電用原子炉施設の工事の計画に係る工事が完了した時

添付資料－１１

多核種除去設備の確認試験結果について

多核種除去設備は，汚染水処理設備の処理済水に含まれる放射性核種（トリチウムを除く）を『東京電力株式会社福島第一原子力発電所原子炉施設の保安及び特定核燃料物質の防護に関して必要な事項を定める告示』に定める周辺監視区域外の水中の濃度限度（以下，「告示濃度限度」という。）を下回る濃度まで低減することを目的として設置した。

平成 25 年 3 月より，多核種除去設備の性能を確認する確認試験（ホット試験）を実施し，その後のホット試験において上記性能について確認してきた。また，系統流量などの運転状態に関する使用前検査を実施した。

これまでのホット試験において，多核種除去設備で使用する各吸着材が，一定の使用期間を経ても，上記性能を有する設備であることを確認した。

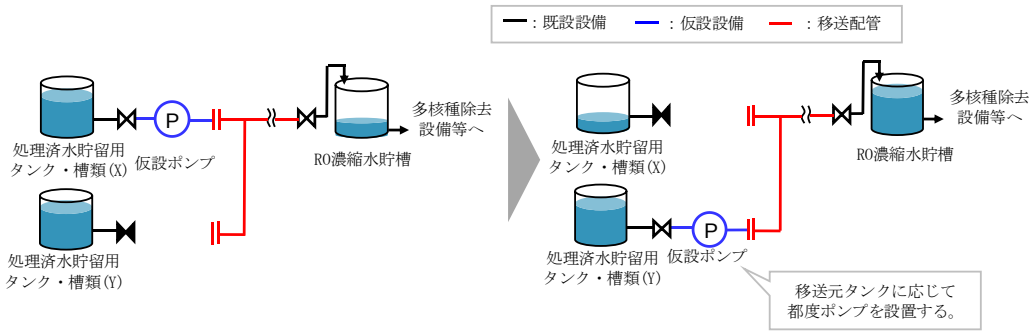
以上

処理途上水の二次処理について

多核種除去設備，増設多核種除去設備または高性能多核種除去設備で処理され，処理済水貯留用タンク・槽類に貯留されている水のうち，処理途上水については，トリチウムを除く放射性核種の告示濃度比総和が 1 未満となるように，多核種除去設備，増設多核種除去設備または高性能多核種除去設備で二次処理を行う。

二次処理にあたっては，図－１に示す通り，処理済水貯留用タンク・槽類から RO 濃縮水貯槽へ仮設ポンプ及び移送配管を用いて移送し，その後，多核種除去設備，増設多核種除去設備または高性能多核種除去設備へ移送する。仮設ポンプは移送元の処理済水貯留用タンク・槽類に応じて，その都度移設することとする。

また，移送作業時は，監視員を配置し，異常を確認した際は，仮設ポンプの運転を停止する。なお，機器の接続部には，受けパン及び漏えい検知器を設置し，監視員による巡視点検を行うことで，漏えい拡大防止及び早期検知を図る。



図－１　処理途上水の移送イメージ図

2.16.2 増設多核種除去設備

2.16.2.1 基本設計

2.16.2.1.1 設置の目的

増設多核種除去設備は,『2.5 汚染水処理設備等』で処理した液体状の放射性物質の処理を早期に完了させる目的から設置するものとし，汚染水処理設備の処理済水に含まれる放射性核種（トリチウムを除く）を『東京電力株式会社福島第一原子力発電所原子炉施設の保安及び特定核燃料物質の防護に関して必要な事項を定める告示』に定める周辺監視区域外の水中の濃度限度（以下,「告示濃度限度」という。）を下回る濃度まで低減する。

なお，増設多核種除去設備の性能を確認する試験（以下,「確認試験」という。）において，増設多核種除去設備が上記性能を有する設備であることについて確認した。

2.16.2.1.2 要求される機能

『2.16.1 多核種除去設備 2.16.1.1.2「要求される機能」』に同じ。

2.16.2.1.3 設計方針

『2.16.1 多核種除去設備 2.16.1.1.3「設計方針」』に同じ。

2.16.2.1.4 供用期間中に確認する項目

増設多核種除去設備処理済水に含まれる除去対象の放射性核種濃度（トリチウムを除く）が告示濃度限度未満であること。

2.16.2.1.5 主要な機器

増設多核種除去設備は，３系列から構成し，各系列は前処理設備と多核種除去装置で構成する。さらに共通設備として，前処理設備及び多核種除去装置へ薬品を供給する薬品供給設備，処理済水のサンプリング,多核種処理水タンクへ移送する多核種移送設備，放射性物質を吸着した吸着材等を収容して貯蔵する高性能容器，増設多核種除去設備の運転監視を行う監視・制御装置，電源を供給する電源設備等で構成する。また，装置の処理能力を確認するための試料採取が可能な構成とする。

増設多核種除去設備の除去対象とする核種は,『2.16.1 多核種除去設備 添付資料－６』と同じとする。

増設多核種除去設備の主要な機器は，免震重要棟集中監視室またはシールド中央制御室の監視・制御装置により遠隔操作及び運転状況の監視を行う。更に，特に重要な運転操作についてはダブルアクションを要する等の設計とする。また，増設多核種除去設備の設置エリアには，エリア放射線モニタを設置し，放射線レベルを監視する。

増設多核種除去設備で処理された水は，処理済水貯留用のタンクで貯留する。処理済水貯留用のタンクに貯留した水のうち，処理途上水は，移送配管を用いてRO濃縮水貯槽へ移

送し，その後，多核種除去設備，増設多核種除去設備または高性能多核種除去設備にて二次処理を行う。

(1) 前処理設備

前処理設備は，多核種除去装置での吸着材によるストロンチウムの除去を阻害するマグネシウム，カルシウム等の２価の金属を炭酸塩沈殿処理により除去することを目的とし，炭酸ソーダと苛性ソーダを添加する。

炭酸塩沈殿処理による生成物は，クロスフローフィルタまたは沈殿槽により濃縮し，高性能容器に排出する。

(2) 多核種除去装置

多核種除去装置は，１系列あたり１８塔の吸着塔で構成する。

多核種除去装置は，除去対象核種に応じて吸着塔に収容する吸着材の種類が異なっており，処理対象水に含まれるコロイド状及びイオン状の放射性物質を分離・吸着処理する機能を有する。吸着塔に収容する吸着材の構成は，処理対象水の性状に応じて変更する。また，吸着材は，所定の容量を通水した後，高性能容器へ排出する。

なお，吸着塔は２塔分の増設が可能である。

(3) 高性能容器（HIC；High Integrity Container）

高性能容器は，使用済みの吸着材，沈殿処理生成物を収容するもので，『2.16.1 多核種除去設備』で使用する高性能容器と同じである。高性能容器の仕様及び健全性評価等を『2.16.1 多核種除去設備 添付資料－５』に示す。

使用済みの吸着材は，収容効率を高めるために脱水装置（SEDS；Self-Engaging Dewatering System）により脱水処理される。脱水した水は増設多核種除去設備の系統内に移送する。

沈殿処理生成物の高性能容器への移送は自動制御で行い，使用済みの吸着材の移送は現場で状況を確認しながら手動操作によって行う。高性能容器への収容量は，水位センサにて監視する。

沈殿処理生成物及び使用済みの吸着材を収容した高性能容器は，使用済セシウム吸着塔一時保管施設で貯蔵する。

また，高性能容器は，取扱い時の落下による漏えいを防止するため，補強体等を取り付ける。

(4) 薬品供給設備

薬品供給設備は，各添加薬液に対してそれぞれタンクを有し，沈殿処理やpH調整のため，ポンプにより薬品を前処理設備や多核種除去装置へ供給する。添加する薬品は，苛

性ソーダ，炭酸ソーダ，塩酸とするが，何れも不燃性であり，装置内での反応熱，反応ガスも有意には発生しない。なお，炭酸ソーダについては，増設多核種除去設備の処理済み水に粉体を溶解させ生成することも可能な設計とする。

(5) 多核種移送設備

多核種移送設備は，増設多核種除去設備で処理された水を採取し，分析後の水を処理済水貯留用のタンクに移送するための設備で，サンプルタンク，増設多核種除去設備用移送ポンプおよび移送配管等で構成する。なお，増設多核種除去設備で処理された水は，サンプルタンクをバイパスして処理済水貯留用のタンクに移送することも可能な構成となっている。

また，サンプルタンクは，『2.16.1　多核種除去設備』で処理された水を受け入れることも可能な構成とする。

(6) 電源設備

電源は，異なる２系統の所内高圧母線から受電できる構成とする。なお，電源が喪失した場合でも，設備からの外部への漏えいは発生することはない。

(7) 橋形クレーン

高性能容器を取り扱うための橋形クレーンを設ける。

(8) 増設多核種除去設備基礎

増設多核種除去設備基礎は，平面が約６１ｍ（南北方向）×約８１ｍ（東西方向），厚さ約０．３ｍの鉄筋コンクリート造で，段丘堆積層に直接支持されている。

なお，上屋は，地上高さが約１６ｍの鉄骨造で，構造上，基礎から独立した構造となっている。

2.16.2.1.6 自然災害対策等

(1)　津波

増設多核種除去設備は，アウターライズ津波が到達しないと考えられる T.P.約 28m 以上の場所に設置する。

(2)　台風

台風による設備の損傷を防止するため，建屋は建築基準法施行令に基づく風荷重に対して設計する。

(3)　積雪

積雪による設備の損傷を防止するため，建屋は建築基準法施行令および福島県建築基準

法施行規則細則に基づく積雪荷重に対して設計する。

(4)　落雷

接地網を設け，落雷による損傷を防止する。

(5)　竜巻

竜巻の発生の可能性が予見される場合は，設備の停止・隔離弁の閉止操作等を行い，汚染水の漏えい防止及び漏えい水の拡大防止を図る。

(6)　火災

火災発生を防止するため，実用上可能な限り不燃性又は難燃性材料を使用する。また，火災検知性を向上させるため，消防法基準に準拠した火災検出設備を設置するとともに，初期消火のために近傍に消火器を設置する。さらに，避難時における誘導用のために誘導灯を設置する。

2.16.2.1.7 構造強度及び耐震性

(1)構造強度

増設多核種除去設備を構成する主要な機器は，「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則(平成２５年６月２８日原子力規制委員会規則第６号)」において，廃棄物処理設備に相当すると位置付けられる。これに対する適用規格は，「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格　設計・建設規格」（以下，「設計・建設規格」という。）で規定され，機器区分クラス３の規定を適用することを基本とする。設計・建設規格の適用が困難な機器については，設計・建設規格適用品と同等の構造強度を有することを基本とする。

また，材料調達性の観点から，JSME 規格で規定される材料の日本産業規格(JIS)年度指定を考慮しない場合は，技術的妥当性を確認する。溶接部については，「JSME S NB-1 発電用原子力設備規格　溶接規格」（以下，「溶接規格」という。）の規定を適用することを基本とし，一部の国内製作機器については，JIS や高圧ガス保安協会基準等に準拠する。また，一部の海外製作機器については，「欧州統一規格 (European Norm)」（以下，「EN 規格」という。），CODAP(仏国圧力容器規格)等に準拠する。

なお,クラス３機器に該当しないその他の機器は,JIS 等規格適合品を用いることとし，ポリエチレン管は，JWWA または ISO 規格に準拠する。

また，原子力発電所での使用実績がない材料を使用する場合は，他産業での使用実績等を活用しつつ，必要に応じて試験等を行うことで，経年劣化等の影響についての評価を行う。

(2) 耐震性

増設多核種除去設備を構成する機器のうち放射性物質を内包するものは，2021 年 9 月 8 日の原子力規制委員会で示された耐震設計の考え方を踏まえ，その安全機能の重要度，地震によって機能の喪失を起こした場合の安全上の影響（公衆への被ばく影響）や廃炉活動への影響等を考慮した上で，核燃料物質を非密封で扱う燃料加工施設や使用施設等における耐震クラス分類を参考にして適切な耐震設計上の区分を行うとともに，適切と考えられる設計用地震力に耐えられる設計とする。

ただし，2021 年 9 月 8 日以前に認可された機器については，「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」を参考にして耐震クラスを分類している。

耐震性を評価するにあたっては，「JEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規程」等に準拠する。要求される地震力に対して耐震性を確保できない場合は，その影響について評価を行う。

2.16.2.1.8 機器の故障への対応

(1) 機器の単一故障

増設多核種除去設備は，３つの処理系列を有し，電源についても多重化している。そのため，動的機器，電源系統の単一故障が発生した場合においても，その他の処理系列の運転による処理が可能である。

(2) 高性能容器の落下

万一の高性能容器からの漏えい時の対応として，回収作業に必要な吸引車等を配備し，吸引車を操作するために必要な要員を確保する。また，漏えい回収訓練及び吸引車の点検を定期的に行う。

2.16.2.2 基本仕様

2.16.2.2.1 系統仕様

(1) 増設多核種除去設備

処理方式　　沈殿方式＋吸着材方式

処理容量・処理系列　　250m³/日 /系列×3 系列 ※

※ 構内に貯留している RO 濃縮塩水を早期に処理するため，運用上可能な範囲（最大で 1.1 倍程度）において処理量を増加して運転する。

2.16.2.2.2 機器仕様

(1) 容器

a．処理水受入タンク

名称			処理水受入タンク
種類		－	たて置円筒形
容量		m³/個	25
最高使用圧力		MPa	静水頭
最高使用温度		℃	60
主要寸法	胴内径	mm	3100
	胴板厚さ	mm	9
	下部鏡板厚さ	mm	9
	高さ	mm	4740
材料	胴板	－	SS400・内面ゴムライニング
	下部鏡板	－	SS400・内面ゴムライニング
個数		個	2

b．共沈タンク

名称			共沈タンク
種類		－	たて置円筒形
容量		m³/個	5
最高使用圧力		MPa	静水頭
最高使用温度		℃	60
主要寸法	胴内径	mm	1750
	胴板厚さ	mm	6
	下部鏡板厚さ	mm	6
	高さ	mm	4257
材料	胴板	－	SS400・内面ゴムライニング
	下部鏡板	－	SS400・内面ゴムライニング
個数		個	1（1 系列あたり）

c．供給タンク

名称			供給タンク
種類		－	たて置円筒形
容量		m^3/個	5
最高使用圧力		MPa	静水頭
最高使用温度		℃	60
主要寸法	胴内径	mm	1750
	胴板厚さ	mm	6
	下部鏡板厚さ	mm	6
	高さ	mm	3837
材料	胴板	－	SS400・内面ゴムライニング
	下部鏡板	－	SS400・内面ゴムライニング
個数		個	1（1系列あたり）

d．吸着塔入口バッファタンク

名称			吸着塔入口バッファタンク
種類		－	たて置円筒形
容量		m^3/個	6
最高使用圧力		MPa	静水頭
最高使用温度		℃	60
主要寸法	胴内径	mm	2000
	胴板厚さ	mm	6
	底板厚さ	mm	20
	高さ	mm	2826
材料	胴板	－	SUS316L
	底板	－	SUS316L
個数		個	1（1系列あたり）

ｅ．多核種吸着塔１～１８

名称			多核種吸着塔１～５
種類		－	たて置円筒形
容量		m^3/個	1
最高使用圧力		MPa	1.37
最高使用温度		℃	60
主要寸法	胴内径	mm	1054
	胴板厚さ	mm	18
	上部・下部鏡板厚さ	mm	20
	高さ	mm	2550
材料	胴板	－	SUS316L
	鏡板	－	SUS316L
個数		個	5（1系列あたり）

名称			多核種吸着塔６～１４
種類		－	たて置円筒形
容量		m^3/個	1
最高使用圧力		MPa	1.37
最高使用温度		℃	60
主要寸法	胴内径	mm	1050
	胴板厚さ	mm	16
	さら形ふた板厚さ	mm	16
	下部鏡板厚さ	mm	16
	高さ	mm	2553
材料	胴板	－	SM490A・内面ゴムライニング
	さら形ふた板	－	SM490A・内面ゴムライニング
	下部鏡板	－	SM490A・内面ゴムライニング
個数		個	9（1系列あたり）

名　　称			多核種吸着塔１５～１８
種　　類		－	たて置円筒形
容　　量		m^3/個	2.4
最高使用圧力		MPa	1.37
最高使用温度		℃	60
主要寸法	胴内径	mm	1350
	胴板厚さ	mm	16
	さら形ふた板厚さ	mm	19
	下部鏡板厚さ	mm	19
	高さ	mm	3011
材料	胴板	－	SM490A・内面ゴムライニング
	さら形ふた板	－	SM490A・内面ゴムライニング
	下部鏡板	－	SM490A・内面ゴムライニング
個　　数		個	4（1系列あたり）

f．移送タンク

名　　称			移送タンク
種　　類		－	たて置円筒形
容　　量		m^3/個	27
最高使用圧力		MPa	静水頭
最高使用温度		℃	60
主要寸法	胴内径	mm	3100
	胴板厚さ	mm	9
	底板厚さ	mm	22
	高さ	mm	4131
材料	胴板	－	SS400・内面ゴムライニング
	底板	－	SS400・内面ゴムライニング
個　　数		個	2

g．サンプルタンク（増設多核種除去設備用処理済水一時貯留タンク）

名称			サンプルタンク
種類		－	たて置円筒形
容量		m^3/個	1235
最高使用圧力		MPa	静水頭
最高使用温度		℃	40
主要寸法	胴内径	mm	11000
	胴板厚さ	mm	12
	底板厚さ	mm	12
	高さ	mm	13000
材料	胴板	－	SM400C
	底板	－	SM400C
個数		個	3

h. 炭酸ソーダ溶解槽

名称			炭酸ソーダ溶解槽
種類		－	角形
容量		m^3/個	1.3
最高使用圧力		MPa	静水頭
最高使用温度		℃	60
主要寸法	内寸	mm	1188 × 1188
	側板厚さ	mm	6
	底板厚さ	mm	6
	高さ	mm	1200
材料	側板	－	SS400・内面ゴムライニング
	底板	－	SS400・内面ゴムライニング
個数		個	3

i. 炭酸ソーダ貯槽

名　　称			炭酸ソーダ貯槽
種　　類		－	たて置円筒形
容　　量		m^3/個	33
最高使用圧力		MPa	静水頭
最高使用温度		℃	60
主要寸法	胴内径	mm	3100
	胴板厚さ	mm	9
	底板厚さ	mm	22
	高さ	mm	5022
材料	胴板	－	SUS316L
	底板	－	SUS316L
個　　数		個	2

j. 反応／凝集槽

名　　称			反応／凝集槽
種　　類		－	たて置円筒形
容　　量		m^3/個	11
最高使用圧力		MPa	静水頭
最高使用温度		℃	60
主要寸法	胴内径	mm	2300
	胴板厚さ	mm	6
	鏡板厚さ	mm	6
	高さ	mm	4400
材料	胴板	－	SS400・内面ゴムライニング
	鏡板	－	SS400・内面ゴムライニング
個　　数		個	１個／系列（２系列に設置）

k. 沈殿槽

名称			沈殿槽
種類		－	たて置円筒形
容量		m^3/個	12
最高使用圧力		MPa	静水頭
最高使用温度		℃	60
主要寸法	胴内径	mm	2300
	胴板厚さ	mm	6
	鏡板厚さ	mm	6
	高さ	mm	4400
材料	胴板	－	SUS316L
	鏡板	－	SUS316L
個数		個	１個／系列（２系列に設置）

l. 上澄み水タンク

名称			上澄み水タンク
種類		－	たて置円筒形
容量		m^3/個	2
最高使用圧力		MPa	静水頭
最高使用温度		℃	60
主要寸法	胴内径	mm	1200
	胴板厚さ	mm	6
	鏡板厚さ	mm	6
	高さ	mm	3800
材料	胴板	－	SUS316L
	鏡板	－	SUS316L
個数		個	１個／系列（２系列に設置）

(2)　ポンプ

ａ．供給ポンプ１（完成品）

台　　数	1 台（1 系列あたり）
容　　量	10.5　m^3/h

ｂ．供給ポンプ２（完成品）

台　　数	1 台（1 系列あたり）
容　　量	11.0　m^3/h

ｃ．循環ポンプ（完成品）

台　　数	1 台（1 系列あたり）
容　　量	313　m^3/h

ｄ．ブースタポンプ１（完成品）

台　　数	1 台（1 系列あたり）
容　　量	11.0　m^3/h

ｅ．ブースタポンプ２（完成品）

台　　数	1 台（1 系列あたり）
容　　量	11.5　m^3/h

ｆ．移送ポンプ（完成品）

台　　数	2 台
容　　量	35　m^3/h

ｇ．増設多核種除去設備用移送ポンプ（完成品）

台　　数	2 台
容　　量	50　m^3/h

h．炭酸ソーダ溶解槽移送ポンプ（完成品）

台　　数	3 台
容　　量	1.8　m^3/h

ｉ．炭酸ソーダ貯槽 1 供給ポンプ（完成品）

台　　数	3 台
容　　量	0.2　m^3/h

j．炭酸ソーダ貯槽２移送ポンプ（完成品）

台　　数　　2台

容　　量　　20　m^3/h

k．スラリー循環ポンプ

台　　数　　1台／系列（２系列に設置）

容　　量　　13 m^3/h

l．上澄み水ポンプ

台　　数　　１台／系列（２系列に設置）

容　　量　　12 m^3/h

(3)　その他機器

a．クロスフローフィルタ

最高使用圧力		MPa	0.98
最高使用温度		℃	60
主要寸法	外径	mm	340
	高さ	mm	1126
材料		－	1.4404（海外製品） SUS316L（国内製品）
台数（1系列あたり）		台	6

b．出口フィルタ

台　　数　　1台（1系列あたり）

(4) 配管

主要配管仕様（１／８）

名　称	仕　様	
ＲＯ後濃縮塩水系受タンク移送流路分岐部から処理水受入タンク入口まで （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch.40 STPG370 + ﾗｲﾆﾝｸﾞ 0.98MPa 60℃ 40℃
（ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 0.98MPa 40℃
（耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 EPDM 0.98MPa 60℃
処理水受入タンク出口から 共沈タンク入口まで （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch.40 STPG370 + ﾗｲﾆﾝｸﾞ 静水頭 60℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch.40 50A/Sch.40 32A/Sch.40 STPG370 + ﾗｲﾆﾝｸﾞ 0.98MPa 60℃
（耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 EPDM 静水頭 60℃
（耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当 EPDM 0.98MPa 60℃
共沈タンク出口から 供給タンク入口まで （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	150A/Sch.40 SUS316L 静水頭 60℃
（耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	150A 相当 EPDM 静水頭 60℃

主要配管仕様（２／８）

名　称	仕　様	
供給タンク出口から クロスフローフィルタ循環ラインまで （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.40 SUS316L 静水頭 60℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.40 32A/Sch.40 SUS316L 0.98MPa 60℃
（耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当 EPDM 静水頭 0.98MPa 60℃
クロスフローフィルタ循環ライン （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	125A/Sch.40 150A/Sch.40 200A/Sch.40 250A/Sch.40 300A/Sch.40 300A 相当/3mm SUS316L 0.98MPa 60℃
クロスフローフィルタ出口から 吸着塔入口バッファタンク入口まで （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.40 50A/Sch.80 SUS316L 0.98MPa 60℃
（耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当 EPDM 0.98MPa 60℃
吸着塔入口バッファタンク出口から 多核種吸着塔５下流 塩酸供給点まで （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.40 SUS316L 静水頭 60℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	32A/Sch.40 50A/Sch.40 SUS316L 1.37MPa 60℃
（耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当 EPDM 静水頭 1.37MPa 60℃

主要配管仕様（３／８）

名　称	仕　様	
多核種吸着塔５下流 塩酸供給点から 移送タンクまで （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	32A/Sch.40 50A/Sch.40 50A/Sch.80 80A/Sch.40 STPG370 + ﾗｲﾆﾝｸﾞ 1.37MPa 60℃
（耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当 EPDM 1.37MPa 60℃
移送タンク出口から サンプルタンク入口まで （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A/Sch.40 STPG370 + ﾗｲﾆﾝｸﾞ 静水頭 60℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	40A/Sch.40 65A/Sch.40 80A/Sch.40 100A/Sch.40 STPG370 + ﾗｲﾆﾝｸﾞ 0.98MPa 60℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch.40 SUS316L 0.98MPa 60℃
（ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 0.98MPa 40℃
（耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 EPDM 静水頭 60℃
（耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	65A 相当 EPDM 0.98MPa 60℃

主要配管仕様（４／８）

名　称	仕　様	
サンプルタンク出口から 多核種処理水貯槽，RO 濃縮水貯槽または Sr 処理水貯槽まで※2 （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch.40 80A/Sch.40 50A/Sch.40 SUS316L 0.98MPa 40℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch.40 SUS316L 0.98MPa 60℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch.40 STPG370 + ﾗｲﾆﾝｸﾞ 0.98MPa 40℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch.20S SUS316LTP 0.98MPa 40℃
（ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	200A 相当 100A 相当 ポリエチレン 静水頭 40℃
（ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 0.98MPa 40℃
（耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 合成ゴム 0.98MPa 40℃
増設多核種除去設備用移送ポンプスキッドから 増設多核種除去設備入口弁スキッドまで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 0.98MPa 40℃

主要配管仕様（５／８）

名　称	仕　様	
移送ポンプ出口分岐部から 炭酸ソーダ溶解槽まで （鋼管）	呼び径／厚さ	65A/Sch.40 40A/Sch.40 20A/Sch.40
	材質	STPG370 + ﾗｲﾆﾝｸﾞ
	最高使用圧力	0.98MPa
	最高使用温度	60℃
（鋼管）	呼び径／厚さ	20A/Sch.40 15A/Sch.40
	材質	SUS316L
	最高使用圧力	0.98MPa
	最高使用温度	60℃
（耐圧ホース）	呼び径	40A 相当
	材質	EPDM
	最高使用圧力	0.98MPa
	最高使用温度	60℃
炭酸ソーダ溶解槽から 炭酸ソーダ貯槽まで （鋼管）	呼び径／厚さ	50A/Sch.40 40A/Sch.40
	材質	SUS316L
	最高使用圧力	静水頭
	最高使用温度	60℃
（鋼管）	呼び径／厚さ	40A/Sch.40 40A/Sch.80 15A/Sch.40
	材質	SUS316L
	最高使用圧力	0.5MPa
	最高使用温度	60℃
（耐圧ホース）	呼び径	40A 相当
	材質	PTFE
	最高使用圧力	静水頭 0.5MPa
	最高使用温度	60℃

主要配管仕様（６／８）

名　称	仕　様	
炭酸ソーダ貯槽から 共沈タンクまで （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	125A/Sch.40 65A/Sch.40 SUS316L 静水頭 60℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	65A/Sch.40 40A/Sch.40 25A/Sch.40 SUS316L 0.5MPa 60℃
（耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	125A 相当 PTFE 静水頭 60℃
（耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	40A 相当 PTFE 0.5MPa 60℃
（耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	40A 相当 EPDM 0.5MPa 60℃

主要配管仕様（７／８）

名　称	仕　様	
炭酸ソーダ貯槽から 多核種除去設備建屋入口まで （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	65A/Sch.40 SUS316L 静水頭 60℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A/Sch.40 65A/Sch.40 50A/Sch.40 SUS316L 0.5MPa 60℃
（耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	65A 相当 PTFE 静水頭 60℃
（ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	75A 相当 ポリエチレン 0.5MPa 60℃
処理水受入タンク移送流路分岐部から 反応／凝集槽入口まで※3 （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.40 STPG370 + ﾗｲﾆﾝｸﾞ 0.98MPa 60℃
反応／凝集槽出口から沈殿槽入口 まで※3 （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	150A/Sch.40 SUS316L 静水頭 60℃
（耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	150A 相当 EPDM 静水頭 60℃
沈殿槽出口から 上澄み水タンク入口まで※3 （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	150A/Sch.40 SUS316L 静水頭 60℃
（耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	150A 相当 EPDM 静水頭 60℃

主要配管仕様（８／８）

名　称	仕　様	
上澄み水タンク出口から供給タンク移送流路合流部まで※3 （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.40 SUS316L 静水頭 60℃
（耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当 EPDM 静水頭 60℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.40 32A/Sch.40 SUS316L 0.98MPa 60℃
沈殿槽出口から反応／凝集槽まで※3 （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.40 SUS316L 静水頭 60℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.40 40A/Sch.40 32A/Sch.40 25A/Sch.40 SUS316L 0.98MPa 60℃
クロスフローフィルタ循環ライン分岐部から反応／凝集槽まで※3 （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	40A/Sch.40 25A/Sch.40 15A/Sch.40 SUS316L 0.98MPa 60℃
（耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	25A 相当 40A 相当 EPDM 0.98MPa 60℃
炭酸ソーダ貯槽移送流路分岐部から反応／凝集槽入口まで※3 （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	25A/Sch.40 SUS316L 0.5MPa 60℃
（耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	25A 相当 EPDM 0.5MPa 60℃

※1：現場施工状況により，配管仕様（呼び径，厚さ，材質）の一部を使用しない場合がある。

※2：K4 エリアタンクへの配管の一部は，「Ⅱ 2.50 ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設」と兼用する。

※3：２系列に設置

(5) 放射線監視装置

放射線監視装置仕様

項目	仕様
名称	エリア放射線モニタ
基数	2 基
種類	半導体検出器
取付箇所	増設多核種除去設備設置エリア
計測範囲	10^{-3} mSv/h ～ 10^{1} mSv/h

2.16.2.3 添付資料

添付資料－１： 全体概要図及び系統構成図

添付資料－２： 増設多核種除去設備基礎の構造強度に関する検討結果

添付資料－３： 増設多核種除去設備の耐震性に関する説明書

添付資料－４： 増設多核種除去設備の強度に関する説明書

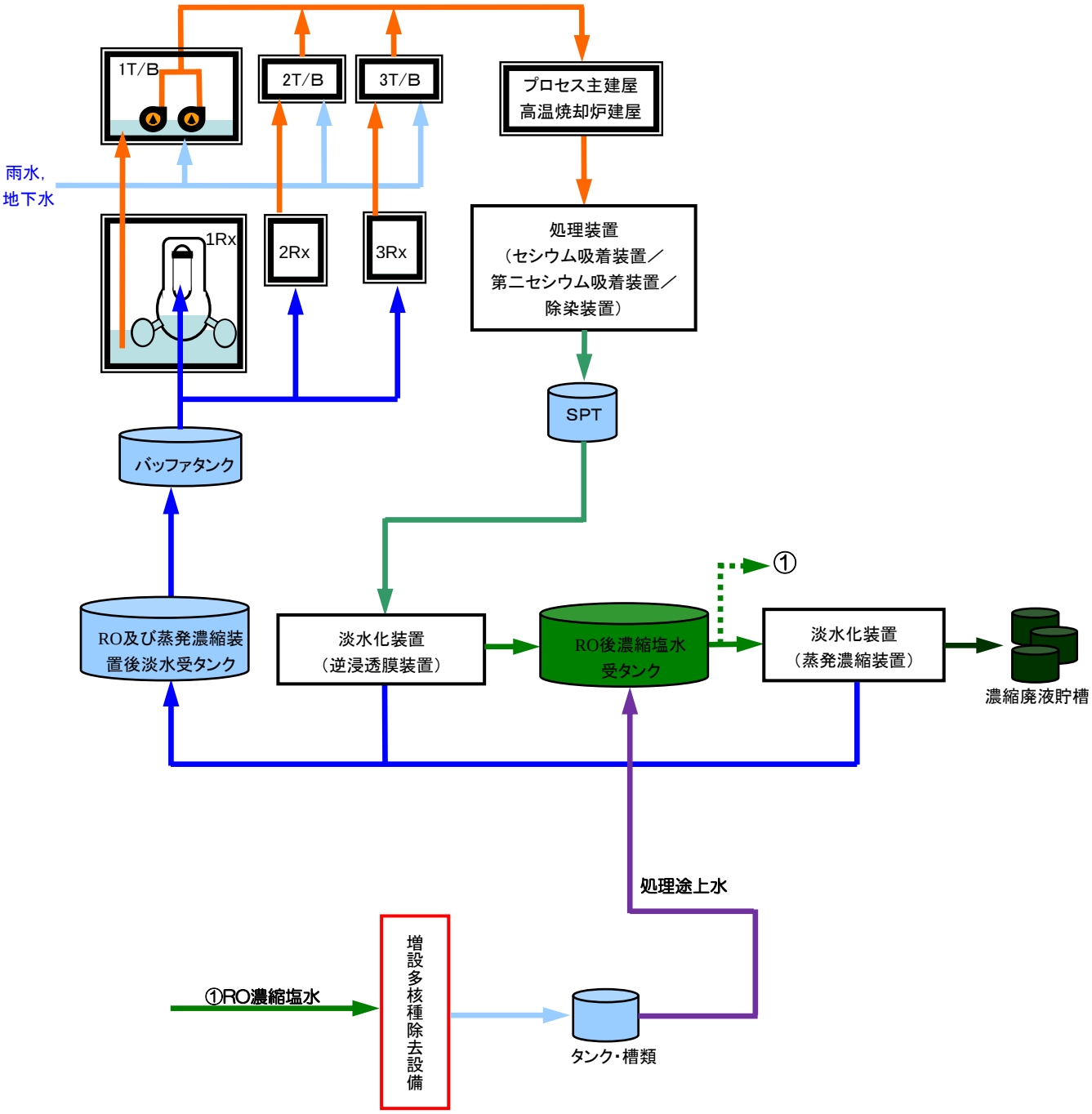
添付資料－５： 流体状の放射性廃棄物の施設外への漏えい防止に関する計算書

添付資料－６： 工事工程表

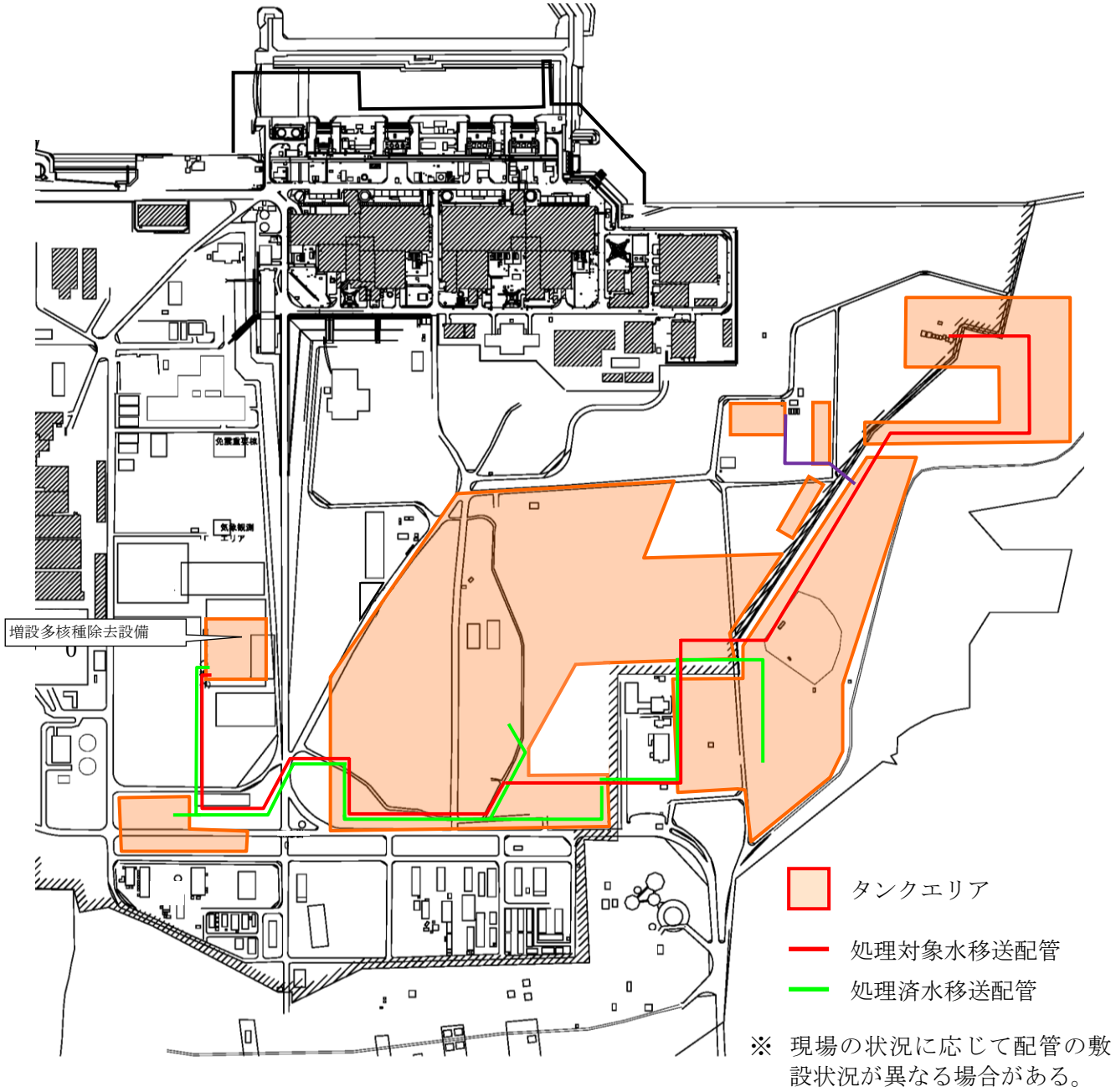
添付資料－７： 増設多核種除去設備の具体的な安全確保策

添付資料－８： 増設多核種除去設備の確認試験結果について

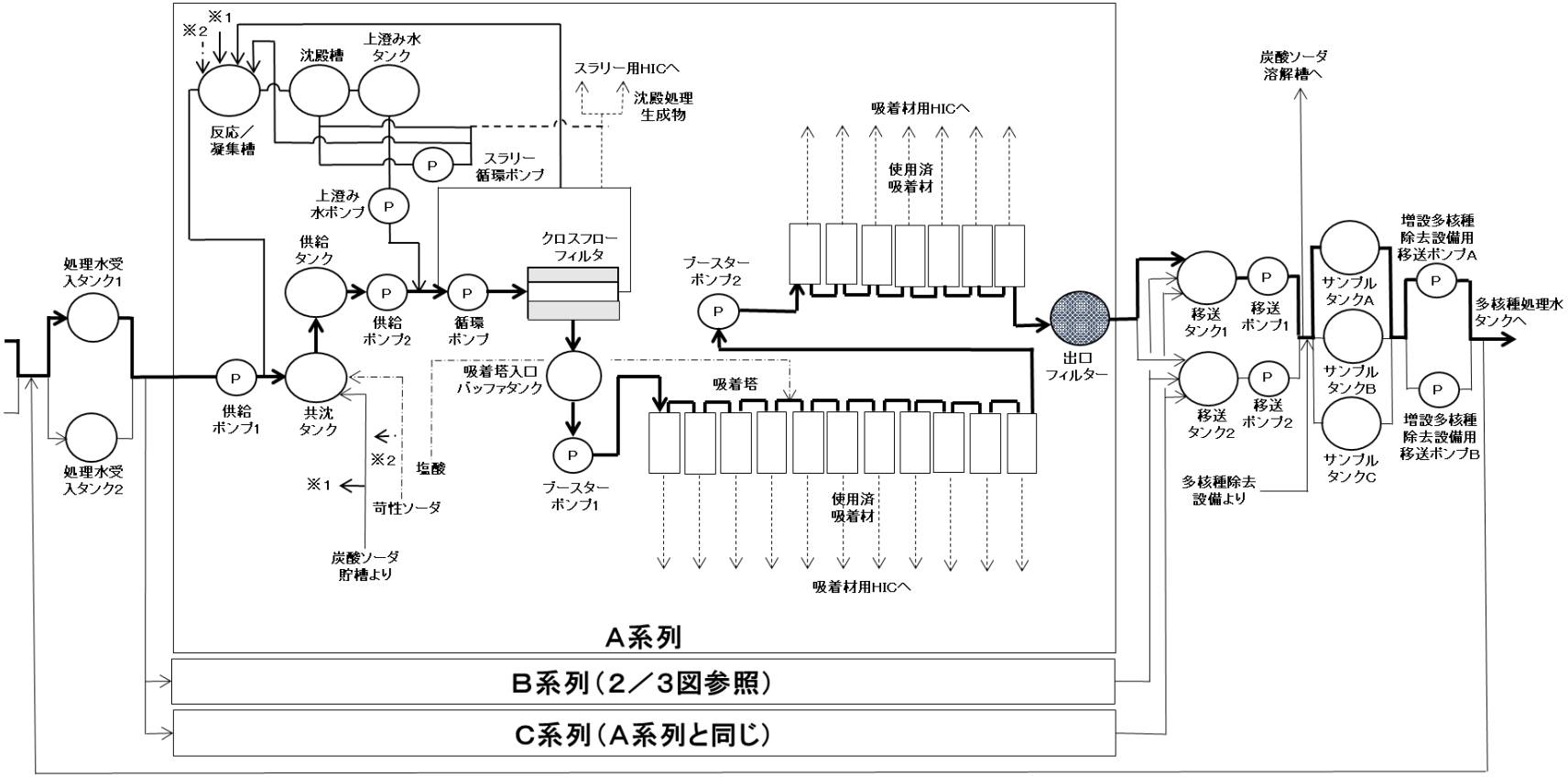
添付資料－９： 増設多核種除去設備に係る確認事項



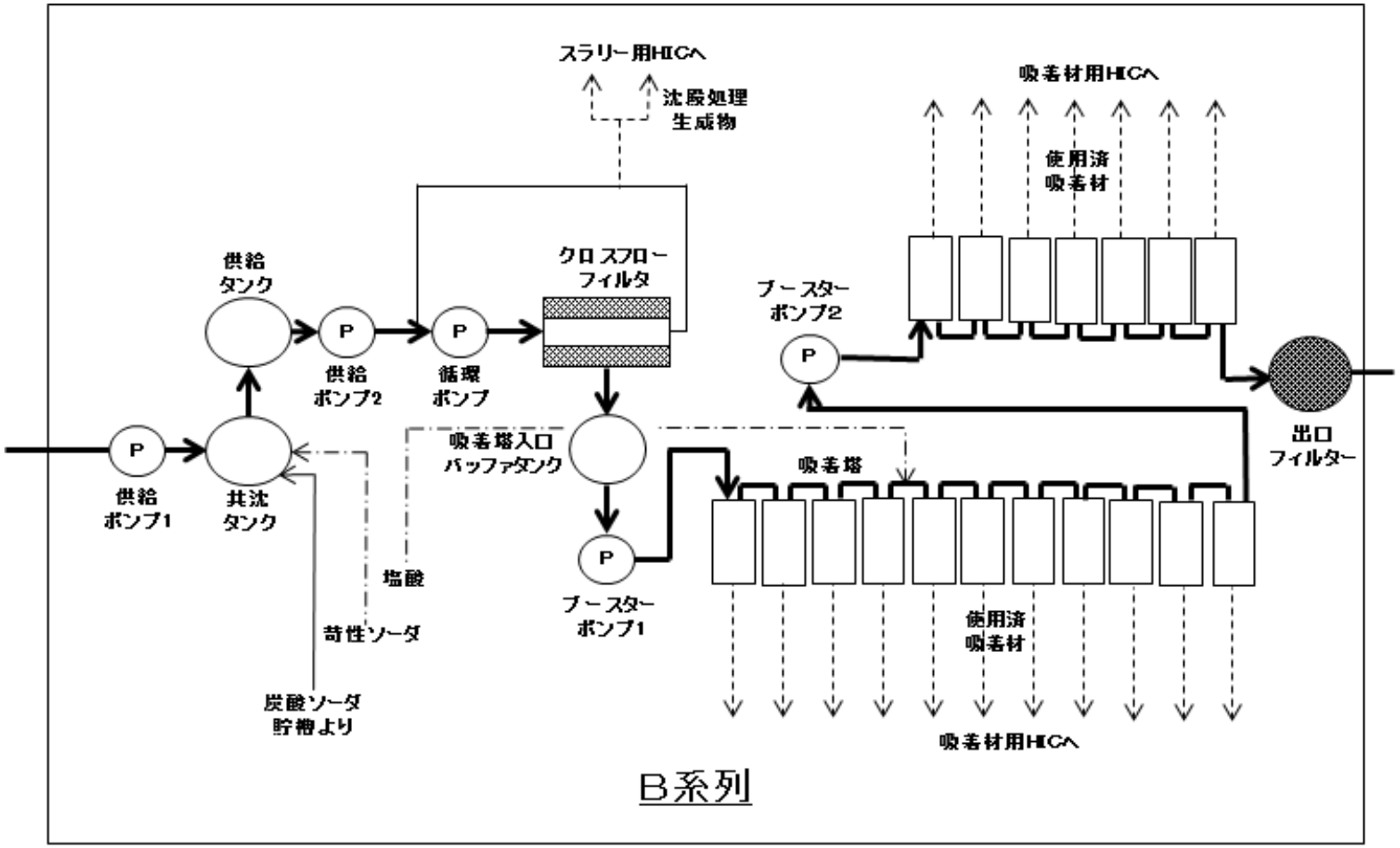
図－１　汚染水処理設備並びに増設多核種除去設備等の全体概要図



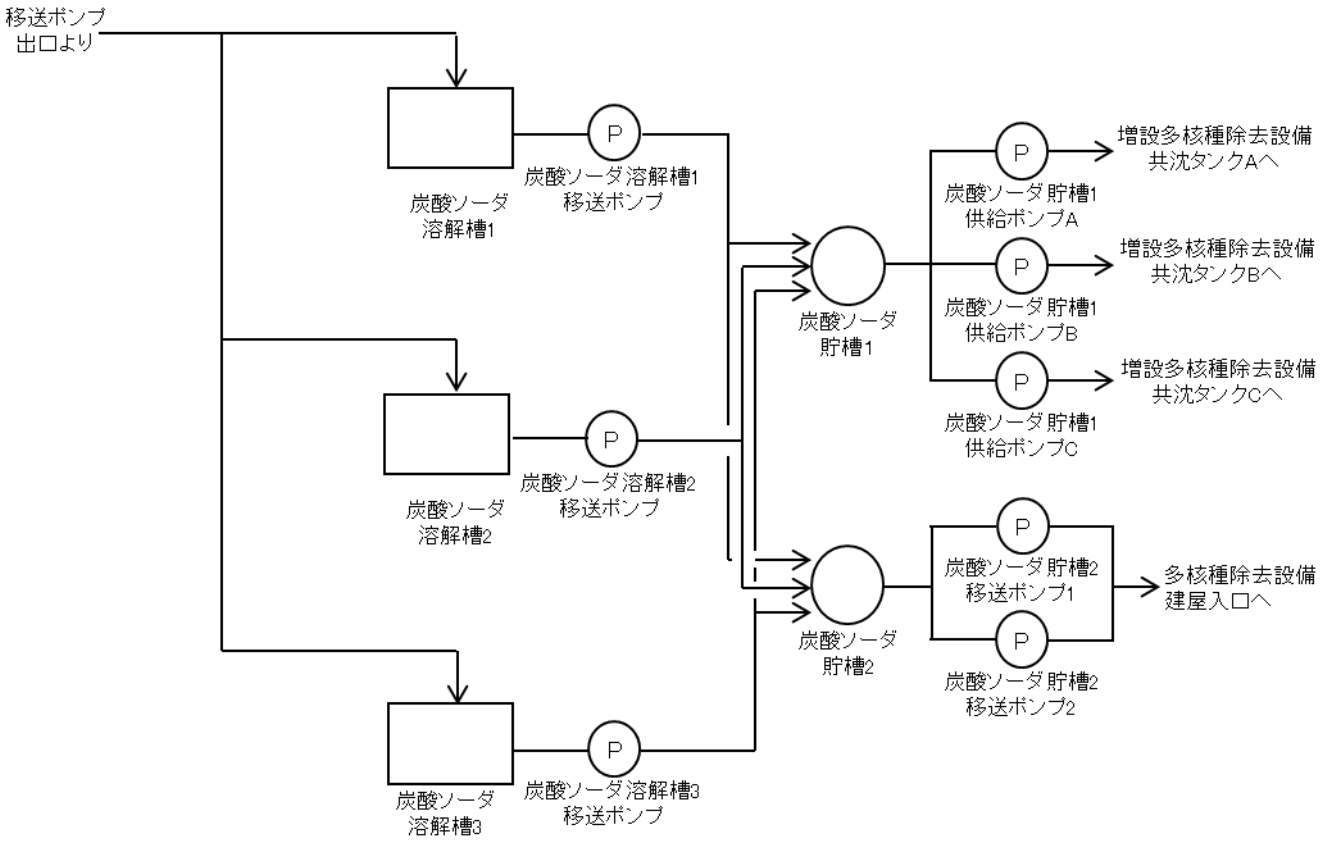
図－２　増設多核種除去設備の配置概要図



図－３　増設多核種除去設備の系統構成図（１／３）



図－３　増設多核種除去設備の系統構成図（２／３）



図－３　増設多核種除去設備の系統構成図（３／３）

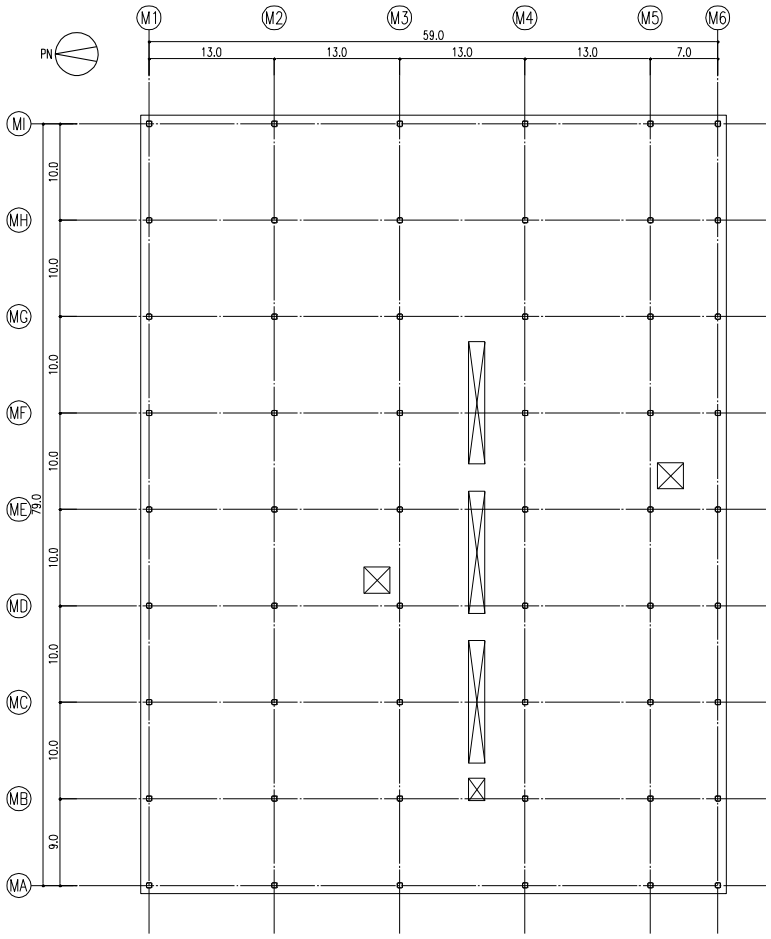
増設多核種除去設備基礎の構造強度に関する検討結果

１．　評価方針

増設多核種除去設備基礎は，耐震Ｂクラスである増設多核種除去設備の間接支持構造物であるため，耐震Ｂクラス相当として，設計する。

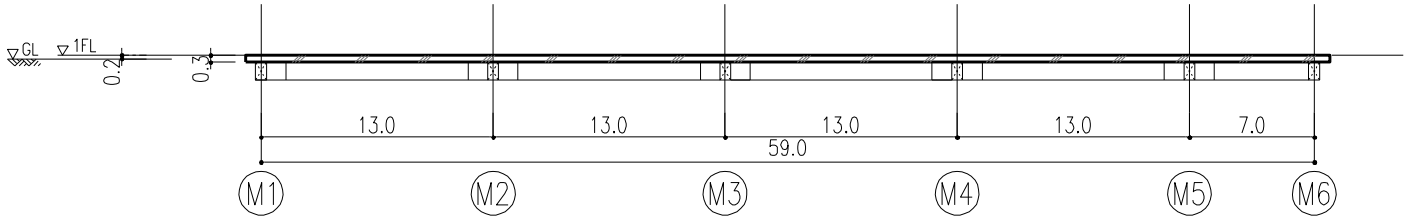
増設多核種除去設備基礎は，平面が約 81m（EW 方向）×約 61m（NS 方向），厚さ約 0.3m の鉄筋コンクリート造で，段丘堆積層に直接支持されている。増設多核種除去設備基礎の平面図及び断面図を図－１～図－３に示す。

増設多核種除去設備基礎と増設多核種除去設備上屋とは，図－４に示すように，上屋から基礎スラブに荷重が伝達されない構造としている。



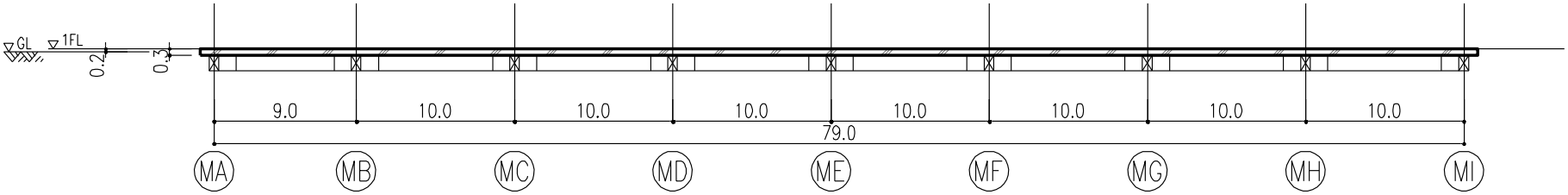
図－１　１階平面図（単位：m）

太線：今回対象



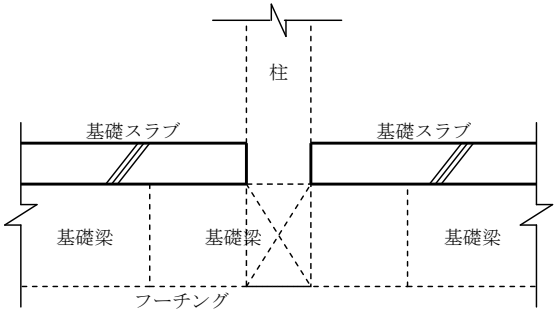
図－２　南北方向断面図（単位：m）

太線：今回対象



図－３　東西方向断面図（単位：m）

太線：今回対象



図－４　基礎スラブと柱・基礎梁の模式図

2.　評価条件

2.1　使用材料及び材料の許容応力度

増設多核種除去設備基礎スラブに用いる材料のうち，コンクリートは普通コンクリートとし，コンクリートの設計基準強度 F_C は 30N/mm^2 とする。鉄筋は SD295A とする。各使用材料の許容応力度を表－１及び表－２に示す。

表－１　コンクリートの許容応力度

（単位：N/mm^2）

	長　期		短　期	
	圧縮	せん断	圧縮	せん断
F_C＝30	10	0.79	20	1.18

注：日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」による。

表－２　鉄筋の許容応力度

（単位：N/mm^2）

		長　期		短　期	
		引張及び圧縮	せん断補強	引張及び圧縮	せん断補強
SD295A	D16	195	195	295	295

注：日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」による。

2.2　荷重

長期荷重として，鉛直荷重（固定荷重，配管荷重及び積載荷重）を考慮する。

また，短期荷重として地震時に基礎面に作用する荷重を考慮する。

3.　評価結果

3.1　基礎スラブおよび基礎地盤の評価結果

基礎スラブの応力解析は，地盤上に支持された盤として計算を行う。曲げモーメントおよび面外せん断力について，長期荷重時および短期荷重時の断面検討結果から，検定比が最大となる短期荷重時の断面検討結果を表－３及び表－４に示す。基礎スラブ配筋図を図－５に示す。

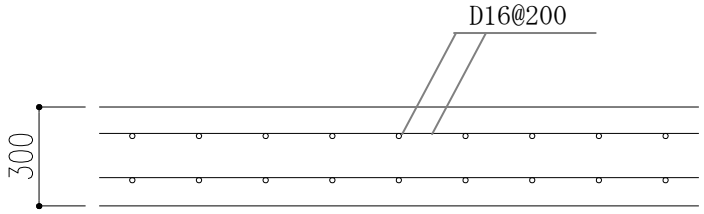
これより，設計鉄筋比は必要鉄筋比を上回り，また面外せん断力は短期許容せん断力以下となっていることを確認した。

表－３　曲げモーメントに対する検討結果

応力 曲げモーメント(kN･m/m)	必要鉄筋比 (%)	設計鉄筋比 (%)	検定比
6.7	0.05	0.33	0.16≦1.0

表－４　面外せん断力に対する検討結果

応力 面外せん断力(kN/m)	短期許容せん断力 (kN/m)	検定比
44.0	206	0.22≦1.0



鉄筋のかぶり厚さ
基礎上端部：80mm 以上
基礎下端部：70mm 以上

図－５　基礎スラブ配筋図

なお，基礎地盤に生じる接地圧について，長期荷重時および短期荷重時の検討結果から，検定比が最大となる短期荷重時の検討結果を表－５に示す。短期許容支持力度を評価するにあたっては，日本建築学会「建築基礎構造設計指針」に準拠する。

表－５　基礎地盤の許容支持力度と接地圧の比較

	接地圧 (kN/m²)	許容支持力度 (kN/m²)	検定比
短期	153	278 *1	0.55≦1.0

*1：基礎地盤の平板載荷試験結果より許容支持力度を設定

基礎スラブおよび基礎地盤の参考評価について

増設多核種除去設備の基礎スラブおよび基礎地盤について，参考評価として，耐震 S クラス相当の水平震度（水平震度 0.8）に対して，健全性が維持されることを確認した。

基礎スラブの評価結果のうち，曲げモーメントおよび面外せん断力について，検定比が最大となる断面検討結果を表－１及び表－２に示す。

表－１　曲げモーメントに対する検討結果

応力 曲げモーメント(kN･m/m)	必要鉄筋比 (%)	設計鉄筋比 (%)	検定比
46	0.30	0.33	0.91≦1.0

表－２　面外せん断力に対する検討結果

応力 面外せん断力(kN/m)	短期許容せん断力 (kN/m)	検定比
119	206	0.58≦1.0

また，基礎地盤に生じる接地圧について，検討結果を表－３に示す。短期許容支持力度を評価するにあたっては，日本建築学会「建築基礎構造設計指針」に準拠する。

表－３　基礎地盤の許容支持力度と接地圧の比較

	接地圧 (kN/m^2)	許容支持力度 (kN/m^2)	検定比
短期	183	278 *1	0.66≦1.0

*1：基礎地盤の平板載荷試験結果より許容支持力度を設定

基礎スラブおよび基礎地盤の参考評価について（基準地震動 Ss 評価）

増設多核種除去設備の基礎スラブおよび基礎地盤について，参考評価として，基準地震動 Ss（Ss-1～3，水平・上下）に対して，健全性が維持されることを確認した。

基礎スラブの評価結果のうち，曲げモーメントおよび面外せん断力について，検定比が最大となる断面検討結果を表－１及び表－２に示す。

表－１　曲げモーメントに対する検討結果

応力 曲げモーメント(kN･m/m)	必要鉄筋比 (%)	設計鉄筋比 (%)	検定比
39	0.26	0.33	0.79≦1.0

表－２　面外せん断力に対する検討結果

応力 面外せん断力(kN/m)	短期許容せん断力 (kN/m)	検定比
102	206	0.50≦1.0

また，基礎地盤に生じる接地圧について，検討結果を表－３に示す。短期許容支持力度を評価するにあたっては，日本建築学会「建築基礎構造設計指針」に準拠する。

表－３　基礎地盤の許容支持力度と接地圧の比較

	接地圧 (kN/m²)	許容支持力度 (kN/m²)	検定比
短期	155	278 *1	0.56≦1.0

*1：基礎地盤の平板載荷試験結果より許容支持力度を設定

増設多核種除去設備の耐震性に関する計算書

１．耐震設計の基本方針

申請設備に係る耐震設計は，次の基本方針に基づいて行う。

（１）設備の重要度による耐震クラス別分類

耐震クラス別 ＼ 系統設備	主要設備，補助設備 及び直接支持構造物	間接支持構造物及び相互 影響を考慮すべき設備	
	B	設　備	検討用地震動等
2.16.2　増設多核種除去設備			
(1)容器	処理水受入タンク１，２	処理水受入タンク１，２スキッド	S_B
	共沈タンクA，B，C	共沈タンクA，B，Cスキッド	S_B
	供給タンクA，B，C	供給タンクA，B，Cスキッド	S_B
	吸着塔入口バッファタンク A，B，C	吸着塔入口バッファタンク A，B，Cスキッド	S_B
	多核種吸着塔１～１８A，B，C	多核種吸着塔A，B，Cスキッド １～６	S_B
	移送タンク１，２	移送タンク１，２スキッド	S_B
	サンプルタンクA，B，C	サンプルタンクエリア	S_B
	炭酸ソーダ溶解槽１，２，３	炭酸ソーダ製造スキッド １，２，３	S_B
	炭酸ソーダ貯槽１，２	増設多核種除去設備基礎	S_B
(2)ポンプ	供給ポンプ１A，B，C	供給ポンプ１スキッド	S_B
	供給ポンプ２A，B，C	供給ポンプ２A，B，Cスキッド	S_B
	循環ポンプA，B，C	クロスフローフィルタA，B，C スキッド	S_B

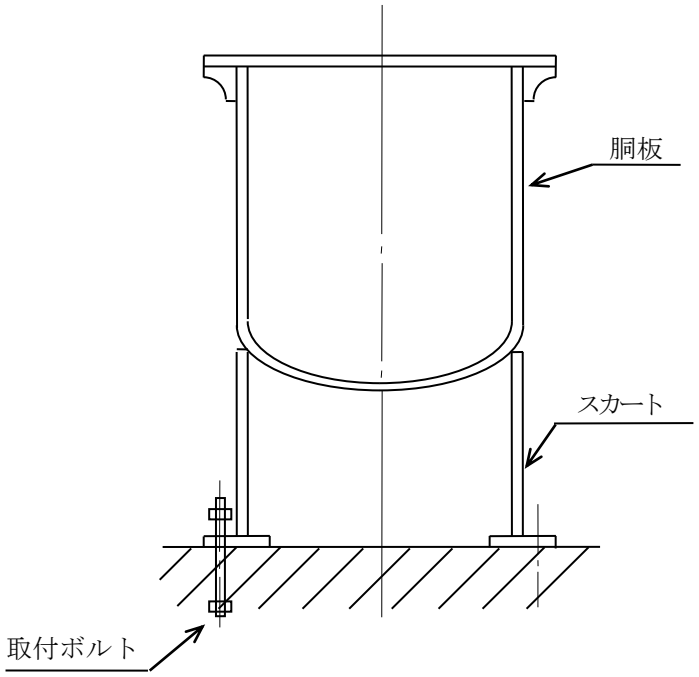
耐震クラス別 系統設備	主要設備，補助設備 及び直接支持構造物	間接支持構造物及び相互 影響を考慮すべき設備	
	B	設　備	検討用地震動等
(つづき：ポンプ)	ブースターポンプ１A,B,C	ブースターポンプ１A,B,C スキッド	S_B
	ブースターポンプ２A,B,C	ブースターポンプ２A,B,C スキッド	S_B
	移送ポンプ１,２	出口移送スキッド	S_B
	増設多核種除去設備用移送 ポンプA,B	増設多核種除去設備用移送 ポンプ用スキッド	S_B
	炭酸ソーダ溶解槽１,２,３ 移送ポンプ	炭酸ソーダ溶解槽１,２,３ 移送スキッド	S_B
	炭酸ソーダ貯槽１供給ポンプ A,B,C	炭酸ソーダ貯槽１供給スキッド	S_B
	炭酸ソーダ貯槽２移送ポンプ １，２	炭酸ソーダ貯槽２移送スキッド	S_B
(3)その他機器	出口フィルタA,B,C	出口フィルタスキッド	S_B
(4)配管	主配管	増設多核種除去設備基礎, スキッド等	S_B
(5)スキッド	増設多核種除去設備入口弁 スキッド	増設多核種除去設備基礎	S_B
	処理水受入タンク１,２スキッド	増設多核種除去設備基礎	S_B
	供給ポンプ１スキッド	増設多核種除去設備基礎	S_B
	共沈タンクA,B,Cスキッド	増設多核種除去設備基礎	S_B
	供給タンクA,B,Cスキッド	増設多核種除去設備基礎	S_B
	供給ポンプ２A,B,Cスキッド	増設多核種除去設備基礎	S_B
	供給ポンプ２弁A,B,C スキッド	増設多核種除去設備基礎	S_B
	クロスフローフィルタA,B,Cス キッド	増設多核種除去設備基礎	S_B

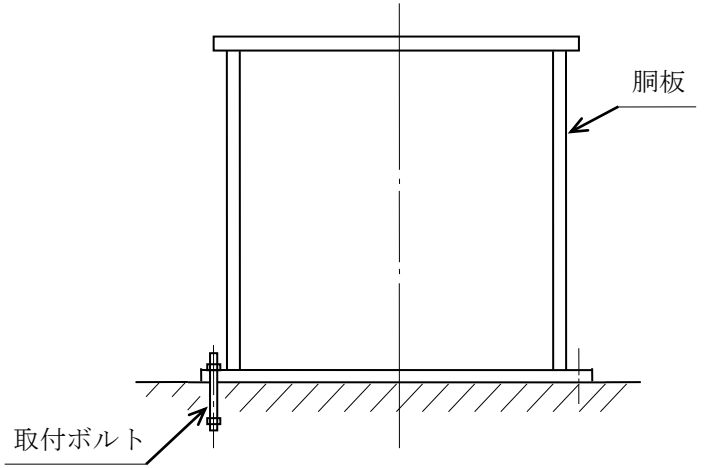
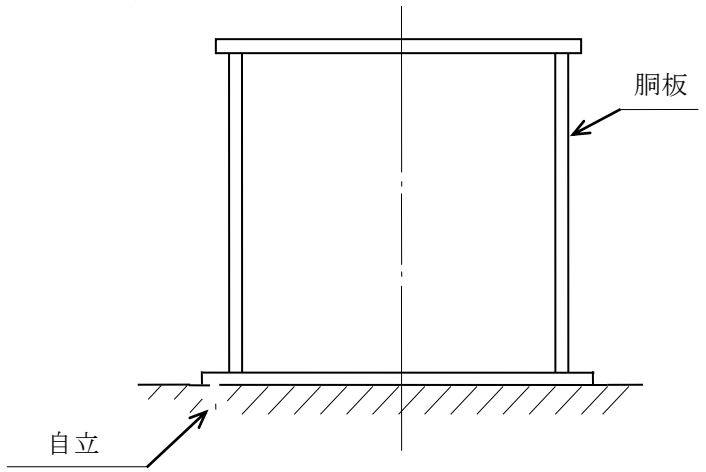
耐震クラス別 系統設備	主要設備，補助設備 及び直接支持構造物	間接支持構造物及び相互 影響を考慮すべき設備	
	B	設　備	検討用地震動等
(つづき：スキッド)	吸着塔入口バッファタンク A,B,Cスキッド	増設多核種除去設備基礎	S_B
	ブースターポンプ１A，B，Cスキッド	増設多核種除去設備基礎	S_B
	多核種吸着塔A,B,Cスキッド１～６	増設多核種除去設備基礎	S_B
	ブースターポンプ２A，B，Cスキッド	増設多核種除去設備基礎	S_B
	出口フィルタスキッド	増設多核種除去設備基礎	S_B
	移送タンク１，２スキッド	増設多核種除去設備基礎	S_B
	出口移送スキッド	増設多核種除去設備基礎	S_B
	増設多核種除去設備用移送ポンプスキッド	多核種移送設備基礎	S_B
	炭酸ソーダ製造スキッド １,２,３	増設多核種除去設備基礎	S_B
	炭酸ソーダ溶解槽１,２,３移送スキッド	増設多核種除去設備基礎	S_B
	炭酸ソーダ貯槽１供給スキッド	増設多核種除去設備基礎	S_B
	炭酸ソーダ貯槽２移送スキッド	増設多核種除去設備基礎	S_B
備考	・増設多核種除去設備上屋は設備を支持しておらず，間接支持構造物及び相互影響を考慮すべき設備には該当しない。		

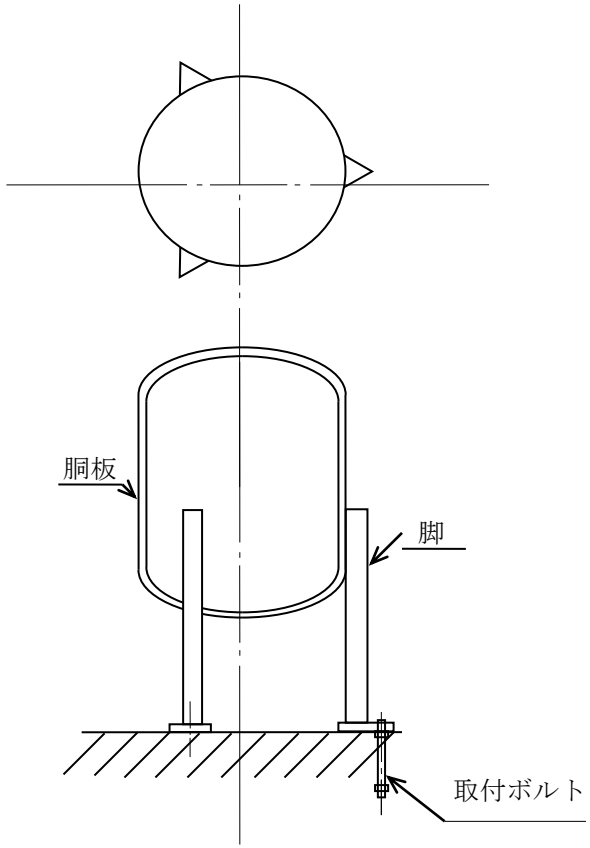
耐震クラス別 系統設備	主要設備，補助設備 及び直接支持構造物	間接支持構造物及び相互 影響を考慮すべき設備	
	Ｂ＋	設　備	検討用地震動等
2.16.2　増設多核種除去設備			
(1)容器	反応／凝集槽Ａ，Ｃ	反応／凝集・沈殿槽Ａ，Ｃスキッド	S_{B+}
	沈殿槽Ａ，Ｃ	反応／凝集・沈殿槽Ａ，Ｃスキッド	S_{B+}
	上澄み水タンクＡ，Ｃ	上澄み水タンクＡ，Ｃスキッド	S_{B+}
(2)ポンプ	スラリー循環ポンプＡ，Ｃ	凝集沈殿ポンプＡ，Ｃスキッド	S_{B+}
	上澄み水ポンプＡ，Ｃ	凝集沈殿ポンプＡ，Ｃスキッド	S_{B+}
(4)配管	主配管	増設多核種除去設備基礎， スキッド等	S_{B+}
(5)スキッド	反応／凝集・沈殿槽Ａ，Ｃスキッド	増設多核種除去設備基礎	S_{B+}
	上澄み水タンクＡ，Ｃスキッド	増設多核種除去設備基礎	S_{B+}
	凝集沈殿ポンプＡ，Ｃスキッド	増設多核種除去設備基礎	S_{B+}
備考	・増設多核種除去設備上屋は設備を支持しておらず，間接支持構造物及び相互影響を考慮すべき設備には該当しない。		

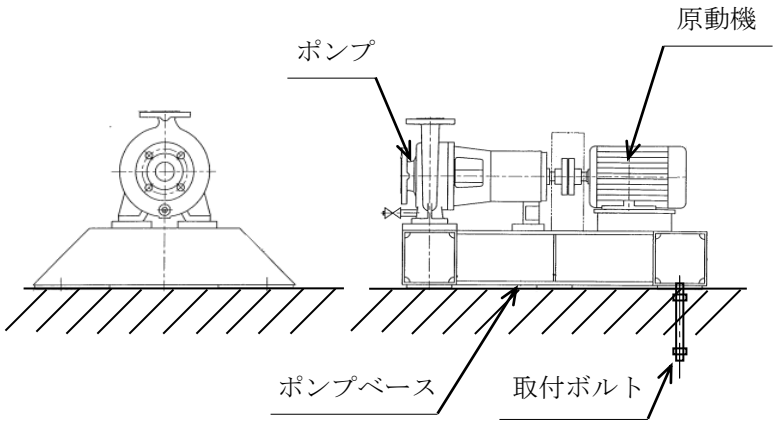
（２）構造計画

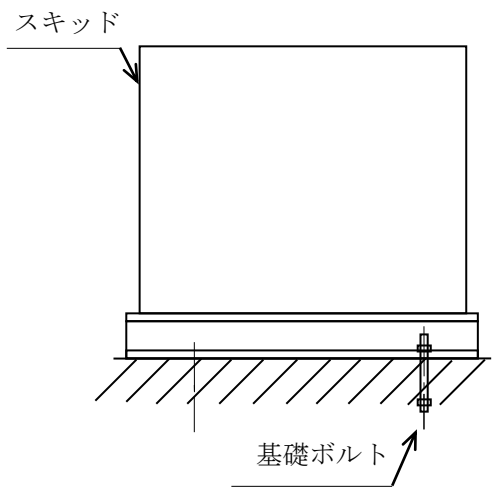
ａ．機器

主要区分	計画の概要		概略構造図	摘要
	基礎・支持構造	主体構造		
(1) スカート支持たて置円筒形容器	胴をスカートで支持し，スカートを取付ボルトでスキッドに据え付ける。	上面に平板,下面に鏡板を有するたて置円筒形 上面及び下面に鏡板を有するたて置円筒形		・処理水受入タンク１，２ ・共沈タンクＡ，Ｂ，Ｃ ・供給タンクＡ，Ｂ，Ｃ ・反応／凝集槽Ａ，Ｃ ・沈殿槽Ａ，Ｃ ・上澄み水タンクＡ，Ｃ ・多核種吸着塔１～１８Ａ，Ｂ，Ｃ

主要区分	計画の概要		概略構造図	摘要
	基礎・支持構造	主体構造		
(2) 平底たて置円筒形容器	底板を取付ボルトでスキッドに据え付ける。	下面に底板を有するたて置円筒形		・吸着塔入口バッファタンクA，B，C ・移送タンク1，2 ・炭酸ソーダ溶解槽1，2，3 ・炭酸ソーダ貯槽1，2
	b.自立 （非固定）			・サンプルタンクA，B，C

主要区分	計画の概要		概略構造図	摘要
	基礎・支持構造	主体構造		
(3) 三脚たて置円筒形容器	胴を３個の脚で支持し,脚を取付ボルトでスキッドに据え付ける。	上面及び下面に鏡板を有するたて置円筒形		・出口フィルタＡ，Ｂ，Ｃ

主要区分	計画の概要		概略構造図	摘要
	基礎・支持構造	主体構造		
(4) 横軸ポンプ	ポンプはポンプベースに固定され，ポンプベースは取付ボルトによりスキッドに据え付ける。	うず巻形		・供給ポンプ１A，B，C ・供給ポンプ２A，B，C ・循環ポンプA，B，C ・ブースターポンプ１A，B，C ・ブースターポンプ２A，B，C ・移送ポンプ１，２ ・増設多核種除去設備用移送ポンプA，B ・炭酸ソーダ溶解槽１，２，３移送ポンプ ・炭酸ソーダ貯槽１供給ポンプA，B，C ・炭酸ソーダ貯槽２移送ポンプ１，２ ・スラリー循環ポンプA，C ・上澄み水ポンプA，C

主要区分	計画の概要		概略構造図	摘要
	基礎・支持構造	主体構造		
(5) スキッド	スキッド架構を基礎ボルトで基礎に据え付ける。	垂直自立形		・増設多核種除去設備入口弁スキッド ・処理水受入タンク１，２スキッド ・供給ポンプ１スキッド ・共沈タンクＡ，Ｂ，Ｃスキッド ・供給タンクＡ，Ｂ，Ｃスキッド ・供給ポンプ２Ａ，Ｂ，Ｃスキッド ・供給ポンプ２弁Ａ，Ｂ，Ｃスキッド ・クロスフローフィルタＡ，Ｂ，Ｃスキッド ・吸着塔入口バッファタンクＡ，Ｂ，Ｃスキッド ・ブースターポンプ１Ａ，Ｂ，Ｃスキッド ・多核種吸着塔Ａ，Ｂ，Ｃスキッド１～６ ・ブースターポンプ２Ａ，Ｂ，Ｃスキッド ・出口フィルタスキッド ・移送タンク１，２スキッド ・出口移送スキッド ・増設多核種除去設備用移送ポンプスキッド ・炭酸ソーダ製造スキッド１,２,３ ・炭酸ソーダ溶解槽１,２,３移送スキッド ・炭酸ソーダ貯槽１供給スキッド ・炭酸ソーダ貯槽２移送スキッド ・反応／凝集・沈殿槽Ａ，Ｃスキッド ・上澄み水タンクＡ，Ｃスキッド ・凝集沈殿ポンプＡ，Ｃスキッド

b．配管系

a）配管（鋼管）

配管はサポートにより建屋（建屋で支持されるスキッドを含む）等の構造物から支持される。サポートの位置を決定するにあたっては、原子力発電所の耐震設計に用いられている定ピッチスパン法により適正なサポートスパンを確保する。

（3）設計用地震力

項目	耐震クラス	静的地震力		動的地震力	
		水　平	鉛　直	水　平	鉛　直
機器・配管系	B	1.8・C_i *1	――	1/2Sd225 *2	1/2Sd225 *3
	B＋	1.8・C_i	――	1/2Ss450 1/2Sd225	1/2Ss450 1/2Sd225

注記　＊1：C_i は，標準せん断力係数を 0.2 とし，建物・構築物の振動特性，地盤の種類等を考慮して求められる値とする。

＊2：水平方向の地震動に対して共振のおそれのある施設に適用する。

＊3：鉛直方向の地震動に対して共振のおそれのある施設に適用する。

ただし，2021年9月8日以前に認可された機器については，以下の通りとする。

項目	耐震クラス	適用する地震動等		設計用地震力
		水　平	鉛　直	
機器・配管系	B	静的震度 (1.8・C_i *1)	――	設計用地震力は，静的地震力とする。

注記　＊1：C_i は，標準せん断力係数を 0.2 とし，建物・構築物の振動特性，地盤の種類等を考慮して求められる値とする。

（4）荷重の組合せと許容限界

荷重の組合せと許容限界は,原子力発電所耐震設計技術指針(重要度分類･許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補－1984，ＪＥＡＧ４６０１－1987及びＪＥＡＧ４６０１－1991追補版)

（日本電気協会　電気技術基準調査委員会　昭和59年9月,昭和62年8月及び平成3年6月）(以下「ＪＥＡＧ４６０１」という。）及び発電用原子力設備規格（設計・建設規格　ＪＳＭＥＳ　ＮＣ１－2005（2007年追補版含む））（日本機械学会　2005年9月，2007年9月）（以下「設計・建設規格」という。）に準拠する。

記号の説明

Ｄ　　：死荷重

Ｐd　：当該設備に設計上定められた最高使用圧力による荷重

Ｍd　：当該設備に設計上定められた機械的荷重

S_B　：Ｂクラスの設備に適用される地震動より求まる地震力又はＢクラス設備に適用される静的地震力

S_{B+}　：Ｂ＋クラスの設備に適用される地震動より求まる地震力又はＢ＋クラス設備に適用される静的地震力

B_AS　：Ｂクラス設備（Ｂ＋クラス設備含む）の地震時許容応力状態

S_y　：設計降伏点　　設計・建設規格　付録材料図表 Part5 表 8 に規定される値

S_u　：設計引張強さ　　設計・建設規格　付録材料図表 Part5 表 9 に規定される値

Ｓ　　：許容引張応力　　設計・建設規格　付録材料図表 Part5 表 5 又は表 6 に規定される値。

f_t　：許容引張応力　　支持構造物（ボルト等を除く。）に対して設計・建設規格 SSB-3121.1 により規定される値。ボルト等に対して設計・建設規格 SSB-3131 により規定される値。

f_s　：許容せん断応力　同　　上

f_c　：許容圧縮応力　支持構造物（ボルト等を除く。）に対して設計・建設規格 SSB-3121.1 により規定される値。

f_b　：許容曲げ応力　同　　上

τ_b　：取付ボルトに生じるせん断応力

ＡＳＳ：オーステナイト系ステンレス鋼

ＨＮＡ：高ニッケル合金

また，「供用状態Ｃ」とは，「対象とする機器等が構造不連続部等においては大変形を生じてもよい」と設計仕様書等で規定された圧力及び機械的荷重が負荷された条件下にある状態をいう。

a．容器

耐震クラス	荷重の組合せ	供用状態（許容応力状態）	許容限界		適用範囲
			一次一般膜応力	一次膜応力＋一次曲げ応力	
B B＋	D＋P_d＋M_d＋S_B ただし，S_Bについては適用する耐震評価方針に応じてS_{B+}に読み替える。	C（B_AS）	S_yと0.6･S_uの小さい方。 ただし，ＡＳＳ及びＨＮＡについては上記の値と1.2･Ｓのうち大きい方とする。	S_y ただし，ＡＳＳ及びＨＮＡについてはS_yと1.2･Ｓのうち大きい方とする。	・処理水受入タンク１，２ ・共沈タンクＡ，Ｂ，Ｃ ・供給タンクＡ，Ｂ，Ｃ ・多核種吸着塔１～１８Ａ，Ｂ，Ｃ ・吸着塔入口バッファタンクＡ，Ｂ，Ｃ ・移送タンク１，２ ・炭酸ソーダ貯槽１，２ ・反応／凝集槽Ａ，Ｃ ・沈殿槽Ａ，Ｃ ・上澄み水タンクＡ，Ｃ

b．支持構造物（注1，注2）

耐震クラス	荷重の組合せ	供用状態（許容応力状態）	許容限界（ボルト等以外）					許容限界（ボルト等）			適用範囲
			一次応力					一次応力			
			引張	せん断	圧縮	曲げ	組合せ	引張	せん断	組合せ	
B B＋	D＋P_d＋M_d＋S_B ただし，S_Bについては適用する耐震評価方針に応じてS_{B+}に読み替える。	C （B_AS）	1.5･f_t	1.5･f_s	1.5･f_c	1.5･f_b	1.5･f_t	1.5･f_t	1.5･f_s	Min{1.5･f_t, (2.1･f_t－1.6･τ_b)}	・基礎ボルト ・取付ボルト ・スカート ・脚

注1： 耐圧部に溶接により直接取り付けられる支持構造物であって，耐圧部と一体の応力解析を行うものについては，耐圧部と同じ許容応力とする。

注2： 鋼構造設計規準（日本建築学会　2005年改定）等の幅厚比の規定を満足する。

２．耐震性評価

本評価は，「付録１　スカート支持たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」，「付録２　平底たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」及び「付録３　横軸ポンプ及びスキッドの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づいて，以下の耐震性の計算を行う。また評価方法が同付録に依らないものは以下に特記する。

（１）処理水受入タンク１，２
（２）共沈タンクＡ，Ｂ，Ｃ
（３）供給タンクＡ，Ｂ，Ｃ
（４）吸着塔入口バッファタンクＡ，Ｂ，Ｃ
（５）サンプルタンクＡ，Ｂ，Ｃ
（６）多核種吸着塔１～５Ａ，Ｂ，Ｃ
（７）多核種吸着塔６～１４Ａ，Ｂ，Ｃ
（８）多核種吸着塔１５～１８Ａ，Ｂ，Ｃ
（９）移送タンク１，２
(10) 供給ポンプ１Ａ，Ｂ，Ｃ
(11) 供給ポンプ２Ａ，Ｂ，Ｃ
(12) 循環ポンプＡ，Ｂ，Ｃ
(13) ブースターポンプ１Ａ，Ｂ，Ｃ
(14) ブースターポンプ２Ａ，Ｂ，Ｃ
(15) 移送ポンプ１，２
(16) 増設多核種除去設備用移送ポンプＡ，Ｂ
(17) 出口フィルタＡ，Ｂ，Ｃ
・・・・・・・・・・・・「JPI-7R-71-96 石油学会規格 竪形容器用レグ」に準拠し評価する。
(18) 増設多核種除去設備入口弁スキッド
(19) 処理水受入タンク１，２スキッド
(20) 供給ポンプ１スキッド
(21) 共沈タンクＡ，Ｂ，Ｃスキッド
(22) 供給タンクＡ，Ｂ，Ｃスキッド
(23) 供給ポンプ２Ａ，Ｂ，Ｃスキッド
(24) 供給ポンプ２弁Ａ，Ｂ，Ｃスキッド
(25) クロスフローフィルタＡ，Ｂ，Ｃスキッド
(26) 吸着塔入口バッファタンクＡ，Ｂ，Ｃスキッド
(27) ブースターポンプ１Ａ，Ｂ，Ｃスキッド
(28) 多核種吸着塔Ａ，Ｂ，Ｃスキッド１
(29) 多核種吸着塔Ａ，Ｂ，Ｃスキッド２
(30) 多核種吸着塔Ａ，Ｂ，Ｃスキッド３
(31) 多核種吸着塔Ａ，Ｂ，Ｃスキッド４
(32) 多核種吸着塔Ａ，Ｂ，Ｃスキッド５
(33) 多核種吸着塔Ａ，Ｂ，Ｃスキッド６
(34) ブースターポンプ２Ａ，Ｂ，Ｃスキッド

(35) 出口フィルタスキッド
(36) 移送タンク１，２スキッド
(37) 出口移送スキッド
(38) 増設多核種除去設備用移送ポンプスキッド
(39)主配管‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥配管標準支持間隔評価(定ピッチスパン法)により評価する。
(40) 炭酸ソーダ溶解槽１，２，３
(41) 炭酸ソーダ貯槽１，２
(42) 炭酸ソーダ溶解槽１，２，３移送ポンプ
(43) 炭酸ソーダ貯槽１供給ポンプＡ，Ｂ，Ｃ
(44) 炭酸ソーダ製造スキッド１，２，３
(45) 炭酸ソーダ溶解槽１，２，３移送スキッド
(46) 炭酸ソーダ貯槽１供給スキッド
(47) 炭酸ソーダ貯槽２移送ポンプ１，２
(48) 炭酸ソーダ貯槽２移送スキッド
(49) 反応／凝集槽Ａ，Ｃ
(50) 沈殿槽Ａ，Ｃ
(51) 上澄み水タンクＡ，Ｃ
(52) スラリー循環ポンプＡ，Ｃ
(53) 上澄み水ポンプＡ，Ｃ
(54) 反応／凝集・沈殿槽Ａ，Ｃスキッド
(55) 上澄み水タンクＡ，Ｃスキッド
(56) 凝集沈殿ポンプＡ，Ｃスキッド
(57) 主配管（固有振動数 20Hz 以上）
‥‥‥配管標準支持間隔評価（定ピッチスパン法）により評価する。

なお，機器（配管の一部を除く）の固有周期について確認した結果，固有振動数が 20Hz 以上のため，以下では剛体として扱う。

添付資料３では，設計 GL. 0m= T.P.36.2m(※)とする。

(※) 震災後の地盤沈下量(-709mm)と O.P.から T.P.への換算値(-727mm)を用いて，下式に基づき換算している。

＜換算式＞ T.P.=旧 O.P.-1,436mm

（1）処理水受入タンク

a．条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計G.L.（m）	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)	比重
処理水受入タンク 1，2	B	増設多核種除去設備建屋 T.P.36.2	C_H＝0.36	—	静水頭	60	40	1.00

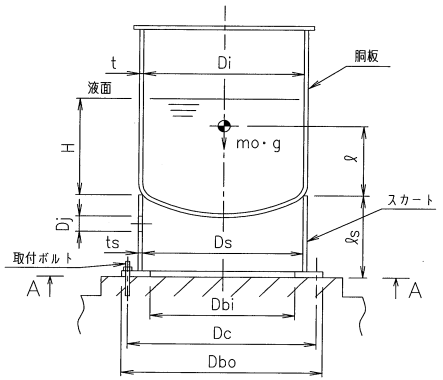
b．評価結果

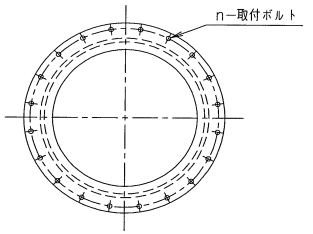
（単位：MPa）

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
胴板	SS400	組合せ	σ_o＝9	S_a＝233
スカート	SS400	組合せ	σ_s＝12	f_t＝245
		圧縮と曲げの組合せ（坐屈の評価）	$\frac{\eta \cdot \sigma_{S1}}{f_C} + \frac{\eta \cdot \sigma_{S2}}{f_b} \leqq 1$	
			0.07（無次元）	
取付ボルト	SS400	引張り	σ_b＝－	f_{ts}＝176*
		せん断	τ_b＝13	f_{sb}＝135

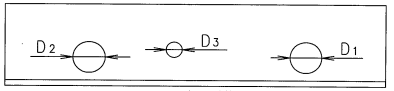
すべて許容応力以下である。

注記 ＊：（3.2.3.2）式より算





A－A矢視図



スカート開口部の形状を示す。

（２）共沈タンク

ａ．条件

機　器　名　称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計G.L.（m）	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	最高使用圧力（MPa）	最高使用温度（℃）	周囲環境温度（℃）	比　　重
共沈タンクＡ，Ｂ，Ｃ	Ｂ	増設多核種除去設備建屋 T.P.36.2	C_H＝0.36	―	静水頭	60	40	1.01

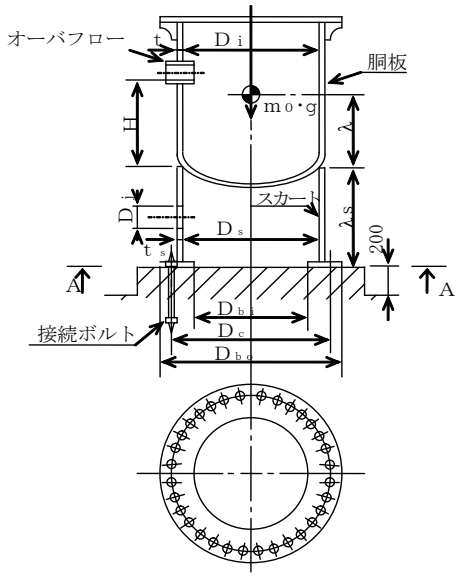
ｂ．評価結果

（単位：MPa）

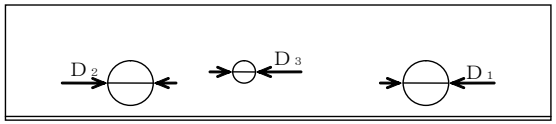
部　　材	材　　料	応　　力	算　出　応　力	許　容　応　力
胴板	ＳＳ４００	組合せ	σ_0＝7	S_a＝233
スカート	ＳＳ４００	組　合　せ	σ_s＝12	f_t＝245
		圧縮と曲げの組合せ（座屈の評価）	$\frac{\eta\cdot\sigma_{s1}}{f_c}+\frac{\eta\cdot\sigma_{s2}}{f_b}\leqq 1$	
			0.1（無次元）	
接続ボルト	ＳＳ４００	引　張　り	σ_b＝6	f_{ts}＝176＊
		せ　ん　断	τ_b＝6	f_{sb}＝135

注記 ＊：（3.2.3.2）式より算出

すべて許容応力以下である。



Ａ～Ａ矢視図



スカート開口部の形状を示す。

（3）供給タンク

a．条件

機　器　名　称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計G.L.（m）	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)	比　重
供給タンクA，B，C	B	増設多核種除去設備建屋 T.P.36.2	C_H＝０．３６	—	静水頭	60	40	1.17

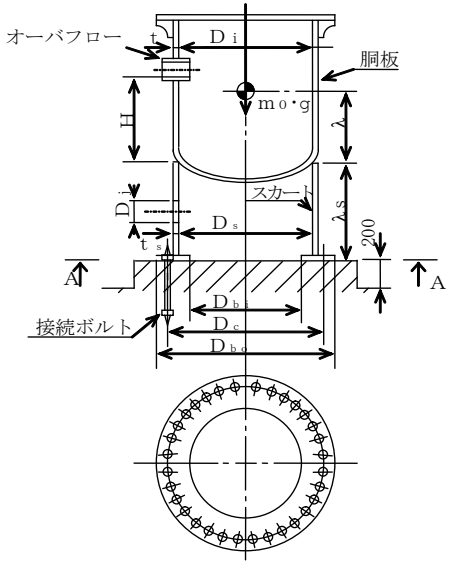
b．評価結果

（単位：MPa）

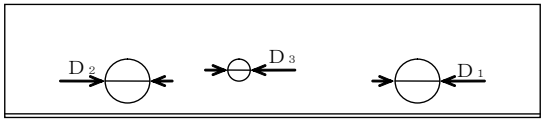
部　材	材　料	応　力	算出応力	許容応力
胴　板	ＳＳ４００	組合せ	σ_0＝7	S_a＝233
スカート	ＳＳ４００	組合せ	σ_s＝11	f_t＝245
		圧縮と曲げの組合せ（座屈の評価）	$\frac{\eta\cdot\sigma_{s1}}{f_c}+\frac{\eta\cdot\sigma_{s2}}{f_b}\leqq 1$	
			0.1（無次元）	
接続ボルト	ＳＳ４００	引張り	σ_b＝4	f_{ts}＝176＊
		せん断	τ_b＝6	f_{sb}＝135

すべて許容応力以下である。

注記 ＊：（3.2.3.2）式より算出



A～A矢視図



スカート開口部の形状を示す。

（4）吸着塔入口バッファタンク

a．条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計G.L.（m）	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)	比重
吸着塔入口バッファタンク A，B，C	B	増設多核種除去設備建屋 T.P.36.2	C_H＝0.36	—	静水頭	60	40	1.00

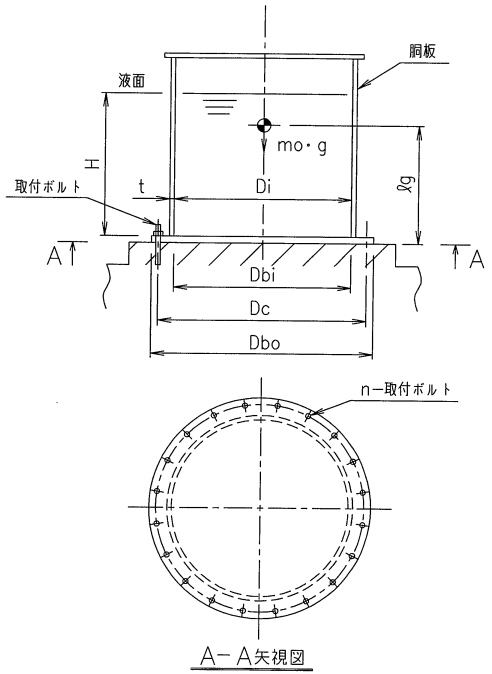
b．評価結果

（単位：MPa）

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
胴板	SUS316L	組合せ	σ_0＝6	S_a＝163
		圧縮と曲げの組合せ（坐屈の評価）	$\frac{\eta\cdot(\sigma_{x2}+\sigma_{x3})}{f_c}+\frac{\eta\cdot\sigma_{x4}}{f_b}\leqq 1$	
			0.03（無次元）	
取付ボルト	SS400	引張り	σ_b＝－	f_{ts}＝176*
		せん断	τ_b＝8	f_{sb}＝135

すべて許容応力以下である。

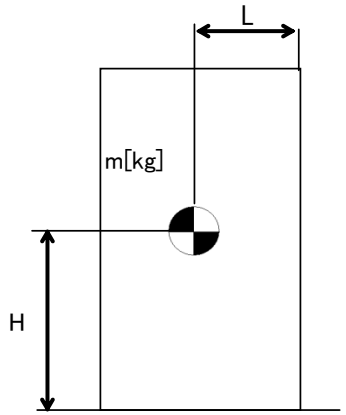
注記 ＊：（3.2.3.2）式より算出



A－A矢視図

（5）サンプルタンク

地震による転倒モーメントと自重による安定モーメントを算出し，それらを比較することにより転倒評価を実施した。評価の結果，地震による転倒モーメントは自重による安定モーメントより小さいことから，転倒しないことを確認した。



m ： 機器質量
g ： 重力加速度
H ： 据付面からの重心までの距離
L ： 転倒支点から機器重心までの距離
C_H ： 水平方向設計震度

地震による転倒モーメント：M_1[N・m]=m×g×C_H×H
自重による安定モーメント：M_2[N・m]=m×g×L

評価結果

機器名称	評価部位	評価項目	水平地震動	算出値	許容値	単位
サンプルタンクＡ，Ｂ，Ｃ	本体	転倒	0.36	3.1×10^4	7.1×10^4	kN･m

（6）多核種吸着塔１～５

a．条件

機　器　名　称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計G.L.（m）	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)	比　　重
多核種吸着塔１～５ A，B，C	B	~~増設多核種除去設備建屋~~ T.P.36.2	C_H＝0.36	―	1.37	60	40	―

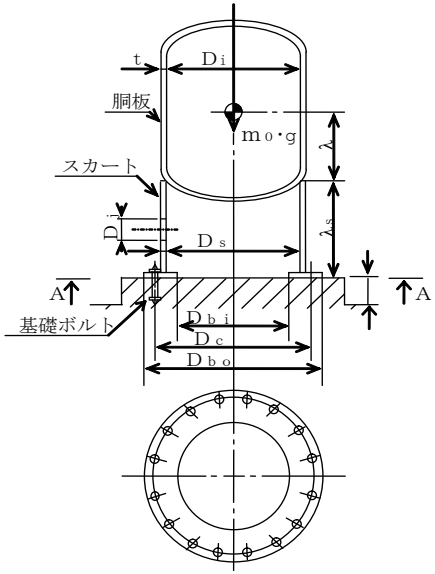
b．評価結果

（単位：MPa）

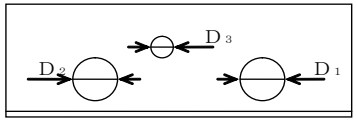
部　　材	材　　料	応　　力	算　出　応　力	許　容　応　力
胴　　板	SUS316L	組　合　せ	σ_0＝41	S_a＝163
スカート	SUS304	組　合　せ	σ_s＝7	f_t ＝205
		圧縮と曲げの組合せ（座屈の評価）	$\frac{\eta \cdot \sigma_{s1}}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leqq 1$	
			0.03（無次元）	
基礎ボルト	SUS316L	引　張　り	σ_b＝2	f_{ts}＝131*
		せ　ん　断	τ_b＝4	f_{sb}＝101

すべて許容応力以下である。

注記　＊：（3.2.3.2）式より算出



A～A矢視図



スカート開口部の形状を示す。

（7）多核種吸着塔６～１４

ａ．条件

機　器　名　称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計G.L.（m）	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)	比　重
多核種吸着塔６～１４ A，B，C	B	増設多核種除去設備建屋 T.P.36.2	C_H＝0.36	—	1.37	60	40	－

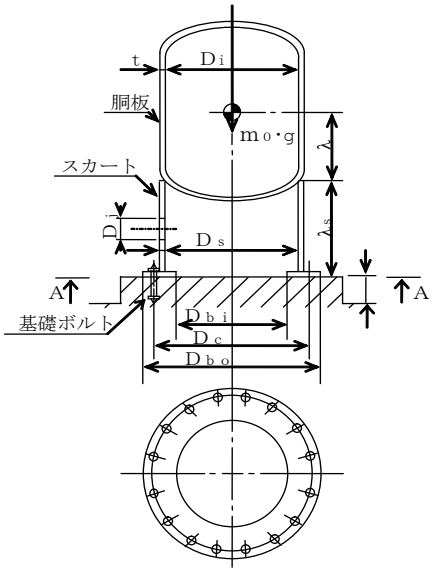
ｂ．評価結果

（単位：MPa）

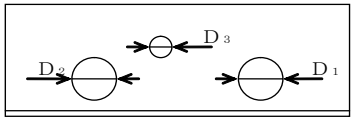
部　材	材　料	応　力	算出応力	許容応力
胴　板	SM490A	組合せ	σ_o＝46	S_a＝313
スカート	SM490A	組合せ	σ_s＝14	f_t ＝325
		圧縮と曲げの組合せ（座屈の評価）	$\frac{\eta \cdot \sigma_{s1}}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leqq 1$	
			0.05（無次元）	
基礎ボルト	SS400	引張り	σ_b＝3	f_{ts}＝161*
		せん断	τ_b＝4	f_{sb}＝124

すべて許容応力以下である。

注記　＊：（3.2.3.2）式より算出



Ａ～Ａ矢視図



スカート開口部の形状を示す。

（8）多核種吸着塔１５～１８

a．条件

機　器　名　称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計G.L.（m）	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)	比　重
多核種吸着塔１５～１８ A，B，C	B	増設多核種除去設備建屋 T.P.36.2	C_H＝0.36	—	1.37	60	40	－

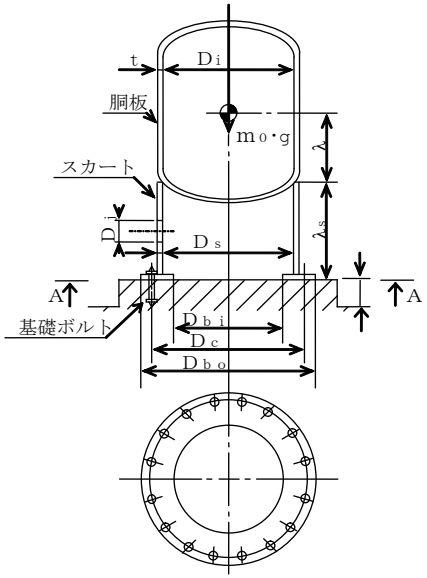
b．評価結果

（単位：MPa）

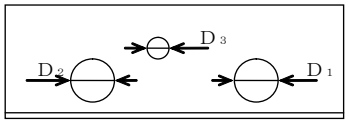
部　材	材　料	応　力	算出応力	許容応力
胴　板	SM490A	組合せ	σ_o＝59	S_a＝313
スカート	SM490A	組合せ	σ_s＝8	f_t＝325
		圧縮と曲げの組合せ（座屈の評価）	$\frac{\eta\cdot\sigma_{s1}}{f_c}+\frac{\eta\cdot\sigma_{s2}}{f_b}\leqq 1$	
			0.03（無次元）	
基礎ボルト	SS400	引張り	σ_b＝2	f_{ts}＝161*
		せん断	τ_b＝7	f_{sb}＝124

すべて許容応力以下である。

注記　＊：（3.2.3.2）式より算出



A～A矢視図



スカート開口部の形状を示す。

（9）移送タンク

a．条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計 G.L.（m）	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)	比重
移送タンク１，２	B	増設多核種除去設備建屋 T.P.36.2	C_H＝0.36	—	静水頭	60	40	1.00

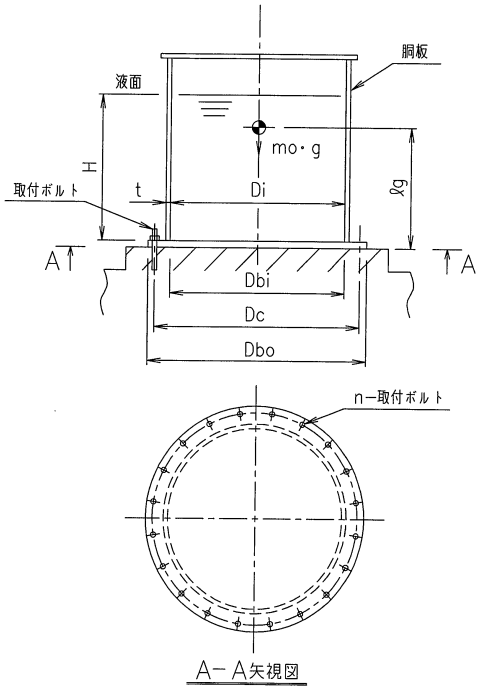
b．評価結果

（単位：MPa）

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
胴板	SS400	組合せ	σ_0＝8	S_a＝233
		圧縮と曲げの組合せ（坐屈の評価）	$\frac{\eta\cdot(\sigma_{x2}+\sigma_{x3})}{f_c}+\frac{\eta\cdot\sigma_{x4}}{f_b}\leqq 1$	
			0.03（無次元）	
取付ボルト	SS400	引張り	σ_b＝－	f_{ts}＝176*
		せん断	τ_b＝14	f_{sb}＝135

注記 ＊：（3.2.3.2）式より算出

すべて許容応力以下である。



A－A矢視図

（１０）供給ポンプ１

a．条件

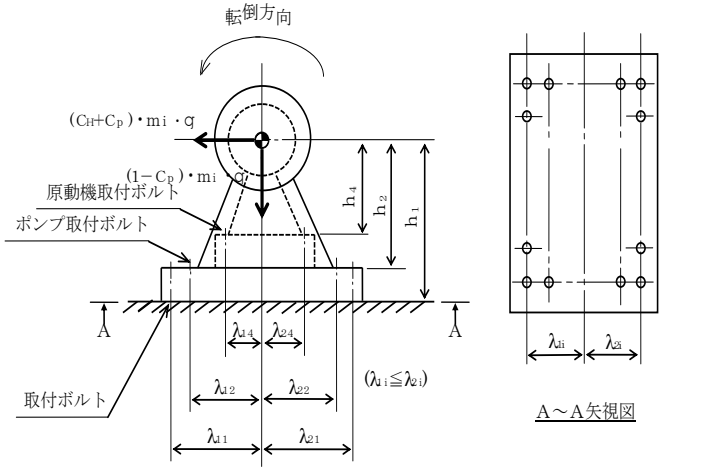
機　器　名　称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計 G.L.（m）	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	ポンプ振動による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
供給ポンプ１ A，B，C	B	増設多核種除去設備建屋 T.P.36.2	C_H＝0.36	—	Cp＝0.18	60	40

b．評価結果

(単位：MPa)

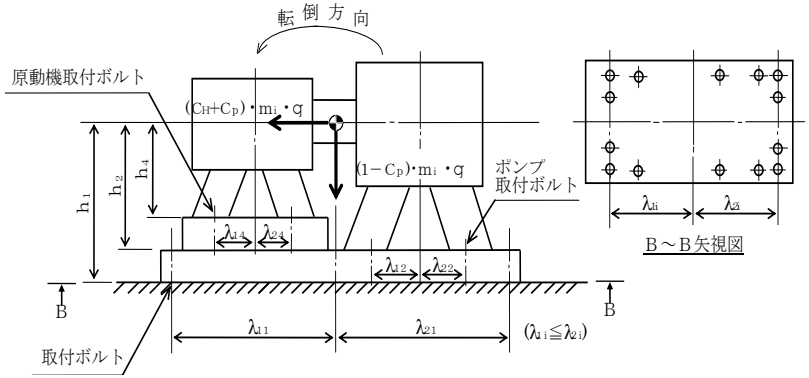
部　　材	材　料	応力	算出応力	許容応力
取付ボルト （ｉ＝１）	SUS304	引張り	—	f_{ts1}＝153*
		せん断	τ_{b1}＝2	f_{sb1}＝118
ポンプ取付ボルト （ｉ＝２）	SUS304	引張り	σ_{b2}＝6	f_{ts2}＝153*
		せん断	τ_{b2}＝1	f_{sb2}＝118
原動機取付ボルト （ｉ＝４）	SUS304	引張り	σ_{b4}＝1	f_{ts4}＝153*
		せん断	τ_{b4}＝1	f_{sb4}＝118

すべて許容応力以下である。



A～A矢視図

注記＊：(3.1.2) 式より算出



B～B矢視図

（１１）供給ポンプ２

a．条件

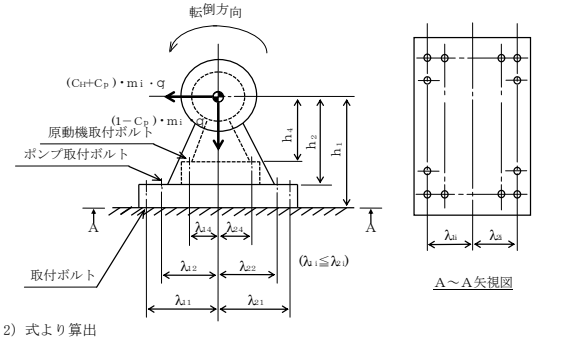
機　器　名　称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ設計G.L.（m）	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	ポンプ振動による震度	最高使用温度（℃）	周囲環境温度（℃）
供給ポンプ２ A，B，C	B	増設多核種除去設備建屋 T.P.36.2	C_H＝0.36	—	Cp＝0.26	60	40

b．評価結果

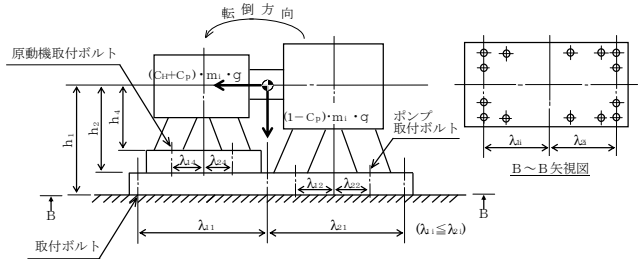
（単位：MPa）

部　材	材　料	応力	算出応力	許容応力
取付ボルト （ｉ＝１）	SUS304	引張り	—	f_{ts1}＝153*
		せん断	τ_{b1}＝2	f_{sb1}＝118
ポンプ取付ボルト （ｉ＝２）	SUS304	引張り	σ_{b2}＝7	f_{ts2}＝153*
		せん断	τ_{b2}＝1	f_{sb2}＝118
原動機取付ボルト （ｉ＝４）	SUS304	引張り	σ_{b4}＝1	f_{ts4}＝153*
		せん断	τ_{b4}＝2	f_{sb4}＝118

すべて許容応力以下である。



注記＊：（3.1.2）式より算出



（１２）循環ポンプ

ａ．条件

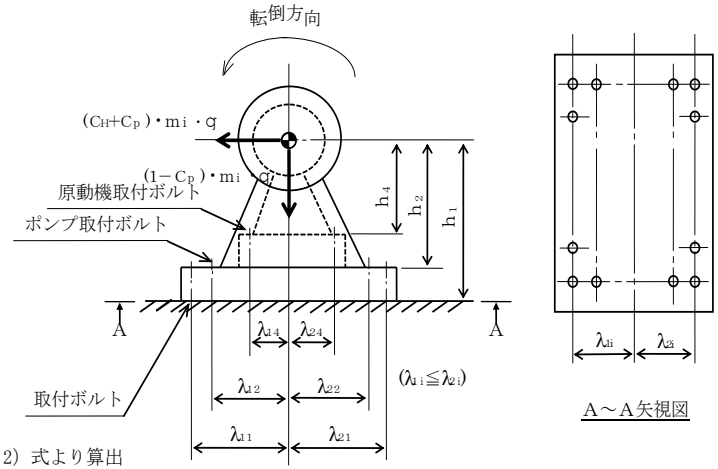
機　器　名　称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計 G.L.（m）	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	ポンプ振動による震度	最高使用温度（℃）	周囲環境温度（℃）
循環ポンプＡ，Ｂ，Ｃ	Ｂ	増設多核種除去設備建屋 T.P.36.2	C_H＝0.36	—	Cp＝0.10	60	40

ｂ．評価結果

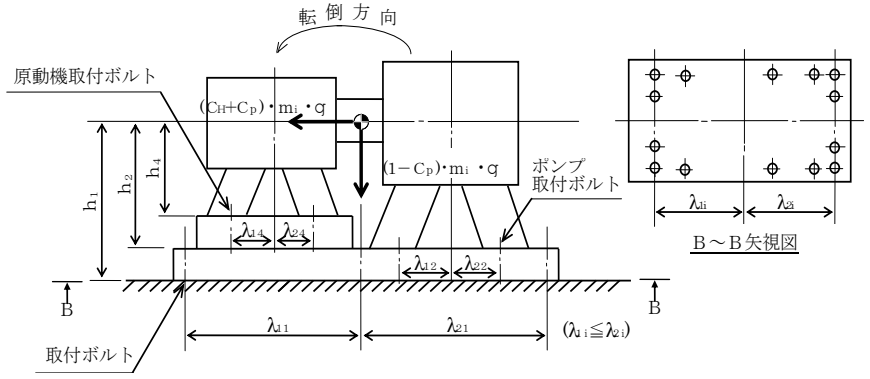
（単位：MPa）

部　　材	材　料	応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（ｉ＝１）	SUS304	引張り	－	f_{ts1}＝153*
		せん断	τ_{b1}＝5	f_{sb1}＝118
ポンプ取付ボルト（ｉ＝２）	SUS304	引張り	σ_{b2}＝4	f_{ts2}＝153*
		せん断	τ_{b2}＝1	f_{sb2}＝118
原動機取付ボルト（ｉ＝４）	SUS304	引張り	σ_{b4}＝1	f_{ts4}＝153*
		せん断	τ_{b4}＝3	f_{sb4}＝118

すべて許容応力以下である。



注記＊：（3.1.2）式より算出



（１３）ブースタポンプ１

ａ．条件

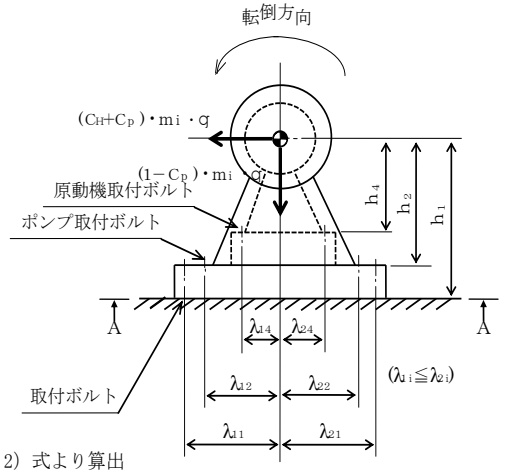
機　器　名　称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計G.L.（m）	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	ポンプ振動による震度	最高使用温度（℃）	周囲環境温度（℃）
ブースターポンプ１A，B，C	B	増設多核種除去設備建屋 T.P.36.2	C_H＝0.36	—	Cp＝0.26	60	40

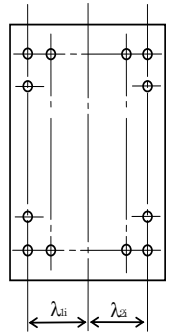
ｂ．評価結果

（単位：MPa）

部　材	材　料	応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（ｉ＝１）	SUS304	引張り	σ_{b1}＝1	f_{ts1}＝153*
		せん断	τ_{b1}＝3	f_{sb1}＝118
ポンプ取付ボルト（ｉ＝２）	SUS304	引張り	σ_{b2}＝11	f_{ts2}＝153*
		せん断	τ_{b2}＝2	f_{sb2}＝118
原動機取付ボルト（ｉ＝４）	SUS304	引張り	σ_{b4}＝1	f_{ts4}＝153*
		せん断	τ_{b4}＝2	f_{sb4}＝118

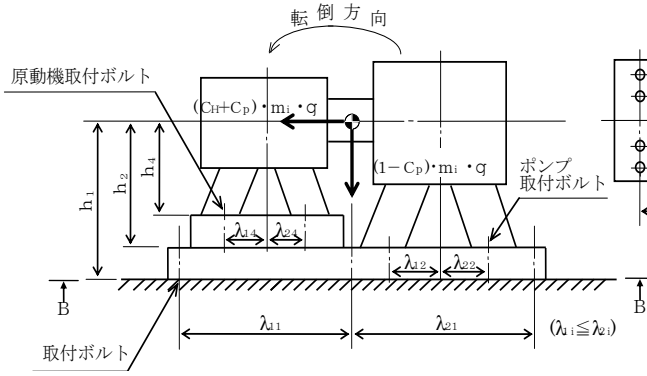
すべて許容応力以下である。

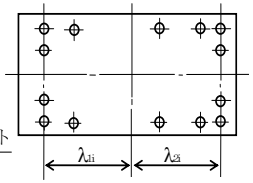




A～A矢視図

注記＊：（3.1.2）式より算出





B～B矢視図

（１４）ブースタポンプ２

ａ．条件

機　器　名　称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計G.L.（m）	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	ポンプ振動による震度	最高使用温度（℃）	周囲環境温度（℃）
ブースターポンプ２ A，B，C	B	増設多核種除去設備建屋 T.P.36.2	C_H＝0.36	—	Cp＝0.26	60	40

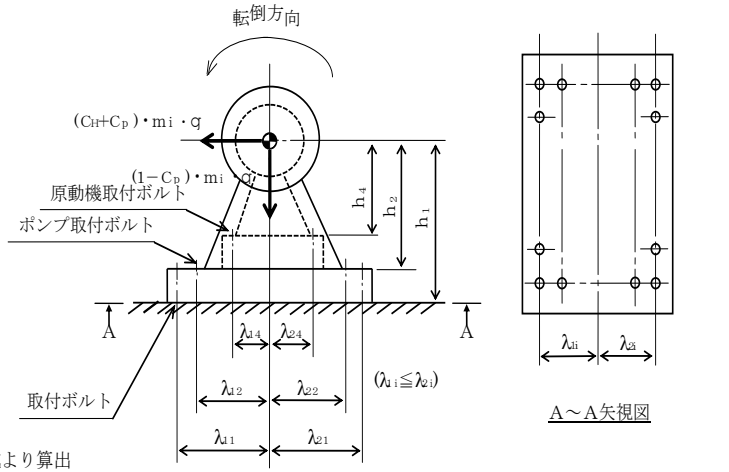
ｂ．評価結果

（単位：MPa）

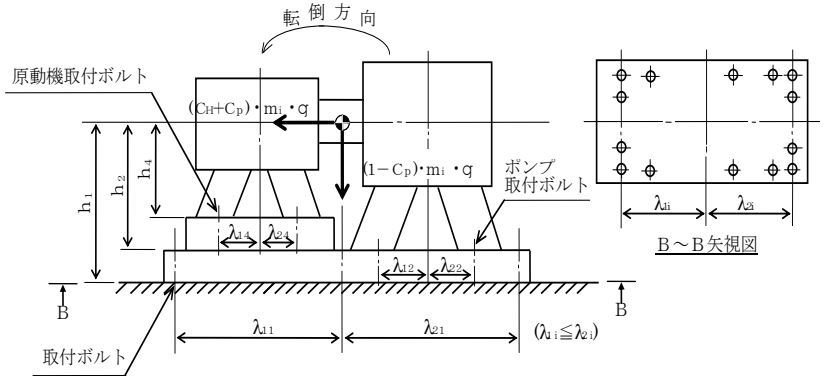
部　材	材　料	応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（ｉ＝１）	SUS304	引張り	σ_{b1}＝1	f_{ts1}＝153*
		せん断	τ_{b1}＝3	f_{sb1}＝118
ポンプ取付ボルト（ｉ＝２）	SUS304	引張り	σ_{b2}＝11	f_{ts2}＝153*
		せん断	τ_{b2}＝2	f_{sb2}＝118
原動機取付ボルト（ｉ＝４）	SUS304	引張り	σ_{b4}＝1	f_{ts4}＝153*
		せん断	τ_{b4}＝2	f_{sb4}＝118

すべて許容応力以下である。

注記＊：（3.1.2）式より算出



A～A矢視図



B～B矢視図

（１５）移送ポンプ

a．条件

機　器　名　称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計G.L.（m）	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	ポンプ振動による震度	最高使用温度（℃）	周囲環境温度（℃）
移送ポンプ１，２	B	増設多核種除去設備建屋 T.P.36.2	C_H＝0.36	—	Cp＝0.26	60	40

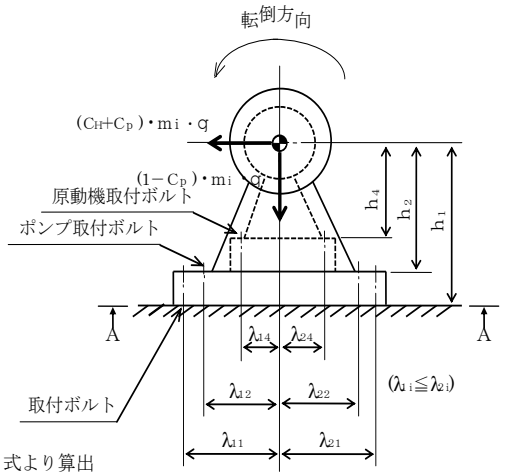
b．評価結果

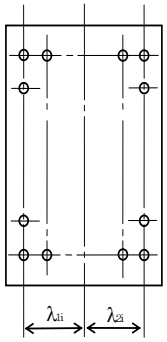
（単位：MPa）

部　材	材　料	応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（ｉ＝１）	SUS304	引張り	－	f_{ts1}＝153*
		せん断	τ_{b1}＝3	f_{sb1}＝118
ポンプ取付ボルト（ｉ＝２）	SUS304	引張り	σ_{b2}＝7	f_{ts2}＝153*
		せん断	τ_{b2}＝1	f_{sb2}＝118
原動機取付ボルト（ｉ＝４）	SUS304	引張り	σ_{b4}＝1	f_{ts4}＝153*
		せん断	τ_{b4}＝3	f_{sb4}＝118

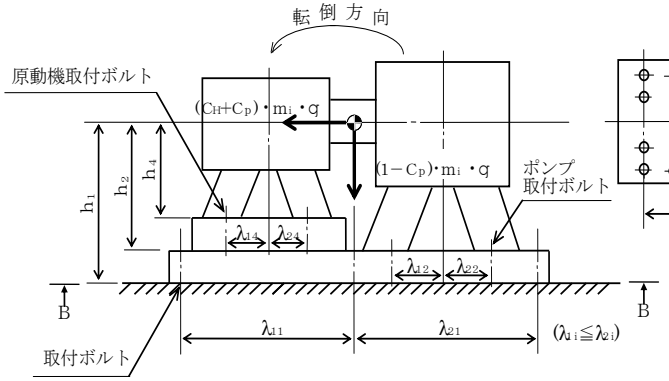
すべて許容応力以下である。

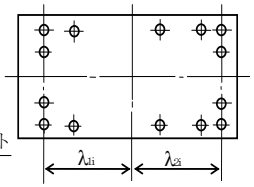
注記＊：（3.1.2）式より算出





A～A矢視図





B～B矢視図

（１６）増設多核種除去設備用移送ポンプ

ａ．条件

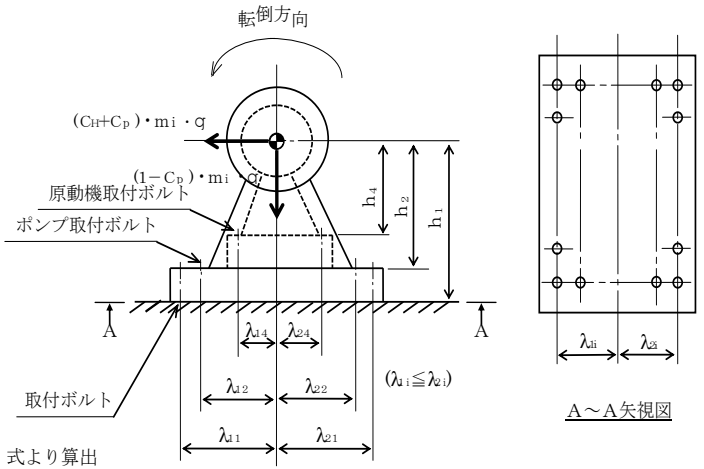
機　器　名　称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計G.L.（m）	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	ポンプ振動による震度	最高使用温度（℃）	周囲環境温度（℃）
増設多核種除去設備用移送ポンプA，B	B	増設多核種除去設備建屋 T.P.36.2	C_H＝0.36	—	Cp＝0.18	40	40

ｂ．評価結果

（単位：MPa）

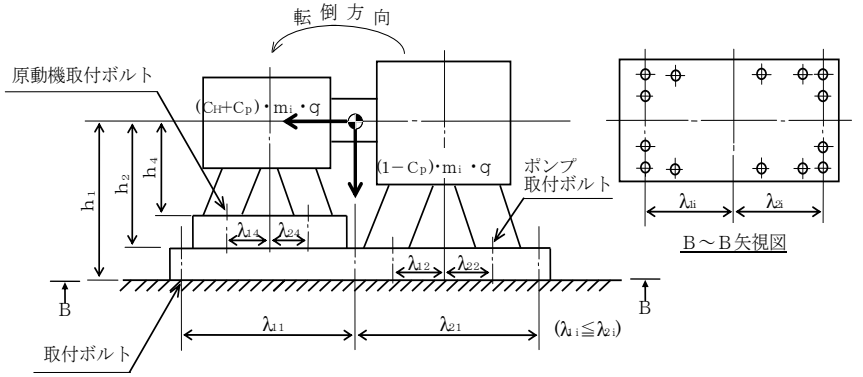
部　　材	材　料	応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（ｉ＝１）	SUS304	引張り	σ_{b1}＝1	f_{ts1}＝153*
		せん断	τ_{b1}＝4	f_{sb1}＝118
ポンプ取付ボルト（ｉ＝２）	SUS304	引張り	σ_{b2}＝11	f_{ts2}＝153*
		せん断	τ_{b2}＝2	f_{sb2}＝118
原動機取付ボルト（ｉ＝４）	SUS304	引張り	σ_{b4}＝3	f_{ts4}＝153*
		せん断	τ_{b4}＝3	f_{sb4}＝118

すべて許容応力以下である。



A～A矢視図

注記＊：（3.1.2）式より算出

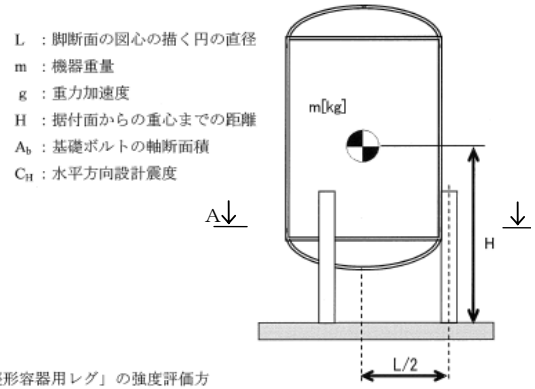


B～B矢視図

（１７）出口フィルタ

ａ．条件

機　器　名　称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計 G.L.（m）	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
出口フィルタＡ，Ｂ，Ｃ	B	増設多核種除去設備建屋 T.P.36.2	C_H＝0.36	—



ｂ．評価方法

三脚たて置き円筒型容器

(a)基礎ボルトの強度評価

耐震設計技術規程並びに「JPI-7R-71-96 石油学会規格 竪形容器用レグ」の強度評価方法に準拠して評価を実施した。評価の結果，基礎ボルトの強度が確保されることを確認した 。

基礎ボルトの引張応力：$\sigma_b = \frac{1}{3\times A_b}\left(\frac{4\times m\times g\times C_H\times H}{L} - m\times g\times(1-C_V)\right)$

基礎ボルトのせん断応力：$\tau_b = \frac{1}{3\times A_b}\left(m\times g\times C_H - 0.1\times m\times g\times(1-C_V)\right)$

(b)脚の強度評価

耐震設計技術規程並びに「JPI-7R-71-96 石油学会規格 竪形容器用レグ」の強度評価方法に準拠して，脚の強度評価を実施した。

組合せ応力σ_sを下記の通り評価し，許容値を下回ることを確認した 。

$$\sigma_s = \sqrt{(\sigma_1+\sigma_2+\sigma_3)^2 + 3\cdot\tau^2}$$

σ_1：脚の質量による軸方向応力
σ_2：脚の鉛直方向地震による軸方向応力
σ_3：脚の曲げモーメントによる軸方向応力
τ：地震による脚に生じるせん断応力

また，座屈評価を下記の式により行い，脚に座屈が発生しないことを確認した 。

$$\frac{\eta\cdot(\sigma_1+\sigma_2)}{f_c} + \frac{\eta\cdot\sigma_3}{f_b} \leqq 1$$

σ_1：脚の質量による軸方向応力
σ_2：脚の鉛直方向地震による軸方向応力
σ_3：脚の曲げモーメントによる軸方向応力
f_c：軸圧縮荷重に対する許容座屈応力
f_b：曲げモーメントに対する許容座屈応力
η：座屈応力に対する安全率

(c)胴板の強度評価

耐震設計技術規程並びに「JPI-7R-71-96 石油学会規格 竪形容器用レグ」の強度評価方法に準拠して，胴板の強度評価を実施した。

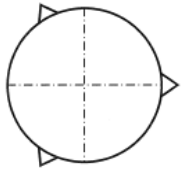
一次一般膜応力σ_0を下記の通り評価し，許容値を下回ることを確認した 。

$$\sigma_0 = Max\{\sigma_{0\phi}, \sigma_{0x}\}$$

$$\sigma_{0x} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x5} + \sigma_{x7}$$

$$\sigma_{0\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 7}$$

$\sigma_{0\phi}$：一次一般膜応力（周方向）
σ_{0x}：一次一般膜応力（軸方向）
$\sigma_{\phi 1}$：内圧による周方向応力
σ_{x1}：内圧による軸方向応力
σ_{x2}：運転時質量による軸方向応力
σ_{x5}：地震力により生じる転倒モーメントによる軸方向応力
$\sigma_{\phi 7}$：胴の鉛直方向地震による周方向応力
σ_{x7}：胴の鉛直方向地震による軸方向応力



Ａ～Ａ矢視図

ｃ．評価結果

（単位：MPa）

部　材	材　料	応　力	算出応力	許容応力
胴　板	SUS316L	一次一般膜	σ_0＝37	163
脚	SUS304	組合せ	σ_s＝57	205
		座屈	0.29（無次元）	1（無次元）
基礎ボルト	SUS304	引張り	σ_b＝37	153
		せん断	τ_b＝3	118

すべて許容応力以下である。

（１８）増設多核種除去設備入口弁スキッド

a．条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計G.L.（m）	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	ポンプ振動による震度	最高使用温度（℃）	周囲環境温度（℃）
増設多核種除去設備入口弁スキッド	B	増設多核種除去設備建屋 T.P.36.2	C_H＝0.36	—	—	60	40

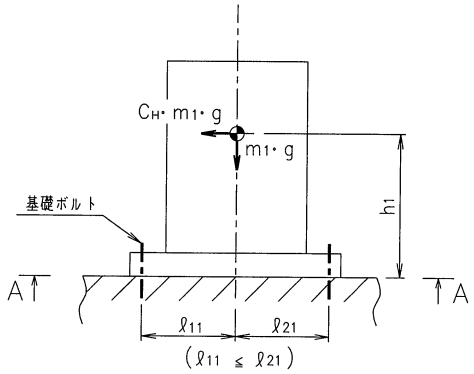
b．評価結果

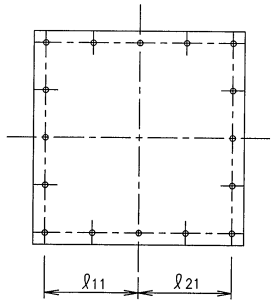
（単位：MPa）

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト（ｉ＝１）	SS400	引張り	σ_{b1}＝—	30　＊
		せん断	τ_{b1}＝16	38　＊

すべて許容応力以下である。

注記　＊：後打ちアンカー耐力による。





A－A矢視図

（１９）処理水受入タンク１，２スキッド

ａ．条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計 G.L.（m）	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	ポンプ振動による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
処理水受入タンク１，２スキッド	B	増設多核種除去設備建屋 T.P.36.2	C_H＝ 0.36	－	－	60	40

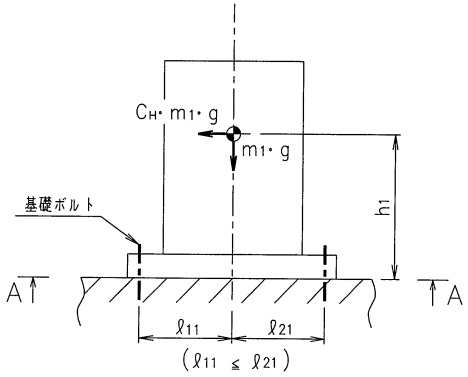
ｂ．評価結果

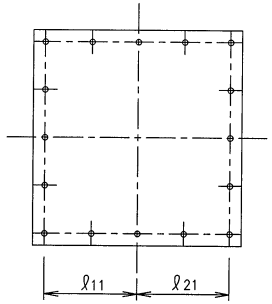
（単位：MPa）

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト（ｉ＝１）	SS400	引張り	σ_{b1}＝－	65 ＊
		せん断	τ_{b1}＝ 24	70 ＊

すべて許容応力以下である。

注記 ＊：後打ちアンカー耐力による。





A－A矢視図

（２０）供給ポンプ１スキッド

a．条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計G.L.（m）	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	ポンプ振動による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
供給ポンプ１スキッド	B	増設多核種除去設備建屋 T.P.36.2	C_H＝0.36	－	－	60	40

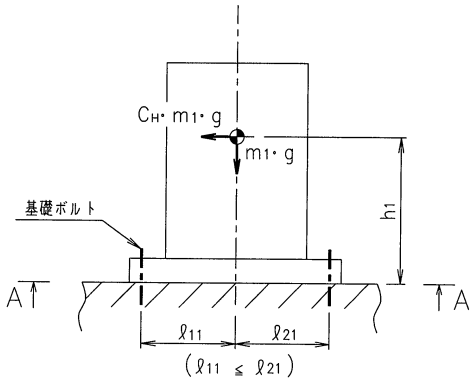
b．評価結果

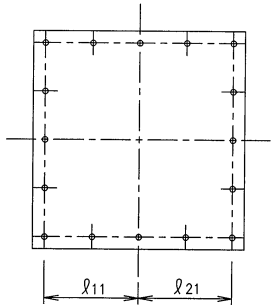
（単位：MPa）

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト（ｉ＝１）	SS400	引張り	σ_{b1}＝－	30 ＊
		せん断	τ_{b1}＝8	38 ＊

すべて許容応力以下である。

注記 ＊：後打ちアンカー耐力による。





A－A矢視図

（２１）共沈タンクＡ，Ｂ，Ｃスキッド

ａ．条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計G.L.（m）	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	ポンプ振動による震度	最高使用温度（℃）	周囲環境温度（℃）
共沈タンクＡ，Ｂ，Ｃスキッド	B	増設多核種除去設備建屋 T.P.36.2	C_H＝0.36	－	－	60	40

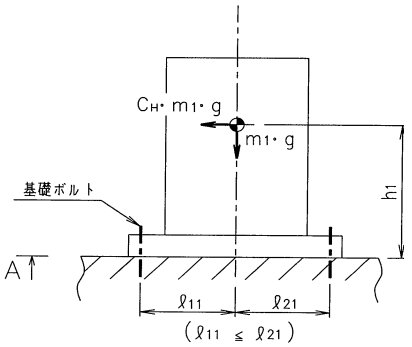
ｂ．評価結果

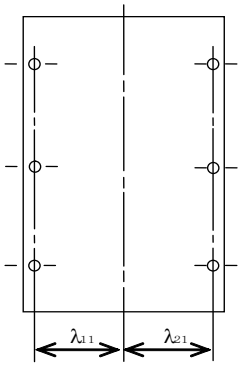
（単位：MPa）

部　　材	材　料	応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト（ｉ＝１）	SS400	引張り	σ_{b1}＝—	65 ＊
		せん断	τ_{b1}＝16	70 ＊

注記 ＊：後打ちアンカー耐力による。

すべて許容応力以下である。





Ａ～Ａ矢視図

（２２）供給タンクＡ，Ｂ，Ｃスキッド

ａ．条件

機　器　名　称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計Ｇ.Ｌ.（m）	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	ポンプ振動による震度	最高使用温度（℃）	周囲環境温度（℃）
供給タンクＡ，Ｂ，Ｃスキッド	Ｂ	増設多核種除去設備建屋 T.P.36.2	C_H＝0.36	－	－	60	40

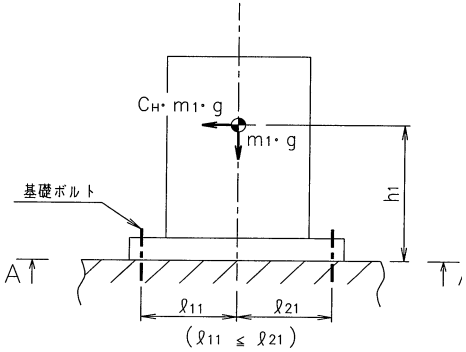
ｂ．評価結果

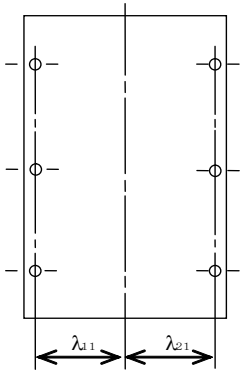
（単位：MPa）

部　　材	材　料	応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト（ｉ＝１）	SS400	引張り	σ_{b1}＝－	65 ＊
		せん断	τ_{b1}＝16	70 ＊

注記 ＊：後打ちアンカー耐力による。

すべて許容応力以下である。





Ａ～Ａ矢視図

（２３）供給ポンプ２Ａ，Ｂ，Ｃスキッド

ａ．条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計 G.L.（m）	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	ポンプ振動による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
供給ポンプ２ Ａ，Ｂ，Ｃスキッド	B	増設多核種除去設備建屋 T.P.36.2	C_H＝ 0.36	－	－	60	40

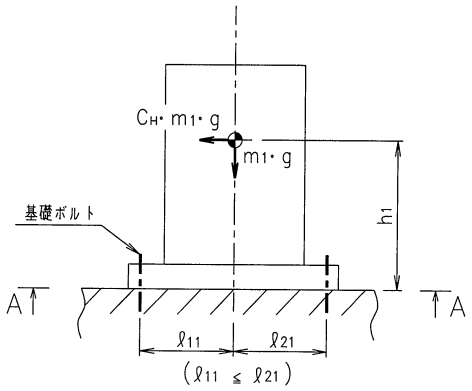
ｂ．評価結果

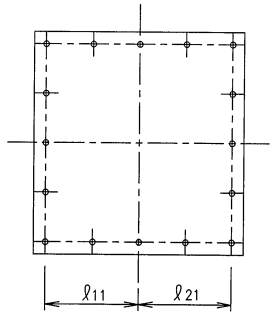
（単位：MPa）

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト （ｉ＝１）	SS400	引張り	σ_{b1}＝ －	30 ＊
		せん断	τ_{b1}＝ 6	38 ＊

すべて許容応力以下である。

注記 ＊：後打ちアンカー耐力による。





A－A矢視図

（２４）供給ポンプ２弁Ａ，Ｂ，Ｃスキッド

ａ．条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計Ｇ.Ｌ.（m）	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	ポンプ振動による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
供給ポンプ２弁 Ａ，Ｂ，Ｃスキッド	B	増設多核種除去設備建屋 T.P.36.2	C_H＝0.36	－	－	60	40

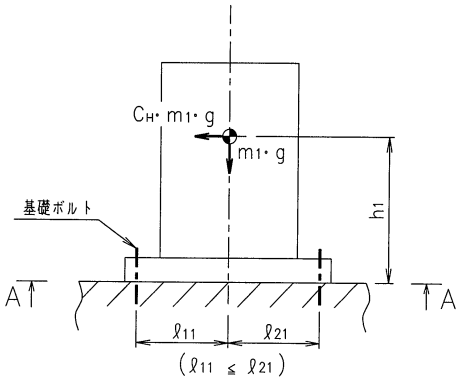
ｂ．評価結果

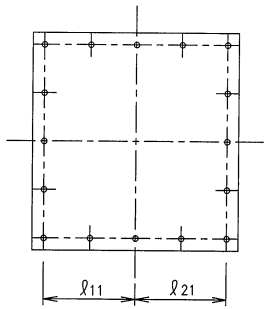
（単位：MPa）

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト （ｉ＝１）	SS400	引張り	σ_{b1}＝－	30　＊
		せん断	τ_{b1}＝4	38　＊

すべて許容応力以下である。

注記　＊：後打ちアンカー耐力による。





A－A矢視図

（２５）クロスフローフィルタＡ，Ｂ，Ｃスキッド

ａ．条件

機　器　名　称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計G.L.（m）	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	ポンプ振動による震度	最高使用温度（℃）	周囲環境温度（℃）
クロスフローフィルタ Ａ，Ｂ，Ｃスキッド	B	増設多核種除去設備建屋 T.P.36.2	C_H＝0.36	—	－	60	40

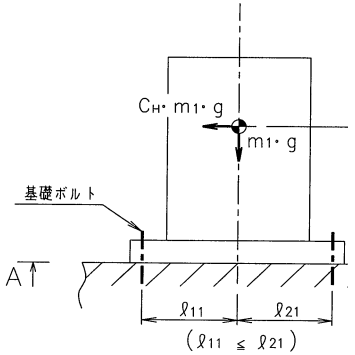
ｂ．評価結果

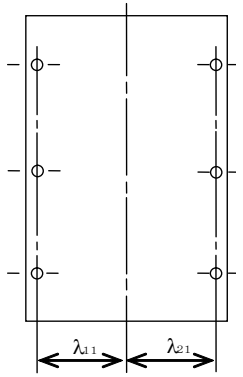
（単位：MPa）

部　材	材　料	応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト （ｉ＝１）	ＳＳ４００	引張り	σ_{b1}＝－	65 ＊
		せん断	τ_{b1}＝31	70 ＊

すべて許容応力以下である。

注記 ＊：後打ちアンカー耐力による。





Ａ～Ａ矢視図

（２６）吸着塔入口バッファタンクＡ，Ｂ，Ｃスキッド

ａ．条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計 G.L.（m）	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	ポンプ振動による震度	最高使用温度（℃）	周囲環境温度（℃）
吸着塔入口バッファタンクＡ，Ｂ，Ｃスキッド	B	増設多核種除去設備建屋 T.P.36.2	C_H＝ 0.36	－	－	60	40

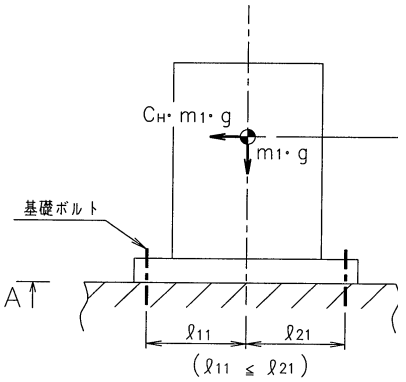
ｂ．評価結果

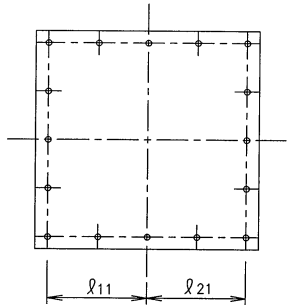
（単位：MPa）

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト（ｉ＝１）	SS400	引張り	σ_{b1}= －	65 ＊
		せん断	τ_{b1}= 13	70 ＊

注記 ＊：後打ちアンカー耐力による。

すべて許容応力以下である。





A－A矢視図

（２７）ブースターポンプ１Ａ，Ｂ，Ｃスキッド

ａ．条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計 G.L.（m）	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	ポンプ振動による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
ブースターポンプ１Ａ，Ｂ，Ｃスキッド	B	増設多核種除去設備建屋 T.P.36.2	C_H＝0.36	－	－	60	40

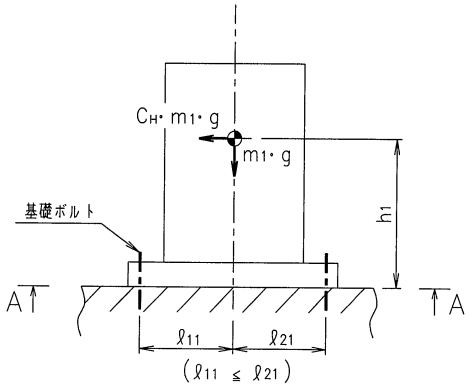
ｂ．評価結果

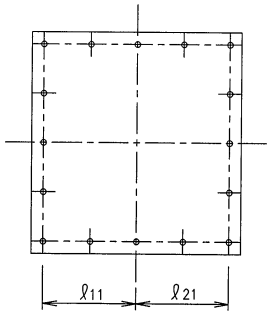
（単位：MPa）

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト（ｉ＝１）	SS400	引張り	σ_{b1}＝－	30　＊
		せん断	τ_{b1}＝6	38　＊

すべて許容応力以下である。

注記　＊：後打ちアンカー耐力による。





A－A矢視図

（２８）多核種吸着塔Ａ，Ｂ，Ｃスキッド１

ａ．条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計G.L.（m）	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	ポンプ振動による震度	最高使用温度（℃）	周囲環境温度（℃）
多核種吸着塔Ａ，Ｂ，Ｃスキッド１	Ｂ	増設多核種除去設備建屋 T.P.36.2	C_H＝ 0.36	－	－	60	40

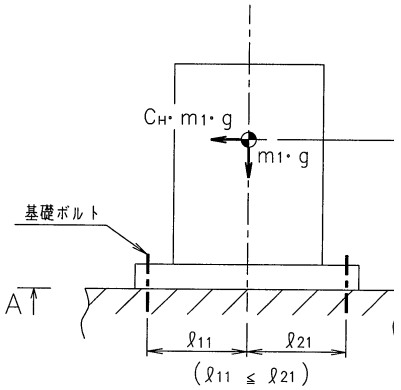
ｂ．評価結果

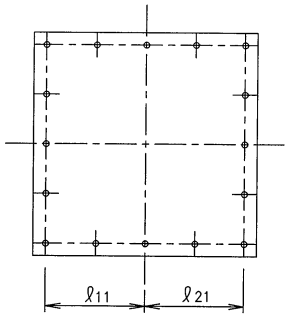
（単位：MPa）

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト（ｉ＝１）	SS400	引張り	σ_{b1}＝ －	65 ＊
		せん断	τ_{b1}＝ 21	70 ＊

すべて許容応力以下である。

注記 ＊：後打ちアンカー耐力による。





A－A矢視図

（２９）多核種吸着塔Ａ，Ｂ，Ｃスキッド２

ａ．条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計 G.L.（m）	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	ポンプ振動による震度	最高使用温度（℃）	周囲環境温度（℃）
多核種吸着塔Ａ，Ｂ，Ｃスキッド２	Ｂ	増設多核種除去設備建屋 T.P.36.2	C_H＝ 0.36	－	－	60	40

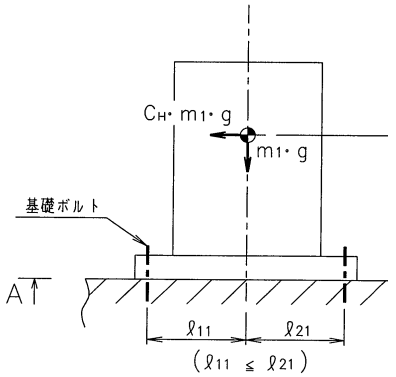
ｂ．評価結果

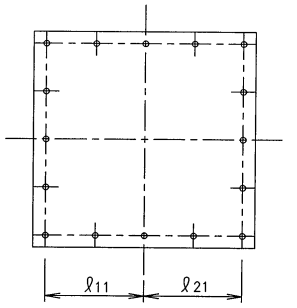
（単位：MPa）

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト（ｉ＝１）	SS400	引張り	σ_{b1}＝ －	65 ＊
		せん断	τ_{b1}＝ 19	70 ＊

すべて許容応力以下である。

注記 ＊：後打ちアンカー耐力による。





A－A矢視図

（３０）多核種吸着塔Ａ，Ｂ，Ｃスキッド３

ａ．条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計 G.L.（m）	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	ポンプ振動による震度	最高使用温度（℃）	周囲環境温度（℃）
多核種吸着塔Ａ，Ｂ，Ｃスキッド３	Ｂ	増設多核種除去設備建屋 T.P.36.2	C_H＝ 0.36	－	－	60	40

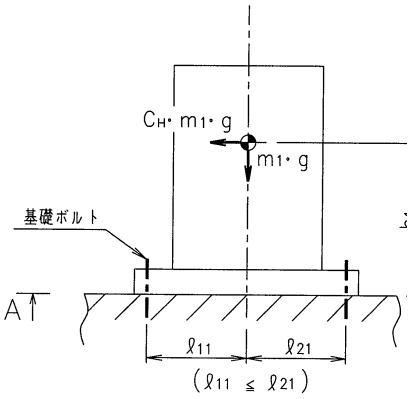
ｂ．評価結果

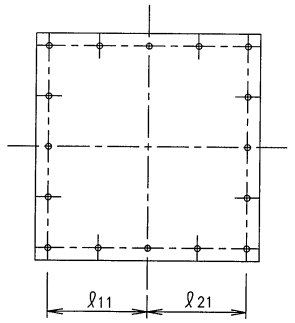
（単位：MPa）

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト（ｉ＝１）	SS400	引張り	σ_{b1}= －	65 ＊
		せん断	τ_{b1}= 17	70 ＊

すべて許容応力以下である。

注記 ＊：後打ちアンカー耐力による。





A－A矢視図

（３１）多核種吸着塔Ａ，Ｂ，Ｃスキッド４

ａ．条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計G.L.（m）	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	ポンプ振動による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
多核種吸着塔Ａ，Ｂ，Ｃスキッド４	Ｂ	増設多核種除去設備建屋 T.P.36.2	C_H＝ 0.36	－	－	60	40

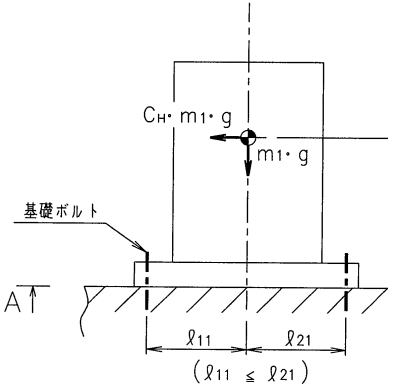
ｂ．評価結果

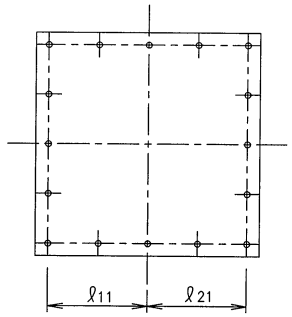
（単位：MPa）

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト（ｉ＝１）	SS400	引張り	σ_{b1}= －	65 ＊
		せん断	τ_{b1}= 18	70 ＊

すべて許容応力以下である。

注記 ＊：後打ちアンカー耐力による。





A－A矢視図

（３２）多核種吸着塔Ａ，Ｂ，Ｃスキッド５

ａ．条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計 G.L.（m）	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	ポンプ振動による震度	最高使用温度（℃）	周囲環境温度（℃）
多核種吸着塔Ａ，Ｂ，Ｃスキッド５	Ｂ	増設多核種除去設備建屋 T.P.36.2	C_H＝ 0.36	－	－	60	40

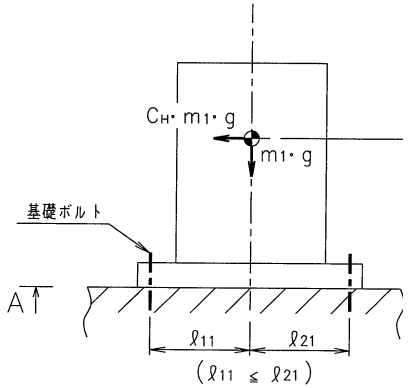
ｂ．評価結果

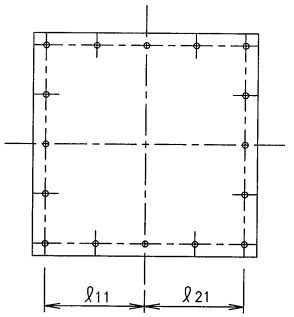
（単位：MPa）

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト（ｉ＝１）	SS400	引張り	σ_{b1}= －	65 ＊
		せん断	τ_{b1}= 22	70 ＊

すべて許容応力以下である。

注記 ＊：後打ちアンカー耐力による。





Ａ－Ａ矢視図

（３３）多核種吸着塔Ａ，Ｂ，Ｃスキッド６

ａ．条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計 G.L.（m）	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	ポンプ振動による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
多核種吸着塔Ａ，Ｂ，Ｃスキッド６	Ｂ	増設多核種除去設備建屋 T.P.36.2	C_H＝ 0.36	－	－	60	40

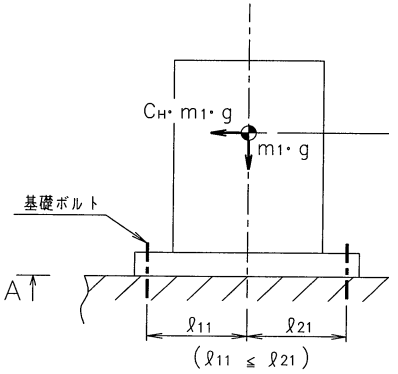
ｂ．評価結果

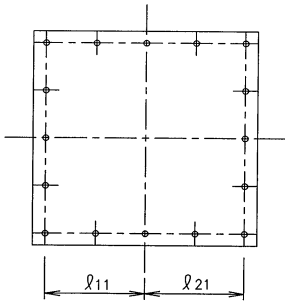
（単位：MPa）

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト（ｉ＝１）	SS400	引張り	σ_{b1}= －	65　＊
		せん断	τ_{b1}= 22	70　＊

すべて許容応力以下である。

注記　＊：後打ちアンカー耐力による。





A－A矢視図

（３４）ブースターポンプ２Ａ，Ｂ，Ｃスキッド

ａ．条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計 G.L.（m）	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	ポンプ振動による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
ブースターポンプ２Ａ，Ｂ，Ｃスキッド	B	増設多核種除去設備建屋 T.P.36.2	C_H＝ 0.36	－	－	60	40

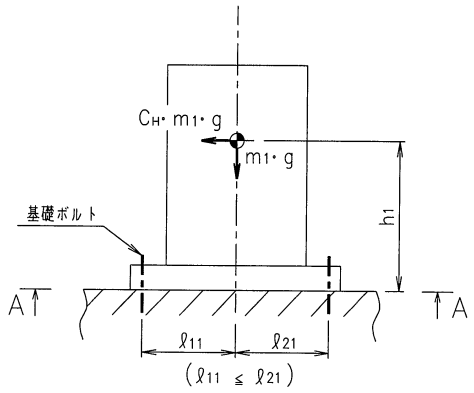
ｂ．評価結果

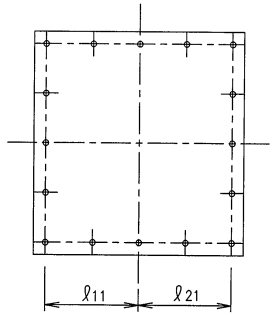
（単位：MPa）

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト（ｉ＝１）	SS400	引張り	σ_{b1}＝ －	30 ＊
		せん断	τ_{b1}＝ 5	38 ＊

すべて許容応力以下である。

注記 ＊：後打ちアンカー耐力による。





A－A矢視図

（３５）出口フィルタスキッド

ａ．条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計G.L.（m）	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	ポンプ振動による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
出口フィルタスキッド	B	増設多核種除去設備建屋 T.P.36.2	C_H＝0.36	－	－	60	40

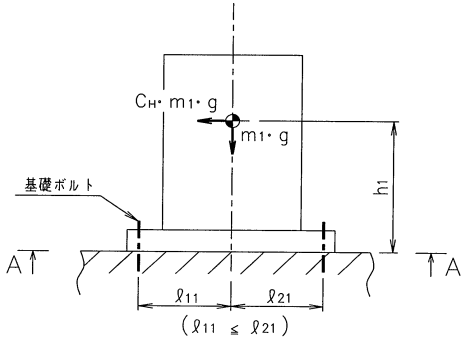
ｂ．評価結果

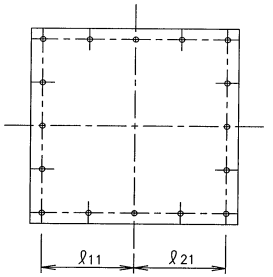
（単位：MPa）

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト（ｉ＝１）	SS400	引張り	σ_{b1}＝－	30　＊
		せん断	τ_{b1}＝9	38　＊

すべて許容応力以下である。

注記　＊：後打ちアンカー耐力による。





A－A矢視図

（３６）移送タンク１，２スキッド

ａ．条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計 G.L.（m）	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	ポンプ振動による震度	最高使用温度（℃）	周囲環境温度（℃）
移送タンク１，２スキッド	B	増設多核種除去設備建屋 T.P.36.2	C_H＝0.36	－	－	60	40

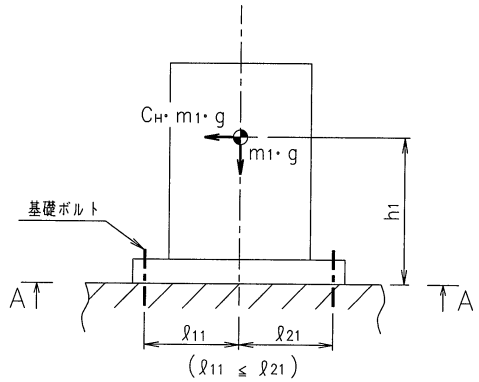
ｂ．評価結果

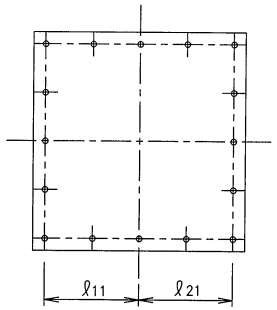
（単位：MPa）

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト（ｉ＝１）	SS400	引張り	σ_{b1}＝－	65　＊
		せん断	τ_{b1}＝25	70　＊

注記　＊：後打ちアンカー耐力による。

すべて許容応力以下である。





A－A矢視図

（３７）出口移送スキッド

a．条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計G.L.（m）	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	ポンプ振動による震度	最高使用温度（℃）	周囲環境温度（℃）
出口移送スキッド	B	増設多核種除去設備建屋 T.P.36.2	C_H＝0.36	―	―	60	40

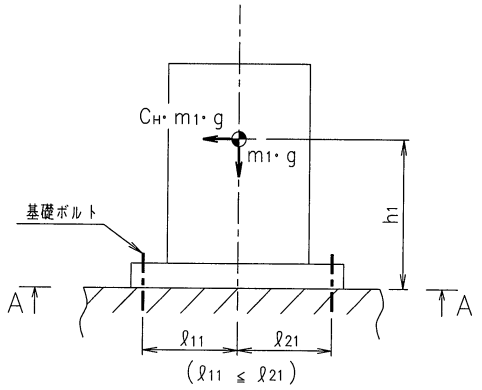
b．評価結果

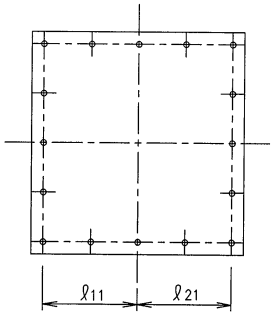
（単位：MPa）

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト（ｉ＝１）	SS400	引張り	σ_{b1}＝―	30　＊
		せん断	τ_{b1}＝10	38　＊

すべて許容応力以下である。

注記　＊：後打ちアンカー耐力による。





A－A矢視図

（３８）増設多核種除去設備用移送ポンプスキッド

a．条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計G.L.（m）	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	ポンプ振動による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
増設多核種除去設備用移送ポンプスキッド	B	増設多核種除去設備建屋 T.P.36.2	C_H＝0.36	—	—	40	40

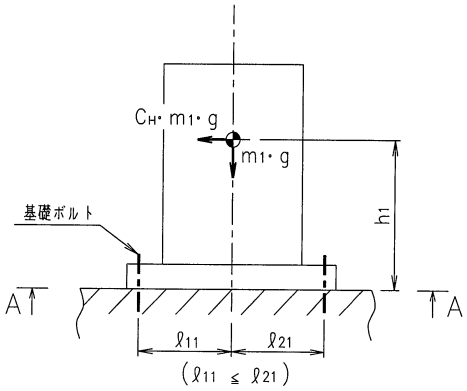
b．評価結果

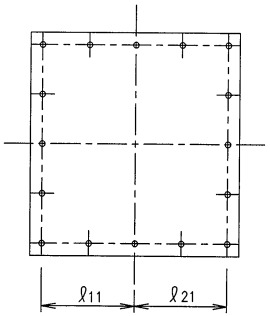
（単位：MPa）

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト（ｉ＝１）	SS400	引張り	σ_{b1}＝－	30　＊
		せん断	τ_{b1}＝11	38　＊

すべて許容応力以下である。

注記　＊：後打ちアンカー耐力による。





A－A矢視図

（３９）主配管

配管標準支持間隔評価（定ピッチスパン法）

１．評価方法

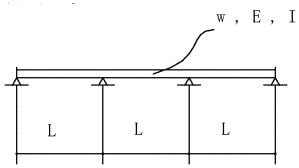
配管系を定められたピッチで支持することにより、配管系の固有周期を設定し、地震応力が過大とならないようにする。

応力基準による定ピッチスパンの設定方法（耐震Ｂクラス配管）

（１）直管部スパン

①一次応力評価

３スパン連続梁において発生する一次応力が許容値以下であることを確認する。



②自重応力の制限

自重による応力は39MPaを超えないものとする。

③１次固有周期の制限

支持スパンは建屋の一次固有周期より短周期側となるように設定する。

上記による直管部　最大支持間隔を、２．評価結果に示す。

（２）集中質量部

集中質量部に発生する応力 及び 固有周期が、直管部における値を上回らないものとする。

（３）曲り部

曲り部の面外方向について、応力 及び 固有周期が直管部のそれを上回らない支持スパンとする。

曲り部の面内方向は、上記の縮小率を超えず、且つ（２）集中質量部の方法を準用し縮小率を決定するものとする。

（４）分岐部

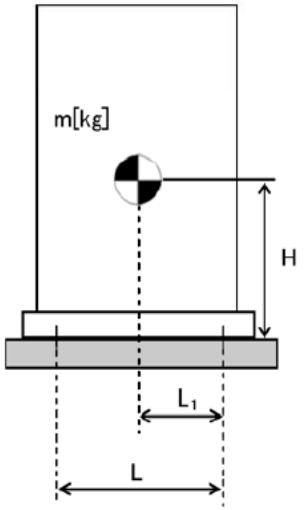
分岐部に発生する応力 及び 固有周期が、直管部における値を上回らないものとする。

２．評価結果

			配管設計条件						
耐震クラス			B	B	B	B	B	B	B
保温			有	無	無	無	無	有	無
しゃへい			無	無	無	無	有	無	無
流体			液体	液体	液体	気体	液体	液体	液体
内　圧（MPa）			静水頭～1.37	静水頭	静水頭～1.37	大気圧	0.98	静水頭～1.37	静水頭～1.37
最高使用温度（℃）			～60	～60	～60	～60	～60	～60	～60
比重(g/cm3)			1.00～1.17	～1.00	1.00～1.17	0.001	1.17	1.00	1.00～1.05
材　質			ステンレス鋼	ステンレス鋼	ステンレス鋼	ステンレス鋼	ステンレス鋼	炭素鋼	炭素鋼
直管部　最大支持間隔	口径	sch	(mm)						
	10A	40	2570	2520	－	－	－	－	－
	15A	40	3210	2940	3690	－	－	3240	－
	20A	40	3770	3420	－	－	－	3820	－
	25A	40	4430	3960	4610	－	－	4500	4700
	32A	40	5070	4590	－	－	－	5170	－
	40A	40	5420	4980	5460	－	－	5540	－
	50A	40	6060	5700	6030	6630	－	－	6170
	65A	40	6930	6680	－	－	－	－	6950
	80A	40	7470	－	－	－	－	－	7470
	100A	40	8400	－	8170	9170	－	－	8360
	125A	40	－	－	8950	－	－	－	9000
	150A	40	－	－	9640	－	－	－	9600
	200A	40	－	－	10890	－	－	－	－
	250A	40	－	－	11990	－	9600	－	－
	300A	40	－	－	12970	－	－	－	－

（４０）炭酸ソーダ溶解槽１，２，３

原子力発電所耐震設計技術指針の評価方法に準拠して評価を実施した。評価の結果，基礎ボルトの強度が確保されることを確認した。



m　：機器質量
g　：重力加速度（9.80665 m/s²）
H　：据付面からの重心までの距離
L　：基礎ボルト間の水平方向距離
L_1　：重心と基礎ボルト間の水平方向距離
n_f：引張力の作用する基礎ボルトの評価本数
n　：基礎ボルトの本数
A_b　：基礎ボルトの軸断面積
C_H　：水平方向設計震度
C_V　：鉛直方向設計震度

基礎ボルトに作用する引張力：$F_b = \frac{1}{L}\left(m \times g \times C_H \times H - m \times g \times (1 - C_V) \times L_1\right)$

基礎ボルトの引張応力：$\sigma_b = \frac{F_b}{n_f \times A_b}$

基礎ボルトのせん断応力：$\tau_b = \frac{m \times g \times C_H}{n \times A_b}$

a. 条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計G.L.（m）	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	最高使用温度（℃）	周囲環境温度（℃）	比重
炭酸ソーダ溶解槽 1，2，3	B	増設多核種除去設備建屋 T.P.36.2	C_H=0.36	－	60	40	1.05

b. 評価結果

（単位：MPa）

部　材	材　料	応　力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SUS304	引張り	σ_{bi}=-	f_{tsi}=153
		せん断	τ_{bi}=26	f_{sbi}=118

すべて許容応力以下である。

（４１）炭酸ソーダ貯槽１，２

a. 条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計G.L.（m）	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)	比重
炭酸ソーダ貯槽 １，２	B	増設多核種除去設備建屋 T.P.36.2	0.36	－	静水頭	60	40	1.05

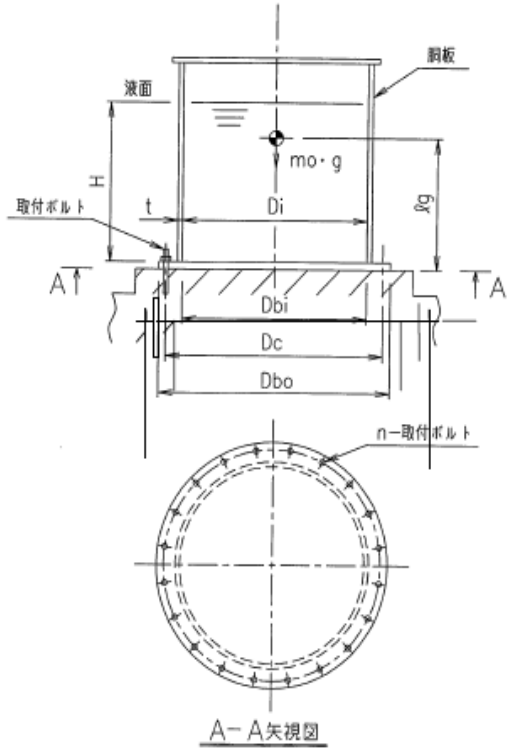
b. 評価結果

（単位： MPa）

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
胴板	SUS316L	組合せ	$\sigma_0=11$	$S_a=278$
		圧縮と曲げの組合せ（座屈の評価）	$\frac{n\cdot(\sigma_{x2}+\sigma_{x3})}{f_c}+\frac{n\cdot\sigma_{x4}}{f_b}\leqq 1$ 0.04 （無次元）	
取付ボルト	SS400	引張り	$\sigma_b=-$	$f_{ts}=176^*$
		せん断	$\tau_b=18$	$f_{sb}=135$

注記 ＊：(3.2.2.2) 式より算出

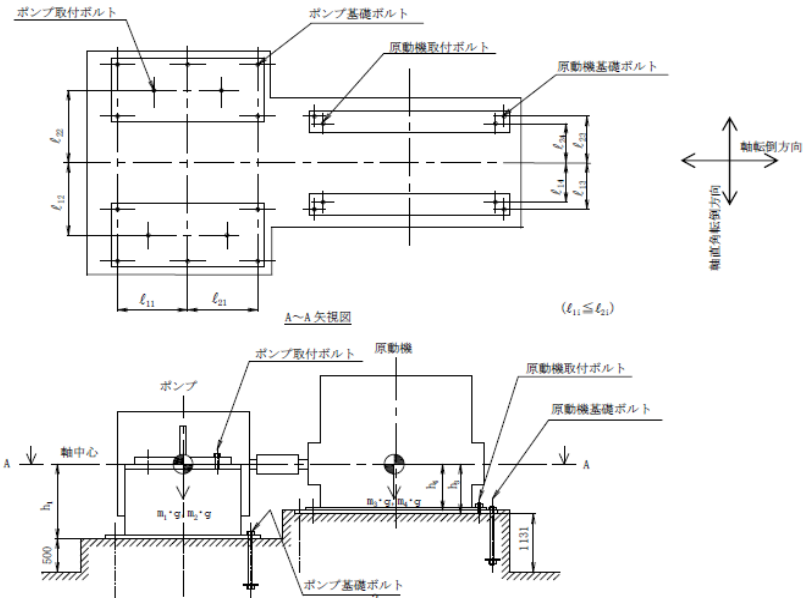
すべて許容応力以下である。



（４２）炭酸ソーダ溶解槽１，２，３移送ポンプ

a. 条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計G.L.（m）	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	ポンプ振動による震度	最高使用温度（℃）	周囲環境温度（℃）
炭酸ソーダ溶解槽 １，２，３移送ポンプ	B	増設多核種除去設備建屋 T.P.36.2	C_H＝0.36	－	C_P＝0.30	60	40



b. 評価結果

（単位：MPa）

部　材	材　料	応　力	算出応力	許容応力
ポンプ基礎ボルト (i=1)	SUS304	引張り	σ_{b1}＝2	f_{ts1}＝153*
		せん断	τ_{b1}＝1	f_{sb1}＝118
ポンプ取付ボルト (i=2)	SS400	引張り	σ_{b2}＝ 4	f_{ts2}＝183*
		せん断	τ_{b2}＝2	f_{sb2}＝141
原動機基礎ボルト (i=3)	－	引張り	－	f_{ts3}＝－
		せん断	τ_{b3}＝－	f_{sb3}＝－
原動機取付ボルト (i=4)	－	引張り	－	f_{ts4}＝－
		せん断	τ_{b4}＝－	f_{sb4}＝－

すべて許容応力以下である。

注記＊：（3.1.2）式より算出

（４３）炭酸ソーダ貯槽１供給ポンプＡ，Ｂ，Ｃ

a. 条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計G.L.（m）	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	ポンプ振動による震度	最高使用温度（℃）	周囲環境温度（℃）
炭酸ソーダ貯槽１ 供給ポンプA,B,C	B	増設多核種除去設備建屋 T.P.36.2	C_H＝0.36	－	C_P＝0.00	60	40

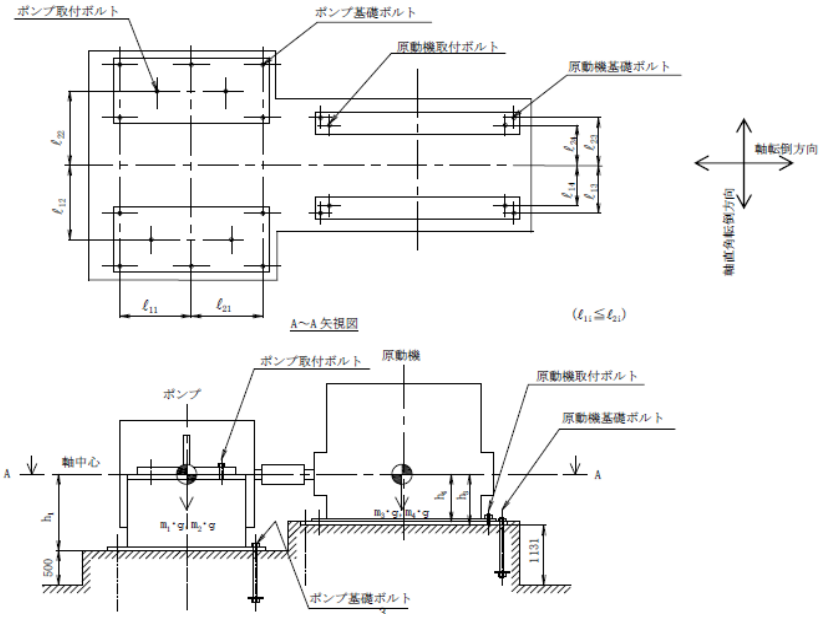
b. 評価結果

（単位：MPa）

部　材	材　料	応　力	算出応力	許容応力
ポンプ基礎ボルト (i=1)	SUS304	引張り	σ_{b1}＝9	f_{ts1}＝153*
		せん断	τ_{b1}＝3	f_{sb1}＝118
ポンプ取付ボルト (i=2)	－	引張り	－	f_{ts2}＝－
		せん断	τ_{b2}＝－	f_{sb2}＝－
原動機基礎ボルト (i=3)	－	引張り	－	f_{ts3}＝－
		せん断	τ_{b3}＝－	f_{sb3}＝－
原動機取付ボルト (i=4)	－	引張り	－	f_{ts4}＝－
		せん断	τ_{b4}＝－	f_{sb4}＝－

すべて許容応力以下である。

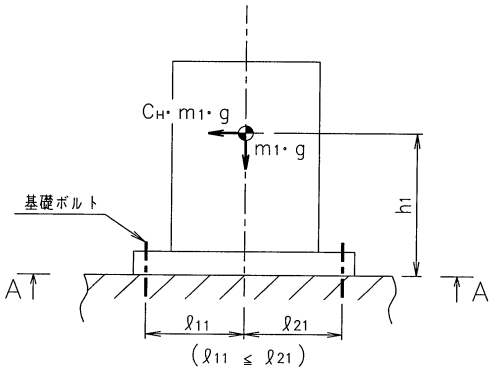
注記＊：（3.1.2）式より算出



（４４）炭酸ソーダ製造スキッド１，２，３

a. 条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計G.L.（m）	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	最高使用温度（℃）	周囲環境温度（℃）
炭酸ソーダ製造スキッド1,2,3	B	増設多核種除去設備建屋 T.P.36.2	C_H＝0.36	－	60	40



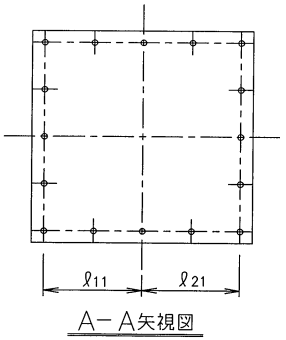
b. 評価結果

（単位：MPa）

部　材	材　料	応　力	算出応力	許容応力
基礎ボルト（i=1）	SS400	引張り	σ_{bi}＝－	f_{tsi}＝39*
		せん断	τ_{bi}＝19	f_{sbi}＝49*

注記　＊：後打ちアンカー耐力による

すべて許容応力以下である。



A－A矢視図

（４５）炭酸ソーダ溶解槽１，２，３移送スキッド

a. 条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計 G.L.（m）	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
炭酸ソーダ溶解槽1,2,3 移送スキッド	B	増設多核種除去設備建屋 T.P. 36.2	C_H＝0.36	－	60	40

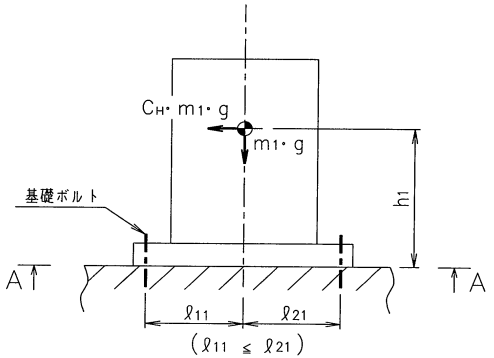
b. 評価結果

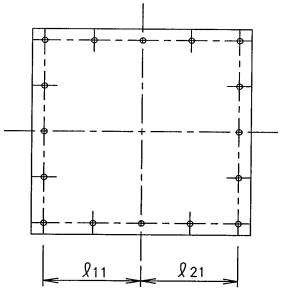
（単位：MPa ）

部　材	材　料	応　力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS400	引張り	σ_{bi}＝－	f_{tsi}＝39*
		せん断	τ_{bi}＝3	f_{sbi}＝49*

注記　＊：後打ちアンカー耐力による

すべて許容応力以下である。





A－A矢視図

（４６）炭酸ソーダ貯槽１供給スキッド

a. 条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計 G.L.（m）	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
炭酸ソーダ貯槽１ 供給スキッド	B	増設多核種除去設備建屋 T.P.36.2	C_H＝0.36	－	60	40

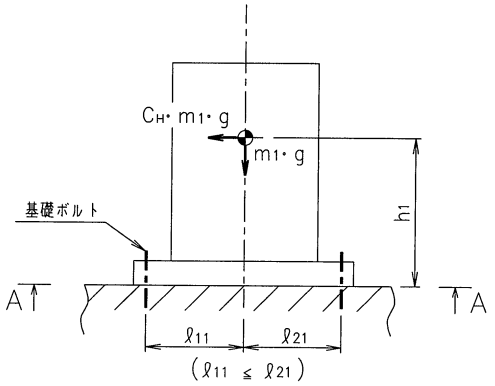
b. 評価結果

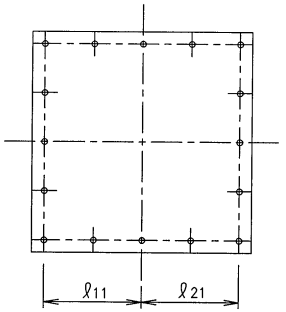
（単位：MPa）

部　材	材　料	応　力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS400	引張り	σ_{b1}＝－	f_{ts1}＝39*
		せん断	τ_{b1}＝5	f_{sb1}＝49*

注記　＊：後打ちアンカー耐力による

すべて許容応力以下である。



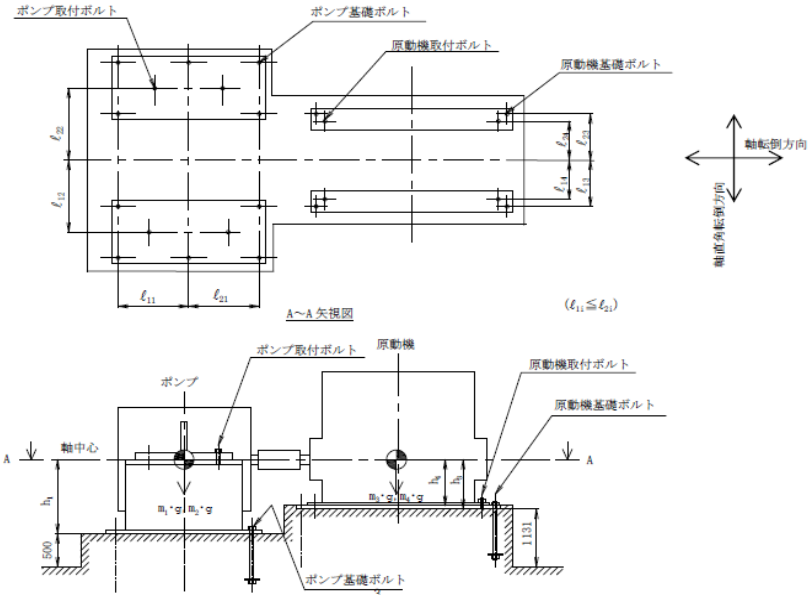


A－A矢視図

（４７）炭酸ソーダ貯槽２移送ポンプ１，２

a. 条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計 G.L.（m）	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	ポンプ振動による震度	最高使用温度（℃）	周囲環境温度（℃）
炭酸ソーダ貯槽２ 移送ポンプ１，２	B	増設多核種除去設備建屋 T.P.36.2	C_H＝0.36	－	C_P＝0.30	60	40



b. 評価結果

（単位：MPa ）

部　材	材　料	応　力	算出応力	許容応力
ポンプ基礎ボルト (i=1)	SUS304	引張り	σ_{b1}＝2	f_{ts1}＝153*
		せん断	τ_{b1}＝2	f_{sb1}＝118
ポンプ取付ボルト (i=2)	SS400	引張り	σ_{b2}＝2	f_{ts3}＝183*
		せん断	τ_{b2}＝3	f_{sb2}＝141
原動機基礎ボルト (i=3)	－	引張り	－	f_{ts3}＝－
		せん断	τ_{b3}＝－	f_{sb3}＝－
原動機取付ボルト (i=4)	－	引張り	－	f_{ts4}＝－
		せん断	τ_{b4}＝－	f_{sb4}＝－

すべて許容応力以下である。

注記＊：（3.1.2）式より算出

（４８）炭酸ソーダ貯槽２移送スキッド

a. 条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計G.L.（m）	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
炭酸ソーダ貯槽２ 移送スキッド	B	増設多核種除去設備建屋 T.P.36.2	C_H=0.36	－	60	40

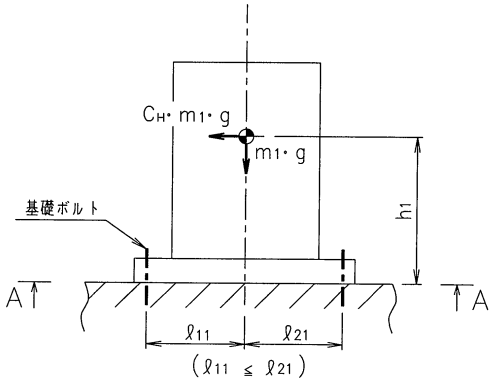
b. 評価結果

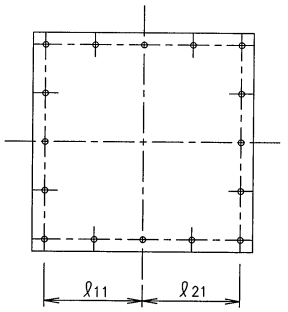
（単位：MPa ）

部　材	材　料	応　力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS400	引張り	σ_{b1}=－	f_{ts1}=39*
		せん断	τ_{b1}=4	f_{sb1}=49*

注記　＊：後打ちアンカー耐力による

すべて許容応力以下である。





A－A矢視図

（４９）反応／凝集槽Ａ，Ｃ

機器名称	評価部位	材料	評価項目	震度	算出値	許容値	単位
反応／凝集槽 Ａ，Ｃ	胴板	SS400	組合せ	水平 0.70 鉛直 0.40	19	208	MPa
	スカート	SS400	組合せ		17	215	MPa
			圧縮と曲げの組合せ （座屈の評価）		0.08	1	－
	取付 ボルト	SS400	引張り		76	161	MPa
			せん断		37	124	MPa

（５０）沈殿槽Ａ，Ｃ

機器名称	評価部位	材料	評価項目	震度	算出値	許容値	単位
沈殿槽 Ａ，Ｃ	胴板	SUS316L	組合せ	水平 0.70 鉛直 0.40	21	160	MPa
	スカート	SUS304	組合せ		17	205	MPa
			圧縮と曲げの組合せ （座屈の評価）		0.09	1	－
	取付 ボルト	SS400	引張り		72	161	MPa
			せん断		39	124	MPa

（５１）上澄み水タンクＡ，Ｃ

機器名称	評価部位	材料	評価項目	震度	算出値	許容値	単位
上澄み水タンクＡ，Ｃ	胴板	SUS316L	組合せ	水平 0.70 鉛直 0.40	13	160	MPa
	スカート	SUS304	組合せ		20	205	MPa
			圧縮と曲げの組合せ （座屈の評価）		0.10	1	－
	取付 ボルト	SS400	引張り		48	161	MPa
			せん断		9	124	MPa

（５２）スラリー循環ポンプＡ，Ｃ

機器名称	評価部位	材料	評価項目	震度	算出値	許容値	単位
スラリー循環 ポンプＡ，Ｃ	取付 ボルト	SS400	引張り	水平 0.70	3	161	MPa
			せん断	鉛直 0.40	3	124	MPa

（５３）上澄み水ポンプＡ，Ｃ

機器名称	評価部位	材料	評価項目	震度	算出値	許容値	単位
上澄み水ポンプＡ，Ｃ	取付ボルト	SS400	引張り	水平 0.70	3	161	MPa
			せん断	鉛直 0.40	3	124	MPa

（５４）反応／凝集・沈殿槽Ａ，Ｃスキッド

機器名称	評価部位	材料	評価項目	震度	算出値	許容値	単位
反応／凝集・沈殿槽Ａ，Ｃスキッド	基礎ボルト	SS400	引張り	水平 0.70	51	60*	MPa
			せん断	鉛直 0.40	36	70*	MPa

注記　＊後打ちアンカー耐力による

（５５）上澄み水タンクＡ，Ｃスキッド

機器名称	評価部位	材料	評価項目	震度	算出値	許容値	単位
上澄み水タンクＡ，Ｃスキッド	基礎ボルト	SS400	引張り	水平 0.70	45	60*	MPa
			せん断	鉛直 0.40	15	70*	MPa

注記　＊後打ちアンカー耐力による

（５６）凝集沈殿ポンプＡ，Ｃスキッド

機器名称	評価部位	材料	評価項目	震度	算出値	許容値	単位
凝集沈殿ポンプＡ，Ｃスキッド	基礎ボルト	SS400	引張り	水平 0.70	4	60*	MPa
			せん断	鉛直 0.40	14	70*	MPa

注記　＊後打ちアンカー耐力による

（５７）主配管（固有振動数 20Hz 以上）

１．評価方法

増設多核種除去設備の主配管のうち追設するものは，建屋との共振による加速度増大の防止を目的とし，はりモデルを使用して，配管系の固有振動数が 20Hz 以上となるスパンを解析で算出し，配管系をこの定ピッチスパンで支持するように設計する。

２．評価結果

			配管設計条件				
耐震クラス			B	B	B	B	B
保温			無	無	有	有	無
遮へい			無	無	無	無	無
流体			液体	液体	液体	液体	液体
内 圧 (MPa)			0.98	静水頭～0.98	0.5	0.98	静水頭
最高使用温度 (℃)			～60	～60	～60	～60	～60
比重(g/cm3)			1.0	1.0～1.2	1.0	1.0～1.2	1.1
材 質			炭素鋼	ステンレス鋼	ステンレス鋼	ステンレス鋼	ステンレス鋼
直管部最大支持間隔	口径	sch	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
	15A	40				1400	
	25A	40			1850	1800	
	32A	40				2000	
	40A	40				2100	
	50A	40	2550	2500			
	150A	40					4000

増設多核種除去設備の各機器について，参考評価として，耐震 S クラス相当の水平震度に対して，健全性が維持されることを確認した。評価結果を表１に示す。

表１　増設多核種除去設備　各機器に対する耐震評価結果（１／４）

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
処理水受入れタンク１，２	取付ボルト	引張	0.8	19	176	MPa
		せん断	0.8	29	135	MPa
共沈タンク A，B，C	取付ボルト	引張	0.8	32	176	MPa
		せん断	0.8	12	135	MPa
供給タンク A，B，C	取付ボルト	引張	0.8	27	176	MPa
		せん断	0.8	13	135	MPa
吸着塔入口バッファタンク A，B，C	取付ボルト	引張	0.8	5	176	MPa
		せん断	0.8	16	135	MPa
サンプルタンク A，B，C	本体	転倒	0.8	6.7×10^{4}	7.1×10^{4}	kN・m
多核種吸着塔１～５A，B，C	取付ボルト	引張	0.8	18	131	MPa
		せん断	0.8	8	101	MPa
多核種吸着塔６～１４A，B，C	取付ボルト	引張	0.8	21	158	MPa
		せん断	0.8	9	121	MPa
多核種吸着塔１５～１８A，B，C	取付ボルト	引張	0.8	32	158	MPa
		せん断	0.8	16	121	MPa
移送タンク１，２	取付ボルト	引張	0.8	6	176	MPa
		せん断	0.8	31	135	MPa
供給ポンプ１A，B，C	取付ボルト	引張	0.8	1	153	MPa
		せん断	0.8	3	118	MPa
	ポンプ取付ボルト	引張	0.8	8	153	MPa
		せん断	0.8	2	118	MPa
	原動機取付ボルト	引張	0.8	2	153	MPa
		せん断	0.8	2	118	MPa

表１　増設多核種除去設備　各機器に対する耐震評価結果（２／４）

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
供給ポンプ２A，B，C	取付ボルト	引張	0.8	2	153	MPa
		せん断	0.8	3	118	MPa
	ポンプ取付ボルト	引張	0.8	9	153	MPa
		せん断	0.8	2	118	MPa
	原動機取付ボルト	引張	0.8	3	153	MPa
		せん断	0.8	3	118	MPa
循環ポンプA，B，C	取付ボルト	引張	0.8	3	153	MPa
		せん断	0.8	9	118	MPa
	ポンプ取付ボルト	引張	0.8	8	153	MPa
		せん断	0.8	2	118	MPa
	原動機取付ボルト	引張	0.8	3	153	MPa
		せん断	0.8	5	118	MPa
ブースターポンプ１A，B，C	取付ボルト	引張	0.8	3	153	MPa
		せん断	0.8	5	118	MPa
	ポンプ取付ボルト	引張	0.8	15	153	MPa
		せん断	0.8	3	118	MPa
	原動機取付ボルト	引張	0.8	3	153	MPa
		せん断	0.8	3	118	MPa
ブースターポンプ２A，B，C	取付ボルト	引張	0.8	3	153	MPa
		せん断	0.8	5	118	MPa
	ポンプ取付ボルト	引張	0.8	15	153	MPa
		せん断	0.8	3	118	MPa
	原動機取付ボルト	引張	0.8	3	153	MPa
		せん断	0.8	3	118	MPa
移送ポンプ１，２	取付ボルト	引張	0.8	2	153	MPa
		せん断	0.8	5	118	MPa
	ポンプ取付ボルト	引張	0.8	10	153	MPa
		せん断	0.8	2	118	MPa
	原動機取付ボルト	引張	0.8	3	153	MPa
		せん断	0.8	4	118	MPa

表１　増設多核種除去設備　各機器に対する耐震評価結果（３／４）

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
増設多核種除去設備用移送ポンプ A，B	取付ボルト	引張	0.8	4	153	MPa
		せん断	0.8	6	118	MPa
	ポンプ取付ボルト	引張	0.8	14	153	MPa
		せん断	0.8	3	118	MPa
	原動機取付ボルト	引張	0.8	5	153	MPa
		せん断	0.8	5	118	MPa
出口フィルタ A，B，C	取付ボルト	引張	0.8	92	153	MPa
		せん断	0.8	6	118	MPa
増設多核種除去設備入口弁スキッド	基礎ボルト	引張	0.8	－	30	MPa
		せん断	0.8	36	38	MPa
処理水受入タンク１，２スキッド	基礎ボルト	引張	0.8	37	65	MPa
		せん断	0.8	52	70	MPa
供給ポンプ１スキッド	基礎ボルト	引張	0.8	－	30	MPa
		せん断	0.8	16	38	MPa
共沈タンク A，B，C スキッド	基礎ボルト	引張	0.8	44	65	MPa
		せん断	0.8	34	70	MPa
供給タンク A，B，C スキッド	基礎ボルト	引張	0.8	32	65	MPa
		せん断	0.8	36	70	MPa
供給ポンプ２A，B，C スキッド	基礎ボルト	引張	0.8	－	30	MPa
		せん断	0.8	12	38	MPa
供給ポンプ２弁 A，B，C スキッド	基礎ボルト	引張	0.8	－	30	MPa
		せん断	0.8	9	38	MPa
クロスフローフィルタ A，B，C スキッド	基礎ボルト	引張	0.8	34	65	MPa
		せん断	0.8	68	70	MPa
吸着塔入口バッファタンク A，B，C スキッド	基礎ボルト	引張	0.8	5	65	MPa
		せん断	0.8	28	70	MPa
ブースターポンプ１A，B，C スキッド	基礎ボルト	引張	0.8	－	30	MPa
		せん断	0.8	13	38	MPa
多核種吸着塔 A，B，C スキッド１	基礎ボルト	引張	0.8	36	65	MPa
		せん断	0.8	45	70	MPa
多核種吸着塔 A，B，C スキッド２	基礎ボルト	引張	0.8	31	65	MPa
		せん断	0.8	41	70	MPa
多核種吸着塔 A，B，C スキッド３	基礎ボルト	引張	0.8	27	65	MPa
		せん断	0.8	37	70	MPa

表１　増設多核種除去設備　各機器に対する耐震評価結果（４／４）

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
多核種吸着塔 A，B，C スキッド４	基礎ボルト	引張	0.8	32	65	MPa
		せん断	0.8	39	70	MPa
多核種吸着塔 A，B，C スキッド５	基礎ボルト	引張	0.8	20	65	MPa
		せん断	0.8	49	70	MPa
多核種吸着塔 A，B，C スキッド６	基礎ボルト	引張	0.8	20	65	MPa
		せん断	0.8	49	70	MPa
ブースターポンプ２A，B，C スキッド	基礎ボルト	引張	0.8	－	30	MPa
		せん断	0.8	10	38	MPa
出口フィルタスキッド	基礎ボルト	引張	0.8	－	30	MPa
		せん断	0.8	18	38	MPa
移送タンク１，２ スキッド	基礎ボルト	引張	0.8	－	65	MPa
		せん断	0.8	55	70	MPa
出口移送スキッド	基礎ボルト	引張	0.8	－	30	MPa
		せん断	0.8	22	38	MPa
増設多核種除去設備用移送ポンプスキッド	基礎ボルト	引張	0.8	－	30	MPa
		せん断	0.8	25	38	MPa

以上

別紙－２

耐震クラスの設定について

増設多核種除去設備を構成する機器のうち放射性物質を内包するものは，2021 年 9 月 8 日の原子力規制委員会で示された耐震設計の考え方を踏まえ，その安全機能の重要度，地震によって機能の喪失を起こした場合の安全上の影響（公衆への被ばく影響）や廃炉活動への影響等を考慮した上で，核燃料物質を非密封で扱う燃料加工施設や使用施設等における耐震クラス分類を参考にして適切な耐震設計上の区分を行うとともに，適切と考えられる設計用地震力に耐えられる設計とする。

本資料では，上記の方針に基づく耐震クラスの設定について記載する。

ただし，本資料に記載が無い，2021 年 9 月 8 日以前に認可された機器については，「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」を参考にして耐震クラスを分類している。

１．Ｂ＋クラスに設定する設備

（１）対象設備

反応／凝集槽，沈殿槽，上澄み水タンク，スラリー循環ポンプ，上澄み水ポンプ，反応／凝集・沈殿槽スキッド，上澄み水タンクスキッド，凝集沈殿ポンプスキッド及びこれらに接続する主配管。

（２）設定の理由

ａ．破損シナリオ

地震により安全機能を失った際の公衆への被ばく影響を評価するため，増設多核種除去設備の各機器が破損して内包する液体放射性物質が漏えいすることを想定する。なお，破損を想定する各機器には，（１）対象設備に加えて，2021 年 9 月 8 日以前に認可された機器を含む。

ｂ．影響評価

敷地境界線量評価の対象としている機器に設置している遮蔽等（各タンクの厚さ含む）が消失することを想定し，これにより放射線量が増大する影響を簡易的に評価した結果，最寄りの敷地境界（評価点 No.70）の線量は年間 1.36mSv 程度になると評価した。

なお，敷地境界線量評価の対象としている機器は，処理水受入タンク，共沈供給タンクスキッド，クロスフローフィルタスキッド，吸着塔，ＨＩＣ（スラリー用及び吸着材用），反応／凝集槽，沈殿槽，上澄み水タンクであり，これらの鉄遮蔽が 5cm 消失することで線量が 10 倍になると設定して評価した。

また，各機器の破損により漏出した放射性物質を最寄りの敷地境界にいる公衆が吸引することにより，0.22mSv 程度の線量影響が有ると評価した（表１参照）。

なお，1 年の間に線源の除去もしくは遮蔽による線量低減は十分可能であること，安全機能を失うような地震が発生したとしても，機器が全て破損することは無いと想定されることから，評価シナリオは保守性を有している。

ｃ．耐震クラス

破損シナリオによる公衆への被ばく影響は1.58mSv程度であり50μSv～5mSvの範囲であること，増設多核種除去設備は供用期間が長期間であることから，耐震クラスはＢ＋クラスと評価する。

表１　漏出した放射性物質を公衆が吸引した場合の線量簡易評価

項目	記号	単位	値	備考
放射性物質量	MAR	Bq	4.10E+14	実施計画記載の敷地境界線量評価条件より設定。核種はSr-90
MARのうち事故の影響を受ける割合	DR	－	1	全機器が損傷するとして保守側に設定
雰囲気中に放出され浮遊する割合	ARF	－	5.00E-05	出典※1より
肺に吸入され得る微粒子の割合	RF	－	1	知見となるデータが無いため保守側に設定
環境中へ漏れ出る割合	LPF	－	1	機器・建物の損傷の程度を考慮せず保守側に設定
五因子法※2による放射性物質放出量	ST	Bq	2.05E+10	MAR×DR×ARF×RF×LPF
一般公衆の呼吸率	Ma	m^3/s	2.57E-04	出典※3より2.22E+07cm^3/日を換算
実効線量係数	H	mSv/Bq	1.6E-04	出典※4よりSr-90の値
発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針による相対濃度	χ/Q	s/m^3	2.63E-04	大気安定度:Ｄ※5，風速2.3m/s※5，敷地境界まで440m
公衆が漏出した放射性物質を吸引することによる内部被ばく線量	Di	mSv	2.22E-01	ST×(χ/Q)×Ma×H

※１：U.S. Department of Energy, AIRBORNE RELEASE FRACTIONS/RATES AND RESPIRABLE FRACTIONS FOR NONREACTOR NUCLEAR FACILITIES, Volume I - Analysis of Experimental Data, DOE-HDBK-3010-94 December 1994
※２：五因子法とは、核燃料サイクル施設の事故解析ハンドブック（NUREG/CR-6410）に記載された簡易的に放射性物質の放出量を評価する手法である。
※３：発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標に対する評価指針
※４：ICRP Publication 72:Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides;Part 5 Complitation of Ingestion and Inhalation Dose Coefficients,1996
※５：2020年4月～2021年3月の気象データから設定

（３）Ｂ＋クラスの設計震度

2021年9月8日の原子力規制委員会で示された耐震設計の考え方では，Ｂクラスに対する静的地震力の評価と，動的地震力の評価として1/2Sd225弾性範囲（共振時のみ）の評価を求めており，Ｂ＋クラスではＢクラスの評価に加えて，動的地震力の評価として1/2Ss450機能維持の評価を求めている。

ａ．静的地震力の評価

機器に対する静的地震力の評価は，水平0.3Gに1.2を乗じて水平震度は0.36として評価を行う。この評価は，後述するｃ．に包絡されることから，ａ．の評価を

省略する。

b．1/2Sd225 弾性範囲（共振時のみ）

1/2Sd225 における機器に対する評価では，後述するｃ．に記載する値（水平震度 0.70,鉛直震度 0.40）に 1/2 を乗じて求め，水平震度は 0.35，鉛直震度は 0.20 として評価を行う。

ｃ．1/2Ss450 機能維持

増設多核種除去設備では 1/2Ss450 に対する，基礎（GL-0.1m）での最大応答加速度は水平（２方向）にて 556cm/s^2 および 549cm/s^2 ，鉛直にて 321cm/s^2 である。また水平２方向の各時刻の応答加速度を重ね合わせたところ，最大応答加速度は 570cm/s^2 である。

このため，機器に対する評価では最大応答加速度に 1.2 を乗じて重力加速度で除した値を評価に用いる震度とし，水平震度 0.70，鉛直震度 0.40 にて評価を行う。

以上

付録1　スカート支持たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針

1.　一般事項

本基本方針は，スカート支持たて置円筒形容器（耐震設計上の重要度分類ＢクラスおよびＢ＋クラス）の耐震性についての計算方法を示す。

1.1　適用基準

本基本方針における計算方法は，原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和62年8月）に準拠する。

1.2　計算条件

(1)　容器及び内容物の質量は重心に集中するものとする。

(2)　地震力は容器に対して水平方向および鉛直方向に作用するものとする。

(3)　容器はスカートで支持され，スカートは下端のベースプレートを円周上等ピッチの多数の基礎ボルトで基礎に固定された固定端とする。ここで，基礎については剛となるように設計する。

(4)　胴とスカートをはりと考え，変形モードは曲げ及びせん断変形を考慮する。

(5)　容器頂部に水平方向変位を拘束する構造物を設ける場合は，その部分をピン支持とする。

(6)　スカート部材において，マンホール等の開口部があって補強をしていない場合は，欠損の影響を考慮する。

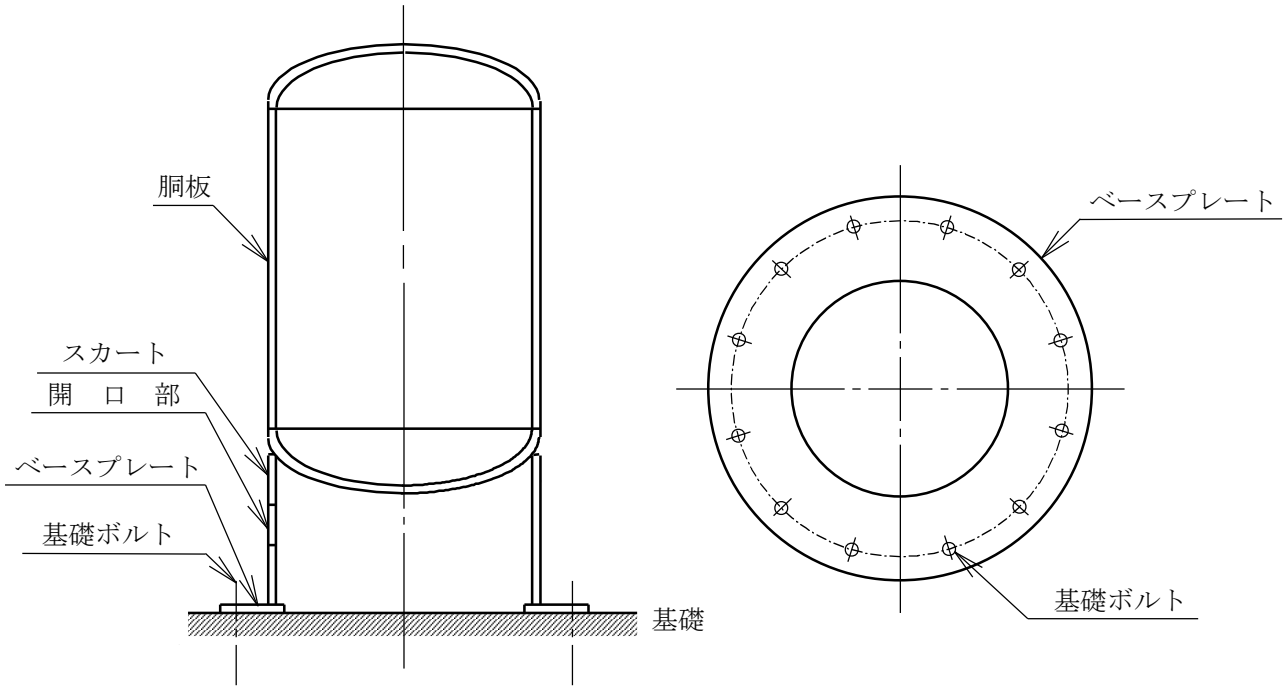


図1－1　概　要　図

1.3　記号の説明

記　号	記　号　の　説　明	単　位
A	胴の軸断面積	mm^2
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
A_e	胴の有効せん断断面積	mm^2
A_s	スカートの軸断面積	mm^2
A_{se}	スカートの有効せん断断面積	mm^2
C_c	基礎ボルト計算における係数	―
C_H	水平方向設計震度	―
C_t	基礎ボルト計算における係数	―
C_v	鉛直方向設計震度	―
D_{bi}	ベースプレートの内径	mm
D_{bo}	ベースプレートの外径	mm
D_c	基礎ボルトのピッチ円直径	mm
D_i	胴の内径	mm
D_j	スカートに設けられた各開口部の穴径（$j=1, 2, 3\cdots j_1$）	mm
D_s	スカートの内径	mm
E	胴の縦弾性係数	MPa
E_s	スカートの縦弾性係数	MPa
e	基礎ボルト計算における係数	―
F	設計・建設規格　SSB-3121.1又はSSB-3131に定める値	MPa
F_c	基礎に作用する圧縮力	N
F_t	基礎ボルトに作用する引張力	N
f_b	曲げモーメントに対する許容座屈応力	MPa
f_c	軸圧縮荷重に対する許容座屈応力	MPa
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_t	スカートの許容引張応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
G	胴のせん断弾性係数	MPa
G_s	スカートのせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
H	水頭	mm
I	胴の断面二次モーメント	mm^4
I_s	スカートの断面二次モーメント	mm^4
j_1	スカートに設けられた開口部の穴の個数	―

記　号	記　号　の　説　明	単　位
K_H	水平方向ばね定数	N/m
K_V	鉛直方向ばね定数	N/m
k	基礎ボルト計算における中立軸の荷重係数	－
λ	胴のスカート接合点から重心までの距離	mm
λ_1，λ_2	基礎ボルト計算における中立軸から荷重作用点までの距離（図2－4に示す距離）	mm
λ_r	容器の重心から上端支持部までの長さ	mm
λ_s	スカートの長さ	mm
M_s	スカートに作用する転倒モーメント	N･mm
M_{s1}	スカートの上端部に作用する転倒モーメント	N･mm
M_{s2}	スカートの下端部に作用する転倒モーメント	N･mm
m_0	容器の運転時質量	kg
m_e	容器のスカート接合部から上部の空質量	kg
n	基礎ボルトの本数	－
P_r	最高使用圧力	MPa
Q	重心に作用する任意の水平力	N
Q′	Qにより上端の支持部に作用する反力	N
S	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5に定める値	MPa
S_a	胴の許容応力	MPa
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
s	基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比	－
T_H	水平方向固有周期	s
T_V	鉛直方向固有周期	s
t	胴板の厚さ	mm
t_1	基礎ボルト面積相当板幅	mm
t_2	圧縮側基礎相当幅	mm
t_s	スカートの厚さ	mm
Y	スカート開口部の水平断面における最大円周長さ	mm
z	基礎ボルト計算における係数	－
α	基礎ボルト計算における中立軸を定める角度	rad
δ	荷重Qによる容器の上端での変位量	mm
δ'	荷重Q′による容器の上端での変位量	mm
δ_0	荷重Q，Q′による容器の重心での変位量	mm
η	座屈応力に対する安全率	－
π	円周率	－

記　　号	記　　号　　の　　説　　明	単　　位
ρ'	液体の密度（＝比重×10^{-6}）	kg/mm^3
σ_0	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{0c}	胴の組合せ圧縮応力	MPa
σ_{0t}	胴の組合せ引張応力	MPa
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_c	基礎に生じる圧縮応力	MPa
σ_s	スカートの組合せ応力	MPa
σ_{s1}	スカートの運転時質量による軸方向応力	MPa
σ_{s2}	スカートの曲げモーメントによる軸方向応力	MPa
σ_{s3}	スカートの鉛直方向地震による軸方向応力	MPa
σ_{x1}，$\sigma_{\phi 1}$	静水頭又は内圧により胴に生じる軸方向及び周方向応力	MPa
σ_{x2}	胴の運転時質量による軸方向引張応力	MPa
σ_{x3}	胴の空質量による軸方向圧縮応力	MPa
σ_{x4}	地震により胴に生じる軸方向応力	MPa
σ_{x5}	胴の鉛直方向地震による軸方向引張応力	MPa
σ_{x6}	胴の鉛直方向地震による軸方向圧縮応力	MPa
σ_{xc}	胴の軸方向応力の和（圧縮側）	MPa
σ_{xt}	胴の軸方向応力の和（引張側）	MPa
σ_ϕ	胴の周方向応力の和	MPa
$\sigma_{\phi 2}$	静水頭に鉛直方向地震が加わり胴に生じる周方向応力	MPa
τ	地震により胴に生じるせん断応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_s	地震によりスカートに生じるせん断応力	MPa
$\phi_1(x)$	圧縮荷重に対する許容座屈応力の関数	MPa
$\phi_2(x)$	曲げモーメントに対する許容座屈応力の関数	MPa

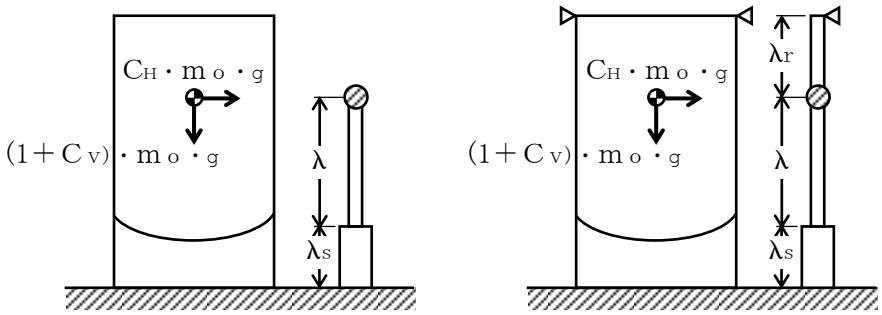
注：「設計・建設規格」とは，発電用原子力設備規格（設計・建設規格　ＪＳＭＥ　ＳＮＣ１－2005（2007年追補版含む。））（日本機械学会　2007年9月）（以下「設計・建設規格」という。）をいう。

2.　計算方法

2.1　固有周期の計算方法

(1)　計算モデル

本容器は，1.2項より図2－1に示す下端固定の1質点系振動モデルあるいは下端固定上端支持の1質点系振動モデルとして考える。



下端固定の場合　　下端固定上端支持の場合

図2－1　固有周期の計算モデル

(2)　水平方向固有周期

a.　下端固定の場合

曲げ及びせん断変形によるばね定数K_Hは次式で求める。

$$K_H=1000\ /\ \left\{\frac{\lambda^3}{3\cdot E\cdot I}+\frac{1}{3\cdot E_s\cdot I_s}\cdot(3\cdot\lambda^2\cdot\lambda_s+3\cdot\lambda\cdot\lambda_s{}^2+\lambda_s{}^3)+\frac{\lambda}{G\cdot A_e}+\frac{\lambda_s}{G_s\cdot A_{se}}\right\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.1)$$

ここで，スカートの開口部（図2－2参照）による影響を考慮し，胴及びスカートの断面性能は次のように求める。

胴の断面性能は

$$I=\frac{\pi}{8}\cdot(D_i+t)^3\cdot t \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.2)$$

$$A_e=\frac{2}{3}\cdot\pi\cdot(D_i+t)\cdot t \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.3)$$

スカートの断面性能は

$$I_s=\frac{\pi}{8}\cdot(D_s+t_s)^3\cdot t_s-\frac{1}{4}\cdot(D_s+t_s)^2\cdot t_s\cdot Y \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.4)$$

スカート開口部の水平断面における最大円周長さは，

（図2－2及び図2－3参照）

$$Y=\sum_{j=1}^{j1}(D_s+t_s)\cdot\sin^{-1}\left(\frac{D_j}{D_s+t_s}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.5)$$

$$A_{se}=\frac{2}{3}\cdot\{\pi\cdot(D_s+t_s)-Y\}\cdot t_s \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.6)$$

したがって，固有周期T_Hは次式で求める。

$$T_H=2\cdot\pi\cdot\sqrt{\frac{m_0}{K_H}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.7)$$

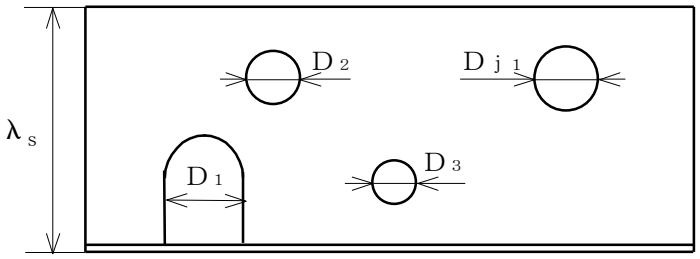


図2－2　スカート開口部の形状

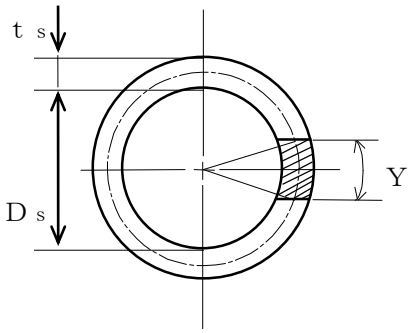


図2－3　スカート開口部の水平断面における最大円周長さ

b.　下端固定上端支持の場合

重心の位置に水平方向の荷重Qが作用したときに上端の支持部に生じる反力Q′は，図2－4 に示すように荷重Q及び反力Q′による上端の変位量δとδ′が等しいとして求める。

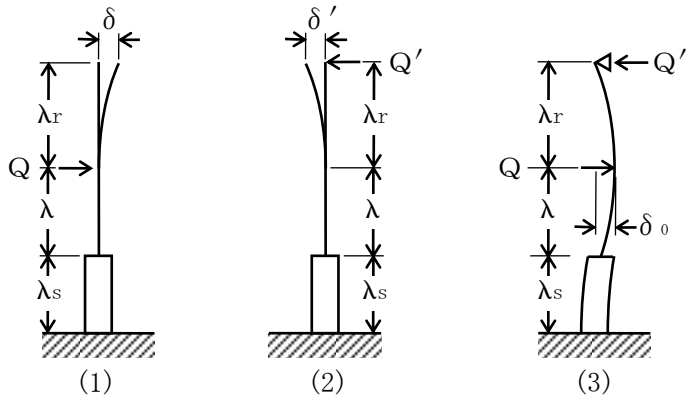


図2－4　下端固定上端支持の場合の変形モデル

図 2－4 の(1)の場合

$$\delta=\frac{Q\cdot\lambda^2}{6\cdot E\cdot I}\cdot(2\cdot\lambda+3\cdot\lambda_r)+\frac{Q}{6\cdot E_s\cdot I_s}$$
$$\cdot\{2\cdot\lambda_s^3+3\cdot\lambda_s^2\cdot\lambda_r+6\cdot\lambda_s\cdot\lambda\cdot(\lambda_s+\lambda+\lambda_r)\}$$
$$+\frac{Q\cdot\lambda}{G\cdot A_e}+\frac{Q\cdot\lambda_s}{G_s\cdot A_{se}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.8)$$

図 2－4 の(2)の場合

$$\delta'=\frac{Q'\cdot(\lambda+\lambda_r)^3}{3\cdot E\cdot I}+\frac{Q'}{3\cdot E_s\cdot I_s}$$
$$\cdot\{3\cdot(\lambda+\lambda_r)^2\cdot\lambda_s+3\cdot(\lambda+\lambda_r)\cdot\lambda_s^2+\lambda_s^3\}$$
$$+\frac{Q'\cdot(\lambda+\lambda_r)}{G\cdot A_e}+\frac{Q'\cdot\lambda_s}{G_s\cdot A_{se}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.9)$$

(2.1.8) 式と (2.1.9) 式を等しく置くことにより，

$$Q'=Q\cdot\left\{\frac{\lambda^2\cdot(2\cdot\lambda+3\cdot\lambda_r)}{6\cdot E\cdot I}\right.$$
$$+\frac{2\cdot\lambda_s^3+3\cdot\lambda_s^2\cdot\lambda_r+6\cdot\lambda_s\cdot\lambda\cdot(\lambda_s+\lambda+\lambda_r)}{6\cdot E_s\cdot I_s}$$
$$\left.+\frac{\lambda}{G\cdot A_e}+\frac{\lambda_s}{G_s\cdot A_{se}}\right\}\Big/\left\{\frac{(\lambda+\lambda_r)^3}{3\cdot E\cdot I}+\right.$$
$$\frac{3\cdot(\lambda+\lambda_r)^2\cdot\lambda_s+3\cdot(\lambda+\lambda_r)\cdot\lambda_s^2+\lambda_s^3}{3\cdot E_s\cdot I_s}$$
$$\left.+\frac{\lambda+\lambda_r}{G\cdot A_e}+\frac{\lambda_s}{G_s\cdot A_{se}}\right\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.10)$$

したがって，図 2－4 の(3)に示す重心位置での変位量δ_0は図 2－4 の(1)及び(2)の重心位置での変位量の重ね合せから求めることができ，ばね定数K_Hは次式で求める。

$$K_H=\frac{Q}{\delta_o}=1000\Big/\left\{\frac{\lambda^3}{3\cdot E\cdot I}+\frac{3\cdot\lambda^2\cdot\lambda_s+3\cdot\lambda\cdot\lambda_s{}^2+\lambda_s{}^3}{3\cdot E_s\cdot I_s}+\left(1-\frac{Q'}{Q}\right)\cdot\left(\frac{\lambda}{G\cdot A_e}+\frac{\lambda_s}{G_s\cdot A_{se}}\right)-\frac{Q'}{Q}\cdot\left(\frac{2\cdot\lambda^3+3\cdot\lambda^2\cdot\lambda_r}{6\cdot E\cdot I}+\frac{3\cdot\lambda_s{}^2\cdot\lambda+\lambda_s{}^3+3\cdot\lambda_s\cdot\lambda^2+3\cdot\lambda_s\cdot\lambda\cdot\lambda_r+\frac{3}{2}\cdot\lambda_s{}^2\cdot\lambda_r}{3\cdot E_s\cdot I_s}\right)\right\}$$

……　(2.1.11)

固有周期は（2.1.7）式により求める。

(3)　鉛直方向固有周期

軸方向変形によるばね定数K_Vは次式で求める。

$$K_V=1000\Big/\left\{\frac{\lambda}{A\cdot E}+\frac{\lambda_s}{A_s\cdot E_s}\right\}$$ ……　(2.1.12)

$$A=\pi\cdot(D_i+t)\cdot t$$ ……　(2.1.13)

$$A_s=\{\pi\cdot(D_s+t_s)-Y\}\cdot t_s$$ ……　(2.1.14)

したがって，固有周期T_vは次式で求める。

$$T_v=2\cdot\pi\cdot\sqrt{\frac{m_0}{K_v}}$$ ……　(2.1.15)

2.2　応力の計算方法

応力計算において，静的地震力を用いる場合は，絶対値和を用い，動的地震力を用いる場合は，ＳＲＳＳ法を用いることができる。

2.2.1　胴の応力

(1)　静水頭又は内圧による応力

静水頭による場合（鉛直方向地震時を含む。）

$$\sigma_{\phi 1}=\frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i}{2 \cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.1)$$

$$\sigma_{\phi 2}=\frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i \cdot C_v}{2 \cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.2)$$

$$\sigma_{x1}=0 \quad \cdots\cdots (2.2.1.3)$$

内圧による場合

$$\sigma_{\phi 1}=\frac{P_r \cdot (D_i+1.2 \cdot t)}{2 \cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.4)$$

$$\sigma_{\phi 2}=0 \quad \cdots\cdots (2.2.1.5)$$

$$\sigma_{x1}=\frac{P_r \cdot (D_i+1.2 \cdot t)}{4 \cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.6)$$

(2)　運転時質量及び鉛直方向地震による応力

胴がスカートと接合する点を境界として，上部には胴自身の質量による圧縮応力が，下部には下部の胴自身の質量と内容物の質量による引張応力が生じる。

下部の胴について

$$\sigma_{x2}=\frac{(m_0-m_e) \cdot g}{\pi \cdot (D_i+t) \cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.7)$$

$$\sigma_{x5}=\frac{(m_0-m_e) \cdot g \cdot C_v}{\pi \cdot (D_i+t) \cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.8)$$

上部の胴について

$$\sigma_{x3}=\frac{m_e \cdot g}{\pi \cdot (D_i+t) \cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.9)$$

$$\sigma_{x6}=\frac{m_e \cdot g \cdot C_v}{\pi \cdot (D_i+t) \cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.10)$$

(3)　水平方向地震による応力

水平方向の地震力により胴はスカート接合部で最大となる曲げモーメントを受ける。この曲げモーメントによる軸方向応力と地震力によるせん断応力は次のように求める。

a.　下端固定の場合

$$\sigma_{x4}=\frac{4\cdot C_H\cdot m_0\cdot g\cdot \lambda}{\pi\cdot(D_i+t)^2\cdot t} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.11)$$

$$\tau=\frac{2\cdot C_H\cdot m_0\cdot g}{\pi\cdot(D_i+t)\cdot t} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.12)$$

b.　下端固定上端支持の場合

$$\sigma_{x4}=\frac{4\cdot C_H\cdot m_0\cdot g\cdot\left|\lambda-\frac{Q'}{Q}\cdot(\lambda+\lambda_r)\right|}{\pi\cdot(D_i+t)^2\cdot t} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.13)$$

$$\tau=\frac{2\cdot C_H\cdot m_0\cdot g\cdot\left(1-\frac{Q'}{Q}\right)}{\pi\cdot(D_i+t)\cdot t} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.14)$$

(4)　組合せ応力

(1)～(3)によって求めた胴の応力は以下のように組み合わせる。

a.　一次一般膜応力

(a)　組合せ引張応力

$$\sigma_\phi=\sigma_{\phi1}+\sigma_{\phi2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.15)$$

$$\sigma_{0t}=\frac{1}{2}\cdot\left\{\sigma_\phi+\sigma_{xt}+\sqrt{(\sigma_\phi-\sigma_{xt})^2+4\cdot\tau^2}\right\}$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.16)$$

ここで,

【絶対値和】

$$\sigma_{xt}=\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sigma_{x4}+\sigma_{x5} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.17)$$

【ＳＲＳＳ法】

$$\sigma_{xt}=\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sqrt{\sigma_{x4}^2+\sigma_{x5}^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.18)$$

(b)　組合せ圧縮応力

σ_{xc}が正の値（圧縮側）のとき，次の組合せ圧縮応力を求める。

$$\sigma_\phi=-\sigma_{\phi1}-\sigma_{\phi2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.19)$$

$$\sigma_{0c}=\frac{1}{2}\cdot\left\{\sigma_\phi+\sigma_{xc}+\sqrt{(\sigma_\phi-\sigma_{xc})^2+4\cdot\tau^2}\right\}$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.20)$$

ここで,

【絶対値和】

$$\sigma_{xc} = -\sigma_{x1} + \sigma_{x3} + \sigma_{x4} + \sigma_{x6} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.21)$$

【ＳＲＳＳ法】

$$\sigma_{xc} = -\sigma_{x1} + \sigma_{x3} + \sqrt{\sigma_{x4}^{2} + \sigma_{x6}^{2}} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.22)$$

したがって，胴の組合せ一次一般膜応力の最大値は，絶対値和，ＳＲＳＳ法それぞれに対して，

σ_0＝Max ｛組合せ引張応力（σ_{0t}），組合せ圧縮応力（σ_{0c}）｝

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.23)$$

とする。

一次応力は一次一般膜応力と同じになるので省略する。

2.2.2　スカートの応力

(1)　運転時質量及び鉛直方向地震による応力

スカート底部に生じる運転時質量及び鉛直方向地震による圧縮応力は次式で求める。

$$\sigma_{s1} = \frac{m_0 \cdot g}{\{\pi \cdot (D_s + t_s) - Y\} \cdot t_s} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.1)$$

$$\sigma_{s3} = \frac{m_0 \cdot g \cdot C_V}{\{\pi \cdot (D_s + t_s) - Y\} \cdot t_s} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.2)$$

(2)　水平方向地震による応力

水平方向の地震力によりスカートには曲げモーメントが作用する。この曲げモーメントによる軸方向応力と地震力によるせん断応力は次式で求める。

a.　下端固定の場合

$$\sigma_{s2} = \frac{M_s}{(D_s + t_s) \cdot t_s \cdot \left\{\frac{\pi}{4} \cdot (D_s + t_s) - \frac{Y}{2}\right\}} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.3)$$

$$\tau_s = \frac{2 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g}{\{\pi \cdot (D_s + t_s) - Y\} \cdot t_s} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.4)$$

ここで,

$$M_s = C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot (\lambda_s + \lambda) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.5)$$

b.　下端固定上端支持の場合

軸方向応力は（2.2.2.3）式で表されるが，曲げモーメントM_sは次のM_{s1}又はM_{s2}のいずれか大きい方の値とする。

$$M_{s1}=C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \left|\lambda-\frac{Q'}{Q}\cdot(\lambda+\lambda_r)\right| \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.6)$$

$$M_{s2}=C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \left|\lambda_s+\lambda-\frac{Q'}{Q}\cdot(\lambda_s+\lambda+\lambda_r)\right| \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.7)$$

$$\tau_s=\frac{2 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \left(1-\frac{Q'}{Q}\right)}{\{\pi \cdot (D_s+t_s)-Y\} \cdot t_s} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.8)$$

(3)　組合せ応力

組合せ応力は次式で求める。

【絶対値和】

$$\sigma_s=\sqrt{(\sigma_{s1}+\sigma_{s2}+\sigma_{s3})^2+3 \cdot \tau_s^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.9)$$

【ＳＲＳＳ法】

$$\sigma_s=\sqrt{\left(\sigma_{s1}+\sqrt{\sigma_{s2}^2+\sigma_{s3}^2}\right)^2+3 \cdot \tau_s^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.10)$$

2.2.3　基礎ボルトの応力

(1)　引張応力

基礎に作用する転倒モーメントＭｓは，下端固定の場合，（2.2.2.5）式を，下端固定上端支持の場合は（2.2.2.6）式又は（2.2.2.7）式を用いる。

転倒モーメントが作用した場合に生じる基礎ボルトの引張荷重と基礎部の圧縮荷重については，荷重と変位量の釣合い条件を考慮することにより求める。（図2－5参照）

以下にその手順を示す。

a.　σｂ及びσｃを仮定して基礎ボルトの応力計算における中立軸の荷重係数ｋを求める。

$$k=\frac{1}{1+\frac{\sigma_b}{s\cdot\sigma_c}} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.3.1)$$

b.　基礎ボルトの応力計算における中立軸を定める角度αを求める。

$$\alpha=\cos^{-1}(1-2\cdot k) \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.3.2)$$

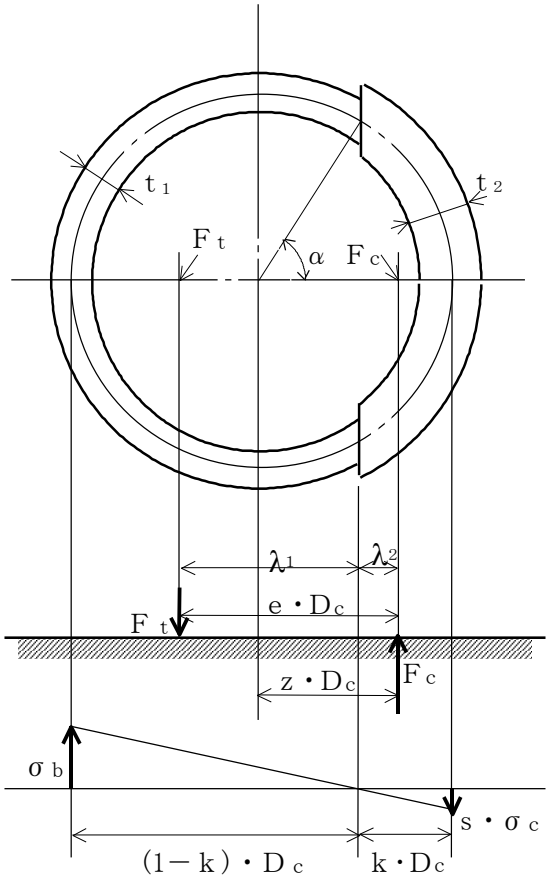


図2－5　基礎の荷重説明図

c. 各定数ｅ，ｚ，Ｃｔ及びＣｃを求める。

$$e=\frac{1}{2}\cdot\left\{\frac{(\pi-\alpha)\cdot\cos^2\alpha+\frac{1}{2}\cdot(\pi-\alpha)+\frac{3}{2}\cdot\sin\alpha\cdot\cos\alpha}{(\pi-\alpha)\cdot\cos\alpha+\sin\alpha}+\frac{\frac{1}{2}\cdot\alpha-\frac{3}{2}\cdot\sin\alpha\cdot\cos\alpha+\alpha\cdot\cos^2\alpha}{\sin\alpha-\alpha\cdot\cos\alpha}\right\} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (2.2.3.3)$$

$$z=\frac{1}{2}\cdot\left(\cos\alpha+\frac{\frac{1}{2}\cdot\alpha-\frac{3}{2}\cdot\sin\alpha\cdot\cos\alpha+\alpha\cdot\cos^2\alpha}{\sin\alpha-\alpha\cdot\cos\alpha}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.3.4)$$

$$C_t=\frac{2\cdot\{(\pi-\alpha)\cdot\cos\alpha+\sin\alpha\}}{1+\cos\alpha} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.3.5)$$

$$C_c=\frac{2\cdot(\sin\alpha-\alpha\cdot\cos\alpha)}{1-\cos\alpha} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.3.6)$$

d. 各定数を用いてＦｔ及びＦｃを求める。

【絶対値和】

$$F_t=\frac{M_s-(1-C_v)\cdot m_0\cdot g\cdot z\cdot D_c}{e\cdot D_c} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.3.7)$$

$$F_c=F_t+(1-C_v)\cdot m_0\cdot g \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.3.8)$$

【ＳＲＳＳ法】

$$F_t=\frac{\sqrt{M_s^2+(C_v\cdot m_0\cdot g\cdot z\cdot D_c)^2}}{e\cdot D_c}-\frac{z}{e}\cdot m_0\cdot g \quad \cdots\cdots\cdots \quad (2.2.3.9)$$

$$F_c=\frac{\sqrt{M_s^2+(C_v\cdot m_0\cdot g\cdot(z-e)\cdot D_c)^2}}{e\cdot D_c}+\left(1-\frac{z}{e}\right)\cdot m_0\cdot g \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.3.10)$$

基礎ボルトに引張力が作用しないのは，αがπに等しくなったときであり，（2.2.3.3）式及び（2.2.3.4）式においてαをπに近づけた場合の値　ｅ＝0.75及びｚ＝0.25を（2.2.3.7）式又は（2.2.3.9）式に代入し，得られるＦｔの値によって引張力の有無を次のように判定する。

Ｆｔ≦0ならば引張力は作用しない。

Ｆｔ＞0ならば引張力が作用しているので次の計算を行う。

e.　σ_b及びσ_cを求める。

$$\sigma_b=\frac{2\cdot F_t}{t_1\cdot D_c\cdot C_t} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.3.11)$$

$$\sigma_c=\frac{2\cdot F_c}{(t_2+s\cdot t_1)\cdot D_c\cdot C_c} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.3.12)$$

ここで,

$$t_1=\frac{n\cdot A_b}{\pi\cdot D_c} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.3.13)$$

$$t_2=\frac{1}{2}\cdot(D_{bo}-D_{bi})-t_1 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.3.14)$$

σ_b及びσ_cがa項にて仮定した値と十分に近似していることを確認する。この場合のσ_b及びσ_cを基礎ボルトと基礎に生じる応力とする。

(2)　せん断応力

a.　下端固定の場合

$$\tau_b=\frac{C_H\cdot m_0\cdot g}{n\cdot A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.3.15)$$

b.　下端固定上端支持の場合

$$\tau_b=\frac{C_H\cdot m_0\cdot g\cdot\left(1-\frac{Q'}{Q}\right)}{n\cdot A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.3.16)$$

3.　評価方法

3.1　固有周期の評価

2.1項で求めた固有周期から，水平方向及び鉛直方向の設計震度を求める。

3.2　応力の評価

3.2.1　胴の応力評価

2.2.1項で求めた組合せ応力が胴の最高使用温度における許容応力Ｓａ以下であること。

応力の種類	許　容　応　力　Sa
一次一般膜応力	設計降伏点Ｓｙと設計引張強さＳｕの0.6倍のいずれか小さい方の値。ただし，オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金にあっては許容引張応力Ｓの1.2倍の方が大きい場合は，この大きい方の値とする。

一次応力の評価は算出応力が一次一般膜応力と同じ値であるので省略する。

3.2.2　スカートの応力評価

(1)　2.2.2項で求めたスカートの組合せ応力が許容引張応力 f_t 以下であること。

$$f_t = \frac{F}{1.5} \cdot 1.5 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.2.2.1)$$

(2)　圧縮膜応力（圧縮応力と曲げによる圧縮側応力の組合せ）は次式を満足すること。

（座屈の評価）

$$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leqq 1 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.2.2.2)$$

ここで，f_c は次による。

$$\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \leqq \frac{1200 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_c = F \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.2.2.3)$$

$$\frac{1200 \cdot g}{F} < \frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} < \frac{8000 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_c = F \cdot \left[1 - \frac{1}{6800 \cdot g} \cdot \left\{ F - \phi_1 \left(\frac{8000 \cdot g}{F} \right) \right\} \cdot \left(\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right) \right] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.2.2.4)$$

$$\frac{8000\cdot g}{F}\leqq\frac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s}\leqq 800 \quad \text{のとき}$$

$$f_c=\phi_1\left(\frac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.2.2.5)$$

ただし，$\phi_1(x)$は次の関数とする。

$$\phi_1(x)=0.6\cdot\frac{E_s}{x}\cdot\left[1-0.901\cdot\left\{1-\exp\left(-\frac{1}{16}\cdot\sqrt{x}\right)\right\}\right] \cdots\cdots \quad (3.2.2.6)$$

また，f_bは次による。

$$\frac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s}\leqq\frac{1200\cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_b=F \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.2.2.7)$$

$$\frac{1200\cdot g}{F}<\frac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s}<\frac{9600\cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_b=F\cdot\left[1-\frac{1}{8400\cdot g}\cdot\left\{F-\phi_2\left(\frac{9600\cdot g}{F}\right)\right\}\cdot\left(\frac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s}-\frac{1200\cdot g}{F}\right)\right] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.2.2.8)$$

$$\frac{9600\cdot g}{F}\leqq\frac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s}\leqq 800 \quad \text{のとき}$$

$$f_b=\phi_2\left(\frac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.2.2.9)$$

ただし，$\phi_2(x)$は次の関数とする。

$$\phi_2(x)=0.6\cdot\frac{E_s}{x}\cdot\left[1-0.731\cdot\left\{1-\exp\left(-\frac{1}{16}\cdot\sqrt{x}\right)\right\}\right] \quad \cdots \quad (3.2.2.10)$$

ηは安全率で次による。

$$\frac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s}\leqq\frac{1200\cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$\eta=1 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.2.2.11)$$

$$\frac{1200\cdot g}{F}<\frac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s}<\frac{8000\cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$\eta=1+\frac{0.5\cdot F}{6800\cdot g}\cdot\left(\frac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s}-\frac{1200\cdot g}{F}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.2.2.12)$$

$$\frac{8000\cdot g}{F}\leqq\frac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s} \quad \text{のとき}$$

$$\eta=1.5 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.2.2.13)$$

3.2.3　基礎ボルトの応力評価

2.2.3項で求めた基礎ボルトの引張応力σ_bは次式より求めた許容引張応力f_{ts}以下であること。

せん断応力τ_bはせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力f_{sb}以下であること。

$$f_{ts}=1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.2.3.1)$$

かつ,

$$f_{ts}\leqq f_{to} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.2.3.2)$$

ただし，f_{to}及びf_{sb}は下表による。

	許容引張応力　f_{to}	許容せん断応力　f_{sb}
計　　算　　式	$\frac{F}{2}\cdot 1.5$	$\frac{F}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

付録2　平底たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針

1.　一般事項

本基本方針は，平底たて置円筒形容器（耐震設計上の重要度分類ＢクラスおよびＢ＋クラス）の耐震性についての計算方法を示す。

1.1　適用基準

本基本方針における計算方法は，原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987　（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和62年8月）に準拠する。

1.2　計算条件

(1)　容器及び内容物の質量は重心に集中するものとする。

(2)　地震力は容器に対して水平方向および鉛直方向から作用するものとする。

(3)　容器は胴下端のベースプレートを円周上等ピッチの多数の基礎ボルトで基礎に固定された固定端とする。ここで，基礎については剛となるように設計する。

(4)　胴をはりと考え，変形モードは曲げ及びせん断変形を考慮する。

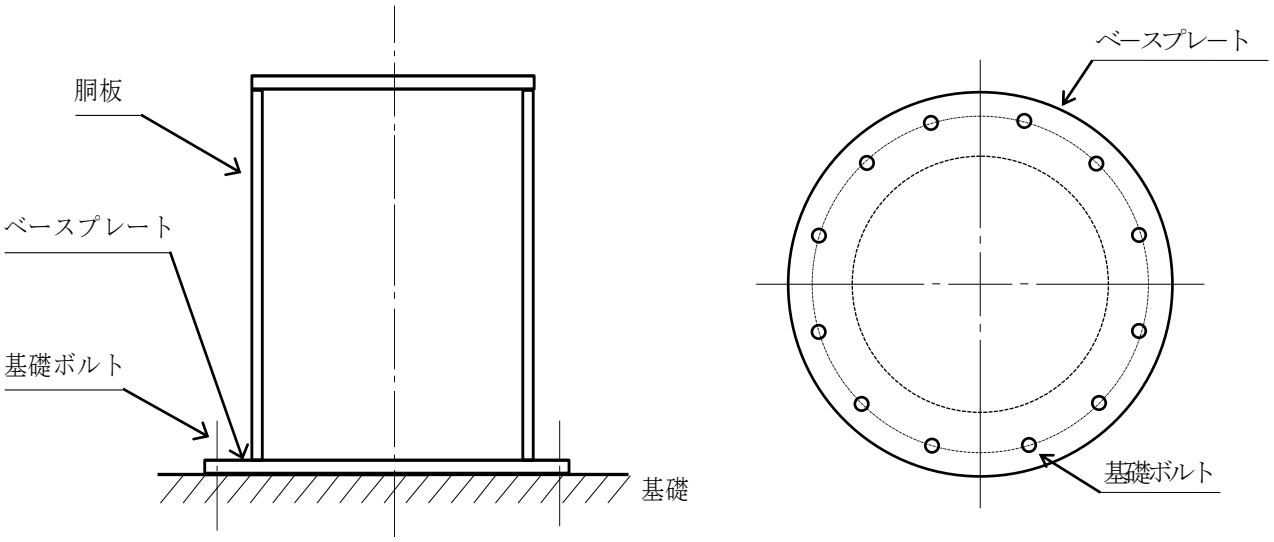


図1－1　概　要　図

1.3　記号の説明

記　　号	記　　号　　の　　説　　明	単　　位
A	胴の軸断面積	mm^2
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
A_e	胴の有効せん断断面積	mm^2
C_c	基礎ボルト計算における係数	－
C_H	水平方向設計震度	－
C_t	基礎ボルト計算における係数	－
C_v	鉛直方向設計震度	－
D_{bi}	ベースプレートの内径	mm
D_{bo}	ベースプレートの外径	mm
D_c	基礎ボルトのピッチ円直径	mm
D_i	胴の内径	mm
E	胴の縦弾性係数	MPa
e	基礎ボルト計算における係数	－
F	設計・建設規格　SSB-3121.1又はSSB-3131に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格　SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F_c	基礎に作用する圧縮力	N
F_t	基礎ボルトに作用する引張力	N
f_b	曲げモーメントに対する許容座屈応力	MPa
f_c	軸圧縮荷重に対する許容座屈応力	MPa
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
G	胴のせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
H	水頭	mm
I	胴の断面二次モーメント	mm^4
K_H	水平方向ばね定数	N/m
K_V	鉛直方向ばね定数	N/m
k	基礎ボルト計算における中立軸の荷重係数	－
λ_1，λ_2	基礎ボルト計算における中立軸から荷重作用点までの距離（図2－2に示す距離）	mm
λ_g	基礎から容器重心までの距離	mm
M_s	基礎に作用する転倒モーメント	N･mm
m_o	容器の運転時質量	kg
m_e	容器の空質量	kg
n	基礎ボルトの本数	－
S	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5に定める値	MPa
S_a	胴の許容応力	MPa
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa

記　号	記　号　の　説　明	単　位
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
s	基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比	－
T_H	水平方向固有周期	s
T_V	鉛直方向固有周期	s
t	胴板の厚さ	mm
t_1	基礎ボルト面積相当板幅	mm
t_2	圧縮側基礎相当幅	mm
z	基礎ボルト計算における係数	－
α	基礎ボルト計算における中立軸を定める角度	rad
η	座屈応力に対する安全率	－
π	円周率	－
ρ'	液体の密度（＝比重×10^{-6}）	kg/mm^3
σ_0	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{0c}	胴の組合せ圧縮応力	MPa
σ_{0t}	胴の組合せ引張応力	MPa
σ_2	地震動のみによる胴の一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
$\sigma_{2\phi}$	地震動のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
σ_{2c}	地震動のみによる胴の一次応力と二次応力の和の変動値（圧縮側）	MPa
σ_{2t}	地震動のみによる胴の一次応力と二次応力の和の変動値（引張側）	MPa
σ_{2xc}	地震動のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和（圧縮側）	MPa
σ_{2xt}	地震動のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和（引張側）	MPa
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_c	基礎に生じる圧縮応力	MPa
σ_{x1}，$\sigma_{\phi 1}$	静水頭により胴に生じる軸方向及び周方向応力	MPa
σ_{x2}	胴の空質量による軸方向圧縮応力	MPa
σ_{x3}	胴の鉛直方向地震による軸方向応力	MPa
σ_{x4}	胴の水平方向地震による軸方向応力	MPa
σ_{xc}	胴の軸方向応力の和（圧縮側）	MPa
σ_{xt}	胴の軸方向応力の和（引張側）	MPa
σ_ϕ	胴の周方向応力の和	MPa
$\sigma_{\phi 2}$	静水頭に鉛直方向地震が加わり胴に生じる周方向応力	MPa
τ	地震により胴に生じるせん断応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
ϕ_1（x）	圧縮荷重に対する許容座屈応力の関数	MPa
ϕ_2（x）	曲げモーメントに対する許容座屈応力の関数	MPa

注：「設計・建設規格」とは，発電用原子力設備規格（設計・建設規格　ＪＳＭＥ　ＳＮＣ１－2005（2007年追補版含む。））（日本機械学会　2007年9月）（以下「設計・建設規格」という。）をいう。

2.　計算方法

2.1　固有周期の計算方法

(1)　計算モデル

本容器は，1.2項より図2－1に示すような下端固定の1質点系振動モデルとして考える。

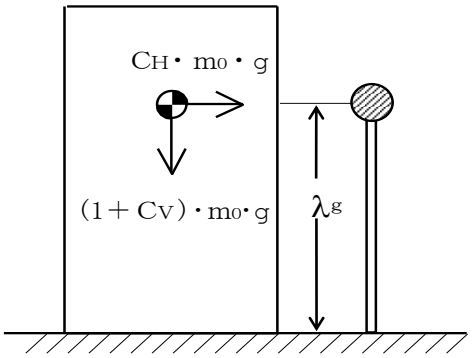


図2－1　固有周期の計算モデル

(2)　水平方向固有周期

曲げ及びせん断変形によるばね定数K_Hは次式で求める。

$$K_H=\frac{1000}{\frac{\lambda_g{}^3}{3\cdot E\cdot I}+\frac{\lambda_g}{G\cdot A_e}} \quad \cdots\cdots (2.1.1)$$

ここで，胴の断面性能は次のように求める。

$$I=\frac{\pi}{8}\cdot(D_i+t)^3\cdot t \quad \cdots\cdots (2.1.2)$$

$$A_e=\frac{2}{3}\cdot\pi\cdot(D_i+t)\cdot t \quad \cdots\cdots (2.1.3)$$

したがって，固有周期T_Hは次式で求める。

$$T_H=2\cdot\pi\cdot\sqrt{\frac{m_0}{K_H}} \quad \cdots\cdots (2.1.4)$$

(3)　鉛直方向固有周期

軸方向変形によるばね定数K_Vは次式で求める。

$$K_V=\frac{1000}{\frac{\lambda_g}{A\cdot E}} \quad \cdots\cdots (2.1.5)$$

ここで，胴の断面性能は次のように求める。

$$A=\pi\cdot(D_i+t)\cdot t \quad \cdots\cdots (2.1.6)$$

したがって，固有周期T_vは次式で求める。

$$T_v=2\cdot\pi\cdot\sqrt{\frac{m_e}{K_v}} \quad \cdots\cdots (2.1.7)$$

2.2　応力の計算方法

応力計算において，静的地震力を用いる場合は，絶対値和を用い，動的地震力を用いる場合は，ＳＲＳＳ法を用いることができる。

2.2.1　胴の応力

(1)　静水頭及び鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{\phi 1}=\frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i}{2 \cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.1)$$

$$\sigma_{\phi 2}=\frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i \cdot C_v}{2 \cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.2)$$

$$\sigma_{x1}=0 \quad \cdots\cdots (2.2.1.3)$$

(2)　運転時質量及び鉛直方向地震による応力

胴がベースプレートと接合する点には，胴自身の質量による圧縮応力と鉛直方向地震による軸方向応力が生じる。

$$\sigma_{x2}=\frac{m_e \cdot g}{\pi \cdot (D_i+t) \cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.4)$$

$$\sigma_{x3}=\frac{m_e \cdot g \cdot C_v}{\pi \cdot (D_i+t) \cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.5)$$

(3)　水平方向地震による応力

水平方向の地震力により胴はベースプレート接合部で最大となる曲げモーメントを受ける。この曲げモーメントによる軸方向応力と地震力によるせん断応力は次のように求める。

$$\sigma_{x4}=\frac{4 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \lambda_g}{\pi \cdot (D_i+t)^2 \cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.6)$$

$$\tau=\frac{2 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g}{\pi \cdot (D_i+t) \cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.7)$$

(4)　組合せ応力

(1)～(3)によって求めた胴の応力は以下のように組み合わせる。

a.　一次一般膜応力

(a)　組合せ引張応力

$$\sigma_{\phi}=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 2} \quad \cdots\cdots (2.2.1.8)$$

$$\sigma_{0t}=\frac{1}{2} \cdot \left\{\sigma_{\phi}+\sigma_{xt}+\sqrt{(\sigma_{\phi}-\sigma_{xt})^2+4 \cdot \tau^2}\right\} \quad \cdots\cdots (2.2.1.9)$$

ここで，

【絶対値和】

$$\sigma_{xt}=\sigma_{x1}-\sigma_{x2}+\sigma_{x3}+\sigma_{x4} \quad \cdots\cdots (2.2.1.10)$$

【ＳＲＳＳ法】

$$\sigma_{xt}=\sigma_{x1}-\sigma_{x2}+\sqrt{\sigma_{x3}^2+\sigma_{x4}^2} \quad \cdots\cdots (2.2.1.11)$$

(b)　組合せ圧縮応力

σ_{xc}が正の値（圧縮側）のとき，次の組合せ圧縮応力を求める。

$$\sigma_{\phi}=-\sigma_{\phi 1}-\sigma_{\phi 2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.12)$$

$$\sigma_{0c}=\frac{1}{2}\cdot\left\{\sigma_{\phi}+\sigma_{xc}+\sqrt{(\sigma_{\phi}-\sigma_{xc})^{2}+4\cdot\tau^{2}}\right\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.13)$$

ここで,

【絶対値和】

$$\sigma_{xc}=-\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sigma_{x3}+\sigma_{x4} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.14)$$

【ＳＲＳＳ法】

$$\sigma_{xc}=-\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sqrt{\sigma_{x3}^{2}+\sigma_{x4}^{2}} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.15)$$

したがって，胴の組合せ一次一般膜応力の最大値は，絶対値和，ＳＲＳＳ法それぞれに対して,

σ_{0}＝Max｛組合せ引張応力（σ_{0t}），組合せ圧縮応力（σ_{0c}）｝

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.16)$$

とする。

一次応力は一次一般膜応力と同じになるので省略する。

2.2.2　基礎ボルトの応力

(1)　引張応力

転倒モーメントが作用した場合に生じる基礎ボルトの引張荷重と基礎部の圧縮荷重については，荷重と変位量の釣合い条件を考慮することにより求める。(図 2－2 参照)

以下にその手順を示す。

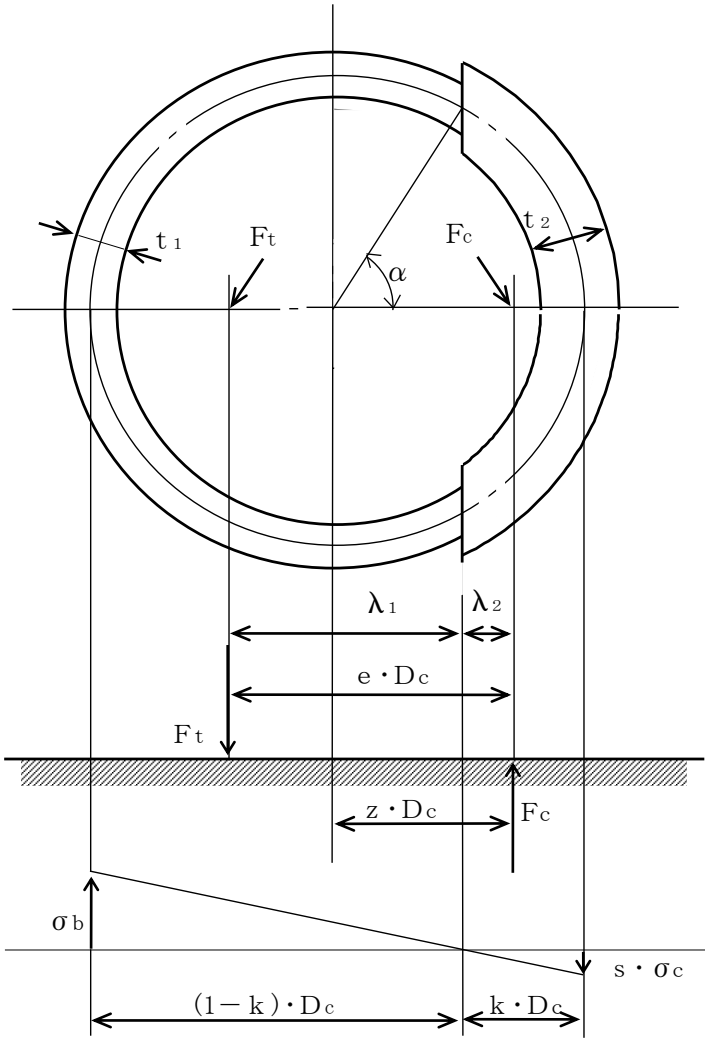


図2－2　基礎の荷重説明図

a.　σ b及びσ c を仮定して基礎ボルトの応力計算における中立軸の荷重係数 k を求める。

$$k = \frac{1}{1 + \frac{\sigma_b}{s \cdot \sigma_c}} \quad \cdots\cdots (2.2.2.1)$$

b. 基礎ボルトの応力計算における中立軸を定める角度αを求める。

$$\alpha = \cos^{-1}(1-2\cdot k) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.2)$$

c. 各定数ｅ，ｚ，Ｃｔ及びＣｃを求める。

$$e = \frac{1}{2}\cdot\left\{ \frac{(\pi-\alpha)\cdot\cos^2\alpha + \frac{1}{2}\cdot(\pi-\alpha) + \frac{3}{2}\cdot\sin\alpha\cdot\cos\alpha}{(\pi-\alpha)\cdot\cos\alpha + \sin\alpha} + \frac{\frac{1}{2}\cdot\alpha - \frac{3}{2}\cdot\sin\alpha\cdot\cos\alpha + \alpha\cdot\cos^2\alpha}{\sin\alpha - \alpha\cdot\cos\alpha} \right\} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.3)$$

$$z = \frac{1}{2}\cdot\left(\cos\alpha + \frac{\frac{1}{2}\cdot\alpha - \frac{3}{2}\cdot\sin\alpha\cdot\cos\alpha + \alpha\cdot\cos^2\alpha}{\sin\alpha - \alpha\cdot\cos\alpha} \right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.4)$$

$$C_t = \frac{2\cdot\{(\pi-\alpha)\cdot\cos\alpha + \sin\alpha\}}{1+\cos\alpha} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.5)$$

$$C_C = \frac{2\cdot(\sin\alpha - \alpha\cdot\cos\alpha)}{1-\cos\alpha} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.6)$$

d. 各定数を用いてＦｔ及びＦｃを求める。

【絶対値和】

$$F_t = \frac{M_s - (1-C_v)\cdot m_0\cdot g\cdot z\cdot D_c}{e\cdot D_c} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.7)$$

$$F_c = F_t + (1-C_v)\cdot m_0\cdot g \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.8)$$

【ＳＲＳＳ法】

$$F_t = \frac{\sqrt{M_s^2 + (C_v\cdot m_0\cdot g\cdot z\cdot D_c)^2}}{e\cdot D_c} - \frac{z}{e}\cdot m_0\cdot g \quad \cdots\cdots \quad (2.2.2.9)$$

$$F_c = \frac{\sqrt{M_s^2 + (C_v\cdot m_0\cdot g\cdot(z-e)\cdot D_c)^2}}{e\cdot D_c} + \left(1-\frac{z}{e}\right)\cdot m_0\cdot g \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.10)$$

ここで，

$$M_s = C_H\cdot m_0\cdot g\cdot\lambda_g \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.11)$$

基礎ボルトに引張力が作用しないのは，αがπに等しくなったときであり，（2.2.2.3）式及び（2.2.2.4）式においてαをπに近づけた場合の値ｅ＝0.75及びｚ＝0.25を（2.2.2.7）式又は（2.2.2.9）式に代入し，得られるＦｔの値によって引張力の有無を次のように判定する。

Ｆｔ≦0ならば引張力は作用しない。

Ｆｔ＞0ならば引張力が作用しているので次の計算を行う。

e.　σ_b及びσ_cを求める。

$$\sigma_b = \frac{2 \cdot F_t}{t_1 \cdot D_c \cdot C_t} \quad \cdots\cdots (2.2.2.12)$$

$$\sigma_c = \frac{2 \cdot F_c}{(t_2 + s \cdot t_1) \cdot D_c \cdot C_c} \quad \cdots\cdots (2.2.2.13)$$

ここで,

$$t_1 = \frac{n \cdot A_b}{\pi \cdot D_c} \quad \cdots\cdots (2.2.2.14)$$

$$t_2 = \frac{1}{2} \cdot (D_{bo} - D_{bi}) - t_1 \quad \cdots\cdots (2.2.2.15)$$

σ_b及びσ_cがa項にて仮定した値と十分に近似していることを確認する。この場合のσ_b及びσ_cを基礎ボルトと基礎に生じる応力とする。

(2)　せん断応力

$$\tau_b = \frac{C_H \cdot m_0 \cdot g}{n \cdot A_b} \quad \cdots\cdots (2.2.2.16)$$

3.　評価方法

3.1　固有周期の評価

2.1 項で求めた固有周期から，水平方向及び鉛直方向の設計震度を求める。

3.2　応力の評価

3.2.1　胴の応力評価

(1)　2.2.1項で求めた組合せ応力が胴の最高使用温度における許容応力Ｓａ以下であること。

応力の種類	許　容　応　力　Sa
一次一般膜応力	設計降伏点Ｓｙと設計引張強さＳｕの0.6倍のいずれか小さい方の値。ただし，オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金にあっては許容引張応力Ｓの1.2倍の方が大きい場合は，この大きい方の値とする。

一次応力の評価は算出応力が一次一般膜応力と同じ値であるので省略する。

(2)　圧縮膜応力（圧縮応力と曲げによる圧縮側応力の組合せ）は次式を満足すること。

（座屈の評価）

$$\frac{\eta \cdot (\sigma_{x2}+\sigma_{x3})}{f_c}+\frac{\eta \cdot \sigma_{x4}}{f_b} \leqq 1 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.2.1.1)$$

ここで，f_cは次による。

$\dfrac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t} \leqq \dfrac{1200\cdot g}{F}$　のとき

$$f_c = F \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.2.1.2)$$

$\dfrac{1200\cdot g}{F} < \dfrac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t} < \dfrac{8000\cdot g}{F}$ のとき

$$f_c = F\cdot\left[1-\frac{1}{6800\cdot g}\cdot\left\{F-\phi_1\left(\frac{8000\cdot g}{F}\right)\right\}\cdot\left(\frac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t}-\frac{1200\cdot g}{F}\right)\right]$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.2.1.3)$$

$\dfrac{8000\cdot g}{F} \leqq \dfrac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t} \leqq 800$　のとき

$$f_c = \phi_1\left(\frac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.2.1.4)$$

ただし，$\phi_1(x)$は次の関数とする。

$$\phi_1(x) = 0.6\cdot\frac{E}{x}\cdot\left[1-0.901\cdot\left\{1-\exp\left(-\frac{1}{16}\cdot\sqrt{x}\right)\right\}\right]$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.2.1.5)$$

また，f_bは次による。

$\frac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t} \leqq \frac{1200\cdot g}{F}$　のとき

$$f_b = F \quad \cdots\cdots (3.2.1.6)$$

$\frac{1200\cdot g}{F} < \frac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t} < \frac{9600\cdot g}{F}$　のとき

$$f_b = F\cdot\left[1-\frac{1}{8400\cdot g}\cdot\left\{F-\phi_2\left(\frac{9600\cdot g}{F}\right)\right\}\cdot\left(\frac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t}-\frac{1200\cdot g}{F}\right)\right] \quad \cdots\cdots (3.2.1.7)$$

$\frac{9600\cdot g}{F} \leqq \frac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t} \leqq 800$　のとき

$$f_b = \phi_2\left(\frac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t}\right) \quad \cdots\cdots (3.2.1.8)$$

ただし，ϕ_2（x）は次の関数とする。

$$\phi_2(x) = 0.6\cdot\frac{E}{x}\cdot\left[1-0.731\cdot\left\{1-\exp\left(-\frac{1}{16}\cdot\sqrt{x}\right)\right\}\right] \quad \cdots\cdots (3.2.1.9)$$

ηは安全率で次による。

$\frac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t} \leqq \frac{1200\cdot g}{F}$　のとき

$$\eta = 1 \quad \cdots\cdots (3.2.1.10)$$

$\frac{1200\cdot g}{F} < \frac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t} < \frac{8000\cdot g}{F}$　のとき

$$\eta = 1+\frac{0.5\cdot F}{6800\cdot g}\cdot\left(\frac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t}-\frac{1200\cdot g}{F}\right) \quad \cdots\cdots (3.2.1.11)$$

$\frac{8000\cdot g}{F} \leqq \frac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t}$　のとき

$$\eta = 1.5 \quad \cdots\cdots (3.2.1.12)$$

3.2.2　基礎ボルトの応力評価

2.2.2 項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。

$$f_{ts}=1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.2.2.1)$$

かつ,

$$f_{ts}\leqq f_{to} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.2.2.2)$$

ただし，f_{to} 及び f_{sb} は下表による。

	許容引張応力　f_{to}	許容せん断応力　f_{sb}
計　　算　　式	$\dfrac{F}{2}\cdot 1.5$	$\dfrac{F}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

付録３　横軸ポンプ及びスキッドの耐震性についての計算書作成の基本方針

1.　一般事項

本基本方針は，横軸ポンプ（耐震設計上の重要度分類ＢクラスおよびＢ＋クラス）の耐震性についての計算方法を示す。なお，本基本方針はスキッドにも適用する。（その場合は，ポンプをスキッドと読み替える。）

1.1　適用基準

本基本方針における計算方法は，原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987（日本電気協会 電気技術基準調査委員会　昭和 62 年 8 月）（以下「指針」という。）に準拠する。

1.2　計算条件

(1)　ポンプ及び内容物の質量は重心に集中するものとする。

(2)　地震力はポンプに対して水平方向および鉛直方向から作用するものとする。

(3)　ポンプは基礎ボルトで基礎に固定された固定端とする。ここで，基礎については剛となるように設計する。

(4)　転倒方向は図 1－1 概要図における軸直角方向及び軸方向について検討し，計算書には計算結果の厳しい方を記載する。

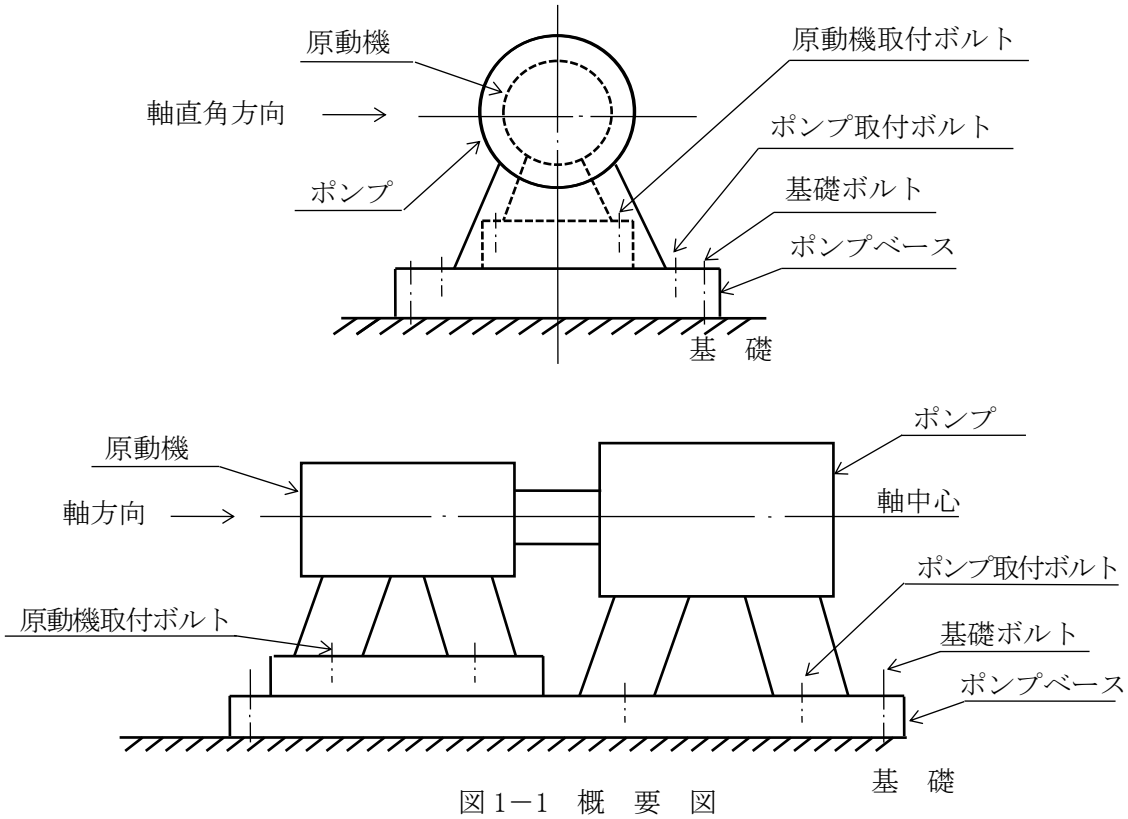


図 1－1　概　要　図

1.3　記号の説明

記　号	記　　号　　の　　説　　明	単　　位
A_{bi}	ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	－
C_v	鉛直方向設計震度	－
C_m	原動機振動による震度	－
C_p	ポンプ振動による震度	－
d_i	ボルトの呼び径	mm
F_i	設計・建設規格　SSB-3131 に定める値	MPa
F_{bi}	ボルトに作用する引張力（1 本当たり）	N
f_{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f_{toi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
f_{tsi}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
H_m	原動機予想最大両振幅	μm
H_p	ポンプ予想最大両振幅	μm
h_i	据付面又は取付面から重心までの距離	mm
ℓ_{1i}	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
ℓ_{2i}	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
M_m	原動機回転により作用するモーメント	N･mm
M_p	ポンプ回転により作用するモーメント	N･mm
m_i	運転時質量	kg
N_m	原動機回転速度（同期回転速度）	min^{-1}
N_p	ポンプ回転速度	min^{-1}
n_i	ボルトの本数	－
n_{fi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	－
P	原動機出力	kW
Q_{bi}	ボルトに作用するせん断力	N
S_{ui}	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 9 に定める値	MPa
S_{yi}	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 8 に定める値	MPa
π	円周率	－
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力	MPa

注1：「設計・建設規格」とは，発電用原子力設備規格（設計・建設規格　ＪＳＭＥ　ＳＮＣ１－2005（2007 年追補版含む。））（日本機械学会　2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）をいう。

注2：A_{bi}，d_i，F_i，F_{bi}，f_{sbi}，f_{toi}，f_{tsi}，ℓ_{1i}，ℓ_{2i}，n_i，n_{fi}，Q_{bi}，S_{ui}，S_{yi}，σ_{bi}及びτ_{bi}の添字iの意味は，以下のとおりとする。

ｉ＝1：ポンプ基礎ボルト（ポンプと原動機のベースが共通である場合を含む。）

ｉ＝2：ポンプ取付ボルト

ｉ＝3：原動機基礎ボルト

ｉ＝4：原動機取付ボルト

なお，ポンプと原動機間に増速機がある場合は，次のように定義する。

ｉ＝5：増速機基礎ボルト

ｉ＝6：増速機取付ボルト

注3：h_i及びm_iの添字ｉの意味は，以下のとおりとする。

ｉ＝1：ポンプ据付面

ｉ＝2：ポンプ取付面

ｉ＝3：原動機据付面

ｉ＝4：原動機取付面

なお，ポンプと原動機間に増速機がある場合は，次のように定義する。

ｉ＝5：増速機据付面

ｉ＝6：増速機取付面

注記＊：$\ell_{1i} \leqq \ell_{2i}$

2.　計算方法

2.1　固有周期の計算方法

横軸ポンプは構造的に1個の大きなブロック状をしており，重心の位置がブロック状のほぼ中心にあり，かつ，下面が基礎ボルトにて固定されている。

したがって，全体的に一つの剛体と見なせるため，固有周期は十分に小さく，固有周期の計算は省略する。

2.2　応力の計算方法

2.2.1　ボルトの応力

ボルトの応力は地震による震度，ポンプ振動による震度及びポンプ回転により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

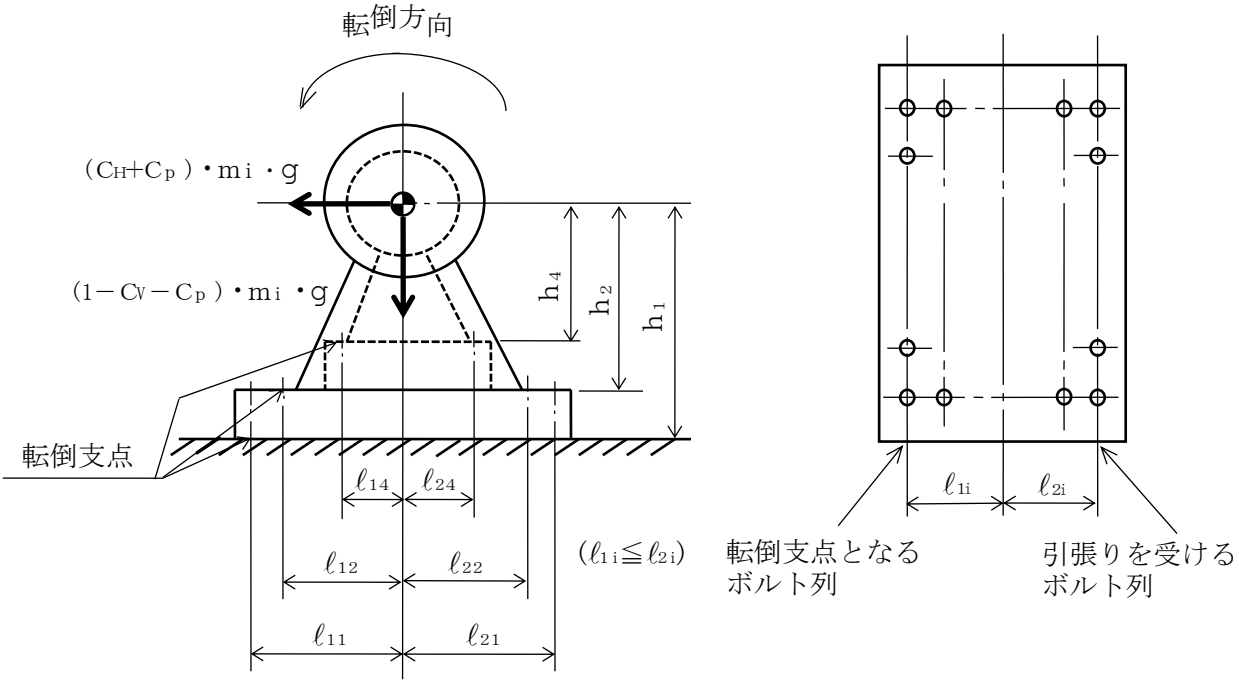


図2−1　計算モデル（軸直角方向転倒）

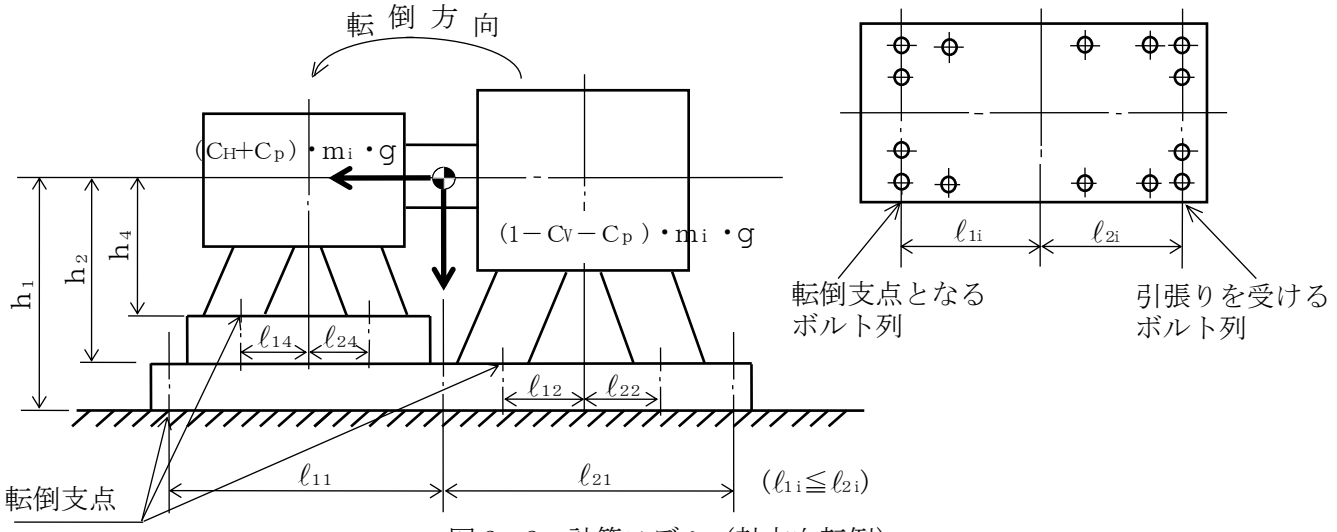


図 2－2　計算モデル（軸方向転倒）

(1)　引張応力

ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として，図 2－1 及び図 2－2 で最外列のボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

なお，ポンプと原動機のベースが共通である場合の基礎ボルト（i＝1）及び計算モデル図 2－2 の場合のボルト（i＝1～6）については，ポンプ回転によるモーメントは作用しない。

引張力

$$F_{bi}=\frac{\left(C_H+C_p\right)\cdot m_i\cdot g\cdot h_i+M_p-\left(1-C_v-C_p\right)\cdot m_i\cdot g\cdot l_{1i}}{n_{fi}\cdot\left(l_{1i}+l_{2i}\right)} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1)$$

ℓ_{1i} が負となる場合，(2.2.1)式中の（1－Cv－Cp）を（1－Cv＋Cp）に置き換える。

増速機のボルト（i＝5 及び 6）の場合，（2.2.1）式中のMpは（Mp＋Mm），Cpは（Cp＋Cm）と置き換える。

ここで，ポンプ回転により作用するモーメントMpは次式で求める。

（Mmについても同様で，次式で求める。この場合，NpはNmと置き換える。）

$$M_p=\left(\frac{60}{2\cdot\pi\cdot N_p}\right)\cdot 10^6\cdot P \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2)$$

（1kW＝10^6N･mm/s）

また，Cpは振動による振幅及び回転速度を考慮して定める値で，次式で求める。

（Cmについても同様で，次式で求める。この場合，HpはHm，NpはNmと置き換える。）

$$C_p=\frac{\frac{1}{2}\cdot\frac{H_p}{1000}\cdot\left(2\cdot\pi\cdot\frac{N_p}{60}\right)^2}{g\cdot 1000} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.3)$$

引張応力

$$\sigma_{bi}=\frac{F_{bi}}{A_{bi}} \quad \cdots\cdots (2.2.4)$$

ここで，ボルトの軸断面積A_{bi}は

$$A_{bi}=\frac{\pi}{4}\cdot d_i^{\,2} \quad \cdots\cdots (2.2.5)$$

ただし，F_{bi}が負のときボルトには引張力が生じないので，引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

ボルトに対するせん断力はボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{bi}=(C_H+C_p)\cdot m_i\cdot g \quad \cdots\cdots (2.2.6)$$

増速機のボルト(i＝5 及び 6)の場合，(2.2.6) 式中のC_pは(C_p+C_m)と置き換える。

せん断応力

$$\tau_{bi}=\frac{Q_{bi}}{n_i\cdot A_{bi}} \quad \cdots\cdots (2.2.7)$$

3. 評価方法

3.1 応力の評価

3.1.1 ボルトの応力評価

2.2.1 項で求めたボルトの引張応力σ_{bi}は次式より求めた許容引張応力f_{tsi}以下であること。

せん断応力τ_{bi}はせん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力f_{sbi}以下であること。

$$f_{tsi}=1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi} \quad \cdots\cdots (3.1.1)$$

かつ，

$$f_{tsi}\leqq f_{toi} \quad \cdots\cdots (3.1.2)$$

ただし，f_{toi}及びf_{sbi}は下表による。

	許容引張応力 f_{toi}	許容せん断応力 f_{sbi}
計　算　式	$\frac{F_i}{2}\cdot 1.5$	$\frac{F_i}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

増設多核種除去設備の強度に関する計算書

1.　強度評価の方針

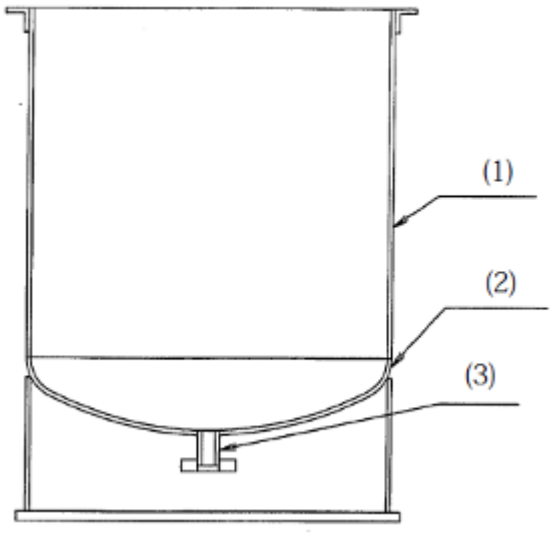
増設多核種除去設備を構成する主要な機器及び主配管（鋼管）は，強度評価においては，「JSME S NC-1 電用原子力設備規格　設計・建設規格」（以下，「設計・建設規格」という。）のクラス３機器またはクラス３配管に準じた評価を行う。

2.　強度評価

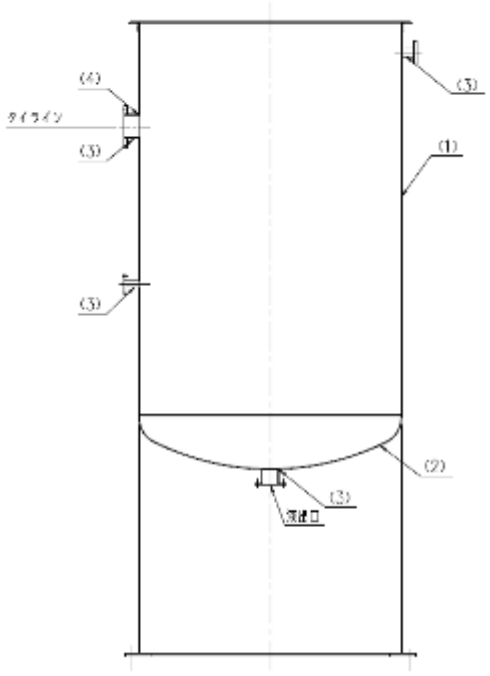
2.1　処理水受入タンク，共沈タンク，供給タンク

2.1.1　評価箇所

強度評価箇所を図－１－１、図－１－２に示す。



図－１－１　処理水受入タンク 概要図



図－１－２　共沈タンク，供給タンク 概要図

図中の番号は，2.1.2 及び 2.1.3 の番号に対応する。

2.1.2　評価方法

(1)　胴の厚さの評価

開放タンクの胴に必要な厚さは、次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

a.　規格上必要な最小厚さ：t_1

炭素鋼鋼板又は低合金鋼鋼板で作られた場合は 3mm，その他の材料で作られた場合は 1.5mm とする

b.　胴の計算上必要な厚さ：t_2

$$t_2 = \frac{D_i \cdot H \cdot \rho}{0.204 \cdot S \cdot \eta}$$

t_2：必要厚さ（mm）
Di：胴の内径（m）
H：水頭（m）
ρ：液体の比重。
　ただし，１未満の場合は１とする。
S：許容引張応力(MPa)
η：継手効率（-）

(2)　下部鏡板の厚さの評価

さら形鏡板の場合で、中低面に圧力を受ける物については、下記式により計算した値以上の厚さとする。

a.　鏡板の計算上必要な厚さ：t

$$t = \frac{P \cdot R \cdot W}{2S \cdot \eta - 0.2P}$$

t：必要厚さ（mm）
P：最高使用圧力（MPa）
R：鏡板の中央部における内面の半径（mm）
W：さら型鏡板の形状による係数
η：継手効率(-)
S：許容引張応力（MPa）

(3)　管台の厚さの評価

管台に必要な厚さは，次に揚げる値のうちいずれか大きい値とする。

a.　管台の計算上必要な厚さ：t_1

$$t_1 = \frac{D_i \cdot H \cdot \rho}{0.204 \cdot S \cdot \eta}$$

t_1：必要厚さ（mm）
Di：管台の内径(m)
H：水頭(m)
ρ：液体の比重。
　ただし，１未満の場合は１とする。
S：許容引張応力(MPa)
η：継手効率(-)

b.　規格上必要な厚さ：t_2

管台の外径に応じ設計・建設規格　表 PVC-3980-1 より求めた管台の厚さとする。

(4)　胴の穴の補強計算

a.　補強に有効な範囲内にある補強に有効な面積が，補強に必要な面積より大きくなるようにすること。

b.　大きい穴の補強を要しない穴の最大径

内径が 1500mm 以下の胴に設ける穴の径が胴の内径の２分の１（500mm を超える場合は，500mm）以下および内径が 1500mm を超える胴に設ける穴の径が胴の内径の３分の１（1000mm を超える場合は，1000mm）以下の場合は，大きい穴の補強計算は必要ない。

c.　溶接部の強度として，予想される破断箇所の強さが，溶接部の負うべき荷重以上であること。

2.1.3 評価結果

評価結果を表－１～２に示す。必要厚さ等を満足しており，十分な構造強度を有すると評価している。

表－１－１　処理水受入タンクの評価結果（板厚）

機器名称	評価項目	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
処理水受入タンク 1，2	（1）胴板の厚さ	3.00	7.27
	（2）下部鏡板の厚さ	0.98	6.00
	（3）管台の厚さ（液出口）	3.50	4.35

表－２－１　共沈タンクの評価結果（板厚）

機器名称	評価項目	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
共沈タンク A，B，C	（1）胴板の厚さ	3.00	3.72
	（2）下部鏡板の厚さ	3.00	3.69
	（3）管台の厚さ（液出口）	3.50	3.75
	（3）管台の厚さ（タイライン）	3.50	4.72
	（3）管台の厚さ（液入口）	2.40	2.40
	（3）管台の厚さ（苛性ソーダ入口）	2.20	2.20
	（3）管台の厚さ（炭酸ソーダ入口）	2.20	2.20
	（3）管台の厚さ(pH 計スキッド行き)	2.20	2.20
	（3）管台の厚さ(pH 計スキッド戻り)	1.70	1.90

表－２－２　共沈タンクの評価結果（胴の穴の補強計算）

機器名称	評価項目	評価結果	
共沈タンク A，B，C	（4）胴 （タイライン）	補強に必要な面積 (mm^2)	補強に有効な総面積 (mm^2)
		40.95	663.63
		大きな穴の補強を要しない最大径（mm）	穴の径 (mm)
		583.33	167.20
		溶接部の負うべき荷重 (N)	予想される破断箇所の強さ（N）
		-47353	— ※1

※1　溶接部の負うべき荷重が負であり，溶接部の強度計算は不要

表－３－１　供給タンクの評価結果（板厚）

機器名称	評価項目	必要厚さ（mm）	最小厚さ（mm）
供給タンク A，B，C	（１）胴板の厚さ	3.00	3.72
	（２）下部鏡板の厚さ	3.00	3.69
	（３）管台の厚さ（液出口）	3.50	3.75
	（３）管台の厚さ（タイライン）	3.50	4.72
	（３）管台の厚さ （クロフフローフィルタ戻り）	2.20	2.20
	（３）管台の厚さ（デカント水戻り）	2.20	2.20

表－３－２　供給タンクの評価結果（胴の穴の補強計算）

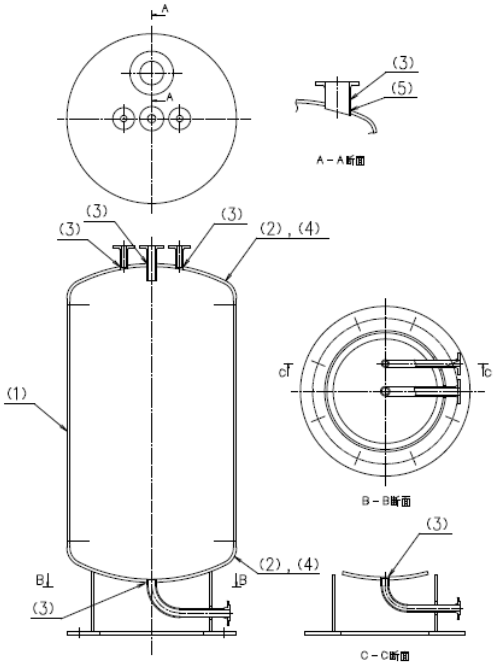
機器名称	評価項目	評価結果	
供給タンク A，B，C	（４）胴 （タイライン）	補強に必要な面積 （mm^2）	補強に有効な総面積 （mm^2）
		48.54	656.11
		大きな穴の補強を 要しない最大径（mm）	穴の径 （mm）
		583.33	167.20
		溶接部の負うべき荷重 （N）	予想される破断箇所の 強さ（N）
		-45765	― ※2

※2　溶接部の負うべき荷重が負であり，溶接部の強度計算は不要

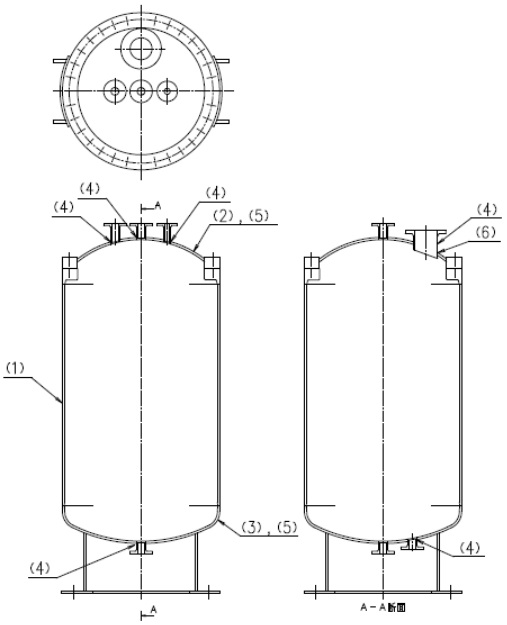
2.2　吸着塔

2.2.1　評価箇所

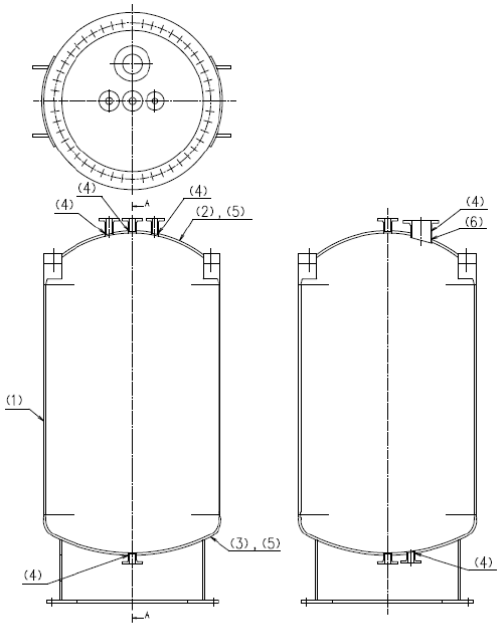
強度評価箇所を図－２に示す。



吸着塔Ⅰ型



吸着塔Ⅱ型



吸着塔Ⅲ型

吸着塔Ⅰ型　：多核種吸着塔１～５

吸着塔Ⅱ型　：多核種吸着塔６～１４

吸着塔Ⅲ型　：多核種吸着塔１５～１８

図－２　吸着塔　概要図

図中の番号は，2.2.2，2.2.3 の番号に対応する。

2.2.2　評価方法

(1)　胴の厚さの評価

胴に必要な厚さは，次に揚げる値のうちいずれか大きい値とする。

a.　規格上必要な最小厚さ：t_1

炭素鋼鋼板又は低合金鋼鋼板で作られたものにあっては 3mm，その他の材料で作られたものにあっては 1.5mm とする。

b.　内面に圧力を受ける胴の必要厚さ：t_2

$$t_2 = \frac{P \cdot D_i}{2 \cdot S \cdot \eta - 1.2 \cdot P}$$

t_2：必要厚さ（mm）
P　：最高使用圧力（MPa）
Di　：胴の内径（mm）
S　：許容引張応力（MPa）
η　：継手効率（-）

(2)　鏡板の厚さの評価

さら形鏡板に必要な厚さは，以下で計算した値のうちいずれか大きい方の値とする。

a.　フランジ部：t_1

$$t_1 = \frac{P \cdot D_i}{2 \cdot S \cdot \eta - 1.2 \cdot P}$$

t_1：必要厚さ（mm）
P　：最高使用圧力（MPa）
Di　：胴の内径（mm）
S　：許容引張応力（MPa）
η　：継手効率（-）

b.　鏡板：t_2

$$t_2 = \frac{P \cdot R \cdot W}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2P}$$

t_2：必要厚さ（mm）
P　：最高使用圧力（MPa）
R　：鏡板の中央部における内面の半径（mm）
W　：さら型鏡板の形状による係数（-）
S　：許容引張応力（MPa）
η　：継手効率（-）

ここで，Wは以下の式により計算した値とする。

$$W = \frac{1}{4} \cdot \left(3 + \sqrt{\frac{R}{r}} \right)$$

R　：鏡板の中央部における内面の半径（mm）
r　：さら形鏡板のすみの丸みの内半径（mm）

(3)　管台の厚さの評価

管台に必要な厚さは，次に揚げる値のうちいずれか大きい値とする。

a.　内面に圧力を受ける管台：t_1

$$t_1=\frac{P\cdot D_O}{2\cdot S\cdot \eta + 0.8\cdot P}$$

t_1：必要厚さ（mm）
P　：最高使用圧力（MPa）
Do：管台の外径（mm）
S　：許容引張応力（MPa）
η　：継手効率（-）

b.　規格上必要な最小厚さ：t_2

炭素鋼鋼管を使用する管台にあっては，管台の外径に応じて設計・建設規格　表 PVC-3610-1 より求めた管台の厚さとする。

(4)　鏡板の補強を要しない穴の最大径の評価

鏡板の補強を要しない穴の最大径は，以下で計算した値のうちいずれかとする。

a.　穴の径が 61mm 以下で，かつ，次の式により計算した値以下の穴。

$$d_{r1}=\frac{D-2\cdot t_c}{4}$$

d_{r1}：補強を要しない穴の最大径(mm)
D　：鏡板のフランジ部の外径（mm）
t_c　：鏡板の最少厚さ(mm)

b.　a に揚げるものを除き，穴の径が 200ｍｍ以下で，かつ，設計・建設規格　図 PVD-3122-1 及び図 PVD-3122-2 により求めた値以下の穴。

$$d_{r2}=\quad 8.05\sqrt[3]{Dt_c(1-K)}$$

d_{r2}：補強を要しない穴の最大径(mm)
D　：鏡板のフランジ部の外径（mm）
t_c　：鏡板の最少厚さ(mm)
K　：係数(-)

ここで，Kは，さら形鏡板の場合，次の式により計算した値で，Ｋ＞０．９９のときは，Ｋ＝０．９９とする。

$$K=\frac{P\cdot D}{1.82S\cdot \eta\cdot t_c}$$

P　：最高使用圧力（MPa）
D　：鏡板のフランジ部の外径（mm）
S　：許容引張応力（MPa）
η　：継手効率の値（-）
t_c：鏡板の最少厚さ(mm)

(5) 鏡板の穴の補強計算

a. 補強に有効な範囲内にある補強に有効な面積が，補強に必要な面積より大きくなるようにすること。

b. 大きい穴の補強を要しない最大径

内径が 1500mm 以下の胴に設ける穴の径が胴の内径の２分の１（500ｍｍを超える場合は，500mm）以下および内径が 1500ｍｍを超える胴に設ける穴の径が胴の内径の３分の１（1000mm を超える場合は，1000mm）以下の場合は，大きい穴の補強計算は必要ない。

c. 溶接部の強度として，予想される破断箇所の強さが，溶接部の負うべき荷重以上であること。

2.2.3 評価結果

評価結果を表－４～６に示す。必要厚さ等を満足しており，十分な構造強度を有すると評価している。

表－４－１　吸着塔の評価結果（板厚）

機器名称	評価項目	必要厚さ（mm）	最小厚さ（mm）
多核種吸着塔 １～５ Ａ，Ｂ，Ｃ	（１）胴板の厚さ	9.57	14.80
	（２）上部・下部鏡板の厚さ	10.18	15.50
	（３）管台の厚さ（清掃口）	1.04	5.80
	（３）管台の厚さ（液出口）	0.38	2.40
	（３）管台の厚さ（液入口）	0.38	3.00
	（３）管台の厚さ（吸着材入口）	0.31	2.90
	（３）管台の厚さ（吸着材出口）	0.31	2.30
	（３）管台の厚さ（ベント）	0.31	2.90

表－４－２　吸着塔の評価結果（鏡板の補強要否確認）

機器名称	評価項目	補強を要しない穴の最大径（mm）	穴の径（mm）
吸着塔１～５ A，B，C	（４）上部鏡板（清掃口）	165.50	165.20 ※3
	（４）下部鏡板（液出口）	165.50	60.50
	（４）上部鏡板（液入口）	165.50	60.50
	（４）上部鏡板（吸着材入口）	165.50	48.60
	（４）下部鏡板（吸着材出口）	165.50	48.60
	（４）上部鏡板（ベント）	165.50	48.60

※３　管台の外径は 165.2mm であるものの，鏡板に加工する穴の径は最大 168.5mm であり，補強を要しない穴の最大径を上回ることから鏡板の穴の補強計算を行う。

表－４－３　吸着塔の評価結果（鏡板の穴の補強計算）

機器名称	評価項目	評価結果	
吸着塔１～５ A，B，C	（５）上部鏡板 （清掃口）	補強に必要な面積（mm^2）	補強に有効な総面積（mm^2）
		1.015×10^3	1.723×10^3
		大きな穴の補強を要しない最大径（mm）	穴の径（mm）
		500.00	153.60
		溶接部の負うべき荷重（N）	予想される破断箇所の強さ（N）
		-2.992×10^4	— ※4

※４　溶接部の負うべき荷重が負であり，溶接部の強度計算は不要

表－５－１　吸着塔の評価結果（板厚）

機器名称	評価項目	必要厚さ（mm）	最小厚さ（mm）
多核種吸着塔 ６～１４ A，B，C	（１）胴板の厚さ	8.44	13.60
	（２）さら形ふた板	6.50	11.70
	（３）下部鏡板の厚さ	9.02	11.80
	（４）管台の厚さ（清掃口）	3.80	5.80
	（４）管台の厚さ（液出口）	2.40	3.00
	（４）管台の厚さ（液入口）	2.40	3.00
	（４）管台の厚さ（吸着材入口）	2.40	3.00
	（４）管台の厚さ（吸着材出口）	2.40	3.00
	（４）管台の厚さ（ベント）	2.20	2.90

表－５－２　吸着塔の評価結果（鏡板・さら形ふた板の補強要否確認）

機器名称	評価項目	補強を要しない穴の最大径（mm）	穴の径（mm）
多核種吸着塔 ６～１４ Ａ，Ｂ，Ｃ	（５）さら形ふた板（清掃口）	142.05	165.20 ※5
	（５）下部鏡板（液出口）	142.98	60.50
	（５）さら形ふた板（液入口）	142.05	60.50
	（５）さら形ふた板（吸着材入口）	142.05	60.50
	（５）下部鏡板（吸着材出口）	142.98	60.50
	（５）さら形ふた板（ベント）	142.05	48.60

※５　さら形ふた板の穴の補強計算を行う

表－５－３　吸着塔の評価結果（さら形ふた板の穴の補強計算）

機器名称	評価項目	評価結果	
多核種吸着塔 ６～１４ Ａ，Ｂ，Ｃ	（６）さら形ふた板（清掃口）	補強に必要な面積（mm^2）	補強に有効な総面積（mm^2）
		610.5	1.438×10^3
		大きな穴の補強を要しない最大径（mm）	穴の径（mm）
		437.00	153.60
		溶接部の負うべき荷重（N）	予想される破断箇所の強さ（N）
		-6.530×10^4	— ※6

※６　溶接部の負うべき荷重が負であり，溶接部の強度計算は不要

表－６－１　吸着塔の評価結果（板厚）

機器名称	評価項目	必要厚さ（mm）	最小厚さ（mm）
多核種吸着塔 １５～１８ Ａ，Ｂ，Ｃ	（１）胴板の厚さ	10.85	13.60
	（２）さら形ふた板	8.36	14.40
	（３）下部鏡板の厚さ	11.60	14.60
	（４）管台の厚さ（清掃口）	3.80	5.80
	（４）管台の厚さ（液出口）	2.40	3.00
	（４）管台の厚さ（液入口）	2.40	3.00
	（４）管台の厚さ（吸着材入口）	2.40	3.00
	（４）管台の厚さ（吸着材出口）	2.40	3.00
	（４）管台の厚さ（ベント）	2.20	2.90

表－６－２　吸着塔の評価結果（鏡板・さら形ふた板の補強要否確認）

機器名称	評価項目	補強を要しない穴の最大径（mm）	穴の径（mm）
多核種吸着塔 １５～１８ Ａ，Ｂ，Ｃ	（５）さら形ふた板（清掃口）	162.41	165.20 ※7
	（５）下部鏡板（液出口）	164.21	60.50
	（５）さら形ふた板（液入口）	162.41	60.50
	（５）さら形ふた板（吸着材入口）	162.41	60.50
	（５）下部鏡板（吸着材出口）	164.21	60.50
	（５）さら形ふた板（ベント）	162.41	48.60

※７　さら形ふた板の穴の補強計算を行う

表－６－３　吸着塔の評価結果（さら形ふた板の穴の補強計算）

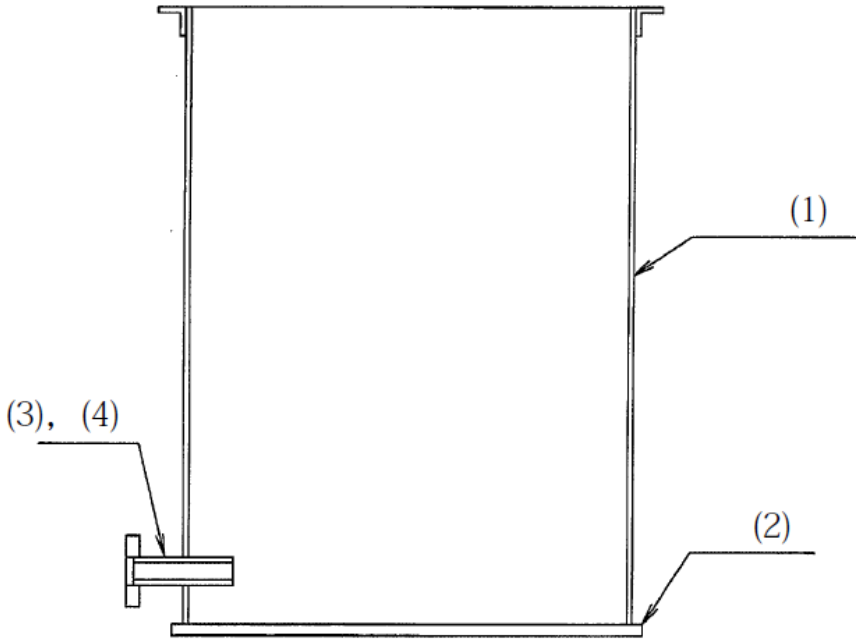
機器名称	評価項目	評価結果	
多核種吸着塔 １５～１８ Ａ，Ｂ，Ｃ	（６）さら形ふた板（清掃口）	補強に必要な面積（mm^2）	補強に有効な総面積（mm^2）
		784.9	1.687×10^3
		大きな穴の補強を要しない最大径（mm）	穴の径（mm）
		500.00	153.60
		溶接部の負うべき荷重（N）	予想される破断箇所の強さ（N）
		-7.203×10^4	— ※8

※８　溶接部の負うべき荷重が負であり，溶接部の強度計算は不要

2.3　吸着塔入口バッファタンク，移送タンク，サンプルタンク

2.3.1　評価箇所

強度評価箇所を図－３に示す。



図中の番号は，2.3.2，2.3.3 の番号に対応する。

図－３　吸着塔入口バッファタンク，移送タンク　概要図

2.3.2　評価方法

(1)　胴の厚さの評価

開放タンクの胴に必要な厚さは，次に揚げる値のうちいずれか大きい値とする。

a.　規格上必要な最小厚さ：t_1

炭素鋼鋼板又は低合金鋼鋼板で作られた場合は 3mm，その他の材料で作られた場合は 1.5mm とする。

b.　胴の計算上必要な厚さ：t_2

$$t_2 = \frac{D_i \cdot H \cdot \rho}{0.204 \cdot S \cdot \eta}$$

t_2：必要厚さ（mm）

Di　：胴の内径（m）

H　：水頭（m）

ρ　：液体の比重。

ただし，１未満の場合は１とする。

S　：許容引張応力(MPa)

η　：継手効率（-）

c. 胴の内径に応じた必要厚さ：t_3

胴の内径が 5m を超えるものについては，胴の内径の区分に応じ設計・建設規格　表 PVC-3920-1 より求めた胴の厚さとする。

(2) 底板の厚さの評価

地面，基礎等に直接接触する開放タンクの底板の厚さは，3mm 以上であること。

(3) 管台の厚さの評価

管台に必要な厚さは，次に揚げる値のうちいずれか大きい値とする。

a. 管台の計算上必要な厚さ：t_1

$$t_1 = \frac{D_i \cdot H \cdot \rho}{0.204 \cdot S \cdot \eta}$$

t_1：必要厚さ（mm）
Di：管台の内径(m)
H：水頭(m)
ρ：液体の比重。
ただし，１未満の場合は１とする。
S：許容引張応力(MPa)
η：継手効率(-)

b. 規格上必要な厚さ：t_2

管台の外径に応じ設計・建設規格　表 PVC-3980-1 より求めた管台の厚さとする。

(4) 胴の穴の補強計算

a. 補強に有効な範囲内にある補強に有効な面積が，補強に必要な面積より大きくなるようにすること。

b. 大きい穴の補強を要しない穴の最大径

内径が 1500mm 以下の胴に設ける穴の径が胴の内径の２分の１（500mm を超える場合は，500mm）以下および内径が 1500mm を超える胴に設ける穴の径が胴の内径の３分の１（1000mm を超える場合は，1000mm）以下の場合は，大きい穴の補強計算は必要ない。

c. 溶接部の強度として，予想される破断箇所の強さが，溶接部の負うべき荷重以上であること。

2.3.3 評価結果

評価結果を表－７～９に示す。必要厚さ等を満足しており，十分な構造強度を有すると評価している。

表－７－１　吸着塔入口バッファタンクの評価結果（板厚）

機器名称	評価項目	必要厚さ（mm）	最少厚さ（mm）
吸着塔入口バッファタンクＡ，Ｂ，Ｃ	（１）胴の厚さ	1.50	3.48
	（２）底板の厚さ	3.00	17.80
	（３）管台の厚さ（液出口）	2.40	3.91

表－７－２　吸着塔入口バッファタンクの評価結果（胴板の補強要否確認）

機器名称	評価項目	補強を要しない穴の最大径（mm）	穴の径（mm）
吸着塔入口バッファタンクＡ，Ｂ，Ｃ	（４）胴（液出口）	85.00	85.00 以下

表－８－１　移送タンクの評価結果（板厚）

機器名称	評価項目	必要厚さ（mm）	最少厚さ（mm）
移送タンク１．２	（１）胴の厚さ	3.00	7.47
	（２）底板の厚さ	3.00	20.35
	（３）管台の厚さ（液出口）	3.50	3.91

表－８－２　移送タンクの評価結果（胴板の補強要否確認）

機器名称	評価項目	補強を要しない穴の最大径（mm）	穴の径（mm）
移送タンク１．２	（４）胴（液出口）	85.00	85.00 以下

表－９－１　サンプルタンクの評価結果（板厚）

機器名称	評価項目	必要厚さ (mm)	最少厚さ (mm)
サンプルタンク A，B，C	（１）胴の厚さ	11.7	12.0
	（２）底板の厚さ	3.0	12.0
	（３）管台の厚さ（100A）	3.5	6.0
	（３）管台の厚さ（200A）	3.5	8.2
	（３）管台の厚さ（650A）	3.5	12.0

表－９－２　サンプルタンクの穴の補強評価結果

機器名称	管台口径	評価部位	補強に必要な面積[mm^2]	補強に有効な総面積[mm^2]
サンプルタンクA，B，C	100A	管台	724	1616
	200A	管台	1411	3195
	650A	管台	4466	10840

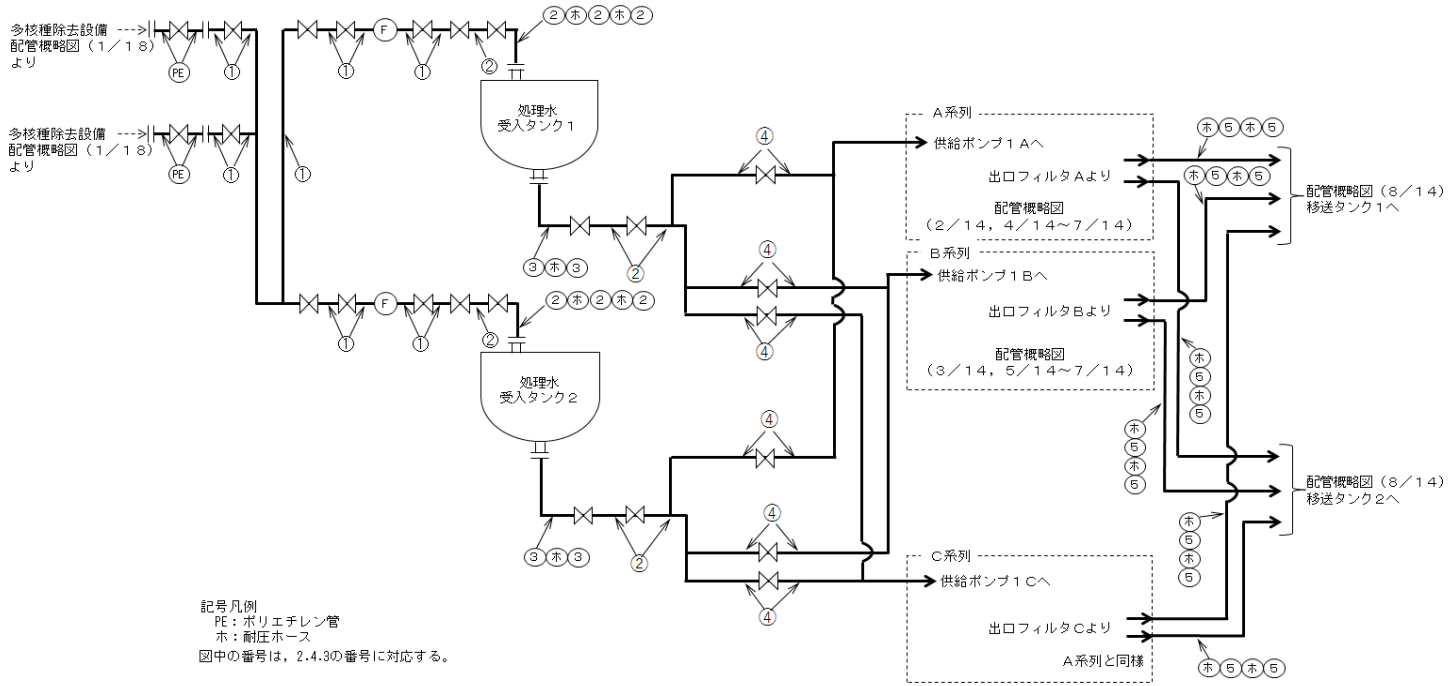
表－９－３　サンプルタンクの強め材の取付け強さ

機器名称	管台口径	溶接部の負うべき荷重	予想される破断箇所の強さ					
		W [N]	W_1 [N]	W_2 [N]	W_3 [N]	W_4 [N]	W_5 [N]	W_6 [N]
サンプルタンクA，B，C	100A	37367.82	154937	278514	119886	199587	234638	243463
	200A	63939.66	342042	570661	300675	402159	443526	529294
	650A	167003.76	1412331	2016618	1600574	1641873	1453630	2204861

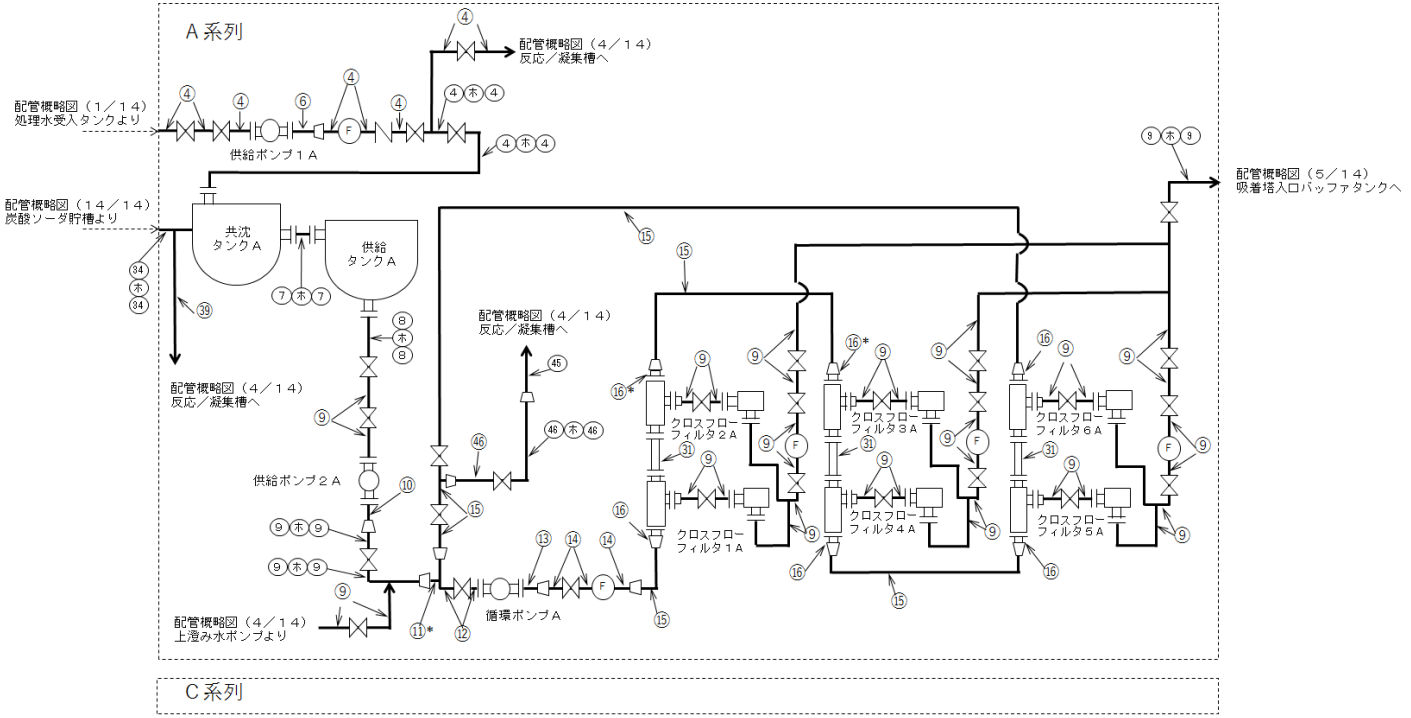
2.4　主配管

2.4.1　評価箇所

強度評価箇所を図－４に示す。

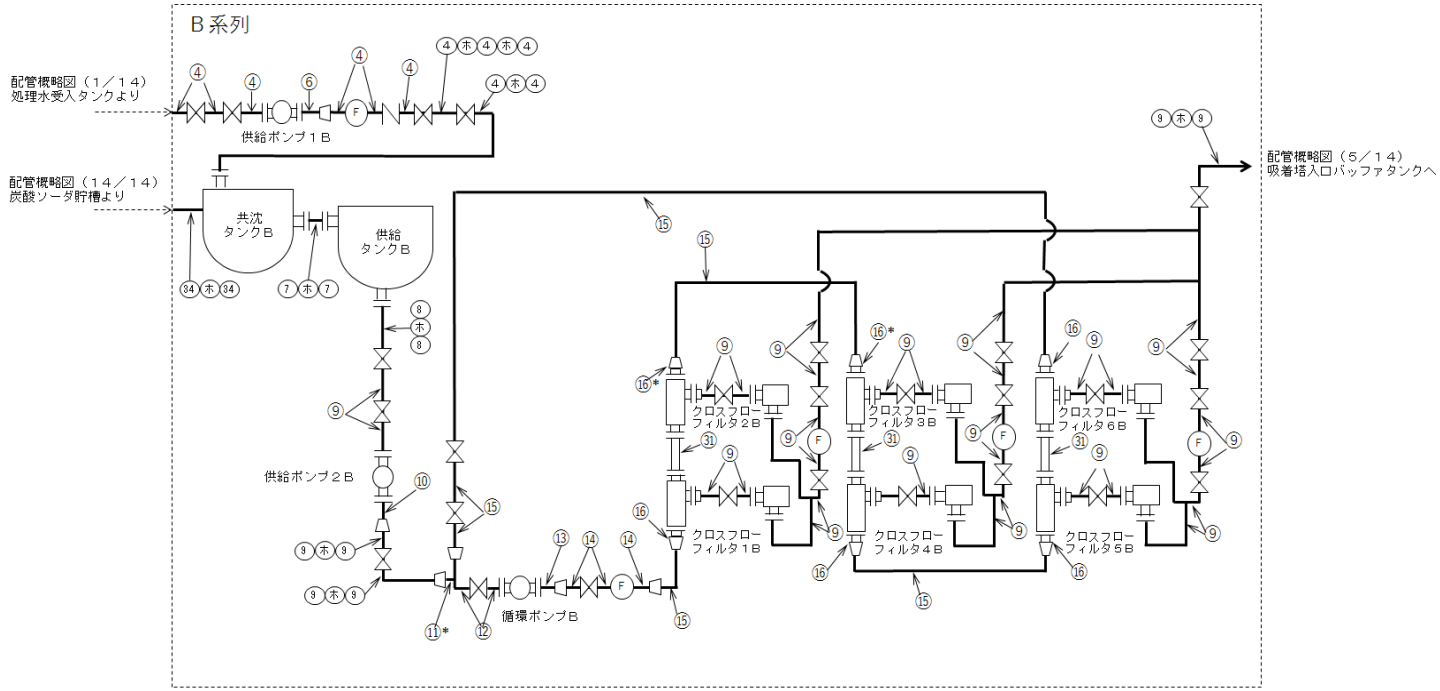

多核種除去設備
配管概略図（1／18）
より
多核種除去設備
配管概略図（1／18）
より
PE
F
処理水
受入タンク1
処理水
受入タンク2
A系列
供給ポンプ1Aへ
出口フィルタAより
配管概略図
（2／14，4／14～7／14）
B系列
供給ポンプ1Bへ
出口フィルタBより
配管概略図
（3／14，5／14～7／14）
C系列
供給ポンプ1Cへ
出口フィルタCより
A系列と同様
配管概略図（8／14）
移送タンク1へ
配管概略図（8／14）
移送タンク2へ
記号凡例
PE：ポリエチレン管
ホ：耐圧ホース
図中の番号は，2.4.3の番号に対応する。

図－4　配管概略図（1／14）



記号凡例
　ホ：耐圧ホース
図中の番号は，2.4.3の番号に対応する。
注記＊：管継手
※使用する材料に変更の無い範囲で図に示す配管構成は変更となる場合がある。

図－４　配管概略図（２／１４）

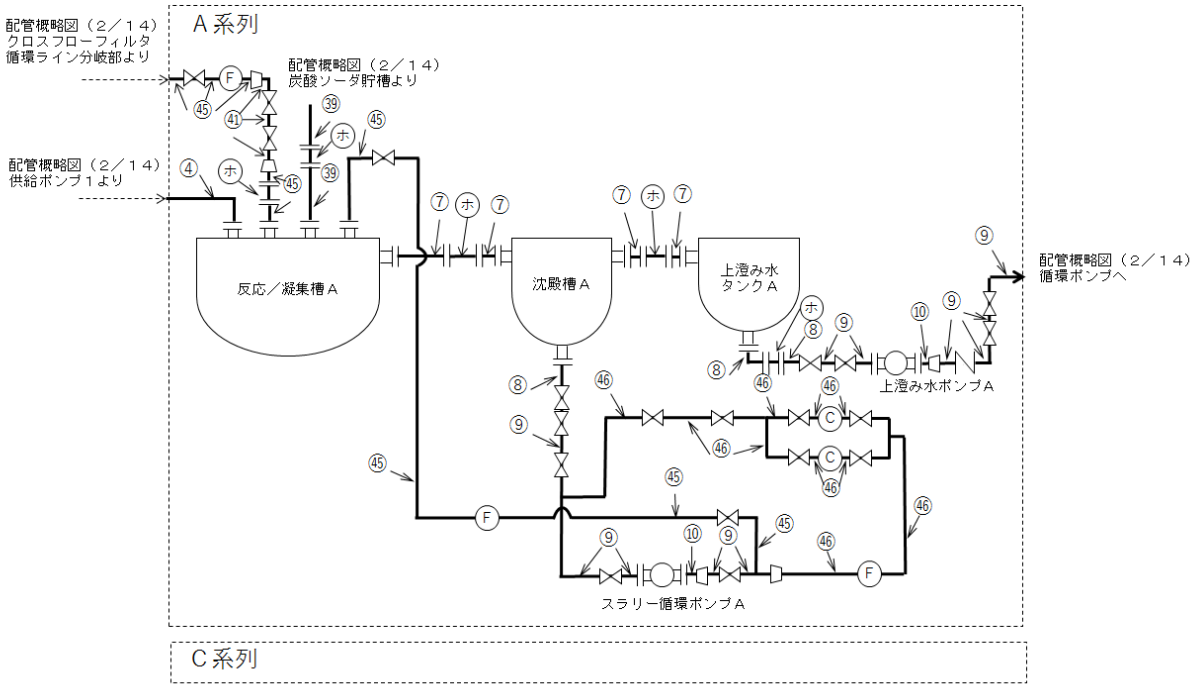


記号凡例
ホ：耐圧ホース
図中の番号は，2.4.3の番号に対応する。

注記＊：管継手

※使用する材料に変更の無い範囲で図に示す
配管構成は変更となる場合がある。

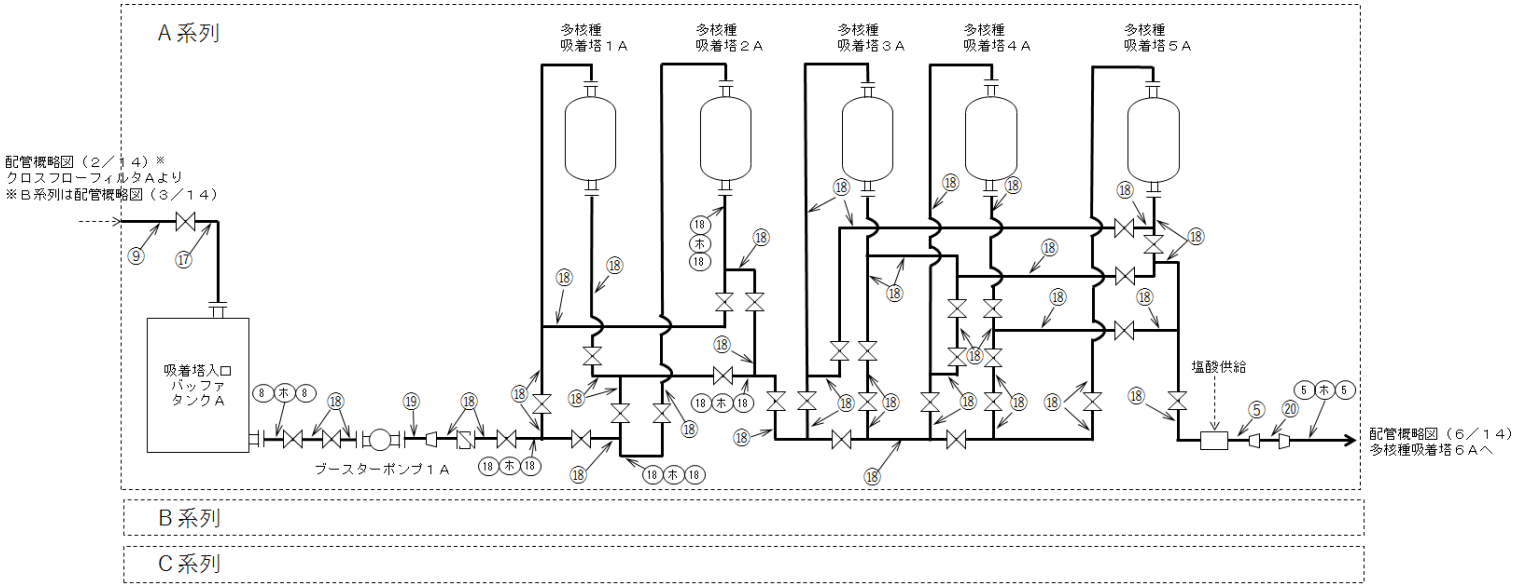
図－4　配管概略図（3／14）



記載凡例
ホ：耐圧ホース
C：スラリー濃度計

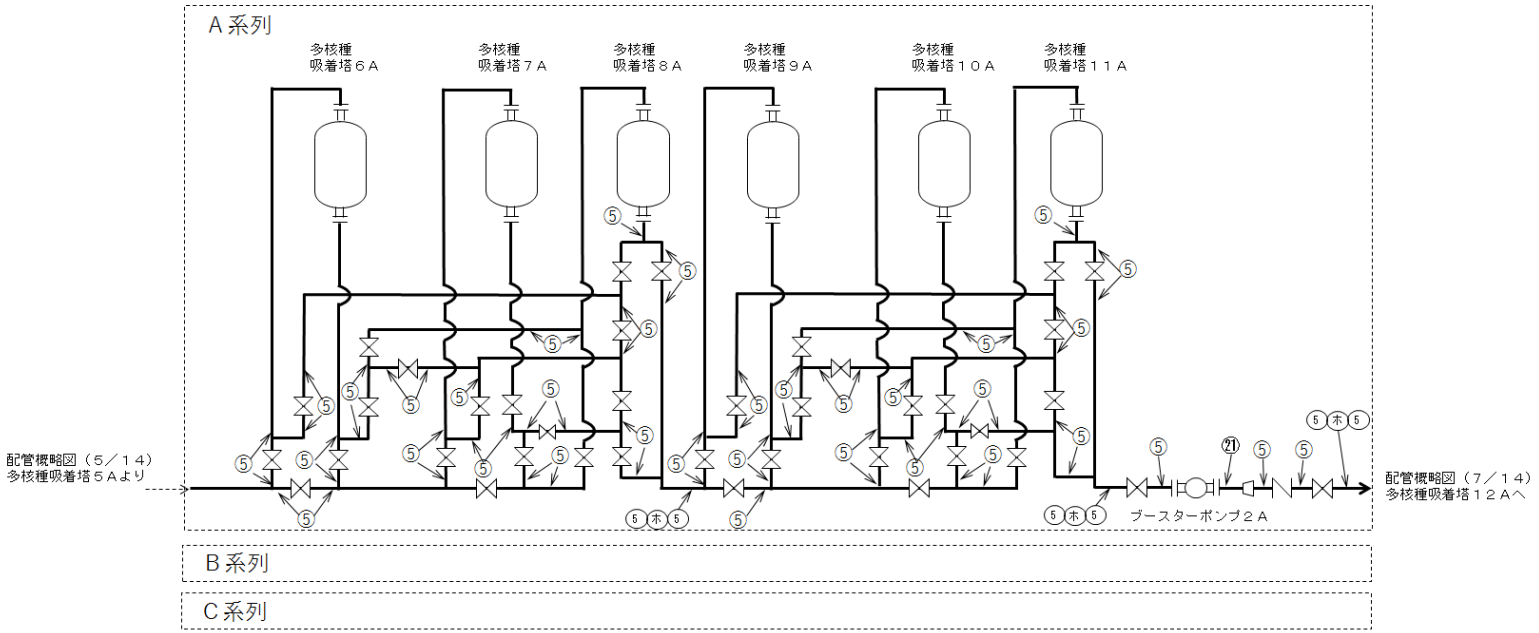
図中の番号は，2.4.3の番号に対応する。

図－4　配管概略図（4／14）



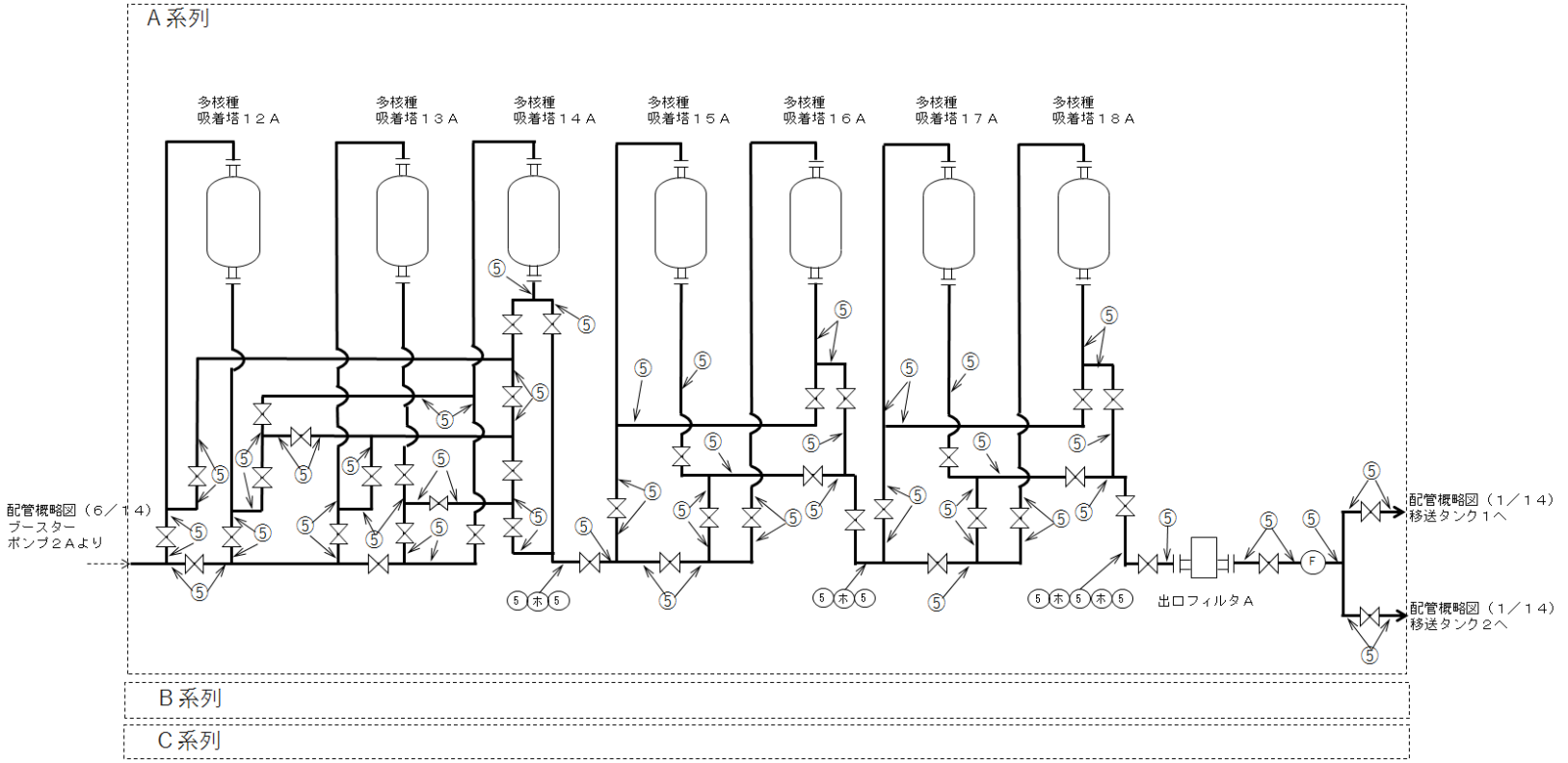
記号凡例
ホ：耐圧ホース
図中の番号は，2.4.3の番号に対応する。
※使用する材料に変更の無い範囲で図に示す配管構成は変更となる場合がある。

図－４　配管概略図（５／１４）

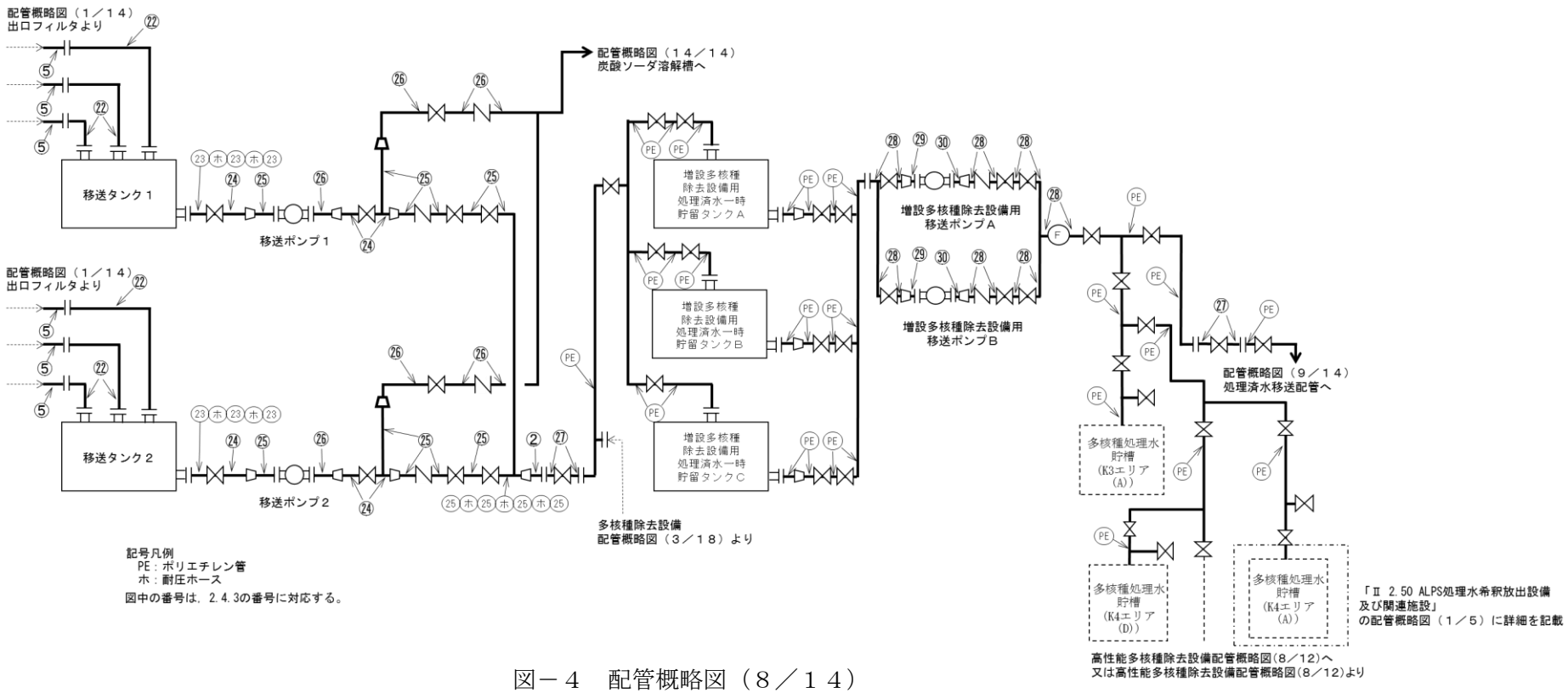


記号凡例
　ホ：耐圧ホース
図中の番号は，2.4.3の番号に対応する。

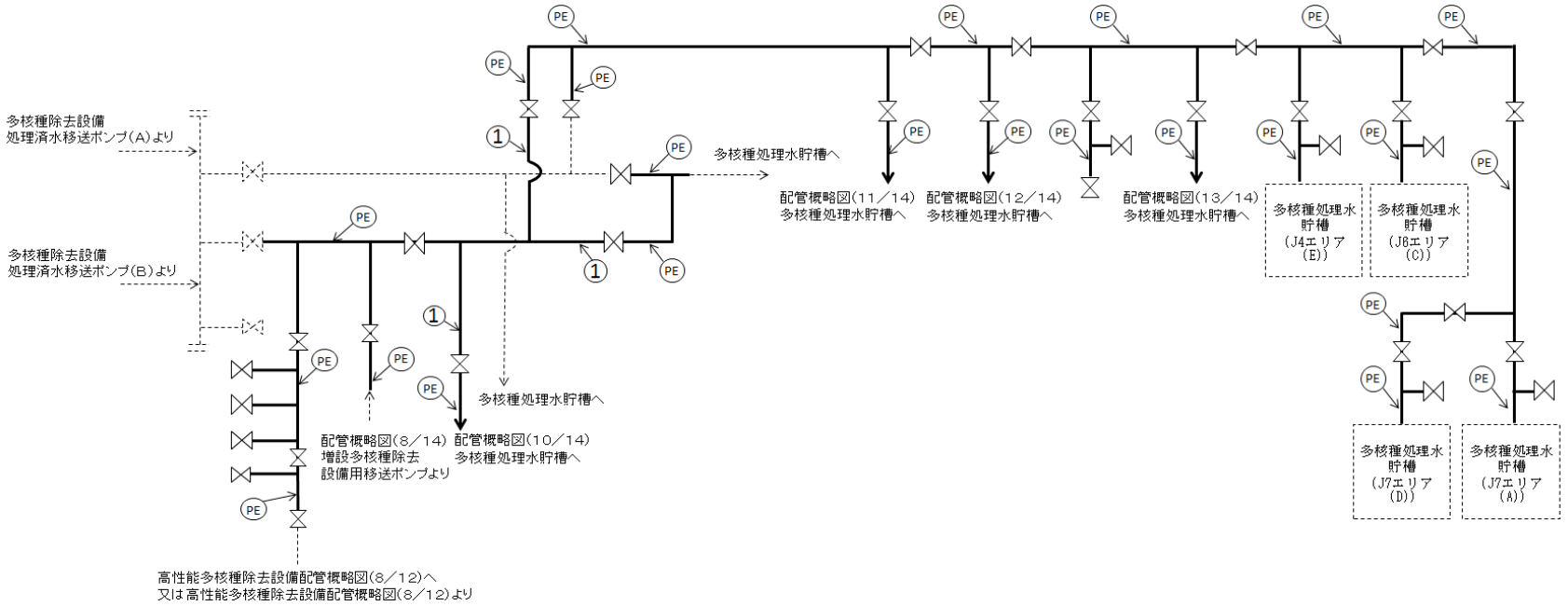
図－４　配管概略図（６／１４）


A系列
多核種
吸着塔１２Ａ
多核種
吸着塔１３Ａ
多核種
吸着塔１４Ａ
多核種
吸着塔１５Ａ
多核種
吸着塔１６Ａ
多核種
吸着塔１７Ａ
多核種
吸着塔１８Ａ
配管概略図（６／１４）
ブースター
ポンプ２Ａより
出口フィルタＡ
配管概略図（１／１４）
移送タンク１へ
配管概略図（１／１４）
移送タンク２へ
B系列
C系列
記号凡例
ホ：耐圧ホース
図中の番号は，2.4.3の番号に対応する。

図－４　配管概略図（７／１４）


配管概略図（１／１４）
出口フィルタより
移送タンク１
移送ポンプ１
配管概略図（１４／１４）
炭酸ソーダ溶解槽へ
増設多核種
除去設備用
処理済水一時
貯留タンクＡ
増設多核種
除去設備用
処理済水一時
貯留タンクＢ
増設多核種
除去設備用
処理済水一時
貯留タンクＣ
増設多核種除去設備用
移送ポンプＡ
増設多核種除去設備用
移送ポンプＢ
配管概略図（１／１４）
出口フィルタより
移送タンク２
移送ポンプ２
多核種除去設備
配管概略図（３／１８）より
配管概略図（９／１４）
処理済水移送配管へ
多核種処理水
貯槽
（K3エリア
（A））
多核種処理水
貯槽
（K4エリア
（D））
多核種処理水
貯槽
（K4エリア
（A））
「Ⅱ 2.50 ALPS処理水希釈放出設備
及び関連施設」
の配管概略図（１／５）に詳細を記載
高性能多核種除去設備配管概略図(8／12)へ
又は高性能多核種除去設備配管概略図(8／12)より
記号凡例
PE：ポリエチレン管
ホ：耐圧ホース
図中の番号は，2.4.3の番号に対応する。

図－４　配管概略図（８／１４）

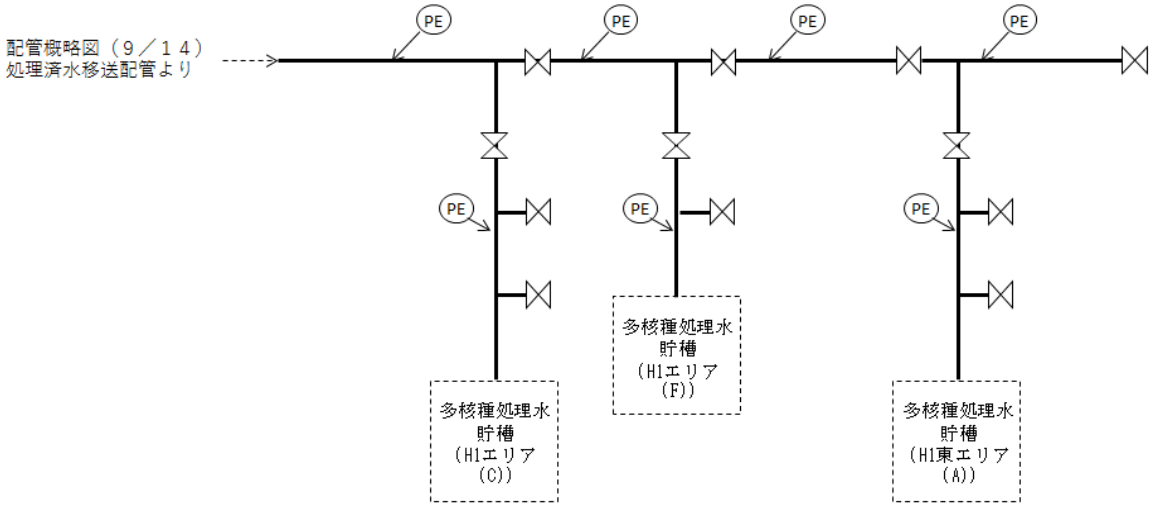


記号凡例
PE：ポリエチレン管

図中の番号は，2.4.3の番号に対応する。

※使用する材料に変更の無い範囲で図に示す
配管構成は変更となる場合がある

図－４　配管概略図（９／１４）

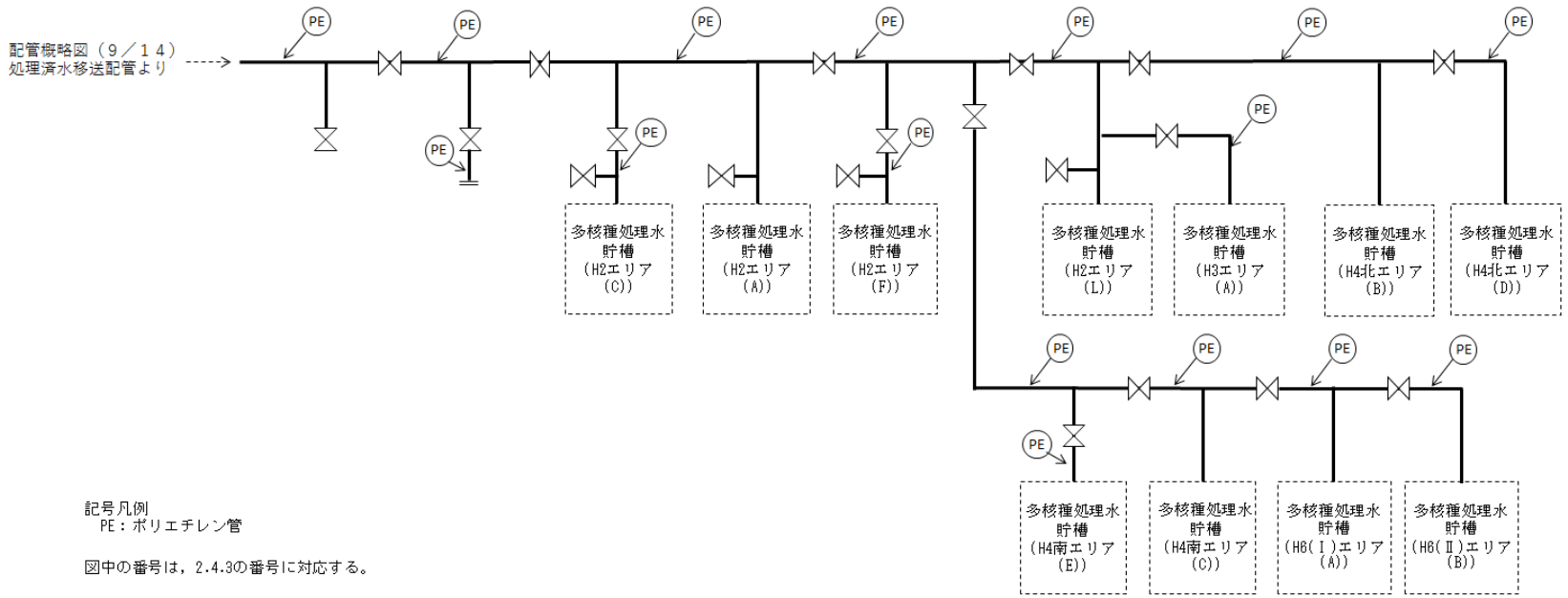


記号凡例
PE：ポリエチレン管

図中の番号は，2.4.3の番号に対応する。

※使用する材料に変更の無い範囲で図に示す
配管構成は変更となる場合がある

図－４　配管概略図（１０／１４）

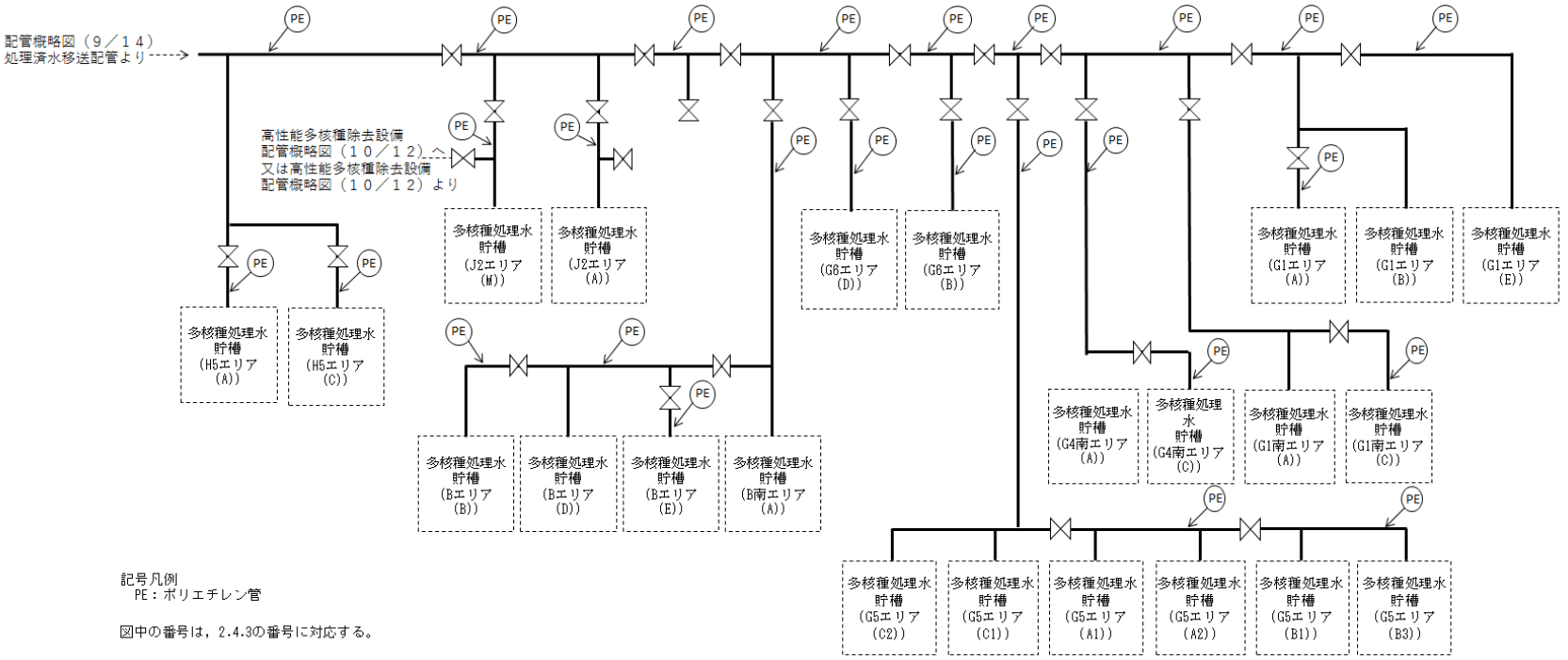


記号凡例
PE：ポリエチレン管

図中の番号は，2.4.3の番号に対応する。

※使用する材料に変更の無い範囲で図に示す
配管構成は変更となる場合がある

図－４　配管概略図（１１／１４）

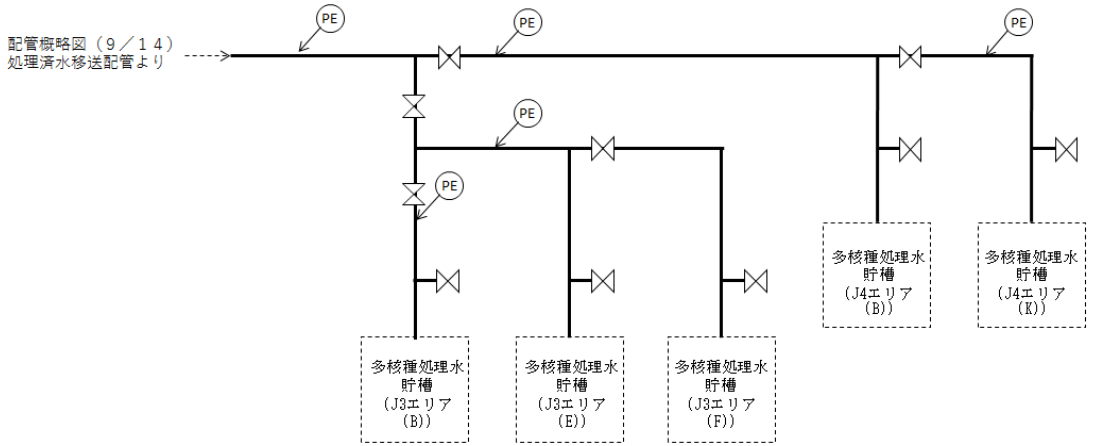


記号凡例
PE：ポリエチレン管

図中の番号は，2.4.3の番号に対応する。

※使用する材料に変更の無い範囲で図に示す
配管構成は変更となる場合がある

図－４　配管概略図（１２／１４）

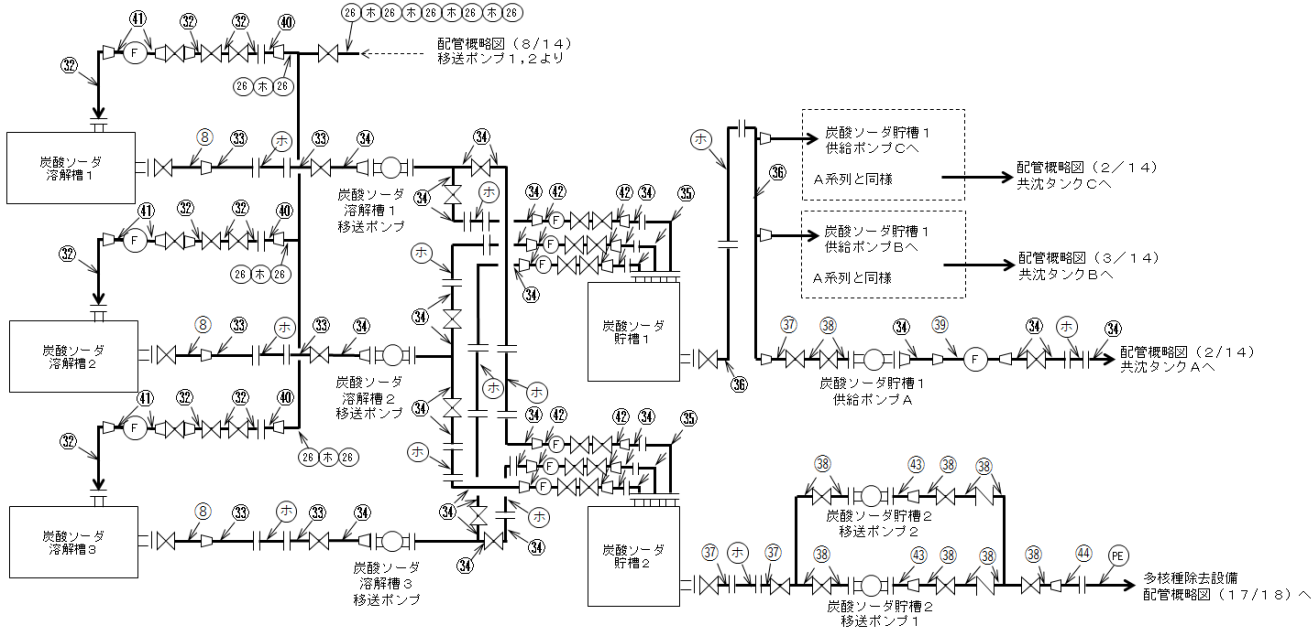


記号凡例
PE：ポリエチレン管

図中の番号は，2.4.3の番号に対応する。

※使用する材料に変更の無い範囲で図に示す
配管構成は変更となる場合がある

図－４　配管概略図（１３／１４）



記号凡例
ホ：耐圧ホース

図中の番号は，2.4.3の番号に対応する。

図－４　配管概略図（１４／１４）

2.4.2　評価方法

(1)　管の厚さの評価

管の必要な厚さは，次に揚げる値のいずれか大きい方の値とする。

a.　内面に圧力を受ける管

$$t_1 = \frac{P \cdot D_O}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$$

t_1 ：必要厚さ（mm）
P　：最高使用圧力（MPa）
Do：管台の外径（m）
S　：許容引張応力（MPa）
η　：継手効率（-）

b.　炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小必要厚さ：t_2

設計・建設規格　PPD-3411（3）の表 PPD-3411-1 より求めた値

2.4.3　評価結果

評価結果を表－９に示す。必要厚さ等を満足しており，十分な構造強度を有していると評価している。

表－９　配管の評価結果（管厚）

No.	外径 (mm)	材料	最高使用圧力(MPa)	最高使用温度（℃）	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
1	114.30	STPG370	0.98	40	3.40	5.25
2	114.30	STPG370	0.98	60	3.40	5.25
3	114.30	STPG370	静水頭	60	－	5.25
4	60.50	STPG370	0.98	60	2.40	3.40
5	60.50	STPG370	1.37	60	2.40	3.40
6	42.70	STPG370	0.98	60	1.90	3.10
7	165.20	SUS316L	静水頭	60	－	6.21
8	60.50	SUS316L	静水頭	60	－	3.40
9	60.50	SUS316L	0.98	60	0.28	3.40
10	42.70	SUS316L	0.98	60	0.20	3.10
11	76.30	SUS316L	0.98	60	0.35	4.55
12	165.20	SUS316L	0.98	60	0.74	6.21
13	139.80	SUS316L	0.98	60	0.63	5.77
14	216.30	SUS316L	0.98	60	0.97	7.17
15	267.40	SUS316L	0.98	60	1.20	8.13
16	318.50	SUS316L	0.98	60	1.43	9.01
17	60.50	SUS316L	0.98	60	0.28	4.81
18	60.50	SUS316L	1.37	60	0.38	3.40
19	42.70	SUS316L	1.37	60	0.27	3.10
20	89.10	STPG370	1.37	60	3.00	4.81
21	42.70	STPG370	1.37	60	1.90	3.10
22	60.50	STPG370	1.37	60	2.40	4.81
23	89.10	STPG370	静水頭	60	－	4.81
24	89.10	STPG370	0.98	60	3.00	4.81
25	76.30	STPG370	0.98	60	2.70	4.55

No.	外径 (mm)	材料	最高使用 圧力(MPa)	最高使用 温度 (℃)	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
26	48.60	STPG370	0.98	60	2.20	3.20
27	114.30	SUS316L	0.98	60	0.52	5.25
28	114.30	SUS316L	0.98	40	0.51	5.25
29	89.10	SUS316L	0.98	40	0.40	4.81
30	60.50	SUS316L	0.98	40	0.27	3.40
31	323.90	SUS316L	0.98	60	1.45	2.70
32	27.20	SUS316L	0.98	60	0.21	2.61
33	48.60	SUS316L	静水頭	60	－	3.20
34	48.60	SUS316L	0.50	60	0.12	3.20
35	48.60	SUS316L	0.50	60	0.12	4.46
36	139.80	SUS316L	静水頭	60	－	5.77
37	76.30	SUS316L	静水頭	60	－	4.55
38	76.30	SUS316L	0.50	60	0.18	4.55
39	34.00	SUS316L	0.50	60	0.08	2.90
40	27.20	STPG370	0.98	60	1.70	2.40
41	21.70	SUS316L	0.98	60	0.17	2.52
42	21.70	SUS316L	0.50	60	0.05	2.52
43	60.50	SUS316L	0.50	60	0.14	3.40
44	89.10	SUS316L	0.50	60	0.21	4.81
45	34.00	SUS316L	0.98	60	0.15	2.90
46	48.60	SUS316L	0.98	60	0.21	3.20

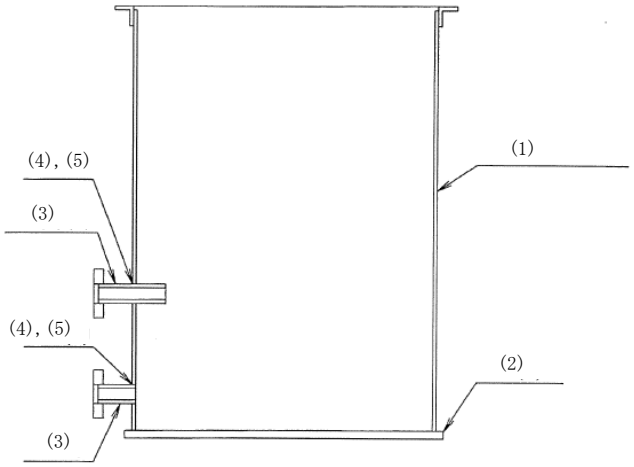
注１）継手類はJIS等の規格品を適用することで、管に対し十分な厚さを有し、管の強度評価に包絡される。

注２）管及び機器の取合箇所において、変位の吸収や着脱の必要性から強度計算の規格外となるホース類を適用する箇所がある。これらについては配管の流体・圧力・温度条件に合致した十分実績のあるものを採用することで、必要な強度を確保するものとする。

2.5　炭酸ソーダ貯槽

2.5.1　評価箇所

強度評価箇所を図－５に示す。



図中の番号は，2.5.2，2.5.3 の番号に対応する。

図－５　炭酸ソーダ貯槽　概要図

2.5.2　評価方法

(1)胴の厚さの評価

開放タンクの胴に必要な厚さは，次に揚げる値のうちいずれか大きい値とする。

a.　規格上必要な最小厚さ：t_1

炭素鋼鋼板又は低合金鋼鋼板で作られた場合は 3mm，その他の材料で作られた場合は 1.5mm とする。

b.　胴の計算上必要な厚さ：t_2

$$t_2 = \frac{D_i \cdot H \cdot \rho}{0.204 \cdot S \cdot \eta}$$

t_2：必要厚さ（mm）
Di：胴の内径（m）
H：水頭（m）
ρ：液体の比重。
　ただし，１未満の場合は１とする。
S：許容引張応力(MPa)
η：継手効率（-）

c.　胴の内径に応じた必要厚さ：t_3

胴の内径が 5m を超えるものについては，胴の内径の区分に応じ設計・建設規格　表 PVC-3920-1 より求めた胴の厚さとする。

(2)　底板の厚さの評価

地面，基礎等に直接接触する開放タンクの底板の厚さは，3mm 以上であること。

(3)　管台の厚さの評価

管台に必要な厚さは，次に揚げる値のうちいずれか大きい値とする。

a.　管台の計算上必要な厚さ：t_1

$$t_1 = \frac{D_i \cdot H \cdot \rho}{0.204 \cdot S \cdot \eta}$$

t_1：必要厚さ（mm）
Di：管台の内径(m)
H：水頭(m)
ρ：液体の比重。
　ただし，１未満の場合は１とする。
S：許容引張応力(MPa)
η：継手効率(-)

b.　規格上必要な厚さ：t_2

管台の外径に応じ設計・建設規格　表 PVC-3980-1 より求めた管台の厚さとする。

(4)　胴の穴の補強計算

a. 補強に有効な範囲内にある補強に有効な面積が，補強に必要な面積より大きくなるようにすること。

b. 大きい穴の補強を要しない穴の最大径

内径が 1500mm 以下の胴に設ける穴の径が胴の内径の２分の１（500mm を超える場合は，500mm）以下および内径が 1500mm を超える胴に設ける穴の径が胴の内径の３分の１（1000mm を超える場合は，1000mm）以下の場合は，大きい穴の補強計算は必要ない。

c. 溶接部の強度として，予想される破断箇所の強さが，溶接部の負うべき荷重以上であること。

2.5.3　評価結果

評価結果を表－１０に示す。必要厚さ等を満足しており，十分な構造強度を有すると評価している。

表－１０－１　炭酸ソーダ貯槽の評価結果（板厚）

機器名称	評価項目	必要厚さ (mm)	最少厚さ (mm)
炭酸ソーダ貯槽１	（１）胴の厚さ	1.50	6.87
	（２）底板の厚さ	3.00	19.60
	（３）管台の厚さ（１２５Ａ）	3.50	4.87
	（３）管台の厚さ（１００Ａ）	3.50	4.35
炭酸ソーダ貯槽２	（１）胴の厚さ	1.50	6.87
	（２）底板の厚さ	3.00	19.60
	（３）管台の厚さ（６５Ａ）	2.70	3.65
	（３）管台の厚さ（１００Ａ）	3.50	4.35

表－１０－２　炭酸ソーダ貯槽の評価結果（胴板の補強要否確認）

機器名称	評価項目	補強を要しない穴の最大径 (mm)	穴の径 (mm)
炭酸ソーダ貯槽１	（４）胴板（１２５Ａ）	85.00	85 を超える※9
	（４）胴板（１００Ａ）	85.00	85 を超える※9
炭酸ソーダ貯槽２	（４）胴板（６５Ａ）	85.00	85.00 以下
	（４）胴板（１００Ａ）	85.00	85 を超える※9

※9　胴板の穴の補強計算を行う

表－１０－３　炭酸ソーダ貯槽の評価結果（胴の穴の補強計算）

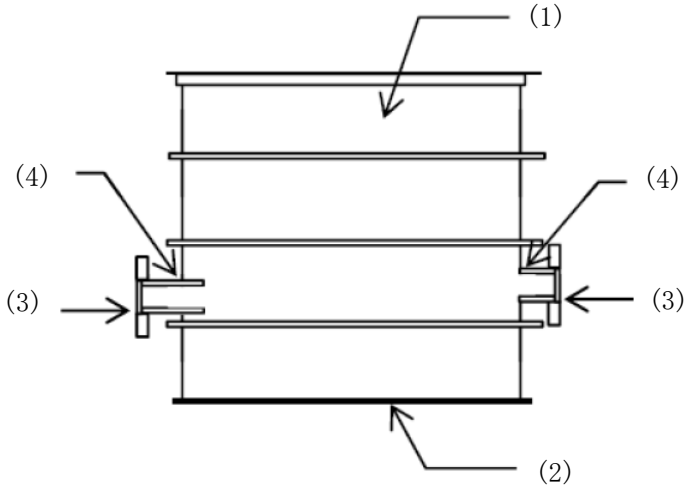
機器名称	評価項目	評価結果	
炭酸ソーダ貯槽１	（５）胴（１２５Ａ）	補強に必要な面積（mm^2）	補強に有効な総面積（mm^2）
		87.58	1.130×10^3
		大きな穴の補強を要しない最大径（mm）	穴の径（mm）
		1000	130.06
		溶接部の負うべき荷重（N）	予想される破断箇所の強さ（N）
		-7.759×10^4	—※１０
炭酸ソーダ貯槽１，２	（５）胴（１００Ａ）	補強に必要な面積（mm^2）	補強に有効な総面積（mm^2）
		71.11	7.845×10^2
		大きな穴の補強を要しない最大径（mm）	穴の径（mm）
		1000	105.60
		溶接部の負うべき荷重（N）	予想される破断箇所の強さ（N）
		-6.294×10^4	—※１０

※１０　溶接部の負うべき荷重が負であり，溶接部の強度計算は不要

2.6　炭酸ソーダ溶解槽

2.6.1　評価箇所

強度評価箇所を図－６に示す。



図中の番号は，2.6.2，2.6.3 の番号に対応する。

図－６　炭酸ソーダ溶解槽　概要図

2.6.2　評価方法

（１）側板，底板の評価

炭酸ソーダ溶解槽の側板の必要厚さは，等分布荷重，4 辺固定での最大曲げ応力 σ_{max} が材料の許容引張応力となる場合（$S = \sigma_{max}$）の厚さを必要な厚さとして算出する。

$$t = a\,(\beta_2 \cdot p / S)^{1/2}$$

$$p = \rho\ g\ H$$

t　：最小必要厚さ（mm）

a　：平板の短辺長さ（mm）

β_2：長方形板の最大応力の係数

（機械工学便覧（第 5 章 平板の曲げ表 28）より）

p　：等分布荷重（MPa）

S　：許容引張応力（MPa）

g　：重力加速度（9.80665m/s^2）

H　：水頭（m）

ρ　：液体の比重

ただし，１未満の場合は１とする。

(2)底板の厚さの評価

地面，基礎等に直接接触する開放タンクの底板の厚さは，3mm 以上であること。

(3)管台の厚さの評価

管台に必要な厚さは，次に揚げる値のうちいずれか大きい値とする。

a. 管台の計算上必要な厚さ：t_1

$$t_1 = \frac{D_i \cdot H \cdot \rho}{0.204 \cdot S \cdot \eta}$$

t_1：必要厚さ（mm）
Di：管台の内径(m)
H：水頭(m)
ρ：液体の比重。
ただし，１未満の場合は１とする。
S：許容引張応力(MPa)
η：継手効率(-)

b. 規格上必要な厚さ：t_2

管台の外径に応じ設計・建設規格　表 PVC-3980-1 より求めた管台の厚さとする。

(4)側板の穴の補強計算

a. 補強に有効な範囲内にある補強に有効な面積が，補強に必要な面積より大きくなるようにすること。

b. 大きい穴の補強を要しない穴の最大径

内径が 1500mm 以下の側板に設ける穴の径が側板の内径の２分の１（500mm を超える場合は，500mm）以下および内径が 1500mm を超える側板に設ける穴の径が側板の内径の３分の１（1000mm を超える場合は，1000mm）以下の場合は，大きい穴の補強計算は必要ない。

c. 溶接部の強度として，予想される破断箇所の強さが，溶接部の負うべき荷重以上であること。

2.6.3　評価結果

評価結果を表－１１に示す。必要厚さ等を満足しており、十分な構造強度を有すると評価している。

表－１１－１　炭酸ソーダ溶解槽の評価結果（板厚）

機器名称	評価項目	必要厚さ（mm）	最少厚さ（mm）
炭酸ソーダ溶解槽 １，２，３	（１）側板の厚さ	2.11	5.5
	（２）底板の厚さ	3.0	5.5
	（３）管台の厚さ（液出口）	2.7	3.6
	（３）管台の厚さ（ヒータ取付座）	3.5	3.6

表－１１－２　炭酸ソーダ貯槽の評価結果（側板の穴の補強計算）

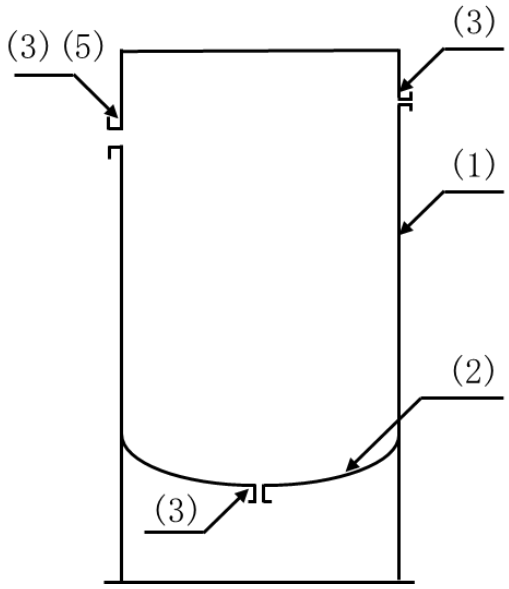
機器名称	評価項目	評価結果	
炭酸ソーダ溶解槽 １，２，３	（４）側板（液出口）	補強に必要な 面積（mm^2）	補強に有効な 総面積（mm^2）
		149.5	293.6
		大きな穴の補強を 要しない最大径（mm）	穴の径 （mm）
		500	68.95
		溶接部の負う べき荷重（N）	予想される破断箇所 の強さ（N）
		-3.274×10^3	—※１１
	（４）側板（ヒータ取付座）	補強に必要な 面積（mm^2）	補強に有効な 総面積（mm^2）
		176.5	286.0
		大きな穴の補強を 要しない最大径（mm）	穴の径 （mm）
		500	81.76
		溶接部の負う べき荷重（N）	予想される破断箇所 の強さ（N）
		-4.828×10^3	—※１１

※１１　溶接部の負うべき荷重が負であり，溶接部の強度計算は不要

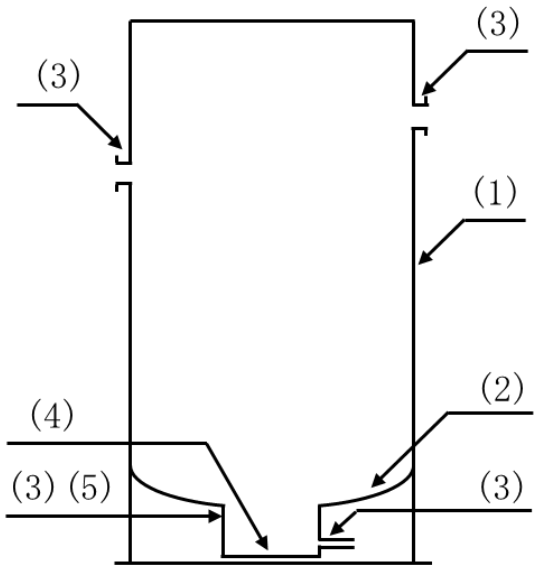
2.7　反応／凝集槽，沈殿槽，上澄み水タンク

2.7.1　評価箇所

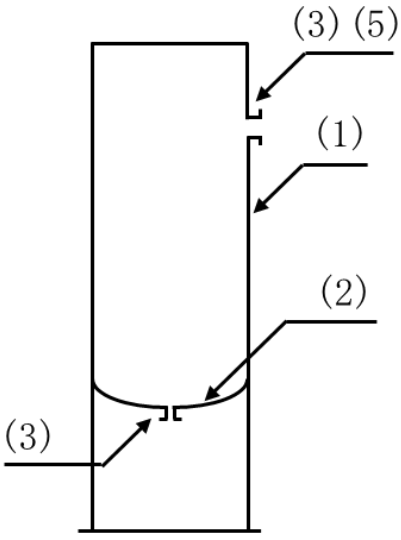
強度評価箇所を図－７－１～図－７－３に示す。



図－７－１　反応／凝集槽　概要図



図－７－２　沈殿槽　概要図



図－７－３　上澄み水タンク　概要図

図中の番号は，2.7.2 及び 2.7.3 の番号に対応する。

2.7.2　評価方法

(1)胴の厚さの評価

開放タンクの胴に必要な厚さは，次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

a.規格上必要な最小厚さ：t_1

炭素鋼鋼板又は低合金鋼鋼板で作られた場合は3mm，その他の材料で作られた場合は1.5mmとする。

b.胴の計算上必要な厚さ：t_2

$$t_2 = \frac{D_i \cdot H \cdot \rho}{0.204 \cdot S \cdot \eta}$$

t_2：必要厚さ（mm）
Di：胴の内径（m）
H：水頭（m）
ρ：液体の比重
　ただし，１未満の場合は１とする。
S：許容引張応力(MPa)
η：継手効率（-）

(2)鏡板の厚さの評価

さら形鏡板の場合で，中低面に圧力を受ける物については，下記式により計算した値以上の厚さとする。

a.鏡板の計算上必要な厚さ：t

$$t = \frac{P \cdot R \cdot W}{2S \cdot \eta - 0.2P}$$

t：必要厚さ（mm）
P：最高使用圧力（MPa）
R：鏡板の中央部における内面の半径（mm）
W：さら型鏡板の形状による係数
η：継手効率(-)
S：許容引張応力（MPa）

(3)管台の厚さの評価

管台に必要な厚さは，次に揚げる値のうちいずれか大きい値とする。

a.管台の計算上必要な厚さ：t_1

$$t_1 = \frac{D_i \cdot H \cdot \rho}{0.204 \cdot S \cdot \eta}$$

t_1：必要厚さ（mm）
Di：管台の内径(m)
H：水頭(m)
ρ：液体の比重
ただし，１未満の場合は１とする。
S：許容引張応力(MPa)
η：継手効率(-)

b.規格上必要な厚さ：t_2

管台の外径に応じ設計・建設規格　表 PVC-3980-1 より求めた管台の厚さとする。

(4)平板の厚さの評価

平板に必要な厚さは，次に掲げる値とする。

a.平板の計算上必要な厚さ：t

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{K \cdot P}{S}}$$

t：必要厚さ（mm）
d：平板の径（mm）
K：取付方法による係数（-）
P：最高使用圧力(MPa)
S：許容引張応力（MPa）

(5)胴の穴の補強計算

a. 補強に有効な範囲内にある補強に有効な面積が，補強に必要な面積より大きくなるようにすること。

b 大きい穴の補強を要しない穴の最大径

内径が 1500mm 以下の胴に設ける穴の径が胴の内径の２分の１（500mm を超える場合は，500mm)以下および内径が 1500mm を超える胴に設ける穴の径が胴の内径の３分の１(1000mm を超える場合は，1000mm）以下の場合は，大きい穴の補強計算は必要ない。

c.溶接部の強度として，予想される破断箇所の強さが，溶接部の負うべき荷重以上であること。

2.7.3　評価結果

評価結果を表－１２～１４に示す。必要厚さ等を満足しており，十分な構造強度を有すると評価している。

表－１２－１　反応／凝集槽の評価結果（板厚）

機器名称	評価項目	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
反応／凝集槽 A，C	（１）胴板の厚さ	3.0	3.7
	（２）鏡板の厚さ	1.2	2.9
	（３）管台の厚さ（スラリー出口）	3.5	4.7
	（３）管台の厚さ（原水入口）	2.4	2.4
	（３）管台の厚さ（液入口）	1.7	1.9
	（３）管台の厚さ（返送スラリー入口）	1.7	1.9
	（３）管台の厚さ（炭酸ソーダ入口）	1.7	1.9
	（３）管台の厚さ（ドレン）	2.7	3.5

表－１２－２　反応／凝集槽の評価結果（胴の穴の補強計算）

機器名称	評価項目	評価結果	
反応／凝集槽 A，C	（５）胴 （スラリー出口）	補強に必要な面積 (mm^2)	補強に有効な総面積 (mm^2)
		80	560
		大きな穴の補強を要しない最大径 (mm)	穴の径 (mm)
		766	151
		溶接部の負うべき荷重 (N)	予想される破断箇所の強さ (N)
		-40000	—※1

※１　溶接部の負うべき荷重が負であり，溶接部の強度計算は不要

表－１３－１　沈殿槽の評価結果（板厚）

機器名称	評価項目	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
沈殿槽 A，C	（１）胴板の厚さ	1.5	3.9
	（２）鏡板の厚さ	1.2	3.2
	（３）管台の厚さ（スラリー入口）	3.5	5.4
	（３）管台の厚さ（上澄み水出口）	3.5	5.4
	（３）管台の厚さ（濃縮スラリー出口）	2.4	2.6
	（３）管台の厚さ（サンプ部）	3.5	3.9
	（４）平板の厚さ	9.1	22.2

表－１３－２　沈殿槽の評価結果（胴の穴の補強計算）

機器名称	評価項目	評価結果	
沈殿槽 Ａ，Ｃ	（５）鏡板 （サンプ部）	補強に必要な面積 (mm^2)	補強に有効な総面積 (mm^2)
		390	2000
		大きな穴の補強を 要しない最大径（mm）	穴の径 (mm)
		766	750
		溶接部の負うべき荷重 (N)	予想される破断箇所の 強さ（N）
		-180000	—※1

※１　溶接部の負うべき荷重が負であり，溶接部の強度計算は不要

表－１４－１　上澄み水タンクの評価結果（板厚）

機器名称	評価項目	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
上澄み水タンク Ａ，Ｃ	（１）胴板の厚さ	1.5	3.9
	（２）鏡板の厚さ	0.4	3.2
	（３）管台の厚さ（上澄み水入口）	3.5	5.4
	（３）管台の厚さ（上澄み水出口）	2.4	2.6

表－１４－２　上澄み水タンクの評価結果（胴の穴の補強計算）

機器名称	評価項目	評価結果	
上澄み水タンク Ａ，Ｃ	（５）胴（上澄み水入口）	補強に必要な面積 (mm^2)	補強に有効な総面積 (mm^2)
		30	680
		大きな穴の補強を 要しない最大径（mm）	穴の径 (mm)
		500	151
		溶接部の負うべき荷重 (N)	予想される破断箇所の 強さ（N）
		-63000	—※1

※１　溶接部の負うべき荷重が負であり，溶接部の強度計算は不要

流体状の放射性廃棄物の施設外への漏えい防止に関する計算書

1. 流体状の放射性廃棄物の施設外への漏えい防止能力の評価

増設多核種除去設備建屋の外周には堰が設置されており，仮に全容器の保有廃液が流出した場合においても施設内にとどまり，施設外への漏えいは防止される。この漏えい防止能力の評価を表－１に示す。

表－１　施設外への漏えい防止能力の評価（増設多核種除去設備）

容器名称	設　置　場　所		容器容量（m^3）※1	容器設置区画内床面積※2（m^2）	見込み高さ※3（ｃｍ）	漏えい廃液全量を貯留するために必要な堰の高さ（ｃｍ）	拡大防止堰の高さ（ｃｍ）	評　価
	建屋名	設計 G.L.（m）	①	②	③	④＝①/②×100+③	⑤	容器設置区画の拡大防止堰の高さは、各容器からの漏えい廃液全量を貯留するために必要な堰の高さを満足しており、施設外への漏えいを防止できる。
処理水受入タンク等	増設多核種除去設備建屋	T.P.36.2	684.5	4371.5	17.0	32.7	33 以上	

注記　※１　：　保守的に建屋内に設置する全容器の総容量としている

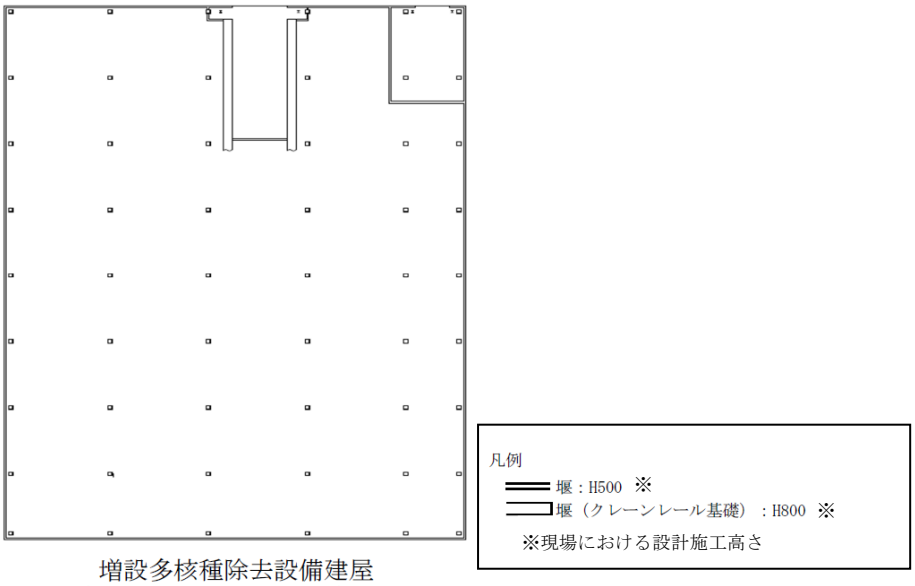
※２　：　容器設置区画内の内のり面積

※３　：　基礎体積による高さ増加分（基礎体積÷当該容器設置区画内床面積）を考慮した値

2.　増設多核種除去設備建屋の堰に関する説明

増設多核種除去設備建屋の外周に設置される堰の配置を図－１に示す。

堰の名称，主要寸法及び材料について，表－２に示す。



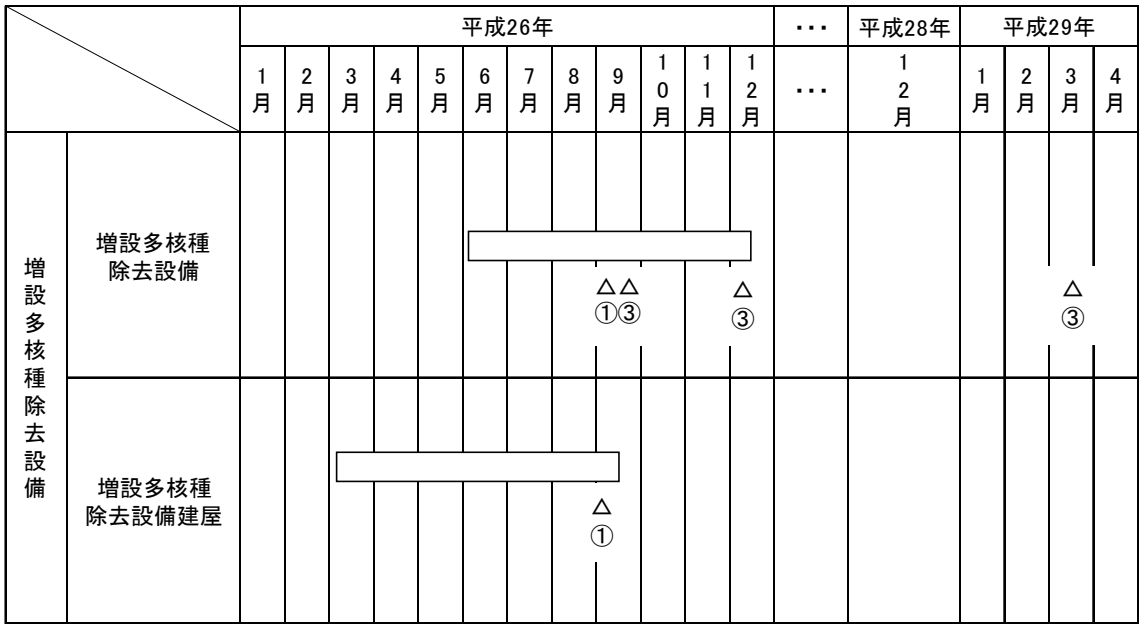
増設多核種除去設備建屋
図－１　堰を明示した図面

表－２　堰の名称、主要寸法、材料

名　　称		増設多核種除去設備建屋　堰
主要寸法	堰の高さ	330㎜以上
	床・堰の塗装	床面及び床面から堰の高さまで
材　　料	堰	鉄筋コンクリート
	床・堰の塗装	エポキシ樹脂系

名　　称		増設多核種除去設備建屋　堰（クレーンレール基礎）
主要寸法	堰の高さ	330㎜以上
	床・堰の塗装	床面及び床面から堰の高さまで
材　　料	堰	鉄筋コンクリート
	床・堰の塗装	エポキシ樹脂系

工事工程表



□ ： 現地据付組立

① ： 構造，強度又は漏えいに係る試験をすることができる状態になった時

③ ： 原子炉施設の工事の計画に係る工事が完了した時

増設多核種除去設備の具体的な安全確保策

増設多核種除去設備で扱う液体は，放射性物質を含むことから，漏えい防止対策，放射線遮へい・崩壊熱除去及び可燃性ガス滞留防止等について，具体的な安全確保策を以下の通り定め，実施する。

1. 放射性物質の漏えい防止等に対する考慮

(1) 漏えい発生防止

a. 増設多核種除去設備を構成する機器は，腐食による漏えい発生防止のため，液性等に応じて，炭素鋼（内面ライニング），ステンレス鋼，ポリエチレン材等を採用する。（別添－１）

b. タンクには水位検出器を設け，オーバーフローを防止するため，インターロックの作動によりポンプを停止する設計とする。

c. 鋼材もしくはポリエチレンの継手部は，可能な限り溶接構造もしくは融着構造とする。また，Ｇ１南，Ｈ５，Ｈ６（Ⅰ），Ｂ，Ｂ南，Ｈ３，Ｈ６（Ⅱ）エリアタンク設置に伴い新設する移送配管は，漏えい堰等が設置されないフランジ構造の継手部についてシール材又は発泡剤の充填を実施し，Ｇ６，Ｇ１，Ｇ４南，Ｇ５エリアタンク設置に伴い新設する移送配管は，供用の終了後に配管の水抜きを実施する。供用の終了後とは，タンクが満水の状態となった後を示す。

d. ポンプの軸封部は，漏えいし難いメカニカルシール構造とする。

e. 耐圧ホース，ポリエチレン管は設計・建設規格（JSME）に記載のない非金属材料である為，日本産業規格（JIS），日本水道協会規格（JWWA），ISO 規格，製品の試験データ等を用いて設計を行う。なお，耐圧ホース，ポリエチレン管の耐震性については，可撓性を有しており地震による有意な応力は発生しない。

(2) 漏えい検知・漏えい拡大防止・混水防止

a. 増設多核種除去設備は，スキッド毎に漏えいパン及び漏えい検知器を設け，漏えいを早期に検知する。また，増設多核種除去設備設置エリアの最外周及び系統毎に，漏えいの拡大を防止する堰及び漏えい検知器を設ける（図１）。トレーラヤードには，スロープ堰を設置する。

b. 漏えいを検知した場合には，免震重要棟集中監視室及びシールド中央制御室に警報を発し，運転操作員によりカメラ，流量等の運転監視パラメータ等の状況を確認し，適切な対応を図る。

c. 漏えい水のコンクリートへの浸透を防止するため，増設多核種除去設備設置エリアには床塗装を実施する。

d. 漏えい堰等が設置されない移送配管等で継手部がフランジ構造となる場合には，漏えい拡大防止カバーで覆った上で中に吸水シートを入れ，漏えい水の拡大防止に努める。

e. 増設多核種除去設備の設置に伴い新規に敷設する屋外移送配管について，以下の対応を行う。

- ポリエチレン管とポリエチレン管の接合部は漏えい発生を防止するため融着構造とすることを基本とし，ポリエチレン管と鋼管の取合い等でフランジ接続となる箇所については養生を行い，漏えい拡大防止を図る。また，処理対象水の移送配管は，万一，漏えいしても排水路を通じて環境に放出することがないように，排水路から可能な限り隔離するとともに，排水路を跨ぐ箇所はボックス鋼内等に配管を敷設する。さらに，ボックス鋼端部から排水路に漏えい水が直接流入しないように土嚢を設ける。
- 移送配管から漏えいが確認された場合は，ポンプ等を停止し，系統の隔離及び土嚢の設置等により漏えいの拡大防止を図る。
- 移送配管の更なる漏えい検知・漏えい拡大防止策について，速やかに検討し，RO濃縮水処理によるリスク低減効果，漏えい拡大防止策の有効性や工期等を踏まえ，可能なものから実施する。対策が完了するまでの間は，巡視点検による漏えい検知を要員へ周知し，確実に実施する。

f. サンプルタンクの本堰（コンクリート堰）高さは，堰の保有水量がタンク１基分の容量以上となるよう確保する。

g. タンク運用に合わせて，追加で敷設する屋外移送配管については，e.の措置に加えて，以下の対応を行う。

- 移送配管は，使用開始までに漏えい確認等を実施し，施工不良等による大規模な漏えいの発生を防止する。また，フランジ継手部は，ガスケットの経年劣化により微小漏えいの発生が懸念されることから，架空化により視認性を向上させ，毎日の巡視点検により漏えいの有無を確認する。

(3) 検討用地震動に対する考慮

増設多核種除去設備のうち，処理前・処理中の液体を内包する設備は，検討用地震動（最大加速度900gal。以下「Ss900」という。）に対して海洋に流出するおそれのない設計とする。ただし，建屋・構築物の設置後に本設計方針を適用する場合は，Ss900に対する評価を行い，評価にて健全性が確認できない場合には施工上可能な範囲で補強等の対策工事を行う。また，当該対策を講じても地震発生時に海洋に流出するおそれがある場合は、液体を速やかに回収する機動的対応がとれるよう必要な機材、体制等を整備する。

2. 放射線遮へい・崩壊熱除去

(1) 放射線遮へい（被ばくに対する考慮）

a. 増設多核種除去設備からの放射線による雰囲気の線量当量率が 0.1mSv/h 以下（放射線業務従事者が作業を行う位置で，遮へい体を含む機器表面から 1m の位置）となるよう適切な遮へいを設ける。また，最寄りの評価点(No.70)における直接線・スカイシャイン線の評価結果は年間約 0.03mSv となる。

評価点	年間線量（mSv/年）
No.70	0.034
（参考）No.66	0.027
（参考）No.71	0.026

b. 通常運転時は，免震重要棟集中監視室及びシールド中央制御室から遠隔での監視及び操作を可能とする。

c. 保守作業時の放射線業務従事者の被ばく低減のため，機器の洗浄が行える構成とする。

d. 増設多核種除去設備の運転操作等に係る放射線業務従事者以外の者が不要に近づくことがないよう，標識等を設ける。さらに，放射線レベルの高い区域は，標識を設け放射線業務従事者の被ばく低減を図る。

(2) 崩壊熱除去

a. 処理対象水に含まれる放射性物質の崩壊熱は，通水時は処理水とともに熱除去される。

b. 使用済みの吸着材あるいは沈殿処理生成物を収容する高性能容器の貯蔵時は，伝導，対流，輻射により熱除去される。最も発熱量の大きい収容物を貯蔵する場合においても，容器の健全性に影響を与えるものではない。（『2.16.1 多核種除去設備』添付資料－5 別添－１参照）

3. 可燃性ガスの滞留防止

a. 増設多核種除去設備では，水の放射線分解により発生する可能性のある可燃性ガスは，通水時は処理水とともに排出される。

b. 増設多核種除去設備の運転停止時は，満水状態であれば可燃性ガスの滞留の可能性はないが，念のため吸着塔のベント弁を開操作し，可燃性ガスの滞留を防止する。なお，増設多核種除去設備の建屋には，換気装置及び換気装置のための貫通箇所があり，可燃性ガスが滞留し難い構造となっている。

c. 使用済みの吸着材，沈殿処理生成物を収容する高性能容器は，発生する可燃性ガスの濃度が可燃限界を超えないようベント孔を設ける（『2.16.1 多核種除去設備』添付資料－5 参照）。高性能容器内の可燃性ガスの水素濃度を評価した結果，約 2.3%程度となり，可燃限界を超えることはない（別添－２）。

4. 環境条件を踏まえた対応

(1) 腐食

増設多核種除去設備は，汚染水処理設備の処理済水を処理することから塩化物イオン濃度が高く，また薬液注入によりｐＨが変動することから，耐腐食性を有する材料を選定する（別添－１）。

(2) 熱による劣化

熱による劣化が懸念されるポリエチレン管については，汚染水処理設備の処理済水の温度がほぼ常温のため，劣化の可能性は十分低い。

(3) 凍結

水を移送している過程では，凍結の恐れはない。水の移送を停止した場合，屋外に敷設されているポリエチレン管等は，凍結による破損が懸念される。そのため，屋外敷設のポリエチレン管等に保温材を取り付ける。また，建屋内の配管については，40A 以下の配管に対し，保温，ヒータを設置する。

今後，タンク運用に合わせて，追加で敷設する屋外移送配管については，凍結しない十分な厚さ（100A に対して 21.4㎜ 以上）を確保した保温材を取り付ける。なお，保温材は，高い気密性と断熱性を有する硬質ポリウレタン等を使用する。

保温材厚さの設定の際には，「建設設備の凍結防止（空気調和・衛生工学会）」に基づき，震災以降に凍結事象が発生した外気温-8℃，内部流体の初期温度 5℃，保温材厚さ 21.4㎜ の条件において，内部流体が 25％※凍結するまでに十分な時間（50 時間程度）があることを確認した。なお，震災以降の実測データから，外気温-8℃が半日程度継続することはない。

※「JIS A 9501 保温保冷工事施工標準」において管内水の凍結割合を 25%以下と推奨

(4) 耐放射線性

ポリエチレンは，集積線量が 2×10^5Gy に達すると，引張強度は低下しないが，破断時の伸びが減少する傾向を示す。ポリエチレン管の照射線量率を 1Gy/h と仮定すると，2×10^5Gy に到達する時間は 2×10^5 時間（22.8 年）と評価される。そのため，ポリエチレン管は数年程度の使用では放射線照射の影響を受けることはないと考えられる。

なお，系統バウンダリを構成するその他の部品には，ガスケット，グランドパッキンがあるが，他の汚染水処理設備等で使用実績のある材料を使用しており，数年程度の使用は問題ない。

(5) 紫外線

屋外に敷設されているポリエチレン管等は，紫外線による劣化を防止するため，紫外線防止効果のあるカーボンブラックを添加した保温材を取り付ける，もしくは，カーボンブラックを添加していない保温材を使用する場合は，カーボンブラックを添加した被覆材または紫外線による劣化のし難い材料である鋼板を取り付ける。

5. その他

(1) 処理済水の保管容量

多核種除去設備等で処理した処理済水を貯蔵する多核種処理水貯槽については，必要に応じて保管容量の見直しを実施することとする。

(2) 高性能容器の発生量

増設多核種除去設備において，高性能容器（タイプ 2）は年間約 545 基（高性能容器（タイプ 1）は年間約 498 基）発生すると想定される（2016.1.1～2016.12.31 までの積算処理量及び高性能容器の発生量を基に処理量 750m^3/日×3 系列運転（稼働率 80%）における年間の高性能容器の発生数を評価）。

高性能容器（タイプ 1）は，使用済セシウム吸着塔一時保管施設のうち，第二施設（保管容量 736 基）に保管する。2017.8.30 現在，未使用の高性能容器（タイプ１）は 78 基あり，新たな製作予定はない。

高性能容器（タイプ 2）は，使用済セシウム吸着塔一時保管施設のうち，第二施設（保管容量 736 基）及び第三施設（保管容量 4,608 基）に保管する。

なお，必要に応じて使用済セシウム吸着塔一時保管施設を増設する。

(3) 増設多核種除去設備設置エリアにおける高性能容器の落下対策

高性能容器の落下試験で健全性が確認された範囲で取り扱うため，増設多核種除去設備設置エリアでは，以下の落下対策を実施する。

a. 傾斜落下防止架台

・ トレーラエリアに門型の傾斜落下防止架台を設け，移動ルートを制限することにより，傾斜落下の可能性を排除する。

b. クレーン上下方向，東西南北方向の移動制限

・ 高性能容器の落下試験で健全性が確認された落下高さ，落下姿勢で取扱うため，リミットスイッチによりクレーン上下方向の移動範囲，東西南北方向の移動範囲を制限する。（図３）

また，万一の高性能容器の落下破損時における漏えい物回収作業での放射線業務従事者

の被ばく線量は，『2.16.1 多核種除去設備 添付資料－７　高性能容器落下破損時の漏えい物回収作業における被ばく線量評価』に示す通りである。また，増設多核種除去設備エリアから一時保管施設までの高性能容器の移送についても，多核種除去設備エリアにおける作業と同様の管理（トレーラ上に高性能容器を収容する遮へい体を設置することにより放射線業務従事者の被ばくを低減，遮へい体の固縛により高性能容器の車両上からの落下・転倒を防止等）を実施する。

6.　多核種除去設備において確認された不具合事象の対応

多核種除去設備でこれまでに確認された不具合事象の増設多核種除去設備への対応を以下に記す。また，多核種除去設備で今後発生する不具合についても，適宜対策を反映していく。

(1)　誤操作による連続処理停止事象

運転データ取得のため，運転操作員が監視制御画面（タッチパネル）を操作したところ，機器の「選択操作」を誤り設備が自動停止した。対策としてシングルアクションとなっていた「選択操作」をダブルアクションとなるようソフト変更を行っており，増設多核種除去設備においても同様に「選択操作」をダブルアクションとする設計とする。

(2)　バックパルスポットからの漏えい事象

バックパルスポットのシリンダシール部，軸シール部からの微小にじみによる炭酸塩の析出及び固着により，バックパルスポットの動作不良等が発生した。対策として軸シールの多重化等によるシール性を向上させた改良型バックパルスポットに交換しており，増設多核種除去設備においても同様に改良型バックパルスポットを採用する。

(3)　バッチ処理タンクからの漏えい事象

バッチ処理タンクからの漏えいが確認された原因は，当該材料であるSUS316L材のすき間腐食（生成した鉄沈殿物がタンク内に堆積・付着することによるすき間環境の形成及び薬液注入（次亜塩素酸）等による腐食環境の促進）と推定した。対策として次亜塩素酸の注入の停止，バッチ処理タンクへのゴムライニング施工及びすき間腐食の発生の可能性があるフランジに対しガスケット型犠牲陽極等を施工した。増設多核種除去設備では以下の対応を実施する。

・次亜塩素酸の注入の停止
・中性領域の機器は，ゴムライニングを施工
・アルカリ領域の機器は，SUS316L材を採用するが，活性炭を収容する吸着塔は腐食電位の上昇が懸念されるため、吸着塔廻りのフランジにガスケット型犠牲陽極を施工

(4)　クロスフローフィルタからのスラリー透過事象

クロスフローフィルタ（以下，「CFF」という。）のガスケット（PTFE 製）がβ線照射により脆化し，逆洗時の圧力脈動等によって欠損・傷が発生したことで，ストロンチウムを含む炭酸塩スラリーが下流側へ流出し，出口水に高い放射能濃度が確認された。対策として当該ガスケットを耐放射線性に優れる合成ゴム（EPDM）へ変更した CFF へ交換しており，増設多核種除去設備においても，同様の対応を実施する。

また，多核種除去設備下流側まで高い放射能濃度の水が流出したことを受け，増設多核種除去設備では，以下の汚染拡大防止対策を図る（別添－３）。

・多核種移送設備（サンプルタンク，増設多核種除去設備用移送ポンプ）の導入
・サンプルタンクが万一汚染した場合の再処理ラインの設置
・当面の間，炭酸塩スラリーの透過がないことを，クロスフローフィルタ出口において Ca 濃度を測定することで確認

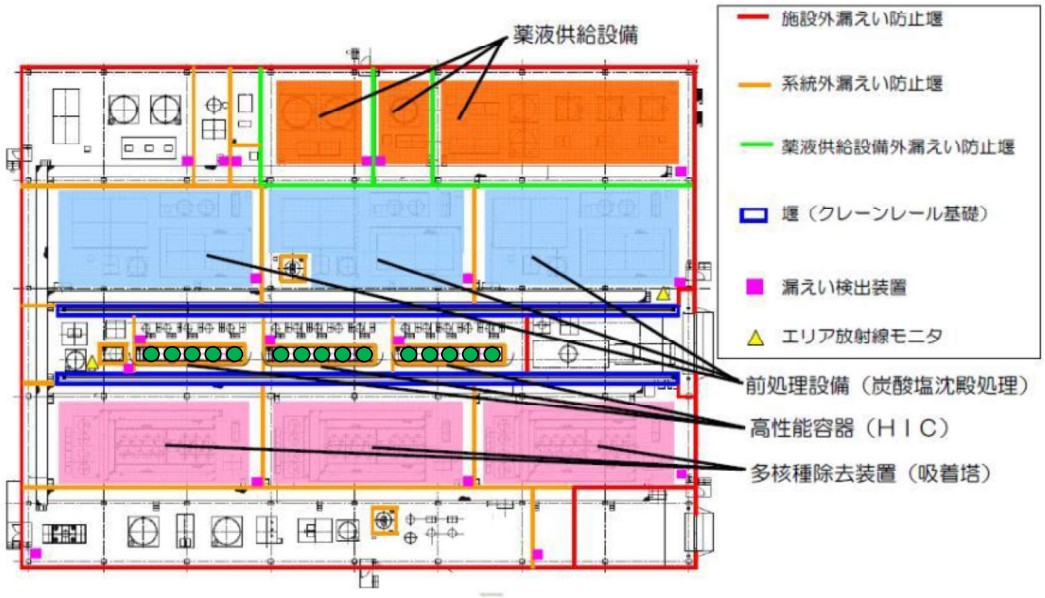


図１　堰及び漏えい検出装置

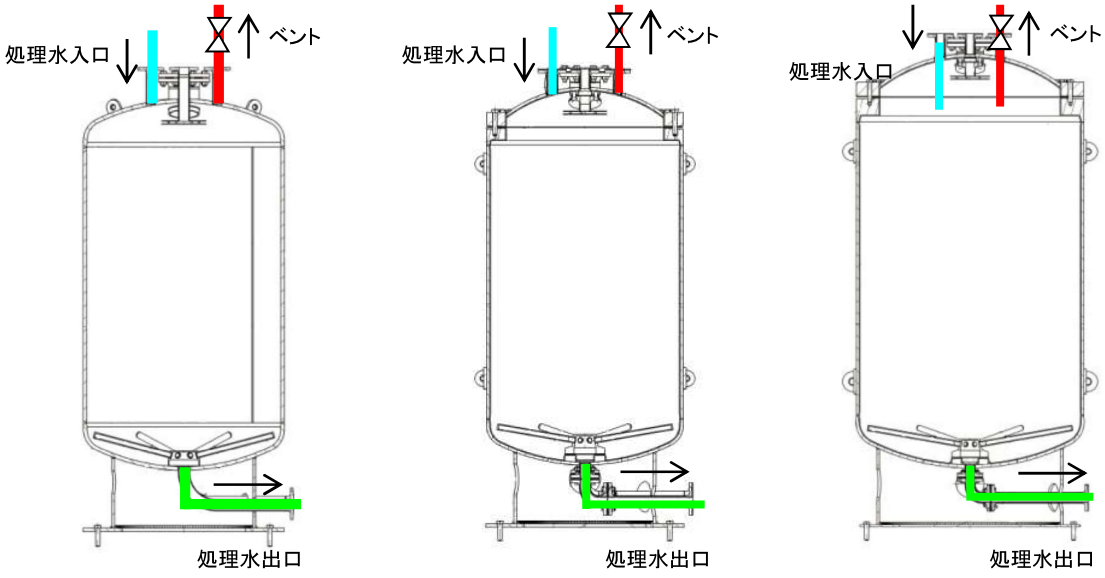


図２　吸着塔概要図

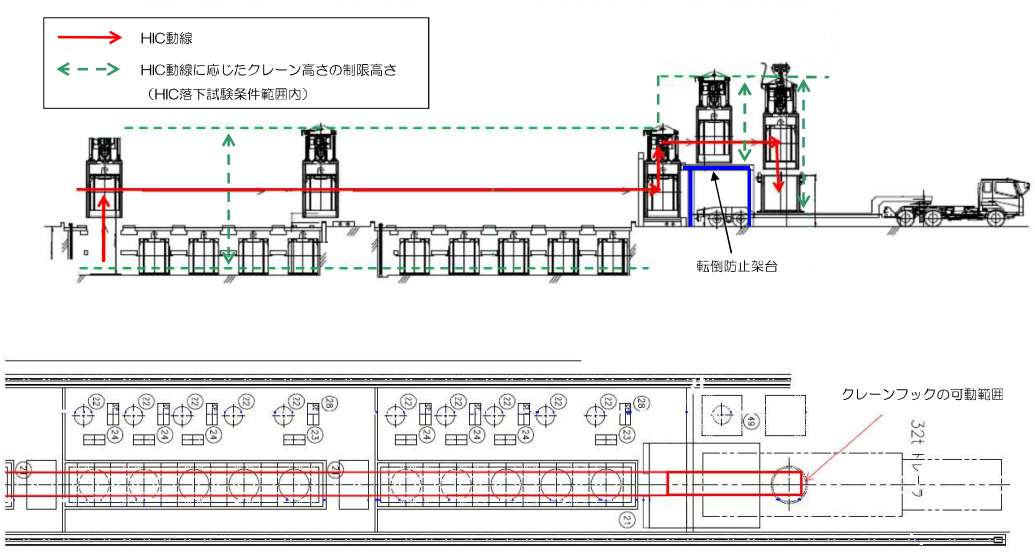


図３　増設多核種除去設備 HIC 用クレーンの動作概要図

増設多核種除去設備に使用する材料の適合性評価

1. はじめに

増設多核種除去設備は，処理対象水（RO 濃縮塩水）の性状から，系統内の塩化物イオン濃度が高く，また，前処理設備等での薬液注入によりｐＨが変動する。そのため，増設多核種除去設備の使用環境における材料の適合性について評価を実施した。

2. 使用環境における材料の適合性について

増設多核種除去設備を構成する主な機器の材料選定理由を表 1 に示す。表 1 の材料のうち，SUS316L に対する耐食性について評価を行った。

表 1　増設多核種除去設備を構成する主な機器の使用材料と選定理由

機器	材料	選定理由
吸着塔	SUS316L 炭素鋼	処理対象水に海水由来の塩分が含まれており，腐食が懸念されることから，中性領域においてはゴムライニング付の炭素鋼を使用する。アルカリ性領域においては，中性領域よりも腐食の発生の可能性が低いことから，耐食性に優れる SUS316L を使用する。ただし，多核種除去設備において，活性炭を収容する吸着塔及び近傍のフランジ部に，微小なすき間腐食が確認された知見を踏まえ，当該箇所においてはガスケット型犠牲陽極を設置する。
高性能容器	ポリエチレン	収容するスラリー及び吸着材の脱水後の残水には，海水由来の塩分が含まれていることから，約 20 年の貯蔵期間を想定し，金属材料よりも耐食性に優れるポリエチレンを使用する。
タンク類	SUS316L 炭素鋼	処理対象水に海水由来の塩分が含まれており，腐食が懸念されることから，中性領域においてはゴムライニング付の炭素鋼を使用する。アルカリ性領域においては，中性領域よりも腐食の発生の可能性が低いことから，耐食性に優れる SUS316L を使用する。
配管 （鋼管）	SUS316L 炭素鋼	処理対象水に海水由来の塩分が含まれており，腐食が懸念されることから，中性領域においてはゴムライニング付の炭素鋼を使用する。アルカリ性領域においては，中性領域よりも腐食の発生の可能性が低いことから，耐食性に優れる SUS316L を使用する。
配管 (ポリエチレン管)	ポリエチレン	耐食性に優れることから，屋外配管に主に使用する。

2.1　ステンレス鋼（SUS316L）及び炭素鋼の耐食性について

炭素鋼は，ゴムライニング施工するため腐食の発生の可能性はない。

ステンレス鋼（SUS316L）の腐食モードを表 2 に示す。腐食モードに対する耐食性について，表 3 に示す使用範囲を考慮し評価を実施した。

表 2　使用材料における腐食モード

使用材料	腐食モード
ステンレス鋼 （SUS316L）	塩化物応力腐食割れ（SCC）
	すきま腐食
	孔食
	全面腐食

表 3　ステンレス鋼（SUS316L）を使用する範囲の環境

使用材料	使用範囲	塩化物イオン濃度[ppm]	常用温度[℃]	最大流速[m/s]	pH
ステンレス鋼（SUS316L）	前処理設備	13000	60	2.8	11.8～12.2
	多核種吸着塔 1～5 塔目	13000	40	1.5	11.8～12.2

a．ステンレス鋼の応力腐食割れ（SCC）

応力腐食割れ（SCC）の発生には，使用温度と塩化物イオン濃度が寄与する。塩化物イオン濃度が 10ppm を超える条件においては一般的に 316 系の SCC 発生限界温度は 100℃といった値がよく用いられており，使用温度 60℃，塩化物イオン濃度 13000ppm の使用環境では，塩化物応力腐食割れ（SCC）が発生する可能性は低いと考えられる。[1)]

1）化学工学協会編：“多管式ステンレス鋼熱交換器の応力腐食割れ,” 化学工業社（1984）.

b．ステンレス鋼のすきま腐食

すきま腐食の発生には，使用温度と塩化物イオン濃度等が寄与し，増設多核種除去設備の環境下では，すきま腐食が発生する可能性は否定できない。[1)]このため，すきま腐食が発生する可能性のある箇所についてガスケット型犠牲陽極を設置するとともに，定期的な点検・保守を行っていく。

c．ステンレス鋼の孔食

孔食の発生には，自然電位，使用温度，塩化物イオン濃度が寄与する。ステンレス鋼の自然電位は pH に依存し，pH が低いほど自然電位は高く孔食が発生する可能性が高く

なるが，増設多核種除去設備の環境下では，孔食が発生する可能性は低いと考えられる。[2) 3)]

d. ステンレス鋼の全面腐食

全面腐食の発生には，pH 及び流速が寄与する。pH11.8～12.2 の使用環境では不動態皮膜は安定である。また，最大流速 2.8m/s（9.2feet/s）では，全面腐食が進行する速度は小さいと考えられる。[4) 5)]

1) 宮坂松甫他，「ポンプの高信頼性と材料」，ターボ機械 第 36 巻 第 9 号，2008 年 9 月

2) M. Akashi, G. Nakayama, T. Fukuda: CORROSION/98 Conf., NACE International, Paper No. 158 (1998).

3) ステンレス協会編: “ステンレス鋼データブック,” 日刊工業新聞社，p. 270 (2000).

4) ステンレス協会編，ステンレス鋼便覧 第 3 版，日刊工業新聞社

5) 腐食防食協会編，腐食・防食ハンドブック，丸善

3. 腐食への対応方針

増設多核種除去設備で使用しているステンレス鋼（SUS316L）の腐食モードとして、すきま腐食が想定される。対応方針として，すきま腐食が発生する可能性のある箇所についてガスケット型犠牲陽極を設置するとともに，定期的な点検・保守を行っていく。

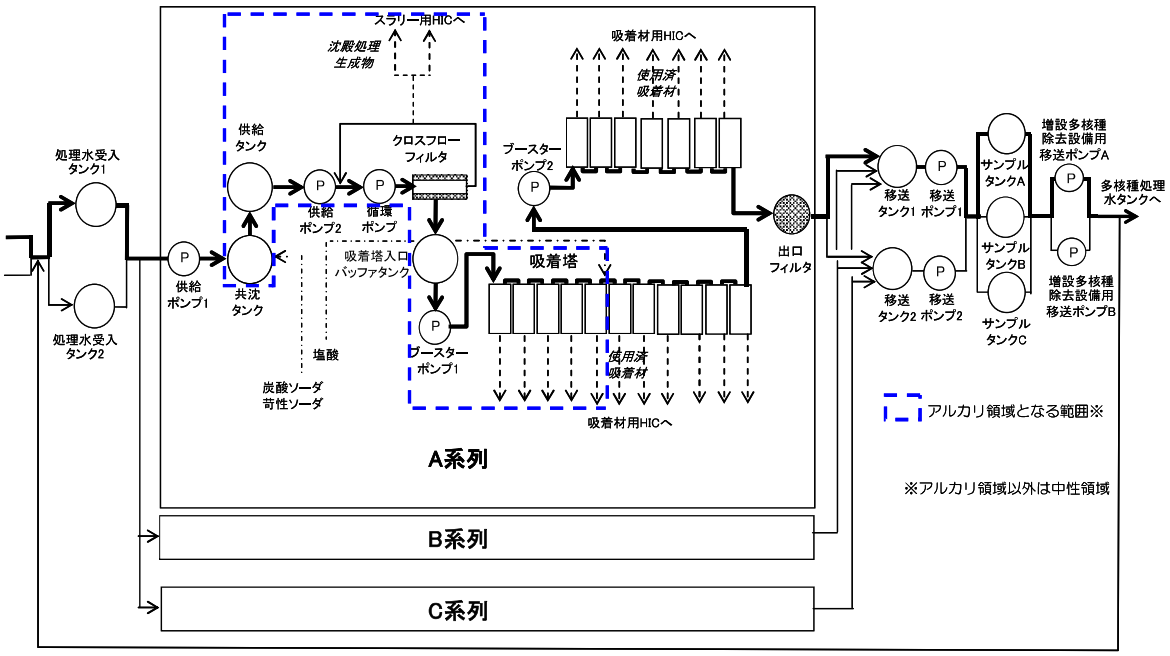


図１ 増設多核種除去設備における液性

以 上

別添－２

高性能容器の水素到達濃度評価

高性能容器に収容するスラリー及び吸着材のうち、容器内の水素到達濃度が最も高くなるスラリーを収容する高性能容器の評価結果を以下に示す。

1. 水素発生量評価

水素は、吸着した核種の崩壊エネルギーが容器内に残留する水に吸収され発生する。

水素発生速度H(mol/s)は次式により算出する。

$$H = G \times \alpha \times V \times 6.24 \times 10^{19} \times D \div A$$

H：水素発生速度

G：水が100eVのエネルギーを吸収した際に発生する水素分子の個数、0.45

α：含水率、1.0（スラリー）

V：ＨＩＣ内充填物体積、2.61m^3（高性能容器タイプ2）

D：吸収熱量、1.3E-05（W/cm^3）

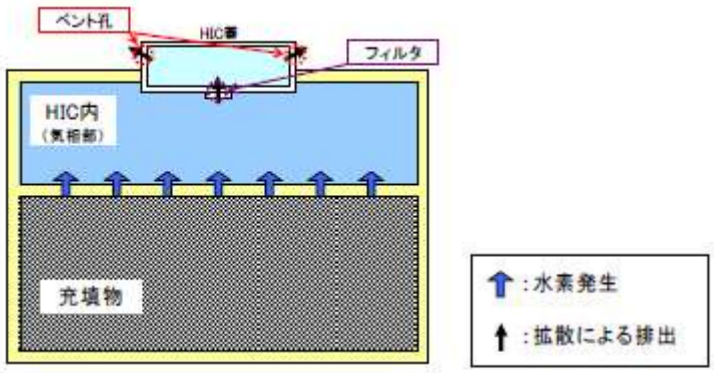
A：アボガドロ数（6.02×10^{23}個/mol）

2. 水素到達濃度評価

高性能容器内の水素到達濃度は、水素発生量と濃度勾配から生じる拡散による水素排出量を考慮し、以下の方法で評価する。

2.1 評価体系

評価体系を図１に示す。



2.2 高性能容器の拡散係数

ベント孔及びフィルタの拡散係数から、高性能容器の拡散係数を算出する。

$$D_{total} = \frac{1}{\frac{1}{D_{hole}} + \frac{1}{D_{filter}}}$$

D_{total}：高性能容器の拡散係数

D_{hole}：ベント孔の拡散係数、m×8.36×10^{-8}(m^3/s)、

m：ベント孔の個数、32（個）

D_{filter}：フィルタの拡散係数、n×3.66×10^{-7}(m^3/s)、n=13

n：フィルタの個数、13（個）

2.3　水素の到達濃度評価結果

高性能容器内の水素濃度 C_{HIC}[%]は以下の式から算出される。

$$C_{HIC} = 2.45 \times \frac{H}{D_{total}}$$

評価の結果、ＨＩＣ内の水素到達濃度は約 2.3%となり、可燃限界を下回る濃度となる。

以上

別添－３

増設多核種除去設備　汚染拡大防止対応状況について

1.　概要

多核種除去設備Ｂ系のクロスフローフィルタパッキン損傷に伴う炭酸塩スラリーの透過事象により、その下流の配管、多核種除去設備の処理済水を貯蔵するタンク等において、全β濃度の上昇を確認した。

また、上記事象により、汚染拡大防止の観点から、運転中のＡ／Ｃ系統の停止も余儀なくされた（その後、Ａ／Ｃ系統は健全であることが確認されたことから、汚染された系統の洗浄のため再起動を実施）。

そのため、増設多核種除去設備においては、当該事象を踏まえ、以下の対策を追加で実施することにより、上記と同様な事象発生時の汚染拡大を防止するとともに、健全な系統による浄化が可能な構成とする。

- 多核種移送設備（サンプルタンク、増設多核種除去設備用移送ポンプ）の導入
- サンプルタンクが万一汚染した場合の再処理ラインの設置

また、当面の間、クロスフローフィルタ出口においてＣａ濃度測定を実施し、炭酸塩スラリーの透過がないことを確認する。

2.　多核種移送設備、再処理ライン等の設置

増設多核種除去設備の処理済水は当初、移送ポンプから処理済水を貯蔵するタンク（多核種処理水貯槽）へ直接移送する計画でいたが、多核種除去設備で発生した貯蔵タンク等の汚染を踏まえ、サンプルタンク、増設多核種除去設備用移送ポンプを設置する。

また、増設多核種除去設備用移送ポンプの下流から増設多核種除去設備の処理水受入タンクへの戻りラインを設置し、万一サンプルタンクまで汚染した場合は、当該汚染水を再処理する。

当該のライン設置により、損傷系統以外の系統は上記の汚染水の再処理を含めて運転継続することが可能となる。

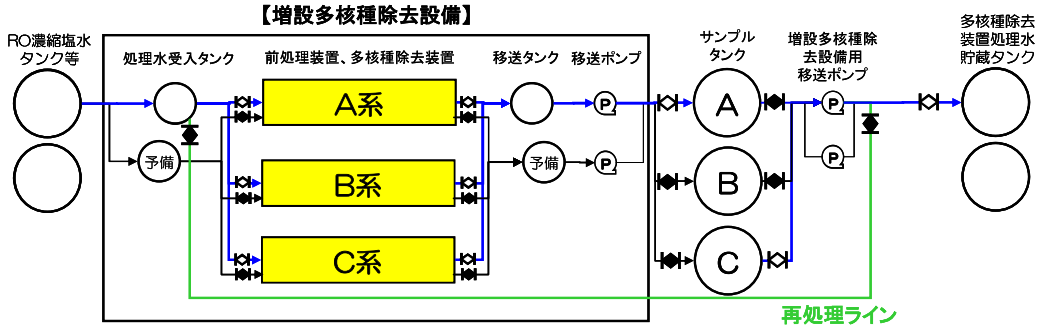


図１　多核種移送設備、再処理ライン等の概要

3.　汚染発生時の対応の流れ

【評価条件】

- 運転系統：A～C 系の 3 系列運転
- サンプルタンクは A が受入れ中、C が払い出し中
- サンプルタンク A の分析にて汚染を確認。調査の結果、A 系が損傷したことを確認

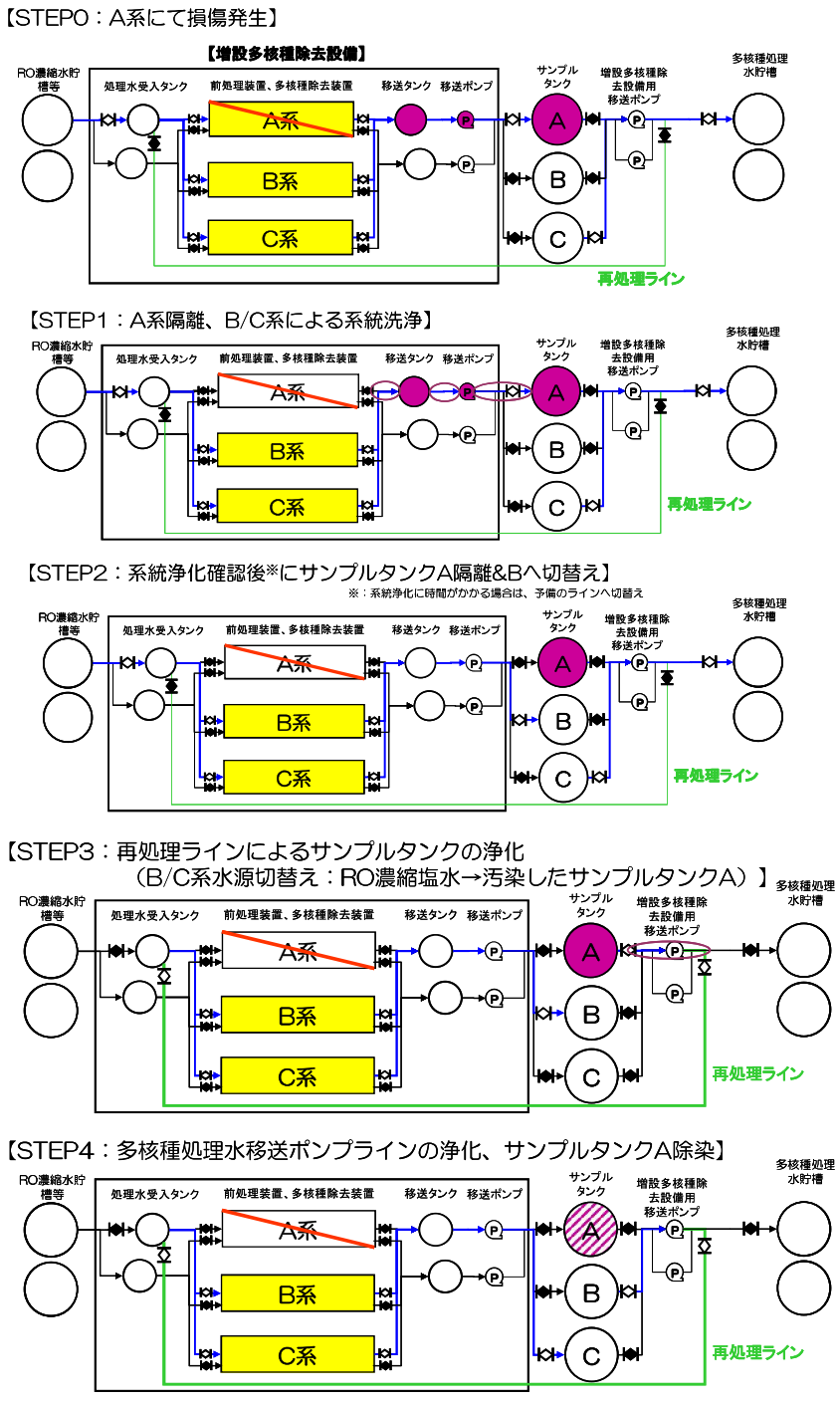


図 2　汚染発生時の対応ステップ（1／2）

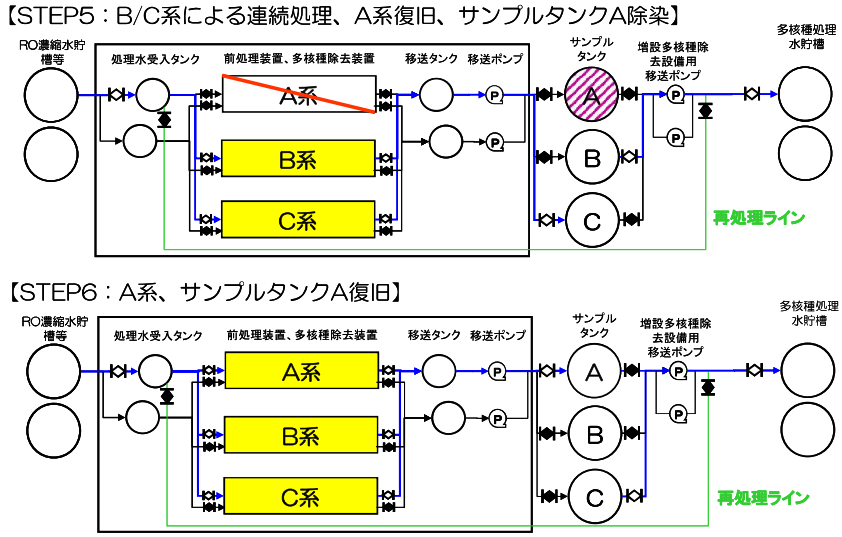


図２　汚染発生時の対応ステップ（２／２）

4.　その他（βモニタの概要）

- 更なる信頼性向上の観点からβモニタを設置する。
- 運用としては、多核種除去設備からサンプルタンクへの移送ラインより処理水を抜き出し、モニタリングする。モニタリング後の水は、処理水移送タンクへ移送する。
- 万一、βモニタで汚染が確認された場合、系統毎のラインに切替え、損傷発生系統を特定することができるライン構成となっている。

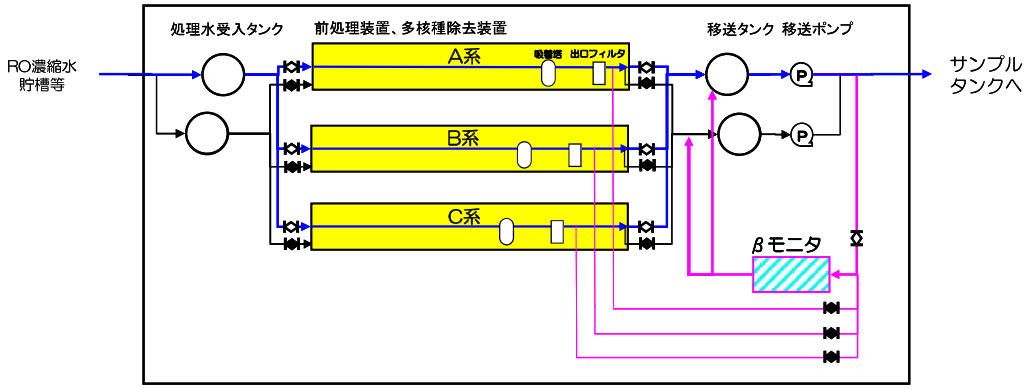


図３　βモニタシステムの概要

以上

別添－４

処理済水による炭酸ソーダ生成・供給に係る機器の具体的な安全確保策

処理済水による炭酸ソーダ生成・供給に係る下記の機器の具体的な安全確保策を以下の通り定め，実施する。なお，下記の機器については「添付－７　増設多核種除去設備の具体的な安全確保策」の対象範囲外とする。

a. 炭酸ソーダ溶解槽
b. 炭酸ソーダ貯槽
c. 炭酸ソーダ溶解槽移送ポンプ
d. 炭酸ソーダ貯槽１供給ポンプ
e. 主要配管
・移送ポンプ出口分岐部から炭酸ソーダ溶解槽まで
（鋼管）
・炭酸ソーダ溶解槽から炭酸ソーダ貯槽まで
（鋼管），（耐圧ホース）
・炭酸ソーダ貯槽から共沈タンクまで
（鋼管），（耐圧ホース）
・炭酸ソーダ貯槽から多核種除去設備建屋入口まで
（鋼管），（耐圧ホース），（ポリエチレン管）

1. 放射性物質の漏えい防止等に対する考慮

(1)　漏えい発生防止

a.　腐食による漏えい発生防止のため，液性等に応じて，炭素鋼（内面ライニング），ステンレス鋼等を採用する。（別添－１）

b.　タンクには水位検出器を設け，オーバーフローを防止するため，インターロックの作動によりポンプを停止する設計とする。

c.　鋼材の継手部は，可能な限り溶接構造とする。ポリエチレンの継手部は，可能な限り融着構造とする。また，漏えい堰等が設置されない移送配管等で継手部がフランジ構造となる場合には，シール材又は発泡剤の充填を実施し漏えい防止カバーを設置する。

d.　ポンプは，軸封部が無く軸封部があるポンプと比較して漏えいリスクの低いダイヤフラムポンプ及びキャンドポンプを採用する。

(2)　漏えい検知・漏えい拡大防止

a.　スキッド毎に漏えいパン及び漏えい検知器を設け，漏えいを早期に検知する。また，漏えいの拡大を防止する堰及び床面に漏えい検知器を設ける。

b. 漏えいを検知した場合には，免震重要棟集中監視室及びシールド中央制御室に警報を発し，運転操作員によりカメラ，流量等の運転監視パラメータ等の状況を確認し，適切な対応を図る。

c. 漏えい水のコンクリートへの浸透を防止するため，設置エリアには床塗装を実施する。

d. ポリエチレン管とポリエチレン管の接合部は漏えい発生を防止するため融着構造とすることを基本とし，ポリエチレン管と鋼管の取合い等でフランジ接続となる箇所については養生を行い，漏えい拡大防止を図る。

・移送配管から漏えいが確認された場合は，ポンプを停止し，系統の隔離及び土嚢の設置等により漏えいの拡大防止を図る。

・移送配管は，使用開始までに漏えい確認等を実施し，施工不良等による大規模な漏えいの発生を防止する。

・建屋内の移送配管において漏えい検知器が設置されていない箇所に敷設する場合は，漏えいした水を漏えい検知器が設置されている箇所に導くために配管下部に受けを設置する。

2. 放射線遮へい・崩壊熱除去

(1) 放射線遮へい（被ばくに対する考慮）

a. 機器からの放射線による雰囲気の線量当量率が 0.1mSv/h 以下（放射線業務従事者が作業を行う位置で，遮へい体を含む機器表面から 1m の位置）となるよう適切な遮へいを設ける。

b. 通常運転時は，免震重要棟集中監視室及びシールド中央制御室から遠隔での監視及び操作を可能とする。

c. 保守作業時の放射線業務従事者の被ばく低減のため，機器の洗浄が行える構成とする。

(2) 崩壊熱除去

処理対象水に含まれる放射性物質の崩壊熱は，通水時は処理水とともに熱除去される。

3. 可燃性ガスの滞留防止

水の放射線分解により発生する可能性のある可燃性ガスは，通水時は処理水とともに排出される。

4. 環境条件を踏まえた対応

(1) 腐食

汚染水処理設備の処理済水を処理することから塩化物イオン濃度が高く，また薬液注入によりｐＨが変動することから，耐腐食性を有する材料を選定する（別添－１）。

(2) 凍結

水を移送している過程では，凍結の恐れはない。水の移送を停止した場合，凍結による破損が懸念される 40A 以下の配管に対し，保温材もしくはヒータを設置する。屋外に敷設されているポリエチレン管は，水の移送を停止した場合に凍結による破損が懸念されるため，凍結しない十分な厚さを確保した保温材を取り付ける。なお，保温材は，高い気密性と断熱性を有する硬質ポリウレタン等を使用する。

保温材厚さの設定の際には，「建設設備の凍結防止（空気調和・衛生工学会）」に基づき，震災以降に凍結事象が発生した外気温-8℃，内部流体の初期温度 5℃，保温材厚さ 21.4mm の条件において，内部流体が 25%※凍結するまでに十分な時間（50 時間程度）があることを確認した。なお，震災以降の実測データから，外気温-8℃が半日程度継続することはない。

※「JIS A 9501 保温保冷工事施工標準」において管内水の凍結割合を 25%以下と推奨

(3) 耐放射線性

ポリエチレンは，集積線量が 2×10^5Gy に達すると，引張強度は低下しないが，破断時の伸びが減少する傾向を示す。ポリエチレン管の照射線量率を 1Gy/h と仮定すると，2×10^5Gy に到達する時間は 2×10^5時間（22.8 年）と評価される。そのため，ポリエチレン管は数年程度の使用では放射線照射の影響を受けることはないと考えられる。

系統バウンダリを構成するガスケット，グランドパッキンについては，他の汚染水処理設備で使用実績のある材料を使用しており，数年程度の使用は問題ない。

(4) 熱による劣化

熱による劣化が懸念されるポリエチレン管については，処理済水による炭酸ソーダ生成・供給に係る機器で扱う水の温度がほぼ常温のため，劣化の可能性は十分低い。

(5) 紫外線

屋外に敷設されているポリエチレン管は，紫外線による劣化を防止するため，紫外線防止効果のあるカーボンブラックを添加した保温材を取り付ける，もしくは，カーボンブラックを添加していない保温材を使用する場合は，カーボンブラックを添加した被覆材または紫外線による劣化のし難い材料である鋼板を取り付ける。

5. 規格・基準等

「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格　設計・建設規格」，日本産業規格（JIS 規格），ISO 規格を準拠する。

6. 耐震性及び構造強度

(1) 耐震性

「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の B クラスに相当する設備と位置付ける。機器及び鋼管の耐震性を評価するにあたっては，「JEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規程」等に準拠する。評価の結果，各機器について算出応力に対し十分な強度を有することを確認した。また，鋼管については，定ピッチスパン法に基づき定められた間隔で支持することにより，地震応力が過大とならないようにする。

耐震性評価は，「添付資料－３　増設多核種除去設備の耐震性に関する計算書」参照。

なお，ポリエチレン管，耐圧ホースについては，材料の可撓性により耐震性を確保する。

(2) 構造強度

「JSME S NC-1 電用原子力設備規格　設計・建設規格」に準拠し設計する。評価の結果，各機器について必要厚さ等を満足しており，十分な構造強度を有することを確認した。

構造強度評価は，「添付資料－４　増設多核種除去設備の強度に関する計算書」を参照。

なお，ポリエチレン管は ISO 規格，または，JIS に準拠し，耐圧ホースは，流体・圧力・温度条件に合致した十分実績のあるものを採用することで、必要な強度を確保するものとする。

以上

添付資料－８

増設多核種除去設備の確認試験結果について

増設多核種除去設備は，汚染水処理設備の処理済水に含まれる放射性核種（トリチウムを除く）を『東京電力株式会社福島第一原子力発電所原子炉施設の保安及び特定核燃料物質の防護に関して必要な事項を定める告示』に定める周辺監視区域外の水中の濃度限度（以下，「告示濃度限度」という。）を下回る濃度まで低減することを目的として設置した。

系統流量などの運転状態に関する使用前検査を実施後，平成 26 年 9 月より，増設多核種除去設備の性能を確認する確認試験（ホット試験）を実施し，その後のホット試験において上記性能について確認してきた。

これまでのホット試験において，増設多核種除去設備で使用する各吸着材が，一定の使用期間を経ても，上記性能を有する設備であることを確認した。

以上

増設多核種除去設備に係る確認事項

増設多核種除去設備に係る主要な確認事項を表－１～１４に示す。クロスフローフィルタについては，海外製品と国内製品があるため，各々に対する確認事項を示す。

なお，ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設と兼用する配管（鋼管，ポリエチレン管，耐圧ホース）に係る主要な確認事項は，「Ⅱ 2.50 ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設」に示す。

表－１　確認事項（処理水受入タンク，共沈タンク，供給タンク，吸着塔入口バッファタンク，移送タンク，反応／凝集槽，沈殿槽，上澄み水タンク）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法について記録を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器が系統構成図とおりに据付られていることを確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることを確認する。耐圧確認終了後，漏えいの有無も確認する。	確認圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。また、耐圧部から著しい漏えいがないこと。

表－２　確認事項（サンプルタンク）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法について記録を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器が系統構成図とおりに据付られており、タンク基礎の不陸について確認する。また、支持力試験にて、タンク基礎の地盤支持力を確認する。	実施計画のとおり施工・据付されており、タンク基礎の不陸に異常がないこと。また、必要な支持力を有していること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることを記録で確認する。耐圧確認終了後，漏えいの有無も確認する。	確認圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。また、耐圧部から著しい漏えいがないこと。
性能	監視確認	水位計について、免震重要棟集中監視室及びシールド中央制御室にタンク水位が表示できることを確認する。	免震重要棟集中監視室及びシールド中央制御室にタンク水位が表示できること。
	寸法確認	基礎外周堰の高さを確認する。	必要容量に相当する高さがあること。
	外観確認	基礎外周堰の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。

表－３　確認事項（吸着塔）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法について記録を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器の据付位置，据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることを確認する。耐圧確認終了後，漏えいの有無も確認する。	確認圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。また，耐圧部から著しい漏えいがないこと。

表－４　確認事項（供給ポンプ１，２，循環ポンプ，
ブースターポンプ１，２，移送ポンプ，増設多核種除去設備用移送ポンプ，
スラリー循環ポンプ，上澄み水ポンプ）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器の据付位置，据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	漏えい確認	運転圧力で耐圧部分からの漏えいの有無を確認する。	耐圧部から著しい漏えいがないこと。
性能	運転性能確認	ポンプの運転確認を行う。	実施計画に記載した容量を満足すること。 また，異音，異臭，異常振動等がないこと。

表－５　確認事項（その他機器（出口フィルタ））

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	外観確認	各部の外観について記録にて確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器の据付位置，据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧 漏えい確認	確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることを確認する。耐圧確認終了後，漏えいの有無も確認する。	確認圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。また，耐圧部から著しい漏えいがないこと。

表－６　確認事項（その他機器（クロスフローフィルタ））

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法について記録を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
	外観確認	○海外製品 各部の外観について記録にて確認する。 ○国内製品 各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	○海外製品 機器の据付位置，据付状態について確認する。 ○国内製品 機器の据付位置，据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	○海外製品 CODAP2005等に基づき確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることまた，耐圧部からの漏えいがないことを記録等により確認する。 ○国内製品 確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることを確認する。耐圧確認終了後，漏えいの有無も確認する。	確認圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。また，耐圧部から著しい漏えいがないこと。

表－７　確認事項（主配管（鋼管））

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について，材料証明書または納品書により確認する。	実施計画の記載とおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法について，材料証明書または納品書により確認する。	実施計画の記載とおりであること。
	外観確認	各部の外観について，立会いまたは記録により確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器が図面のとおり据付ていることを立会いまたは記録により確認する。	図面のとおり施工･据付ていること。
	耐圧・漏えい確認 注１	①：最高使用圧力の 1.5 倍で一定時間保持後，同圧力に耐えていること，また，耐圧部からの漏えいがないことを立会いまたは記録により確認する。	最高使用圧力の 1.5 倍に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。また，耐圧部から漏えいがないこと。
		②：運転圧力で耐圧部からの漏えいのないことを立会いまたは記録により確認する。※１	耐圧部から漏えいがないこと。
機能・性能	通水確認	通水ができることを立会いまたは記録により確認する。	通水ができること。

※１：運転圧力による耐圧部の漏えい検査が実施できない配管フランジ部については，トルク確認等の代替検査を実施する。

注１：耐圧漏えい確認は，①②のいずれかとする。

表－８　確認事項（主配管（ポリエチレン管））

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した材料について，製品検査成績書により確認する。	実施計画の記載とおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法（外径相当）について，製品検査成績書により確認する。	実施計画の記載とおりであること。
	外観確認	各部の外観について，立会いまたは記録により確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器が図面のとおりに据付ていることを立会いまたは記録により確認する。	図面のとおり施工･据付ていること。
	耐圧・漏えい確認 注１	①：最高使用圧力以上で一定時間保持後，同圧力に耐えていること，また，耐圧部からの漏えいがないことを立会いまたは記録により確認する。	最高使用圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。また，耐圧部から漏えいがないこと。
		②：気圧により，耐圧部からの漏えいのないことを立会いまたは記録で確認する。	耐圧部から漏えいがないこと。
		③：運転圧力で耐圧部からの漏えいがないことを立会いまたは記録で確認する。	
機能・性能	通水確認	通水ができることを立会いまたは記録により確認する。	通水ができること。

注１：耐圧漏えい確認は，①②③のいずれかとする。

表－９　確認事項（主配管（耐圧ホース））

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法（外径相当）について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	配管の据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることを記録により確認する。 耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいの有無を記録により確認する。	確認圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。 また，耐圧部から漏えいがないこと。
機能・性能	通水確認	通水ができることを確認する。	通水ができること。

表－１０確認事項（漏えい検出装置及び警報装置）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	装置の据付位置，据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
機能	漏えい警報確認	設定通りに警報が作動することを確認する。	漏えいを検知し，警報が作動すること。設定通りに、警報が作動すること。

表－１１　確認事項（エリア放射線モニタ）

確認事項	確認項目		確認内容	判定基準
監視	構造確認	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
		据付確認	機器の据付位置，据付状態について確認する。	実施計画の通りに施工・据付されていること。
	機能確認	警報確認	設定値どおり警報及び表示灯が作動することを確認する。	許容範囲以内で警報及び表示灯が作動すること。
	性能確認	線源校正確認	標準線源を用いて線量当量率を測定し，各検出器の校正が正しいことを確認する。	基準線量当量率に対する正味線量当量が，許容範囲以内であること。
		校正確認	モニタ内のテスト信号発生部により，各校正点の基準入力を与え、その時のデータ収集装置の指示値が正しいことを確認する。	各指示値が許容範囲以内に入っていること。

表－１２　確認事項（基礎）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度	材料確認	構造体コンクリートの圧縮強度を確認する。	構造体コンクリート強度が,実施計画に記載されている設計基準強度に対して，JASS 5 の基準を満足すること。
		鉄筋の材質，強度，化学成分を確認する。	JIS G 3112 に適合すること。
	寸法確認	構造体コンクリート部材の断面寸法を確認する。	構造体コンクリート部材の断面寸法が,実施計画に記載されている寸法に対して，JASS 5 の基準を満足すること。
	据付確認	鉄筋の径，間隔を確認する。	鉄筋の径が実施計画に記載されている通りであること。鉄筋の間隔が実施計画に記載されているピッチにほぼ均等に分布していること。

表－１３　確認事項（堰その他の設備）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
漏えい防止	材料確認	実施計画に記載されている主な材料について確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載されている主要寸法を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	堰その他の設備の据付位置，据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工･据付されていること。

表－１４　確認事項（増設多核種除去設備）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
性能	運転性能確認	実施計画に記載の容量が通水可能であることを確認する。	実施計画に記載した容量を通水することが可能であり、設備からの異音，異臭，振動等の異常がないこと。
	除去性能	処理済水に含まれる放射性核種（トリチウムを除く）について，除去対象とする 62 核種の放射能濃度を確認する。	『東京電力株式会社福島第一原子力発電所原子炉施設の保安及び特定核燃料物質の防護に関して必要な事項を定める告示』に定める周辺監視区域外の水中の濃度限度未満であること。

増設多核種除去設備の溶接部に係る主要な確認事項を表－１５～１８に示す。クロスフローフィルタについては，海外製品と国内製品があるため，各々に対する確認事項を示す。

表－１５　確認事項（タンク、吸着塔、主配管の溶接検査）

確認事項	確認項目	対象設備	確認内容	判定基準
溶接検査	材料検査	①処理水受入タンク ②共沈タンク ③供給タンク ④吸着塔入口ﾊﾞｯﾌｧﾀﾝｸ ⑤吸着塔 ⑥処理水受入タンク～吸着塔までの外径 61mm 以上の主配管	溶接に使用する材料が、溶接規格等に適合するものであり、溶接施工法の母材の区分に適合することを確認する。	溶接に使用する材料が、溶接規格等に適合するものであり、溶接施工法の母材の区分に適合するものであること。
		⑦処理水受入タンク～吸着塔までの外径 61mm を超える主配管 ⑧反応／凝集槽 ⑨沈殿槽 ⑩上澄み水タンク	材料が溶接規格等に適合するものであり、溶接施工法の母材の区分に適合することを確認する。	材料が溶接規格等に適合するものであり、溶接施工法の母材の区分に適合するものであること。
	開先検査	①処理水受入タンク ②共沈タンク ③供給タンク ④吸着塔入口ﾊﾞｯﾌｧﾀﾝｸ ⑤吸着塔 ⑥処理水受入タンク～吸着塔までの外径 61mm 以上の主配管 ⑦処理水受入タンク～吸着塔までの外径 61mm を超える主配管 ⑧反応／凝集槽 ⑨沈殿槽 ⑩上澄み水タンク	開先形状等が溶接規格等に適合するものであることを確認する。	開先形状等が溶接規格等に適合するものであること。

	溶接作業検査	①処理水受入タンク ②共沈タンク ③供給タンク ④吸着塔入口ﾊﾞｯﾌｧﾀﾝｸ ⑤吸着塔 ⑥処理水受入タンク～吸着塔までの外径 61mm 以上の主配管 ⑦処理水受入タンク～吸着塔までの外径 61mm を超える主配管 ⑧反応／凝集槽 ⑨沈殿槽 ⑩上澄み水タンク	あらかじめ確認された溶接施工法又は実績のある溶接施工法又は管理されたプロセスを有する溶接施工法であることを確認する。あらかじめ確認された溶接士により溶接が行われていることを確認する。	あらかじめ確認された溶接施工法および溶接士により溶接施工をしていること。
	非破壊試験	①処理水受入タンク ②共沈タンク ③供給タンク ④吸着塔入口ﾊﾞｯﾌｧﾀﾝｸ ⑤吸着塔 ⑥処理水受入タンク～吸着塔までの外径 61mm 以上の主配管	溶接部（最終層）について非破壊検査（浸透探傷検査）を行い、その試験方法及び結果が溶接規格等に適合するものであることを確認する。	溶接部（最終層）について非破壊検査（浸透探傷検査）を行い、その試験方法及び結果が溶接規格等に適合するものであること。
		⑦処理水受入タンク～吸着塔までの外径 61mm を超える主配管 ⑧反応／凝集槽 ⑨沈殿槽 ⑩上澄み水タンク	溶接部について非破壊検査を行い、その試験方法及び結果が溶接規格等に適合するものであることを確認する。	溶接部について非破壊検査を行い、その試験方法及び結果が溶接規格等に適合するものであること。

	機械試験	⑤吸着塔	溶接部を代表する試験片にて機械試験を行い、当該試験片の機械的性質が溶接規格等に適合しているものであることを確認する。	溶接部を代表する試験片にて機械試験を行い、当該試験片の機械的性質が溶接規格等に適合しているものであること。
	耐圧・ 漏えい検査 外観検査	①処理水受入タンク ②共沈タンク ③供給タンク ④吸着塔入口ﾊﾞｯﾌｧﾀﾝｸ ⑤吸着塔 ⑥処理水受入タンク～吸着塔までの外径 61㎜ 以上の主配管	検査圧力で保持した後、検査圧力に耐えていること及び耐圧部分から漏えいがないことを確認する。	検査圧力で保持した後、検査圧力に耐えていること及び耐圧部分から漏えいがないこと及び外観上、傷・へこみ・変形等の異常がないこと。
	耐圧・ 漏えい検査	⑦処理水受入タンク～吸着塔までの外径 61㎜ を超える主配管 ⑧反応／凝集槽 ⑨沈殿槽 ⑩上澄み水タンク	検査圧力で保持した後、検査圧力に耐えていることを確認する。耐圧確認終了後、耐圧部分からの漏えいの有無を確認する。	検査圧力で保持した後、検査圧力に耐えていること。耐圧確認終了後、耐圧部分からの漏えいがないこと。
	外観検査		耐圧・漏えい検査後外観上、傷・へこみ・変形等の異常がないことを確認する。	外観上、傷・へこみ・変形等の異常がないこと。

表－１６　確認事項（タンクの汚染水入口ノズルと天板の溶接部）

確認事項	確認項目	対象設備	確認内容	判定基準
溶接検査	材料検査	①処理水受入タンク 1 ②処理水受入タンク 2 ③吸着塔入口ﾊﾞｯﾌｧﾀﾝｸ	溶接に使用する材料が、溶接検査申請書に記載したものであり、溶接施工法の母材の区分に準拠することを記録で確認する。	溶接に使用する材料が、溶接規格等に準拠するものであり、溶接施工法の母材の区分に準拠するものであること。
	開先検査	① 処理水受入タンク 1 ② 処理水受入タンク 2 ③ 吸着塔入口ﾊﾞｯﾌｧﾀﾝｸ	溶接検査申請書に記載した開先形状等であることを記録で確認する。	開先形状等が溶接規格等に準拠するものであること。
	溶接作業検査	①処理水受入タンク 1 ②処理水受入タンク 2 ③吸着塔入口ﾊﾞｯﾌｧﾀﾝｸ	溶接検査申請書に記載した溶接施工法であり、実績のある溶接施工法又は管理されたプロセスを有する溶接施工法であることを確認する。あらかじめ確認された溶接士により溶接が行われていることを記録で確認する。	溶接検査申請書に記載した溶接施工法および溶接士により溶接施工されていること。
	非破壊試験	①処理水受入タンク 1 ②処理水受入タンク 2 ③吸着塔入口ﾊﾞｯﾌｧﾀﾝｸ	溶接部（最終層）について非破壊検査（浸透探傷検査）を行い、その試験方法及び結果が溶接規格等に準拠するものであることを記録で確認する。	溶接部（最終層）について非破壊検査（浸透探傷検査）を行い、その試験方法及び結果が溶接規格等に準拠するものであること。

	耐圧・ 漏えい検査 外観検査	①処理水受入タンク 1 ③吸着塔入口ﾊﾞｯﾌｧﾀﾝｸ	検査圧力で保持した後、検査圧力に耐えていること及び耐圧部分から漏えいがないことを記録で確認する。	検査圧力で保持した後、検査圧力に耐えていること及び耐圧部分から漏えいがないこと及び外観上、傷・へこみ・変形等の異常がないこと
		②処理水受入タンク 2		

表－１７　確認事項（クロスフローフィルタ）

確認事項	確認項目	対象設備	確認内容	判定基準
溶接検査	材料検査	①クロスフローフィルタ	○海外製品 使用する材料が，EN 規格等に準拠するものであることを記録で確認する。 ○国内製品 材料が溶接規格等に適合するものであり,溶接施工法の母材の区分に適合することを確認する。	○海外製品 使用する材料が，EN 規格等に準拠するものであること。 ○国内製品 材料が溶接規格等に適合するものであり，溶接施工法の母材の区分に適合するものであること。
	開先検査	①クロスフローフィルタ	○海外製品 開先形状が EN 規格等に準拠していることを製作図等で確認する。 ○国内製品 開先形状等が溶接規格等に適合するものであることを確認する。	○海外製品 EN 規格等に準拠していること。 ○国内製品 開先形状等が溶接規格等に適合するものであること。
	溶接作業検査	①クロスフローフィルタ	○海外製品 EN 規格に定められた溶接施工法及び溶接士の資格を有していることを記録で確認する。	○海外製品 EN 規格に基づく，溶接施工法及び溶接士により溶接施工されていること。

			○国内製品 あらかじめ確認された溶接施工法及び溶接士により溶接が行われていることを確認する。	○国内製品 あらかじめ確認された溶接施工法及び溶接士により溶接施工をしていること。
	非破壊試験	①クロスフローフィルタ	○海外製品 長手溶接部について非破壊検査（放射線透過試験）を行い，その試験方法及び結果がCODETI2006 等に適合するものであることを記録で確認する。 ○国内製品 溶接部について非破壊検査を行い，その試験方法及び結果が溶接規格等に適合するものであることを確認する。	○海外製品 長手溶接部について，非破壊検査（放射線透過試験）を行い，試験方法及び結果がCODETI2006 等に適合するものであること。 ○国内製品 溶接部について非破壊検査を行い，その試験方法及び結果が溶接規格等に適合するものであること。
	機械試験	①クロスフローフィルタ	○国内製品 溶接部を代表する試験片にて機械試験を行い，当該試験片の機械的性質が溶接規格等に適合しているものであることを確認する。	○国内製品 溶接部を代表する試験片にて機械試験を行い，当該試験片の機械的性質が溶接規格等に適合しているものであること。
	耐圧・漏えい検査	①クロスフローフィルタ	○海外製品 CODAP2005 等に基づき，検査圧力で保持した後，検査圧力に耐えていること及び耐圧部分から漏えいがないことを記録で確認する。 ○国内製品 検査圧力で保持した後，検査圧力に耐えて	○海外製品 CODAP2005 等に基づく検査圧力で保持した後，検査圧力に耐えていること及び耐圧部分から漏えいがないこと。 ○国内製品 検査圧力で保持した後，検査圧力に耐えて

			いることを確認する。耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えい有無を確認する。	いること。耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいがないこと。
	外観検査	①クロスフローフィルタ	○海外製品 本体の外観及び溶接部の施工状況等を確認する。 ○国内製品 耐圧・漏えい検査後外観上，傷・へこみ・変形等の異常がないことを確認する。	外観上，傷・へこみ・変形等の異常がないこと。また，溶接部の溶接施工状況に異常がないこと。

表－１８　確認事項（クロスフローフィルタ接続管の溶接部）

確認事項	確認項目	対象設備	確認内容	判定基準
溶接検査	材料検査	①クロスフローフィルタ接続管	溶接に使用する材料が、溶接検査申請書に記載したものであることを記録で確認する。	溶接に使用する材料が、溶接規格等に準拠するものであること。
	開先検査	①クロスフローフィルタ接続管	溶接検査申請書に記載した開先形状であることを記録で確認する。	開先形状等が溶接規格等に準拠するものであること。
	溶接作業検査	①クロスフローフィルタ接続管	溶接検査申請書に記載した溶接施工法であり、管理されたプロセスを有する溶接施工法及び溶接士により溶接が行われていることを記録で確認する。	溶接検査申請書に記載した溶接施工法および溶接士（JIS や高圧ガス保安協会基準等）により溶接施工されていること

	非破壊試験	①クロスフローフィルタ接続管	溶接部（最終層）について非破壊検査（浸透探傷検査）を行い、その試験方法及び結果が溶接規格等に準拠するものであることを記録で確認する。	溶接部（最終層）について非破壊検査（浸透探傷検査）を行い、その試験方法及び結果が溶接規格等に準拠するものであること。
	耐圧・漏えい検査 外観検査	①クロスフローフィルタ接続管	検査圧力で保持した後、検査圧力に耐えていること及び耐圧部分から漏えいがないことを確認する。また、溶接部の施工状況等を確認する。	検査圧力で保持した後、検査圧力に耐えていること及び耐圧部分から漏えいがないこと及び外観上、傷・へこみ・変形等の異常がないこと。また、溶接部の溶接施工状況に異常がないこと。

増設多核種除去設備の薬品供給設備に係る主要な確認事項を表－１９～２４に示す。

表－１９　確認事項　（炭酸ソーダ溶解槽，炭酸ソーダ貯槽）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について，材料証明書等を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法について，記録または材料証明書等を確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器が系統構成図とおりに据付られていることを確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	①確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることを確認する。耐圧確認終了後，漏えいの有無を記録で確認する。	確認圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。また、耐圧部から漏えいがないこと。
		②運用水位以上で，一定時間保持後，確認圧力に耐えること，また漏えいがないことを記録により確認する。	確認圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。また、耐圧部から漏えいがないこと。

注１：①②は，いずれかとする。

表－２０　確認事項（炭酸ソーダ溶解槽移送ポンプ、炭酸ソーダ貯槽１供給ポンプ，炭酸ソーダ貯槽２移送ポンプ）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器の据付位置，据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	漏えい確認	運転圧力（ポンプ実施計画記載容量時）で耐圧部分からの漏えいの有無を記録で確認する。	耐圧部から漏えいがないこと。
性能	運転性能確認	ポンプの運転確認を行う。	実施計画に記載した容量を満足すること。 また，異音，異常振動等がないこと。

表－２１　確認事項（主配管（鋼管））

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について材料証明書等を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した外径，厚さについて記録または材料証明書等を確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器の据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	①最高使用圧力以上の圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることを記録で確認する。耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいの有無を記録で確認する。	最高使用圧力以上の圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。また，耐圧部から漏えいがないこと。
		②運転圧力（ポンプ実施計画記載容量時）で耐圧部からの漏えいのないことを記録等により確認する。	耐圧部から漏えいがないこと。

注１：①②は，いずれかとする。

表－２２　確認事項（耐圧ホース）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について検査成績書等を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法（外径相当）について検査成績書等を確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器の据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	最高使用圧力以上の圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることを記録で確認する。耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいの有無を記録で確認する。	最高使用圧力以上の圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。また，耐圧部から漏えいがないこと。

表－２３　確認事項（薬品供給設備）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
性能	運転性能確認	系統通水が可能であることを確認する。	通水可能であること。

表－２４　確認事項（主配管（ポリエチレン管））

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について材料証明書等を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した外径，厚さについて記録または材料証明書等を確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器の据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	最高使用圧力以上の圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることを記録で確認する。耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいの有無を記録で確認する。	最高使用圧力以上の圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。また，耐圧部から漏えいがないこと。

2.16.3　高性能多核種除去設備

2.16.3.1　基本設計

2.16.3.1.1　設置の目的

高性能多核種除去設備は，『2.5 汚染水処理設備等』で処理した液体状の放射性物質の処理を早期に完了させる目的から設置するものとし，汚染水処理設備の処理済水に含まれる放射性物質（トリチウムを除く）を十分低い濃度になるまで除去することを計画している。（以下，「本格運転」という。）

本格運転では，処理済水に含まれる放射性核種（トリチウムを除く）を『実用発電用原子炉の設置，運転等に関する規則の規定に基づく線量限度等を定める告示』に定める周辺監視区域外の水中の濃度限度（以下，「告示濃度限度」という。）を下回る濃度まで低減する。

なお，高性能多核種除去設備の性能を確認する試験（以下，「確認試験」という。）において，高性能多核種除去設備が上記性能を有する設備であることについて確認した。

2.16.3.1.2　要求される機能

『2.16.1 多核種除去設備 2.16.1.1.2「要求される機能」』に同じ。

2.16.3.1.3　設計方針

(1)　放射性物質の濃度及び量の低減

高性能多核種除去設備は，汚染水処理設備で処理した水を，ろ過，イオン交換等により周辺環境に対して，放射性物質の濃度及び量を合理的に達成できる限り低くする設計とする。

(2)　処理能力

高性能多核種除去設備は，滞留水の発生原因となっている雨水，地下水の建屋への流入量を上回る処理容量とする。

(3)　材料

高性能多核種除去設備の機器等は，処理対象水の性状を考慮し，適切な材料を用いた設計とする。

(4)　放射性物質の漏えい防止及び管理されない放出の防止

高性能多核種除去設備の機器等は，液体状の放射性物質の漏えい防止及び敷地外への管理されない放出を防止するため，次の各項を考慮した設計とする。

a.　漏えいの発生を防止するため，機器等には適切な材料を使用するとともに，タンク水位の検出器，インターロック回路等を設ける。

b. 液体状の放射性物質が漏えいした場合は，漏えいの早期検出を可能にするとともに，漏えい液体の除去を容易に行えるようにする。

c. タンク水位，漏えい検知等の警報については，免震重要棟集中監視室及びシールド中央制御室等に表示し，異常を確実に運転員に伝え適切な措置をとれるようにし，これを監視できるようにする。

d. 高性能多核種除去設備の機器等は，可能な限り周辺に堰を設けた区画内に設け，漏えいの拡大を防止する。また，処理対象水の移送配管類は，万一，漏えいしても排水路を通じて環境に放出することがないように，排水路から可能な限り離隔するとともに，排水路を跨ぐ箇所はボックス鋼内等に配管を敷設する。さらに，ボックス鋼端部から排水路に漏えい水が直接流入しないように土のうを設ける。

(5) 被ばく低減

高性能多核種除去設備は，遮へい，機器の配置等により可能な限り被ばくの低減を考慮した設計とする。

(6) 可燃性ガスの管理

高性能多核種除去設備は，水の放射線分解により発生する可燃性ガスを適切に排出できる設計とする。また，排出する可燃性ガスに放射性物質が含まれる可能性がある場合には，適切に除去する設計とする。

(7) 健全性に対する考慮

放射性液体廃棄物処理施設及び関連施設は，機器の重要度に応じた有効な保全が可能な設計とする。

2.16.3.1.4 供用期間中に確認する項目

『2.16.1 多核種除去設備 2.16.1.1.4「供用期間中に確認する項目」』に同じ。

2.16.3.1.5 主要な機器

高性能多核種除去設備は，１系列構成とし，前処理設備と多核種除去装置で構成する。さらに共通設備として，多核種除去装置へ薬品を供給する薬品供給設備，処理済水のサンプリング，多核種処理水タンクへ移送する多核種移送設備，高性能多核種除去設備の運転監視を行う監視制御装置，電源を供給する電源設備等で構成する。

本設備は，処理水の水質等に応じて，フィルタ，吸着塔の通水順序を弁の切替え操作により変更できる構成とする。また，装置の処理能力を確認するための試料採取が可能な構成とする。

高性能多核種除去設備の除去対象とする核種は『2.16.1 多核種除去設備　添付資料－

６』と同じとする。

高性能多核種除去設備の主要な機器は，免震重要棟集中監視室またはシールド中央制御室の監視・制御装置により遠隔操作及び運転状況の監視を行う。更に，特に重要な装置の緊急停止操作についてはダブルアクションを要する等の設計とする。また，高性能多核種除去設備の設置エリアには，エリア放射線モニタを設置し，放射線レベルを監視する。

高性能多核種除去設備で処理された水は，処理済水貯留用のタンクで貯留する。処理済水貯留用のタンクに貯留した水のうち，処理途上水は，移送配管を用いてRO濃縮水貯槽へ移送し，その後，多核種除去設備，増設多核種除去設備または高性能多核種除去設備にて二次処理を行う。

(1)　前処理設備

前処理設備は，８塔の前処理フィルタで構成する。

前処理フィルタは，前処理フィルタ１によって浮遊物質を除去し，前処理フィルタ２～４によってセシウム，ストロンチウムを粗取りする。また，前処理フィルタは，除去対象核種に応じて入れ替え可能な設計とする。

前処理フィルタは，一定量処理後，水抜きを行い，交換する。また，抜いた水は供給タンクへ移送する。使用済みフィルタは容器に収納し，瓦礫類の一時保管エリアで貯蔵する。

(2)　多核種除去装置

多核種除去装置は，２０塔の吸着塔で構成する。

多核種除去装置は，除去対象核種に応じて吸着塔に収容する吸着材の種類が異なっており，処理対象水に含まれるコロイド状及びイオン状の放射性物質を分離・吸着処理する機能を有する。また，吸着塔に収容する吸着材の構成は，処理対象水の性状に応じて変更する。

吸着塔に含まれる吸着材は，所定の容量を通水した後，吸着塔ごと交換する。使用済吸着塔は，使用済セシウム吸着塔一時保管施設あるいは大型廃棄物保管庫で貯蔵する。

(3)　薬品供給設備

薬品供給設備は，各添加薬液に対してそれぞれタンクを有し，pH 調整のため，ポンプにより薬品を多核種除去装置へ供給する。添加する薬品は，苛性ソーダ，塩酸である。

なお，使用する薬品は，何れも不燃性であり，装置内での反応熱，反応ガスも有意には発生しない。

(4) 多核種移送設備

多核種移送設備は，高性能多核種除去設備で処理された水を採取し，分析後の水を処

理済水貯留用のタンクに移送するための設備で，サンプルタンク，高性能多核種除去設備用移送ポンプおよび移送配管等で構成する。なお，高性能多核種除去設備で処理された水は，サンプルタンクをバイパスして処理済水貯留用のタンクに移送することも可能な構成となっている。

また，サンプルタンクは，『2.16.1　多核種除去設備』で処理された水を受け入れることも可能な構成とする。

(5)　電源設備

電源は，異なる２系統の所内高圧母線から受電できる構成とする。なお，電源が喪失した場合でも，設備からの外部への漏えいは発生することはない。

(6)　橋形クレーン

吸着塔及び前処理フィルタを取り扱うための橋形クレーンを設ける。

(7)　高性能多核種除去設備基礎

高性能多核種除去設備基礎は，平面が約３６ｍ（南北方向）×約６５ｍ（東西方向），厚さ約１．５ｍの鉄筋コンクリート造で，改良地盤を介して段丘堆積層に直接支持されている。

なお，上屋は，地上高さが約１８ｍの鉄骨造で，構造上，基礎で上屋の荷重を負担する構造となっている。

2.16.3.1.6　自然災害対策等

(1)　津波

高性能多核種除去設備は，アウターライズ津波が到達しないと考えられるT.P.約28m以上の場所に設置する。（Ⅲ.3.1.3参照）

(2)　台風

台風による設備の損傷を防止するため，建屋は建築基準法施行令に基づく風荷重に対して設計する。

(3)　積雪

積雪による設備の損傷を防止するため，建屋は建築基準法施行令および福島県建築基準法施行規則細則に基づく積雪荷重に対して設計する。

(4)　落雷

接地網を設け，落雷による損傷を防止する。

(5)　竜巻

竜巻の発生の可能性が予見される場合は，設備の停止・隔離弁の閉止操作等を行い，汚染水の漏えい防止及び漏えい水の拡大防止を図る。

(6)　火災

火災発生を防止するため，実用上可能な限り不燃性又は難燃性材料を使用する。また，火災検知性を向上させるため，消防法基準に準拠した火災検出設備を設置するとともに，初期消火のために近傍に消火器を設置する。さらに，避難時における誘導用のために誘導灯を設置する。

2.16.3.1.7　構造強度及び耐震性

(1)　構造強度

高性能多核種除去設備を構成する主要な機器は，「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令」において，廃棄物処理設備に相当すると位置付けられる。これに対する適用規格は，「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格　設計・建設規格」（以下，「設計・建設規格」という。）で規定され，機器区分クラス３の規定を適用することを基本とする。また，主要な機器のうち前処理フィルタ及び吸着塔（二相ステンレス製）は，「ASME Boiler and Pressure Vessel Code(Sec Ⅷ)」に準拠し前処理フィルタ及び吸着塔廻りの鋼管（二相ステンレス製）は，「ASME B31.1 Power Piping」に準拠する。吸着塔（ステンレス製），吸着塔廻りの鋼管（ステンレス製）は，設計・建設規格に準拠する。

なお，クラス３機器に該当しないその他の機器は，JIS 等規格適合品を用いることとし，ポリエチレン管は，JWWA または ISO 規格に準拠する。

また，原子力発電所での使用実績がない材料を使用する場合は、他産業での使用実績等を活用しつつ、必要に応じて試験等を行うことで、経年劣化等の影響についての評価を行う。なお，検討用地震動および同津波に対する評価が必要な設備として抽出された機器等については，今後対策を講じる。

(2)　耐震性

高性能多核種除去設備等を構成する機器のうち放射性物質を内包するものは，「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」のＢクラス相当の設備と位置づけられ，耐震性を評価するにあたっては，「JEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規程」等に準拠する。なお，検討用地震動および同津波に対する評価が必要な設備として抽出された機器等については，今後対策を講じる。

2.16.3.1.8　機器の故障への対応

(1)　機器の単一故障

高性能多核種除去設備は，１系列構成とするが，動的機器及び電源等については多重化している。そのため，動的機器，電源系統等の単一故障については，切替作業等により速やかな処理再開が可能である。

2.16.3.2 基本仕様

2.16.3.2.1 系統仕様

(1) 高性能多核種除去設備

処理方式　　フィルタ方式＋吸着材方式

処理容量　　400m^3/日

2.16.3.2.2 機器仕様

(1) 容器

a．供給タンク

名称			供給タンク
種類		―	たて置円筒形
容量		m^3/個	30
最高使用圧力		MPa	静水頭
最高使用温度		℃	40
主要寸法	胴内径	mm	3000
	胴板厚さ	mm	9.0
	底板厚さ	mm	12.0
	平板厚さ	mm	6.0
	高さ	mm	5006
材料	胴板	―	SM400C
	底板	―	SM400C
個数		個	2（1個予備）

b．処理水タンク

名称			処理水タンク
種類		－	たて置円筒形
容量		m^3/個	30
最高使用圧力		MPa	静水頭
最高使用温度		℃	40
主要寸法	胴内径	mm	3000
	胴板厚さ	mm	9.0
	底板厚さ	mm	12.0
	平板厚さ	mm	6.0
	高さ	mm	5006
材料	胴板	－	SM400C
	底板	－	SM400C
個数		個	2（1個予備）

c．前処理フィルタ１

名称			前処理フィルタ１
種類		－	たて置円筒形
容量		m^3/h/個	21
最高使用圧力		MPa	1.03
最高使用温度		℃	40
主要寸法	胴内径	mm	901.7
	胴板厚さ	mm	6.35
	上部平板厚さ	mm	63.5
	下部平板厚さ	mm	63.5
	高さ	mm	2013
材料	胴板	－	ASME SA 516 Gr.70
	上部平板	－	ASME SA 516 Gr.70
	下部平板	－	ASME SA 516 Gr.70
個数		個	2（1個予備）

d．前処理フィルタ２～４

名　　称			前処理フィルタ２～４
種　　類		－	たて置円筒形
容　　量		m^3/h/個	21
最高使用圧力		MPa	1.03
最高使用温度		℃	40
主要寸法	胴内径	mm	901.7
	胴板厚さ	mm	6.35
	上部平板厚さ	mm	63.5
	下部平板厚さ	mm	63.5
	高さ	mm	1800
材料	胴板	－	ASME SA 516 Gr.70
	上部平板	－	ASME SA 516 Gr.70
	下部平板	－	ASME SA 516 Gr.70
個　　数		個	6（3個予備）

e．多核種吸着塔１～２０（二相ステンレス製）

名　　称			多核種吸着塔１～２０
種　　類		－	たて置円筒形
容　　量		m^3/h/個	21
最高使用圧力		MPa	1.55
最高使用温度		℃	40
主要寸法	外胴内径	mm	939.8
	外胴板厚さ	mm	12.7
	内胴内径	mm	330.2
	内胴板厚さ	mm	12.7
	上部平板厚さ	mm	76.2
	下部平板厚さ	mm	76.2
	高さ	mm	3632
材料	外胴板	－	二相ステンレス（UNS S31803） 二相ステンレス（UNS S32205） 二相ステンレス（UNS S32750）
	内胴板	－	
	上部平板	－	
	下部平板	－	
個　　数		個	20

※現場状況等に応じて，いずれかの材質を使用する。

ｆ．多核種吸着塔１～２０（ステンレス製）

名　　称			多核種吸着塔１～２０
種　　類		－	たて置円筒形
容　　量		m^3/h/個	21
最高使用圧力		MPa	1.55
最高使用温度		℃	40
主要寸法	外胴内径	mm	937.2
	外胴厚さ	mm	14.0
	内胴外径	mm	355.6
	内胴厚さ	mm	19.0
	上部平板厚さ	mm	116.0
	下部平板厚さ	mm	95.0
	高　　さ	mm	3632
材料	外　　胴	－	SUS316L
	内　　胴	－	SUS316LTP
	上部平板	－	SUSF316L
	下部平板	－	SUSF316L
個　　数		個	20

※活性炭を収容する吸着塔及び低 pH 条件の吸着塔では使用しない。

ｇ．サンプルタンク（高性能多核種除去設備用処理済水一時貯留タンク）

名　　称			サンプルタンク
種　　類		－	たて置円筒形
容　　量		m^3/個	1235
最高使用圧力		MPa	静水頭
最高使用温度		℃	40
主要寸法	胴　内　径	mm	11000
	胴板厚さ	mm	12
	底板厚さ	mm	12
	高　　さ	mm	13000
材料	胴　　板	－	SM400C
	底　　板	－	SM400C
個　　数		個	3

(2)　ポンプ

ａ．供給ポンプ（完成品）

台　　数	2 台（1 台予備）
容　　量	21　m^3/h

ｂ．昇圧ポンプ１（完成品）

台　　数	2 台（1 台予備）
容　　量	21　m^3/h

ｃ．昇圧ポンプ２（完成品）

台　　数	2 台（1 台予備）
容　　量	21　m^3/h

ｄ．昇圧ポンプ３（完成品）

台　　数	2 台（1 台予備）
容　　量	21　m^3/h

ｅ．昇圧ポンプ４（完成品）

台　　数	2 台（1 台予備）
容　　量	21　m^3/h

ｆ．処理水移送ポンプ（完成品）

台　　数	2 台（1 台予備）
容　　量	21　m^3/h

ｇ．高性能多核種除去設備用移送ポンプ（完成品）

台　　数	2 台
容　　量	50　m^3/h

(3) 配管

主要配管仕様（１／９）

名　称	仕　様	
ＲＯ濃縮水移送ポンプ配管分岐部から 供給タンク A/B 入口まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン注1 0.98MPa 40℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch.40 STPT410+ライニング 0.98MPa 40℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	200A/Sch.40 注1 100A/Sch.40 注1 STPG370+ライニング 0.98MPa 40℃
供給タンク A/B 出口から 前処理フィルタユニット A/B 入口 A0 弁 まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 0.98MPa 40℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch.40 STPT410+ライニング 0.98MPa 40℃
前処理フィルタ A/B 入口 A0 弁から 前処理フィルタ A/B 入口まで （ポリエチレン管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 1.03MPa 40℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch.40 STPT410+ライニング 1.03MPa 40℃
前処理フィルタユニット A/B 入口から 前処理フィルタユニット A/B 出口 まで （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch.10 80A/Sch.40 80A/Sch.10 50A/Sch.40 UNS S32750 1.03 MPa 40 ℃
前処理フィルタユニット A/B 出口から 昇圧ポンプユニット１入口まで （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A /Sch.40 STPT410+ライニング 1.03 MPa 40℃
（ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 ポリエチレン 1.03MPa 40℃

主要配管仕様（２／９）

名　称	仕　様	
昇圧ポンプユニット１入口から 昇圧ポンプユニット１出口まで （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A/Sch.10 80A/Sch.40 UNS S32750 1.03 MPa 40 ℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.40 80A/Sch.10 UNS S32750 1.55 MPa 40 ℃
昇圧ポンプユニット１出口から 吸着塔ユニット１入口まで （ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 合成ゴム 1.55 MPa 40 ℃
吸着塔ユニット１入口から 吸着塔ユニット１出口まで （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A/Sch.10 UNS S32750 1.03 MPa 40 ℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.40 80A/Sch.10 80A/Sch.40 UNS S32750 1.55 MPa 40 ℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.40 80A/Sch.40 UNS S31803 1.55 MPa 40 ℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.40 80A/Sch.40 UNS S32205 1.55 MPa 40 ℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.40 注２ 80A/Sch.40 注２ SUS316LTP 1.55 MPa 40 ℃
（ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 合成ゴム 1.55 MPa 40 ℃
吸着塔ユニット１出口から 昇圧ポンプユニット２入口まで （ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 合成ゴム 1.55 MPa 40 ℃

主要配管仕様（３／９）

名　称	仕　様	
昇圧ポンプユニット２入口から 昇圧ポンプユニット２出口まで (鋼管)	呼び径／厚さ	50A/Sch.40 80A/Sch.10 80A/Sch.40
	材質	UNS S32750
	最高使用圧力	1.55 MPa
	最高使用温度	40℃
昇圧ポンプユニット２出口から 吸着塔ユニット２入口まで （ホース）	呼び径	80A 相当
	材質	合成ゴム
	最高使用圧力	1.55 MPa
	最高使用温度	40℃
吸着塔ユニット２入口から 吸着塔ユニット２出口まで (鋼管)	呼び径／厚さ	50A/Sch.40 80A/Sch.10 80A/Sch.40
	材質	UNS S32750
	最高使用圧力	1.55 MPa
	最高使用温度	40 ℃
(鋼管)	呼び径／厚さ	50A/Sch.40 80A/Sch.40
	材質	UNS S31803
	最高使用圧力	1.55 MPa
	最高使用温度	40 ℃
(鋼管)	呼び径／厚さ	50A/Sch.40 80A/Sch.40
	材質	UNS S32205
	最高使用圧力	1.55 MPa
	最高使用温度	40 ℃
(鋼管)	呼び径／厚さ	50A/Sch.40 注2 80A/Sch.40 注2
	材質	SUS316LTP
	最高使用圧力	1.55 MPa
	最高使用温度	40 ℃
(ホース)	呼び径	80A 相当
	材質	合成ゴム
	最高使用圧力	1.55 MPa
	最高使用温度	40 ℃
吸着塔ユニット２出口から 昇圧ポンプユニット３入口まで (ホース)	呼び径	80A 相当
	材質	合成ゴム
	最高使用圧力	1.55 MPa
	最高使用温度	40 ℃
昇圧ポンプユニット３入口から 昇圧ポンプユニット３出口まで (鋼管)	呼び径／厚さ	50A/Sch.40 80A/Sch.10 80A/Sch.40
	材質	UNS S32750
	最高使用圧力	1.55 MPa
	最高使用温度	40℃

主要配管仕様（４／９）

名　称	仕　様	
昇圧ポンプユニット３出口から 吸着塔ユニット３入口まで （ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 合成ゴム 1.55 MPa 40 ℃
吸着塔ユニット３入口から 吸着塔ユニット３出口まで （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.40 80A/Sch.10 80A/Sch.40 UNS S32750 1.55 MPa 40 ℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.40 80A/Sch.40 UNS S31803 1.55 MPa 40 ℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.40 80A/Sch.40 UNS S32205 1.55 MPa 40 ℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.40 注2 80A/Sch.40 注2 SUS316LTP 1.55 MPa 40 ℃
（ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 合成ゴム 1.55 MPa 40 ℃
吸着塔ユニット３出口から 昇圧ポンプユニット４入口まで （ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 合成ゴム 1.55 MPa 40 ℃
昇圧ポンプユニット４入口から 昇圧ポンプユニット４出口まで （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.40 80A/Sch.10 80A/Sch.40 UNS S32750 1.55 MPa 40℃
昇圧ポンプユニット４出口から 吸着塔ユニット４入口まで （ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 合成ゴム 1.55 MPa 40 ℃

主要配管仕様（５／９）

名　称	仕　様	
吸着塔ユニット４入口から 吸着塔ユニット４出口まで (鋼管)	呼び径／厚さ	50A/Sch.40 80A/Sch.10 80A/Sch.40
	材質	UNS S32750
	最高使用圧力	1.55 MPa
	最高使用温度	40 ℃
(鋼管)	呼び径／厚さ	50A/Sch.40 80A/Sch.40
	材質	UNS S31803
	最高使用圧力	1.55 MPa
	最高使用温度	40 ℃
(鋼管)	呼び径／厚さ	50A/Sch.40 80A/Sch.40
	材質	UNS S32205
	最高使用圧力	1.55 MPa
	最高使用温度	40 ℃
(鋼管)	呼び径／厚さ	50A/Sch.40 注2 80A/Sch.40 注2
	材質	SUS316LTP
	最高使用圧力	1.55 MPa
	最高使用温度	40 ℃
(ホース)	呼び径	80A 相当
	材質	合成ゴム
	最高使用圧力	1.55 MPa
	最高使用温度	40 ℃
吸着塔ユニット４出口から 配管ユニット入口まで (ホース)	呼び径	80A 相当
	材質	合成ゴム
	最高使用圧力	1.55 MPa
	最高使用温度	40 ℃
配管ユニット入口から 配管ユニット出口まで (鋼管)	呼び径／厚さ	50A/Sch.40 80A/Sch.10
	材質	UNS S32750
	最高使用圧力	1.55 MPa
	最高使用温度	40 ℃
(鋼管)	呼び径／厚さ	80A/Sch.10 100A/Sch.10
	材質	UNS S32750
	最高使用圧力	0.98 MPa
	最高使用温度	40 ℃

主要配管仕様（６／９）

名　称	仕　様	
配管ユニット出口から 処理水タンク A/B 入口まで （ポリエチレン管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 0.98 MPa 40℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch.40 STPT410+ライニング 0.98 MPa 40℃
処理水タンク A/B 出口から 処理水移送ポンプ A/B 入口まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 0.98MPa 40℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A/Sch.40 100A/Sch.40 STPT410+ライニング 0.98MPa 40℃
処理水移送ポンプ A/B 出口から サンプルタンクまで （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/ Sch.80 100A/Sch.40 STPT410+ライニング 0.98MPa 40℃
（ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 0.98MPa 40℃

主要配管仕様（７／９）

名　称	仕　様	
サンプルタンク出口から 多核種処理水貯槽，RO 濃縮水貯槽または Sr 処理水貯槽まで※2 （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch.40 80A/Sch.40 50A/Sch.40 SUS316L 0.98MPa 40℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch.40 STPT410+ライニング 0.98MPa 40℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch.20S SUS316LTP 0.98MPa 40℃
（ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	200A 相当 100A 相当 ポリエチレン 静水頭 40℃
（ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 0.98MPa 40℃
（耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 合成ゴム 0.98MPa 40℃
高性能多核種除去設備用移送ポンプスキッドから供給タンクまで （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch.40 150A/Sch.40 STPT410+ライニング 0.98MPa 40℃
（ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 0.98MPa 40℃

主要配管仕様（８／９）

名　称	仕　様	
配管ユニット出口から 供給タンク A/B 入口まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 0.98MPa 40℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch.40 STPT410+ライニング 0.98MPa 40℃
吸着塔ユニット１から 前処理フィルタユニット A/B まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 80A 相当 ポリエチレン 1.03MPa 40℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch.40 STPT410+ライニング 1.03MPa 40℃
前処理フィルタユニット A から 前処理フィルタユニット B まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 ポリエチレン 1.03MPa 40℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A/Sch.40 STPT410+ライニング 1.03MPa 40℃
前処理フィルタユニット A 出口から 前処理フィルタユニット B 入口まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 ポリエチレン 1.03MPa 40℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A/Sch.40 STPT410+ライニング 1.03MPa 40℃
前処理フィルタユニット A/B から 吸着塔ユニット１まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 ポリエチレン 1.03MPa 40℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A/Sch.40 STPT410+ライニング 1.03MPa 40℃

注１　「2.5 汚染水処理設備等」で移送配管として使用していた配管を使用する。

注２　活性炭を収容する吸着塔及び低 pH 条件の吸着塔周りの配管では SUS316L 材を使用しない。

※1：現場施工状況により,配管仕様（呼び径,厚さ,材質）の一部を使用しない場合がある。

※2：K4 エリアタンクへの配管の一部は,「Ⅱ 2.50 ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設」と兼用する。

主要配管仕様（９／９）

名　称	仕　様	
処理済水貯留用のタンクから RO 濃縮水貯槽まで※3 （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 0.98MPa 40℃

※3：一部の配管は「Ⅱ 2.16.1 多核種除去設備」と兼用する。

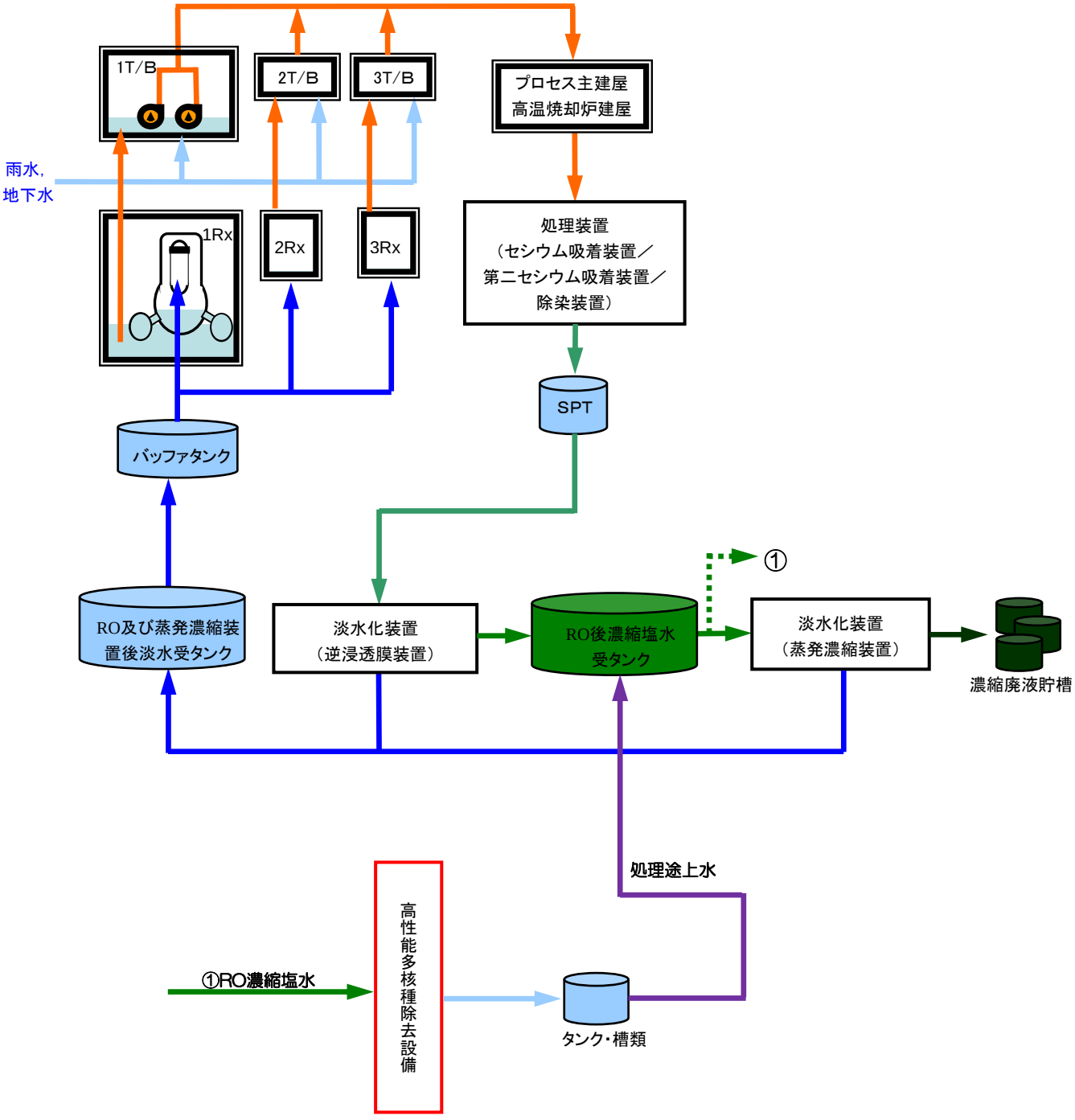
(4) 放射線監視装置

放射線監視装置仕様

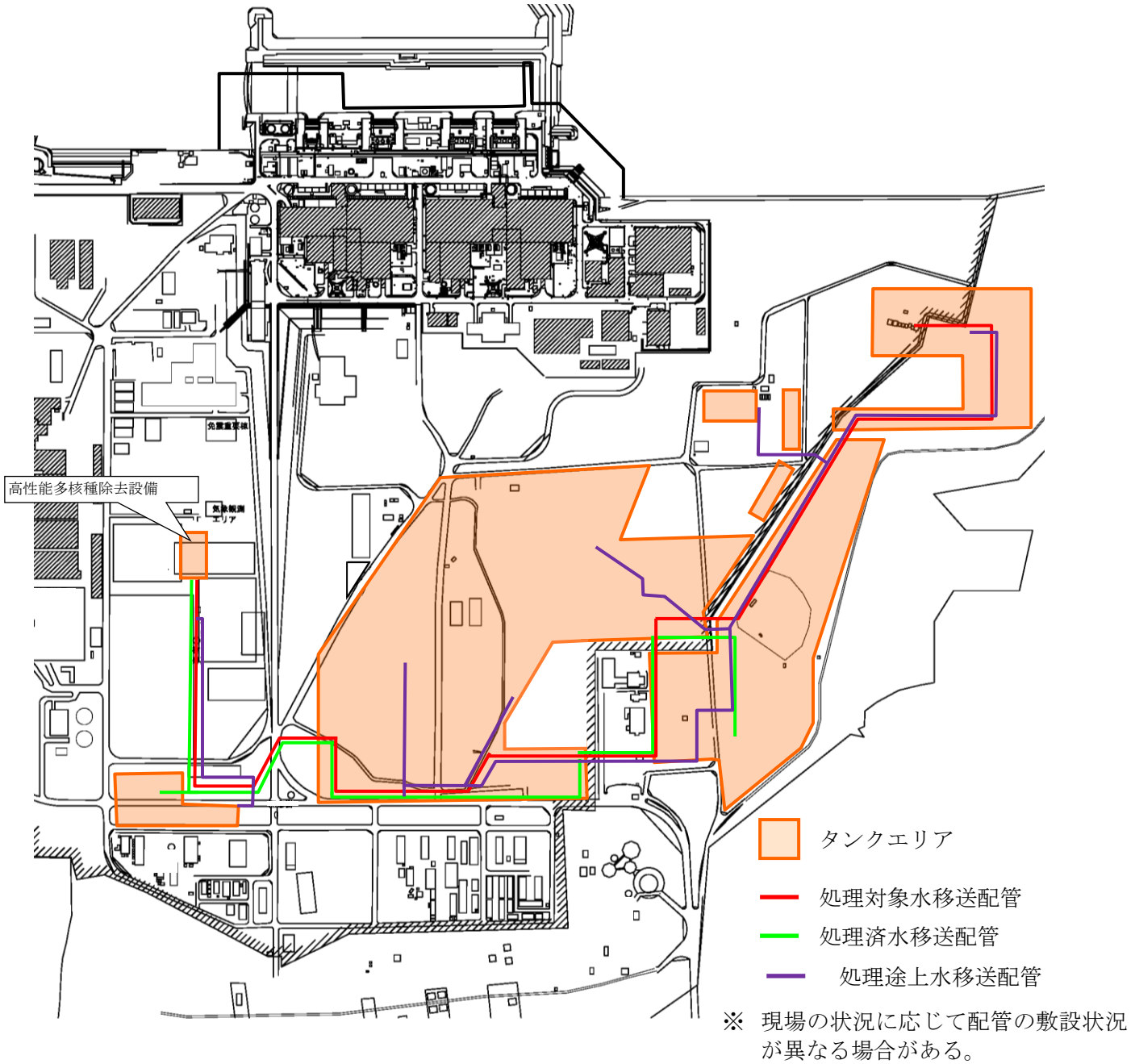
項目	仕様
名称	エリア放射線モニタ
基数	4 基
種類	半導体検出器
取付箇所	高性能多核種除去設備設置エリア
計測範囲	10^{-3} mSv/h ～ 10^{1} mSv/h

2.16.3.3 添付資料

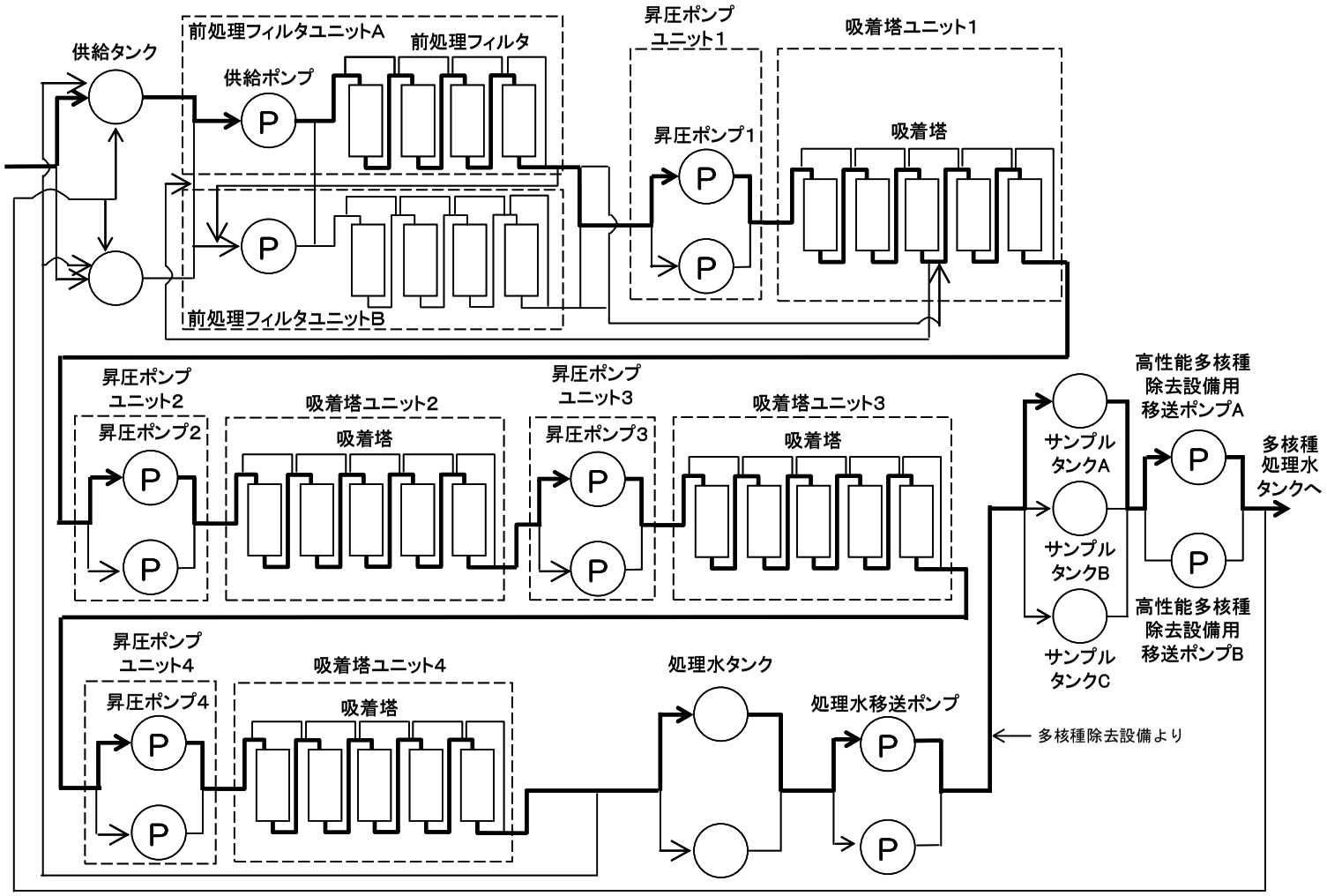
添付資料－１： 全体概要図及び系統構成図
添付資料－２： 高性能多核種除去設備基礎の構造強度に関する検討結果
添付資料－３： 高性能多核種除去設備の耐震性に関する説明書
添付資料－４： 高性能多核種除去設備の強度に関する説明書
添付資料－５： 流体状の放射性廃棄物の施設外への漏えい防止に関する計算書
添付資料－６： 工事工程表
添付資料－７： 高性能多核種除去設備の具体的な安全確保策
添付資料－８： 高性能多核種除去設備に係る確認事項
添付資料－９： 高性能多核種除去設備の確認試験結果について



図－１　汚染水処理設備並びに高性能多核種除去設備等の全体概要図



図－２　高性能多核種除去設備の配置概要図



図－３　高性能多核種除去設備の系統構成図

高性能多核種除去設備基礎の構造強度に関する検討結果

1. 評価方針

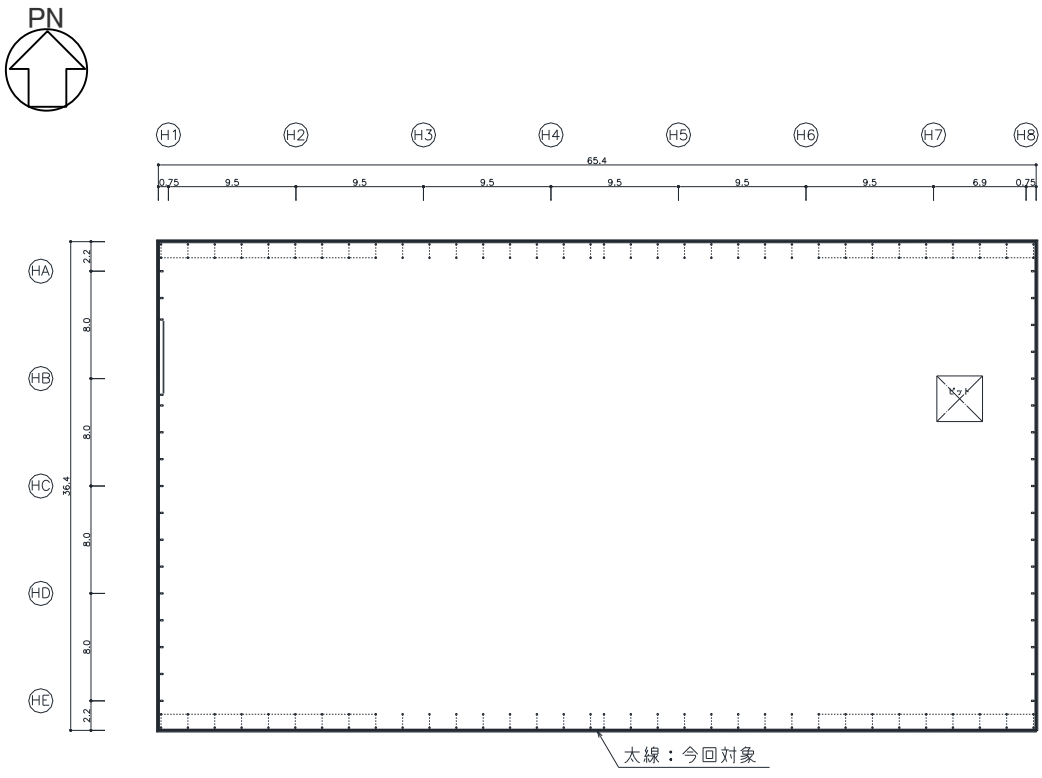
高性能多核種除去設備基礎は，耐震Ｂクラスである高性能多核種除去設備の間接支持構造物であるため，耐震Ｂクラス相当として，設計する。

高性能多核種除去設備基礎は，平面が約 36m（NS 方向）×約 65m（EW 方向），厚さ約 1.5ｍの鉄筋コンクリート造で，改良地盤を介して段丘堆積層に直接支持されている。高性能多核種除去設備基礎の平面図及び断面図を図－１～図－３に示す。

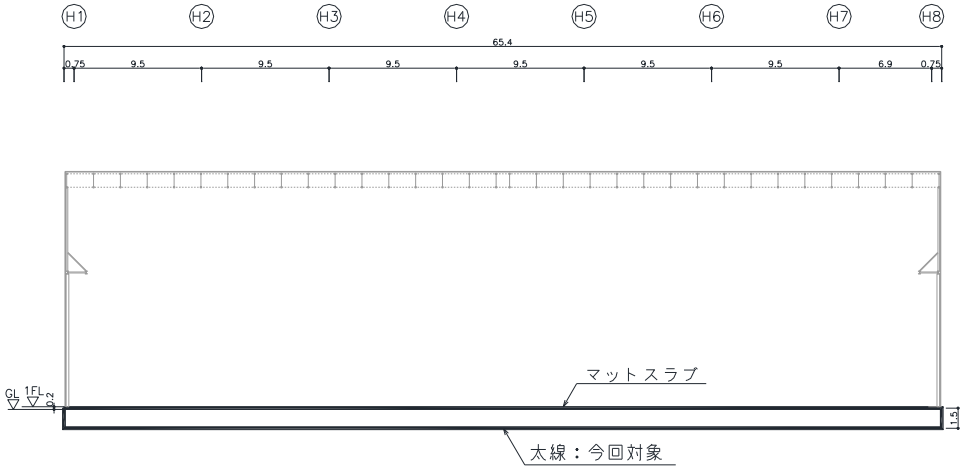
添付資料－２では，GL±0m=T.P.36.4m (※) とする。

（※）震災後の地盤沈下量（-709mm）と O.P.から T.P.への換算値（-727mm）を用いて，下式に基づき換算している。

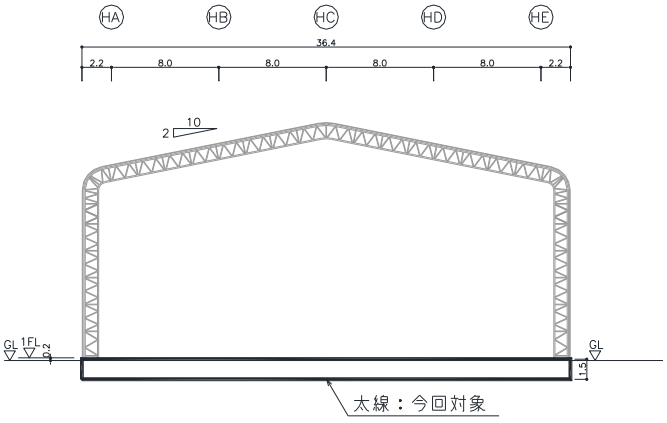
＜換算式＞T.P.=O.P.-1,436mm



図－１　１階平面図（単位：m）



図－２　東西方向断面図（単位：m）



図－３　南北方向断面図（単位：m）

2. 評価条件

2.1　使用材料及び材料の許容応力度

高性能多核種除去設備基礎スラブに用いる材料のうち，コンクリートは普通コンクリートとし，コンクリートの設計基準強度 Fc は 24N/mm^2 とする。鉄筋は SD345 とする。各使用材料の許容応力度を表－１及び表－２に示す。

表－１　コンクリートの許容応力度

(単位：N/mm^2)

	長　期		短　期	
	圧縮	せん断	圧縮	せん断
F_c＝24	8	0.73	16	1.09

注：日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」による。

表－２　鉄筋の許容応力度

(単位：N/mm^2)

		長　期		短　期	
		引張及び圧縮	せん断補強	引張及び圧縮	せん断補強
SD345	D29 以上	195	195	345	345

注：日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」による。

2.2　荷重

長期荷重として，鉛直荷重（固定荷重，機器荷重及び配管荷重）を考慮する。

また，短期荷重として積雪荷重時，風荷重時または地震時に基礎面に作用する荷重をそれぞれ考慮する。

3. 評価結果

3.1　基礎スラブの評価結果

基礎スラブの応力解析は，弾性地盤上に支持された版として有限要素法を用いて行う。解析モデルは，四辺形の均質等方な板要素により構成し，支持地盤は等価な弾性ばねとしてモデル化する。

曲げモーメントが最大となる要素と面外せん断力が最大となる要素の断面検討結果を表－３及び表－４に示す。基礎スラブ配筋図を図－４に示す。

これより，長期および短期ともに設計鉄筋比は必要鉄筋比を上回り，また面外せん断力は許容せん断力以下であることを確認した。

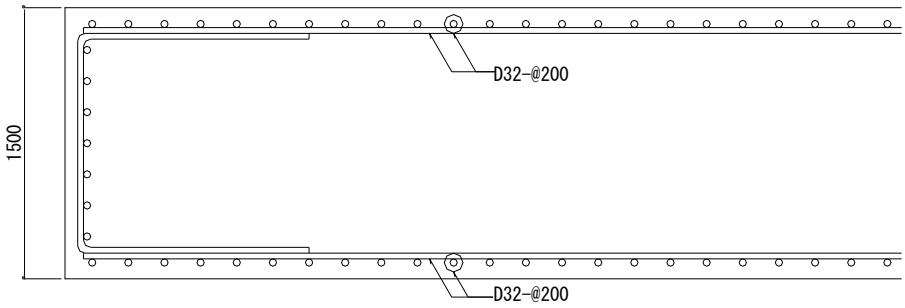
表－３　曲げモーメントに対する検討結果

	応　力 曲げ モーメント (kN･m/m)	必要鉄筋比 (%)	設計鉄筋比 (%)	検定比
長期	413	0.13	0.29	0.45≦1.0
短期(風)	415	0.07		0.25≦1.0

表－４　面外せん断力に対する検討結果

	応　力 面外せん断力 (kN/m)	許容せん断力 (kN/m)	検定比
長期	340	894	0.38≦1.0
短期(風)	341	1335	0.26≦1.0

上記は，風荷重に対する結果であるが，水平力は地震時よりも風荷重時の方が大きいことから，上記検討にて地震荷重に対する安全性は確保されている。



鉄筋の設計かぶり厚さ

基礎上端側　50mm以上

基礎下端側　80mm以上

基礎側面　　80mm以上

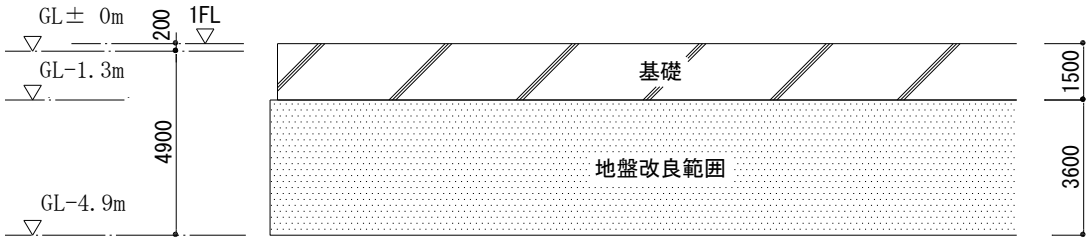
図－４　基礎スラブ配筋図

3.2　改良地盤の評価結果

(1)　設計方針

高性能多核種除去設備基礎を支持する改良地盤は，基礎スラブ直下（GL-1.3m）の地盤を南北方向に約 36m，東西方向に約 65m，改良体厚さ約 3.6m とし，GL-4.9m の段丘堆積層に支持する。地盤改良範囲の断面図を図－５に示す。

検討は「改定版　建築物のための改良地盤設計及び品質管理指針　日本建築センター」に準拠し，改良地盤の支持力に対して，長期及び短期の改良地盤に生じる最大接地圧が許容支持力度以下であることを確認する。さらに，長期及び短期の改良体に生じる最大応力度が許容応力度以下であることを確認する。



図－５　地盤改良範囲断面図

(2)　長期における改良地盤の検討

長期における改良地盤に生じる最大応力度と許容応力度の比較を，検定比が最大となる位置について表－５及び表－６に示す。

これより，改良地盤に生じる最大応力度が許容応力度以下であることを確認した。

表－５　改良地盤の許容支持力度と接地圧の比較

	接地圧 (kN/m^2)	許容支持力度 (kN/m^2)	検定比
長期	68	150※1	0.46≦1.0

※1：GL-4.9m の地盤支持力と改良地盤を含んだ GL-1.3m の地盤支持力の小さい方を記載（GL-1.3m）

表－６　改良体の許容圧縮応力度と鉛直応力度の比較

	鉛直応力度 (kN/m^2)	許容圧縮応力度 (kN/m^2)	検定比
長期	87	200※2	0.44≦1.0

※2：改良体の一軸圧縮試験結果より許容圧縮応力度を設定

(3)　短期における改良地盤の検討

短期における改良地盤に生じる最大応力度と許容応力度の比較を，検定比が最大となる位置について表－７～表－９に示す。

これより，改良地盤に生じる最大応力度が許容応力度以下であることを確認した。

表－７　改良地盤の許容支持力度と接地圧の比較

	接地圧 (kN/m^2)	許容支持力度 (kN/m^2)	検定比
短期(雪)	69	300	0.23≦1.0

表－８　改良体の許容圧縮応力度と鉛直応力度の比較

	鉛直応力度 (kN/m^2)	許容圧縮応力度 (kN/m^2)	検定比
短期(雪)	88	400	0.22≦1.0

表－９　改良体の許容せん断応力度とせん断応力度の比較

	せん断応力度 (kN/m^2)	許容せん断応力度 (kN/m^2)	検定比
短期(地震)	30	129	0.24≦1.0

4. 付録

付録－1　高性能多核種除去設備の上屋から基礎への荷重について

付録－2　基礎スラブおよび改良地盤の参考評価について

付録－3　基礎スラブおよび改良地盤の参考評価について（基準地震動 Ss 評価）

高性能多核種除去設備の上屋から基礎への荷重について

1. 評価方針

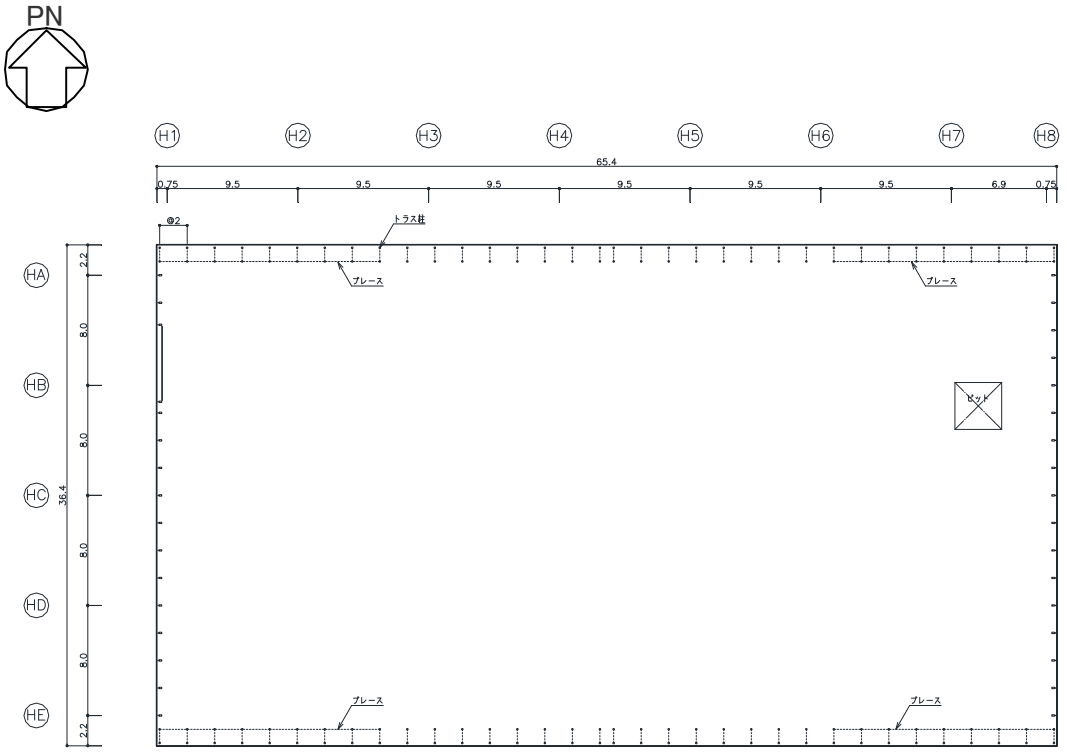
耐震Ｂクラス相当である高性能多核種除去設備基礎の設計条件として，高性能多核種除去設備の上屋からの荷重を算出する。また，高性能多核種除去設備の上屋は，耐震Ｂクラス相当として設計する。なお，設計は建築基準法に準拠し，積雪荷重及び風荷重についても評価する。

高性能多核種除去設備の上屋は，鉄骨造の地上１階建てで，平面が約 36m（NS）×約 65m（EW）の建物で，地上高さは約 18mである。高性能多核種除去設備上屋の平面図及び断面図を図－１～図－４に示す。

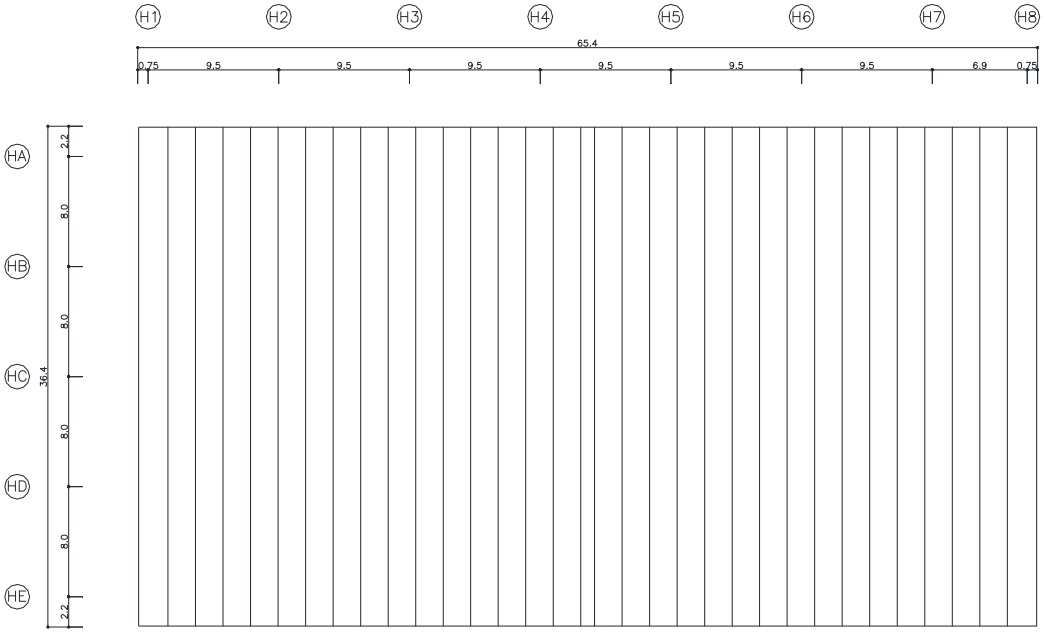
上屋に加わる地震時の水平力を，NS 方向は柱・梁ともトラス形式のフレーム，EW 方向はブレースで負担する。

耐震性の評価は，地上１階の地震層せん断力係数として 1.5・C_i を採用した場合の当該部位の応力に対して行う。

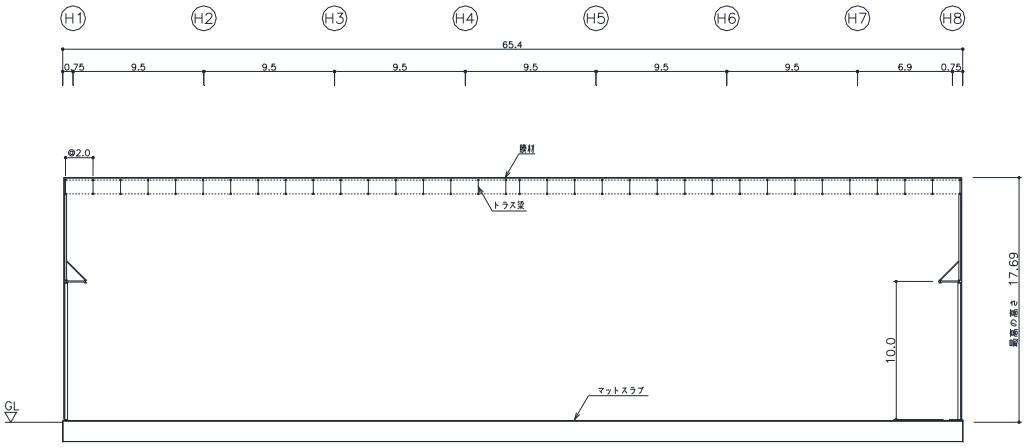
高性能多核種除去設備の上屋から基礎への荷重算出手順を図－５に示す。



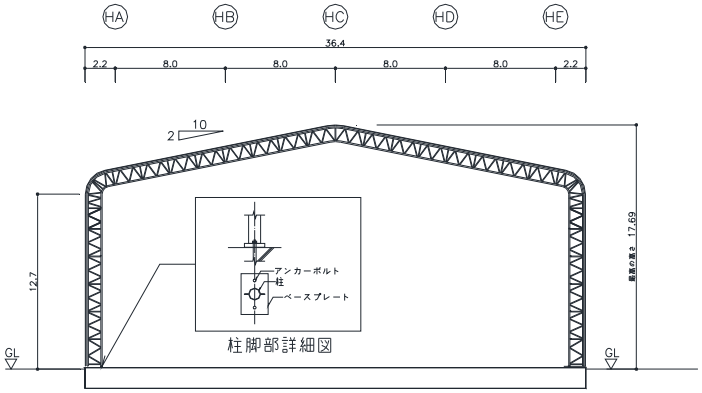
図－１　１階平面図（単位：m）



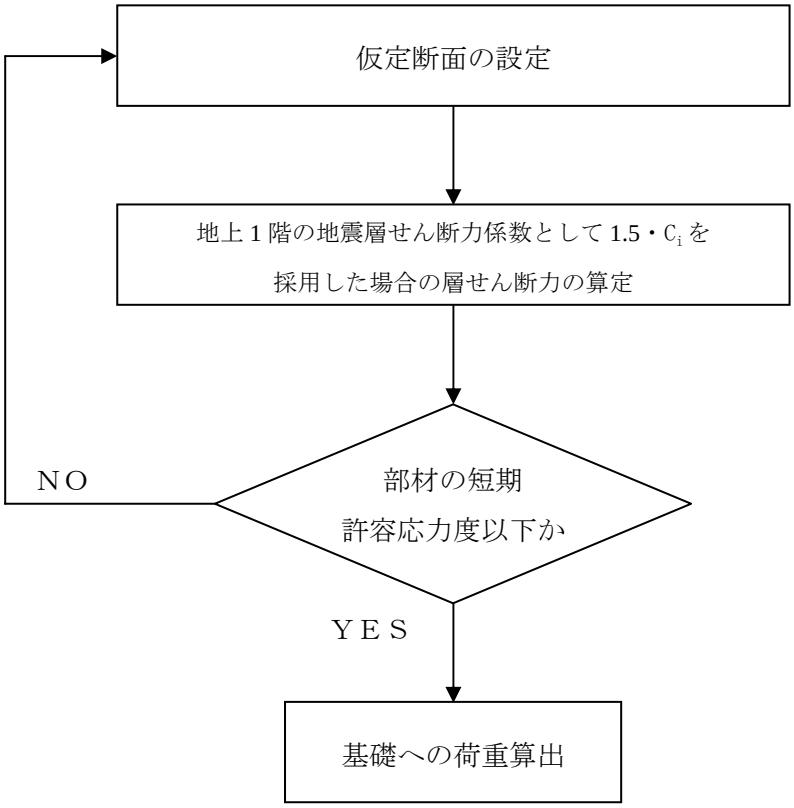
図－２　屋根平面図（単位：m）



図－３　東西方向断面図（単位：m）



図－４　南北方向断面図（単位：m）



図－５　上屋から基礎への荷重算出手順

2. 評価条件

2.1　使用材料並びに材料の許容応力度

高性能多核種除去設備の上屋に用いる鋼材はSTK400とする。使用材料の許容応力度を表－1に示す。

表－1　構造用鋼材の許容応力度

（単位：N/mm^2）

	板厚	材料	基準強度F	許容応力度
構造用鋼材	t ≦40mm	STK400	235	「鋼構造設計規準」に従って左記Fの値により求める。

注：日本建築学会「鋼構造設計規準・同解説」による。

2.2　荷重及び荷重の組合せ

(1)　荷重

設計で考慮する荷重を以下に示す。

1) 鉛直荷重（VL）

鉛直荷重は，固定荷重とする。

2) 積雪荷重（SNL）

積雪荷重は，建築基準法施行令及び福島県建築基準法施行規則細則に準拠し以下の条件とする。

積雪量：30 cm，単位荷重：20 $N/m^2/cm$

3) 風荷重（WL）

建築基準法施行令第 87 条，建設省告示第 1454 号に基づく速度圧及び風力係数を用いて算定する。

・基準風速　：30 m/s

・地表面粗度区分　：Ⅲ

4) 地震荷重（SEL）

水平地震力は下式により算定する。

地震層せん断力係数及び設計用地震力を表－２に示す。

$$Q_i = n \cdot C_i \cdot W_i$$

$$C_i = Z \cdot R_t \cdot A_i \cdot C_0$$

ここで，

Q_i　：水平地震力（kN）

n　：施設の重要度分類に応じた係数（$n = 1.5$）

C_i　：地震層せん断力係数

W_i　：当該層以上の重量（kN）

Z　：地震地域係数（$Z = 1.0$）

R_t　：振動特性係数（$R_t = 1.0$）

A_i　：地震層せん断力係数の高さ方向の分布係数

C_0　：標準せん断力係数（$C_0 = 0.2$）

表－２　水平地震力の算定結果

建物高さ (m)	W_i (kN)	地震層せん断力係数 1.5・Ci		設計用地震力 (kN)	
		NS	EW	NS	EW
17.69	1350	0.30		410	

(2)　荷重の組合せ

荷重の組合せについて表－３に示す。

表－３　荷重の組合せ

荷重状態	荷重ケース	荷重の組合せ	許容応力度
常　時	A	VL	長　期
積雪時	B	VL＋SNL	短　期
暴風時	W1	VL＋SWL(S→N 方向)	
	W2	VL＋SWL(W→E 方向)	
地震時	C1	VL＋SEL(S→N 方向)	
	C2	VL＋SEL(W→E 方向)	

注：「建築基準法施行令第 82 条」による。

3. 評価結果

3.1 高性能多核種除去設備の上屋の評価結果

解析モデルは，全ての部材を線材置換した平面モデルで，柱脚は半固定とする。

検討により得られた部材応力の内，検定比が最大となる鉄骨部材の断面検討結果を表－４に示す。また，外装材の検定比が最大となる膜材の断面検討結果を表－５に示す。

これより，鉄骨部材の応力度および外装材は，許容応力度以下であることを確認した。

表－４　鉄骨部材の応力度と短期許容応力度

部位	荷重条件	応力度(kN/cm^2)		許容応力度(kN/cm^2)		検定比
		曲げ：σb	圧縮：σc	曲げ：fb	圧縮：fc	σb/fb+σc/fc
主フレームトラス梁 (STK400)	風荷重	16.93	0.57	22.03	21.81	0.80≦1.0
主フレームトラス柱 (STK400)	風荷重	16.93	0.91	20.53	19.77	0.87≦1.0

表－５　外装材の応力度と短期許容応力度

部位	荷重条件	応力度(N/mm^2) 引張：T	許容応力度(N/mm^2) 引張：Ft	検定比 T/Ft
膜材	風荷重	18.86	33.18※1	0.57≦1.0

※1：膜材の短期許容引張応力度 Ft＝33.18(N/mm^2)

※ 上表の通り主フレームの断面算定は風荷重にて行っているが、地震荷重については下記のように風荷重に対して十分小さいことを確認している。

風荷重と地震荷重の比較

風荷重による層せん断力　Q_W = 32.64 kN/1 フレーム

地震荷重による層せん断力　Q_K = 8.74 kN/1 フレーム

$$\therefore \quad Q_W > Q_K$$

3.2 高性能多核種除去設備基礎への荷重

高性能多核種除去設備の上屋（主フレーム）から基礎への荷重を表－６に示す。

表－６　上屋（主フレーム）から基礎への荷重

	軸力 (kN)	せん断力 (kN)	曲げ モーメント (kN･m)
長期	18.00	3.42	0.23
短期(雪)	39.00	10.27	0.70
短期(風)	13.40	20.18	3.19
短期(地震)	21.33	7.79	1.35

基礎スラブおよび改良地盤の参考評価について

高性能多核種除去設備の基礎スラブおよび改良地盤について，参考評価として，耐震 S クラス相当の水平震度（水平震度 0.8）に対して，健全性が維持されることを確認した。

基礎スラブの評価結果のうち，曲げモーメントが最大となる要素と面外せん断力が最大となる要素の断面検討結果を表－１及び表－２に示す。

これより，設計鉄筋比は必要鉄筋比を上回り，また面外せん断力は許容せん断力以下であることを確認した。

表－１　曲げモーメントに対する検討結果

	応力 曲げモーメント(kN･m/m)	必要鉄筋比 (%)	設計鉄筋比 (%)	検定比
短期	423	0.08	0.29	0.28≦1.0

表－２　面外せん断力に対する検討結果

	応力 面外せん断力(kN/m)	短期許容せん断力 (kN/m)	検定比
短期	343	1335	0.26≦1.0

また，改良地盤に生じる最大応力度と許容応力度の比較を，検定比が最大となる位置について表－３～表－５に示す。

これより，改良地盤に生じる最大応力度が許容応力度以下であることを確認した。

表－３　基礎地盤の許容支持力度と接地圧の比較

	接地圧 (kN/㎡)	許容支持力度 (kN/㎡)	検定比
短期	70	300	0.24≦1.0

表－４　改良体の許容圧縮応力度と鉛直応力度の比較

	鉛直応力度 (kN/㎡)	許容圧縮応力度 (kN/㎡)	検定比
短期	90	400	0.23≦1.0

表－５　改良体の許容せん断応力度とせん断応力度の比較

	せん断応力度 (kN/㎡)	許容せん断応力度 (kN/㎡)	検定比
短期	81	129	0.63≦1.0

基礎スラブおよび改良地盤の参考評価について（基準地震動 Ss 評価）

高性能多核種除去設備の基礎スラブおよび改良地盤について，参考評価として，基準地震動 Ss（Ss-1～3，水平・上下）に対して，健全性が維持されることを確認した。

基礎スラブの評価結果のうち，曲げモーメントが最大となる要素と面外せん断力が最大となる要素の断面検討結果を表－１及び表－２に示す。

これより，設計鉄筋比は必要鉄筋比を上回り，また面外せん断力は許容せん断力以下であることを確認した。

表－１　曲げモーメントに対する検討結果

	応力		必要鉄筋比 (%)	設計鉄筋比 (%)	検定比
	軸力※ (kN/m)	曲げモーメント (kN･m/m)			
短期	-7	335	0.05	0.26	0.20≦1.0

※ 圧縮を正とする。

表－２　面外せん断力に対する検討結果

	応力 面外せん断力(kN/m)	短期許容せん断力 (kN/m)	検定比
短期	271	1335	0.21≦1.0

また，改良地盤に生じる最大応力度と許容応力度の比較を，検定比が最大となる位置について表－３～表－５に示す。

これより，改良地盤に生じる最大応力度が許容応力度以下であることを確認した。

表－３　基礎地盤の許容支持力度と接地圧の比較

	接地圧 (kN/㎡)	許容支持力度 (kN/㎡)	検定比
短期	116	300	0.39≦1.0

表－４　改良体の許容圧縮応力度と鉛直応力度の比較

	鉛直応力度 (kN/㎡)	許容圧縮応力度 (kN/㎡)	検定比
短期	148	400	0.37≦1.0

表－５　改良体の許容せん断応力度とせん断応力度の比較

	せん断応力度 (kN/㎡)	許容せん断応力度 (kN/㎡)	検定比
短期	51	129	0.40≦1.0

高性能多核種除去設備の耐震性に関する計算書

１．耐震設計の基本方針

申請設備に係る耐震設計は，次の基本方針に基づいて行う。

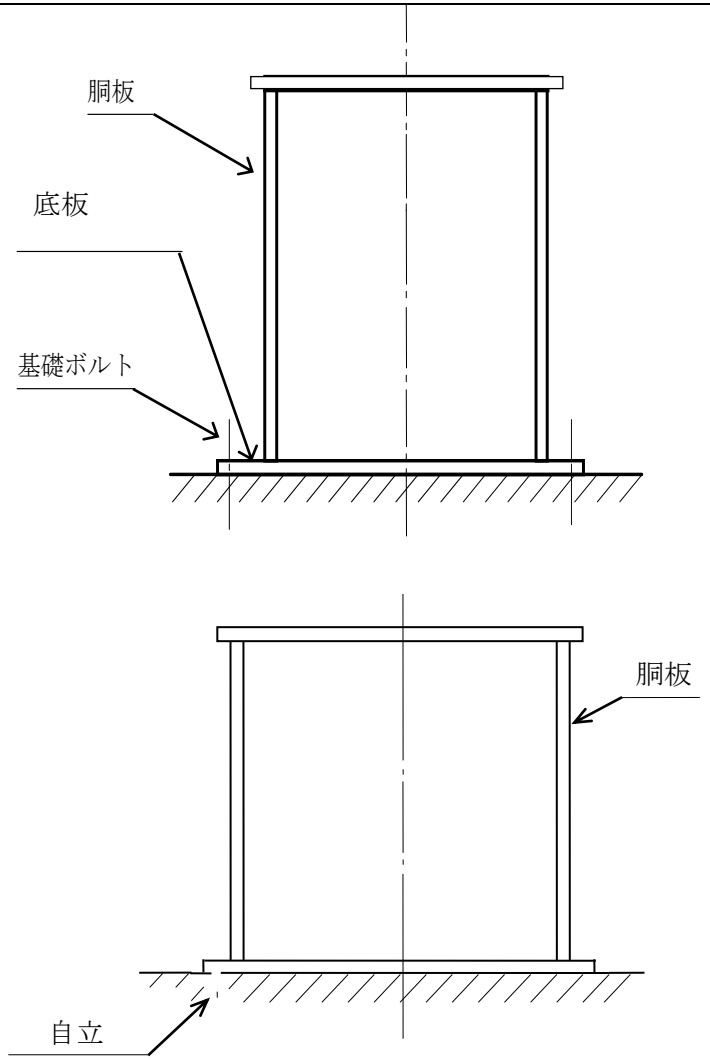
（１）設備の重要度による耐震クラス別分類

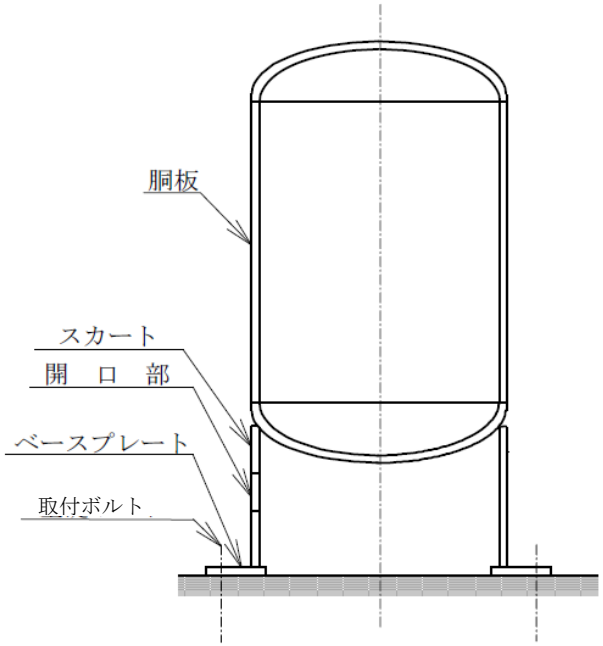
耐震クラス別 ＼ 系統設備	主要設備，補助設備及び直接支持構造物	間接支持構造物及び相互影響を考慮すべき設備	
	B	設　備	検討用地震動等
2.16.3　高性能多核種除去設備			
(1)容器	供給タンク	高性能多核種除去設備基礎	S_B
	処理水タンク	高性能多核種除去設備基礎	S_B
	前処理フィルタ１	前処理フィルタユニット	S_B
	前処理フィルタ２～４	前処理フィルタユニット	S_B
	多核種吸着塔１～２０	高性能多核種除去設備基礎	S_B
	サンプルタンクＡ，Ｂ，Ｃ	サンプルタンクエリア	S_B
(2)ポンプ	供給ポンプ	前処理フィルタユニット	S_B
	昇圧ポンプ１	昇圧ポンプ１ユニット	S_B
	昇圧ポンプ２	昇圧ポンプ２ユニット	S_B
	昇圧ポンプ３	昇圧ポンプ３ユニット	S_B
	昇圧ポンプ４	昇圧ポンプ４ユニット	S_B
			S_B

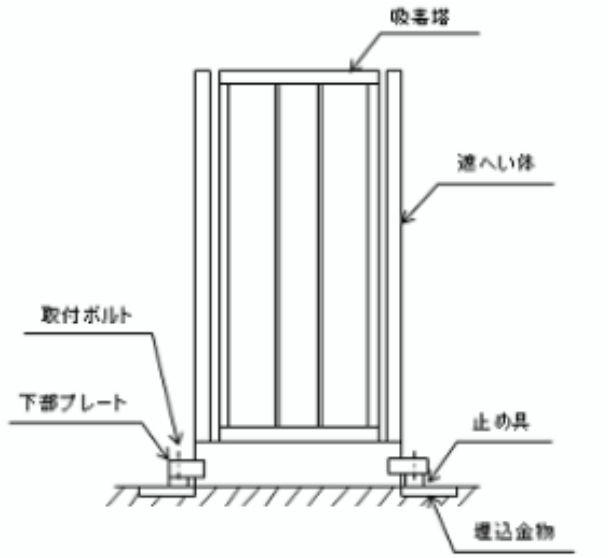
耐震クラス別 系統設備	主要設備，補助設備 及び直接支持構造物	間接支持構造物及び相互 影響を考慮すべき設備	
	B	設　備	検討用地震動等
（つづき：ポンプ）	処理水移送ポンプ	高性能多核種除去設備基礎	S_B
	高性能多核種除去設備用移送ポンプ	高性能多核種除去設備用移送ポンプスキッド	S_B
(3)配管	主配管	高性能多核種除去設備基礎,ユニット等	S_B
(4)ユニット	前処理フィルタユニットA，B	高性能多核種除去設備基礎	S_B
	昇圧ポンプユニット１～４	高性能多核種除去設備基礎	S_B
	吸着塔ユニット１～４	高性能多核種除去設備基礎	S_B
	配管ユニット	高性能多核種除去設備基礎	S_B
	高性能多核種除去設備用移送ポンプスキッド	多核種移送設備基礎	S_B
備考	・高性能多核種除去設備上屋は設備を支持しておらず，間接支持構造物及び相互影響を考慮すべき設備には該当しない。		

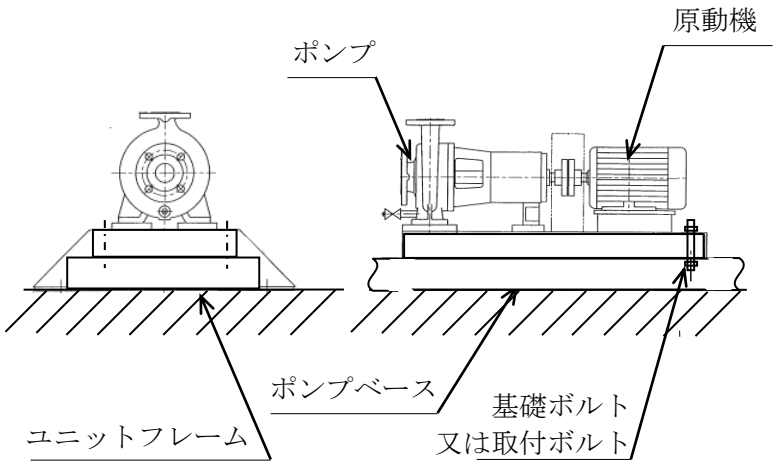
（2）構造計画

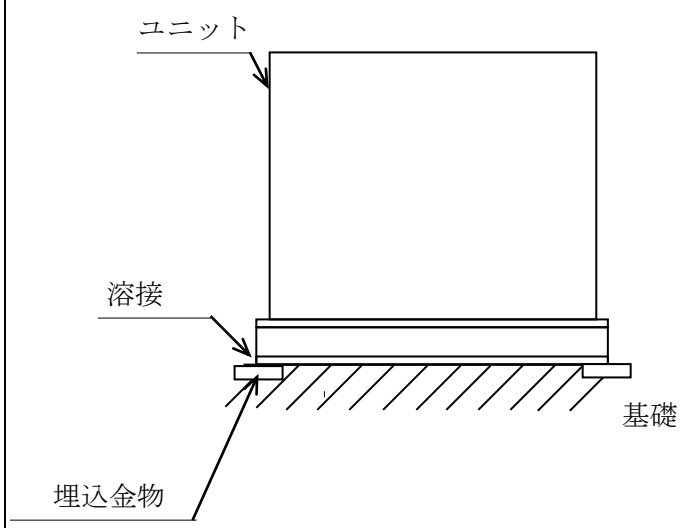
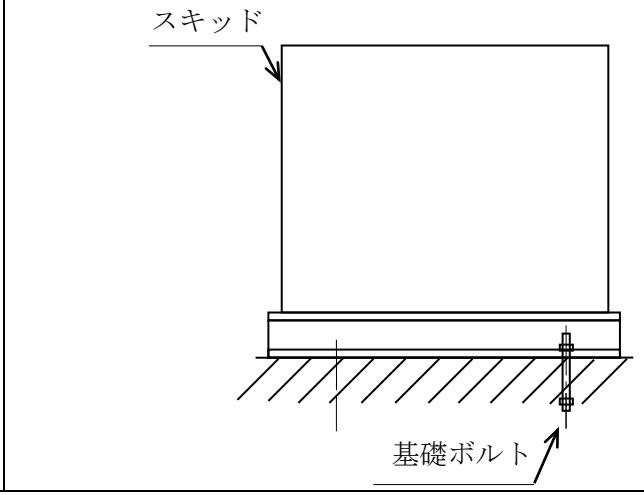
a．機器

主要区分	計画の概要		概略構造図	摘要
	基礎・支持構造	主体構造		
(1) 平底たて置円筒形容器	・供給タンク ・処理水タンク 底板を基礎ボルトで基礎に据え付ける。 b．自立 （非固定）	下面に底板を有するたて置円筒形		・供給タンク ・処理水タンク ・サンプルタンクA，B，C

主要区分	計画の概要		概略構造図	摘要
	基礎・支持構造	主体構造		
(2) スカート支持たて置円筒形容器	胴をスカートで支持し，スカートを取付ボルトでユニットフレームに据え付ける。	上面及び下面に平板を有するたて置円筒形		・前処理フィルタ１ ・前処理フィルタ２～４

主要区分	計画の概要		概略構造図	摘要
	基礎・支持構造	主体構造		
(3)多核種吸着塔1～20	下部プレートを取付ボルトで止め具に据え付ける。	垂直自立形		・多核種吸着塔1～20

主要区分	計画の概要		概略構造図	摘要
	基礎・支持構造	主体構造		
(4) 横軸ポンプ	ポンプはポンプベースに固定され，ポンプベースは取付ボルトによりユニットフレームに据え付ける。	うず巻形		• 供給ポンプ • 昇圧ポンプ１～４ • 処理水移送ポンプ • 高性能多核種除去設備用移送ポンプ

主要区分	計画の概要		概略構造図	摘要
	基礎・支持構造	主体構造		
(5) ユニット	ユニットフレームを溶接により基礎に据え付ける。	垂直自立形		・前処理フィルタユニットA，B ・昇圧ポンプユニット1～4 ・吸着塔ユニット1～4 ・配管ユニット
	スキッド架構を基礎ボルトで基礎に据え付ける。			・高性能多核種除去設備用移送ポンプスキッド

b．配管系

a）配管（鋼管）

配管はサポートにより建屋（建屋で支持されるユニットフレームを含む）等の構造物から支持される。サポートの位置を決定するにあたっては、原子力発電所の耐震設計に用いられている定ピッチスパン法により適正なサポートスパンを確保する。

（3）設計用地震力

項目	耐震クラス	適用する地震動等		設計用地震力
		水　　平	鉛　　直	
機器・配管系	B	静的震度 （1.8・C_i*1）	――	設計用地震力は，静的地震力とする。

注記　＊1：C_i は，標準せん断力係数を 0.2 とし，建物・構築物の振動特性，地盤の種類等を考慮して求められる値とする。

（4）荷重の組合せと許容限界

荷重の組合せと許容限界は，原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編　JEAG4601・補－1984，JEAG4601－1987及びJEAG4601－1991追補版）（日本電気協会　電気技術基準調査委員会　昭和59年9月，昭和62年8月及び平成3年6月）（以下「JEAG4601」という。）及び発電用原子力設備規格（設計・建設規格　JSME S NC1－2005（2007年追補版含む））（日本機械学会　2005年9月，2007年9月）（以下「設計・建設規格」という。）に準拠する。

記号の説明

D	：死荷重	
Pd	：当該設備に設計上定められた最高使用圧力による荷重	
Md	：当該設備に設計上定められた機械的荷重	
S_B	：Bクラスの設備に適用される地震動より求まる地震力又はBクラス設備に適用される静的地震力	
B_AS	：Bクラス設備の地震時の許容応力状態	
S_y	：設計降伏点	設計・建設規格　付録材料図表 Part5 表 8 に規定される値。~~（~~輸入品は、ASME BPVC SEC.Ⅱ Part D Subpart 2 TABLE Y-1 に規定される値を用いる。~~）~~
S_u	：設計引張強さ	設計・建設規格　付録材料図表 Part5 表 9 に規定される値。~~（~~輸入品は、ASME BPVC SEC.Ⅱ Part D Subpart 2 TABLE U に規定される値を用いる。~~）~~
S	：許容引張応力	設計・建設規格　付録材料図表 Part5 表 5 又は表 6 に規定される値。~~（~~輸入品は、ASME BPVC SEC.Ⅱ Part D Subpart 2 TABLE 1A に規定される値を用いる。~~）~~
f_t	：許容引張応力	支持構造物（ボルト等を除く。）に対して設計・建設規格 SSB-3121.1 により規定される値。ボルト等に対して設計・建設規格 SSB-3131 により規定される値。
f_s	：許容せん断応力	同　　上
f_c	：許容圧縮応力	支持構造物（ボルト等を除く。）に対して設計・建設規格 SSB-3121.1 により規定される値。
f_b	：許容曲げ応力	同　　上
τ_b	：ボルトに生じるせん断応力	
ＡＳＳ	：オーステナイト系ステンレス鋼	
ＨＮＡ	：高ニッケル合金	

また，「供用状態Ｃ」とは，「対象とする機器等が構造不連続部等においては大変形を生じてもよい」と設計仕様書等で規定された圧力及び機械的荷重が負荷された条件下にある状態をいう。

a．容器

耐震クラス	荷重の組合せ	供用状態（許容応力状態）	許容限界		適用範囲
			一次一般膜応力	一次膜応力＋一次曲げ応力	
B	D＋Pd＋Md＋S_B	C（B_AS）	S_yと0.6･S_uの小さい方。ただし，ＡＳＳ及びＨＮＡについては上記の値と1.2･Ｓのうち大きい方とする。	S_y ただし，ＡＳＳ及びＨＮＡについてはS_yと1.2･Ｓのうち大きい方とする。	・供給タンク ・処理水タンク ・前処理フィルタ１ ・前処理フィルタ２～４ ・多核種吸着塔１～２０

b．支持構造物（注1，注2）

耐震クラス	荷重の組合せ	供用状態（許容応力状態）	許容限界（ボルト等以外） 一次応力					許容限界（ボルト等） 一次応力			適用範囲
			引張	せん断	圧縮	曲げ	組合せ	引張	せん断	組合せ	
B	D＋Pd＋Md＋S_B	C（B_AS）	1.5･f_t	1.5･f_s	1.5･f_c	1.5･f_b	1.5･f_t	1.5･f_t	1.5･f_s	Min{1.5･f_t, (2.1･f_t−1.6･τ_b)}	・基礎ボルト ・取付ボルト ・スカート ・溶接

注1： 耐圧部に溶接により直接取り付けられる支持構造物であって，耐圧部と一体の応力解析を行うものについては，耐圧部と同じ許容応力とする。

注2： 鋼構造設計規準（日本建築学会　2005年改定）等の幅厚比の規定を満足する。

２．耐震性評価

本評価は、「付録１　平底たて置円筒形容器（耐震設計上の重要度分類Ｂクラス）の耐震性についての計算書作成の基本方針」，「付録２　スカート支持たて置円筒形容器（耐震設計上の重要度分類Ｂクラス）の耐震性についての計算書作成の基本方針」及び「付録３　横軸ポンプ（耐震設計上の重要度分類Ｂクラス）の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づいて，以下の耐震性の計算を行う。また評価方法が同付録に依らないものは以下に特記する。

（１）供給タンク
（２）処理水タンク
（３）サンプルタンクＡ，Ｂ，Ｃ
（４）前処理フィルタ１
（５）前処理フィルタ２～４
（６）多核種吸着塔１～２０（胴部材料：UNS S31803）
（７）多核種吸着塔１～２０（胴部材料：UNS S32205）
（８）多核種吸着塔１～２０（胴部材料：UNS S32750）
（９）多核種吸着塔１～２０（胴部材料：SUS316L）
(10) 供給ポンプ，昇圧ポンプ１～４
(11) 処理水移送ポンプ
(12) 高性能多核種除去設備用移送ポンプ
(13) 主配管‥‥‥‥‥‥‥‥‥配管標準支持間隔評価（定ピッチスパン法）により評価する。
(14) 前処理フィルタユニットＡ，Ｂ
(15) 昇圧ポンプユニット１～４
(16) 吸着塔ユニット１～４
(17) 配管ユニット
(18) 高性能多核種除去設備用移送ポンプスキッド

なお，機器（配管を除く）の固有周期について確認した結果，固有振動数が 20Hz 以上のため地震動と共振する恐れがないことから，以下では剛体として扱う。

添付資料－３では，高性能多核種除去設備建屋 GL±0m=T.P.36.4m (※)，多核種移送設備建屋 GL±0m=T.P.35.9m (※) とする。

（※）震災後の地盤沈下量（-709mm）と O.P.から T.P.への換算値（-727mm）を用いて，下式に基づき換算している。

＜換算式＞T.P.=O.P.-1,436mm

（1）供給タンク

a.条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計GL（m）	固有周期（s） 水平方向	固有周期（s） 鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	最高使用圧力（MPa）	最高使用温度（℃）	周囲環境温度（℃）	比重
供給タンク	B	高性能多核種除去設備建屋 GL +0.2	0.037	－	C_H＝ 0.36	－	静水頭	40	40	1.00

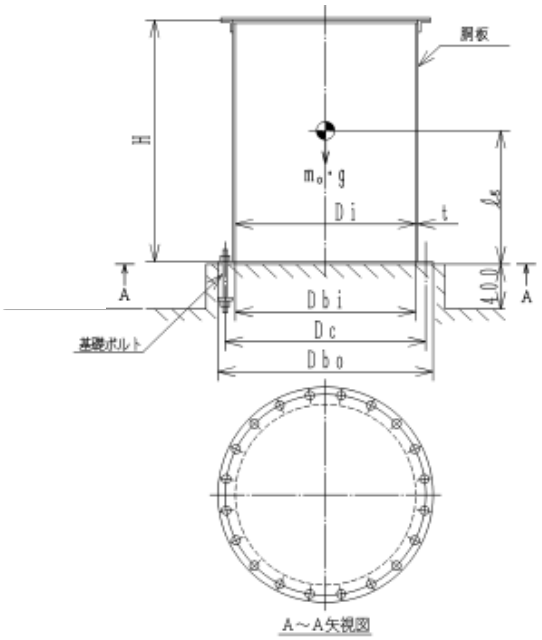
b.評価結果

（単位：MPa）

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
胴板	SM400C	一次一般膜	σ_0＝ 11	S_a＝ 240
		圧縮と曲げの組合せ（座屈の評価）	$\frac{\eta \cdot \sigma_{x2}}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{x4}}{f_b} \leqq 1$	
			0.04	
基礎ボルト	SS400	引張り	σ_b＝ 1	f_{ts}＝ 176 *
		せん断	τ_b＝ 16	f_{sb}＝ 135

すべて許容応力以下である。

注記＊：（3.2.2.2）式より算出



A～A矢視図

（２）処理水タンク

a.条件

1. 設計条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計GL (m)	固有周期 (s) 水平方向	固有周期 (s) 鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)	比重
処理水タンク	B	高性能多核種除去設備建屋 GL +0.2	0.037	－	C_H= 0.36	－	静水頭	40	40	1.00

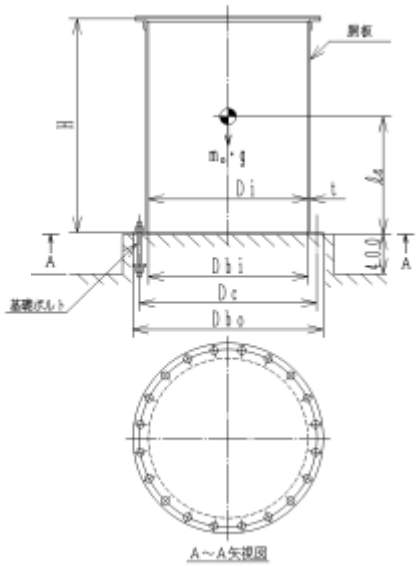
b.評価結果

（単位：MPa）

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
胴板	SM400C	一次一般膜	σ_0= 11	S_a= 240
		圧縮と曲げの組合せ（座屈の評価）	$\frac{\eta \cdot \sigma_{x2}}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{x4}}{f_b} \leqq 1$	
			0.04	
基礎ボルト	SS400	引張り	σ_b= 1	f_{ts}= 176 *
		せん断	τ_b= 16	f_{sb}= 135

すべて許容応力以下である。

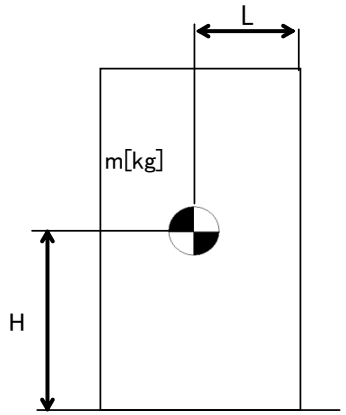
注記＊：(3.2.2.2) 式より算出



A～A矢視図

（3）サンプルタンク

地震による転倒モーメントと自重による安定モーメントを算出し，それらを比較することにより転倒評価を実施した。評価の結果，地震による転倒モーメントは自重による安定モーメントより小さいことから，転倒しないことを確認した。



m ： 機器質量
g ： 重力加速度
H ： 据付面からの重心までの距離
L ： 転倒支点から機器重心までの距離
C_H ： 水平方向設計震度

地震による転倒モーメント：M_1[N・m]=m×g×C_H×H
自重による安定モーメント：M_2[N・m]=m×g×L

評価結果

機器名称	評価部位	評価項目	水平地震動	算出値	許容値	単位
サンプルタンクＡ，Ｂ，Ｃ	本体	転倒	0.36	3.1×10^4	7.1×10^4	kN･m

（4）前処理フィルタ１

a.条件

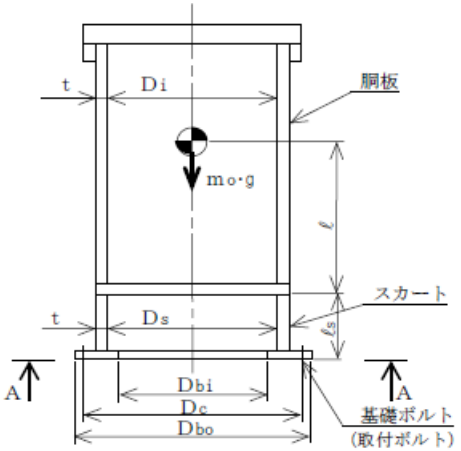
機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計GL（m）	固有周期(s) 水平方向	固有周期(s) 鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)	比重
前処理フィルタ１	B	高性能多核種設備建屋 GL +0.2	0.039	－	C_H=0.36	－	1.03	40	40	－

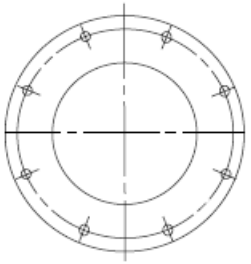
b.評価結果

（単位：MPa）

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
胴板	ASME SA516 Gr.70	組合せ	σ_0 = 74	S_a = 262
スカート	ASME SA516 Gr.70	組合せ	σ_s = 32	f_t = 262
		圧縮と曲げの組合せ（座屈の評価）	$\frac{\eta\cdot(\sigma_{s1}+\sigma_{s3})}{f_c}+\frac{\eta\cdot\sigma_{s2}}{f_b}\leqq 1$	
			0.14 （無次元）	
取付ボルト	ASTM A193 Gr.B7	引張り	σ_b = 1	f_{ts} = 452 *
		せん断	τ_b = 8	f_{sb} = 348

すべて許容応力以下である。

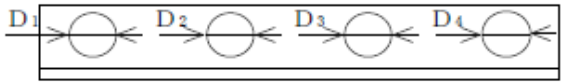




A～A矢視図

注記　＊：以下より算出

$f_{ts}=1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot\tau_b$ かつ，$f_{ts}\leqq f_{to}$



スカート開口部の形状を示す。

（５）前処理フィルタ２～４

a.条件

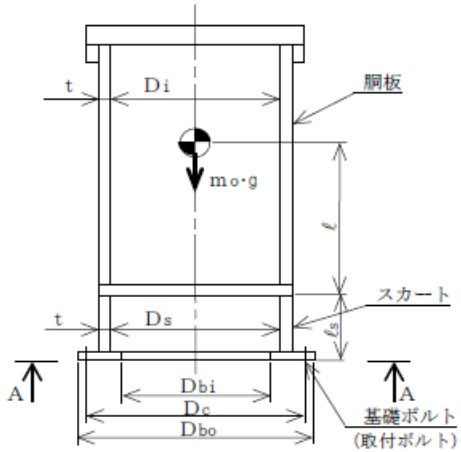
機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計GL（m）	固有周期(s) 水平方向	固有周期(s) 鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)	比重
前処理フィルタ 2, 3, 4	B	高性能多核種設備建屋 GL +0.2	0.032	－	$C_H = 0.36$	－	1.03	40	40	－

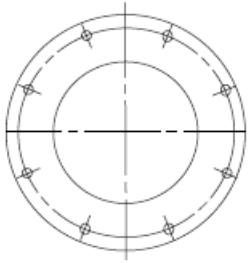
b.評価結果

（単位：MPa）

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
胴板	ASME SA516 Gr.70	組合せ	$\sigma_0 = 74$	$S_a = 262$
スカート	ASME SA516 Gr.70	組合せ	$\sigma_s = 28$	$f_t = 262$
		圧縮と曲げの組合せ	$\frac{\eta\cdot(\sigma_{s1}+\sigma_{s3})}{f_c} + \frac{\eta\cdot\sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$	
		(座屈の評価)	0.12 （無次元）	
取付ボルト	ASTM A193 Gr.B7	引張り	$\sigma_b = 1$	$f_{ts} = 452$ *
		せん断	$\tau_b = 8$	$f_{sb} = 348$

すべて許容応力以下である。

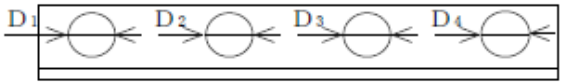




A～A矢視図

注記　＊：以下より算出

$f_{ts} = 1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b$ かつ，$f_{ts} \leqq f_{to}$



スカート開口部の形状を示す。

（６）多核種吸着塔１～２０（胴部材料：UNS S31803）

a.条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計GL（m）	固有周期(s) 水平方向	固有周期(s) 鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)	比重
多核種吸着塔 (胴部材料：UNS S31803)	B	高性能多核種設備建屋 GL +0.2	0.031	－	$C_H = 0.36$	－	1.55	40	40	－

b.評価結果

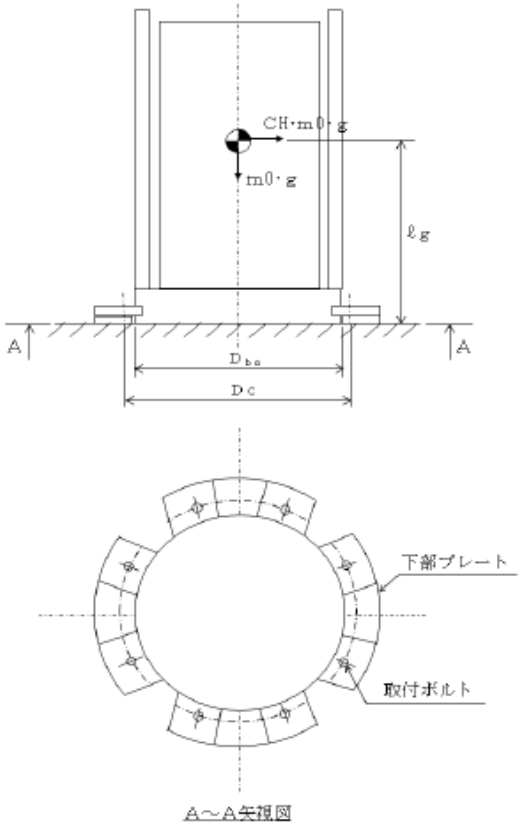
（単位：MPa）

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
胴板	UNS S31803	一次一般膜	$\sigma_0 = 59$	$S_a = 372$
取付ボルト	ASTM A193 Gr.B7	引張り	－	$f_{ts} = 452$ *
		せん断	$\tau_b = 50$	$f_{sb} = 348$

すべて許容応力以下である。

注記　＊：以下より算出

$f_{ts} = 1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b$ かつ，$f_{ts} \leqq f_{to}$



（７）多核種吸着塔１～２０（胴部材料：UNS S32205）

a.条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計GL (m)	固有周期(s) 水平方向	固有周期(s) 鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)	比重
多核種吸着塔 (胴部材料：UNS S32205)	B	高性能多核種設備建屋 GL +0.2	0.031	－	$C_H = 0.36$	－	1.55	40	40	－

b.評価結果

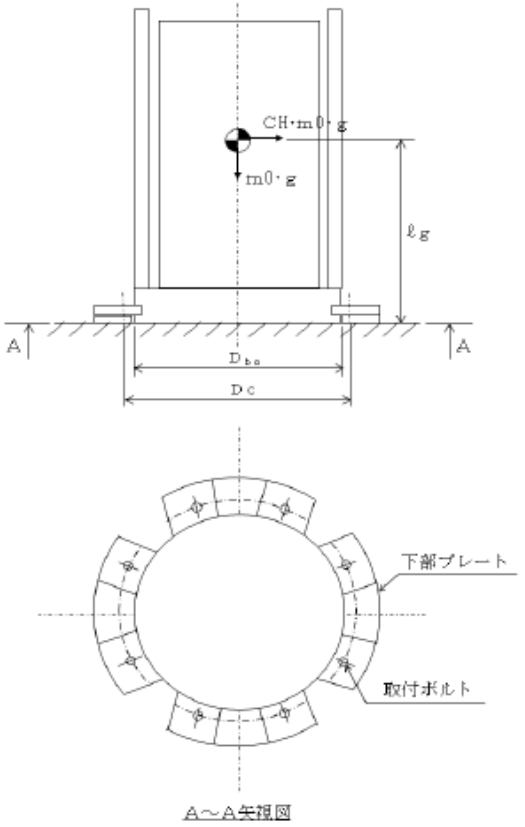
（単位：MPa）

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
胴板	UNS S32205	一次一般膜	$\sigma_0 = 59$	$S_a = 393$
取付ボルト	ASTM A193 Gr.B7	引張り	－	$f_{ts} = 452$ *
		せん断	$\tau_b = 50$	$f_{sb} = 348$

すべて許容応力以下である。

注記　＊：以下より算出

$f_{ts} = 1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b$ かつ，$f_{ts} \leqq f_{to}$



（８）多核種吸着塔１～２０（胴部材料：UNS S32750）

a.条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計GL (m)	固有周期(s) 水平方向	固有周期(s) 鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)	比重
多核種吸着塔 (胴部材料：UNS S32750)	B	高性能多核種設備建屋 GL +0.2	0.031	－	$C_H = 0.36$	－	1.55	40	40	－

b.評価結果

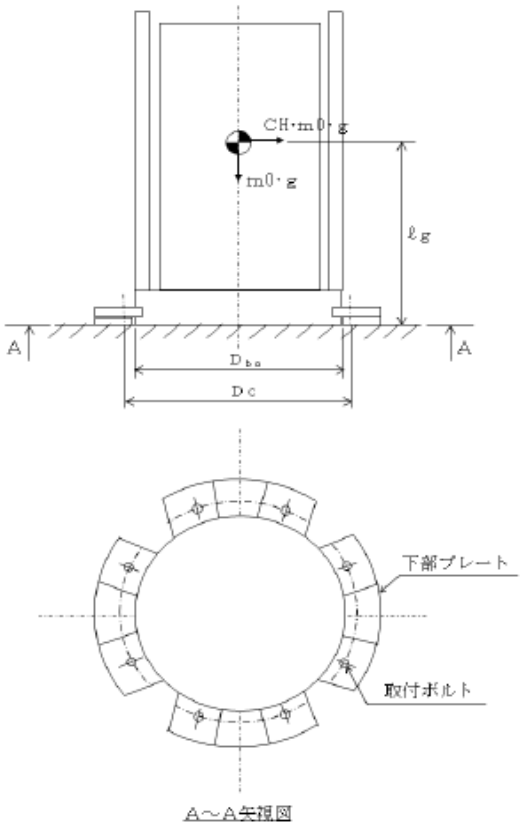
（単位：MPa）

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
胴板	UNS S32750	一次一般膜	$\sigma_0 = 59$	$S_a = 480$
取付ボルト	ASTM A193 Gr.B7	引張り	－	$f_{ts} = 452$ *
		せん断	$\tau_b = 50$	$f_{sb} = 348$

すべて許容応力以下である。

注記　＊：以下より算出

$f_{ts} = 1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b$ かつ，$f_{ts} \leqq f_{to}$



（９）多核種吸着塔１～２０（胴部材料：SUS316L）

a.条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計GL (m)	固有周期 (s) 水平方向	固有周期 (s) 鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)	比重
多核種吸着塔 (胴部材料：SUS316L)	B	高性能多核種除去設備建屋 GL +0.2	T_H= 0.033	－	C_H= 0.36	－	1.55	40	40	－

b.評価結果

（単位：MPa）

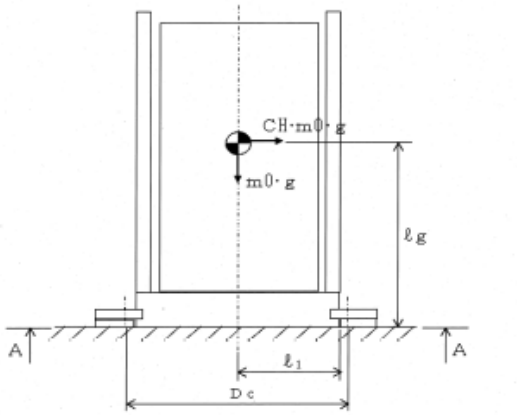
部材	材料	応力	算出応力	許容応力
胴板	SUS316L	一次一般膜	σ_0= 53	S_a= 175
取付ボルト	ASTM A193 Gr.B7	引張り	－	f_{ts}= 452 *
		せん断	τ_b= 50	f_{sb}= 348

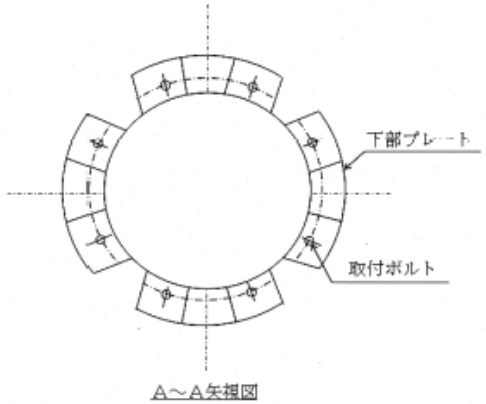
すべて許容応力以下である。

注記　＊：以下より算出

$f_{ts}=1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b$

かつ，$f_{ts} \leqq f_{to}$





A～A矢視図

（10）供給ポンプ，昇圧ポンプ１～４

a.条件

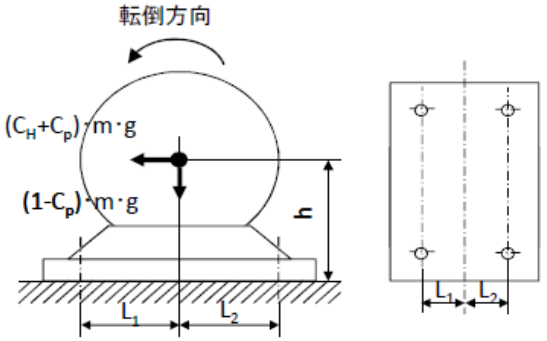
機器名称	耐震設計上の重要度区分	据付場所及び床面高さ 設計GL（m）	水平方向設計震度	ポンプ振動による震度	最高使用温度（℃）	周囲環境温度（℃）
供給ポンプ、昇圧ポンプ	B	高性能多核種設備建屋 GL +0.2	C_H=0.36	Cp＝0.29	40	40

b.評価結果

単位：MPa

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	ASTM A193 Gr.B7 （SNB7相当）	せん断	τ b＝ 3	fsb＝348
		引 張	σ b＝ －	fts＝452

すべて許容応力以下である。



（11）処理水移送ポンプ

a. 条件

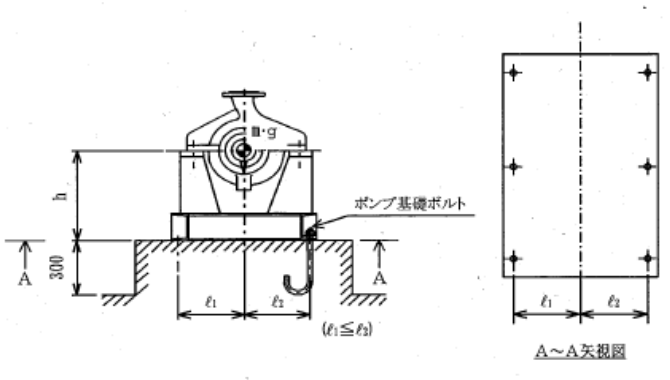
機器名称	耐震設計上の重要度区分	据付場所及び床面高さ 設計 GL (m)	水平方向設計震度	ポンプ振動による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
処理水移送ポンプ	B	高性能多核種設備建屋 GL +0.2	C_H=0.36	Cp＝0.21	―	40

b. 評価結果

単位:MPa

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張り	σ b＝ 1	fts＝183
		せん断	τ b＝ 3	fsb＝141

すべて許容応力以下である。



（12）高性能多核種除去設備用移送ポンプ

a．条件

機　器　名　称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計GL（m）	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	ポンプ振動による震度	最高使用温度（℃）	周囲環境温度（℃）
高性能多核種除去設備用移送ポンプA，B	B	多核種移送設備建屋 GL ±0	C_H＝0.36	—	Cp＝0.18	40	40

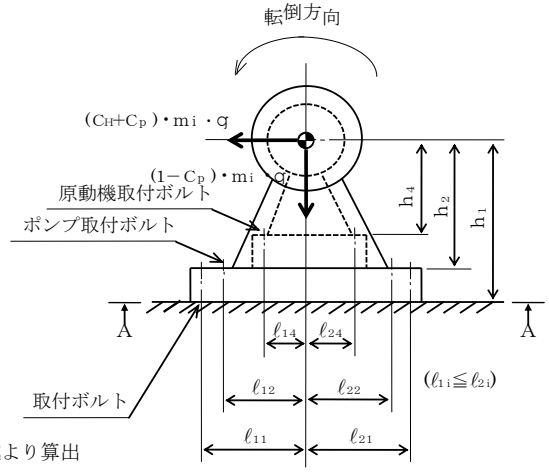
b．評価結果

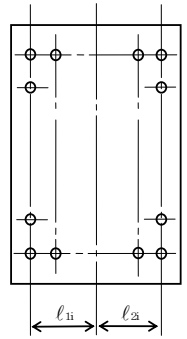
（単位：MPa）

部　　材	材　料	応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（i＝1）	SUS304	引張り	σ_{b1}＝1	f_{ts1}＝153*
		せん断	τ_{b1}＝4	f_{sb1}＝118
ポンプ取付ボルト（i＝2）	SUS304	引張り	σ_{b2}＝11	f_{ts2}＝153*
		せん断	τ_{b2}＝2	f_{sb2}＝118
原動機取付ボルト（i＝4）	SUS304	引張り	σ_{b4}＝3	f_{ts4}＝153*
		せん断	τ_{b4}＝3	f_{sb4}＝118

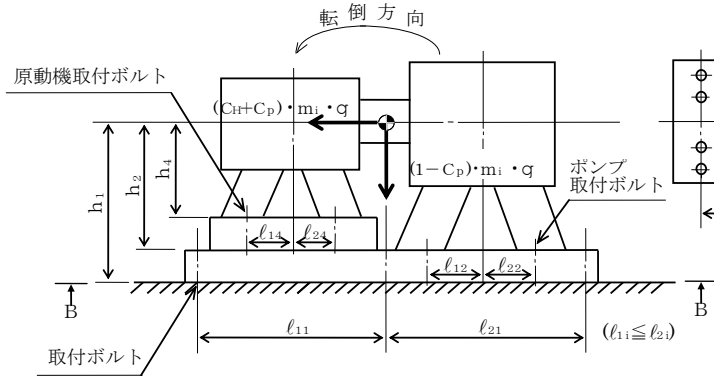
注記＊：（3.1.2）式より算出

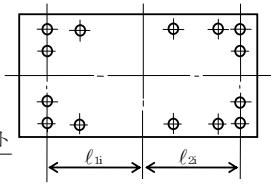
すべて許容応力以下である。





A～A矢視図





B～B矢視図

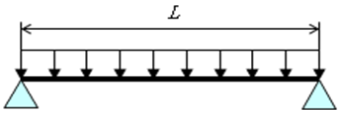
(13) 主配管（鋼管）

a. 評価条件

評価条件として配管は，配管軸直角 2 方向拘束サポートにて支持される両端単純支持のはりモデル（図－１）とする。

次に，当該設備における主配管（鋼管）について，各種条件を表－１に示す。表－１より管軸方向については，サポート設置フロアの水平震度 0.36 が鉄と鉄の静止摩擦係数 0.52 より小さいことから，地震により管軸方向は動かないものと仮定する。

図－１　等分布荷重　両端単純支持はりモデル



表－１　配管系における各種条件

配管分類	主配管（鋼管）				
配管クラス	クラス３相当				
耐震クラス	Ｂクラス相当				
設計温度　[℃]	40				
配管材質	STPT410				
配管口径	100A		80A		50A
Sch	40		40		80
設計圧力　[MPa]	1.03	0.98	1.03	0.98	0.98
配管支持間隔　[m]	7.2		6.5		5.5

配管分類	主配管（鋼管）													
配管クラス	クラス３相当													
耐震クラス	Ｂクラス相当													
設計温度[℃]	40													
配管材質	UNS S32750								UNS S31803		UNS S32205		SUS316LTP	
配管口径	100A	80A			50A				50A	80A	50A	80A	50A	80A
Sch	10	10		40			40		40	40	40	40	40	40
設計圧力[MPa]	1.03	1.03	1.55	0.98	1.03	1.55	0.98	1.03	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55
配管支持間隔[m]	7.7	6.7			6.6			5.4		5.4	6.6	5.4	6.6	5.3	6.5

b．評価方法

水平方向震度による管軸直角方向の配管応力評価する。

自重による応力 Sw は，下記の式で示される。

$$Sw = \frac{M}{Z} = \frac{w \cdot L^2}{8Z} \qquad (3.1)$$

ここで　Sw　：自重による応力　　[MPa]

L　：支持間隔　　[mm]

M　：曲げモーメント　　[N・mm]

Z　：断面係数　　[mm^3]

w　：等分布荷重　　[N/mm]

管軸直角方向の地震による応力 Ss は，自重による応力 Sw の震度倍で下記の式で示される。

$$Ss = \alpha \cdot Sw \qquad (3.2)$$

Ss　：地震による応力　　[MPa]

α　：想定震度値　　[-]

また，評価基準値として JEAG4601-2008 に記載の供用応力状態 Cs におけるクラス３配管の一次応力制限を用いると，地震評価としては下記の式で示される。

$$S = Sp + Sw + Ss = Sp + Sw + \alpha \cdot Sw = Sp + (1+\alpha) \cdot Sw \leqq 1.0Sy \qquad (3.3)$$

ここで、S　：内圧，自重，地震による発生応力　[MPa]

Sp　：内圧による応力　　[MPa]

Sy　：設計降伏点　　[MPa]

c．評価結果

両端単純支持はりモデルで，自重による応力 Sw が 30 [MPa]以下となる配管サポート配置を仮定し，各応力を計算した結果を表－２に示す。

表－２より，自重による応力 Sw を 30 [MPa]以下となるようサポート配置を決定することで，配管は十分な強度を有するものと評価する。

表－２　応力評価結果

配管分類	主配管（鋼管）				
配管材質	STPT410				
配管口径	100A		80A		50A
Sch	40		40		80
設計圧力[MPa]	1.03	0.98	1.03	0.98	0.98
内圧，自重，地震による発生応力 S［MPa］	51	51	50	49	47
供用状態 Cs における一次応力許容値［MPa］	1.0Sy=245	1.0Sy=245	1.0Sy=245	1.0Sy=245	1.0Sy=245

配管分類	主配管（鋼管）														
配管材質	UNS S32750									UNS S31803		UNS S32205		SUS316LTP	
配管口径	100A	80A						50A		50A	80A	50A	80A	50A	80A
Sch	10	10			40			40		40	40	40	40	40	40
設計圧力[MPa]	1.03	1.03	1.55	0.98	1.03	1.55	0.98	1.03	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55
内圧，自重，地震による発生応力 S[MPa]	48	43	51	43	37	40	36	36	40	40	40	40	40	40	40
供用状態 Cs における一次応力許容値［MPa］	1.0Sy=552									1.0Sy=448		1.0Sy=448		1.0Sy=175	

（14）前処理フィルタユニットA，B

a.条件

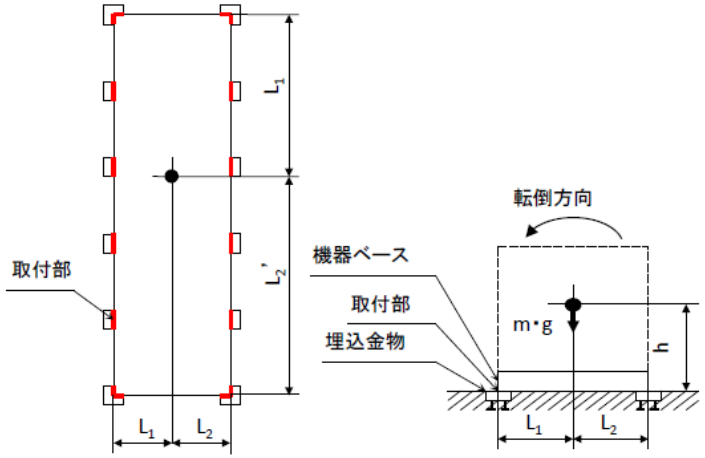
機器名称	耐震設計上の重要度区分	据付場所及び床面高さ 設計GL（m）	水平方向設計震度	最高使用温度（℃）	使用環境温度（℃）
前処理フィルタユニットA, B	B	高性能多核種設備建屋 GL +0.2	Ch＝0.36	40	40

b.評価結果

単位：MPa

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
取付部 すみ肉溶接	YS309Mo	せん断	τ_w＝　15	fs＝53

許容応力以下である。



（15）昇圧ポンプユニット１～４

a.条件

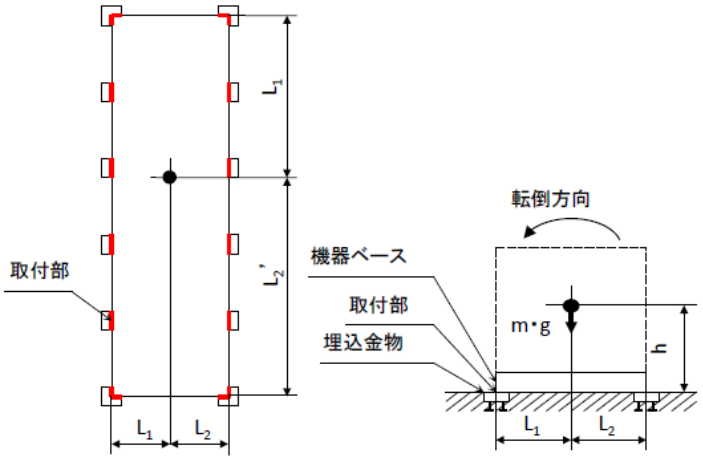
機器名称	耐震設計上の重要度区分	据付場所及び床面高さ 設計GL（m）	水平方向設計震度	最高使用温度（℃）	使用環境温度（℃）
昇圧ポンプユニット1～4	B	高性能多核種設備建屋 GL +0.2	Ch＝0.36	40	40

b.評価結果

単位：MPa

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
取付部 すみ肉溶接	YS309Mo	せん断	τw＝　2	fs＝53

許容応力以下である。



(16) 吸着塔ユニット１～４

a.条件

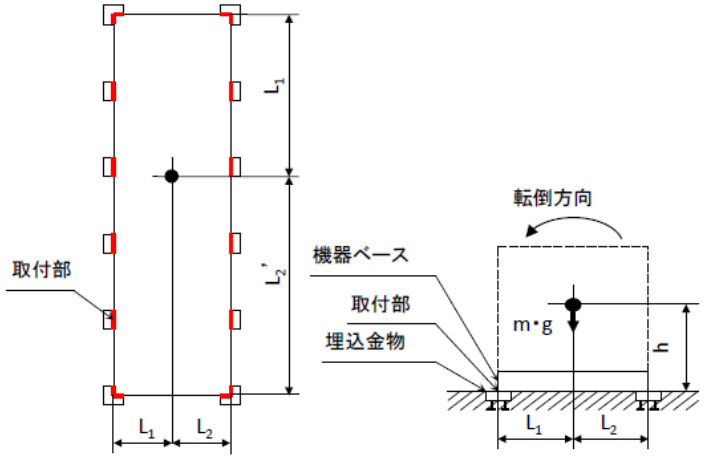
機器名称	耐震設計上の重要度区分	据付場所及び床面高さ 設計GL (m)	水平方向設計震度	最高使用温度 (℃)	使用環境温度 (℃)
吸着塔ユニット1～4	B	高性能多核種設備建屋 GL +0.2	Ch＝0.36	40	40

b.評価結果

単位：MPa

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
取付部 すみ肉溶接	YS309Mo	引 張	σw＝ 19	ft＝69

許容応力以下である。



(17) 配管ユニット

a. 設計条件

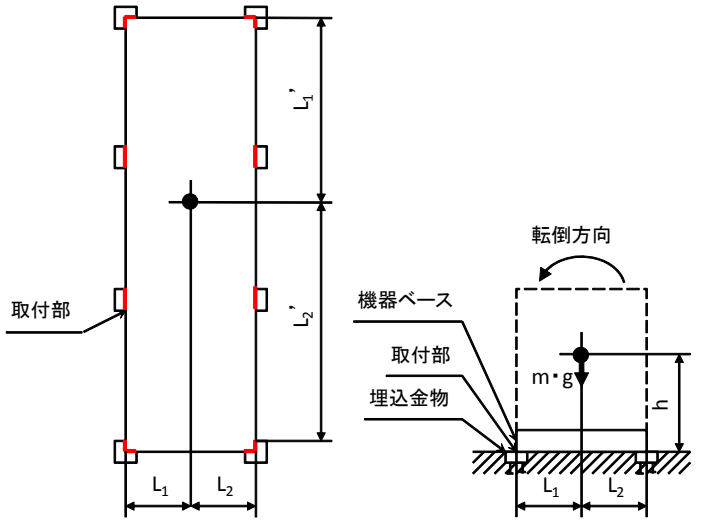
機器名称	耐震設計上の重要度区分	据付場所及び床面高さ 設計 GL (m)	水平方向設計震度	最高使用温度 (℃)	使用環境温度 (℃)
配管ユニット	B	高性能多核種設備建屋 GL +0.2	Ch＝0.36	40	40

b.評価結果

単位：MPa

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
取付部 すみ肉溶接	YS309Mo	引 張	σw＝ 1	ft＝69

許容応力以下である。



(18) 高性能多核種除去設備用移送ポンプスキッド

a．条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ 設計 GL (m)	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	ポンプ振動による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
高性能多核種除去設備用移送ポンプスキッド	B	多核種移送設備建屋 GL ±0	C_H= 0.36	—	—	40	40

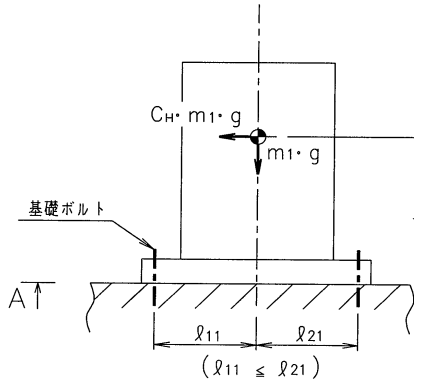
b．評価結果

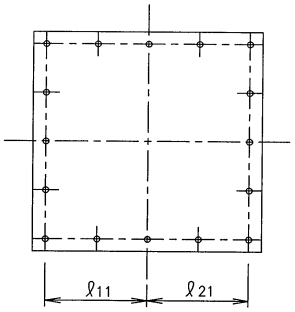
(単位：MPa)

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i＝1)	SS400	引張り	σ_{b1}= —	30 ＊
		せん断	τ_{b1}= 11	38 ＊

すべて許容応力以下である。

注記 ＊：後打ちアンカー耐力による。





A－A矢視図

高性能多核種除去設備の各機器について，参考評価として，耐震 S クラス相当の水平震度に対して，健全性が維持されることを確認した。評価結果を表１に示す。

表１　高性能多核種除去設備　各機器に対する耐震評価結果（１／２）

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
供給タンク	基礎ボルト	引張	0.8	36	176	MPa
		せん断	0.8	36	135	MPa
処理水タンク	基礎ボルト	引張	0.8	36	176	MPa
		せん断	0.8	36	135	MPa
サンプルタンク	本体	転倒	0.8	6.7×10^{4}	7.1×10^{4}	kN・m
前処理フィルタ１	取付ボルト	引張	0.8	37	452	MPa
		せん断	0.8	18	348	MPa
前処理フィルタ２～４	取付ボルト	引張	0.8	29	452	MPa
		せん断	0.8	17	348	MPa
多核種吸着塔１～２０ (UNS S31803)	取付ボルト	引張	0.8	123	452	MPa
		せん断	0.8	111	348	MPa
多核種吸着塔１～２０ (UNS S32205)	取付ボルト	引張	0.8	123	452	MPa
		せん断	0.8	111	348	MPa
多核種吸着塔１～２０ (UNS S32750)	取付ボルト	引張	0.8	123	452	MPa
		せん断	0.8	111	348	MPa
多核種吸着塔１～２０ (SUS316L)	取付ボルト	引張	0.8	139	452	MPa
		せん断	0.8	111	348	MPa
供給ポンプ，昇圧ポンプ１～４	取付ボルト	引張	0.8	2	452	MPa
		せん断	0.8	5	348	MPa
処理水移送ポンプ	基礎ボルト	引張	0.8	3	183	MPa
		せん断	0.8	5	141	MPa

表１　高性能多核種除去設備　各機器に対する耐震評価結果（２／２）

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
高性能多核種除去設備用移送ポンプ	取付ボルト	引張	0.8	2	153	MPa
		せん断	0.8	3	118	MPa
	ポンプ取付ボルト	引張	0.8	9	153	MPa
		せん断	0.8	2	118	MPa
	原動機取付ボルト	引張	0.8	3	153	MPa
		せん断	0.8	3	118	MPa
前処理フィルタユニットA，B	取付部すみ肉溶接	せん断	0.8	33	53	MPa
昇圧ポンプユニット１～４	取付部すみ肉溶接	せん断	0.8	5	53	MPa
吸着塔ユニット１～４	取付部すみ肉溶接	引張	0.8	52	69	MPa
配管ユニット	取付部すみ肉溶接	引張	0.8	3	69	MPa
高性能多核種除去設備用移送ポンプスキッド	基礎ボルト	引張	0.8	－	30	MPa
		せん断	0.8	25	38	MPa

以上

付録1.　平底たて置円筒形容器（耐震設計上の重要度分類Bクラス）の耐震性についての計算書作成の基本方針

1.　一般事項

本基本方針は，平底たて置円筒形容器（耐震設計上の重要度分類Ｂクラス）の耐震性についての計算方法を示す。

1.1　適用基準

本基本方針における計算方法は，原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987 （日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和 62 年 8 月）に準拠する。

1.2　計算条件

(1)　容器及び内容物の質量は重心に集中するものとする。

(2)　地震力は容器に対して水平方向から作用するものとする。

(3)　容器は胴下端のベースプレートを円周上等ピッチの多数の基礎ボルトで基礎に固定された固定端とする。ここで，基礎については剛となるように設計する。

(4)　胴をはりと考え，変形モードは曲げ及びせん断変形を考慮する。

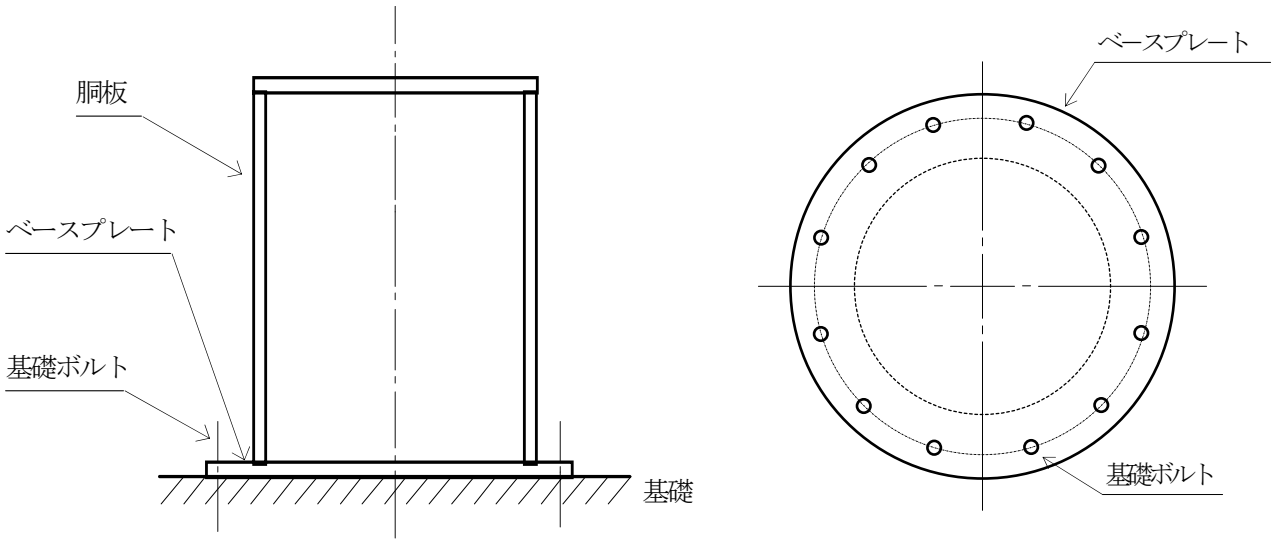


図1－1　概　要　図

1.3　記号の説明

記　　号	記　　号　　の　　説　　明	単　　位
A	胴の軸断面積	mm^2
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
A_e	胴の有効せん断断面積	mm^2
C_c	基礎ボルト計算における係数	－
C_H	水平方向設計震度	－
C_t	基礎ボルト計算における係数	－
C_v	鉛直方向設計震度	－
D_{bi}	ベースプレートの内径	mm
D_{bo}	ベースプレートの外径	mm
D_c	基礎ボルトのピッチ円直径	mm
D_i	胴の内径	mm
E	胴の縦弾性係数	MPa
e	基礎ボルト計算における係数	－
F	設計・建設規格　SSB-3121.1又はSSB-3131に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格　SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F_c	基礎に作用する圧縮力	N
F_t	基礎ボルトに作用する引張力	N
f_b	曲げモーメントに対する許容座屈応力	MPa
f_c	軸圧縮荷重に対する許容座屈応力	MPa
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
G	胴のせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
H	水頭	mm
I	胴の断面二次モーメント	mm^4
K_H	水平方向ばね定数	N/m
K_V	鉛直方向ばね定数	N/m
k	基礎ボルト計算における中立軸の荷重係数	－
ℓ_1，ℓ_2	基礎ボルト計算における中立軸から荷重作用点までの距離（図2－2に示す距離）	mm
ℓ_g	基礎から容器重心までの距離	mm
M_s	胴に作用する転倒モーメント	N･mm
m_o	容器の運転時質量	kg
m_e	容器の空質量	kg
n	基礎ボルトの本数	－
S	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5に定める値	MPa
S_a	胴の許容応力	MPa
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa

記　号	記　号　の　説　明	単　位
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
s	基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比	－
T_H	水平方向固有周期	s
T_V	鉛直方向固有周期	s
t	胴板の厚さ	mm
t_1	基礎ボルト面積相当板幅	mm
t_2	圧縮側基礎相当幅	mm
z	基礎ボルト計算における係数	－
α	基礎ボルト計算における中立軸を定める角度	rad
η	座屈応力に対する安全率	－
π	円周率	－
ρ'	液体の比重量（＝比重×10^{-6}）	kg/mm^3
σ_0	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{0c}	胴の組合せ圧縮応力	MPa
σ_{0t}	胴の組合せ引張応力	MPa
σ_2	地震動のみによる胴の一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
$\sigma_{2\phi}$	地震動のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
σ_{2c}	地震動のみによる胴の一次応力と二次応力の和の変動値（圧縮側）	MPa
σ_{2t}	地震動のみによる胴の一次応力と二次応力の和の変動値（引張側）	MPa
σ_{2xc}	地震動のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和（圧縮側）	MPa
σ_{2xt}	地震動のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和（引張側）	MPa
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_c	基礎に生じる圧縮応力	MPa
σ_{x1}，$\sigma_{\phi 1}$	静水頭により胴に生じる軸方向及び周方向応力	MPa
σ_{x2}	胴の空質量による軸方向圧縮応力	MPa
σ_{x3}	胴の鉛直方向地震による軸方向応力	MPa
σ_{x4}	胴の水平方向地震による軸方向応力	MPa
σ_{xc}	胴の軸方向応力の和（圧縮側）	MPa
σ_{xt}	胴の軸方向応力の和（引張側）	MPa
σ_ϕ	胴の周方向応力の和	MPa
$\sigma_{\phi 2}$	静水頭に鉛直方向地震が加わり胴に生じる周方向応力	MPa
τ	地震により胴に生じるせん断応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
ϕ_1（x）	圧縮荷重に対する許容座屈応力の関数	MPa
ϕ_2（x）	曲げモーメントに対する許容座屈応力の関数	MPa

注：「設計・建設規格」とは，発電用原子力設備規格（設計・建設規格　ＪＳＭＥ　ＳＮＣ１－2005（2007年追補版含む。））（日本機械学会　2007年9月）（以下「設計・建設規格」という。）をいう。

2.　計算方法

2.1　固有周期の計算方法

(1)　計算モデル

本容器は，1.2項より図2－1に示すような下端固定の1質点系振動モデルとして考える。

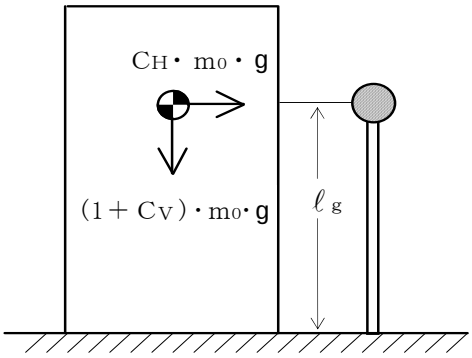


図2－1　固有周期の計算モデル

(2)　水平方向固有周期

曲げ及びせん断変形によるばね定数K_Hは次式で求める。

$$K_H=\frac{1000}{\frac{\ell_g{}^3}{3\cdot E\cdot I}+\frac{\ell_g}{G\cdot A_e}} \quad \cdots\cdots (2.1.1)$$

ここで，胴の断面性能は次のように求める。

$$I=\frac{\pi}{8}\cdot(D_i+t)^3\cdot t \quad \cdots\cdots (2.1.2)$$

$$A_e=\frac{2}{3}\cdot\pi\cdot(D_i+t)\cdot t \quad \cdots\cdots (2.1.3)$$

したがって，固有周期T_Hは次式で求める。

$$T_H=2\cdot\pi\cdot\sqrt{\frac{m_0}{K_H}} \quad \cdots\cdots (2.1.4)$$

(3)　鉛直方向固有周期

軸方向変形によるばね定数K_Vは次式で求める。

$$K_V=\frac{1000}{\frac{\ell_g}{A\cdot E}} \quad \cdots\cdots (2.1.5)$$

ここで，胴の断面性能は次のように求める。

$$A=\pi\cdot(D_i+t)\cdot t \quad \cdots\cdots (2.1.6)$$

したがって，固有周期T_vは次式で求める。

$$T_v=2\cdot\pi\cdot\sqrt{\frac{m_e}{K_v}} \quad \cdots\cdots (2.1.7)$$

2.2　応力の計算方法

応力計算において，静的地震力を用いる場合は，絶対値和を用い，動的地震力を用いる場合は，ＳＲＳＳ法を用いることができる。

2.2.1　胴の応力

(1)　静水頭及び鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{\phi 1}=\frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i}{2 \cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.1)$$

$$\sigma_{\phi 2}=\frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i \cdot C_v}{2 \cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.2)$$

$$\sigma_{x1}=0 \quad \cdots\cdots (2.2.1.3)$$

(2)　運転時質量及び鉛直方向地震による応力

胴がベースプレートと接合する点には，胴自身の質量による圧縮応力と鉛直方向地震による軸方向応力が生じる。

$$\sigma_{x2}=\frac{m_e \cdot g}{\pi \cdot (D_i+t) \cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.4)$$

$$\sigma_{x3}=\frac{m_e \cdot g \cdot C_v}{\pi \cdot (D_i+t) \cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.5)$$

(3)　水平方向地震による応力

水平方向の地震力により胴はベースプレート接合部で最大となる曲げモーメントを受ける。この曲げモーメントによる軸方向応力と地震力によるせん断応力は次のように求める。

$$\sigma_{x4}=\frac{4 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \ell_g}{\pi \cdot (D_i+t)^2 \cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.6)$$

$$\tau=\frac{2 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g}{\pi \cdot (D_i+t) \cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.7)$$

(4)　組合せ応力

(1)～(3)によって求めた胴の応力は以下のように組み合わせる。

a.　一次一般膜応力

(a)　組合せ引張応力

$$\sigma_{\phi}=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 2} \quad \cdots\cdots (2.2.1.8)$$

$$\sigma_{0t}=\frac{1}{2} \cdot \left\{\sigma_{\phi}+\sigma_{xt}+\sqrt{(\sigma_{\phi}-\sigma_{xt})^2+4 \cdot \tau^2}\right\} \quad \cdots\cdots (2.2.1.9)$$

ここで,

【絶対値和】

$$\sigma_{xt}=\sigma_{x1}-\sigma_{x2}+\sigma_{x3}+\sigma_{x4} \quad \cdots\cdots (2.2.1.10)$$

【ＳＲＳＳ法】

$$\sigma_{xt}=\sigma_{x1}-\sigma_{x2}+\sqrt{\sigma_{x3}^2+\sigma_{x4}^2} \quad \cdots\cdots (2.2.1.11)$$

(b)　組合せ圧縮応力

σ_{xc}が正の値（圧縮側）のとき，次の組合せ圧縮応力を求める。

$$\sigma_{\phi}=-\sigma_{\phi 1}-\sigma_{\phi 2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.12)$$

$$\sigma_{0c}=\frac{1}{2}\cdot\left\{\sigma_{\phi}+\sigma_{xc}+\sqrt{(\sigma_{\phi}-\sigma_{xc})^{2}+4\cdot\tau^{2}}\right\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.13)$$

ここで，

【絶対値和】

$$\sigma_{xc}=-\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sigma_{x3}+\sigma_{x4} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.14)$$

【ＳＲＳＳ法】

$$\sigma_{xc}=-\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sqrt{\sigma_{x3}^{2}+\sigma_{x4}^{2}} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.15)$$

したがって，胴の組合せ一次一般膜応力の最大値は，絶対値和，ＳＲＳＳ法それぞれに対して，

σ_{0}＝Max｛組合せ引張応力（σ_{0t}），組合せ圧縮応力（σ_{0c}）｝

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.16)$$

とする。

一次応力は一次一般膜応力と同じになるので省略する。

2.2.2　基礎ボルトの応力

(1)　引張応力

転倒モーメントが作用した場合に生じる基礎ボルトの引張荷重と基礎部の圧縮荷重については，荷重と変位量の釣合い条件を考慮することにより求める。(図 2－2 参照)

以下にその手順を示す。

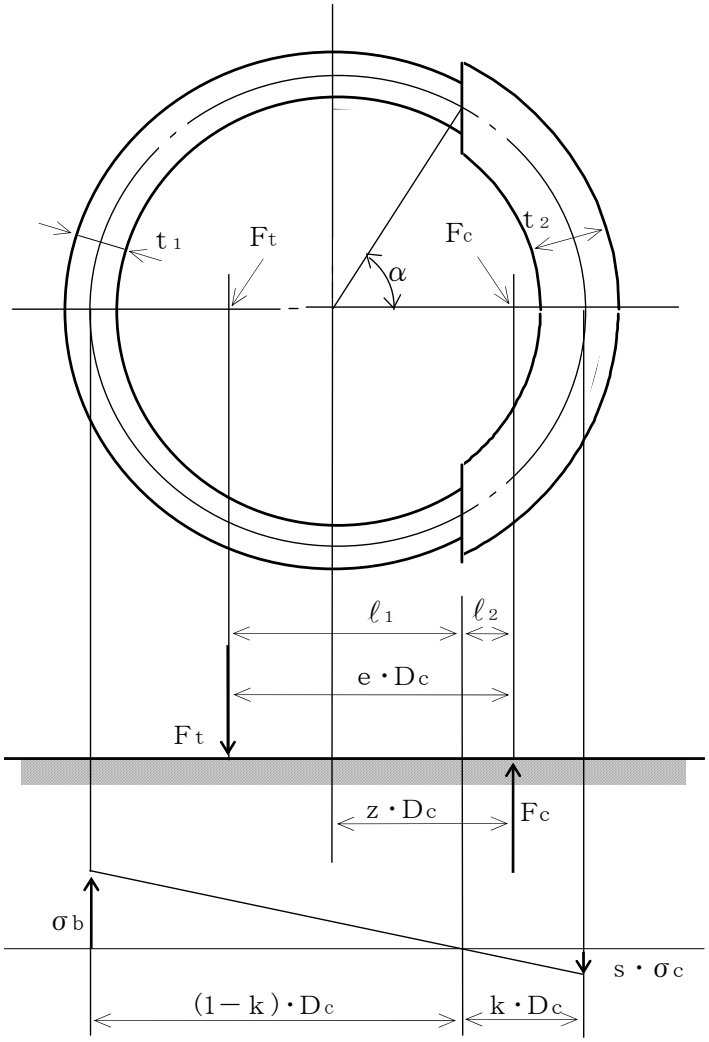


図2－2　基礎の荷重説明図

a.　σ b及びσ cを仮定して基礎ボルトの応力計算における中立軸の荷重係数 k を求める。

$$k = \frac{1}{1 + \frac{\sigma_b}{s \cdot \sigma_c}} \quad \cdots\cdots (2.2.2.1)$$

b. 基礎ボルトの応力計算における中立軸を定める角度αを求める。

$$\alpha = \cos^{-1}(1-2\cdot k) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.2)$$

c. 各定数e，z，C_t及びC_cを求める。

$$e = \frac{1}{2}\cdot\left\{\frac{(\pi-\alpha)\cdot\cos^2\alpha+\frac{1}{2}\cdot(\pi-\alpha)+\frac{3}{2}\cdot\sin\alpha\cdot\cos\alpha}{(\pi-\alpha)\cdot\cos\alpha+\sin\alpha}+\frac{\frac{1}{2}\cdot\alpha-\frac{3}{2}\cdot\sin\alpha\cdot\cos\alpha+\alpha\cdot\cos^2\alpha}{\sin\alpha-\alpha\cdot\cos\alpha}\right\} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.3)$$

$$z = \frac{1}{2}\cdot\left(\cos\alpha+\frac{\frac{1}{2}\cdot\alpha-\frac{3}{2}\cdot\sin\alpha\cdot\cos\alpha+\alpha\cdot\cos^2\alpha}{\sin\alpha-\alpha\cdot\cos\alpha}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.4)$$

$$C_t = \frac{2\cdot\{(\pi-\alpha)\cdot\cos\alpha+\sin\alpha\}}{1+\cos\alpha} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.5)$$

$$C_c = \frac{2\cdot(\sin\alpha-\alpha\cdot\cos\alpha)}{1-\cos\alpha} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.6)$$

d. 各定数を用いてF_t及びF_cを求める。

【絶対値和】

$$F_t = \frac{M_s-(1-C_v)\cdot m_0\cdot g\cdot z\cdot D_c}{e\cdot D_c} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.7)$$

$$F_c = F_t+(1-C_v)\cdot m_0\cdot g \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.8)$$

【ＳＲＳＳ法】

$$F_t = \frac{\sqrt{M_s^2+(C_v\cdot m_0\cdot g\cdot z\cdot D_c)^2}}{e\cdot D_c}-\frac{z}{e}\cdot m_0\cdot g \quad \cdots\cdots \quad (2.2.2.9)$$

$$F_c = \frac{\sqrt{M_s^2+(C_v\cdot m_0\cdot g\cdot(z-e)\cdot D_c)^2}}{e\cdot D_c}+\left(1-\frac{z}{e}\right)\cdot m_0\cdot g \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.10)$$

ここで，

$$M_s = C_H\cdot m_0\cdot g\cdot \ell_g \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.11)$$

基礎ボルトに引張力が作用しないのは，αがπに等しくなったときであり，（2.2.2.3）式及び（2.2.2.4）式においてαをπに近づけた場合の値e＝0.75及びz＝0.25を（2.2.2.7）式又は（2.2.2.9）式に代入し，得られるF_tの値によって引張力の有無を次のように判定する。

$F_t \leqq 0$ならば引張力は作用しない。

$F_t > 0$ならば引張力が作用しているので次の計算を行う。

e.　σ_b及びσ_cを求める。

$$\sigma_b = \frac{2 \cdot F_t}{t_1 \cdot D_c \cdot C_t} \quad \cdots\cdots (2.2.2.12)$$

$$\sigma_c = \frac{2 \cdot F_c}{(t_2 + s \cdot t_1) \cdot D_c \cdot C_c} \quad \cdots\cdots (2.2.2.13)$$

ここで,

$$t_1 = \frac{n \cdot A_b}{\pi \cdot D_c} \quad \cdots\cdots (2.2.2.14)$$

$$t_2 = \frac{1}{2} \cdot (D_{bo} - D_{bi}) - t_1 \quad \cdots\cdots (2.2.2.15)$$

σ_b及びσ_cがa項にて仮定した値と十分に近似していることを確認する。この場合のσ_b及びσ_cを基礎ボルトと基礎に生じる応力とする。

(2)　せん断応力

$$\tau_b = \frac{C_H \cdot m_0 \cdot g}{n \cdot A_b} \quad \cdots\cdots (2.2.2.16)$$

3.　評価方法

3.1　固有周期の評価

2.1項で求めた固有周期から，水平方向及び鉛直方向の設計震度を求める。

3.2　応力の評価

3.2.1　胴の応力評価

(1)　2.2.1項で求めた組合せ応力が胴の最高使用温度における許容応力Ｓａ以下であること。

応力の種類	許　容　応　力　Sa
一次一般膜応力	設計降伏点Ｓｙと設計引張強さＳｕの0.6倍のいずれか小さい方の値。ただし，オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金にあっては許容引張応力Ｓの1.2倍の方が大きい場合は，この大きい方の値とする。

一次応力の評価は算出応力が一次一般膜応力と同じ値であるので省略する。

(2)　圧縮膜応力（圧縮応力と曲げによる圧縮側応力の組合せ）は次式を満足すること。

（座屈の評価）

$$\frac{\eta \cdot (\sigma_{x2}+\sigma_{x3})}{f_c}+\frac{\eta \cdot \sigma_{x4}}{f_b} \leqq 1 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.2.1.1)$$

ここで，f_cは次による。

$\dfrac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t} \leqq \dfrac{1200\cdot g}{F}$　のとき

$$f_c = F \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.2.1.2)$$

$\dfrac{1200\cdot g}{F} < \dfrac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t} < \dfrac{8000\cdot g}{F}$ のとき

$$f_c = F\cdot\left[1-\frac{1}{6800\cdot g}\cdot\left\{F-\phi_1\left(\frac{8000\cdot g}{F}\right)\right\}\cdot\left(\frac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t}-\frac{1200\cdot g}{F}\right)\right]$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.2.1.3)$$

$\dfrac{8000\cdot g}{F} \leqq \dfrac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t} \leqq 800$　のとき

$$f_c = \phi_1\left(\frac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.2.1.4)$$

ただし，$\phi_1(x)$は次の関数とする。

$$\phi_1(x) = 0.6\cdot\frac{E}{x}\cdot\left[1-0.901\cdot\left\{1-\exp\left(-\frac{1}{16}\cdot\sqrt{x}\right)\right\}\right]$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.2.1.5)$$

また，f_bは次による。

$\frac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t} \leqq \frac{1200\cdot g}{F}$　のとき

$$f_b = F \quad \cdots\cdots (3.2.1.6)$$

$\frac{1200\cdot g}{F} < \frac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t} < \frac{9600\cdot g}{F}$　のとき

$$f_b = F\cdot\left[1-\frac{1}{8400\cdot g}\cdot\left\{F-\phi_2\left(\frac{9600\cdot g}{F}\right)\right\}\cdot\left(\frac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t}-\frac{1200\cdot g}{F}\right)\right] \quad \cdots\cdots (3.2.1.7)$$

$\frac{9600\cdot g}{F} \leqq \frac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t} \leqq 800$　のとき

$$f_b = \phi_2\left(\frac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t}\right) \quad \cdots\cdots (3.2.1.8)$$

ただし，ϕ_2（x）は次の関数とする。

$$\phi_2(x) = 0.6\cdot\frac{E}{x}\cdot\left[1-0.731\cdot\left\{1-\exp\left(-\frac{1}{16}\cdot\sqrt{x}\right)\right\}\right] \quad \cdots\cdots (3.2.1.9)$$

ηは安全率で次による。

$\frac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t} \leqq \frac{1200\cdot g}{F}$　のとき

$$\eta = 1 \quad \cdots\cdots (3.2.1.10)$$

$\frac{1200\cdot g}{F} < \frac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t} < \frac{8000\cdot g}{F}$　のとき

$$\eta = 1+\frac{0.5\cdot F}{6800\cdot g}\cdot\left(\frac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t}-\frac{1200\cdot g}{F}\right) \quad \cdots\cdots (3.2.1.11)$$

$\frac{8000\cdot g}{F} \leqq \frac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t}$　のとき

$$\eta = 1.5 \quad \cdots\cdots (3.2.1.12)$$

3.2.2　基礎ボルトの応力評価

2.2.2 項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。

$$f_{ts}=1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.2.2.1)$$

かつ,

$$f_{ts}\leqq f_{to} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.2.2.2)$$

ただし，f_{to} 及び f_{sb} は下表による。

	許容引張応力　f_{to}	許容せん断応力　f_{sb}
計　　算　　式	$\dfrac{F}{2}\cdot 1.5$	$\dfrac{F}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

付録2　スカート支持たて置円筒形容器（耐震設計上の重要度分類Ｂクラス）の耐震性についての計算書作成の基本方針

1.　一般事項

本基本方針は，スカート支持たて置円筒形容器（耐震設計上の重要度分類Bクラス）の耐震性についての計算方法を示す。

1.1　適用基準

本基本方針における計算方法は，原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和62年8月）に準拠する。

1.2　計算条件

(1)　容器及び内容物の質量は重心に集中するものとする。

(2)　地震力は容器に対して水平方向に作用するものとする。

(3)　また，参考評価として，基準地震動Ｓｓ相当の水平震度に対して健全性が維持されることを確認する。この場合の許容応力は耐震設計上の重要度分類Bクラスの値で評価する。

(4)　容器はスカートで支持され，スカートは下端のベースプレートを円周上等ピッチの多数の基礎ボルトで基礎又は架台に固定された固定端とする。ここで，基礎又は架台については剛となるように設計する。

(5)　胴とスカートをはりと考え，変形モードは曲げ及びせん断変形を考慮する。

(6)　容器頂部に水平方向変位を拘束する構造物を設ける場合は，その部分をピン支持とする。

(7)　スカート部材において，マンホール等の開口部があって補強をしていない場合は，欠損の影響を考慮する。

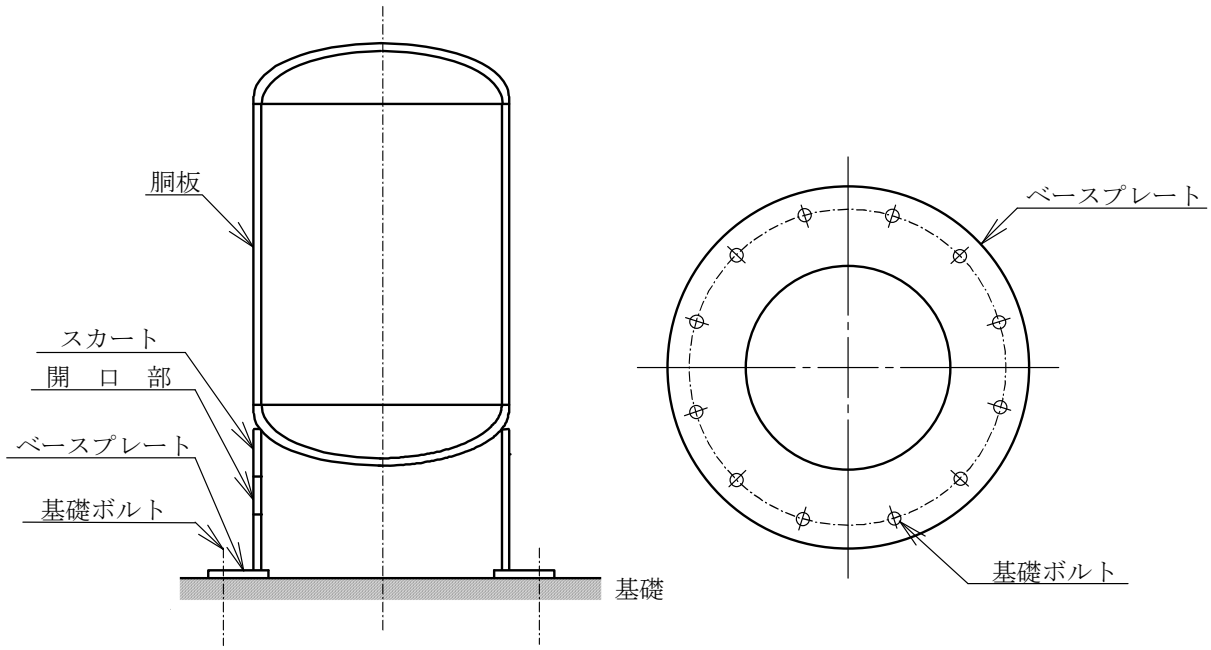


図1－1　概　要　図

1.3　記号の説明

記　　号	記　　号　　の　　説　　明	単　　位
A	胴の軸断面積	mm^2
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
A_e	胴の有効せん断断面積	mm^2
A_s	スカートの軸断面積	mm^2
A_{se}	スカートの有効せん断断面積	mm^2
C_c	基礎ボルト計算における係数	－
C_H	水平方向設計震度	－
C_t	基礎ボルト計算における係数	－
C_v	鉛直方向設計震度	－
D_{bi}	ベースプレートの内径	mm
D_{bo}	ベースプレートの外径	mm
D_c	基礎ボルトのピッチ円直径	mm
D_i	胴の内径	mm
D_j	スカートに設けられた各開口部の穴径（j=1,2,3…j_1）	mm
D_s	スカートの内径	mm
E	胴の縦弾性係数	MPa
	設計・建設規格　付録材料図表　Part6　表1に定める値。又は、ASME BPVCセクションⅡ　Material Specifications PartD-Properties Subpart2　Physical Properties Tables Table TM-1~TM-5による	
E_s	スカートの縦弾性係数	MPa
	設計・建設規格　付録材料図表　Part6　表1に定める値。又は、ASME BPVCセクションⅡ　Material Specifications PartD-Properties Subpart2　Physical Properties Tables Table TM-1～TM-5による	
e	基礎ボルト計算における係数	－
F	設計・建設規格　SSB-3121.1又はSSB-3131に定める値	MPa
F_c	基礎に作用する圧縮力	N
F_t	基礎ボルトに作用する引張力	N
f_b	曲げモーメントに対する許容座屈応力	MPa
f_c	軸圧縮荷重に対する許容座屈応力	MPa
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_t	スカートの許容引張応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa

記　号	記　号　の　説　明	単　位
G	胴のせん断弾性係数	MPa
G_s	スカートのせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
H	水頭	mm
I	胴の断面二次モーメント	mm^4
I_s	スカートの断面二次モーメント	mm^4
j_1	スカートに設けられた開口部の穴の個数	－
K_H	水平方向のばね定数	N/m
K_v	鉛直方向のばね定数	N/m
k	基礎ボルト計算における中立軸の荷重係数	－
ℓ	胴のスカート接合点から重心までの距離	mm
ℓ_1，ℓ_2	基礎ボルト計算における中立軸から荷重作用点までの距離	mm
ℓ_r	容器の重心から上端支持部までの距離	mm
ℓ_s	スカートの長さ	mm
M_s	スカートに作用する転倒モーメント	N･mm
M_{s1}	スカートの上端部に作用する転倒モーメント	N･mm
M_{s2}	スカートの下端部に作用する転倒モーメント	N･mm
m_0	容器の運転時質量	kg
m_e	容器のスカート接合部から上部の空質量	kg
n	基礎ボルトの本数	－
P_r	最高使用圧力	MPa
Q	重心に作用する任意の水平力	N
Q′	Qにより上端の支持部に作用する反力	N
S	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5に定める値。又は、ASME BPVCセクションⅡMaterial Specifications PartD-Properties Subpart1 -Stress Tables Table 1Aによる。	MPa
S_a	胴の許容応力	MPa
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値。 又は，ASME BPVCセクションⅡMaterial Specifications PartD-Properties Subpart1 -Stress Tables Table Uによる。	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値。 又は，ASME BPVCセクションⅡMaterial Specifications PartD-Properties Subpart1 -Stress Tables Table Y-1による。	MPa
s	基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比	－
T_H	水平方向固有周期	s
T_v	鉛直方向固有周期	s

記　号	記　号　の　説　明	単　位
t	胴板の厚さ	mm
t_1	基礎ボルト面積相当板幅	mm
t_2	圧縮側基礎相当幅	mm
t_s	スカートの厚さ	mm
Y	スカート開口部の水平断面における最大円周長さ	mm
z	基礎ボルト計算における係数	－
α	基礎ボルト計算における中立軸を定める角度	rad
δ	荷重Qによる容器の上端での変位量	mm
δ'	荷重Q′による容器の上端での変位量	mm
δ_0	荷重Q，Q′による容器の重心での変位量	mm
η	座屈応力に対する安全率	－
π	円周率	－
ρ'	液体の密度（＝比重×10^{-6}）	kg/mm^3
σ_0	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{0c}	胴の組合せ圧縮応力	MPa
σ_{0t}	胴の組合せ引張応力	MPa
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_c	基礎に生じる圧縮応力	MPa
σ_s	スカートの組合せ応力	MPa
σ_{s1}	スカートの運転時質量による軸方向応力	MPa
σ_{s2}	スカートの曲げモーメントによる軸方向応力	MPa
σ_{s3}	スカートの鉛直方向地震による軸方向応力	MPa
σ_{x1}，$\sigma_{\phi1}$	静水頭又は内圧により胴に生じる軸方向及び周方向応力	MPa
σ_{x2}	胴の運転時質量による軸方向引張応力	MPa
σ_{x3}	胴の空質量による軸方向圧縮応力	MPa
σ_{x4}	地震により胴に生じる軸方向応力	MPa
σ_{x5}	胴の鉛直方向地震による軸方向引張応力	MPa
σ_{x6}	胴の鉛直方向地震による軸方向圧縮応力	MPa
σ_{xc}	胴の軸方向応力の和（圧縮側）	MPa
σ_{xt}	胴の軸方向応力の和（引張側）	MPa
σ_ϕ	胴の周方向応力の和	MPa
$\sigma_{\phi2}$	静水頭に鉛直方向地震が加わり胴に生じる周方向応力	MPa
τ	地震により胴に生じるせん断応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_s	地震によりスカートに生じるせん断応力	MPa

記　　号	記　　号　　の　　説　　明	単　　位
$\phi_1(x)$	圧縮荷重に対する許容座屈応力の関数	MPa
$\phi_2(x)$	曲げモーメントに対する許容座屈応力の関数	MPa

注：「設計・建設規格」とは，発電用原子力設備規格（設計・建設規格　JSME S NC-1－2005）（日本機械学会　2005年9月及び2007年9月）をいう。

「ASME　BPVC セクションⅡ」とは、

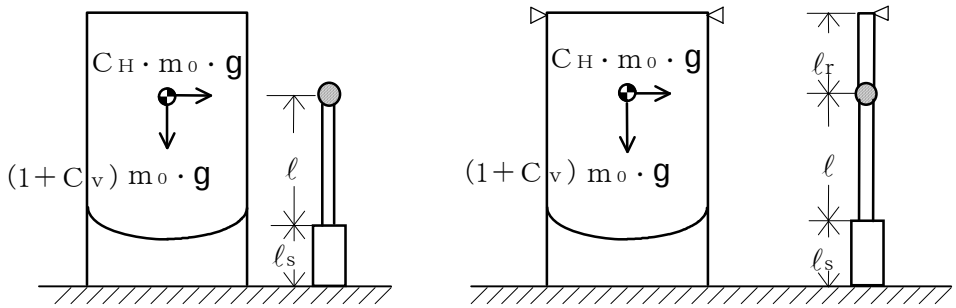
The American Society of Mechanical Engineers「Boiler and Pressure Vessels Code」Section Ⅱ； Material Specifications （米国機械学会　セクションⅡ　材料規格)をいう。

2.　計算方法

2.1　固有周期の計算方法

(1)　計算モデル

本容器は，1.2項より図2－1に示す下端固定の1質点系振動モデルあるいは下端固定上端支持の1質点系振動モデルとして考える。



下端固定の場合　　下端固定上端支持の場合

図2－1　固有周期の計算モデル

(2)　水平方向固有周期

a.　下端固定の場合

曲げ及びせん断変形によるばね定数K_Hは次式で求める。

$$K_H = 1000 \Big/ \left\{ \frac{\ell^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{1}{3 \cdot E_s \cdot I_s} \cdot (3 \cdot \ell^2 \cdot \ell_s + 3 \cdot \ell \cdot \ell_s^2 + \ell_s^3) + \frac{\ell}{G \cdot A_e} + \frac{\ell_s}{G_s \cdot A_{se}} \right\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.1)$$

ここで，スカートの開口部（図 2－2 参照）による影響を考慮し，胴及びスカートの断面性能は次のように求める。

胴の断面性能は

$$I = \frac{\pi}{8} \cdot (D_i + t)^3 \cdot t \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.2)$$

$$A_e = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot (D_i + t) \cdot t \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.3)$$

スカートの断面性能は

$$I_s = \frac{\pi}{8} \cdot (D_s + t_s)^3 \cdot t_s - \frac{1}{4} \cdot (D_s + t_s)^2 \cdot t_s \cdot Y \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.4)$$

スカート開口部の水平断面における最大円周長さは，（図 2－2 及び図 2－3 参照）

$$Y=\sum_{j=1}^{j\ 1}(D_s+t_s)\cdot\sin^{-1}\left(\frac{D_j}{D_s+t_s}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.5)$$

$$A_{se}=\frac{2}{3}\cdot\{\pi\cdot(D_s+t_s)-Y\}\cdot t_s \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.6)$$

したがって，固有周期は次式で求める。

$$T_H=2\cdot\pi\cdot\sqrt{\frac{m_0}{K_H}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.7)$$

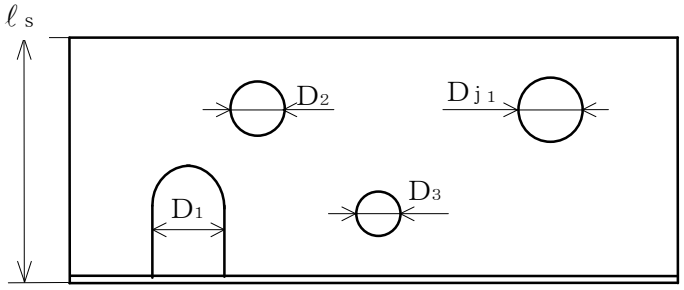


図2－2　スカート開口部の形状

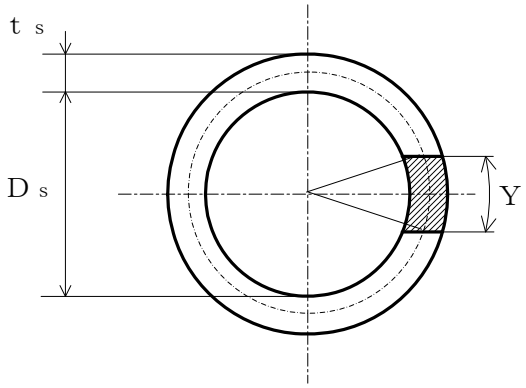


図2－3　スカート開口部の水平断面における最大円周長さ

b.　下端固定上端支持の場合

重心の位置に水平方向の荷重Qが作用したときに上端の支持部に生じる反力Q′は，図 2－4 に示すように荷重Q及び反力Q′による上端の変位量δとδ′が等しいとして求める。

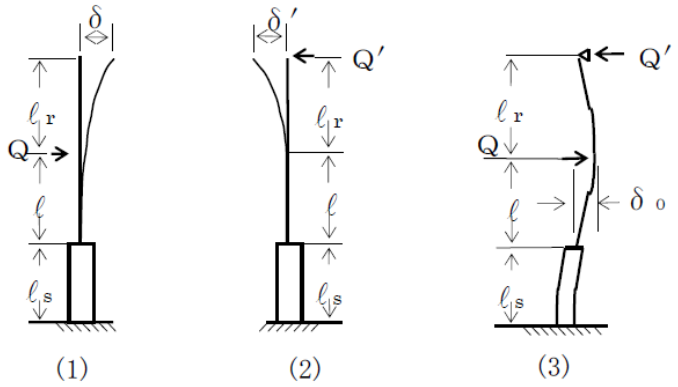


図2－4　下端固定上端支持の場合の変形モデル

図 2－4 の(1)の場合

$$\delta = \frac{Q \cdot \ell^2}{6 \cdot E \cdot I} \cdot (2 \cdot \ell + 3 \cdot \ell_r) + \frac{Q}{6 \cdot E_s \cdot I_s} \cdot \{2 \cdot \ell_s^3 + 3 \cdot \ell_s^2 \cdot \ell_r + 6 \cdot \ell_s \cdot \ell \cdot (\ell_s + \ell + \ell_r)\} + \frac{Q \cdot \ell}{G \cdot A_e} + \frac{Q \cdot \ell_s}{G_s \cdot A_{se}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.8)$$

図 2－4 の(2)の場合

$$\delta' = \frac{Q' \cdot (\ell + \ell_r)^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{Q'}{3 \cdot E_s \cdot I_s} \cdot \{3 \cdot (\ell + \ell_r)^2 \cdot \ell_s + 3 \cdot (\ell + \ell_r) \cdot \ell_s^2 + \ell_s^3\} + \frac{Q' \cdot (\ell + \ell_r)}{G \cdot A_e} + \frac{Q' \cdot \ell_s}{G_s \cdot A_{se}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.9)$$

(2.1.8) 式と (2.1.9) 式を等しく置くことにより，

$$Q' = Q \cdot \left\{ \frac{\ell^2 \cdot (2 \cdot \ell + 3 \cdot \ell_r)}{6 \cdot E \cdot I} + \frac{2 \cdot \ell_s^3 + 3 \cdot \ell_s^2 \cdot \ell_r + 6 \cdot \ell_s \cdot \ell \cdot (\ell_s + \ell + \ell_r)}{6 \cdot E_s \cdot I_s} + \frac{\ell}{G \cdot A_e} + \frac{\ell_s}{G_s \cdot A_{se}} \right\} \Big/ \left\{ \frac{(\ell + \ell_r)^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{3 \cdot (\ell + \ell_r)^2 \cdot \ell_s + 3 \cdot (\ell + \ell_r) \cdot \ell_s^2 + \ell_s^3}{3 \cdot E_s \cdot I_s} + \frac{\ell + \ell_r}{G \cdot A_e} + \frac{\ell_s}{G_s \cdot A_{se}} \right\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.10)$$

したがって，図 2－4 の(3)に示す重心位置での変位量δ_oは図 2－4 の(1)及び(2)の

重心位置での変位量の重ね合せから求めることができ，ばね定数K_Hは次式で求める。

$$K_H=\frac{Q}{\delta_o}=1000\ /\ \left\{\ \frac{\ell^3}{3\cdot E\cdot I}+\frac{3\cdot\ell^2\cdot\ell_s+3\cdot\ell\cdot\ell_s^2+\ell_s^3}{3\cdot E_s\cdot I_s}+\left(1-\frac{Q'}{Q}\right)\cdot\left(\frac{\ell}{G\cdot A_e}+\frac{\ell_s}{G_s\cdot A_{se}}\right)-\frac{Q'}{Q}\cdot\left(\frac{2\cdot\ell^3+3\cdot\ell^2\cdot\ell_r}{6\cdot E\cdot I}+\frac{3\cdot\ell_s^2\cdot\ell+\ell_s^3+3\cdot\ell_s\cdot\ell^2+3\cdot\ell_s\cdot\ell\cdot\ell_r+\frac{3}{2}\cdot\ell_s^2\cdot\ell_r}{3\cdot E_s\cdot I_s}\right)\right\} \quad \cdots\cdots (2.1.11)$$

固有周期は（2.1.7）式により求める。

(3) 鉛直方向固有周期

軸方向変形によるばね定数K_vは，次式で求める。

$$K_v=1000\ /\left(\frac{\ell}{E\cdot A}+\frac{\ell_s}{E_s\cdot A_s}\right) \quad \cdots\cdots (2.1.12)$$

$$A=\pi\cdot(D_i+t)\cdot t \quad \cdots\cdots (2.1.13)$$

$$A_s=\{\pi\cdot(D_s+t_s)-Y\}\cdot t_s \quad \cdots\cdots (2.1.14)$$

したがって，固有周期T_vは次式で求める。

$$T_v=2\cdot\pi\cdot\sqrt{\frac{m_o}{K_v}} \quad \cdots\cdots (2.1.15)$$

2.2　応力の計算方法

応力計算において，静的地震力を用いる場合は絶対値和を用い，動的地震力を用いる場合は，ＳＲＳＳ法を用いることができる。

2.2.1　胴の応力

(1)　静水頭又は内圧による応力

静水頭による場合（鉛直方向地震時を含む。）

$$\sigma_{\phi 1}=\frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i}{2 \cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.1)$$

$$\sigma_{\phi 2}=\frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i \cdot C_v}{2 \cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.2)$$

$$\sigma_{x1}=0 \quad \cdots\cdots (2.2.1.3)$$

内圧による場合

$$\sigma_{\phi 1}=\frac{P_r \cdot (D_i+1.2 \cdot t)}{2 \cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.4)$$

$$\sigma_{\phi 2}=0 \quad \cdots\cdots (2.2.1.5)$$

$$\sigma_{x1}=\frac{P_r \cdot (D_i+1.2 \cdot t)}{4 \cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.6)$$

(2)　運転時質量及び鉛直方向地震による応力

胴がスカートと接合する点を境界として，上部には胴自身の質量による圧縮応力が，下部には下部の胴自身の質量と内容物の質量による引張応力が生じる。

下部の胴について

$$\sigma_{x2}=\frac{(m_0-m_e) \cdot g}{\pi \cdot (D_i+t) \cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.7)$$

$$\sigma_{x5}=\frac{(m_0-m_e) \cdot g \cdot C_v}{\pi \cdot (D_i+t) \cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.8)$$

上部の胴について

$$\sigma_{x3}=\frac{m_e \cdot g}{\pi \cdot (D_i+t) \cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.9)$$

$$\sigma_{x6}=\frac{m_e \cdot g \cdot C_v}{\pi \cdot (D_i+t) \cdot t} \quad \cdots\cdots (2.2.1.10)$$

(3)　水平方向地震による応力

水平方向の地震力により胴はスカート接合部で最大となる曲げモーメントを受ける。この曲げモーメントによる軸方向応力と地震力によるせん断応力は次のように求める。

a.　下端固定の場合

$$\sigma_{x4}=\frac{4\cdot C_H\cdot m_0\cdot g\cdot \ell}{\pi\cdot(D_i+t)^2\cdot t} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.11)$$

$$\tau=\frac{2\cdot C_H\cdot m_0\cdot g}{\pi\cdot(D_i+t)\cdot t} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.12)$$

b.　下端固定上端支持の場合

$$\sigma_{x4}=\frac{4\cdot C_H\cdot m_0\cdot g\cdot\left|\ell-\frac{Q'}{Q}\cdot(\ell+\ell_r)\right|}{\pi\cdot(D_i+t)^2\cdot t} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.13)$$

$$\tau=\frac{2\cdot C_H\cdot m_0\cdot g\cdot\left(1-\frac{Q'}{Q}\right)}{\pi\cdot(D_i+t)\cdot t} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.14)$$

(4)　組合せ応力

(1)～(3)によって求めた胴の応力は以下のように組み合わせる。

a.　一次一般膜応力

(a)　組合せ引張応力

$$\sigma_\phi=\sigma_{\phi1}+\sigma_{\phi2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.15)$$

$$\sigma_{0t}=\frac{1}{2}\cdot\left\{\sigma_\phi+\sigma_{xt}+\sqrt{(\sigma_\phi-\sigma_{xt})^2+4\cdot\tau^2}\right\}$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.16)$$

ここで,

【絶対値和】

$$\sigma_{xt}=\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sigma_{x4}+\sigma_{x5} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.17)$$

【ＳＲＳＳ法】

$$\sigma_{xt}=\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sqrt{\sigma_{x4}{}^2+\sigma_{x5}{}^2} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.18)$$

(b)　組合せ圧縮応力

$$\sigma_\phi=-\sigma_{\phi1}-\sigma_{\phi2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.19)$$

σ_{xc}が正の値（圧縮側）のとき，次の組合せ圧縮応力を求める。

$$\sigma_{0c}=\frac{1}{2}\cdot\left\{\sigma_\phi+\sigma_{xc}+\sqrt{(\sigma_\phi-\sigma_{xc})^2+4\cdot\tau^2}\right\}$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.20)$$

ここで，

【絶対値和】

$$\sigma_{xc} = -\sigma_{x1} + \sigma_{x3} + \sigma_{x4} + \sigma_{x6} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.21)$$

【ＳＲＳＳ法】

$$\sigma_{xc} = -\sigma_{x1} + \sigma_{x3} + \sqrt{\sigma_{x4}^{2} + \sigma_{x6}^{2}} \quad \cdots\cdots \quad (2.2.1.22)$$

したがって，胴の組合せ一次一般膜応力の最大値は，絶対値和，ＳＲＳＳ法それぞれに対して，

σ_0＝Max｛組合せ引張応力（σ_{0t}），組合せ圧縮応力（σ_{0c}）｝

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.23)$$

とする。

一次応力は一次一般膜応力と同じになるので省略する。

2.2.2　スカートの応力

(1)　運転時質量及び鉛直方向地震による応力

スカート底部に生じる運転時質量及び鉛直方向地震による圧縮応力は次式で求める。

$$\sigma_{s1} = \frac{m_0 \cdot g}{\{\pi \cdot (D_s + t_s) - Y\} \cdot t_s} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.1)$$

$$\sigma_{s3} = \frac{m_0 \cdot g \cdot C_V}{\{\pi \cdot (D_s + t_s) - Y\} \cdot t_s} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.2)$$

(2)　水平方向地震による応力

水平方向の地震力によりスカートには曲げモーメントが作用する。この曲げモーメントによる軸方向応力と地震力によるせん断応力は次のように求める。

a.　下端固定の場合

$$\sigma_{s2} = \frac{M_s}{(D_s + t_s) \cdot t_s \cdot \left\{\frac{\pi}{4} \cdot (D_s + t_s) - \frac{Y}{2}\right\}} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.3)$$

$$\tau_s = \frac{2 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g}{\{\pi \cdot (D_s + t_s) - Y\} \cdot t_s} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.4)$$

ここで，

$$M_s = C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot (\ell_s + \ell) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.5)$$

b.　下端固定上端支持の場合

軸方向応力は（2.2.2.3）式で表されるが，曲げモーメントM_sは次のM_{s1}又はM_{s2}のいずれか大きい方の値とする。

$$M_{s1}=C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \left| \ell - \frac{Q'}{Q} \cdot (\ell+\ell_r) \right| \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.6)$$

$$M_{s2}=C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \left| \ell_s + \ell - \frac{Q'}{Q} \cdot (\ell_s+\ell+\ell_r) \right| \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.7)$$

$$\tau_s=\frac{2 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot (1-\frac{Q'}{Q})}{\{\pi \cdot (D_s+t_s)-Y\} \cdot t_s} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.8)$$

(3)　組合せ応力

組合せ応力は次式で求める。

【絶対値和】

$$\sigma_s=\sqrt{(\sigma_{s1}+\sigma_{s2}+\sigma_{s3})^2+3 \cdot \tau_s^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.9)$$

【ＳＲＳＳ法】

$$\sigma_s=\sqrt{(\sigma_{s1}+\sqrt{\sigma_{s2}^2+\sigma_{s3}^2})^2+3 \cdot \tau_s^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.10)$$

2.2.3　基礎ボルトの応力

(1)　引張応力

基礎に作用する転倒モーメントＭｓは下端固定の場合，（2.2.2.5）式を，下端固定上端支持の場合は（2.2.2.6）式又は（2.2.2.7）式を用いる。

転倒モーメントが作用した場合に生じる基礎ボルトの引張荷重と基礎部の圧縮荷重については，荷重と変位量の釣合い条件を考慮することにより求める。（図２－５参照）

以下にその手順を示す。

a.　σｂ及びσｃを仮定して基礎ボルトの応力計算における中立軸の荷重係数ｋを求める。

$$k=\frac{1}{1+\frac{\sigma_b}{s\cdot\sigma_c}} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.3.1)$$

b.　基礎ボルトの応力計算における中立軸を定める角度αを求める。

$$\alpha=\cos^{-1}(1-2\cdot k) \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.3.2)$$

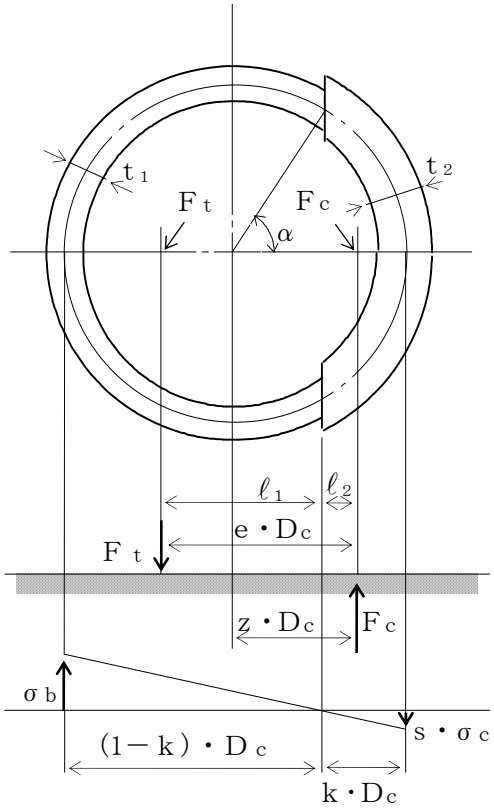


図2－5　基礎の荷重説明図

c. 各定数ｅ，ｚ，C_t及びC_cを求める。

$$e=\frac{1}{2}\cdot\left\{\frac{(\pi-\alpha)\cdot\cos^2\alpha+\frac{1}{2}\cdot(\pi-\alpha)+\frac{3}{2}\cdot\sin\alpha\cdot\cos\alpha}{(\pi-\alpha)\cdot\cos\alpha+\sin\alpha}+\frac{\frac{1}{2}\cdot\alpha-\frac{3}{2}\cdot\sin\alpha\cdot\cos\alpha+\alpha\cdot\cos^2\alpha}{\sin\alpha-\alpha\cdot\cos\alpha}\right\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.3.3)$$

$$z=\frac{1}{2}\cdot\left(\cos\alpha+\frac{\frac{1}{2}\cdot\alpha-\frac{3}{2}\cdot\sin\alpha\cdot\cos\alpha+\alpha\cdot\cos^2\alpha}{\sin\alpha-\alpha\cdot\cos\alpha}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.3.4)$$

$$C_t=\frac{2\cdot\{(\pi-\alpha)\cdot\cos\alpha+\sin\alpha\}}{1+\cos\alpha} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.3.5)$$

$$C_c=\frac{2\cdot(\sin\alpha-\alpha\cdot\cos\alpha)}{1-\cos\alpha} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.3.6)$$

d. 各定数を用いてF_t及びF_cを求める。

【絶対値和】

$$F_t=\frac{M_s-(1-C_v)\cdot m_0\cdot g\cdot z\cdot D_c}{e\cdot D_c} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.3.7)$$

$$F_c=F_t+(1-C_v)\cdot m_0\cdot g \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.3.8)$$

【ＳＲＳＳ法】

$$F_t=\frac{\sqrt{M_s^2+(C_v\cdot m_0\cdot g\cdot z\cdot D_c)^2}}{e\cdot D_c}-\frac{z}{e}\cdot m_0\cdot g \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.3.9)$$

$$F_c=\frac{\sqrt{M_s^2+(C_v\cdot m_0\cdot g\cdot(z-e)\cdot D_c)^2}}{e\cdot D_c}+(1-\frac{z}{e})\cdot m_0\cdot g \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.3.10)$$

基礎ボルトに引張力が作用しないのは，αがπに等しくなったときであり，（2.2.3.3）式及び（2.2.3.4）式においてαをπに近づけた場合の値　ｅ＝0.75及びｚ＝0.25を（2.2.3.7）式又は（2.2.3.9）式に代入し，得られるF_tの値によって引張力の有無を次のように判定する。

$F_t \leqq 0$ならば引張力は作用しない。

$F_t > 0$ならば引張力が作用しているので次の計算を行う。

e.　σ_b及びσ_cを求める。

$$\sigma_b=\frac{2\cdot F_t}{t_1\cdot D_c\cdot C_t} \quad \cdots\cdots\cdots\

3.　評価方法

3.1　固有周期の評価

2.1 項で求めた固有周期から「Ⅳ-2-＊ 申請設備に係る耐震設計の基本方針」に基づき，水平方向及び鉛直方向の設計震度を求める。

3.2　応力の評価

3.2.1　胴の応力評価

2.2.1 項で求めた組合せ応力が胴の最高使用温度における許容応力S_a以下であること。

応力の種類	許　容　応　力　S_a
一次一般膜応力	設計降伏点S_yと設計引張強さS_uの0.6倍のいずれか小さい方の値。ただし，オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金にあっては許容引張応力Sの1.2倍の方が大きい場合は，この大きい方の値とする。

一次応力の評価は算出応力が一次一般膜応力と同じ値であるので省略する。

3.2.2　スカートの応力評価

(1)　2.2.2項で求めたスカートの組合せ応力が許容引張応力 f_t以下であること。

$$f_t=\frac{F}{1.5}\cdot 1.5 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.2.2.1)$$

(2)　圧縮膜応力（圧縮応力と曲げによる圧縮側応力の組合せ）は次式を満足すること。

(座屈の評価)

$$\frac{\eta\cdot(\sigma_{s1}+\sigma_{s3})}{f_c}+\frac{\eta\cdot\sigma_{s2}}{f_b}\leqq 1 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.2.2.2)$$

ここで，f_cは次による。

$\dfrac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s}\leqq\dfrac{1200\cdot g}{F}$　のとき

$$f_c=F \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.2.2.3)$$

$\dfrac{1200\cdot g}{F}<\dfrac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s}<\dfrac{8000\cdot g}{F}$　のとき

$$f_c=F\cdot\left[1-\frac{1}{6800\cdot g}\cdot\left\{F-\phi_1\left(\frac{8000\cdot g}{F}\right)\right\}\cdot\left(\frac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s}-\frac{1200\cdot g}{F}\right)\right]$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.2.2.4)$$

$$\frac{8000\cdot g}{F}\leqq\frac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s}\leqq 800 \quad \text{のとき}$$

$$f_c=\phi_1\left(\frac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.2.2.5)$$

ただし，$\phi_1(x)$は次の関数とする。

$$\phi_1(x)=0.6\cdot\frac{E_s}{x}\cdot\left[1-0.901\cdot\left\{1-\exp\left(-\frac{1}{16}\cdot\sqrt{x}\right)\right\}\right]\cdots \quad (3.2.2.6)$$

また，f_bは次による。

$$\frac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s}\leqq\frac{1200\cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_b=F \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.2.2.7)$$

$$\frac{1200\cdot g}{F}<\frac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s}<\frac{9600\cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_b=F\cdot\left[1-\frac{1}{8400\cdot g}\cdot\left\{F-\phi_2\left(\frac{9600\cdot g}{F}\right)\right\}\right.$$

$$\left.\cdot\left(\frac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s}-\frac{1200\cdot g}{F}\right)\right] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.2.2.8)$$

$$\frac{9600\cdot g}{F}\leqq\frac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s}\leqq 800 \quad \text{のとき}$$

$$f_b=\phi_2\left(\frac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.2.2.9)$$

ただし，$\phi_2(x)$は次の関数とする。

$$\phi_2(x)=0.6\cdot\frac{E_s}{x}\cdot\left[1-0.731\cdot\left\{1-\exp\left(-\frac{1}{16}\cdot\sqrt{x}\right)\right\}\right] \quad \cdots \quad (3.2.2.10)$$

ηは安全率で次による。

$$\frac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s}\leqq\frac{1200\cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$\eta=1 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.2.2.11)$$

$$\frac{1200\cdot g}{F}<\frac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s}<\frac{8000\cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$\eta=1+\frac{0.5\cdot F}{6800\cdot g}\cdot\left(\frac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s}-\frac{1200\cdot g}{F}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.2.2.12)$$

$$\frac{8000 \cdot g}{F} \leqq \frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \quad \text{のとき}$$

$$\eta = 1.5 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.2.2.13)$$

3.2.3　基礎ボルトの応力評価

2.2.3項で求めた基礎ボルトの引張応力σ_bは次式より求めた許容引張応力f_{ts}以下であること。

せん断応力τ_bはせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力f_{sb}以下であること。

$$f_{ts} = 1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.2.3.1)$$

かつ,

$$f_{ts} \leqq f_{to} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.2.3.2)$$

ただし，f_{to}及びf_{sb}は下表による。

	許容引張応力　f_{to}	許容せん断応力　f_{sb}
計　　算　　式	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

付録3.　多核種吸着塔（耐震設計上の重要度分類Bクラス）の耐震性についての計算書作成の基本方針

1.　一般事項

本基本方針は，多核種吸着塔（耐震設計上の重要度分類Ｂクラス）の耐震性についての計算方法を示す。

1.1　適用基準

本基本方針における計算方法は，原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987　（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和62年8月）に準拠する。

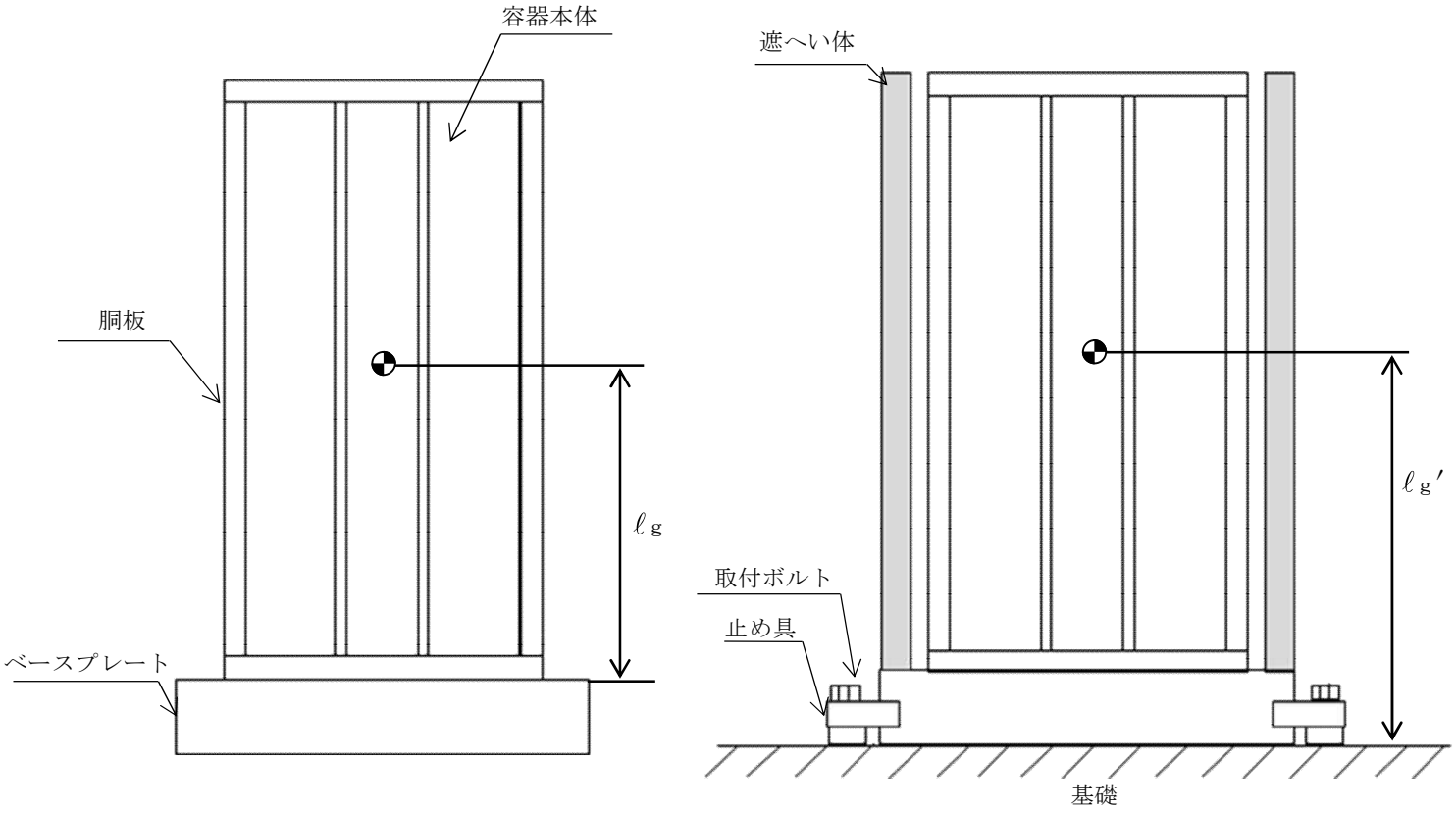
1.2　計算条件

(1)　容器及び内容物の質量は重心に集中するものとする。

(2)　地震力は容器に対して水平方向から作用するものとする。

(3)　容器本体は下部プレートに溶接され一体構造となっている。下部プレートは、取付ボルトで基礎に固定された止め具にて固定され、下部プレートに溶接された容器、遮へい体を固定している。ここで、基礎については、剛となるように設計する。

(4)　固有周期は、下部プレートと遮へい体を除いた容器本体のものを求め、胴をはりと考え，変形モードは曲げ及びせん断変形を考慮する。



（1）固有周期計算モデル　　（2）取付ボルト応力計算モデル

図1－1　概　要　図

1.3　記号の説明

記　号	記　号　の　説　明	単　位
A	胴の軸断面積	mm^2
A_b	取付ボルトの軸断面積	mm^2
A_e	胴の有効せん断断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	－
C_v	鉛直方向設計震度	－
D_{bo}	ベースプレートの外径	mm
D_c	取付ボルトのピッチ円直径	mm
D_{io}	外胴の内径	mm
D_{ii}	内胴の内径	mm
E	外胴及び内胴の縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格　SSB-3121.1又はSSB-3131に定める値	MPa
f_b *	曲げモーメントに対する許容座屈応力	MPa
f_c	軸圧縮荷重に対する許容座屈応力	MPa
f_{sb}	せん断力のみを受ける取付ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける取付ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける取付ボルトの許容引張応力	MPa
G	胴のせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
I	胴の断面二次モーメント	mm^4
K_H	水平方向ばね定数	N/m
K_V	鉛直方向ばね定数	N/m
ℓ_1	転倒支点から重心までの距離（図2－2に示す距離）	mm
ℓ_g	下部プレートから容器重心までの距離	mm
ℓ_g'	基礎から容器重心までの距離	mm
M_s	基礎に作用する転倒モーメント	N･mm
m_o	容器の運転時質量	kg
M_1	地震による転倒モーメント	N･mm
M_2	自重による復元モーメント	N･mm
m_e	容器の空質量	kg
n	取付ボルトの本数	－
n_s	せん断応力を受ける取付ボルトの本数	－
n_t	引張応力を受けるボルト本数	－
S	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5に定める値	MPa
S_a	胴の許容応力	MPa
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa

記　号	記　号　の　説　明	単　位
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
s	取付ボルトと基礎の縦弾性係数比	－
T_H	水平方向固有周期	s
T_V	鉛直方向固有周期	s
t_{io}	外胴の厚さ	mm
t_{ii}	内胴の厚さ	mm
η	座屈応力に対する安全率	－
π	円周率	－
ρ'	液体の密度（＝比重×10^{-6}）	kg/mm^3
σ_0	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{0c}	胴の組合せ圧縮応力	MPa
σ_{0t}	胴の組合せ引張応力	MPa
σ_2	地震動のみによる胴の一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
$\sigma_{2\phi}$	地震動のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
σ_{2c}	地震動のみによる胴の一次応力と二次応力の和の変動値（圧縮側）	MPa
σ_{2t}	地震動のみによる胴の一次応力と二次応力の和の変動値（引張側）	MPa
σ_{2xc}	地震動のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和（圧縮側）	MPa
σ_{2xt}	地震動のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和（引張側）	MPa
σ_b	取付ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_c	基礎に生じる圧縮応力	MPa
P_r	内圧（最高使用圧力）	MPa
σ_{x1}，$\sigma_{\phi 1}$	内圧により胴に生じる軸方向及び周方向応力	MPa
σ_{x2}	胴の空質量による軸方向圧縮応力	MPa
σ_{x3}	胴の鉛直方向地震による軸方向応力	MPa
σ_{x4}	胴の水平方向地震による軸方向応力	MPa
σ_{xc}	胴の軸方向応力の和（圧縮側）	MPa
σ_{xt}	胴の軸方向応力の和（引張側）	MPa
σ_ϕ	胴の周方向応力の和	MPa
$\sigma_{\phi 2}$	静水頭に鉛直方向地震が加わり胴に生じる周方向応力	MPa
τ	地震により胴に生じるせん断応力	MPa
τ_b	取付ボルトに生じるせん断応力	MPa
ϕ_1（x）	圧縮荷重に対する許容座屈応力の関数	MPa
ϕ_2（x）	曲げモーメントに対する許容座屈応力の関数	MPa

注：「設計・建設規格」とは，発電用原子力設備規格（設計・建設規格　ＪＳＭＥ　ＳＮＣ１－2005（2007年追補版含む。））（日本機械学会　2007年9月）（以下「設計・建設規格」という。）をいう。

2.　計算方法

2.1　固有周期の計算方法

(1)　計算モデル

本容器は，1.2項より図2－1に示すような下端固定の1質点系振動モデルとして考える。

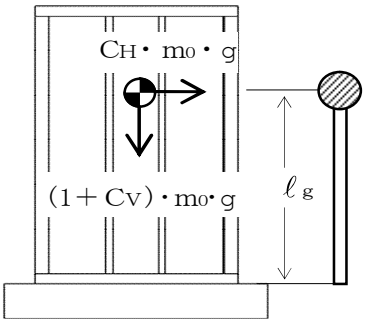


図2－1　固有周期の計算モデル

(2)　水平方向固有周期

曲げ及びせん断変形によるばね定数K_Hは次式で求める。

$$K_H=\frac{1000}{\frac{\ell_g{}^3}{3\cdot E\cdot I}+\frac{\ell_g}{G\cdot A_e}} \quad \cdots\cdots (2.1.1)$$

ここで，胴の断面性能は次のように求める。

$$I=\frac{\pi}{8}\cdot(D_{io}+t_{io})^3\cdot t_{io}+\frac{\pi}{8}\cdot(D_{ii}+t_{ii})^3\cdot t_{ii} \quad \cdots (2.1.2)$$

$$A_e=\frac{2}{3}\cdot\pi\cdot(D_{io}+t_{io})\cdot t_{io}+\frac{2}{3}\cdot\pi\cdot(D_{ii}+t_{ii})\cdot t_{ii} \quad \cdots\cdots (2.1.3)$$

したがって，固有周期T_Hは次式で求める。

$$T_H=2\cdot\pi\cdot\sqrt{\frac{m_0}{K_H}} \quad \cdots\cdots (2.1.4)$$

(3)　鉛直方向固有周期

軸方向変形によるばね定数K_Vは次式で求める。

$$K_V=\frac{1000}{\frac{\ell_g}{A\cdot E}} \quad \cdots\cdots (2.1.5)$$

ここで，胴の断面性能は次のように求める。

$$A=\pi\cdot(D_{io}+t_{io})\cdot t_{io}+\pi\cdot(D_{ii}+t_{ii})\cdot t_{ii} \quad \cdots (2.1.6)$$

したがって，固有周期T_vは次式で求める。

$$T_v=2\cdot\pi\cdot\sqrt{\frac{m_e}{K_v}} \quad \cdots\cdots (2.1.7)$$

2.2　応力の計算方法

応力計算において，静的地震力を用いる場合は，絶対値和を用い，動的地震力を用いる場合は，ＳＲＳＳ法を用いることができる。

2.2.1　外胴の応力

(1)　内圧による応力

$$\sigma_{\phi 1}=\frac{P_r\cdot(D_{io}+1.2\cdot t_{io})}{2\cdot t_{io}} \quad \cdots\cdots (2.2.1.1)$$

$$\sigma_{\phi 2}=0 \quad \cdots\cdots (2.2.1.2)$$

$$\sigma_{x1}=\frac{P_r\cdot(D_{io}+1.2\cdot t_{io})}{4\cdot t_{io}} \quad \cdots\cdots (2.2.1.3)$$

(2)　運転時質量及び鉛直方向地震による応力

胴がベースプレートと接合する点には，胴自身の質量による圧縮応力と鉛直方向地震による軸方向応力が生じる。

$$\sigma_{x2}=\frac{m_e\cdot g}{\pi\cdot(D_{io}+t_{io})\cdot t_{io}} \quad \cdots\cdots (2.2.1.4)$$

$$\sigma_{x3}=\frac{m_e\cdot g\cdot C_V}{\pi\cdot(D_{io}+t_{io})\cdot t_{io}} \quad \cdots\cdots (2.2.1.5)$$

(3)　水平方向地震による応力

水平方向の地震力により胴はベースプレート接合部で最大となる曲げモーメントを受ける。この曲げモーメントによる軸方向応力と地震力によるせん断応力は次のように求める。

$$\sigma_{x4}=\frac{4\cdot C_H\cdot m_0\cdot g\cdot \ell_g}{\pi\cdot(D_{io}+t_{io})^2\cdot t_{io}} \quad \cdots\cdots (2.2.1.6)$$

$$\tau=\frac{2\cdot C_H\cdot m_0\cdot g}{\pi\cdot(D_{io}+t_{io})\cdot t_{io}} \quad \cdots\cdots (2.2.1.7)$$

(4)　組合せ応力

(1)～(3)によって求めた胴の応力は以下のように組み合わせる。

a.　一次一般膜応力

(a)　組合せ引張応力

$$\sigma_{\phi}=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 2} \quad \cdots\cdots (2.2.1.8)$$

$$\sigma_{0t}=\frac{1}{2}\cdot\left\{\sigma_{\phi}+\sigma_{xt}+\sqrt{(\sigma_{\phi}-\sigma_{xt})^2+4\cdot\tau^2}\right\} \quad \cdots\cdots (2.2.1.9)$$

ここで，

【絶対値和】

$$\sigma_{xt}=\sigma_{x1}-\sigma_{x2}+\sigma_{x3}+\sigma_{x4} \quad \cdots\cdots (2.2.1.10)$$

【ＳＲＳＳ法】

$$\sigma_{xt}=\sigma_{x1}-\sigma_{x2}+\sqrt{\sigma_{x3}^2+\sigma_{x4}^2} \quad \cdots\cdots (2.2.1.11)$$

(b)　組合せ圧縮応力

σ_{xc}が正の値（圧縮側）のとき，次の組合せ圧縮応力を求める。

$$\sigma_{\phi}=-\sigma_{\phi 1}-\sigma_{\phi 2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.12)$$

$$\sigma_{0c}=\frac{1}{2}\cdot\left\{\sigma_{\phi}+\sigma_{xc}+\sqrt{(\sigma_{\phi}-\sigma_{xc})^{2}+4\cdot\tau^{2}}\right\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.13)$$

ここで，

【絶対値和】

$$\sigma_{xc}=-\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sigma_{x3}+\sigma_{x4} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.14)$$

【ＳＲＳＳ法】

$$\sigma_{xc}=-\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sqrt{\sigma_{x3}^{2}+\sigma_{x4}^{2}} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.15)$$

したがって，胴の組合せ一次一般膜応力の最大値は，絶対値和，ＳＲＳＳ法それぞれに対して，

σ_{0}＝Max｛組合せ引張応力（σ_{0t}），組合せ圧縮応力（σ_{0c}）｝

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.16)$$

とする。

一次応力は一次一般膜応力と同じになるので省略する。

2.2.2　取付ボルトの応力

(1)　引張応力

転倒モーメントが作用した場合に生じる取付ボルトの引張荷重と基礎部の圧縮荷重については，容器の地震による転倒モーメントより求める。以下にその手順を示す。

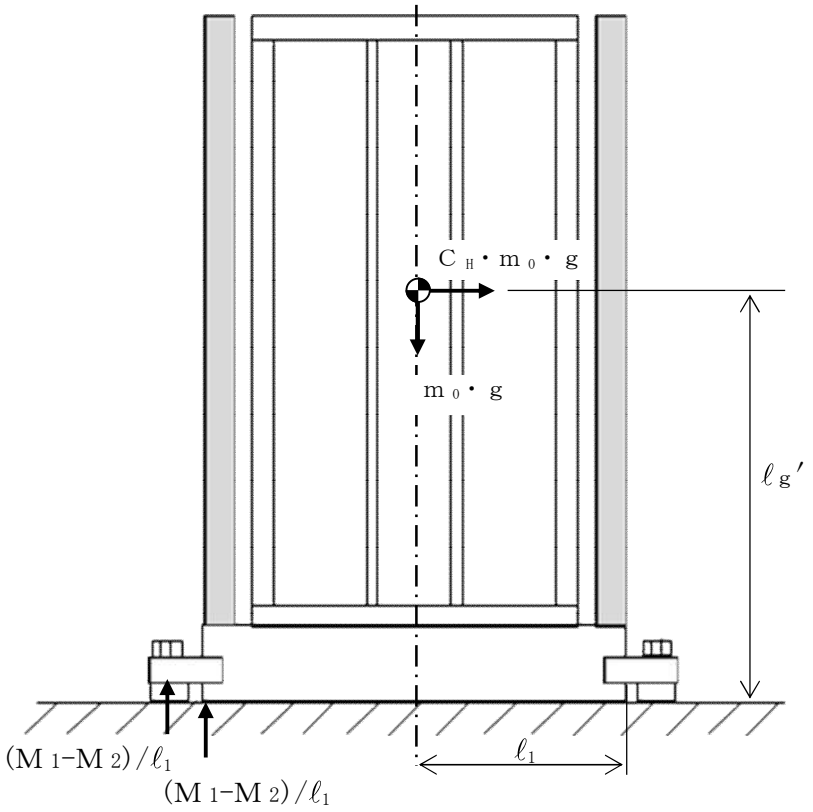


図2－2　基礎の荷重説明図

a.　地震による容器の転倒モーメントを求める。

$$M1 = C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \ell_g' \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.1)$$

b.　自重による容器の復元モーメントを求める。

$$M2 = m_0 \cdot g \cdot \ell_1 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.2)$$

c.　取付ボルトに作用する引張応力を求める。

容器が転倒する際の荷重は止め具を伝わり取付ボルトに作用する。ここで、容器の転倒支点は下部プレートの端となるので、取付ボルト一本に作用する引張応力は以下となる。

$$\sigma_b = (M_1-M_2)/(\ell_1 \cdot n_t \cdot A_b) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.3)$$

(2)　せん断応力

$$\tau_b = \frac{C_H \cdot m_0 \cdot g}{n_s \cdot A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.4)$$

3. 評価方法

3.1 固有周期の評価

2.1 項で求めた固有周期から，水平方向及び鉛直方向の設計震度を求める。

3.2 応力の評価

3.2.1 胴の応力評価

2.2.1項で求めた組合せ応力が胴の最高使用温度における許容応力Ｓａ以下であること。

応力の種類	許　容　応　力　Sa
一次一般膜応力	設計降伏点Ｓｙと設計引張強さＳｕの0.6倍のいずれか小さい方の値。ただし，オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金にあっては許容引張応力Ｓの1.2倍の方が大きい場合は，この大きい方の値とする。

一次応力の評価は算出応力が一次一般膜応力と同じ値であるので省略する。

3.2.2 取付ボルトの応力評価

2.2.2 項で求めた取付ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受ける取付ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。

$$f_{ts}=1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.2.2.1)$$

かつ，

$$f_{ts}\leqq f_{to} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.2.2.2)$$

ただし，f_{to} 及び f_{sb} は下表による。

	許容引張応力　f_{to}	許容せん断応力　f_{sb}
計　　算　　式	$\frac{F}{2}\cdot 1.5$	$\frac{F}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

付録４　横軸ポンプ（耐震設計上の重要度分類Ｂクラス）の耐震性についての計算書作成の基本方針

1.　一般事項

本基本方針は，横軸ポンプ（耐震設計上の重要度分類Ｂクラス）の耐震性についての計算方法を示す。なお，本基本方針は横軸ブロワにも適用する。（その場合は，ポンプをブロワと読み替える。）

1.1　適用基準

本基本方針における計算方法は，原子力発電所耐震設計技術指針　JEAG4601-1987（日本電気協会 電気技術基準調査委員会　昭和 62 年 8 月）（以下「指針」という。）に準拠する。

なお，耐震設計の手順は，指針「6.6.3(3)a.ポンプ・ブロワー類」の図 6.6.3-45 により行う。

1.2　計算条件

(1)　ポンプ及び内容物の質量は重心に集中するものとする。

(2)　地震力はポンプに対して水平方向から作用するものとする。なお，横軸ポンプは剛体とみなせるため，鉛直方向の地震力は考慮しないものとする。

(3)　ポンプは基礎ボルトで基礎に固定された固定端とする。ここで，基礎については剛となるように設計する。

(4)　転倒方向は図 1－1 概要図における軸直角方向及び軸方向について検討し，計算書には計算結果の厳しい方を記載する。

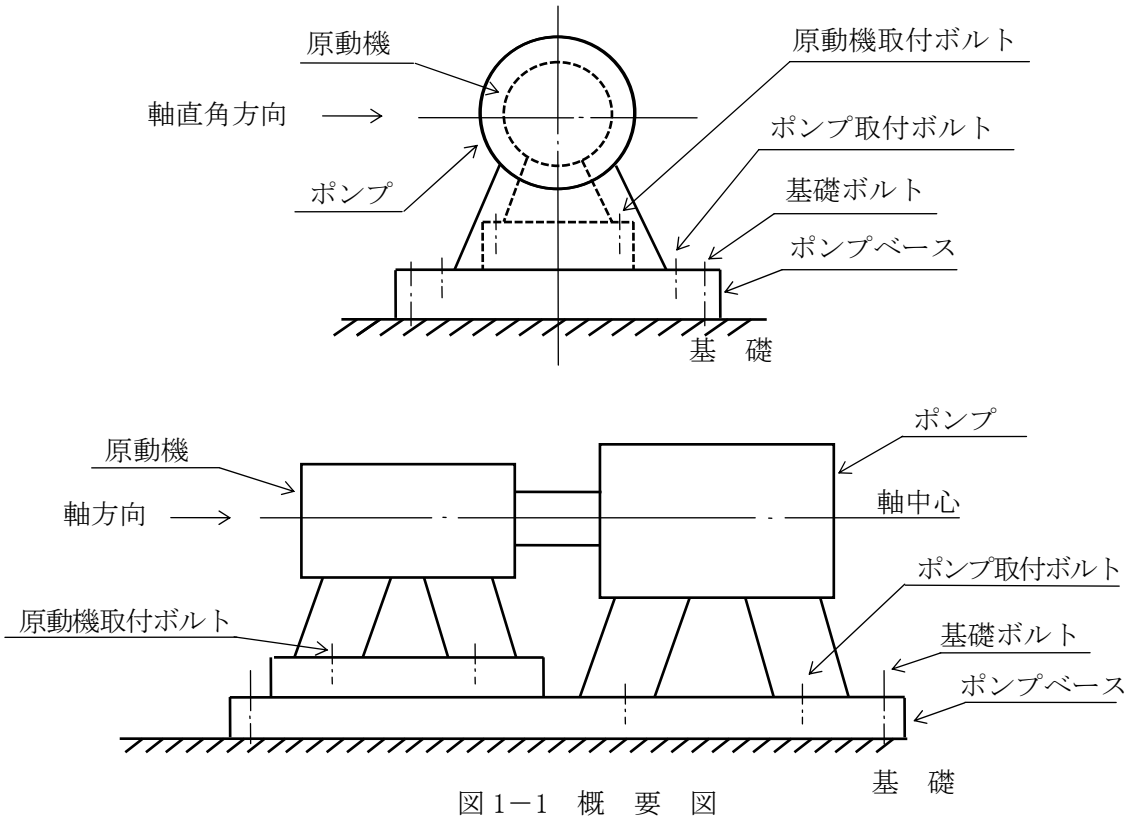


図 1－1　概　要　図

1.3　記号の説明

記　号	記　　号　　の　　説　　明	単　　位
A_{bi}	ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	－
C_m	原動機振動による震度	－
C_p	ポンプ振動による震度	－
d_i	ボルトの呼び径	mm
F_i	設計・建設規格　SSB-3131 に定める値	MPa
F_{bi}	ボルトに作用する引張力（1 本当たり）	N
f_{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f_{toi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
f_{tsi}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
H_m	原動機予想最大両振幅	μm
H_p	ポンプ予想最大両振幅	μm
h_i	据付面又は取付面から重心までの距離	mm
ℓ_{1i}	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
ℓ_{2i}	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
M_m	原動機回転により作用するモーメント	N･mm
M_p	ポンプ回転により作用するモーメント	N･mm
m_i	運転時質量	kg
N_m	原動機回転速度（同期回転速度）	min^{-1}
N_p	ポンプ回転速度	min^{-1}
n_i	ボルトの本数	－
n_{fi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	－
P	原動機出力	kW
Q_{bi}	ボルトに作用するせん断力	N
S_{ui}	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 9 に定める値	MPa
S_{yi}	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 8 に定める値	MPa
π	円周率	－
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力	MPa

注１：「設計・建設規格」とは，発電用原子力設備規格（設計・建設規格　ＪＳＭＥ　ＳＮＣ１－2005（2007 年追補版含む。））（日本機械学会　2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）をいう。

注 2：A_{bi}，d_i，F_i，F_{bi}，f_{sbi}，f_{toi}，f_{tsi}，ℓ_{1i}，ℓ_{2i}，n_i，n_{fi}，Q_{bi}，S_{ui}，S_{yi}，σ_{bi}及びτ_{bi}の添字 i の意味は，以下のとおりとする。

ｉ＝1：ポンプ基礎ボルト（ポンプと原動機のベースが共通である場合を含む。）

ｉ＝2：ポンプ取付ボルト

ｉ＝3：原動機基礎ボルト

ｉ＝4：原動機取付ボルト

なお，ポンプと原動機間に増速機がある場合は，次のように定義する。

ｉ＝5：増速機基礎ボルト

ｉ＝6：増速機取付ボルト

注3：h_i及びm_iの添字iの意味は，以下のとおりとする。

ｉ＝1：ポンプ据付面

ｉ＝2：ポンプ取付面

ｉ＝3：原動機据付面

ｉ＝4：原動機取付面

なお，ポンプと原動機間に増速機がある場合は，次のように定義する。

ｉ＝5：増速機据付面

ｉ＝6：増速機取付面

注記＊：$\ell_{1i} \leqq \ell_{2i}$

2.　計算方法

2.1　固有周期の計算方法

横軸ポンプは構造的に 1 個の大きなブロック状をしており，重心の位置がブロック状のほぼ中心にあり，かつ，下面が基礎ボルトにて固定されている。

したがって，全体的に一つの剛体と見なせるため，固有周期は十分に小さく，固有周期の計算は省略する。

2.2　応力の計算方法

2.2.1　ボルトの応力

ボルトの応力は地震による震度，ポンプ振動による震度及びポンプ回転により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

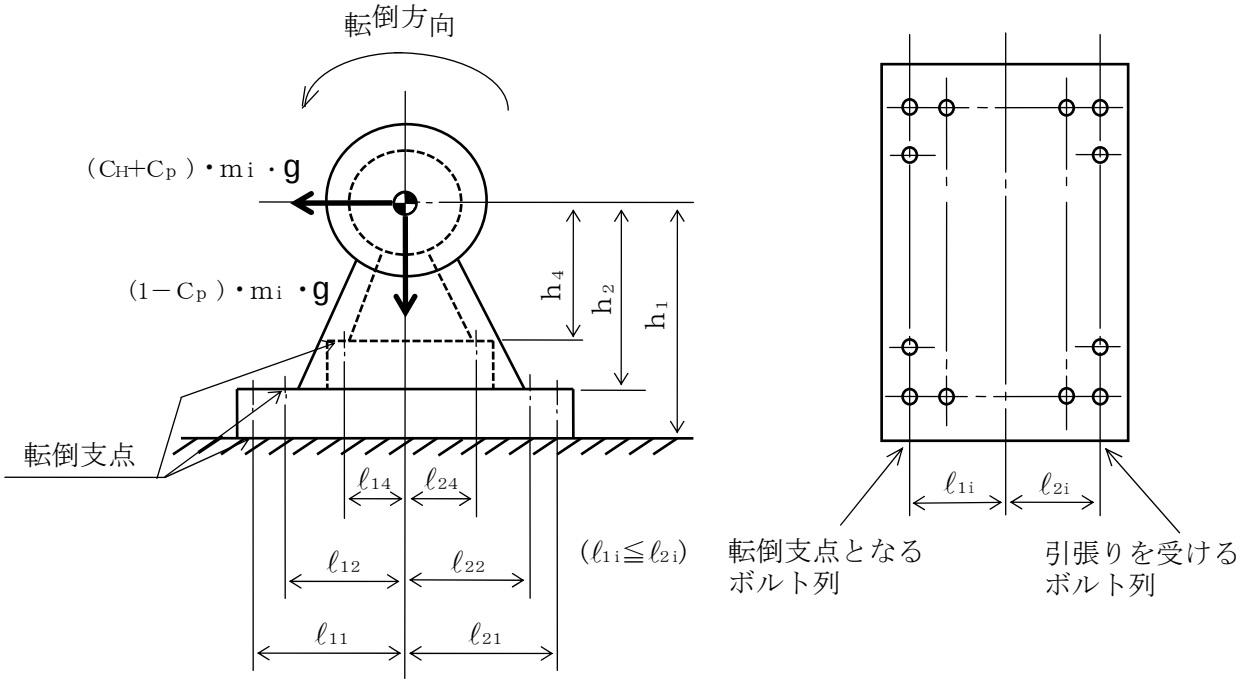


図 2－1　計算モデル（軸直角方向転倒）

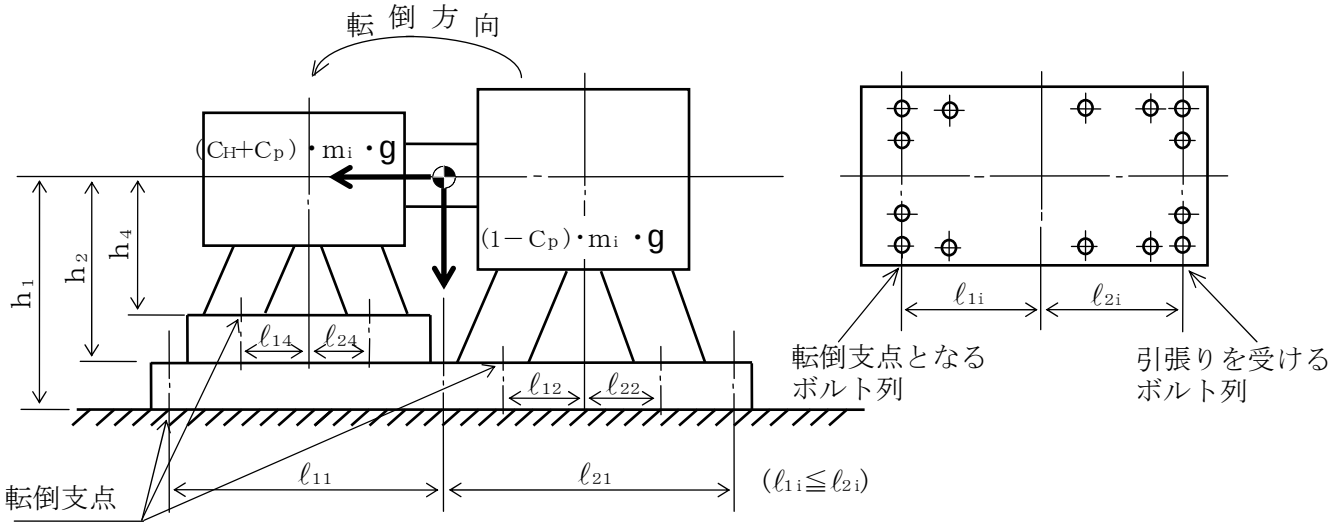


図 2－2　計算モデル（軸方向転倒）

(1)　引張応力

ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として，図 2－1 及び図 2－2 で最外列のボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

なお，ポンプと原動機のベースが共通である場合の基礎ボルト（i＝1）及び計算モデル図 2－2 の場合のボルト（i＝1～6）については，ポンプ回転によるモーメントは作用しない。

引張力

$$F_{bi}=\frac{(C_H+C_p)\cdot m_i\cdot g\cdot h_i+M_p-(1-C_p)\cdot m_i\cdot g\cdot \ell_{1i}}{n_{fi}\cdot(\ell_{1i}+\ell_{2i})} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1)$$

ℓ_{1i}が負となる場合，(2.2.1)式中の（1－Ｃｐ）を（1＋Ｃｐ）に置き換える。

増速機のボルト（i＝5 及び 6）の場合，（2.2.1）式中のＭｐは（Ｍｐ＋Ｍｍ），Ｃｐは（Ｃｐ＋Ｃｍ）と置き換える。

ここで，ポンプ回転により作用するモーメントＭｐは次式で求める。

（Ｍｍについても同様で，次式で求める。この場合，ＮｐはＮｍと置き換える。）

$$M_p=\left(\frac{60}{2\cdot\pi\cdot N_p}\right)\cdot 10^6\cdot P \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2)$$

（1kW＝10^6N･mm/s）

また，Ｃｐは振動による振幅及び回転速度を考慮して定める値で，次式で求める。

（Ｃｍについても同様で，次式で求める。この場合，ＨｐはＨｍ，ＮｐはＮｍと置き換える。）

$$C_p=\frac{\frac{1}{2}\cdot\frac{H_p}{1000}\cdot\left(2\cdot\pi\cdot\frac{N_p}{60}\right)^2}{g\cdot 1000} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.3)$$

引張応力

$$\sigma_{bi}=\frac{F_{bi}}{A_{bi}} \quad \cdots\cdots (2.2.4)$$

ここで，ボルトの軸断面積A_{bi}は

$$A_{bi}=\frac{\pi}{4}\cdot d_i^{\,2} \quad \cdots\cdots (2.2.5)$$

ただし，F_{bi}が負のときボルトには引張力が生じないので，引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

ボルトに対するせん断力はボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{bi}=(C_H+C_p)\cdot m_i\cdot g \quad \cdots\cdots (2.2.6)$$

増速機のボルト(i＝5 及び 6)の場合，(2.2.6) 式中のC_pは(C_p+C_m)と置き換える。

せん断応力

$$\tau_{bi}=\frac{Q_{bi}}{n_i\cdot A_{bi}} \quad \cdots\cdots (2.2.7)$$

3. 評価方法

3.1 応力の評価

3.1.1 ボルトの応力評価

2.2.1 項で求めたボルトの引張応力σ_{bi}は次式より求めた許容引張応力f_{tsi}以下であること。

せん断応力τ_{bi}はせん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力f_{sbi}以下であること。

$$f_{tsi}=1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi} \quad \cdots\cdots (3.1.1)$$

かつ，

$$f_{tsi}\leqq f_{toi} \quad \cdots\cdots (3.1.2)$$

ただし，f_{toi}及びf_{sbi}は下表による。

	許容引張応力 f_{toi}	許容せん断応力 f_{sbi}
計 算 式	$\frac{F_i}{2}\cdot 1.5$	$\frac{F_i}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

高性能多核種除去設備の強度に関する計算書

1.　強度評価の方針

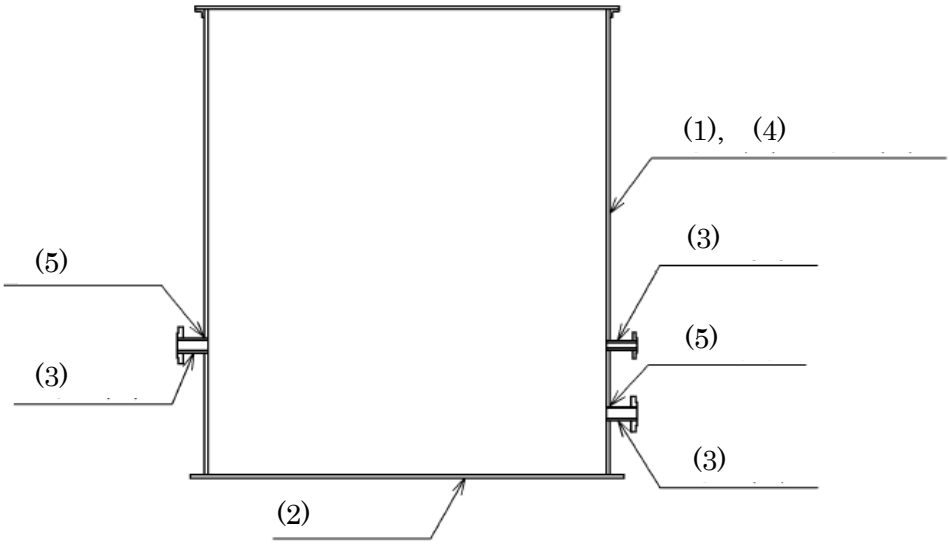
高性能多核種除去設備を構成する主要な機器及び主配管（鋼管）は，強度評価においては，「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格　設計・建設規格」（以下，「設計・建設規格」という。）のクラス３機器またはクラス３配管に準じた評価を行う。

2.　強度評価

2.1　供給タンク，処理水タンク，サンプルタンク

2.1.1　評価箇所

強度評価箇所を図－１に示す。



図－１　供給タンク，処理水タンク，サンプルタンク 概要図

図中の番号は，2.1.2 及び 2.1.3 の番号に対応する。

2.1.2　評価方法

(1)　胴の厚さの評価

開放タンクの胴に必要な厚さは、次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

a.　規格上必要な最小厚さ：t_1

炭素鋼鋼板又は低合金鋼鋼板で作られた場合は 3mm，その他の材料で作られた場合は 1.5mm とする。

b.　胴の計算上必要な厚さ：t_2

$$t_2 = \frac{D_i \cdot H \cdot \rho}{0.204 \cdot S \cdot \eta}$$

t_2：必要厚さ（mm）
Di：胴の内径（m）
H：水頭（m）
ρ：液体の比重。
　ただし，１未満の場合は１とする。
S：許容引張応力(MPa)
η：継手効率（-）

(2)　底板の厚さの評価

地面，基礎等に直接接触する開放タンクの底板の厚さは，下記に揚げる値以上の厚さとする。

a.　地面，基礎等に直接接触するものの厚さ：t

設計・建設規格　PVD-3010により3㎜以上とする。

(3)　管台の厚さの評価

開放タンクの管台に必要な厚さは，次に揚げる値のうちいずれか大きい値とする。

a.　管台の計算上必要な厚さ：t_1

$$t_1 = \frac{D_i \cdot H \cdot \rho}{0.204 \cdot S \cdot \eta}$$

t_1：必要厚さ（mm）
Di：管台の内径(m)
H：水頭(m)
ρ：液体の比重。
　ただし，１未満の場合は１とする。
S：許容引張応力(MPa)
η：継手効率(-)

b.　規格上必要な厚さ：t_2

管台の外径に応じ設計・建設規格　表 PVC-3980-1 より求めた管台の厚さとする。

(4) 開放タンクの補強不要となる穴の評価

ａ．設計・建設規格　PVD-3512 により穴の径が 85mm 以下の場合は補強不要となる。

(5) 胴の穴の補強計算

a. 補強に有効な範囲内にある補強に有効な面積が，補強に必要な面積より大きくなるようにすること。

b. 大きい穴の補強を要しない穴の最大径

内径が 1500mm 以下の胴に設ける穴の径が胴の内径の２分の１（500mm を超える場合は，500mm）以下および内径が 1500mm を超える胴に設ける穴の径が胴の内径の３分の１（1000mm を超える場合は，1000mm）以下の場合は，大きい穴の補強計算は必要ない。

c. 溶接部の強度として，予想される破断箇所の強さが，溶接部の負うべき荷重以上であること。

2.1.3　評価結果

評価結果を表－１～３に示す。必要厚さ等を満足しており，十分な構造強度を有すると評価している。

表－１－１　供給タンクの評価結果（板厚）

機器名称	評価項目	必要厚さ（mm）	最小厚さ（mm）
供給タンク	（１）胴板の厚さ	3.00	6.57
	（２）底板の厚さ	3.00	9.50
	（３）管台の厚さ（RO 濃縮水出口）	3.50	4.25
	（３）管台の厚さ（RO 濃縮水出口（予備））	3.50	4.25
	（３）管台の厚さ（液位計）	1.70	1.90

表－１－２　供給タンクの評価結果（胴板の補強要否確認）

機器名称	評価項目	補強を要しない穴の最大径（mm）	穴の径（mm）
供給タンク	（４）RO 濃縮水出口	85.00	85 以上
	（４）RO 濃縮水出口（予備）	85.00	85 以上

表－１－３　供給タンクの評価結果（胴の穴の補強計算）

機器名称	評価項目	評価結果	
供給タンク	（５）胴 （RO 濃縮水出口）	補強に必要な面積 （mm^2）	補強に有効な総面積 （mm^2）
		77.56	743.7
		大きな穴の補強計算を要しない最大径（mm）	穴の径 （mm）
		1000.00	105.80
		溶接部の負うべき荷重 （N）	予想される破断箇所の強さ（N）
		-5.341×10^4	－　※1
	（５）胴 （RO 濃縮水出口（予備））	補強に必要な面積 （mm^2）	補強に有効な総面積 （mm^2）
		77.56	743.7
		大きな穴の補強計算を要しない最大径（mm）	穴の径 （mm）
		1000.00	105.80
		溶接部の負うべき荷重 （N）	予想される破断箇所の強さ（N）
		-5.341×10^4	－　※1

※1　溶接部の負うべき荷重が負であり，溶接部の強度計算は不要

表－２－１　処理水タンクの評価結果（板厚）

機器名称	評価項目	必要厚さ（mm）	最小厚さ（mm）
処理水タンク	（１）胴板の厚さ	3.00	6.57
	（２）底板の厚さ	3.00	9.50
	（３）管台の厚さ（処理水出口）	3.50	4.25
	（３）管台の厚さ（処理水出口（予備））	3.50	4.25
	（３）管台の厚さ（液位計）	1.70	1.90

表－２－２　処理水タンクの評価結果（胴板の補強要否確認）

機器名称	評価項目	補強を要しない穴の最大径（mm）	穴の径（mm）
処理水タンク	（４）処理水出口	85.00	85 以上
	（４）処理水出口（予備）	85.00	85 以上

表－２－３　処理水タンクの評価結果（胴の穴の補強計算）

機器名称	評価項目	評価結果	
処理水タンク	（５）胴 （処理水出口）	補強に必要な面積 （mm^2）	補強に有効な総面積 （mm^2）
		77.56	743.7
		大きな穴の補強計算を 要しない最大径（mm）	穴の径 （mm）
		1000.00	105.80
		溶接部の負うべき荷重 （N）	予想される破断箇所の 強さ（N）
		-5.341×10^4	－　※1
	（５）胴 （処理水出口 （予備））	補強に必要な面積 （mm^2）	補強に有効な総面積 （mm^2）
		77.56	743.7
		大きな穴の補強計算を 要しない最大径（mm）	穴の径 （mm）
		1000.00	105.80
		溶接部の負うべき荷重 （N）	予想される破断箇所の 強さ（N）
		-5.341×10^4	－　※1

※1　溶接部の負うべき荷重が負であり，溶接部の強度計算は不要

表－３－１　サンプルタンクの評価結果（板厚）

機器名称	評価項目	必要厚さ (mm)	最少厚さ (mm)
サンプルタンク A，B，C	（1）胴の厚さ	11.7	12.0
	（2）底板の厚さ	3.0	11.2
	（3）管台の厚さ（100A）	3.5	6.0
	（3）管台の厚さ（200A）	3.5	8.2
	（3）管台の厚さ（650A）	3.5	12.0

表－３－２　サンプルタンクの穴の補強評価結果

機器名称	管台口径	評価部位	補強に必要な面積[mm^2]	補強に有効な総面積[mm^2]
サンプルタンクA，B，C	100A	管台	724	1616
	200A	管台	1411	3195
	650A	管台	4466	10840

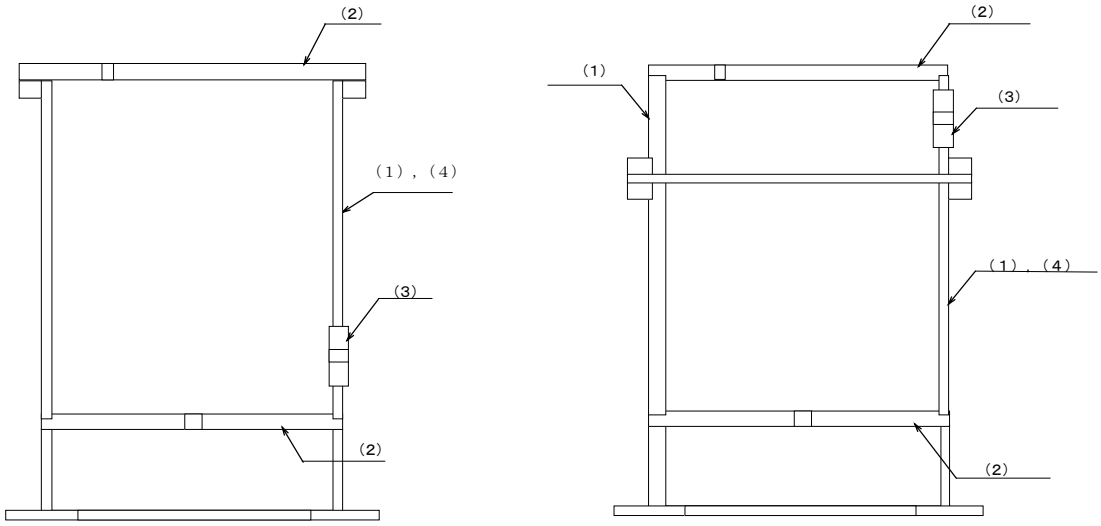
表－３－３　サンプルタンクの強め材の取付け強さ

機器名称	管台口径	溶接部の負うべき荷重	予想される破断箇所の強さ					
		W [N]	W_1 [N]	W_2 [N]	W_3 [N]	W_4 [N]	W_5 [N]	W_6 [N]
サンプルタンクA，B，C	100A	37367.82	154937	278514	119886	199587	234638	243463
	200A	63939.66	342042	570661	300675	402159	443526	529294
	650A	167003.76	1412331	2016618	1600574	1641873	1453630	2204861

2.2　前処理フィルタ

2.2.1　評価箇所

強度評価箇所を図－２に示す。



前処理フィルタ１　　前処理フィルタ２～４

図－２　前処理フィルタ　概要図

図中の番号は，2.2.2，2.2.3 の番号に対応する。

2.2.2　評価方法

(1) 胴の厚さの評価

胴に必要な厚さは，次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

ａ．規格上必要な最小厚さ：t_1

炭素鋼鋼板又は低合金鋼鋼板で作られたものにあっては 3mm，その他の材料で作られたものにあっては 1.5mm とする。

ｂ．内面に圧力を受ける胴の必要厚さ：t_2

$$t_2=\frac{P\cdot D_i}{2\cdot S\cdot \eta-1.2\cdot P}$$

t_2 ：必要厚さ（mm）

P　：最高使用圧力（MPa）

D_i ：胴の内径（mm）

S　：許容引張応力（MPa）

η　：継手効率（-）

(2) 平板の厚さの評価

平板の厚さは，次に掲げる値のうちいずれかによるものとする。

a．平板に穴を設ける場合であって，穴の径が平板の径の 2 分の 1 以下であり，穴の補強計算を行うもの。

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{K \cdot P}{S}}$$

t：必要厚さ（mm）
d：平板の径（mm）
K：取付方法による係数（-）
P：最高使用圧力（MPa）
S：許容引張応力（MPa）

b．平板に穴を設ける場合であって，穴の径が平板の径の 2 分の 1 以下であり，a 項以外のもの。

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot K \cdot P}{S}}$$

t：必要厚さ（mm）
d：平板の径（mm）
K：取付方法による係数（-）
P：最高使用圧力（MPa）
S：許容引張応力（MPa）

(3) 管台の厚さの評価

管台に必要な厚さは，次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

a．内面に圧力を受ける管台：t_1

$$t_1 = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$$

t_1：必要厚さ（mm）
P：最高使用圧力（MPa）
D_0：管台の外径（mm）
S：許容引張応力（MPa）
η：継手効率（-）

b．規格上必要な最小厚さ：t_2

炭素鋼鋼管を使用する管台にあっては，管台の外径に応じて設計・建設規格　表 PVC-3610-1 より求めた管台の厚さとする。

(4) 胴の補強を要しない穴の最大径の評価

胴の補強を要しない穴の最大径は，以下で計算した値のうちいずれか大きい値とする。

a．穴の径が 61mm 以下で，かつ，次の式により計算した値以下の穴。

$$d_{r1} = \frac{D - 2 \cdot t_s}{4}$$

d_{r1}:補強を要しない穴の最大径（mm）
D：胴の外径（mm）
t_s：胴の最小厚さ（mm）

ｂ．ａに掲げるものを除き，穴の径が 200mm 以下で，かつ，設計・建設規格　図 PVD-3122-1 及び図 PVD-3122-2 により求めた値以下の穴。

$$d_{r2}=8.05\cdot\sqrt[3]{D\cdot t_s\cdot(1-K)}$$

d_{r2}:補強を要しない穴の最大径（mm）
D :胴の外径（mm）
t_s：胴の最小厚さ（mm）
K :係数（-）

ここで，Kは，円筒形の場合，次の式により計算した値で，K＞0.99 のときは，K＝0.99 とする。

$$K=\frac{P\cdot D}{1.82\cdot S\cdot \eta\cdot t_s}$$

P ：最高使用圧力（MPa）
D ：胴の外径（mm）
S ：許容引張応力（MPa）
η ：継手効率（-）
t_s：胴板の最小厚さ（mm）

2.2.3　評価結果

評価結果を表－４に示す。必要厚さ等を満足しており，十分な構造強度を有すると評価している。

表－４－１　前処理フィルタ評価結果（板厚）

機器名称	評価項目	必要厚さ（mm）	最小厚さ（mm）
前処理フィルタ１	(1)胴板の厚さ	4.84	5.84
	(2)上部平板の厚さ	44.75	62.50
	(2)下部平板の厚さ	44.75	62.50
	(3)管台の厚さ	3.80	55.15
前処理フィルタ２～４	(1)胴板の厚さ	4.84	5.84
	(2)上部平板の厚さ	44.75	62.50
	(2)下部平板の厚さ	44.75	62.50
	(3)管台の厚さ	3.80	48.80

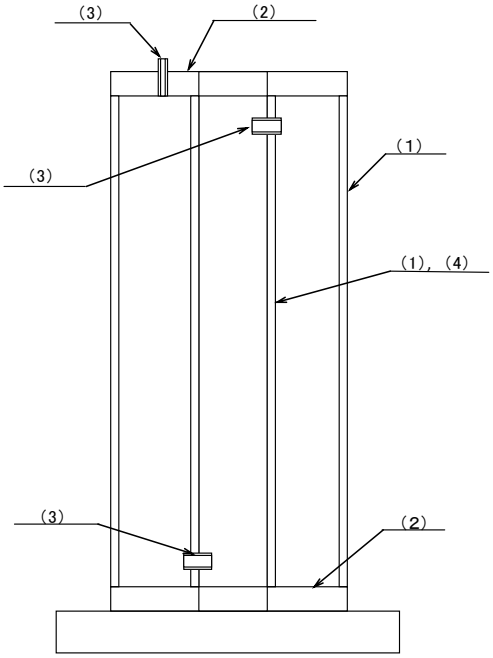
表－４－２　前処理フィルタ評価結果（胴の補強要否）

機器名称	評価項目	補強を要しない穴の最大径（mm）	穴の径（mm）
前処理フィルタ１	(4)胴	99.89	99 以下
前処理フィルタ２～４	(4)胴	99.89	99 以下
	(4)胴	99.89	99 以下

2.3　多核種吸着塔

2.3.1　評価箇所

強度評価箇所を図－３に示す。



図中の番号は，2.3.2，2.3.3 の番号に対応する。

図－３　吸着塔　概要図

2.3.2　評価方法

(1) 胴の厚さの評価

胴に必要な厚さは，次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

ａ．規格上必要な最小厚さ：t_1

炭素鋼鋼板又は低合金鋼鋼板で作られたものにあっては 3mm，その他の材料で作られたものにあっては 1.5mm とする。

ｂ．内面に圧力を受ける胴の必要厚さ：t_2

$$t_2=\frac{P\cdot D_i}{2\cdot S\cdot \eta-1.2\cdot P}$$

t_2 ：必要厚さ（mm）

P　：最高使用圧力（MPa）

D_i ：胴の内径（mm）

S　：許容引張応力（MPa）

η　：継手効率（-）

c. 外面に圧力を受ける胴の必要厚さ：t_3

厚さが外径の 0.1 倍以下のものの計算上必要な厚さは次の式による値とする。

$$t_3=\frac{3\cdot P_e\cdot D_0}{4\cdot B}$$

t_3：必要厚さ（mm）
P_e：外面に受ける最高の圧力（MPa）
D_o：胴の外径（mm）
B　：ASME BPVC SECTION.ⅡPartD subpart3 fig.G, fig.HA-5 または，設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図１，図１４より求めた値（-）

(2) 平板の厚さの評価

平板の厚さは，次に掲げる値のうちいずれかによるものとする。

a．平板に穴を設ける場合であって，穴の径が平板の径の 2 分の 1 以下であり，穴の補強計算を行うもの。

$$t=d\cdot\sqrt{\frac{K\cdot P}{S}}$$

t：必要厚さ（mm）
d：平板の径（mm）
K：取付方法による係数（-）
P：最高使用圧力（MPa）
S：許容引張応力（MPa）

b．平板に穴を設ける場合であって，穴の径が平板の径の 2 分の 1 以下であり，a 項以外のもの。

$$t=d\cdot\sqrt{\frac{2\cdot K\cdot P}{S}}$$

t：必要厚さ（mm）
d：平板の径（mm）
K：取付方法による係数（-）
P：最高使用圧力（MPa）
S：許容引張応力（MPa）

(3) 管台の厚さの評価

管台に必要な厚さは，次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

a．内面に圧力を受ける管台：t_1

$$t_1=\frac{P\cdot D_o}{2\cdot S\cdot \eta+0.8\cdot P}$$

t_1：必要厚さ（mm）
P　：最高使用圧力（MPa）
D_0：管台の外径（mm）
S　：許容引張応力（MPa）
η　：継手効率（-）

b．規格上必要な最小厚さ：t_2

炭素鋼鋼管を使用する管台にあっては，管台の外径に応じて設計・建設規格　表 PVC-3610-1 より求めた管台の厚さとする。

(4) 胴の補強を要しない穴の最大径の評価

胴の補強を要しない穴の最大径は，以下で計算した値のうちいずれか大きい値とする。

ａ．穴の径が 61mm 以下で，かつ，次の式により計算した値以下の穴。

$$d_{r1}=\frac{D-2\cdot t_s}{4}$$

d_{r1}:補強を要しない穴の最大径（mm）
D :胴の外径（mm）
t_s：胴の最小厚さ（mm）

ｂ．ａに掲げるものを除き，穴の径が 200mm 以下で，かつ，設計・建設規格　図 PVD-3122-1 及び図 PVD-3122-2 により求めた値以下の穴。

$$d_{r2}=8.05\cdot\sqrt[3]{D\cdot t_s\cdot(1-K)}$$

d_{r2}:補強を要しない穴の最大径（mm）
D :胴の外径（mm）
t_s：胴の最小厚さ（mm）
K :係数（-）

ここで，Ｋは，円筒形の場合，次の式により計算した値で，Ｋ＞0.99 のときは，Ｋ＝0.99 とする。

$$K=\frac{P\cdot D}{1.82\cdot S\cdot \eta\cdot t_s}$$

Ｐ：最高使用圧力（MPa）
Ｄ：胴の外径（mm）
Ｓ：許容引張応力（MPa）
η：継手効率（-）
t_s：胴板の最小厚さ（mm）

(5) 評価結果

評価結果を表－５に示す。必要厚さ等を満足しており，十分な構造強度を有すると評価している。

表－５－１　吸着塔評価結果（板厚）

機器名称	評価項目	必要厚さ（mm）	最小厚さ（mm）
吸着塔１～２０ (UNS S31803)	(1)胴板の厚さ（外筒胴）	5.93	11.70
	(1)胴板の厚さ（内筒胴）	7.42	11.10
	(2)上部平板	71.45	75.20
	(2)下部平板	71.45	75.20
	(3)管台の厚さ（入口・出口）	0.27	3.43
	(3)管台の厚さ（ベント）	0.15	2.96
吸着塔１～２０ (UNS S32205)	(1)胴板の厚さ（外筒胴）	5.61	11.70
	(1)胴板の厚さ（内筒胴）	7.42	11.10
	(2)上部平板	69.51	75.20
	(2)下部平板	69.51	75.20
	(3)管台の厚さ（入口・出口）	0.25	3.43
	(3)管台の厚さ（ベント）	0.14	2.96
吸着塔１～２０ (UNS S32750)	(1)胴板の厚さ（外筒胴）	4.59	11.70
	(1)胴板の厚さ（内筒胴）	7.42	11.10
	(2)上部平板	62.96	75.20
	(2)下部平板	62.96	75.20
	(3)管台の厚さ（入口・出口）	0.21	3.43
	(3)管台の厚さ（ベント）	0.12	2.96
吸着塔１～２０ (SUS316L)	(1)胴板の厚さ（外筒胴）	9.47	11.39
	(1)胴板の厚さ（内筒胴）	7.45	15.82
	(2)上部平板	69.42	114.20
	(2)下部平板	69.42	93.40
	(3)管台の厚さ（入口・出口）	0.42	1.43
	(3)管台の厚さ（ベント）	0.24	1.08

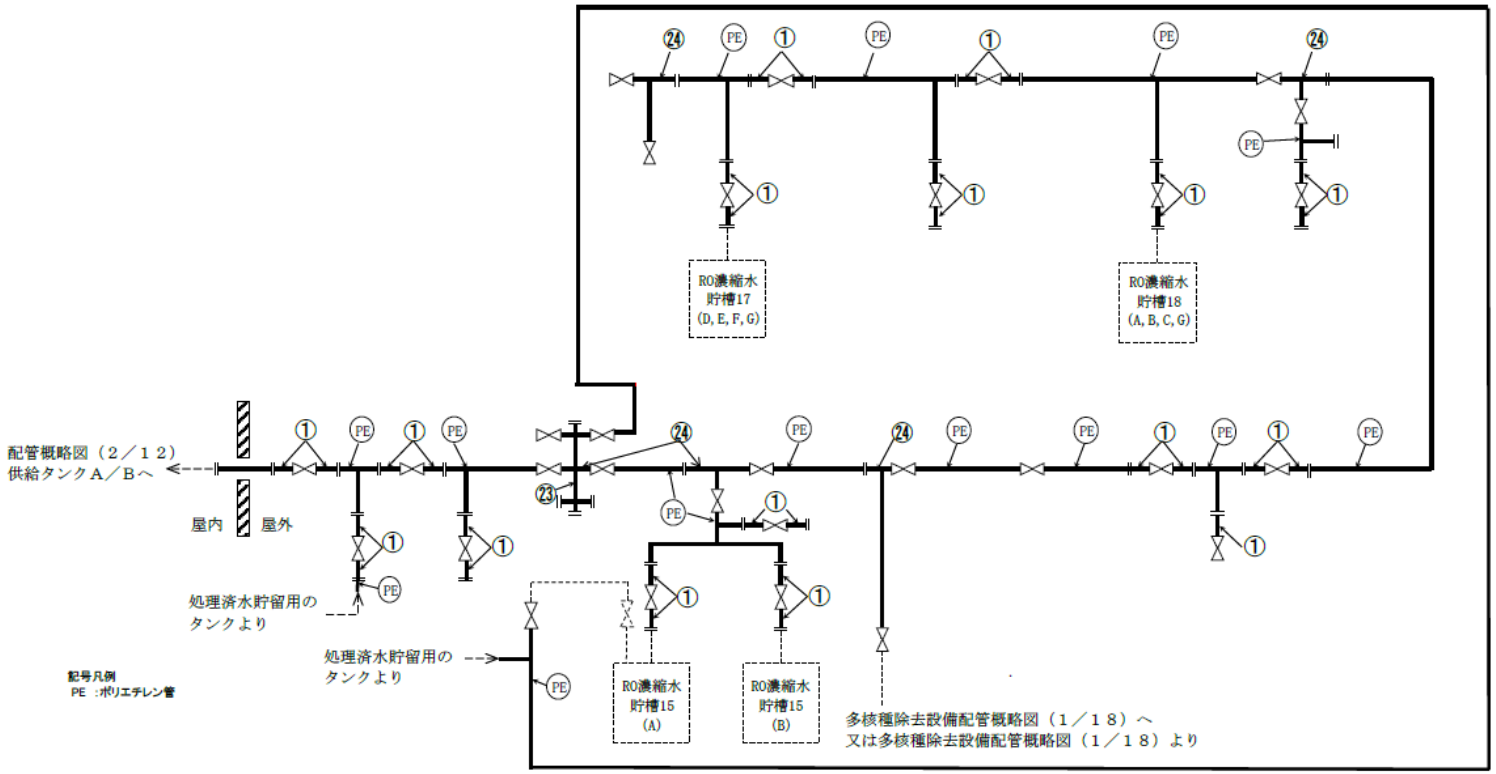
表－５－２　吸着塔評価結果（胴の補強要否）

機器名称	評価項目	補強を要しない穴の最大径（mm）	穴の径（mm）
吸着塔１～２０（UNS S31803）	(4)胴（内筒胴）	119.04	119 以下
吸着塔１～２０（UNS S32205）	(4)胴（内筒胴）	119.48	119 以下
吸着塔１～２０（UNS S32750）	(4)胴（内筒胴）	120.95	120 以下
吸着塔１～２０（SUS316L）	(4)胴（内筒胴）	134.43	134 以下

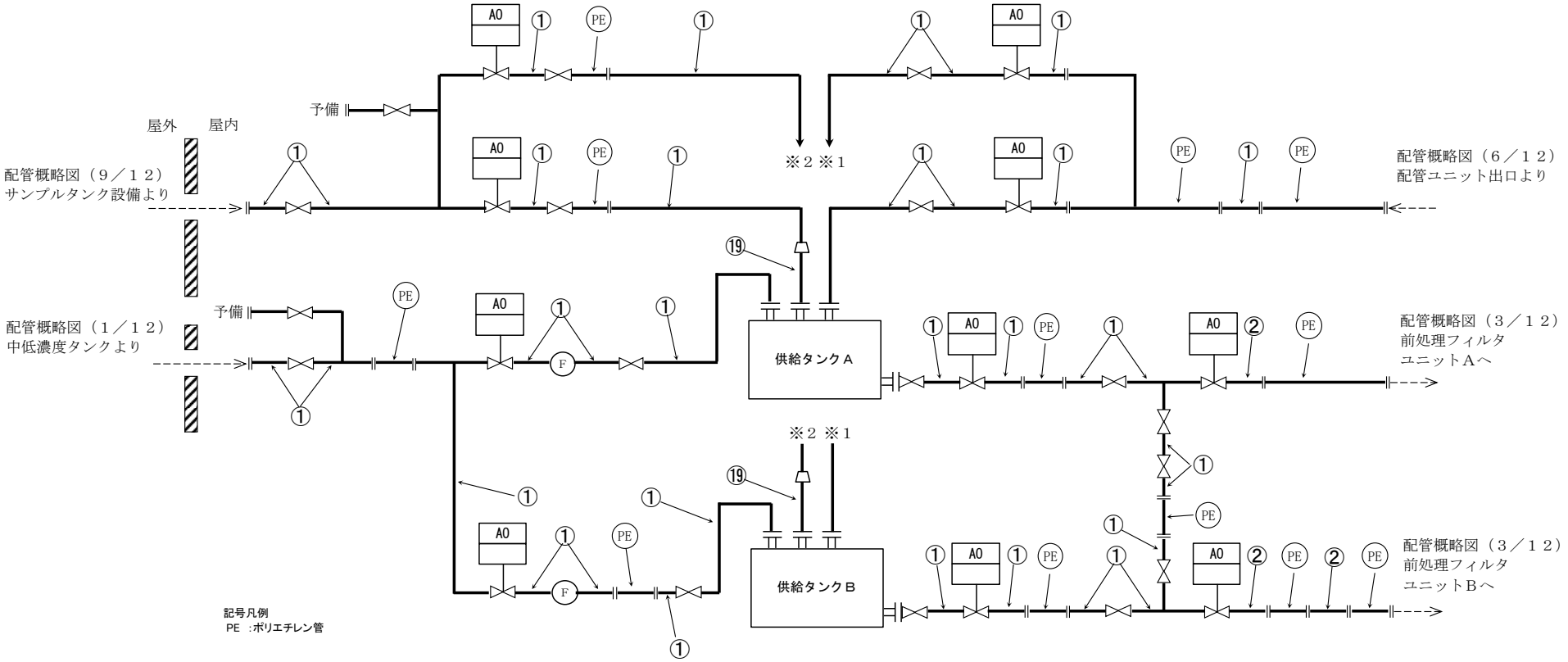
2.4　主配管

2.4.1　評価箇所

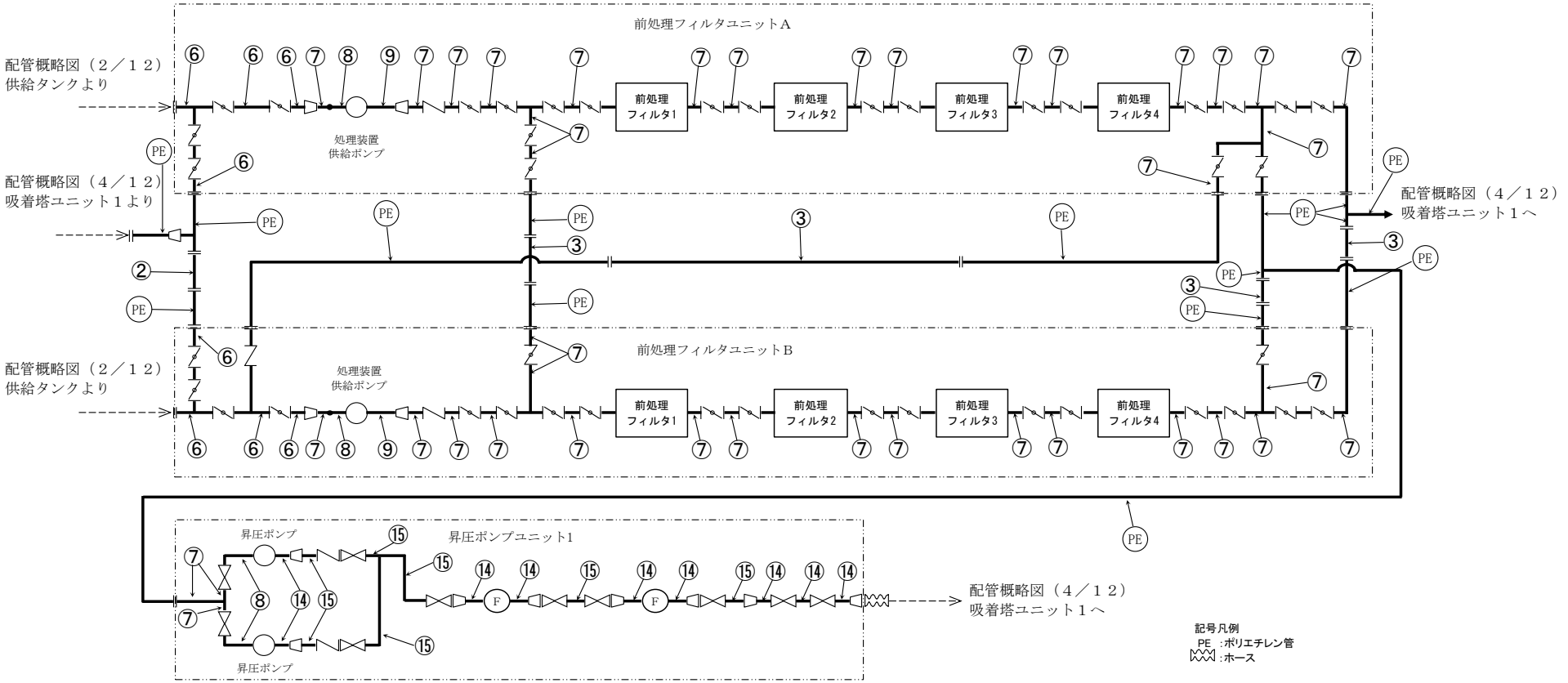
強度評価箇所を図－４に示す。


RO濃縮水
貯槽17
(D, E, F, G)
RO濃縮水
貯槽18
(A, B, C, G)
配管概略図（2／12）
供給タンクA／Bへ
屋内
屋外
処理済水貯留用の
タンクより
処理済水貯留用の
タンクより
記号凡例
PE ：ポリエチレン管
RO濃縮水
貯槽15
(A)
RO濃縮水
貯槽15
(B)
多核種除去設備配管概略図（1／18）へ
又は多核種除去設備配管概略図（1／18）より

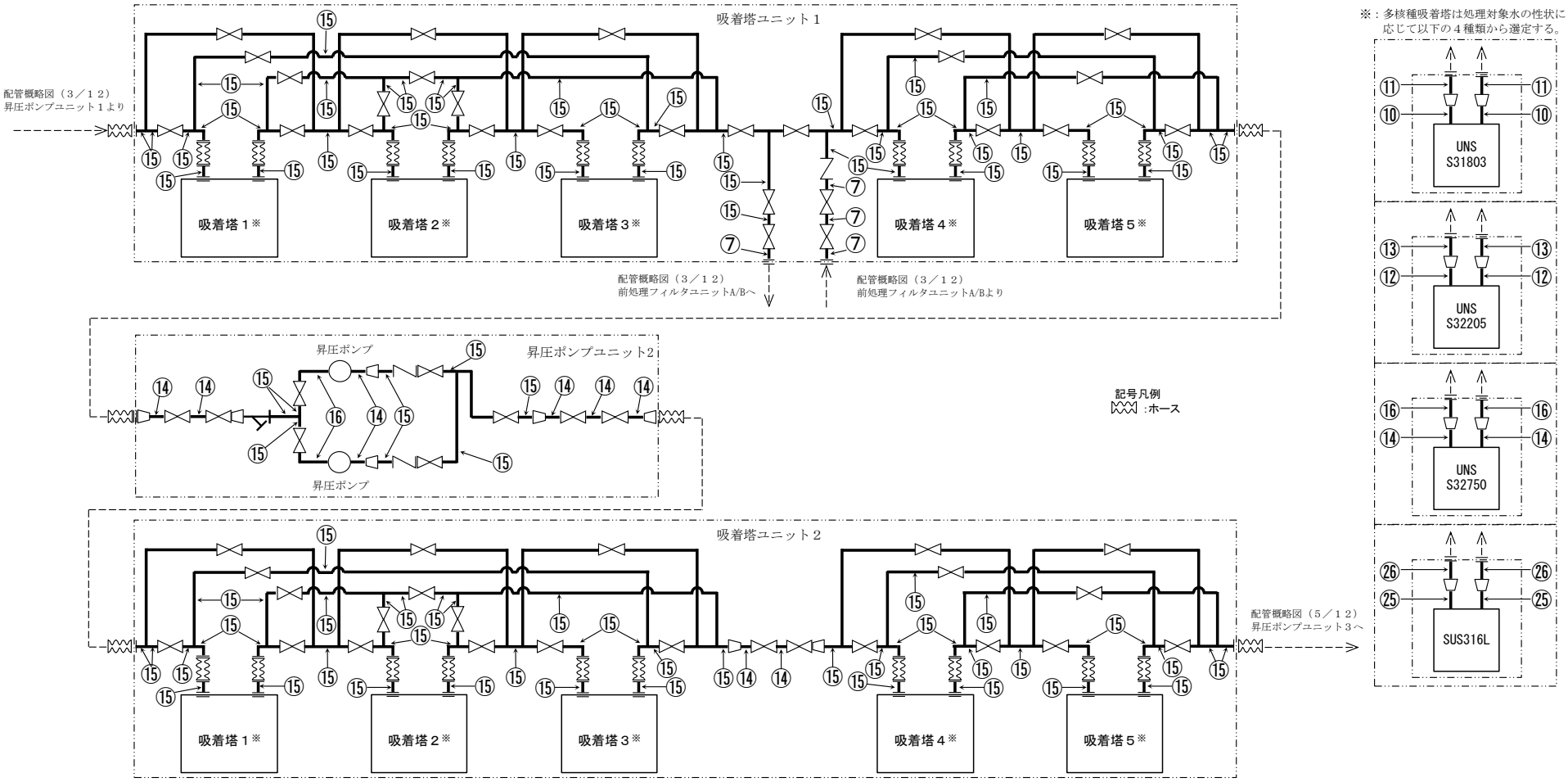
図－４　配管概略図（１／１２）


屋外
屋内
予備
配管概略図（９／１２）
サンプルタンク設備より
配管概略図（１／１２）
中低濃度タンクより
※２ ※１
配管概略図（６／１２）
配管ユニット出口より
供給タンクＡ
供給タンクＢ
配管概略図（３／１２）
前処理フィルタ
ユニットＡへ
配管概略図（３／１２）
前処理フィルタ
ユニットＢへ
AO
PE
F
記号凡例
PE ：ポリエチレン管

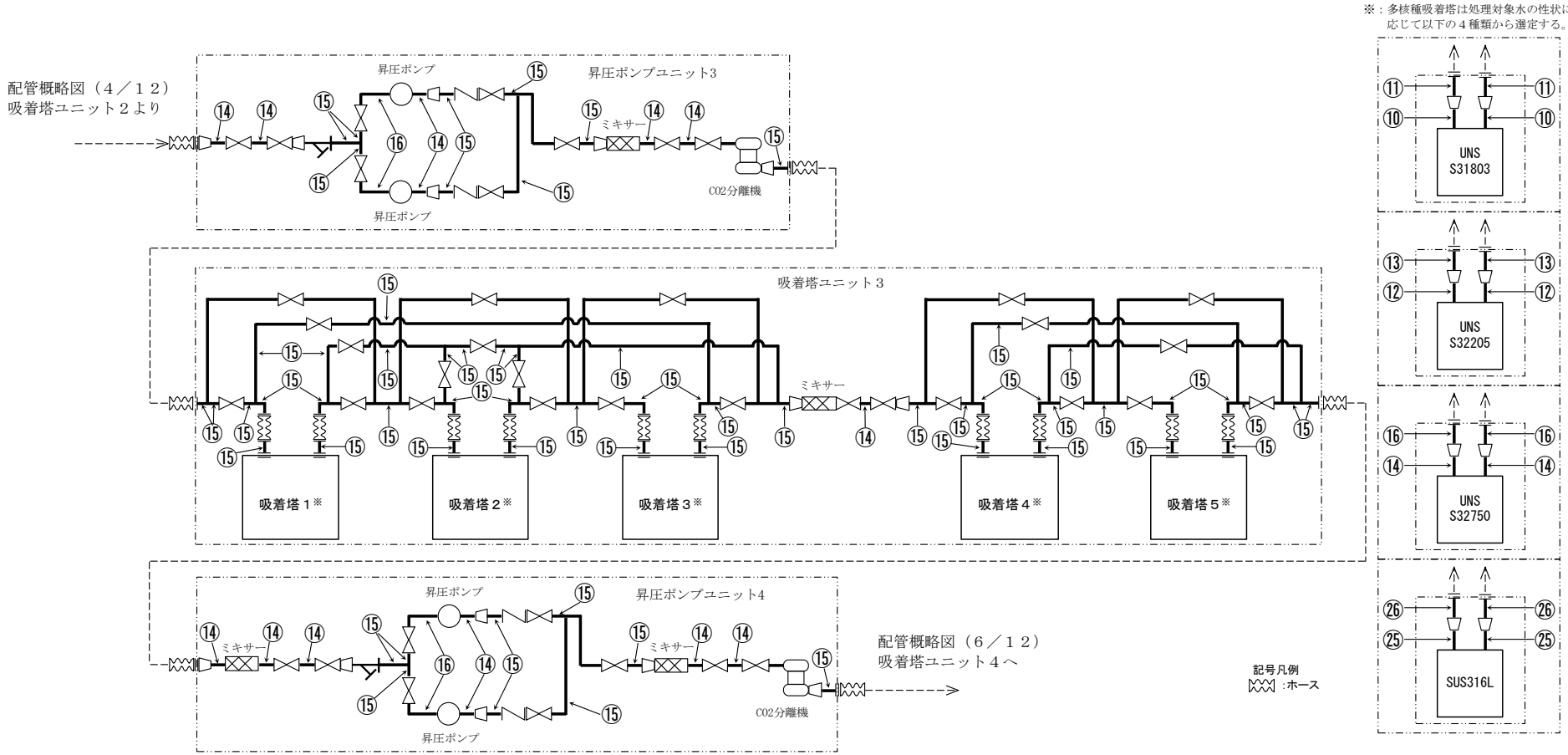
図－４　配管概略図（２／１２）


前処理フィルタユニットA
配管概略図（２／１２）
供給タンクより
処理装置
供給ポンプ
前処理
フィルタ1
前処理
フィルタ2
前処理
フィルタ3
前処理
フィルタ4
配管概略図（４／１２）
吸着塔ユニット１へ
配管概略図（４／１２）
吸着塔ユニット１より
前処理フィルタユニットB
配管概略図（２／１２）
供給タンクより
処理装置
供給ポンプ
昇圧ポンプ
昇圧ポンプユニット1
昇圧ポンプ
配管概略図（４／１２）
吸着塔ユニット１へ
記号凡例
PE ：ポリエチレン管
：ホース

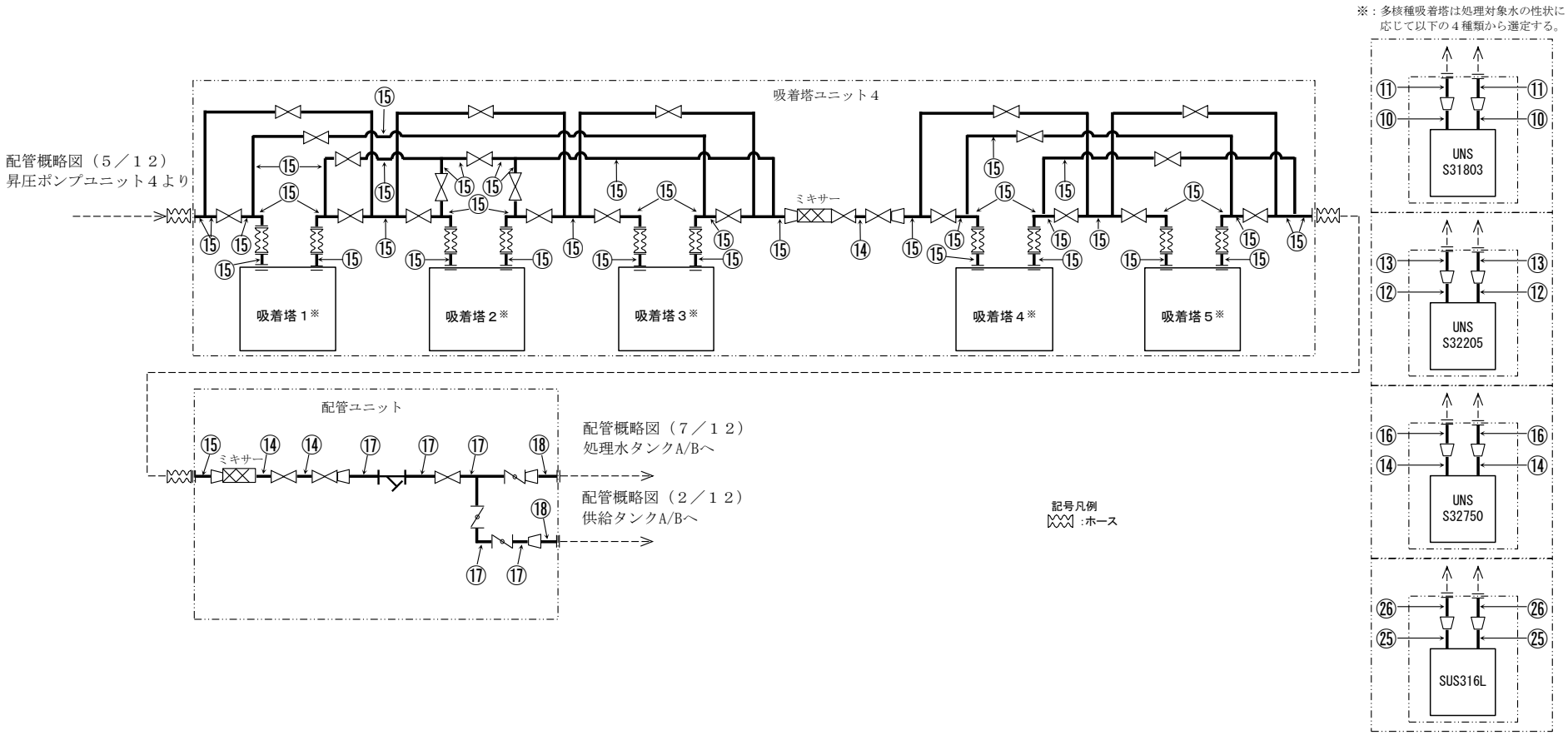
図－４　配管概略図（３／１２）


吸着塔ユニット１
配管概略図（３／１２）
昇圧ポンプユニット１より
吸着塔１※
吸着塔２※
吸着塔３※
吸着塔４※
吸着塔５※
配管概略図（３／１２）
前処理フィルタユニットA/Bへ
配管概略図（３／１２）
前処理フィルタユニットA/Bより
昇圧ポンプ
昇圧ポンプユニット2
昇圧ポンプ
記号凡例
：ホース
吸着塔ユニット２
配管概略図（５／１２）
昇圧ポンプユニット３へ
※：多核種吸着塔は処理対象水の性状に
応じて以下の４種類から選定する。
UNS
S31803
UNS
S32205
UNS
S32750
SUS316L

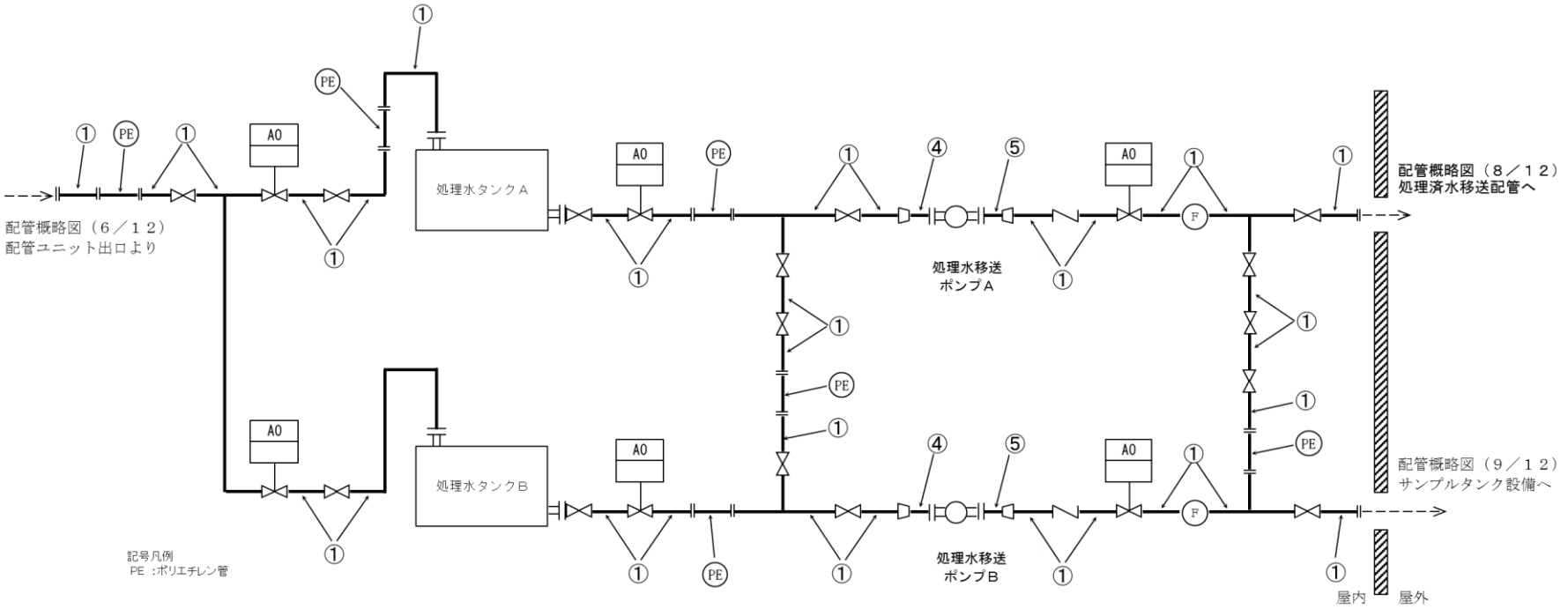
図－４　配管概略図（４／１２）


※：多核種吸着塔は処理対象水の性状に
応じて以下の４種類から選定する。
配管概略図（４／１２）
吸着塔ユニット２より
昇圧ポンプ
昇圧ポンプユニット3
ミキサー
CO2分離機
昇圧ポンプ
吸着塔ユニット３
吸着塔１※
吸着塔２※
吸着塔３※
吸着塔４※
吸着塔５※
ミキサー
昇圧ポンプ
昇圧ポンプユニット4
ミキサー
ミキサー
CO2分離機
昇圧ポンプ
配管概略図（６／１２）
吸着塔ユニット４へ
記号凡例
：ホース
UNS
S31803
UNS
S32205
UNS
S32750
SUS316L

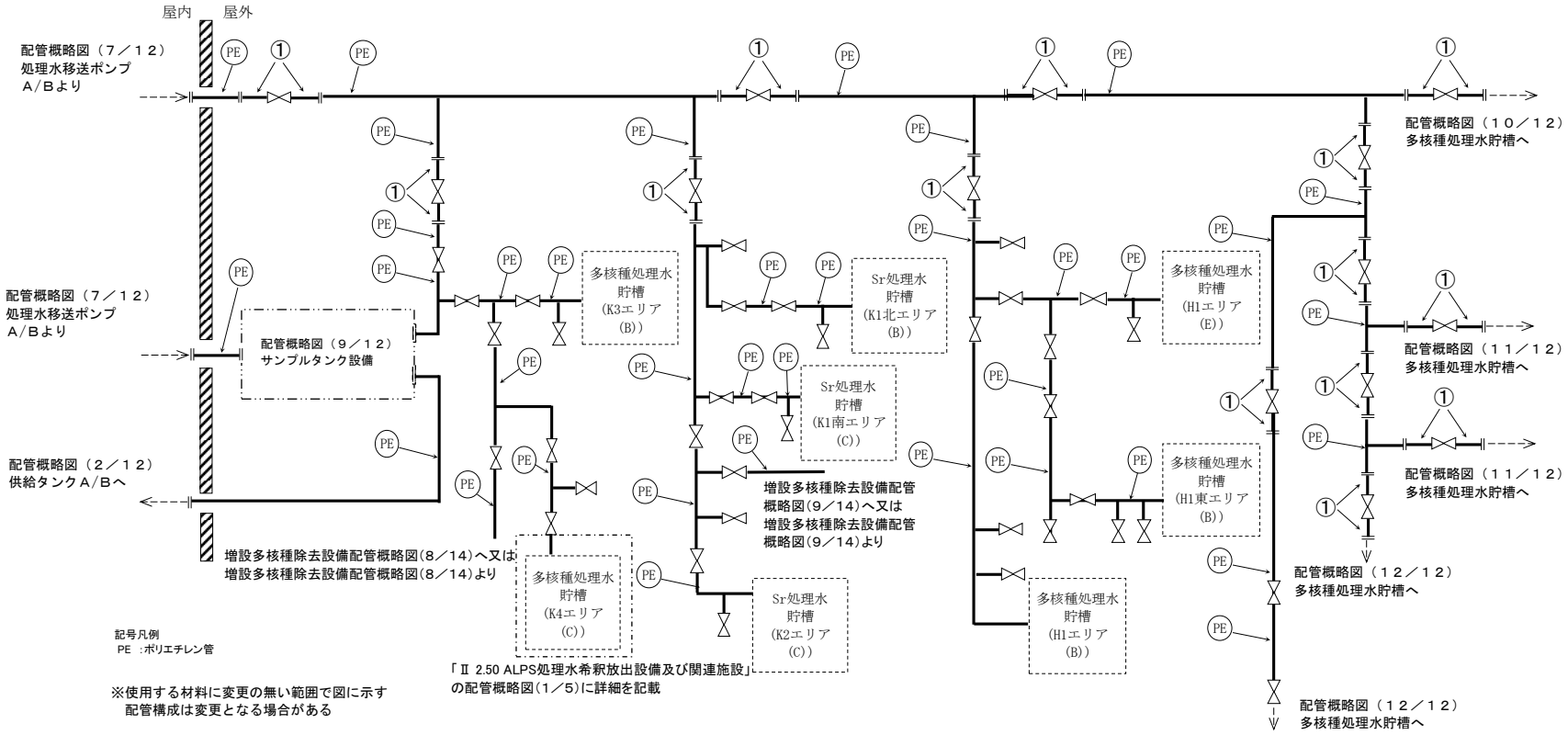
図－４　配管概略図（５／１２）


※：多核種吸着塔は処理対象水の性状に
応じて以下の４種類から選定する。
吸着塔ユニット４
配管概略図（５／１２）
昇圧ポンプユニット４より
ミキサー
吸着塔１※
吸着塔２※
吸着塔３※
吸着塔４※
吸着塔５※
配管ユニット
ミキサー
配管概略図（７／１２）
処理水タンクA/Bへ
配管概略図（２／１２）
供給タンクA/Bへ
記号凡例
：ホース
UNS
S31803
UNS
S32205
UNS
S32750
SUS316L

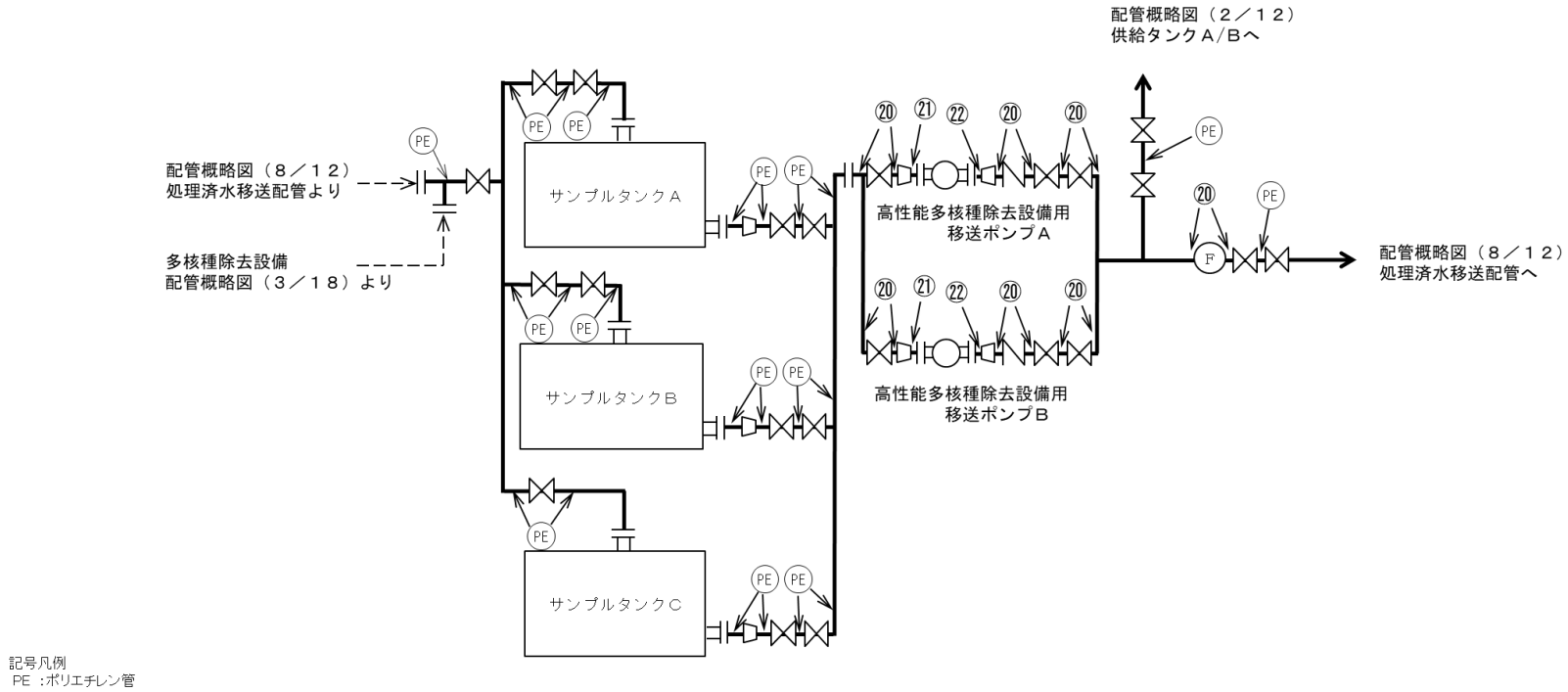
図－４　配管概略図（６／１２）


配管概略図（６／１２）
配管ユニット出口より
処理水タンクＡ
処理水タンクＢ
処理水移送
ポンプＡ
処理水移送
ポンプＢ
配管概略図（８／１２）
処理済水移送配管へ
配管概略図（９／１２）
サンプルタンク設備へ
屋内
屋外
記号凡例
PE ：ポリエチレン管

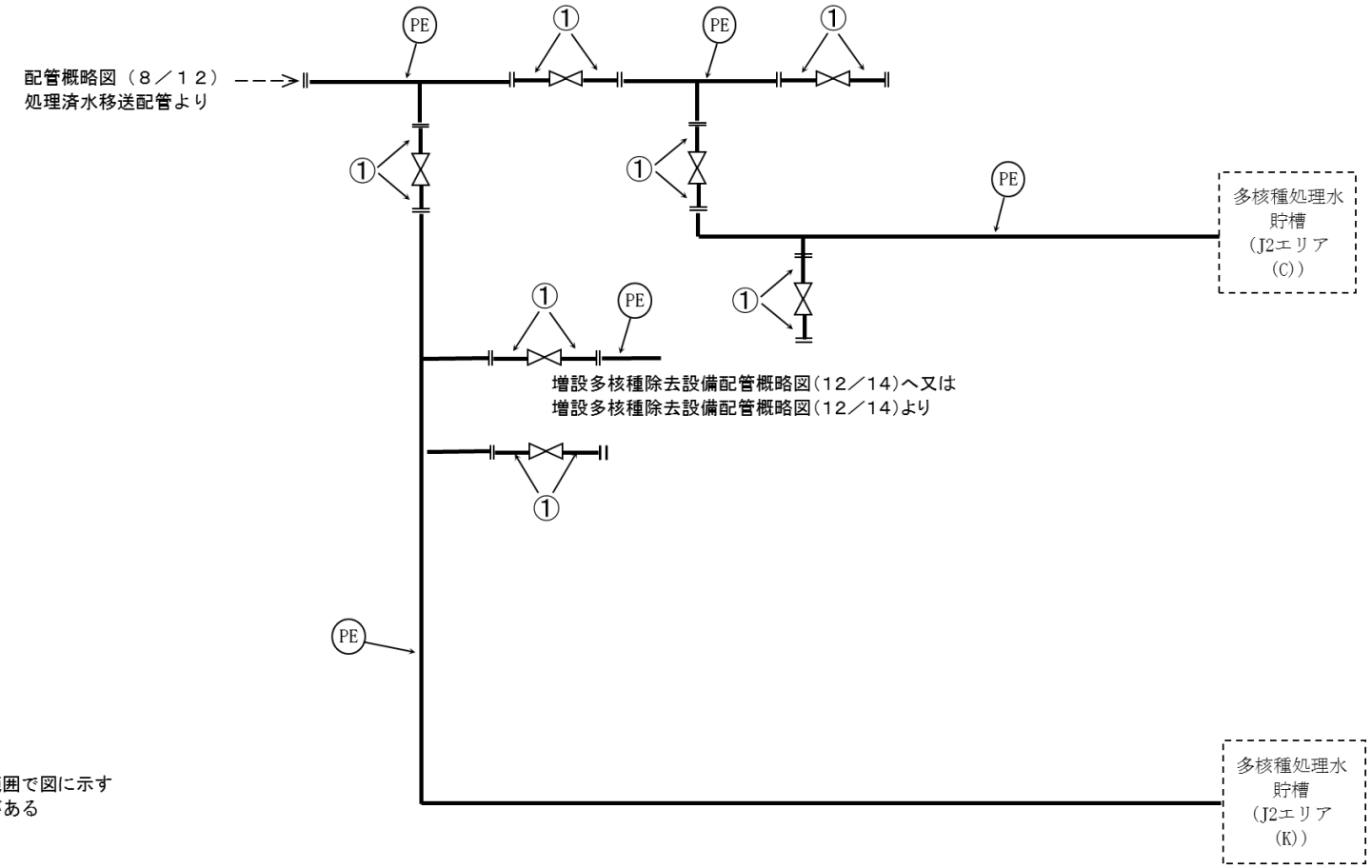
図－４　配管概略図（７／１２）


屋内
屋外
配管概略図（7／12）
処理水移送ポンプ
A/Bより
配管概略図（7／12）
処理水移送ポンプ
A/Bより
配管概略図（2／12）
供給タンクA/Bへ
配管概略図（9／12）
サンプルタンク設備
増設多核種除去設備配管概略図(8／14)へ又は
増設多核種除去設備配管概略図(8／14)より
多核種処理水
貯槽
(K3エリア
(B))
Sr処理水
貯槽
(K1北エリア
(B))
Sr処理水
貯槽
(K1南エリア
(C))
多核種処理水
貯槽
(K4エリア
(C))
Sr処理水
貯槽
(K2エリア
(C))
増設多核種除去設備配管
概略図(9／14)へ又は
増設多核種除去設備配管
概略図(9／14)より
多核種処理水
貯槽
(H1エリア
(B))
多核種処理水
貯槽
(H1エリア
(E))
多核種処理水
貯槽
(H1東エリア
(B))
配管概略図（10／12）
多核種処理水貯槽へ
配管概略図（11／12）
多核種処理水貯槽へ
配管概略図（11／12）
多核種処理水貯槽へ
配管概略図（12／12）
多核種処理水貯槽へ
配管概略図（12／12）
多核種処理水貯槽へ
記号凡例
PE :ポリエチレン管
※使用する材料に変更の無い範囲で図に示す
配管構成は変更となる場合がある
「Ⅱ 2.50 ALPS処理水希釈放出設備及び関連施設」
の配管概略図(1／5)に詳細を記載

図－４　配管概略図（８／１２）


配管概略図（２／１２）
供給タンクＡ/Ｂへ
配管概略図（８／１２）
処理済水移送配管より
多核種除去設備
配管概略図（３／１８）より
サンプルタンクＡ
サンプルタンクＢ
サンプルタンクＣ
高性能多核種除去設備用
移送ポンプＡ
高性能多核種除去設備用
移送ポンプＢ
配管概略図（８／１２）
処理済水移送配管へ
PE
20
21
22
F
記号凡例
PE ：ポリエチレン管

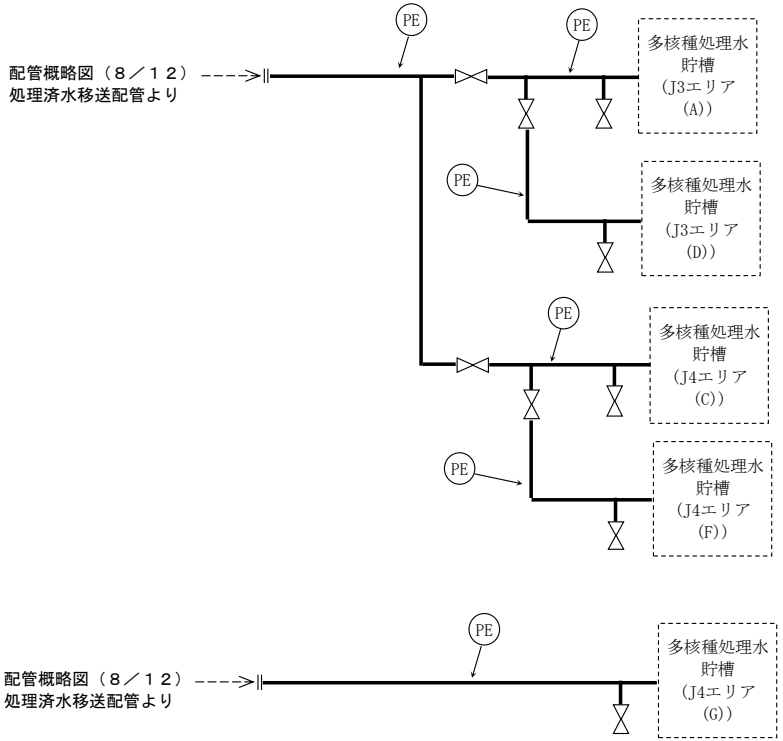
図－４　配管概略図（９／１２）



記号凡例
PE　:ポリエチレン管

※使用する材料に変更の無い範囲で図に示す
配管構成は変更となる場合がある

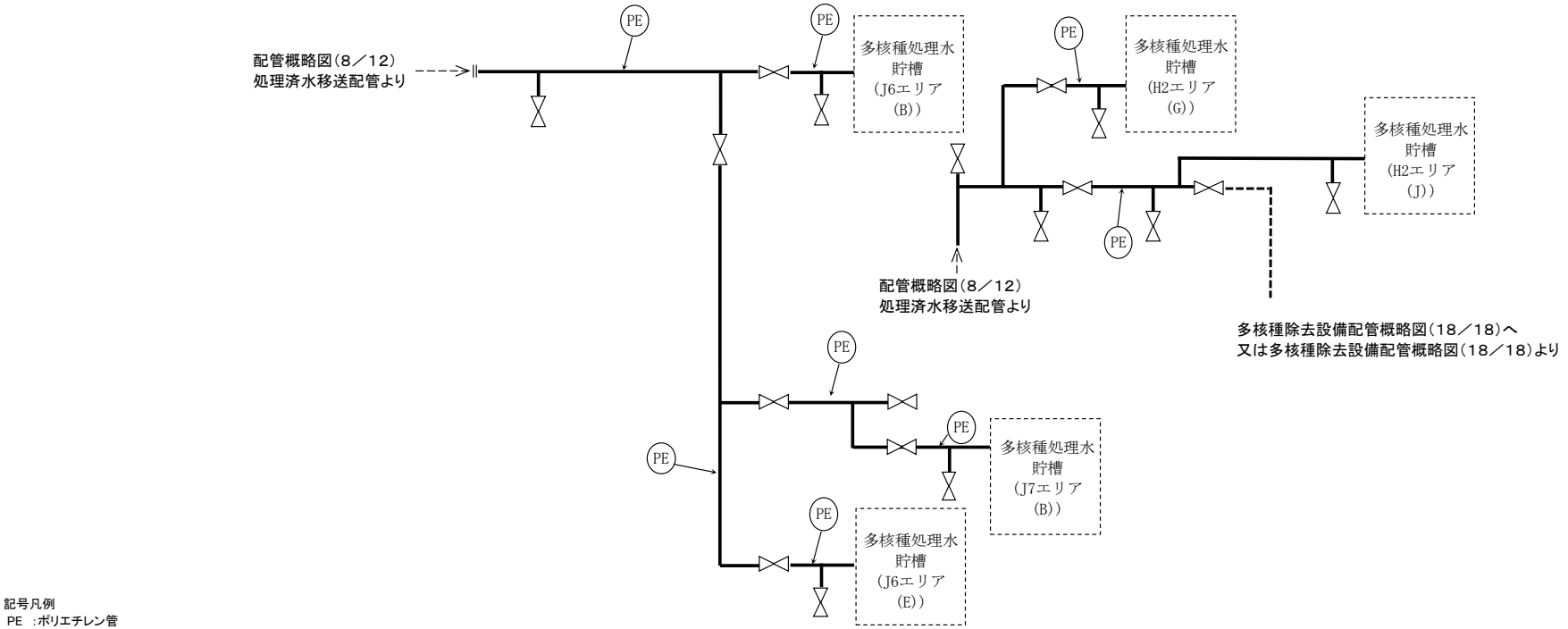
図－４　配管概略図（１０／１２）



記号凡例
PE ：ポリエチレン管

※使用する材料に変更の無い範囲で図に示す
配管構成は変更となる場合がある

図－４　配管概略図（１１／１２）



図－４　配管概略図（１２／１２）

2.4.2　評価方法

(1)　管の厚さの評価

管の必要な厚さは，次に揚げる値のいずれか大きい方の値とする。

a.　内面に圧力を受ける管

$$t_1 = \frac{P \cdot D_O}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$$

t_1 ：必要厚さ（mm）
P　：最高使用圧力（MPa）
Do：管台の外径（m）
S　：許容引張応力（MPa）
η　：継手効率（-）

b.　炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小厚さ：t_2

設計・建設規格　PPD-3411（3）の表 PPD-3411-1 より求めた値

2.4.3　評価結果

評価結果を表－６に示す。必要厚さ等を満足しており，十分な構造強度を有していると評価している。

表－６　配管の評価結果（管厚）

No.	外径 (mm)	材料	最高使用圧力(MPa)	最高使用温度（℃）	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
1	114.30	STPT410	0.98	40	3.40	5.25
2	114.30	STPT410	1.03	40	3.40	5.25
3	89.10	STPT410	1.03	40	3.00	4.81
4	89.10	STPT410	0.98	40	3.00	4.81
5	60.50	STPT410	0.98	40	2.40	4.81
6	114.30	UNS S32750	1.03	40	0.26	2.66
7	88.90	UNS S32750	1.03	40	0.20	2.66
8	88.90	UNS S32750	1.03	40	0.20	4.80
9	60.33	UNS S32750	1.03	40	0.14	3.42
10	60.33	UNS S31803	1.55	40	0.27	3.42
11	88.90	UNS S31803	1.55	40	0.39	4.80
12	60.33	UNS S32205	1.55	40	0.25	3.42
13	88.90	UNS S32205	1.55	40	0.37	4.80
14	60.33	UNS S32750	1.55	40	0.21	3.42
15	88.90	UNS S32750	1.55	40	0.31	2.66
16	88.90	UNS S32750	1.55	40	0.31	4.80
17	88.90	UNS S32750	0.98	40	0.19	2.66
18	114.30	UNS S32750	0.98	40	0.25	2.66
19	165.20	STPT410	0.98	40	3.80	6.21
20	114.30	SUS316L	0.98	40	0.51	5.25
21	89.10	SUS316L	0.98	40	0.40	4.81
22	60.50	SUS316L	0.98	40	0.27	3.40
23	216.30	STPG370	0.98	40	1.00	5.25
24	114.30	STPG370	0.98	40	1.89	7.17
25	60.50	SUS316LTP	1.55	40	0.42	2.23
26	89.10	SUS316LTP	1.55	40	0.62	4.81

注１）継手類及び弁類はJIS等の規格品を適用することで，管に対し十分な厚さを有し，管の強度評価に包絡される。

注２）管及び機器の取合箇所において，変位の吸収や着脱の必要性から強度計算の規格外となるホース類を適用する箇所がある。これらについては配管の流体・圧力・温度条件に合致した十分実績のあるものを採用することで，必要な強度を確保するものとする。

流体状の放射性廃棄物の施設外への漏えい防止に関する計算書

1. 流体状の放射性廃棄物の施設外への漏えい防止能力の評価

高性能多核種除去設備建屋の外周には堰が設置されており，仮に全容器の保有廃液が流出した場合においても施設内にとどまり，施設外への漏えいは防止される。この漏えい防止能力の評価を表－１に示す。

表－１　施設外への漏えい防止能力の評価（高性能多核種除去設備）

容器名称	設　置　場　所		容器容量（m^3）	容器設置区画内床面積※２（m^2）	見込み高さ※３（ｃｍ）	漏えい廃液全量を貯留するために必要な堰の高さ（ｃｍ）	拡大防止堰の高さ（ｃｍ）	評　価
	建屋名	据付床レベル（m）	①	②	③	④＝①/②×100+③	⑤	容器設置区画の拡大防止堰の高さは、各容器からの漏えい廃液全量を貯留するために必要な堰の高さを満足しており、施設外への漏えいを防止できる。
供給タンク等	高性能多核種除去設備建屋	GL +0.2	204※１	1430	0	15	15 以上	
供給タンクＡ		GL +0.2	30	56	8	62	62 以上	
供給タンクＢ		GL +0.2	30	56	8	62	62 以上	
処理水タンクＡ		GL +0.2	30	56	8	62	62 以上	
処理水タンクＢ		GL +0.2	30	56	8	62	62 以上	

注記　※１　：　保守的に建屋内に設置する全容器の総容量としている

※２　：　容器設置区画内の内のり面積

※３　：　基礎体積による高さ増加分（基礎体積÷当該容器設置区画内床面積）を考慮した値

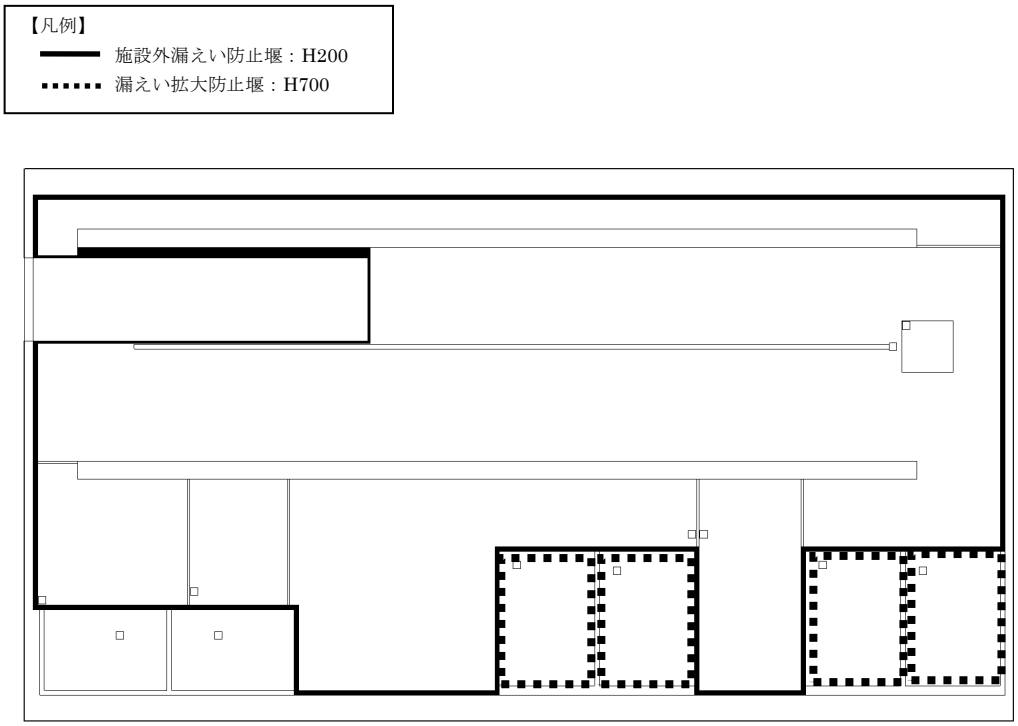
添付資料－５では，GL±0m=T.P.36.4m (※) とする。

（※）震災後の地盤沈下量（-709mm）と O.P.から T.P.への換算値（-727mm）を用いて，下式に基づき換算している。

＜換算式＞T.P.=O.P.-1,436mm

2.　高性能多核種除去設備建屋の堰に関する説明

高性能多核種除去設備建屋の外周に設置される堰の配置を図－１に示す。堰の名称，主要寸法及び材料について，表－２に示す。



図―１高性能多核種除去設備建屋　堰を明示した図

表－２　堰の名称、主要寸法、材料

名　　称		高性能多核種除去設備建屋　施設外漏えい防止堰
主要寸法	堰の高さ	150㎜以上
	床・堰の塗装	床面及び床面から堰の高さまで
材　　料	堰	鉄筋コンクリート
	床・堰の塗装	ポリウレア樹脂系

名　　称		高性能多核種除去設備建屋　漏えい拡大防止堰
主要寸法	堰の高さ	620㎜以上
	床・堰の塗装	床面及び床面から堰の高さまで
材　　料	堰	鉄筋コンクリート
	床・堰の塗装	ポリウレア樹脂系

工事工程表

		2014 年									・・・	2022 年		2023 年	
		4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	・・・	11 月	12 月	1 月	2 月
高性能多核種除去設備	高性能多核種除去設備							△ ① ③		△ ①			△ ③		
	高性能多核種除去設備建屋							△ ①							

□ ： 現地据付

① ： 構造，強度又は漏えいに係る試験をすることができる状態になった時

③ ： 原子炉施設の工事の計画に係る工事が完了した時

高性能多核種除去設備の具体的な安全確保策

高性能多核種除去設備で扱う液体は，放射性物質を含むことから，漏えい発生防止，放射線遮へい・崩壊熱除去，可燃性ガス滞留防止等について，具体的な安全確保策を以下の通り定め，実施する。

1. 放射性物質の漏えい発生防止等に対する考慮

(1) 漏えい発生防止

a. 高性能多核種除去設備を構成する機器は，腐食による漏えい発生防止するため，液性等に応じて，炭素鋼（内面ライニング），ステンレス鋼，二相ステンレス鋼，ポリエチレン材等を採用する（別添－１）。

b. タンクには水位検出器を設け，オーバーフローを防止するため，インターロックの作動によりポンプを停止する設計とする。

c. 鋼材もしくはポリエチレンの継手部は，可能な限り溶接構造もしくは融着構造とする。また，漏えい堰等が設置されない移送配管等で継手部がフランジ構造となる場合には，継手部に漏えい防止カバーを設置する。

d. ポンプの軸封部は，漏えいし難いメカニカルシール構造とする。

e. Ｋ２，Ｋ４，Ｊ２エリアの増設多核種除去設備処理済水移送配管と接続するために増設する移送配管は，供用の終了後に配管の水抜きを実施する。

f. ポリエチレン管の耐震性については，可撓性を有しており地震による有意な応力は発生しない。

(2) 漏えい検知・漏えい拡大防止

a. 高性能多核種除去設備は，放射性物質を内包する機器のスキッド毎に漏えいパン及び漏えい検知器を設け，漏えいを早期に検知する。また，高性能多核種除去設備設置エリアの最外周に，漏えいの拡大を防止する堰及び漏えい検知器を設ける（図１）。なお，トレーラヤードには，スロープ堰を設置する。

b. 漏えいを検知した場合には，免震重要棟集中監視室及びシールド中央制御室等に警報を発し，運転操作員によりカメラ，流量等の運転監視パラメータ等の状況を確認し，適切な対応を図る。また，大量の漏えいが確認された場合には，高性能多核種除去設備を遠隔操作で停止する。

c. 漏えい水のコンクリートへの浸透を防止するため，高性能多核種除去設備設置エリアには床塗装を実施する。

d. 高性能多核種除去設備の設置に伴い新規に敷設する屋外移送配管について，以下の対応を行う。

・ ポリエチレン管とポリエチレン管の接合部は漏えい発生を防止のため融着構造とすることを基本とし，ポリエチレン管と鋼管との取合い等でフランジ接続となる箇所については養生を行い，漏えい拡大防止を図る。また，処理対象水の移送配管は，万一，漏えいしても排水路を通じて環境に放出することがないように，排水路から可能な限り離隔するとともに，排水路を跨ぐ箇所はボックス鋼内等に配管を敷設する。さらに，ボックス鋼端部から排水路に漏えい水が直接流入しないように土のうを設ける。

・ 移送配管は，使用開始までに漏えい確認等を実施し，施工不良等による大規模な漏えいの発生を防止する。また，フランジ継手部は，ガスケットの経年劣化により微小漏えいの発生が懸念されることから，架空化により視認性を向上させ，毎日の巡視点検により漏えいの有無を確認する。

・ 移送配管から漏えいが確認された場合は，ポンプ等を停止し，系統の隔離及び土嚢の設置等により漏えいの拡大防止を図る。

・ 移送配管の更なる漏えい検知・漏えい拡大防止策について，速やかに検討し，RO 濃縮水処理によるリスク低減効果，漏えい拡大防止策の有効性や工期等を踏まえ，可能なものから実施する。対策が完了するまでの間は，巡視点検による漏えい検知を要員へ周知し，確実に実施する。

e. サンプルタンクの本堰（コンクリート堰）高さは，堰の保有水量がタンク 1 基分の容量以上となるよう確保する。

2. 放射線遮へい・崩壊熱除去

(1) 放射線遮へい（被ばくに対する考慮）

a. 高性能多核種除去設備の機器表面線量当量率が 1mSv/h 以下となるように遮へいを設ける。また，本設備から最寄りの敷地境界における直接線・スカイシャイン線の寄与は年間約 0.0036mSv となる。

評価点	年間線量（mSv/年）
No.70	0.0036
（参考）No.66	0.0018
（参考）No.71	0.0036

b. 通常運転時は，免震重要棟集中監視室及びシールド中央制御室等から遠隔での監視及び操作を可能とする。

c. 保守作業時の放射線業務従事者の被ばく低減のため，機器の洗浄が行える構成とする。

d. 高性能多核種除去設備の運転操作等に係る放射線業務従事者以外の者が不要に近づ

くことがないよう，標識等を設ける。さらに，放射線レベルの高い区域は，標識を設け放射線業務従事者の被ばく低減を図る。

(2) 崩壊熱除去

a. 処理対象水に含まれる放射性物質の崩壊熱は，通水時は処理水とともに熱除去される。

b. 使用済フィルタ及び吸着塔の保管時においては，フィルタ及び吸着塔の最高温度は，それぞれ約67℃，約182℃と想定される。一方，フィルタ及び吸着塔内の吸着材の耐熱温度は，それぞれ，150℃，600℃であることから，材料の健全性に影響を与えるものではない（別添－２）。

3. 可燃性ガスの滞留防止

a. 前処理フィルタおよび吸着塔内で水の放射性分解により発生する可能性のある可燃性ガスは，通水時は処理水とともに排出される。通水停止以降も再度その前処理フィルタおよび吸着塔により処理を行う場合には，可燃性ガスが滞留する可能性があるため，前処理フィルタおよび吸着塔内の可燃性ガスの濃度が可燃限界を超えないようベント弁より排出する。なお，高性能多核種除去設備の建屋には，換気装置及び換気装置のための貫通箇所があり，可燃性ガスが滞留し難い構造となっている。

b. 使用済フィルタ及び吸着塔は，可燃性ガスの滞留防止のため，淡水置換し，エアブローにより水切りした後，使用済フィルタはベント孔を設けた保管容器に収容し，吸着塔はベントを開放して保管する。保管時の水素濃度の評価を行った結果，水素濃度は高いもので約2.5%となり，可燃限界を超えることはない（別添－３）。

4. 環境条件を踏まえた対応

(1) 腐食

高性能多核種除去設備は，汚染水処理設備の処理済水を処理することから塩化物イオン濃度が高く，薬液注入によりｐＨが変動することから，耐腐食性を有する材料を選定する。また，使用済の吸着塔は，淡水置換し，エアブローにより水切りした後，使用済セシウム吸着塔一時保管施設で貯蔵する。

(2) 熱による劣化

熱による劣化が懸念されるポリエチレン管については，汚染水処理設備の処理済水の温度がほぼ常温のため，熱による材料の劣化の可能性は十分低い。

(3) 凍結

水を移送している過程では，凍結の恐れはない。水の移送を停止した場合，屋外に敷設されているポリエチレン管等は，凍結による破損が懸念される。そのため，屋外敷設のポ

リエチレン管等に保温材を取り付ける。また，建屋内の配管は，温度調整により凍結防止を図る。

今後，タンク運用等に合わせて，追加で敷設する屋外移送配管については，凍結しない十分な厚さを確保した保温材を取り付ける。なお、保温材は，高い気密性と断熱性を有する硬質ポリウレタン等を使用する。

保温材厚さの設定の際には，「建設設備の凍結防止（空気調和・衛生工学会）」に基づき，震災以降に凍結事象が発生した外気温-8℃，内部流体の初期温度 5℃，保温材厚さ 21.4mm の条件において，内部流体が 25%※凍結するまでに十分な時間（50 時間程度）があることを確認した。なお，震災以降の実測データから，外気温-8℃が半日程度継続することはない。

※「JIS A 9501 保温保冷工事施工標準」において管内水の凍結割合を 25%以上と推奨

(4) 耐放射線性

ポリエチレンは，集積線量が 2×10^5Gy に達すると，引張強度は低下しないが，破断時の伸びが減少する傾向を示す。ポリエチレン管の照射線量率を 1Gy/h と仮定すると，2×10^5Gy に到達する時間は 2×10^5 時間（22.8 年）と評価される。そのため，ポリエチレン管は数年程度の使用では放射線照射の影響を受けることはないと考えられる。

(5) 紫外線

屋外に敷設されているポリエチレン管等は，紫外線による劣化を防止するため，紫外線防止効果のあるカーボンブラックを添加した保温材を取り付ける，もしくは，カーボンブラックを添加していない保温材を使用する場合は，カーボンブラックを添加した被覆材または紫外線による劣化のし難い材料である鋼板を取り付ける。

5. その他

(1) 処理済水の保管容量

多核種除去設備等で処理した処理済水を貯蔵する多核種処理水貯槽については，必要に応じて保管容量の見直しを実施することとする。

(2) 使用済フィルタの貯蔵

使用済フィルタは，エアブローにより水切りした後，コンクリート製または金属製の保管容器に収容して瓦礫類の一時保管エリアE2で貯蔵する。また，使用済フィルタの保管容量が逼迫する場合は，必要に応じて瓦礫類をエリアE2以外の一時保管エリア（F1,Q,L,A1,A2,固体廃棄物貯蔵庫第２棟）に貯蔵し，使用済フィルタの保管容量を確保する。

なお，当初の計画では，固体廃棄物貯蔵庫に貯蔵することを予定していたが，発生する可燃性ガスの拡散性を考慮し，貯蔵先を屋外の瓦礫類の一時保管エリアとする。

コンクリート製の保管容器は，鉄筋を配したコンクリートを使用する。保管容器の蓋には可燃性ガスの滞留防止のため保管容器の蓋にベント孔を設け，蓋が容易に外れないよう容器と固定される構造とする。また，保管容器は，雨水が容易に入り難い構造とする。

金属製の保管容器は，屋外保管環境下での腐食防止のため，塗装を施した金属材料を使用する。保管容器の蓋には可燃性ガスの滞留防止のため保管容器の蓋にベント孔を設け，蓋が容易に外れないよう容器と固定される構造とする。また，保管容器は，雨水が容易に入り難い構造とする。

使用済フィルタの保管容器は，年間約 126m^3（約 2m^3 の容器で 63 個程度）発生すると想定される。また，運用上可能な範囲において処理量を増加（最大で 1.6 倍程度）して運転した場合，使用済フィルタの発生量は，通常の発生量に加えて 1 ヶ月で約 12m^3（約 2m^3 の容器で 6 個程度）と想定される。

使用済フィルタの保管時は，瓦礫類の一時保管エリアの受入目安表面線量率に応じて，保管容器の表面線量率を管理（保管容器の遮へいを考慮し，保管容器の表面線量率を測定する。また，必要に応じてフィルタの収納数を制限）する。

(3)　使用済吸着塔の貯蔵

使用済吸着塔は，淡水置換し，エアブローにより水切りした後，使用済セシウム吸着塔一時保管施設（第一施設，第四施設）に貯蔵する。

使用済吸着塔の発生量は，年間 14 基程度（多核種除去設備，増設多核種除去設備の運転に応じて 2 ヶ月程度の処理運転を想定）と想定される。また，運用上可能な範囲において処理量を増加（最大で 1.6 倍程度）して運転した場合，使用済吸着塔の発生量は，通常の発生量に加えて 1 ヶ月で 7 基程度と想定される。

なお，一部の使用済 Cs/Sr 同時吸着塔は，第二セシウム吸着装置，第三セシウム吸着装置にて再利用する。

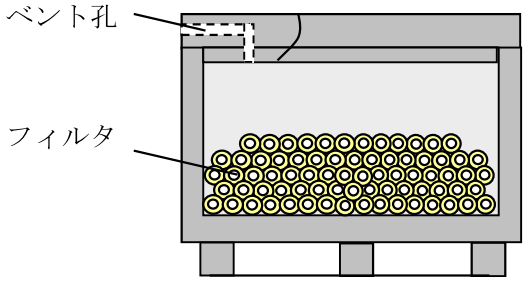
使用済吸着塔の貯蔵による敷地境界への直接線・スカイシャイン線による寄与は，使用済セシウム吸着塔一時保管施設（第一施設，第四施設）に貯蔵される他の廃棄物と同程度であり，使用済セシウム吸着塔一時保管施設（第一施設，第四施設）の敷地境界線量の評価結果に包絡される。

(4)　交換作業時の考慮

a.　使用済吸着塔・フィルタは，平成 23 年 6 月から実施している実績のあるセシウム吸着装置の吸着塔と同様の要領により，使用済みセシウム吸着塔一時保管施設等に搬入される。交換作業は，フォークリフトおよびトレーラ等を用いる。

吸着塔およびフィルタ保管容器は鋼製もしくはコンクリート製であり，万一の落下時等に損傷し難い構造となっているが，落下等の発生防止の観点等で，フォークリフト等の操作は経験を積んだ操作者が行うこととする。

b.　運搬時に落下することを防止するため，使用済吸着塔はトレーラ上に固定されたラックに収容し，フィルタ保管容器はトレーラに固縛するなどの対策を講じて輸送する。



フィルタ保管容器概要

6.　多核種除去設備において確認された不具合事象の対応

多核種除去設備でこれまでに確認された不具合事象の高性能多核種除去設備への対応を以下に記す。また,多核種除去設備で今後発生する不具合についても,適宜対策を反映していく。

(1)　誤操作による連続処理停止事象

運転データ取得のため，運転操作員が監視・制御画面（タッチパネル）を操作したところ，機器の「選択操作」を誤り，設備が自動停止した。対策として，シングルアクションとなっていた「選択操作」をダブルアクションとなるようソフト変更を行っており，高性能多核種除去設備においても同様に「選択操作」をダブルアクションとする設計とする設計とする。

(2)　バッチ処理タンクからの漏えい事象

バッチ処理タンクからの漏えいが確認された原因は，当該材料である SUS316L 材のすき間腐食（生成した鉄沈殿物がタンク内に堆積・付着することによるすき間環境の形成及び薬液注入（次亜塩素酸）等による腐食環境の促進）と推定した。対策として，次亜塩素酸の注入の停止，バッチ処理タンクへのゴムライニング施工及びすき間腐食発生の可能性があるフランジに対しガスケット型犠牲陽極等を施工した。

高性能多核種除去設備では，処理の過程においてすき間環境の形成要因となる鉄沈殿物は発生せず，腐食環境の促進要因となる次亜塩素酸を使用しない。また，耐腐食性の高い二相ステンレス鋼，ステンレス鋼及びライニング付き炭素鋼を採用する。

(3)　クロスフローフィルタからのスラリー透過事象に対する対応

クロスフローフィルタ（以下,「CFF」という。）のガスケット（テフロン PTFE 製）がβ線照射により照射されたことによって脆化し，逆洗時の圧力脈動等によって欠損・傷が発生したことで，ストロンチウムを含む炭酸塩スラリーが下流側へ流出し，出口水に高い放射能濃度が確認された。この対策として，当該ガスケットを耐放射線性に優れる合成ゴム（EPDM）へ変更した CFF へ交換を実施している。

高性能多核種除去設備では，CFF を用いない設備構成としているものの，以下の汚染拡大対策を図る（別添－４）。

・処理済水移送設備（サンプルタンク，処理済水移送ポンプ）の導入

・サンプルタンクが万一汚染した場合の再処理ラインの設置

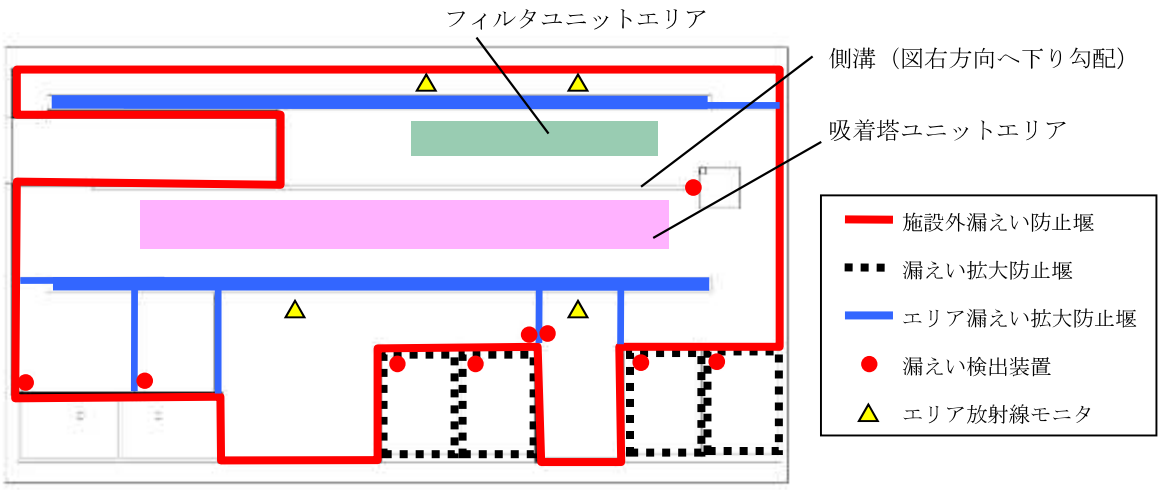
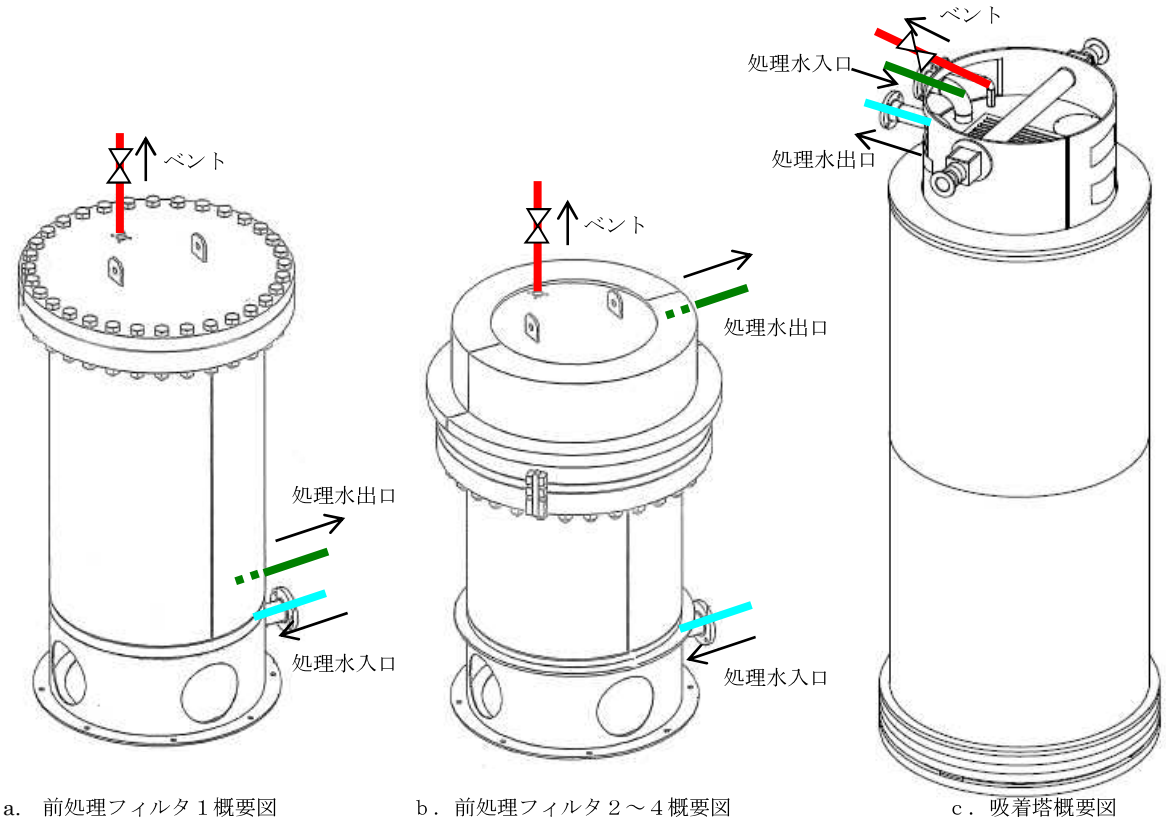


図１　堰及び漏えい検出装置等の配置概要（上から見た図）



a.　前処理フィルタ１概要図　　b．前処理フィルタ２～４概要図　　c．吸着塔概要図

図２　前処理フィルター，吸着塔概要図

別添－1

高性能多核種除去設備に使用する材料の適合性評価

1. はじめに

高性能多核種除去設備は，RO 濃縮塩水等を処理することから，系統内の塩化物イオン濃度が高く，また，薬液注入により pH が変動する。そのため高性能多核種除去設備の使用環境における材料の適合性について評価を実施した。

2. 使用環境における材料の適合性について

高性能多核種除去設備を構成する主な機器の材料選定理由を表 1 に示す。表 1 の材料のうち，二相ステンレス鋼，ステンレス鋼，炭素鋼に対する耐食性について評価を行った。

表 1　高性能多核種除去設備を構成する主な機器の使用材料と選定理由

機器	材料	選定理由
多核種吸着塔	二相ステンレス鋼（UNS S31803,UNS S32205, UNS S32750）	処理対象水に海水由来の塩分が含まれていることから，耐食性に優れる二相ステンレス鋼（UNS S31803,UNS S32205,UNS S32750）を使用する。
	ステンレス鋼（SUS316L,SUS316LTP,SUSF316L）	処理対象水に海水由来の塩分が含まれていることから，耐食性に優れるステンレス鋼（SUS316L,SUS316LTP,SUSF316L）を使用する。多核種除去設備において，活性炭を収容する吸着塔及び近傍のフランジ部に，微小なすき間腐食が確認された知見を踏まえ，当該箇所においてステンレス鋼は使用しない。また，低 pH 条件においても腐食が加速する要因となる可能性があるためステンレス鋼は使用しない。
前処理フィルタ	炭素鋼（ASME SA 516 Gr.70）	処理対象水に海水由来の塩分が含まれていることから，耐食性に優れる炭素鋼（エポキシライニング付）を使用する。
タンク類	炭素鋼（SM400C）	処理対象水に海水由来の塩分が含まれていることから，ゴムライニング付の炭素鋼または内面塗装を施した炭素鋼を使用する。
配管（鋼管）	二相ステンレス鋼（UNS S31803, UNS S32205, UNS S32750, 炭素鋼(STPT410) ステンレス鋼（SUS316LTP）	処理対象水に海水由来の塩分が含まれていることから，耐食性に優れる二相ステンレス（UNS S31803,UNS S32205,UNS S32750）またはステンレス鋼（SUS316LTP）を使用する。多核種除去設備において，活性炭を収容する吸着塔及び近傍のフランジ部に，微小なすき間腐食が確認された知見を踏まえ，当該箇所においてステンレス鋼は使用しない。また，低 pH 条件においても腐食が加速する要因となる可能性があるためステンレス鋼は使用しない。炭素鋼を使用する場合は，ポリエチレンライニング付の炭素鋼を使用する。
配管（ポリエチレン管）	ポリエチレン	耐食性に優れることから，屋外配管に主に使用する。

2.1 二相ステンレス鋼及び炭素鋼の耐食性について

炭素鋼は，ゴムライニング施行するため，腐食の発生の可能性はない。

二相ステンレス鋼の腐食モードを表２に示す。二相ステンレス鋼の腐食モードに対する耐食性について，表３に示す使用範囲を考慮し評価を実施した。

表２　使用材料における腐食モード

使用材料	腐食モード
二相ステンレス鋼	応力腐食割れ(SCC)
	すきま腐食
	孔食
	全面腐食

表３　二相ステンレス鋼を使用する範囲の環境

二相ステンレス鋼	使用範囲		
	塩化物イオン濃度[ppm]	常用温度[℃]	pH
	6,350	0～40℃	3.5～10

ａ．二相ステンレス鋼の応力腐食割れ（SCC）

応力腐食割れ（SCC）の発生には，使用温度と塩化物イオン濃度が影響する。塩化物イオン濃度が 10ppm を超える条件においては，304 系ステンレス鋼の SCC 発生臨界温度は約 50℃とされており[1)2)]，また二相ステンレス鋼の耐 SCC 性はオーステナイト系ステンレス鋼よりも良好であることから[2)]使用温度が 40℃であれば，塩化物イオン濃度が 6,350ppm の環境であっても SCC が発生する可能性は低いと考えられる。

ｂ．二相ステンレス鋼のすきま腐食

すきま腐食の発生には，使用温度，塩化物イオン濃度等が寄与し，高性能多核種除去設備の使用環境下では，すきま腐食が発生し得る条件であるが[3)]，腐食発生時間を考慮すると，50℃，塩化物イオン濃度 19,000ppm の条件でも，腐食発生までに 80 年以上を有するというデータもあり[4)]，すきま腐食が発生する可能性は低いと考えられる。

ｃ．二相ステンレス鋼の孔食

孔食よりも発生しやすいとされるすきま腐食の可能性が低いと判断されることから，孔食が発生する可能性も低いと判断できる。

d．二相ステンレス鋼の全面腐食

全面腐食の発生には，pHおよび流れが影響する。pHが7.5程度の使用環境では不動態皮膜は安定である[5)]。不動態皮膜は高い流速にも耐え，全面腐食が進行する速度は小さいと考えられる[6)]。二相ステンレス鋼の全面腐食特性は，ステンレス鋼（SUS316L）に比べて優れており，またpHが3.5まで低下しても脱不動態化には至らないと考えられるため[7)]，全面腐食が進行する速度は小さいと考えられる。

2.2 ステンレス鋼の耐食性について

ステンレス鋼（SUS316L）の腐食モードを表４に示す。ステンレス鋼の腐食モードに対する耐食性について，表５に示す使用範囲を考慮し評価を実施した。

表２　使用材料における腐食モード

使用材料	腐食モード
ステンレス鋼（SUS316L）	応力腐食割れ(SCC)
	すきま腐食
	孔食
	全面腐食

表３　ステンレス鋼を使用する範囲の環境

ステンレス鋼	使用範囲		
	塩化物イオン濃度[ppm]	常用温度[℃]	pH
	6,350	0～40℃	7～10

a．ステンレス鋼の応力腐食割れ（SCC）

応力腐食割れ（SCC）の発生には，使用温度と塩化物イオン濃度が影響する。温度および塩化物イオン濃度が高いほどSCCは発生しやすい。中性条件ではSUS316Lの場合70～90℃以上でSCCが発生する。使用温度が常温（最高温度40℃）であれば，塩化物イオン濃度が6,350ppmの環境であってもSCCが発生する可能性は低いと考えられる。

ｂ．ステンレス鋼のすきま腐食

すきま腐食の発生には，使用温度，塩化物イオン濃度が影響する。淡水や海水などの通常の中性塩化物溶液中において，316 系ステンレス鋼にすきま腐食が発生する下限界の Cl^-濃度は，30℃で約 16,000 ppm 程度[8]との報告例がある。また，セシウム吸着装置，第二セシウム吸着装置の主配管，吸着塔等に使用されており，1 万数千 ppm～数百 ppm の塩化物イオン濃度での使用実績があるが，次亜塩素酸注入等の腐食加速因子がない場合においては，腐食事象は見られていない。

今回の処理対象の RO 濃縮水の Cl^-濃度は最大 6,350ppm 程度であり，すきま腐食の発生下限界の Cl^-濃度を下回っているため，すきま腐食発生の可能性は低い。

第二セシウム吸着装置，多核種除去設備で見られた SUS316L の腐食事象においては，次亜塩素酸注入により腐食が加速される要因となっていたが，本設備においては次亜塩素酸を使用しない。また，多核種除去設備において，活性炭を収容する吸着塔及び近傍のフランジ部に，微小なすき間腐食が確認された知見を踏まえ，本設備の当該箇所においてステンレス鋼は使用しない。低 pH 条件においても腐食が加速する要因となる可能性があるためステンレス鋼は使用しない。

ｃ．ステンレス鋼の孔食

孔食の発生には，定常腐食電位，使用温度，塩化物イオン濃度が影響する。孔食のほうがすきま腐食よりも発生し難いと判断されるため孔食発生の可能性が低い。

ｄ．ステンレス鋼の全面腐食

全面腐食の発生には，pH および流れが影響する。pH が 7～10 程度の使用環境では不動態皮膜は安定である[5]。不動態皮膜は高い流速にも耐え，全面腐食が進行する速度は小さいと考えられる[6]ため，全面腐食は発生し難い。

1) 篠原正，新谷嘉弘，辻川茂男：材料と環境，第 46 巻（1997）p695.
2) 遅沢浩一郎：ステンレス鋼の特性と使用上の要点，（社）腐食防食協会　腐食センター.
3) 宮坂松甫：エバラ技報，腐食防食講座ー海水ポンプの腐食と対策技術（第 5 報），No.224（2009-7）p28.
4) 松橋亮，松橋透：第 167 回腐食防食シンポジウム資料（2010）.
5) 小野山征生，辻正宣，志谷健才：防食技術，第 28 巻（1979）p532.
6) 宮坂松甫：材料と環境，第 47 巻（1998）p164-165.
7) 腐食防食便覧，腐食防食協会編（現学会），日刊工業新聞社（1986）p103.（原著　H.R.Copson: Physical Metallurgy of Stress Corrosion Fracture, New York（1959）p247. ）
8) L. F. Plock and H. B. Bomberger: CORROSION/68, NACE International, Paper No. 36（1968）

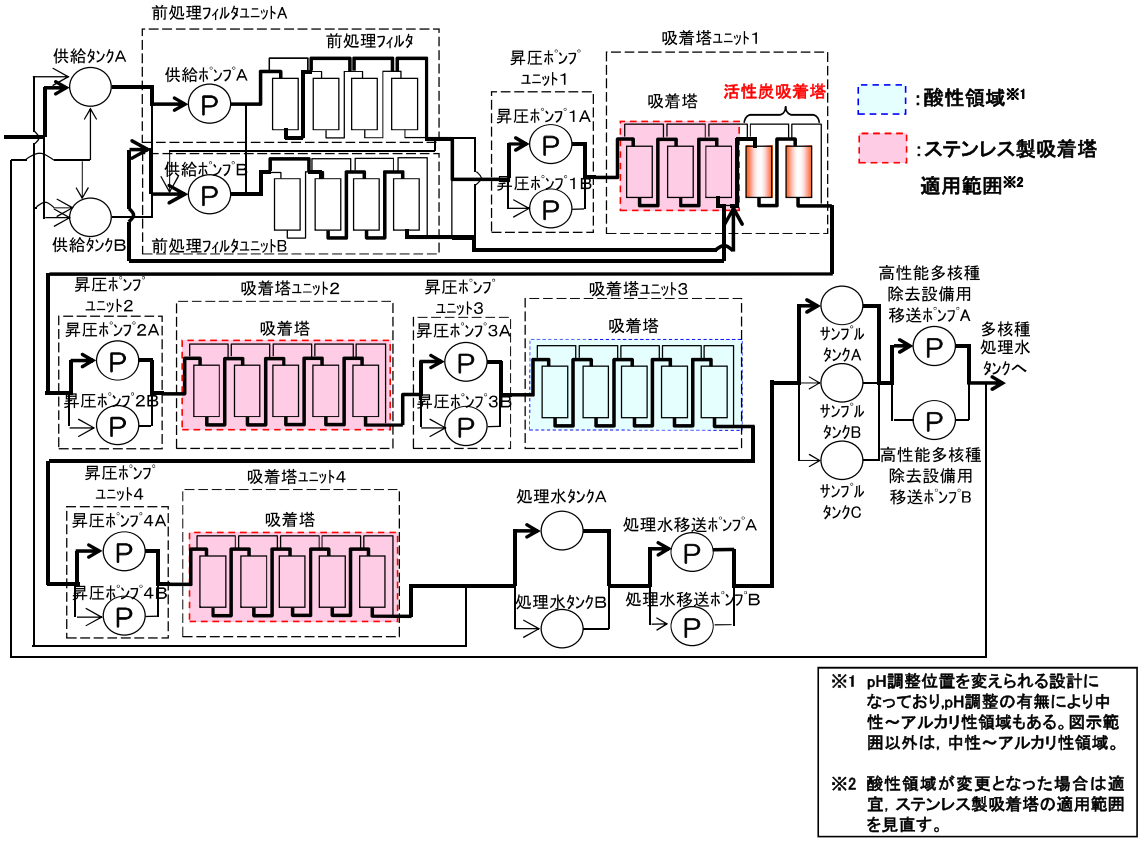


図３　高性能多核種除去設備における液性

3.　腐食への対応方針

高性能多核種除去設備で使用する二相ステンレス鋼，ステンレス鋼の腐食モードへの対応方針として，腐食が発生する可能性がある箇所について定期的な点検・保守を行っていく。また，長期間の貯蔵が必要となる多核種吸着塔については，腐食環境の緩和するため淡水置換し，エアブローによる水切りを行う。

以　上

別添－２

高性能多核種除去温度評価

温度評価は，前処理フィルタ及び多核種吸着塔の収容物からの発熱を入熱条件とし，解析により前処理フィルタ及び多核種吸着塔の最高温度を評価する。

1. 評価概要

○　評価手法：

熱解析プログラムSTAR-CCMにより，発熱体からの自然対流熱伝達，熱輻射，固体熱伝導を考慮し，吸着塔の温度分布を解析した。

○　入熱条件：

フィルタ及び吸着材のうち，発熱量が最大となるフィルタ３，４及び多核種吸着塔１の吸着材を発熱体とした。なお，発熱量の算出に用いる各前処理フィルタ及び多核種吸着塔内の放射能濃度は，各フィルタ・吸着塔の入口濃度から除去率，通水量を考慮して算出した値に保守的に30%を加算した値とする。

○　評価条件：

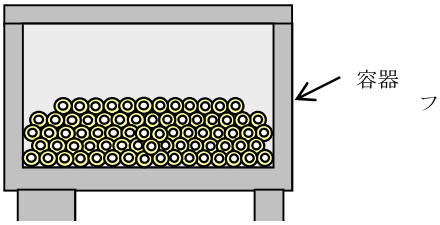
・フィルタは，保管容器に収容される。本評価では，容器及び内部のフィルタをモデル化し，解析により温度評価を実施した（図１参照）。

・放射能濃度は，各フィルタ・吸着塔の入口濃度から除去率，通水量（機器表面線量が1mSv/h以下となるよう設定）を考慮して算出した値に保守的に30%を加算して評価を行う。

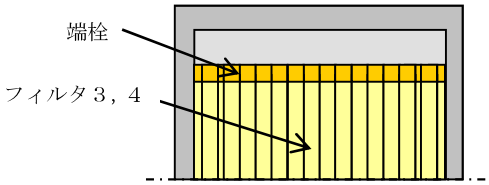
・多核種吸着塔は，中空の円柱形の容器（二相ステンレス製，ステンレス製）内に収用されており，さらに容器の外周には鉛の遮へい体が設置されている。本評価では，容器及び遮へい体をモデル化し，解析により温度評価を実施した（図２参照）。放射能濃度は，想定される濃度に対して，保守的に30%を加算して評価を行う。

2. 解析結果

フィルタ及び多核種吸着塔の温度評価の結果，最高温度はフィルタでは約67℃，多核種吸着塔では二相ステンレス製であり約182℃となった（図３，図４参照）。フィルタ及び吸着塔内の吸着材の耐熱温度は，それぞれ，150℃，600℃であることから，材料の健全性に影響を与えるものではない。



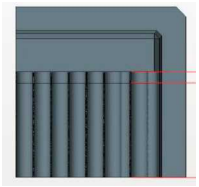
フィルタ及び容器断面概要



フィルタ及び容器断面概要（上面より）



フィルタ及び容器評価モデル



フィルタ及び容器評価モデル（上面より）

図１　フィルタの評価モデル

表１　フィルタの評価に用いた物性値等

発熱量	70[W]

フィルタ	0.25[W/m K]
端栓	0.19[W/m K]
容器	1.2[W/m K]
空気	伝熱工学資料第４版 常圧下の気体の熱物性値から近似式により算出

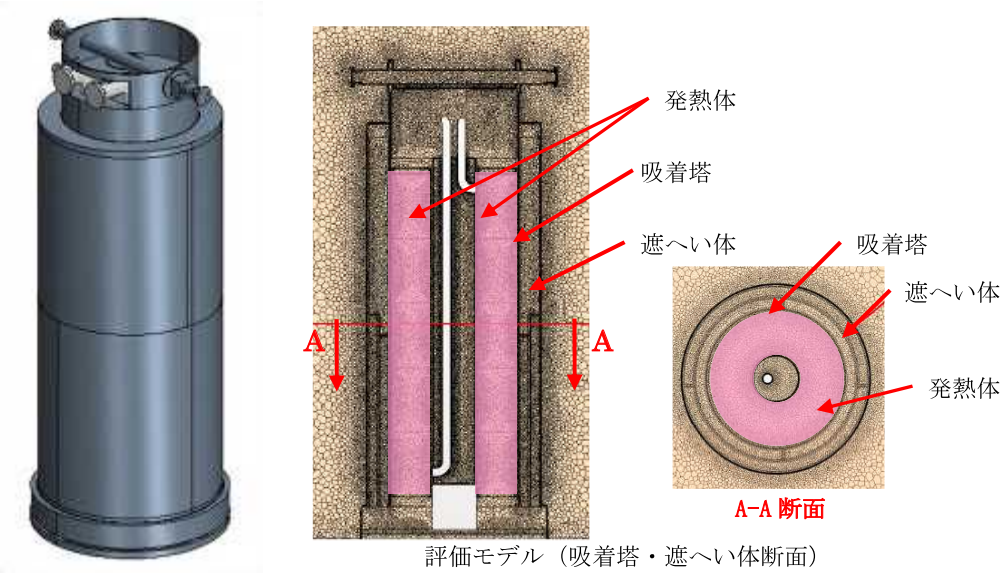


図２ 吸着材の評価モデル

表２ 吸着塔の評価に用いた物性値等

発熱量	1000[W]

吸着材１	熱伝導率は表３に示す値から線形補間
容器 （S32750）	熱伝導率は表４に示す値から線形補間（二相ステンレス鋼加工マニュアル第二版 2009 年
遮へい体（鉛）	径方向 0.75[W/m K] 周方向，軸方向 30.5[W/m K]
空気	伝熱工学資料第４版 常圧下の気体の熱物性値から近似式により算出

表３ 吸着材１熱伝導率

温度	熱伝導率
25.0［℃］	0.119［W/m・K］
125.0［℃］	0.161［W/m・K］
250.0［℃］	0.186［W/m・K］
375.0［℃］	0.183［W/m・K］
500.0［℃］	0.182［W/m・K］

表４ 容器(S32750)熱伝導率

温度	熱伝導率
297［K］	16.0［W/m・K］
373［K］	17.0［W/m・K］
473［K］	19.0［W/m・K］
573［K］	20.0［W/m・K］

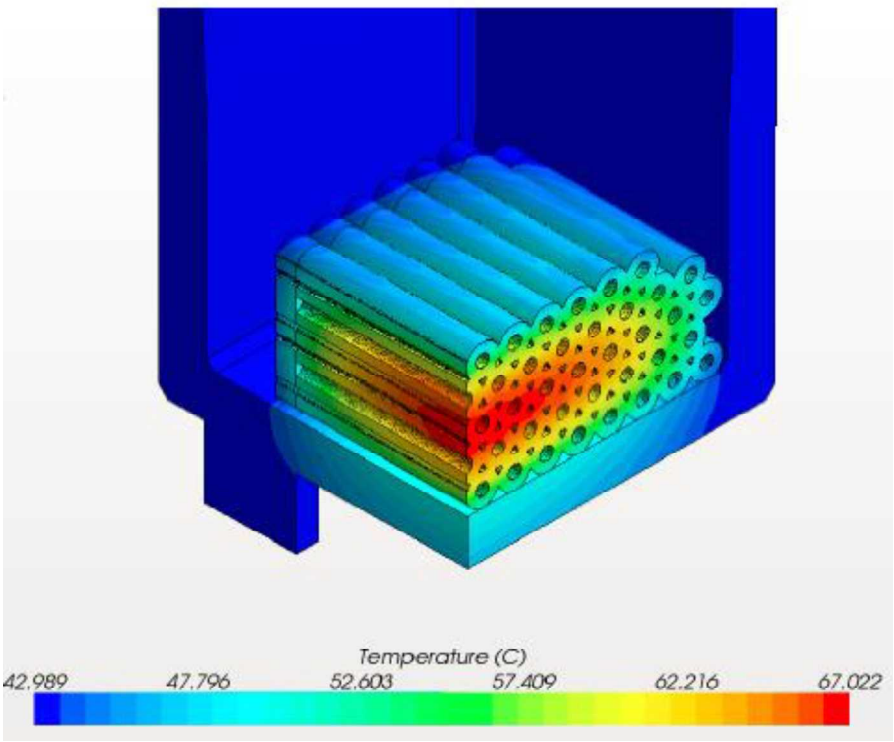


図３　フィルタ温度評価結果

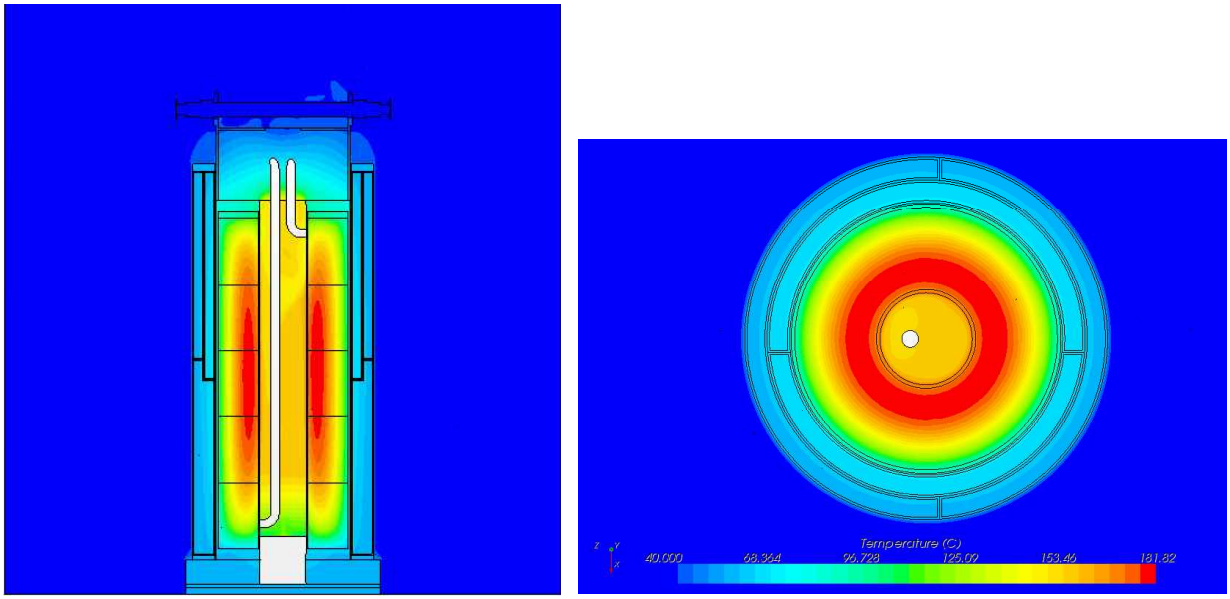


図４　吸着塔温度評価結果

別添－3

水素発生量評価について

高性能多核種除去設備における水素発生量評価の結果を以下に示す。使用するフィルタ及び吸着材のうち，水素発生速度が最も高い吸着材を収容する吸着塔の評価結果を以下に示す。

1. 水素発生量評価

水素は，吸着した核種の崩壊エネルギーが容器内に残留する水に吸収され発生する。水素発生速度H(mol/s)は次式により求めた。なお，水が吸収するエネルギーを算出する際に用いた吸着材に含まれる放射能濃度は，吸着塔の入口濃度から除去率，通水量（機器表面線量が1mSv/h以下となるよう設定）を考慮して算出した値に保守的に30%を加算して評価を行う。

$$H = G \times \alpha \times E \div A$$

H：水素発生速度

G：水が100eVのエネルギーを吸収した際に発生する水素分子の個数，0.45

α ：含水率，1.0

E：水が吸収するエネルギー：5.44×10^{19}（100eV/s）

A：アボガドロ数（6.02×10^{23}個/mol）

2. 水素到達濃度評価

高性能容器内の水素到達濃度は，水素発生量と濃度勾配から生じる拡散による水素排出量を考慮し，以下の方法で評価する。

3. 水素到達濃度評価

吸着塔内の吸着材充填領域から発生した水素ガスは，吸着塔上部の空間部に排出される。吸着塔は，保管時にベント管と取水側のノズルを開放し，上部空間の水素は空気との密度差により上昇しベント管から排出される。また，排出された水素ガスの体積に応じて，取水側ノズルから空気が流入する（図１参照）。このときの水素の排出と空気の流入を流体解析コード(STAR-CCM+)により解析し，吸着塔内の水素濃度を評価した。

4. 評価結果

解析の結果，吸着塔内の到達水素濃度は2.5%となる（図２参照）。

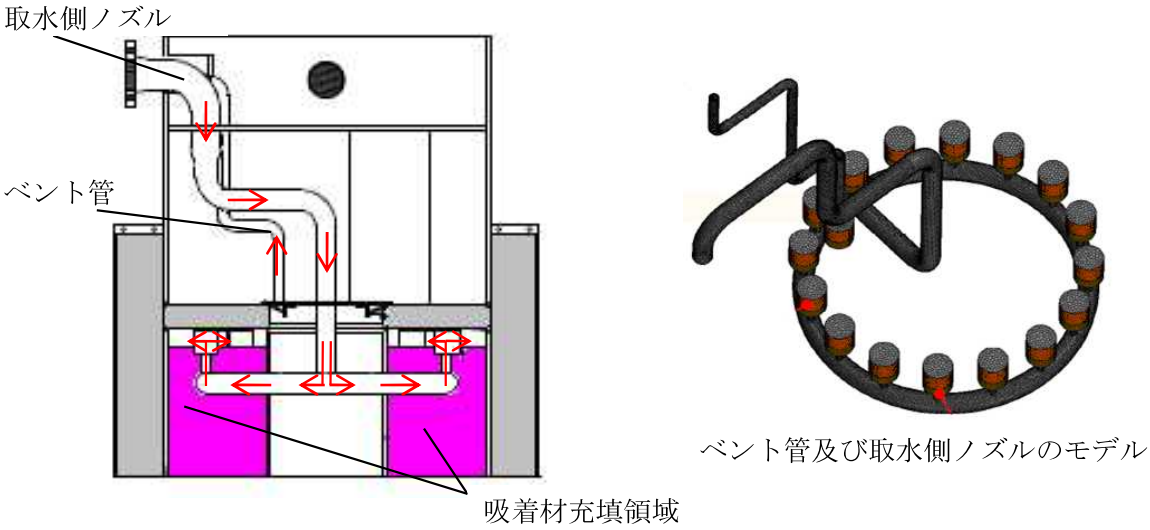


図１　多核種吸着塔の評価体系

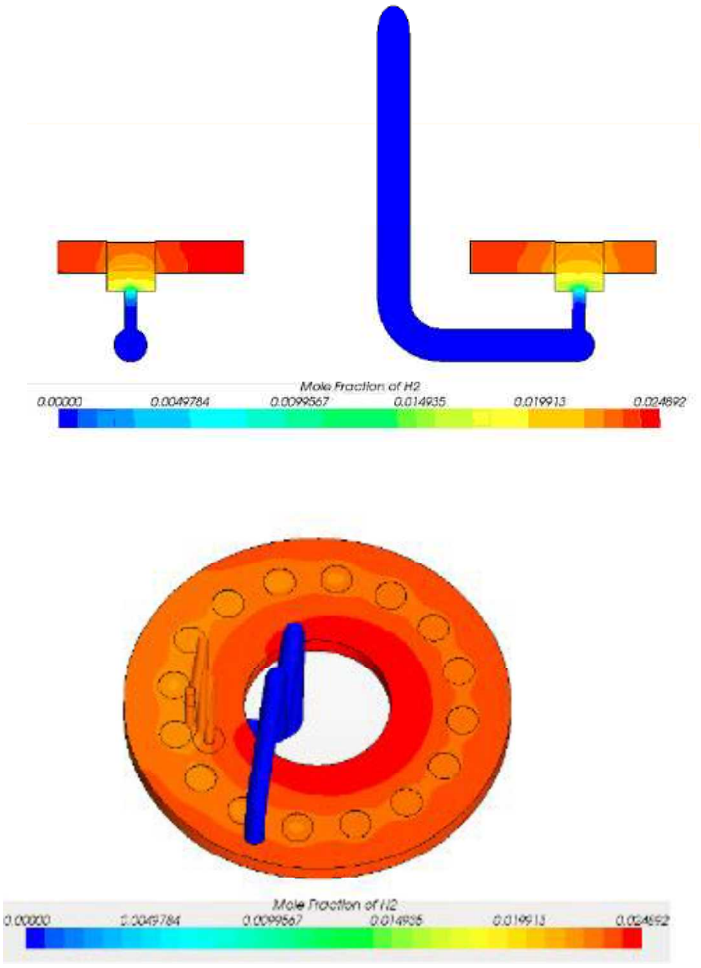


図２　評価結果

高性能多核種除去設備　汚染拡大防止対応状況について

1.　概要

多核種除去設備Ｂ系のクロスフローフィルタパッキン損傷に伴う炭酸塩スラリーの透過事象により，その下流の配管，多核種除去設備の処理済水を貯蔵する貯蔵タンク等において，全β濃度の上昇を確認した。

また，上記事象により，汚染拡大防止の観点から，運転中のＡ／Ｃ系統の停止も余儀なくされた（その後，Ａ／Ｃ系統は健全であることが確認されたことから，汚染された系統の洗浄のため再起動を実施）。

高性能多核種除去設備は，クロスフローフィルタを用いない設備構成であるものの，当該事象を踏まえ，以下の対策を追加で実施することにより，上記と同様な事象発生時の汚染拡大を防止するとともに，健全な系統による浄化が可能な構成とする。

- 処理済水移送設備（サンプルタンク，処理済水移送ポンプ）の導入
- サンプルタンクが万一汚染した場合の再処理ラインの設置

2.　処理済水移送設備，再処理ライン等の設置

高性能多核種除去設備の処理済水は当初，移送ポンプから処理済水を貯蔵するタンク（多核種処理水貯槽）へ直接移送する計画でいたが，多核種除去設備で発生した貯蔵タンク等の汚染を踏まえ，サンプルタンク，処理済水移送ポンプを設置する。

また，処理済水移送ポンプの下流から高性能多核種除去設備の処理水受入タンクへの戻りラインを設置し，万一サンプルタンクまで汚染した場合は，当該汚染水を再処理する。

当該のライン設置により，損傷系統以外の系統は上記の汚染水の再処理を含めて運転継続することが可能となる。

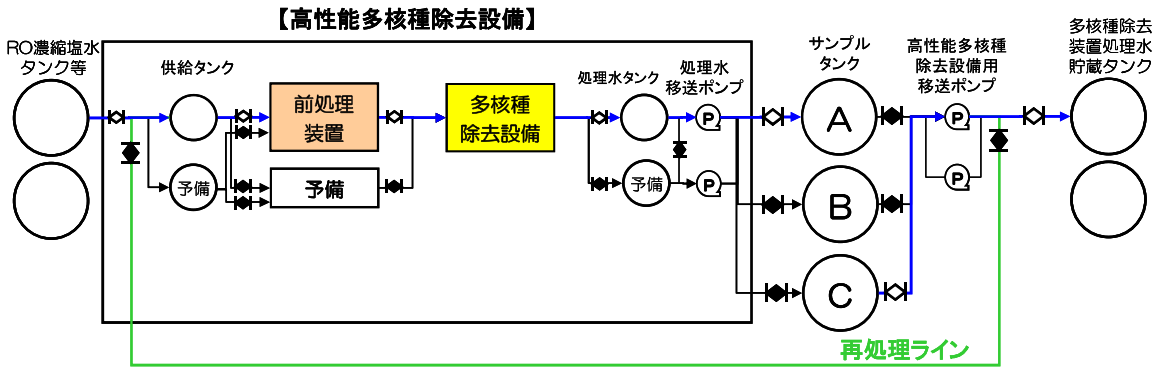


図１　処理済水移送設備，再処理ライン等の概要

3.　汚染発生時の対応の流れ

【評価条件】

■　サンプルタンクはＡが受入れ中，Ｃが払い出し中

■　サンプルタンクＡの分析にて汚染を確認。

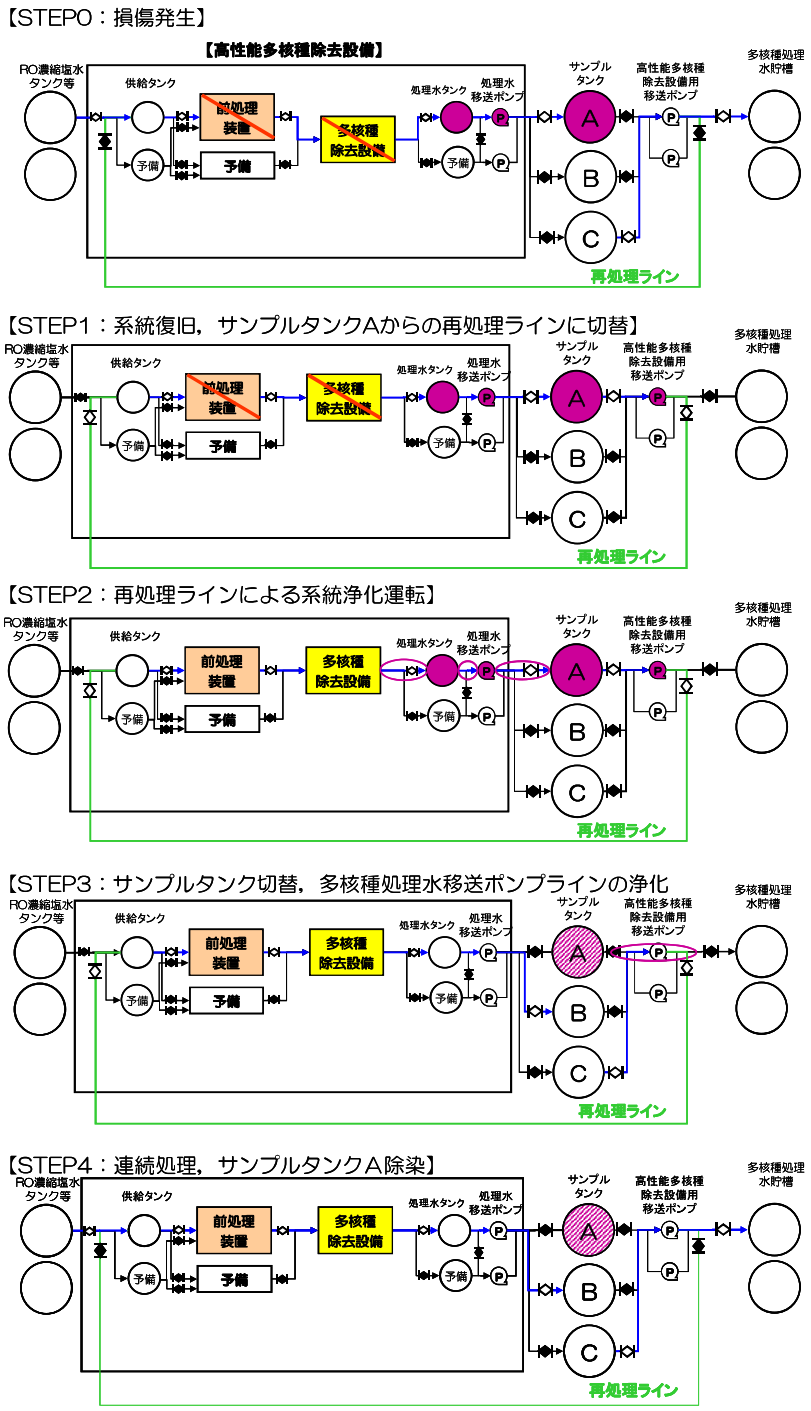


図２　汚染発生時の対応ステップ（１／２）

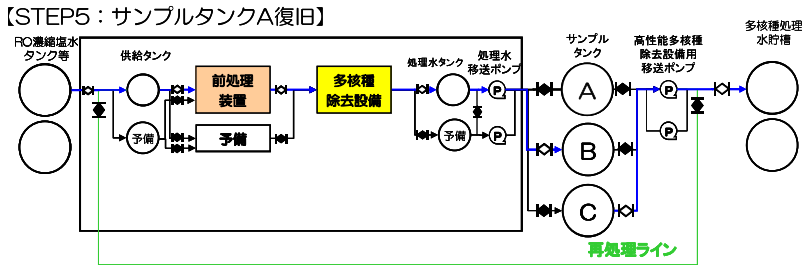


図２　汚染発生時の対応ステップ（２／２）

4.　その他（βモニタの概要）

■　更なる信頼性向上の観点からβモニタを今後，設置する。

■　運用としては，多核種除去設備からサンプルタンク出口ラインより処理水を抜き出し，モニタリングする。モニタリング後の水は，処理水タンクへ移送する。

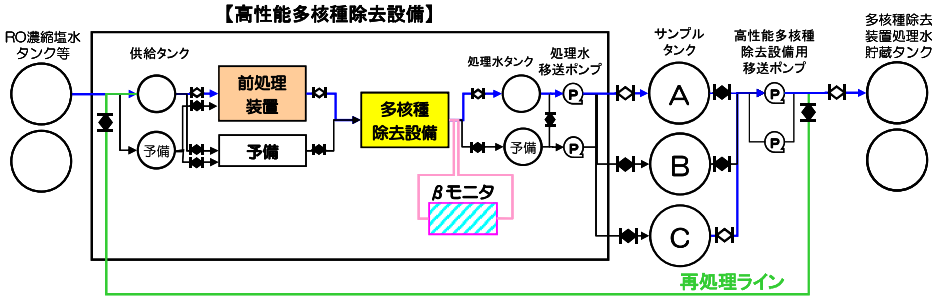


図３　βモニタシステムの概要

以上

高性能多核種除去設備に係る確認事項

高性能多核種除去設備に係る主要な確認事項を表－１～１３に示す。

なお，ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設と兼用する配管（鋼管，ポリエチレン管，耐圧ホース）に係る主要な確認事項は，「Ⅱ 2.50 ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設」に示す。

表－１　確認事項（供給タンク，処理水タンク）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法について記録を確認する。※１	寸法が許容範囲内であること。
	外観確認	各部の外観を確認する。※１	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器が系統構成図とおりに据付られていることを確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることを確認する。 耐圧確認終了後，漏えいの有無も確認する。	確認圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。 また、耐圧部から著しい漏えいがないこと。

※１：現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する。

表－２　確認事項（サンプルタンク）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法について記録を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
	外観確認	各部の外観を確認する。※１	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器が系統構成図とおりに据付られており、タンク基礎の不陸について確認する。また、支持力試験にて、タンク基礎の地盤支持力を確認する。※１	実施計画のとおり施工・据付されており、タンク基礎の不陸に異常がないこと。また、必要な支持力を有していること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることを記録で確認する。 耐圧確認終了後，漏えいの有無も確認する。	確認圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。 また、耐圧部から著しい漏えいがないこと。
性能	監視確認	水位計について、免震重要棟集中監視室及びシールド中央制御室にタンク水位が表示できることを確認する。	免震重要棟集中監視室及びシールド中央制御室にタンク水位が表示できること。
	寸法確認	基礎外周堰の高さを確認する。	必要容量に相当する高さがあること。
	外観確認	基礎外周堰の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。

※１：現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する。

表－３　確認事項（前処理フィルタ 1,2～4，多核種吸着塔
（二相ステンレス製，ステンレス製））

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法について記録を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
	外観確認	各部の外観を確認する。※１	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器の据付位置，据付状態について確認する。※１	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることについて記録を確認する。耐圧確認終了後，漏えいの有無も確認する。	確認圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。 また，耐圧部から著しい漏えいがないこと。

※１：現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する。

表－４　確認事項（供給ポンプ 1，昇圧ポンプ 1～4，
処理水移送ポンプ，高性能多核種除去設備用移送ポンプ）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	外観確認	各部の外観を確認する。※１	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器の据付位置，据付状態について確認する。※１	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	漏えい確認	運転圧力で耐圧部分からの漏えいの有無を確認する。	耐圧部から著しい漏えいがないこと。
性能	運転性能確認	ポンプの運転確認を行う。	実施計画に記載した容量を満足すること。 また，異音，異臭，異常振動等がないこと。

※１：現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する。

表－５　確認事項（主配管（鋼管））

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した外径，厚さについて記録を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
	外観確認	各部の外観を確認する。※１	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	配管の据付状態について確認する。※１	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることについて記録を確認する。耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいの有無も確認する。	確認圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。 また，耐圧部から著しい漏えいがないこと。

※１：現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する。

表－６　確認事項（主配管（ポリエチレン管））

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認※1	①主な材料について記録を確認する。	当該材料規格の規定のとおりであること。
		②実施計画に記載した材料について，製品検査成績書により確認する。	実施計画の記載とおりであること。
	寸法確認※1	①主要寸法について記録を確認する。	製造者寸法許容範囲内であること。
		②実施計画に記載した主要寸法（外径相当）について，製品検査成績書により確認する。	実施計画の記載とおりであること。
	外観確認	各部の外観について，立会いまたは記録により確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付け確認	機器が図面のとおりに据え付いていることを立会いまたは記録により確認する。	実施計画のとおり施工・据え付いていること。
	耐圧・漏えい確認※２	最高使用圧力以上で一定時間保持後，同圧力に耐えていること。また，耐圧部からの漏えいがないことを立会いまたは記録により確認を行う。	最高使用圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。また，耐圧部から漏えいが無いこと。
機能・性能	通水確認	通水ができることを立会いまたは記録により確認する。	通水ができること。

※１：①②は，いずれかとする。

※２：耐圧・漏えい確認が実施できない配管フランジ部については，締結部のトルク確認等の代替検査を実施する。

表－７　確認事項（主配管（耐圧ホース））

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した外径について記録を確認する。	製造メーカ寸法許容範囲内であること。
	外観確認	各部の外観を確認する。※１	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	配管の据付状態について確認する。※１	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	最高使用圧力による耐圧漏えい確認を行う。	耐圧部から著しい漏えいがないこと。

※１：現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する。

表－８　確認事項（漏えい検出装置及び警報装置）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	装置の据付位置，据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
機能	漏えい警報確認	設定通りに警報が作動することを確認する。	漏えいを検知し，警報が作動すること。設定通りに、警報が作動すること。

表－９　確認事項（エリア放射線モニタ）

確認事項	確認項目		確認内容	判定基準
監視	構造確認	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
		据付確認	機器の据付位置，据付状態について確認する。	実施計画の通りに施工・据付されていること。
	機能確認	警報確認	設定値どおり警報及び表示灯が作動することを確認する。	許容範囲以内で警報及び表示灯が作動すること。
	性能確認	線源校正確認	標準線源を用いて線量当量率を測定し，各検出器の校正が正しいことを確認する。	基準線量当量率に対する正味線量当量率が，許容範囲以内であること。
		校正確認	モニタ内のテスト信号発生部により，各校正点の基準入力を与え、その時の指示値が正しいことを確認する。	各指示値が許容範囲以内に入っていること。

表－１０　確認事項（基礎）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度	材料確認	構造体コンクリートの圧縮強度を確認する。	構造体コンクリート強度が，実施計画に記載されている設計基準強度に対して，JASS 5N の基準を満足すること。
		鉄筋の材質，強度，化学成分を確認する。	JIS G 3112 に適合すること。
	寸法確認	構造体コンクリート部材の断面寸法を確認する。	構造体コンクリート部材の断面寸法が，実施計画に記載されている寸法に対して，JASS 5N の基準を満足すること。
	据付確認	鉄筋の径，間隔を確認する。	鉄筋の径が実施計画に記載されている通りであること。鉄筋の間隔が実施計画に記載されているピッチにほぼ均等に分布していること。

表－１１　確認事項（地盤）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度	寸法確認	地盤改良範囲（深さ）を確認する。	地盤改良範囲（深さ）が，実施計画に記されている支持層に達していること。
	強度確認	地盤改良強度を確認する。	地盤改良土の一軸圧縮強さが，実施計画に記されている許容圧縮応力度を上回ること。

表－１２　確認事項（堰その他の設備）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
漏えい防止	材料確認	実施計画に記載されている主な材料について確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載されている主要寸法を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	堰その他の設備の据付位置，据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。

表－１３　確認事項（高性能多核種除去設備）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
性能	運転性能確認	実施計画に記載の容量が通水可能であることを確認する。	実施計画に記載した容量を通水することが可能であり、設備からの異音，異臭，振動等の異常がないこと。
	除去性能	処理済水に含まれる放射性核種（トリチウムを除く）について，除去対象とする 62 核種の放射能濃度を確認する。	『東京電力株式会社福島第一原子力発電所原子炉施設の保安及び特定核燃料物質の防護に関して必要な事項を定める告示』に定める周辺監視区域外の水中の濃度限界未満であること。

高性能多核種除去設備の溶接部に係る主要な確認事項を表－１４～１６に示す。

表－１４　確認事項（供給タンク、主配管、多核種吸着塔（ステンレス製）の溶接検査）

確認事項	確認項目	対象設備	確認内容	判定基準
溶接検査	材料検査	①供給タンク ②供給タンク～吸着塔までの外径 61mm 以上の主配管 ③多核種吸着塔（ステンレス製）	使用する材料が、溶接規格等に適合するものであり、溶接施工法の母材の区分に適合するものとする。	使用する材料が、溶接規格等に適合するものであり、溶接施工法の母材の区分に適合するものであること。
	開先検査	①供給タンク ②供給タンク～吸着塔までの外径 61mm 以上の主配管 ③多核種吸着塔（ステンレス製）	開先形状等が溶接規格等に適合するものであることを確認する。	開先形状等が溶接規格等に適合するものであること
	溶接作業検査	①供給タンク ②供給タンク～吸着塔までの外径 61mm 以上の主配管 ③多核種吸着塔（ステンレス製）	あらかじめ確認された溶接施工法又は実績のある溶接施工法又は管理されたプロセスを有する溶接施工法であることを確認する。あらかじめ確認された溶接士により溶接が行われていることを確認する。	あらかじめ確認された溶接施工法および溶接士により溶接施工をしていること

溶接検査	非破壊 試験	①供給タンク ②供給タンク～吸着塔までの外径 61mm 以上の主配管 ③多核種吸着塔（ステンレス製）	溶接部（最終層）について非破壊検査（浸透探傷検査）を行い、その試験方法及び結果が溶接規格等に適合するものであることを確認する。	溶接部（最終層）について非破壊検査（浸透探傷検査）を行い、その試験方法及び結果が溶接規格等に適合するものであること。
	機械試験	③多核種吸着塔（ステンレス製）	溶接部（突合せ溶接部）を代表する試験片で機械試験を行い、その試験方法および結果が溶接規格等に適合するものであることを確認する。	試験方法および結果が溶接規格等に適合するものであること。
	耐圧・ 漏えい確認 外観確認	①供給タンク ②供給タンク～吸着塔までの外径 61mm 以上の主配管 ③多核種吸着塔（ステンレス製）	検査圧力で保持した後、検査圧力に耐えていること及び耐圧部分から漏えいがないことを確認する。※1	検査圧力で保持した後、検査圧力に耐えていること及び耐圧部分から漏えいがないこと及び外観上、傷・へこみ・変形等の異常がないこと

※1：現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する。

表－１５　確認事項（供給タンクの汚染水入口ノズルと天板の溶接部）

確認事項	確認項目	対象設備	確認内容	判定基準
溶接検査	材料検査	①供給タンク	使用する材料が、溶接施工法の母材の区分に適合することを記録で確認する。	使用する材料が、溶接規格等に適合するものであり、溶接施工法の母材の区分に適合するものであること
	開先検査	①供給タンク	開先形状等が溶接規格等に適合するものであることを確認する。	開先形状等が溶接規格等に適合するものであること
	溶接作業検査	①供給タンク	実績のある溶接施工法又は管理されたプロセスを有する溶接施工法であることを確認する。あらかじめ確認された溶接士により溶接が行われていることを記録で確認する。	あらかじめ確認された溶接施工法および溶接士により溶接施工をしていること。
	非破壊試験	①供給タンク	溶接部（最終層）について非破壊検査（浸透探傷検査）を行い、その試験方法及び結果が溶接規格等に適合するものであることを記録で確認する。	溶接部（最終層）について非破壊検査（浸透探傷検査）を行い、その試験方法及び結果が溶接規格等に適合するものであること。

溶接検査	耐圧・ 漏えい検査 外観検査	①供給タンク	検査圧力で保持した後、検査圧力に耐えていること及び耐圧部分から漏えいがないことを記録で確認する。	検査圧力で保持した後、検査圧力に耐えていること及び耐圧部分から漏えいがないこと及び外観上、傷・へこみ・変形等の異常がないこと

表－１６　確認事項（海外製品溶接検査）

確認事項	確認項目	実施計画記載事項※１	確認内容	判定基準
溶接検査	材料検査	①多核種吸着塔(二相ステンレス製) ②吸着塔ユニット配管 ③前処理フィルタ ④前処理フィルタユニット配管 ⑤昇圧ポンプユニット配管 ⑥配管ユニット配管	溶接に使用する材料が、ASME Sec.Ⅷ等に適合するものであり、溶接施工法の母材の区分に適合することを記録で確認する。	溶接に使用する材料が、ASME Sec.Ⅷ等に適合するものであり、溶接施工法の母材の区分に適合するものであること
	開先検査	①多核種吸着塔(二相ステンレス製) ②吸着塔ユニット配管 ③前処理フィルタ ④前処理フィルタユニット配管 ⑤昇圧ポンプユニット配管 ⑥配管ユニット配管	開先形状等がASME Sec.Ⅷ等に適合するものであることを記録で確認する。	開先形状等がASME Sec.Ⅷ等に適合するものであること
	溶接作業検査	①多核種吸着塔(二相ステンレス製) ②吸着塔ユニット配管 ③前処理フィルタ ④前処理フィルタユニット配管 ⑤昇圧ポンプユニット配管 ⑥配管ユニット配管	ASME Sec.Ⅸ等に定められた溶接施工法により溶接されていること及び溶接士の資格を有しているものにより溶接が行われていることを記録で確認する。	ASME Sec.Ⅸ等で定められた溶接施工法および溶接士により溶接施工をしていること

	非破壊検査	②吸着塔ユニット配管 ④前処理フィルタユニット配管 ⑤昇圧ポンプユニット配管 ⑥配管ユニット配管	溶接部について非破壊検査（目視検査）を行い、その結果が ASME B31.1 に適合するものであることを記録で確認する。	溶接部について非破壊検査（目視検査）を行い、その結果が ASME B31.1 に適合するものであること。
	耐圧・漏えい検査 外観検査	①多核種吸着塔（二相ステンレス製） ②吸着塔ユニット配管 ③前処理フィルタ ④前処理フィルタユニット配管 ⑤昇圧ポンプユニット配管 ⑥配管ユニット配管	検査圧力で保持した後、検査圧力に耐えていること及び耐圧部分から漏えいがないことを確認する。	検査圧力で保持した後、検査圧力に耐えていること及び耐圧部分から漏えいがないこと
	外観検査	①多核種吸着塔（二相ステンレス製） ②吸着塔ユニット配管 ③前処理フィルタ ④前処理フィルタユニット配管 ⑤昇圧ポンプユニット配管 ⑥配管ユニット配管	各部の外観を確認する。※２	外観上、傷・へこみ・変形等の異常がないこと

※１：「表－１６　確認事項（海外製品溶接検査）」の確認範囲は、「東京電力株式会社福島第一原子力発電所原子炉施設の保安及び特定核燃料物質の防護に関する規則」の第 26 条第 4 号に規定する範囲とする。なお、適用する規格で使用が認められている材料の溶接部に関わる確認は、適用する規格の条件に適合していることについて行う。

※２：現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する。

高性能多核種除去設備の確認試験結果について

高性能多核種除去設備は，汚染水処理設備の処理済水に含まれる放射性核種（トリチウムを除く）を『東京電力株式会社福島第一原子力発電所原子炉施設の保安及び特定核燃料物質の防護に関して必要な事項を定める告示』に定める周辺監視区域外の水中の濃度限度（以下,「告示濃度限度」という。）を下回る濃度まで低減することを目的として設置した。

系統流量などの運転状態に関する使用前検査を実施し，平成 26 年 10 月より，高性能多核種除去設備の性能を確認する確認試験（ホット試験）を実施し，その後のホット試験において上記性能について確認してきた。

これまでのホット試験において，高性能多核種除去設備で使用する各吸着材が，一定の使用期間を経ても，上記性能を有する設備であることを確認した。

以上

2.35　サブドレン他水処理施設

2.35.1　基本設計

2.35.1.1　設置の目的

サブドレン他水処理施設は，１～４号機タービン建屋等の周辺に設置されたサブドレンピットから地下水を汲み上げること（サブドレン集水設備），海側遮水壁と既設護岸の間に設置される地下水ドレンポンドから地下水を汲み上げること（地下水ドレン集水設備），汲み上げた水に含まれている放射性核種（トリチウムを除く）を十分低い濃度になるまで除去すること（サブドレン他浄化設備）及び浄化された水を排水すること（サブドレン他移送設備）を目的とする。（以下，「本格運転」という。）

なお，サブドレン集水設備及び地下水ドレン集水設備の内，護岸（T.P.＋2.5m 盤）に設置している設備は，切迫性の高い日本海溝津波対策のための防潮堤外に位置することから，津波による設備損傷が発生した場合にサブドレンの汲み上げ停止による建屋への地下水流入増加に伴う汚染水増加と護岸の地下水汲み上げ停止による地下水位上昇に伴う放射性物質の海洋溢水リスクが大きくなることから，これらの発生防止のため，新たに防潮堤内及び高台へ設備を設置すると共に，一部護岸に残る設備の損傷時には，機動的対応による復旧（予備品の確保含む）を行えるようにする。

2.35.1.2　要求される機能

(1) サブドレン集水設備は，１～４号機タービン建屋等の周辺に設置されたサブドレンピットから地下水を集水タンク又は高台集水タンクに移送できること。
(2) 地下水ドレン集水設備は，地下水ドレンポンドから地下水を汲み上げ，集水タンク又は高台集水タンクに移送できること。
(3) サブドレン他浄化設備は，サブドレン集水設備及び地下水ドレン集水設備で集水した地下水の処理，貯留，管理等を行い，放射性物質の濃度を適切な値に低減する能力を有すること。
(4) サブドレン他浄化設備は，設備内で発生する気体状及び固体状の放射性物質及び可燃性ガスの管理が適切に行える機能を有すること。
(5) サブドレン他移送設備は，サブドレン他浄化設備にて浄化された水を排水できること。
(6) サブドレン他水処理施設は，漏えい防止機能を有すること。

2.35.1.3　設計方針

2.35.1.3.1　サブドレン集水設備の設計方針

(1)　処理能力

サブドレン集水設備は，１～４号機タービン建屋等の周辺に設置されたサブドレンピットから地下水を汲み上げ，集水タンク又は高台集水タンクに移送できる処理容量とする。

(2)　材料

サブドレン集水設備は，処理対象水の性状を考慮し，適切な材料を用いた設計とする。

(3)　放射性物質の漏えい防止及び管理されない放出の防止

サブドレン集水設備の機器等は，液体状の放射性物質の漏えい防止及び敷地外への管理されない放出を防止するため，次の各項を考慮した設計とする。

a. 漏えいの発生を防止するため，機器等には適切な材料を使用するとともに，タンク水位の検出器を設ける。

b. 液体状の放射性物質が漏えいした場合は，漏えい液体の除去を行えるようにする。

c. サブドレンピットの水位，タンク水位等の警報については，免震重要棟集中監視室等に表示し，異常を確実に運転員に伝え適切な措置をとれるようにし，これを監視できるようにする。

d. 一部護岸に残る設備の損傷による防潮堤内設備からの汲み上げ水の漏えいを防止するため，防潮堤内設備に隔離弁や逆止弁を設ける。

(4)　健全性に対する考慮

サブドレン集水設備は，機器の重要度に応じた有効な保全が可能な設計とする。

(5)　検査可能性に対する設計上の考慮

サブドレン集水設備は，サブドレンピットから地下水を汲み上げ，集水タンク又は高台集水タンクに移送できることを確認するための検査が可能な設計とする。

2.35.1.3.2　サブドレン他浄化設備の設計方針

(1)　放射性物質の濃度の低減

サブドレン他浄化設備は，サブドレン集水設備及び地下水ドレン集水設備で汲み上げた水を，ろ過，イオン交換等により，周辺環境に対して，放射性物質の濃度を合理的に達成できる限り低くする設計とする。

(2)　処理能力

サブドレン他浄化設備は，サブドレン集水設備及び地下水ドレン集水設備で想定される汲み上げ量以上の処理容量とする。

(3)　材料

サブドレン他浄化設備の機器等は，処理対象水の性状を考慮し，適切な材料を用いた設計とする。

(4)　放射性物質の漏えい防止及び管理されない放出の防止

サブドレン他浄化設備の機器等は，液体状の放射性物質の漏えい防止及び敷地外への管理されない放出を防止するため，次の各項を考慮した設計とする。

a. 漏えいの発生を防止するため，機器等には適切な材料を使用するとともに，タンク水位の検出器，インターロック回路等を設ける。
b. 液体状の放射性物質が漏えいした場合は，漏えい液体の除去を行えるようにする。
c. タンク水位，漏えい検知等の警報については，免震重要棟集中監視室等に表示し，異常を確実に運転員に伝え適切な措置をとれるようにし，これを監視できるようにする。
d. サブドレン他浄化装置の機器等は，周辺に堰を設けた区画内に設け，漏えいの拡大を防止する。また，排水路から可能な限り離隔するとともに，排水路を跨ぐ箇所はボックス鋼内等に配管を敷設する。

(5)　被ばく低減

サブドレン他浄化設備は，遮へい，機器の配置等により被ばくの低減を考慮した設計とする。

(6)　可燃性ガスの管理

サブドレン他浄化設備は，水の放射線分解により発生する可燃性ガスの滞留を防止でき，必要に応じて適切に排出できる設計とする。また，可燃性ガスに放射性物質が含まれる可能性がある場合は，適切に除去する設計とする。

(7)　健全性に対する考慮

サブドレン他浄化設備は，機器の重要度に応じた有効な保全が可能な設計とする。

(8)　検査可能性に対する設計上の考慮

サブドレン他浄化設備は，処理量ならびに放射能濃度を低減できることを確認するための検査が可能な設計とする。

(9)　地下水の貯留

サブドレン他浄化設備は，地下水を浄化してサンプルタンクへ移送することを目的とするが，地下水の水質や処理状況に応じて，地下水をRO濃縮水貯槽又はSr処理水貯槽へ移送することが可能な設計とする。なお，RO濃縮水貯槽又はSr処理水貯槽へ移送した地下水はサブドレン他水処理施設へ移送して処理しない。

2.35.1.3.3　サブドレン他移送設備の設計方針

(1)　処理能力

サブドレン他移送設備は，サブドレン他浄化設備で想定される処理容量以上の処理容量とする。

(2)　材料

サブドレン他移送設備の機器等は，処理対象水の性状を考慮し，適切な材料を用いた設計とする。

(3)　放射性物質の漏えい防止及び管理されない放出の防止

サブドレン他移送設備は浄化した水を取り扱うことから，液体中の放射性物質による影響はほとんど無い。ただし，液体状の放射性物質の漏えい防止及び敷地外への管理されない放出を防止するため，機器等は次の各項を考慮した設計とする。

a.　漏えいの発生を防止するため，機器等には適切な材料を使用するとともに，インターロック回路等を設ける。

b.　液体状の放射性物質が漏えいした場合は，漏えい液体の除去を行えるようにする。

c.　漏えい検知等の警報については，免震重要棟集中監視室等に表示し，異常を確実に運転員に伝え適切な措置をとれるようにし，これを監視できるようにする。

d.　浄化した水を排水する際には事前に水質分析を行い，浄化水に含まれる放射性物質濃度が，告示濃度限度よりも十分に低い排水の基準（詳細は「Ⅲ 2.1.2 放射性液体廃棄物の管理」を参照）を満足することを確認した後に，排水を行う。また，運転員の誤操作等により，水質分析前の水を排水することが無いよう配慮した設計とする。

(4)　健全性に対する考慮

サブドレン他移送設備は，機器の重要度に応じた有効な保全が可能な設計とする。

(5)　検査可能性に対する設計上の考慮

サブドレン他移送設備は，浄化された水を排水できることを確認するための検査が可能な設計とする。

2.35.1.3.4　地下水ドレン集水設備の設計方針

(1)　処理能力

地下水ドレン集水設備は，地下水ドレンポンドから地下水を汲み上げ，集水タンク又は高台集水タンクに移送できる処理容量とする。

(2)　材料

地下水ドレン集水設備は，処理対象水の性状を考慮し，適切な材料を用いた設計とする。

(3)　放射性物質の漏えい防止及び管理されない放出の防止

地下水ドレン集水設備の機器等は，液体状の放射性物質の漏えい防止及び敷地外への管理されない放出を防止するため，次の各項を考慮した設計とする。

a．漏えいの発生を防止するため，機器等には適切な材料を使用するとともに，タンク水位の検出器を設ける。

b．液体状の放射性物質が漏えいした場合は，漏えい液体の除去を行えるようにする。

c．地下水ドレンのタンク水位等の警報については，免震重要棟集中監視室等に表示し，異常を確実に運転員に伝え適切な措置をとれるようにし，これを監視できるようにする。

d．一部護岸に残る設備の損傷による防潮堤内設備からの汲み上げ水の漏えいを防止するため，防潮堤内設備に隔離弁や逆止弁を設ける。

(4)　健全性に対する考慮

地下水ドレン集水設備は，機器の重要度に応じた有効な保全が可能な設計とする。

(5)　検査可能性に対する設計上の考慮

地下水ドレン集水設備は，地下水ドレンポンドで汲み上げた地下水を移送できることを確認するための検査が可能な設計とする。

2.35.1.4　供用期間中に確認する項目

(1)　サブドレン集水設備は，サブドレンピットから地下水を汲み上げ，集水タンク又は高台集水タンクに移送できること。

(2)　サブドレン他浄化設備は，通水でき，放射性核種濃度を低減できること。

(3)　サブドレン他移送設備は，浄化した水を移送先まで移送できること。

(4)　地下水ドレン集水設備は，地下水ドレンポンドから地下水を汲み上げ，集水タンク又は高台集水タンクまで移送できること。

2.35.1.5　主要な機器

2.35.1.5.1　サブドレン集水設備

サブドレン集水設備は，揚水ポンプ，中継タンク，中継タンク移送ポンプ，集水タンク，受けタンク，受けタンク移送ポンプ，高台集水タンク及び移送配管で構成する。汲み上げた地下水は集水タンク又は高台集水タンクに集水する。また，共通設備として，運転監視を行う監視・制御装置，電源を供給する電源設備等で構成する。

サブドレン集水設備は，免震重要棟集中監視室の監視・制御装置により遠隔操作及び運転状況の監視を行う。監視・制御装置は，故障により各設備の誤動作を引き起こさない構成とする。更に，運転員の誤操作，誤判断を防止するようにし，重要な装置の緊急停止操作については，ダブルアクションを要する等の設計とする。

電源は，異なる２系統の所内高圧母線から受電できる構成とする。

また，サブドレンピット内の水位が建屋内の滞留水の水位を下回らないように管理するため，各サブドレンピット内には水位計を設置し，サブドレンピット内の水位を監視する。

2.35.1.5.2　サブドレン他浄化設備

サブドレン他浄化設備は，集水タンク移送ポンプ，処理装置供給タンク，サブドレン他浄化装置，サンプルタンクで構成する。また，集水タンクの高台設置に伴い，サブドレン他浄化設備は，上記構成に高台集水タンク払出ポンプを追加する。サブドレン他浄化装置は，２系列で構成し，１系列が点検等の場合においても対象水を処理できる設計とする。付帯設備として，運転監視を行う監視・制御装置，電源を供給する電源設備及び建屋等で構成する。また，放射能濃度が低減していることを確認するための試料採取が可能な設計とする。なお，サブドレン他浄化装置は，必要に応じ，２系列同時運転が可能な構成とする。

サブドレン他浄化設備の主要な機器は，免震重要棟集中監視室の監視・制御装置により遠隔操作及び運転状況の監視を行う。監視・制御装置は，故障により各設備の誤動作を引き起こさない構成とする。更に，運転員の誤操作，誤判断を防止するようにし，重要な装置の緊急停止操作については，ダブルアクションを要する等の設計とする。

(1)　サブドレン他浄化装置

サブドレン他浄化装置は，１系列あたり，３塔の前処理フィルタ，１塔の pH 緩衝塔，５塔の吸着塔及び２台のポンプで構成する。

前処理フィルタは，浮遊物質を除去，及びストロンチウムを粗取りする。pH 緩衝塔は，処理対象水の水質を弱アルカリ性にする。また，除去性能に影響しないため，バイパス配管を設置して，除外可能とする。吸着塔は，セシウム，ストロンチウム，アンチモン，及び重金属核種（銀・コバルト）を除去する。また，前処理フィルタ及び吸着塔の吸着材は，除去対象核種に応じて入れ替え可能な設計とし，アンチモン，重金属核種の除去に用いる

吸着塔については，除外可能とする。

前処理フィルタは，一定量処理後，水抜きを行い，交換する。使用済前処理フィルタは，容器に収納して，固体廃棄物貯蔵庫に一時貯蔵する。pH 緩衝塔及び吸着塔は，一定量処理後，水抜きを行い，塔ごと交換する。使用済 pH 緩衝塔は，一時保管エリアに，使用済吸着塔は，使用済セシウム吸着塔一時保管施設あるいは大型廃棄物保管庫に一時貯蔵する。

(2) 電源設備

電源は，異なる２系統の所内高圧母線から受電できる構成とする。なお，サブドレン他浄化設備は，電源が喪失した場合に系統が隔離され停止するため，外部への漏えいを発生させることはない。

(3) サブドレン他浄化装置建屋

サブドレン他浄化装置建屋は，平面が約 46m×約 32m で厚さが約 1.5m の鉄筋コンクリート造のべた基礎を有し，漏えいの拡大を防止するための堰を設置する。

2.35.1.5.3 サブドレン他移送設備

サブドレン他移送設備は，浄化水移送ポンプ，移送配管等で構成する。浄化した水はサンプルタンクに一時貯留し，水質分析後，浄化水移送ポンプにより排水する。浄化した水の再浄化を行う場合は，サブドレン他浄化設備へ移送する。

また，共通設備として，運転監視を行う監視・制御装置，電源を供給する電源設備等で構成する。サブドレン他移送設備は，免震重要棟集中監視室の監視・制御装置により遠隔操作及び運転状況の監視を行う。監視・制御装置は，故障により各設備の誤動作を引き起こさない構成とする。更に，運転員の誤操作，誤判断を防止するようにし，排水等の重要な操作については，ダブルアクションを要する等の設計とする。電源は，異なる２系統の所内高圧母線から受電できる構成とする。

2.35.1.5.4 地下水ドレン集水設備

地下水ドレン集水設備は，地下水ドレンポンド揚水ポンプ，地下水ドレン中継タンク，地下水ドレン中継タンク移送ポンプ，地下水ドレン前処理装置及び移送配管で構成する。汲み上げた地下水は集水タンク，高台集水タンク又はタービン建屋へ移送する。

また，共通設備として，運転監視を行う監視・制御装置，電源を供給する電源設備等で構成する。

地下水ドレン集水設備は，免震重要棟集中監視室の監視・制御装置により遠隔操作及び運転状況の監視を行う。監視・制御装置は，故障により各設備の誤動作を引き起こさない構成とする。更に，運転員の誤操作，誤判断を防止するようにし，重要な装置の緊急停止操作については，ダブルアクションを要する等の設計とする。

電源は，異なる２系統の所内高圧母線から受電できる構成とする。

また，各地下水ドレンポンド内には水位計を設置し，地下水ドレンポンド内の水位を監視する。

2.35.1.6　自然災害対策等

(1)　津波

放射性物質を蓄積するサブドレン他浄化装置，高台集水タンクおよびサンプルタンクは，日本海溝津波が到達しないと考えられる T.P.33.5m 盤に設置する。集水タンクは，T.P.2.5m 盤に設置することから，アウターライズ津波による波力がタンクに直接作用しないような高さの堰を設ける。また，大津波警報が出た際はサブドレン集水設備及び地下水ドレン集水設備を停止することで，汲み上げる水の流出防止に努める。また，サブドレン他移送設備を停止することで，排水前の水の流出防止に努める。

(2)　台風

放射性物質を蓄積するサブドレン他浄化装置は，台風による設備損傷の可能性が低い鉄骨造の建屋内に設置する。

(3)　積雪

積雪による設備の損傷を防止するため，建屋は建築基準法施行令及び福島県建築基準法施行細則に基づく積雪荷重に対して設計する。

(4)　落雷

動的機器及び電気設備は，機器接地により落雷による損傷を防止する。

(5)　竜巻

竜巻の発生の可能性が予見される場合は，設備の停止・隔離弁の閉止作業等を行い，サブドレンピット及び地下水ドレンポンドから汲み上げた地下水の漏えい防止を図る。

(6)　火災

火災発生を防止するため，実用上可能な限り不燃性又は難燃性の材料を使用する。火災検知のため，消防法及び関係法令に従い，建屋内には自動火災報知設備を設置する。集水移送加圧ポンプについては，巡視点検を実施するとともに，監視カメラを設置し，免震棟にて確認することで早期検知に努める。また，消火器を設置し，動力消防ポンプ（防火水槽及びポンプ車）を適切に配置することにより，初期消火の対応を可能とし，消火活動の円滑化を図る。放射性物質を吸着する前処理フィルタ及び吸着塔は鋼製容器のため，燃焼・延焼し難く，またこれらの機器付配管は鋼製であり，燃焼しない。

なお，建屋内には建築基準法及び関係法令並びに消防法及び関係法令に基づく安全避難通路を設定する。

2.35.1.7　構造強度及び耐震性

2.35.1.7.1　サブドレン集水設備

(1)　構造強度

サブドレン集水設備を構成する機器は，「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令」において，廃棄物処理設備に相当するクラス 3 機器に準ずるものと位置付けられる。クラス 3 機器の適用規格は，「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格　設計・建設規格」（以下，「JSME 規格」という。）で規定される。

しかしながら，震災以降にこれまで設置してきた機器等は，必ずしも JSME 規格に従って設計・製作・検査をされたものではなく，中継タンク，ポンプ，配管等は，日本産業規格（JIS）等の準拠やポリエチレン管等は，日本水道協会規格等の国内外の民間規格，製品の試験データ等を踏まえ，福島第一原子力発電所構内の作業環境，機器等の設置環境や時間的裕度を勘案した中で設計・製作・検査を行ってきている。

サブドレン集水設備を構成する機器は，放射性物質を内包するため，バウンダリ機能の健全性を確認する観点から，設計された肉厚が十分であることを確認している。また，溶接部については，耐圧・漏えい試験等を行い，有意な変形や漏えい等のないことを確認している。

従って，今後設計する機器等についても，JSME 規格に限定するものではなく，日本産業規格（JIS）等の国内外の民間規格に適合した工業用品の採用，或いは American Society of Mechanical Engineers（ASME 規格），日本産業規格（JIS），又はこれらと同等の技術的妥当性を有する規格での設計・製作・検査を行う。溶接（溶接施工法および溶接士）は JSME 規格，American Society of Mechanical Engineers（ASME 規格），日本産業規格（JIS），および発電用火力設備に関する技術基準を定める省令にて認証された溶接，又は同等の溶接とする。なお，材料調達性の観点から，JSME 規格で規定される材料の日本産業規格(JIS)年度指定を考慮しない場合は，技術的妥当性を確認する。

さらに，今後も JSME 規格に記載のない非金属材料（耐圧ホース，ポリエチレン管等）については，現場の作業環境等から採用を継続する必要があるが，これらの機器等については，日本産業規格（JIS），日本水道協会規格，ISO 規格の適合品又は，製品の試験データ等を用いて設計を行う。

機器等の経年劣化に対しては，適切な保全を実施することで健全性を維持していく。

(2)　耐震性

サブドレン集水設備を構成する機器は，2021 年 9 月 8 日及び 2022 年 11 月 16 日の原子力規制委員会で示された耐震設計の考え方を踏まえ，その安全機能の重要度，地震によ

って機能の喪失を起こした場合の安全上の影響（公衆への被ばく影響）や廃炉活動への影響等を考慮した上で，核燃料物質を非密封で扱う燃料加工施設や使用施設等における耐震クラス分類を参考にして適切な耐震設計上の区分を行うとともに，適切と考えられる設計用地震力に十分耐えられる設計とする。

ただし，2021 年 9 月 8 日以前に認可されたサブドレン集水設備を構成する主要な機器のうち放射性物質を内包するものは，「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」に従い設計している。主要な機器の耐震性を評価するにあたっては，「JEAG4601 原子力発電所耐震設計技術指針」等に準拠する。ポリエチレン配管及び伸縮継手は，材料の可撓性により耐震性を確保する。

2.35.1.7.2　サブドレン他浄化設備

(1)　構造強度

サブドレン他浄化設備を構成する機器は,「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令」において，廃棄物処理設備に相当するクラス 3 機器に準ずるものと位置付けられる。クラス 3 機器の適用規格は,「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格　設計・建設規格」(以下,「JSME 規格」という。）で規定される。

しかしながら，震災以降にこれまで設置してきた機器等は，必ずしも JSME 規格に従って設計・製作・検査をされたものではなく，前処理フィルタ，pH 緩衝塔は,「ASME Boiler and Pressure Vessel Code」の準拠や前処理フィルタ，pH 緩衝塔及び吸着塔廻りの鋼管は,「ASME B31.1 Power Piping」に準拠し，ポンプ，鋼管等は，日本産業規格（JIS）等の準拠やポリエチレン管等は，日本水道協会規格等の国内外の民間規格，製品の試験データ等を踏まえ，福島第一原子力発電所構内の作業環境，機器等の設置環境や時間的裕度を勘案した中で設計・製作・検査を行ってきている。

サブドレン他浄化設備を構成する機器は，放射性物質を内包するため，バウンダリ機能の健全性を確認する観点から，設計された肉厚が十分であることを確認している。また，溶接部については，耐圧・漏えい試験等を行い，有意な変形や漏えい等のないことを確認している。

従って，今後設計する機器等についても，JSME 規格に限定するものではなく，日本産業規格 (JIS) 等の国内外の民間規格に適合した工業用品の採用，或いは American Society of Mechanical Engineers（ASME 規格），日本産業規格（JIS），又はこれらと同等の技術的妥当性を有する規格での設計・製作・検査を行う。溶接（溶接施工法および溶接士）は JSME 規格，American Society of Mechanical Engineers（ASME 規格），日本産業規格（JIS），および発電用火力設備に関する技術基準を定める省令にて認証された溶接，又は同等の溶接とする。なお，材料調達性の観点から，JSME 規格で規定される材料の日本産業規格(JIS)年度指定を考慮しない場合は，技術的妥当性を確認する。

さらに，今後も JSME 規格に記載のない非金属材料（耐圧ホース，ポリエチレン管等）については，現場の作業環境等から採用を継続する必要があるが，これらの機器等については，日本産業規格（JIS），日本水道協会規格，ISO 規格の適合品又は，製品の試験データ等を用いて設計を行う。

機器等の経年劣化に対しては，適切な保全を実施することで健全性を維持していく。

(2)　耐震性

サブドレン他浄化設備を構成する機器は，2021 年 9 月 8 日及び 2022 年 11 月 16 日の原子力規制委員会で示された耐震設計の考え方を踏まえ，その安全機能の重要度，地震によって機能の喪失を起こした場合の安全上の影響（公衆への被ばく影響）や廃炉活動への影響等を考慮した上で，核燃料物質を非密封で扱う燃料加工施設や使用施設等におけ

る耐震クラス分類を参考にして適切な耐震設計上の区分を行うとともに，適切と考えられる設計用地震力に十分耐えられる設計とする。

ただし，2021 年 9 月 8 日以前に認可されたサブドレン他浄化設備を構成する主要機器のうち放射性物質を内包するものは，「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」に従い設計している。主要な機器及び鋼管の耐震性を評価するにあたっては，「JEAG4601 原子力発電所耐震設計技術指針」等に準拠する。ポリエチレン配管及び伸縮継手は，材料の可撓性により耐震性を確保する。

2.35.1.7.3　サブドレン他移送設備

(1)　構造強度

サブドレン他移送設備を構成する機器は，「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令」において，廃棄物処理設備に相当するクラス 3 機器に準ずるものと位置付けられる。クラス 3 機器の適用規格は，「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格　設計・建設規格」（以下，「JSME 規格」という。）で規定される。

しかしながら，震災以降にこれまで設置してきた機器等は，必ずしも JSME 規格に従って設計・製作・検査をされたものではなく，ポンプ，配管等は，日本産業規格（JIS）等の準拠やポリエチレン管等は，日本水道協会規格等の国内外の民間規格，製品の試験データ等を踏まえ，福島第一原子力発電所構内の作業環境，機器等の設置環境や時間的裕度を勘案した中で設計・製作・検査を行ってきている。

サブドレン他移送設備を構成する機器は，放射性物質を内包するため，バウンダリ機能の健全性を確認する観点から，設計された肉厚が十分であることを確認している。また，溶接部については，耐圧・漏えい試験等を行い，有意な変形や漏えい等のないことを確認している。

従って，今後設計する機器等についても，JSME 規格に限定するものではなく，日本産業規格（JIS）等の国内外の民間規格に適合した工業用品の採用，或いは American Society of Mechanical Engineers（ASME 規格），日本産業規格（JIS），又はこれらと同等の技術的妥当性を有する規格での設計・製作・検査を行う。溶接（溶接施工法および溶接士）は JSME 規格，American Society of Mechanical Engineers（ASME 規格），日本産業規格（JIS），および発電用火力設備に関する技術基準を定める省令にて認証された溶接，又は同等の溶接とする。なお，材料調達性の観点から，JSME 規格で規定される材料の日本産業規格(JIS)年度指定を考慮しない場合は，技術的妥当性を確認する。

さらに，今後も JSME 規格に記載のない非金属材料（耐圧ホース，ポリエチレン管等）については，現場の作業環境等から採用を継続する必要があるが，これらの機器等については，日本産業規格（JIS），日本水道協会規格，ISO 規格の適合品又は，製品の試験データ等を用いて設計を行う。

機器等の経年劣化に対しては，適切な保全を実施することで健全性を維持していく。

(2)　耐震性

サブドレン他移送設備を構成する機器は，2021 年 9 月 8 日及び 2022 年 11 月 16 日の原子力規制委員会で示された耐震設計の考え方を踏まえ，その安全機能の重要度，地震によって機能の喪失を起こした場合の安全上の影響（公衆への被ばく影響）や廃炉活動への影響等を考慮した上で，核燃料物質を非密封で扱う燃料加工施設や使用施設等における耐震クラス分類を参考にして適切な耐震設計上の区分を行うとともに，適切と考えられる設計用地震力に十分耐えられる設計とする。

ただし，2021 年 9 月 8 日以前に認可されたサブドレン他移送設備を構成する主要機器のうち放射性物質を内包するものは，「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」に従い設計している。主要な機器及び鋼管の耐震性を評価するにあたっては，「JEAG4601 原子力発電所耐震設計技術指針」等に準拠する。ポリエチレン配管及び伸縮継手は，材料の可撓性により耐震性を確保する。

2.35.1.7.4　地下水ドレン集水設備

(1)　構造強度

地下水ドレン集水設備を構成する機器は，「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令」において，廃棄物処理設備に相当するクラス 3 機器に準ずるものと位置付けられる。クラス 3 機器の適用規格は，「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格　設計・建設規格」（以下，「JSME 規格」という。）で規定される。

しかしながら，震災以降にこれまで設置してきた機器等は，必ずしも JSME 規格に従って設計・製作・検査をされたものではなく，中継タンク，ポンプ，鋼管等は，日本産業規格（JIS）等の準拠やポリエチレン管等は，日本水道協会規格等の国内外の民間規格，製品の試験データ等を踏まえ，福島第一原子力発電所構内の作業環境，機器等の設置環境や時間的裕度を勘案した中で設計・製作・検査を行ってきている。

地下水ドレン集水設備を構成する機器は，放射性物質を内包するため，バウンダリ機能の健全性を確認する観点から，設計された肉厚が十分であることを確認している。また，溶接部については，耐圧・漏えい試験等を行い，有意な変形や漏えい等のないことを確認している。

従って，今後設計する機器等についても，JSME 規格に限定するものではなく，日本産業規格（JIS）等の国内外の民間規格に適合した工業用品の採用，或いは American Society of Mechanical Engineers（ASME 規格），日本産業規格（JIS），又はこれらと同等の技術的妥当性を有する規格での設計・製作・検査を行う。溶接（溶接施工法および溶接士）は JSME 規格，American Society of Mechanical Engineers（ASME 規格），日本産業規格（JIS），および発電用火力設備に関する技術基準を定める省令にて認証された溶接，または同等の溶接とする。なお，材料調達性の観点から，JSME 規格で規定される材料の

日本産業規格(JIS)年度指定を考慮しない場合は，技術的妥当性を確認する。

さらに，今後も JSME 規格に記載のない非金属材料（耐圧ホース，ポリエチレン管等）については，現場の作業環境等から採用を継続する必要があるが，これらの機器等については，日本産業規格（JIS），日本水道協会規格，ISO 規格の適合品又は，製品の試験データ等を用いて設計を行う。

機器等の経年劣化に対しては，適切な保全を実施することで健全性を維持していく。

(2) 耐震性

地下水ドレン集水設備を構成する機器は，2021 年 9 月 8 日及び 2022 年 11 月 16 日の原子力規制委員会で示された耐震設計の考え方を踏まえ，その安全機能の重要度，地震によって機能の喪失を起こした場合の安全上の影響（公衆への被ばく影響）や廃炉活動への影響等を考慮した上で，核燃料物質を非密封で扱う燃料加工施設や使用施設等における耐震クラス分類を参考にして適切な耐震設計上の区分を行うとともに，適切と考えられる設計用地震力に十分耐えられる設計とする。

ただし，2021 年 9 月 8 日以前に認可された地下水ドレン集水設備を構成する主要機器のうち放射性物質を内包するものは，「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」に従い設計している。主要な機器及び鋼管の耐震性を評価するにあたっては，「JEAG4601 原子力発電所耐震設計技術指針」等に準拠する。ポリエチレン配管は，材料の可撓性により耐震性を確保する。

2.35.1.8　機器の故障への対応

2.35.1.8.1　サブドレン集水設備

(1)　機器の単一故障

サブドレン集水設備は電源について多重化しており，上流の電源系統設備の単一故障については，速やかな集水の再開が可能である。

2.35.1.8.2　サブドレン他浄化設備

(1)　機器の単一故障

サブドレン他浄化設備は，電源について多重化している。そのため，電源系統の単一故障については，電源系統の切替作業等により，速やかな処理の再開が可能である。

2.35.1.8.3　サブドレン他移送設備

(1)　機器の単一故障

サブドレン他移送設備は，動的機器及び電源について多重化している。そのため，動的機器，電源系統の単一故障については，機器の切替作業等により，速やかな処理の再開が可能である。

2.35.1.8.4　地下水ドレン集水設備

(1)　機器の単一故障

地下水ドレン集水設備は，電源について多重化しており，上流の電源系統設備の単一故障については，速やかな集水の再開が可能である。

2.35.2　基本仕様

2.35.2.1　主要仕様

2.35.2.1.1　サブドレン集水設備

(1)　タンク

a．中継タンク

名　　称			中継タンク
種　　類		－	角形
容　　量		m^3/個	12.0
最高使用圧力		MPa	静水頭
最高使用温度		℃	40
主要寸法	内　　寸	mm	2000×4000
	側板厚さ	mm	6.0
	底板厚さ	mm	9.0
	高　　さ	mm	1500
材料	側　　板	－	SS400
	底　　板	－	SS400
個　　数		個	5

b．集水タンク

名　　称			集水タンク
種　　類		－	たて置円筒形
容　　量		m^3/個	1235
最高使用圧力		MPa	静水頭
最高使用温度		℃	40
主要寸法	胴内径	m	11.0
	胴板厚さ	mm	12.0
	底板厚さ	mm	12.0
	高　　さ	m	13.0
材料	胴　　板	－	SM400C
	底　　板	－	SM400C
個　　数		個	7

c．受けタンク

名称			受けタンク
種類		－	たて置円筒形
容量		m^3/個	30
最高使用圧力		MPa	静水頭
最高使用温度		℃	40
主要寸法	胴内径	m	3.0
	胴板厚さ	mm	9.0
	底板厚さ	mm	12.0
	高さ	m	4.712
材料	胴板	－	SM400A
	底板	－	SM400A
個数		個	3

d．高台集水タンク

名称			高台集水タンク
種類		－	たて置円筒形
容量		m^3/個	1356
最高使用圧力		MPa	静水頭
最高使用温度		℃	40
主要寸法	胴内径	m	12.5
	屋根厚さ	mm	6.0
	胴板厚さ	mm	12.0
	底板厚さ	mm	12.0
	高さ	m	12.112
材料	屋根	－	SS400
	胴板	－	SM400A
	底板	－	SM400A
個数		個	10

(2) その他機器

a．揚水ポンプ（完成品）

台　　数　　46 台

容　　量　　30 L/min

b. 中継タンク移送ポンプ（完成品）

台　　数　　5 台

容　　量　　400 L/min

c. 集水移送加圧ポンプ（完成品）

台　　数　　4 台

容　　量　　50 m^3/h

d．受けタンク移送ポンプ（完成品）

台　　数　　3 台

容　　量　　65 m^3/h

(3) 配管

主要配管仕様（１／４）

名　称	仕　様	
サブドレンピット内 （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	32A 相当 ポリエチレン 0.48 MPa 30 ℃
サブドレンピット出口から 中継タンク入口まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	40A 相当,80A 相当 ポリエチレン 0.98 MPa 40 ℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	32A/Sch.40,40A/Sch.40,50A/Sch.40, 200A/Sch.20S STPG370, SUS316LTP 0.98 MPa 40 ℃
中継タンク出口から 中継タンク移送ポンプ入口まで （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	65A/Sch.40 STPG370 静水頭 40 ℃
（伸縮継手）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	65A SUS316L 静水頭 40 ℃
中継タンク移送ポンプ出口から 集水タンク入口まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当,100A 相当,150A 相当, 200A 相当 ポリエチレン 0.98 MPa 40 ℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.40 80A/Sch.40 200A/Sch.40 300A/Sch.40 350A/Sch.40 STPG370 0.98 MPa 40 ℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	200A/Sch.40 SUS316LTP 0.49 MPa 40 ℃
（伸縮継手）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A SUS316L 0.98 MPa 40 ℃

主要配管仕様（２／４）

名　称	仕　様	
集水タンク１～３出口から 集水タンク１～３出口部まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 静水頭 40 ℃
集水タンク１～３出口部から 集水タンク出口側ヘッダーまで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 0.98 MPa 40 ℃
集水タンク４～７出口から 集水移送加圧ポンプ入口まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当，200A 相当 ポリエチレン 0.98 MPa （集水タンク連結管は静水頭） 40 ℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A/Sch.40 100A/Sch.40 200A/Sch.40 STPG370 0.98 MPa 40 ℃
（伸縮継手）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当，200A 相当 EPDM 合成ゴム 0.98 MPa 40 ℃
集水移送加圧ポンプ出口から 集水タンク出口側ヘッダーまで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 0.98 MPa 40 ℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	65A/Sch.40 100A/Sch.40 STPG370 0.98 MPa 40 ℃
（伸縮継手）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	65A 相当 EPDM 合成ゴム 0.98 MPa 40 ℃

主要配管仕様（３／４）

名　称	仕　様	
中継タンク移送ポンプ出口配管分岐部から受けタンク入口まで （ポリエチレン管）	呼び径	80A 相当,100A 相当,150A 相当, 200A 相当,300A 相当
	材質	ポリエチレン
	最高使用圧力	0.98 MPa
	最高使用温度	40 ℃
受けタンク出口から 受けタンク移送ポンプ入口まで （ポリエチレン管）	呼び径	100A 相当
	材質	ポリエチレン
	最高使用圧力	0.98 MPa
	最高使用温度	40 ℃
（鋼管）	呼び径／厚さ	100A/Sch.40
	材質	STPG370
	最高使用圧力	0.98 MPa
	最高使用温度	40 ℃
（伸縮継手）	呼び径	100A 相当
	材質	EPDM 合成ゴム
	最高使用圧力	0.98 MPa
	最高使用温度	40 ℃
受けタンク移送ポンプ出口から 処理装置供給タンク入口配管分岐合流部まで＊ （ポリエチレン管）	呼び径	150A 相当
	材質	ポリエチレン
	最高使用圧力	0.98 MPa
	最高使用温度	40 ℃
（鋼管）	呼び径／厚さ	65A/Sch.40,150A/Sch.40
	材質	STPG370
	最高使用圧力	0.98 MPa
	最高使用温度	40 ℃
（伸縮継手）	呼び径	65A 相当,150A 相当
	材質	EPDM 合成ゴム
	最高使用圧力	0.98 MPa
	最高使用温度	40 ℃

主要配管仕様（４／４）

名　称	仕　様	
処理装置供給タンク入口配管分岐から高台集水タンク入口まで＊ （ポリエチレン管）	呼び径	150A 相当
	材質	ポリエチレン
	最高使用圧力	0.98 MPa
	最高使用温度	40 ℃
（鋼管）	呼び径／厚さ	150A/Sch.40
	材質	STPG370,STPT410
	最高使用圧力	0.98 MPa
	最高使用温度	40 ℃
（伸縮継手）	呼び径	150A 相当
	材質	EPDM 合成ゴム
	最高使用圧力	0.98 MPa
	最高使用温度	40 ℃

※　現場施工状況により，配管仕様（呼び径，厚さ，材質）の一部を使用しない場合がある。

＊　サブドレン他浄化設備から用途変更（Ⅱ-2.35 サブドレン他浄化設備 2.35.2.1.2(4)配管）

2.35.2.1.2　サブドレン他浄化設備

(1)　サブドレン他浄化装置の対象水の種類，処理方式，容量並びに系列数

名　　称		仕様
対象水の種類	－	サブドレン
処　理　方　式	－	ろ過＋吸着材方式
処　理　容　量	m^3/h	50
系　　列　　数	系列	2

(2)　容器

a．処理装置供給タンク

名　　称			処理装置供給タンク
種　　類		－	たて置円筒形
容　　量		m^3/個	30
最高使用圧力		MPa	静水頭
最高使用温度		℃	40
主要寸法	胴　内　径	mm	3000
	胴　板　厚　さ	mm	9.0
	底　板　厚　さ	mm	12.0
	平　板　厚　さ	mm	6.0
	高　　さ	mm	5006
材料	胴　　板	－	SUS316L/SM400C
	底　　板	－	SUS316L/SM400C
個　　数		個	2

b．前処理フィルタ１，２

名称			前処理フィルタ１，２
種類		－	たて置円筒形
容量		m^3/h/個	50
最高使用圧力		MPa	1.03
最高使用温度		℃	40
主要寸法	胴内径	mm	901.7
	胴板厚さ	mm	6.35
	上部平板厚さ	mm	63.5
	下部平板厚さ	mm	63.5
	高さ	mm	2013
材料	胴板	－	ASME SA 516 Gr.70
	上部平板	－	ASME SA 516 Gr.70
	下部平板	－	ASME SA 516 Gr.70
個数		個	2（1系列あたり）

c．前処理フィルタ３

名称			前処理フィルタ３
種類		－	たて置円筒形
容量		m^3/h/個	50
最高使用圧力		MPa	1.03
最高使用温度		℃	40
主要寸法	胴内径	mm	901.7
	胴板厚さ	mm	6.35
	上部平板厚さ	mm	63.5
	下部平板厚さ	mm	63.5
	高さ	mm	1800
材料	胴板	－	ASME SA 516 Gr.70
	上部平板	－	ASME SA 516 Gr.70
	下部平板	－	ASME SA 516 Gr.70
個数		個	1（1系列あたり）

d．pH緩衝塔

名称			pH緩衝塔
種類		－	たて置円筒形
容量		m^3/h/個	50
最高使用圧力		MPa	1.03
最高使用温度		℃	40
主要寸法	胴内径	mm	1346.2
	胴板厚さ	mm	25.4
	鏡板厚さ	mm	25.4
	高さ	mm	2487
材料	胴板	－	ASME SA 516 Gr.70
	鏡板	－	ASME SA 516 Gr.70
個数		－	1（1系列あたり）

e．吸着塔１，２，３，４，５

名称			吸着塔１，２，３，４，５
種類		－	たて置円筒形
容量		m^3/h/個	50
最高使用圧力		MPa	1.55
最高使用温度		℃	40
主要寸法	胴内径	mm	1346.2
	胴板厚さ	mm	25.4
	鏡板厚さ	mm	25.4
	高さ	mm	3119
材料	胴板	－	ASME SA 516 Gr.70
	鏡板	－	ASME SA 516 Gr.70
個数		－	5（1系列あたり）

f．サンプルタンク

名称			サンプルタンク
種類		－	たて置円筒形
容量		m^3/個	1235
最高使用圧力		MPa	静水頭
最高使用温度		℃	40
主要寸法	胴内径	m	11.0
	胴板厚さ	mm	12.0
	底板厚さ	mm	12.0
	高さ	m	13.0
材料	胴板	－	SM400C
	底板	－	SM400C
個数		個	11

g．RO 濃縮水処理水中継タンク（RO 濃縮水処理設備※から用途変更）

名称			RO 濃縮水処理水中継タンク
種類		－	たて置円筒形
容量		m^3/個	1235
最高使用圧力		MPa	静水頭
最高使用温度		℃	40
主要寸法	胴内径	mm	11000
	胴板厚さ	mm	12.0
	底板厚さ	mm	12.0
	高さ	mm	13000
材料	胴板	－	SM400C
	底板	－	SM400C
個数		個	1

※Ⅱ-2.38 RO 濃縮水処理設備 2.38.2.2 機器仕様 (1)容器

(3) その他機器

a．集水タンク移送ポンプ（完成品）

台　　数　　2 台

容　　量　　50 m^3/h

b．処理装置供給ポンプ（完成品）

台　　数　　1 台（1 系列あたり）

容　　量　　50 m^3/h

c．処理装置加圧ポンプ（完成品）

台　　数　　1 台（1 系列あたり）

容　　量　　50 m^3/h

d．RO 濃縮水処理水移送ポンプ（完成品）（RO 濃縮水処理設備※から用途変更）

台　　数　　2 台（1 台予備）

容　　量　　21　m^3/h

※Ⅱ-2.38 RO 濃縮水処理設備 2.38.2.2 機器仕様 (2)ポンプ

e．高台集水タンク払出ポンプ（完成品）

台　　数　　2 台

容　　量　　50 m^3/h

(4) 配管

主要配管仕様（１／４）

名　称	仕　様	
集水タンク出口側ヘッダーから 処理装置供給タンク入口まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当，150A 相当 ポリエチレン 静水頭(集水タンク移送ポンプ 下流は 0.98 MPa) 40 ℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.80 100A，150A/Sch.40 STPT410 静水頭(集水タンク移送ポンプ 下流は 0.98 MPa) 40 ℃
処理装置供給タンク出口から 処理装置供給ポンプ入口まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 静水頭 40 ℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch.40 STPT410 静水頭 40 ℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A/Sch.40，100A/Sch.10 UNS S32750（ASME SA 790） 静水頭 40 ℃
処理装置供給ポンプ出口から 処理装置加圧ポンプ入口まで （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.40 80A/Sch.10，Sch.40 UNS S32750（ASME SA 790） 1.03 MPa 40 ℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A/Sch.40 STPT410 1.03 MPa 40 ℃
（伸縮継手）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 EPDM 合成ゴム 1.03 MPa 40 ℃

主要配管仕様（２／４）

名　称	仕　様	
処理装置加圧ポンプ出口から サブドレン他浄化装置出口 （吸着塔５下流）まで （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.40 80A/Sch.10 UNS S32750（ASME SA 790） 1.55 MPa 40 ℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A/Sch.40 STPT410 1.55 MPa 40 ℃
（伸縮継手）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 UNS N04400（ASME SB 127 / ASTM B 127）,合成ゴム 1.55 MPa 40 ℃
サブドレン他浄化装置出口 （吸着塔５下流）から サンプルタンクまで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 0.98 MPa 40 ℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A,100A/Sch.10 UNS S32750（ASME SA 790） 0.98 MPa 40 ℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A,100A/Sch.40 STPT410 0.98 MPa 40 ℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch.40 STPG370 0.98 MPa 40 ℃
処理装置供給タンク入口側 配管分岐部から ＲＯ濃縮水処理水中継タンク 入口まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 0.98 MPa 40 ℃

主要配管仕様（３／４）

名　称	仕　様	
吸着塔５下流から RO 濃縮水処理水中継タンク入口まで＊ （ポリエチレン管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 0.98 MPa 40 ℃
RO 濃縮水処理水中継タンク出口から RO 濃縮水処理水移送ポンプ入口まで＊ （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 静水頭 40 ℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch.40 STPT410 静水頭 40 ℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	200A/Sch.40 100A/Sch.40 STPG370 静水頭 40 ℃
（伸縮継手）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	200A 相当 合成ゴム 静水頭 40 ℃
RO 濃縮水処理水移送ポンプ出口より RO 濃縮水貯槽又はSr 処理水貯槽まで＊ （ポリエチレン管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン管 0.98 MPa 40 ℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch.40 50A/Sch.80 STPT410 0.98 MPa 40 ℃

主要配管仕様（４／４）

名　称	仕　様	
高台集水タンク出口から 高台集水タンク払出ポンプ入口まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 ポリエチレン 0.98 MPa 40 ℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A/Sch.40 STPG370 0.98 MPa 40 ℃
（伸縮継手）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当 EPDM 合成ゴム 0.98 MPa 40 ℃
高台集水タンク払出ポンプ出口から 処理装置供給タンク入口配管分岐合流 まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A 相当,150A 相当 ポリエチレン 0.98 MPa 40 ℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	65A/Sch.40,100A/Sch.40 STPG370 0.98 MPa 40 ℃
（伸縮継手）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	65A 相当 EPDM 合成ゴム 0.98 MPa 40 ℃

※　現場施工状況により，配管仕様（呼び径，厚さ，材質）の一部を使用しない場合がある。

＊　RO 濃縮水処理設備から用途変更（Ⅱ-2.38 RO 濃縮水処理設備 2.38.2.2 機器仕様 (3)配管）

2.35.2.1.3　サブドレン他移送設備

(1)　その他機器

ａ．浄化水移送ポンプ（完成品）

台　　数	２ 台
容　　量	50 m^3/h 以上（１台あたり）

ｂ．攪拌ポンプ（完成品）

台　　数	２ 台
容　　量	330 m^3/h 以上（１台あたり）

(2) 配管

主要配管仕様（１／３）

名　称	仕　様	
サンプルタンク出口から 浄化水移送ポンプ入口まで （ポリエチレン管）	呼び径	150A 相当 200A 相当
	材質	ポリエチレン
	最高使用圧力	静水頭
	最高使用温度	40 ℃
（伸縮継手）	呼び径	150A 相当,200A 相当
	材質	EPDM 合成ゴム
	最高使用圧力	静水頭
	最高使用温度	40 ℃
（鋼管）	呼び径／厚さ	200A/Sch.40 150A/Sch.40
	材質	STPG370
	最高使用圧力	静水頭
	最高使用温度	40 ℃
浄化水移送ポンプ出口から 排水箇所まで （ポリエチレン管）	呼び径	150A 相当
	材質	ポリエチレン
	最高使用圧力	0.98 MPa
	最高使用温度	40 ℃
（伸縮継手）	呼び径	100A 相当
	材質	EPDM 合成ゴム
	最高使用圧力	0.98 MPa
	最高使用温度	40 ℃
（鋼管）	呼び径／厚さ	100A/Sch.40 150A/Sch.40
	材質	STPG370
	最高使用圧力	0.98 MPa
	最高使用温度	40 ℃
（鋼管）	呼び径／厚さ	150A/Sch.40
	材質	SUS316LTP
	最高使用圧力	0.98 MPa
	最高使用温度	40 ℃

主要配管仕様（２／３）

名　称	仕　様	
サンプルタンク出口から 攪拌ポンプ入口まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	200A 相当,250A 相当 ポリエチレン 静水頭 40 ℃
（伸縮継手）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	200A 相当 EPDM 合成ゴム 静水頭 40 ℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	200A/Sch.40 250A/Sch.40 STPG370 静水頭 40 ℃
攪拌ポンプ出口から サンプルタンク攪拌水受入口まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	200A 相当,250A 相当 ポリエチレン 0.98 MPa 40 ℃
（伸縮継手）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	200A 相当 EPDM 合成ゴム 0.98 MPa 40 ℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	200A/Sch.40 250A/Sch.40 STPG370 0.98 MPa 40 ℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	200A/Sch.40 SUS316LTP 0.49 MPa 40 ℃

主要配管仕様（３／３）

名　称	仕　様	
攪拌ポンプ出口からサブドレン他浄化設備（処理装置供給タンク）まで（ポリエチレン管）	呼び径	100A 相当
	材質	ポリエチレン
	最高使用圧力	0.98 MPa
	最高使用温度	40 ℃
（伸縮継手）	呼び径	200A 相当
	材質	EPDM 合成ゴム
	最高使用圧力	0.98 MPa
	最高使用温度	40 ℃
（鋼管）	呼び径／厚さ	100A/Sch.40
		200A/Sch.40
	材質	STPG370
	最高使用圧力	0.98 MPa
	最高使用温度	40 ℃
（鋼管）	呼び径／厚さ	100A/Sch.40
	材質	STPT410
	最高使用圧力	0.98 MPa
	最高使用温度	40 ℃

※　現場施工状況により，配管仕様（呼び径，厚さ，材質）の一部を使用しない場合がある。

2.35.2.1.4　地下水ドレン集水設備

(1)　タンク

a．地下水ドレン中継タンク

名　　称			地下水ドレン中継タンク
種　　類		－	角形
容　　量		m^3/個	12.0
最高使用圧力		MPa	静水頭
最高使用温度		℃	40
主要寸法	内　　寸	mm	2000×4000
	側板厚さ	mm	6.0
	底板厚さ	mm	9.0
	高　　さ	mm	1500
材料	側　　板	－	SS400
	底　　板	－	SS400
個　　数		個	3

(2)　その他機器

a．地下水ドレンポンド揚水ポンプ（完成品）

台　　数　　5 台

容　　量　　120 L/min

b. 地下水ドレン中継タンク移送ポンプ（完成品）

台　　数　　3 台

容　　量　　400 L/min

c．地下水ドレン前処理装置（完成品）

台　　数　　1 台

容　　量　　20m^3/h

材　　料　　FRP（RO ベッセル）

SUS304（脱塩器）

(3) 配管

主要配管仕様（１／４）

名　称	仕　様	
地下水ドレンポンド内 （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当 ポリエチレン 0.49 MPa 40 ℃
地下水ドレンポンド出口から 地下水ドレン中継タンク入口まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当 ポリエチレン 0.49 MPa 40 ℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch.40 SUS316LTP 0.49 MPa 40 ℃
地下水ドレン中継タンク出口又は 地下水ドレン前処理装置出口（処理水） 移送配管分岐部から 集水タンク入口まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当，150A 相当 ポリエチレン 0.98 MPa 40 ℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A，150A，200A/Sch.40 SUS316LTP 0.98 MPa 40 ℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	150A/Sch.40 STPG370 0.98 MPa 40 ℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	150A/Sch.40 200A/Sch.40 SUS316LTP 0.49 MPa 40 ℃

※　現場施工状況により，配管仕様（呼び径，厚さ，材質）の一部を使用しない場合がある。

主要配管仕様（２／４）

名　称	仕　様	
地下水ドレン中継タンク出口移送配管 分岐部から 地下水ドレン前処理装置入口まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 ポリエチレン 0.98 MPa 40 ℃
地下水ドレン前処理装置入口から 地下水ドレン前処理装置出口まで （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A／Sch.20S 65A／Sch.20S 80A／Sch.20S SUS316LTP 0.5 MPa 40 ℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A／Sch.80 65A／Sch.20S，Sch.80 SUS316LTP 1.5 MPa 40 ℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	40A／Sch.80 50A／Sch.20S，Sch.40，Sch.80 80A／Sch.20S SUS304TP 0.5 MPa 40 ℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	65A／Sch.20S 80A／Sch.20S SUS316LTP 0.98 MPa 40 ℃
（耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当 合成ゴム 0.5 MPa 40 ℃

※　現場施工状況により，配管仕様（呼び径，厚さ，材質）の一部を使用しない場合がある。

主要配管仕様（３／４）

名　称	仕　様	
地下水ドレン前処理装置出口（処理水） から 集水タンク入口配管分岐部又は地下水ドレン中継タンク入口まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当 ポリエチレン 0.50 MPa 40 ℃
地下水ドレン前処理装置出口（濃縮水） から タービン建屋又は地下水ドレン中継タンク入口まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当，100A 相当 ポリエチレン 0.50 MPa，大気圧 40 ℃
地下水ドレン中継タンク出口配管分岐部から 地下水ドレン中継タンク入口まで （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当，80A 相当 ポリエチレン 0.98 MPa 40 ℃

※　現場施工状況により，配管仕様（呼び径，厚さ，材質）の一部を使用しない場合がある。

主要配管仕様（４／４）

名　称	仕　様	
地下水ドレン中継タンク出口又は 地下水ドレン前処理装置出口（処理水） 配管分岐部から 処理装置供給タンク入口配管分岐合流 まで＊ （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A 相当,150A 相当 ポリエチレン 0.98 MPa 40 ℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	80A/Sch.40 150A/Sch.40 200A/Sch.40 SUS316LTP 0.98 MPa 40 ℃
処理装置供給タンク入口配管分岐から 受けタンクヘッダまで＊ （ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	150A 相当 ポリエチレン 0.98 MPa 40 ℃
（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	150A/Sch.40 SUS316LTP 0.98 MPa 40 ℃

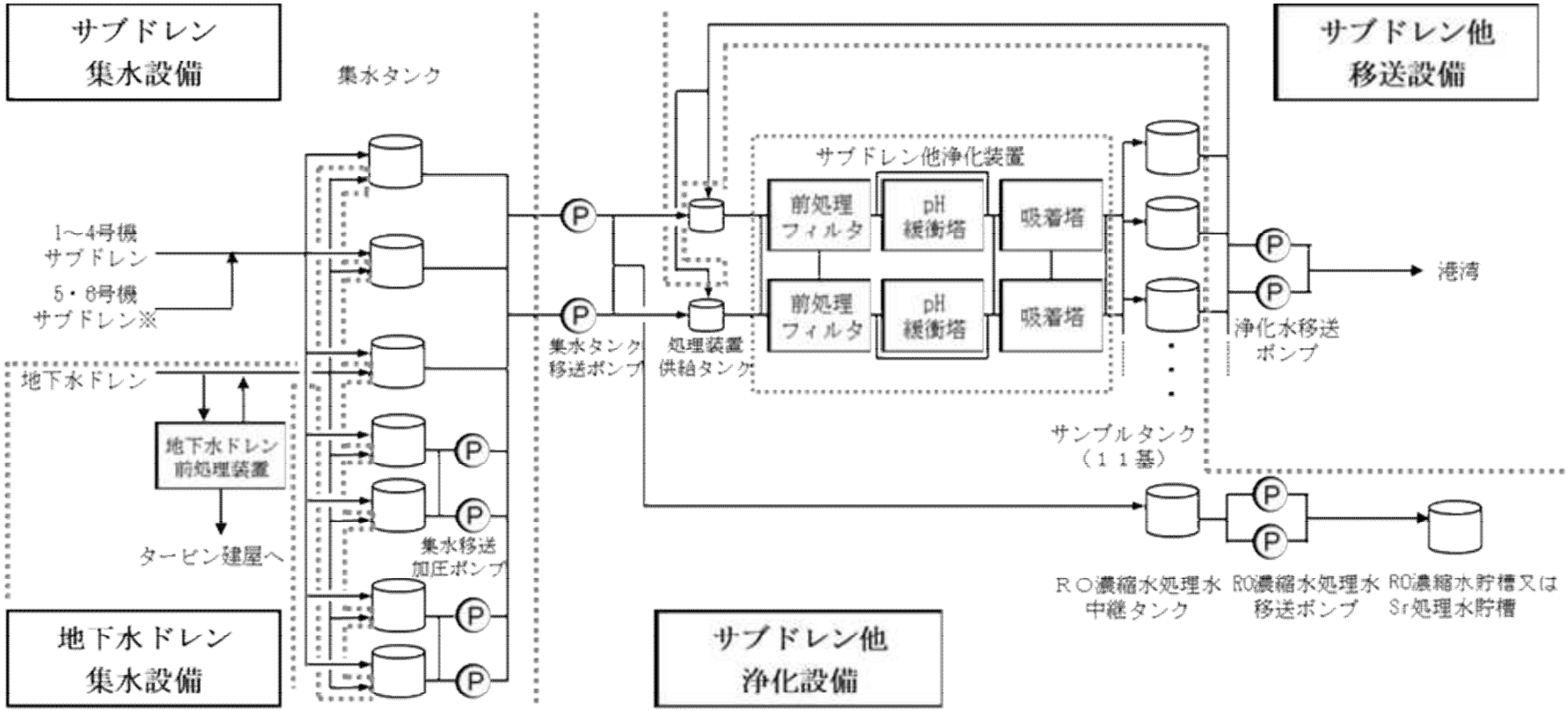
※　現場施工状況により，配管仕様（呼び径，厚さ，材質）の一部を使用しない場合がある。

＊　サブドレン他浄化設備から用途変更（Ⅱ-2.35 サブドレン他浄化設備 2.35.2.1.2(4)配管）

2.35.3　添付資料

添付資料－１　：全体概要図及び系統構成図
添付資料－２　：機器配置図
添付資料－３　：サブドレン他水処理施設の耐震性に関する説明書
添付資料－４　：サブドレン集水設備の強度に関する説明書
添付資料－５　：サブドレン他浄化設備の強度に関する説明書
添付資料－６　：サブドレン他移送設備の強度に関する説明書
添付資料－７　：地下水ドレン集水設備の強度に関する説明書
添付資料－８　：サブドレン他浄化装置建屋基礎の構造強度に関する検討結果
添付資料－９　：流体状の放射性廃棄物の施設外への防止能力についての計算書
添付資料－１０　：工事工程表
添付資料－１１　：サブドレン他水処理施設の具体的な安全確保策
添付資料－１２　：サブドレン他水処理施設に係る確認事項
添付資料－１３　：地下水ドレン前処理装置について
添付資料－１４　：５・６号機サブドレン集水設備復旧による地下水流入低減について

全体概要図及び系統構成図

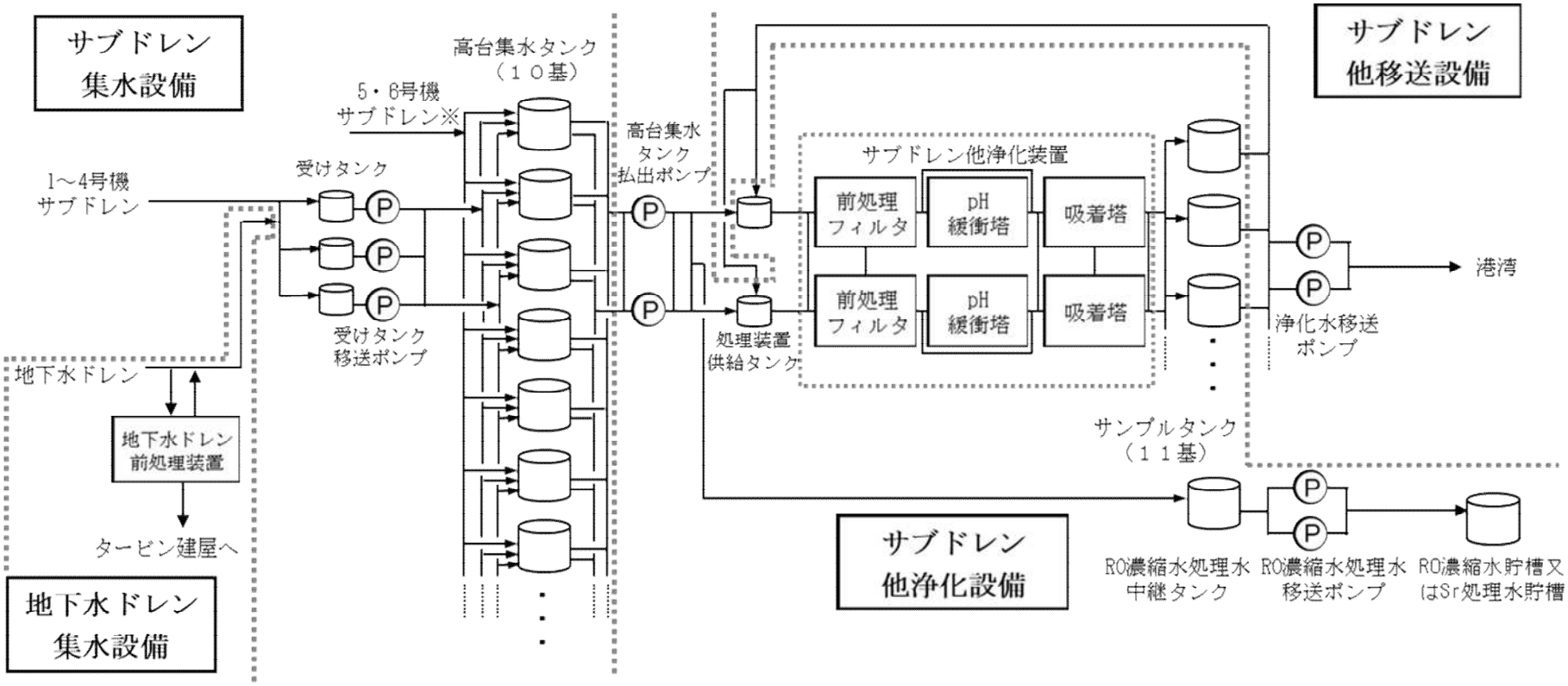


※５・６号機サブドレンピットから汲み上げた地下水は，集水タンクへ移送する。（「添付資料－１５　５・６号機サブドレン集水設備復旧による地下水流入低減について」参照）

(a)　系統概要

図－１　サブドレン他水処理施設の全体概要図（１／４）

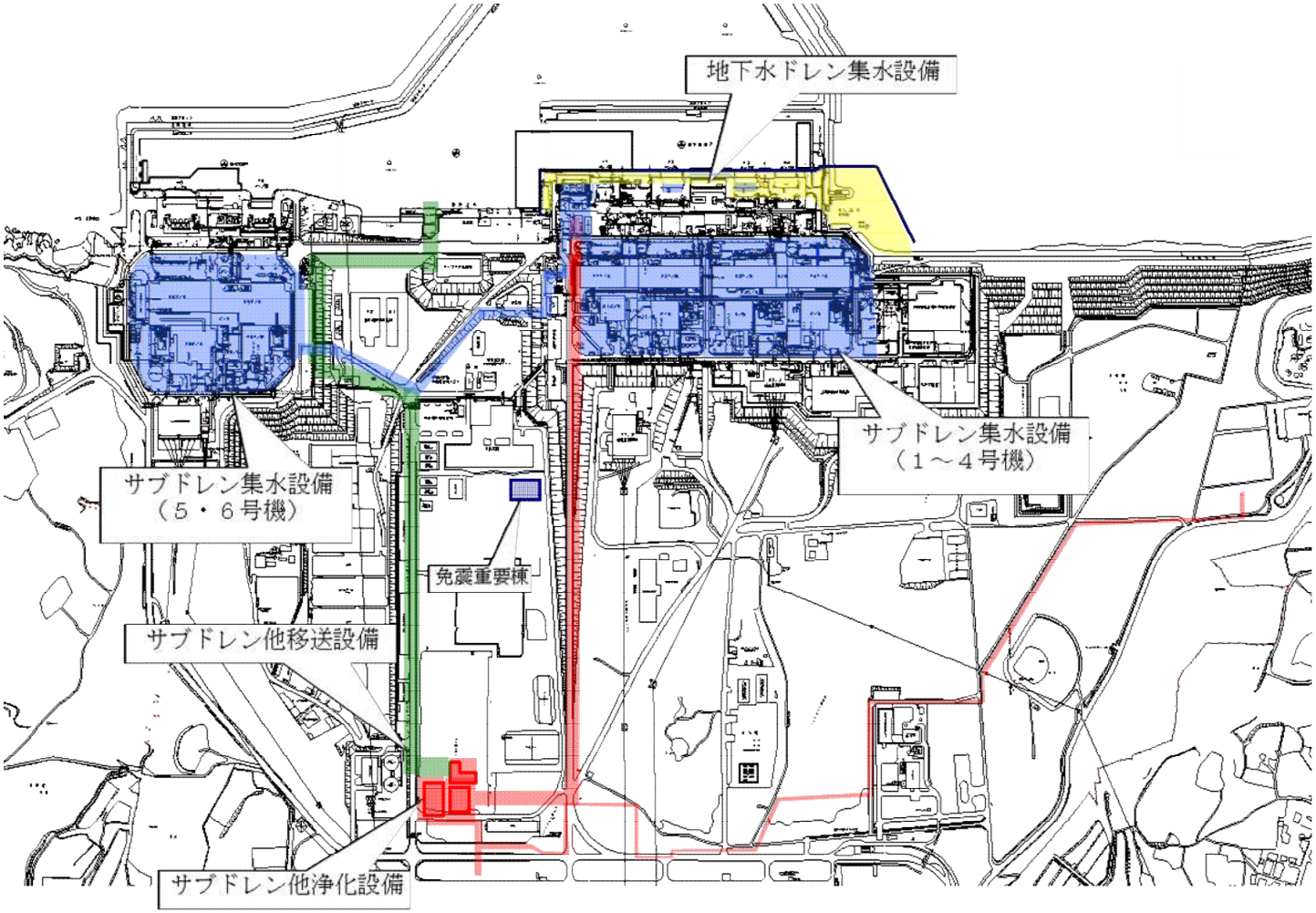
全体概要図及び系統構成図（集水タンクの高台設置に伴う）



※５・６号機サブドレンピットから汲み上げた地下水は，高台集水タンクへ移送する。（「添付資料－１４　５・６号機サブドレン集水設備復旧による地下水流入低減について」参照）

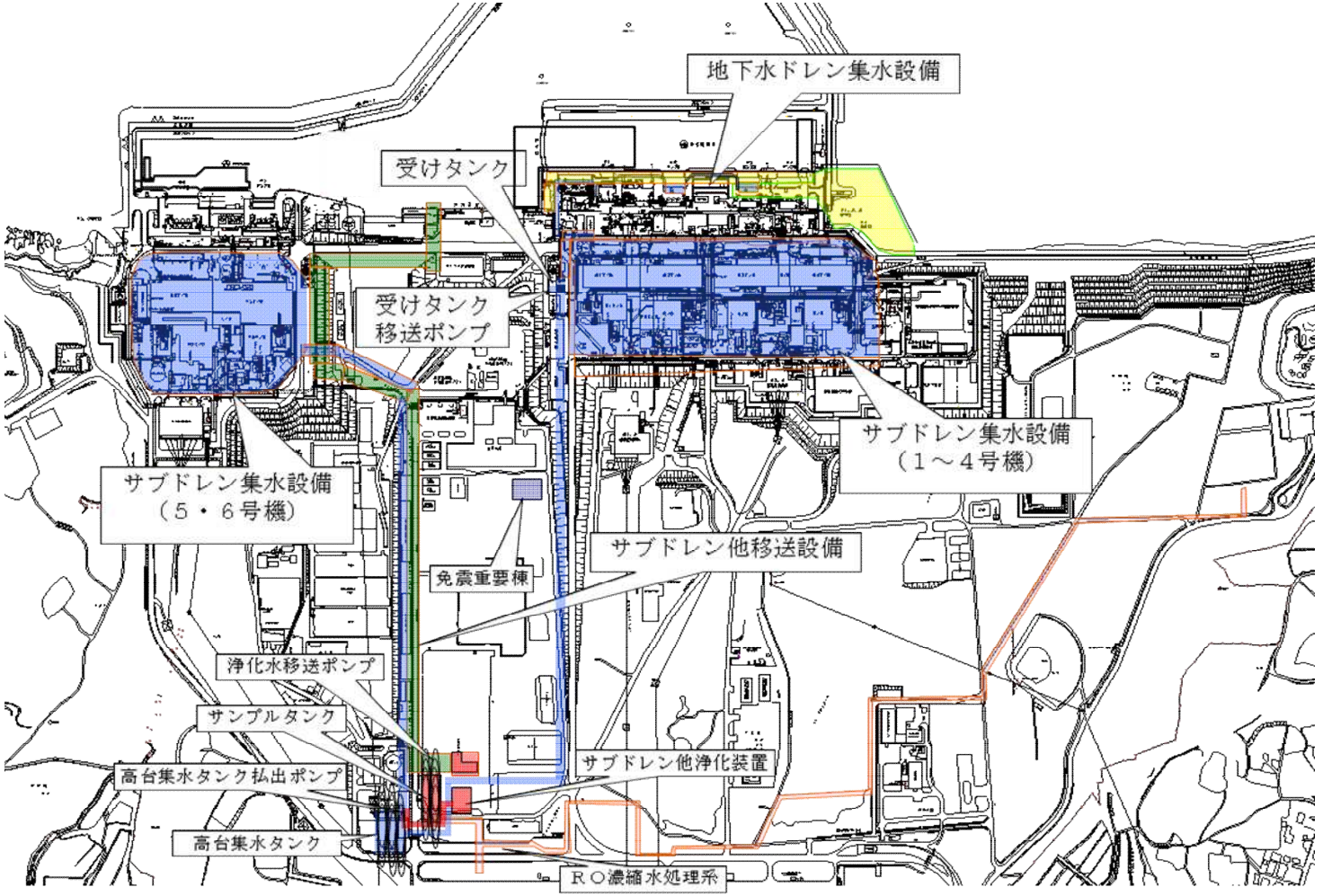
(b)　系統概要

図－１　サブドレン他水処理施設の全体概要図（集水タンクの高台設置）（２／４）



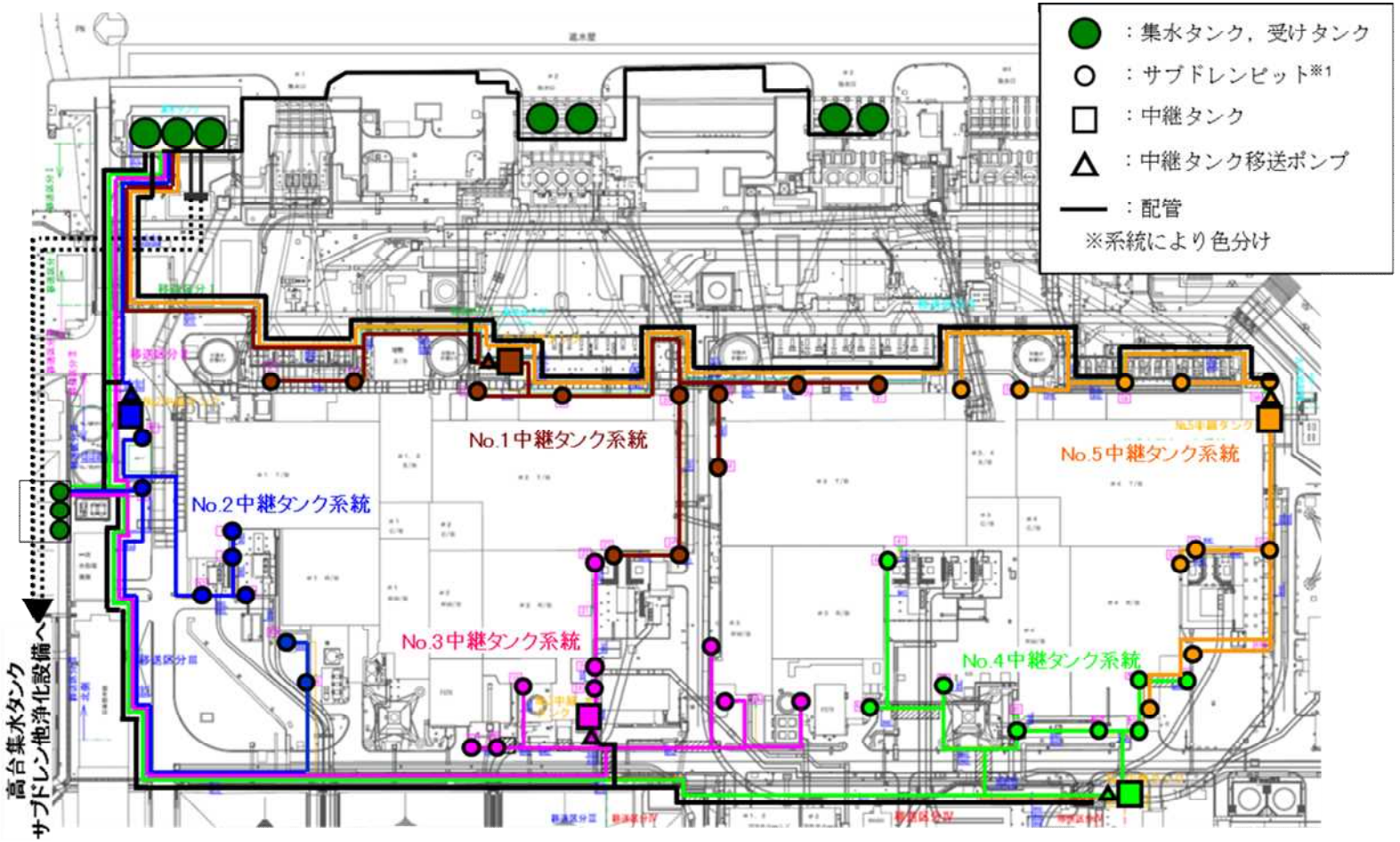
（c） 配置概要

図－１　サブドレン他水処理施設の全体概要図（３／４）



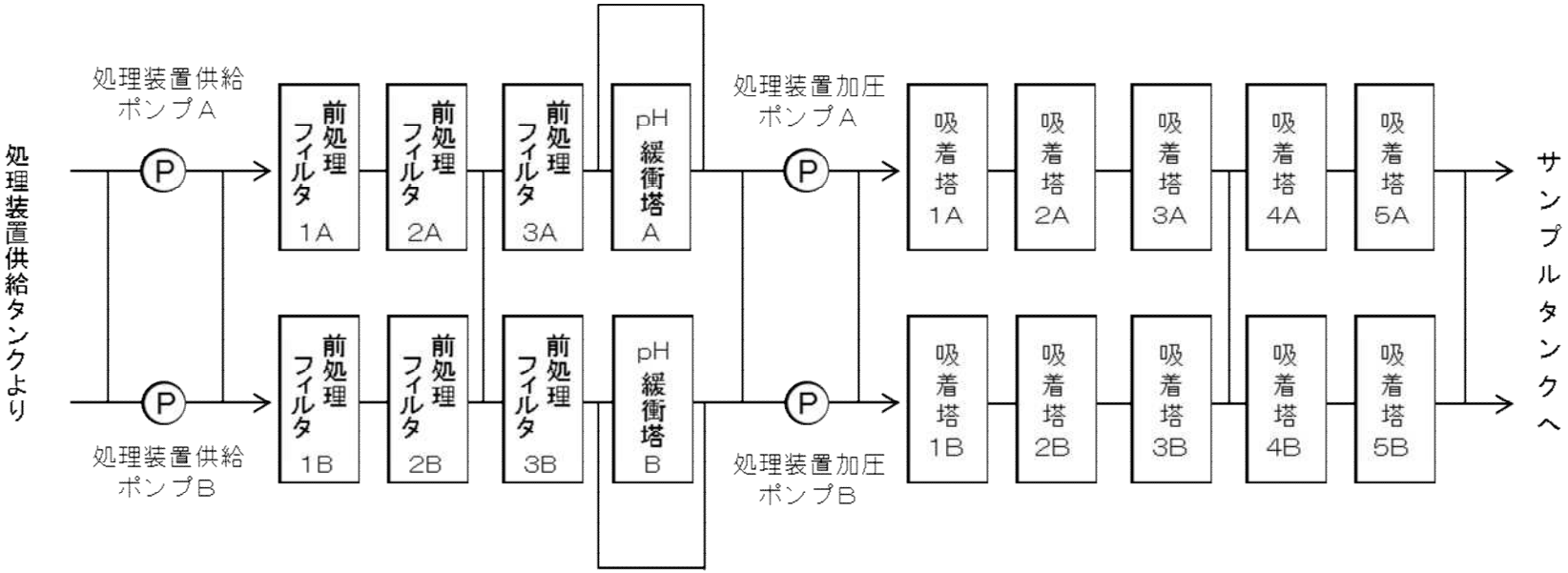
(d)　配置概要

図－１　サブドレン他水処理施設の全体概要図（集水タンクの高台設置）（４／４）

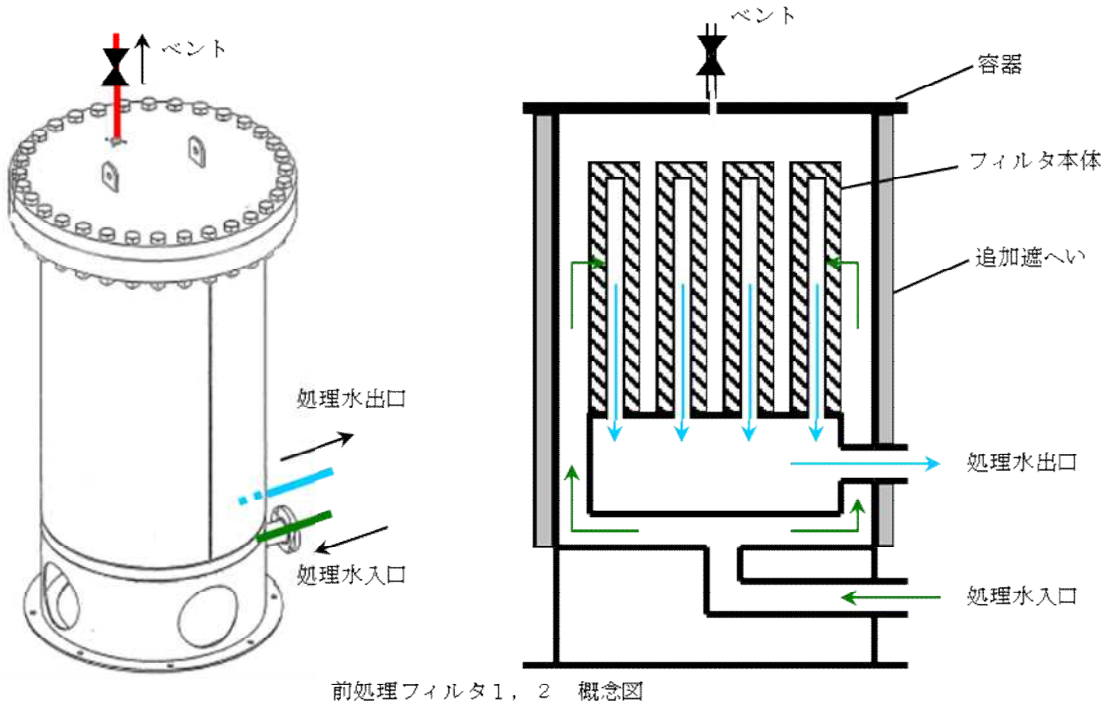


※1　揚水ポンプおよび水位計は、サブドレンピット内部に設置されている。（揚水ポンプ：各ピットに１台ずつ、計４６台，水位計：各ピットに２台ずつ、計９２台）

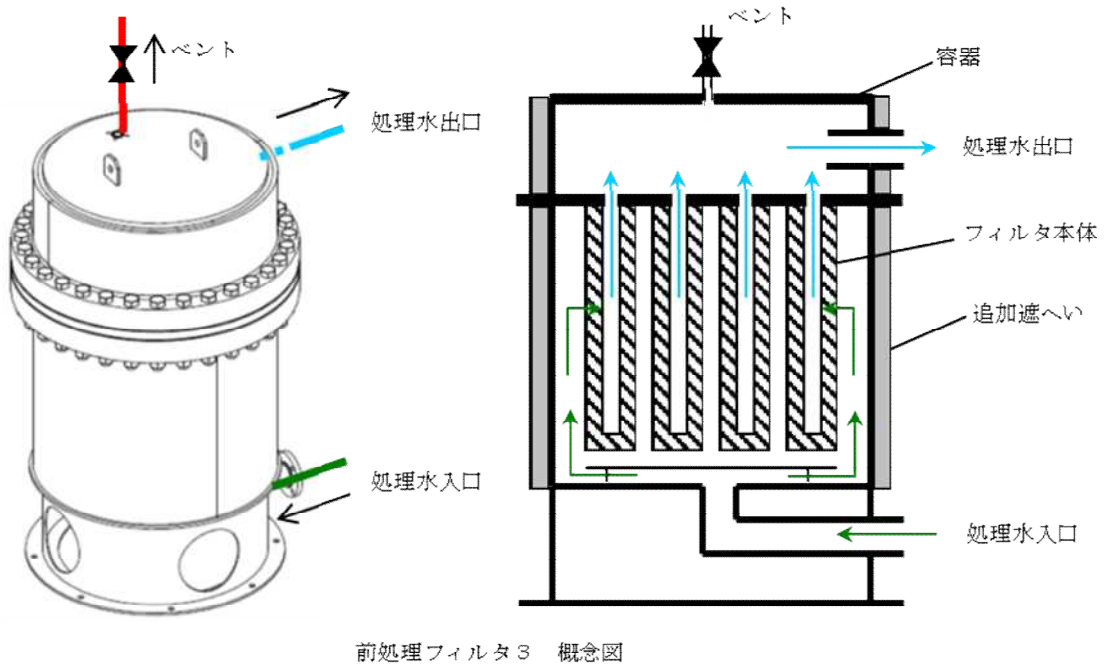
図－２　サブドレン集水設備系統図（１～４号機）



図－３　サブドレン他浄化装置系統構成図

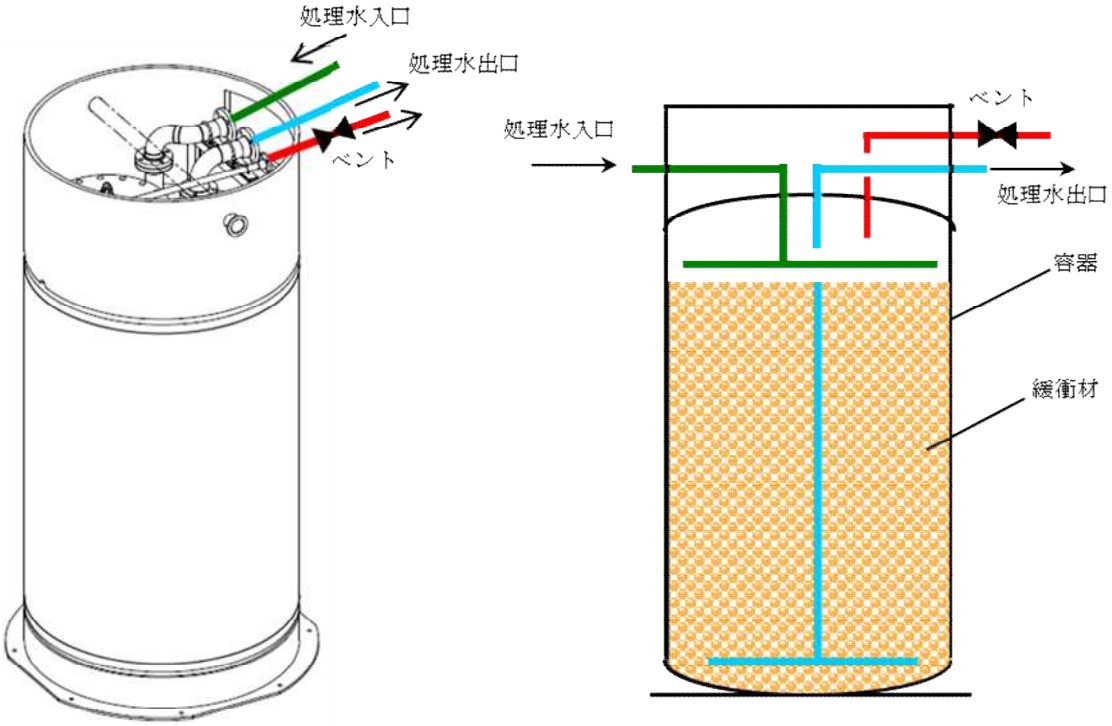


前処理フィルタ１，２　概念図

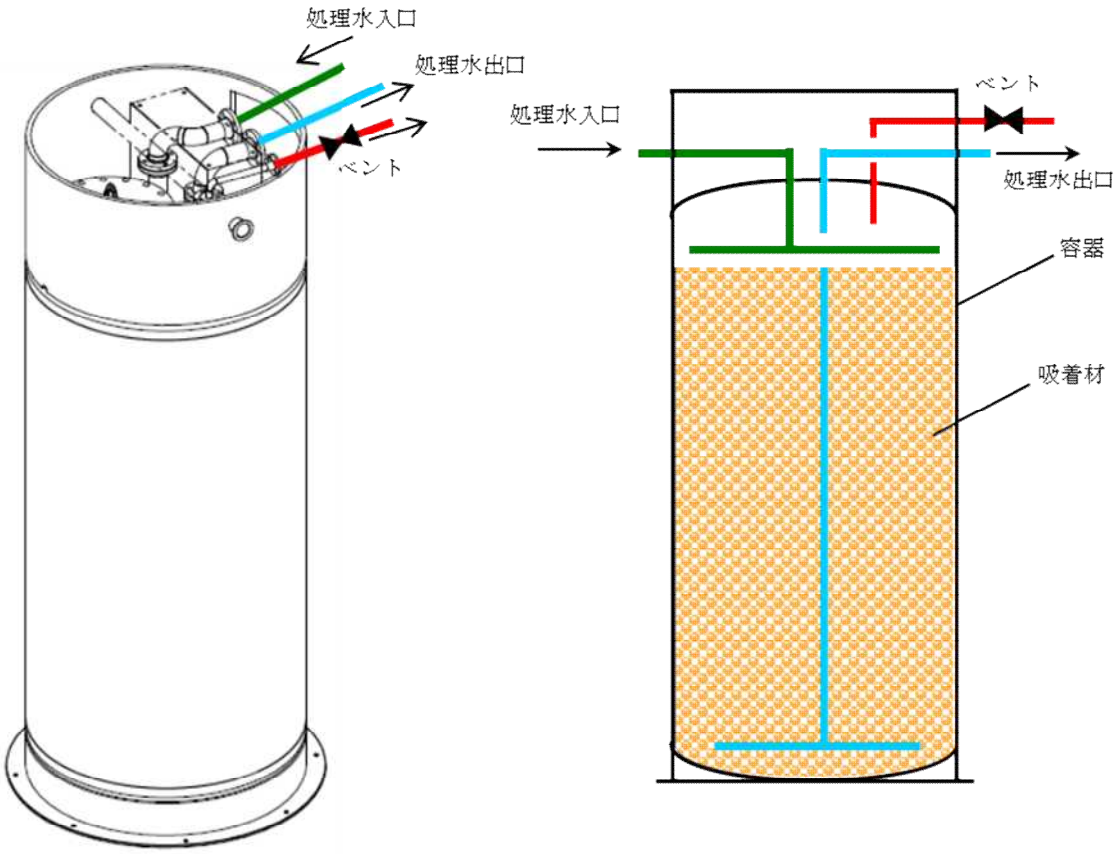


前処理フィルタ３　概念図

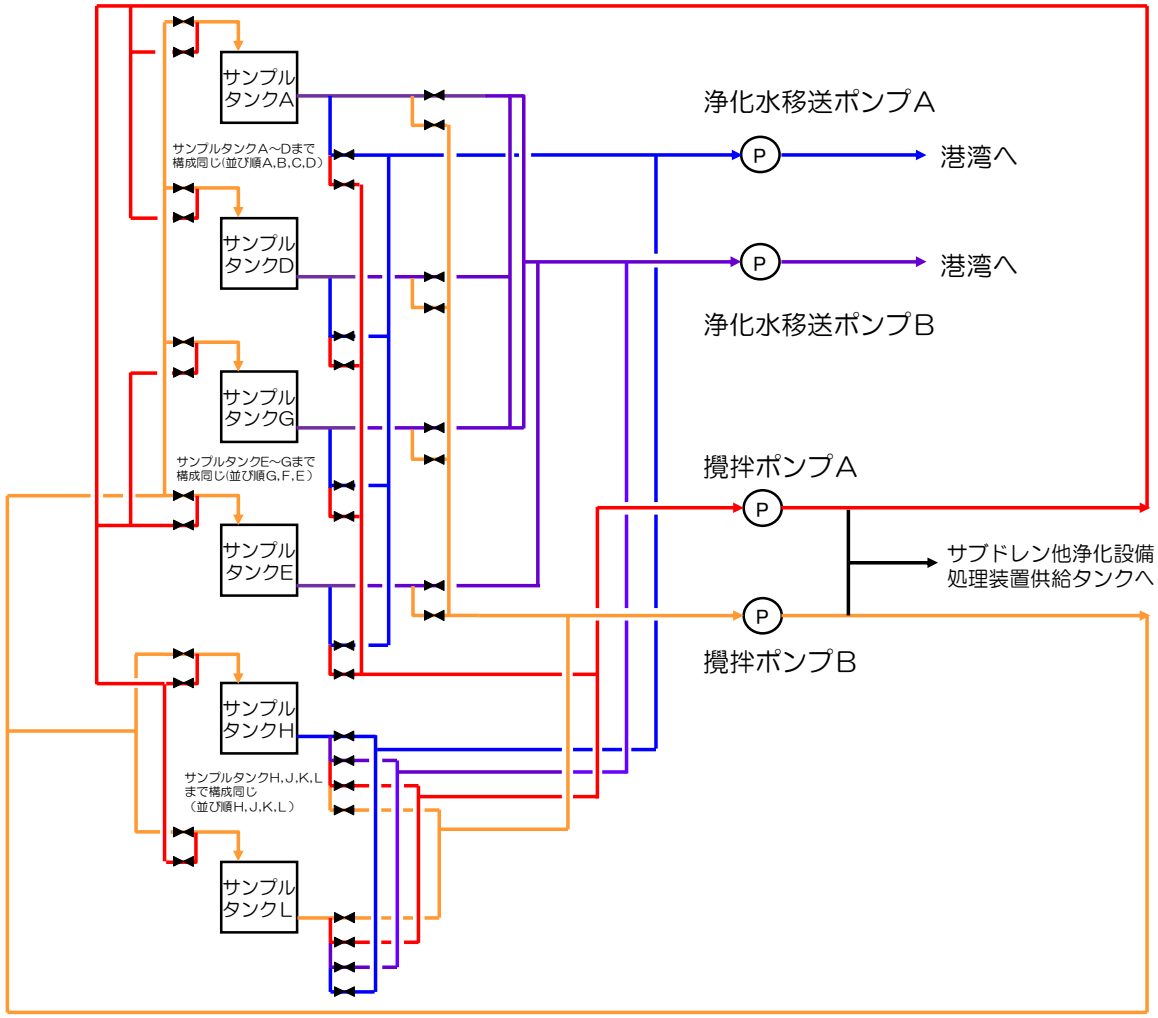
図－４　サブドレン他浄化装置　前処理フィルタの概念図



図－５　サブドレン他浄化装置　pH 緩衝塔の概念図

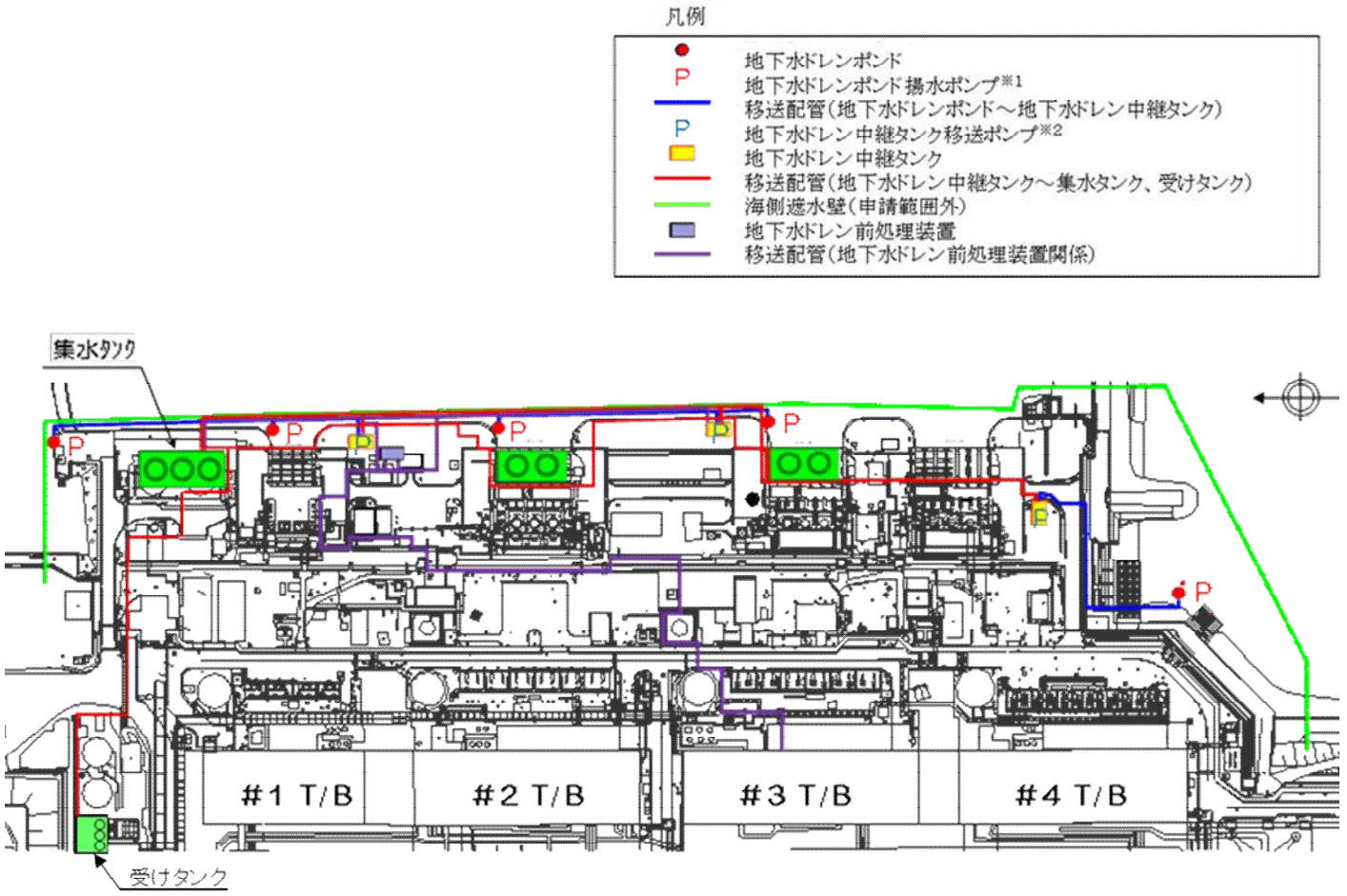


図－６　サブドレン他浄化装置　吸着塔の概念図

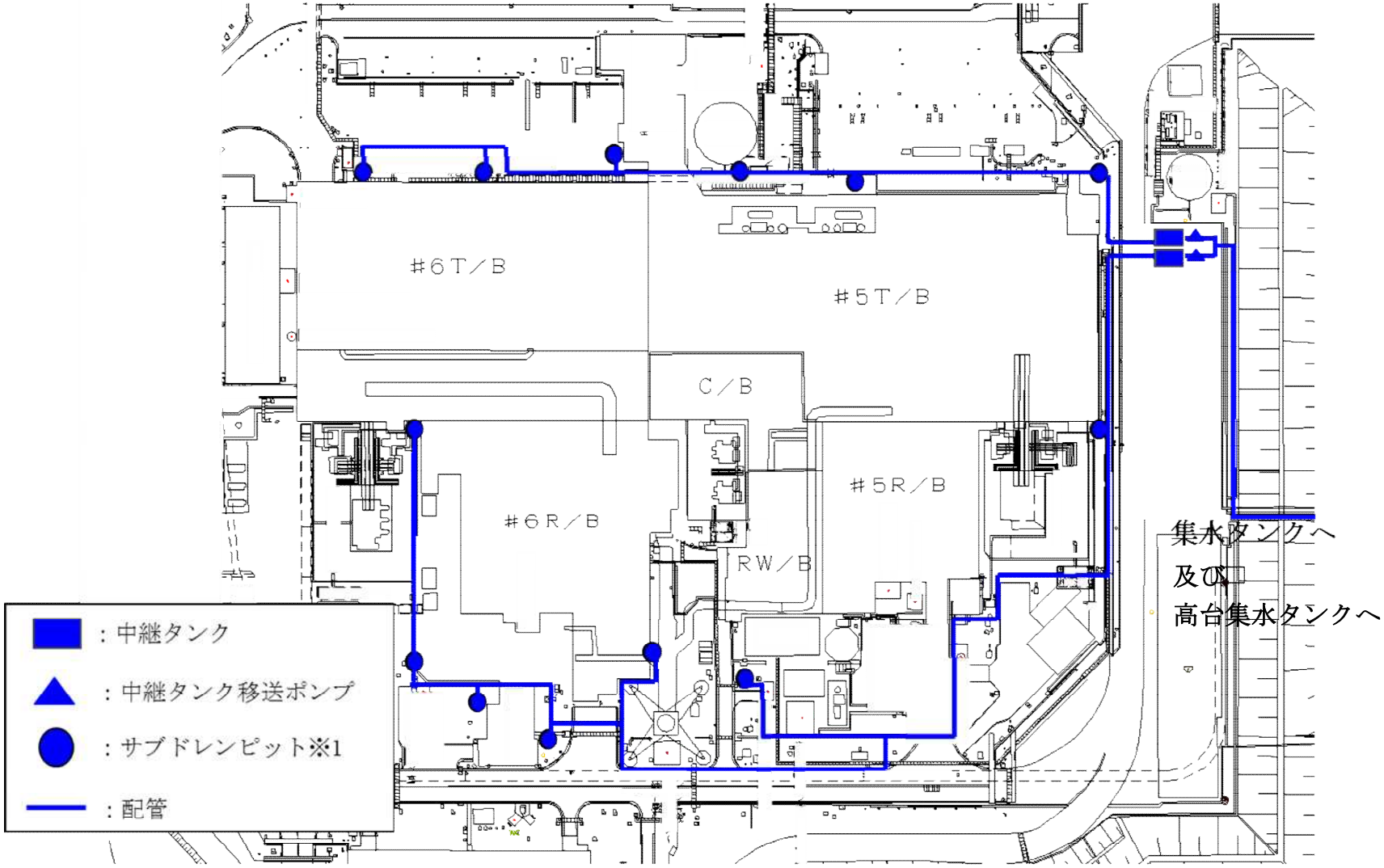


※サンプルタンクはサブドレン他浄化設備に含まれる

図－７　サブドレン他移送設備系統図



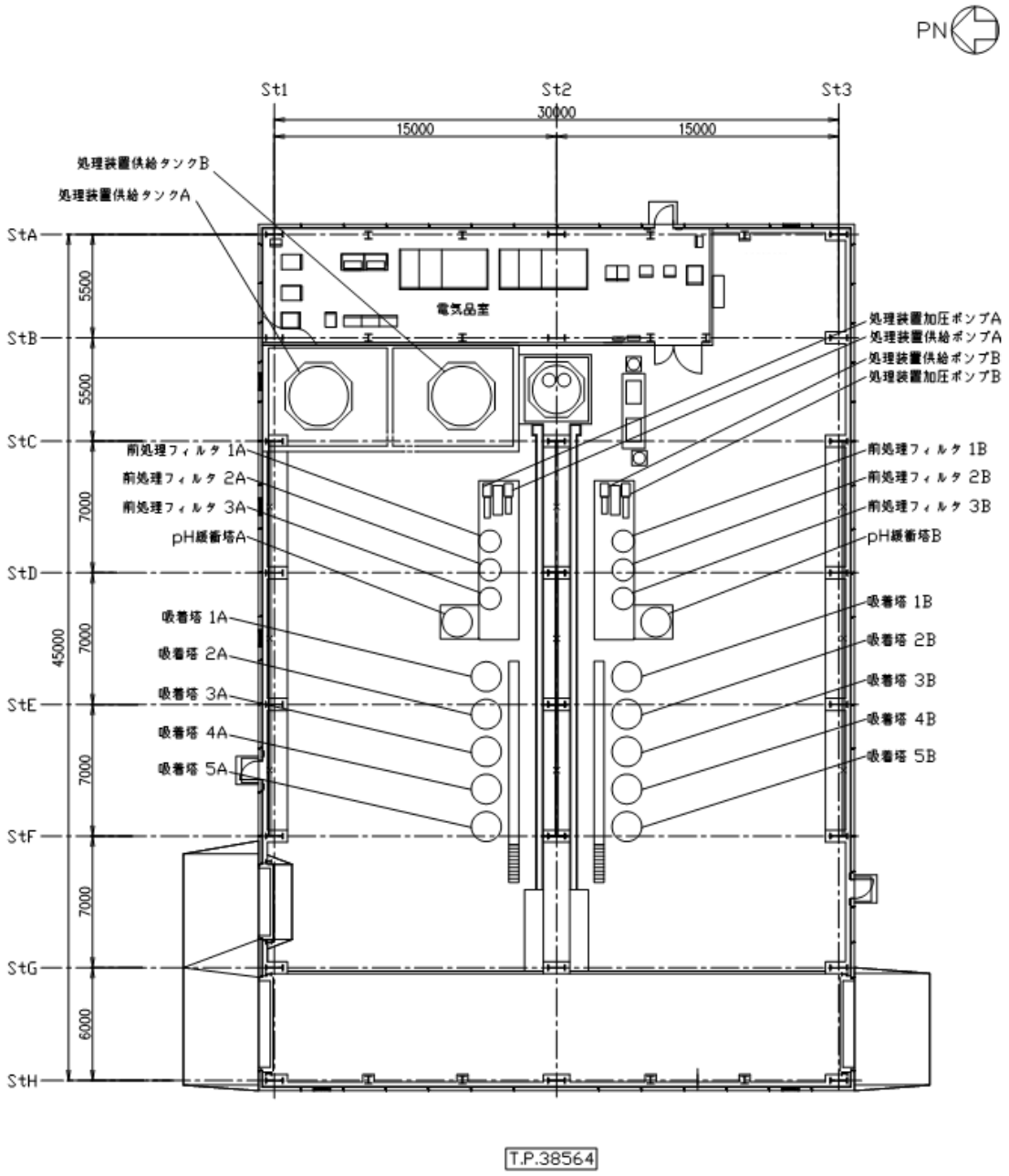
図－８　地下水ドレン集水設備系統図



※1揚水ポンプと水位計は，サブドレンピット内部に設置されている。（揚水ポンプ：各ピットに１台ずつ，計１３台，水位計：各ピットに１台ずつ，計１３台）

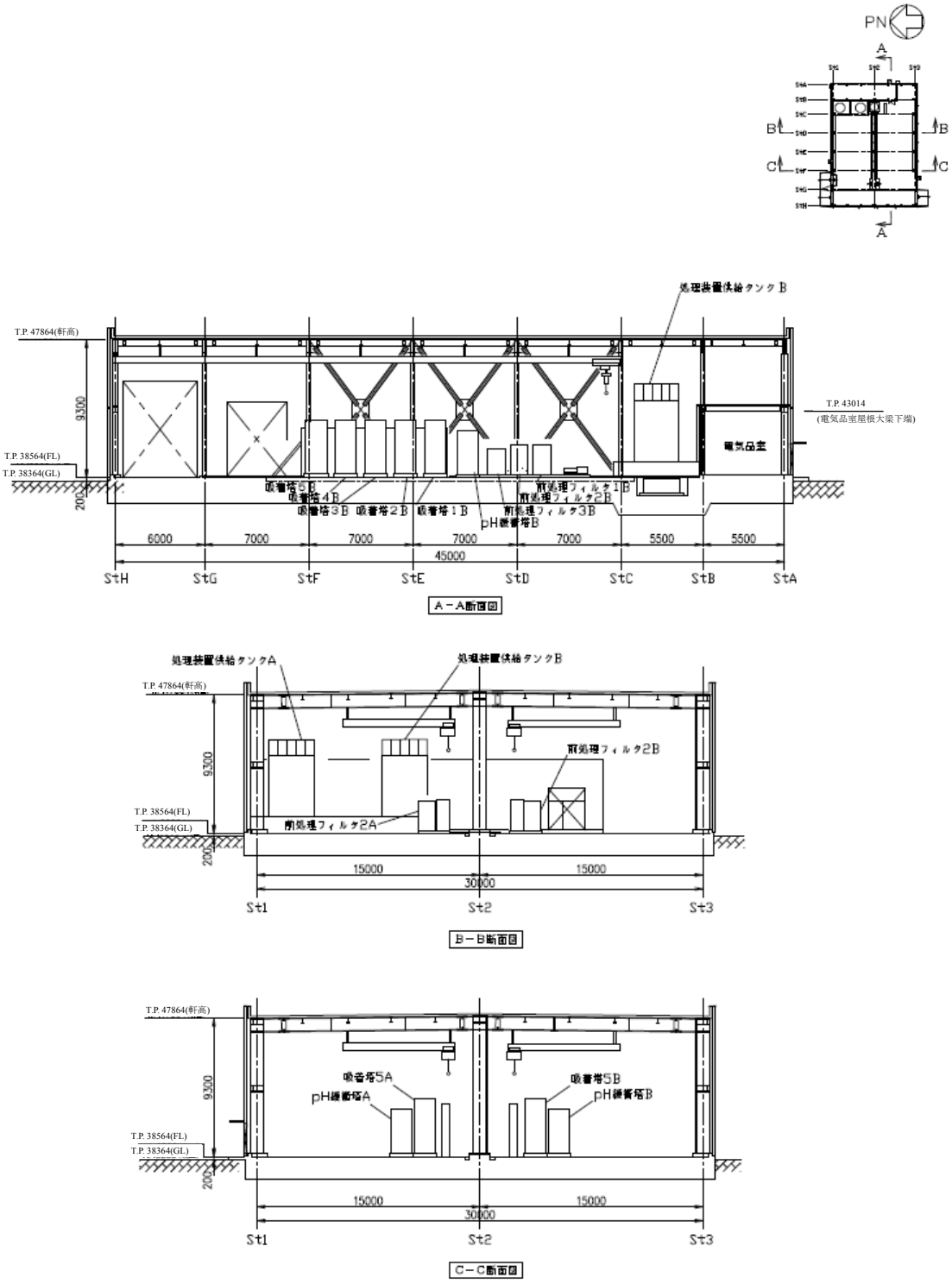
図－９　サブドレン集水設備系統図（５・６号機）

機器配置図



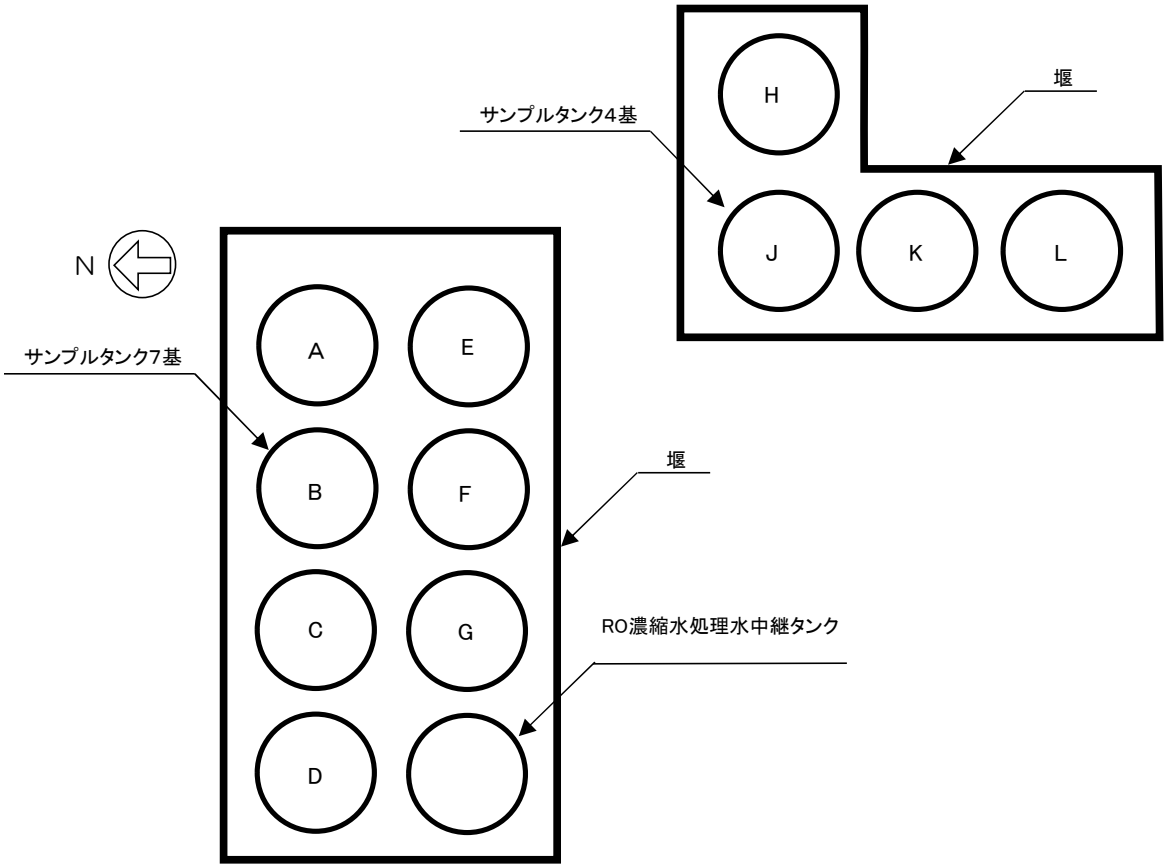
(a) 平面図

図－１　サブドレン他浄化装置建屋内機器配置図（１／２）



(b) 断面図

図－１　サブドレン他浄化装置建屋内機器配置図（２／２）



図－２　サンプルタンク設置エリアの機器配置図

サブドレン他水処理施設の耐震性に関する説明書

１．耐震設計の基本方針

サブドレン他水処理施設を構成する機器等は，2021 年 9 月 8 日及び 2022 年 11 月 16 日の原子力規制委員会で示された耐震設計の考え方を踏まえ，その安全機能の重要度，地震等によって機能の喪失を起こした場合の安全上の影響（公衆への被ばく影響）や廃炉活動への影響等を考慮した上で，核燃料物質を非密封で扱う燃料加工施設や使用施設等における耐震クラス分類を参考にして適切な耐震設計上の区分を行うとともに，適切と考えられる設計用地震力に十分耐えられる設計とし C クラス設備として位置付けると共に，堰は B クラスに格上げとする。

ただし，2021 年 9 月 8 日以前に認可されたサブドレン他水処理施設については，「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の B クラスに相当する設備と位置付けて，以下の通りに耐震性を評価していることから，この限りではない。

・主要な機器の耐震性評価については，「JEAG4601 原子力発電所耐震設計技術指針」等に準拠する。

・鋼管については，B クラス相当の定ピッチスパン法で評価されるサポート間隔とする。ポリエチレン配管及び伸縮継手は，材料の可撓性により耐震性を確保する。

・サブドレン他移送設備の浄化水移送ポンプは，水質分析を行い排水出来ることを確認した水のみを通水することから，「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の C クラスに相当する設備と位置付ける。また，水質分析を行い排水出来ることを確認した水のみが通水される配管についても C クラスに相当する設備と位置付ける。

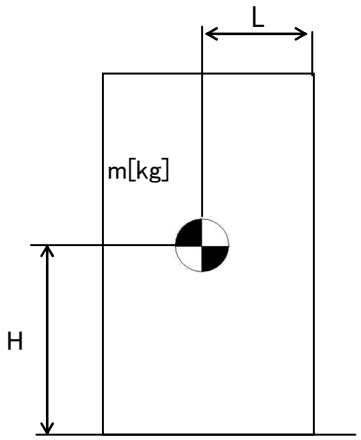
・サブドレン他浄化装置建屋基礎は，「添付資料－８　サブドレン他浄化装置建屋基礎の構造強度に関する検討結果」において耐震性の評価を行っている。サブドレン他浄化装置建屋上屋は設備を支持しておらず，間接支持構造物及び相互影響を考慮すべき設備には該当しない。

耐震性評価

２．１　タンク，ポンプ，地下水ドレン前処理装置の耐震性評価

（１）転倒評価

地震による転倒モーメントと自重による安定モーメントを算出し，それらを比較することにより転倒評価を実施した。評価の結果，地震による転倒モーメントは自重による安定モーメントより小さいことから，転倒しないことを確認した（表－１）。



m　：　機器質量
g　：　重力加速度（9.80665 m/s^2）
H　：　据付面からの重心までの距離
L　：　転倒支点から重心までの距離
C_H　：　水平方向設計震度

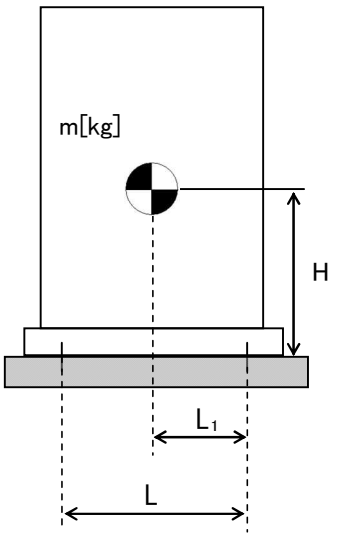
地震による転倒モーメント：M_1[N・m] = m×g×C_H×H

自重による安定モーメント：M_2[N・m] = m×g×L

（２）基礎ボルトの強度評価

原子力発電所耐震設計技術指針の評価方法に準拠して評価を実施した。評価の結果，基礎ボルトの強度が確保されることを確認した（表－１）。

ａ．タンク，地下水ドレン前処理装置



m　：　機器質量
g　：　重力加速度（9.80665 m/s^2）
H　：　据付面からの重心までの距離
L　：　基礎ボルト間の水平方向距離
L_1　：　重心と基礎ボルト間の水平方向距離
n_f：　引張力の作用する基礎ボルトの評価本数
n　：　基礎ボルトの本数
A_b　：　基礎ボルトの軸断面積
C_H　：　水平方向設計震度
C_V　：　鉛直方向設計震度（0）

基礎ボルトに作用する引張力：$F_b = \frac{1}{L}\left(m \times g \times C_H \times H - m \times g \times (1 - C_V) \times L_1\right)$

基礎ボルトの引張応力：$\sigma_b = \frac{F_b}{n_f \times A_b}$

基礎ボルトのせん断応力：$\tau_b = \frac{m \times g \times C_H}{n \times A_b}$

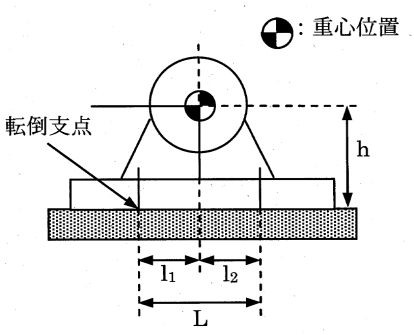
また，許容応力は，以下の式で設定した。

基礎ボルトの許容引張応力　：$f_{ts} = \min\left(1.4 f_{to} - 1.6\tau_b , f_{to}\right)$

ここで $f_{t0} = \frac{F}{2} \times 1.5$

基礎ボルトの許容せん断応力：$f_{sb} = 1.5\frac{F}{1.5\sqrt{3}}$

b．ポンプ



m：　機器の運転時質量
g：　重力加速度（9.80665 m/s^2）
h：　据付面から重心までの距離
M_P：　ポンプ回転により働くモーメント（0）
※ 基礎ボルトにM_Pは作用しない
L：　基礎ボルト間の水平方向距離
l_1：　重心と基礎ボルト間の水平方向距離（$l_1 \leqq l_2$）
n_f：　引張力の作用する基礎ボルトの評価本数
n：　基礎ボルトの本数
A_b：　基礎ボルトの軸断面積
C_H：　水平方向設計震度
C_V：　鉛直方向設計震度（0）
C_P：　ポンプ振動による震度

ボルトに作用する引張力：$F_b = \frac{1}{L}\{ mg(C_H+C_p)h + M_P - mg(1-C_V-C_p)l_1 \}$

ボルトの引張応力：$\sigma_b = \frac{F_b}{n_f A_b}$

ボルトに作用するせん断力：$Q_b = mg(C_H+C_p)$

ボルトのせん断応力：$\tau_b = \frac{Q_b}{nA_b}$

また，許容応力は，以下の式で設定した。

基礎ボルトの許容引張応力　：$f_{ts} = \min\left(1.4f_{to} - 1.6\tau_b\ ,\ f_{to}\right)$

ここで $f_{to} = \dfrac{F}{2} \times 1.5$

基礎ボルトの許容せん断応力：$f_{sb} = 1.5\dfrac{F}{1.5\sqrt{3}}$

表－１　タンク，ポンプ，地下水ドレン前処理装置の耐震評価結果

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
集水タンク	本体	転倒	0.36	3.0×10^4	7.0×10^4	kN･m
サンプルタンク	本体	転倒	0.36	3.0×10^4	7.0×10^4	kN･m
中継タンク	基礎ボルト	引張	0.36	＜ 0	102	MPa
		せん断	0.36	39	72	MPa
処理装置供給タンク(SUS316L)	基礎ボルト	引張	0.36	＜ 0	176	MPa
		せん断	0.36	16	135	MPa
処理装置供給タンク(SM400C)	基礎ボルト	引張	0.36	＜ 0	176	MPa
		せん断	0.36	16	135	MPa
地下水ドレン中継タンク	基礎ボルト	引張	0.36	＜ 0	102	MPa
		せん断	0.36	39	72	MPa
中継タンク移送ポンプ	基礎ボルト	引張	0.36	1	176	MPa
		せん断	0.36	5	101	MPa
集水タンク移送ポンプ	基礎ボルト	引張	0.36	1	188	MPa
		せん断	0.36	5	223	MPa
処理装置供給ポンプ	基礎ボルト	引張	0.36	1	452	MPa
		せん断	0.36	3	348	MPa
処理装置加圧ポンプ	基礎ボルト	引張	0.36	1	452	MPa
		せん断	0.36	3	348	MPa
浄化水移送ポンプ	基礎ボルト	引張	0.24	＜ 0	176	MPa
		せん断	0.24	3	135	MPa
攪拌ポンプ	基礎ボルト	引張	0.36	＜ 0	176	MPa
		せん断	0.36	5	135	MPa
RO 濃縮水処理水中継タンク	本体	転倒	0.36	3.1×10^4	7.1×10^4	kN･m
RO 濃縮水処理水移送ポンプ	基礎ボルト	引張	0.36	＜ 0	183	MPa
		せん断	0.36	4	141	MPa
地下水ドレン前処理装置	基礎ボルト	引張	0.36	＜ 0	176	MPa
		せん断	0.36	33	135	MPa
集水移送加圧ポンプ	基礎ボルト	引張	0.36	＜ 0	183	MPa
		せん断	0.36	2	141	MPa

受けタンク	基礎ボルト	引張	0.24	＜ 0	176	MPa
		せん断	0.24	11	135	MPa
受けタンク移送ポンプ	基礎ボルト	引張	0.24	＜ 0	183	MPa
		せん断	0.24	3	141	MPa
高台集水タンク	本体	転倒	0.24	2.3×10^4	9.6×10^4	kN･m
高台集水タンク払出ポンプ	基礎ボルト	引張	0.24	＜ 0	183	MPa
		せん断	0.24	3	141	MPa

（3）応力評価及び座屈評価

サブドレン他水処理施設を構成する機器のうち，集水タンク，サンプルタンク，RO 濃縮水処理水中継タンクについて,『JEAC4601-2008 原子力発電所耐震設計技術規程』に基づき，タンク胴板の応力評価及び座屈評価により，発生する応力が許容値を超えないことを確認する。

1.評価

1.1. 胴の応力評価

イ.組合せ応力が胴の最高使用温度における許容応力Ｓａ以下であること。

応力の種類	許　容　応　力　Sa
一次一般膜応力	設計降伏点Ｓｙと設計引張強さＳｕの0.6倍のいずれか小さい方の値。

一次応力の評価は算出応力が一次一般膜応力と同じ値であるので省略する。

応力計算において，静的地震力を用いる場合は，絶対値和を用いる。

(1)　静水頭及び鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{\phi 1}=\frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i}{2 \cdot t}$$

$$\sigma_{\phi 2}=\frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i \cdot C_v}{2 \cdot t}$$

$$\sigma_{x1}=0$$

(2)　運転時質量及び鉛直方向地震による応力

胴がベースプレートと接合する点には，胴自身の質量による圧縮応力と鉛直方向地震による軸方向応力が生じる。

$$\sigma_{x2}=\frac{m_e \cdot g}{\pi \cdot (D_i+t) \cdot t}$$

$$\sigma_{x3}=\frac{m_e \cdot g \cdot C_v}{\pi \cdot (D_i+t) \cdot t}$$

(3)　水平方向地震による応力

水平方向の地震力により胴はベースプレート接合部で最大となる曲げモーメントを受ける。この曲げモーメントによる軸方向応力と地震力によるせん断応

力は次のように求める。

$$\sigma_{x4}=\frac{4\cdot C_H\cdot m_0\cdot g\cdot \lambda_g}{\pi\cdot(D_i+t)^2\cdot t}$$

$$\tau=\frac{2\cdot C_H\cdot m_0\cdot g}{\pi\cdot(D_i+t)\cdot t}$$

(4) 組合せ応力

(1)～(3)によって求めた胴の応力は以下のように組み合わせる。

a. 一次一般膜応力

(a) 組合せ引張応力

$$\sigma_\phi=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 2}$$

$$\sigma_{0t}=\frac{1}{2}\cdot\left\{\sigma_\phi+\sigma_{xt}+\sqrt{(\sigma_\phi-\sigma_{xt})^2+4\cdot\tau^2}\right\}$$

$$\sigma_{xt}=\sigma_{x1}-\sigma_{x2}+\sigma_{x3}+\sigma_{x4}$$

(b) 組合せ圧縮応力

σ_{xc}が正の値（圧縮側）のとき，次の組合せ圧縮応力を求める。

$$\sigma_\phi=-\sigma_{\phi 1}-\sigma_{\phi 2}$$

$$\sigma_{0c}=\frac{1}{2}\cdot\left\{\sigma_\phi+\sigma_{xc}+\sqrt{(\sigma_\phi-\sigma_{xc})^2+4\cdot\tau^2}\right\}$$

$$\sigma_{xc}=-\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sigma_{x3}+\sigma_{x4}$$

したがって，胴の組合せ一次一般膜応力の最大値は，

σ_0＝Max｛組合せ引張応力（σ_{0t}），組合せ圧縮応力（σ_{0c}）｝とする。一次応力は一次一般膜応力と同じになるので省略する。

表－２　タンク応力評価結果

機器名称	部材	材料	水平方向設計震度	応力	算出応力［MPa］	許容応力［MPa］
集水タンク	胴板	SM400C	0.36	一次一般膜	70	240
サンプルタンク	胴板	SM400C	0.36	一次一般膜	70	240
RO濃縮水処理水中継タンク	胴板	SM400C	0.36	一次一般膜	70	240
高台集水タンク	胴板	SM400A	0.24	一次一般膜	67	240
受けタンク	胴板	SM400A	0.24	一次一般膜	9	240

ロ．圧縮膜応力（圧縮応力と曲げによる圧縮側応力の組合せ）は次式を満足すること。

（座屈の評価）

$$\frac{\eta \cdot (\sigma_{x2}+\sigma_{x3})}{f_c}+\frac{\eta \cdot \sigma_{x4}}{f_b} \leqq 1$$

ここで，f_cは次による。

$\frac{D_i+2 \cdot t}{2 \cdot t} \leqq \frac{1200 \cdot g}{F}$　のとき

$$f_c = F$$

$\frac{1200 \cdot g}{F} < \frac{D_i+2 \cdot t}{2 \cdot t} < \frac{8000 \cdot g}{F}$ のとき

$$f_c = F \cdot \left[1 - \frac{1}{6800 \cdot g} \cdot \left\{ F - \phi_1\left(\frac{8000 \cdot g}{F}\right)\right\} \cdot \left(\frac{D_i+2 \cdot t}{2 \cdot t} - \frac{1200 \cdot g}{F}\right)\right]$$

$\frac{8000 \cdot g}{F} \leqq \frac{D_i+2 \cdot t}{2 \cdot t} \leqq 800$　のとき

$$f_c = \phi_1\left(\frac{D_i+2 \cdot t}{2 \cdot t}\right)$$

ただし，$\phi_1(x)$は次の関数とする。

$$\phi_1(x) = 0.6 \cdot \frac{E}{x} \cdot \left[1-0.901 \cdot \left\{1-\exp\left(-\frac{1}{16} \cdot \sqrt{x}\right)\right\}\right]$$

また，f_bは次による。

$\frac{D_i+2 \cdot t}{2 \cdot t} \leqq \frac{1200 \cdot g}{F}$　のとき

$$f_b = F$$

$\frac{1200 \cdot g}{F} < \frac{D_i+2 \cdot t}{2 \cdot t} < \frac{9600 \cdot g}{F}$　のとき

$$f_b = F \cdot \left[1-\frac{1}{8400 \cdot g} \cdot \left\{F - \phi_2\left(\frac{9600 \cdot g}{F}\right)\right\} \cdot \left(\frac{D_i+2 \cdot t}{2 \cdot t} - \frac{1200 \cdot g}{F}\right)\right]$$

$\frac{9600 \cdot g}{F} \leqq \frac{D_i+2 \cdot t}{2 \cdot t} \leqq 800$　のとき

$$f_b = \phi_2\left(\frac{D_i+2 \cdot t}{2 \cdot t}\right)$$

ただし，$\phi_2(x)$は次の関数とする。

$$\phi_2(x) = 0.6 \cdot \frac{E}{x} \cdot \left[1-0.731 \cdot \left\{1-\exp\left(-\frac{1}{16} \cdot \sqrt{x}\right)\right\}\right]$$

η は安全率で次による。

$\frac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t} \leqq \frac{1200\cdot g}{F}$ のとき

$\eta = 1$

$\frac{1200\cdot g}{F} < \frac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t} < \frac{8000\cdot g}{F}$ のとき

$\eta = 1+\frac{0.5\cdot F}{6800\cdot g}\cdot\left(\frac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t}-\frac{1200\cdot g}{F}\right)$

$\frac{8000\cdot g}{F} \leqq \frac{D_i+2\cdot t}{2\cdot t}$ のとき

$\eta = 1.5$

表－３　タンク座屈評価

機器名称	部材	材料	水平方向 設計震度	座屈評価結果
集水タンク	胴板	SM400C	0.36	0.35 ＜ 1
サンプルタンク	胴板	SM400C	0.36	0.35 ＜ 1
RO 濃縮水処理水 中継タンク	胴板	SM400C	0.36	0.35 ＜ 1
高台集水タンク	胴板	SM400A	0.24	0.26 ＜ 1
受けタンク	胴板	SM400A	0.24	0.02 ＜ 1

記号の説明

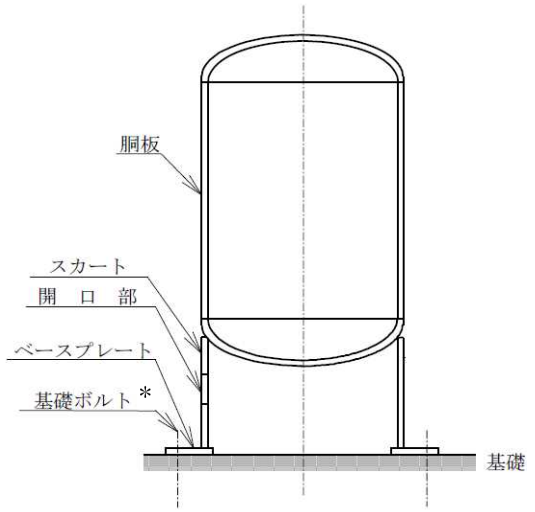
記　号	記　号　の　説　明	単　位
C_H	水平方向設計震度	－
C_V	鉛直方向設計震度（＝0）	－
D_i	胴の内径	mm
E	胴の縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格　SSB-3121.1又はSSB-3131に定める値	MPa
f_b	曲げモーメントに対する許容座屈応力	MPa
f_c	軸圧縮荷重に対する許容座屈応力	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
H	水頭	mm
λ_g	基礎から容器重心までの距離	mm
m_o	容器の運転時質量	kg
m_e	容器の空質量	kg
S_a	胴の許容応力	MPa
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
t	胴板の厚さ	mm
η	座屈応力に対する安全率	－
π	円周率	－
ρ'	液体の密度（＝比重×10^{-6}）	kg/mm^3
σ_0	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{0c}	胴の組合せ圧縮応力	MPa
σ_{0t}	胴の組合せ引張応力	MPa
σ_{x1}, $\sigma_{\phi 1}$	静水頭により胴に生じる軸方向及び周方向応力	MPa
σ_{x2}	胴の空質量による軸方向圧縮応力	MPa
σ_{x3}	胴の鉛直方向地震による軸方向応力	MPa
σ_{x4}	胴の水平方向地震による軸方向応力	MPa
σ_{xc}	胴の軸方向応力の和（圧縮側）	MPa
σ_{xt}	胴の軸方向応力の和（引張側）	MPa
σ_{ϕ}	胴の周方向応力の和	MPa
$\sigma_{\phi 2}$	静水頭に鉛直方向地震が加わり胴に生じる周方向応力	MPa
τ	地震により胴に生じるせん断応力	MPa
ϕ_1（x）	圧縮荷重に対する許容座屈応力の関数	MPa
ϕ_2（x）	曲げモーメントに対する許容座屈応力の関数	MPa

２．２　前処理フィルタ，pH 緩衝塔，吸着塔の耐震性評価

本評価は,「付録１　スカート支持たて置円筒形容器（耐震設計上の重要度分類Ｂクラス）の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下,「基本方針」という。）に基づいて，耐震性の計算を行う。

（１）構造計画

ａ．機器

主要区分	計画の概要		概略構造図	摘要
	基礎・支持構造	主体構造		
(1) スカート支持たて置円筒形容器	胴をスカートで支持し，スカートをボルトで基礎に据え付ける	上面及び下面に平板を有するたて置円筒形 上面及び下面に鏡板を有するたて置円筒形	 ＊　機器が架台に据え付けられる構造の場合は取付ボルトと称する。	・前処理フィルタ ・pH 緩衝塔 ・吸着塔

（２）設計用地震力

耐震クラス	適用する地震動		設計用地震力	摘要
	水平	鉛直		
B	静的震度 （1.8・C_i*1）	―	静的震度	・前処理フィルタ ・pH 緩衝塔 ・吸着塔

＊1：C_iは，標準せん断力係数を 0.2 とし，建物・構築物の振動特性，地盤の種類等を考慮して求められる値とする。

（３）荷重の組合せと許容限界

荷重の組合せと許容限界は，原子力発電所耐震設計技術指針（重要度分類・許容応力編 JEAG4601・補－1984，JEAG4601－1987及びJEAG4601－1991追補版）（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和59年9月，昭和62年8月及び平成3年6月）（以下「JEAG4601」という。）および発電用原子力設備規格（設計・建設規格JSME S NC-1－2005（2007年追補版含む。））（日本機械学会　2005年9月，2007年9月）（以下「設計・建設規格」という。）に準拠する。

記号の説明

D　：死荷重
P_d　：当該設備に設計上定められた最高使用圧力による荷重
M_d　：当該設備に設計上定められた機械的荷重
S_B　：Ｂクラスの設備に適用される地震動より求まる地震力又はＢクラス設備に適用される静的地震力
B_AS　：Ｂクラス設備の地震時許容応力状態
S_y　設計降伏点
S_u　：設計引張強さ
S　：許容引張応力
f_t　：許容引張応力　支持構造物（ボルト等を除く。）に対して設計・建設規格 SSB-3121.1 により規定される値。ボルト等に対して設計・建設規格　SSB-3131 により規定される値。
f_s　：許容せん断応力　同　上
f_c　：許容圧縮応力　支持構造物（ボルト等を除く。）に対して設計・建設規格 SSB-3121.1 により規定される値。
f_b　：許容曲げ応力　同　上
τ_b　：ボルトに生じるせん断応力
ＡＳＳ　：オーステナイト系ステンレス鋼

ＨＮＡ ：高ニッケル合金

また，「供用状態Ｃ」とは，「対象とする機器等が構造不連続部等においては大変形を生じてもよい」と設計仕様書等で規定された圧力及び機械的荷重が負荷された条件下にある状態をいう。

a．前処理フィルタ，pH緩衝塔，吸着塔

耐　震 クラス	荷重の組合せ	供用状態 （許容応力 状態）	許容限界		適用範囲
			一次一般膜応力	一次一般膜応力+一次曲げ応力	
B	D＋P_d＋M_d＋S_B	C（B_AS）	S_yと0.6･S_uの小さい方 ただし，ＡＳＳ及びＨＮＡについては上記の値と 1.2･Ｓのうち大きい方とする。	S_y ただし，ＡＳＳ及びＨＮＡについてはS_yと1.2･Ｓのうち大きい方とする。	・前処理フィルタ ・pH緩衝塔 ・吸着塔

b．支持構造物（注1，注2）

耐　震 クラス	荷重の組合せ	供用状態 （許容応力 状態）	許容限界（ボルト等以外）					許容限界（ボルト等）			適用範囲
			一次応力					一次応力			
			引張	せん断	圧縮	曲げ	組合せ	引張	せん断	組合せ	
B	D＋P_d＋M_d＋S_B	C （B_AS）	1.5･f_t	1.5･f_s	1.5･f_c	1.5･f_b	1.5･f_t	1.5･f_t	1.5･f_s	Min{1.5･f_t，(2.1･f_t－1.6･τ_b)}	・取付ボルト ・スカート

注1：耐圧部に溶接等により直接取り付けられる支持構造物であって，耐圧部と一体の応力解析を行うものについては，耐圧部と同じ許容応力とする。

注2：鋼構造設計規準（日本建築学会　2005改定）等の幅厚比の規定を満足する。

（1）前処理フィルタ１，２

a．条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)	比重
前処理フィルタ１，２	B	サプドレン他浄化装置建屋 T.P. 38.5*	C_H＝ 0.36	—	1.03	40	40	—

注記＊：基準床レベルを示す。

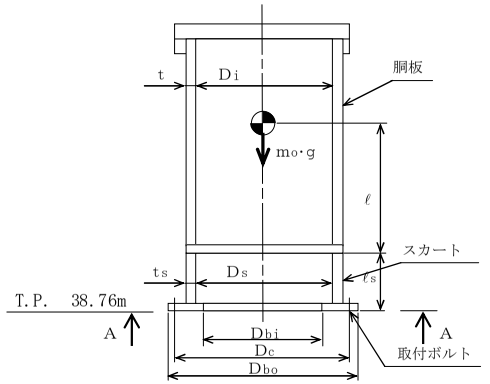
b．評価結果

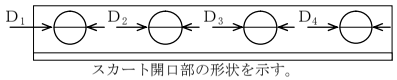
（単位：MPa）

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
胴板	ASME SA516 Gr.70	組合せ	σ_0＝ 74	S_a＝ 262
スカート	ASME SA516 Gr.70	組合せ	σ_s＝ 35	f_t＝ 262
		圧縮と曲げの組合せ（座屈の評価）	$\frac{\eta\cdot(\sigma_{s1}+\sigma_{s3})}{f_c}+\frac{\eta\cdot\sigma_{s2}}{f_b}\leqq 1$	
			0.15 （無次元）	
取付ボルト	ASTM A193 Gr.B7	引張り	σ_b＝ 2	f_{ts}＝ 452 *
		せん断	τ_b＝ 9	f_{sb}＝ 348

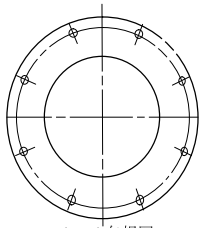
すべて許容応力以下である。

注記＊：（3.2.3.2）式より算出





スカート開口部の形状を示す。



A～A矢視図

（2）前処理フィルタ３

a．条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)	比重
前処理フィルタ３	B	サブドレン他浄化装置建屋 T.P. 38.5*	C_H＝ 0.36	—	1.03	40	40	—

注記＊：基準床レベルを示す。

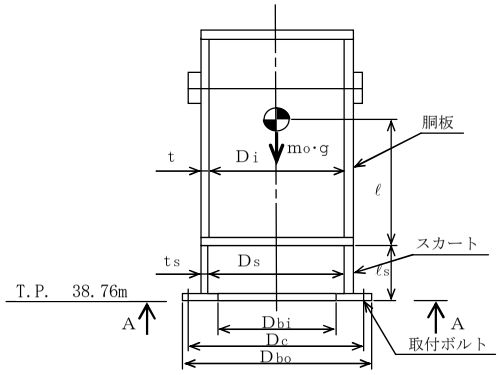
b．評価結果

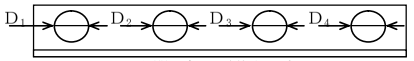
（単位：MPa）

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
胴板	ASME SA516 Gr.70	組合せ	σ_o＝ 74	S_a＝ 262
スカート	ASME SA516 Gr.70	組合せ	σ_s＝ 31	f_t＝ 262
		圧縮と曲げの組合せ（座屈の評価）	$\frac{\eta\cdot(\sigma_{s1}+\sigma_{s3})}{f_c}+\frac{\eta\cdot\sigma_{s2}}{f_b}\leqq 1$	
			0.13 （無次元）	
取付ボルト	ASTM A193 Gr.B7	引張り	σ_b＝ 1	f_{ts}＝ 452 *
		せん断	τ_b＝ 8	f_{sb}＝ 348

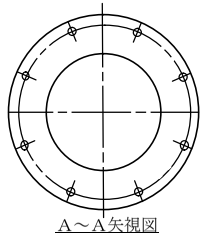
すべて許容応力以下である。

注記＊：（3.2.3.2）式より算出





スカート開口部の形状を示す。



A～A矢視図

（３）pH緩衝塔

ａ．条件

機　器　名　称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)	比　重
pH 緩衝塔	B	サブドレン他浄化装置建屋 T.P. 38.5 *	C_H＝ 0.36	—	1.03	40	40	—

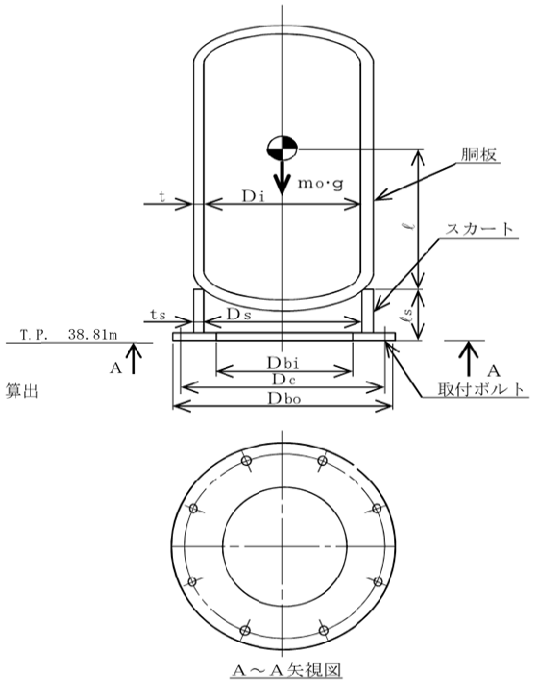
注記＊：基準床レベルを示す。

ｂ．評価結果

部　材	材　料	応　力	算　出　応　力	許　容　応　力
胴　板	ASME SA516 Gr.70	組　合　せ	σ_0＝ 28	S_a＝ 262
スカート	ASME SA516 Gr.70	組　合　せ	σ_s＝ 3	f_t＝ 262
		圧縮と曲げの組合せ	$\frac{\eta\cdot(\sigma_{s1}+\sigma_{s3})}{f_c}-\frac{\eta\cdot\sigma_{s2}}{f_b}\leqq 1$	
		（座屈の評価）	0.01 （無次元）	
取付ボルト	ASTM A193 Gr.B7	引　張　り	σ_b＝ 0	f_{ts}＝ 452 *
		せ　ん　断	τ_b＝ 41	f_{sb}＝ 348

すべて許容応力以下である。

注記＊：（3.2.3.2）式より算出



A～A矢視図

（4）吸着塔１～５

a．条件

機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)	比重
吸着塔１，２，３，４，５	B	サプドレン他浄化装置建屋 T.P. 38.5＊	C_H＝ 0.36	—	1.55	40	40	—

注記＊：基準床レベルを示す

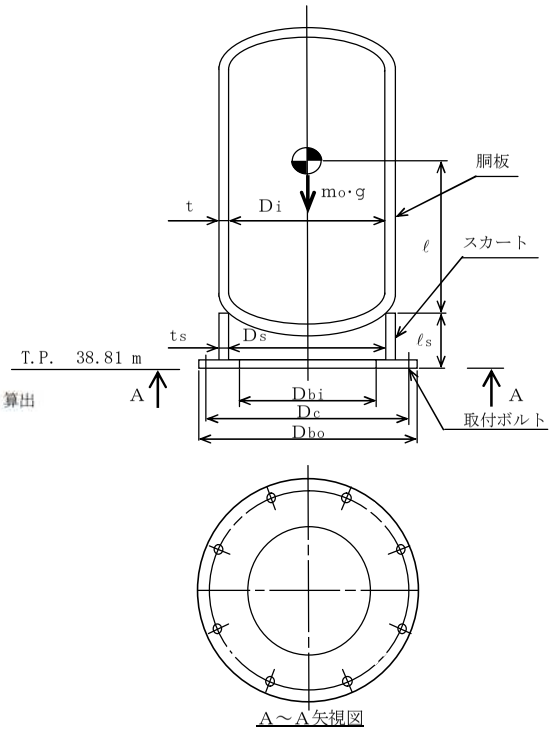
b．評価結果

（単位：MPa）

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
胴板	ASME SA516 Gr.70	組合せ	σ_o＝ 42	S_a＝ 262
スカート	ASME SA516 Gr.70	組合せ	σ_s＝ 4	f_t＝ 262
		圧縮と曲げの組合せ（座屈の評価）	$\frac{\eta\cdot(\sigma_{s1}+\sigma_{s3})}{f_c}+\frac{\eta\cdot\sigma_{s2}}{f_b}\leqq 1$	
			0.01 （無次元）	
取付ボルト	ASTM A193 Gr.B7	引張り	σ_b＝ 1	f_{ts}＝ 452 ＊
		せん断	τ_b＝ 40	f_{sb}＝ 348

すべて許容応力以下である。

注記＊：（3.2.3.2）式より算出



A～A矢視図

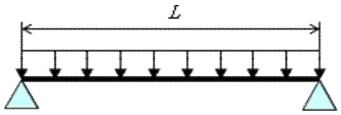
２．３　主配管（鋼管）の耐震性評価

a．評価条件

評価条件として配管は，配管軸直角 2 方向拘束サポートにて支持される両端単純支持のはりモデル（図－１）とする。

次に，当該設備における主配管（鋼管）について，各種条件を表－１に示す。表－１より管軸方向については，サポート設置フロアの水平震度 0.36 が鉄と鉄の静止摩擦係数 0.52 より小さいことから，地震により管軸方向は動かないものと仮定する。

図－１　等分布荷重　両端単純支持はりモデル



表－１　配管系における各種条件

配管分類	主配管（鋼管）									
配管クラス	クラス３相当									
耐震クラス	Ｂクラス相当									
設計温度　［℃］	40									
配管材質	STPT410									
配管口径	150A	100A			80A			50A		
Sch	40	40			40			80		
設計圧力　［MPa］	0.98	0.98	静水頭		1.03	1.55	0.98	0.98		
配管支持間隔　［m］	8.4	7.2			6.5			5.5		

配管分類	主配管（鋼管）									
配管クラス	クラス３相当									
耐震クラス	Ｂクラス相当									
設計温度　［℃］	40									
配管材質	UNS S32750									
配管口径	100A		80A					50A		
Sch	10		10			40		40		
設計圧力　［MPa］	静水頭	0.98	1.03	1.55	0.98	静水頭	1.03	1.03	1.55	
配管支持間隔[m]	6.3		5.9			6.5		5.4		

配管分類	主配管（鋼管）										
配管クラス	クラス３相当										
耐震クラス	Ｂクラス相当										
設計温度　［℃］	40										
配管材質	STPG370										
配管口径	350A	300A	250A	200A		150A	100A		80A	65A	50A	40A	32A
Sch	40	40	40	40		40	40		40	40	40	40	40
設計圧力　［MPa］	0.98	0.98	0.98	0.98	静水頭	0.98	0.98	静水頭	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
配管支持間隔　［m］	11.6	11.1	10.3	9.4		8.4	7.2		6.5	6.1	5.4	4.9	4.6

配管分類	主配管（鋼管）														
配管クラス	クラス３相当														
耐震クラス	Ｂクラス相当														
設計温度［℃］	40														
配管材質	SUS316LTP														
配管口径	200A		150A	80A			65A				50A				32A
Sch	40	20	40	40	20S		80	20S			80	40		20S	40
設計圧力［MPa］	0.98		0.98	0.98	0.98	0.5	1.5	1.5	0.98	0.5	1.5	0.98	0.49	0.5	0.98
配管支持間隔［m］	9.4	8.9	8.4	6.5	6.2		6.2	5.7			5.5	3.0	5.4	5.3	4.6

配管分類	主配管（鋼管）				
配管クラス	クラス３相当				
耐震クラス	Ｂクラス相当				
設計温度　［℃］	40				
配管材質	SUS304TP				
配管口径	80A	50A			40A
Sch	20S	80	40	20S	80
設計圧力　［MPa］	0.5				
配管支持間隔　［m］	6.2	5.5	5.4	5.3	5.0

b．評価方法

水平方向震度による管軸直角方向の配管応力評価する。

自重による応力 Sw は，下記の式で示される。

$$Sw = \frac{M}{Z} = \frac{w \cdot L^2}{8Z}$$

ここで　Sw　：自重による応力　　[MPa]

L　：支持間隔　　[mm]

M　：曲げモーメント　　[N・mm]

Z　：断面係数　　[mm^3]

w　：等分布荷重　　[N/mm]

管軸直角方向の地震による応力 Ss は，自重による応力 Sw の震度倍で下記の式で示される。

$$Ss = \alpha \cdot Sw$$

Ss　：地震による応力　　[MPa]

α　：想定震度値　　[-]

また，評価基準値として JEAG4601-2008 に記載の供用応力状態 Cs におけるクラス３配管の一次応力制限を用いると，地震評価としては下記の式で示される。

$$S = Sp + Sw + Ss = Sp + Sw + \alpha \cdot Sw = Sp + (1 + \alpha) \cdot Sw \leqq 1.0Sy$$

ここで、S　：内圧，自重，地震による発生応力　[MPa]

Sp　：内圧による応力　[MPa]

Sy　：設計降伏点　[MPa]

c．評価結果

両端単純支持はりモデルで，自重による応力 Sw が 30 [MPa]以下となる配管サポート配置を仮定し，各応力を計算した結果を表－２に示す。

表－２より，自重による応力 Sw を 30 [MPa]以下となるようサポート配置を決定することで，配管は十分な強度を有するものと評価する。

表－２　応力評価結果

配管分類	主配管（鋼管）						
配管材質	STPT410						
配管口径	150A	100A		80A			50A
Sch	40	40		40			80
設計圧力　[MPa]	0.98	静水頭	0.98	1.03	1.55	0.98	0.98
内圧，自重，地震による発生応力 S [MPa]	53	41	51	50	54	49	47
供用状態 Cs における一次応力許容値 [MPa]	1.0Sy=245						

配管分類	主配管（鋼管）								
配管材質	UNS S32750								
配管口径	100A		80A					50A	
Sch	10		10			40		40	
設計圧力　[MPa]	静水頭	0.98	1.03	1.55	0.98	静水頭	1.03	1.03	1.55
内圧，自重，地震による発生応力 S [MPa]	41	60	56	64	56	41	50	49	53
供用状態 Cs における一次応力許容値 [MPa]	1.0Sy=552								

配管分類	主配管（鋼管）											
配管材質	STPG370											
配管口径	350A	300A	250A	200A		150A	100A		80A	65A	50A	40A	32A
Sch	40	40	40	40		40	40		40	40	40	40	40
設計圧力　[MPa]	0.98	0.98	0.98	0.98	静水頭	0.98	0.98	静水頭	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
内圧，自重，地震による発生応力 S [MPa]	57	56	55	54	41	53	51	41	49	48	49	48	47
供用状態 Cs における一次応力許容値 [MPa]	1.0Sy=215												

配管分類	主配管（鋼管）														
配管材質	SUS316LTP														
配管口径	200A		150A	80A			65A				50A				32A
Sch	40	20	40	40	20S		80	20S			80	40		20S	40
設計圧力 ［MPa］	0.98		0.98	0.98	0.98	0.5	1.5	1.5	0.98	0.5	1.5	0.98	0.49	0.5	0.98
内圧，自重，地震による発生応力 S ［MPa］	54	58	53	49	52	47	49	58	52	47	50	14	45	46	47
供用状態Csにおける一次応力許容値 ［MPa］	1.0Sy=175														

配管分類	主配管（鋼管）				
配管材質	SUS304TP				
配管口径	80A	50A			40A
Sch	20S	80	40	20S	80
設計圧力 ［MPa］	0.5				
内圧，自重，地震による発生応力 S ［MPa］	47	44	45	46	44
供用状態 Cs における一次応力許容値 ［MPa］	1.0Sy=205				

タンク基礎に関する説明書

サブドレン他水処理施設を構成する機器のうち，集水タンク（４～７），サンプルタンク，高台集水タンク，受けタンクの基礎について，評価を実施する。

１．タンク基礎の支持力

（１）評価方法

タンクの鉛直荷重と極限支持力を比較して評価を行う。支持力の算定式は「社団法人日本道路協会（2002）：道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編」に基づき次式を用いる。計算した結果，①タンクの鉛直荷重＜②タンク基礎底面地盤の極限支持力であり，安全性を有していることを確認する。

①タンクの鉛直荷重：$W = m \times g$

②タンク基礎底面地盤の極限支持力：$Q_u = A_e\left(\alpha kcN_cS_c + kqN_qS_q + \frac{1}{2}\gamma_1\beta B_eN_rS_r\right)$

m	：機器質量
g	：重力加速度
A_e	：有効載荷面積
α，β	：基礎の形状係数
k	：根入れ効果に対する割増し係数
c	：地盤の粘着力
N_c, N_q, N_r	：荷重の傾斜を考慮した支持力係数
S_c, S_q, S_r	：支持力係数の寸法効果に関する補正係数
q	：上載荷重（$q=\gamma_2 D_f$）
γ_1，γ_2	：支持地盤及び根入れ地盤の単位重量（γ_1，γ_2＝15.9kN/m^2）
D_f	：基礎の有効根入れ深さ
B_e	：荷重の偏心を考慮した基礎の有効載荷幅（$B_e=B-2e_B$）
B	：基礎幅
e_B	：荷重の偏心量

（２）管理

地盤改良後，簡易支持力測定器（キャスポル）※により地盤の強度を測定し，上記式により必要な極限支持力を有していることを確認する。

※ランマー（重錘）を一定の高さから地盤に自由落下させたときに生ずる衝撃加速度の最大値と地盤強度特性値と相関させる衝撃加速度法を基本原理とした簡易な測定器。

２．タンク基礎の不陸

（１）評価方法

タンクの設置高さが，設計高さに対して許容値以内※であることを確認する。

※　設計高さ±30㎜（社内基準値）

（２）管理

タンク基礎高さ（レベル）を測量し，当該高さが設計高さに対して±30㎜以内であることを確認する。

タンクに対するスロッシング評価

サブドレン他水処理施設を構成する機器のうち，集水タンク，サンプルタンク，RO 濃縮水処理水中継タンクについて地震発生時のタンク内包水のスロッシング評価を実施した。速度ポテンシャル理論に基づきスロッシング波高の評価を行った結果，スロッシング時のタンク内の液位がタンク天板に到達しないことを確認した。

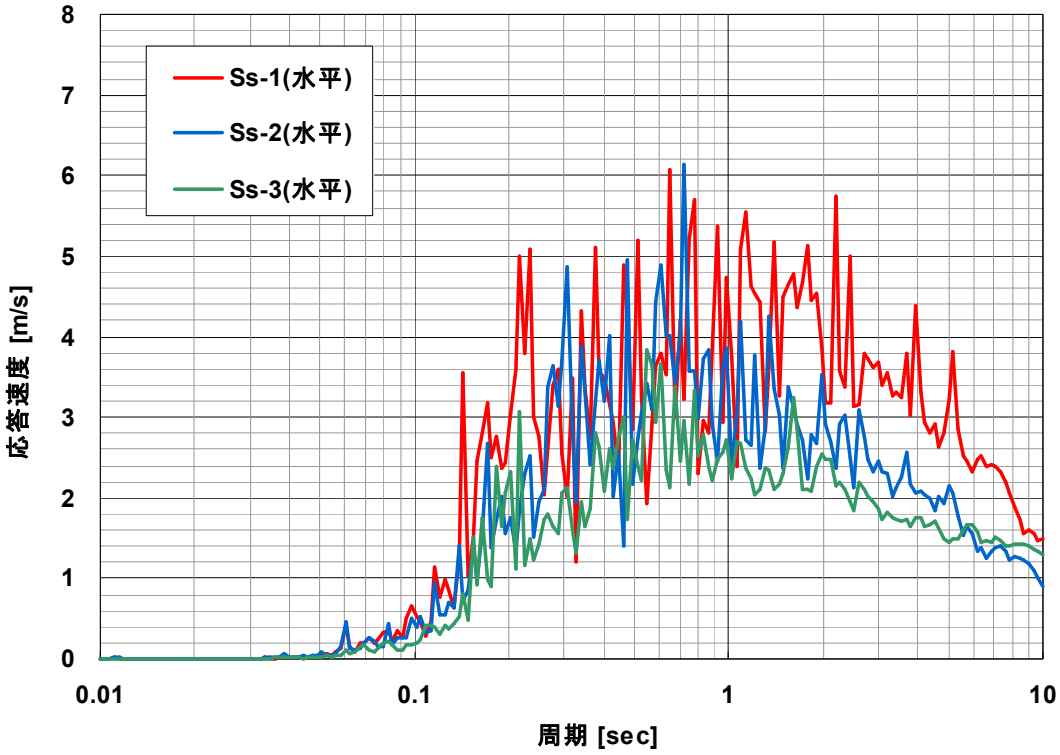
スロッシング評価の流れは下記の通り。

- 速度ポテンシャル理論に基づき，スロッシング固有周期（水面の一次固有周期）を算出する。
- タンク設置エリアの地表面における基準地震動：Ss-1,2,3 に対する速度応答スペクトルから，スロッシング固有周期に応じた速度応答値を求める。
- 速度ポテンシャル理論に基づき，速度応答値からスロッシング波高を算出する。
- スロッシング波高がタンク高さを超えないことを確認する。

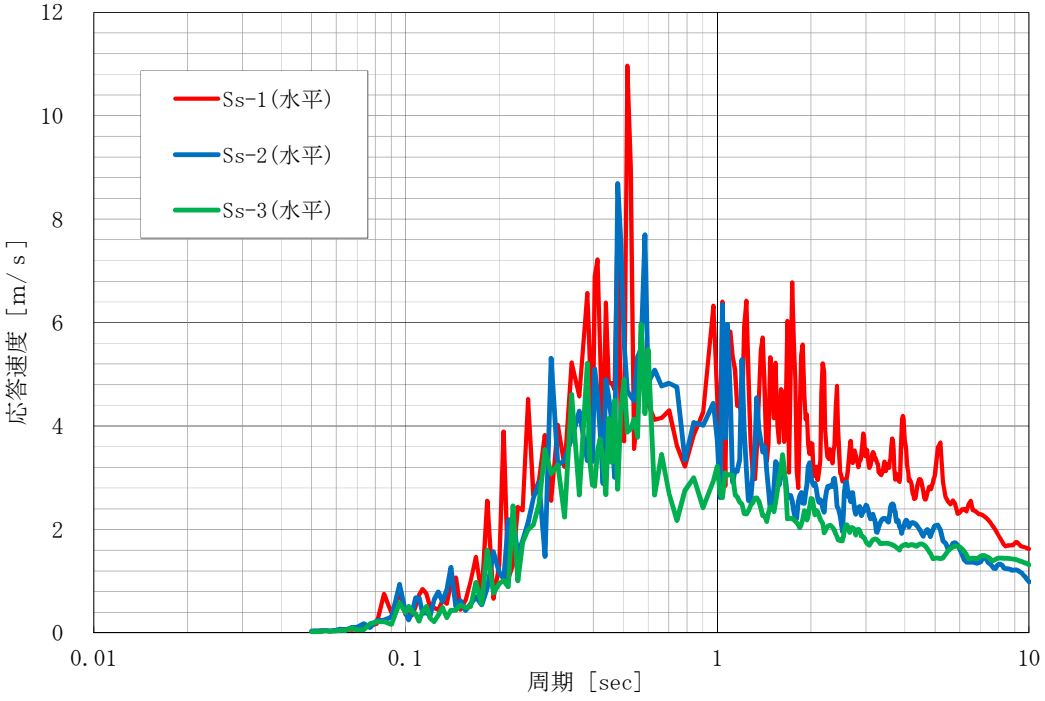
$$T_s = 2\pi\sqrt{\frac{D}{3.68g}\coth\left(\frac{3.68H}{D}\right)}$$

$$\eta = 0.837\left(\frac{D}{2g}\right)\left(\frac{2\pi}{T_s}\right)S_v$$

D ： タンク内径［m］
H ： タンク液位［m］
g ： 重力加速度［m/s^2］
T_s ： スロッシング固有周期［s］
S_v ： 速度応答値［m/s］
η ： スロッシング波高［m］



速度応答スペクトル（水平方向・減衰なし）
サンプルタンク，RO 濃縮水処理水中継タンク



速度応答スペクトル（水平方向・減衰なし）
集水タンク

タンクのスロッシング評価結果

機器名称	スロッシング 波高［mm］	スロッシング時 液位［mm］	タンク高さ ［mm］
集水タンク	682	12,888	13,000
サンプルタンク	702	12,908	13,000
RO 濃縮水処理水 中継タンク	702	12,908	13,000

付録１　スカート支持たて置円筒形容器（耐震設計上の重要度分類Ｂクラス）の耐震性についての計算書作成の基本方針

1. 一般事項

本基本方針は，スカート支持たて置円筒形容器（耐震設計上の重要度分類Bクラス）の耐震性についての計算方法を示す。

1.1　適用基準

本基本方針における計算方法は，原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和62年8月）に準拠する。

1.2　計算条件

(1)　容器及び内容物の質量は重心に集中するものとする。

(2)　地震力は容器に対して水平方向に作用するものとする。

(3)　容器はスカートで支持され，スカートは下端のベースプレートを円周上等ピッチの多数の基礎ボルトで基礎又は架台に固定された固定端とする。ここで，基礎又は架台については剛となるように設計する。

(4)　胴とスカートをはりと考え，変形モードは曲げ及びせん断変形を考慮する。

(5)　スカート部材において，マンホール等の開口部があって補強をしていない場合は，欠損の影響を考慮する。

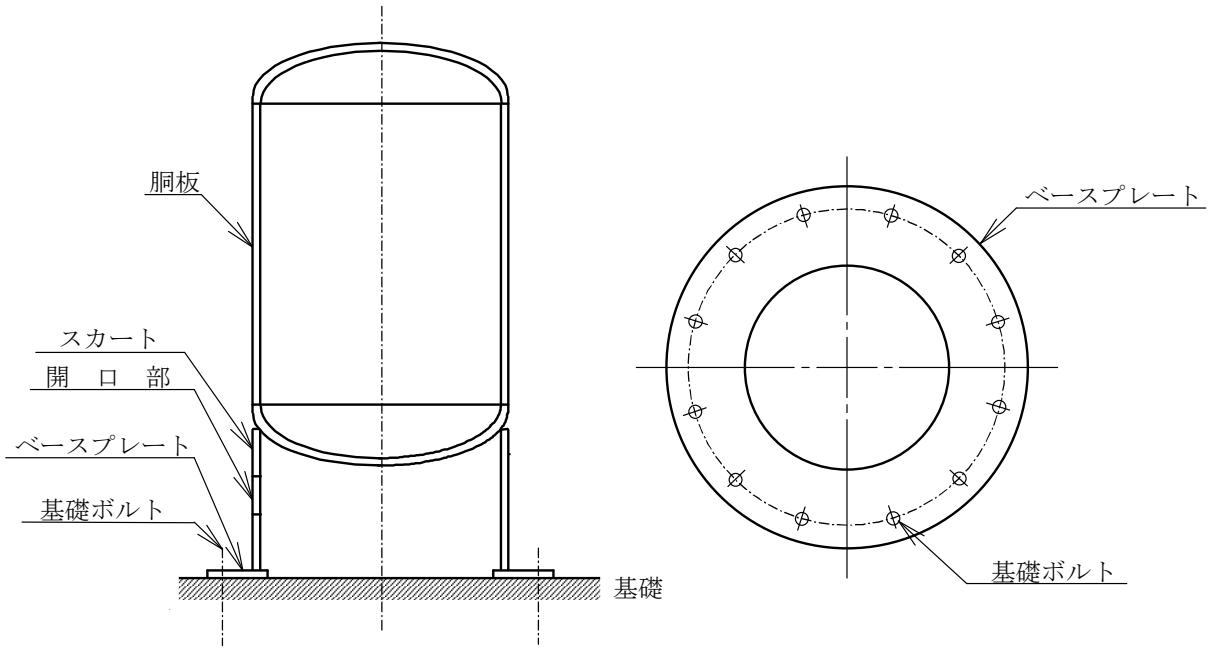


図1－1　概　要　図

1.3　記号の説明

記　号	記　号　の　説　明	単　位
A	胴の軸断面積	mm^2
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
A_e	胴の有効せん断断面積	mm^2
A_s	スカートの軸断面積	mm^2
A_{se}	スカートの有効せん断断面積	mm^2
C_c	基礎ボルト計算における係数	－
C_H	水平方向設計震度	－
C_t	基礎ボルト計算における係数	－
C_v	鉛直方向設計震度	－
D_{bi}	ベースプレートの内径	mm
D_{bo}	ベースプレートの外径	mm
D_c	基礎ボルトのピッチ円直径	mm
D_i	胴の内径	mm
D_j	スカートに設けられた各開口部の穴径（j=1,2,3…j_1）	mm
D_s	スカートの内径	mm
E	胴の縦弾性係数 設計・建設規格　付録材料図表　Part6　表1に定める値。又は， ASME BPVCセクションⅡ　Material Specifications PartD-Properties Subpart2　Physical Properties Tables Table TM-1～TM-5による	MPa
E_s	スカートの縦弾性係数 設計・建設規格　付録材料図表　Part6　表1に定める値。又は， ASME BPVCセクションⅡ　Material Specifications PartD-Properties Subpart2　Physical Properties Tables Table TM-1～TM-5による	MPa
e	基礎ボルト計算における係数	－
F	設計・建設規格　SSB-3121.1又はSSB-3131に定める値	MPa
F_c	基礎に作用する圧縮力	N
F_t	基礎ボルトに作用する引張力	N
f_b	曲げモーメントに対する許容座屈応力	MPa
f_c	軸圧縮荷重に対する許容座屈応力	MPa
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_t	スカートの許容引張応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa

記　号	記　号　の　説　明	単　位
G	胴のせん断弾性係数	MPa
G_s	スカートのせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
H	水頭	mm
I	胴の断面二次モーメント	mm^4
I_s	スカートの断面二次モーメント	mm^4
j_1	スカートに設けられた開口部の穴の個数	－
K_H	水平方向のばね定数	N/m
K_v	鉛直方向のばね定数	N/m
k	基礎ボルト計算における中立軸の荷重係数	－
ℓ	胴のスカート接合点から重心までの距離	mm
ℓ_1，ℓ_2	基礎ボルト計算における中立軸から荷重作用点までの距離	mm
ℓ_r	容器の重心から上端支持部までの距離	mm
ℓ_s	スカートの長さ	mm
M_s	スカートに作用する転倒モーメント	N･mm
M_{s1}	スカートの上端部に作用する転倒モーメント	N･mm
M_{s2}	スカートの下端部に作用する転倒モーメント	N･mm
m_0	容器の運転時質量	kg
m_e	容器のスカート接合部から上部の空質量	kg
n	基礎ボルトの本数	－
P_r	最高使用圧力	MPa
Q	重心に作用する任意の水平力	N
Q'	Qにより上端の支持部に作用する反力	N
S	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5に定める値。又は，ASME BPVCセクションⅡMaterial Specifications PartD-Properties Subpart1 -Stress Tables Table 1Aによる。	MPa
S_a	胴の許容応力	MPa
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値。又は，ASME BPVCセクションⅡMaterial Specifications PartD-Properties Subpart1 -Stress Tables Table Uによる。	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値。又は，ASME BPVCセクションⅡMaterial Specifications PartD-Properties Subpart1 -Stress Tables Table Y-1による。	MPa
s	基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比	－
T_H	水平方向固有周期	s
T_v	鉛直方向固有周期	s

記　号	記　号　の　説　明	単　位
t	胴板の厚さ	mm
t_1	基礎ボルト面積相当板幅	mm
t_2	圧縮側基礎相当幅	mm
t_s	スカートの厚さ	mm
Y	スカート開口部の水平断面における最大円周長さ	mm
z	基礎ボルト計算における係数	－
α	基礎ボルト計算における中立軸を定める角度	rad
δ	荷重Qによる容器の上端での変位量	mm
δ'	荷重Q′による容器の上端での変位量	mm
δ_0	荷重Q，Q′による容器の重心での変位量	mm
η	座屈応力に対する安全率	－
π	円周率	－
ρ'	液体の密度（＝比重×10^{-6}）	kg/mm^3
σ_0	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{0c}	胴の組合せ圧縮応力	MPa
σ_{0t}	胴の組合せ引張応力	MPa
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_c	基礎に生じる圧縮応力	MPa
σ_s	スカートの組合せ応力	MPa
σ_{s1}	スカートの運転時質量による軸方向応力	MPa
σ_{s2}	スカートの曲げモーメントによる軸方向応力	MPa
σ_{s3}	スカートの鉛直方向地震による軸方向応力	MPa
σ_{x1}，$\sigma_{\phi1}$	静水頭又は内圧により胴に生じる軸方向及び周方向応力	MPa
σ_{x2}	胴の運転時質量による軸方向引張応力	MPa
σ_{x3}	胴の空質量による軸方向圧縮応力	MPa
σ_{x4}	地震により胴に生じる軸方向応力	MPa
σ_{x5}	胴の鉛直方向地震による軸方向引張応力	MPa
σ_{x6}	胴の鉛直方向地震による軸方向圧縮応力	MPa
σ_{xc}	胴の軸方向応力の和（圧縮側）	MPa
σ_{xt}	胴の軸方向応力の和（引張側）	MPa
σ_ϕ	胴の周方向応力の和	MPa
$\sigma_{\phi2}$	静水頭に鉛直方向地震が加わり胴に生じる周方向応力	MPa
τ	地震により胴に生じるせん断応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_s	地震によりスカートに生じるせん断応力	MPa

記　　号	記　　号　　の　　説　　明	単　　位
$\phi_1(x)$	圧縮荷重に対する許容座屈応力の関数	MPa
$\phi_2(x)$	曲げモーメントに対する許容座屈応力の関数	MPa

注：「設計・建設規格」とは，発電用原子力設備規格（設計・建設規格　JSME S NC-1－2005）（日本機械学会　2005年9月及び2007年9月）をいう。

「ASME　BPVC セクションⅡ」とは，
The American Society of Mechanical Engineers「Boiler and Pressure Vessels Code」 Section Ⅱ； Material Specifications （米国機械学会　セクションⅡ　材料規格）をいう。

2.　計算方法

2.1　固有周期の計算方法

(1)　計算モデル

本容器は，1.2項より図2－1に示す下端固定の1質点系振動モデルあるいは下端固定上端支持の1質点系振動モデルとして考える。

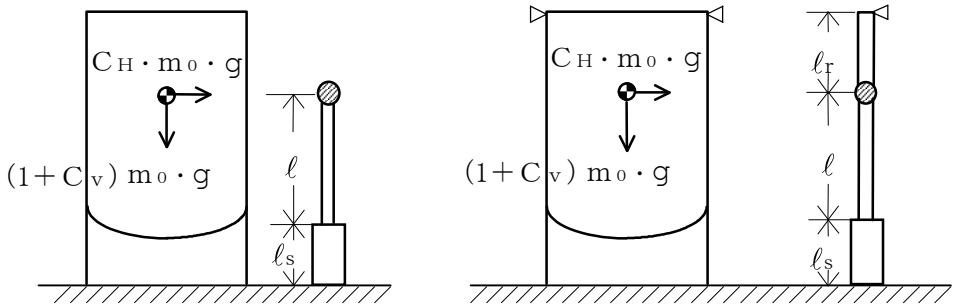


図2－1　固有周期の計算モデル

(2)　水平方向固有周期

a.　下端固定の場合

曲げ及びせん断変形によるばね定数K_Hは次式で求める。

$$K_H = 1000 \Big/ \left\{ \frac{\ell^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{1}{3 \cdot E_s \cdot I_s} \cdot (3 \cdot \ell^2 \cdot \ell_s + 3 \cdot \ell \cdot \ell_s^2 + \ell_s^3) + \frac{\ell}{G \cdot A_e} + \frac{\ell_s}{G_s \cdot A_{se}} \right\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.1)$$

ここで，スカートの開口部（図 2－2 参照）による影響を考慮し，胴及びスカートの断面性能は次のように求める。

胴の断面性能は

$$I = \frac{\pi}{8} \cdot (D_i + t)^3 \cdot t \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.2)$$

$$A_e = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot (D_i + t) \cdot t \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.3)$$

スカートの断面性能は

$$I_s = \frac{\pi}{8} \cdot (D_s + t_s)^3 \cdot t_s - \frac{1}{4} \cdot (D_s + t_s)^2 \cdot t_s \cdot Y \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.4)$$

スカート開口部の水平断面における最大円周長さは，（図 2－2 及び図 2－3 参照）

$$Y=\sum_{j=1}^{j\ 1}(D_s+t_s)\cdot\sin^{-1}\left(\frac{D_j}{D_s+t_s}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.5)$$

$$A_{se}=\frac{2}{3}\cdot\{\pi\cdot(D_s+t_s)-Y\}\cdot t_s \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.6)$$

したがって，固有周期は次式で求める。

$$T_H=2\cdot\pi\cdot\sqrt{\frac{m_0}{K_H}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.1.7)$$

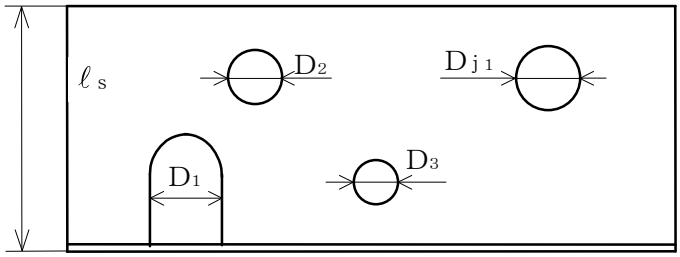


図2－2　スカート開口部の形状

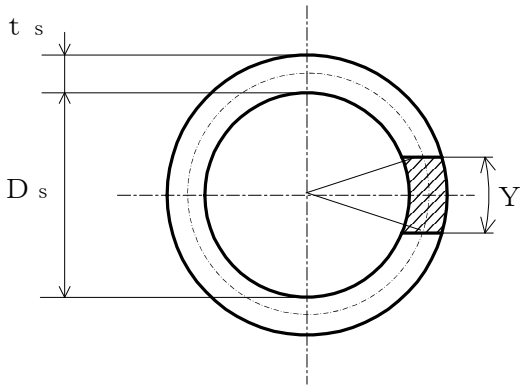


図2－3　スカート開口部の水平断面における最大円周長さ

b.　下端固定上端支持の場合

重心の位置に水平方向の荷重Qが作用したときに上端の支持部に生じる反力Q′は，図2－4 に示すように荷重Q及び反力Q′による上端の変位量δとδ′が等しいとして求める。

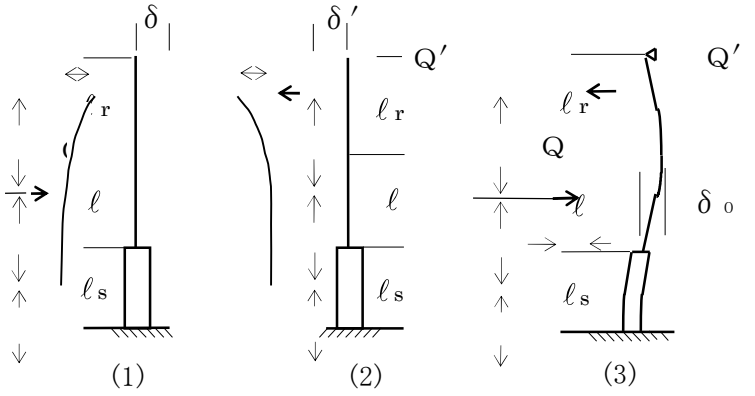


図2－4　下端固定上端支持の場合の変形モデル

図 2－4 の(1)の場合

$$\delta=\frac{Q\cdot\ell^{2}}{6\cdot E\cdot I}\cdot(2\cdot\ell+3\cdot\ell_{r})+\frac{Q}{6\cdot E_{s}\cdot I_{s}}\cdot\{2\cdot\ell_{s}^{3}+3\cdot\ell_{s}^{2}\cdot\ell_{r}+6\cdot\ell_{s}\cdot\ell\cdot(\ell_{s}+\ell+\ell_{r})\}+\frac{Q\cdot\ell}{G\cdot A_{e}}+\frac{Q\cdot\ell_{s}}{G_{s}\cdot A_{se}}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\quad(2.1.8)$$

図 2－4 の(2)の場合

$$\delta'=\frac{Q'\cdot(\ell+\ell_{r})^{3}}{3\cdot E\cdot I}+\frac{Q'}{3\cdot E_{s}\cdot I_{s}}\cdot\{3\cdot(\ell+\ell_{r})^{2}\cdot\ell_{s}+3\cdot(\ell+\ell_{r})\cdot\ell_{s}^{2}+\ell_{s}^{3}\}+\frac{Q'\cdot(\ell+\ell_{r})}{G\cdot A_{e}}+\frac{Q'\cdot\ell_{s}}{G_{s}\cdot A_{se}}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\quad(2.1.9)$$

(2.1.8) 式と (2.1.9) 式を等しく置くことにより，

$$Q'=Q\cdot\left\{\frac{\ell^{2}\cdot(2\cdot\ell+3\cdot\ell_{r})}{6\cdot E\cdot I}+\frac{2\cdot\ell_{s}^{3}+3\cdot\ell_{s}^{2}\cdot\ell_{r}+6\cdot\ell_{s}\cdot\ell\cdot(\ell_{s}+\ell+\ell_{r})}{6\cdot E_{s}\cdot I_{s}}+\frac{\ell}{G\cdot A_{e}}+\frac{\ell_{s}}{G_{s}\cdot A_{se}}\right\}\Big/\left\{\frac{(\ell+\ell_{r})^{3}}{3\cdot E\cdot I}+\frac{3\cdot(\ell+\ell_{r})^{2}\cdot\ell_{s}+3\cdot(\ell+\ell_{r})\cdot\ell_{s}^{2}+\ell_{s}^{3}}{3\cdot E_{s}\cdot I_{s}}+\frac{\ell+\ell_{r}}{G\cdot A_{e}}+\frac{\ell_{s}}{G_{s}\cdot A_{se}}\right\}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\quad(2.1.10)$$

したがって，図2－4の(3)に示す重心位置での変位量δ_oは図2－4の(1)及び(2)の重心位置での変位量の重ね合せから求めることができ，ばね定数K_Hは次式で求める。

$$K_H=\frac{Q}{\delta_o}=1000\ /\ \left\{\ \frac{\ell^3}{3\cdot E\cdot I}+\frac{3\cdot\ell^2\cdot\ell_s+3\cdot\ell\cdot\ell_s^2+\ell_s^3}{3\cdot E_s\cdot I_s}\right.$$
$$+\left(1-\frac{Q'}{Q}\right)\cdot\left(\frac{\ell}{G\cdot A_e}+\frac{\ell_s}{G_s\cdot A_{se}}\right)-\frac{Q'}{Q}\cdot\left(\ \frac{2\cdot\ell^3+3\cdot\ell^2\cdot\ell_r}{6\cdot E\cdot I}\right.$$
$$\left.\left.+\frac{3\cdot\ell_s^2\cdot\ell+\ell_s^3+3\cdot\ell_s\cdot\ell^2+3\cdot\ell_s\cdot\ell\cdot\ell_r+\frac{3}{2}\cdot\ell_s^2\cdot\ell_r}{3\cdot E_s\cdot I_s}\ \right)\right\}$$
$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\quad(2.1.11)$$

固有周期は（2.1.7）式により求める。

(3) 鉛直方向固有周期

軸方向変形によるばね定数K_vは，次式で求める。

$$K_v=1000\ /\left(\frac{\ell}{E\cdot A}+\frac{\ell_s}{E_s\cdot A_s}\right)\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\quad(2.1.12)$$

$$A=\pi\cdot(D_i+t)\cdot t\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\quad(2.1.13)$$

$$A_s=\{\pi\cdot(D_s+t_s)-Y\}\cdot t_s\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\quad(2.1.14)$$

したがって，固有周期T_vは次式で求める。

$$T_v=2\cdot\pi\cdot\sqrt{\frac{m_o}{K_v}}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\quad(2.1.15)$$

2.2　応力の計算方法

応力計算において，静的地震力を用いる場合は絶対値和を用い，動的地震力を用いる場合は，ＳＲＳＳ法を用いることができる。

2.2.1　胴の応力

(1)　静水頭又は内圧による応力

静水頭による場合（鉛直方向地震時を含む。）

$$\sigma_{\phi 1}=\frac{\rho'\cdot g\cdot H\cdot D_i}{2\cdot t} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.1)$$

$$\sigma_{\phi 2}=\frac{\rho'\cdot g\cdot H\cdot D_i\cdot C_v}{2\cdot t} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.2)$$

$$\sigma_{x1}=0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.3)$$

内圧による場合

$$\sigma_{\phi 1}=\frac{P_r\cdot(D_i+1.2\cdot t)}{2\cdot t} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.4)$$

$$\sigma_{\phi 2}=0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.5)$$

$$\sigma_{x1}=\frac{P_r\cdot(D_i+1.2\cdot t)}{4\cdot t} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.6)$$

(2)　運転時質量及び鉛直方向地震による応力

胴がスカートと接合する点を境界として，上部には胴自身の質量による圧縮応力が，下部には下部の胴自身の質量と内容物の質量による引張応力が生じる。

下部の胴について

$$\sigma_{x2}=\frac{(m_0-m_e)\cdot g}{\pi\cdot(D_i+t)\cdot t} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.7)$$

$$\sigma_{x5}=\frac{(m_0-m_e)\cdot g\cdot C_v}{\pi\cdot(D_i+t)\cdot t} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.8)$$

上部の胴について

$$\sigma_{x3}=\frac{m_e\cdot g}{\pi\cdot(D_i+t)\cdot t} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.9)$$

$$\sigma_{x6}=\frac{m_e\cdot g\cdot C_v}{\pi\cdot(D_i+t)\cdot t} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.10)$$

(3)　水平方向地震による応力

水平方向の地震力により胴はスカート接合部で最大となる曲げモーメントを受ける。この曲げモーメントによる軸方向応力と地震力によるせん断応力は次のように求める。

a.　下端固定の場合

$$\sigma_{x4}=\frac{4\cdot C_H\cdot m_0\cdot g\cdot \ell}{\pi\cdot(D_i+t)^2\cdot t} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.11)$$

$$\tau=\frac{2\cdot C_H\cdot m_0\cdot g}{\pi\cdot(D_i+t)\cdot t} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.12)$$

b.　下端固定上端支持の場合

$$\sigma_{x4}=\frac{4\cdot C_H\cdot m_0\cdot g\cdot\left|\ell-\frac{Q'}{Q}\cdot(\ell+\ell_r)\right|}{\pi\cdot(D_i+t)^2\cdot t} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.13)$$

$$\tau=\frac{2\cdot C_H\cdot m_0\cdot g\cdot\left(1-\frac{Q'}{Q}\right)}{\pi\cdot(D_i+t)\cdot t} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.14)$$

(4)　組合せ応力

(1)～(3)によって求めた胴の応力は以下のように組み合わせる。

a.　一次一般膜応力

(a)　組合せ引張応力

$$\sigma_\phi=\sigma_{\phi1}+\sigma_{\phi2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.15)$$

$$\sigma_{0t}=\frac{1}{2}\cdot\left\{\sigma_\phi+\sigma_{xt}+\sqrt{(\sigma_\phi-\sigma_{xt})^2+4\cdot\tau^2}\right\}$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.16)$$

ここで,

【絶対値和】

$$\sigma_{xt}=\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sigma_{x4}+\sigma_{x5} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.17)$$

【ＳＲＳＳ法】

$$\sigma_{xt}=\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sqrt{\sigma_{x4}{}^2+\sigma_{x5}{}^2} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.18)$$

(b)　組合せ圧縮応力

$$\sigma_\phi=-\sigma_{\phi1}-\sigma_{\phi2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.19)$$

σ_{xc}が正の値（圧縮側）のとき，次の組合せ圧縮応力を求める。

$$\sigma_{0c}=\frac{1}{2}\cdot\left\{\sigma_\phi+\sigma_{xc}+\sqrt{(\sigma_\phi-\sigma_{xc})^2+4\cdot\tau^2}\right\}$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.20)$$

ここで,

【絶対値和】

$$\sigma_{xc} = -\sigma_{x1} + \sigma_{x3} + \sigma_{x4} + \sigma_{x6} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.21)$$

【ＳＲＳＳ法】

$$\sigma_{xc} = -\sigma_{x1} + \sigma_{x3} + \sqrt{\sigma_{x4}^{2} + \sigma_{x6}^{2}} \quad \cdots\cdots \quad (2.2.1.22)$$

したがって，胴の組合せ一次一般膜応力の最大値は，絶対値和，ＳＲＳＳ法それぞれに対して，

σ_0＝Max｛組合せ引張応力（σ_{0t}），組合せ圧縮応力（σ_{0c}）｝

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.1.23)$$

とする。

一次応力は一次一般膜応力と同じになるので省略する。

2.2.2　スカートの応力

(1)　運転時質量及び鉛直方向地震による応力

スカート底部に生じる運転時質量及び鉛直方向地震による圧縮応力は次式で求める。

$$\sigma_{s1} = \frac{m_0 \cdot g}{\{\pi \cdot (D_s + t_s) - Y\} \cdot t_s} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.1)$$

$$\sigma_{s3} = \frac{m_0 \cdot g \cdot C_V}{\{\pi \cdot (D_s + t_s) - Y\} \cdot t_s} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.2)$$

(2)　水平方向地震による応力

水平方向の地震力によりスカートには曲げモーメントが作用する。この曲げモーメントによる軸方向応力と地震力によるせん断応力は次のように求める。

a.　下端固定の場合

$$\sigma_{s2} = \frac{M_s}{(D_s + t_s) \cdot t_s \cdot \left\{\frac{\pi}{4} \cdot (D_s + t_s) - \frac{Y}{2}\right\}} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.3)$$

$$\tau_s = \frac{2 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g}{\{\pi \cdot (D_s + t_s) - Y\} \cdot t_s} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.4)$$

ここで,

$$M_s = C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot (\ell_s + \ell) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.5)$$

b.　下端固定上端支持の場合

軸方向応力は（2.2.2.3）式で表されるが，曲げモーメントM_sは次のM_{s1}又はM_{s2}のいずれか大きい方の値とする。

$$M_{s1}=C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \left| \ell - \frac{Q'}{Q} \cdot (\ell+\ell_r) \right| \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.6)$$

$$M_{s2}=C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \left| \ell_s + \ell - \frac{Q'}{Q} \cdot (\ell_s+\ell+\ell_r) \right| \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.7)$$

$$\tau_s=\frac{2 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot (1-\frac{Q'}{Q})}{\{\pi \cdot (D_s+t_s)-Y\} \cdot t_s} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.8)$$

(3)　組合せ応力

組合せ応力は次式で求める。

【絶対値和】

$$\sigma_s=\sqrt{(\sigma_{s1}+\sigma_{s2}+\sigma_{s3})^2+3 \cdot \tau_s^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.9)$$

【ＳＲＳＳ法】

$$\sigma_s=\sqrt{(\sigma_{s1}+\sqrt{\sigma_{s2}^2+\sigma_{s3}^2})^2+3 \cdot \tau_s^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.2.10)$$

2.2.3　基礎ボルトの応力

(1)　引張応力

基礎に作用する転倒モーメントＭｓは下端固定の場合，（2.2.2.5）式を，下端固定上端支持の場合は（2.2.2.6）式又は（2.2.2.7）式を用いる。

転倒モーメントが作用した場合に生じる基礎ボルトの引張荷重と基礎部の圧縮荷重については，荷重と変位量の釣合い条件を考慮することにより求める。（図 2－5 参照）

以下にその手順を示す。

a.　σｂ及びσｃを仮定して基礎ボルトの応力計算における中立軸の荷重係数ｋを求める。

$$k=\frac{1}{1+\frac{\sigma_b}{s\cdot\sigma_c}} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \qquad (2.2.3.1)$$

b.　基礎ボルトの応力計算における中立軸を定める角度αを求める。

$$\alpha=\cos^{-1}(1-2\cdot k) \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \qquad (2.2.3.2)$$

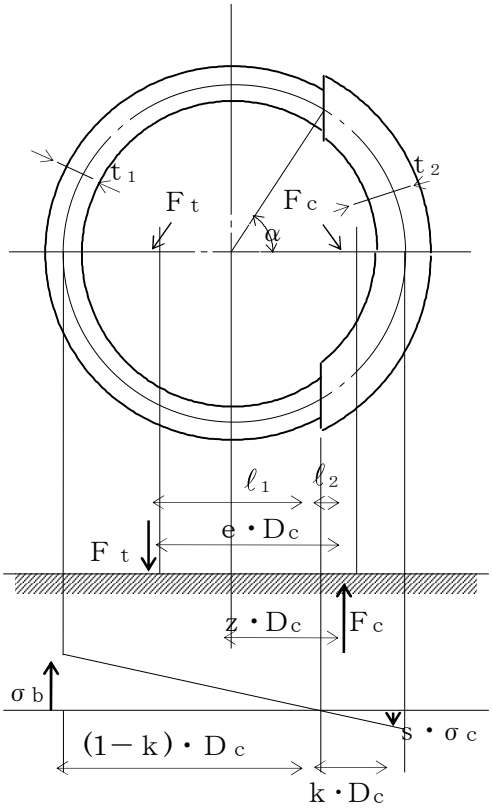


図2－5　基礎の荷重説明図

c. 各定数ｅ，ｚ，Ｃｔ及びＣｃを求める。

$$e=\frac{1}{2}\cdot\left\{\frac{(\pi-\alpha)\cdot\cos^2\alpha+\frac{1}{2}\cdot(\pi-\alpha)+\frac{3}{2}\cdot\sin\alpha\cdot\cos\alpha}{(\pi-\alpha)\cdot\cos\alpha+\sin\alpha}+\frac{\frac{1}{2}\cdot\alpha-\frac{3}{2}\cdot\sin\alpha\cdot\cos\alpha+\alpha\cdot\cos^2\alpha}{\sin\alpha-\alpha\cdot\cos\alpha}\right\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.3.3)$$

$$z=\frac{1}{2}\cdot\left(\cos\alpha+\frac{\frac{1}{2}\cdot\alpha-\frac{3}{2}\cdot\sin\alpha\cdot\cos\alpha+\alpha\cdot\cos^2\alpha}{\sin\alpha-\alpha\cdot\cos\alpha}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.3.4)$$

$$C_t=\frac{2\cdot\{(\pi-\alpha)\cdot\cos\alpha+\sin\alpha\}}{1+\cos\alpha} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.3.5)$$

$$C_c=\frac{2\cdot(\sin\alpha-\alpha\cdot\cos\alpha)}{1-\cos\alpha} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.3.6)$$

d. 各定数を用いてＦｔ及びＦｃを求める。

【絶対値和】

$$F_t=\frac{M_s-(1-C_v)\cdot m_0\cdot g\cdot z\cdot D_c}{e\cdot D_c} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.3.7)$$

$$F_c=F_t+(1-C_v)\cdot m_0\cdot g \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.3.8)$$

【ＳＲＳＳ法】

$$F_t=\frac{\sqrt{M_s^2+(C_v\cdot m_0\cdot g\cdot z\cdot D_c)^2}}{e\cdot D_c}-\frac{z}{e}\cdot m_0\cdot g \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.3.9)$$

$$F_c=\frac{\sqrt{M_s^2+(C_v\cdot m_0\cdot g\cdot(z-e)\cdot D_c)^2}}{e\cdot D_c}+(1-\frac{z}{e})\cdot m_0\cdot g \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.3.10)$$

基礎ボルトに引張力が作用しないのは，αがπに等しくなったときであり，(2.2.3.3)式及び（2.2.3.4）式においてαをπに近づけた場合の値　ｅ＝0.75及びｚ＝0.25を（2.2.3.7）式又は（2.2.3.9）式に代入し，得られるＦｔの値によって引張力の有無を次のように判定する。

Ｆｔ≦0ならば引張力は作用しない。

Ｆｔ＞0ならば引張力が作用しているので次の計算を行う。

e.　σ_b及びσ_cを求める。

$$\sigma_b=\frac{2\cdot F_t}{t_1\cdot D_c\cdot C_t} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.3.11)$$

$$\sigma_c=\frac{2\cdot F_c}{(t_2+s\cdot t_1)\cdot D_c\cdot C_c} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.3.12)$$

ここで,

$$t_1=\frac{n\cdot A_b}{\pi\cdot D_c} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.3.13)$$

$$t_2=\frac{1}{2}\cdot(D_{bo}-D_{bi})-t_1 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.3.14)$$

σ_b及びσ_cがa項にて仮定した値と十分に近似していることを確認する。この場合のσ_b及びσ_cを基礎ボルトと基礎に生じる応力とする。

(2)　せん断応力

a.　下端固定の場合

$$\tau_b=\frac{C_H\cdot m_0\cdot g}{n\cdot A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.3.15)$$

b.　下端固定上端支持の場合

$$\tau_b=\frac{C_H\cdot m_0\cdot g\cdot(1-\frac{Q'}{Q})}{n\cdot A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.2.3.16)$$

3.　評価方法

3.1　固有周期の評価

2.1 項で求めた固有周期から，水平方向及び鉛直方向の設計震度を求める。

3.2　応力の評価

3.2.1　胴の応力評価

2.2.1 項で求めた組合せ応力が胴の最高使用温度における許容応力Ｓａ以下であること。

応力の種類	許　容　応　力　Ｓａ
一次一般膜応力	設計降伏点Ｓｙと設計引張強さＳｕの0.6倍のいずれか小さい方の値。ただし，オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金にあっては許容引張応力Ｓの1.2倍の方が大きい場合は，この大きい方の値とする。

一次応力の評価は算出応力が一次一般膜応力と同じ値であるので省略する。

3.2.2　スカートの応力評価

(1)　2.2.2項で求めたスカートの組合せ応力が許容引張応力 f_t 以下であること。

$$f_t = \frac{F}{1.5} \cdot 1.5 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.2.2.1)$$

(2)　圧縮膜応力（圧縮応力と曲げによる圧縮側応力の組合せ）は次式を満足すること。（座屈の評価）

$$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leqq 1 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.2.2.2)$$

ここで，f_c は次による。

$\dfrac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \leqq \dfrac{1200 \cdot g}{F}$　のとき

$$f_c = F \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.2.2.3)$$

$\dfrac{1200 \cdot g}{F} < \dfrac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} < \dfrac{8000 \cdot g}{F}$　のとき

$$f_c = F \cdot \left[1 - \frac{1}{6800 \cdot g} \cdot \left\{ F - \phi_1 \left(\frac{8000 \cdot g}{F} \right) \right\} \cdot \left(\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right) \right]$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.2.2.4)$$

$$\frac{8000\cdot g}{F}\leqq\frac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s}\leqq 800 \quad \text{のとき}$$

$$f_c=\phi_1\left(\frac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3.2.2.5)$$

ただし，$\phi_1(x)$は次の関数とする。

$$\phi_1(x)=0.6\cdot\frac{E_s}{x}\cdot\left[1-0.901\cdot\left\{1-\exp\left(-\frac{1}{16}\cdot\sqrt{x}\right)\right\}\right]\cdot$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3.2.2.6)$$

また，f_bは次による。

$$\frac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s}\leqq\frac{1200\cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_b=F \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3.2.2.7)$$

$$\frac{1200\cdot g}{F}<\frac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s}<\frac{9600\cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_b=F\cdot\left[1-\frac{1}{8400\cdot g}\cdot\left\{F-\phi_2\left(\frac{9600\cdot g}{F}\right)\right\}\cdot\left(\frac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s}-\frac{1200\cdot g}{F}\right)\right] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3.2.2.8)$$

$$\frac{9600\cdot g}{F}\leqq\frac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s}\leqq 800 \quad \text{のとき}$$

$$f_b=\phi_2\left(\frac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3.2.2.9)$$

ただし，$\phi_2(x)$は次の関数とする。

$$\phi_2(x)=0.6\cdot\frac{E_s}{x}\cdot\left[1-0.731\cdot\left\{1-\exp\left(-\frac{1}{16}\cdot\sqrt{x}\right)\right\}\right] \cdots \quad (3.2.2.10)$$

ηは安全率で次による。

$$\frac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s}\leqq\frac{1200\cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$\eta=1 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3.2.2.11)$$

$$\frac{1200\cdot g}{F}<\frac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s}<\frac{8000\cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$\eta=1+\frac{0.5\cdot F}{6800\cdot g}\cdot\left(\frac{D_s+2\cdot t_s}{2\cdot t_s}-\frac{1200\cdot g}{F}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (3.2.2.12)$$

$$\frac{8000 \cdot g}{F} \leqq \frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \quad \text{のとき}$$

$$\eta = 1.5 \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \qquad (3.2.2.13)$$

3.2.3　基礎ボルトの応力評価

2.2.3項で求めた基礎ボルトの引張応力σ_bは次式より求めた許容引張応力f_{ts}以下であること。

せん断応力τ_bはせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力f_{sb}以下であること。

$$f_{ts} = 1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \qquad (3.2.3.1)$$

かつ，

$$f_{ts} \leqq f_{to} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \qquad (3.2.3.2)$$

ただし，f_{to}及びf_{sb}は下表による。

	許容引張応力　f_{to}	許容せん断応力　f_{sb}
計　算　式	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

サブドレン集水設備の強度に関する説明書

1.　強度評価の方針

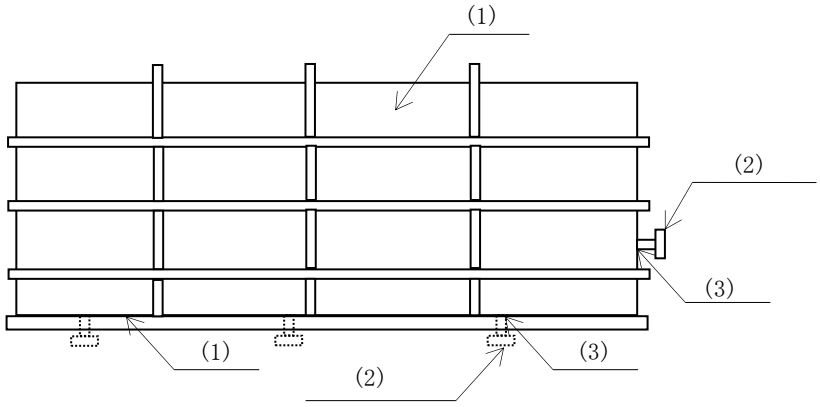
強度評価においては，中継タンクはJIS等に準じた評価を行う。集水タンク，高台集水タンク，受けタンク及び主配管（鋼管，伸縮継手）は「JSME S NC－1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格」（以下，「設計・建設規格」という。）のクラス３機器またはクラス３配管に，準じた評価を行う。

2.　強度評価

2.1　中継タンク

2.1.1　評価箇所

強度評価箇所を図－１に示す。



図中の番号は，2.1.2の番号に対応する。

図－１　中継タンク概要図

2.1.2　評価方法

(1) 側板，底板の評価

中継タンクの側板，底板の必要厚さは，それぞれ次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

ａ．規格上必要な最小厚さ

側板，底板の最小厚さは，それぞれ4.5mm，6.0mmとする。

ｂ．計算上必要な厚さ：ｔ

$$t = d \left(\beta \cdot P / fb \cdot \eta \right)^{1/2} + c$$

$$\delta = \alpha \cdot P \cdot d^4 / E \cdot \left(T - c \right)^3 \leqq d / 300$$

ここに，　ｔ：最小必要厚さ（mm）

β ：ｄ/Ｄに対する応力係数
ｄ：短辺の長さ（mm）
Ｄ：長辺の長さ（mm）
Ｐ：作用する荷重（MPa）
fb：許容曲げ応力（N/mm^2）
η ：溶接継手効率
ｃ：腐れ代（mm）
δ ：最大たわみ量（mm）
α ：ｄ/Ｄに対するたわみ係数
Ｅ：縦弾性係数（N/mm^2）
Ｔ：使用板厚（mm）

(2) 管台の厚さの評価

管台に必要な厚さは，次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

ａ．規格上必要な最小厚さ

管台の外径に応じ，「JIS B 8501 鋼製石油貯槽の構造（全溶接製）」に規定された値とする。

ｂ．計算上必要な厚さ：ｔ

$$t = Di \times H \times \rho / (0.204 \times S \times \eta) \times 1000 + c$$

ここに，　ｔ：必要厚さ（mm）
Di：管台の内径（ｍ）
Ｈ：水頭（ｍ）
ρ ：液体の比重
Ｓ：許容引張応力（MPa）
η ：継手効率
ｃ：腐れ代（mm）

(3) 管台の穴の補強計算

管台取付部の穴の補強について，補強に有効な範囲内にある有効面積が，補強に必要な面積より大きくなるようにする。

$$Ar = Dp \times ta$$
$$At = A1 + A2 + A3 + A4 + A5$$

ここに，　Ar：補強に必要な面積（mm^2）
Dp：取付部板の開口径（mm）
ta：腐れ代を差引いた取付部板の板厚（mm）
At：補強に有効な面積の合計（mm^2）
A1：強め材の有効面積（$= 2 \times (Dp - Dr / 2) \times tr$）（mm^2）

A2：管台（外側）の有効面積（＝ 2 × (4 × tn) × tn）(mm^2)
A3：管台（板部）の有効面積（＝ 2 × t × tn）(mm^2)
A4：管台（内側）の有効面積（＝ 2 × (4 × tn) × tn）(mm^2)
A5：側板腐食代分の有効面積（＝ 2 × (Dp / 2) × ts）(mm^2)
Dr：強め材の開口径（mm）
tr：強め材の実際の板厚（mm）
tn：管台の採用板厚（mm）
t ：取付部板の実際の板厚（mm）
ts：取付部板の腐れ代（mm）

2.1.3 評価結果

評価結果を表－１，２に示す。必要厚さ等を満足しており，十分な構造強度を有すると評価している。

表－１ 中継タンクの評価結果（板厚）

機器名称	評価項目	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
中継タンク	側板の厚さ	4.5	4.5 以上
	底板の厚さ	6.0	6.0 以上
	管台の厚さ（流出管：65A）	7.0	7.0 以上
	管台の厚さ（ドレン管:50A）	5.5	5.5 以上

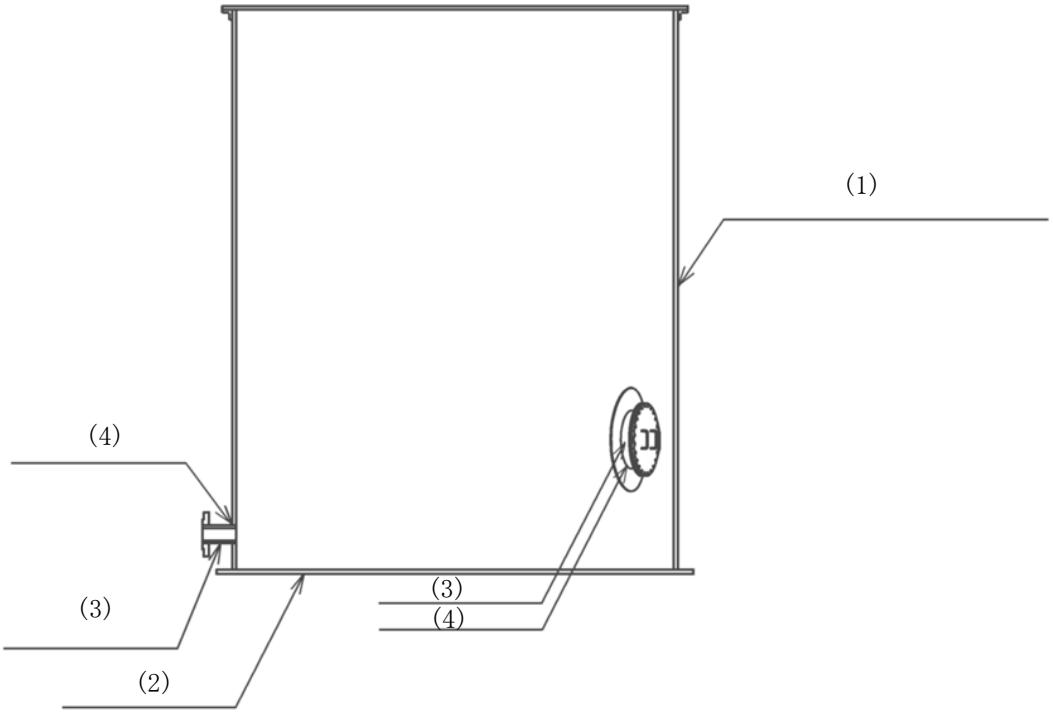
表－２　中継タンクの評価結果（管台の穴の補強計算）

機器名称	評価項目	評価結果	
		補強に必要な面積 (mm^2)	補強に有効な総面積 (mm^2)
中継タンク	流出管（65A）	397	555
	ドレン管（50A）	512	1045

2.2　集水タンク，高台集水タンク，受けタンク

2.2.1　評価箇所

強度評価箇所を図－２に示す。



図中の番号は，2.2.2，2.2.3 の番号に対応する。

図－２　各タンク概要図

2.2.2　評価方法

(1) 胴の厚さの評価

開放タンクの胴に必要な厚さは，次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

ａ．規格上必要な最小厚さ：t_1

炭素鋼鋼板又は低合金鋼鋼板で作られた場合は 3mm，その他の材料で作られた場合は 1.5mm とする。

b．胴の計算上必要な厚さ：t_2

$$t_2=\frac{D_i \cdot H \cdot \rho}{0.204 \cdot S \cdot \eta}$$

t_2： 必要厚さ（mm）
D_i： 胴の内径（m）
H ： 水頭（m）
ρ ： 液体の比重。ただし，1未満の場合は，1とする。
S ： 許容引張応力（MPa）
η ： 継手効率

c．胴の内径に応じた必要厚さ：t_3

胴の内径が5mを超えるものについては,胴の内径の区分に応じ設計･建設規格　表 PVC-3920-1より求めた胴の厚さとする。

(2) 底板の厚さの評価

地面，基礎等に直接接触する開放タンクの底板の厚さは，3mm以上であること。

(3) 管台の厚さの評価

管台に必要な厚さは，次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

a．管台の計算上必要な厚さ：t_1

$$t_1=\frac{D_i \cdot H \cdot \rho}{0.204 \cdot S \cdot \eta}$$

t_1： 必要厚さ（mm）
D_i： 管台の内径（m）
H ： 水頭（m）
ρ ： 液体の比重。ただし，1未満の場合は，1とする。
S ： 許容引張応力（MPa）
η ： 継手効率

b．規格上必要な最小厚さ：t_2

管台の外径に応じ設計・建設規格　表 PVC-3980-1 より求めた管台の厚さとする。

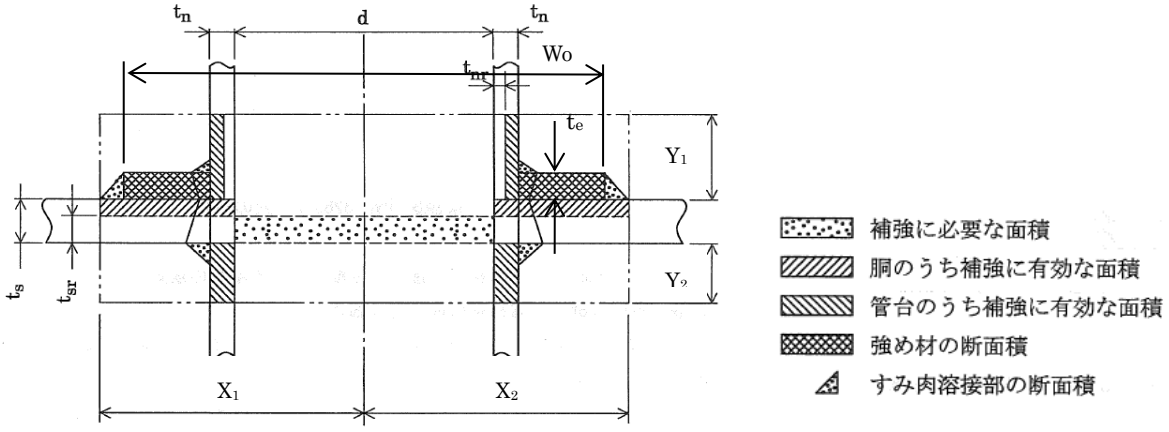
(4) 胴の穴の補強計算

a．補強に有効な範囲内にある補強に有効な面積が，補強に必要な面積より大きくなるようにすること。(図－3，4参照)

b．大きい穴の補強を要しない最大径

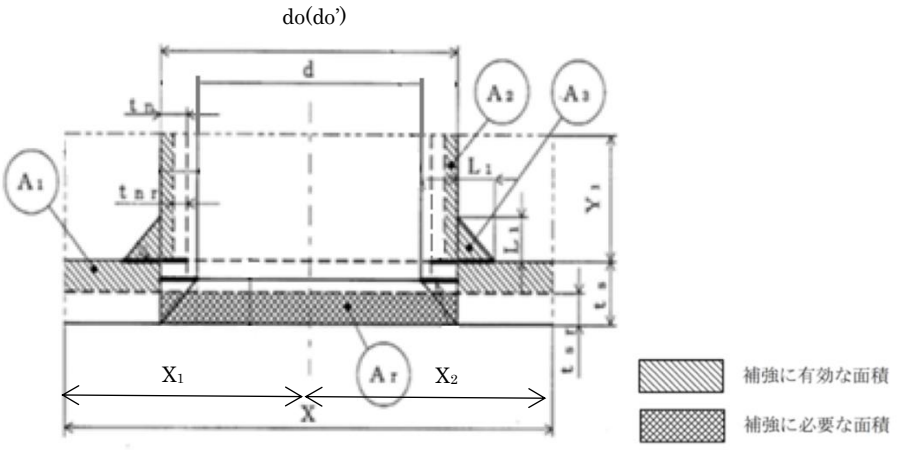
内径が1500mm以下の胴に設ける穴の径が胴の内径の2分の1（500mmを超える場合は，500mm）以下および内径が1500mmを超える胴に設ける穴の径が胴の内径の3分の1（1000mmを超える場合は，1000mm）以下の場合は，大きい穴の補強計算は必要ない。

c．溶接部の強度として，予想される破断箇所の強さが，溶接部の負うべき荷重以上であること。（図－３，４参照）



d　：胴の断面に現れる穴の径（mm）
t_s：胴板の厚さ（mm）
t_{sr}：胴板の計算上必要な厚さ（mm）
t_n：管台の厚さ（mm）
t_{nr}：管台の計算上必要な厚さ（mm）
X_1，X_2，Y_1，Y_2：補強の有効範囲（mm）
W_o：強め材の外径（mm）
t_e：強め材の厚さ（mm）
A_r：補強に必要な面積（mm^2）
A_0：補強に有効な総面積（mm^2）

図－３　補強計算概念図（集水タンク，高台集水タンク）



d　：穴の径（mm）
do’：管台が取り付く穴の径（mm）
do：管台の外径（mm）
t_s：胴板の最小厚さ（mm）
t_{sr}：胴板の計算上必要な厚さ（mm）
t_n：管台の最小厚さ（mm）
t_{nr}：管台の計算上必要な厚さ（mm）
X，Y_1：補強の有効範囲（mm）
L_1：溶接寸法（mm）
A_r：補強に必要な面積（mm^2）
A_0：補強に有効な面積（＝A_1＋A_2＋A_3）（mm^2）

図－４　補強計算概念図（受けタンク）

2.2.3　評価結果

評価結果を表－３，４に示す。必要厚さ等を満足しており，十分な構造強度を有すると評価している。

表－３　各タンクの評価結果（板厚）

機器名称	評価項目	必要厚さ（mm）	最小厚さ（mm）
集水タンク	(1)胴板の厚さ	11.7	12.0
	(2)底板の厚さ	3.00	11.2
	(3)管台の厚さ（100A）	3.50	5.25
	(3)管台の厚さ（200A）	3.50	7.18
	(3)管台の厚さ（マンホール）	3.50	11.2
高台集水タンク	(1)胴板の厚さ	11.5	11.5
	(2)底板の厚さ	3.00	11.3
	(3)管台の厚さ（100A）	3.50	5.3
	(3)管台の厚さ（150A）	3.50	6.3
	(3)管台の厚さ（マンホール）	3.50	11.1
受けタンク	(1)胴板の厚さ	3.00	7.1
	(2)底板の厚さ	3.00	10.6
	(3)管台の厚さ（100A）	3.50	5.4
	(3)管台の厚さ（マンホール）	3.50	7.1

表－４　各タンクの評価結果（胴の穴の補強計算）

機器名称	評価項目	評価結果	
集水タンク	(4)胴（100A 管台）	補強に必要な面積（mm^2）	補強に有効な総面積（mm^2）
		7.318×10^{2}	1.6222×10^{3}
		大きな穴の補強を要しない最大径（mm）	穴の径（mm）
		1000	1000 以下
		溶接部の負うべき荷重（N）	予想される破断箇所の強さ（N）
		3.5520×10^{4}	1.05278×10^{5}
	(4)胴（200A 管台）	補強に必要な面積（mm^2）	補強に有効な総面積（mm^2）
		1.4204×10^{3}	3.1414×10^{3}
		大きな穴の補強を要しない最大径（mm）	穴の径（mm）
		1000	1000 以下
		溶接部の負うべき荷重（N）	予想される破断箇所の強さ（N）
		6.1220×10^{4}	2.88899×10^{5}
	(4)胴（マンホール）	補強に必要な面積（mm^2）	補強に有効な総面積（mm^2）
		4.466×10^{3}	7.6348×10^{3}
		大きな穴の補強を要しない最大径（mm）	穴の径（mm）
		1000	1000 以下
		溶接部の負うべき荷重（N）	予想される破断箇所の強さ（N）
		1.6324×10^{5}	1.160164×10^{6}
高台集水タンク	(4)胴（100A 管台）	補強に必要な面積（mm^2）	補強に有効な総面積（mm^2）
		776	2.003×10^{3}
		大きな穴の補強を要しない最大径（mm）	穴の径（mm）
		1000	1000 以下
		溶接部の負うべき荷重（N）	予想される破断箇所の強さ（N）

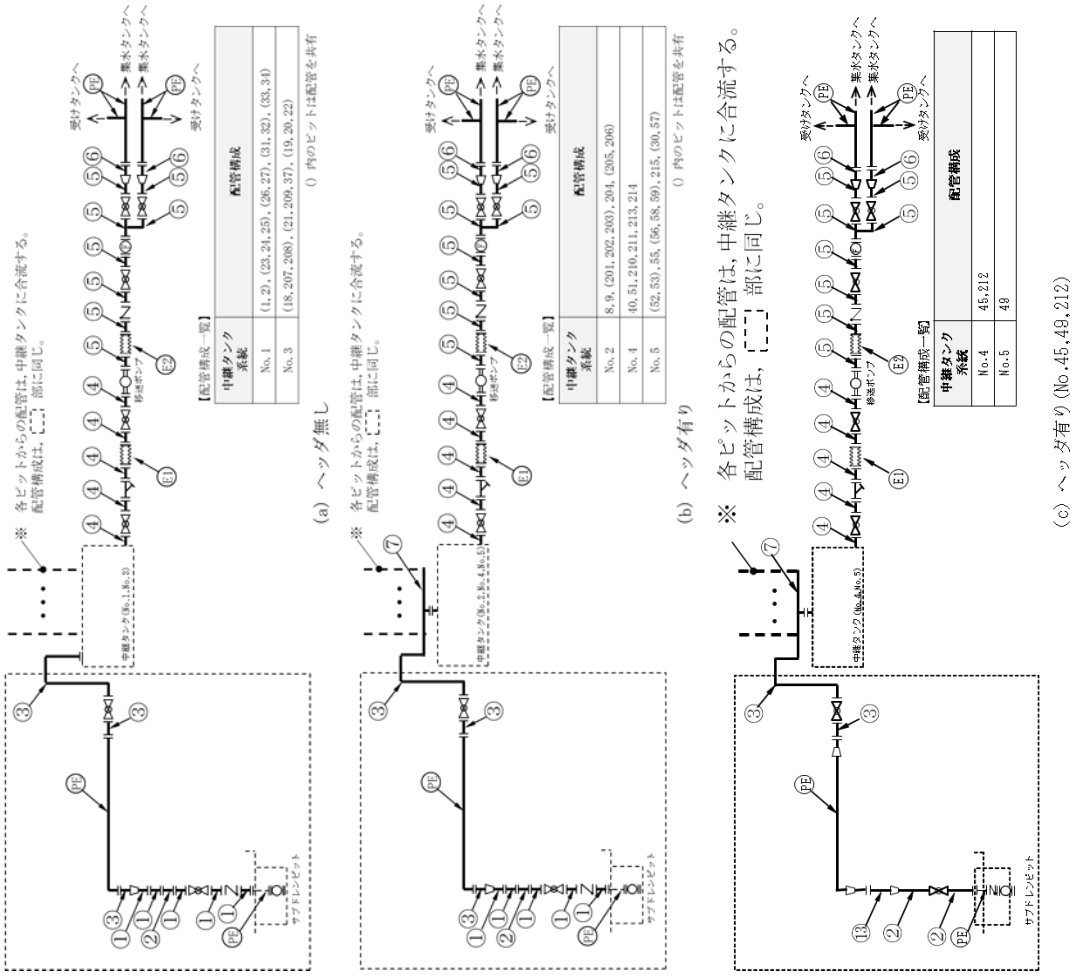
		4.933×10^{4}	1.108×10^{5}
	(4)胴（150A 管台）	補強に必要な 面積（mm^2）	補強に有効な 総面積（mm^2）
		1.140×10^{3}	2.892×10^{3}
		大きな穴の補強を要しない最大径（mm）	穴の径 （mm）
		1000	1000 以下
		溶接部の負うべき 荷重（N）	予想される破断 箇所の強さ（N）
		6.806×10^{4}	1.714×10^{5}
	(4)胴（マンホール）	補強に必要な 面積（mm^2）	補強に有効な 総面積（mm^2）
		4.364×10^{3}	1.052×10^{4}
		大きな穴の補強を要しない最大径（mm）	穴の径 （mm）
		1000	1000 以下
		溶接部の負うべき 荷重（N）	予想される破断 箇所の強さ（N）
		2.252×10^{5}	8.661×10^{5}
受けタンク	(4)胴（100A 管台）	補強に必要な 面積（mm^2）	補強に有効な 総面積（mm^2）
		72.5	843.4
		大きな穴の補強を要しない最大径（mm）	穴の径 （mm）
		1000	1000 以下
		溶接部の負うべき荷重（N）	予想される破断 箇所の強さ（N）
		-5.133×10^{4}	—※
	(4)胴（マンホール）	補強に必要な 面積（mm^2）	補強に有効な 総面積（mm^2）
		416.8	4.139×10^{3}
		大きな穴の補強を要しない最大径（mm）	穴の径 （mm）
		1000	1000 以下
		溶接部の負うべき荷重（N）	予想される破断 箇所の強さ（N）
		-3.293×10^{5}	—※

※　溶接部の負うべき荷重が負であり溶接部の強度計算は不要

2.3　主配管

2.3.1　評価箇所

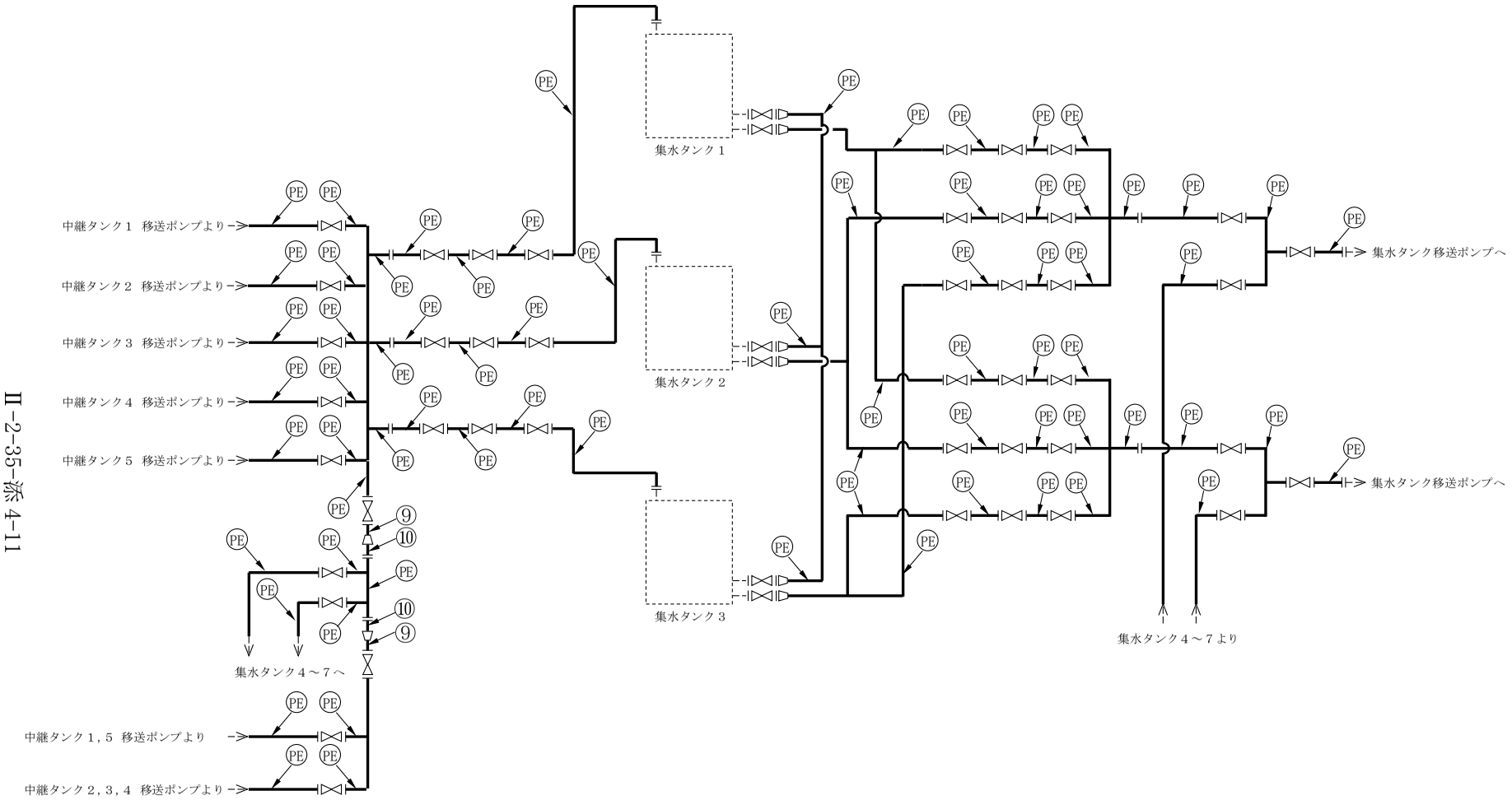
強度評価箇所を図－５に示す。



記号凡例
PE：ポリエチレン管
E：伸縮継手
F：流量計

図－５　配管概略図（1/6）

図中の番号は，2.3.3 の番号に対応する。

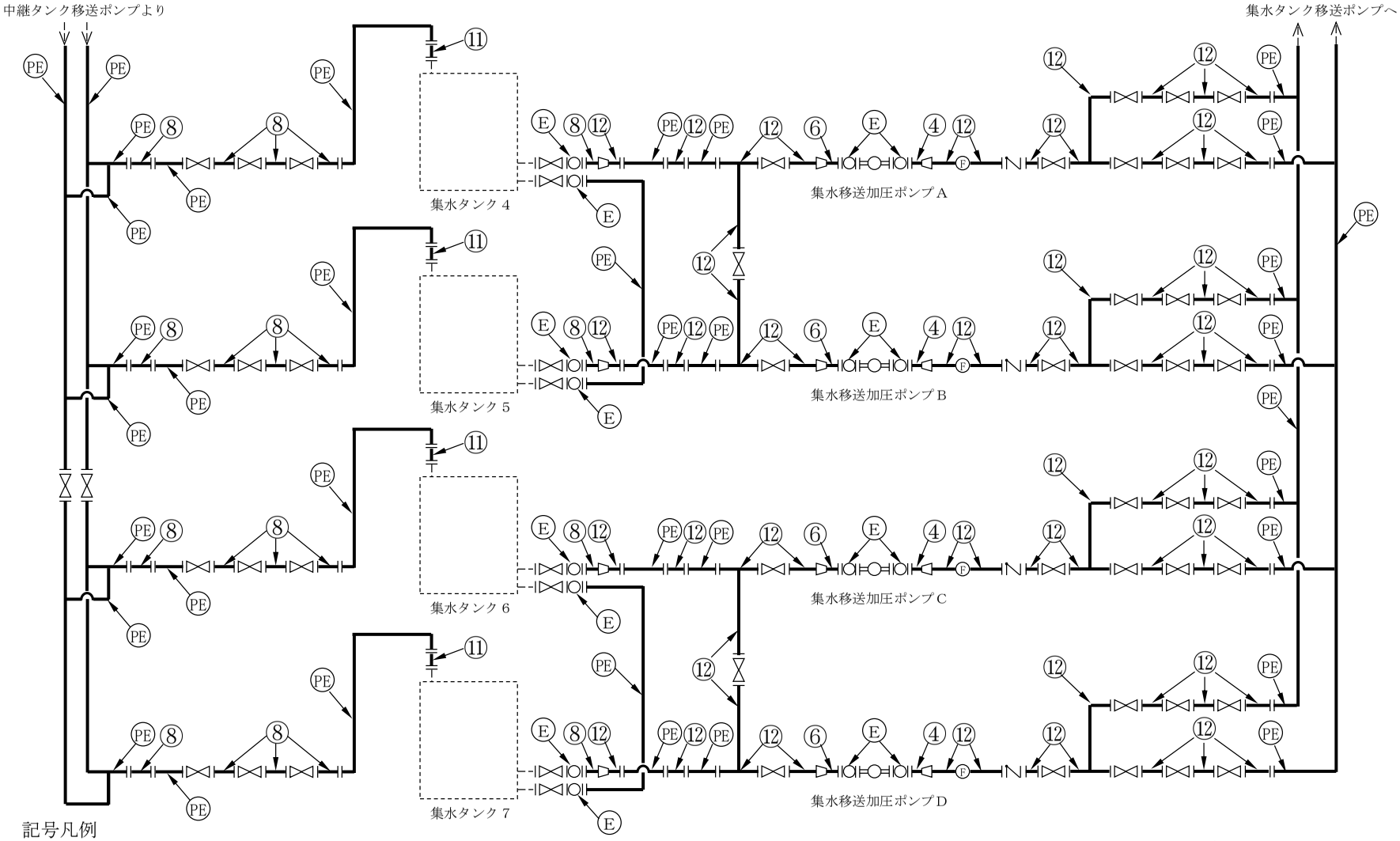


記号凡例

PE：ポリエチレン管

図中の番号は，2.3.3 の番号に対応する。

図－５　配管概略図（2/6）



記号凡例

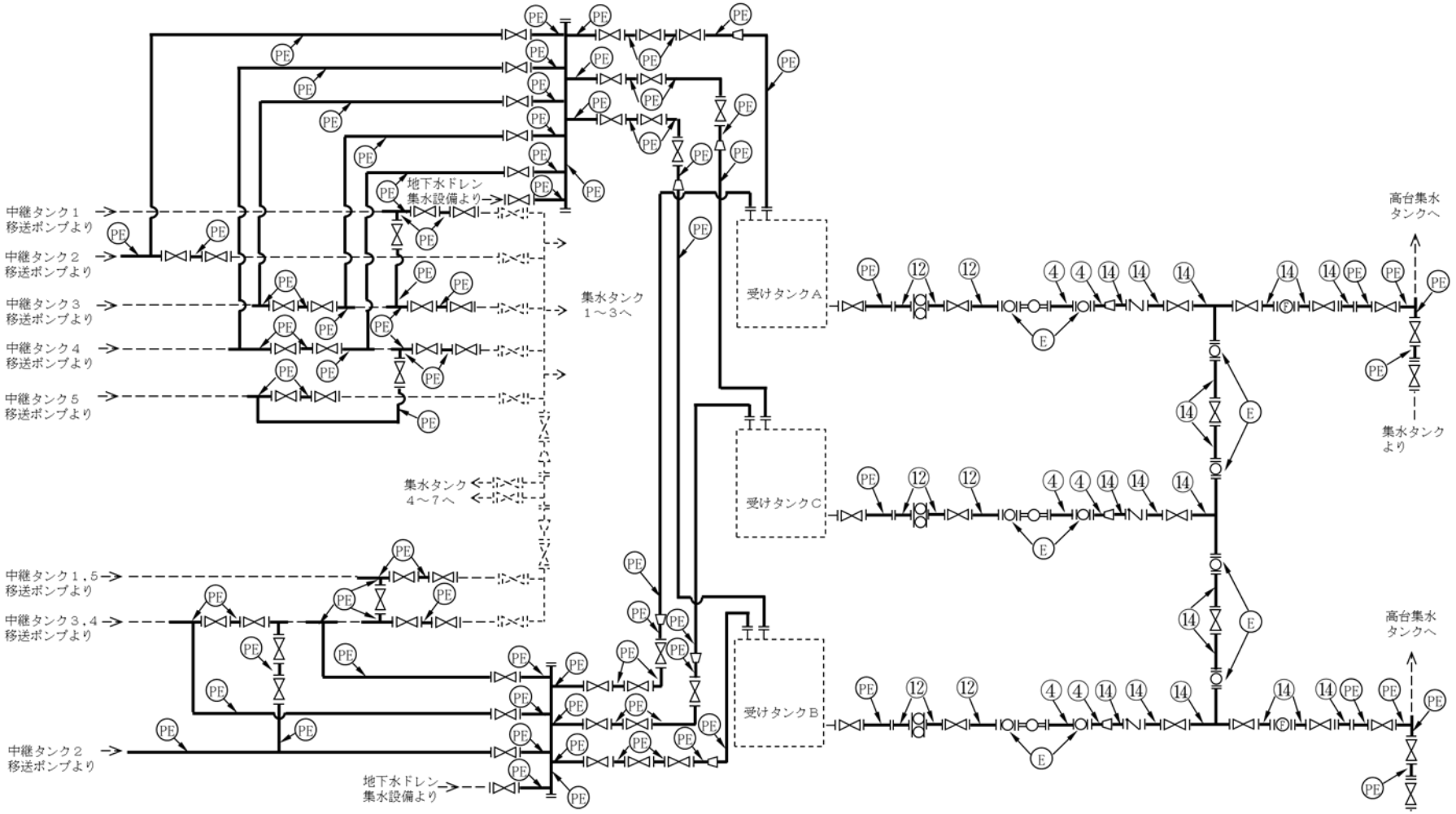
PE：ポリエチレン管

E：伸縮継手

F：流量計

図中の番号は，2.3.3 の番号に対応する。

図－５　配管概略図（3/6）



記号凡例

PE：ポリエチレン管

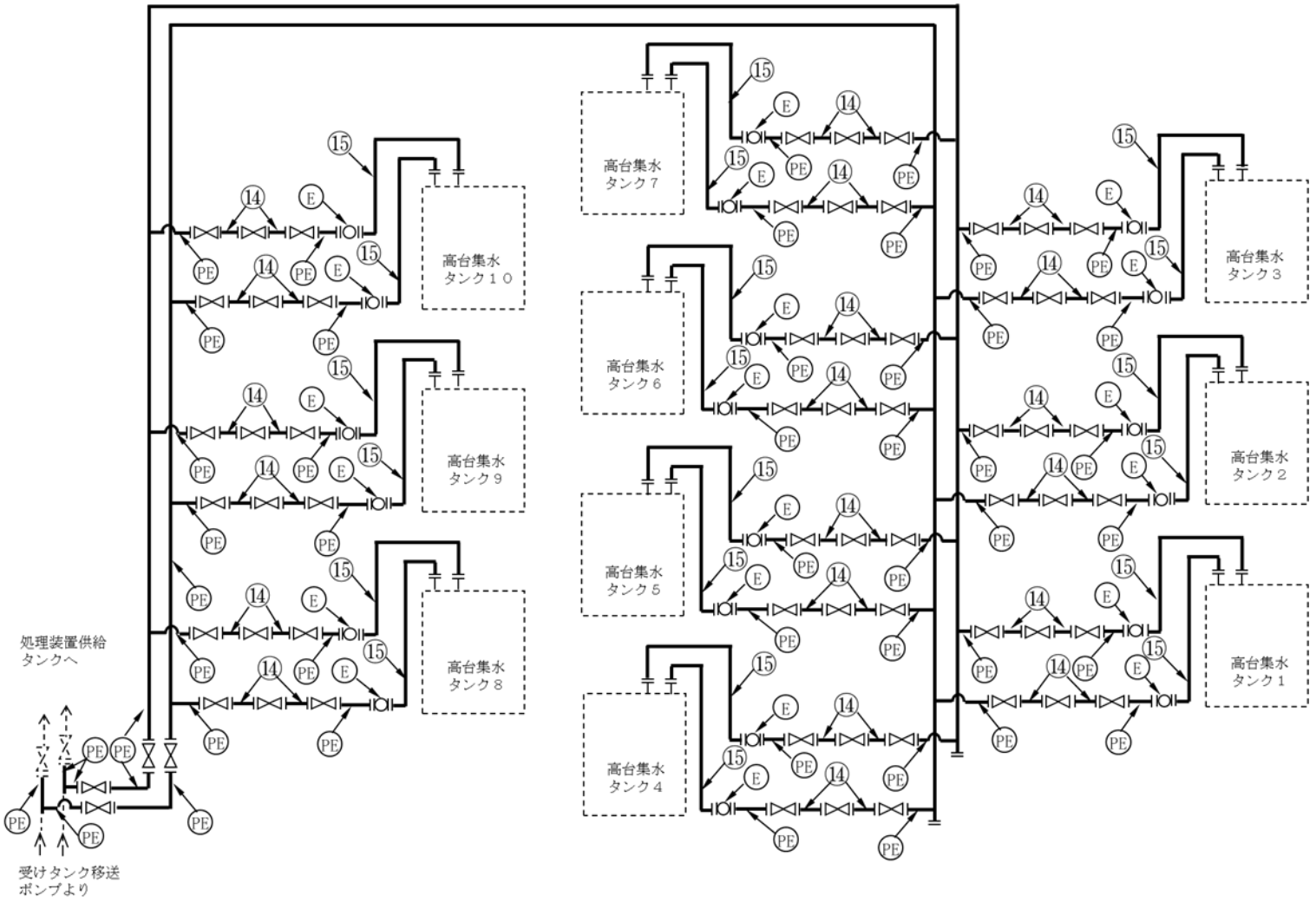
E：伸縮継手

F：流量計

：Wストレーナ

図中の番号は，2.3.3の番号に対応する。

図－５　配管概略図（4/6）



記号凡例

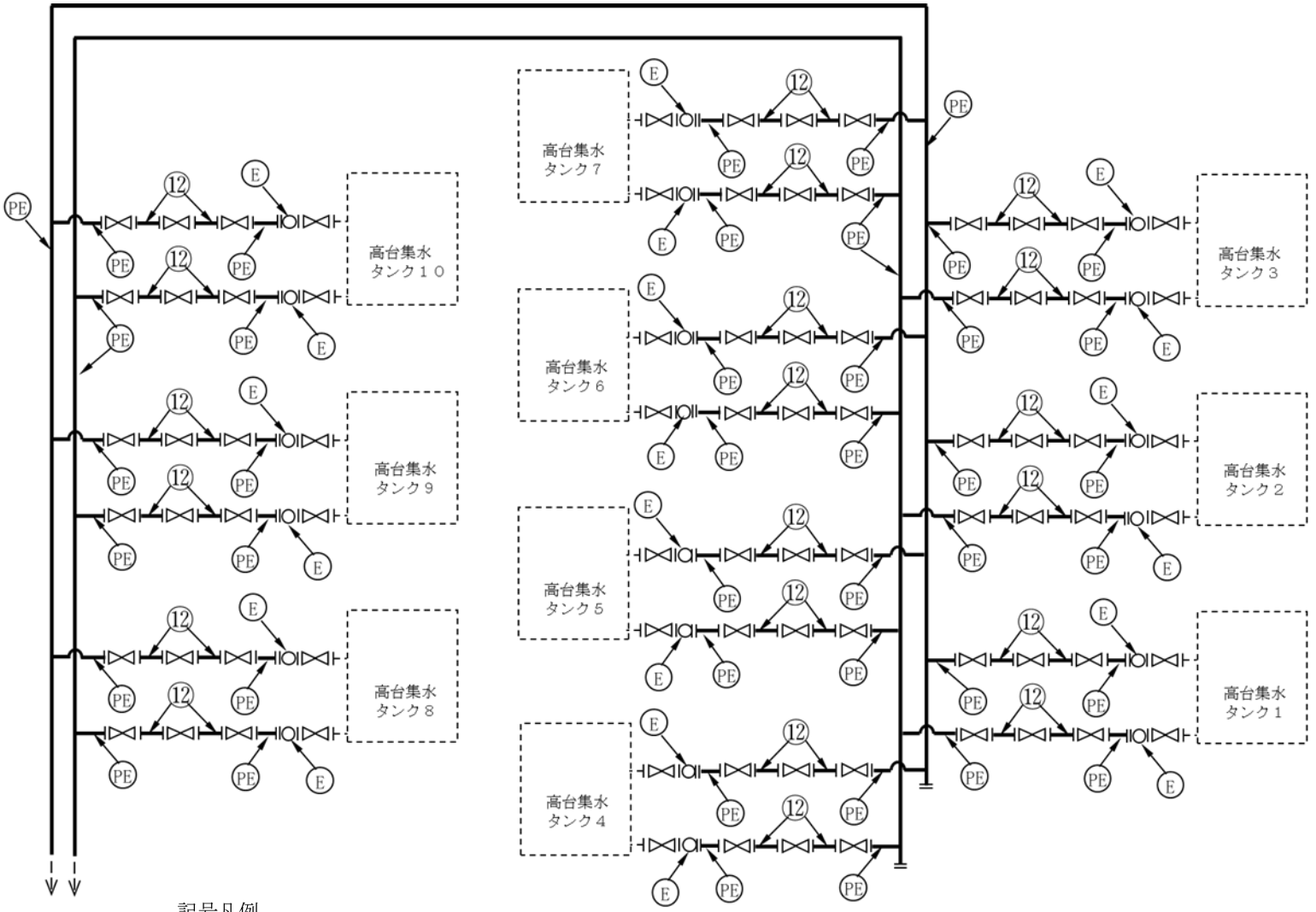
PE：ポリエチレン管

E：伸縮継手

F：流量計

図中の番号は，2.3.3 の番号に対応する。

図－５　配管概略図（5/6）



記号凡例
PE：ポリエチレン管
E：伸縮継手
F：流量計

図－５　配管概略図（6/6）

図中の番号は，2.3.3 の番号に対応する。

2.3.2　評価方法

(1) 管の厚さの評価

管の必要な厚さは，次に掲げる値のいずれか大きい方の値とする。

ａ．内面に圧力を受ける管

$$t = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$$

t：必要厚さ（mm）
P：最高使用圧力（MPa）
D_0：管の外径（mm）
S：許容引張応力（MPa）
η：継手効率

ｂ．炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小必要厚さ：t_t

設計・建設規格　PPD-3411(3)の表 PPD-3411-1 より求めた値

(2) 伸縮継手における疲労評価

伸縮継手については，次の計算式により計算した許容繰り返し回数が，実際の繰り返し回数以上のものとする。

$$N = \left(\frac{11031}{\sigma}\right)^{3.5}$$

N：許容繰返し回数
σ：継手部応力（MPa）

ここで，継手部応力は，調整リングが付いていない場合の以下の式により計算した値とする。

$$\sigma = \frac{1.5 \cdot E \cdot t \cdot \delta}{n \cdot \sqrt{b \cdot h^3}} + \frac{P \cdot h^2}{2 \cdot t^2 \cdot c}$$

E：材料の縦弾性係数（MPa）
t：継手部の板の厚さ（mm）
σ：全伸縮量（mm）
n：継手部の波数の 2 倍の値
b：継手部の波のピッチの 2 分の 1（mm）
h：継手部の波の高さ（mm）
P：最高使用圧力（MPa）
c：継手部の層数

2.3.3　評価結果

評価結果を表－５，６に示す。必要厚さ等を満足しており，十分な構造強度を有していると評価している。

表－５　配管の評価結果（管厚）

No.	外径 (mm)	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
①	42.70	STPG370	0.98	40	1.90	3.10
②	42.70	SUS316LTP	0.98	40	0.18	3.10
③	48.60	STPG370	0.98	40	2.20	3.20
④	76.30	STPG370	0.98	40	2.70	4.55
⑤	60.50	STPG370	0.98	40	2.40	3.40
⑥	89.10	STPG370	0.98	40	3.00	4.81
⑦	216.3	SUS316LTP	0.98	40	1.31	5.85
⑧	216.3	STPG370	0.98	40	3.80	7.18
⑨	318.5	STPG370	0.98	40	3.80	9.01
⑩	355.6	STPG370	0.98	40	3.80	9.71
⑪	216.3	SUS316LTP	0.49	40	0.46	7.18
⑫	114.3	STPG370	0.98	40	3.40	5.25
⑬	60.50	SUS316LTP	0.98	40	0.26	3.40
⑭	165.20	STPG370	0.98	40	3.80	6.21
⑮	165.20	STPT410	0.98	40	3.80	6.21

表－６　伸縮継手の評価結果（管厚）

No.	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	許容繰り返し回数 (回)	実際の繰り返し回数 (回)
E1	SUS316L	0.98	40	2.4×10^{3}	0.1×10^{3}
E2	SUS316L	0.98	40	1.0×10^{3}	0.1×10^{3}

サブドレン他浄化設備の強度に関する説明書

1.　強度評価の方針

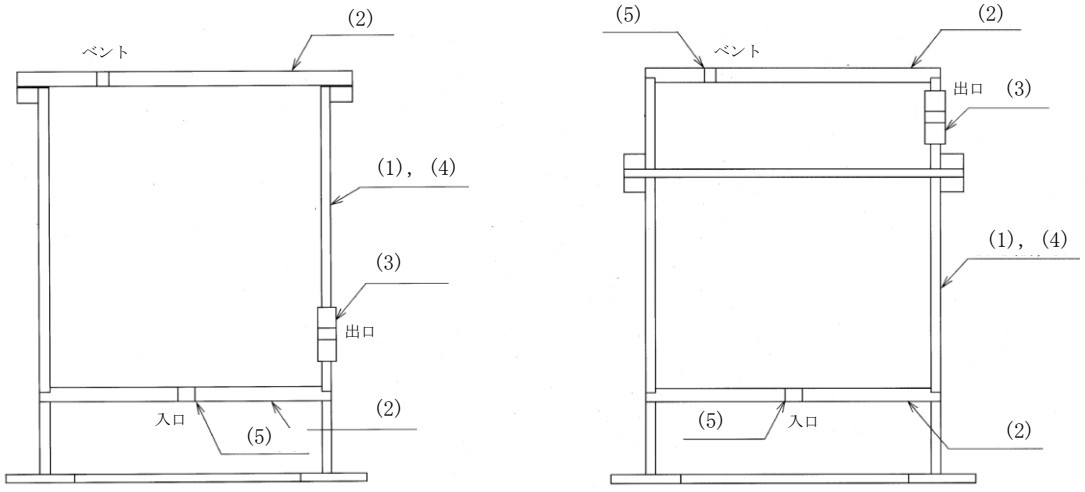
サブドレン他浄化設備を構成する主要な機器及び主配管（鋼管，伸縮継手）は，強度評価においては，「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格　設計・建設規格」（以下，「設計・建設規格」という。）のクラス３機器またはクラス３配管に準じた評価を行う。

2.　強度評価

2.1　前処理フィルタ

2.1.1　評価箇所

強度評価箇所を図－１に示す。



(a) 前処理フィルタ 1,2　　(b) 前処理フィルタ 3

図中の番号は，2.1.2 及び 2.1.3 の番号に対応する。

図－１　前処理フィルタ概要図

2.1.2　評価方法

(1) 胴の厚さの評価

胴に必要な厚さは，次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

ａ．規格上必要な最小厚さ：t_1

炭素鋼鋼板又は低合金鋼鋼板で作られたものにあっては 3mm，その他の材料で作ら

れたものにあっては1.5mmとする。

b．内面に圧力を受ける胴の必要厚さ：t_2

$$t_2=\frac{P\cdot D_i}{2\cdot S\cdot \eta-1.2\cdot P}$$

t_2：必要厚さ（mm）
P　：最高使用圧力（MPa）
D_i：胴の内径（mm）
S　：許容引張応力（MPa）
η　：継手効率（-）

(2) 平板の厚さの評価

平板の厚さは，次に掲げる値のうちいずれかによるものとする。

a．平板に穴を設ける場合であって，穴の径が平板の径の 2 分の 1 以下であり，穴の補強計算を行うもの。なお，平板の穴の補強計算については（5）参照。

$$t=d\cdot\sqrt{\frac{K\cdot P}{S}}$$

t：必要厚さ（mm）
d：平板の径（mm）
K：取付方法による係数（-）
P：最高使用圧力（MPa）
S：許容引張応力（MPa）

b．平板に穴を設ける場合であって，穴の径が平板の径の 2 分の 1 以下であり，下記を満足するもの。

$$t=d\cdot\sqrt{\frac{2\cdot K\cdot P}{S}}$$

t：必要厚さ（mm）
d：平板の径（mm）
K：取付方法による係数（-）
P：最高使用圧力（MPa）
S：許容引張応力（MPa）

(3) 管台の厚さの評価

管台に必要な厚さは，次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

a．内面に圧力を受ける管台：t_1

$$t_1=\frac{P\cdot D_o}{2\cdot S\cdot \eta+0.8\cdot P}$$

t_1：必要厚さ（mm）
P　：最高使用圧力（MPa）
D_0：管台の外径（mm）
S　：許容引張応力（MPa）
η　：継手効率（-）

b．規格上必要な最小厚さ：t_2

炭素鋼鋼管を使用する管台にあっては，管台の外径に応じて設計・建設規格　表 PVC-3610-1 より求めた管台の厚さとする。

(4) 胴の補強を要しない穴の最大径の評価

胴の補強を要しない穴の最大径は，以下で計算した値のうちいずれかとする。

ａ．穴の径が 61mm 以下で，かつ，次の式により計算した値以下の穴。

$$d_{r1}=\frac{D-2\cdot t_s}{4}$$

d_{r1}:補強を要しない穴の最大径（mm）

D ：胴の外径（mm）

t_s：胴の最小厚さ（mm）

ｂ．ａに掲げるものを除き，穴の径が 200mm 以下で，かつ，設計・建設規格　図 PVD-3122-1 及び図 PVD-3122-2 により求めた値以下の穴。

$$d_{r2}=8.05\cdot\sqrt[3]{D\cdot t_s\cdot(1-K)}$$

d_{r2}:補強を要しない穴の最大径（mm）

D ：胴の外径（mm）

t_s：胴の最小厚さ（mm）

K ：係数（-）

ここで，Ｋは，円筒形の場合，次の式により計算した値で，Ｋ＞0.99 のときは，Ｋ＝0.99 とする。

$$K=\frac{P\cdot D}{1.82\cdot S\cdot \eta\cdot t_s}$$

Ｐ ： 最高使用圧力（MPa）

Ｄ ：胴の外径（mm）

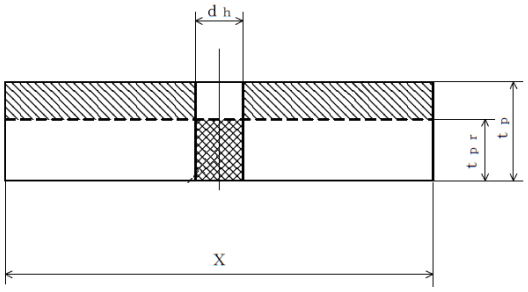
Ｓ ：許容引張応力（MPa）

η ：継手効率（-）

t_s：胴板の最小厚さ（mm）

(5) 平板の穴の補強計算

補強に有効な範囲内にある補強に有効な面積が，補強に必要な面積より大きくなるようにすること。（図－２参照）



d_h ： 穴の径（mm）

t_{pr}：平板の計算上必要な厚さ（mm）

t_p ：平板の最小厚さ（mm）

Ｘ ：補強の有効範囲（mm）

A_1 ：補強に有効な面積（mm^2）

A_r ：補強に必要な面積（mm^2）

補強に有効な面積

補強に必要な面積

図－２　補強計算概念図

2.1.3　評価結果

評価結果を表－１～３に示す。必要厚さ等を満足しており，十分な構造強度を有すると評価している。

表－１　前処理フィルタ評価結果（板厚）

機器名称	評価項目	必要厚さ（mm）	最小厚さ（mm）
前処理フィルタ 1,2	(1)胴板の厚さ	4.84	4.84 以上
	(2)上部平板の厚さ	54.71	54.71 以上
	(2)下部平板の厚さ	44.75	44.75 以上
	(3)管台の厚さ	3.80	3.80 以上
前処理フィルタ 3	(1)胴板の厚さ	4.84	4.84 以上
	(2)上部平板の厚さ	44.75	44.75 以上
	(2)下部平板の厚さ	44.75	44.75 以上
	(3)管台の厚さ	3.80	3.80 以上

表－２　前処理フィルタ評価結果（胴の補強要否）

機器名称	評価項目	補強を要しない穴の最大径（mm）	穴の径（mm）
前処理フィルタ 1,2	(4)胴（出口）	99.93	99.93 以下
前処理フィルタ 3	(4)胴（出口）	99.93	99.93 以下

表－３　前処理フィルタ評価結果（平板の穴の補強計算）

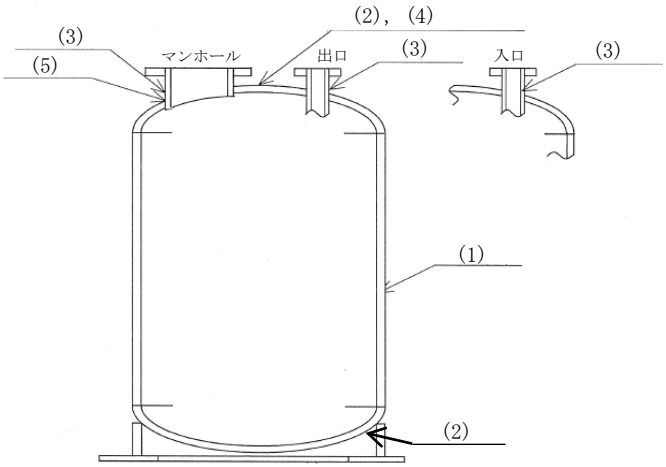
機器名称	評価項目	補強に必要な面積※1（mm^2）	補強に有効な総面積（mm^2）
前処理フィルタ 1,2	(5)平板（入口）	1.853×10^3	2.219×10^3
前処理フィルタ 3	(5)平板（入口）	1.853×10^3	2.219×10^3
	(5)平板（ベント）	7.474×10^2	2.219×10^3

※1　設計・建設規格　PVD-3322 より，PVC-3160 の規定に準じた面積の 2 分の 1

2.2　pH 緩衝塔，吸着塔

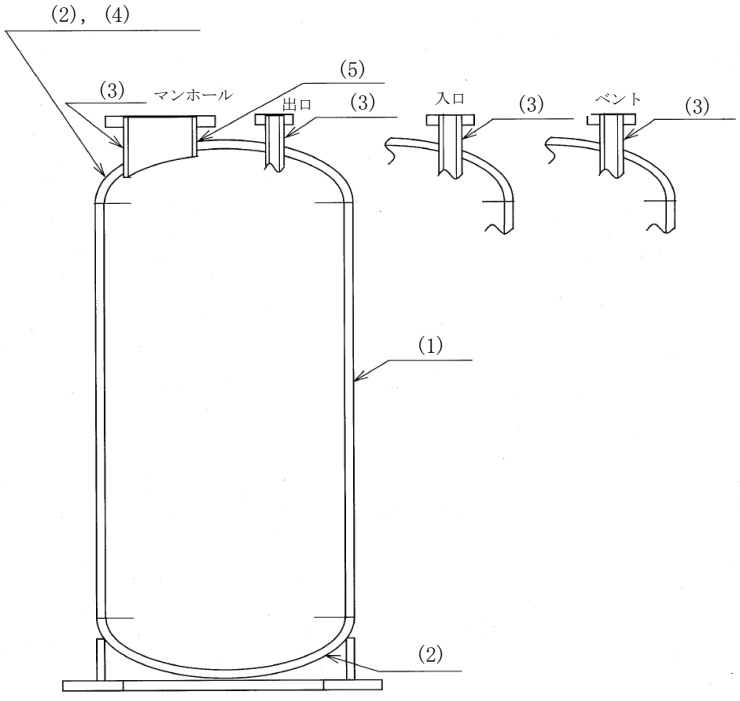
2.2.1　評価箇所

強度評価箇所を図－３，４に示す。



図中の番号は，2.2.2，2.2.3 の番号に対応する。

図－３　pH 緩衝塔概要図



図中の番号は，2.2.2，2.2.3 の番号に対応する。

図－４　吸着塔概要図

2.2.2　評価方法

(1) 胴の厚さの評価

胴に必要な厚さは，次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

ａ．規格上必要な最小厚さ：t_1

炭素鋼鋼板又は低合金鋼鋼板で作られたものにあっては3㎜，その他の材料で作られたものにあっては1.5㎜とする。

ｂ．内面に圧力を受ける胴の必要厚さ：t_2

$$t_2=\frac{P\cdot D_i}{2\cdot S\cdot \eta-1.2\cdot P}$$

t_2：必要厚さ（㎜）
P：最高使用圧力（MPa）
D_i：胴の内径（㎜）
S：許容引張応力（MPa）
η：継手効率（-）

(2) 鏡板の厚さの評価

さら形鏡板に必要な厚さは，以下で計算した値のうちいずれか大きい方の値とする。

ａ．フランジ部：t_1

$$t_1=\frac{P\cdot D_i}{2\cdot S\cdot \eta-1.2\cdot P}$$

t_1：必要厚さ（㎜）
P：最高使用圧力（MPa）
D_i：胴の内径（㎜）
S：許容引張応力（MPa）
η：継手効率（-）

ｂ．鏡板：t_2

$$t_2=\frac{P\cdot R\cdot W}{2\cdot S\cdot \eta-0.2\cdot P}$$

t_2：必要厚さ（㎜）
P：最高使用圧力（MPa）
R：鏡板の中央部における内面の半径（㎜）
W：さら形鏡板の形状による係数（-）
S：許容引張応力（MPa）
η：継手効率（-）

ここで，Wは以下の式により計算した値とする。

$$W=\frac{1}{4}\cdot\left(3+\sqrt{\frac{R}{r}}\right)$$

R：鏡板の中央部における内面の半径（㎜）
r：さら形鏡板のすみの丸みの内半径（㎜）

(3) 管台の厚さの評価

管台に必要な厚さは，次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

ａ．内面に圧力を受ける管台：t_1

$$t_1=\frac{P\cdot D_o}{2\cdot S\cdot \eta+0.8\cdot P}$$

t_1: 最小厚さ（mm）

P ：最高使用圧力（MPa）

D_0：管台の外径（mm）

S ：許容引張応力（MPa）

η ：継手効率（-）

ｂ．規格上必要な最小厚さ：t_2

炭素鋼鋼管を使用する管台にあっては，管台の外径に応じて設計・建設規格　表 PVC-3610-1 より求めた管台の厚さとする。

(4) 鏡板の補強を要しない穴の最大径の評価

鏡板の補強を要しない穴の最大径は，以下で計算した値のうちいずれかとする。

ａ．穴の径が 61mm 以下で，かつ，次の式により計算した値以下の穴。

$$d_{r1}=\frac{D-2\cdot t_c}{4}$$

d_{r1}:補強を要しない穴の最大径（mm）

D :鏡板のフランジ部の外径（mm）

t_c：鏡板の最小厚さ（mm）

ｂ．ａに掲げるものを除き，穴の径が 200mm 以下で，かつ，設計・建設規格　図 PVD-3122-1 及び図 PVD-3122-2 により求めた値以下の穴。

$$d_{r2}=8.05\cdot\sqrt[3]{D\cdot t_C\cdot(1-K)}$$

d_{r2}:補強を要しない穴の最大径（mm）

D :鏡板のフランジ部の外径（mm）

t_C ：鏡板の最小厚さ（mm）

K :係数（-）

ここで，Kは，さら形鏡板の場合，次の式により計算した値で，K＞0.99 のときは，K＝0.99 とする。

$$K=\frac{P\cdot D}{1.82\cdot S\cdot \eta\cdot t_C}$$

P：最高使用圧力（MPa）

D：鏡板のフランジ部の外径（mm）

S：許容引張応力（MPa）

η：継手効率（-）

t_C：鏡板の最小厚さ（mm）

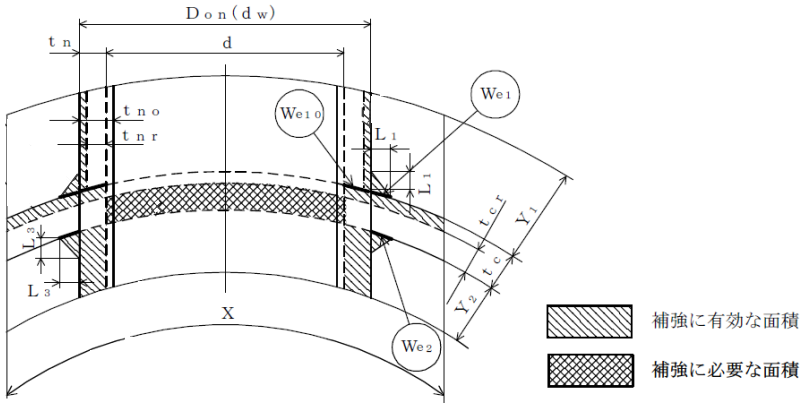
(5) 鏡板の穴の補強計算

ａ．補強に有効な範囲内にある補強に有効な面積が，補強に必要な面積より大きくなるようにすること。（図－５参照）

ｂ．大きい穴の補強を要しない最大径

内径が 1500mm 以下の胴に設ける穴の径が胴の内径の 2 分の 1（500mm を超える場合は，500mm）以下および内径が 1500mm を超える胴に設ける穴の径が胴の内径の 3 分の 1（1000mm を超える場合は，1000mm）以下の場合は，大きい穴の補強計算は必要ない。

ｃ．溶接部の強度として，予想される破断箇所の強さが，溶接部の負うべき荷重以上であること。（図－５参照）



d　：穴の径（mm）

d_w：管台が取り付く穴の径（mm）

D_{on}：管台の外径（mm）

t_c：鏡板の最小厚さ（mm）

t_{cr}：鏡板の計算上必要な厚さ（mm）

t_n：管台の最小厚さ（mm）

t_{nr}：管台の計算上必要な厚さ（mm）

X，Y_1，Y_2：補強の有効範囲（mm）

L_1，L_3：溶接寸法（mm）

A_r　：補強に必要な面積（mm^2）

A_0　：補強に有効な面積（$=A_1+A_2+A_3$）（mm^2）

W_{ebp1}：予想される破断箇所の強さ（胴側）（$=W_{e1}+W_{e2}$）（N）

W_{ebp2}：予想される破断箇所の強さ（管台側）（$=W_{e1}+W_{e10}$）（N）

図－５　補強計算概念図

2.2.3　評価結果

評価結果を表－４～６に示す。必要厚さ等を満足しており，十分な構造強度を有すると評価している。

表－４　pH 緩衝塔，吸着塔の評価結果（板厚）

機器名称	評価項目	必要厚さ（mm）	最小厚さ（mm）
pH 緩衝塔	(1)胴板の厚さ	7.23	7.23 以上
	(2)鏡板の厚さ	9.24	9.24 以上
	(3)管台の厚さ（入口）	3.00	3.00 以上
	(3)管台の厚さ（出口）	3.00	3.00 以上
	(3)管台の厚さ（マンホール）	3.80	3.80 以上
吸着塔１～５	(1)胴板の厚さ	10.91	10.91 以上
	(2)鏡板の厚さ	13.91	13.91 以上
	(3)管台の厚さ（入口）	3.00	3.00 以上
	(3)管台の厚さ（出口）	3.00	3.00 以上
	(3)管台の厚さ（ベント）	2.40	2.40 以上
	(3)管台の厚さ（マンホール）	3.80	3.80 以上

表－５　pH 緩衝塔，吸着塔の評価結果（鏡板の補強要否確認）

機器名称	評価項目	補強を要しない穴の最大径（mm）	穴の径（mm）
pH 緩衝塔	(4)鏡板（入口）	200	200 以下
	(4)鏡板（出口）	200	200 以下
	(4)鏡板（マンホール）	200	200 を超える※2
吸着塔１～５	(4)鏡板（入口）	200	200 以下
	(4)鏡板（出口）	200	200 以下
	(4)鏡板（ベント）	200	200 以下
	(4)鏡板（マンホール）	200	200 を超える※2

※２　鏡板の穴の補強計算を行う

表－６　pH 緩衝塔，吸着塔の評価結果（鏡板の穴の補強計算）

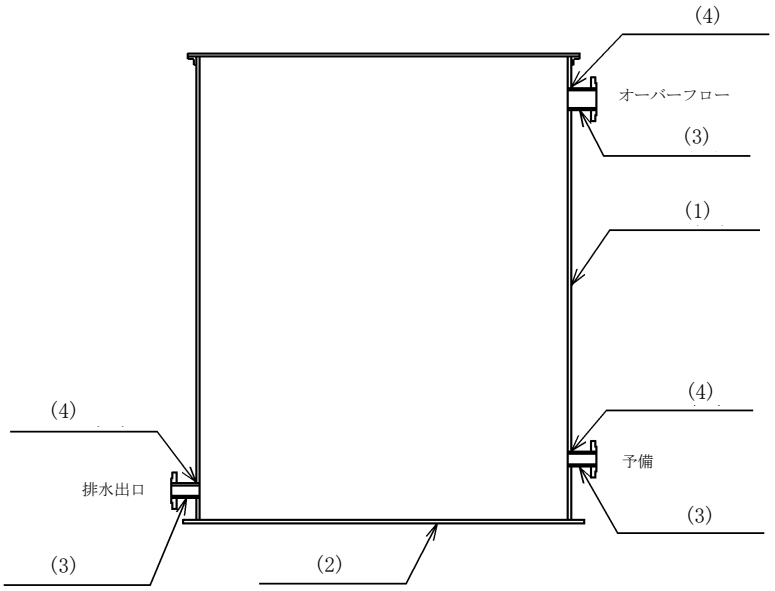
機器名称	評価項目	評価結果	
pH 緩衝塔	(5)鏡板（マンホール）	補強に必要な面積（mm^2）	補強に有効な総面積（mm^2）
		2.336×10^3	5.863×10^3
		大きな穴の補強を要しない最大径（mm）	穴の径（mm）
		500	500 以下
		溶接部の負うべき荷重（N）	予想される破断箇所の強さ（N）
		-1.888×10^5	—※3
吸着塔１～５	(5)鏡板（マンホール）	補強に必要な面積（mm^2）	補強に有効な総面積（mm^2）
		3.516×10^3	5.252×10^3
		大きな穴の補強を要しない最大径（mm）	穴の径（mm）
		500	500 以下
		溶接部の負うべき荷重（N）	予想される破断箇所の強さ（N）
		5.476×10^4	（胴側）1.969×10^6
			（管台側）1.715×10^6

※３　溶接部の負うべき荷重が負であり溶接部の強度計算は不要

2.3　処理装置供給タンク

2.3.1　評価箇所

強度評価箇所を図－６に示す。



図中の番号は，2.3.2，2.3.3 の番号に対応する。

図－６　処理装置供給タンク概要図

2.3.2　評価方法

(1) 胴の厚さの評価

開放タンクの胴に必要な厚さは，次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

ａ．規格上必要な最小厚さ：t_1

炭素鋼鋼板又は低合金鋼鋼板で作られた場合は 3mm，その他の材料で作られた場合は 1.5mm とする。

ｂ．胴の計算上必要な厚さ：t_2

$$t_2=\frac{D_i \cdot H \cdot \rho}{0.204 \cdot S \cdot \eta}$$

t_2：必要厚さ（mm）

D_i：胴の内径（m）

H：水頭（m）

ρ：液体の比重。ただし，1 未満の場合は，1 とする。

S：許容引張応力（MPa）

η：継手効率（-）

ｃ．胴の内径に応じた必要厚さ：t_3

胴の内径が 5m を超えるものについては,胴の内径の区分に応じ設計･建設規格　表 PVC-3920-1 より求めた胴の厚さとする。

(2) 底板の厚さの評価

地面，基礎等に直接接触する開放タンクの底板の厚さは，3mm 以上であること。

(3) 管台の厚さの評価

管台に必要な厚さは，次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

ａ．管台の計算上必要な厚さ：t_1

$$t_i=\frac{D_i \cdot H \cdot \rho}{0.204 \cdot S \cdot \eta}$$

t_1 ： 必要厚さ（mm）

D_i ： 管台の内径（m）

H ： 水頭（m）

ρ ： 液体の比重。ただし，1 未満の場合は，1 とする。

S ： 許容引張応力（MPa）

η ： 継手効率（-）

ｂ．規格上必要な最小厚さ：t_2

管台の外径に応じ設計・建設規格　表 PVC-3980-1 より求めた管台の厚さとする。

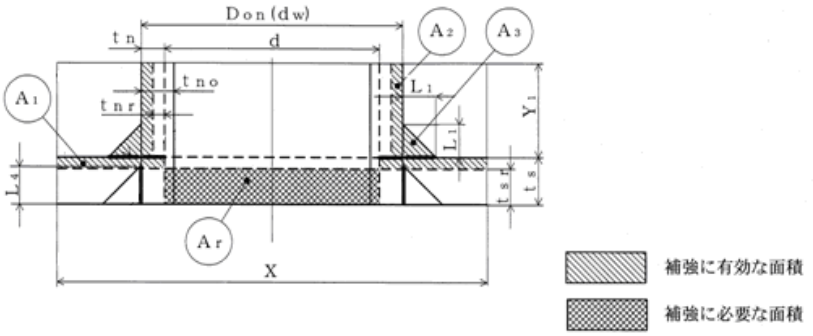
(4) 胴の穴の補強計算

ａ．補強に有効な範囲内にある補強に有効な面積が，補強に必要な面積より大きくなるようにすること。(図－７参照)

ｂ．大きい穴の補強を要しない最大径

内径が 1500mm 以下の胴に設ける穴の径が胴の内径の 2 分の 1（500mm を超える場合は，500mm）以下および内径が 1500mm を超える胴に設ける穴の径が胴の内径の 3 分の 1（1000mm を超える場合は，1000mm）以下の場合は，大きい穴の補強計算は必要ない。

ｃ．溶接部の強度として，予想される破断箇所の強さが，溶接部の負うべき荷重以上であること。(図－７参照)



d　：穴の径（mm）

d_w：管台が取り付く穴の径（mm）

D_{on}：管台の外径（mm）

t_s：胴板の最小厚さ（mm）

t_{sr}：胴板の計算上必要な厚さ（mm）

t_n：管台の最小厚さ（mm）

t_{nr}：管台の計算上必要な厚さ（mm）

X，Y_1，Y_2：補強の有効範囲（mm）

L_1，L_4：溶接寸法（mm）

A_r：補強に必要な面積（mm^2）

A_0：補強に有効な面積（＝A_1＋A_2＋A_3）（mm^2）

図－７　補強計算概念図

2.3.3　評価結果

評価結果を表－７，８に示す。必要厚さ等を満足しており，十分な構造強度を有すると評価している。

表－７　処理装置供給タンクの評価結果（板厚）

機器名称	評価項目	必要厚さ（mm）	最小厚さ（mm）
処理装置供給タンク（SUS316L）	(1)胴板の厚さ	1.50	1.50 以上
	(2)底板の厚さ	3.00	3.00 以上
	(3)管台の厚さ（排水出口）	3.50	3.50 以上
	(3)管台の厚さ（オーバーフロー）	3.50	3.50 以上
	(3)管台の厚さ（予備）	3.50	3.50 以上
処理装置供給タンク（SM400C）	(1)胴板の厚さ	3.00	3.00 以上
	(2)底板の厚さ	3.00	3.00 以上
	(3)管台の厚さ（排水出口）	3.50	3.50 以上
	(3)管台の厚さ（オーバーフロー）	3.50	3.50 以上
	(3)管台の厚さ（予備）	3.50	3.50 以上

表－８　処理装置供給タンクの評価結果（胴の穴の補強計算）

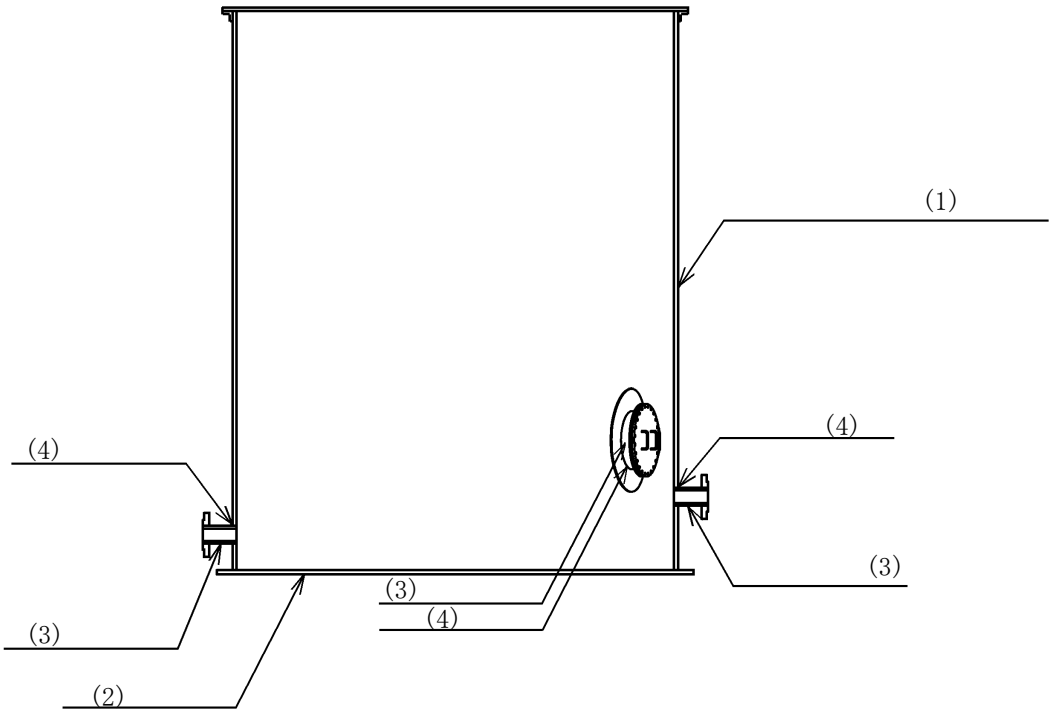
機器名称	評価項目	評価結果	
処理装置供給タンク（SUS316L）	(4)胴（排水出口） (4)胴（予備）	補強に必要な面積（mm^2）	補強に有効な総面積（mm^2）
		6.961×10^{1}	7.577×10^{2}
		大きな穴の補強を要しない最大径（mm）	穴の径（mm）
		1000	1000 以下
		溶接部の負うべき荷重（N）	予想される破断箇所の強さ（N）
		-6.080×10^{4}	—※4
	(4)胴（オーバーフロー）	補強に必要な面積（mm^2）	補強に有効な総面積（mm^2）
		1.019×10^{2}	1.122×10^{3}
		大きな穴の補強を要しない最大径（mm）	穴の径（mm）
		1000	1000 以下
		溶接部の負うべき荷重（N）	予想される破断箇所の強さ（N）
		-8.921×10^{4}	—※4
処理装置供給タンク（SM400C）	(4)胴（排水出口） (4)胴（予備）	補強に必要な面積（mm^2）	補強に有効な総面積（mm^2）
		7.756×10^{1}	7.437×10^{2}
		大きな穴の補強を要しない最大径（mm）	穴の径（mm）
		1000	1000 以下
		溶接部の負うべき荷重（N）	予想される破断箇所の強さ（N）
		-5.341×10^{4}	—※4
	(4)胴（オーバーフロー）	補強に必要な面積（mm^2）	補強に有効な総面積（mm^2）
		1.142×10^{2}	1.084×10^{3}
		大きな穴の補強を要しない最大径（mm）	穴の径（mm）
		1000	1000 以下
		溶接部の負うべき荷重（N）	予想される破断箇所の強さ（N）
		-7.886×10^{4}	—※4

※4　溶接部の負うべき荷重が負であり溶接部の強度計算は不要

2.4　サンプルタンク，RO 濃縮水処理水中継タンク

2.4.1　評価箇所

強度評価箇所を図－８に示す。



図中の番号は，2.4.2，2.4.3 の番号に対応する。

図－８　サンプルタンク，RO 濃縮水処理水中継タンク概要図

2.4.2　評価方法

(1) 胴の厚さの評価

開放タンクの胴に必要な厚さは，次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

ａ．規格上必要な最小厚さ：t_1

炭素鋼鋼板又は低合金鋼鋼板で作られた場合は 3mm，その他の材料で作られた場合は 1.5mm とする。

b．胴の計算上必要な厚さ：t_2

$$t_2=\frac{D_i \cdot H \cdot \rho}{0.204 \cdot S \cdot \eta}$$

t_2： 必要厚さ（mm）
D_i： 胴の内径（m）
H ： 水頭（m）
ρ ： 液体の比重。ただし，1未満の場合は，1とする。
S ： 許容引張応力（MPa）
η ： 継手効率（-）

c．胴の内径に応じた必要厚さ：t_3

胴の内径が5mを超えるものについては,胴の内径の区分に応じ設計･建設規格　表PVC-3920-1より求めた胴の厚さとする。

(2) 底板の厚さの評価

地面，基礎等に直接接触する開放タンクの底板の厚さは，3mm以上であること。

(3) 管台の厚さの評価

管台に必要な厚さは，次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

a．管台の計算上必要な厚さ：t_1

$$t_1=\frac{D_i \cdot H \cdot \rho}{0.204 \cdot S \cdot \eta}$$

t_1： 必要厚さ（mm）
D_i： 管台の内径（m）
H ： 水頭（m）
ρ ： 液体の比重。ただし，1未満の場合は，1とする。
S ： 許容引張応力（MPa）
η ： 継手効率（-）

b．規格上必要な最小厚さ：t_2

管台の外径に応じ設計・建設規格　表PVC-3980-1より求めた管台の厚さとする。

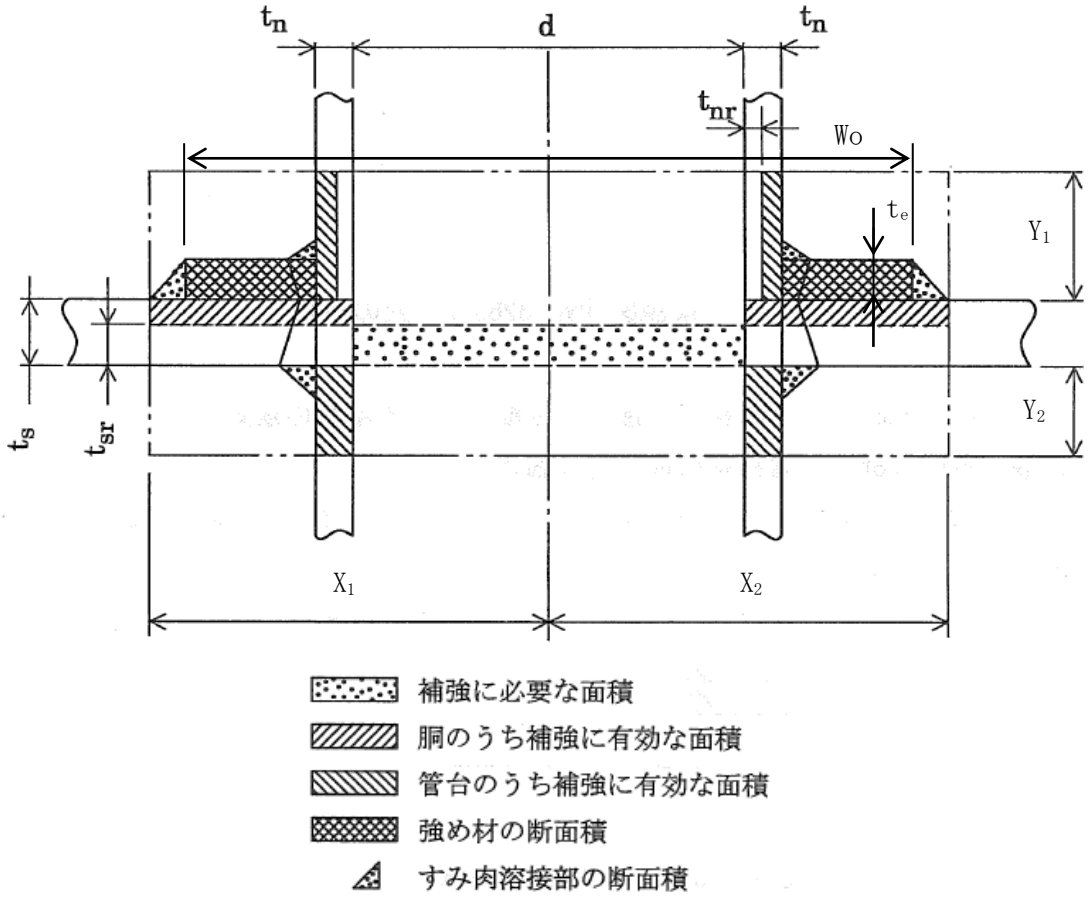
(4) 胴の穴の補強計算

a．補強に有効な範囲内にある補強に有効な面積が，補強に必要な面積より大きくなるようにすること。(図－9参照)

b．大きい穴の補強を要しない最大径

内径が1500mm以下の胴に設ける穴の径が胴の内径の2分の1（500mmを超える場合は，500mm）以下および内径が1500mmを超える胴に設ける穴の径が胴の内径の3分の1（1000mmを超える場合は，1000mm）以下の場合は，大きい穴の補強計算は必要ない。

ｃ．溶接部の強度として，予想される破断箇所の強さが，溶接部の負うべき荷重以上であること。（図－９参照）



d　：胴の断面に現れる穴の径（mm）	X_1，X_2，Y_1，Y_2：補強の有効範囲（mm）
t_s：胴板の厚さ（mm）	W_o：強め材の外径（mm）
t_{sr}：胴板の計算上必要な厚さ（mm）	t_e：強め材の厚さ（mm）
t_n：管台の厚さ（mm）	A_r：補強に必要な面積（mm^2）
t_{nr}：管台の計算上必要な厚さ（mm）	A_0：補強に有効な総面積（mm^2）

図－９　補強計算概念図

2.4.3　評価結果

評価結果を表－９，10 に示す。必要厚さ等を満足しており，十分な構造強度を有すると評価している。

表－９　サンプルタンク，RO 濃縮水処理水中継タンクの評価結果（板厚）

機器名称	評価項目	必要厚さ（mm）	最小厚さ（mm）
サンプルタンク	(1)胴板の厚さ	11.7	12.0
	(2)底板の厚さ	3.00	11.2
	(3)管台の厚さ（100A）	3.50	5.25
	(3)管台の厚さ（200A）	3.50	7.18
	(3)管台の厚さ（マンホール）	3.50	11.2
RO 濃縮水処理水中継タンク	(1)胴板の厚さ	11.7	12.0
	(2)底板の厚さ	3.00	11.2
	(3)管台の厚さ（100A）	3.50	5.25
	(3)管台の厚さ（200A）	3.50	7.18
	(3)管台の厚さ（マンホール）	3.50	11.2

表－10　サンプルタンク，RO 濃縮水処理水中継タンクの評価結果（胴の穴の補強計算）

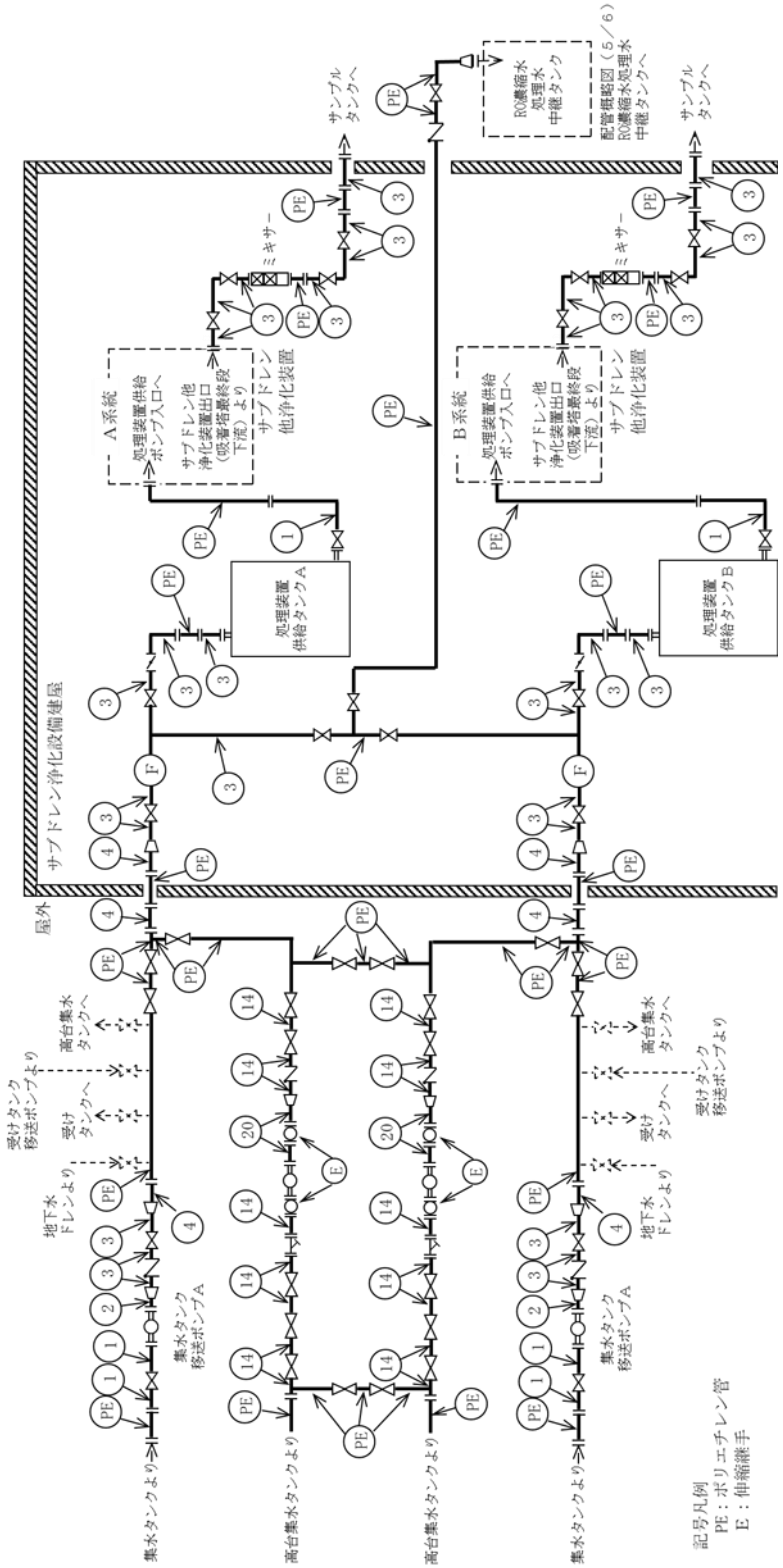
機器名称	評価項目	評価結果	
サンプルタンク	(4)胴（100A 管台）	補強に必要な面積（mm^2）	補強に有効な総面積（mm^2）
		7.318×10^{2}	1.6222×10^{3}
		大きな穴の補強を要しない最大径（mm）	穴の径（mm）
		1000	1000 以下
		溶接部の負うべき荷重（N）	予想される破断箇所の強さ（N）
		3.5520×10^{4}	1.05278×10^{5}
	(4)胴（200A 管台）	補強に必要な面積（mm^2）	補強に有効な総面積（mm^2）
		1.4204×10^{3}	3.1414×10^{3}
		大きな穴の補強を要しない最大径（mm）	穴の径（mm）
		1000	1000 以下
		溶接部の負うべき荷重（N）	予想される破断箇所の強さ（N）
		6.1220×10^{4}	2.88899×10^{5}
	(4)胴（マンホール）	補強に必要な面積（mm^2）	補強に有効な総面積（mm^2）
		4.466×10^{3}	7.6348×10^{3}
		大きな穴の補強を要しない最大径（mm）	穴の径（mm）
		1000	1000 以下
		溶接部の負うべき荷重（N）	予想される破断箇所の強さ（N）
		1.6324×10^{5}	1.160164×10^{6}

機器名称	評価項目	評価結果	
RO 濃縮水処理水中継タンク	(4)胴（100A 管台）	補強に必要な面積（mm^2）	補強に有効な総面積（mm^2）
		7.318×10^{2}	1.6222×10^{3}
		大きな穴の補強を要しない最大径（mm）	穴の径（mm）
		1000	1000 以下
		溶接部の負うべき荷重（N）	予想される破断箇所の強さ（N）
		3.5520×10^{4}	1.05278×10^{5}
	(4)胴（200A 管台）	補強に必要な面積（mm^2）	補強に有効な総面積（mm^2）
		1.4204×10^{3}	3.1414×10^{3}
		大きな穴の補強を要しない最大径（mm）	穴の径（mm）
		1000	1000 以下
		溶接部の負うべき荷重（N）	予想される破断箇所の強さ（N）
		6.1220×10^{4}	2.88899×10^{5}
	(4)胴（マンホール）	補強に必要な面積（mm^2）	補強に有効な総面積（mm^2）
		4.466×10^{3}	7.6348×10^{3}
		大きな穴の補強を要しない最大径（mm）	穴の径（mm）
		1000	1000 以下
		溶接部の負うべき荷重（N）	予想される破断箇所の強さ（N）
		1.6324×10^{5}	1.160164×10^{6}

2.5　主配管

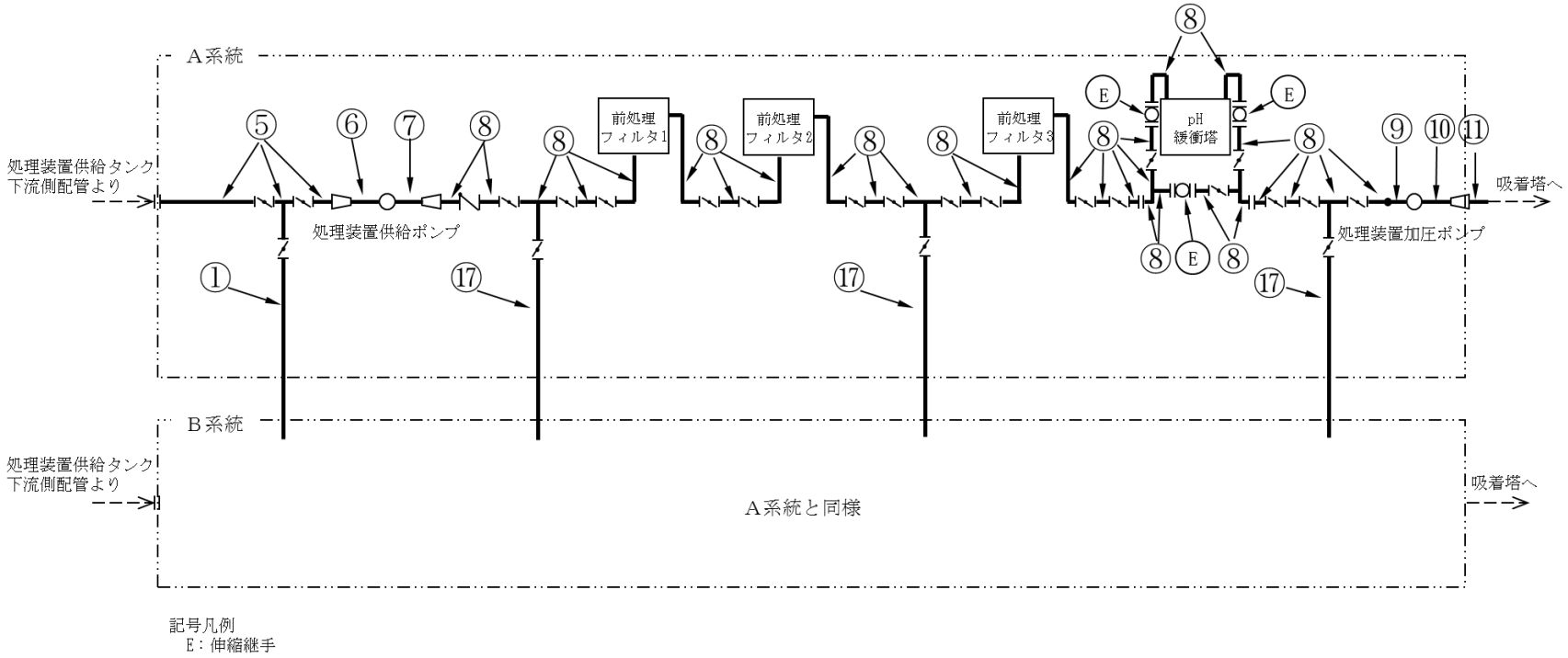
2.5.1　評価箇所

強度評価箇所を図－１０に示す。



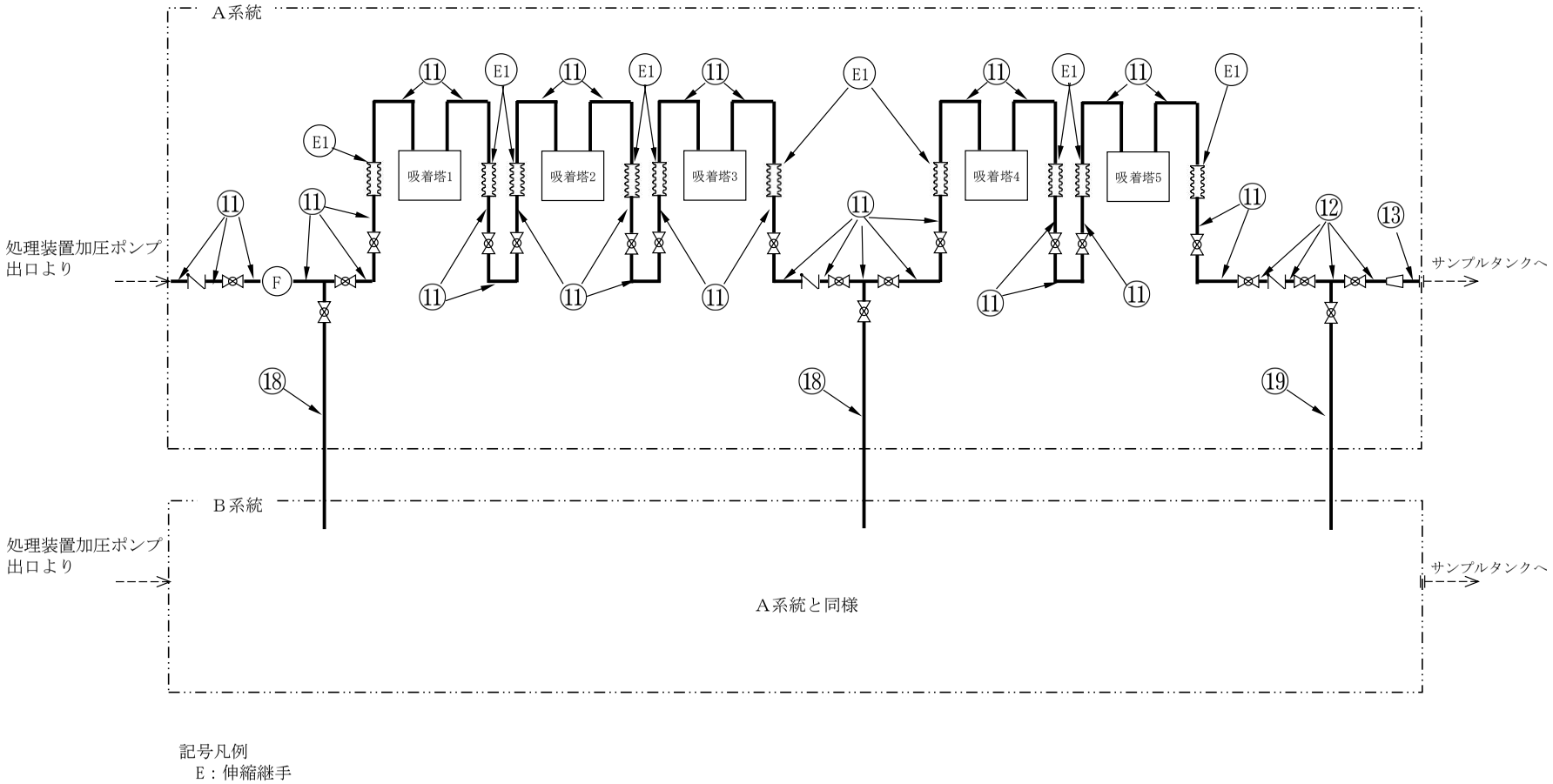
図－１０　配管概略図（１／６）

図中の番号は，2.5.3 の番号に対応する。



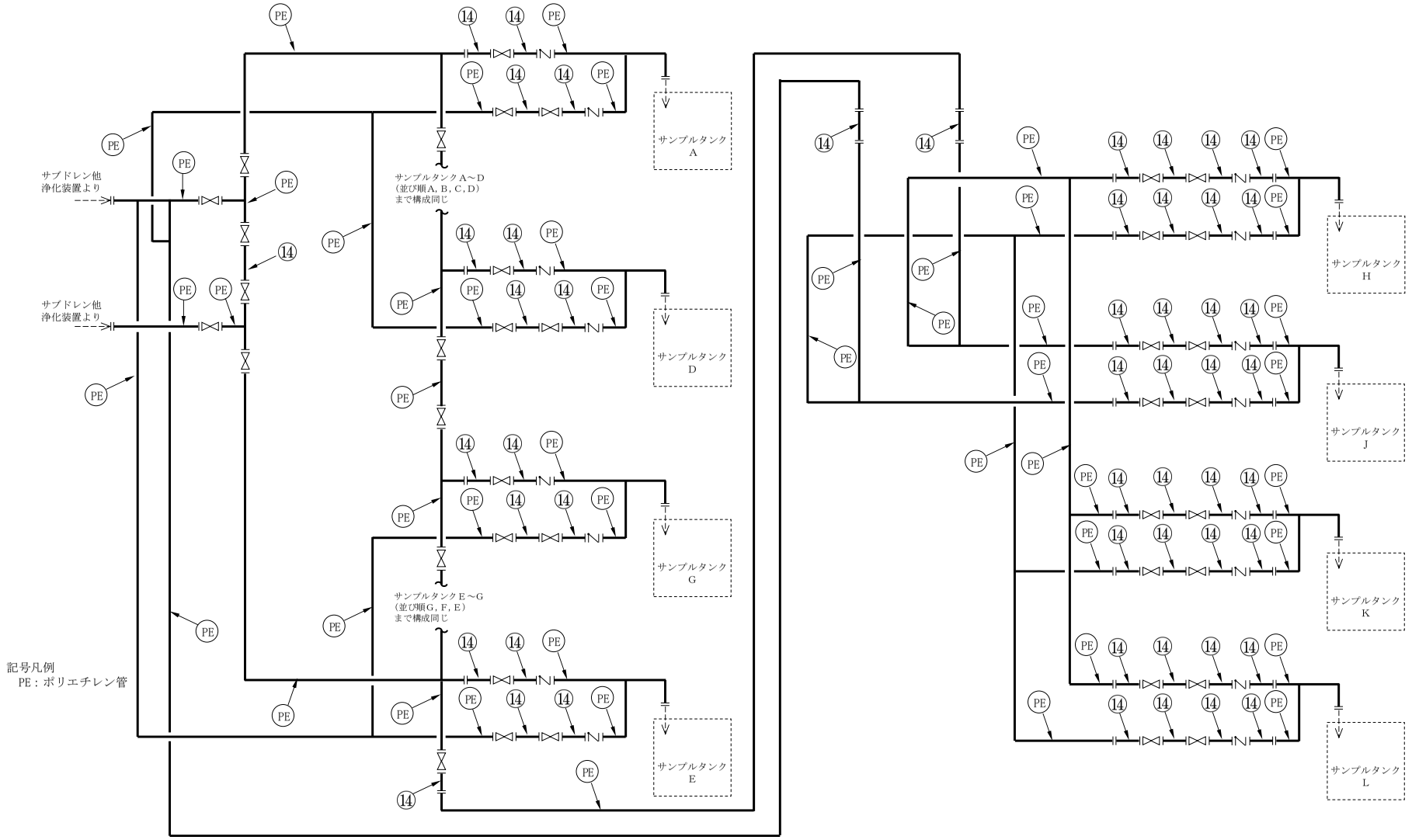
図中の番号は，2.5.3 の番号に対応する。

図－１０　配管概略図（２/６）



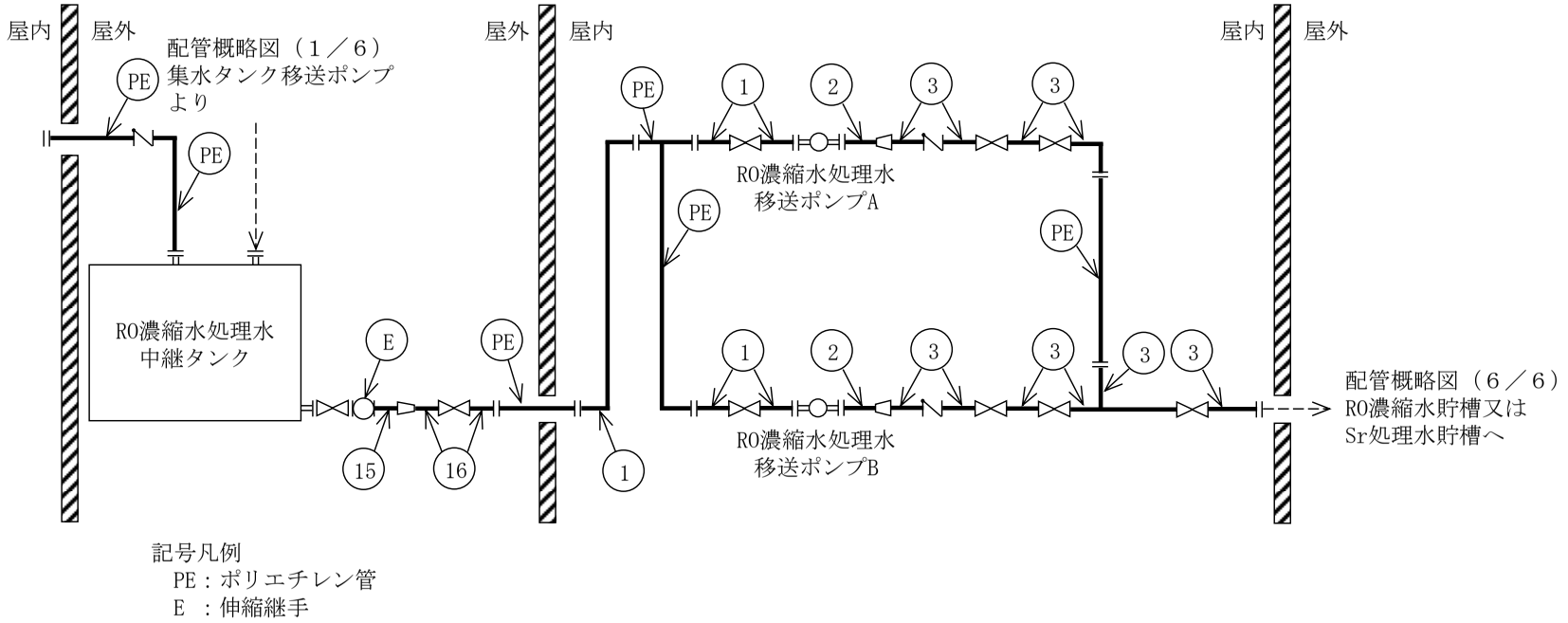
図中の番号は，2.5.3 の番号に対応する。

図－１０　配管概略図（３/６）



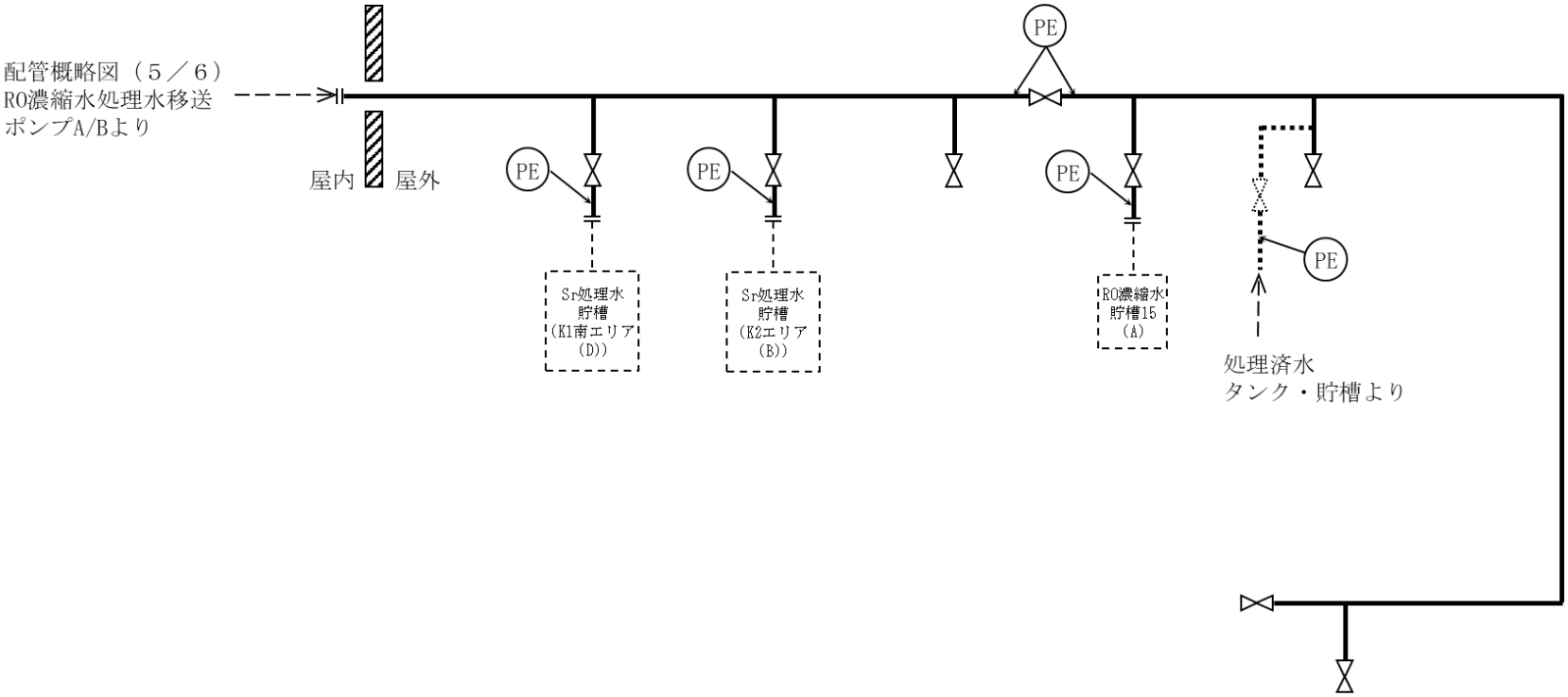
図中の番号は，2.5.3 の番号に対応する。

図－１０　配管概略図（４/６）



図中の番号は，2.5.3 の番号に対応する。

図－１０　配管概略図（５/６）



記号凡例
PE：ポリエチレン管

図－１０　配管概略図（６/６）

2.5.2　評価方法

(1) 管の厚さの評価

管の必要な厚さは，次に掲げる値のいずれか大きい方の値とする。

ａ．内面に圧力を受ける管

$$t = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$$

t ： 必要厚さ（mm）

P ： 最高使用圧力（MPa）

D_0：管の外径（mm）

S ：許容引張応力（MPa）

η ：継手効率（-）

ｂ．炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小必要厚さ：t_t

設計・建設規格　PPD-3411(3)の表 PPD-3411-1 より求めた値

(2) 伸縮継手における疲労評価

伸縮継手については，次の計算式により計算した許容繰り返し回数が，実際の繰り返し回数以上のものとする。

$$N = \left(\frac{11031}{\sigma}\right)^{3.5}$$

N ： 許容繰返し回数

σ ：継手部応力（MPa）

ここで，継手部応力は，調整リングが付いていない場合の以下の式により計算した値とする。

$$\sigma = \frac{1.5 \cdot E \cdot t \cdot \delta}{n \cdot \sqrt{b \cdot h^3}} + \frac{P \cdot h^2}{2 \cdot t^2 \cdot c}$$

E ： 材料の縦弾性係数（MPa）

t ： 継手部の板の厚さ（mm）

δ ：全伸縮量（mm）

n：継手部の波数の 2 倍の値

b：継手部の波のピッチの 2 分の 1（mm）

h：継手部の波の高さ（mm）

P ： 最高使用圧力（MPa）

c：継手部の層数

2.5.3　評価結果

評価結果を表－11，12 に示す。必要厚さ等を満足しており，十分な構造強度を有していると評価している。

表－11　配管の評価結果（管厚）

No.	外径 (mm)	材料	最高使用 圧力（MPa）	最高使用 温度（℃）	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
①	114.30	STPT410	静水頭	40	－	5.25
②	60.50	STPT410	0.98	40	2.40	4.81
③	114.30	STPT410	0.98	40	3.40	5.25
④	165.20	STPT410	0.98	40	3.80	6.21
⑤	114.30	UNS S32750 (ASME SA 790)	静水頭	40	－	2.67
⑥	88.90	UNS S32750 (ASME SA 790)	静水頭	40	－	4.80
⑦	60.33	UNS S32750 (ASME SA 790)	1.03	40	0.14	3.42
⑧	88.90	UNS S32750 (ASME SA 790)	1.03	40	0.20	2.67
⑨	88.90	UNS S32750 (ASME SA 790)	1.03	40	0.20	4.80
⑩	60.33	UNS S32750 (ASME SA 790)	1.55	40	0.21	3.42
⑪	88.90	UNS S32750 (ASME SA 790)	1.55	40	0.31	2.67
⑫	88.90	UNS S32750 (ASME SA 790)	0.98	40	0.19	2.67
⑬	114.30	UNS S32750 (ASME SA 790)	0.98	40	0.25	2.67
⑭	114.30	STPG370	0.98	40	3.40	5.25
⑮	216.30	STPG370	静水頭	40	－	7.18
⑯	114.30	STPT370	静水頭	40	－	5.25
⑰	89.10	STPT410	1.03	40	3.00	4.81
⑱	89.10	STPT410	1.55	40	3.00	4.81
⑲	89.10	STPT410	0.98	40	3.00	4.81
⑳	76.3	STPG370	0.98	40	2.70	4.55

表－12　伸縮継手の評価結果（管厚）

No.	材料	最高使用 圧力（MPa）	最高使用 温度（℃）	許容繰り 返し回数（回）	実際の繰り 返し回数（回）
E1	UNS N04400 (ASME SB 127 / ASTM B 127)	1.55	40	6.3×10^{3}	0.1×10^{3}

添付資料－６

サブドレン他移送設備の強度に関する説明書

1.　強度評価の方針

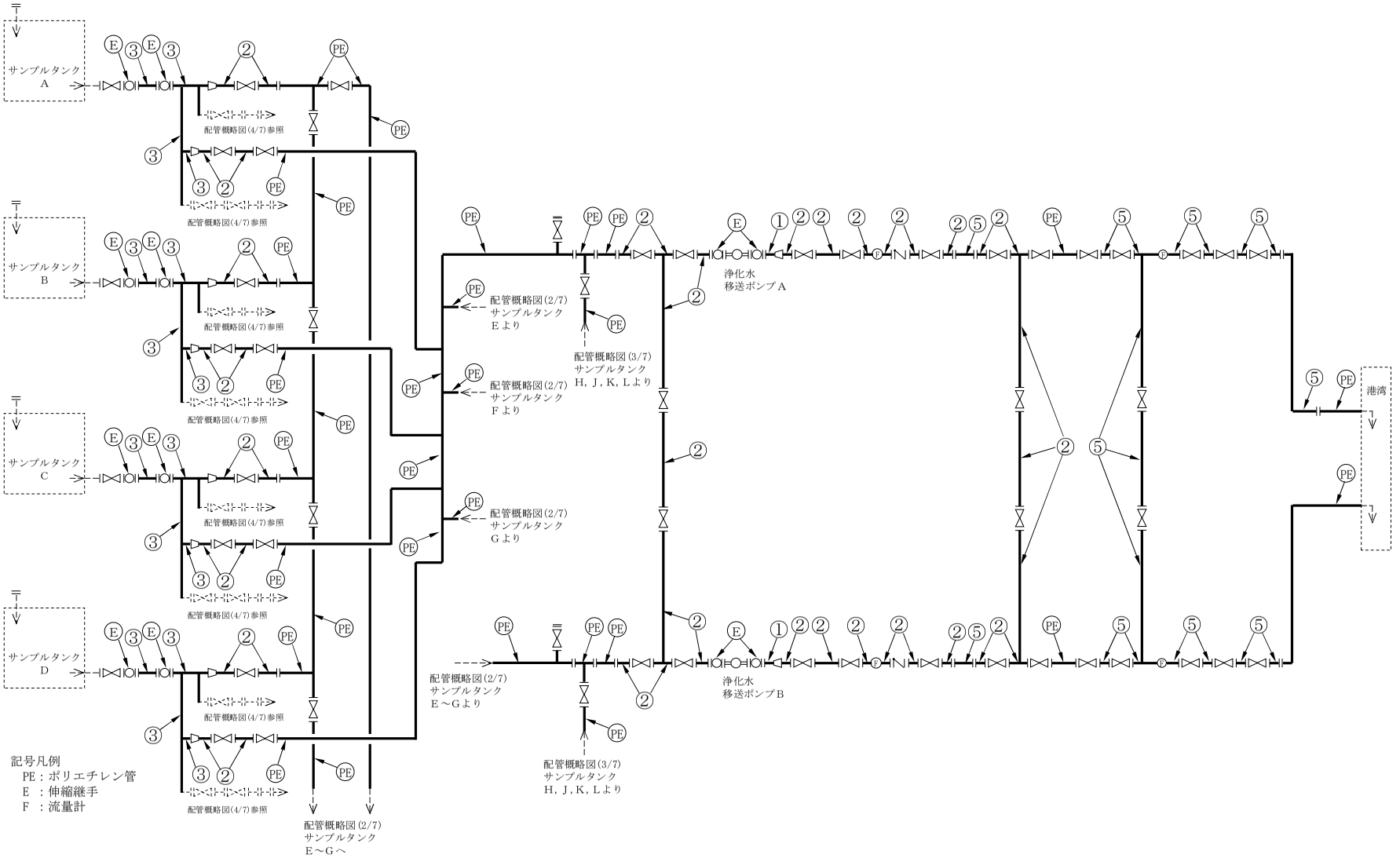
サブドレン他移送設備を構成する主配管（鋼管）は，強度評価においては，「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格　設計・建設規格」（以下，「設計・建設規格」という。）のクラス３配管に準じた評価を行う。

2.　強度評価

2.1　主配管

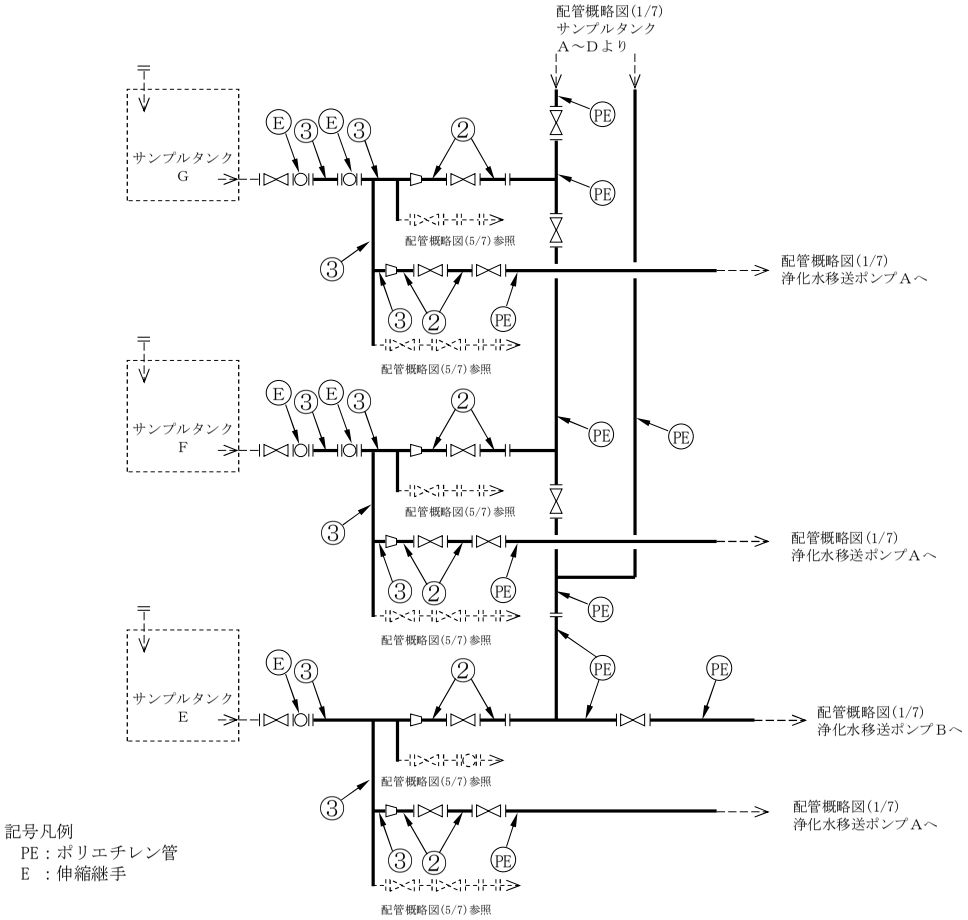
2.1.1　評価箇所

強度評価箇所を図－１に示す。



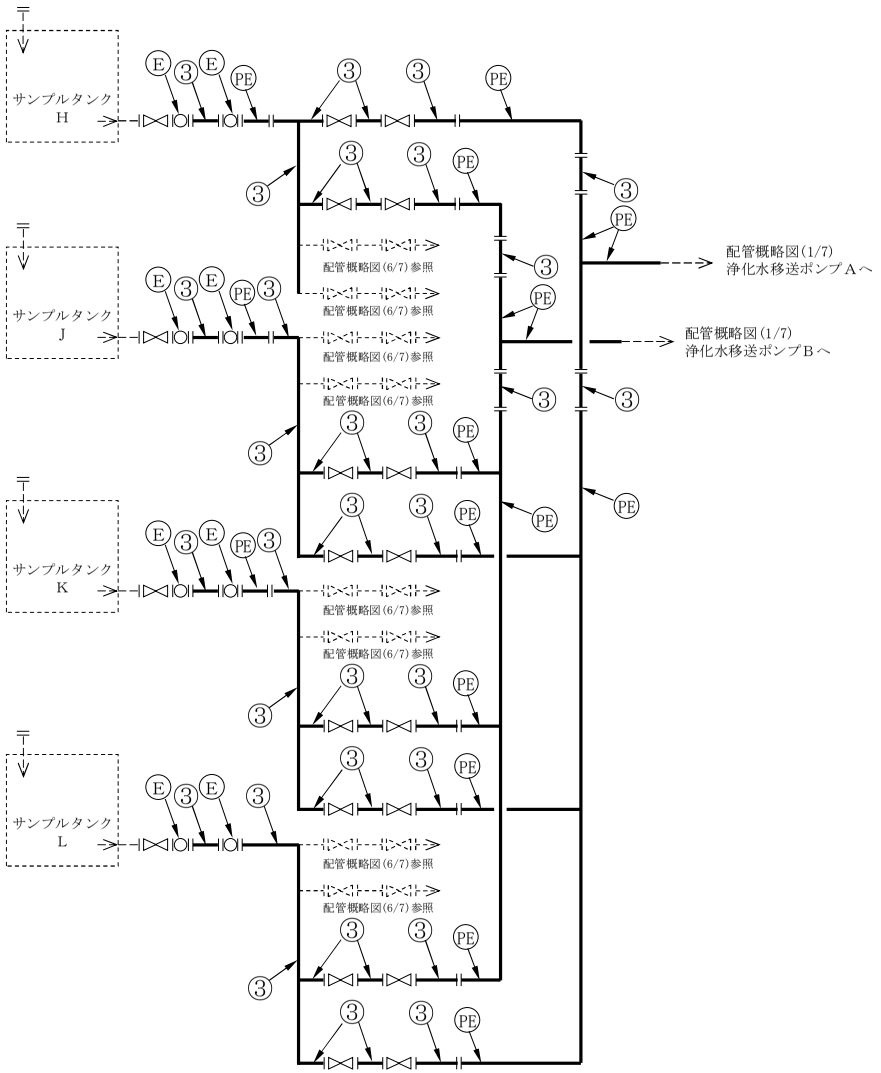
図中の番号は，2.1.3の番号に対応する。

図－１　配管概略図（１/７）



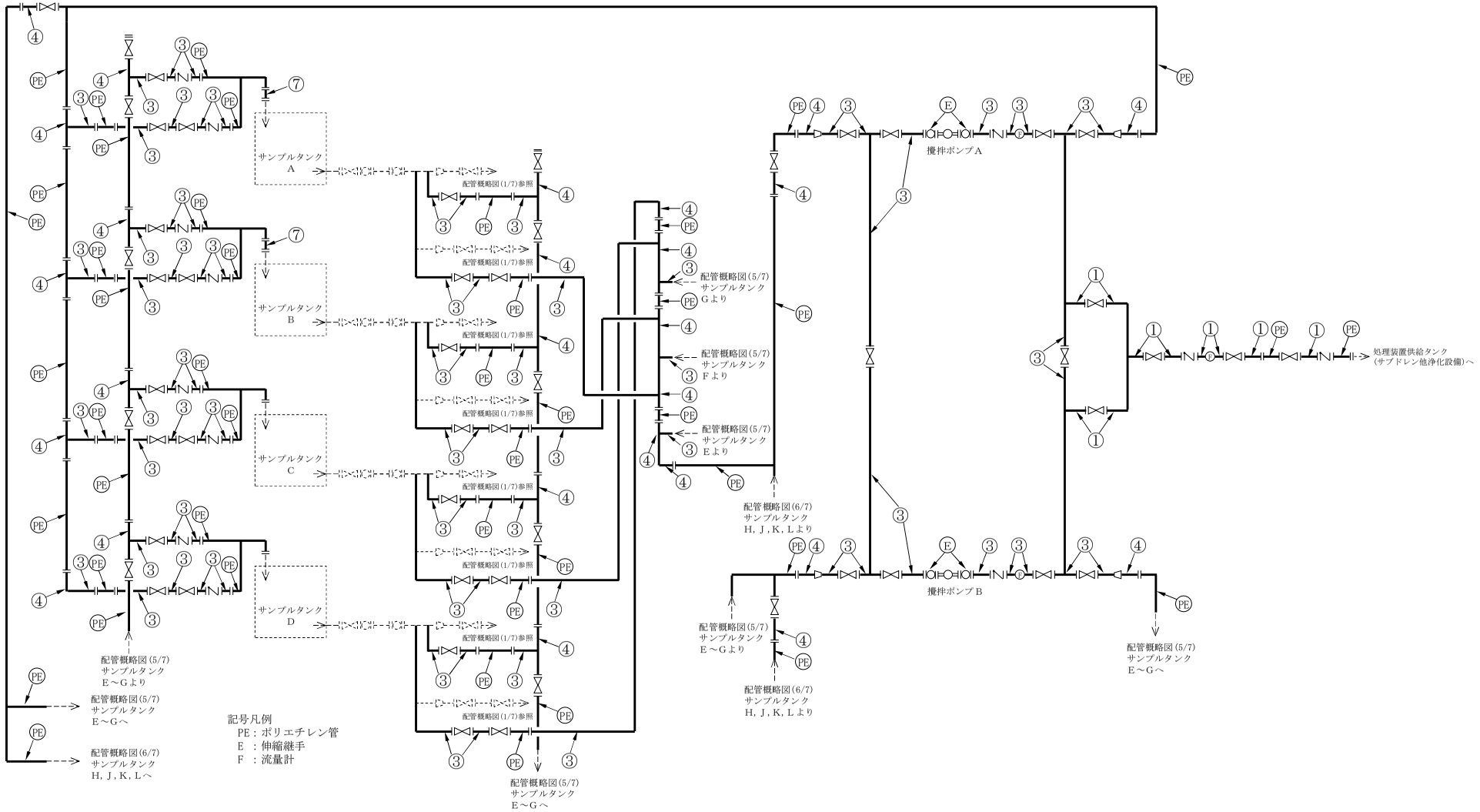
図中の番号は，2.1.3 の番号に対応する。

図－１　配管概略図（２/７）



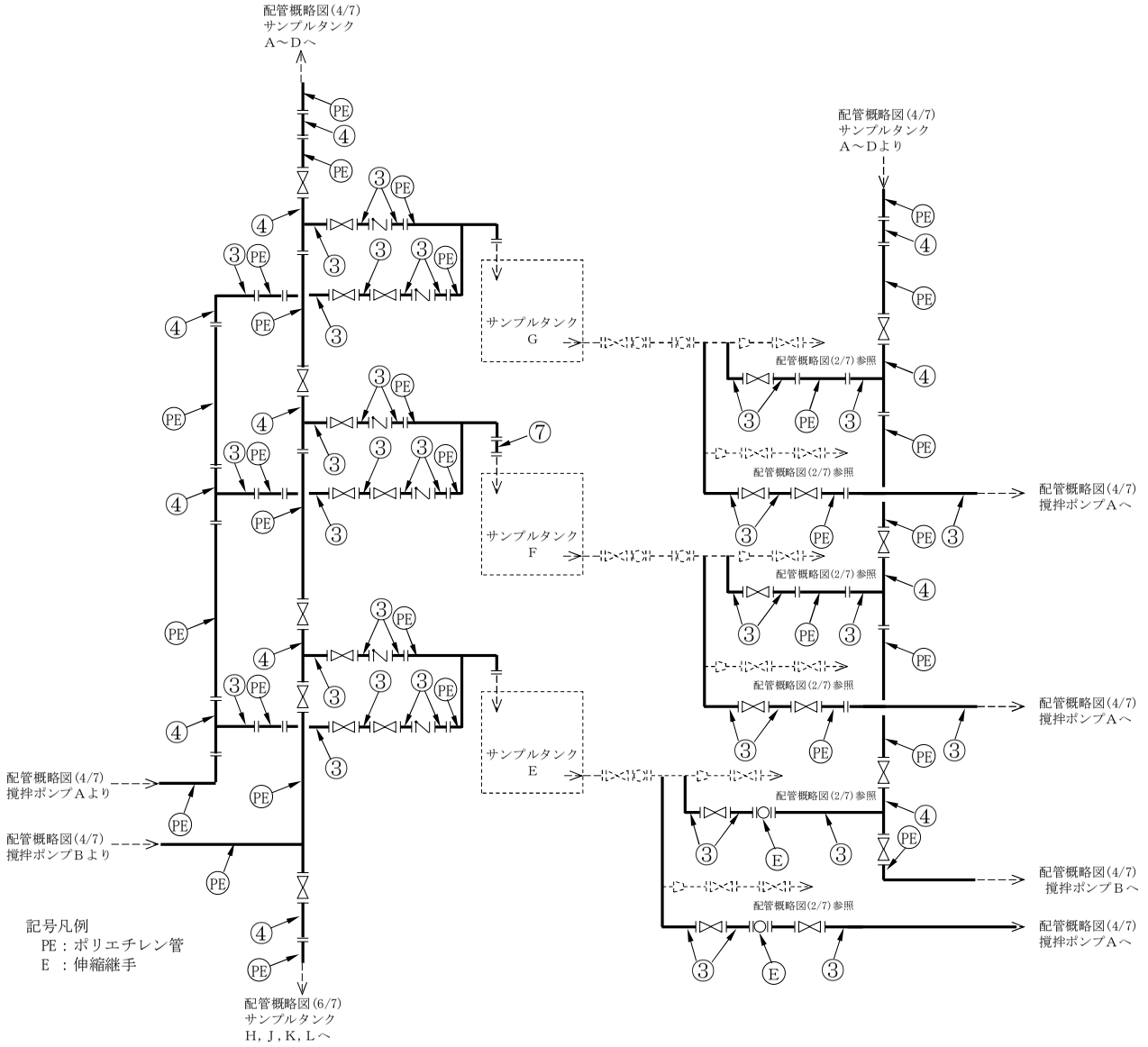
図中の番号は，2.1.3 の番号に対応する。

図－１　配管概略図（３/７）



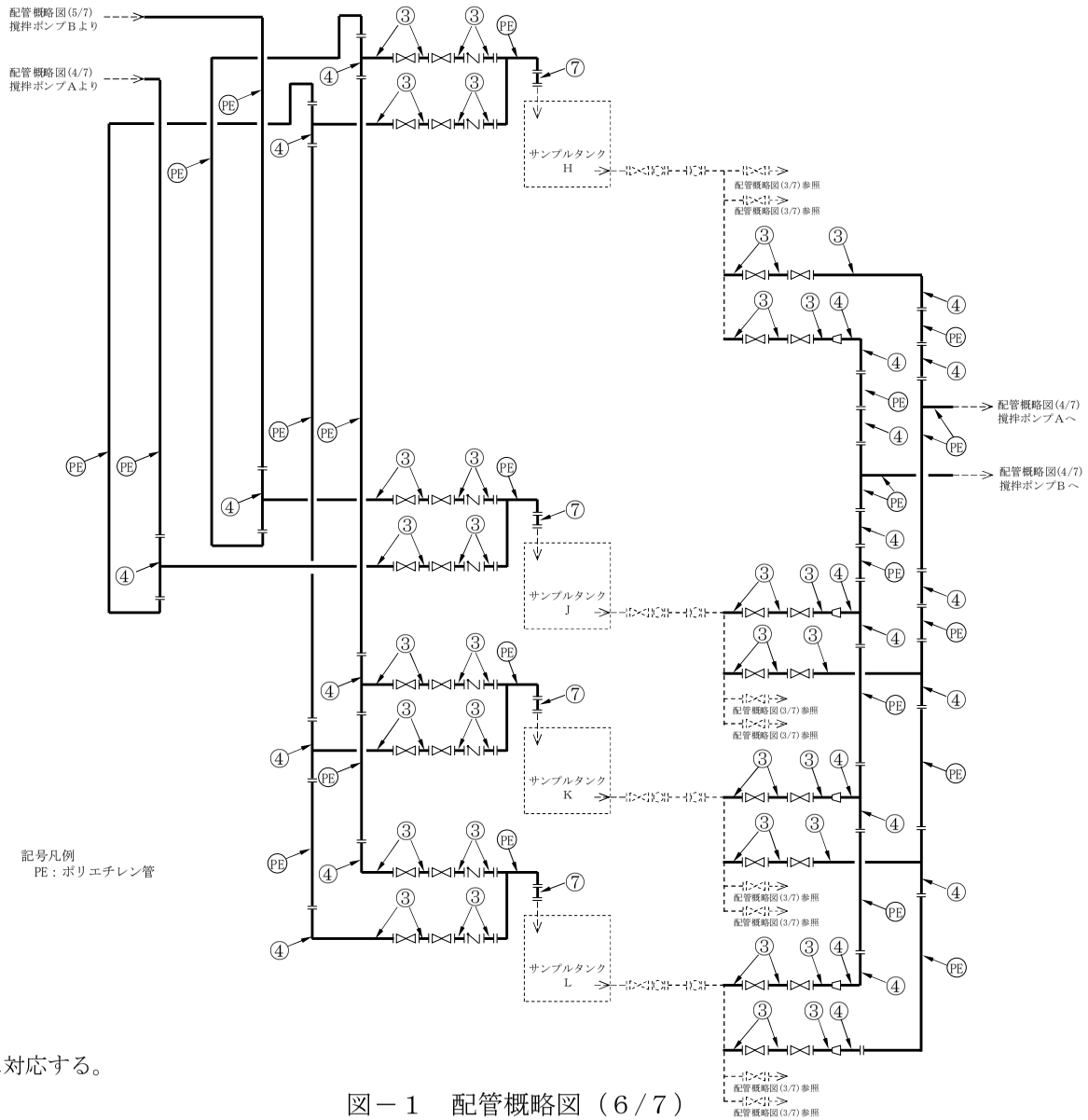
図中の番号は，2.1.3 の番号に対応する。

図－１　配管概略図（４／７）



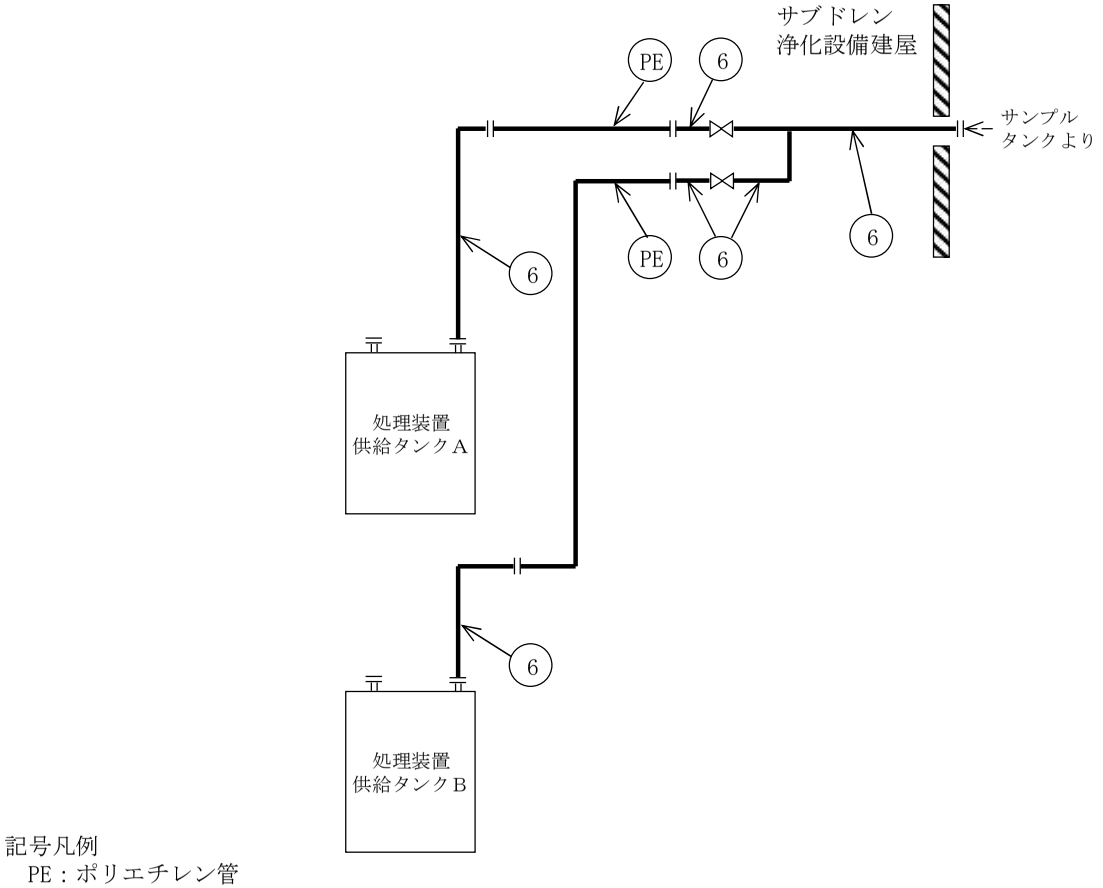
図中の番号は，2.1.3 の番号に対応する。

図－１　配管概略図（５/７）



図－１　配管概略図（６/７）

図中の番号は，2.1.3 の番号に対応する。



図中の番号は，2.1.3 の番号に対応する。

図－１　配管概略図（７/７）

2.1.2　評価方法

(1) 管の厚さの評価

管の必要な厚さは，次に掲げる値のいずれか大きい方の値とする。

ａ．内面に圧力を受ける管

$$t = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$$

t ： 必要厚さ（mm）

P ： 最高使用圧力（MPa）

D_0：管の外径（mm）

S ：許容引張応力（MPa）

η ：継手効率（-）

ｂ．炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小必要厚さ：t_t

設計・建設規格　PPD-3411(3)の表 PPD-3411-1 より求めた値

2.1.3　評価結果 1

評価結果を表－１に示す。必要厚さ等を満足しており，十分な構造強度を有していると評価している。

表－１　配管の評価結果（管厚）

No.	外径 (mm)	材料	最高使用圧力（MPa）	最高使用温度（℃）	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
①	114.3	STPG370	0.98	40	3.4	5.25
②	165.2	STPG370	0.98	40	3.8	6.21
③	216.3	STPG370	0.98	40	3.8	7.17
④	267.4	STPG370	0.98	40	3.8	8.13
⑤	165.2	SUS316LTP	0.98	40	0.73	6.21
⑥	114.3	STPT410	0.98	40	3.4	5.25
⑦	216.3	SUS316LTP	0.49	40	0.48	7.17

※配管仕様毎に最も高い圧力にて評価

地下水ドレン集水設備の強度に関する説明書

1.　強度評価の方針

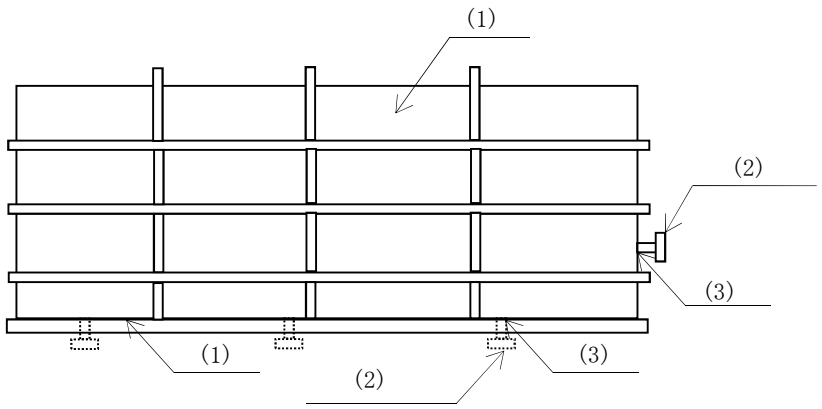
強度評価においては，地下水ドレン中継タンクは JIS 等に準じた評価を行う。主配管（鋼管）は「JSME S NC－1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格」（以下，「設計・建設規格」という。）のクラス３配管に，準じた評価を行う。

2.　強度評価

2.1　地下水ドレン中継タンク

2.1.1　評価箇所

強度評価箇所を図－１に示す。



図中の番号は，2.1.2 の番号に対応する。

図－１　地下水ドレン中継タンク概要図

2.1.2　評価方法

(1) 側板，底板の評価

地下水ドレン中継タンクの側板，底板の必要厚さは，それぞれ次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

ａ．規格上必要な最小厚さ

側板，底板の最小厚さは，それぞれ 4.5mm，6.0mm とする。

ｂ．計算上必要な厚さ：ｔ

$$t = d \left(\beta \cdot P / fb \cdot \eta \right)^{1/2} + c$$

$$\delta = \alpha \cdot P \cdot d^4 / E \cdot \left(T - c \right)^3 \leqq d / 300$$

ここに，　ｔ：最小必要厚さ（mm）

β：ｄ/Ｄに対する応力係数

ｄ：短辺の長さ（mm）
Ｄ：長辺の長さ（mm）
Ｐ：作用する荷重（MPa）
fb：許容曲げ応力（N/mm^2）
η：溶接継手効率
ｃ：腐れ代（mm）
δ：最大たわみ量（mm）
α：ｄ/Ｄに対するたわみ係数
Ｅ：縦弾性係数（N/mm^2）
Ｔ：使用板厚（mm）

(2) 管台の厚さの評価

管台に必要な厚さは，次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

ａ．規格上必要な最小厚さ

管台の外径に応じ，「JIS B 8501 鋼製石油貯槽の構造（全溶接製）」に規定された値とする。

ｂ．計算上必要な厚さ：ｔ

$$t = Di \times H \times \rho / (0.204 \times S \times \eta) \times 1000 + c$$

ここに，　ｔ：必要厚さ（mm）
Di：管台の内径（ｍ）
Ｈ：水頭（ｍ）
ρ：液体の比重
Ｓ：許容引張応力（MPa）
η：継手効率
ｃ：腐れ代（mm）

(3) 管台の穴の補強計算

管台取付部の穴の補強について，補強に有効な範囲内にある有効面積が，補強に必要な面積より大きくなるようにする。

$$Ar = Dp \times ta$$
$$At = A1 + A2 + A3 + A4 + A5$$

ここに，　Ar：補強に必要な面積（mm^2）
Dp：取付部板の開口径（mm）
ta：腐れ代を差引いた取付部板の板厚（mm）
At：補強に有効な面積の合計（mm^2）
A1：強め材の有効面積（$= 2 \times (Dp - Dr / 2) \times tr$）（$mm^2$）
A2：管台（外側）の有効面積（$= 2 \times (4 \times tn) \times tn$）（$mm^2$）

A3：管台（板部）の有効面積（＝ 2 × t × tn）（mm^2）
A4：管台（内側）の有効面積（＝ 2 ×（ 4 × tn ）× tn）（mm^2）
A5：側板腐食代分の有効面積（＝ 2 ×（ Dp / 2 ）× ts）（mm^2）
Dr：強め材の開口径（mm）
tr：強め材の実際の板厚（mm）
tn：管台の採用板厚（mm）
t ：取付部板の実際の板厚（mm）
ts：取付部板の腐れ代（mm）

2.1.3 評価結果

評価結果を表－１，２に示す。必要厚さ等を満足しており，十分な構造強度を有すると評価している。

表－１ 地下水ドレン中継タンクの評価結果（板厚）

機器名称	評価項目	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
地下水ドレン中継タンク	側板の厚さ	4.5	4.5 以上
	底板の厚さ	6.0	6.0 以上
	管台の厚さ （流出管，ドレン管：50A）	5.5	5.5 以上

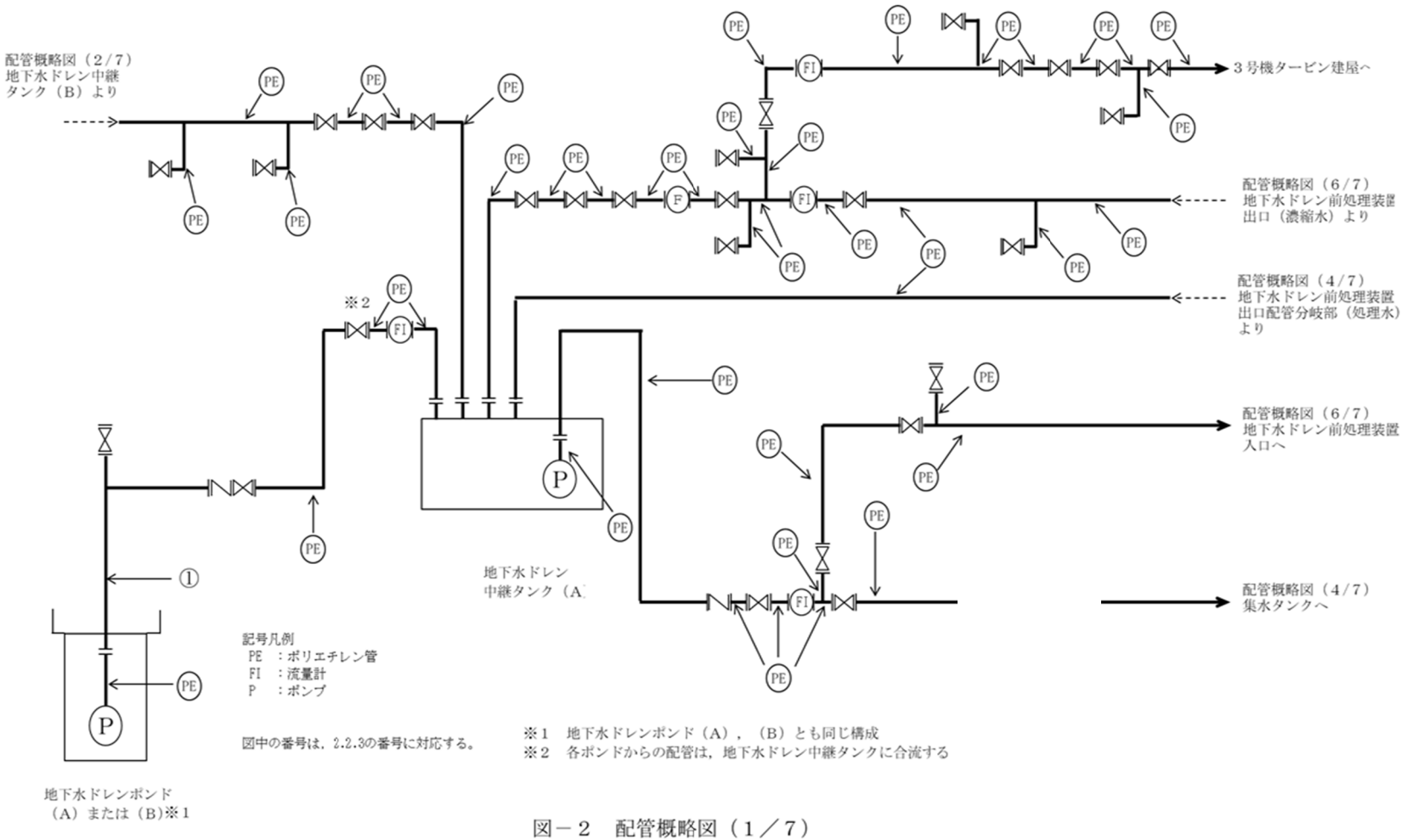
表－２ 地下水ドレン中継タンクの評価結果（管台の穴の補強計算）

機器名称	評価項目	評価結果	
		補強に必要な面積（mm^2）	補強に有効な総面積（mm^2）
地下水ドレン中継タンク	流出管：50A	320	372
	ドレン管:50A	512	981

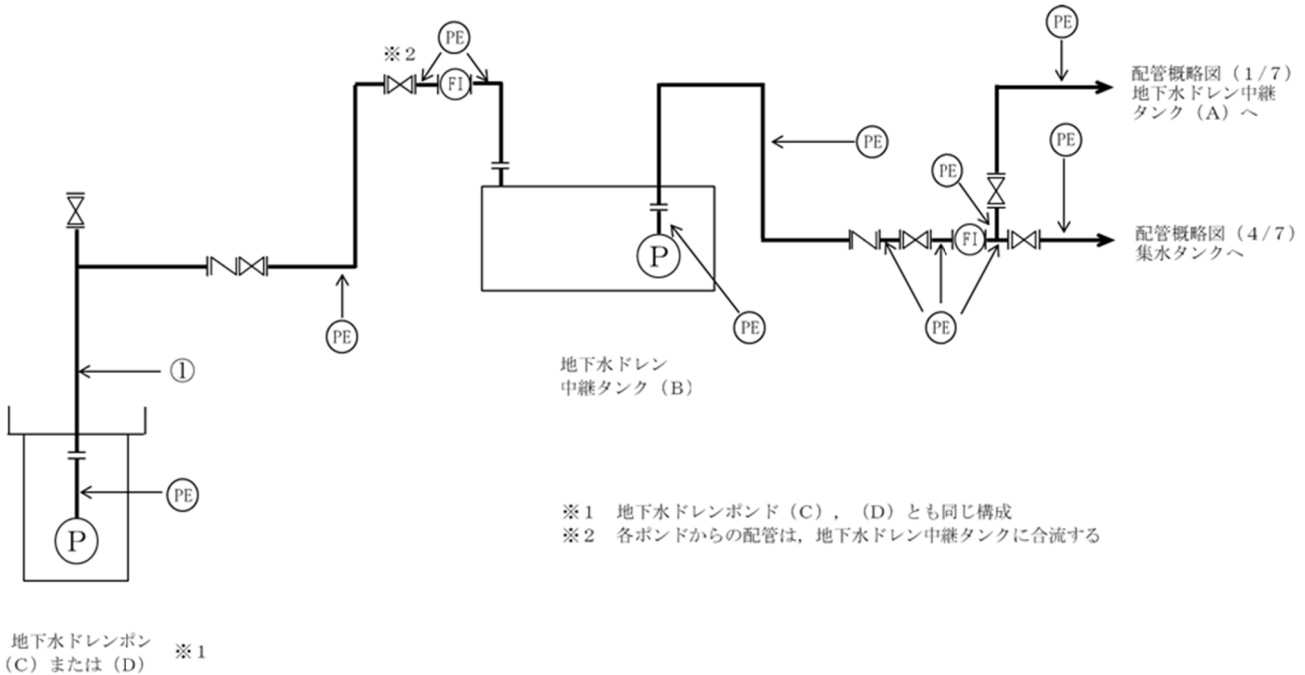
2.2 主配管

2.2.1 評価箇所

強度評価箇所を図－２に示す。


配管概略図（2/7）
地下水ドレン中継
タンク（B）より
PE
FI
F
P
①
※2
3号機タービン建屋へ
配管概略図（6/7）
地下水ドレン前処理装置
出口（濃縮水）より
配管概略図（4/7）
地下水ドレン前処理装置
出口配管分岐部（処理水）
より
配管概略図（6/7）
地下水ドレン前処理装置
入口へ
配管概略図（4/7）
集水タンクへ
地下水ドレン
中継タンク（A）
地下水ドレンポンド
（A）または（B）※1
記号凡例
PE ：ポリエチレン管
FI ：流量計
P ：ポンプ
図中の番号は，2.2.3の番号に対応する。
※1 地下水ドレンポンド（A），（B）とも同じ構成
※2 各ポンドからの配管は，地下水ドレン中継タンクに合流する

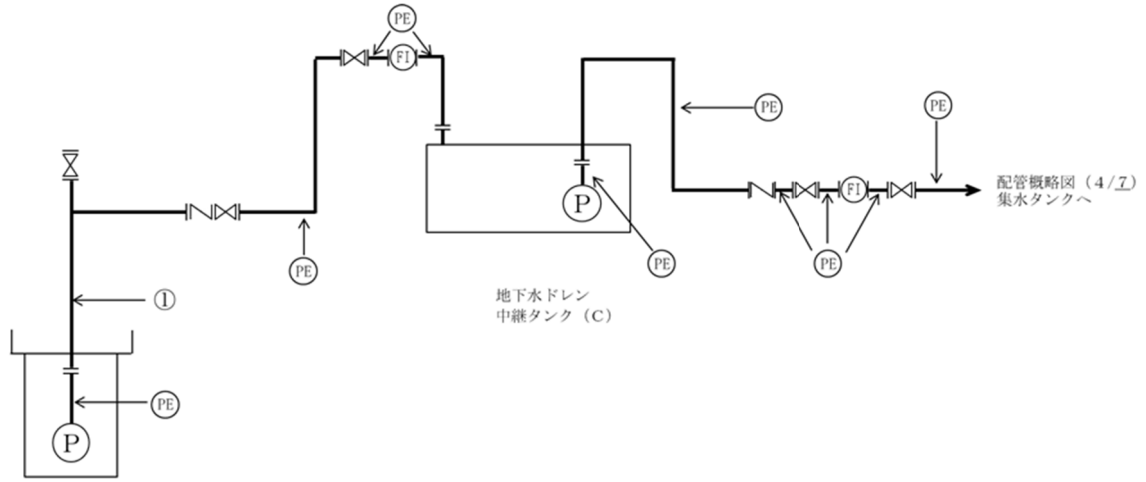
図－2　配管概略図（1／7）



記号凡例
PE　：ポリエチレン管
FI　：流量計
P　：ポンプ

図中の番号は，2.2.3の番号に対応する。

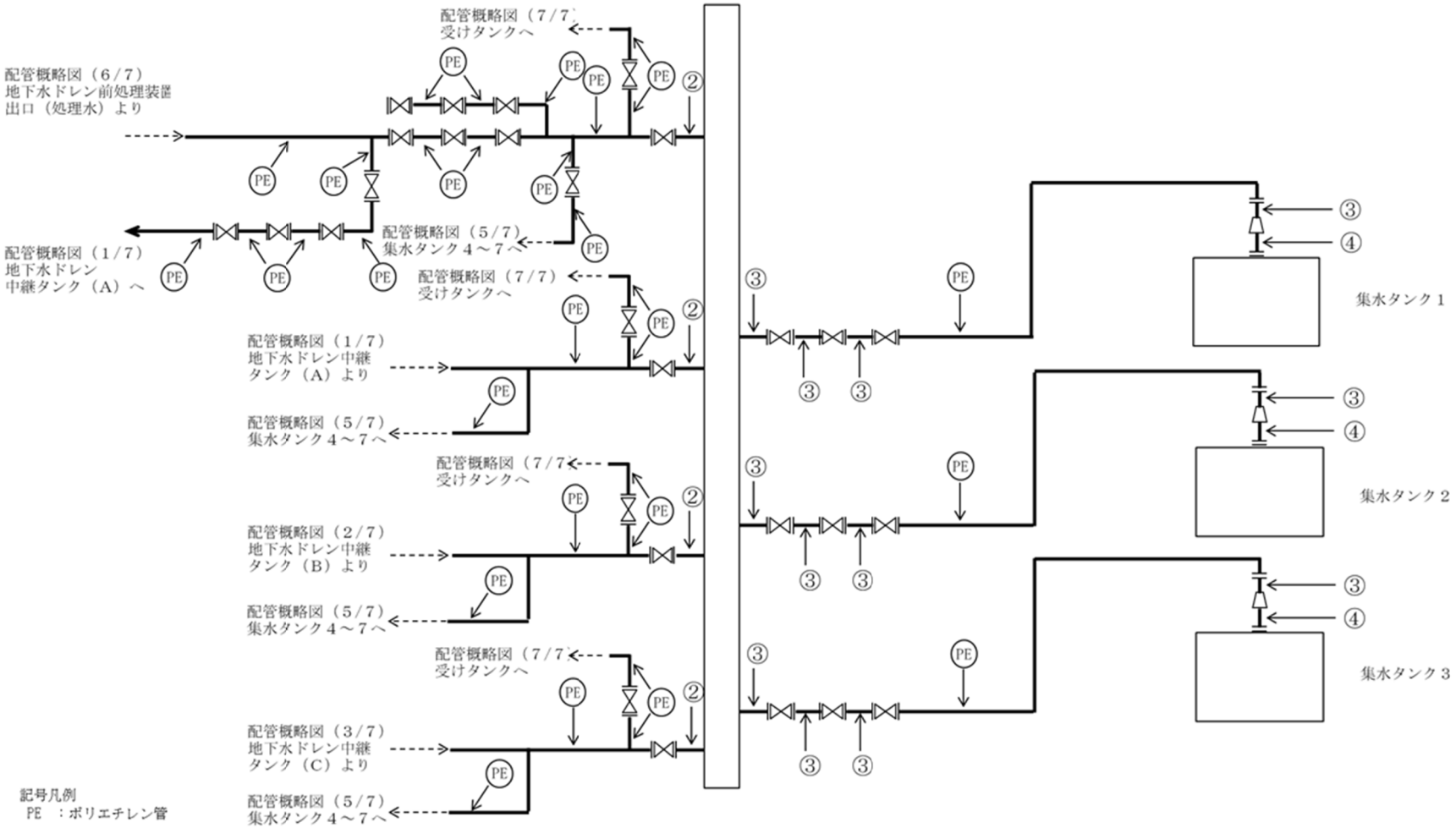
図－２　配管概略図（２／７）



記号凡例
PE　：ポリエチレン管
FI　：流量計
P　：ポンプ

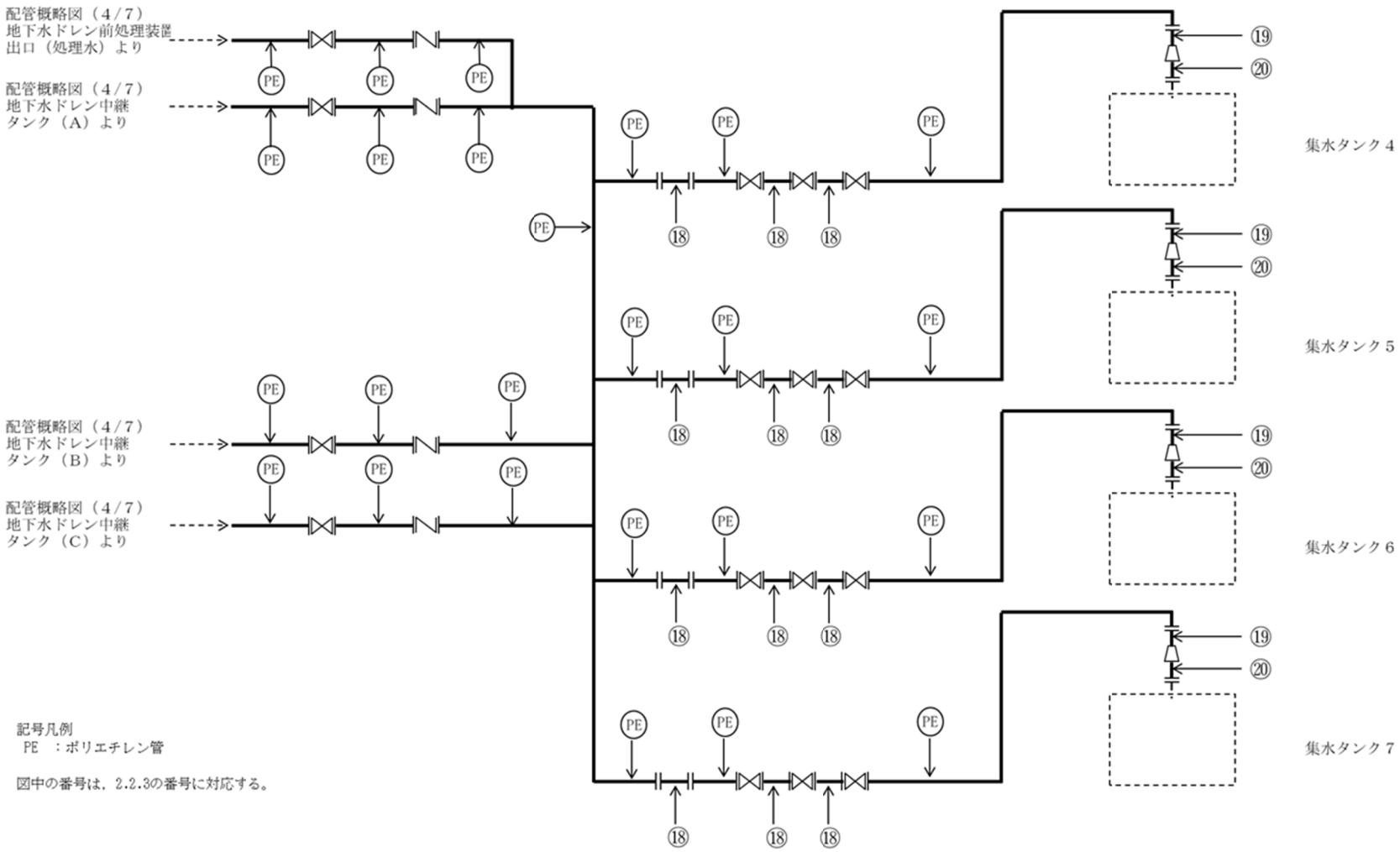
図中の番号は，2.2.3の番号に対応する。

図－２　配管概略図（３／７）

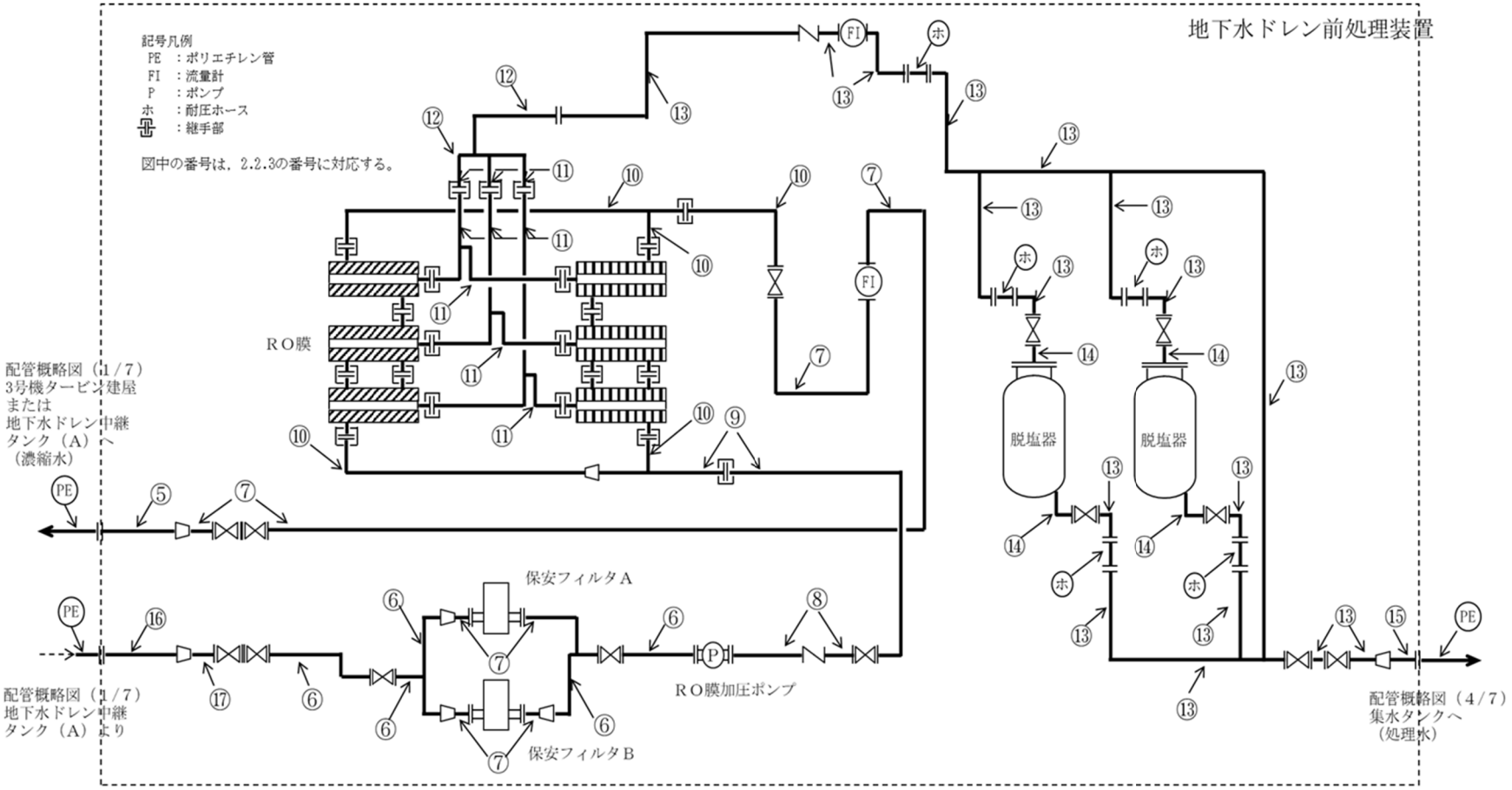


図中の番号は，2.2.3の番号に対応する。

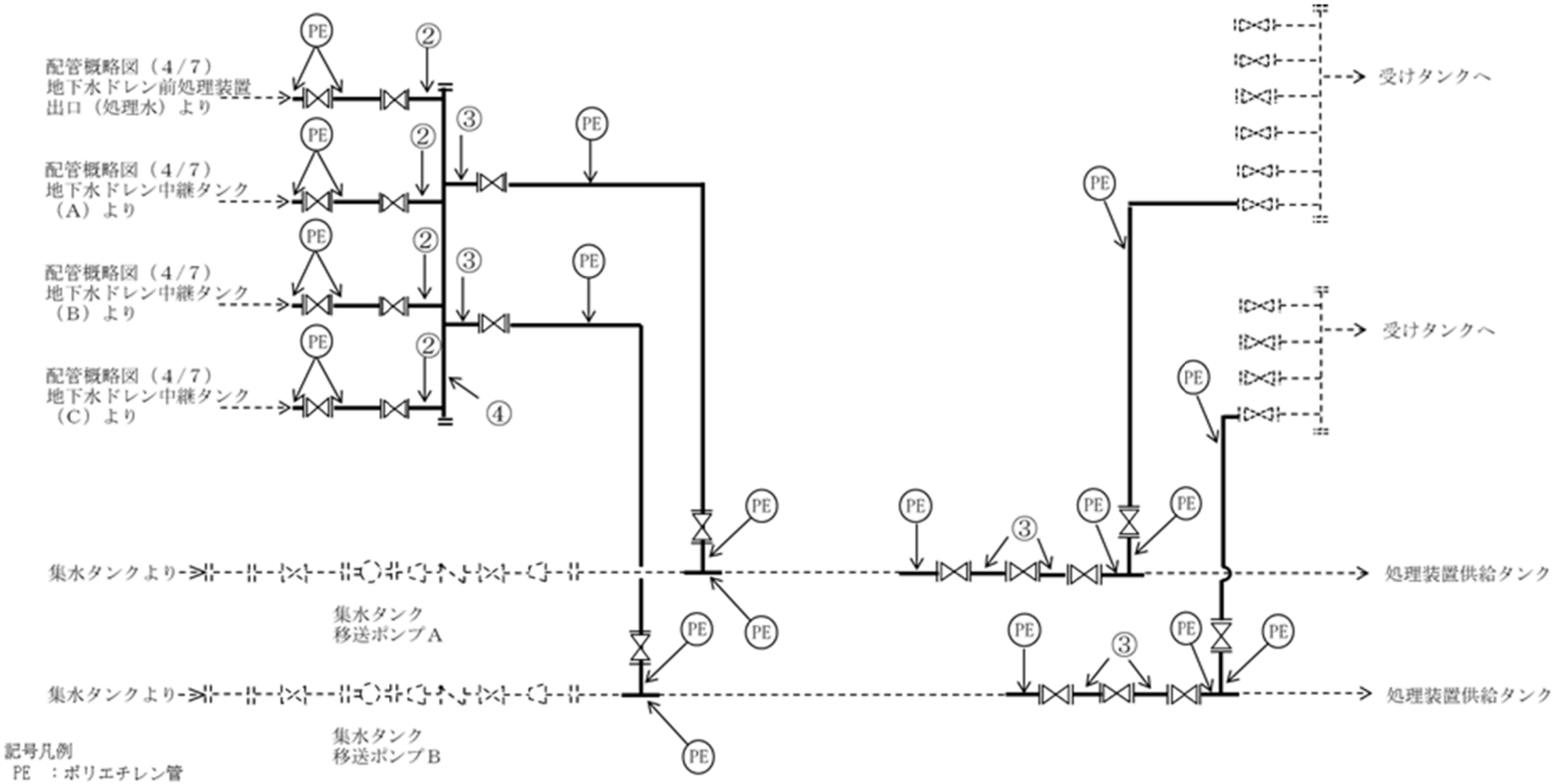
図－２　配管概略図（４／７）


配管概略図（４/７）
地下水ドレン前処理装置
出口（処理水）より
配管概略図（４/７）
地下水ドレン中継
タンク（A）より
配管概略図（４/７）
地下水ドレン中継
タンク（B）より
配管概略図（４/７）
地下水ドレン中継
タンク（C）より
PE
⑱
⑲
⑳
集水タンク４
集水タンク５
集水タンク６
集水タンク７
記号凡例
PE ：ポリエチレン管
図中の番号は，2.2.3の番号に対応する。

図－２　配管概略図（５／７）


地下水ドレン前処理装置
記号凡例
PE ：ポリエチレン管
FI ：流量計
P ：ポンプ
ホ ：耐圧ホース
：継手部
図中の番号は，2.2.3の番号に対応する。
RO膜
脱塩器
脱塩器
保安フィルタA
保安フィルタB
RO膜加圧ポンプ
配管概略図（1/7）
3号機タービン建屋
または
地下水ドレン中継
タンク（A）へ
（濃縮水）
配管概略図（1/7）
地下水ドレン中継
タンク（A）より
配管概略図（4/7）
集水タンクへ
（処理水）

図－２　配管概略図（６／７）



図中の番号は，2.2.3の番号に対応する。

図－２　配管概略図（７／７）

2.2.2　評価方法

(1) 管の厚さの評価

管の必要な厚さは，次に掲げる値とする。

ａ．内面に圧力を受ける管

$$t = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$$

t：必要厚さ（mm）

P：最高使用圧力（MPa）

D_0：管の外径（mm）

S：許容引張応力（MPa）

η：継手効率

2.2.3　評価結果

評価結果を表－３に示す。必要厚さ等を満足しており，十分な構造強度を有していると評価している。

表－３　配管の評価結果（管厚）

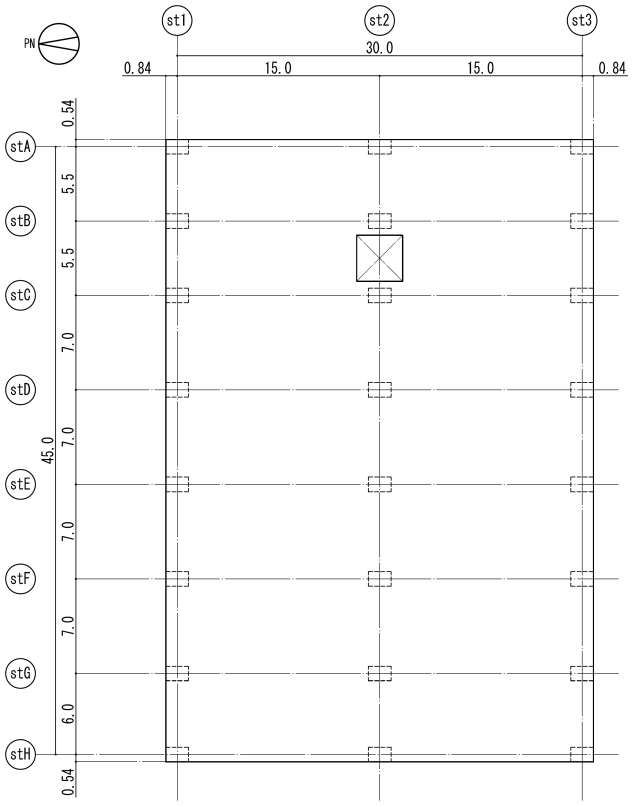
No.	外径 (mm)	材料	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
①	60.5	SUS316LTP	0.49	40	0.13	3.40
②	89.1	SUS316LTP	0.98	40	0.40	4.90
③	165.2	SUS316LTP	0.98	40	0.73	6.20
④	216.3	SUS316LTP	0.98	40	0.95	7.20
⑤	89.1	SUS316LTP	0.5	40	0.20	3.50
⑥	76.3	SUS316LTP	0.5	40	0.18	3.00
⑦	60.5	SUS316LTP	0.5	40	0.14	3.00
⑧	76.3	SUS316LTP	1.5	40	0.52	3.00
⑨	76.3	SUS316LTP	1.5	40	0.52	6.13
⑩	60.5	SUS316LTP	1.5	40	0.41	4.82
⑪	48.6	SUS304TP	0.5	40	0.10	4.47
⑫	60.5	SUS304TP	0.5	40	0.12	4.82
⑬	60.5	SUS304TP	0.5	40	0.12	3.00
⑭	60.5	SUS304TP	0.5	40	0.12	3.40
⑮	89.1	SUS304TP	0.5	40	0.18	3.50
⑯	89.1	SUS316LTP	0.98	40	0.40	3.50
⑰	76.3	SUS316LTP	0.98	40	0.34	3.00
⑱	165.2	STPG370	0.98	40	3.80	6.22
⑲	165.2	SUS316LTP	0.49	40	0.35	6.22
⑳	216.3	SUS316LTP	0.49	40	0.46	7.18

サブドレン他浄化装置建屋基礎の構造強度に関する検討結果

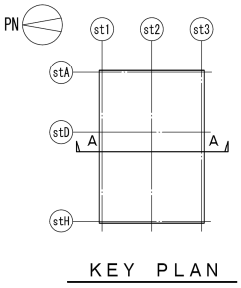
1.　評価方針

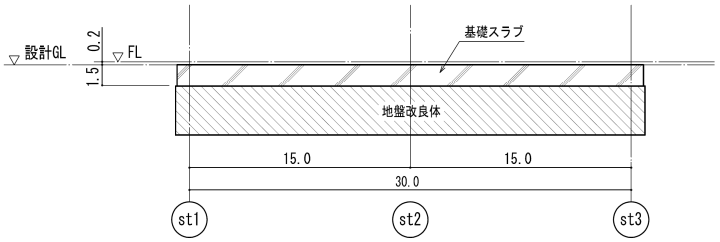
サブドレン他浄化装置建屋基礎は，耐震Ｂクラスであるサブドレン他浄化装置の間接支持構造物であるため，耐震Ｂクラス相当として，設計する。

サブドレン他浄化装置建屋基礎は，平面が約 46m（EW 方向）×約 32m（NS 方向），厚さ約 1.5m の鉄筋コンクリート造で，改良地盤を介して段丘堆積層に支持させる。サブドレン他浄化装置建屋基礎の平面図及び断面図を図－１～図－３に示す。

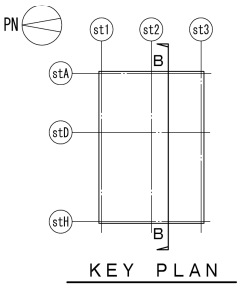


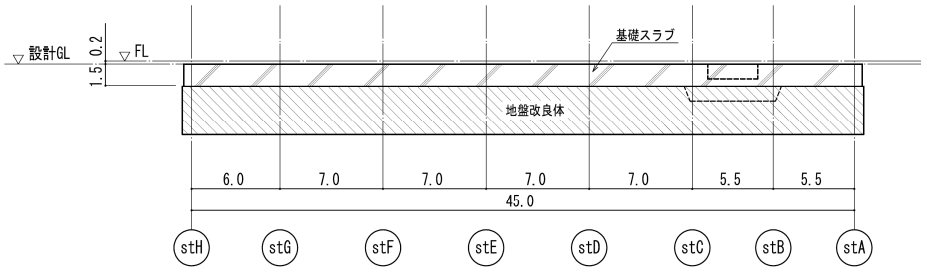
図－１　基礎平面図（単位：m）





図－２　A－A 断面図（NS 方向）（単位：m）





図－３　B－B 断面図（EW 方向）（単位：m）

2.　評価条件

2.1　使用材料及び材料の許容応力度

サブドレン他浄化装置建屋基礎スラブに用いる材料のうち，コンクリートは普通コンクリートとし，コンクリートの設計基準強度Ｆ$_c$は 24N/mm^2 とする。鉄筋は SD345 とする。各使用材料の許容応力度を表－１及び表－２に示す。

表－１　コンクリートの許容応力度

（単位：N/mm^2）

	長　期		短　期	
	圧縮	せん断	圧縮	せん断
Ｆ$_c$＝24	8	0.73	16	1.09

注：日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」による。

表－２　鉄筋の許容応力度

（単位：N/mm^2）

		長　期		短　期	
		引張及び圧縮	せん断補強	引張及び圧縮	せん断補強
SD345	D25 以下	215	195	345	345
	D29 以上	195			

注：日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」による。

2.2　荷重

長期荷重として，鉛直荷重（固定荷重，配管荷重，積載荷重及び上部架構からの荷重）を考慮する。

また，短期荷重として地震時，積雪時及び強風時に基礎面に作用する荷重を考慮する。

3.　評価結果

3.1　基礎スラブの評価結果

基礎スラブの応力解析は，弾性地盤上に支持された盤として有限要素法を用いて行う。解析モデルは，四辺形の均質等方な板要素により構成し，支持地盤は等価な弾性ばねとしてモデル化する。

必要鉄筋比及び面外せん断力について，検定比が最大となる要素の断面検討結果を表－３及び表－４に示す。基礎スラブ配筋図を図－４に示す。

これより，設計鉄筋比は必要鉄筋比を上回り，また面外せん断力は短期許容せん断力以下となっていることを確認した。

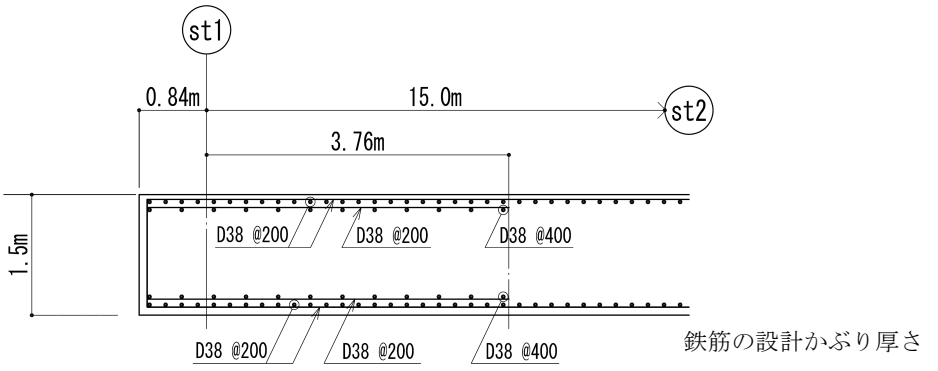
表－３　軸力及び曲げモーメントに対する検討結果

荷重ケース	応　力		必要鉄筋比(%)	設計鉄筋比(%)	検定比
	軸　力* (kN/m)	曲げモーメント (kN･m/m)			
長期	-14	649	0.20	0.38	0.53≦1.0
短期	-15	664	0.12	0.38	0.32≦1.0

注記＊：圧縮を正とする。

表－４　面外せん断力に対する検討結果

荷重ケース	応　力 面外せん断力(kN/m)	短期許容 せん断力(kN/m)	検定比
長期	433	785	0.56≦1.0
短期	535	1173	0.46≦1.0



図－４　基礎スラブの配筋図（stＡ通り）

3.2　改良地盤の評価結果

(1)　設計方針

サブドレン他浄化装置建屋は，基礎スラブ直下の地盤を改良し，段丘堆積層に支持させる。地盤の改良は「改定版　建築物のための改良地盤設計及び品質管理指針　日本建築センター」に準拠し，改良地盤の支持力に対して，常時及び地震時の改良地盤に生じる最大接地圧が許容支持力度以下であることを確認する。さらに，常時及び地震時の改良体に生じる最大応力度が許容応力度以下であることを確認する。

(2)　常時における改良地盤の検討

常時における改良地盤に生じる最大応力度と許容応力度の比較を表－５及び表－６に示す。

これより，改良地盤に生じる最大応力度が許容応力度以下であることを確認した。

表－５　改良地盤の許容支持力度と接地圧の比較

接地圧 (kN/m^2)	許容支持力度 (kN/m^2)	検定比
135	280	0.49≦1.0

表－６　改良体の許容圧縮応力度と鉛直応力度の比較

鉛直応力度 (kN/m^2)	許容圧縮応力度 (kN/m^2)	検定比
135	330	0.41≦1.0

(3)　地震時における改良地盤の検討

地震時における改良地盤に生じる最大応力度と許容応力度の比較を，検定比が最大となる位置について表－７～表－９に示す。

これより，改良地盤に生じる最大応力度が許容応力度以下であることを確認した。

表－７　改良地盤の許容支持力度と接地圧の比較

接地圧 (kN/m^2)	許容支持力度 (kN/m^2)	検定比
153	460	0.34≦1.0

表－８　改良体の許容圧縮応力度と鉛直応力度の比較

鉛直応力度 (kN/m^2)	許容圧縮応力度 (kN/m^2)	検定比
153	660	0.24≦1.0

表－９　改良体の許容せん断応力度とせん断応力度の比較

せん断応力度 (kN/m^2)	許容せん断応力度 (kN/m^2)	検定比
29	200	0.15≦1.0

流体状の放射性廃棄物の施設外への防止能力についての計算書

１．流体状の放射性廃棄物の漏えいの拡大防止能力の評価

吸着塔（以下，「容器」という。）から液体が流出した場合は，吸着材を含む液体が漏えいする可能性があることから，これを評価する。

２．流体状の放射性廃棄物の施設外への漏えい防止能力の評価

放射性廃液を内包する各容器のうち，仮に１基の容器の保有廃液が流出しても，流出廃液は容器設置エリアにとどまり，廃液の施設外への漏えいは防止される。この漏えい防止能力の評価を表－１に示す。

廃液漏えい時には，容器設置エリアに設けられた側溝の漏えい検知器の警報により廃液の異常な漏えいが察知され，対処が可能である。

表－１　施設外への漏えい防止能力の評価（サブドレン他浄化装置）

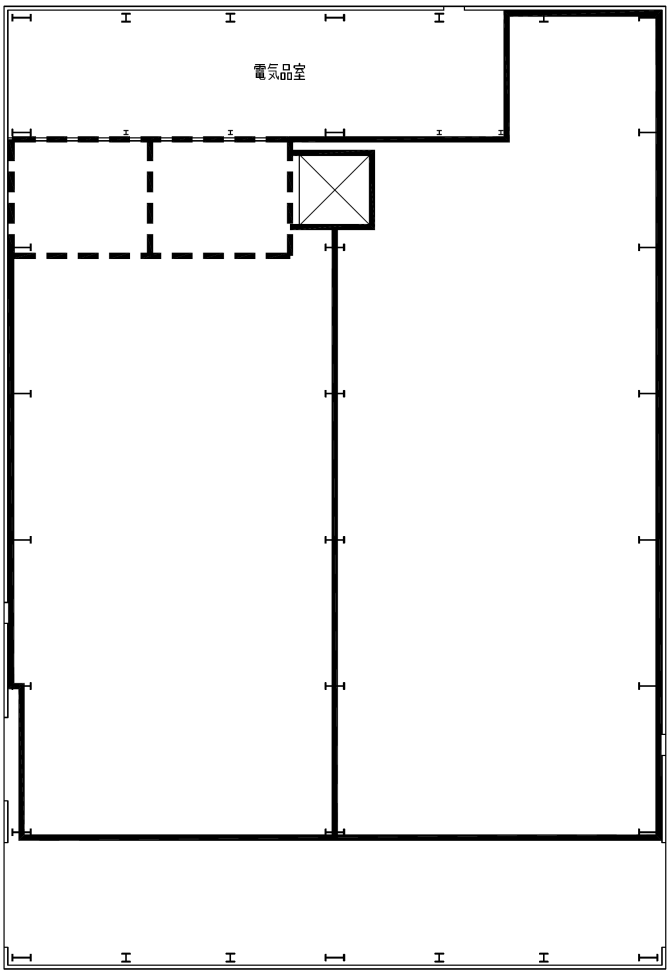
名称	設置場所		漏えい量（m^3）	容器設置区画内床面積※２（m^2）	見込み高さ※３（cm）	漏えい廃液全量を貯留するために必要な堰の高さ（cm）	拡大防止堰の高さ（cm）	評価
	建屋名	据付床レベル（m）	①	②	③	④＝①/②×100+③	⑤	
処理装置供給タンク～吸着塔５まで（Ａ系統）	サブドレン他浄化装置建屋	TP 38.5	30※１	393.4	1.3	9	10 以上	各々の容器設置区画の拡大防止堰の高さは，各容器からの漏えい廃液全量を貯留するために必要な堰の高さを満足しており，施設外への漏えいを防止できる。 なお，漏えい検知器は，床面に設置した側溝内に設置されており，側溝底面から 30mm の高さで検知する。
処理装置供給タンク～吸着塔５まで（Ｂ系統）			30※１	518.1	1.3	8	9 以上	

注記　※１：保有水量が最大となる処理装置供給タンクから処理装置供給ポンプ入口間の漏えい量（約 29m^3）に余裕を見た量としている
※２：当該容器設置区画内の内のり面積
※３：基礎体積による高さ増加分（基礎体積÷当該容器設置区画内床面積）を考慮した値

３．　堰並びに漏えい検出器に関する説明

サブドレン他浄化装置建屋には，サブドレン他浄化装置からの漏えい拡大防止及び建屋外への漏えい防止の観点から堰を設ける。堰の設置箇所について，図－１に示す。堰の名称，主要寸法及び材料について，表－２に示す。

また，漏えいの早期検知の観点から，漏えい検出器を設ける。漏えい検出器の設置箇所について，図－２に示す。漏えい検出器が作動した場合は，免震重要棟集中監視室等に警報を発する。



単位：mm

凡　例	
━━	堰　（H100以上）
╍╍	堰　（H1,100以上）

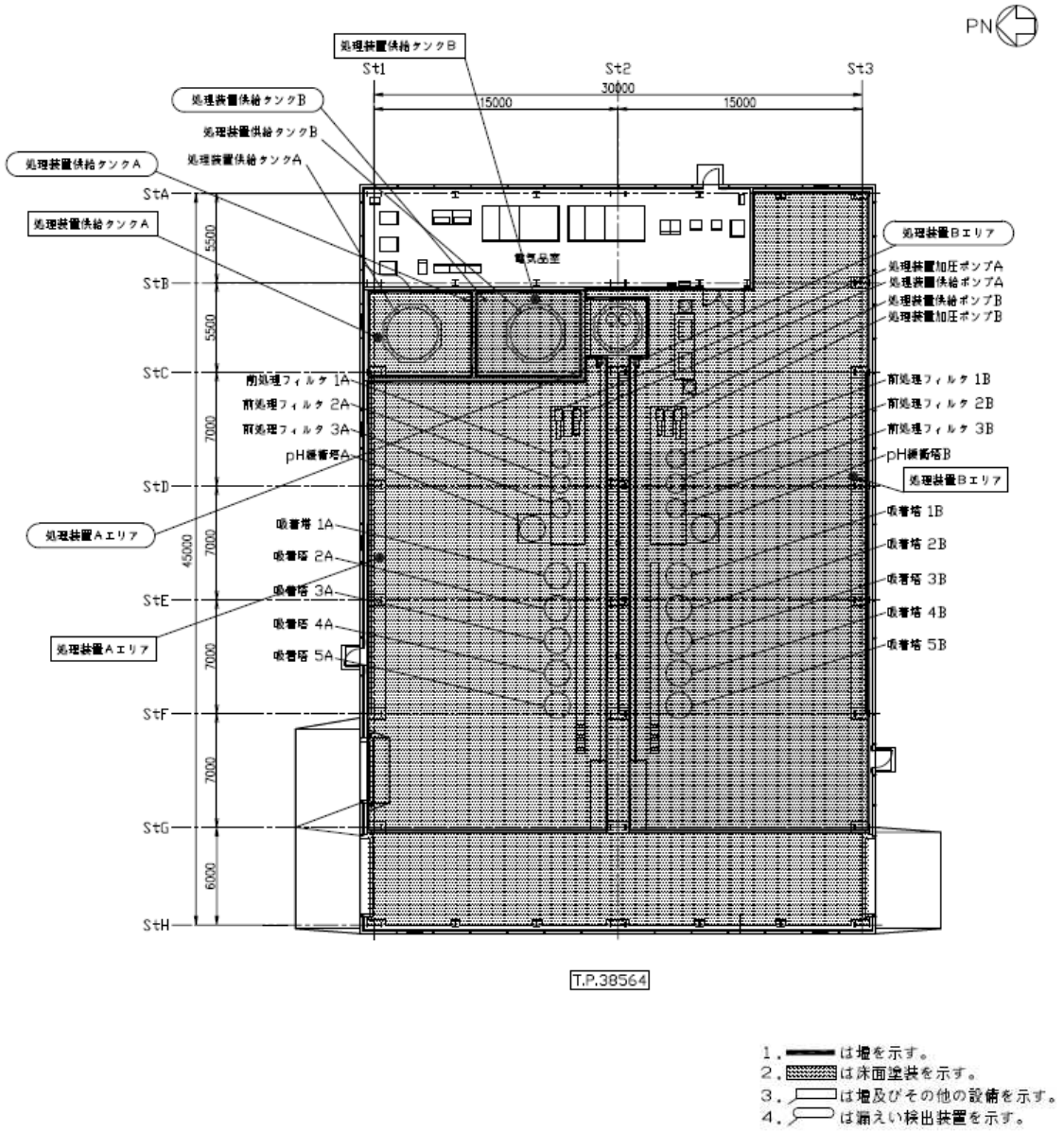
サブドレン他浄化装置建屋　１階

図－１　堰を明示した図面

表－２　堰の名称,主要寸法,材料

名　　称		サブドレン他浄化装置建屋１階
主要寸法	堰の高さ	100㎜以上
	床・壁の塗装	床面及び床面から堰の高さ以上までの壁面
材　　料	堰	鉄筋コンクリート
	床・壁の塗装	エポキシ樹脂

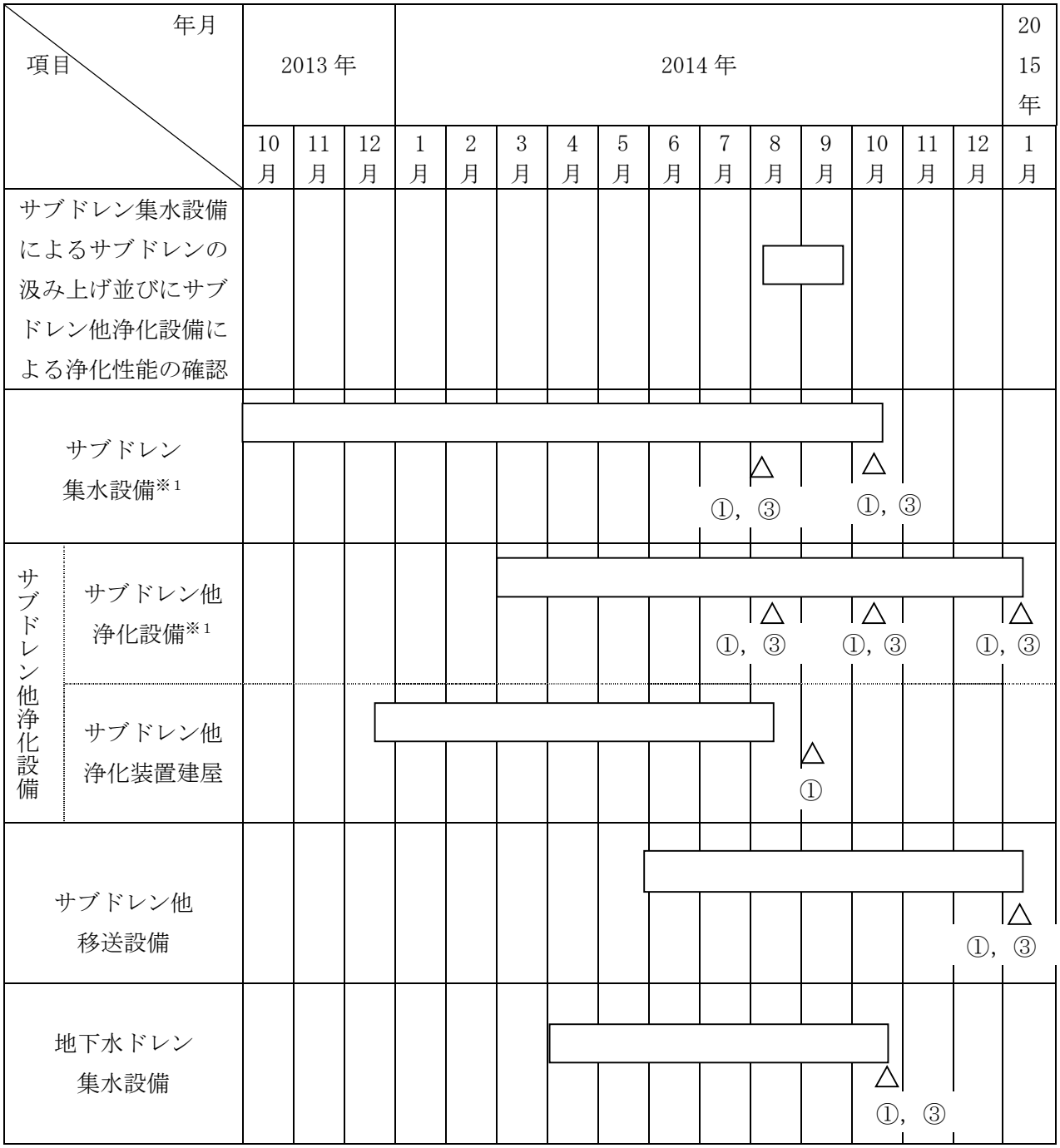
名　　称		処理装置供給タンク
主要寸法	堰の高さ	1,100㎜以上
	床・壁の塗装	床面及び床面から堰の高さ以上までの壁面
材　　料	堰	鉄筋コンクリート
	床・壁の塗装	エポキシ樹脂



サブドレン他浄化装置建屋　１階

図－２　漏えい検出器の設置箇所を明示した図面

工事工程表



※1　２回に分けて系統毎に実施

※2　サンプルタンクを順次設置するため，３回に分けて実施

□ ： 現地据付組立

① ： 構造，強度又は漏えいに係る試験をすることができる状態になった時

③ ： 原子炉施設の工事の計画に係る工事が完了した時

工事工程表

項目＼年月	2024年					2025年												2026年		
	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
サブドレン集水設備によるサブドレンの汲み上げ並びにサブドレン他浄化設備による浄化性能の確認																				
サブドレン集水設備※																△ ①，③				△ ①，③
サブドレン他浄化設備 サブドレン他浄化設備※																△ ①，③				△ ①，③
サブドレン他浄化設備 サブドレン他浄化装置建屋																				
サブドレン他移送設備																				
地下水ドレン集水設備※																△ ①，③				△ ①，③

※　２回に分けて系統毎に実施

□ ： 現地据付組立

① ： 構造，強度又は漏えいに係る試験をすることができる状態になった時

③ ： 原子炉施設の工事の計画に係る工事が完了した時

サブドレン他水処理施設の具体的な安全確保策

サブドレン他水処理施設で扱う液体の放射能濃度は，１～４号機タービン建屋等の滞留水のそれと比較して遥かに低いものの，放射性物質を含むことから，水位管理等の方法，漏えい防止対策，放射線遮へい・崩壊熱除去及び可燃性ガス滞留防止等について，具体的な安全確保策を以下の通り定め，実施する。

1. 水位管理等の方法

(1) サブドレンの水位管理

a. サブドレンピット内の水位管理は，各ピット内に設置した揚水ポンプの起動・停止によって行い，サブドレンピット内水位が建屋滞留水水位を下回らないよう管理する。（具体的な管理方法は，「Ⅲ.3.1.7　1～4 号機の滞留水とサブドレンの運転管理について」を参照。）　なお，サブドレンの水位検出器は多重化し，計器の単一故障に備える。

b. 全てのサブドレンピットの水位を免震重要棟の監視・制御装置に表示し，サブドレンの稼働による水位変動が常に確認可能な状態とする。

(2) 地下水ドレンポンドの水位設定

a. 地下水ドレンポンドの水位設定は，各ポンド内に設置した地下水ドレンポンド揚水ポンプの起動・停止により地下水を汲み上げるが，海側のサブドレン水位が建屋滞留水水位を下回らないようポンプ停止位置を設定する。なお，地下水ドレン稼働に伴う地下水の水位変動は，より建屋近傍に位置する海側のサブドレン水位で管理する。
（具体的な水位設定は，「Ⅲ.3.1.8 地下水ドレンの運転管理について」を参照。）

b. 地下水の汚染拡大防止の観点から，既設護岸内で確認されている高濃度の放射性物質を含む地下水は，継続して汲み上げる。

c. なお，地下水ドレンの汲み上げ水の水質に有意な変動が確認される場合には，既設護岸エリアの地下水の汲み上げ量を増やす等の対応をとるものとする。

2. 放射性物質の漏えい防止等に対する考慮

(1) 漏えい発生防止

a. 処理対象水及び処理済水の移送配管は，耐腐食性を有するポリエチレン管，十分な肉厚を有する炭素鋼の鋼管または二相ステンレス配管等とする。

b. 主要機器及び主要配管の炭素鋼材料の内面には，耐腐食性を有するよう，ライニングまたは塗装を施す。

c. タンク（中継タンク，集水タンク，処理装置供給タンク，サンプルタンク，地下水ドレン中継タンク，RO 濃縮水処理水中継タンク，受けタンク，高台集水タンク）には水位検出器を設け，水位を監視してオーバーフローを防止する。また，タンクには，念のため，タンク水位が高くなった場合に移送元のポンプを自動停止させるインターロックを設ける。

d. EPDM 合成ゴム製の伸縮継手は接続部をフランジ接続とし，取合部が外れないように処置する。

e. 集水移送加圧ポンプの軸封部は，漏えいの発生し難いメカニカルシール構造とする。

(2) 漏えい検知・漏えい拡大防止

a. タンク（中継タンク，集水タンク，処理装置供給タンク，サンプルタンク，地下水ドレン中継タンク，RO 濃縮水処理水中継タンク，受けタンク，高台集水タンク）は，タンク１個の保有水量以上の容積を確保した堰を設ける（表－１）。

b. 前処理フィルタ，pH 緩衝塔，吸着塔は，漏えいの早期検知として，スキッド毎に漏えいパンを設けるとともに，漏えい検知器を設ける。漏えいの早期検知及び漏えい拡大防止として，サブドレン他浄化装置設置エリアの最外周及びサブドレン他浄化装置の周囲に，漏えいの拡大を防止する堰を設けるとともに，床に設置した側溝内に漏えい検知器を設ける。

c. 上記漏えいを検知した場合には，免震重要棟集中監視室等に警報を発し，運転操作員によりカメラ，流量等の運転監視パラメータ等の状況を確認し，適切な対応を図る。また，漏えいが確認された場合には，サブドレン他浄化装置のポンプを遠隔操作で停止し，吸着塔等の周りの弁を閉止することで，漏えい拡大防止を図る。

d. 漏えい水のコンクリートへの浸透を防止するため，サブドレン他浄化装置設置エリアには床塗装を実施する。

e. 移送配管について，以下の対応を行う。

- 屋外に敷設される移送配管について，ポリエチレン管とポリエチレン管の接合部は漏えい発生を防止のため融着構造とすることを基本とし，ポリエチレン管と鋼管との取合い等でフランジ接続となる箇所については養生を行い，漏えい拡大防止を図る。また，処理対象水の移送配管は，万一，漏えいしても排水路を通じて環境に放出することがないように，排水路から可能な限り離隔するとともに，排水路を跨ぐ箇所はボックス鋼内等に配管を敷設する。また，ボックス鋼端部から排水路に漏えい水が直接流入しないように土のうを設ける。
- 移送配管は，使用開始までに漏えい確認等を実施し，施工不良等による大規模な漏えいの発生を防止する。
- 移送配管からの漏えいを検知するために巡視点検にて漏えいの有無を確認する。

・ 集水タンク増設に伴い新設する移送配管のうち，フランジ接続となる接合部が堰外となる箇所について，漏えいが発生した際に堰，受け等へ導かれるように養生を行い，漏えい拡大防止を図る。

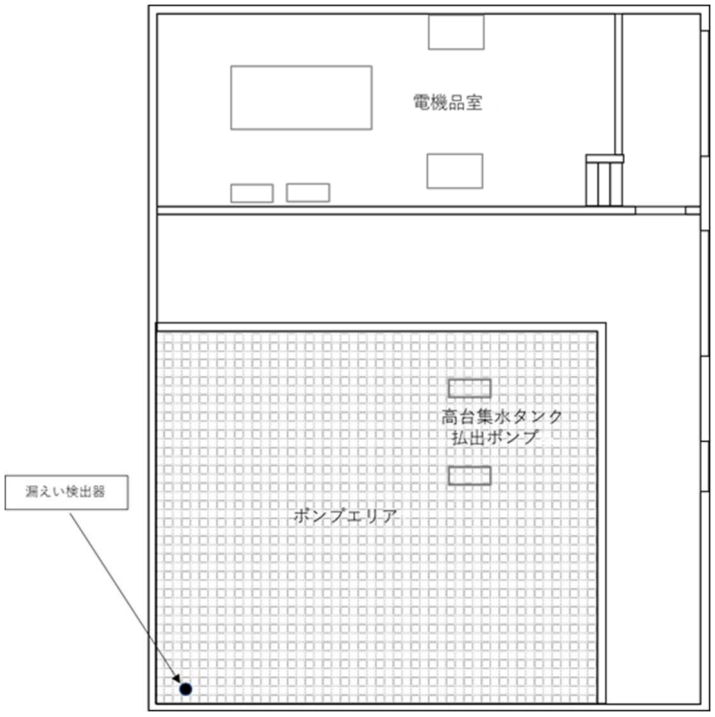
・ 移送配管から漏えいが確認された場合は，ポンプ等を停止し，系統の隔離及び土のうの設置等により漏えいの拡大防止を図る。

f. サブドレン他浄化装置の 2 系列同時運転を実施する場合には，系統間の隔離を実施し，他系統への流入防止をすることで漏えい拡大防止を図る。

g. 集水タンク，高台集水タンク，受けタンク，サンプルタンクについては，タンクからの漏えいを早期検知するために巡視点検にて漏えいの有無を確認する。

h. 集水移送加圧ポンプについては，漏えいを早期検知するために巡視点検を実施するとともに，監視カメラを設置し，免震棟にて監視可能な状態とする。また，受けパンにより滴下程度の漏えいに対して，漏えい拡大防止を図る。なお，漏えいが確認された場合には，ポンプを停止及び系統の隔離，土のう等の設置により漏えい拡大防止を図る。

i. 高台集水タンク払出ポンプについては，漏えいを早期検知するために巡視点検を実施するとともに，漏えい検出器等を設置し，免震棟にて監視可能な状態とする。また，受けパンにより滴下程度の漏えいに対して，漏えい拡大防止を図る。なお，漏えいが確認された場合には，ポンプを停止及び系統の隔離，土のう等の設置により漏えい拡大防止を図る。（図－１）



図―１　漏えい検出器の設置箇所を明示した図面

表－１　タンク堰仕様（設計値）

堰名称	縦幅	横幅	高さ	保有水量
中継タンク堰	8.4 m	3.3 m	0.7 m	12.0 m^3
集水タンク 1～3 堰	38.4 m	18.4 m	3.0 m※1	1235 m^3
集水タンク 4,5 堰	34.9 m	12.9 m	3.5 m※1	1235 m^3
集水タンク 6,7 堰	34.9 m	12.9 m	3.5 m※1	1235 m^3
処理装置供給タンク A 堰	6.3 m	5.2 m	1.1 m	30 m^3
処理装置供給タンク B 堰	6.4 m	5.2 m	1.1 m	30 m^3
サンプルタンク A～G 堰※3	57.4 m	31.6 m	1.5 m	1235 m^3
サンプルタンク H,J,K,L 堰	42.4 m※4	33.0 m※4	1.7 m	1235 m^3
地下水ドレン中継タンク堰	9.4 m	3.3 m	0.6 m	12.0 m^3
受けタンク A～C 堰	14.3 m※4	16.8 m※4	0.5 m	30 m^3
高台集水タンク 1～10 堰	47.9 m※4	60.9 m※4	1.3 m	1356 m^3

※１　アウターライズ津波高さ T.P.約 4.5m（T.P.2.5m 盤の浸水深 約 2m）を上回るよう設定

注）　タンク堰は閉運用とする。堰内に溜まった雨水については，タンク等に回収・分析し雨水※2と判断されればそのまま処理する。雨水と判断されない場合は，集水タンク等に移送する。ただし，緊急時の場合は，タービン建屋等に移送することもある。

※２　「2.36 雨水処理設備等」2.36.1.1 に示す排水基準以内であること

※３　RO 濃縮水処理水中継タンク堰を兼ねる。

※４　堰形状のうち，縦幅，横幅の最長箇所を記載。

3. 放射線遮へい・崩壊熱除去

(1)　放射線遮へい（被ばくに対する考慮）

a.　サブドレン他浄化装置等からの放射線による雰囲気線量当量率（遮へい体を含む機器表面から 1m の位置）は，0.1mSv/h 以下となるよう適切な遮へいを設ける。また，本設備から最寄りの敷地境界における直接線・スカイシャイン線の寄与は年間約 0.04mSv となる。（別紙－１参照）

表－２　敷地境界における年間線量

評価点	年間線量（mSv/年）
No.66	0.04

b.　通常運転時は，免震重要棟集中監視室から遠隔での監視及び操作を可能とする。

c.　使用済吸着塔等の輸送時は，輸送物からの放射線による線量当量率（遮へい体を含む機器表面から 1m の位置）が，0.1mSv/h 以下となるよう適切な遮へいを設ける。

d.　サブドレン他浄化装置の運転操作等に係る放射線業務従事者以外の者が不要に近づ

くことがないよう，標識等を設ける。さらに，放射線レベルの高い区域についても標識等を設け放射線業務従事者の被ばく低減を図る。

(2) 崩壊熱除去

a. 処理対象水に含まれる放射性物質の崩壊熱は，通水により熱除去する。

b. 使用済吸着塔等は自然放熱により熱除去する。いずれの使用済吸着塔，使用済前処理フィルタにおいても，内部の水抜き実施後において，容器中心部の温度上昇は１℃未満であり，容器及び内容物の健全性を損なうものではない。（別紙－２参照）

(3) 吸着量の管理

a. 前処理フィルタ・吸着塔は，捕集する吸着量が設計の範囲内に納まるよう，機器表面線量の計測，通水流量・濃度の把握等の方法により管理を行う。

表－３　サブドレン他浄化装置各機器の吸着量

機器名称	フィルタ・ 吸着材の種類	捕捉・吸着 主要核種	吸着量 (Bq/個) ※1	備考
前処理フィルタ １，２※2	浮遊物質 フィルタ	Cs	2.5×10^{11}	浮遊物質(汚泥等)への放射性物質の付着を想定
前処理フィルタ３	ストロンチウム フィルタ	Sr	2.8×10^{9}	
pH 緩衝塔※4	―	―	―	
吸着塔 １～５※3	セシウム・ ストロンチウム 同時吸着塔	Cs Sr	3.1×10^{10} 1.8×10^{10}	Cs，Sr 両方とも吸着可能な吸着材を使用した場合
	アンチモン 吸着塔	Sb-125	6.3×10^{8}	
	重金属塔	Ag-110m	1.0×10^{8}	

※１　捕捉・吸着する主要核種の吸着量

※２　保守的にいずれか一つの前処理フィルタで捕捉すると仮定

※３　アンチモン吸着塔，重金属塔はそれぞれ１塔装填，またはそれぞれ除外可能とする。アンチモン吸着塔，重金属塔をそれぞれ１塔ずつ装填する場合は，吸着塔４にアンチモン吸着塔，吸着塔５に重金属塔を装填する。アンチモン吸着塔，重金属塔のいずれか１塔を除外し，いずれか１塔のみを装填する場合は，吸着塔５に装填する。セシウム・ストロンチウム同時吸着塔は，アンチモン吸着塔，重金属塔の装填塔数に応じて，３塔～５塔装填し，保守的にいずれか一つの吸着塔で吸着すると仮定

※４　pH 調整のみを実施する機器のため，核種を捕捉・吸着しない

4. 可燃性ガスの滞留防止

a. サブドレン他浄化装置の前処理フィルタ及び吸着塔においては，水の放射線分解により発生する可能性のある可燃性ガスは，通水時に処理水とともに排出される。通水停止以降も再度その前処理フィルタおよび吸着塔により処理を行う場合には，可燃性ガスが滞留する可能性があるため，前処理フィルタおよび吸着塔内の可燃性ガスの濃度が可燃限界を超えないようベント弁より排出する。なお，サブドレン他浄化装置建屋には，換気装置及び換気装置のための貫通箇所があり，可燃性ガスが滞留し難い構造となっている。

b. 使用済の前処理フィルタ及び吸着塔は，可燃性ガスの滞留防止のため，内部の水抜きを実施後，使用済フィルタは保管容器に収容し，吸着塔はベントを開放して保管する。保管時の水素濃度の評価を行った結果，最も大きい水素発生速度となる前処理フィルタ１，２でも水素濃度は20年間で約0.7%であり，可燃限界を超えることはない（別紙－３参照）。なお，水抜きにより発生した水は，処理装置供給タンクに移送する。

5. その他

(1) 凍結

水を移送している過程では，凍結の恐れはない。

水の移送を停止した場合，屋内外敷設のポリエチレン管等は凍結による破損が懸念される。そのため，屋内外敷設のポリエチレン管等に保温材を取り付け，凍結防止を図る。なお，保温材は高い気密性と断熱性を有する硬質ポリウレタン等を使用し，凍結しない十分な厚さを確保する。

保温材厚さの設定の際には，「建設設備の凍結防止（空気調和・衛生工学会）」に基づき，震災以降に凍結事象が発生した外気温-8℃，内部流体の初期温度 5℃，保温材厚さ 21.4㎜の条件において，内部流体が 25%※凍結するまでに十分な時間（50 時間程度）があることを確認した。なお，震災以降の実測データから，外気温-8℃が半日程度継続することはない。

※「JIS A 9501 保温保冷工事施工標準」において管内水の凍結割合を25%以下と推奨

(2) 紫外線

屋外敷設箇所のポリエチレン管等には，紫外線による劣化を防止するため，紫外線防止効果のあるカーボンブラックを添加した保温材を取り付ける，もしくは，カーボンブラックを添加していない保温材を使用する場合は，カーボンブラックを添加した被覆材または紫外線による劣化のし難い材料である鋼板を取り付ける。

(3) 熱による劣化

熱による劣化が懸念されるポリエチレン管については，処理対象水の温度がほぼ常温のため，熱による材料の劣化の可能性は十分低い。

(4) 耐放射線性

ポリエチレンは，集積線量が 2×10^5Gy に達すると，引張強度は低下しないが，破断時の伸びが減少する傾向を示す。ポリエチレン管の照射線量率を1Gy/hと仮定すると，2×10^5Gy に到達する時間は 2×10^5 時間（22.8 年）と評価される。そのため，ポリエチレン管は数年程度の使用では放射線照射の影響を受けることはないと考えられる。

(5)　使用済前処理フィルタの貯蔵

使用済の前処理フィルタは，エアブロー等により水切りした後，コンクリート製または金属製の保管容器に収容して固体廃棄物貯蔵庫（第3棟～第8棟，第9棟 地下2階：瓦礫類線量区分＞30 mSv/h）に貯蔵する。なお，水切りにより発生した水は，処理装置供給タンクに移送する。

使用済前処理フィルタの発生量は，最大でも年間 280m^3 程度（約 2m^3 の容器で 140 個程度）と想定される。

使用済前処理フィルタの保管時は，保管エリアの受入目安表面線量率に応じて，保管容器の表面線量率を管理（保管容器の遮へいを考慮し，保管容器の表面線量率を測定する。また，必要に応じてフィルタの収納数を制限）する。

(6)　使用済 pH 緩衝塔の貯蔵

使用済 pH 緩衝塔は，淡水置換し，エアブローにより水切りした後，一時保管エリア(P1，V：瓦礫類線量区分＜0.1mS/h)の屋外集積所に保管する。なお，水切りにより発生した水は，処理装置供給タンクに移送する。

使用済 pH 緩衝塔の発生量は，最大でも年間 33m^3 程度(7 基程度)と想定される。

(7)　使用済吸着塔の貯蔵

使用済吸着塔は，淡水置換し，エアブローにより水切りした後，使用済セシウム吸着塔保管施設（Ⅱ2.5.2.1.2 参照）のコンクリート製ボックスカルバート内，または架台に格納して保管する。なお，水切りにより発生した水は，処理装置供給タンクに移送する。

使用済吸着塔の発生量は，最大でも年間 20 基程度，ボックスカルバートの使用数では最大でも年間 10 基程度と想定される。

なお,一部の使用済 Cs/Sr 同時吸着塔は,吸着材を取り出して第二セシウム吸着装置,第三セシウム吸着装置の吸着塔に充填して再利用する。吸着材を取り出した吸着塔は,健全性を確認した上でサブドレン他浄化設備にて再利用する。

使用済吸着塔の貯蔵による敷地境界への直接線・スカイシャイン線による寄与は，使用済セシウム吸着塔一時保管施設に貯蔵される他の廃棄物と同程度であり，同施設の敷地境界線量の評価結果に包絡される。

(8)　設備停止

設備故障等による浄化設備停止期間中は，サブドレンの汲み上げ量を減らし，地下水ドレンの汲み上げを優先する。なお，汲み上げた地下水ドレン水は集水タンク，高台集水タンクへ貯留するが，タンクの貯留容量を超えることが見込まれる場合は，機動的対応として，タービン建屋等に移送する。

(9)　誤操作防止対策について

サブドレン他移送設備は操作盤にキーロックを設け，鍵を使用しなければ排水操作が出来ない設計としている。

(10) 吸着塔の除外について

処理対象水において，アンチモン，重金属核種の濃度が十分に低いことを確認した場合は，アンチモン吸着塔，重金属塔を除外可能とする。除外後は除去対象核種を週１回程度の頻度で詳細分析※し，除外前の濃度から上昇傾向がない事を確認する。濃度の上昇により排水に支障をきたすと判断される場合は，元の吸着塔の構成に戻し，浄化を行う。

※週１回程度の詳細分析は四半期ごとの詳細分析と同程度の分析条件とする。

6. 別紙

別紙－１　：　サブドレン他浄化装置の敷地境界線量評価について

別紙－２　：　サブドレン他浄化装置の温度評価について

別紙－３　：　サブドレン他浄化装置の水素発生量評価について

別紙－４　：　サブドレン及び建屋滞留水水位への測量結果の反映について

別紙－１

サブドレン他浄化装置の敷地境界線量評価について

サブドレン他浄化装置から近傍の敷地境界に対する直接線・スカイシャイン線の寄与を評価する。

１．評価概要

○評価手法：

・解析コード MCNP を用いて評価

○評価条件：

・サブドレン他浄化設備から最寄りの敷地境界（敷地境界評価地点 No.66，距離約 230m）を評価した。（図１）

・吸着塔に収容する吸着材の構成は，最も保守的なケースとして，吸着塔１～３をセシウム・ストロンチウム同時吸着塔，吸着塔４をアンチモン吸着塔，吸着塔５を重金属塔として評価した。

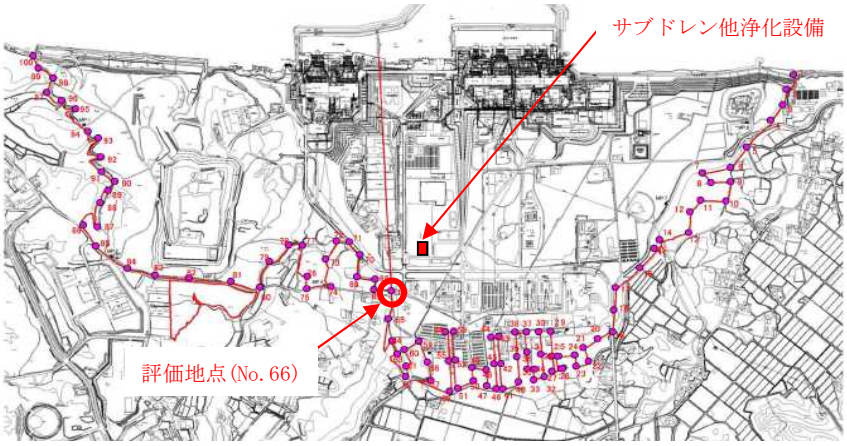


図１　サブドレン他浄化設備と評価点の位置関係

・評価対象機器を表１に示す。

表１　評価対象機器

機器		評価上考慮する基数	放射能条件
前処理フィルタ１，２		4	前処理フィルタ２
前処理フィルタ３		2	前処理フィルタ３
吸着塔	1～3 塔目	6	吸着塔１
	4 塔目	2	吸着塔４
	5 塔目	2	吸着塔５

・吸着材の放射能濃度は，吸着塔の入口濃度から除去率，通水量（遮へい体を含む機器表面から 1m の位置における雰囲気線量当量率が 0.1mSv/h 以下となるよう設定）を考慮して算出した値にて評価を行う。
・前処理フィルタ及び吸着塔は，各々が交換直前で放射性物質の捕捉量又は吸着量が最大になっていると設定する。
・前処理フィルタ１，２は，２塔に分布する放射能の全量が前処理フィルタ２に吸着していると保守的に設定する。
・吸着塔１～３は，３塔に分布する放射能の全量が吸着塔１に吸着していると保守的に設定する。
・評価点における直接線・スカイシャイン線の評価値は，前処理フィルタ，吸着塔の評価値を合算して算出した。
・吸着塔のうちアンチモン吸着塔，重金属塔は除外可能とし，セシウム・ストロンチウム同時吸着塔は最大５塔まで装填可能とするが，表１が最も保守的なケースとなる。

・前処理フィルタ及び吸着塔の線源条件を表 2 に示す。

表２　前処理フィルタ及び吸着塔の線源条件

機器名称	核種	線源強度 (Bq/体)
前処理フィルタ２	Cs	2.5×10^{11}
前処理フィルタ３	Sr	2.8×10^{9}
吸着塔１	Cs Sr	3.1×10^{10} 1.8×10^{10}
吸着塔４	Sb	6.3×10^{8}
吸着塔５	Ag-110m	1.0×10^{8}

２．評価結果

上記条件により，評価を行った結果，各評価地点における直接線・スカイシャイン線の寄与は表３の通りとなった。

表３　サブドレン他浄化設備の敷地境界線量評価結果

評価地点	評価値 (mSv/年)
No.66	0.04

なお，本装置から発生する使用済フィルタ及び吸着塔については，固体廃棄物貯蔵庫及び使用済セシウム吸着塔一時保管施設において線源として考慮している。

以上

別紙－２

サブドレン他浄化装置の温度評価について

温度評価は，使用済前処理フィルタ及び使用済吸着塔の収容物からの発熱を入熱条件とし，一次元の定常温度評価により使用済前処理フィルタ及び使用済吸着塔の最高温度を評価した。

1．評価概要

各フィルタ及び吸着塔に捕捉・吸着した放射性物質による発熱を入熱条件とし，一次元の定常温度評価を行い，各フィルタ及び吸着塔の保管状態における温度上昇が 1℃未満であることを確認した。

2．前処理フィルタの温度評価

2．1　評価方法

○評価手法：

・一次元定常温度評価により評価（評価体系については，図－１を参照。また，考慮した伝熱機構及び使用した熱伝導率等は表－１及び２を参照）

○線源条件：

線源条件は，下表を条件とする。

機器名称	捕捉・吸着 主要核種	吸着量 (Bq/個) ※1
前処理フィルタ １，２※2	Cs	2.5×10^{11}
前処理フィルタ３	Sr	2.8×10^{9}

※１　捕捉・吸着する主要核種の吸着量

※２　保守的にいずれか一つの前処理フィルタで捕捉すると仮定

○入熱条件：

・前処理フィルタ１及び２は同等の保管形状であり，かつ発熱量も等しいことから，前処理フィルタ２の入熱条件である 4.9×10^{-2}[W]を採用する。

・前処理フィルタ３の入熱条件は 5.0×10^{-4}[W]を採用する。

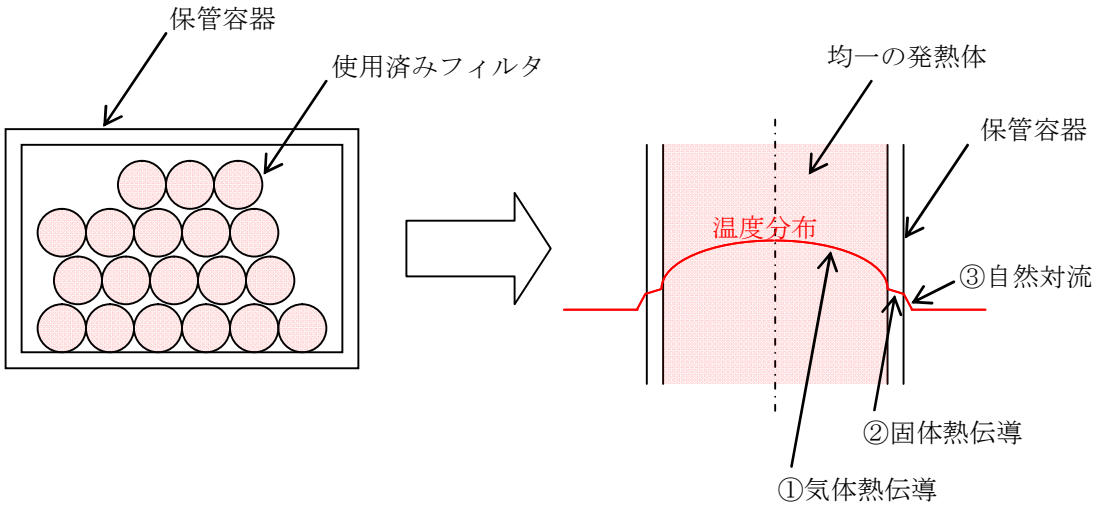
○評価条件：

・保管容器内は保守的に均一の発熱体と仮定し，また容器内の伝熱は空気の熱伝導のみを考慮し，空気の対流及び輻射による放熱は考慮しない。

・保管容器の側面からの放熱については，保守的に 2 面からの放熱のみ考慮し，また上蓋及び床からの放熱は考慮しない。

・保管容器の外面において，熱輻射による放熱は考慮しない。

・外気温度は保守的に 40℃とする。



図－1　前処理フィルタの評価体系概念図（一次元定常温度評価モデル）

表－1　考慮した伝熱機構及び温度評価に用いた熱伝導率等（前処理フィルタ２）

No.	伝熱箇所	伝熱機構	伝熱距離	熱伝導率等
①	保管容器内（空気）	気体熱伝導	約 570mm	熱伝導率 約 0.028[W/(m・K)]
②	保管容器（コンクリート）	固体熱伝導	約 100mm	熱伝導率 約 1.2[W/(m・K)]
③	保管容器から空気	自然対流	－※1	熱伝達率 約 0.46[W/(m^2・K)]

※1：自然対流による伝熱のため，距離に依存しない。

表－２　考慮した伝熱機構及び温度評価に用いた熱伝導率等（前処理フィルタ３）

No.	伝熱箇所	伝熱機構	伝熱距離	熱伝導率等
①	保管容器内（空気）	気体熱伝導	約 640mm	熱伝導率 約 0.028[W/(m・K)]
②	保管容器（炭素鋼）	固体熱伝導	約 2.3mm	熱伝導率 約 43[W/(m・K)]
③	保管容器から空気	自然対流	－※1	熱伝達率 約 0.13[W/(m^2・K)]

※1：自然対流による伝熱のため，距離に依存しない。

2．2　評価結果

評価の結果，前処理フィルタ２の温度上昇は約 0.27℃，前処理フィルタ３の温度上昇は約 0.01℃であり，フィルタの耐熱温度である 80℃を超えることはなく，材料の健全性に影響を与えるものではないことを確認した。

3．吸着塔の温度評価

3．1　評価方法

○評価手法：

・一次元定常温度評価により評価（評価体系については，図－２を参照。また，考慮した伝熱機構及び使用した熱伝導率等は表－３を参照）

○線源条件：

線源条件は，下表を条件とする。

機器名称	捕捉・吸着主要核種	吸着量 (Bq/個) ※1
吸着塔 １～５※2	Cs	3.1×10^{10}
	Sr	1.8×10^{10}
	Sb-125	6.3×10^{8}
	Ag-110m	1.0×10^{8}

※１　捕捉・吸着する主要核種の吸着量

※２　アンチモン吸着塔，重金属塔はそれぞれ１塔装填，またはそれぞれ除外可能とする。アンチモン吸着塔，重金属塔をそれぞれ１塔ずつ装填する場合は，吸着塔４にアンチモン吸着塔，吸着塔５に重金属塔を装填する。アンチモン吸着塔，重金属塔のいずれか１塔を除外し，いずれか１塔のみを装填する場合は，吸着塔５に装填する。セシウム・ストロンチウム同時吸着塔は，アンチモン吸着塔，重金属塔の装填塔数に応じて，３塔～５塔装填し，保守的にいずれか一つの吸着塔で吸着すると仮定

○入熱条件：

・吸着塔１～５は同等の保管形状であり，また吸着塔内で発生する放射線エネルギーは吸着塔１が最も大きく，発熱量が最大となることから，保守的に吸着塔１の入熱条件である 8.53×10^{-3}[W]を採用する。

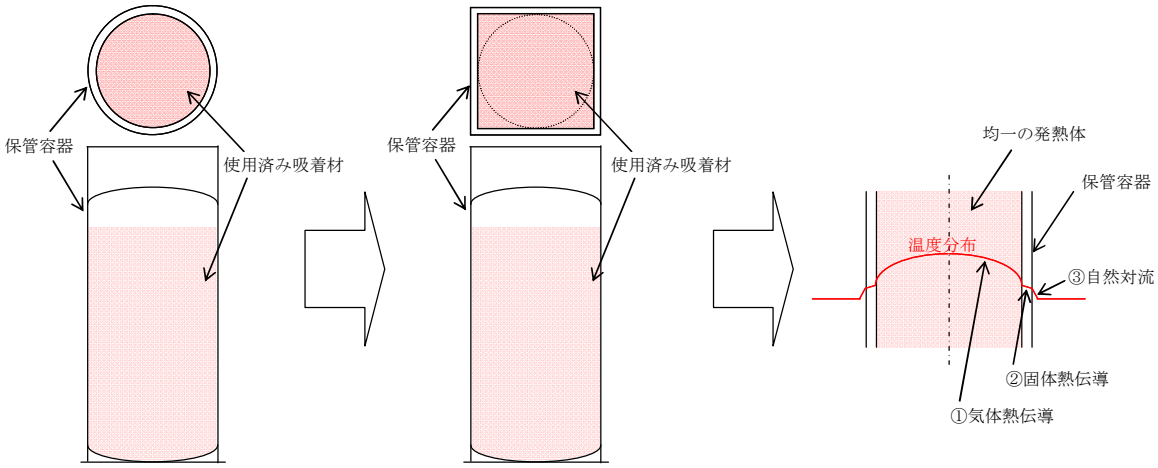
○評価条件：

・吸着塔は円柱形状であるが，評価においては保守的に吸着塔を包含する四角柱を仮定する。また容器側面からの放熱については，四角柱の２面からの放熱のみ考慮し，また上蓋及び床からの放熱は考慮しない。

・吸着塔内は保守的に均一の発熱体と仮定し，保守的に円柱形状よりも発熱体の体積が大きい条件とする。また容器内の伝熱は空気の熱伝導のみを考慮し，空気の対流及び輻射による放熱は考慮しない。

・吸着塔外面において，熱輻射による放熱は考慮しない。

・外気温度は保守的に 40℃とする。



図－２　吸着塔の評価体系概念図（一次元定常温度評価モデル）

表－３　考慮した伝熱機構及び温度評価に用いた熱伝導率等（吸着塔１）

No.	伝熱箇所	伝熱機構	伝熱距離	熱伝導率等
①	保管容器内（空気）	気体熱伝導	約 673mm	熱伝導率 約 0.028[W/(m・K)]
②	保管容器（炭素鋼）	固体熱伝導	約 25mm	熱伝導率 約 43[W/(m・K)]
③	保管容器から空気	自然対流	－※1	熱伝達率 約 0.219[W/(m^2・K)]

※1：自然対流による伝熱のため，距離に依存しない。

3．2　評価結果

評価の結果，吸着塔１の温度上昇は約 0.03℃であり，吸着材の耐熱温度である 600℃を超えることはなく，材料の健全性に影響を与えるものではないことを確認した。

以上

別紙－３

サブドレン他浄化装置の水素発生量評価について

サブドレン他浄化装置における水素発生量評価の結果を以下に示す。使用する前処理フィルタ及び吸着塔のうち，水素発生速度が最も大きい前処理フィルタ１，２を収容する保管容器の評価結果を以下に示す。

1.評価概要

使用済前処理フィルタの保管容器内では，前処理フィルタが吸着した放射性物質によって前処理フィルタ中の水分が放射線分解されることにより，水素が発生する。前処理フィルタは保管容器のベントを行わずに保管することから，本評価では発生した水素が全て容器内に滞留するものとして，保管を開始してから20年後における水素濃度の評価を行う。なお，放射性物質は核種崩壊により減衰するため水素の発生量は次第に低下し，水素濃度は一定値に収束することから，長期間保管した場合の水素濃度の収束値を参考として評価する。

2.水素発生量評価

水素発生量Hは次式により求める。なお，前処理フィルタは可燃性ガスの発生抑制を目的として水抜きを実施後に保管するが，前処理フィルタ１，２については，15時間の水抜きを行うことにより含水率が0.3以下となることを確認している。

$$H = G \times \alpha \times E \div A$$

H：水素発生量[mol]
G：水が100eVのエネルギーを吸収した際に発生する水素分子の個数，0.45
α ：含水率，0.3
E：水が吸収するエネルギー：8.47×10^{19}（MeV）
A：アボガドロ数（6.02×10^{23}個/mol）

水が吸収するエネルギーの算出にあたり使用した線源条件を表１に示す。前処理フィルタ１，２は，２塔に分布する放射能の全量が前処理フィルタ２に吸着していると保守的に設定する。

表１　前処理フィルタ及び吸着塔の線源条件

機器名称	核種	線源強度 (Bq/体)
前処理フィルタ２	Cs	2.5×10^{11}

3. 評価結果

評価の結果，使用済前処理フィルタ１，２の保管を開始してから20年後における水素濃度は約0.7%となる。なお，長期間保管した場合には水素濃度は約1.7%に収束する。

以上

別紙－４

サブドレン及び建屋滞留水水位への測量結果の反映について

サブドレン及び建屋滞留水の水位は，それぞれサブドレンピット上端及び建屋１階床を基準として，それらが震災前の図面レベルにあるものとして表示してきたが，震災による地盤変動を踏まえ，より正確に水位差を管理することを目的に測量結果をもとに算出した値を用いることとする。測量に関する特記事項を以下に示す。

(1) サブドレン及び建屋滞留水水位は，表-1 及び表-2 に示す測量結果を反映した基準点から水位を計測する。但し，R/B，Rw/B 滞留水水位の基準点は，測量が完了するまでは，構内基準点の測量結果を用いる。なお，線量環境により測量が困難な R/B,Rw/B は，４号機を先行して測量を行い，T/B との相対関係を確認し，必要により換算値を見直す。

(2) 今後，定期的にサブドレン及び建屋の代表箇所での測量を行い，相対関係の変動状況や地盤の不均一な隆起の有無を確認していく。前回測量結果からの相対関係のずれが点検計算の許容範囲※1 以内となるように測量頻度を適切に定める。

※1　３級水準測量における点検計算の許容範囲は，15mm√S（S は観測距離（片道，km 単位））

表－1　１～４号機建屋及びサブドレンピットの測量結果一覧

		実測値 [T.P.mm]	測量日	備考
構内基準点(物揚場)		3,700	H26.3	
建屋	1 号機 T/B	8,743	H27.2	
	2 号機 T/B	8,748		
	3 号機 T/B	8,763		
	4 号機 T/B	8,761		
	1～4 号機 R/B	8,764	－	
	1～4 号機 Rw/B	8,764	－	
サブドレンピット	1	8,533	H26.7 ～9	
	2	8,673		
	8	8,763		
	9	10,263		震災後，ピット上端の嵩上げを実施
	18	8,691		
	19	8,659		
	20	8,663		
	21	8,685		
	22	8,586		
	23	8,696		
	24	8,658		
	25	8,666		
	26	8,686		
	27	8,633		
	31	8,793		
	32	8,866		
	33	8,668		
	34	8,835		
	40	9,058		
	45	8,901		
	51	9,788		震災後，ピット上端の嵩上げを実施
	52	9,811		震災後，ピット上端の嵩上げを実施
	53	8,969		
	55	8,916		
	56	8,528		
	58	8,873		
	59	8,783		

※2 上記は H27.9 時点における測量結果であり，今後測量を実施し水位に反映する必要が生じた場合は，見直すものとする。

表－2　集中環境施設周り建屋及びサブドレンピットの測量結果一覧

		実測値 [T.P.mm]	測量日	備考
建屋	プロセス主建屋	8,838	H27.7	
	焼却工作建屋 （焼却建屋）	8,808		
	焼却工作建屋 （工作建屋）	8,806		
	サイトバンカ建屋	8,762		
	HTI建屋	8,754		
サブドレンピット	112	8,665	H27.7	
	116	8,654		
	119	8,657		
	120	8,519		
	121	8,702		
	122	8,720		
	125	8,462		
	133	8,700		
	150	8,776		
	151	8,762		
	152	8,775		
	153	8,757		

※2 上記はH27.9時点における測量結果であり，今後測量を実施し水位に反映する必要が生じた場合は，見直すものとする。

サブドレン他水処理施設に係る確認事項

サブドレン他水処理施設に係る主要な確認事項を表－１～８に示す。サブドレン他水処理施設で扱う液体の放射能濃度は 37kBq/cm^3 未満である。

なお，寸法許容範囲については製作誤差等を考慮の上，確認前に定める。

表－１　確認事項（中継タンク，集水タンク，処置装置供給タンク，サンプルタンク，地下水ドレン中継タンク，受けタンク，高台集水タンク）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法について記録を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器の据付位置，据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることを確認する。 耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいの有無も確認する。	確認圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。 また，耐圧部から漏えいがないこと。
機能	警報確認	液位「高高」側※1の信号により警報が発生することを確認する。	液位「高高」側※1の信号により警報が発生すること。

※1　タンクにより信号名称は異なる。

表－２　確認事項（前処理フィルタ，pH 緩衝塔，吸着塔）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法について記録を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器の据付位置，据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることを記録で確認する。 耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいの有無も確認する。	確認圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。 また，耐圧部から漏えいがないこと。
性能	運転性能確認	定格容量を通水する。	実施計画に記載した容量を通水できること。 また，異音，異臭，振動等の異常がないこと。

表－３　確認事項（サブドレン他浄化装置）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
性能	運転性能確認	設計流量（50m³/h）以上で処理対象水を通水し，サブドレン他浄化装置の処理前水及び処理済水の水質について確認条件で分析する。	実施計画に記載した容量を通水でき，Cs-134，Cs-137，Sr-90※1の放射能濃度が低減すること※2。処理前水の Ge 半導体検出器にて Cs-137 を検出できる計測を行った結果として確認された核種※3の放射能濃度が低減すること。 また，異音，異臭，振動等の異常がないこと。

※1　Sr-90 は，分析値若しくは全βでの評価値とする。

※2　告示に定める周辺監視区域外の水中の濃度限度との比がそれぞれ 0.1 を下回ること。

※3　Cs-137 が検出されない場合は Cs-137 で 1Bq/L まで確認することとし，それでも検出されない場合は他に確認される核種はないものとする。

表－４　確認事項（揚水ポンプ，中継タンク移送ポンプ，集水タンク移送ポンプ，集水移送加圧ポンプ，処理装置供給ポンプ，処理装置加圧ポンプ，浄化水移送ポンプ，攪拌ポンプ，地下水ドレンポンド揚水ポンプ，地下水ドレン中継タンク移送ポンプ，受けタンク移送ポンプ，高台集水タンク払出ポンプ）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認 ※1，※2，※3	機器の据付位置，据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	漏えい確認 ※1，※2，※3	運転圧力で耐圧部分からの漏えいの有無を確認する。	耐圧部から漏えいがないこと。
性能	運転性能確認	ポンプの運転確認を行う。	実施計画に記載した容量を満足すること。 また，異音，異臭，異常振動等がないこと。

※１　揚水ポンプについては，サブドレンピット内部の水中に設置されており，据付確認及び漏えい確認が困難であり，対象外とする。

※２　地下水ドレンポンド揚水ポンプについては，地下水ドレンポンド内部の水中に設置されており，据付確認及び漏えい確認が困難であり，対象外とする。

※３　地下水ドレン中継タンク移送ポンプについては，地下水ドレン中継タンク内部の水中に設置されており，据付確認及び漏えい確認が困難であり，対象外とする。

表－５－１　確認事項（サブドレン集水設備主配管（鋼管），
サブドレン他浄化設備主配管（鋼管），サブドレン他移送設備主配管（鋼管），
地下水ドレン集水設備主配管（鋼管））

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認※1	実施計画に記載した外径，厚さについて記録を確認する。	①寸法が許容範囲内であること。
			②実施計画のとおりであること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器の据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認※2	①確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることを確認する。 耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいの有無も確認する。	①確認圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。 また，耐圧部から漏えいがないこと。
		②最高使用圧力の 1.25 倍の水圧で保持した後，同圧力に耐えていることを確認する。 耐圧確認終了後，耐圧部からの漏えいの有無も確認する。	②最高使用圧力の 1.25 倍の水圧に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。 また，耐圧部から漏えいがないこと。

※1　②は pH 緩衝塔の主配管に適用する。

※2　②はサブドレンピット No.30,37,49,57，集水タンクの高台移設に伴う主配管に適用する。

表－５－２　確認事項（サブドレン集水設備主配管（PE 管），
サブドレン他浄化設備主配管（PE 管），サブドレン他移送設備主配管（PE 管），
地下水ドレン集水設備主配管（PE 管））

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	主な材料について記録を確認する。	当該材料規格の規定のとおりであること。
	寸法確認	主要寸法について記録を確認する。	製造者寸法許容範囲内であること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	配管の据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認※	①現場状況を考慮し製造者指定方法・圧力による漏えい有無を確認する。	①耐圧部から漏えいがないこと。
		②最高使用圧力以上の水圧に耐え，漏えいがないことを確認する。	②検査圧力に耐え，かつ異常のないこと。 また，耐圧部からの漏えいがないこと。
		③運転圧力で耐圧部からの漏えいがないことを確認する。	③耐圧部から漏えいがないこと。

※耐圧・漏えい確認は，①②③のいずれかとする。

表－５－３　確認事項（サブドレン集水設備主配管（伸縮継手），
サブドレン他浄化設備主配管（伸縮継手））

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	主な材料について記録を確認する。	当該材料規格の規定のとおりであること。
	寸法確認	指定のサイズ（呼び径）であることを確認する。	指定のサイズ（呼び径）であること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	配管の据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることを確認する。 耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいの有無も確認する。	確認圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。 また，耐圧部から漏えいがないこと。

表－５－４　確認事項（サブドレン他移送設備主配管（伸縮継手））

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	指定サイズ（呼び径）であることを確認する。	指定サイズ（呼び径）であること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	配管の据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認※1	①最高使用圧力による耐圧漏えい確認を行う。	①耐圧部から漏えいがないこと。
		②確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることを確認する。 耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいの有無も確認する。	②確認圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。 また，耐圧部から漏えいがないこと。

※1　①または②にて実施する。

表－５－５　確認事項（主配管）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
機能	通水機能確認	主配管の通水状態について確認する。	通水できること。

表－６　確認事項（漏えい検出装置及び警報装置）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	装置の据付位置，据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
機能	漏えい警報確認※1	①設定通りに警報が作動することを確認する。	①許容範囲以内で警報が作動すること。
		②漏えいの信号により警報が発生することを確認する。	②漏えいの信号により警報が発生すること。

※１　②は集水タンクの高台移設に伴う設備に適用する。

表－７　確認事項（水位計）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度	外観確認※1	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認※1	装置の据付位置を確認する。	実施計画のとおりであること。
性能	性能校正確認※1	校正器を用いて模擬入力を与え，水位計指示値が正しいことを確認する。	模擬入力に対する水位計指示値が，許容範囲内であること。

※１　現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する。

表－８－１　確認事項（堰その他の設備※1）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	寸法確認	主要寸法について記録を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。

※１　中継タンク堰，集水タンク 1～3 堰，サンプルタンク A～G 堰，地下水ドレン中継タンク堰。

表－８－２　確認事項（堰その他の設備※1）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	据付確認	タンク基礎の不陸について確認する。	異常な不陸がないこと。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	地盤支持力確認	支持力試験によりタンク基礎の地盤支持力を確認する。	必要な支持力を有していること。
機能	漏えい拡大防止機能確認	堰の保有水量について確認する。	保有水量以上あること。

※1　集水タンク 4,5 堰，集水タンク 6,7 堰，サンプルタンク H,J,K,L 堰，高台集水タンク堰，受けタンク堰。

表－９－１　確認事項（サブドレン他浄化装置建屋基礎）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度	材料確認	構造体コンクリートの圧縮強度を確認する。	構造体コンクリート強度が，実施計画に記載されている設計基準強度に対して，JASS 5N の基準を満足すること。
		鉄筋の材料，強度，化学成分を確認する。	JIS G 3112 に適合すること。
	寸法確認	構造体コンクリート部材の断面寸法を確認する。	構造体コンクリート部材の断面寸法が,実施計画に記載されている寸法に対して，JASS 5N の基準を満足すること。
	据付確認	鉄筋の径，間隔を確認する。	鉄筋の径が実施計画に記載されている通りであること。鉄筋の間隔が実施計画に記載されているピッチにほぼ均等に分布していること。

表－９－２　確認事項（サブドレン他浄化装置建屋内堰）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
漏えい防止	材料確認	実施計画に記載されている主な材料について確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載されている主要寸法を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	堰その他の設備の据付位置，据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。

RO 濃縮水処理設備から用途変更する機器に関する確認事項を表－１０に示す。

RO 濃縮水処理設備から他設備へ用途変更する機器は，用途変更に伴い，構造強度・耐震性，機能及び性能について変更はないことから，用途変更後も機器を継続使用する。なお，用途変更する機器に係わる確認事項については，継続使用しながら確認を実施する。

表－１０－１　確認事項（RO 濃縮水処理水中継タンク）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法について記録を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
	外観確認	各部の外観を確認する。※1	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器の据付位置，据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることを記録で確認する。 耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいの有無も確認する。	確認圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。 また，耐圧部から著しい漏えいがないこと。
機能	警報確認	液位「高高」側※2の信号により警報が発生することを確認する。	液位「高高」側※2の信号により警報が発生すること。

※１　現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する。

※２　タンクにより信号名称は異なる。

表－１０－２　確認事項（RO 濃縮水処理水移送ポンプ）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	外観確認	各部の外観を確認する。※1	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器の据付位置，据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	漏えい確認	運転圧力で耐圧部分からの漏えいの有無を確認する。	耐圧部から著しい漏えいがないこと。
性能	運転性能確認	ポンプの運転確認を行う。	実施計画に記載した容量を満足すること。 また，異音，異臭，異常振動等がないこと。

※1　現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する。

表－１０－３　確認事項（主配管（鋼管））

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した外径，厚さについて記録を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
	外観確認	各部の外観を確認する。※1	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	配管の据付状態について確認する。※1	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることを確認する。 耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいの有無も確認する。	確認圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。 また，耐圧部から著しい漏えいがないこと。

※1　現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する。

表－１０－４　確認事項（主配管（PE 管））

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	主要寸法について記録を確認する。	製造者寸法許容範囲内であること。
	外観確認	各部の外観を確認する。※1	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	配管の据付状態について確認する。※1	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	現場状況を考慮し製造者指定方法・圧力による漏えい有無を確認する。	耐圧部から著しい漏えいがないこと。

※1　現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する。

表－１０－５　確認事項（主配管（伸縮継手））

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	指定サイズ（呼び径）であることを確認する。	指定サイズ（呼び径）であること。
	外観確認	各部の外観を確認する。※1	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	配管の据付状態について確認する。※1	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	最高使用圧力による耐圧漏えい確認を行う。	耐圧部から著しい漏えいがないこと。

※1　現地では実施可能な範囲とし，必要に応じて記録を確認する。

表－１０－６　確認事項（堰その他の設備※1）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	寸法確認	主要寸法について記録を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。

※1　サブドレン他浄化装置建屋内堰を除く，屋外に設置したタンク堰。

表－１０－７　確認事項（主配管（閉止部））

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	外観・据付確認	配管閉止部の外観，据付状態について確認する。	実施計画の通りであること。
機能	機能確認	配管が実施計画の通り施工されていることを確認する。	実施計画の通りであること。

地下水ドレン前処理装置について

1. 設置の目的

地下水ドレン前処理装置は，地下水ドレン集水設備により汲み上げた水の放射能濃度（トリチウムを除く）が高い場合に，当該設備にて前処理を行い，放射能濃度を低下させることによってサブドレン他浄化設備での処理負荷を軽減させることを目的とする。

2. 要求される機能

(1) 地下水ドレン集水設備により汲み上げた水の処理を行い，放射性物質の放射能濃度を低減してサブドレン他浄化設備へ移送する能力を有すること。

(2) 処理により生成される濃縮水は，タービン建屋に移送できること。

3. 地下水ドレン前処理装置の構成

地下水ドレン前処理装置は，保安フィルタ，ＲＯ膜加圧ポンプ，ＲＯ膜，脱塩器及び移送配管で構成する。

保安フィルタは，大まかなゴミや鉄分等を捕捉する。ＲＯ膜は逆浸透圧を利用し，処理対象水中のイオン及び微粒子等を除去する。脱塩器に通水させることにより，ＲＯ膜通過後の処理対象水をさらに浄化する。

移送配管は，ポリエチレン管，鋼管及び合成ゴム管で構成する。サポート等により接続部が外れないように処置する。

4. 規格・基準等

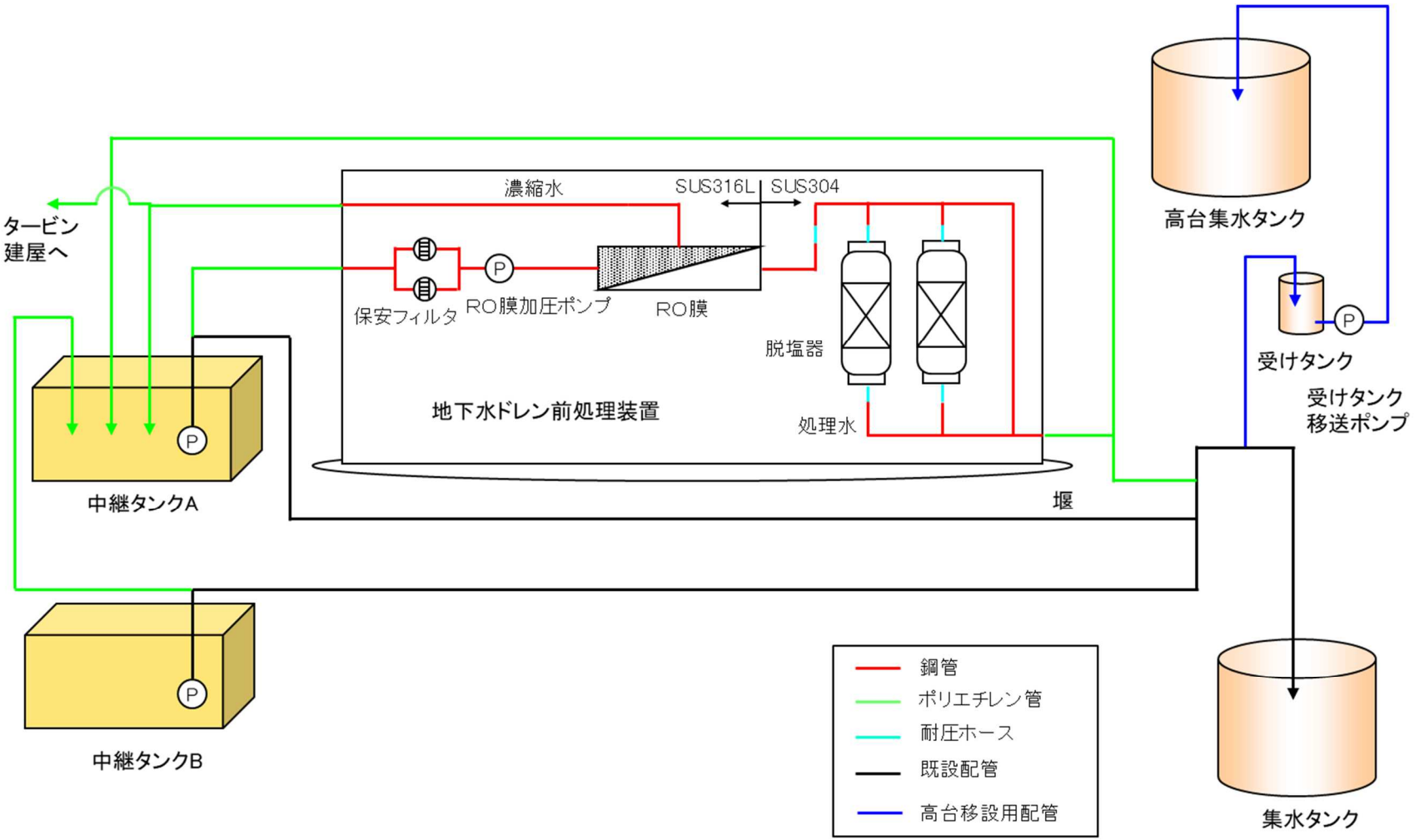
地下水ドレン前処理装置は，設計，材料の選定，製作及び検査について，JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（JSME 規格），日本産業規格（JIS 規格），ISO 規格，JWWA 規格等の準拠，実績等により信頼性を確保する。

5. 運用方法

地下水ドレン前処理装置及びその周辺機器の全体概略図を図－１に示す。

地下水ドレン前処理装置は，地下水ドレン中継タンクへ汲み上げた地下水を通水し，処理水と濃縮水に分離する。処理水は集水タンク，受けタンクを経由し高台集水タンク（サブドレン集水設備）に移送し，サブドレン他浄化設備にて浄化後に排水する。濃縮水はタービン建屋へ移送する。

なお，本装置の処理水をサブドレン他浄化設備による浄化を行わずに排水することは行わない（構内散水を含む）。



図－１：地下水ドレン前処理装置及びその周辺機器の全体概略図

6. 構造強度及び耐震性

(1) 構造強度

配管のうち，ポリエチレン管は ISO 規格，JWWA 規格，または，JIS に準拠し，鋼管は，「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格」等に準拠する。強度評価については，「添付資料－７　地下水ドレン集水設備の強度に関する説明書」参照。

(2) 耐震性

「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」に従い設計する。地下水ドレン前処理装置及び鋼管の耐震性を評価するにあたっては，「JEAG4601 原子力発電所耐震設計技術指針」等に準拠する。ポリエチレン配管は，材料の可撓性により耐震性を確保する。耐震性評価については，「添付資料－３　サブドレン他水処理施設の耐震性に関する説明書」参照。

7. 具体的な安全確保策

7.1. 放射性物質漏えい防止等に対する考慮

(1)漏えい発生防止

移送配管は，耐食性を有するポリエチレン管を基本とする。ステンレス材を使用する部位は内部流体の性状等に応じた適切な材料を使用する。

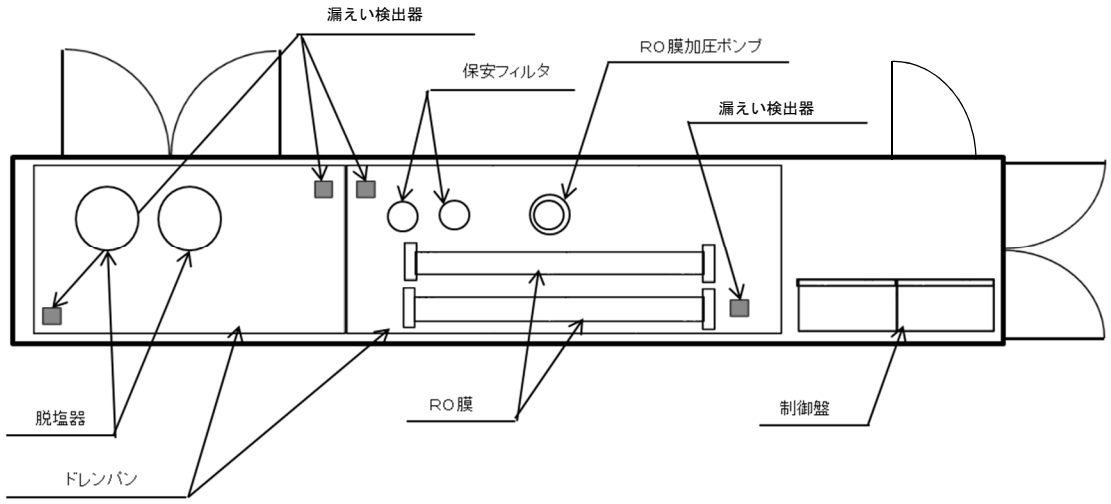
(2)漏えい検知・漏えい拡大防止

地下水ドレン前処理装置には，漏えいした場合の検知機能を設け，漏えいを早期に検知する。また，漏えい拡大防止の堰を設置する。設置した堰は，装置が内包する液体を受けられる容量を確保していることから，装置内部に内包する液体が漏えいした場合でも，堰内に収まり，堰外へ漏えいすることはない（表－１）。

表－１　地下水ドレン前処理装置漏えい拡大防止　堰仕様（設計値）

対象設備		縦幅 (m)	横幅(m)	高さ (m)	容積(m^3)	保有水量 (m^3)
地下水ドレン前処理装置※1	ＲＯ膜	2.2	5.8	0.2	2.5	0.9
	脱塩器	2.2	3.8	0.3	2.5	1.3

※１　漏えい検出器の個数：　図－２参照



地下水ドレン前処理装置

図－２　漏えい検出器の設置場所

7.2. 放射線遮へい・被ばく低減に対する考慮

地下水ドレン前処理装置にて取り扱う液体に含まれている放射性物質濃度は数千 Bq/L 程度であることから，放射線遮へいは不要である。

なお，放射線遮へいの必要が生じた場合には，状況に応じて適切な放射線遮へいを行う。

7.3. 崩壊熱除去

地下水ドレン前処理装置にて取り扱う液体に含まれている放射性物質の崩壊熱は，通水により熱除去する。

7.4. 可燃性ガスの滞留防止

地下水ドレン前処理装置においては，水の放射線分解により発生する可能性のある可燃性ガスは，通水により排水される。

7.5.環境条件対策

7.5.1.熱による劣化

地下水の温度は，ほぼ常温のため，金属材料の劣化の懸念はない。また，高分子系の材料についても本装置の最高使用温度 40℃で最高使用圧力に耐えられる材料を用いる。

7.5.2.凍結

地下水ドレン前処理装置については，コンテナ内に空調設備を設置し，0℃を下回らないようにして凍結防止を図る。屋外敷設のポリエチレン管等は水の移送を停止した場合，凍結による破損が懸念されるため，屋外敷設のポリエチレン管等に保温材を取り付け，凍結防止を図る。なお，保温材は高い気密性と断熱性を有する硬質ポリウレタン等を使用し，凍結しない十分な厚さを確保する。

7.5.3.生物汚染

地下水を移送している上では有意な微生物腐食等は発生しないと考えられる。

7.5.4.耐放射線性

地下水ドレン前処理装置にて取り扱う液体に含まれている放射性物質濃度は数千 Bq/L 程度であることから，機器（電気・計装品含む）類および配管の耐放射線性は考慮する必要はない。

7.5.5.紫外線

屋外敷設箇所のポリエチレン管等には，紫外線による劣化を防止するための耐紫外線性を有する保温材等で覆う処置を実施する。また，供用期間中，保温材等の劣化を確認した場合には，必要に応じて補修を計画する。

7.5.6.長期停止中の措置

装置を長期停止する場合は，必要に応じてフラッシングを行い放射線量を低減するとともに，内部の水抜きを実施することで，腐食および凍結を防止する。

7.6.自然災害対策等

(1)津波

大津波警報が出た際はサブドレン集水設備及び地下水ドレン集水設備を停止することで，汲み上げた水の流出防止に努める。

(2)台風・豪雨

地下水ドレン前処理装置は，屋外移送配管を除きコンテナ内に設置する。コンテナは一般的に貨物輸送に使われる強固な鋼製のものであり，基本的に台風時にも横転することはないが，念のため基礎ボルトによってコンテナを固縛することで更なる横転防止を図る。豪雨及び強風に対する対応は，予め定めたマニュアル等に従い実施する。

(3)落雷

動的機器及び電気設備は，機器接地により落雷による損傷を防止する。

(4)竜巻

竜巻の発生の可能性が予見される場合は，設備の停止・隔離弁の閉止作業等を行い，地下水ドレンポンドから汲み上げた地下水の漏えい防止を図る。

(5)火災

火災発生を防止するため，実用上可能な限り不燃性又は難燃性の材料を使用する。消火器を設置し，動力消防ポンプ（防火水槽及びポンプ車）を適切に配置することにより，初期消火の対応を可能とし，消火活動の円滑化を図る。なお，火災発生は，巡視点検，監視カメラにより確認できる。

8. 放射性固体廃棄物発生量に関する評価

地下水ドレン前処理装置の運用に伴い，保安フィルタ，ＲＯ膜，脱塩器（脱塩樹脂含む）から，放射性固体廃棄物が発生する。地下水ドレン前処理装置を運用した場合の放射性固体廃棄物発生量について評価を行った。

8.1. 計算条件

計算条件は以下の通りとする。

・地下水ドレン前処理装置は，定格処理量（480m³/日）とする。

8.2. 評価結果

8.2.1. 保安フィルタ

保安フィルタはフィルタ差圧に応じて取替を実施する。交換頻度は，地下水の水質により変動するが，2ヶ月に1回程度と想定される。年間の廃棄物発生量は約1m³程度となる。

8.2.2. RO膜

RO膜は，RO膜差圧または装置下流の導電率に応じて取替を実施する。交換頻度は，地下水の水質により変動するが，2ヶ月に1回程度と想定される。年間の廃棄物発生量は約4m³程度となる。

8.2.3. 脱塩器（脱塩樹脂含む）

脱塩器は，保安フィルタ及びＲＯ膜で処理された水を通水する。よって，脱塩器の性能低下はほとんど想定されないことから，脱塩器の交換の可能性はほとんどない。保守的に脱塩器の脱塩樹脂を年2回交換すると想定した場合，廃棄物発生量は約2m³ となる。

8.3. 保管計画

地下水ドレン前処理装置で発生する固体廃棄物については，容器に収納し，表面の線量率を測定した上で発電所内の固体廃棄物貯蔵庫にて保管する。処理対象の放射性物質濃度が低く，処理後はそのほとんどが濃縮水中に含まれることから，ＲＯ膜等の固体廃棄物への遮へいは不要である。

9. 別紙

別紙－１　：　地下水ドレン前処理装置に係る確認事項

別紙－１

地下水ドレン前処理装置に係る確認事項

地下水ドレン前処理装置に係る主要な確認事項を表－１～６に示す。
なお，寸法許容範囲については製作誤差等を考慮の上，確認前に定める。

表－１　確認事項（地下水ドレン前処理装置）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器の据付位置，据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工･据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることについて記録を確認する。 耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいの有無も確認する。	確認圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。 また，耐圧部から漏えいがないこと。
性能	運転性能確認	定格容量を通水する。ただし，処理する水の水温により通水量が変化することから，換算した結果を確認する。	定格容量を通水できること。 また，異音，異臭，振動等の異常がないこと。 ＲＯ膜の処理により，放射性核種が低減されていること。

表－２　確認事項（地下水ドレン前処理装置主配管（鋼管））

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	主要寸法について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	配管の据付状態について確認する。	実施計画のとおり据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることについて記録を確認する。 耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいの有無も確認する。	確認圧力に耐え，かつ構造物の変形がないこと。 耐圧部から漏えいがないこと。

表－３　確認事項（地下水ドレン前処理装置主配管（PE 管））

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	主な材料について記録を確認する。	当該材料規格の規定のとおりであること。
	寸法確認	主要寸法について記録を確認する。	製造者寸法許容範囲内であること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	配管の据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることについて記録を確認する。 耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいの有無も確認する。	確認圧力に耐え，かつ構造物の変形がないこと。 耐圧部から漏えいがないこと。

表－４　確認事項（地下水ドレン前処理装置主配管（合成ゴム管））

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度・耐震性	材料確認	納品書等に添付されている材料証明書等により使用材料を確認する。	確認書類に示される使用材料が，実施計画の通りであること。
	寸法確認	主要寸法について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	配管の据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることについて記録を確認する。 耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいの有無も確認する。	確認圧力に耐え，かつ構造物の変形がないこと。 耐圧部から漏えいがないこと。

表－５　確認事項（漏えい検出装置及び自動警報装置）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	装置の据付位置を確認する。	実施計画のとおりであること。
機能	漏えい警報確認	漏えいの信号により警報が発生することを確認する。	漏えいの信号により警報が発生すること。

表－６　確認事項（堰）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
漏えい防止	寸法確認	実施計画に記載されている堰の主要寸法を確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	据付位置，据付状態について確認する。	実施計画のとおりであること。
性能	機能確認	外観を確認する。	有意な欠陥が無いこと。

以上

５・６号機サブドレン集水設備復旧による地下水流入低減について

1. 概要

５・６号機タービン建屋等の周辺に設置されたサブドレンピットから地下水を汲み上げることにより，５・６号機建屋への地下水流入量を低減することを目的とする。

５・６号機サブドレンピットから汲み上げた地下水は，集水タンクに集水し（「添付資料－１　図－１　サブドレン他水処理施設の全体概要図」参照），サブドレン他浄化設備にて浄化したのち，サブドレン他移送設備にて排水する。（排水の基準は「Ⅲ　特定原子力施設の保安　第３編　2.1.2 放射性液体廃棄物等の管理」を参照）

５・６号機サブドレン集水設備は，揚水ポンプ，中継タンク，中継タンク移送ポンプ及び移送配管で構成する。（「添付資料－１　図－９　サブドレン集水設備系統図（５・６号機）」参照）

2. ５・６号機サブドレン集水設備の設計方針

(1) 処理能力

５・６号機サブドレン集水設備は，５・６号機タービン建屋等の周辺に設置されたサブドレンピットから地下水を汲み上げ，集水タンクに移送できる処理容量とする。

(2) 材料

５・６号機サブドレン集水設備は，処理対象水の性状を考慮し，適切な材料を用いた設計とする。

(3) 放射性物質の漏えい防止及び管理されない放出の防止

５・６号機サブドレン集水設備の機器等は，液体状の放射性物質の漏えい防止及び敷地外への管理されない放出を防止するため，次の各項を考慮した設計とする。

a. 漏えいの発生を防止するため，機器等には適切な材料を使用するとともに，タンク水位の検出器を設ける。
b. 液体状の放射性物質が漏えいした場合は，漏えい液体の除去を行えるようにする。
c. サブドレンピットの水位，中継タンク水位等の警報については，５・６号機中央制御室に表示し，異常を確実に運転員に伝え適切な措置をとれるようにし，これを監視できるようにする。

(4)　健全性に対する考慮

５・６号機サブドレン集水設備は，機器の重要度に応じた有効な保全が可能な設計とする。

3. 水位管理について

５・６号機タービン建屋等への地下水の流入を低減させるため，５・６号機サブドレン集水設備を稼働し，サブドレン水位を低下させる。サブドレン水位の低下により各建屋からの滞留水の漏えいを防止するために，サブドレン水位を滞留水水位より高く保つ必要があることから，サブドレン揚水ポンプを建屋地下階床面＋2m を超える位置に設置する。