

2.2 原子炉格納容器内窒素封入設備

2.2.1 基本設計

2.2.1.1 設置の目的

原子炉格納容器内窒素封入設備は、水素爆発を予防するために、原子炉圧力容器内及び原子炉格納容器内に窒素を封入することで不活性雰囲気を維持することを目的とする。

2.2.1.2 要求される機能

- (1) 原子炉圧力容器内及び原子炉格納容器内の雰囲気の水素の可燃限界以下に維持できる機能を有すること。
- (2) 動的機器は多重性または多様性及び独立性を備えること。
- (3) 異常時にも適切に対応できる機能を有すること。

2.2.1.3 設計方針

原子炉格納容器内窒素封入設備は、原子炉圧力容器内及び原子炉格納容器内における水の放射線分解による水素と酸素の発生量に対して、水素可燃限界に至らないよう（水素濃度：4%以下）窒素を封入できる設計とする。

そのため、次の設計方針に基づいて設計する。

(1) 窒素封入機能

原子炉格納容器内窒素封入設備は、原子炉圧力容器内雰囲気及び原子炉格納容器内雰囲気を可燃限界以下にするために必要な窒素濃度、窒素封入流量、窒素封入圧力を確保する設計とする。

(2) 逆流防止機能

原子炉格納容器内窒素封入設備は、窒素封入ラインから原子炉圧力容器内ガスや原子炉格納容器内ガスが逆流し、屋外に放出されない設計とする。

(3) 構造強度

原子炉格納容器内窒素封入設備は、材料の選定、製作及び検査について、適切と認められる規格及び基準によるものとする。

(4) 多重性・多様性

原子炉格納容器内窒素封入設備のうち動的機器は多重性を備えた設計とし、定期的に機能確認が行える設計とする。また、原子炉格納容器内への窒素封入ラインは多様性を備えた設計とする。

(5) 異常時への対応機能

外部電源喪失の場合でも，所内の独立した電源設備から受電できる設計とする。

さらに，津波等により設備に破壊や損傷が生じた場合であっても，窒素封入が速やかに再開できる設計とする。

(6) 火災防護

火災の早期検知に努めるとともに，消火設備を設けることで初期消火を行い，火災により安全性を損なうことのないようにする。

(7) 検査可能性に対する設計上の考慮

原子炉格納容器内窒素封入設備は，原子炉圧力容器内及び原子炉格納容器内雰囲気を可燃限界以下にできることを確認するための検査が可能な設計とする。

2.2.1.4 供用期間中に確認する項目

- (1) 原子炉圧力容器内及び原子炉格納容器内の雰囲気の水素可燃限界以下に保つために必要な封入量以上（添付資料－4）で窒素を封入できること。
- (2) 原子炉格納容器内の水素濃度が可燃限界以下であること。

2.2.1.5 主要な機器

2.2.1.5.1 系統構成

原子炉格納容器内窒素封入設備は窒素ガス分離装置3台を高台に設置し，ヘッダを介して1～3号機へ窒素を封入しており，窒素ガス分離装置の単一故障によって窒素封入が長期間停止することを防止する。また，窒素ガス分離装置の定期的な機能確認を単独で行えるようにするとともに，系統を隔離しての補修作業が可能となるようにする。更に，高台に非常用窒素ガス分離装置及び専用のディーゼル発電機（以下，D/Gという）を設置する。主要設備構成を以下に記載する。（添付資料－1）

(1) 窒素ガス分離装置

原子炉格納容器内窒素封入設備は，3台の窒素ガス分離装置をヘッダを介して連結し，1～3号機の原子炉圧力容器及び原子炉格納容器へ窒素を封入できるように構成される。なお，2台の窒素ガス分離装置については所内電源系統の他に独立した専用のD/Gからの受電が可能である。

また予備としては所内電源系統から独立した専用のD/Gから受電する非常用窒素ガス分離装置を配置する。

(2) 窒素封入ライン

原子炉格納容器内窒素封入設備は、原子炉圧力容器及び原子炉格納容器の両方へ窒素を封入できるラインを設置する。(添付資料-3, 7)

なお、窒素封入ラインは、ガスが逆流するのを防止するため、既設配管との取り合い部に近い位置に逆止弁を設置するとともに、ラインからの漏えいにより全体の圧力が低下し窒素の封入に支障が出ないように、適宜コック弁を設け、漏えい部を適宜隔離できる構造とする。また、原子炉格納容器への窒素の封入は、原子炉圧力容器へ封入した窒素が原子炉格納容器に流入することによっても封入されることから、多様性が確保される。

(3) 電源

常用の窒素ガス分離装置は、複数系統の所内高圧母線から受電できる構成とする。外部電源喪失の場合でも、非常用所内電源から電源を供給することで常用の窒素ガス分離装置のいずれか1台の運転が可能な構成とする。

また、窒素ガス分離装置A、B及び非常用窒素ガス分離装置には専用のD/Gを有しており、全交流電源喪失の場合でも窒素の封入が可能となる設備とする。

(4) 監視装置

原子炉格納容器内窒素封入設備は、窒素濃度、窒素封入流量、窒素封入圧力等のパラメータを監視し、原子炉圧力容器内及び原子炉格納容器内へ窒素が適切に封入されていることを確認できる構造とする。

これらのパラメータのうち、窒素濃度、窒素封入流量及び窒素封入圧力については免震重要棟にて遠隔監視が可能な設備とする。

2.2.1.6 自然災害対策等

(1) 津波

原子炉格納容器内窒素封入設備については、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、仮設防潮堤を越える津波等により、原子炉格納容器内窒素封入設備に破壊や損傷が生じることを想定し、高台(T.P. 33.5m盤)に窒素ガス分離装置を設置し、ホースや取り付け治具についても予備品を準備し、速やかに窒素の封入が再開できるようにする。

(2) 火災防護

原子炉格納容器内窒素封入設備には潤滑油やD/G用燃料等の危険物が存在するため、可能な限り可燃物を排除するとともに、ホースには可能な限り難燃性の保護カバーを取り付ける。

また、危険物を内包する機器の近傍には初期消火の対応ができるよう近傍に消火器を設置するとともに、補給用潤滑油については施錠管理された危険物倉庫にて保管を行う。

窒素封入設備は巡視点検ならびに窒素封入設備の運転データの監視を行っているため、火災発生について確認可能である。

(3) 豪雨

窒素ガス分離装置は設計上、側溝が整備されているエリアに設置し、またコンテナ内や屋根カバー内に設置することから、豪雨に耐えうる構造としている。

屋外の窒素封入ラインは、全て屋外仕様品を用いており、豪雨による機器への影響は受けない設計としている。屋内の窒素封入ラインは、各号機原子炉建屋内及びタービン建屋内に設置しているため、豪雨による設備損傷の恐れはない。

万一の損傷を考慮し、高台に窒素ガス分離装置を設置し、ホースや取り付け治具についても予備品を準備し、速やかに窒素の封入が再開できるようにする。

(4) 強風(台風・竜巻)

窒素ガス分離装置は、コンテナや屋根カバーにより強風(台風)に耐えうる構造としている。

また、屋外の窒素封入ラインが強風により破壊や損傷が生じた場合は予備のホースや取り付け治具を使用し、速やかに窒素の封入が再開できるようにする。屋内の窒素封入ラインについては各号機原子炉建屋内及びタービン建屋内に設置しているため、強風による設備損傷の恐れはない。

万一の強風での損傷を考慮し、窒素ガス分離装置を複数台設置し、運転切り替えを行うことで速やかに窒素封入が再開できるようにする。

2.2.1.7 構造強度及び耐震性

(1) 構造強度

窒素封入設備は、重要度分類指針上の不活性ガス系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)」で規定されるものであるが、設計・建設規格は、鋼材を基本とした要求事項を設定したものであり、耐圧ホース等の非金属材料についての基準がない。従って、鋼材を使用している主要設備については、設計・建設規格のクラス3機器相当での評価を行い、非金属材料については、当該設備に加わる機械的荷重により損傷に至らないことをもって評価を行う。この際、当該の設備がJISや独自の製品規格等を有している場合や、試験等を実施した場合はその結果などを活用し、評価を行う。また、溶接部については、耐圧試験、系統機能試験等を行い、有意な変形や漏えい等のないことをもって評価を行なう。(添付資料-2)

(2) 耐震性

原子炉格納容器内窒素封入設備は耐震設計審査指針上の耐震Cクラス相当の設備と位置づけられることから、原則として一般構造物と同等の耐震性を有する設計とする。

具体的には、「建築設備耐震設計・施工指針（2005年版）」を参考とし、静的震度（1.2Ci）に基づく主要機器の転倒評価を行い、窒素ガス分離装置について静的震度（1.2Ci）に対する評価で問題ないことを確認する。なお、窒素ガス分離装置A、B及び非常用窒素ガス分離装置については、耐震Sクラス相当の静的震度（3.6Ci）に対する評価も行い、転倒しないことを確認する。

その他にも主要な設備への固縛の実施や、フレキシビリティを有する材料を使用するなどし、耐震性を確保する。また、フレキシビリティのない設備の取り付け部等については、地震後の設備点検にて異常のないことの確認を行う。（添付資料-2）

2.2.1.8 機器の故障への対応

2.2.1.8.1 機器の単一故障

(1) 窒素ガス分離装置故障

現在使用している窒素ガス分離装置が故障した場合は、現場にて待機状態となっている窒素ガス分離装置の起動を行い、原子炉圧力容器及び原子炉格納容器への窒素封入を再開する。

（所要時間（目安）：2時間程度）※

(2) 電源喪失

窒素封入設備の電源は多重化されており、片側の電源が喪失した場合、予備機側に切り替えることで、原子炉圧力容器及び原子炉格納容器への窒素封入を再開する。

（所要時間（目安）：2時間程度）※

変圧器や所内母線の故障など電源切替に長時間を要する場合は、専用のD/Gを持つ窒素ガス分離装置A、B又は非常用窒素ガス分離装置を起動することで、原子炉圧力容器及び原子炉格納容器への窒素封入を再開する。

（所要時間（目安）：3時間程度）※

(3) 窒素封入ラインの損傷

窒素封入ホースが破損した場合は、予備品のホースと交換する。

（所要時間（目安）：8時間程度）※

※：所要時間（目安）とは復旧作業の着手から完了までの時間（目安）である。

2.2.1.8.2 複数の設備が同時に機能喪失した場合

地震、津波等により万が一、窒素封入設備の複数の系統や機器の機能が同時に喪失した

場合には、当該設備の停止、隔離、巡視点検を行い、窒素ガス分離装置 A、B 又は非常用窒素ガス分離装置と専用の D/G、予備のホース及び取り付け治具を用いて速やかに原子炉圧力容器及び原子炉格納容器への窒素封入を再開する。

原子炉圧力容器及び原子炉格納容器への窒素の封入が停止してから、これらの容器内の雰囲気の水素の可燃限界に至るまでは最短でも 100 時間程度（添付資料-5）であることから、原子炉圧力容器及び原子炉格納容器の水素爆発を防止することは可能であると考えている。

2.2.1.8.3 水素の滞留が確認された機器への窒素封入

高濃度の水素滞留が確認された機器については、不活性状態にするため窒素の封入を行う。（添付資料-6）

2.2.2 基本仕様

(1) 窒素ガス分離装置 A（外部電源及び専用 D/G 電源）（完成品）

台数	1
容量	90m ³ /h(Normal) 以上
窒素純度	99.0%以上
電気容量	93.8kVA

(2) 窒素ガス分離装置 B（外部電源及び専用 D/G 電源）（完成品）

台数	1
容量	90m ³ /h(Normal) 以上
窒素純度	99.0%以上
電気容量	93.8kVA

(3) 窒素ガス分離装置 A 及び B 用 専用 D/G（完成品）

台数	1
容量	125kVA 以上
力率	約 0.8（遅れ）
電圧	約 400V
周波数	50Hz
タンク容量	250 l 以上

（発電機 75%負荷時における消費量 24.2 l/h（参考値））

(4) 窒素ガス分離装置C (外部電源) (完成品)

台数	1
容量	120m ³ /h (Normal)
窒素純度	99.0%以上
電気容量	111kVA

(5) 非常用窒素ガス分離装置 (専用D/G電源) (完成品)

台数	1
容量	500m ³ /h (Normal)
窒素純度	99.0%以上

(6) 非常用窒素ガス分離装置用 専用D/G (完成品)

台数	2
容量	15kVA 以上
力率	約 0.8 (遅れ)
電圧	約 200V
周波数	50Hz
タンク容量	50 l 以上

(発電機 75%負荷時における消費量 3.8 l/h (参考値))

表 2.2-1 主要配管仕様

名称	仕様	
【窒素封入ライン】 (ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力	50A 相当 合成ゴム 1.0MPa
(ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力	25A 相当 合成ゴム 1.0MPa
(ホース)	呼び径 材質 最高使用圧力	25A 相当 軟質塩化ビニール 1.0MPa
(鋼管)	呼び径 材質 最高使用圧力	25A/Sch. 80 STPT410 1.0MPa
(鋼管)	呼び径 材質 最高使用圧力	25A/Sch. 40 SUS304TP 1.0MPa

2.2.3 添付資料

- 添付資料－1 系統概略図
- 添付資料－2 構造強度及び耐震性について
- 添付資料－3 窒素封入ラインの構成
- 添付資料－4 水素発生量の評価について
- 添付資料－5 窒素封入停止時の時間余裕について
- 添付資料－6 サプレッションチェンバ内の不活性化について
- 添付資料－7 1号機ジェットポンプ計装ラックを用いた窒素封入設備について
- 添付資料－8 原子炉圧力容器封入ラインの二重化及び窒素ガス分離装置A，Bの取替等について
- 添付資料－9 窒素ガス分離装置用専用D／Gについて
- 添付資料－10 原子炉格納容器内窒素封入設備に係わる確認事項について
- 添付資料－11 1号機原子炉格納容器窒素封入ライン（不活性ガス系）の撤去について
- 添付資料－12 2号機原子炉圧力容器窒素封入ライン追設について

構造強度及び耐震性について

1. 窒素ガス分離装置の構造強度及び耐震性

1. 構造強度

窒素ガス分離装置A, B, C及び非常用窒素ガス分離装置に用いる容器の一部については、圧力容器構造規格の第二種圧力容器構造規格を適用しており、JIS B 8265（圧力容器の構造—一般事項）の規格計算を行い、必要板厚を満足することを確認する。

表一1に板厚計算の結果を示す。当該機器は必要板厚を満足しており、原子炉格納容器内窒素封入設備の最高使用圧力に十分耐えうる構造強度を有していることを確認した。

表一1 第二種圧力容器 板厚計算結果

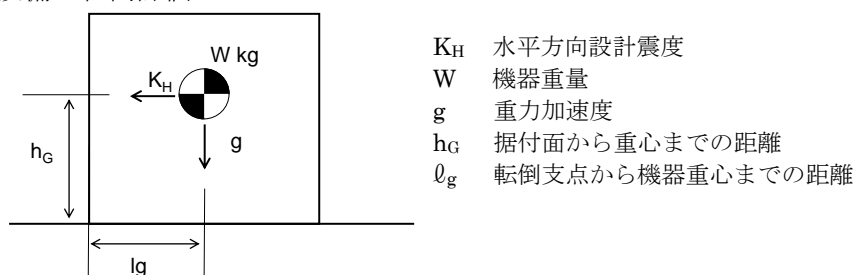
設備名		部位	必要板厚 (mm)	使用板厚 (mm)
窒素ガス 分離装置 A	吸着槽	胴板	5.56	9
		皿形鏡板	5.86	9
		半楕円形鏡板	4.17	12
		平ふた板	21.93	26
	製品槽	胴板	5.56	9
		皿形鏡板	5.86	9
窒素ガス 分離装置 B	吸着槽	胴板	5.56	9
		皿形鏡板	5.86	9
		半楕円形鏡板	4.17	12
		平ふた板	21.93	26
	製品槽	胴板	5.56	9
		皿形鏡板	5.86	9
窒素ガス 分離装置 C	活性炭槽	胴板	3.51	4.5
		半楕円形鏡板	2.75	4.5
		平ふた板	11.94	22
	空気槽	胴板	4.23	4.5
		半楕円形鏡板	3.24	4.5
	吸着槽	胴板	4.23	4.5
		半楕円形鏡板	3.24	4.5
		平ふた板	17.67	24
	製品槽	胴板	4.23	4.5
		半楕円形鏡板	3.24	4.5

設備名		部位	必要板厚 (mm)	使用板厚 (mm)
非常用 窒素ガス 分離装置	活性炭槽	胴板	4.07	6
		皿形鏡板	4.27	5
	吸着槽	胴板	4.39	6
		半楕円形鏡板	4.19	5
	製品槽	胴板	3.77	6
		皿形鏡板	3.94	5

2. 耐震性

窒素ガス分離装置 A, B, C 及び非常用窒素ガス分離装置については、建築設備耐震設計・施工指針 (2005 年版) を参考とし、静的地震力を用いて、耐震設計審査指針上の耐震 C クラス相当の地震力 ($1.2C_i = 0.24$) にて設備が転倒しないことの評価を行う。

・設備の転倒評価



$$\text{地震によるモーメント} : M_1 = W \times g \times K_H \times h_G$$

$$\text{自重によるモーメント} : M_2 = W \times g \times l_g$$

表一 2 に転倒評価の結果を示す。当該機器は地震力に対して転倒せず、必要な耐震性を有していることを確認した。

表一 2 窒素ガス分離装置 転倒評価結果 (耐震 C クラス相当の静的震度)

設備名称	地震によるモーメント M_1 [N·m]	自重によるモーメント M_2 [N·m]	評価
窒素ガス分離装置 A	25166	116473	転倒しない
窒素ガス分離装置 B	25166	116473	転倒しない
窒素ガス分離装置 C	7259	15877	転倒しない
非常用窒素ガス分離装置	24172	85219	転倒しない

なお、窒素ガス分離装置 A, B 及び非常用窒素ガス分離装置については、耐震 S クラ

ス相当の静的震度（3.6Ci=0.72）での転倒評価も行い、転倒しないことを確認した。表一3に転倒評価の結果を示す。

表一3 窒素ガス分離装置A, B及び非常用窒素ガス分離装置 転倒評価結果
(耐震Sクラス相当の静的震度)

設備名称	地震によるモーメント M ₁ [N・m]	自重によるモーメント M ₂ [N・m]	評価
窒素ガス分離装置A	75498	116473	転倒しない
窒素ガス分離装置B	75498	116473	転倒しない
非常用窒素ガス分離装置	72515	85219	転倒しない

2. ホース

(1) 構造強度

ホースは設計・建設規格に記載がない材料であるが、通常運転状態における漏えい確認試験を行い、有意な変形や漏えいがないことを確認していることから、必要な構造強度を有しているものと判断する。

(2) 耐震性

ホースは、フレキシビリティを有しており、地震変位による有意な応力は発生しないと考えられる。

3. 既設設備の耐震性

原子炉圧力容器及び原子炉格納容器への窒素の封入ライン（既設配管）の耐震性は以下の表一4の通り。

表一4 窒素封入ライン（既設配管）の耐震性

	原子炉圧力容器	原子炉格納容器
1号機	原子炉圧力容器頂部冷却系 (耐震Sクラス) ジェットポンプ計装ラック (耐震Sクラス)	原子炉格納容器内酸素分析計ラック (耐震Cクラス)
2号機	原子炉圧力容器水位計装ライン (耐震Sクラス) 主蒸気計装ライン (耐震Sクラス)	可燃性ガス濃度制御系 (耐震Sクラス)
3号機	原子炉圧力容器水位計装ライン (耐震Sクラス)	原子炉格納容器漏えい率検査用予備ライン (耐震Sクラス)

2 / 3号機については、原子炉圧力容器及び原子炉格納容器とも耐震Sクラス配管に接続されており、耐震上問題はない。

1号機については、原子炉格納容器への窒素の封入は耐震Cクラス設備である原子炉格納容器内酸素分析計ラックに接続されているため、大きな地震が発生した場合、既設配管の影響が懸念される。しかし、原子炉圧力容器への窒素封入ラインが耐震Sクラスであることから、原子炉圧力容器へ封入した窒素が原子炉格納容器側に流入し窒素で満たされるため問題はない。これらの既設封入ラインは東北地方太平洋沖地震でも健全性が維持されていたものである。

なお、既設設備の強度、耐震性等については以下の工事計画認可申請書等による。

- ・ 1号機 原子炉圧力容器頂部冷却系
建設時第7回工事計画認可申請書（43公第13412号 昭和44年4月7日認可）
建設時第4回工事計画軽微変更届出書（総官第503号 昭和45年7月2日届出）
工事計画認可申請書（53資庁第10621号 昭和53年9月25日認可）
工事計画認可申請書（平成20・08・26原第10号 平成20年9月10日認可）
- ・ 1号機 ジェットポンプ計装ラック
福島第一原子力発電所原子炉施設保安規定変更認可申請書（平成22・03・25原第9号 平成23年2月7日認可）
- ・ 2号機 原子炉圧力容器水位計装ライン及び主蒸気計装ライン
建設時第14回工事計画認可申請書（46公第11145号 昭和46年8月17日認可）
建設時第3回工事計画軽微変更届出書（総官第685号 昭和47年9月28日届出）
工事計画認可申請書（53資庁第13643号 昭和54年1月5日認可）
- ・ 3号機 原子炉圧力容器水位計装ライン
建設時第11回工事計画認可申請書（47公第8267号 昭和47年9月28日認可）
建設時第26回工事計画軽微変更届出書（総官第459号 昭和49年7月11日届出）

窒素封入ラインの構成

1. 1号機

(1) 原子炉压力容器窒素封入ライン：

既設の原子炉压力容器ヘッドスプレイラインのテストラインに接続しており，原子炉压力容器の T. P. 32, 500 付近の位置より窒素の封入が可能である。

また，既設のジェットポンプ計装ラックのドレンラインに接続しており，原子炉压力容器の T. P. 15, 300 付近，16, 900 付近，24, 200 付近の位置より窒素の封入が可能である。

(2) 原子炉格納容器窒素封入ライン：

既設の原子炉格納容器内酸素分析計ラックに接続しており，原子炉格納容器の T. P. 13, 500 付近の位置より窒素の封入が可能である。

2. 2号機

(1) 原子炉压力容器窒素封入ライン：

既設の原子炉压力容器水位計の計装ラインに接続しており，原子炉压力容器の T. P. 34, 500 付近，T. P. 25, 800 付近の位置より窒素の封入が可能である。

また，既設の主蒸気計装ラインに接続しており，原子炉压力容器の T. P. 29, 100 付近の位置より窒素の封入が可能である。

(2) 原子炉格納容器窒素封入ライン：

既設の可燃性ガス濃度制御系 A 系の配管テストタップに接続しており，原子炉格納容器の T. P. 13, 900 付近の位置より窒素の封入が可能である。

3. 3号機

(1) 原子炉压力容器窒素封入ライン：

既設の原子炉压力容器水位計の計装ラインに接続しており，原子炉压力容器の T. P. 34, 500 付近の位置より窒素の封入が可能である。

(2) 原子炉格納容器窒素封入ライン：

既設の格納容器漏えい率検査用予備ラインに接続しており，原子炉格納容器の T. P. 13, 500 付近の位置より窒素の封入が可能である。

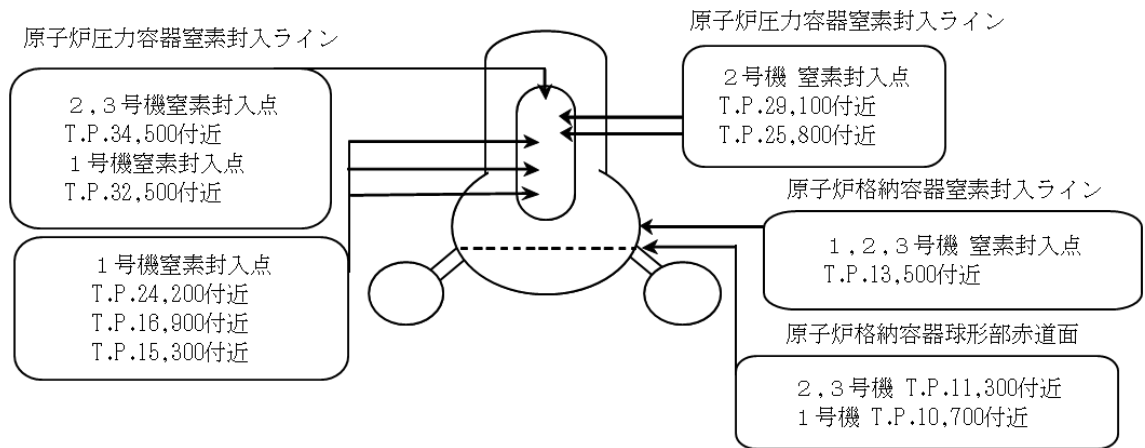


図-1 窒素封入ライン概略図

水素発生量の評価について

事故初期の水—ジルコニウム反応により発生した水素は既に原子炉格納容器から漏えいし、現状は水の放射線分解により発生している水素が滞留していると考えられることから、水の放射線分解により発生する水素発生量を下式により評価する。

$$M = P_0 \times (P_t / P_0) \times E \times G / 100 \times \text{換算係数}$$

ここで、

M：可燃性ガス発生割合 (lbmol/h)

P₀：原子炉熱出力 (MWt)

P_t：崩壊エネルギー (MWt)

P_t/P₀：事故後の原子炉出力割合 (崩壊エネルギー) (MWt/MWt)

E：エネルギー吸収率 (γ線, β線) (—)

G：エネルギー 100eV あたりの水の分解量 (G 値) (分子/100eV)

換算係数：82.2 (eV・lbmol/MW・h・分子) ※¹

※¹：1 lbmol=22.4/2.205 m³(Normal)

評価に使用する核分裂生成物の存在位置、存在割合及びエネルギー吸収率は表—1のとおりとする。

表—1 核分裂生成物の存在位置、存在割合及びエネルギー吸収率

核分裂生成物	存在位置	存在割合	エネルギー吸収率
ハロゲン	原子炉格納容器液相中	100%	100%
	それ以外	0%	—
固形分※ ²	原子炉格納容器液相中	10%	100%
	それ以外	90%	10%

※²：原子炉格納容器液相中に存在する固形分は、CsI 等の水溶性の固形分とし、液相中に存在するデブリ等の固形分は、それ以外として扱う。

評価に使用するG値は、水中による素が存在すると水素と酸素の再結合を阻害する効果があること、及び水素燃焼が懸念されるのは崩壊熱の減少により蒸気発生が停止する状態 (非沸騰状態) であることを考慮して、保守的に水素のG値を 0.25 分子/100eV※³とする。

※³：原子炉設置変更許可申請書

平成 24 年 12 月 7 日現在での水素濃度を 4%以下にするために必要な各号機の窒素封入量の評価結果を表-2 及び図-1～図-3 に示す。崩壊熱は、核種の生成・崩壊を計算できる汎用の計算コード ORIGEN を用いた評価である。

表-2 窒素封入量の評価結果

		平成 24 年 12 月 7 日	平成 25 年 10 月 17 日	平成 26 年 10 月 17 日
1 号 機	崩壊熱 (MW)	約 0.3	約 0.2	約 0.1
	水素発生量 (m ³ (Normal)/h)	約 0.1	約 0.1	約 0.05
	必要窒素量 (m ³ (Normal)/h)	約 3	約 2	約 2
2 号 機	崩壊熱 (MW)	約 0.3	約 0.2	約 0.2
	水素発生量 (m ³ (Normal)/h)	約 0.1	約 0.1	約 0.06
	必要窒素量 (m ³ (Normal)/h)	約 4	約 3	約 2
3 号 機	崩壊熱 (MW)	約 0.3	約 0.2	約 0.2
	水素発生量 (m ³ (Normal)/h)	約 0.1	約 0.1	約 0.06
	必要窒素量 (m ³ (Normal)/h)	約 4	約 2	約 2

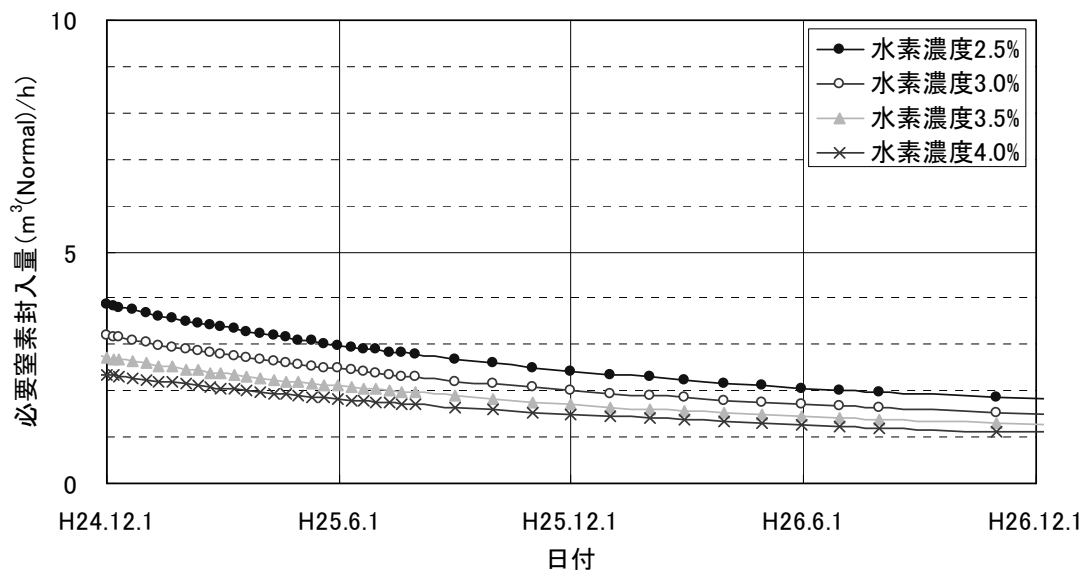


図-1 福島第一原子力発電所第1号機 必要窒素封入量の推移

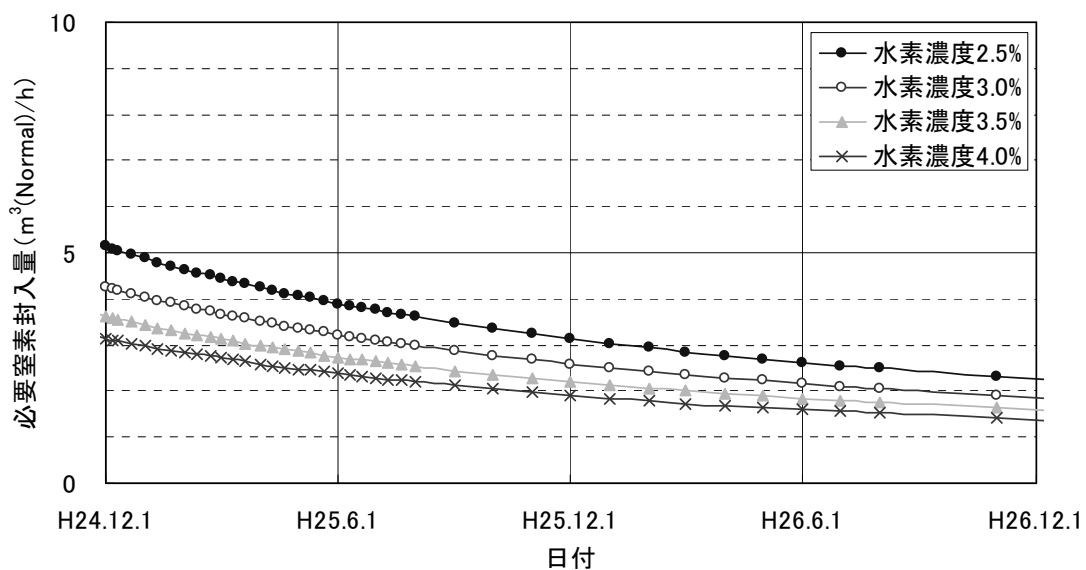


図-2 福島第一原子力発電所第2号機 必要窒素封入量の推移

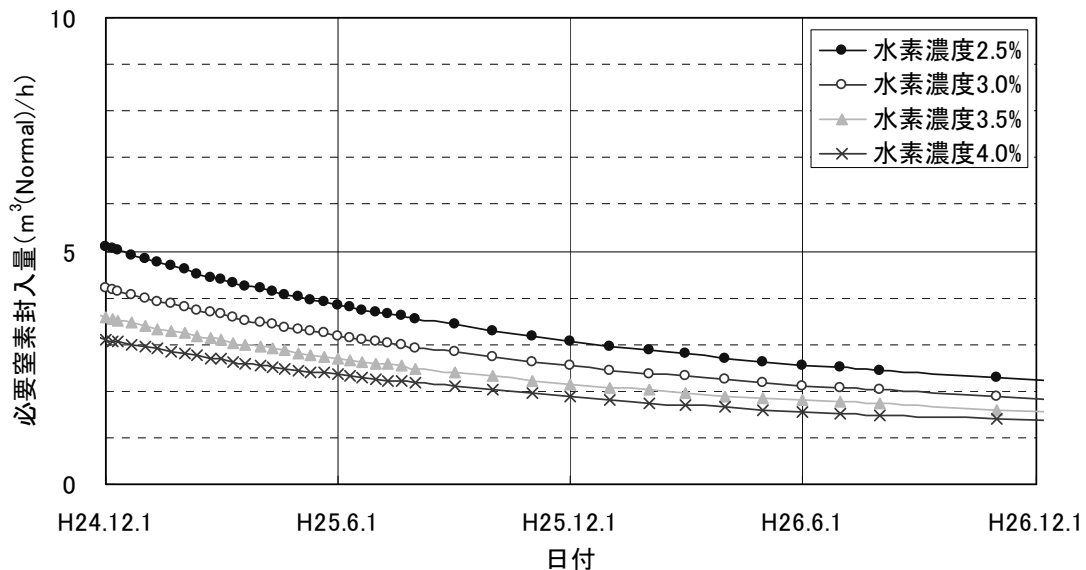


図-3 福島第一原子力発電所第3号機 必要窒素封入量の推移

窒素封入停止時の時間余裕について

原子炉压力容器及び原子炉格納容器は、窒素封入により、不活性な雰囲気中に保たれている。しかしながら、原子炉压力容器または原子炉格納容器への窒素の封入が停止した場合、水の放射線分解により発生する水素により、原子炉格納容器内の雰囲気が水素の可燃限界に至ることが想定されることから、下式により、窒素の封入を復旧するまでの時間余裕を評価する。

$$T = V \times (4\% - C_{H_2}) / 100 / M_{H_2}$$

T：時間余裕 (h)

V：原子炉格納容器気相部体積 (m³) または原子炉压力容器気相部体積 (m³)

C_{H₂}：原子炉格納容器内または原子炉压力容器内の初期水素濃度 (%)

M_{H₂}：水の放射線分解による単位時間あたりの水素発生量 (m³/h)

水の放射線分解により単位時間あたりに発生する水素及び酸素、並びに、単位時間あたりに封入される窒素により、原子炉格納容器気相部または原子炉压力容器気相部が平衡状態にあるとして、初期水素濃度を設定する。

また、評価に使用する原子炉格納容器体積及び原子炉压力容器体積は、空間体積を小さく想定するほど厳しくなることから、評価結果が保守的になるよう表－1の通りとする。

表－1 原子炉格納容器及び原子炉压力容器気相部体積について

	1号機	2号機	3号機
原子炉格納容器気相部体積	約 1,900	約 2,600	約 2,600
原子炉压力容器気相部体積 (燃料頂部－5mの体積)	約 200	約 420	約 420

※ 原子炉格納容器の水位は、空間体積を小さく見積もるため、原子炉格納容器球部の赤道面にあることとしている。

また、1号機は、注水量を変更した際の原子炉压力容器付近の温度変化が小さく、原子炉格納容器雰囲気の温度と同等であったことから、燃料の大部分が原子炉格納容器に存在すると推定される。念のため、1号機は、50%が原子炉压力容器内に残っているとして評価を実施している。

2・3号機は、注水量を変更した際の原子炉压力容器付近の温度変化が大きく、燃料の大部分が原子炉压力容器に残っていると推定されるため、100%が原子炉压力容器内に残っているとして評価を実施している。

平成 24 年 12 月 7 日現在での原子炉格納容器への窒素の封入が停止した場合の時間余裕の評価結果を表一 2 に、原子炉圧力容器への窒素の封入が停止した場合の時間余裕の評価結果を、表一 3 に示す。なお、原子炉格納容器の初期水素濃度は、原子炉格納容器ガス管理設備で測定される水素濃度に相当するものであるが、実際の測定値は本評価より小さい値である。これは、水素発生量の本評価手法（G 値の設定等）が保守的であることを示している。

表一 2 原子炉格納容器内での水素発生量と初期水素濃度と時間余裕について
(平成 24 年 12 月 7 日時点)

	1 号機	2 号機	3 号機
水素発生量 (m ³ (Normal)/h)	約 0.10	約 0.13	約 0.13
窒素封入量 (m ³ (Normal)/h)	34	16	17
初期水素濃度 (%)	約 0.3	約 0.8	約 0.8
時間余裕 (日)	約 29	約 26	約 26

表一 3 原子炉圧力容器内での水素発生量と初期水素濃度と時間余裕について
(平成 24 年 12 月 7 日時点)

	1 号機	2 号機	3 号機
水素発生量 (m ³ (Normal)/h)	約 0.05	約 0.13	約 0.13
窒素封入量 (m ³ (Normal)/h)	13	16	17
初期水素濃度 (%)	約 0.4	約 0.8	約 0.8
時間余裕 (時間)	約 141	約 101	約 103

サブプレッションチェンバ内の不活性化について

1. 概要

1号機及び2号機において、サブプレッションチェンバ圧力又はドライウエル圧力の変動に連動して、原子炉格納容器ガス管理設備で測定する水素濃度及び Kr-85 放射能濃度の上昇が観測されている。これを受けて、メカニズムの検証のため実施した1号機サブプレッションチェンバ内への窒素封入によって、サブプレッションチェンバ内上部の閉空間に残留していた水素及び Kr-85 が、ドライウエルに間欠的に放出されていたことを確認している。

サブプレッションチェンバ内の雰囲気については、Kr-85 放射能濃度が高いことから事故初期の水ジルコニウム反応によって発生した水素が、当時サブプレッションチェンバ内にも放出されたと考えられる。仮にサブプレッションチェンバ内の気相部に漏えいがなく現在まで閉空間が形成されていれば、高濃度の水素を含む残留ガスが存在することとなる。この場合でも、1号機で確認されたとおり、事故初期の残留ガスであるため酸素濃度が低く、可燃領域にはないことから直ちに燃焼する可能性は小さいと考えられる。しかしながら、将来サブプレッションチェンバにアクセスする際には、水素濃度を可燃限界以下にしておく必要があることから、高濃度の水素残留が確認された場合には、不活性状態にするため窒素ガスの封入を行うこととしている。

1号機及び2号機のサブプレッションチェンバ内の窒素封入による不活性化については、1号機は平成24年12月に実施済み、2号機は平成25年上期に実施計画中のものであるが、原子炉格納容器ガス管理設備の水素濃度を監視しながら、放出先の水素濃度が可燃限界を超えないような窒素封入量にて実施する。サブプレッションチェンバへの窒素封入系統図を図1、図2に示す。

なお、3号機については、1、2号機のように原子炉格納容器ガス管理設備での水素濃度の上昇は観測されておらず、サブプレッションチェンバ内上部の閉空間に気相部が存在することを確認出来ていないこと、また、仮に水素が残留していても、ドライウエル内の水位が高く、今後とも残留ガスはサブプレッションチェンバ内の閉空間に安定的に封じられると考えられること、及び、事故初期の残留ガスであるため酸素濃度が低く可燃領域にはないことから直ちに燃焼する可能性は小さいと考えられる。そこで、3号機については、原子炉建屋内除染の進捗状況等を踏まえ、サブプレッションチェンバ内の閉空間の気相部の水素残留状況について調査することを検討している。

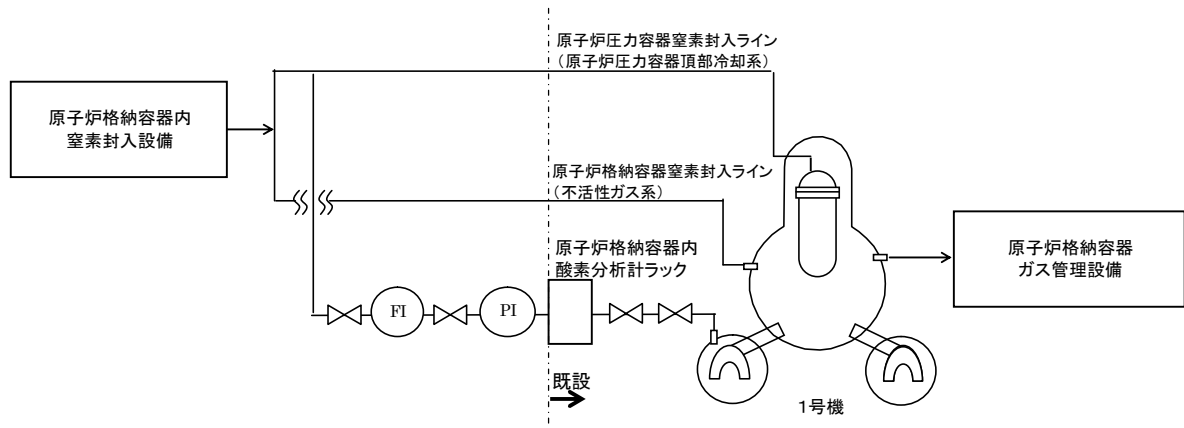


図1 1号機サブプレッションチェンバへの窒素封入系統概要図

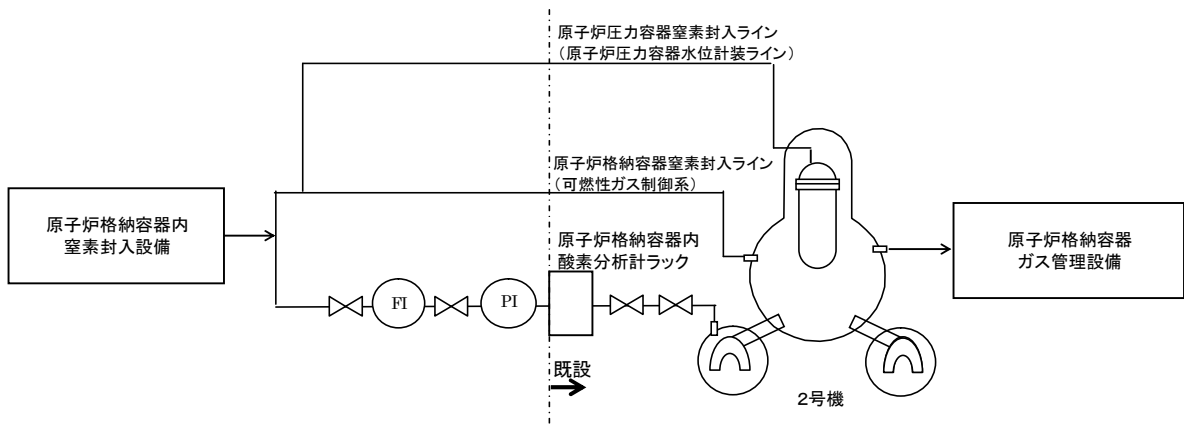


図2 2号機サブプレッションチェンバへの窒素封入系統概要図

2. 工程

	平成25年度			
	4月	7月	10月	1月
2号機 窒素封入作業	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 60px; height: 15px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 15px; height: 15px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 10px; height: 15px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 10px; height: 15px;"></div> </div>			

1号機ジェットポンプ計装ラックを用いた窒素封入設備について

1. はじめに

1号機ジェットポンプ計装ラックを用いた窒素封入設備は、1号機における新設のジェットポンプ計装ラック窒素封入ラインと、既設のジェットポンプ計装ラックから原子炉圧力容器内までの配管を用いた設備である。

本設備は、水素爆発を予防するために、1号機原子炉圧力容器に窒素を封入することで、不活性雰囲気を維持するために設置する。

2. 基本設計及び基本仕様

1号機ジェットポンプ計装ラックを用いた窒素封入設備の基本設計及び基本仕様については、「2.2.1 基本設計」及び「2.2.2 基本仕様」に基づく。

3. 構造強度及び耐震性

1号機ジェットポンプ計装ラックを用いた窒素封入設備の構造強度及び耐震性については、「2.2.1.7 構造強度及び耐震性」に基づく。

3.1 新設ユニット

(1) 構造強度

1号機ジェットポンプ計装ラック窒素封入ラインの各新設ユニットを構成する鋼管については、設計・建設規格に基づき、系統最高使用圧力に対して十分な厚さを有していることを確認しており、使用条件に対して十分な構造強度を有していると判断する(表－1参照)。

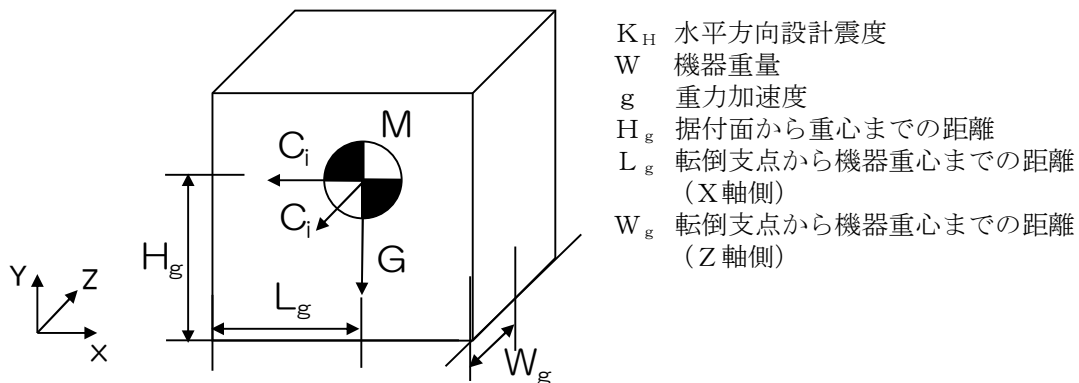
表－1 配管強度確認結果

型式	公称肉厚 [mm]	設計・建設規格上の必要最小厚さ[mm]
円型	4.5	1.7

(2) 耐震性

各新設ユニットについては、建築設備耐震設計・施工指針（2005年版）を参考とし、静的地震力を用いて、耐震設計審査指針上の耐震Cクラス相当の地震力（ $1.2C_i = 0.24$ ）にて設備が転倒しないことの評価を行う。

設備の転倒評価



地震によるモーメント : $M_1 = W \times g \times K_H \times H_g$

自重によるモーメント（X軸側）: $M_2 = W \times g \times L_g$

自重によるモーメント（Z軸側）: $M_3 = W \times g \times W_g$

表-2に転倒評価の結果を示す。当該機器は地震力に対して転倒せず、必要な耐震性を有していることを確認した。

表-2 1号機ジェットポンプ計装ラック窒素封入ライン 転倒評価結果（耐震Cクラス相当の静的震度）

設備名称	地震による モーメント M_1 [N・m]	自重による モーメント (X軸側) M_2 [N・m]	自重による モーメント (Z軸側) M_3 [N・m]	評価
窒素封入用弁 モジュール1	31.63	172.23	77.81	転倒しない
窒素封入用弁 モジュール2	31.63	172.23	77.81	転倒しない
ジェットポンプ計装 ラック窒素封入用 流量調整ユニット	403.27	1871.66	677.47	転倒しない
注入/ドレンライン 切替ユニット	50.22	332.53	106.11	転倒しない

3.2 ゴムホース

(1) 構造強度

ゴムホースは設計・建設規格に記載がない材料であるが、一般高圧ガス保安規則に基づき最高使用圧力の1.25倍以上にて耐圧試験を実施して有意な変形が無いこと、及び最高使用圧力以上にて漏えいがないことを確認することにより、必要な構造強度を有していると評価する。

(2) 耐震性

ゴムホースは、フレキシビリティを有しており、地震変位による有意な応力は発生しない。

(3) 環境条件対策

封入流体が高純度窒素（99%以上）の為、酸化による劣化は発生せず、封入流体による内部からの劣化はない。

また、紫外線対策、人的損傷及び外的要因による損傷への対策として、保護カバーの設置による防護措置を実施する。

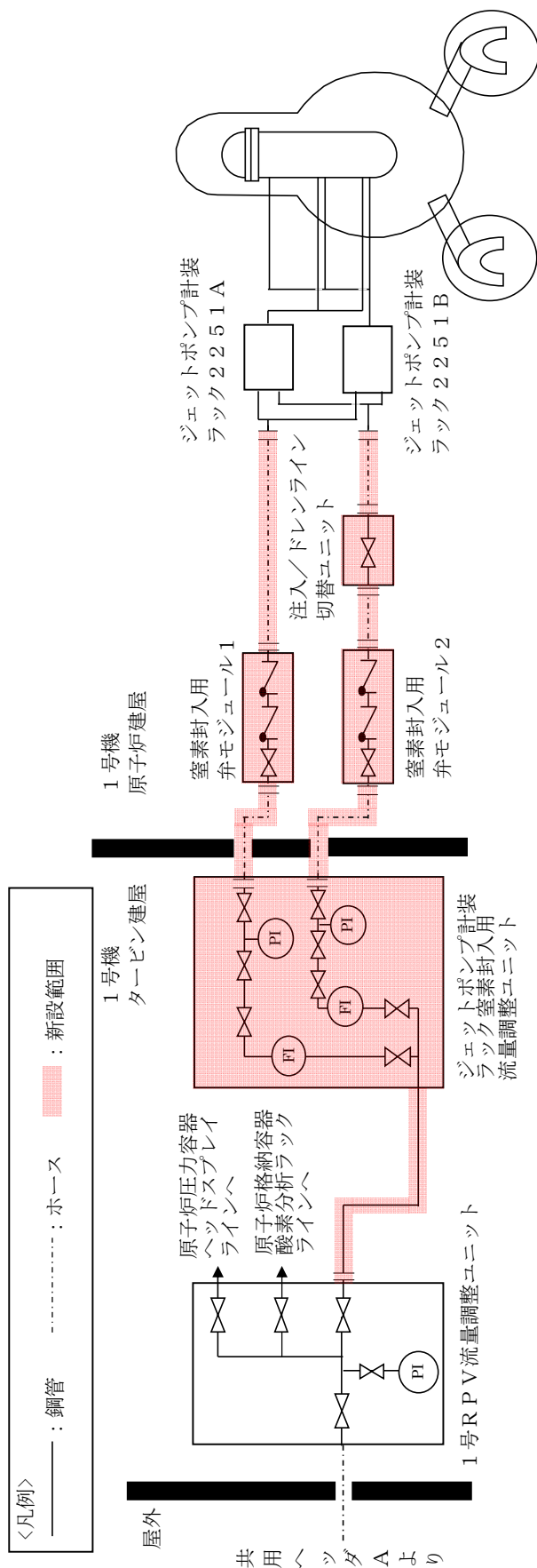


図1 新設範囲（1号機ジェットポンプ計装ラック室素封入ライン）

別紙

別紙ー 1 1号機ジェットポンプ計装ラックを用いた窒素封入設備に係わる申請範囲

別紙ー 2 1号機ジェットポンプ計装ラックを用いた窒素封入設備に係わる確認事項

1号機ジェットポンプ計装ラックを用いた窒素封入設備に係わる申請範囲

今回（運総発官 26 第 692 号）の申請範囲は、福島第一原子力発電所の以下の部分である

。

申請範囲	備考
2.2 原子炉格納容器内窒素封入設備 2.2.1 基本設計 2.2.1.6 自然災害対策等	<ul style="list-style-type: none"> ・津波に関する記載の充実 ・火災に関する記載の充実 ・強風（台風・竜巻），豪雨に対する記載の追加
2.2.2 基本仕様 表 2.2-1 主要ホース仕様	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼管の仕様を追加
2.2.3 添付資料	<ul style="list-style-type: none"> ・添付資料－7の追記
添付資料－1 原子炉格納容器内窒素封入設備 系統概略図	<ul style="list-style-type: none"> ・ジェットポンプ計装ラック窒素封入ラインの追記
添付資料－2 構造強度及び耐震性について 3. 既設設備の耐震性 表－3 窒素封入ライン（既設配管）の耐震性	<ul style="list-style-type: none"> ・ジェットポンプ計装ラックの耐震クラスを追記
添付資料－3 窒素封入ラインの構成 1. 1号機 (1)原子炉圧力容器窒素封入ライン	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉圧力容器への封入位置の追加に伴う記載変更
添付資料－7 1号機ジェットポンプ計装ラックを用いた窒素封入設備について	<ul style="list-style-type: none"> ・新規追加
別紙－1 1号機ジェットポンプ計装ラックを用いた窒素封入設備に係わる申請範囲	<ul style="list-style-type: none"> ・新規追加
別紙－2 1号機ジェットポンプ計装ラックを用いた窒素封入設備に係わる確認事項	<ul style="list-style-type: none"> ・新規追加

1号機ジェットポンプ計装ラックを用いた窒素封入設備に係わる確認事項

今回（運総発官 26 第 692 号）の申請範囲における，原子炉格納容器窒素封入設備の構造強度及び機能に関する確認事項を以下に示す。

表－１ 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。 また，窒素ガス分離装置の運転圧力による漏えいの有無を確認する。	確認圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。 また，耐圧部から漏えいがないこと。
機能	通気確認	実施計画に定められた封入流量以上で窒素が通気されていることを確認する。	実施計画に定められた封入流量以上で窒素が通気されていること。

<構造強度・耐震性に係わる準拠規格及び基準>

- ・ JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格

表－２ 確認事項（主配管（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。 また、窒素ガス分離装置の運転圧力による漏えいの有無を確認する。	確認圧力に耐え、かつ構造物の変形等がないこと。 また、耐圧部から漏えいがないこと。
機能	通気確認	実施計画に定められた封入流量以上で窒素が通気されていることを確認する。	実施計画に定められた封入流量以上で窒素が通気されていること。

<構造強度に係わる準拠規格及び基準>

- ・一般高圧ガス保安規則

原子炉圧力容器封入ラインの二重化及び窒素ガス分離装置A， Bの取替等について

1. はじめに

水素爆発を予防するために，原子炉圧力容器内及び原子炉格納容器内に窒素を封入することで，不活性雰囲気を維持する設備である原子炉格納容器内窒素封入設備の圧力容器封入ラインのうち，1号機ヘッドスプレイライン及び2，3号機水位計装ラインについて，新たにホース，流量計ユニット，隔離弁ユニット及び共用ヘッダを設置し，二系統の封入ラインを有する設備（以下，「二重化封入ライン」という。）とする。

また，本工事に併せ，窒素ガス分離装置A及びBの取替，及び窒素ガス分離装置A及びB用専用ディーゼル発電機（以下，「AB専用D/G」という。）を設置する。なお，窒素ガス分離装置A及びBについては，基本設計及び基本仕様を「2.2.1 基本設計」及び「2.2.2 基本仕様」に，構造強度及び耐震性については「2.2.1.7 構造強度及び耐震性」及び「2.2.3 添付資料 添付資料－ 2 構造強度及び耐震性について」に記載し，AB専用D/Gについては，添付資料－ 9に記載する。

2. 基本設計及び基本仕様

二重化封入ラインの基本設計及び基本仕様については，「2.2.1 基本設計」及び「2.2.2 基本仕様」に基づく。

3. 構造強度及び耐震性

二重化封入ラインの構造強度及び耐震性については，「2.2.1.7 構造強度及び耐震性」に基づく。

3.1 流量計ユニット，隔離弁ユニット及び共用ヘッダ

(1) 構造強度

二重化封入ラインの流量計ユニット，隔離弁ユニット及び共用ヘッダを構成する鋼管については，設計・建設規格に基づき，系統最高使用圧力に対して十分な厚さを有していることを確認しており，使用条件に対して十分な構造強度を有していると判断する（表－ 1 参照）。

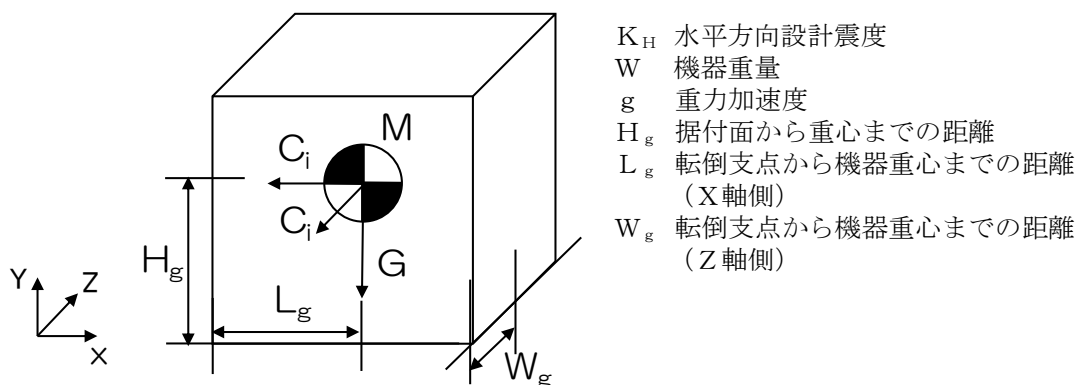
表－ 1 配管強度確認結果

型式	公称肉厚 [mm]	設計・建設規格上の必要最小厚さ[mm]
円型	3.4	0.14

(2) 耐震性

流量計ユニット，隔離弁ユニット及び共用ヘッダについては，建築設備耐震設計・施工指針（2005年版）を参考とし，静的地震力を用いて，耐震設計審査指針上の耐震Cクラス相当の地震力（ $1.2C_i = 0.24$ ）にて設備が転倒しないことの評価を行う。

・設備の転倒評価



地震によるモーメント : $M_1 = W \times g \times K_H \times H_g$

自重によるモーメント（X軸側）: $M_2 = W \times g \times L_g$

自重によるモーメント（Z軸側）: $M_3 = W \times g \times W_g$

表-2に転倒評価の結果を示す。当該機器は地震力に対して転倒せず，必要な耐震性を有していることを確認した。

表-2 流量計ユニット，隔離弁ユニット及び共用ヘッダ 転倒評価結果
（耐震Cクラス相当の静的震度）

設備名称	地震による モーメント M_1 [N・m]	自重による モーメント （X軸側） M_2 [N・m]	自重による モーメント （Z軸側） M_3 [N・m]	評価
流量計ユニット	38.26	603.52	154.74	転倒しない
隔離弁ユニットA	32.75	606.92	140.11	転倒しない
共用ヘッダ	48.66	810.96	349.75	転倒しない

(3) 環境条件対策

a. 内部の劣化

流量計ユニット，隔離弁ユニット及び共用ヘッダの封入流体は高純度窒素（99%以上）の為，酸化による劣化は発生せず、封入流体による内部の劣化はない。

b. 紫外線対策

流量計ユニット，隔離弁ユニット及び共用ヘッダは鋼材を使用するため，紫外線による影響は考えられない。

3.2 ホース

(1) 構造強度

ホースは設計・建設規格に記載がない材料であるが，一般高圧ガス保安規則に基づき最高使用圧力の1.25倍以上にて耐圧試験を実施して有意な変形が無いこと，及び最高使用圧力以上にて漏えいがないことを確認することにより，必要な構造強度を有していると評価する。

(2) 耐震性

ホースは，フレキシビリティを有しており，地震変位による有意な応力は発生しない。

(3) 環境条件対策

a. 内部の劣化

ホースの封入流体は高純度窒素（99%以上）の為，酸化による劣化は発生せず，封入流体による内部からの劣化はない。

b. 紫外線対策

ホースは紫外線防止効果のある保護カバー内に設置することにより紫外線劣化を防止する。

c. 人的損傷及び外的要因による損傷への対策

ホースは硬質ポリエチレン製の保護カバー内に設置することにより人的損傷及び外的要因による損傷を防止する。

4. 本工事における考慮事項

(1) 被ばく低減対策

事前に作業環境に応じた合理的な作業計画を立て，放射線業務従事者の被ばく線量をできる限り低減する。特に，原子炉建屋内での作業については，設置する物品は建屋外にて組立や作業工程の細分化を実施し，搬入や設置時間を短縮することで被ばく低減を図る。

(2) 瓦礫類発生量

- a. 原子炉圧力容器封入ラインの二重化及び窒素ガス分離装置A及びBの取替に伴い、約200m³の瓦礫類が発生見込みである。
- b. 瓦礫類は、撤去・廃棄時に表面線量率を測定し、表面線量率が1mSv/h以下のものについては、一時保管エリアE1, P2, W, Xもしくは固体廃棄物貯蔵庫第9棟地上1階へ搬入する。原子炉建屋内の瓦礫類（約1m³）については、表面線量率が1mSv/hを超えた場合、一時保管エリアE2, Q及び固体廃棄物貯蔵庫第3～第8棟及び9棟地下1, 2階に搬入する。

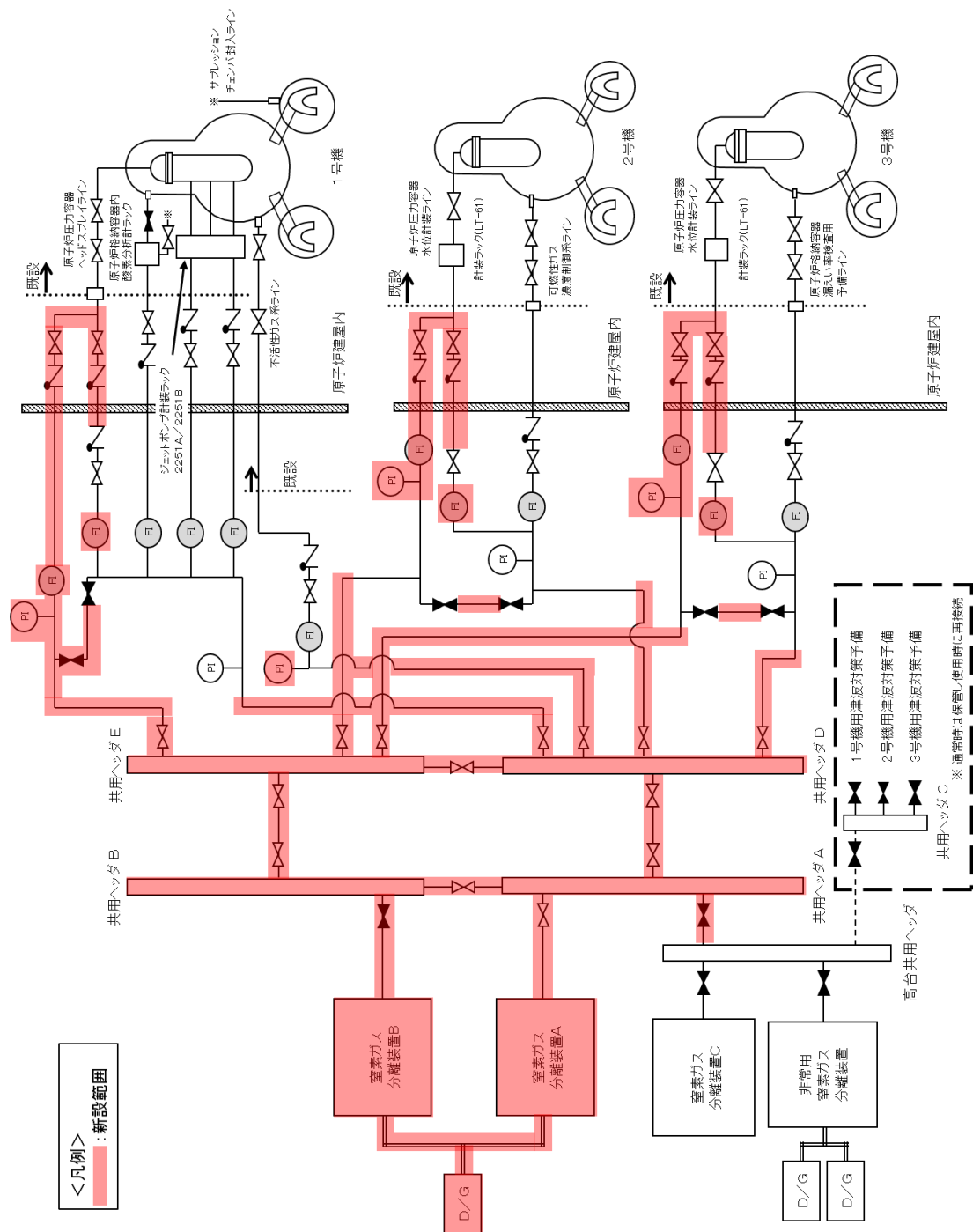


図-1 新設範囲図

別紙

別紙ー1 二重化封入ライン，窒素ガス分離装置A及びB等に係わる申請範囲

二重化封入ライン，窒素ガス分離装置 A 及び B 等に係わる申請範囲

今回（運総発官 29 第 285 号）の申請範囲は，福島第一原子力発電所の以下の部分である。

申請範囲	備考
2.2 原子炉格納容器内窒素封入設備 2.2.1 基本設計 2.2.1.3 設計方針	・ 検査可能性に対する設計上の考慮に関する記載の追加
2.2.1.5 主要な機器 2.2.1.5.1 系統構成	・ 窒素ガス分離装置 A 及び B の設置位置変更及び専用 D/G 追加に伴う記載変更 ・ 窒素封入設備窒素濃度の遠隔監視化に伴う記載変更
2.2.1.7 構造強度及び耐震性	・ 窒素ガス分離装置 A 及び B の仕様変更に伴う記載変更
2.2.2 基本仕様	・ 窒素ガス分離装置 A 及び B の仕様変更及び専用 D/G 追加に伴う記載変更
2.2.2 基本仕様 表 2.2-1 主要配管仕様	・ ホースの仕様を追加 ・ 鋼管の仕様を追加
2.2.3 添付資料	・ 添付資料－ 8， 9 及び 10 の追記
添付資料－ 1 原子炉格納容器内窒素封入設備 系統概略図	・ 二重化封入ライン，窒素ガス分離装置 A 及び B 用専用 D/G 追加の追記
添付資料－ 2 構造強度及び耐震性について 1. 窒素ガス分離装置の構造強度及び耐震性	・ 窒素ガス分離装置 A 及び B の仕様変更に伴う記載変更
添付資料－ 3 窒素封入ラインの構成	・ O. P. 表記から T. P. 表記への記載の変更
添付資料－ 8 原子炉圧力容器封入ラインの二重化及び窒素ガス分離装置 A， B の取替等について	・ 新規追加
別紙－ 1 二重化封入ライン，窒素ガス分離装置 A 及び B 等に係わる申請範囲	・ 新規追加

添付資料－ 9 窒素ガス分離装置用専用D/ Gについて	・新規追加
添付資料－ 10 原子炉格納容器内窒素封入 設備に係わる確認事項に ついて	・新規追加

窒素ガス分離装置用専用D/Gについて

1. はじめに

窒素ガス分離装置A及びBについては，所内電源系統の他に独立した電源からも受電ができるように専用のD/G（以下，「AB専用D/G」という。）を設置する。それにより，全交流電源喪失の場合でも，非常用窒素ガス分離装置またはAB専用D/Gを用いて窒素ガス分離装置AまたはBを起動させることにより窒素の封入が可能となる。

2. 基本設計及び基本仕様

AB専用D/Gの基本設計及び基本仕様については，「2.2.1 基本設計」及び「2.2.2 基本仕様」に基づく。

3. 構造強度及び耐震性

AB専用D/Gの構造強度及び耐震性については，「2.2.1.7 構造強度及び耐震性」に基づく。

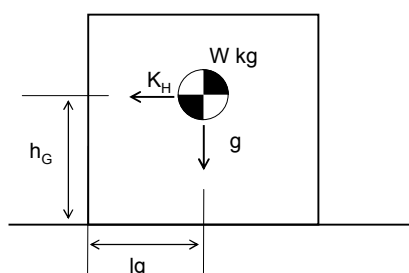
(1) 構造強度

AB専用D/Gについては，内燃機関等を含めた一体型構造の完成品であり，一般産業品規格に基づいた試験等が実施されていることから，十分な構造強度を有していると評価する。

(2) 耐震性

AB専用D/Gについては，建築設備耐震設計・施工方針（2005年度版）を参考とし静的地震力を用いて，耐震設計指針上の耐震Cクラス相当の地震力（ $1.2C_i=0.24$ ）にて設備が転倒しないことの評価を行う。

・設備の転倒評価



K_H	水平方向設計震度
W	機器重量
g	重力加速度
h_G	据付面から重心までの距離
l_g	転倒支点から機器重心までの距離

地震によるモーメント： $M_1 = W \times g \times K_H \times H_g$

自重によるモーメント： $M_2 = W \times g \times L_g$

表-1に転倒評価の結果を示す。当該機器は地震力に対して転倒せず、必要な耐震性を有していることを確認した。

表-1 AB専用D/G 転倒評価結果（Cクラス相当の静的震度）

設備名称	地震によるモーメント M_1 [N・m]	自重によるモーメント M_2 [N・m]	評価
AB専用D/G	24352	117553	転倒しない

なお、AB専用D/Gについては、耐震Sクラス相当の静的震度（ $3.6C_i=0.72$ ）での転倒評価も行い、転倒しないことを確認した。表-2に転倒評価の結果を示す。

表-2 AB専用D/G 転倒評価結果（Sクラス相当の静的震度）

設備名称	地震によるモーメント M_1 [N・m]	自重によるモーメント M_2 [N・m]	評価
AB専用D/G	73055	117553	転倒しない

4. 自然災害対策等

(1) 豪雨

AB専用D/Gは、側溝が整備されているエリアに設置し、またコンテナ内に設置することから、豪雨に耐えうる構造としている。

(2) 強風（台風・竜巻）

AB専用D/Gは、コンテナ内に設置することから、強風に耐えうる構造としている。

原子炉格納容器内窒素封入設備に係わる確認事項について

原子炉格納容器内窒素封入設備の構造強度及び機能・性能に関する確認事項を以下に示す。

表－ 1 確認事項（主要配管（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。 また、窒素ガス分離装置の運転圧力による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	通気確認	実施計画に定められた封入流量以上で窒素が通気されていることを確認する。	実施計画に定められた封入流量以上で窒素が通気されていること。

<構造強度・耐震性に係わる準拠規格及び基準>

- ・ JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格

表-2 確認事項（主要配管（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。 また、窒素ガス分離装置の運転圧力による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	通気確認	実施計画に定められた封入流量以上で窒素が通気されていることを確認する。	実施計画に定められた封入流量以上で窒素が通気されていること。

<構造強度に係わる準拠規格及び基準>

- ・一般高圧ガス保安規則

表－3 確認事項（窒素ガス分離装置）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度 ・耐震性	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	窒素ガス分離装置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。
性能	運転性能 確認	窒素ガス分離装置の運転性能を確認する。	運転状態にて、異音，異臭，異常振動等がないこと。 実施計画に定められた容量以上及び窒素純度以上で窒素を供給できること。

表－4 確認事項（専用ディーゼル発電機）

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	専用ディーゼル発電機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。
性能	運転性能 確認	専用ディーゼル発電機の運転性能を確認する。	運転状態にて、異音，異臭，異常振動等がないこと。 実施計画に定められた容量以上であること。

1号機原子炉格納容器窒素封入ライン（不活性ガス系）の撤去について

1. 撤去理由

1号機プール燃料取り出しの準備作業として、原子炉建屋を覆う大型カバーを設置する。大型カバー設置工事において干渉する1号機原子炉格納容器窒素封入ラインについて、撤去を行う。

2. 撤去の妥当性

本設備は、1号機原子炉格納容器内窒素封入設備において、常用系として使用されている原子炉压力容器内窒素封入（原子炉压力容器頂部冷却系、ジェットポンプ計装ラック）の予備設備として位置付けられる。

原子炉压力容器内窒素封入は、原子炉压力容器の気密性が確保されていないことから、封入した窒素が原子炉格納容器内に漏れ出すため、原子炉压力容器と格納容器の窒素封入を兼ねると考えることができる。

原子炉压力容器内窒素封入は、3系統（原子炉压力容器頂部冷却系：1系統、ジェットポンプ計装ラック：2系統）あり、各々が原子炉格納容器内の水素可燃限界以内に維持するために必要な窒素封入量を封入することができるため、窒素封入系統として多重化は確保される。

なお、原子炉格納容器窒素封入ラインは不活性ガス系を撤去しても、原子炉格納容器内酸素分析ラックからの窒素封入は可能である。

3. 瓦礫類発生量

- (1) 撤去工事で発生する瓦礫類は、約46m³発生する見込みである。
- (2) 撤去工事で発生する瓦礫類は、撤去・廃棄時に表面線量率を測定し、1mSv/h以下の表面線量率のものについては、所定の瓦礫類一時保管エリアへ搬入する。なお、表面線量率が1mSv/hを超えた瓦礫類については、固体廃棄物貯蔵庫第8、9棟に保管するものとする。

4. 作業員の被ばく低減対策

- (1) 撤去に関連した作業時においては、全面マスクを着用して作業を実施する。
- (2) 配管切断時は、局所排風機・ハウスの設置を行い、ダストの飛散防止に努め、周辺の作業員への被ばく低減を図る。
- (3) 高線量配管の周辺には、鉛マットで遮蔽することで、被ばく低減を図る。
- (4) 作業場所近傍に低線量のエリアを設置し、控え作業員の被ばく低減を図る。

5. その他

既設不活性配管切断後、配管端部は閉止処置を行う。

2号機原子炉压力容器窒素封入ライン追設について

1. 工事概要

原子炉格納容器内窒素封入設備の内，2号機原子炉压力容器窒素封入点については，単一構成であることから，原子炉建屋内に隔離弁ユニット及び流路を形成する窒素封入ラインを2箇所追設（以下，「追設封入ライン」という。）し，設備の信頼性向上を図る。

また，万一の隔離弁ユニットや封入ラインの損傷による供給停止に備え，各流量調整ユニットから隔離弁ユニット間に予備ホースを設置し，ホースの接続切替による速やかな原子炉压力容器内窒素封入の再開を可能とする。

2. 基本設計及び基本仕様

追設封入ラインの基本設計及び基本仕様については，「2.2.1 基本設計」及び「2.2.2 基本仕様」に基づく。

3. 構造強度及び耐震性

追設封入ラインの構造強度及び耐震性については，「2.2.1.7 構造強度及び耐震性」に基づく。

3.1 隔離弁ユニット

(1) 構造強度

追設封入ラインの隔離弁ユニットを構成する鋼管については，設計・建設規格に基づき，系統最高使用圧力に対して十分な厚さを有していることを確認しており，使用条件に対して十分な構造強度を有していると判断する（表－1参照）。

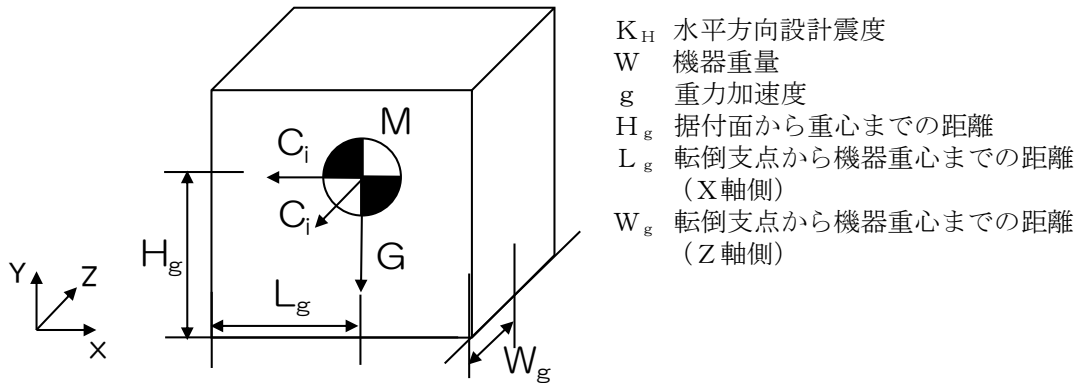
表－1 配管強度確認結果

型式	公称肉厚 [mm]	設計・建設規格上の必要最小厚さ[mm]
円型	3.4	0.14

(2) 耐震性

隔離弁ユニットについては，建築設備耐震設計・施工指針（2005年版）を参考とし，静的地震力を用いて，耐震設計審査指針上の耐震Cクラス相当の地震力（ $1.2C_i = 0.24$ ）にて設備が転倒しないことの評価を行う。

・設備の転倒評価



地震によるモーメント : $M_1 = W \times g \times K_H \times H_g$
 自重によるモーメント (X軸側) : $M_2 = W \times g \times L_g$
 自重によるモーメント (Z軸側) : $M_3 = W \times g \times W_g$

表-2 に転倒評価の結果を示す。当該機器は地震力に対して転倒せず，必要な耐震性を有していることを確認した。

表-2 隔離弁ユニット 転倒評価結果
 (耐震Cクラス相当の静的震度)

設備名称	地震による モーメント M_1 [N・m]	自重による モーメント (X軸側) M_2 [N・m]	自重による モーメント (Z軸側) M_3 [N・m]	評価
隔離弁ユニットB	47.67	1001.52	472.61	転倒しない

(3) 環境条件対策

a. 内部の劣化

隔離弁ユニットの封入流体は高純度窒素（99%以上）の為，酸化による劣化は発生せず，封入流体による内部の劣化はない。

b. 紫外線対策

隔離弁ユニットは鋼材を使用するため，紫外線による影響は考えられない。

3.2 ホース

(1) 構造強度

ホースは設計・建設規格に記載がない材料であるが、一般高圧ガス保安規則に基づき最高使用圧力の1.25倍以上にて耐圧試験を実施して有意な変形が無いこと、及び最高使用圧力以上にて漏えいがないことを確認することにより、必要な構造強度を有していると評価する。

(2) 耐震性

ホースは、フレキシビリティを有しており、地震変位による有意な応力は発生しない。

(3) 環境条件対策

a. 内部の劣化

ホースの封入流体は高純度窒素（99%以上）の為、酸化による劣化は発生せず、封入流体による内部からの劣化はない。

b. 紫外線対策

ホースは紫外線防止効果のある保護カバー内に設置することにより紫外線劣化を防止する。

c. 人的損傷及び外的要因による損傷への対策

ホースは硬質ポリエチレン製の保護カバー内に設置することにより人的損傷及び外的要因による損傷を防止する。

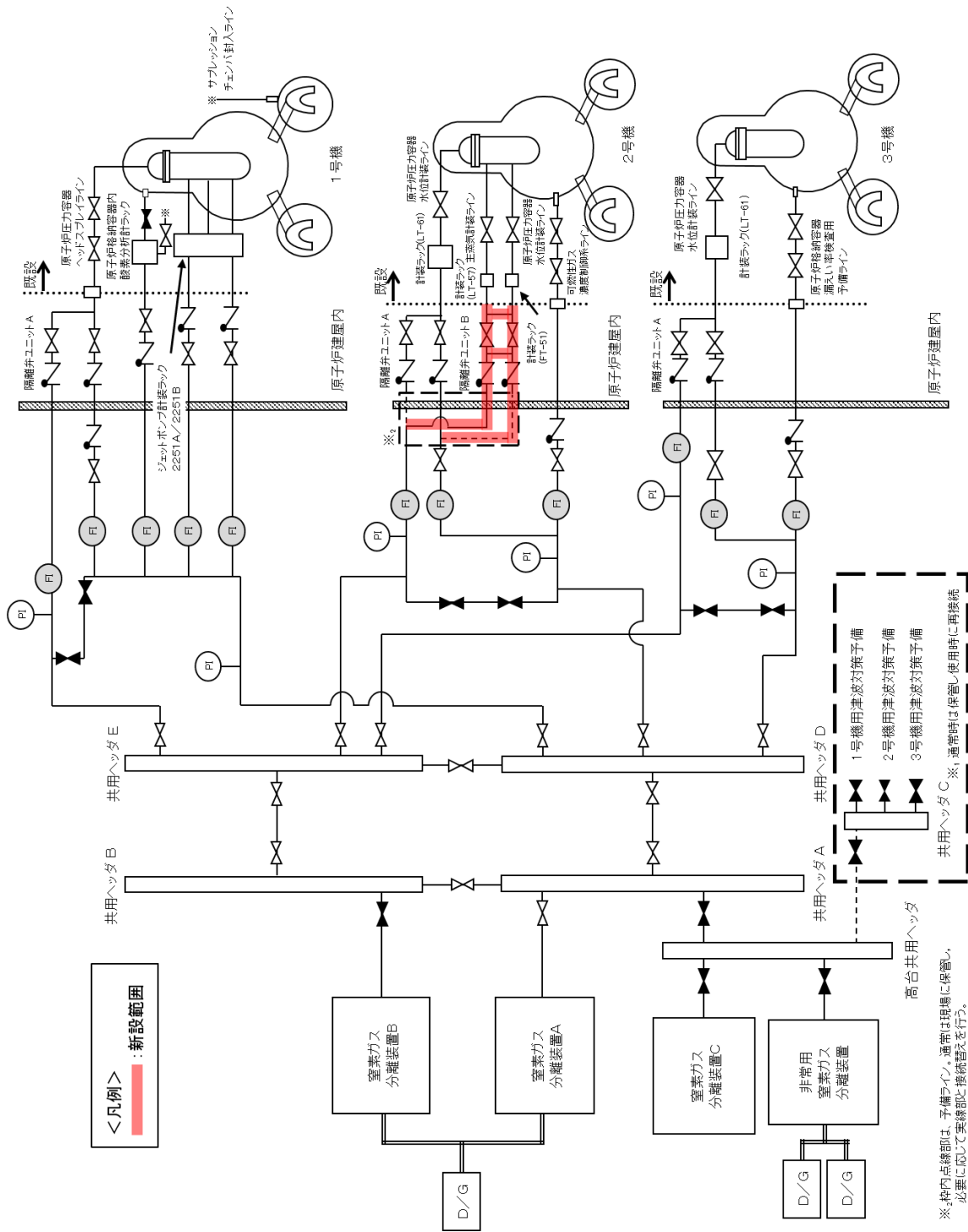
4. 本工事における考慮事項

(1) 被ばく低減対策

事前に作業環境に応じた合理的な作業計画を立て、放射線業務従事者の被ばく線量をできる限り低減する。特に、原子炉建屋内での作業については、設置する物品は建屋外にて組立や作業工程の細分化を実施し、搬入や設置時間を短縮することで被ばく低減を図る。

(2) 瓦礫類発生量

- a. 2号機原子炉圧力容器封入ライン追設に伴い、約3m³の瓦礫類が発生見込みである。
- b. 瓦礫類は、撤去・廃棄時に表面線量率を測定し、1mSv/h以下の表面線量率のものについては、所定の瓦礫類一時保管エリアへ搬入する。なお、表面線量率が1mSv/hを超えた瓦礫類については、固体廃棄物貯蔵庫第8、9棟に保管するものとする。



図一 1 新設範囲図

2.3 使用済燃料プール設備

2.3.1 基本設計

2.3.1.1 設置の目的

2.3.1.1.1 使用済燃料プール設置の目的

使用済燃料プールは原子炉建屋内にあって、使用済燃料及び放射化された機器等の貯蔵を目的に設置する。

2.3.1.1.2 使用済燃料プール冷却系設置の目的

既設の燃料プール冷却浄化系（以下、FPC系）については、その機能が失われており、復旧の見通しが立っていない状態であることから、使用済燃料プール内の燃料から発生する崩壊熱を安定的に除去する必要がある。既設設備と新設設備とを組み合わせ、使用済燃料プール水を冷却する系統である使用済燃料プール冷却系を構成し、使用済燃料プール水の冷却を行う。なお、3、4号機については使用済燃料プール内に燃料がないことから、使用済燃料プール冷却系を構成し冷却を行う必要はない。

2.3.1.2 要求される機能

2.3.1.2.1 使用済燃料プールの要求される機能

- (1) 臨界が防止されていることを適切に確認し、臨界を防止できる機能を有すること。
- (2) 使用済燃料プールからの漏えいを検出できること。
- (3) 基準地震動 S_s による地震力に対して安全機能が確保できること。

2.3.1.2.2 使用済燃料プール冷却系の要求される機能

- (1) 使用済燃料からの崩壊熱を適切に除去できること。
- (2) 使用済燃料プールに水を補給できること。
- (3) 異常時においても適切に対応できる機能を有すること。
- (4) 必要に応じて使用済燃料プール水の浄化ができる機能を有すること。
- (5) 建屋外への漏えいを防止できる機能を有すること。
- (6) 使用済燃料プール水の冷却状態を適切に監視できること。
- (7) 動的機器、駆動電源について多重性を有すること。

2.3.1.3 設計方針

2.3.1.3.1 使用済燃料プールの設計方針

(1) 未臨界性

使用済燃料プールは、燃料集合体を貯蔵容量最大に収容した場合でも通常時はもちろん、想定されるいかなる場合でも、未臨界性を確保できる設計とすると共に、臨界が防止されていることを確認する。

(2) 漏えい監視

使用済燃料プール水の漏えいが検出可能であることを確認する。

(3) 構造強度

使用済燃料プールは、地震荷重等の適切な組み合わせを考慮しても強度上耐え得ることを確認する。

2.3.1.3.2 使用済燃料プール冷却系の設計方針

(1) 冷却機能

使用済燃料プール循環冷却系は、使用済燃料プール内の燃料の崩壊熱を熱交換器により連続的に除去し、使用済燃料プール水の冷却を安定して継続できる設計とする。また、熱交換器で除去した熱を最終的な熱の逃がし場である大気へ放出できる設計とする。

(2) 補給機能

使用済燃料プール循環冷却系は、使用済燃料プールに水を補給できる設計とする。

(3) 非常用注水機能

非常用注水設備は、想定を超える地震や津波等による設備の破損・損傷、あるいは全電源の喪失により使用済燃料プール循環冷却系の冷却機能が喪失した場合であっても使用済燃料が露出しないように使用済燃料プールに注水できる設計とする。

(4) 浄化機能

使用済燃料プール循環冷却系は、使用済燃料プール水の分析ができる設計とし、燃料被覆管あるいは使用済燃料プールライニングの腐食等による外部への放射性物質の漏えい及び使用済燃料プールの保有水の漏えい防止、使用済燃料プール水中の放射能濃度低減、微生物腐食防止の観点から、必要な場合には、使用済燃料プール水の浄化ができる設計とする。

(5) 漏えい防止機能

使用済燃料プール循環冷却系は、漏えいしがたい設計とし、万一、一次系（使用済燃料プール水を熱交換器を介して循環させる系）から漏えいが発生しても建屋外への漏えいを防止できる機能を有する設計とする。

また、漏えいがあった場合に拡大を防止することができるように、漏えいの検出ができ、漏えい箇所を隔離できる設計とする。

(6) 構造強度

使用済燃料プール循環冷却系は、材料の選定、製作及び検査について、適切と認められる

規格及び基準によるものとする。

(7) 監視機能

使用済燃料プール循環冷却系は、使用済燃料プールの保有水量及び水温、並びに循環流量等の冷却状態の確認、使用済燃料プールからの放射性物質放出の抑制の程度及び漏えいの検知に必要な主要パラメータが監視できるとともに、記録が可能な機能を有する設計とする。

(8) 多重性・多様性

使用済燃料プール循環冷却系のうち動的機器及び駆動電源は、多重性を備えた設計とする。また、外部電源が喪失した場合にも冷却機能を確保できる設計とする。

(9) 火災防護

消火設備を設けることで、初期消火を行い、火災により、安全性を損なうことのないようにする。

2.3.1.4 供用期間中に確認する項目

- (1) 使用済燃料プール水温が 1 号機において 60℃以下で、2 号機において 65℃以下であること。
- (2) 使用済燃料プールへ冷却水を補給できること。
- (3) 使用済燃料プール水がオーバーフロー水位付近にあること。

2.3.1.5 主要な機器

(1) 使用済燃料プール

使用済燃料プールは原子炉建屋内にあって、全炉心及び 1 回取替量以上の燃料及び制御棒の貯蔵が可能であり、さらに放射化された機器の取扱い及び貯蔵ができるスペースをもたせている。使用済燃料プールの壁の厚さ及び水深は遮へいを考慮して、十分厚くとり、内面はステンレス鋼でライニングされた構造となっている。

使用済燃料貯蔵ラックは、適切な燃料間距離をとることにより、使用済燃料プール水温、使用済燃料貯蔵ラック内燃料位置等について、想定されるいかなる場合でも実効増倍率を 0.95 以下に保ち、貯蔵燃料の臨界を防止するように設計している。

貯蔵燃料の未臨界性が確保されていることの確認として、使用済燃料プール水温及び水位の監視やモニタリングポストの監視を行う。また、貯蔵燃料の異常な発熱状態においても未臨界性に影響する使用済燃料貯蔵ラック内の燃料位置が確保されていることの確認は、使用済燃料プール水質管理による使用済燃料プール内機器の腐食防止対策やオペフロ作業時におけるガレキ等の異物落下防止対策を講じることにより行う。

使用済燃料プール水の漏えいについては、現場の漏えい検出計又は使用済燃料プール水が

スキマ・サージ・タンクへオーバーフローし、スキマ・サージ・タンク水位が著しい低下傾向を示していないことにより監視する。

(2) 使用済燃料プール冷却系

a. 設備概要

使用済燃料プール冷却系は、既設設備と新設設備を組み合わせ、使用済燃料プール内の燃料から発生する崩壊熱を除去し、使用済燃料プール水を冷却するとともに燃料の冠水を維持することを目的とし使用済燃料プール循環冷却系及び非常用注水設備で構成する。なお、使用済燃料プール循環冷却系はポンプ、熱交換器等、非常用注水設備は電動ポンプ、消防車等で構成する。

b. 使用済燃料プール循環冷却系

使用済燃料プール循環冷却系は、冷却機能及び補給機能を有する使用済燃料プール循環冷却設備、漏えい防止機能を有する漏えい拡大防止設備、監視機能を有する監視設備、浄化機能を有する浄化装置と、これら設備に供給する電源によって構成する。

(i) 使用済燃料プール循環冷却設備

使用済燃料プール循環冷却設備は、使用済燃料プール水を熱交換器を介して循環させる系（以下、一次系）及び冷却水を熱交換器、エアフィンクーラを介して循環させる系（以下、二次系）からなり、使用済燃料プール内の燃料から発生する崩壊熱を一次系により除去し、二次系により大気へ放出することにより使用済燃料プール水の冷却を行う。また、一次系は補給水ラインを持ち、使用済燃料プールに水を補給する。

使用済燃料プール循環冷却設備の冷却能力は、使用済燃料プール水温をコンクリートの温度制限値である 65℃以下に保つこととして設定する。ただし、1号機においては、使用済燃料プール循環冷却設備における最高使用温度である 60℃以下に保つこととして設定する。また、使用済燃料プール循環冷却設備のポンプ等の動的機器は、1系列 100%容量、1系列以上を予備とすることで多重性を有する設計とする。

i) 一次系

(1号機)

既設のFPC系を使用し、FPC系のポンプ、熱交換器、配管、計測・制御機器等で構成され、使用済燃料プールスキマ・サージ・タンクより吸い込んだ使用済燃料プール水をポンプにより循環させ、熱交換器を通した後に使用済燃料プールに戻すことにより、使用済燃料プール内の燃料から発生する崩壊熱を

熱交換器で除去する。また、使用済燃料プールへの補給水ラインを設ける。

(2号機)

新設のポンプ、熱交換器、計測・制御機器及び既設のF P C系の配管（一部新設を含む）等で構成され、使用済燃料プールのスキマ・サージ・タンクより既設のF P C系の配管を通して吸い込んだ使用済燃料プール水をポンプにより循環させ、熱交換器を通した後に既設のF P C系の配管を通して使用済燃料プールに戻すことにより、使用済燃料プール内の燃料から発生する崩壊熱を熱交換器で除去する。また、使用済燃料プールへの補給水ラインを設ける。

ii) 二次系

新設のポンプ、エアフィンクーラ、サージタンク、配管、計測・制御機器等で構成され、一次系の熱交換器で除去した使用済燃料プール内の燃料から発生する崩壊熱を、エアフィンクーラにより大気に放出する。これら二次系設備は1、2号機共用設備とする。

(ii) 漏えい拡大防止設備

使用済燃料プール循環冷却設備（2号機）は、新設の機器・配管を使用していることから、使用済燃料プール循環冷却設備の一次系系統水の系外及び建屋外への漏えいを最小限に留めるために、新設設備の損傷等による漏えいに対し、システムの自動停止のインターロックを設け、系統の出入口弁を自動閉とし、ポンプを自動停止できる設計とする。また、使用済燃料プール循環冷却設備一次系の設備はすべて建屋内に設置し（1、2号機）、設備の破損等による建屋外への漏えい経路には堰を設けることにより、一次系系統水の建屋外への漏えいを防止する。

(iii) 監視設備

使用済燃料プール循環冷却系は、使用済燃料プールの保有水量、冷却状態、漏えい等を監視できるとともに記録可能な監視設備を設ける。使用済燃料プールの保有水量については、スキマ・サージ・タンクへオーバーフローしていることをスキマ・サージ・タンク水位により監視する。スキマ・サージ・タンクの水位は、一次系ポンプ吸込側圧力計又はスキマ・サージ・タンク水位計により監視し、一次系ポンプ吸込側圧力計及びスキマ・サージ・タンク水位計は、それぞれ免震重要棟内にある監視室のモニタで監視する。

使用済燃料プール水の冷却状態については使用済燃料プール循環冷却設備一次系流量、一次系圧力及び熱交換器入口及び出口温度を免震重要棟内にある監視室のモニタで監視できるとともに、記録が可能な機能を有する設計とする。

また、使用済燃料プールから大気への放射性物質の移行の程度は、試験により確認された水温と大気への移行率の関係に基づく温度確認により把握できることから、使用済燃料プール水温を免震重要棟集中監視室のモニタで監視する。

使用済燃料プール循環冷却設備一次系からの漏えいについては、使用済燃料プールと同様、スキマ・サージ・タンク水位で監視する。2号機においては、一次系差流量を免震重要棟内にある監視室のモニタで監視する。

また、一次系から二次系への漏えいについては、放射線モニタや一次系差流量により免震重要棟集中監視室のモニタで監視する。

漏えいを検知した場合や流量もしくは圧力の低下が発生した際は、免震重要棟内にある監視室内に警報が発報する。また、系統に異常が確認された際は、免震重要棟集中監視室の緊急停止ボタンにより手動停止を可能とする。

(iv) 電源

使用済燃料プール循環冷却系の電源は異なる送電系統で2回線の外部電源から受電できる構成とする。

外部電源喪失の場合でも、所内共通ディーゼル発電機又は専用のディーゼル発電機から電源を供給することで運転が可能な構成とする。

(v) 浄化装置

使用済燃料プール循環冷却系は、使用済燃料プール循環冷却設備一次系から使用済燃料プール水の水質測定をするためのサンプリングが可能であり、燃料被覆管あるいは使用済燃料プールライニングの腐食等による外部への放射性物質の漏えい及び使用済燃料プール保有水の漏えい防止、使用済燃料プール水中の放射能濃度低減、微生物腐食防止の観点から必要な場合には、使用済燃料プールへの薬液の注入や使用済燃料プール水の浄化ができるよう配管等を設け、モバイル式処理装置（放射能除去装置、塩分除去装置）を配備する。モバイル式処理装置は、移動式の設備であり、1～4号機の使用済燃料プール水質に応じた浄化作業ができ、使用時のみ設置する。なお、モバイル式処理装置（放射能除去装置）については、1号機のみを使用とする。

c. 非常用注水設備

非常用注水設備は、発電所に配備している電動ポンプ、消防車、消防ホース等からなり、非常用注水機能を有する。非常用注水設備による注水は、電動ポンプや消防車等により、ろ過水タンク、原水地下タンク、または海水を水源とし、既設のFPC系配管等にホース等を接続することにより行う。

2.3.1.6 自然災害対策等

(1) 津波

津波等により、万が一、使用済燃料プール循環冷却系の複数の系統や機器の機能が同時に喪失する場合は、使用済燃料プールの冷却を再開できるよう、消防車等を配備する。

(2) 火災

使用済燃料プール循環冷却系の現場制御室の制御盤等からの火災が考えられることから、初期消火の対応ができるよう、近傍に消火器を設置する。

2.3.1.7 構造強度及び耐震性

2.3.1.7.1 使用済燃料プールの構造強度及び耐震性

使用済燃料プールは鉄筋コンクリート構造であり、内側に鋼製ライナを設置して漏えい防止機能を確保する。使用済燃料プールは、原子炉建屋の3階から4階にかけて設置されており、原子炉建屋の壁や床と一体構造となっている。耐震性に関する検討については、現状の原子炉建屋の損傷状況を反映した解析モデルを作成し、基準地震動 S_s を入力地震動とした時刻歴応答解析などにより、評価を行う。

2.3.1.7.2 使用済燃料プール冷却系の構造強度及び耐震性

(1) 構造強度

使用済燃料プール冷却系のうち使用済燃料プール循環冷却系は、技術基準上、燃料プール冷却浄化系及び原子炉補機冷却系に相当するクラス3機器と位置付けられる。この適用規格は、「JSMES 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）」で規定されるものであるが、設計・建設規格は、鋼材を基本とした要求事項を設定したものであり、耐圧ホース等の非金属材料についての基準がない。従って、鋼材を使用している設備については、設計・建設規格のクラス3機器相当での評価を行い、非金属材料については、当該設備に加わる機械的荷重により損傷に至らないことをもって評価を行う。この際、当該の設備が JIS や独自の製品規格等を有している場合や、試験等を実施した場合はその結果などを活用し、評価を行う。また、溶接部については、耐圧試験、系統機能試験等を行い、有意な変形や漏えい等のないことをもって評価を行なう。

なお、使用済燃料プール冷却系のうち非常用注水設備は燃料プール水補給設備に相当するクラス2機器と位置付けられるが、消防車、消防ホース等は常設機器ではなく使用時にのみ設置するものであることから構造強度が求められるものではないが、1、2号機のホースの接続口については既設のFPC系配管であり、クラス3機器として設計されている。これについてはクラス2に対してグレードが劣るが、当該部は東北地方太平洋沖地震、その後の津波でも健全性が維持されていた。

(2) 耐震性

使用済燃料プール冷却系のうち使用済燃料プール循環冷却系は耐震設計審査指針上の B クラスの設備と位置づけられることから、その主要設備については、静的震度（1.8Ci）に基づく構造強度評価及び共振の恐れがある場合は動的解析を行い、評価基準値を満足することを原則とする。

耐震性に関する評価にあたっては、「JEAG4601 原子力発電所耐震設計技術指針」に準拠することを基本とするが、必要に応じてその他の適切と認められる指針や試験結果等を用いた現実的な評価を行う。

なお、使用済燃料プール冷却系のうち非常用注水設備は燃料プール水補給設備に相当するものであり耐震設計審査指針上は S クラスと位置づけられるが、消防車、消防ホース等は常設機器ではなく使用時にのみ設置するものであることから耐震性は求められるものではない。一方、1、2号機のホースの接続口については既設の F P C 系配管であり、耐震 B クラスとして設計されている。これについては S クラスに対してグレードが劣るが、当該部は東北地方太平洋沖地震、その後の津波でも健全性が維持されていた。

2.3.1.8 機器の故障への対応

2.3.1.8.1 使用済燃料プール循環冷却系の機器の単一故障

(1) 一次系又は二次系ポンプ故障

一次系又は二次系ポンプが故障した場合は、現場に移動し、待機号機の起動を行い、使用済燃料プールの循環冷却を再開する。

(2) 電源喪失

使用済燃料プール循環冷却系の電源が外部電源喪失や所内電源喪失により喪失した場合、電源の切替に長時間を要しない場合（目安時間：約 1 日）は、電源の切替操作により使用済燃料プールの循環冷却を再開する。電源切替に長時間を要する場合（目安時間：約 2 日以上）は、非常用注水設備による使用済燃料プールへの注水を行うことにより、使用済燃料プール水の冷却を行う。

電源喪失に伴う非常用注水設備の電源喪失時は、予め免震重要棟付近に待機している電源車等を用いて非常用注水設備の電源を復旧し、使用済燃料プールへの注水を行う。

(3) 一次系循環ラインの損傷

使用済燃料プール循環冷却系の一次系循環ラインが損傷した場合は、循環ライン内の一次系系統水が系外へ漏えいすることが考えられることから、系外へ漏えいした一次系系統水を建屋内に設置した堰により滞留させた後、漏えい水を建屋地下（2号機は廃棄物処理建屋地下）に移送する。

移送後、一次系循環ラインの復旧に長時間を要しない場合は、復旧後、使用済燃料プー

ルの循環冷却を再開する。復旧に長時間を要する場合は、非常用注水設備による使用済燃料プールへの注水を行うことにより、使用済燃料プール水の冷却を行う。

2.3.1.8.2 使用済燃料プール循環冷却系の複数の系統・機器の同時機能喪失

地震、津波等により、万が一、使用済燃料プール循環冷却系の複数の系統や機器の機能が同時に喪失した場合には、現場状況に応じて、予め免震重要棟西側（T.P. 約 35m）に待機している消防車等の配備を行い、使用済燃料プール水の冷却を再開する。使用済燃料プール循環冷却の機能が停止してから、燃料の露出を確実に防止でき且つ水遮へいが有効とされる使用済燃料の有効燃料頂部の上部 2 m に至るまでは最短でも 2 号機における約 98 日であることから、使用済燃料プール水の冷却を確保することは可能である。

2.3.1.8.3 異常時の評価

使用済燃料プール循環冷却系の機能が喪失した事故時や非常用注水設備が機能喪失したシビアアクシデント相当を想定した場合においても、使用済燃料の冠水は確保され、使用済燃料から発生する崩壊熱を確実に除去することが可能である。

2.3.2 基本仕様

2.3.2.1 1号機使用済燃料プール冷却系の主要仕様

(1) F P C ポンプ (既設品)

台 数	2
容 量	91.92m ³ /h (1 台あたり)
揚 程	91.5m
最高使用圧力	1.03MPa
最高使用温度	65.5℃
負荷容量	45kW (1 台あたり)

(2) F P C 熱交換器 (既設品)

型 式	横形 U 字管式
基 数	1 (B 系利用)
伝熱面積 (交換熱量)	25.6m ² (1 基あたり) (0.32MW/基)
最高使用圧力	一次側 1.38MPa, 二次側 0.7MPa
最高使用温度	一次側 60℃, 二次側 60℃

(3) 二次系ポンプ (完成品)

台 数	3
容 量	80m ³ /h (1 台あたり)
揚 程	20m
最高使用圧力	0.5MPa
最高使用温度	70℃
負荷容量	7.5kW (1 台あたり)

※ 1, 2号機使用済燃料プール循環冷却設備と共用

(4) エアフィンクーラ (完成品)

型 式	密閉型
基 数	3
交換熱量	0.435MW (1 基あたり)
最高使用圧力	0.5MPa
最高使用温度	60℃
負荷容量	22.2kW (1 基あたり)

※ 1, 2号機使用済燃料プール循環冷却設備と共用

(5) サージタンク (完成品)

型 式	密閉型
基 数	2
容 量	1 m ³ (1 基あたり)
最高使用圧力	0.15MPa
最高使用温度	95℃
胴内径	1000mm
胴板厚さ	6mm
上部鏡板厚さ	6mm
下部鏡板厚さ	6mm
高さ	1900mm
胴板材料	SS400
上部鏡板材料	SS400
下部鏡板材料	SS400

※ 1, 2号機使用済燃料プール循環冷却設備と共用

(6) 温度計

型 式	熱電対
計測範囲	0℃～300℃
個 数	1

(7) 消防車

基 数	1
-----	---

※地震・津波等により、非常用注水設備の使用が困難な場合、コンクリートポンプ車1台を使用する場合は消防車1台、高所送水車1台を使用する場合は消防車2台の構成となる。

規格放水圧力	0.7MPa 以上
放水性能	60m ³ /h 以上
高圧放水圧力	1.0MPa 以上
放水性能	36m ³ /h 以上
燃料タンク容量, 消費量	約 63 l (参考値), 約 37 l/h (参考値)

※ 1, 2号機使用済燃料プール循環冷却設備および使用済燃料共用プール設備と共用

(8) 電動ポンプ (完成品)

台 数	1
容 量	72m ³ /h

揚 程 85m
負荷容量 37kW

※ 1, 2号機使用済燃料プール循環冷却設備と共用

- (9) 使用済燃料プール循環冷却設備専用ディーゼル発電機 (完成品) (一次系)

台 数 1
容 量 270kVA 以上
力 率 約 0.8 (遅れ)
電 圧 約 200V 以上
周 波 数 50Hz

燃料タンク容量, 消費量 約 490 l (参考値), 約 45.7 l/h (参考値)

- (10) 使用済燃料プール循環冷却設備専用ディーゼル発電機 (完成品) (二次系)

台 数 1
容 量 200kVA 以上
力 率 約 0.8 (遅れ)
電 圧 約 200V 以上
周 波 数 50Hz

燃料タンク容量, 消費量 約 380 l (参考値), 約 33.1 l/h (参考値)

※ 1, 2号機使用済燃料プール循環冷却設備と共用

- (11) モバイル式処理装置 (放射能除去装置) (完成品 : 供用中)

系 列 数 1
処 理 量 約 20m³/h

- (12) モバイル式処理装置 (放射能除去装置) 吸着塔 (完成品)

塔 数 1

- (13) モバイル式処理装置 (塩分除去装置 (RO 膜装置)) (完成品 : 供用中)
(1~4号機共通)

系 列 数 1
処 理 量 約 4.2m³/h

- (14) モバイル式処理装置 (塩分除去装置 (イオン交換装置)) (完成品 : 供用中)
(1~4号機共通)

系 列 数 1
処 理 量 約 10m³/h

表2. 3-1 主要配管仕様 (1/2)

名 称	仕 様	
一次系主要配管 (既設)	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 STPG410S/SUS304TP 1.38MPa/1.03MPa 60℃
二次系主要配管	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 80 65A/Sch. 40 80A/Sch. 40 100A/Sch. 40 150A/Sch. 40 STPG370/STPT370 0.5MPa/0.15MPa 60℃
二次系フレキシブルチューブ	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	150A 相当 SUS304 0.5MPa 60℃
二次系ポリエチレン管	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A, 150A 相当 ポリエチレン 0.5MPa 40℃
一次系主要配管 (既設) からモバイル式処理装置 入口, 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. 80 65A/Sch. 40 100A/Sch. 40 150A/Sch. 40 SUS316LTP 1.0MPa 66℃
一次系主要配管 (既設) からモバイル式処理装置 入口, 出口まで (フレキシブルチューブ)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	65A, 150A 相当 SUS316L 1.0MPa 66℃
一次系主要配管 (既設) からモバイル式処理装置 入口, 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 (二重管) ポリ塩化ビニル 0.98MPa 50℃

表2. 3-1 主要配管仕様 (2/2)

名 称	仕 様	
モバイル式処理装置 (塩分除去装置 (RO 膜装置)) 濃縮水タンク出口から1号機原子炉建屋地下排水口まで (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 (二重管) ポリ塩化ビニル 0.98MPa 50℃
モバイル式処理装置 (放射能除去装置) 内配管	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 40 STPG370 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 SUS316L 0.98MPa 40℃
	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当 (二重管) ポリ塩化ビニル 0.98MPa 50℃
モバイル式処理装置 (塩分除去装置 (RO 膜装置)) 内配管 (1~4号機共通)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 10 SUS304TP 1.0MPa 66℃
	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	40A, 50A 相当 ポリ塩化ビニル 1.0MPa 66℃
	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	40A 相当 耐油性合成ゴム 1.0MPa 66℃
モバイル式処理装置 (塩分除去装置 (イオン交換装置)) 内配管 (1~4号機共通)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 10 SUS316TP 1.0MPa 66℃

2.3.2.2 2号機使用済燃料プール冷却系の主要仕様

(1) 一次系ポンプ (完成品)

台数	2
容量	100m ³ /h (1台あたり)
揚程	60m
最高使用圧力	1.0MPa
最高使用温度	100℃
負荷容量	30kW (1台あたり)

(2) 熱交換器 (完成品)

型式	プレート式
基数	2
伝熱面積 (交換熱量)	32.86m ² (1基あたり) (1.17MW/基)
最高使用圧力	一次側 1.0MPa, 二次側 0.5MPa
最高使用温度	一次側 100℃, 二次側 100℃

(3) 二次系ポンプ (完成品)

台数	3
容量	80m ³ /h (1台あたり)
揚程	20m
最高使用圧力	0.5MPa
最高使用温度	70℃
負荷容量	7.5kW (1台あたり)

※ 1, 2号機使用済燃料プール循環冷却設備と共用

(4) エアフィンクーラ (完成品)

型式	密閉型
基数	3
交換熱量	0.435MW (1基あたり)
最高使用圧力	0.5MPa
最高使用温度	60℃
負荷容量	22.2kW (1基あたり)

※ 1, 2号機使用済燃料プール循環冷却設備と共用

(5) サージタンク (完成品)

型 式	密閉型
基 数	2
容 量	1 m ³ (1 基あたり)
最高使用圧力	0.15MPa
最高使用温度	95℃
胴内径	1000mm
胴板厚さ	6mm
上部鏡板厚さ	6mm
下部鏡板厚さ	6mm
高さ	1900mm
胴板材料	SS400
上部鏡板材料	SS400
下部鏡板材料	SS400

※ 1, 2号機使用済燃料プール循環冷却設備と共用

(6) 温度計

型 式	熱電対
計測範囲	0℃～100℃
個 数	1

(7) 消防車

基 数	1
規格放水圧力	0.7MPa 以上
放水性能	60m ³ /h 以上
高圧放水圧力	1.0MPa 以上
放水性能	36m ³ /h 以上
燃料タンク容量, 消費量	約 63 l (参考値), 約 37 l/h (参考値)

※ 1, 2号機使用済燃料プール循環冷却設備および使用済燃料共用プール設備と共用

(8) 電動ポンプ (完成品)

台 数	1
容 量	72m ³ /h
揚 程	85m
負荷容量	37kW

※ 1, 2号機使用済燃料プール循環冷却設備と共用

(9) 使用済燃料プール循環冷却設備専用ディーゼル発電機（完成品）（一次系）

台 数	1
容 量	200kVA 以上
力 率	約 0.8（遅れ）
電 圧	約 200V 以上
周 波 数	50Hz
燃料タンク容量, 消費量	約 380 l（参考値）, 約 33.1 l/h（参考値）

(10) 使用済燃料プール循環冷却設備専用ディーゼル発電機（完成品）（二次系）

台 数	1
容 量	200kVA 以上
力 率	約 0.8（遅れ）
電 圧	約 200V 以上
周 波 数	50Hz
燃料タンク容量, 消費量	約 380 l（参考値）, 約 33.1 l/h（参考値）

※ 1, 2号機使用済燃料プール循環冷却設備と共用

2.3.3 添付資料

- 添付資料－1 使用済燃料プール概要図
- 添付資料－2 使用済燃料プール冷却系系統概略図
- 添付資料－3 漏えい拡大防止設備概要図
- 添付資料－4 セシウム溶液の大気中へのセシウム移行率確認試験
- 添付資料－5 使用済燃料プール保有水から大気への放射性物質の移行程度の評価
- 添付資料－6 使用済燃料プール水の塩化物イオン濃度の目標値について
- 添付資料－7 使用済燃料プールの構造強度及び耐震性に関する説明書
- 添付資料－8 1, 2号機使用済燃料プール循環冷却系及び3, 4号機使用済燃料プール循環系の新設設備の構造強度及び耐震性に係る説明書
- 添付資料－9 使用済燃料プール冷却系機能喪失評価
- 添付資料－10 使用済燃料プール（SFP）水温及び水位変化
- 添付資料－11 有効燃料頂部＋2 mにおける線量評価
- 添付資料－12 使用済燃料プール浄化装置について
- 添付資料－13 1, 2号機使用済燃料プール循環冷却系二次系設備の共用化について
- 添付資料－14 3, 4号機使用済燃料プール循環系について

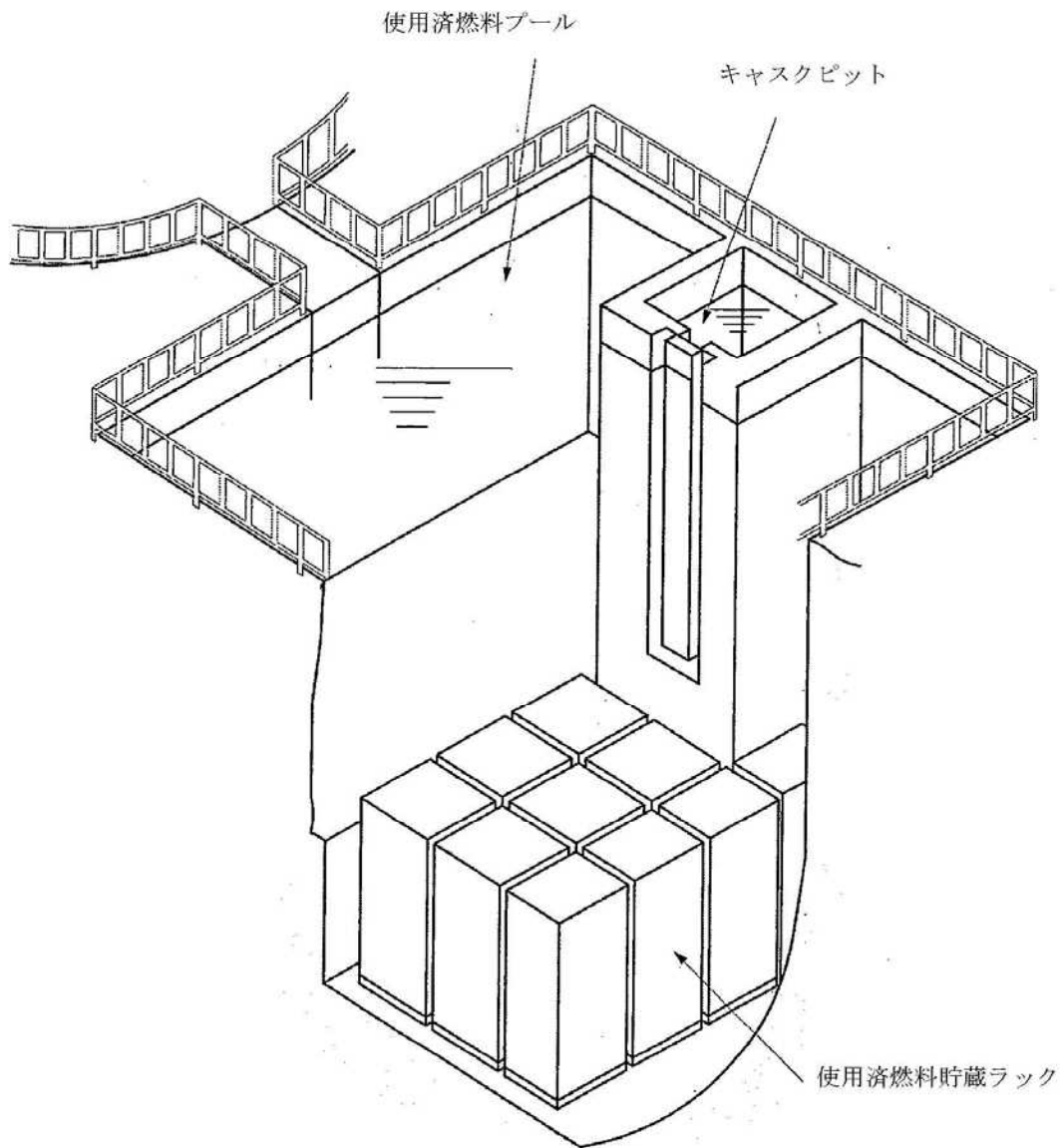


図1 使用済燃料プール概要図

※二次系設備は1～3号機で共用

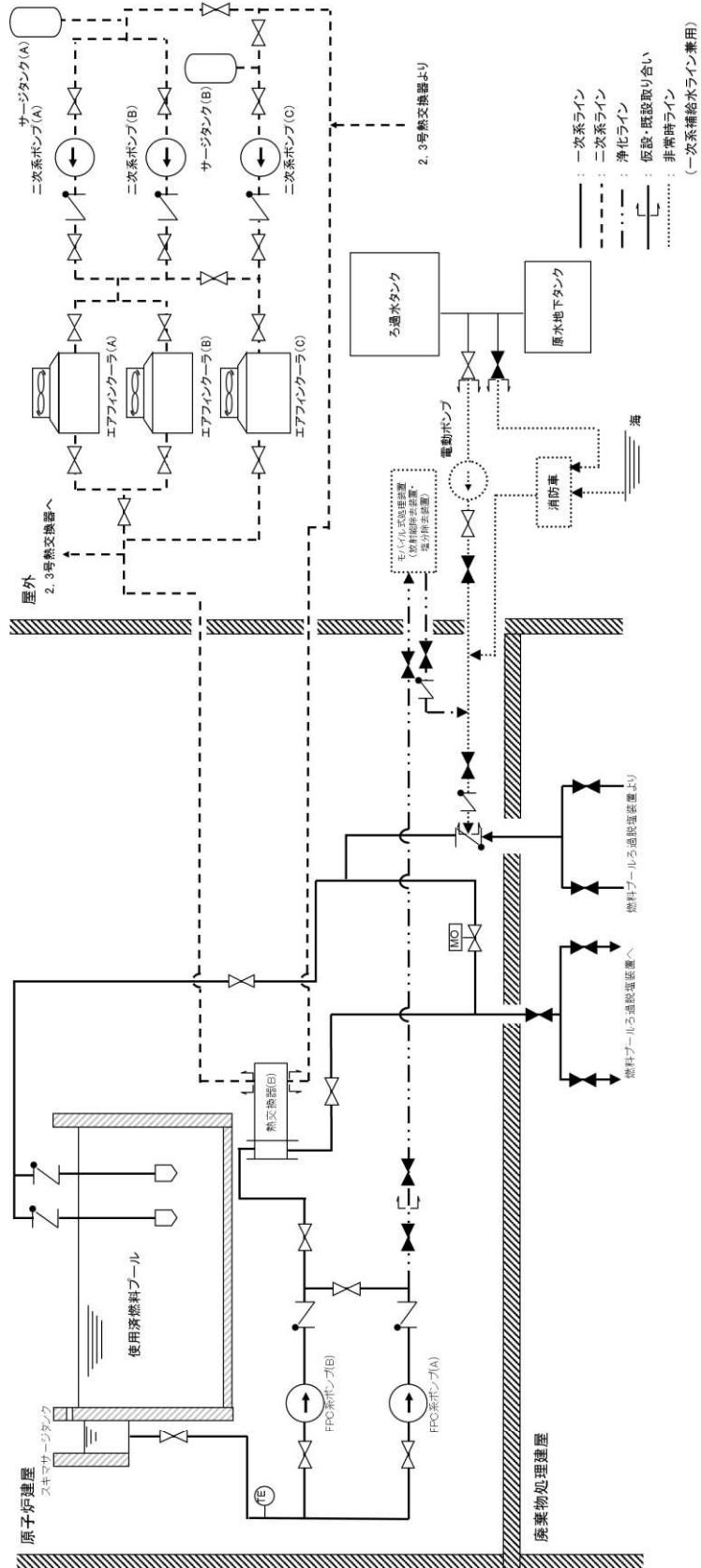


図1 1号機使用済燃料プール冷却系統概略図

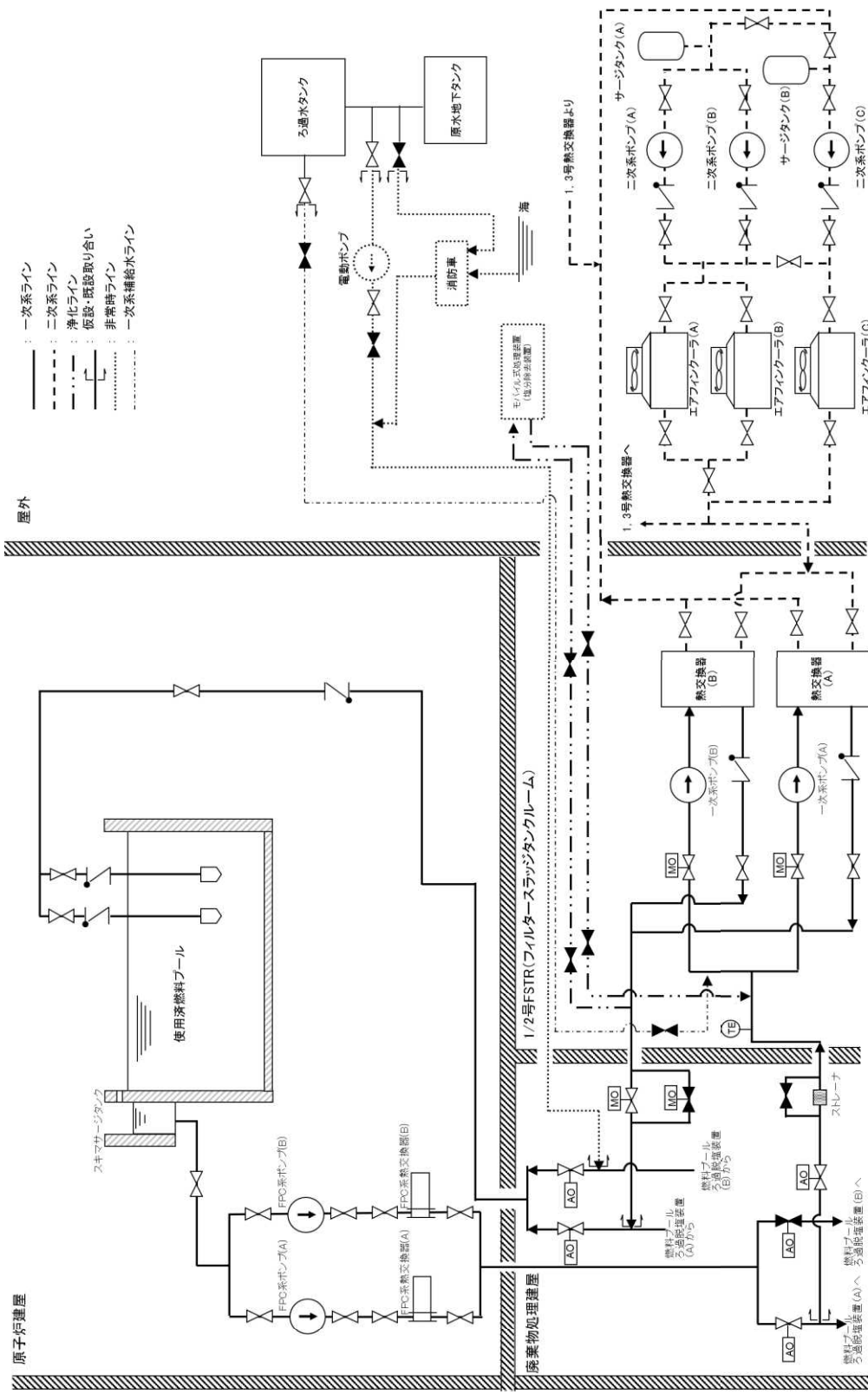


図 2 2号機使用済燃料プール冷却系系統概略図

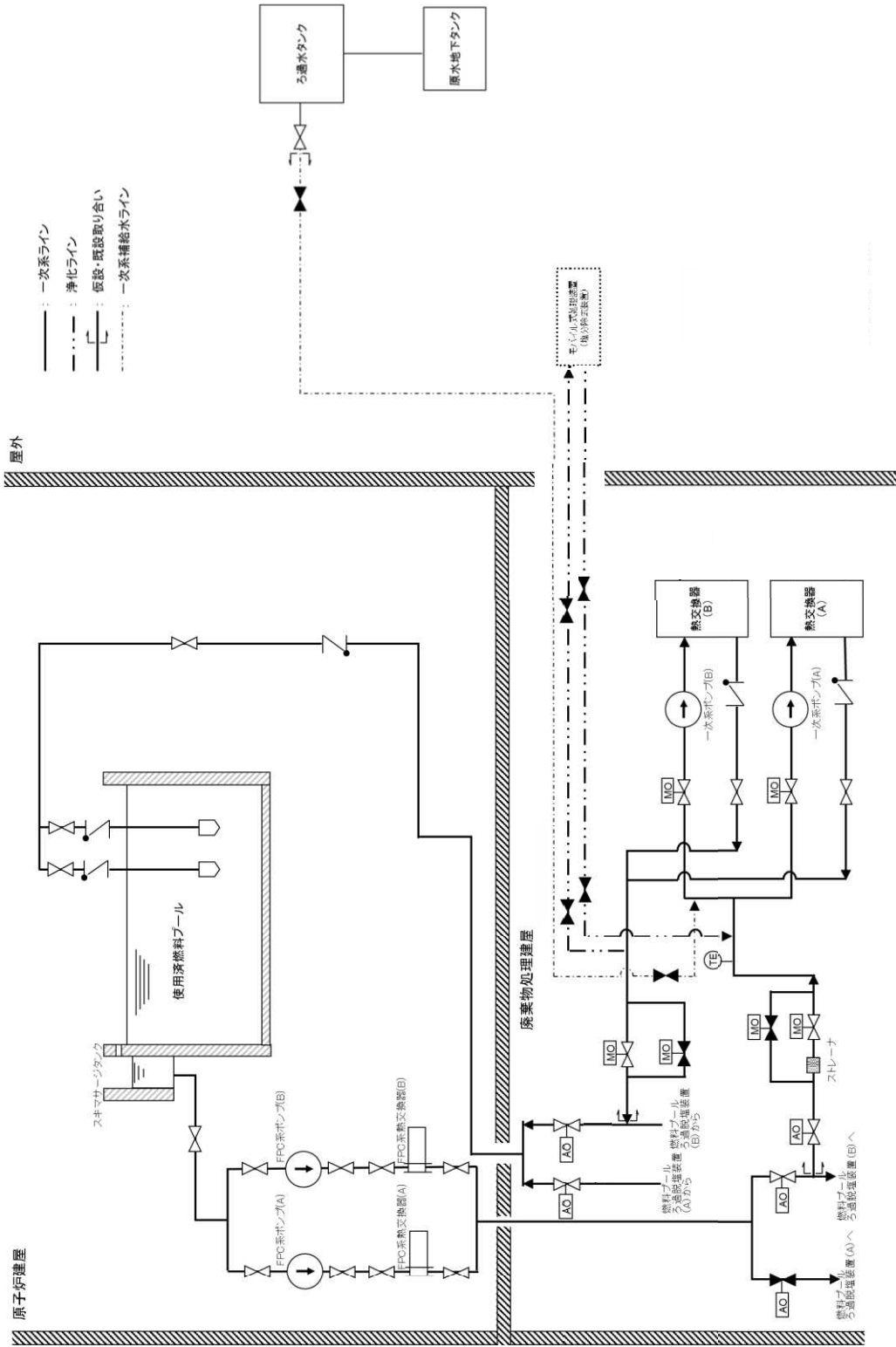


図 3 3 号機使用済燃料プール循環系系統概略図

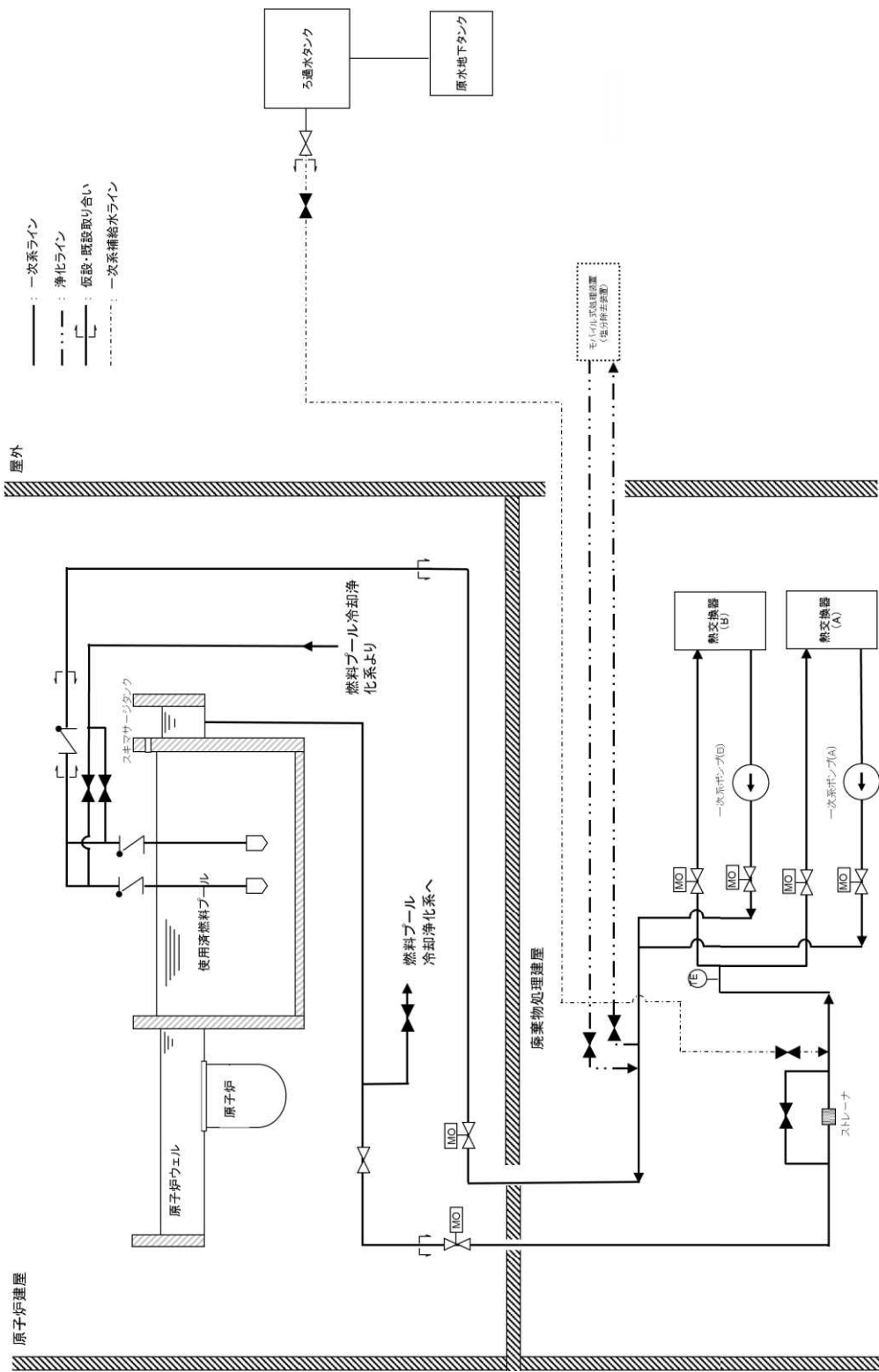


図 4 4号機使用済燃料プールの循環系系統概略図

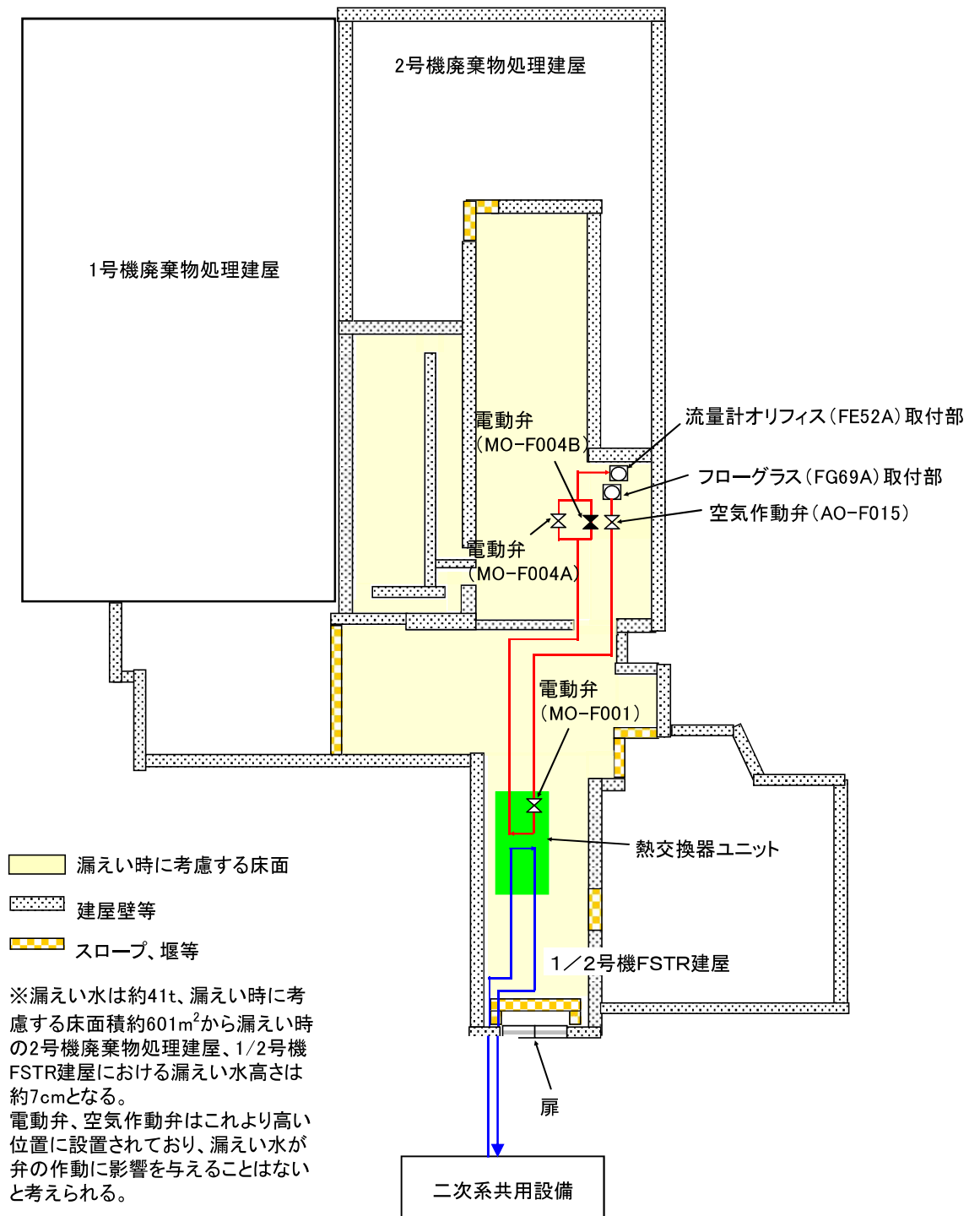
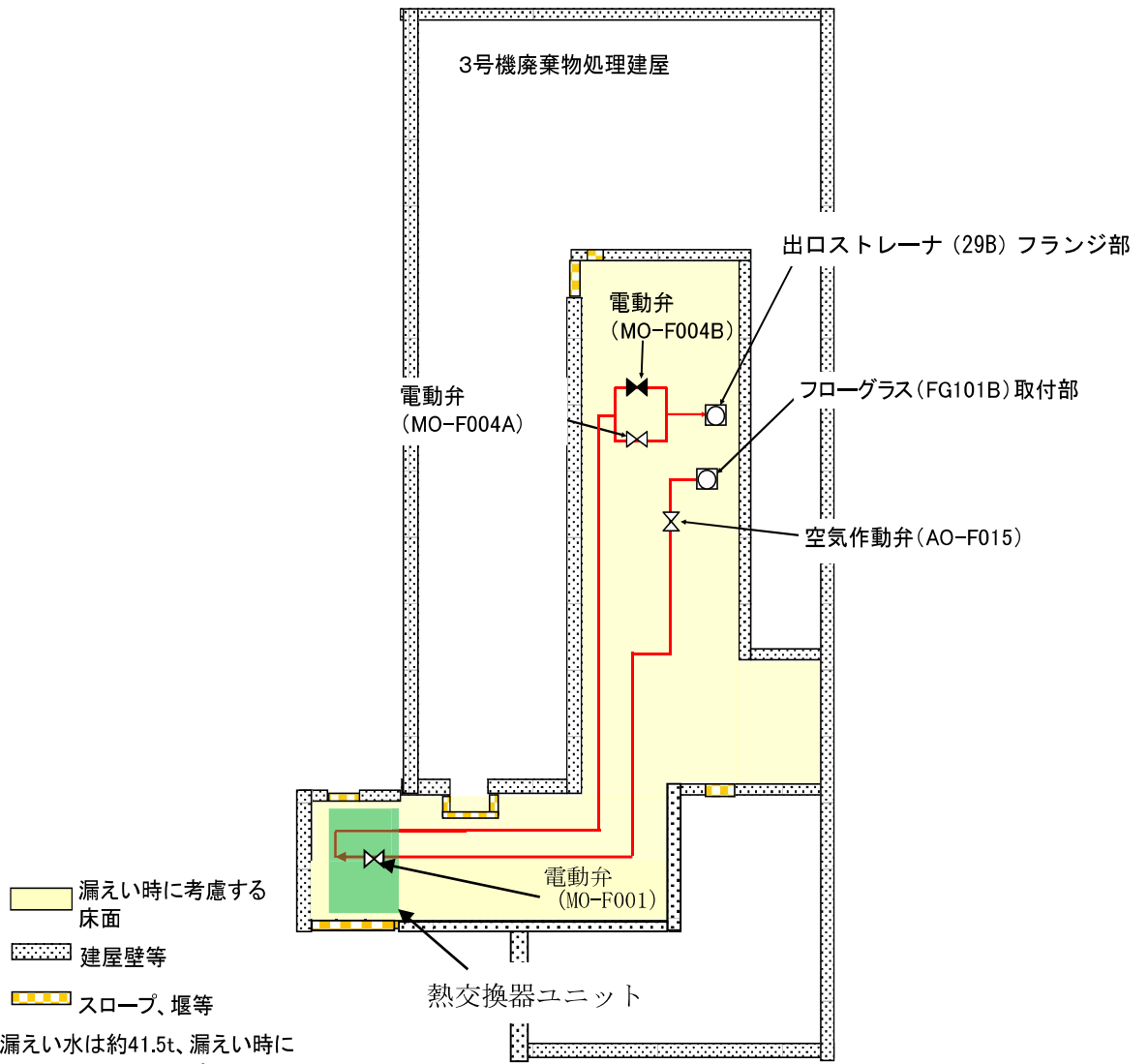


図1 2号機使用済燃料プール冷却系
 漏えい拡大防止設備概要図 (2号機 廃棄物処理建屋 1FL)



※漏えい水は約41.5t、漏えい時に考慮する床面積約418m²から漏えい時の3号機廃棄物処理建屋における漏えい水高さは約10cmとなる。電動弁、空気作動弁はこれより高い位置に設置されており、漏えい水が弁の作動に影響を与えることはないと考えられる。

図2 3号機使用済燃料プール循環系
漏えい拡大防止設備概要図 (3号機 廃棄物処理建屋 1FL)

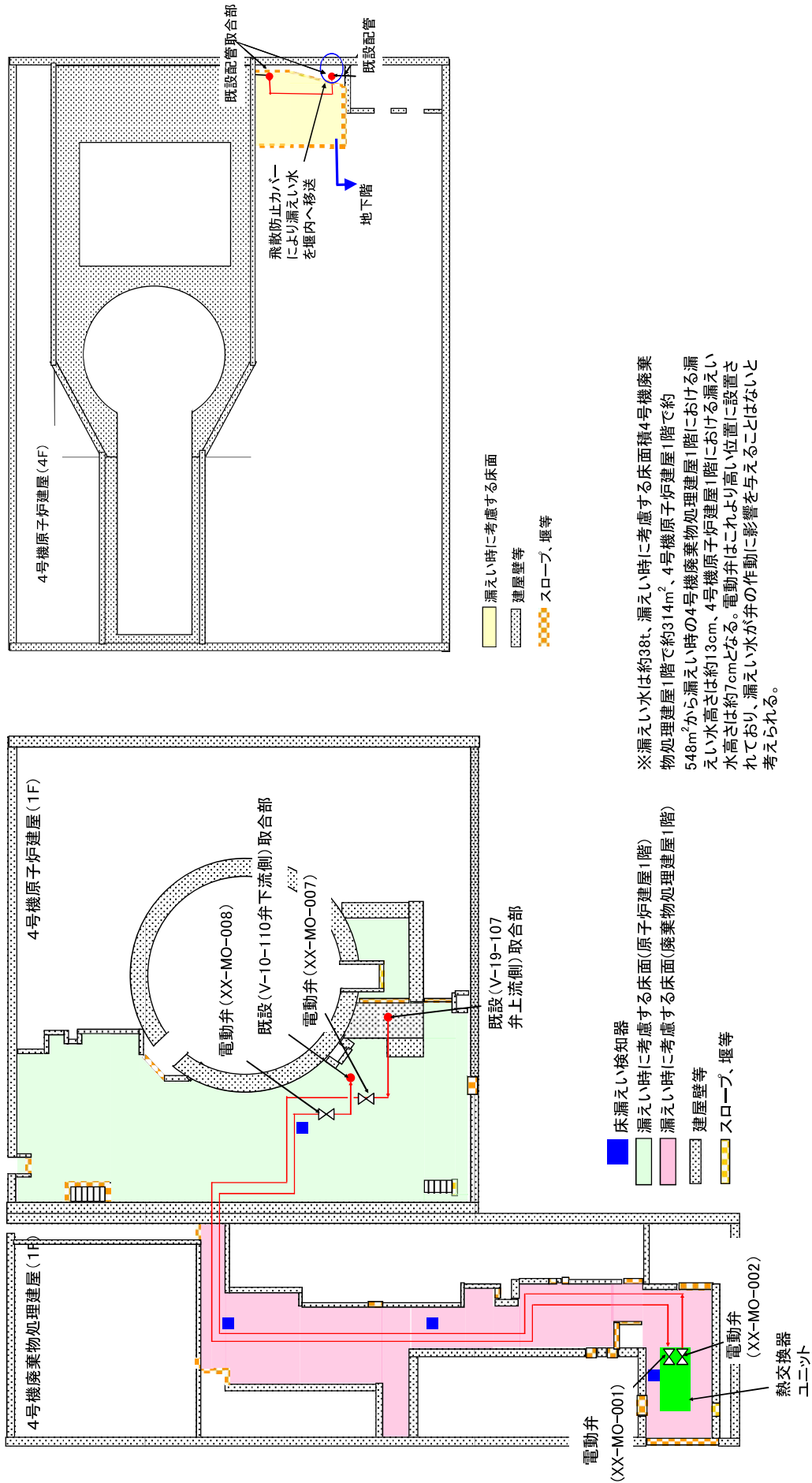


図3 4号機使用済燃料プール循環系
漏えい拡大防止設備概要図 (4号機 廃棄物処理建屋1F, 原子炉建屋1F, 4F)

セシウム溶液の大気中へのセシウム移行率確認試験

使用済燃料プールからの放射性物質の放出が抑制されていることを把握する方法として、セシウム溶液から大気中へのセシウム移行率確認試験の結果を以下に示す。

1. 試験概要

蒸留装置模式図及び蒸留条件を図1、図2に示す。図1の試験では、純水及び海水に塩化セシウムの安定同位体[CsCl]を溶解した試料をヒーターにて熱し、沸騰温度にて蒸留を行った。また、図2の試験では、同様に純水及び海水に塩化セシウムの安定同位体[CsCl]を溶解した試料を恒温槽に入れ、ビーカー開口部をシーロンフィルムで覆い、冷却水を満たした丸底フラスコを設置した。

図1の試験では試料を沸騰（100 [°C]）させ、また図2の試験では恒温槽を用いて試料温度を30 [°C]、50 [°C]、70 [°C]、85 [°C]、100 [°C]に調整し、ロートより回収した蒸留水（10ml程度）のCs濃度を誘導結合プラズマ質量分析装置により測定した。なお、図2の試験での100 [°C]での温度調整において、試料を100 [°C]に調整することができないことから、92 [°C]の温度条件にて蒸留した。

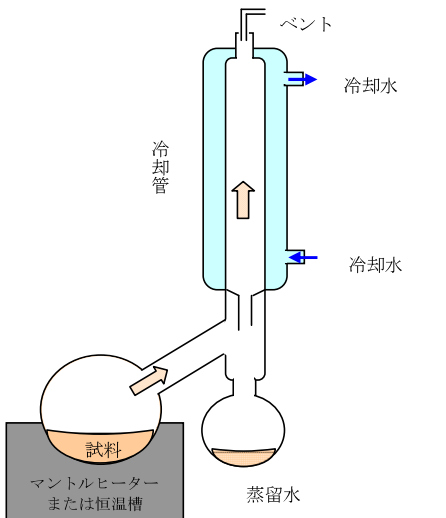
	蒸留条件	
	試料液面の面積[cm ²]	約 20[cm ²]
	試料液量[ml]	蒸留開始時：100[ml] 蒸留終了時：90[ml]以上
	試料液面から凝縮面（冷却管）までの距離[cm]	約 15[cm]
	凝縮面（冷却水）温度[°C]	5～10[°C]

図1 蒸留装置模式図及び蒸留条件

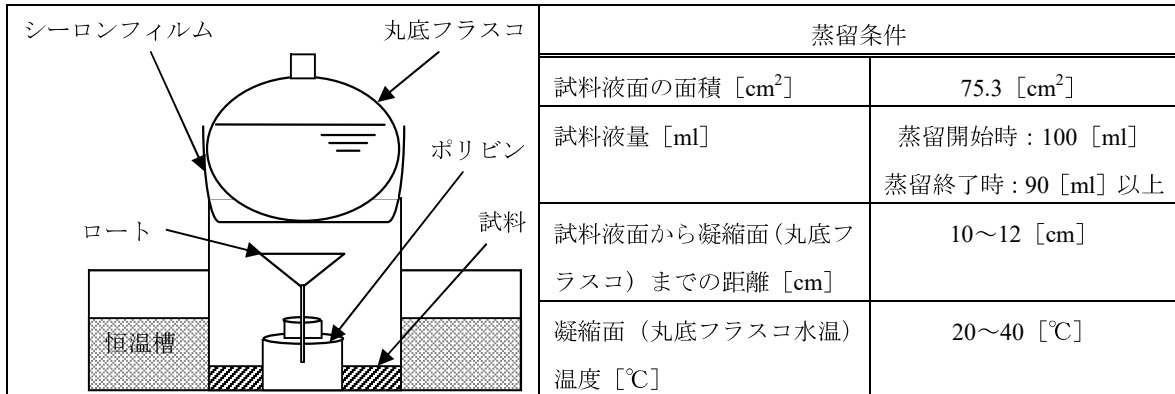


図2 蒸留装置模式図及び蒸留条件

2. 試験結果

蒸留温度と大気中への Cs 移行率 [%] (蒸留水の Cs 濃度 / 試料水の Cs 濃度実測値 × 100 [%]) の関係を図 3 に示す。この結果より、100 [°C] 以下の海水もしくは純水に含まれる Cs の大気への移行率は概ね $1.0 \times 10^{-3} \sim 1.0 \times 10^{-5}$ [%] の範囲であることが判明した。

なお、30°Cの試料(海水)については、同温度条件の他の結果と比較し 1000 倍以上大きい上に、全温度条件における結果と比較しても約 100 倍多い。また、低温度ほど移行率が高いという傾向も見られない。以上より、何らかの原因により試料(塩化セシウムを含む海水)が蒸留水中に混入したため、蒸留後の塩化セシウム濃度が実際よりも大きくなり、それに伴い移行率が大きくなったもので、実験手順の間違いだったと考えられる。

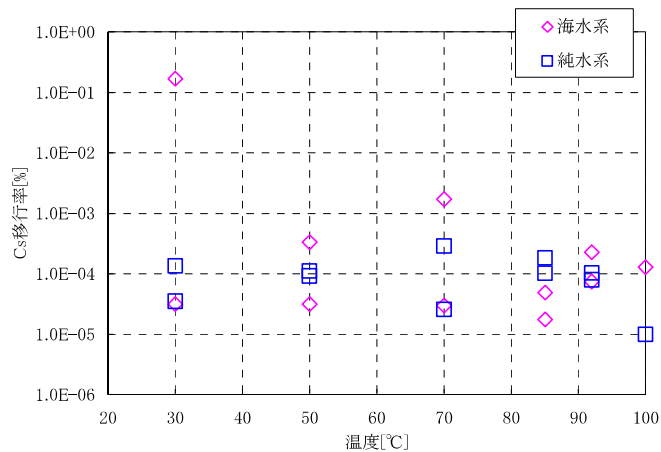


図3 蒸留温度別の大気中への Cs の移行量

3. まとめ

以上より、100 [°C] 以下における Cs の大気へのおおよその放出量を把握することが可能となった。

使用済燃料プール保有水から大気への放射性物質の移行程度の評価

1～4号機使用済燃料プールは、使用済燃料プール循環冷却系により平成23年5月31日以降順次冷却されており、平成24年11月25日時点でおよそ13～24[°C]となっている。しかしながら、使用済燃料プール保有水の自然蒸発に伴い、使用済燃料プール水中の放射性物質も空気中に拡散していると考えられる。

そこで、実験により得られた放射性物質の移行率（添付資料－4）より、使用済燃料プールから大気への放射性物質の移行の程度（蒸発した空気中に含まれる放射性物質濃度）を推定及び評価した。

1. 評価条件

使用済燃料プールから大気への移行の程度を推定するための条件を以下に示す。

(1) 放射性物質濃度

1～4号機使用済燃料プール保有水における放射性物質濃度を表1に示す。

表1 使用済燃料プール保有水における放射性物質濃度

放射性物質	使用済燃料プール保有水における放射性物質濃度			
	1号機[Bq/cm ³] ※1	2号機[Bq/cm ³] ※2	3号機[Bq/cm ³] ※3	4号機[Bq/cm ³] ※4
Cs134	7.7×10^3	4.2×10^1	2.1×10^3	2.6×10^{-1}
Cs137	1.5×10^4	8.5×10^1	3.6×10^3	5.7×10^{-1}

※1 平成24年11月21日に1号機使用済燃料プールより採取した水の分析結果

※2 平成24年10月24日に2号機使用済燃料プールより採取した水の分析結果

※3 平成24年11月12日に3号機使用済燃料プールより採取した水の分析結果

※4 平成24年10月10日に4号機使用済燃料プールより採取した水の分析結果

(2) 使用済燃料プール水温

平成24年11月25日時点における1～4号機使用済燃料プール保有水の水温を以下に示す。

- 1号機：16.0°C
- 2号機：13.9°C
- 3号機：14.2°C
- 4号機：24.0°C

(3) 放射性物質移行率

添付資料-4の「セシウム溶液の大気中へのセシウム移行率確認試験」の測定結果及び上記(2)の使用済燃料プール水温より、各号機のセシウムの大気への移行率を以下のように仮定する。

○ 1～4号機： 1.0×10^{-4} [%]

2. 使用済燃料プールから大気への放射性物質の移行の程度の推定及び評価

以上の条件から、使用済燃料プールから大気への移行の程度（蒸発した空気中に含まれる放射性物質濃度）を推定したものを表2に示す。

表2より、現状の各号機から放出される放射性物質濃度の推定合計量はCs134が 7.9×10^{-6} [Bq/cm³]、Cs137が 1.5×10^{-5} [Bq/cm³]であり、現状の敷地境界（発電所西門）での空気中の放射性物質濃度は検出限界以下と十分低い値となっている。なお、参考として、炉規則告示限度濃度（敷地境界での空気中の許容濃度）は、Cs134が 2×10^{-3} [Bq/cm³]、Cs137が 3×10^{-3} [Bq/cm³]である。浄化設備により2～4号機使用済燃料プール保有水の浄化を実施していること、また3/4号機に燃料取り出し用カバーを設置し、封じ込め機能を追加することから、大気への移行量はより小さい値となっていくと考えられる。

表2 使用済燃料プールから大気への移行の程度の推定値
及び敷地境界での大気中の放射性物質濃度

放射性物質	使用済燃料プールから大気への移行の程度※5					敷地境界における空気中の放射性物質濃度※6 [Bq/cm ³]	炉規則告示限度濃度（敷地境界での空気中の許容濃度） [Bq/cm ³]
	1号機 [Bq/cm ³]	2号機 [Bq/cm ³]	3号機 [Bq/cm ³]	4号機 [Bq/cm ³]	合計 [Bq/cm ³]		
Cs134	6.2×10^{-6}	3.4×10^{-8}	1.7×10^{-6}	2.1×10^{-10}	7.9×10^{-6}	ND※7	2×10^{-3}
Cs137	1.2×10^{-5}	6.8×10^{-8}	2.9×10^{-6}	4.6×10^{-10}	1.5×10^{-5}	ND※7	3×10^{-3}

※5 1～4号機の分析した使用済燃料プール保有水の放射性物質濃度及び平成24年11月25日時点での水温より評価。同温度における水から水蒸気への膨張は約1244倍。

※6 平成24年11月25日に発電所西門にて採取した揮発性または粒子状のCs134及びCs137の合計放射性物質濃度を示す。

※7 NDとは検出限界値以下を示す。揮発性Cs134及びCs137の検出限界値は 2×10^{-7} [Bq/cm³]、粒子状Cs134及びCs137の検出限界値は 3×10^{-7} [Bq/cm³]である。

使用済燃料プール水の塩化物イオン濃度の目標値について

1. 使用済燃料プールライナーには塩化物イオンによる腐食への影響が認められている SUS304 材を使用していることから、念のため塩化物イオン濃度の目標値を 100ppm 以下とする。
2. 使用済燃料プール水の塩化物イオン濃度は、1 回/3 ヶ月の頻度で確認を行う。なお、通常は導電率 40mS/m 以下にて確認を行い、これを超える場合は、塩化物イオン濃度の測定を行う。

<100ppm の根拠>

- 塩化物イオンによる SUS304 の局部腐食発生限界を考慮。
 - ・ 図中曲線の下領域が腐食が発生しない環境。
 - ・ 使用済燃料プール水の温度は実績として 40℃以下で管理されていることから、40℃における局部腐食臨界電位に相当する塩化物イオン濃度を評価すると、図 1 より 160ppm となる。
 - ・ 以上から、使用済燃料プール水質の目標値を保守的に 100 ppm と設定。
 - ・ なお、プール水温度が長期間 40℃を上回る場合には目標値を見直すこととする。

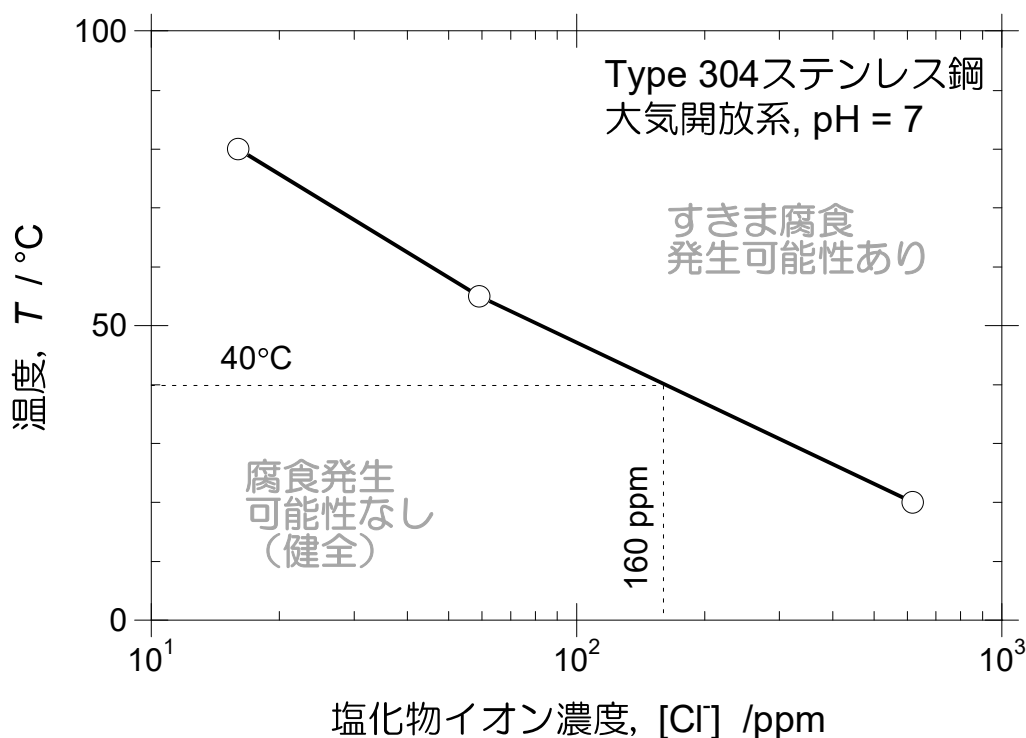


図 1 大気開放条件での 304 ステンレス鋼の腐食マップ^{1), 2)}

1) M. Akashi, G. Nakayama, T. Fukuda: CORROSION/98 Conf., NACE International, Paper No. 158 (1998).

2) T. Fukuda, M. Akashi: Proc. Nuclear Waste Packaging –FOCUS'91, ANS, p. 201 (1991).

使用済燃料プールの構造強度及び耐震性に関する説明書

(1) 1号機使用済燃料プール

1号機の原子炉建屋については、5階より上部が破損しており、これらの状態を反映した時刻歴応答解析結果によると、使用済燃料プールを含んでいる3階と4階のせん断ひずみの最大値は 0.06×10^{-3} (Ss-1H, EW 方向, 3階) であり、耐震安全性は確保されるものと評価している。

(2) 2号機使用済燃料プール

2号機の原子炉建屋については、ブローアウトパネルが落下している以外は目立った損傷がないので、これらの状態を反映した時刻歴応答解析結果によると、使用済燃料プールを含んでいる3階と4階のせん断ひずみの最大値は 0.09×10^{-3} (Ss-1H, EW 方向, 3階) であり、耐震安全性は確保されるものと評価している。なお、炉心損傷の段階で格納容器内部が 300°C 程度の状態が長時間継続した影響により、その外側のシェル壁の剛性が低下した可能性等が考えられるが、そのような条件を想定したパラメータスタディを行った結果においても解析結果に大きな差異は生じておらず、耐震安全性は確保されることを確認している。

(3) 3号機使用済燃料プール

3号機の原子炉建屋については、5階以上の損傷が著しく、さらにその損傷は4階にも及んでおり、これらの状態を反映した時刻歴応答解析結果によると、使用済燃料プールを含んでいる3階と4階のせん断ひずみの最大値は 0.12×10^{-3} (Ss-2H, EW 方向, 3階) であり、耐震安全性は確保されるものと評価している。さらに、5階から下部の損傷が不規則であることから、使用済燃料プールを含めた範囲を FEM 解析モデルに置換して、温度荷重などと地震荷重を組み合わせた応力解析を行った結果、使用済燃料プールの耐震安全性は確保されるものと評価している。

(4) 4号機使用済燃料プール

4号機の原子炉建屋については反映した時刻歴応答解析結果によると、使用済燃料プールを含んでいる3階と4階のせん断ひずみの最大値は 0.12×10^{-3} (Ss-1H, EW 方向, 3F) であり、耐震安全性は確保されることを評価している。さらに、5階から下部の損傷が不規則であることから、使用済燃料プールを含めた範囲を FEM 解析モデルに置換して、温度荷重などと地震荷重を組み合わせた応力解析を行った結果、使用済燃料プールの耐震安全性は確保されるものと評価している。

1, 2号機使用済燃料プール循環冷却系及び3, 4号機使用済燃料プール循環系の
新設設備の構造強度及び耐震性に係る説明書

1. ポンプ

1.1 1号機FPCポンプ

(1) 耐震性

1号機FPCポンプについては、建屋の床面にアンカボルトにより固定することで、転倒防止策を講じている。これを踏まえ、耐震性の評価として、アンカボルトの強度が確保されることの評価を行った。

なお、評価においては水平方向震度を耐震Bクラス相当の評価である0.37Gとし、耐震設計審査指針上の耐震Bクラス相当の評価を行った。

a. ボルトの強度評価

「原子力発電所耐震設計技術規程(JEAC4601-2008)」の横型ポンプの強度評価方法に準じて、ポンプ基礎ボルトの評価を行った。

評価結果を以下に示す。算出応力は全て許容応力以下となっている。

応力評価結果

部位	材料	応力種類	算出応力[MPa]	許容応力[MPa]
基礎ボルト	SS330	引張	6	123
		せん断	6	95

1.2 2号機一次系ポンプ

(1) 構造強度

2号機一次系ポンプについては、系統最高使用圧力 1.0MPa に対し、工場にて 1.5MPa の水圧試験を実施し、漏えい等の異常がないことを確認している。また、系統機能試験時に 0.9MPa で漏えい確認を実施し、漏えい等の異常がないことを確認している。以上のことから、2号機一次系ポンプについては、通常運転時の内圧に十分耐えうる構造強度を有していると判断する。

(2) 耐震性

2号機一次系ポンプについては、熱交換器、弁等と共にトレーラに搭載し、トレーラ含めてユニット化（熱交換器ユニット）することで、耐震性を向上させるとともに、ボルト等で固定することで転倒防止策を講じている。また、熱交換器ユニットについては、建屋の床面にアンカボルトにより固定することで、転倒防止策を講じている。これを踏まえ、耐震性の評価として、ボルトの強度が確保されること、熱交換器ユニットが転倒しないこと及びアンカボルトの強度が確保されることの評価を行った。

なお、評価においては水平方向震度を耐震 B クラス相当の評価である 0.36G とし、耐震設計審査指針上の耐震 B クラス相当の評価を行った。

a. ボルトの強度評価

「原子力発電所耐震設計技術規程(JEAC4601-2008)」の横型ポンプの強度評価方法に準じて、ポンプ基礎ボルトの評価を行った。基礎ボルトの許容応力については、供用状態 C_sにおける許容応力を適用し、ボルトの評価温度は 100℃とみなして、許容応力を求めた。

評価結果を以下に示す。算出応力は全て許容応力以下となっている。

応力評価結果

部位	材料	応力種類	算出応力[MPa]	許容応力[MPa]
基礎ボルト	SS400	引張	作用しない	145
		せん断	3	112

b. 熱交換器ユニットの転倒評価

熱交換器ユニットの転倒評価及びアンカボルトの強度評価は、後述の「3.2 2号機熱交換器ユニット（1）耐震性」において、熱交換器ユニットは転倒しない及び固定しているアンカボルトの強度が確保されている評価となっている。

1.3 3号機一次系ポンプ

(1) 構造強度

3号機一次系ポンプについては、系統最高使用圧力 1.0MPa に対し、工場にて 1.5MPa の水圧試験を実施し、漏えい等の異常がないことを確認している。また、系統機能試験時に 0.9MPa で漏えい確認を実施し、漏えい等の異常がないことを確認している。

以上のことから、3号機一次系ポンプについては、通常運転時の内圧に十分耐えうる構造強度を有していると判断する。

(2) 耐震性

3号機一次系ポンプについては、熱交換器、弁等と共にトレーラに搭載し、トレーラ含めてユニット化（熱交換器ユニット）することで、耐震性を向上させるとともに、ボルト等で固定することで転倒防止策を講じている。また、熱交換器ユニットについては、建屋の床面にアンカボルトにより固定することで転倒防止策を講じている。これを踏まえ、耐震性の評価として、ボルトの強度が確保されること、熱交換器ユニットが転倒しないこと及びアンカボルトの強度が確保されることの評価を行った。

なお、評価においては水平方向震度を耐震 B クラス相当の評価である 0.36G とし、耐震設計審査指針上の耐震 B クラス相当の評価を行った。

a. ボルトの強度評価

「原子力発電所耐震設計技術規程(JEAC4601-2008)」の横型ポンプの強度評価方法に準じて、ポンプ基礎ボルトの評価を行った。基礎ボルトの許容応力については、供用状態 C_sにおける許容応力を適用し、ボルトの評価温度は 100℃とみなして、許容応力を求めた。

評価結果を以下に示す。算出応力は全て許容応力以下となっている。

応力評価結果

部位	材料	応力種類	算出応力[MPa]	許容応力[MPa]
基礎ボルト	S S 4 0 0	引張	作用しない	145
		せん断	3	112

b. 熱交換器ユニットの転倒評価

熱交換器ユニットの転倒評価及びアンカボルトの強度評価は、後述の「3.4 3号機熱交換器ユニット（1）耐震性」において、熱交換器ユニットは転倒しない及び固定しているアンカボルトの強度が確保されている評価となっている。

1.4 4号機一次系ポンプ

(1) 構造強度

4号機一次系ポンプについては、系統最高使用圧力 1.0MPa に対し、工場にて 2.15MPa の水圧試験を実施し、漏えい等の異常がないことを確認している。また、系統機能試験時に 0.95MPa で漏えい確認を実施し、漏えい等の異常がないことを確認している。以上のことから、4号機一次系ポンプについては、通常運転時の内圧に十分耐えうる構造強度を有していると判断する。

(2) 耐震性

4号機一次系ポンプについては、熱交換器、弁等と共に架台に組み込み、架台含めてユニット化（熱交換器ユニット）することで、耐震性を向上させるとともに、ボルト等に固定することで転倒防止策を講じている。また、熱交換器ユニットについては、建屋の床面にアンカボルトにより固定することで転倒防止策を講じている。これを踏まえ、耐震性の評価として、ボルトの強度が確保されること、熱交換器ユニットが転倒しないこと及びアンカボルトの強度が確保されることの評価を行った。

なお、評価においては水平方向震度を耐震 B クラス相当の評価である 0.36G とし、耐震設計審査指針上の耐震 B クラス相当の評価を行った。

a. ボルトの強度評価

「原子力発電所耐震設計技術規程(JEAC4601-2008)」の横型ポンプの強度評価方法に準じて、ポンプ基礎ボルトの評価を行った。基礎ボルトの許容応力については、供用状態 C_sにおける許容応力を適用し、ボルトの評価温度は 100℃とみなして、許容応力を求めた。

評価結果を以下に示す。算出応力は全て許容応力以下となっている。

応力評価結果

部位	材料	応力種類	算出応力[MPa]	許容応力[MPa]
基礎ボルト	SS400相当	引張	作用しない	145
		せん断	5	112

b. 熱交換器ユニットの転倒評価

熱交換器ユニットの転倒評価及びアンカボルトの強度評価は、後述の「3.6 4号機熱交換器ユニット（1）耐震性」において、熱交換器ユニットは転倒しない及び固定しているアンカボルトの強度が確保されている評価となっている。

1.5 1, 2号機二次系共用ポンプ

(1) 構造強度

1, 2号機二次系共用ポンプについては、系統最高使用圧力 **0.5MPa** に対し、工場にて **0.75MPa** の水圧試験を実施し、漏えい等の異常がないことを確認している。

以上のことから、1, 2号機二次系共用ポンプについては、通常運転時の内圧に十分耐えうる構造強度を有していると判断する。

(2) 耐震性

1, 2号機二次系共用ポンプについては、屋外に鋼製架台を設置し、架台にボルトで固定することで転倒防止策を講じている。これを踏まえ、耐震性の評価としてボルトの強度が確保されることの評価を行った。

なお、評価においては水平方向震度を耐震Bクラス相当の評価である**0.36G** とし、耐震設計審査指針上の耐震Bクラス相当の評価を行った。

a. ボルトの強度評価

「原子力発電所耐震設計技術規程(JEAC4601-2008)」の横型ポンプの強度評価方法に準じて、ポンプ基礎ボルトの評価を行った。基礎ボルトの許容応力については、供用状態 C_s における許容応力を適用し、ボルトの評価温度は **50°C** とみなして、許容応力を求めた。

評価結果を以下に示す。算出応力は全て許容応力以下となっている。

応力評価結果

部位	材料	応力種類	算出応力[MPa]	許容応力[MPa]
基礎ボルト	SS400	引張	作用しない	180
		せん断	3	139

2. タンク

2.1 1, 2号機二次系共用サージタンク

(1) 構造強度

1, 2号機二次系共用サージタンクについては、タンク最高使用圧力 0.15MPa に対し、工場にて 0.23MPa の水圧試験を実施し、漏えい等の異常がないことを確認している。

以上のことから、1, 2号機二次系共用サージタンクについては、通常運転時の内圧に十分耐えうる構造強度を有していると判断する。

(2) 耐震性

1, 2号機二次系共用サージタンクについては、屋外に鋼製架台を設置し、架台にボルトで固定することで転倒防止策を講じている。また、1, 2号機二次系共用サージタンクについては、胴板部及びスカート部に地震による応力が作用する。これを踏まえ、耐震性の評価としてボルト、胴板部及びスカート部の強度が確保されることの評価を行った。

なお、評価においては水平方向震度を耐震Bクラス相当の評価である0.36G とし、耐震設計審査指針上の耐震Bクラス相当の評価を行った。

a. ボルトの強度評価

「原子力発電所耐震設計技術規程(JEAC4601-2008)」のスカート支持たて置円筒形容器の強度評価方法に準じて、サージタンク基礎ボルトの評価を行った。基礎ボルトの許容応力については、供用状態 C_s における許容応力を適用し、ボルトの評価温度は 50℃ とみなして、許容応力を求めた。

評価結果を以下に示す。算出応力は全て許容応力以下となっている。

応力評価結果

部位	材料	応力種類	算出応力[MPa]	許容応力[MPa]
基礎ボルト	SS400	引張	1	173
		せん断	4	133

b. 胴板部及びスカート部の強度評価

「原子力発電所耐震設計技術規程(JEAC4601-2008)」のスカート支持たて置円筒形容器の強度評価方法に準じて、胴板部及びスカート部の評価を行った。胴板部及びスカート部の許容応力については、供用状態 C_sにおける許容応力を適用し、評価温度は胴板部 95℃、スカート部 50℃とみなして、許容応力を求めた。

評価結果を以下に示す。算出値は全て許容値以下となっている。

評価結果

部位	材料	評価種類	算出値	許容値
胴板	SS400	一次一般膜応力	13[MPa]	223[MPa]
スカート	SS400	組合せ応力	5[MPa]	241[MPa]
		座屈	0.02	1

3. 熱交換器

3.1 2号機熱交換器

(1) 構造強度

2号機プレート式熱交換器については、系統最高使用圧力 1.0MPa（一次側）、0.5MPa（二次側）に対し、工場にてそれぞれ 1.10MPa（一次側）、0.55MPa（二次側）の水圧試験を実施し、漏えい等の以上がないことを確認している。また、また、系統機能試験時に 0.9MPa（一次側）、0.35MPa（二次側）で漏えい確認を実施し、漏えい等の異常がないことを確認している。以上のことから、2号機プレート式熱交換器については、通常運転時の内圧に十分耐えうる構造強度を有していると判断する。

(2) 耐震性

2号機プレート式熱交換器については、一次系ポンプ、配管、弁等と共にトレーラに搭載し、トレーラ含めてユニット化（熱交換器ユニット）することで、耐震性を向上させるとともに、ボルト等で固定することで転倒防止を講じている。また、熱交換器ユニットについては、床面での転倒及び滑り防止のため、建屋の床面にアンカボルトにより固定することで転倒防止対策を講じている。これを踏まえ、耐震性の評価として、ボルトの強度が確保されること、熱交換器ユニットが転倒しないこと及びアンカボルトの強度が確保されることの評価を行った。

なお、評価においては水平方向震度を耐震 B クラス相当の評価である 0.36G に余裕を持たせた 0.66G、耐震 B クラス相当の評価では求められていないがメーカ基準として設定した垂直方向震度 0.33G とし、耐震設計審査指針上の耐震 B クラス相当の評価を行った。

また、許容応力については、「建築設備耐震設計・施工指針（2005 年版）」の短期許容応力度（ボルト材質 SS400）を適用した。

a. ボルトの強度評価

許容応力との比較を以下に示す。発生する引張応力、せん断応力は、基礎ボルト許容応力を下回っており十分な強度を有している。

応力評価結果

部位	材料	応力種類	算出応力[MPa]	許容応力[MPa]
基礎ボルト	SS400	引張	47	176
		せん断	11	101

b. 熱交換器ユニットの転倒評価及びアンカボルトの強度評価

「3.2 2号機熱交換器ユニット（1）耐震性」において、水平方向震度 0.36G で熱交換器ユニットは転倒しない及び熱交換器ユニットを固定しているアンカボルトの強度が確保される評価となっている。

3.2 2号機熱交換器ユニット

(1) 耐震性

2号機熱交換器ユニットは、熱交換器、一次系ポンプ、配管及び弁等をトレーラ上に組み込んだものであり、トレーラ含めて重心が低い構造となっている。熱交換器ユニットは、床面での転倒及び滑り防止のため、建屋の床面にアンカボルトにより固定することで転倒防止策を講じている。また、ユニット内に組み込まれる各機器はフレームにボルト等で強固に固定される構造とし、ユニット内における転倒防止策を講じている。これを踏まえ、耐震性の評価として、「建築設備耐震設計・施工指針（2005年版）」を準用し、熱交換器ユニットにたいして転倒に伴う引張力が発生しない水平力を算出するとともに、アンカボルトの評価を行った。

なお、アンカボルトの許容荷重はカタログ値を適用した。

a. 転倒評価

熱交換器ユニット固定部に、転倒に伴う引張力が発生しない水平力を算出した結果、転倒しない水平力は、水平震度 0.71Gの地震時であり、耐震 B クラス相当の水平方向震度 0.36G に対して余裕があることを確認した。

b. アンカボルト評価

a. 転倒評価にて算出した水平力によるアンカボルトの評価結果を以下に示す。アンカボルトに発生する荷重は、許容荷重を下回っており十分な強度を有している。

評価結果

部位	材料	荷重	算出荷重[N]	許容荷重[N]
アンカボルト	S U S 3 0 4	引張	作用しない	41000
		せん断	30114	58000

遮へい板は、熱交換器ユニットの側壁に設置しており、熱交換器ユニットの最大機器荷重に含み評価している。

3.3 3号機熱交換器

(1) 構造強度

3号機プレート式熱交換器については、系統最高使用圧力 1.0MPa（一次側）、0.5MPa（二次側）に対し、工場にてそれぞれ 1.10MPa（一次側）、0.55MPa（二次側）の水圧試験を実施し、漏えい等の以上がないことを確認している。また、また、系統機能試験時に 0.9MPa（一次側）、0.353~0.355MPa（二次側）で漏えい確認を実施し、漏えい等の異常がないことを確認している。以上のことから、3号機プレート式熱交換器については、通常運転時の内圧に十分耐えうる構造強度を有していると判断する。

(2) 耐震性

3号機プレート式熱交換器については、一次系ポンプ、配管、弁等と共にトレーラに搭載し、トレーラ含めてユニット化（熱交換器ユニット）することで、耐震性を向上させるとともに、ボルト等で固定することで転倒防止を講じている。また、熱交換器ユニットについては、床面での転倒及び滑り防止のため、建屋の床面にアンカボルトにより固定することで転倒防止対策を講じている。これを踏まえ、耐震性の評価として、ボルトの強度が確保されること、熱交換器ユニットが転倒しないこと及びアンカボルトの強度が確保されることの評価を行った。

なお、評価においては水平方向震度を耐震 B クラス相当の評価である 0.36G に余裕を持たせた 0.66G、耐震 B クラス相当の評価では求められていないがメーカ基準として設定した垂直方向震度 0.33G とし、耐震設計審査指針上の耐震 B クラス相当の評価を行った。

また、許容応力については、「建築設備耐震設計・施工指針（2005 年版）」の短期許容応力度（ボルト材質 SS400）を適用した。

a. ボルトの強度評価

許容応力との比較を以下に示す。発生する引張応力、せん断応力は、基礎ボルト許容応力を下回っており十分な強度を有している。

応力評価結果

部位	材料	応力種類	算出応力[MPa]	許容応力[MPa]
基礎ボルト	SS400	引張	47	176
		せん断	11	101

b. 熱交換器ユニットの転倒評価及びアンカボルトの強度評価

後述の「3.4 3号機熱交換器ユニット（1）耐震性」において、水平方向震度 0.36G で熱交換器ユニットは転倒しない及び熱交換器ユニットを固定しているアンカボルトの強度が確保される評価となっている。

3.4 3号機熱交換器ユニット

(1) 耐震性

3号機熱交換器ユニットは、熱交換器、一次系ポンプ、配管及び弁等をトレーラ上に組み込んだものであり、トレーラ含めて重心が低い構造となっている。熱交換器ユニットは、床面での転倒及び滑り防止のため、建屋の床面にアンカボルトにより固定することで転倒防止策を講じている。また、ユニット内に組み込まれる各機器はフレームにボルト等で強固に固定される構造とし、ユニット内における転倒防止策を講じている。これを踏まえ、耐震性の評価として、「建築設備耐震設計・施工指針（2005年版）」を準用し、熱交換器ユニットにたいして転倒に伴う引張力が発生しない水平力を算出するとともに、アンカボルトの評価を行った。

なお、アンカボルトの許容荷重はカタログ値を適用した。

a. 転倒評価

熱交換器ユニット固定部に、転倒に伴う引張力が発生しない水平力を算出した結果、転倒しない水平力は、水平震度 1.0G の地震時であり、耐震 B クラス相当の水平方向震度 0.36G に対して余裕があることを確認した。

b. アンカボルト評価

a. 転倒評価にて算出した水平力によるアンカボルトの評価結果を以下に示す。アンカボルトに発生する荷重は、許容荷重を下回っており十分な強度を有している。

評価結果

部位	材料	荷重	算出荷重 [N]	許容荷重[N]
アンカボルト	S U S 3 0 4	引張	作用しない	41000
		せん断	23782	58000

遮へい板は、熱交換器ユニットの側壁に設置しており、熱交換器ユニットの最大機器荷重に含み評価している。

3.5 4号機熱交換器

(1) 構造強度

4号機プレート式熱交換器については、系統最高使用圧力 1.0MPa（一次側）、1.0MPa（二次側）に対し、工場にてそれぞれ 1.5MPa（一次側）、1.5MPa（二次側）の水圧試験を実施し、漏えい等の異常がないことを確認している。また、系統機能試験時に 0.95MPa（一次側）、0.62MPa（二次側）で漏えい確認を実施し、漏えい等の異常がないことを確認している。以上のことから、4号機プレート式熱交換器については、通常運転時の内圧に十分耐えうる構造強度を有していると判断する。

(2) 耐震性

4号機プレート式熱交換器については、一次系ポンプや配管、弁等と共に架台に組み込み、架台含めてユニット化（熱交換器ユニット）することで耐震性を向上させるとともに、ボルト等で固定することで転倒防止策を講じている。また、熱交換器ユニットについては、床面での転倒及び滑り防止のため、建屋の床面にアンカボルトにより固定することで、転倒防止策を講じている。これを踏まえ、耐震性の評価として、ボルトの強度が確保されること、熱交換器ユニットが転倒しないこと及びアンカボルトの強度が確保されることの評価を行った。

なお、評価においては水平方向震度を耐震 B クラス相当の評価である 0.36G に余裕を持たせた 0.66G、耐震 B クラス相当の評価では求められていないがメーカ基準として設定した垂直方向震度 0.33G とし、耐震設計審査指針上の耐震 B クラス相当の評価を行った。

また、許容応力については、「建築設備耐震設計・施工指針（2005 年版）」の短期許容応力度（ボルト材質 SS400）を適用した。

a. ボルトの強度評価

許容応力との比較を以下に示す。発生する引張応力、せん断応力は、基礎ボルト許容応力を下回っており十分な強度を有している。

応力評価結果

部位	材料	応力種類	算出応力[MPa]	許容応力[MPa]
基礎ボルト	SS400	引張	55	176
		せん断	13	101

b. 熱交換器ユニットの転倒評価及びアンカボルトの強度評価

後述の「3.6 4号機熱交換器ユニット(1)耐震性」において、水平方向震度 0.36G で熱交換器ユニットは転倒しない及び熱交換器ユニットを固定しているアンカボルトの強度が確保される評価となっている。

3.6 4号機熱交換器ユニット

(1) 耐震性

4号機熱交換器ユニットは、熱交換器、一次系ポンプ、配管及び弁等を架台に組み込んだものであり、架台含めて重心が低い構造となっている。熱交換器ユニットは、床面での転倒及び滑り防止のため、建屋の床面にアンカボルトにより固定することで、転倒防止策を講じている。また、ユニット内に組み込まれる各機器はフレームにボルト等で強固に固定される構造とし、ユニット内における転倒防止策を講じている。

これを踏まえ、耐震性の評価として地震の水平荷重による転倒モーメントよりも自重による安定モーメントが大きいことを確認し、アンカボルトの評価を行った。

なお、評価においては水平方向震度を耐震 B クラス相当の評価である 0.36G とし、アンカボルトの許容荷重はカタログ値を適用した。

a. 転倒評価

水平震度 0.36G に対し熱交換器ユニットが十分な強度を有し、転倒しないことを確認した。

b. アンカボルト評価

アンカボルトの評価結果を以下に示す。水平震度 0.36G によりアンカボルトに発生する荷重は、許容荷重を下回っており、十分な強度を有している。

評価結果

部位	材料	荷重種類	算出荷重[N]	許容荷重[N]
アンカボルト	SS400相当	引張	作用しない	381000
		せん断	28224	286000

4. 配管

4.1 1号機配管

(1) 構造強度

1号機二次系鋼管については、「設計・建設規格（2007年追補版）」に基づき、系統最高使用圧力に対して十分な厚さを有していることを確認しており、使用済燃料プール循環冷却系における使用条件に対し、十分な構造強度を有していると評価している（下表参照）。また、系統機能試験時に0.68～0.7MPaで漏えい確認を実施し、漏えい等の異常がないことを確認していることから、必要な構造強度を有しているものと判断する。

$$t = \frac{PD_0}{2S\eta + 0.8P} \quad (4.1)$$

t：管の計算上必要な厚さ[mm]

P：最高使用圧力[MPa]

D₀：管の外径[mm]

S：最高使用温度における「設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5」に規定する材料の許容引張応力[MPa]

η：長手継手の効率で、「設計・建設規格 PVC-3130」に定めるところによる。

1号機二次系鋼管の構造強度評価結果

名称	公称肉厚[mm]	必要最小厚さ [*] [mm]
1号機二次系ライン	5.5	2.4
	7.1	3.8
	5.5	2.4
	7.1	3.8

※1号機二次系鋼管は系統最高使用圧力1.0MPaとして評価を行い製作された後、運送発官27第226号により、系統最高使用圧力0.5MPaに変更されている。本評価では製作時の評価条件を考慮し、保守的に最高使用圧力1.0MPaでの必要最小厚さを示す。

(2) 耐震性

二次系設備のうち、新設配管の耐震性についての評価結果を示す。

a. 評価条件

配管は、基本的に、配管軸直角2方向拘束サポートを用いた、両端単純支持の配管系（両端単純支持はり構造）とする。また、配管は水平方向主体のルートを想定し、管軸方向については、サポート設置フロアの水平方向震度を鉄と鉄の静止摩擦係数0.52^注よりも小さいものとし、地震により管軸方向は動かないものと仮定する。

水平方向震度は、耐震 B クラス相当の評価である 0.36G とする。

b. 評価方法

水平方向震度が静止摩擦係数よりも小さく、地震により管軸方向は動かないと考えられることから、水平方向震度による管軸直角方向の配管応力評価を考える。

管軸直角方向の地震による応力は、下図に示す自重による応力の震度倍で表現でき(4.2)式で表すことができる。

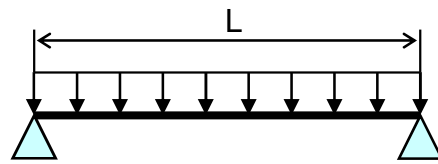
$$\cdot S_w = \frac{wL^2}{8Z}$$

S_w : 自重による応力 [MPa]

L : サポート支持間隔 [mm]

Z : 断面係数 [mm³]

w : 等分布荷重 [N/mm]



両端単純支持はりの等分布荷重より求まる自重による応力

$$\cdot S_s = \alpha S_w \tag{4.2}$$

S_w : 自重による応力 [MPa]

S_s : 地震による応力 [MPa]

α : 水平方向震度

注) 日本機械学会編 機械工学便覧 α . 基礎編 表 4-1, α 2-27

また、崩壊制限に「JEAG4601 (1984 年版)」のクラス 2 配管の供用状態 D_s の場合の一次応力制限を用いるとすると、地震評価としては(4.3)式で表すことができる。

$$\cdot S = S_p + S_w + S_s = S_p + S_w + \alpha S_w = S_p + (1 + \alpha) S_w \leq 0.9 S_u \tag{4.3}$$

S_p : 内圧による応力 [MPa]

S_w : 自重による応力 [MPa]

S_s : 地震による応力 [MPa]

S : 内圧, 自重, 地震による応力 [MPa]

α : 水平方向震度

従って、上記(4.3)式を満足するように、配管サポート配置を設定することにより、配管は十分な強度を有していると考えられることができる。

c. 評価結果

両端単純支持はりで自重による応力 $S_w=40[\text{MPa}]$ の配管サポート配置を仮定する。

配管設置フロアの水平方向震度を前述の $0.36G$, 内圧による応力 $S_p=10[\text{MPa}]$, 自重による応力 $S_w=40[\text{MPa}]$, 許容応力を $\text{STPT370}[100^\circ\text{C}]$ の $0.9S_u=315[\text{MPa}]$ とし, (4.3) に代入すると以下となる。

$$\bullet S=S_p+(1+\alpha)S_w = 10+(1+0.36)\times 40= 64.4[\text{MPa}] \leq 0.9S_u = 315[\text{MPa}] \quad (4.4)$$

また, 継手がある場合には, 応力係数も存在する。例えば応力係数を 3 とし, (4.4) 式の自重による応力 S_w に 3 を乗じ, $S_w=120[\text{MPa}]$ とすると以下となる。

$$\bullet S=S_p+(1+\alpha)S_w\times 3= 10+(1+0.36)\times 120= 173.2[\text{MPa}] \leq 0.9S_u = 315[\text{MPa}] \quad (4.5)$$

以上のことから, 両端単純支持はりで自重による応力 S_w を $40[\text{MPa}]$ 程度の配管サポート配置とした場合, 発生応力は許容応力に対して十分な裕度を有する結果となった。

4.2 2号機配管

(1) 構造強度

2号機一次系/二次系鋼管については、「設計・建設規格(2007年追補版)」に基づき、系統最高使用圧力に対して十分な厚さを有していることを確認しており、使用済燃料プール循環冷却系における使用条件に対し、十分な構造強度を有していると評価している(下表参照)。また、系統機能試験時に0.9MPa(一次系)、0.35MPa(二次系)で漏えい確認を実施し、漏えい等の異常がないことを確認していることから、必要な構造強度を有しているものと判断する。

2号機一次系/二次系鋼管の構造強度評価結果

名称	公称肉厚[mm]	必要最小厚さ[mm]
2号機 一次系ライン	6.0	3.4
	7.1	3.8
	8.2	3.8
2号機二次系ライン	7.1	3.8
	8.2	3.8

(2) 耐震性

一次系設備のうち、既設取合～熱交換器ユニット間の新設配管についての耐震性の評価結果を示す。

a. 解析条件

・解析モデル：

既設 FG69A～熱交換器ユニット：KFPC-901

熱交換器ユニット～既設 FE52A：KFPC-902

- ・水平地震力：耐震 B クラス相当の評価である 0.36G とした場合の新設配管の発生応力を確認する。

b. 評価結果

以下に配管の応力評価結果を示す。

応力評価結果

	一次応力[MPa]	許容応力[MPa]
既設 FG69A ～熱交換器ユニット	77	189
熱交換器ユニット ～既設 FE52A	46	189

4.3 3号機配管

(1) 構造強度

3号機一次系鋼管については、「設計・建設規格（2007年追補版）」に基づき、系統最高使用圧力に対して十分な厚さを有していることを確認しており、使用済燃料プール循環系における使用条件に対し、十分な構造強度を有していると評価している（下表参照）。また、系統機能試験時に0.9MPa（一次系）で漏えい確認を実施し、漏えい等の異常がないことを確認していることから、必要な構造強度を有しているものと判断する。

3号機一次系鋼管の構造強度評価結果

名称	公称肉厚[mm]	必要最小厚さ[mm]
3号機 一次系ライン	6.0	3.4
	7.1	3.8
	8.2	3.8

(2) 耐震性

一次系設備のうち、既設取合～熱交換器ユニット間の新設配管についての耐震性の評価結果を示す。

a. 解析条件

・解析モデル：

既設 FG101B～熱交換器ユニット：KFPC-901

熱交換器ユニット～既設ストレーナ 29B：KFPC-902

- ・水平地震力：耐震 B クラス相当の評価である 0.36G とした場合の新設配管の発生応力を確認する。

b. 評価結果

以下に配管の応力評価結果を示す。

応力評価結果

	一次応力[MPa]	許容応力[MPa]
既設 FG101B ～熱交換器ユニット	83	173
熱交換器ユニット ～既設ストレーナ 29B	53	173

4.4 4号機配管

(1) 構造強度

4号機一次系鋼管については、「設計・建設規格（2007年追補版）」に基づき、系統最高使用圧力に対して十分な厚さを有していることを確認しており、使用済燃料プール循環系における使用条件に対し、十分な構造強度を有していると評価している（下表参照）。また、系統機能試験時に0.95MPa（一次系）で漏えい確認を実施し、漏えい等の異常がないことを確認していることから、必要な構造強度を有しているものと判断する。

4号機一次系鋼管の構造強度評価結果

名称	公称肉厚[mm]	必要最小厚さ[mm]
4号機 一次系ライン	6.0	3.4
	7.1	3.8
	6.0	3.4
	7.1	3.8
	6.0	0.47

(2) 耐震性

使用済燃料プール循環システムの新設設備のうち、配管の耐震性についての評価結果を示す。

a. 評価条件

配管は、基本的に、配管軸直角2方向拘束サポートを用いた、両端単純支持の配管系（両端単純支持はり構造）とする。また、配管は水平方向主体のルートを想定し、管軸方向については、サポート設置フロアの水平方向震度を鉄と鉄の静止摩擦係数0.52^注よりも小さいものとし、地震により管軸方向は動かないものと仮定する。

水平方向震度は、耐震Bクラス相当の評価である0.36Gとする。

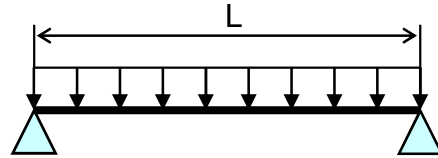
b. 評価方法

水平方向震度が静止摩擦係数よりも小さく、地震により管軸方向は動かないと考えられることから、水平方向震度による管軸直角方向の配管応力評価を考える。

管軸直角方向の地震による応力は、下図に示す自重による応力の震度倍で表現でき(4.6)式で表すことができる。

$$\bullet S_w = \frac{wL^2}{8Z}$$

S_w :自重による応力[MPa]
 L :サポート支持間隔[mm]
 Z :断面係数[mm³]
 w :等分布荷重[N/mm]



両端単純支持はりの等分布荷重より求まる自重による応力

$$\bullet S_s = \alpha S_w \quad (4.6)$$

S_w :自重による応力[MPa] S_s :地震による応力[MPa]
 α :水平方向震度

注) 日本機械学会編 機械工学便覧 α . 基礎編 表 4-1, α 2-27

また、崩壊制限に「JEAG4601 (1984年版)」のクラス 2 配管の供用状態 D_s の場合の一次応力制限を用いるとすると、地震評価としては(4.7)式で表すことができる。

$$\bullet S = S_p + S_w + S_s = S_p + S_w + \alpha S_w = S_p + (1 + \alpha) S_w \leq 0.9 S_u \quad (4.7)$$

S_p :内圧による応力[MPa] S_w :自重による応力[MPa]
 S_s :地震による応力[MPa] S :内圧, 自重, 地震による応力[MPa]
 α :水平方向震度

従って、上記(4.7)式を満足するように、配管サポート配置を設定することにより、配管の崩壊は抑制できる。

c. 評価結果

両端単純支持はりで自重による応力 $S_w=40$ [MPa]の配管サポート配置を仮定する。

配管設置フロアの水平方向震度を前述の 0.36G, 内圧による応力 $S_p=10$ [MPa], 自重による応力 $S_w=40$ [MPa], 許容応力を STPT370[100°C]の $0.9S_u=315$ [MPa]とし、(4.7)に代入すると以下となる。

$$\bullet S = S_p + (1 + \alpha) S_w = 10 + (1 + 0.36) \times 40 = 64.4 \text{ [MPa]} \leq 0.9 S_u = 315 \text{ [MPa]} \quad (4.8)$$

また、継手がある場合には、応力係数も存在する。例えば応力係数を3とし、(4.8)式の自重による応力 S_w に3を乗じ、 $S_w=120[\text{MPa}]$ とすると以下となる。

$$\bullet S = S_p + (1 + \alpha) S_w \times 3 = 10 + (1 + 0.36) \times 120 = 173.2 [\text{MPa}] \leq 0.9 S_u = 315 [\text{MPa}] \quad (4.9)$$

以上のことから、両端単純支持はりで自重による応力 S_w を $40[\text{MPa}]$ 程度の配管サポート配置とした場合、発生応力は許容応力に対して十分な裕度を有する結果となった。

4.5 1, 4号機フレキシブルチューブ

(1) 構造強度

1, 4号機フレキシブルチューブは、設計・建設規格に記載がない機器であるが、系統最高使用圧力 0.5MPa^{注)} (1号機 二次系) 及び系統最高使用圧力 1.0MPa (4号機 一次系) に対し、工場にて 1.25MPa (1号機 二次系, 4号機 一次系) の水圧試験を実施し、漏えい等の異常がないことを確認している。

また、系統機能試験時に下表の圧力で漏えい確認を実施し、漏えい等の異常がないことを確認していることから、必要な構造強度を有しているものと判断する。

各号機における系統機能試験圧力

号機	一次系 系統機能試験圧力[MPa]	二次系 系統機能試験圧力[MPa]
1号機		0.68~0.7
4号機	0.95	

注) 1号機二次系フレキシブルチューブは系統最高使用圧力 1.0MPa として評価を行い製作された後、運総発官 27 第 226 号により、系統最高使用圧力 0.5 MPa に変更されている。

(2) 耐震性

1, 4号機フレキシブルチューブは、フレキシビリティを有しており、地震変位による有意な応力は発生しないと考えられる。

4.6 1, 2号機二次系共用配管

(1) 構造強度

1, 2号機二次系共用配管については、「設計・建設規格(2007年追補版)」に基づき、系統最高使用圧力に対して十分な厚さを有していることを確認しており、使用済燃料プール循環冷却系における使用条件に対し、十分な構造強度を有していると評価している(下表参照)ことから、必要な構造強度を有しているものと判断する。

$$t = \frac{PD_0}{2S\eta + 0.8P} \quad (4.10)$$

t: 管の計算上必要な厚さ[mm]

P: 最高使用圧力[MPa]

D₀: 管の外径[mm]

S: 最高使用温度における「設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5」に規定する材料の許容引張応力[MPa]

η: 長手継手の効率で、「設計・建設規格 PVD-3110」に定めるところによる。

1, 2号機二次系共用配管の構造強度評価結果

名称	公称肉厚[mm]	必要最小厚さ[mm]
1, 2号機共用 二次系ライン	5.5	2.4
	5.2	2.7
	5.5	3.0
	6.0	3.4
	7.1	3.8

(2) 耐震性

1, 2号機二次系共用配管の耐震性について、定ピッチスパン法を用いて評価を行った結果を示す。

a. 評価条件

配管は、基本的に、配管軸直角2方向拘束サポートを用いた、両端単純支持の配管系(両端単純支持はり構造)とする。また、配管は水平方向主体のルートを想定し、管軸方向については、サポート設置フロアの水平方向震度を鉄と鉄の静止摩擦係数 0.52^{注)}よりも小さいものとし、地震により管軸方向は動かないものと仮定する。

水平方向震度は、耐震Bクラス相当の評価である 0.36G とする。

b. 評価方法

水平方向震度が静止摩擦係数よりも小さく、地震により管軸方向は動かないと考えられることから、水平方向震度による管軸直角方向の配管応力評価を考える。

管軸直角方向の地震による応力は、下図に示す自重による応力の震度倍で表現でき(4.11)式で表すことができる。

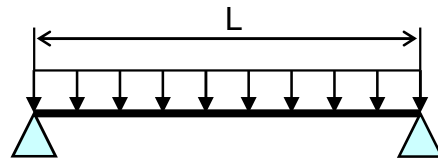
$$\cdot S_w = \frac{wL^2}{8Z}$$

S_w : 自重による応力 [MPa]

L : サポート支持間隔 [mm]

Z : 断面係数 [mm³]

w : 等分布荷重 [N/mm]



両端単純支持はりの等分布荷重より求まる自重による応力

$$\cdot S_s = \alpha S_w \quad (4.11)$$

S_w : 自重による応力 [MPa]

S_s : 地震による応力 [MPa]

α : 水平方向震度

注) 日本機械学会編 機械工学便覧 α . 基礎編 表 4-1, α 2-27

また、崩壊制限に「JEAC4601 (2008年版)」のクラス3配管の供用状態Csの場合の一次応力制限を用いるとすると、地震評価としては(4.12)式で表すことができる。

$$\cdot S = S_p + S_w + S_s = S_p + S_w + \alpha S_w = S_p + (1 + \alpha) S_w \leq 1.0 S_y \quad (4.12)$$

S_p : 内圧による応力 [MPa]

S_w : 自重による応力 [MPa]

S_s : 地震による応力 [MPa]

S : 内圧、自重、地震による応力 [MPa]

α : 水平方向震度

従って、上記(4.12)式を満足するように、配管サポート配置を設定することにより、配管は十分な強度を有していると考えられることができる。

c. 評価結果

両端単純支持はりで自重による応力 $S_w=30[\text{MPa}]$ の配管サポート配置を仮定する。

配管設置フロアの水平方向震度を前述の $0.36G$, 内圧による応力 $S_p=7[\text{MPa}]$, 自重による応力 $S_w=30[\text{MPa}]$, 許容応力を STPG370[60°C]の $1.0S_y=191[\text{MPa}]$ とし, (4.12)に代入すると以下となる。

$$\bullet S=S_p+(1+\alpha)S_w = 7+(1+0.36)\times 30= 48[\text{MPa}] \leq 1.0S_y = 191[\text{MPa}] \quad (4.13)$$

また, 継手がある場合には, 応力係数も存在する。例えば応力係数を 3 とし, (4.13)式の自重による応力 S_w に 3 を乗じ, $S_w\times 3=90[\text{MPa}]$ とすると以下となる。

$$\bullet S=S_p+(1+\alpha)S_w\times 3= 7+(1+0.36)\times 90= 130[\text{MPa}] \leq 1.0S_y = 191[\text{MPa}] \quad (4.14)$$

以上のことから, 両端単純支持はりで自重による応力 S_w を $30[\text{MPa}]$ 程度の配管サポート配置とした場合, 発生応力は許容応力に対して十分な裕度を有する結果となった。

4.7 1, 2号機二次系共用ポリエチレン管

(1) 構造強度

ポリエチレン管については非金属材料であるため、「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格設計・建設規格」による規定はない。使用済燃料プール循環冷却系にて使用するポリエチレン管は、ISO TR9080 及び ISO 12162 により PE100 として規定・分類され、性能については、日本水道協会規格 (JWWA K 144) に規定されている。

使用済燃料プール循環冷却系の使用圧力及び温度はこれらの規格に定める使用条件を満足していることから、ポリエチレン管は十分な構造強度を有していると判断する。

以上のことから、ポリエチレン管は使用済燃料プール循環冷却系における使用条件に対し、十分な構造強度を有していると判断する。

(2) 耐震性

ポリエチレン管の耐震設計については、土中に埋設された状態における耐震計算が日本水道協会規格等で規定されているのみであり、福島第一原子力発電所のように地上に設置したポリエチレン管の耐震計算に関する規定はない。しかしながら、ポリエチレン管は、フレキシビリティを有しており、地震変位による有意な応力は発生しないと考える。

5. エアフィンクーラ

5.1 1, 2号機共用エアフィンクーラ

(1) 構造強度

1, 2号機共用エアフィンクーラについては, 系統最高使用圧力 **0.5MPa** に対し, 工場にて **0.63MPa** の気圧試験を実施し, 漏えい等の異常がないことを確認している。

以上のことから, 1, 2号機共用エアフィンクーラについては, 通常運転時の内圧に十分耐えうる構造強度を有していると判断する。

(2) 耐震性

1, 2号機共用エアフィンクーラについては, 屋外に敷鉄板を設置し, 敷鉄板にボルトで固定することで転倒防止策を講じている。これを踏まえ, 耐震性の評価としてボルトの強度が確保されることの評価を行った。

なお, 評価においては水平方向震度を耐震Bクラス相当の評価である**0.36G** とし, 耐震設計審査指針上の耐震Bクラス相当の評価を行った。

a. 引張力

機器に発生する引張力 F_b は以下の計算式で算出することができる。

$$F_b = \frac{F_H \cdot h_G - (W - F_V) \cdot \ell_G}{\ell}$$

ここに, F_H : 設計水平地震力 ($K_H \cdot W$) [N]

K_H : 設計用水平震度

W : 機器重量 [N]

h_G : 据付面より機器重心までの高さ [mm]

F_V : 設計用鉛直地震力 ($K_V \cdot W$) [N]

K_V : 設計用鉛直震度

ℓ_G : 検討する方向から見た評価点から機器重心までの距離 [mm]

ℓ : 検討する方向から見た評価点スパン [mm]

b. ボルトの強度評価

基礎ボルトの許容応力については, 「原子力発電所耐震設計技術規程(JEAC4601-2008)」の供用状態 C_s における許容応力を準用し, ボルトの評価温度は 50°C とみなして, 許容応力を求めた。

評価結果を以下に示す。算出応力は全て許容応力以下となっている。

応力評価結果

部位	材料	応力種類	算出応力[MPa]	許容応力[MPa]
基礎ボルト	SS400	引張	作用しない	173
		せん断	5	133

6. 二次系共用の各設備の設置場所における地盤支持力

二次系共用の各設備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（下表参照）、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）

$$Q_u = A_u \left(\alpha k c N_c S_c + k q N_q S_q + \frac{1}{2} \gamma_1 \beta B_e N_r S_r \right)$$

- 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

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	水平震度	鉛直荷重 [kN]	許容支持力 [kN]
1, 2号機二次系共用ポンプ※	0.3	232	11762
1, 2号機二次系共用サージタンク※	0.3	232	11762
1, 2号機二次系共用エアフィンクーラ	0.3	515	40070

※1, 2号機二次系共用ポンプ及び1, 2号機二次系共用サージタンクは同一の鋼製架台上に設置されているため、評価結果は同じ値となる。

使用済燃料プール冷却系機能喪失評価

(1) 原因

使用済燃料プール冷却中に、ポンプ故障や地震・津波等の原因により使用済燃料プール冷却系が機能喪失し、使用済燃料プールの冷却が停止し、使用済燃料プール水の温度が上昇すると共に使用済燃料プール水位が低下する。

(2) 対策及び保護機能

- a. 一次系又は二次系ポンプが故障した場合は、現場に移動し、待機号機の起動を行い、使用済燃料プールの循環冷却を再開する。
(冷却再開の所要時間(目安):約1時間程度)※
- b. 使用済燃料プール循環冷却系の電源喪失時において、外部電源および所内電源の切替に長時間を要する場合(目安時間:約2日以上)は、非常用注水設備による使用済燃料プールへの注水を行うことにより、使用済燃料プールの冷却を行う。
(冷却再開の所要時間(目安):約3時間程度)※
- c. 使用済燃料プール循環冷却系の一次系循環ラインが損傷した場合は、循環ライン内の一次系系統水が系外へ漏えいすることが考えられることから、系外へ漏えいした一次系系統水を建屋内に設置した堰により滞留させた後、漏えい水を建屋地下(2～3号機は原子炉建屋地下、4号機は廃棄物処理建屋地下又は原子炉建屋地下)に移送する。移送後、一次系循環ラインの復旧に長時間を要する場合は、非常用注水設備による使用済燃料プールへの注水を行うことにより、使用済燃料プールの冷却を行う。
(冷却再開の所要時間(目安):約6時間程度)※
- d. 地震・津波等により使用済燃料プール循環冷却系の複数の系統や機器の機能が同時に喪失した場合には、現場状況に応じて、予め免震重要棟西側(T.P.約35m)に待機している消防車等の配備を行い、使用済燃料プールの冷却を再開する。
(冷却再開の所要時間(目安):約3時間程度)※
- e. 地震・津波等により、非常用注水設備による使用済燃料プールの冷却が困難な場合は、ろ過水タンク西側(T.P.約39m)に待機しているコンクリートポンプ車により使用済燃料プールの冷却を行う。
(冷却再開の所要時間(目安):約6時間程度)※

※:所要時間(目安)とは復旧作業の着手から完了までの時間(目安)である。

(3) 評価条件及び評価結果

a. 評価条件

- (a) 保守的に使用済燃料から発生する崩壊熱は全て使用済燃料プール水の温度上昇に寄与するものとし、外部への放熱は考慮しないものとする。

(b) 使用済燃料から発生する崩壊熱は、次に示す値とする。

1号機：0.07MW 2号機：0.19MW 3号機：0.16MW

(平成28年3月1日時点のORIGEN評価値)

なお、平成28年3月1日時点及び1～3年後の各号機における使用済燃料プールから発生する崩壊熱は以下のとおりである。

号機	使用済燃料崩壊熱 [MW] ※			
	平成28年3月1日 時点	平成29年3月1日 時点(1年後)	平成30年3月1日 時点(2年後)	平成31年3月1日 時点(3年後)
1号	0.07	0.07	0.06	0.06
2号	0.19	0.17	0.17	0.16
3号	0.16	0.15	0.14	0.14

※各燃料について、プラント停止時（平成23年3月11日時点）の各燃料の燃焼度（運転データ）を入力し、計算コードORIGENを用いて計算

(c) 保守的に使用済燃料プール水の初期温度は65℃とする。

b. 評価結果

使用済燃料プール冷却系が機能喪失している間、使用済燃料プール水位が水遮へいが有効とされる有効燃料頂部+2mに至るまでの期間は以下の通りとなる。

1号機：約203日、 2号機：約98日

(4) 判断基準への適合性の検討

本事象に対する判断基準は、「使用済燃料から発生する崩壊熱を確実に除去できること」である。

使用済燃料プール循環冷却系の機能喪失後、使用済燃料プール水位が有効燃料頂部+2mに至るまでには、最短で2号機において約98日程度の時間的余裕がある。このことから、他に緊急度の高い復旧作業がある場合は、そちらを優先して実施することになるが、使用済燃料プールの冷却再開に関する復旧作業は事前の準備が整い次第、速やかに実施することで使用済燃料プールの冷却を再開する。なお、有効燃料頂部+2mでの使用済燃料プール近くのオペフロや原子炉建屋周辺における線量率は十分低いと評価しており、使用済燃料プールの冷却再開に関する復旧作業は十分可能と考えられる。

以上により、使用済燃料プール冷却系の機能が喪失した場合でも、燃料の冠水は確保され、使用済燃料から発生する崩壊熱が確実に除去されることから、判断基準は満足される。

(5) 非常用注水設備の代替注水手段

地震・津波等により、非常用注水設備の使用が困難な場合、コンクリートポンプ車、又は高所送水車等を用いて使用済燃料プールを冷却する。

コンクリートポンプ車の使用が困難な2号機においては、消防ホースを使用済燃料プールまで敷設し、消防車による直接注水を行うことで、使用済燃料プールを冷却する。

コンクリートポンプ車、又は高所送水車

台数 1

コンクリートポンプ車

アーム長さ 62m 以上

容量 160m³/h 以上

燃料タンク容量、消費量 約 500 l (参考値), 約 20 l /h (参考値)

高所送水車

アーム長さ 40m 以上

消防車

※ 1～2号機使用済燃料プール循環冷却設備および使用済燃料共用プール設備と共用

使用済燃料プール（SFP）水温及び水位変化

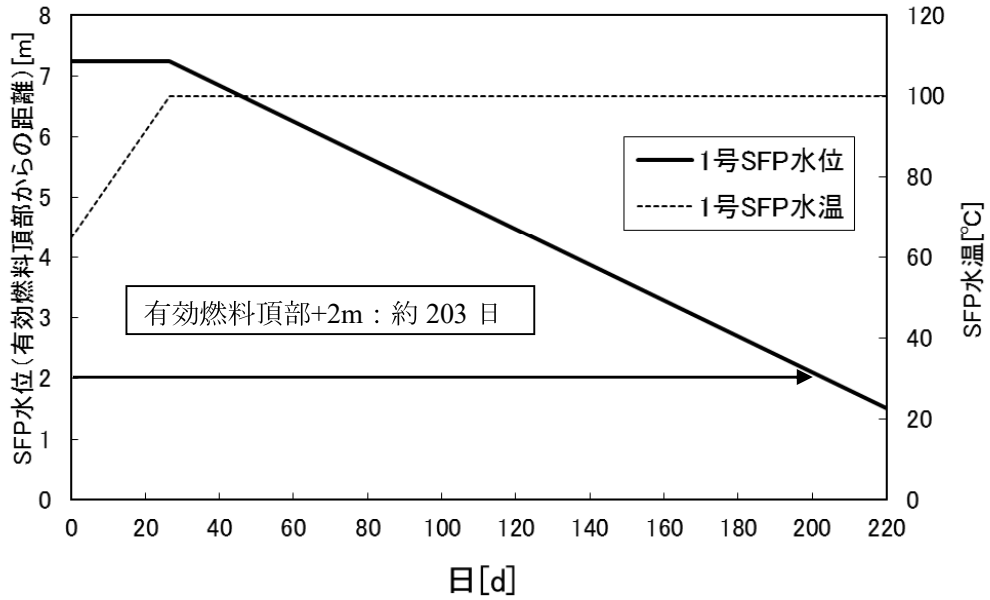


図1 1号機使用済燃料プール（SFP）水温及び水位変化

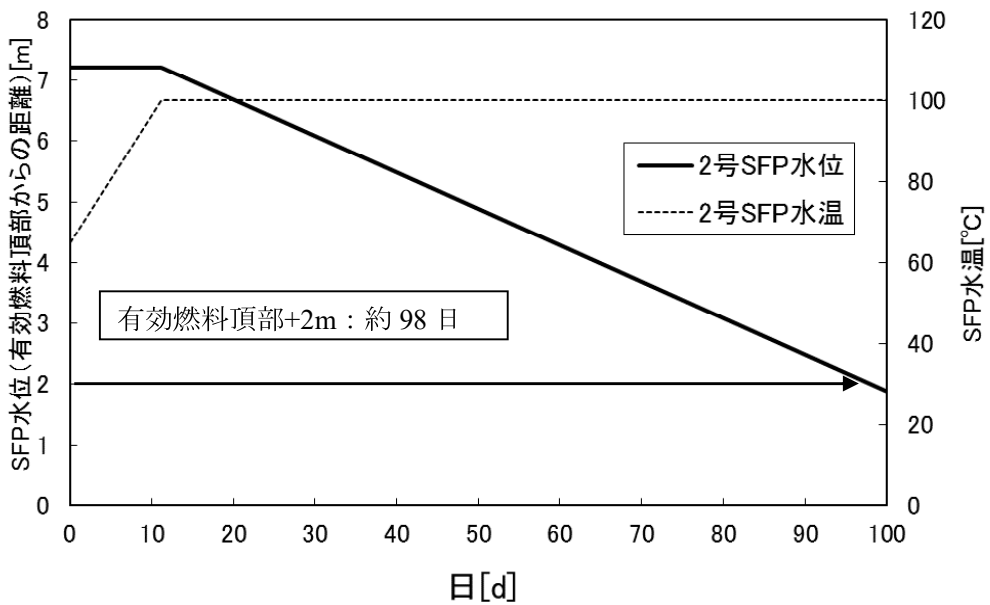


図2 2号機使用済燃料プール（SFP）水温及び水位変化

以上

有効燃料頂部＋ 2 mにおける線量評価

使用済燃料プール循環冷却設備の機能が喪失した場合、非常用注水設備等を用いて使用済燃料プールの冷却を再開する必要がある。冷却再開にあたり、有効燃料頂部＋ 2 mにおいても、使用済燃料プール近くのオペフロ及び原子炉建屋周辺での作業が可能な線量かどうかの評価を行った。

1. 評価条件

評価条件は以下の通りである。

- (1) 冷却期間の短い使用済燃料体数が多い4号機使用済燃料プールについて評価。
(使用済燃料の照射期間及び冷却期間は燃料毎に考慮、評価日は H23.4.22 時点)
- (2) ORIGEN2 により使用済燃料の線源強度を計算し、この線源強度を用い MCNP により線量率を計算。
- (3) 線量率の評価位置は、使用済燃料プール真上「オペフロ＋ 5 m 高さ」。

2. 評価結果

評価結果を下記表に示す。

有効燃料頂部からの水位 (m)	線量率 (mSv/h)
0	3×10^{-4}
1	8×10^{-1}
2	3×10^{-1}

評価位置は使用済燃料プール真上「オペフロ＋ 5 m」であるが、面線源であることを考慮するとオペフロ高さにおいても同程度の評価結果になると考える。

以上の結果より、使用済燃料プール水位が有効燃料頂部から水深 2 m 確保されていれば、使用済燃料による線量率は十分低いことから、コンクリートポンプ車が使用できない場合の使用済燃料プール近くのオペフロ作業や非常用注水設備等を用いた冷却作業は十分可能と考える。

なお、現在及び今後は、さらに使用済燃料の冷却期間が経過しており、線量率はより小さくなる。

使用済燃料プール浄化装置について

1. はじめに

1～4号機使用済燃料プールの水質を実施計画にて定める基準値内に管理するため、使用済燃料プール浄化装置（以下、「浄化装置」という。）を配備し、必要に応じて使用済燃料プール水の浄化を実施する。

浄化装置は、使用済燃料プール循環冷却設備一次系から採水し再び一次系へ水を戻す配管（浄化ライン）と、移動式の処理装置（モバイル式処理装置）から構成され、浄化の際はこれらを組み合わせて使用する。

浄化装置は、震災以降緊急対応的に設置した機器であり、2～4号機使用済燃料プールに対しては平成25年8月14日（実施計画の初回認可日）以前から使用した実績がある。

2. 基本方針

2.1 設置の目的

1～4号機使用済燃料プールの水質を管理するために、必要に応じて使用済燃料プール水の浄化ができること。

2.2 設計方針

2.2.1 浄化ライン

浄化ラインは、使用済燃料プール循環冷却設備一次系からの使用済燃料プール水の採水と、モバイル式処理装置により浄化した水を再び一次系へ戻すことが可能で、なおかつ、モバイル式処理装置との接続ができる設計とする。

（1）材料

使用済燃料プール水の性状を考慮し、適切な材料を用いた設計とする。

（2）放射性物質の漏えい及び管理されない放出の防止

浄化ラインは、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、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. モバイル式処理装置と接続する配管には耐圧ホースを使用するが、継手部については固縛等により継手が外れない処置を実施し、漏えいの発生を防止する。また、耐圧ホースは二重管構造とすることで、漏えいの拡大を防止する。

(3) 誤操作の防止に対する考慮

浄化ラインには誤操作を防止するために、操作バルブには銘板を設けるとともに、運転手順書を整備し運転にあたる。

(4) 検査可能性に対する設計上の考慮

適切な方法により検査ができるよう、漏えい検査・通水検査等ができる設計とする。

2.2.2 モバイル式処理装置（放射能除去装置）

モバイル式処理装置（放射能除去装置）（以下、「放射能除去装置」という。）は、装置内に設置した吸着塔に使用済燃料プール水を通水することにより使用済燃料プール水中の放射能濃度を低減することができ、なおかつ、必要に応じて移動ができる設計とする。

(1) 運用方針

放射能除去装置は、1号機使用済燃料プール水中の放射能濃度低減のため、使用時のみ設置し、使用後は装置を移設する。

(2) 処理能力

使用済燃料プール水中の放射性物質の濃度を低減する能力を有する。

(3) 規格・基準等

放射能除去装置の機器等は、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及び基準によるものとする。

なお、吸着塔容器及び配管（鋼管）接続部の溶接は、日本産業規格に準拠して実施する。

(4) 放射性物質の漏えい及び管理されない放出の防止

放射能除去装置の機器等は、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、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. 液体状の放射性物質の漏えい防止として、屋外には二重管構造の耐圧ホースを使用し、継手部については固縛すること等により、継手が外れない処置を実施する。

- c. 万一の漏えいを考慮し、放射能除去装置（車両）内に堰を設置するとともに、堰内に設置した漏えい検知器により漏えいの有無を監視する。また、漏えいを検知した場合には放射能除去装置の出入口自動隔離弁を閉じ、装置の運転を停止する。
- d. 漏えい検知の警報は免震重要棟に表示させることで、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

放射能除去装置は、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

放射能除去装置は、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

放射能除去装置は、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) 誤操作の防止に対する考慮

放射能除去装置の操作スイッチを CS 式 (Control Switch;制御スイッチ)、COS 式(Change over Switch;切替スイッチ)とし、タッチパネル特有の問題（ボタン間隔が狭い、反応が鈍い）を回避する。また、運転操作手順書を整備し、教育を実施すると共に、装置の停止に係わる重要なスイッチには、注意表示をする。

(9) 検査可能性に対する設計上の考慮

適切な方法として検査ができるよう、漏えい検査・通水検査等ができる設計とする。

(10) 電気故障の拡大防止に対する考慮

放射能除去装置は、電氣的な故障が発生した場合には、その拡大及び伝播を防止するため異常箇所を自動的に切り離す保護装置を備える。

(11) 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、以下の設計とする。

- ・吸着塔交換作業時の被ばく低減を図るため、吸着塔内の内部水をろ過水に置

換可能とする。

- ・弁操作時の被ばく低減を図るため、遠隔操作ハンドルを設けると共に、弁近傍を遮へいする。

(12) 監視機能

放射能除去装置の動作確認に必要な計器類の指示値を車両内の制御盤に表示させる。また、この制御盤の画像を免震重要棟に送信することで、免震重要棟からの監視が可能となるようにする。なお、免震重要棟には監視盤を設置し、装置の異常時には警報を発報し、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。

2.2.3 モバイル式処理装置（塩分除去装置）

モバイル式処理装置（塩分除去装置）（以下、「塩分除去装置※」という。）は、装置内のRO膜またはイオン交換樹脂に使用済燃料プール水を通水することにより使用済燃料プール水中の塩化物イオン濃度を低減することができ、なおかつ、必要に応じて移動ができる設計とする。

なお、塩分除去装置は、RO膜装置及びイオン交換装置の2種類を配備し、2～4号機の使用済燃料プール水の塩分除去に使用している装置を用いる。

※ 特記無き場合は、RO膜装置とイオン交換装置の両方のことを指す。

(1) 運用方針

1～4号機の使用済燃料プール水中の塩化物イオン濃度低減のため、これまで2～4号機の使用済燃料プール水の塩分除去に使用している装置を使用時のみ設置する。

なお、塩分除去装置は、各号機原子炉建屋山側エリア（屋外、T.P.約8.5m）に設置する。

(2) 処理能力

使用済燃料プール水中の塩化物イオンの濃度を低減する能力を有する。

(3) 材料

塩分除去装置は、使用済燃料プール水の性状を考慮し、適切な材料を用いた設計とする。

(4) 放射性物質の漏えい及び管理されない放出の防止

塩分除去装置の機器等は、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、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. 万一の漏えいを考慮し、塩分除去装置（車両）内に堰を設置するとともに、漏えい検知器により漏えいの有無を監視する。また、漏えいを検知した場合には塩分除去装置の出入口自動隔離弁を閉じ、装置の運転を停止する。
- c. 漏えい検知の警報は免震重要棟に表示させることで、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

塩分除去装置は、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）誤操作の防止に対する考慮

塩分除去装置には誤操作を防止するために、操作バルブには銘板を設けるとともに、運転操作手順書を整備し運転にあたる。また、操作スイッチをCS式（Control Switch;制御スイッチ）、COS式（Change over Switch;切替スイッチ）とし、タッチパネル特有の問題（ボタン間隔が狭い、反応が鈍い）を回避すると共に、装置の停止に係わる重要なスイッチには、注意表示をする。

（７）検査可能性に対する設計上の考慮

適切な方法により検査ができるよう、漏えい検査・通水検査等ができる設計とする。

（８）電気故障の拡大防止に対する考慮

塩分除去装置は、電気的な故障が発生した場合には、その拡大及び伝播を防止するため異常箇所を自動的に切り離す保護装置を備える。

（９）監視機能

塩分除去装置の動作確認に必要な計器類の指示値を車両内の制御盤に表示させる。また、この制御盤の画像を免震重要棟に送信することで、免震重要棟からの監視が可能となるようにする。なお、免震重要棟には監視盤を設置し、装置の異常時には警報を発報し、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。

2.3 供用期間

2.3.1 浄化ライン

浄化ラインは、1～4号機の使用済燃料プール水の浄化時のみ使用する。

なお、浄化ラインは、1～4号機の使用済燃料プールからの燃料取出が完了するまで随時使用する可能性があることから、機器の重要度に応じて有効な保全*を計画・実施する。

2.3.2 放射能除去装置

放射能除去装置は、1号機の使用済燃料プール水中の放射性物質濃度が、塩分除去装置の運用に支障がない程度に低下するまで使用する。

なお、放射能除去装置は、2～4号機では浄化実施後に再び使用済燃料プール水の放射能濃度が上昇した実績はなく、1号機使用済燃料プール水の浄化についても一度で完了する見込みであるが、放射能除去装置を使用する場合に備え、機器の重要度に応じて有効な保全*を計画・実施する。

2.3.3 塩分除去装置

塩分除去装置は、1～4号機の使用済燃料プール水中の塩化物イオン濃度等が上昇し、実施計画に定める基準値を超える恐れが生じた場合に使用する。

なお、塩分除去装置は、1～4号機の使用済燃料プールからの燃料取出が完了するまで随時使用する可能性があることから、機器の重要度に応じて有効な保全*を計画・実施する。

※有効な保全とは、設備又は機器の重要度、使用頻度、使用環境、過去の点検結果等から総合的に判断し、保全方式（時間基準保全、状態基準保全又は事後保全）及び保全方法（点検内容、点検周期、点検時期等）を定めた保全計画（長期点検計画）に基づき点検、補修、取替え及び改造等の保全を実施することをいう。

2.4 供用期間中に確認する項目

必要に応じて使用済燃料プール水の浄化ができるよう、浄化装置が使用可能であること。

2.5 装置概要

2.5.1 浄化ライン

浄化ラインは、使用済燃料プール循環冷却設備一次系から使用済燃料プール水を採水するラインと、モバイル式処理装置により浄化した水を再び一次系へ戻すラインで構成され、設置箇所に応じて、鋼管、フレキシブルチューブ、耐圧ホースのいずれかを用いる。

2.5.2 放射能除去装置

放射能除去装置は、吸着塔を装荷する吸着塔ユニット（車載）及び流量調整等の機能を有する弁ユニット（車載）から構成する（図－3）。吸着塔ユニットは、1塔の吸着塔により、使用済燃料プール水に含まれる放射性核種を除去し、吸着塔出入口差圧、吸着性能、吸着塔表面線量により吸着塔を交換する場合がある。（表－1）。

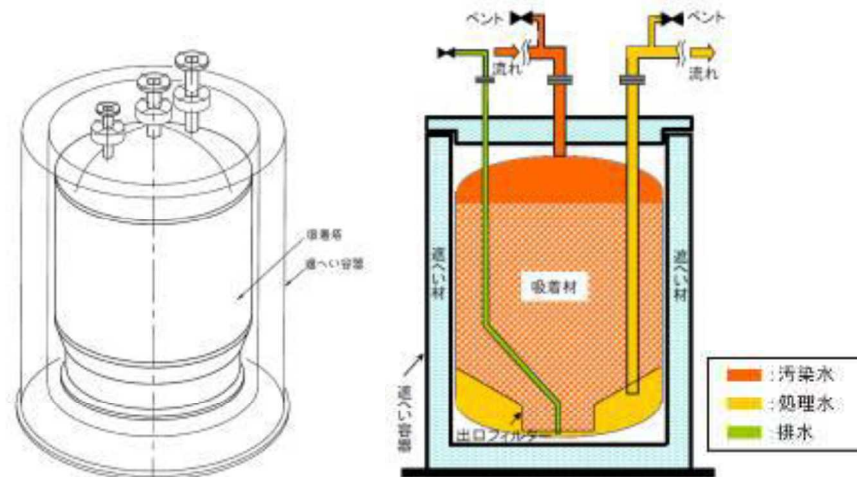
放射能除去装置で使用する吸着塔は、二重の円筒形容器で、内側は内部にゼオライト等を充填したステンレス製の容器、外側は炭素鋼製の遮へい容器からなる構造とする。また、遮へい容器は二重筒構造とし、内部の鉛等により、吸着塔表面で1mSv/h以下となるよう十分な遮へい能力を有するものとする。

なお、1号機使用済燃料プール水に含まれる放射エネルギーは、約 3×10^{13} Bqである（ ^{137}Cs 及び ^{134}Cs の合計値、平成26年10月現在）。

表－1 放射能除去装置の吸着材について

除去核種	表面線量率 (mSv/h)	吸着量※ (Bq/塔)	温度評価		備考
			最高温度 (°C)	耐熱温度 (°C)	
Cs	<1.0	約 1.3×10^{15}	約215	600	

(※) ^{137}Cs 及び ^{134}Cs の合計値



図－1 放射能除去装置の吸着塔外形図及び概略図

表-2 放射能除去装置 吸着塔の主要仕様

吸着塔部位	項目	仕様
吸着材容器	外径 (公称)	1,020mm
	厚さ (公称)	10mm
	材質	SUS316L
遮へい材 (容器内容物)	厚さ (公称)	130mm
	材質	Pb (鉛)
遮へい容器	内筒・外筒厚さ (側面) (公称)	6mm
	材質	SS400

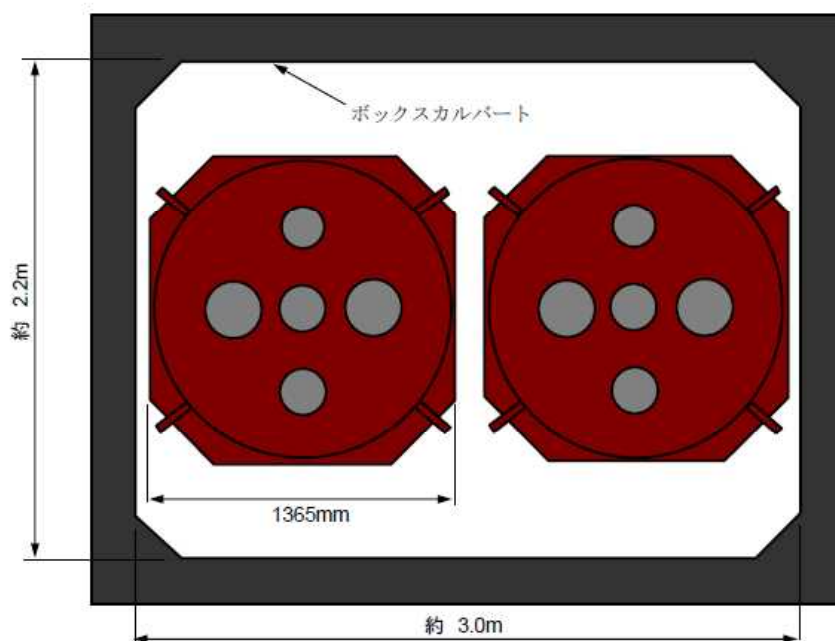
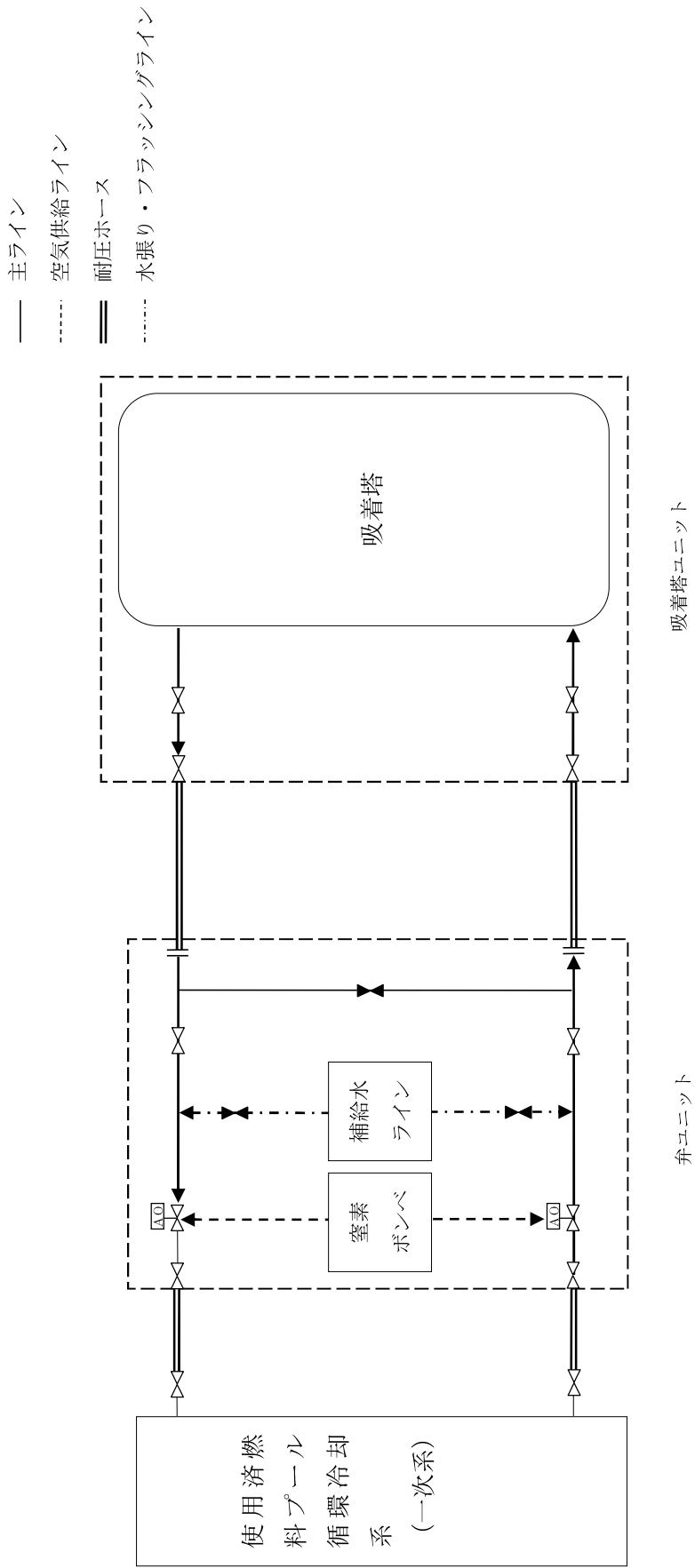


図-2 吸着塔の保管状況



図一3 放射能除去装置系統概略図

2.5.3 塩分除去装置

2.5.3.1 塩分除去装置 (RO 膜装置) (図-4)

塩分除去装置 (RO 膜装置) (以下、「RO 膜装置」という。)は、逆浸透膜 (RO 膜) 装置とそれに付随する前置フィルタ、バッファタンク、ろ過ポンプ、チェックフィルタ、処理水移送ポンプ、処理水受けタンク、濃縮水タンク、濃縮水移送ポンプ及びホース・配管・弁・計器等で構成し、これらを 1 台の車両 (トラック) に積載する。

(1) 逆浸透膜 (RO 膜) 装置

逆浸透膜装置は、高圧ポンプ及び RO モジュールで構成され、使用済燃料プール水を処理水と濃縮水に分離する。処理水は、使用済燃料プール循環冷却系の一次系配管へ移送し、濃縮水は濃縮水タンクに排出する。

(2) 前置フィルタ

使用済燃料プール水に含まれる固形分を除去することによって、下流側の機器への影響を低減する。

(3) バッファタンク

使用済燃料プール循環冷却系から一次系の水を受け入れるタンクである。また、塩分濃度を高くするために、濃縮水を受け入れ循環ラインを構築し濃縮度を上げる。

(4) ろ過ポンプ

バッファタンクからの使用済燃料プール水をチェックフィルタを経由して逆浸透膜装置へ移送する。

(5) チェックフィルタ

チェックフィルタは、残存する固形分を除去し、下流側の逆浸透膜装置を保護する。

(6) 処理水移送ポンプ、処理水受けタンク

処理水を受け入れ、処理水移送ポンプを介して使用済燃料プール循環冷却系の一次系配管へ移送する。

(7) 濃縮水タンク、濃縮水移送ポンプ、濃縮水移送ライン

濃縮水を受け入れ、濃縮水移送ポンプ及び濃縮水移送ラインを介して濃縮水を各号機の建屋地下へ排出する。

2.5.3.2 塩分除去装置（イオン交換装置）（図－5）

塩分除去装置（イオン交換装置）（以下、「イオン交換装置」という。）は、樹脂塔、前置フィルタ、移送ポンプ、コンプレッサ及びホース・配管・弁・計器等で構成し、これらを1台の車両（トラック）に積載する。

（1）樹脂塔

使用済燃料プール水を通水し、プール水中の塩化物イオンをイオン交換樹脂にて捕捉する。

（2）前置フィルタ

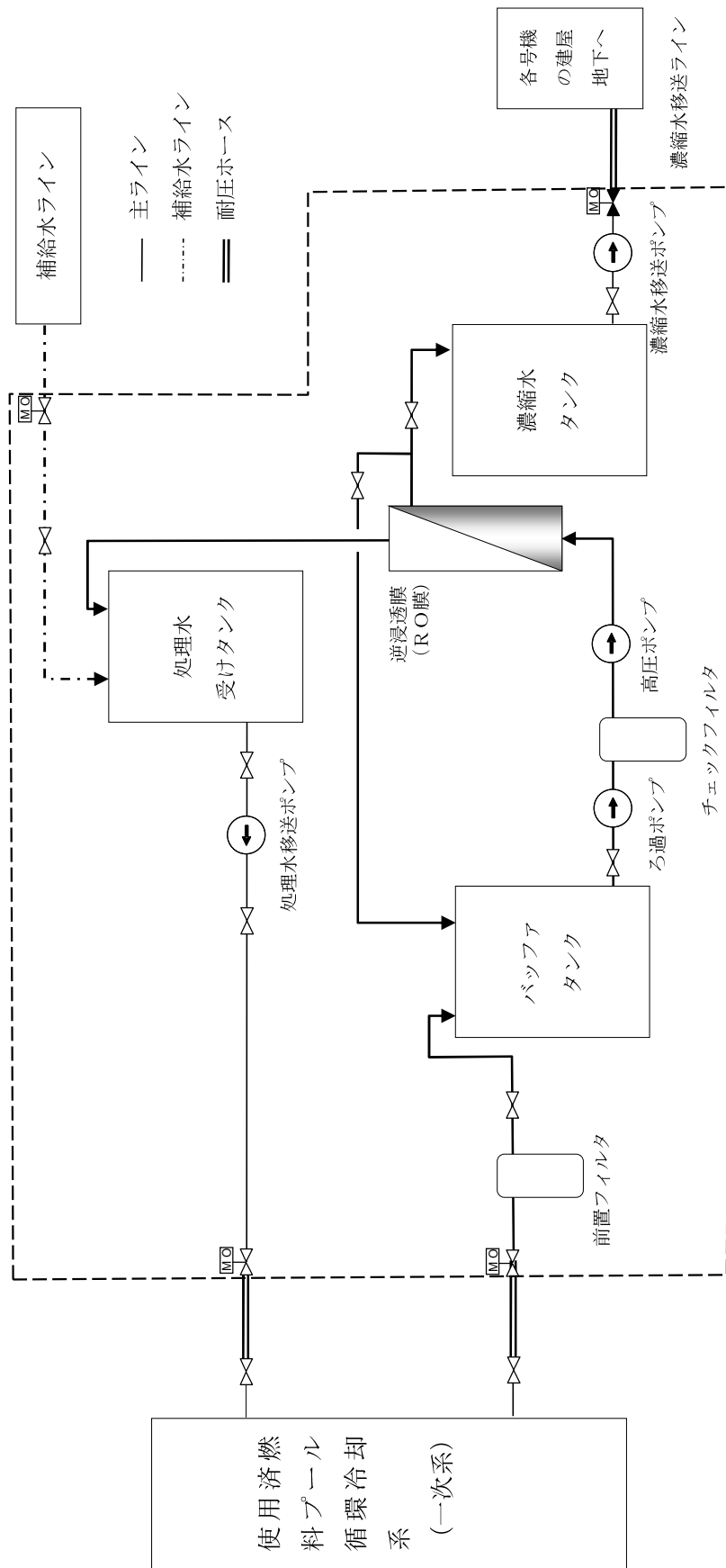
使用済燃料プール水中のクラッド成分を除去し、下流側の樹脂を保護する。

（3）移送ポンプ

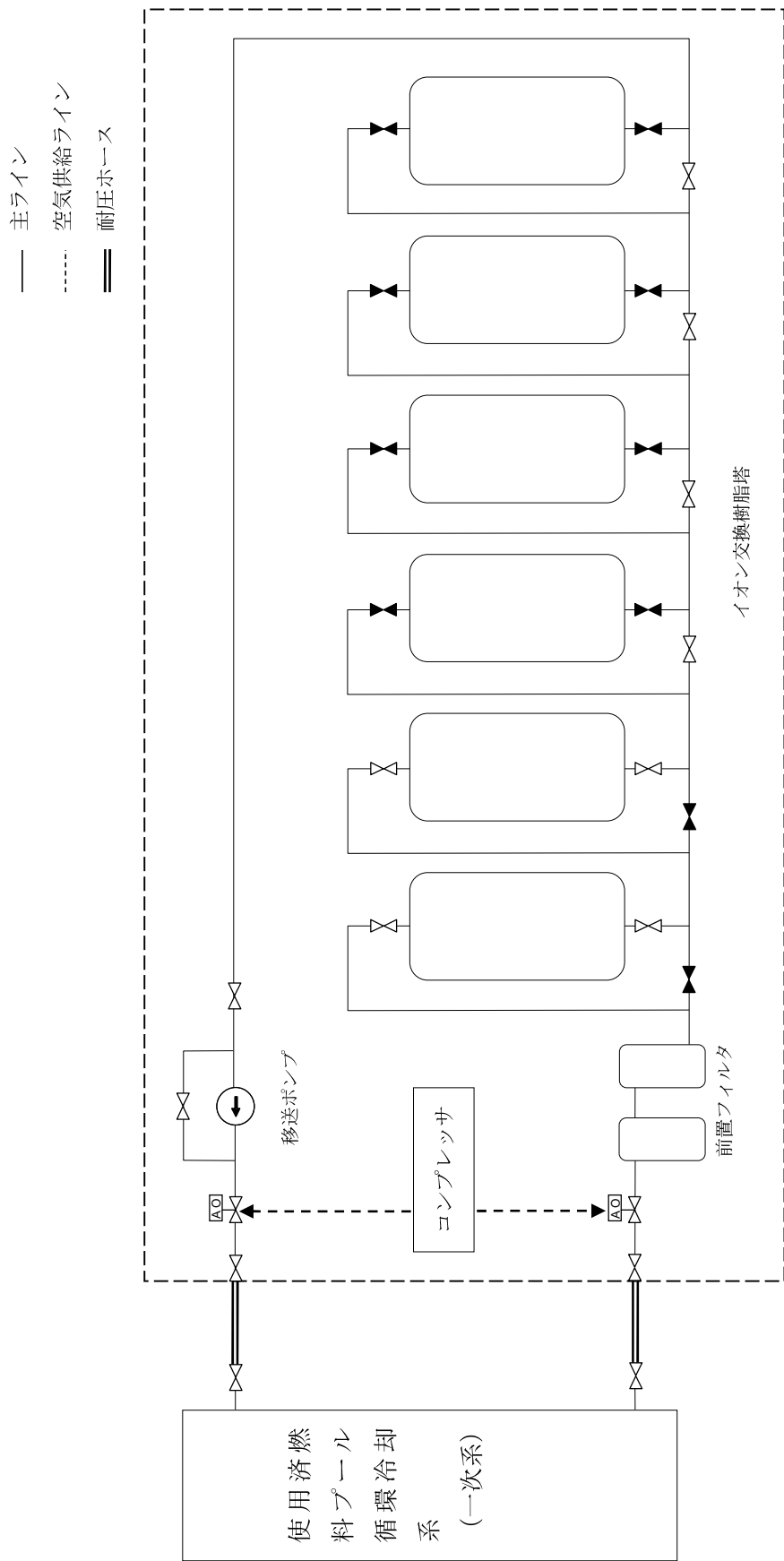
樹脂塔出口の処理水を使用済燃料プール循環冷却系の一次系配管へ移送する。

（4）コンプレッサ

装置の出入口に設けた隔離弁（空気作動弁）の駆動用空気を供給する。



図一4 モバイル式処理装置 (塩分除去装置 (RO膜装置)) 系統概略図



図一5 モバイル式処理装置 (塩分除去装置 (イオン交換装置)) 系統概略図

2.6 廃棄物の管理

a. 放射能除去装置の運転により発生する使用済み吸着塔

使用済みの吸着塔は、使用済セシウム吸着塔仮保管施設等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のボックスカルバート内で貯蔵する。なお、ボックスカルバートは、コンクリート製（中空）で、吸着塔は各ボックスカルバート内に2塔ずつ貯蔵することができる。

b. 塩分除去装置の運転により発生する廃棄物

- ・RO 膜装置の廃フィルタ類、イオン交換装置の廃樹脂については、容器に収納した上で固体廃棄物貯蔵庫にて保管する。なお、過去に発生した仮置中の廃棄物についても順次、固体廃棄物貯蔵庫へ移動する。
- ・塩分除去は必要に応じて実施することから廃棄物の年間発生量を見積もることはできないものの、過去の実績から発生量を推定すると、1回あたりの塩分除去（プール水の初期塩分濃度を70ppmとし、10ppmまで低減させる場合）において、RO膜装置の廃フィルタ類が約0.2m³（RO膜（0.03m³）6本）*、イオン交換装置の廃樹脂が約15m³（ドラム缶（0.25m³）約60本）と少量であり、塩分除去は1～4号機合計で1回／年程度（過去2年間の実績）であることから、固体廃棄物の貯蔵計画（貯蔵容量）に対して十分余裕がある。

※保管の際は、保管容器（6m³）に収納する。

- ・RO膜装置で発生する液体廃棄物（濃縮水）は、各号機の建屋地下へ排出する。RO膜装置で1回あたりの塩分除去で発生する濃縮水は、過去の実績から発生量を推定すると、1回あたりの塩分除去（条件は上記と同じ）において、700m³程度であり、液体廃棄物の貯蔵計画（貯蔵容量）に対して十分余裕がある。

2.7 自然災害対策等

2.7.1 津波

浄化装置については、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、モバイル式処理装置（放射能除去装置、塩分除去装置）の電源を停止し、隔離弁を閉止することで、使用済燃料プール水の流出を防止する。

なお、万一、浄化ラインが損傷したとしても、使用済燃料プールへの戻りラインに逆止弁が付いていることから、サイフォン現象により配管を通じて使用済燃料プールから水が流出することは無い。

2.7.2 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、初期消火の対応ができるよう、モバイル式処理装置（放射能除去装置、塩分除去装置）及び耐圧ホース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。また、モバイル式処理装置は独立した車両上のコンテナ内または遮蔽付きスキッド内にあり、装置周辺から可能な限り可燃物を排除するため燃焼・延焼し難い。

2.7.3 豪雨

- 放射能除去装置（吸着塔ユニット及び弁ユニット）は、鋼製の箱内に収納されると共に防水シートで養生され雨水の浸入を防止する構造とする。万一大雨警報等の予報、特別警報により、大量の雨水が浸入し、処理の停止に至る等の可能性がある場合は、装置を停止することで、装置の計画外停止に備える。
- 塩分除去装置は、鋼製の荷台（コンテナ）内に収納され、雨水の浸入を防止する構造とする。

2.7.4 強風（台風・竜巻）

- 放射能除去装置（吸着塔ユニット及び弁ユニット）は、鋼製の箱内に収納されており、強風に耐えうる構造としている。なお、吸着塔の蓋はボルト締結等により固定している。万一暴風警報等の予報、特別警報（台風・竜巻）により、計器類・監視カメラが故障する等、運転継続に支障を来す可能性がある場合には、使用済燃料プール水の漏えい防止を図るため、装置を停止する。
- 塩分除去装置は、鋼製の荷台（コンテナ）内に収納され、強風に耐えうる構造とする。

3. 構造強度及び耐震性

3.1 構造強度評価の基本方針

3.1.1 浄化ライン

新設する1号機浄化ラインのうち鋼管については、「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、燃料貯蔵設備に相当するクラス3機器と位置づけられており、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2007年追補版）（JSME S NC1-2007）」（以下、「設計・建設規格」という。）のクラス3機器相当での評価を行う。2～4号機浄化ラインのうち鋼管については、日本産業規格（JIS）等に準拠して設計しており、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もって評価を行う。その他の設備については、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もって評価を行う。

3.1.2 放射能除去装置

放射能除去装置を構成する機器は、「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。）で規定されるものであるが、設計・建設規格は、鋼材を基本とした要求事項を設定したものであり、ポリエチレン管等の非金属材料についての基準はない。

従って、鋼材を使用している設備については、設計・建設規格のクラス 3 機器相当での評価を行い、非金属材料（ポリエチレン管等）については、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もって評価を行う。

3.1.3 塩分除去装置

塩分除去装置を構成する機器は、日本産業規格（JIS）等に準拠して設計しており、使用済燃料プール循環冷却系の使用条件に対し、十分な構造強度を有している。なお、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もって評価を行う。

3.2 耐震性評価の基本方針

3.2.1 浄化ライン

新設する 1 号機浄化ラインのうち鋼管は、「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、「JEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規程」に準拠して耐震性評価を行う。2～4 号機浄化ラインのうち鋼管は、配管長が短く地震変位による有意な応力は発生しないが、簡易的な手法を用いて地震による応力を試算する。支持部材がない等の理由により耐震性に関する評価ができないものについては、可撓性を有する材料の使用等により耐震性を確保する。

3.2.2 放射能除去装置

放射能除去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付けられる。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、評価基準については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。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、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)
- ・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)

3.2.3 塩分除去装置

塩分除去装置は, 「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, 「JEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規程」に準拠して評価しており, その結果, 塩分除去装置は水平震度に対して転倒しない。支持部材がない等の理由により耐震性に関する評価ができないものについては, 可撓性を有する材料の使用等により耐震性を確保する。

3.3 評価結果

3.3.1 浄化ライン

(1) 構造強度

a. 配管 (1～4号機鋼管)

1号機鋼管については, 「設計・建設規格」に基づき, 系統最高使用圧力に対して十分な厚さを有していることを確認しており, 使用済燃料プール循環冷却系における使用条件に対し, 十分な構造強度を有していると評価している (表-3)。また, 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により, 必要な構造強度を有していることを確認する。

2～4号機鋼管については, 運転時に漏えい確認を実施し, 漏えい等がないことを確認している。

$$t = \frac{PD_0}{2S\eta + 0.8P}$$

t : 管の計算上必要な厚さ
 D₀ : 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-3 構造強度評価結果（1号機鋼管）

評価機器	口径	Sch.	材質	最高使用 圧力 (MPa)	最高使用 温度 (°C)	必要肉厚 (mm)	肉厚 (mm)
配管①	50A	80	SUS316LTP	1.00	66	0.28	5.5
配管②	65A	40	SUS316LTP	1.00	66	0.36	5.2
配管③	100A	40	SUS316LTP	1.00	66	0.53	6.0
配管④	150A	40	SUS316LTP	1.00	66	0.77	7.1

b. 配管（1号機フレキシブルチューブ）

「設計・建設規格」に記載がない機器であるが、1号機フレキシブルチューブについては系統最高使用圧力 1.0MPa に対し、工場にて 1.25MPa の気圧試験を実施し、漏えい等がないことを確認している。また、系統機能試験時に漏えい試験を実施し、漏えい等がないことを確認する。

c. 配管（1～4号機耐圧ホース）

「設計・建設規格」に記載がない機器であるが、系統の温度・圧力を考慮して仕様を選定し、通水等により漏えい等がないことを確認し信頼性を確保する。

(2) 耐震性

a. 配管（1号機鋼管）

(i) 評価条件

配管は、基本的に、配管軸直角2方向拘束サポートを用いた両端単純支持の配管系（両端単純支持はり構造）とする。また、配管は水平方向主体のルートを想定し、管軸方向については、サポート設置フロアの水平方向震度を鉄と鉄の静止摩擦係数 0.52^{注)} よりも小さいものとし、地震により管軸方向は動かないものと仮定する。

水平方向震度は、耐震Bクラス相当の評価である 0.36G とする。

注) 日本機械学会編 機械工学便覧 α. 基礎編 表 4-1, α 2-27

(ii) 評価方法

水平方向震度が静止摩擦係数よりも小さく、地震により管軸方向は動かないと考えられることから、水平方向震度による管軸直角方向の配管応力評価を考える。

管軸直角方向の地震による応力は、下図に示す自重による応力の震度倍で表現でき(1)式で表すことができる。

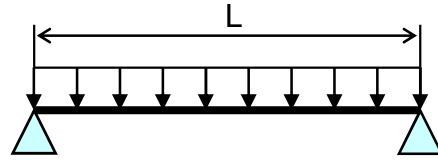
$$\bullet \quad S_w = \frac{wL^2}{8Z}$$

S_w : 自重による応力 [MPa]

L : サポート支持間隔 [mm]

Z : 断面係数 [mm³]

w : 等分布荷重 [N/mm]



(両端単純支持はりの等分布荷重より求まる自重による応力)

$$\bullet \quad S_s = \alpha S_w \quad (1)$$

S_w : 自重による応力 [MPa]

S_s : 地震による応力 [MPa]

α : 水平方向震度

また、崩壊制限に「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 (JEAG 4601・補-1984)」のクラス 3 配管の供用状態 D_s の場合の一次応力制限を用いるとすると、地震評価としては(2)式で表すことができる。

$$\bullet \quad S = S_p + S_w + S_s = S_p + S_w + \alpha S_w = S_p + (1 + \alpha) S_w \leq 0.9 S_u \quad (2)$$

S_p : 内圧による応力 [MPa]

S_w : 自重による応力 [MPa]

S_s : 地震による応力 [MPa]

S : 内圧, 自重, 地震による応力 [MPa]

α : 水平方向震度

従って、上記(2)式を満足するように、配管サポート配置を設定することにより、配管の崩壊は抑制できる。

(iii) 評価結果

両端単純支持はりで自重による応力 $S_w=40$ [MPa] の配管サポート配置を仮定する。

配管設置フロアの水平方向震度を前述の 0.36G, 内圧による応力 $S_p=10$ [MPa], 自重による応力 $S_w=40$ [MPa], 許容応力を SUS316LTP [66°C] の $0.9S_u=413$ [MPa] とし、(2)式に代入すると以下となる。

$$\bullet \quad S = S_p + (1 + \alpha) S_w = 10 + (1 + 0.36) \times 40 = 64.4 \text{ [MPa]} \leq 0.9 S_u = 413 \text{ [MPa]} \quad (3)$$

また、継手がある場合には、応力係数も存在する。例えば応力係数を 3 とし、(3)式の自重による応力 S_w に 3 を乗じ、 $S_w=120[\text{MPa}]$ とすると以下となる。

$$\bullet S=S_p+(1+\alpha)S_w\times 3=10+(1+0.36)\times 120=173.2[\text{MPa}]\leq 0.9S_u=413[\text{MPa}]\quad (4)$$

以上のことから、両端単純支持はりで自重による応力 S_w を $40[\text{MPa}]$ 程度の配管サポート配置とした場合、発生応力は許容応力に対して十分な裕度を有する結果となった。

b. 配管（2～4号機鋼管）

鋼管は、一次系からの分岐の短い部分に使用されており、その前後はフレキシビリティを有した耐圧ホースと接続されていることから、地震による有意な応力は発生しないが、簡易的な手法を用いて地震による応力を試算した（別紙（7）参照）。

c. 配管（1号機フレキシブルチューブ）

フレキシブルチューブは、フレキシビリティを有しており、地震変位による有意な応力は発生しない。

d. 配管（1～4号機耐圧ホース）

耐圧ホースは、フレキシビリティを有しており、地震変位による有意な応力は発生しない。

3.3.2 放射能除去装置※詳細は別冊5「汚染水処理設備等に係る補足説明」参照

(1) 構造強度

a. 放射能除去装置

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する。

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）。

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

- t : 胴の計算上必要な厚さ
 Di : 胴の内径
 P : 最高使用圧力[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 (0.70)

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 放射能除去装置構造強度結果

機器名称	評価部位	必要肉厚[mm]	実厚[mm]
放射能除去装置 吸着塔	板厚	6.4	10.0
		6.7	10.0

b. 配管

(i) 配管 (鋼製)

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により，必要な構造強度を有していることを確認する。

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-5)。

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

- t : 管の計算上必要な厚さ
 Do : 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 (1.00)

表－5 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 (°C)	必要肉厚 (mm)	肉厚 (mm)
配管①	50A	40	STPG370	0.98	40	0.32	3.9
配管②	50A	40	SUS316L	0.98	40	0.27	3.9

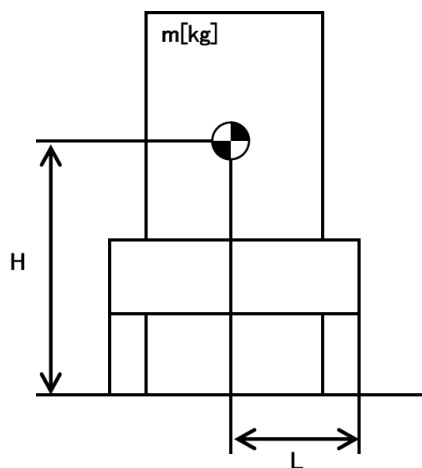
(ii) 配管 (耐圧ホース)

設計・建設規格に記載がない機器であるが、系統の温度・圧力を考慮して仕様を選定し、通水等により漏えい等がないことを確認し信頼性を確保する。

(2) 耐震性

a. 放射能除去装置 (吸着塔, トレーラー) の転倒評価

放射能除去装置, 及びそれを搭載しているトレーラーについて、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で転倒評価を行った。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－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 : 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

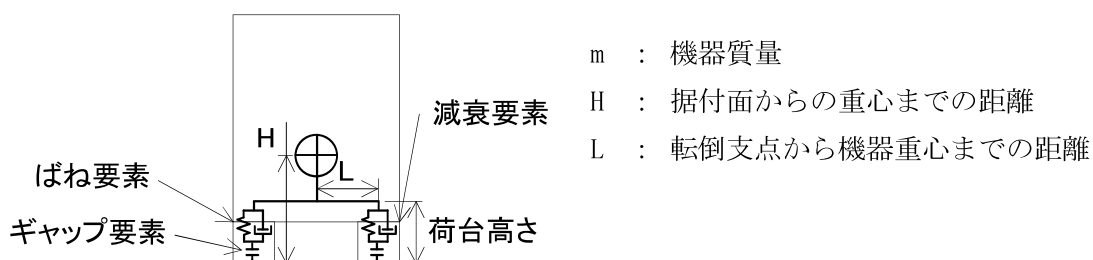
地震による転倒モーメント : $M_1 [N \cdot m] = m \times g \times C_H \times H$

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

表－6 放射能除去装置耐震評価結果

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
放射能除去装置 (吸着塔, トレーラー)	本体	転倒	0.36	251	624	kN・m

なお、放射能除去装置の時刻歴解析による耐震性確認について、過去に電源車（放射能除去装置と同様に車両上に機器を設置）で実施した評価と比較した。電源車の解析モデルは、コンテナと車両を一体し、評価は、ばね要素、減衰要素およびギャップ要素を地表面と荷台高さとの間に配置している。実車両を模擬し、本車両転倒解析モデルを構築する場合、転倒評価に用いる重心位置最大応答角は、重心位置と荷台を結ぶ剛体要素の角度差より求まることから、荷台高さを回転中心とした。



電源車の耐震評価結果と放射能除去装置形状比較は以下のとおり。

表-7 電源車の耐震評価結果

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	重心位置 最大応答 回転角 (deg)	最大安定 傾斜角 (deg)	裕度
電源車	本体	転倒	1.00	11.0	30	2.72

- ・電源車の転倒に対する裕度は充分にある

表-8 放射能除去装置（吸着塔，トレーラー）と電源車の形状比較

機器名称	H (m)	L (m)	H/L
放射能除去装置	1.630	1.465	1.113
電源車	1.181	0.923	1.280

m : 機器質量
 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

- ・放射能除去装置と電源車の形状は、放射能除去装置の方が安定している。

また、電源車の耐震性評価においては支配的な基準地震動を選定しており、その水平方向の最大応答加速度（重心位置）は約800galである。これに対して、福島第一原子力発電所の水平方向の最大応答加速度（T.P. 8.5m^{*}）は約500galと小さい。

以上のことから、過去に実施した電源車の転倒評価には十分な裕度があること、形状は

放射能除去装置の方が安定していること、水平方向の加速度は電源車評価時に比べ小さいことから、放射能除去装置の耐震性は十分に確保されているものと考えられる。

※添付資料12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

3.3.3 塩分除去装置

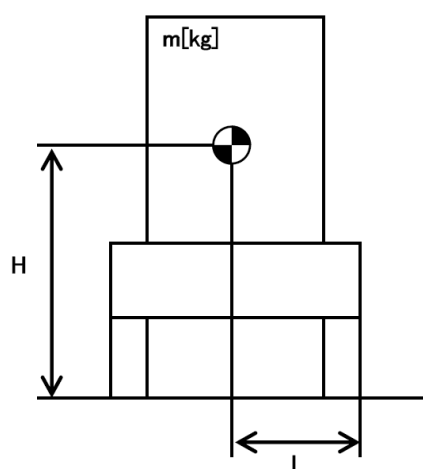
(1) 構造強度

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、必要な構造強度を有すると評価した。

(2) 耐震性

塩分除去装置及びそれを搭載している車両について、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で転倒評価を行った。



- 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： $M_1 [N \cdot m] = m \times g \times C_H \times H$

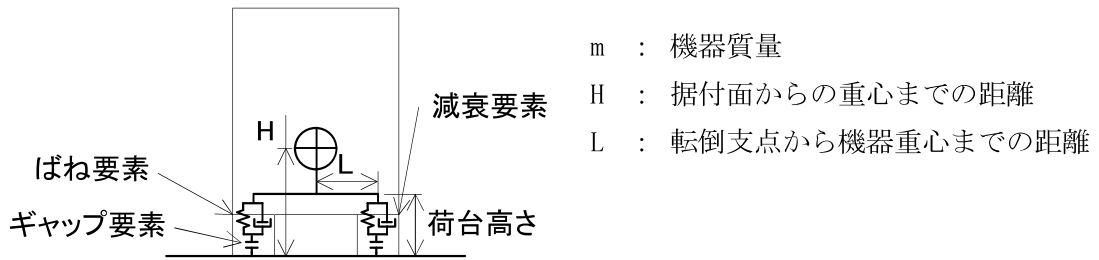
自重による安定モーメント： $M_2 [N \cdot m] = m \times g \times L$

表-9 塩分除去装置耐震評価結果

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
RO膜装置	本体	転倒	0.36	62	199	kN・m
イオン交換装置	本体	転倒	0.36	35	124	kN・m

なお、塩分除去装置の時刻歴解析による耐震性確認について、過去に電源車（塩分除去装置と同様に車両上に機器を設置）で実施した評価と比較した。

電源車の解析モデルは、コンテナと車両を一体し、評価は、ばね要素、減衰要素およびギャップ要素を地表面と荷台高さとの間に配置している。実車両を模擬し、本車両転倒解析モデルを構築する場合、転倒評価に用いる重心位置最大応答角は、重心位置と荷台を結ぶ剛体要素の角度差より求まることから、荷台高さを回転中心とした。



電源車の耐震評価結果と塩分除去装置形状比較は以下のとおり。

表一 1 0 電源車の耐震評価結果

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	重心位置 最大応答 回転角 (deg)	最大安定 傾斜角 (deg)	裕度
電源車	本体	転倒	1.00	11.0	30	2.72

- ・電源車の転倒に対する裕度は充分にある

表一 1 1 塩分除去装置と電源車の形状比較

機器名称	H (m)	L (m)	H/L
RO 膜装置	1.025	1.185	0.865
イオン交換装置	0.906	1.175	0.772
電源車	1.181	0.923	1.280

m : 機器質量
 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

- ・塩分除去装置と電源車の形状は、塩分除去装置の方が安定している。

また、電源車の耐震性評価においては支配的な基準地震動を選定しており、その水平方向の最大応答加速度（重心位置）は約 800gal である。これに対して、福島第一原子力発電所の水平方向の最大応答加速度（T.P.8.5m*）は約 500gal と小

さい。

以上のことから、過去に実施した電源車の転倒評価には十分な裕度があること、形状は塩分除去装置の方が安定していること、水平方向の加速度は電源車評価時に比べ小さいことから、塩分除去装置の耐震性は十分に確保されている。

※本標高は、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, 436

4. 浄化装置の具体的な安全確保策

浄化装置は、使用済燃料プール水を扱うため、漏えい防止対策、放射線遮へい、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。

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

- 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、モバイル式処理装置（放射能除去装置、塩分除去装置）との接続部は、耐圧ホース（二重管構造）とする。ここで、耐圧ホースの継手部については、固縛すること等により、継手が外れない処置を実施する。
- b. 放射能除去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。
- c. モバイル式処理装置（放射能除去装置、塩分除去装置）を移設する場合には設備との取り合い箇所における閉止処置（隔離弁の閉止、フランジ開口部の養生等）を実施し、系統のバウンダリとして適切に管理する。また、必要に応じて装置のフラッシングや内部の水抜きを実施する。なお、フラッシング及び水抜きにより発生する排水は各号機の建屋地下へ排出する。
- d. モバイル式処理装置（放射能除去装置）をトレンチ側から移設する場合には、装置内の残水の放射性物質濃度を 1 号機使用済燃料プール水以下に抑え、移設後に系統水濃度を上昇させないようにする。

(2) 漏えい検知・漏えい拡大防止

- a. 耐圧ホースについては、二重管構造とし、継手部については、固縛すること等により、継手が外れない処置を実施する。
- b. 万一の漏えいを考慮し、車両内に堰を設置するとともに、堰内に設置した漏えい検知器により漏えいの有無を監視する。また、漏えいを検知した場合にはモバイル式処理装置（放射能除去装置、塩分除去装置）の出入口自動隔離弁を閉じ、装置の運転を停止する。
- c. 漏えい検知の警報は免震重要棟に表示させることで、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. 浄化ライン（鋼管、フレキシブルチューブ）からの漏えいについては、スキマ・サージ・タンクの水位により監視が可能であり、万一、漏えいが発生した際には、建屋内のファンネル等を通じて建屋地下へ排出される。
- e. 装置運転中は、巡視点検等により漏えい等の有無を確認する。
- f. モバイル式処理装置（放射能除去装置、塩分除去装置）は、運転開始までに漏えい確認等を実施し、施工不良、装置の初期欠陥等による大規模な漏えいの発生を防

止することから、運転開始以降に想定される漏えい事象としては、配管フランジ部等からの僅かなにじみが考えられる。なお、装置内部に内包する使用済燃料プール水が漏えいした場合でも堰内に収まることから、堰外へ漏えいすることはない。

g. 放射能除去装置内部に内包する使用済燃料プール水と堰容量

- ・吸着塔ユニットが内包する使用済燃料プール水：約 0.7m³，吸着塔ユニット堰容積：約 1.0m³
- ・弁ユニットが内包する使用済燃料プール水：約 0.1m³，弁ユニット堰容積：約 0.7m³

表－12 放射能除去装置 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)	備考
放射能除去装置	吸着塔ユニット	3.25	2.04	0.19	0.996	※
	弁ユニット	3.82	1.24	0.14	0.663	

※ 吸着塔ユニット容積から吸着塔体積を差し引いた容積

h. 塩分除去装置の堰は、装置の隔離弁の内側に設置された機器及び配管内の保有水が漏えいした場合、堰内の最大容器容量の全量を受け入れられるものとする（表－13）。

表－13 塩分除去装置 漏えい拡大防止 堰仕様（設計値）

対象設備		堰容積(m ³)	保有水量(m ³) (最大)
RO膜装置	バッファタンク，処理水受けタンク用	3.6	3.0
	濃縮水タンク用	9.0	8.0
イオン交換装置		1.6	0.9

(3) 放射線遮へい・被ばく低減に対する考慮

- a. 運転中のモバイル式処理装置の周りには柵や注意喚起の表示を設置し、不用意に人が近づかないようにする。また、運転中の浄化ラインの周りには近接防止の表示を設置し、不用意に人が近づかないようにする。
- b. 放射線業務従事者が接近する必要がある箇所は、鋼製の容器や鉛毛マット等で遮へいする。
- c. 運転パラメータを監視し、フィルタ類を早めに交換することにより、作業時の被ばく低減を図る。

(4) 崩壊熱除去

- a. 放射能除去装置吸着塔吸着材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1℃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、ベント弁を開放して貯蔵することで、放熱と排熱が釣り合うため、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. 放射能除去装置

- (i) 放射能除去装置の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。通水停止以降も再度その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、吸着塔の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。

- (ii) 放射能除去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等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等に排出する。

なお、放射能除去装置の吸着塔を収納する鋼製の箱は通気性を有しており、可燃性ガスが内部に滞留することはない。また、吸着塔の保管時は、水抜きを実施することで可燃性ガスの発生を抑制するとともに、ベント弁を開操作するため可燃性ガスが内部に滞留することはない。なお、保守的な評価として、ベント弁を閉じた状態での吸着塔内部における可燃性ガスの濃度を計算した場合においても、濃度が可燃限界以下であることを確認した（別紙（3）参照）。

b. 浄化ライン、塩分除去装置

塩分除去装置の運転中に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。運転後は系統内の水抜きを実施することから、有意な量の可燃性ガスが発生することはない。また、塩分除去装置の廃棄物の保管時は、水抜きを実施することで可燃性ガスの発生を抑制する。なお、保守的な評価として、使用済燃料プール水中の放射性物質を全て捕捉したと仮定して廃棄物容器内部における可燃性ガスの濃度を計算した場合においても、濃度が可燃限界以下であることを確認した（別紙（3）参照）。

(6) 吸着塔交換作業時の考慮

- a. 吸着塔の交換時には、使用済み吸着塔はトレーラーに車載された状態で輸送され、使用済みセシウム吸着塔仮保管施設等にクレーンにて搬入される。吸着塔は鋼製であり、衝撃の緩和効果が期待できる遮へい容器と一体で搬入・貯蔵されるため、万一の落下時等にも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で、クレーン操作は経験を積んだ操作者が行うこととする。
- b. 使用済み吸着塔は、運搬時に落下することを防止するため、レバブロック等によりトレーラーに固定する。

なお、運搬にあたっては、先導車等と共に低速で走行することで安全性を確保する。

(7) 敷地境界における実効線量

モバイル式処理装置（放射能除去装置）の吸着塔が敷地境界における実効線量に対して与える影響は、約 0.0001mSv/年未満*であり、線量評価上有意な値ではない。

※吸着塔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 0 と表面線量率および表面積を比較することにより、最短距離となる敷地境界評価点及び敷地境界で最大となる評価点への影響を確認した結果。なお、本設備は常時設置するものではないが、常時設置したと仮定。

4.2 環境条件対策

(1) 腐食

塩化物イオンによるステンレス鋼の局部腐食については、使用済燃料プール水の水温は年間を通して 40℃以下で、なおかつ塩化物イオン濃度は 100ppm 以下で管理しており、添付資料ー6 図 1 に示す“腐食発生可能性なし”の領域にあることから、腐食が発生する可能性は極めて低い。また、放射能除去装置吸着塔及び一部の鋼管については、SUS304 よりも耐腐食、耐応力腐食割れに優れる SUS316 材、SUS316L 材を用いている。

なお、ステンレス鋼以外に一部炭素鋼を使用しているが、炭素鋼の腐食は一般的にステンレス鋼のような局部腐食ではなく全面腐食が想定され、全面腐食の進展速度は局部腐食と比較して小さく、なおかつ浄化装置の運転期間も短期間であることから、影響は極めて低い。

(2) 熱による劣化

使用済燃料プール水の温度は、ほぼ常温のため、金属材料の劣化の懸念はない。

(3) 凍結

使用済燃料プール水を浄化している過程では、水が流れているため凍結の恐れはな

い。浄化を停止した場合、屋外に敷設されている耐圧ホース等は、凍結による破損が懸念されることから、装置停止中は必要に応じてホース内の水抜きを実施する。また、塩分除去装置内に投光器設置及び配管保温を取付けることにより、凍結防止を図る。

(4) 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、 $10^5 \sim 10^6 \text{Gy}$ 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。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。

(5) 長期停止中の措置

モバイル式処理装置 (放射能除去装置、塩分除去装置) を長期停止する場合は、必要に応じて装置のフラッシングや内部の水抜きを実施し、腐食及び凍結を防止する。なお、フラッシング及び水抜きにより発生する排水は各号機の建屋地下へ排出する。

(6) 使用済み吸着塔長期保管時の考慮

前述の通り、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。

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。

※吸着塔は、耐腐食性を有する材料 (SUS316L) であるが、腐食リスク低減という観点で、吸着塔の内部水をろ過水で置換し、水抜きした状態で貯蔵する。

a. 熱による劣化

吸着塔は SUS316L 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

吸着塔は、SUS316L 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

吸着塔は SUS316L 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。

4.3 吸着塔の温度評価

4.3.1 評価概要

使用済燃料プール水の処理に伴い、放射能除去装置から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、その吸着塔の機能への影響について確認を行う。

4.3.2 評価方法

一次元の定常温度評価により、使用済セシウム吸着塔一時保管施設で貯蔵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。

なお、発熱量は、表面線量率の上限である約 1mSv/h におけるセシウム吸着量（約 1.3×10^{15} Bq/塔）に相当する約 2.3×10^2 W とし、吸着塔の遮へい容器（側面）板厚は、6mm（公称値）、遮へい材（鉛）側面厚さ 130mm（公称値）とする。

4.3.3 評価結果

使用済セシウム吸着塔一時保管施設において、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 40°C とすると、塔あたりの発熱量が約 2.3×10^2 W の場合、吸着塔中心温度は約 160°C、遮へい体の最高温度は約 65°C と評価された。

そのため、吸着塔内での発熱はゼオライト等の健全性（セシウム吸着材は 200°C 程度まで安定）や鉄の遮へい性能に影響を与えるものではない。

なお、吸着塔は、溶接構造のため、吸着塔の構造材料(SUS316L)を除き、崩壊熱による温度上昇の影響を受ける部位はない。

別紙

- (1) モバイル式処理装置配置図
- (2) モバイル式処理装置切り離し状態図
- (3) 廃棄物保管時の可燃性ガス発生量について
- (4) 使用済燃料プール浄化装置に係る申請範囲
- (5) 使用済燃料プール浄化装置に係る確認事項
- (6) 使用済燃料プール冷却系系統概略図（モバイル式処理装置運転中）
- (7) 2～4号機浄化ライン鋼管（ヘッダ部）について

以上

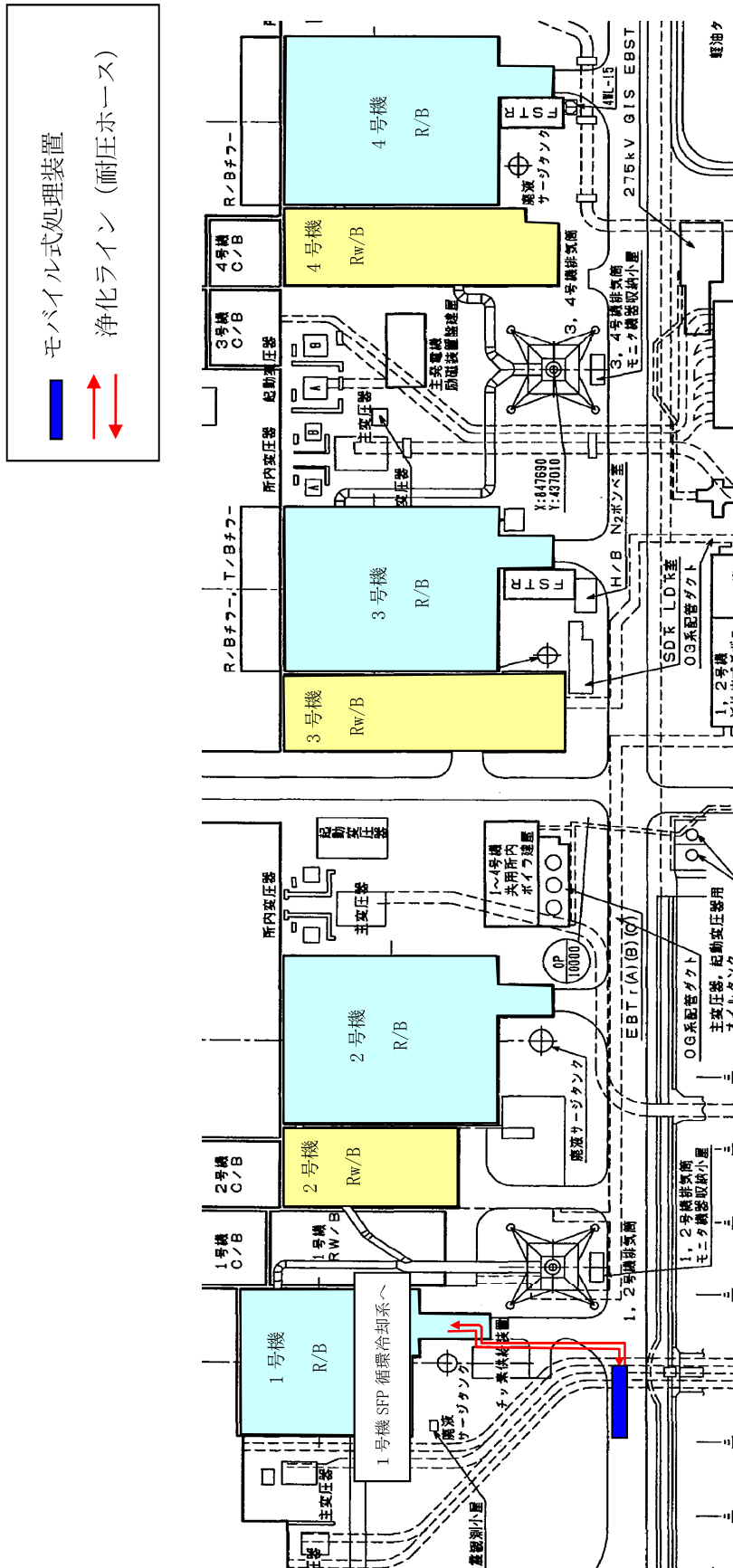


図1 モバイル式処理装置 (放射能除去装置) 配置図

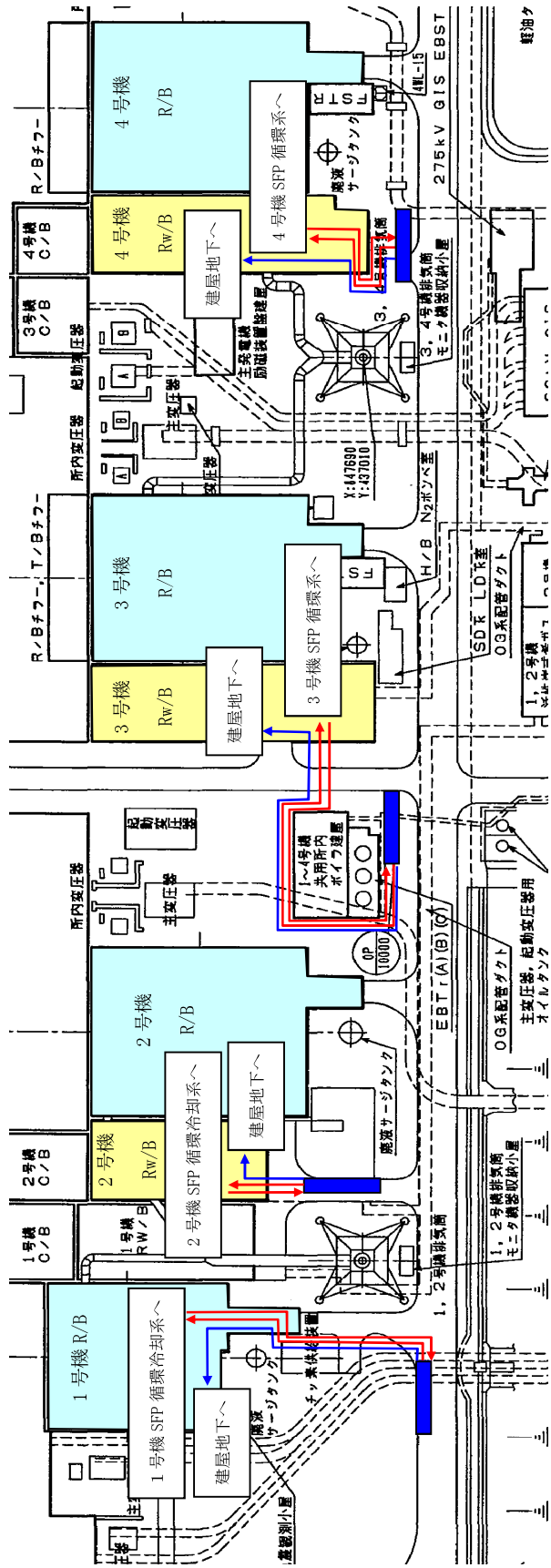
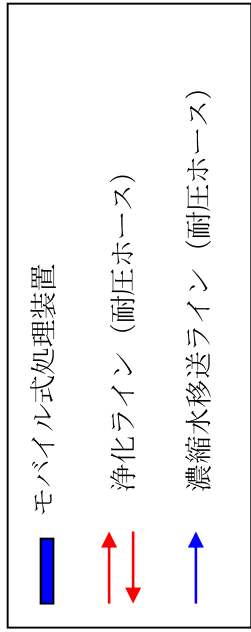


図2 モバイル式処理装置 (塩分除去装置) 配置図

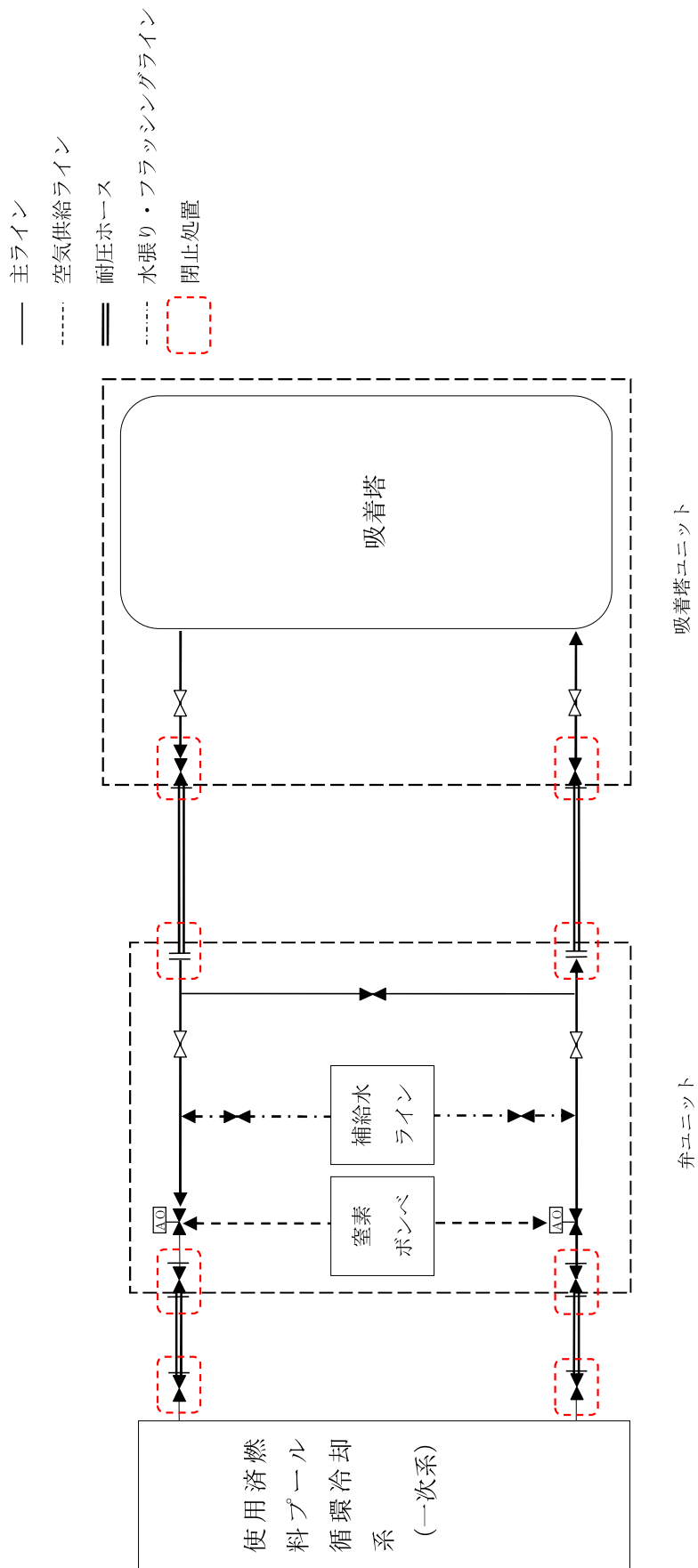


図1 モバイル式処理装置 (放射能除去装置) 切り離し状態図

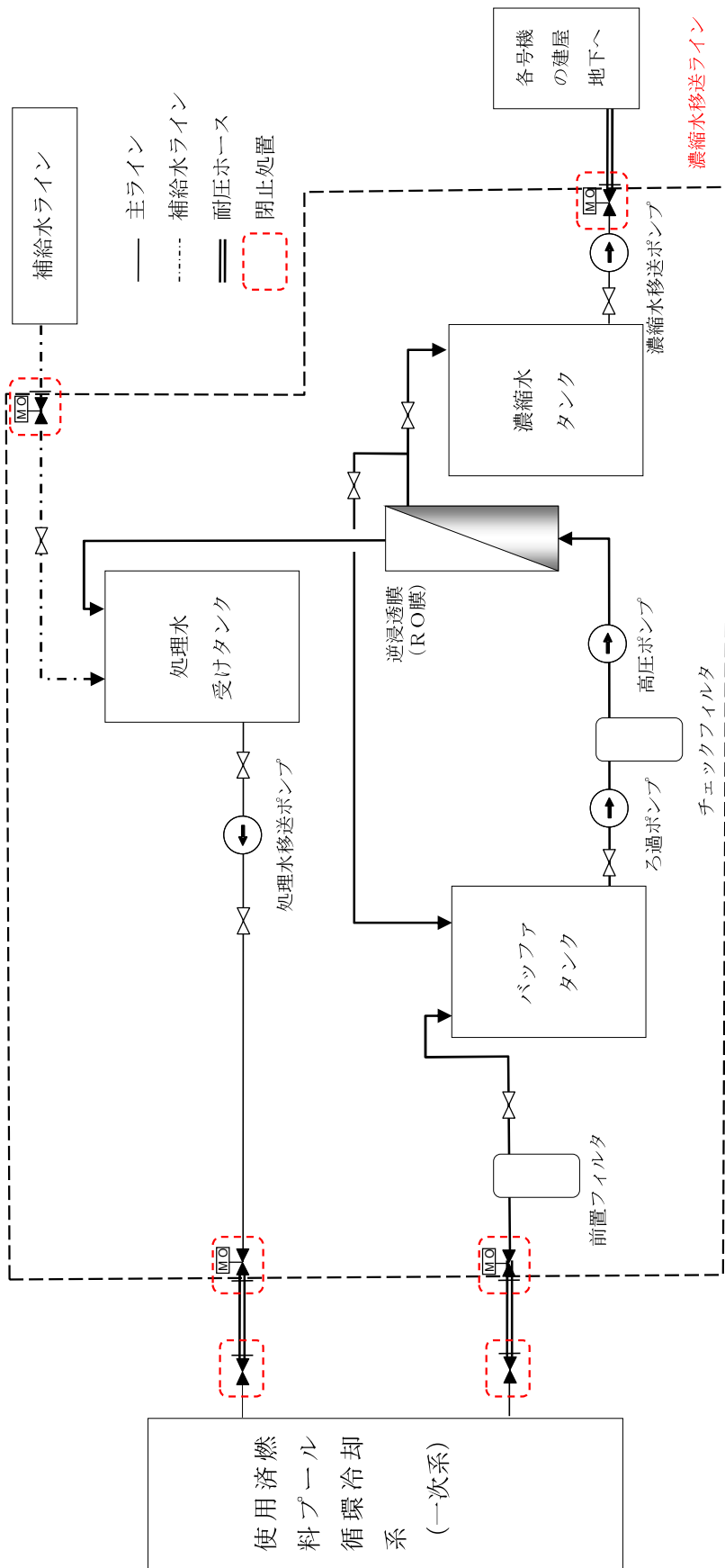


図2 モバイル式処理装置（塩分除去装置（RO膜装置）切り離し状態図

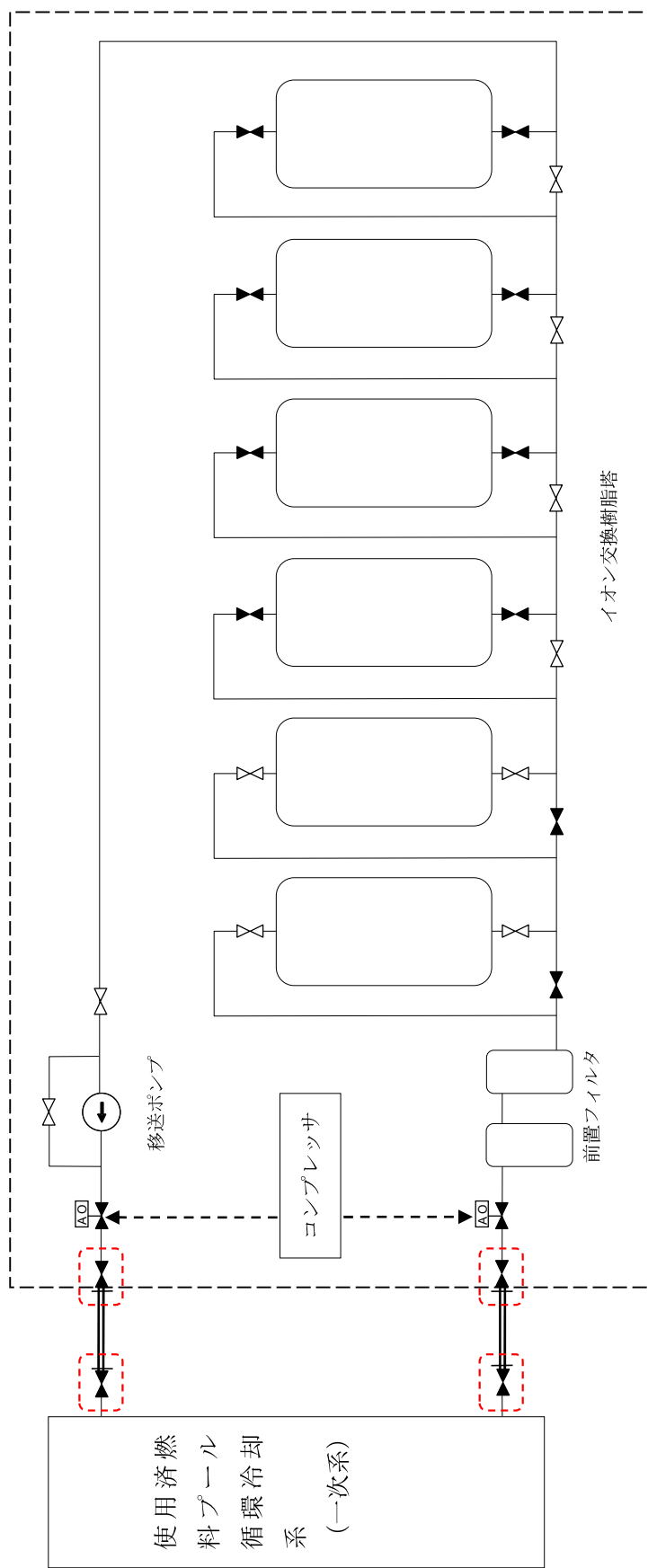


図3 モバイル式処理装置 (塩分除去装置 (イオン交換装置)) 切り離し状態図

廃棄物保管時の可燃性ガス発生量について

（1）放射能除去装置

吸着塔の保管時は、水抜きを実施することで可燃性ガスを抑制し、また、ベント弁を開操作するため可燃性ガスが内部に滞留することはないが、ここでは、ベント弁を閉じた状態において、吸着塔内部における可燃性ガスの発生量を評価する。

【評価条件】

- ・放射能量 (Bq) : 1.3×10^{15} (吸着塔の最大吸着量)
- ・吸着塔内は満水状態と仮定 (実際は水抜き後に保管)
- ・吸着塔のベント弁は『閉』と仮定 (実際の保管時には開運用)
- ・放射線分解により水素濃度が平衡に達するときの水素濃度を評価
- ・評価式 (反応式) は以下の通り

$$\frac{dC_l}{dt} = \frac{GIP}{N} + \sum_{ij} k_{ij} C_i C_j$$

C_l : l成分の濃度
 G_l : l成分のG値
 P : 吸収線量率
 N : アボガドロ数
 K_{ij} : 成分iと成分jの反応速度定数
 C_i : i成分の濃度
 C_j : j成分の濃度

【評価結果】

容器内の水素濃度は評価上約 2%となり、可燃限界 (4Vol%) 以下であることを確認。

（2）塩分除去装置

塩分除去装置は、使用済燃料プール水中の塩化物イオンを除去することが目的の設備であり、廃棄物には多くの放射性物質は含まれていないこと、保管時は水抜きを実施することから、有意な可燃性ガスは発生しないが、ここでは、使用済燃料プール水中の放射性物質を全て捕捉したと仮定し、可燃性ガスの発生量を評価する。

【評価条件】

- ・Cs 濃度 (Bq/cc) : Cs-134 1.0×10^2 , Cs-137 1.0×10^2
- ・使用済燃料プール体積 (m³) : 1500
- ・Cs 全量を吸着する (実際には Cs を選択的に吸着処理するものではない)
- ・廃樹脂はドラム缶 60 本発生 (実績ベース)
- ・ドラム缶内は満水状態と仮定 (実際は水抜き後に保管)

- ・ 30 年保管中の崩壊エネルギーが全て水の放射能分解に寄与すると仮定し，水素発生量を評価。

【評価結果】

容器内の水素濃度は評価上約 0.2%となり，可燃限界（4V_o1%）以下であることを確認。

以上

使用済燃料プール浄化装置に係る申請範囲

今回（運総発官 26 第 242 号及び運総発官 26 第 796 号）の申請範囲は、福島第一原子力発電所第 1～4 号機の次の部分であります。

表－１ 申請範囲（１／２）

申請範囲	備考
2.3 使用済燃料プール設備 2.3.1 基本設計 2.3.1.5 主要な機器 (2) 使用済燃料プール冷却系 b. 使用済燃料プール循環冷却系 (v) 浄化装置	・1号機浄化ラインの新設による記載変更 ・モバイル式処理装置の設置実績反映 ^{※1} による記載変更
2.3.2 基本仕様 2.3.2.1 1号機使用済燃料プール冷却系の主要仕様 (11) モバイル式処理装置（放射能除去装置） ^{※1} (12) モバイル式処理装置（放射能除去装置）吸着塔 ^{※1}	設置実績反映（2.5 汚染水処理設備等「(55) モバイル式処理装置」参照） 設置実績反映（2.5 汚染水処理設備等「(56) モバイル式処理装置 吸着塔」参照）
(13) モバイル式処理装置（塩分除去装置（RO 膜装置）） ^{※2} (14) モバイル式処理装置（塩分除去装置（イオン交換装置）） ^{※2}	設置実績反映
表 2.3-1 主要配管のうち、一次系主要配管（既設）からモバイル式処理装置入口、出口まで（鋼管、フレキシブルチューブ、耐圧ホース）	新設（一部は設置実績反映）
表 2.3-1 主要配管のうち、モバイル式処理装置（塩分除去装置（RO 膜装置））濃縮水タンク出口から 1 号機原子炉建屋地下排水口まで（耐圧ホース）	新設
表 2.3-1 主要配管のうち、モバイル式処理装置（放射能除去装置）内配管	設置実績反映
表 2.3-1 主要配管のうち、モバイル式処理装置（塩分除去装置（RO 膜装置））内配管 ^{※2}	設置実績反映
表 2.3-1 主要配管のうち、モバイル式処理装置（塩分除去装置（イオン交換装置））内配管 ^{※2}	設置実績反映
2.3.2.2 2号機使用済燃料プール冷却系の主要仕様 表 2.3-2 主要配管のうち、一次系主要配管（既設）からモバイル式処理装置入口、出口まで（鋼管、耐圧ホース）	設置実績反映
表 2.3-2 主要配管のうち、モバイル式処理装置（塩分除去装置（RO 膜装置））濃縮水タンク出口から 2 号機廃棄物処理建屋地下排水口まで（耐圧ホース）	新設
2.3.2.3 3号機使用済燃料プール冷却系の主要仕様 表 2.3-3 主要配管のうち、一次系主要配管（既設）からモバイル式処理装置入口、出口まで（鋼管、耐圧ホース）	設置実績反映
表 2.3-3 主要配管のうち、モバイル式処理装置（塩分除去装置（RO 膜装置））濃縮水タンク出口から 3 号機廃棄物処理建屋地下排水口まで（耐圧ホース）	設置実績反映

注）“設置実績反映”とは、今回の申請以前に福島第一原子力発電所に設置し使用実績がある設備について、記載の適正化の観点から実施計画へ反映したものを。

※1 2.3 使用済燃料プール設備と 2.5 汚染水処理設備等にて共用

※2 1～4 号機共通

表-1 申請範囲 (2/2)

申請範囲	備考
2.3.2.4 4号機使用済燃料プール冷却系の主要仕様 表 2.3-4 主要配管のうち、一次系主要配管（既設）からモバイル式処理装置入口、出口まで（鋼管、耐圧ホース）	設置実績反映
表 2.3-4 主要配管のうち、モバイル式処理装置（塩分除去装置（RO膜装置））濃縮水タンク出口から4号機廃棄物処理建屋地下排水口まで（耐圧ホース）	設置実績反映
2.5 汚染水処理設備等 2.5.1 基本設計 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） (10) モバイル式処理装置	(既認可設備) ・共用に関する記載の追記 ・具体的な安全確保策の記載の充実(移設の際の閉止処置等を追記)
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） (55) モバイル式処理装置 ^{※2} (56) モバイル式処理装置 吸着塔 ^{※2}	(既認可設備) ・共用に関する記載の追記 ・具体的な安全確保策の記載の充実(移設の際の閉止処置等を追記)

注) “設置実績反映”とは、今回の申請以前に福島第一原子力発電所に設置し使用実績がある設備について、記載の適正化の観点から実施計画へ反映したもの。

<凡例>
 : 新設,
 : 設置実績反映

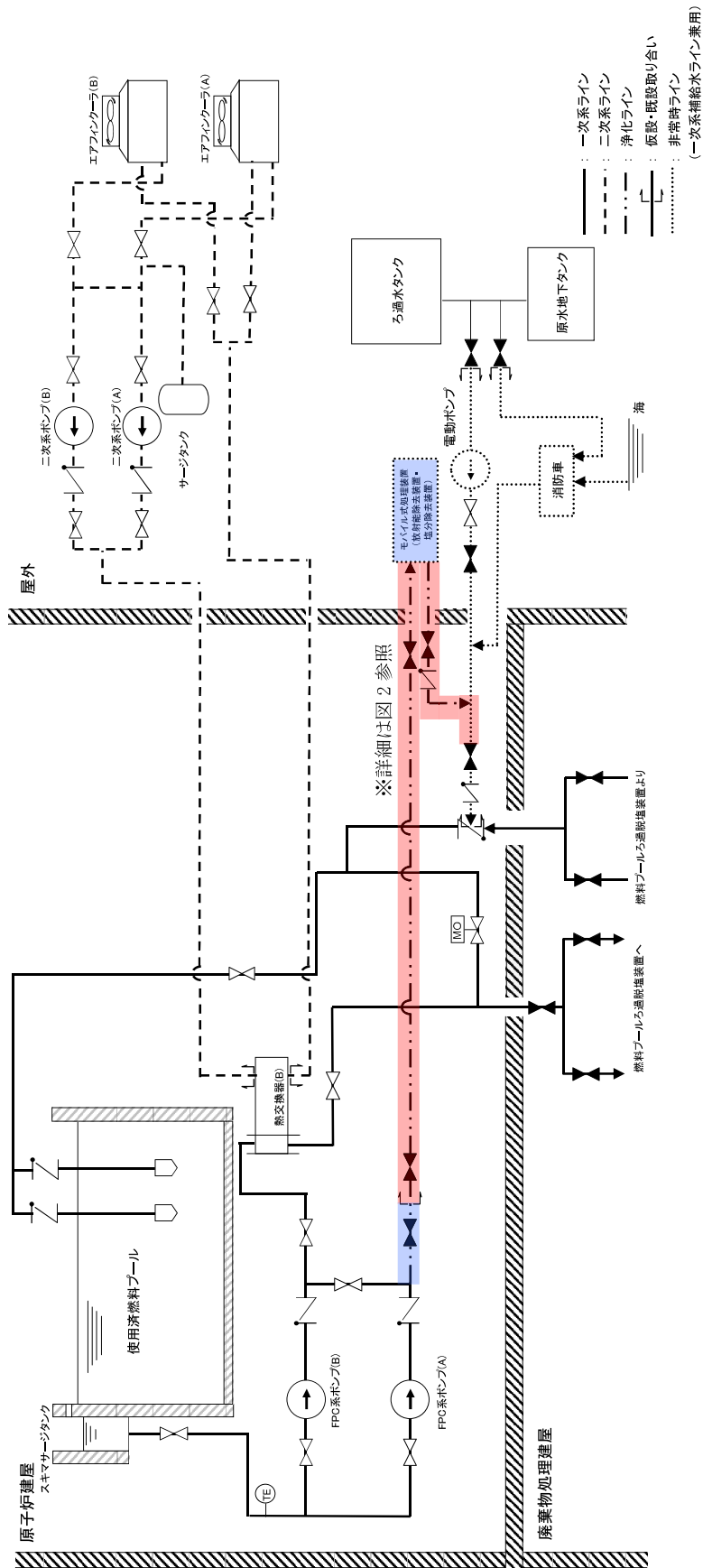


図1 申請範囲 (1号機使用済燃料プール冷却系)

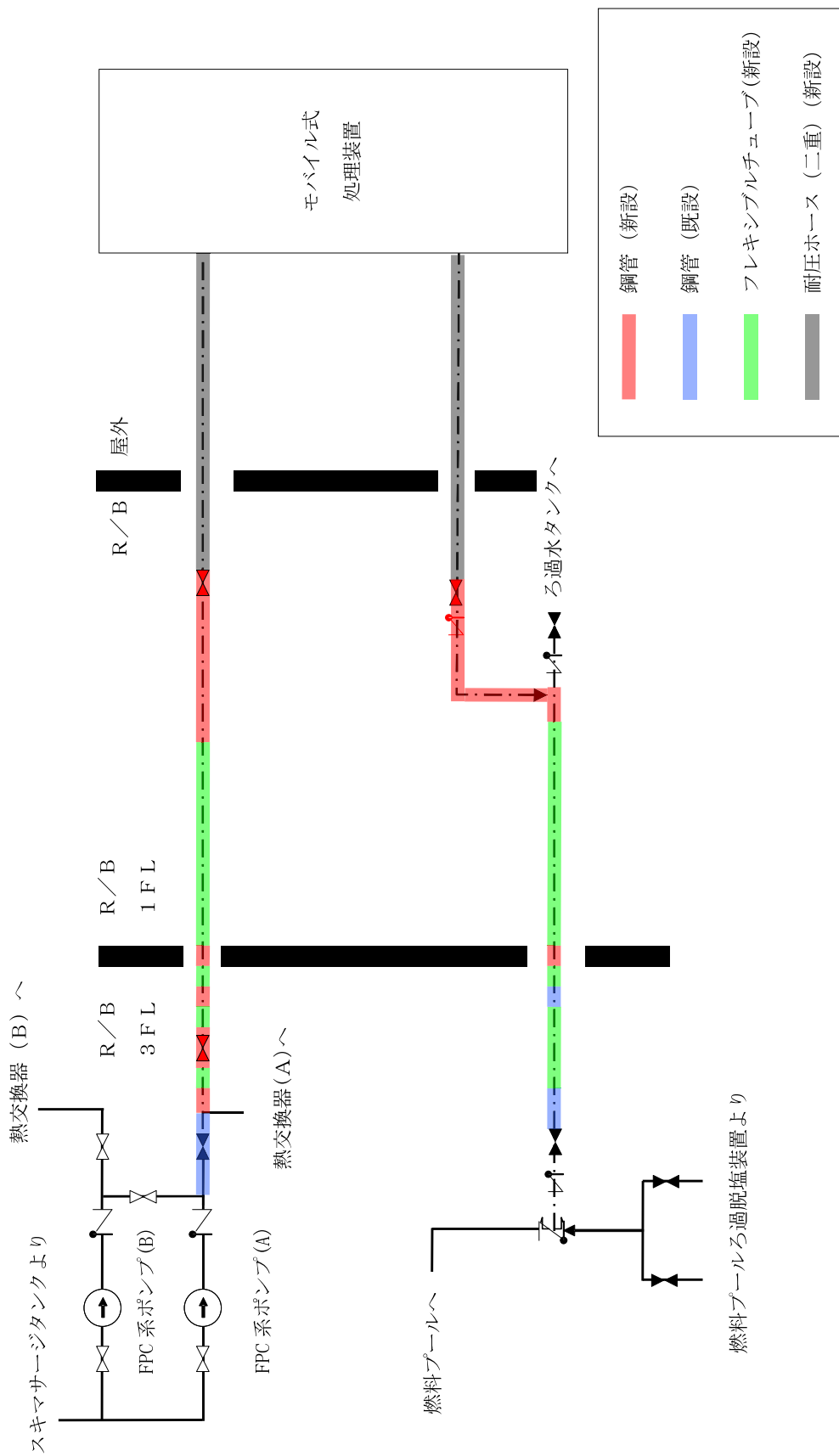
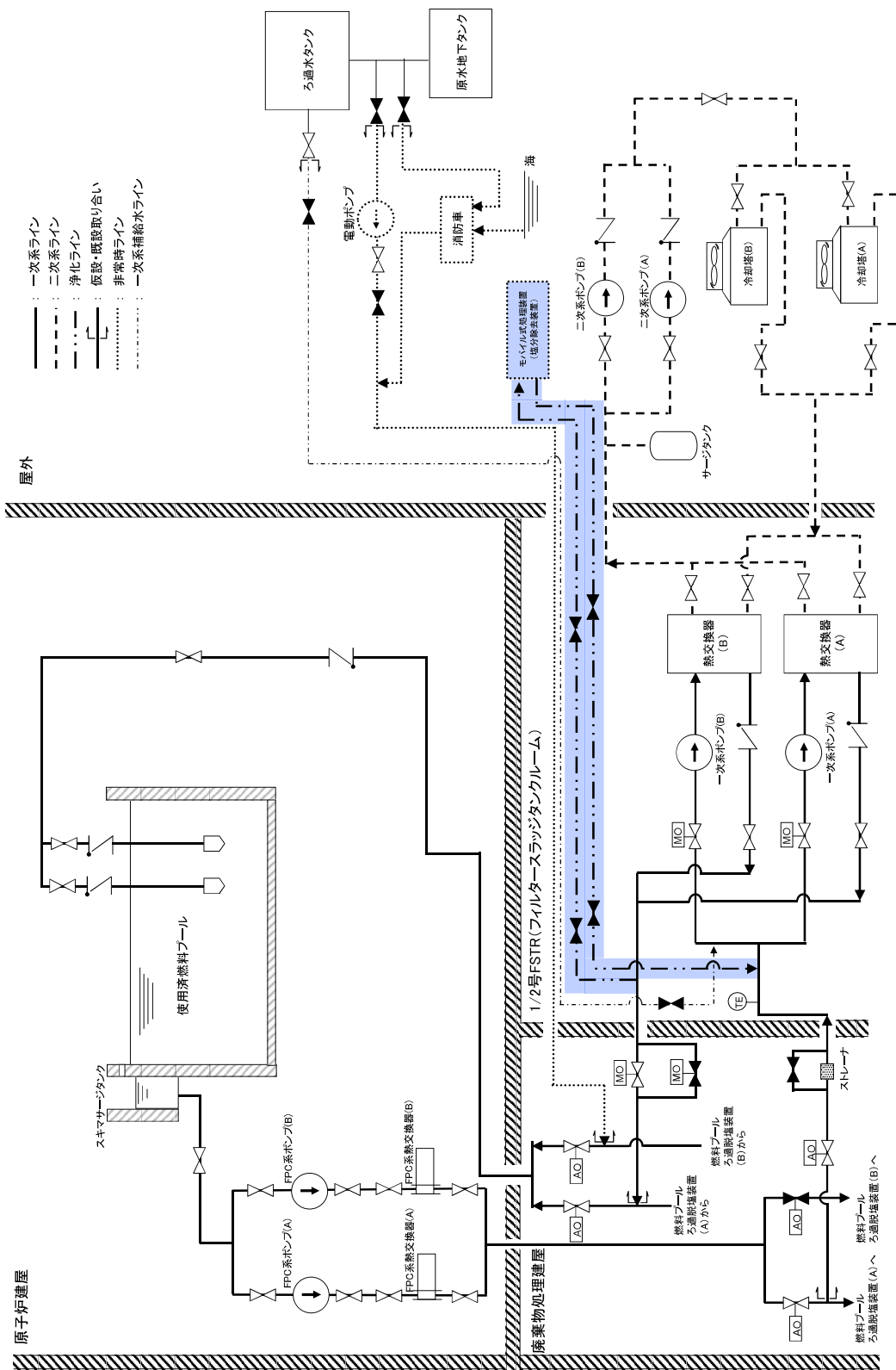


図2 申請範囲 (1号機浄化ライン詳細)

<凡例>
■ : 新設,
■ : 設置実績反映



- 一次系ライン
- - - 二次系ライン
- ⋯ 浄化ライン
- 仮設・既設取り合い
- ⋯ 非常時ライン
- ⋯ 一次系補給水ライン

図3 申請範囲 (2号機使用済燃料プール冷却系)

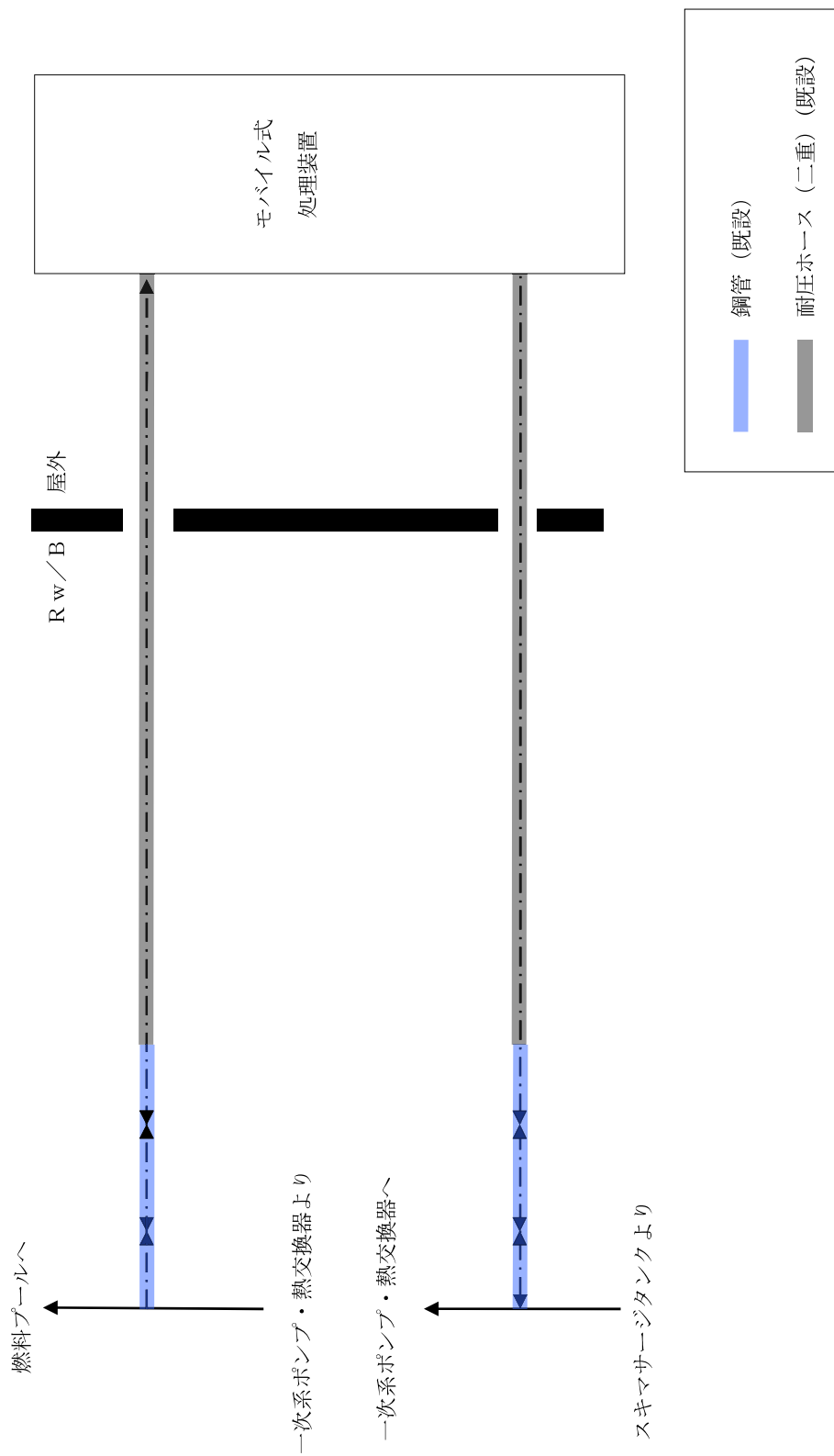


図4 申請範囲 (2号機浄化ライン詳細)

<凡例>
■ : 新設,
■ : 設置実績反映

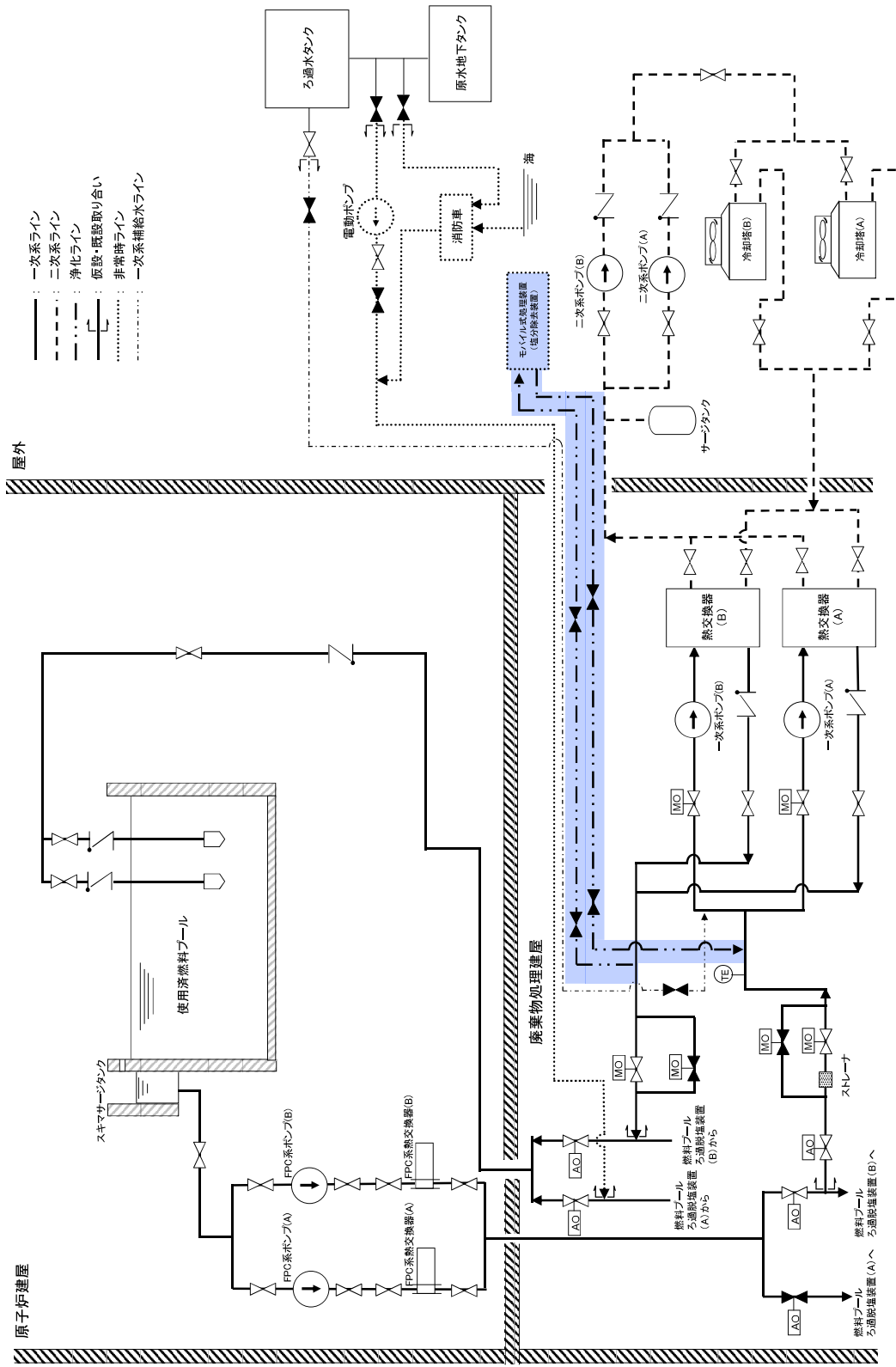


図5 申請範囲 (3号機使用済燃料プール冷却系)

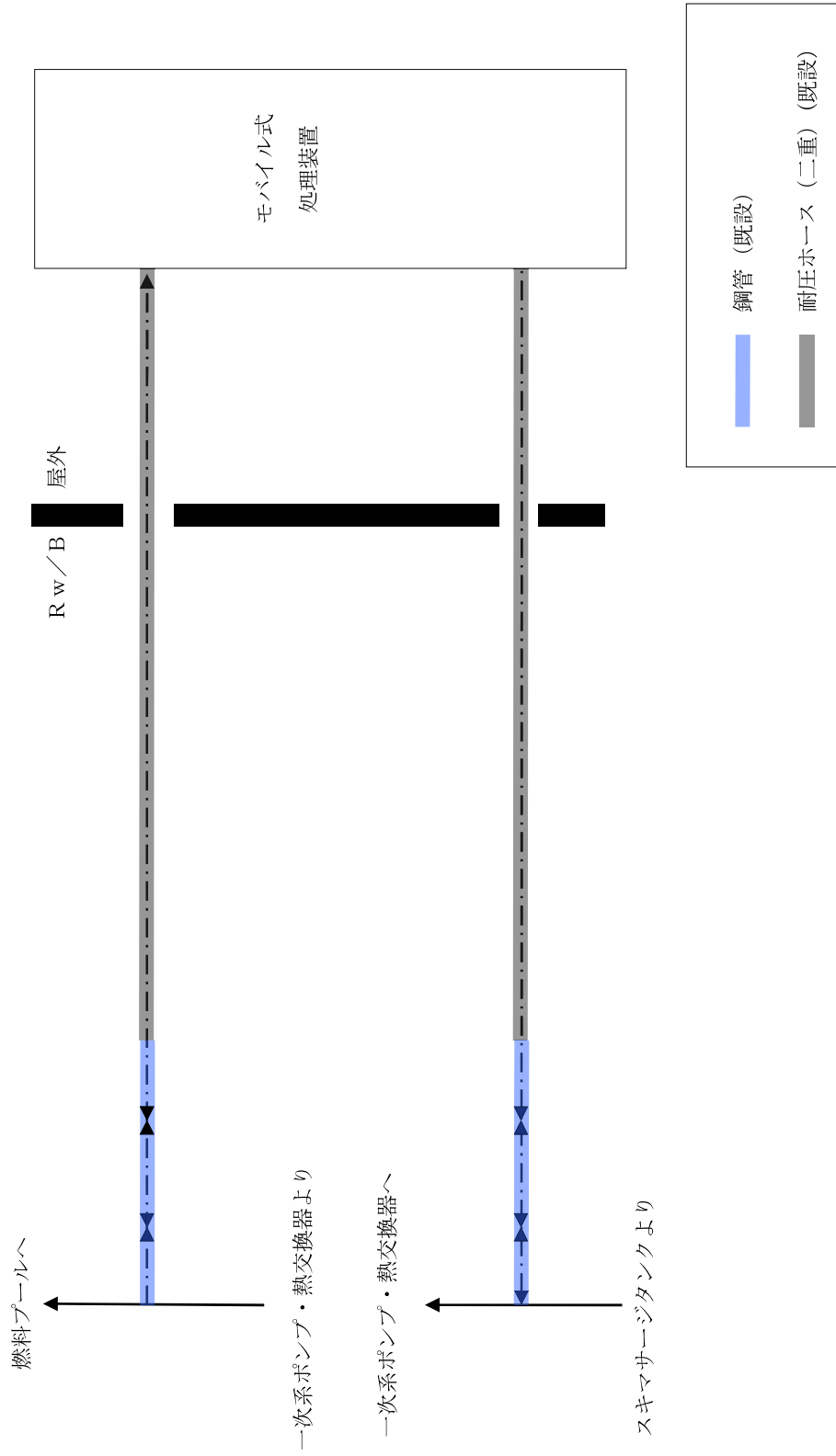


図6 申請範囲 (3号機浄化ライン詳細)

<凡例>
■ : 新設,
■ : 設置実績反映

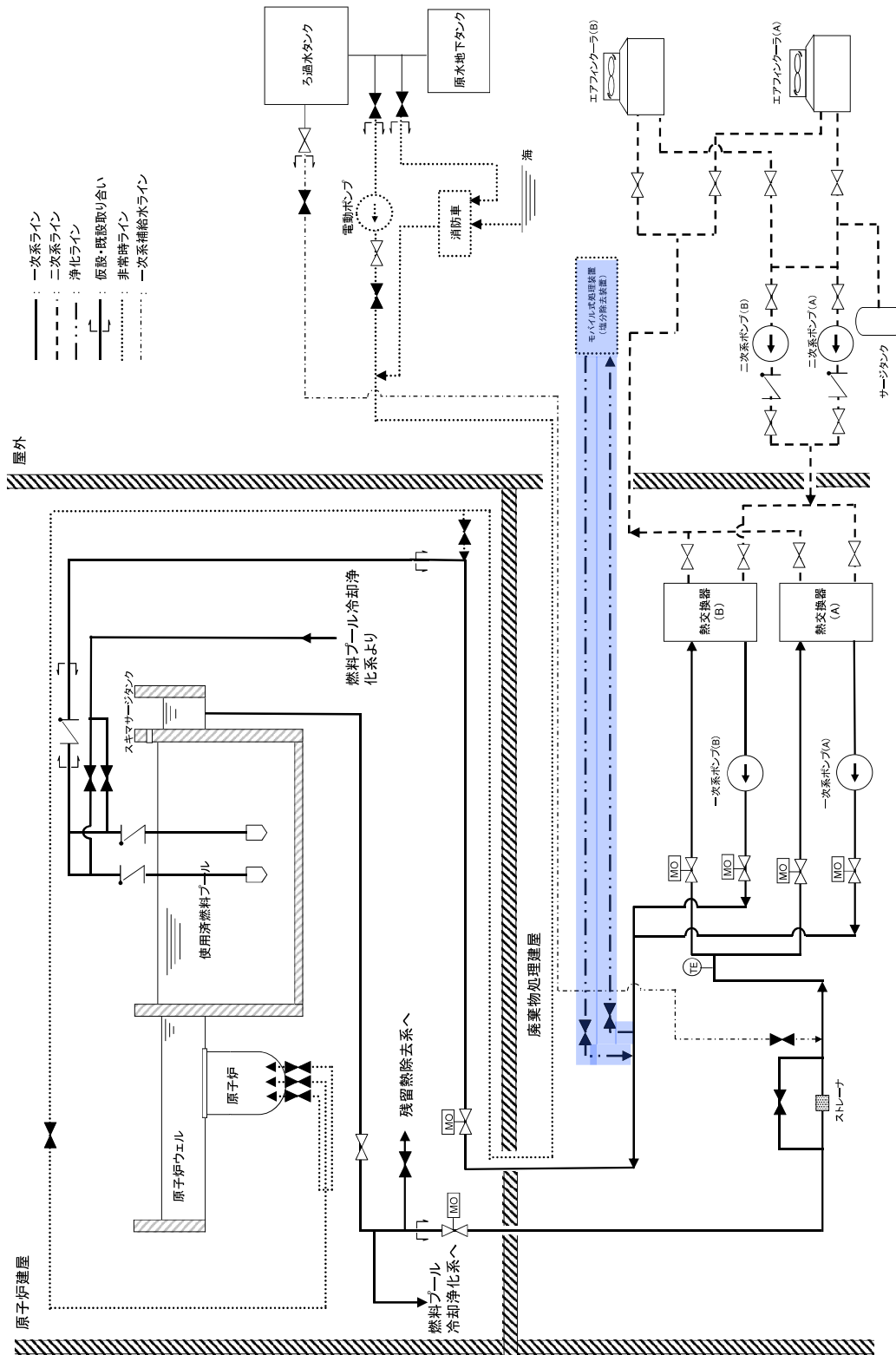


図7 申請範囲 (4号機使用済燃料プール冷却系)

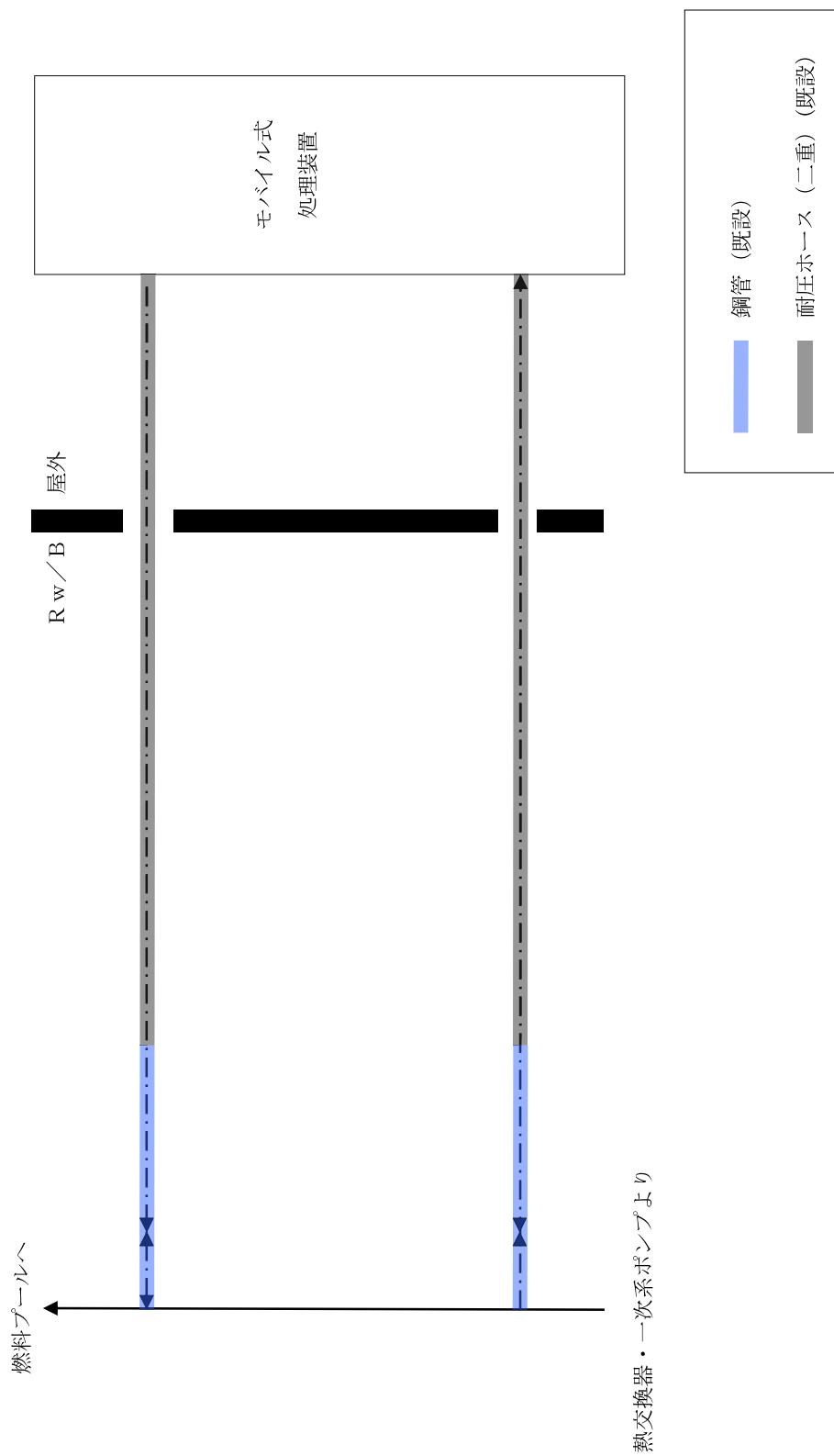


図8 申請範囲 (4号機浄化ライン詳細)

<凡例>
 : 新設,
 : 設置実績反映

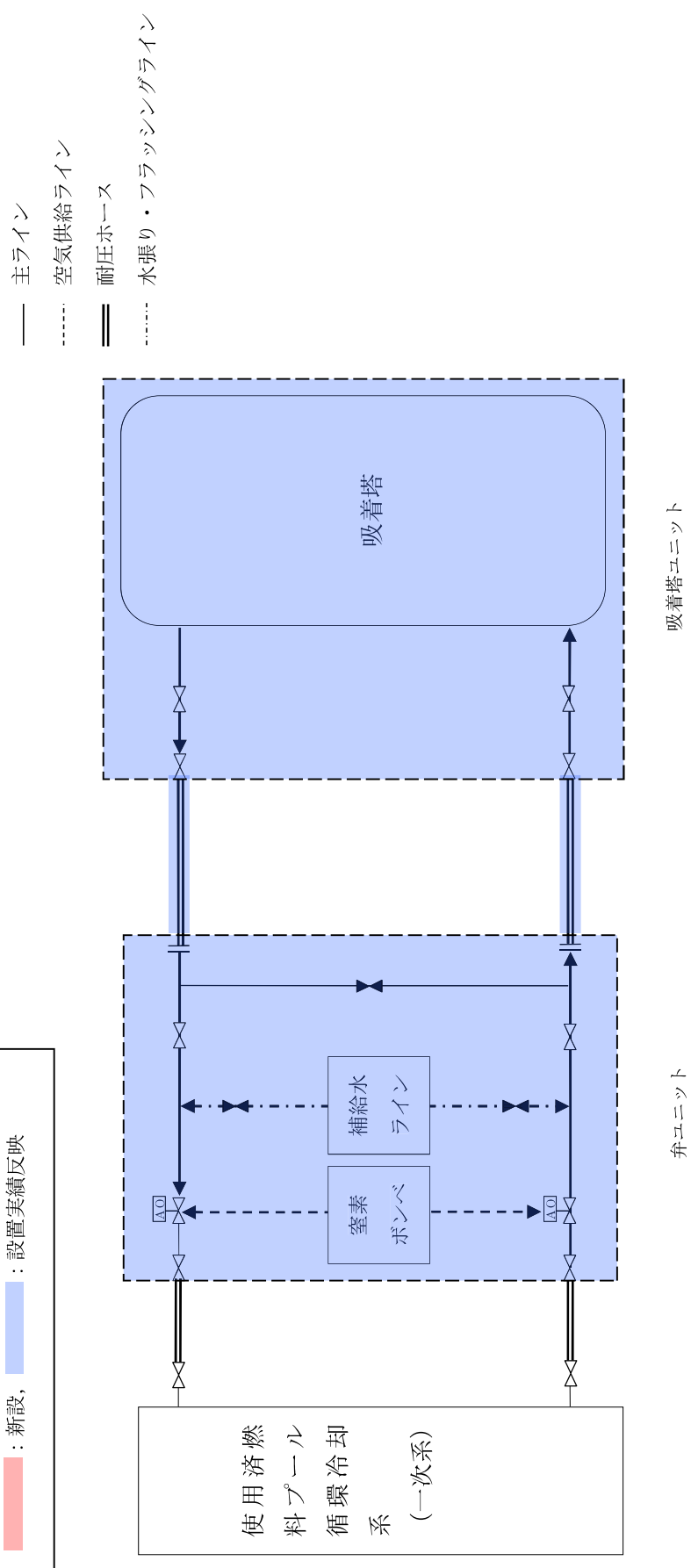


図9 申請範囲 (モバイル式処理装置 (放射能除去装置))

<凡例>
■ : 新設,
■ : 設置実績反映

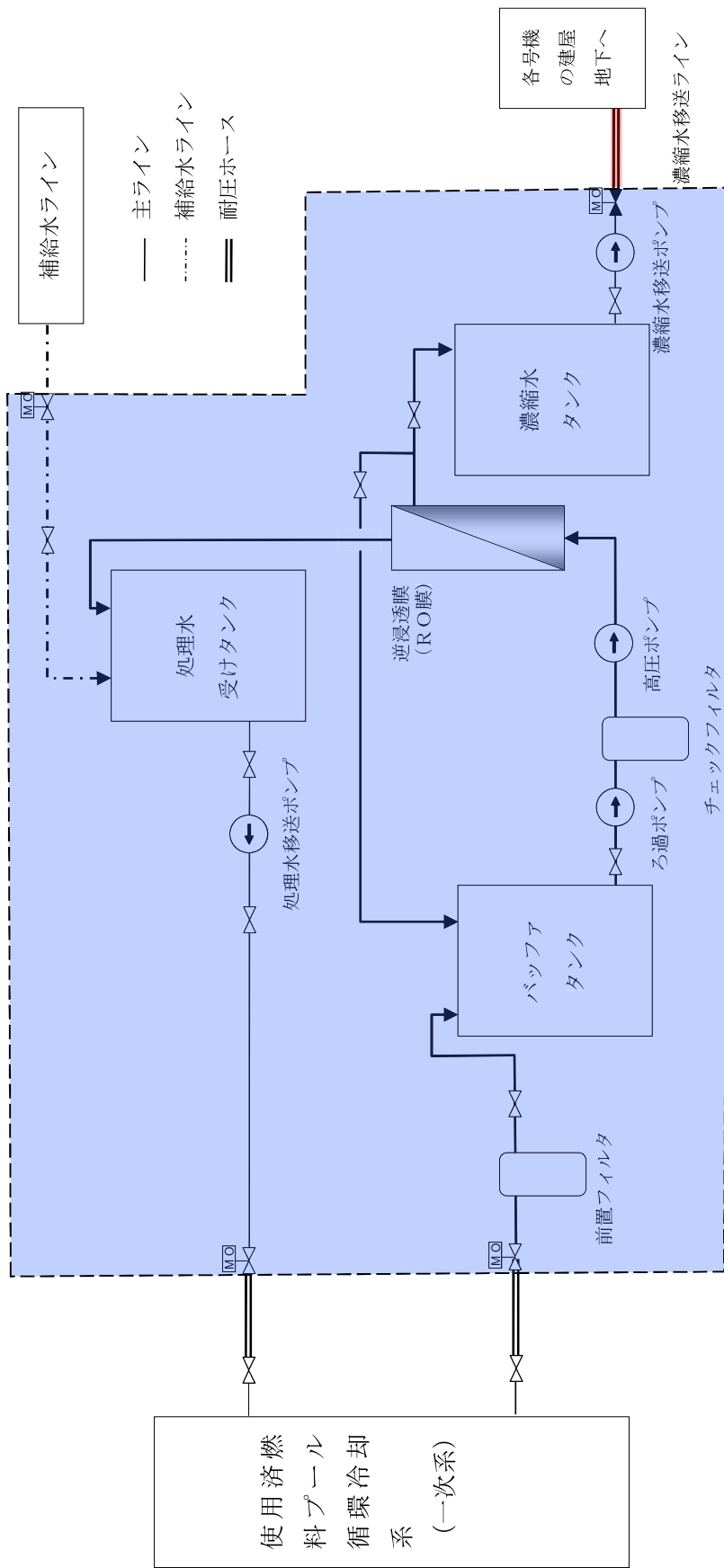


図 10 申請範囲 (モバイル式処理装置 (塩分除去装置 (RO 膜装置))) ※ 1, 2 号接続時

<凡例>
 : 新設,
 : 設置実績反映

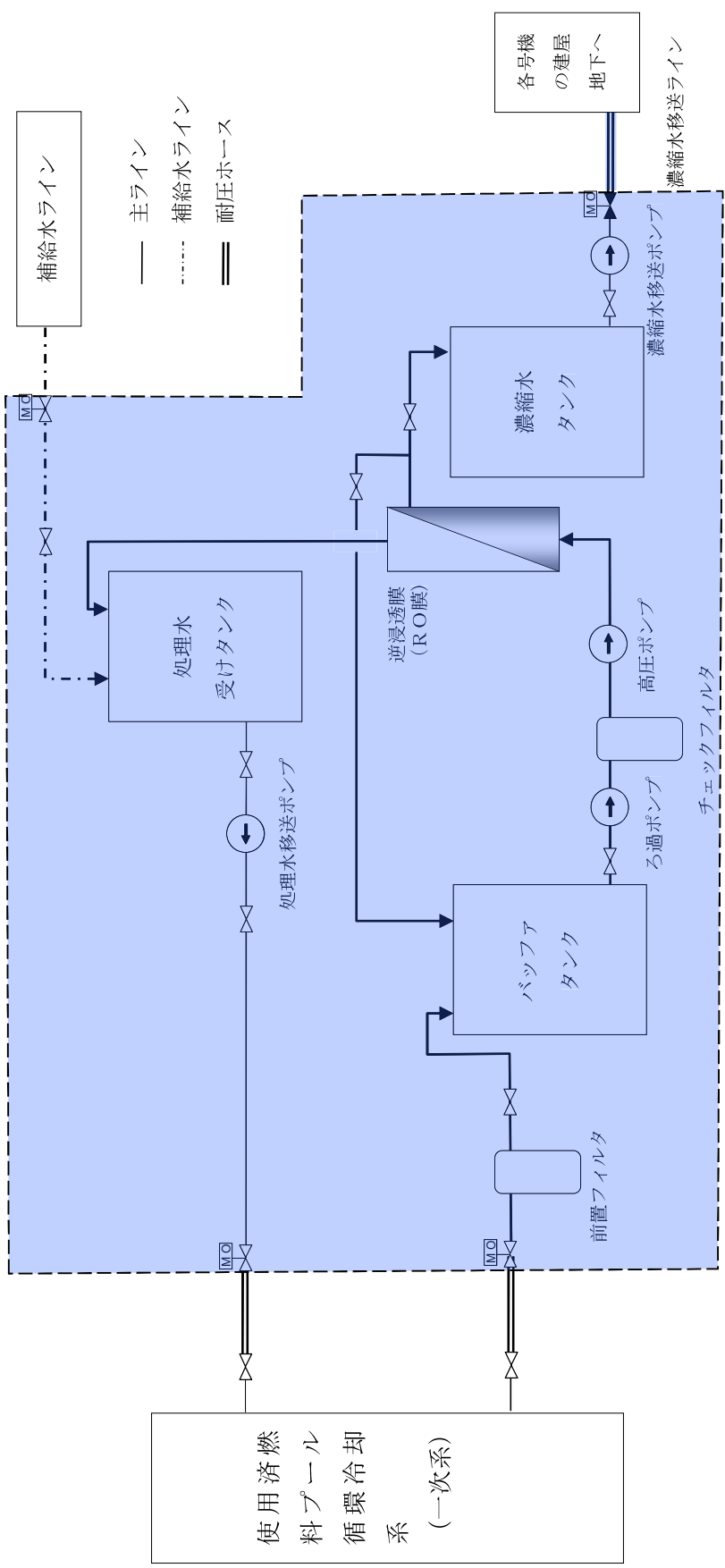


図 11 申請範囲 (モバイル式処理装置 (塩分除去装置 (RO 膜装置))) ※ 3, 4 号機接続時

<凡例>
 : 新設,
 : 設置実績反映

— 主ライン
 - - - 空気供給ライン
 = 耐圧ホース

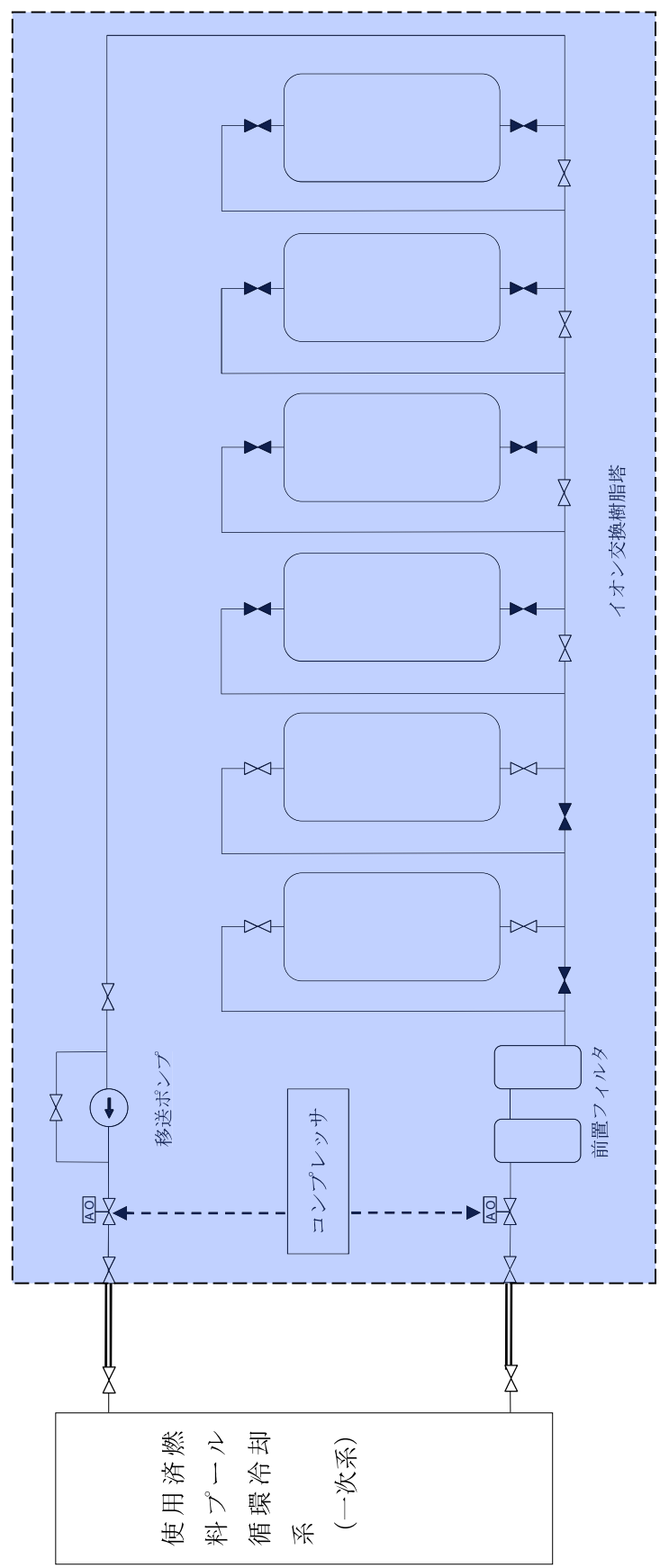


図 12 申請範囲 (モバイル式処理装置 (塩分除去装置 (イオン交換装置)))

使用済燃料プール浄化装置に係る確認事項

使用済燃料プール浄化装置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。
使用済燃料プール浄化装置で扱う液体の放射能濃度は 37kBq/cm³ 以下である。

表－１ 確認事項（１号機浄化ライン※）

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を記録にて確認する。	実施計画のとおりであること。	
	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法を記録にて確認する。	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	機器の据付位置・据付状態を確認する。	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		<鋼管> 溶接部における浸透探傷検査記録を確認する。	「発電用原子力設備規格 溶接規格(2007年版)」(JSME S NB1-2007)による。
			<フレキシブルチューブ> 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。
			<耐圧ホース> 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。
通水確認	通常運転状態にて通水し、流路が確保されていること及び各部より漏えいのないことを確認する。	流路が確保されていること及び漏えいのないこと。		

※ 一次系主要配管（既設）からモバイル式処理装置入口、出口まで。ただし、既に使用実績のある部位を除く。

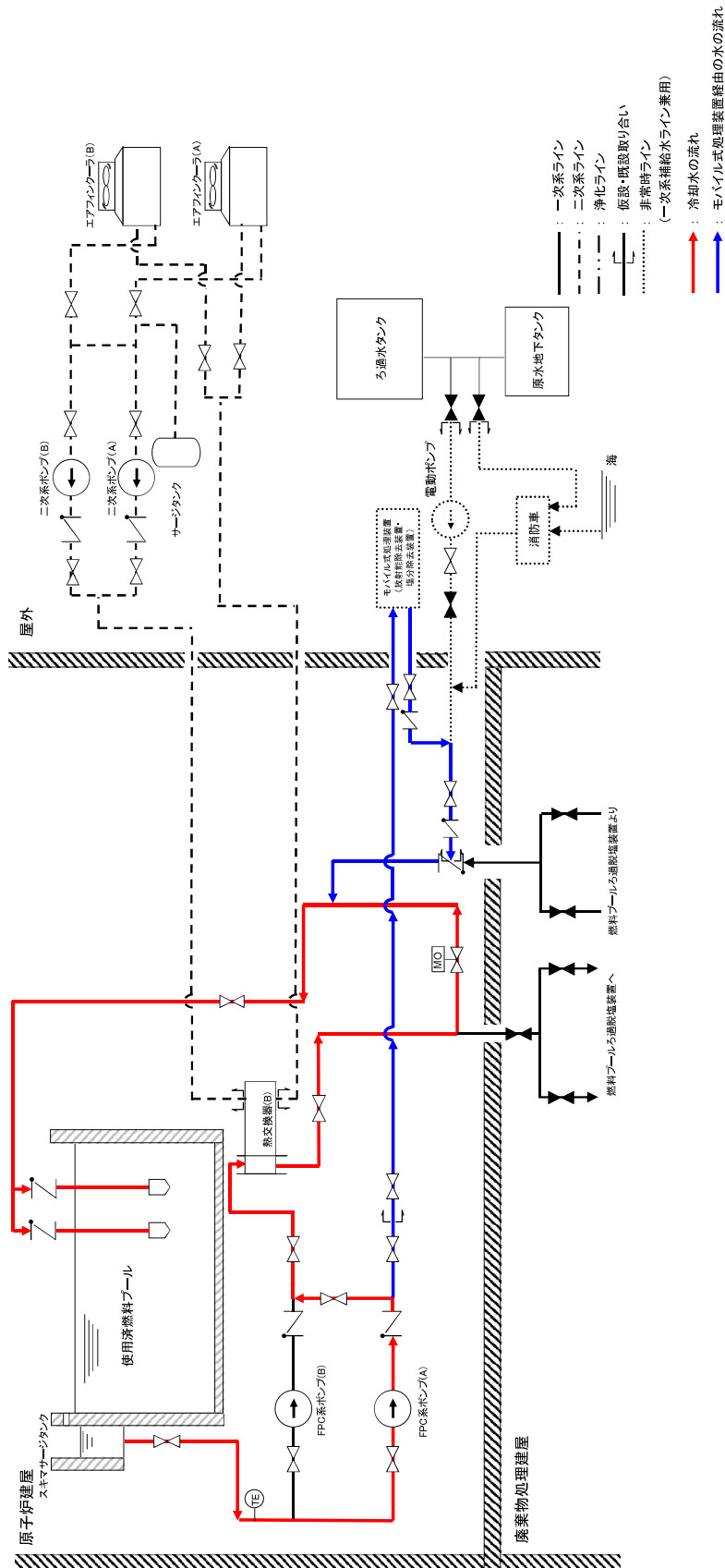
表－２ 確認事項（モバイル式処理装置（放射能除去装置））

確認事項	確認項目	確認内容	判定
機能・性能	漏えい検知器漏えい警報確認	吸着塔ユニット及び弁ユニットの堰内に設置された漏えい検知器が信号を発信したときの警報を確認する。	漏えい検知器が作動し、監視盤（免震重要棟）にて警報が発信すること。

表－３ 確認事項（１，２号機濃縮水移送ライン）

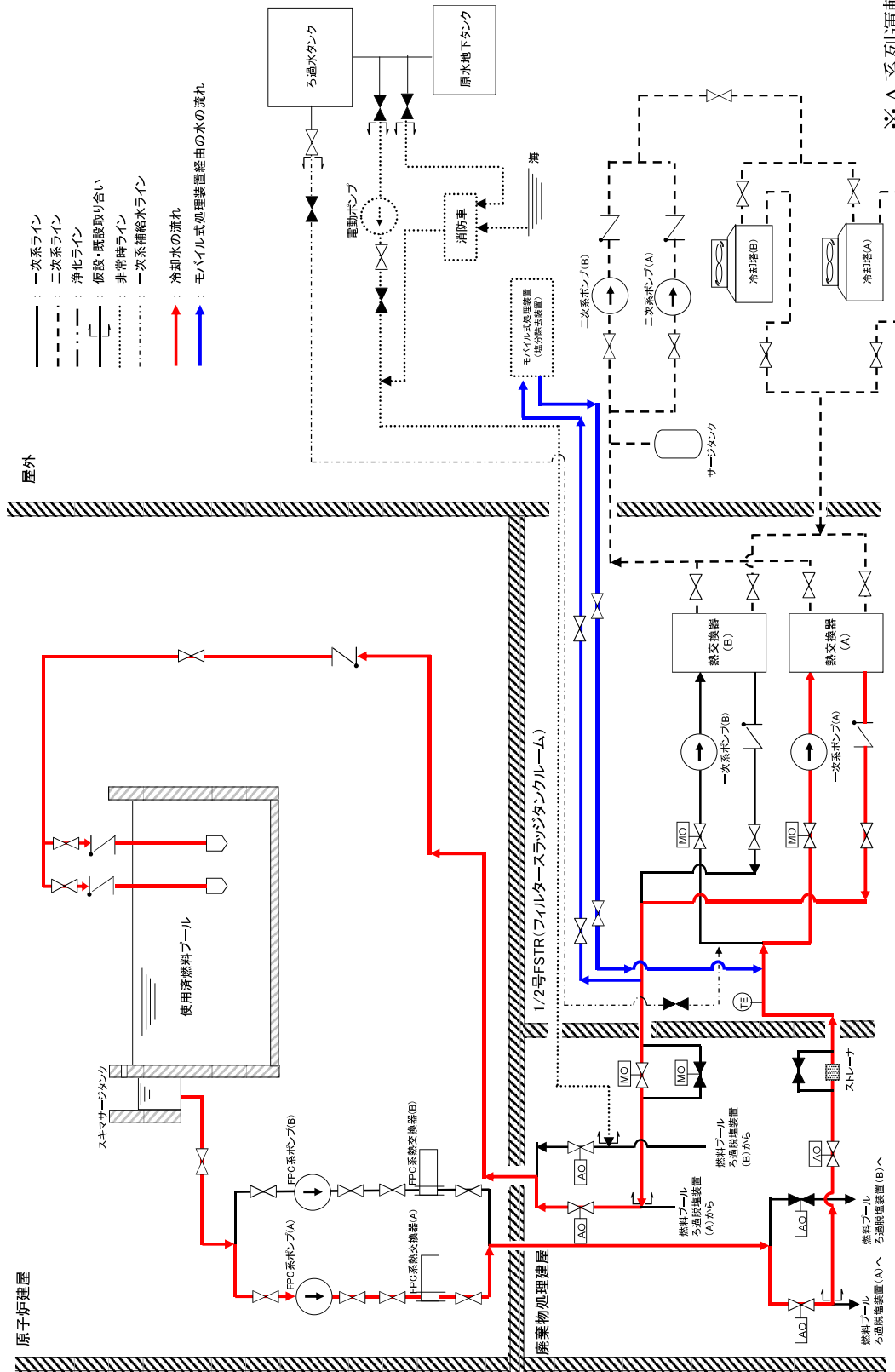
確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料を記録にて確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法を記録にて確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器の据付位置・据付状態を確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で保持した後、確認圧力に耐えていることを記録で確認する。 耐圧確認終了後、耐圧部分からの漏えいの有無も確認する。	確認圧力に耐え、かつ構造物の変形等がないこと。 また、耐圧部から著しい漏えいがないこと。
	通水確認	通常運転状態にて通水し、流路が確保されていること及び各部より漏えいのないことを確認する。	流路が確保されていること及び漏えいのないこと。

以上



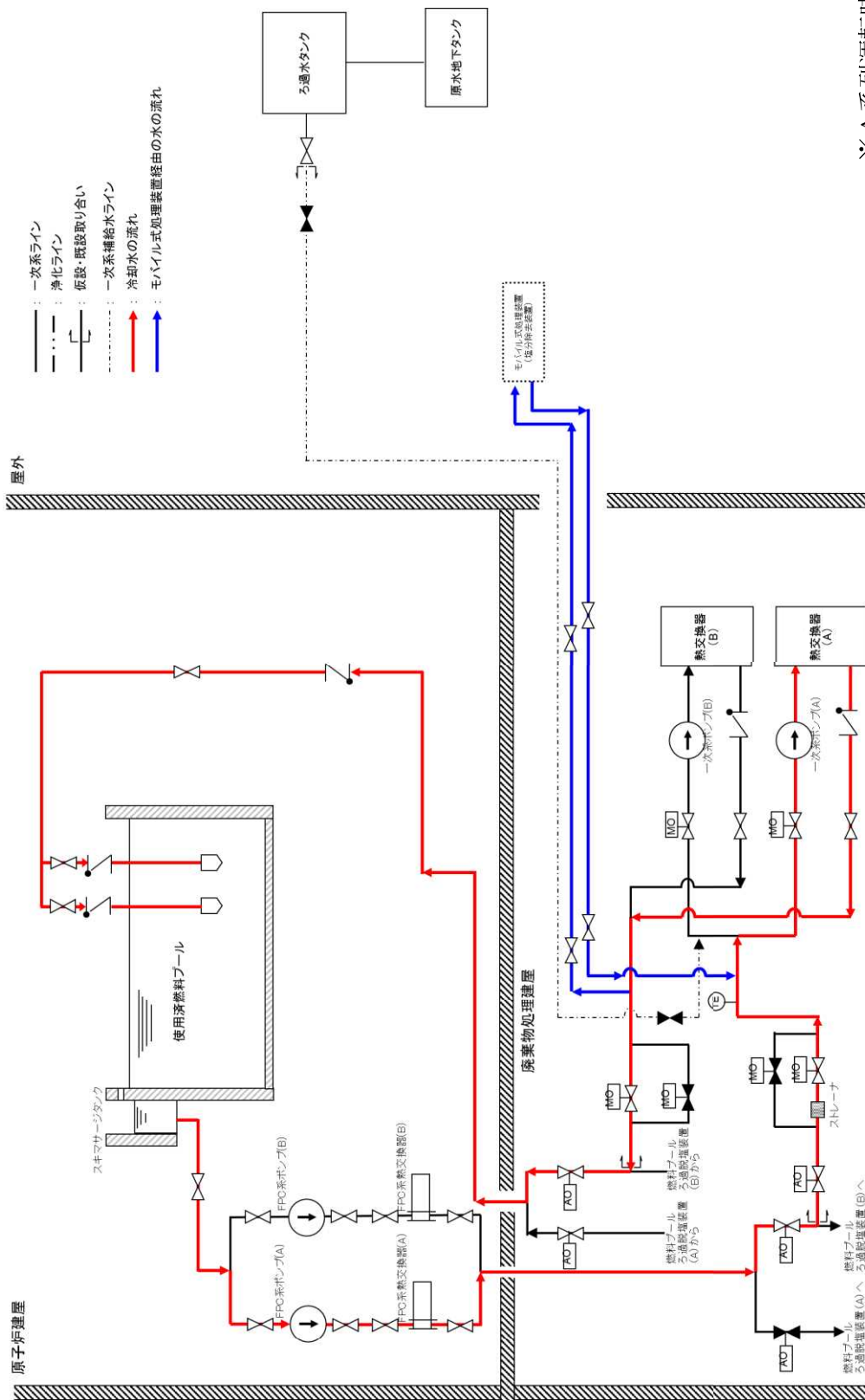
※A系列運転時の例
 (一次系熱交換器はB系列)

図1 1号機使用済燃料プール冷却系統概略図 (モバイル式処理装置運転中)



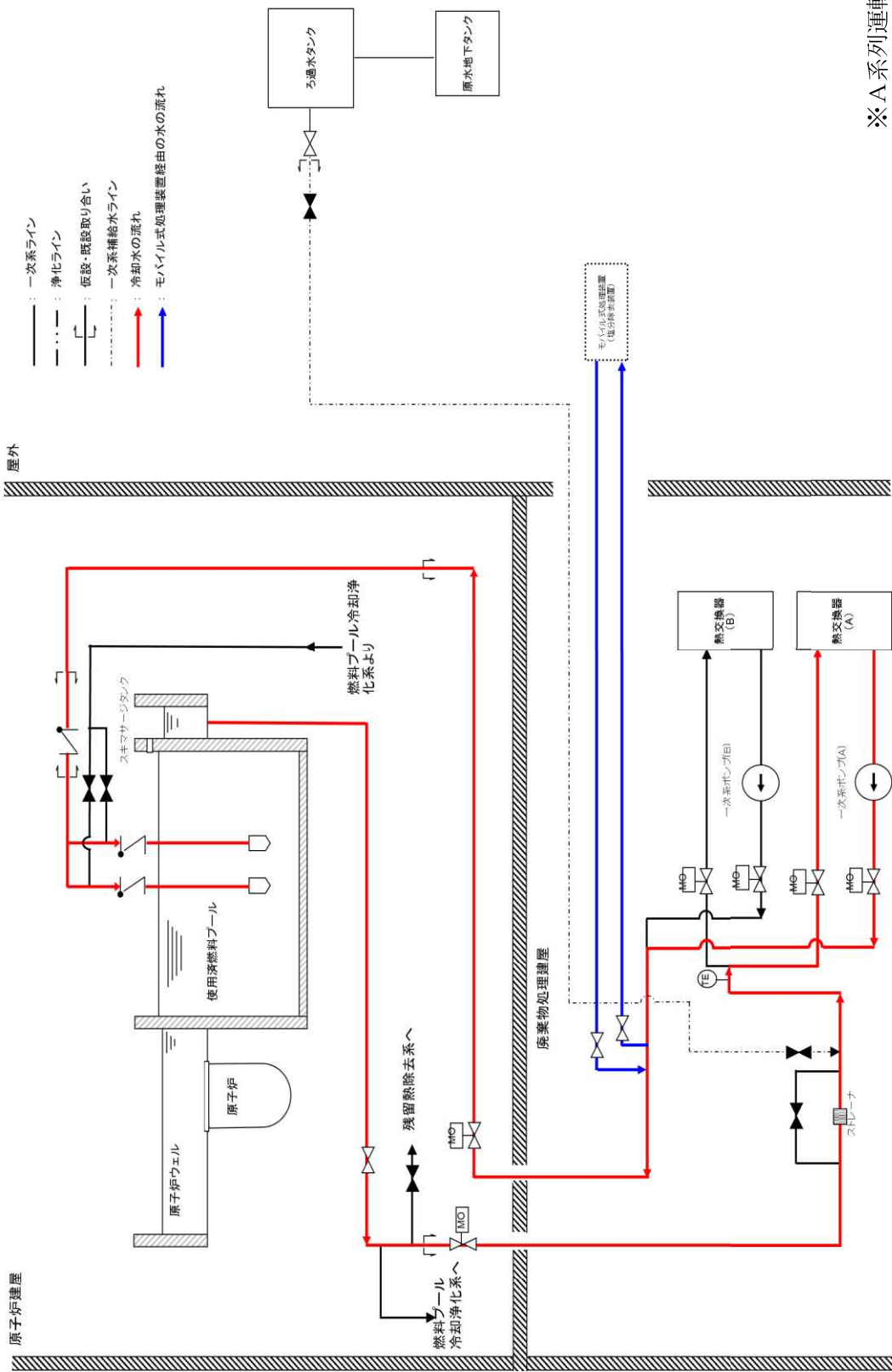
※A系列運転時の例

図 2 2号機使用燃料プール冷却系系統概略図 (モバイル式処理装置運転中)



※A系列運転時の例

図 3 3号機使用燃料プール循環系系統概略図 (モバイル式処理装置運転中)



※A系列運転時の例

図 4 4 号機使用済燃料プール循環系系統概略図 (モバイル式処理装置運転中)

2～4号機浄化ライン鋼管（ヘッド部）について

1. はじめに

2～4号機浄化ラインの鋼管は、一次系からの分岐の短い部分に使用されており、その前後はフレキシビリティを有した耐圧ホースと接続されていることから、地震による有意な応力は発生しないと考えられる（図1～3参照）。

ここでは、簡易的な手法を用いて、当該部における地震による応力を試算した。

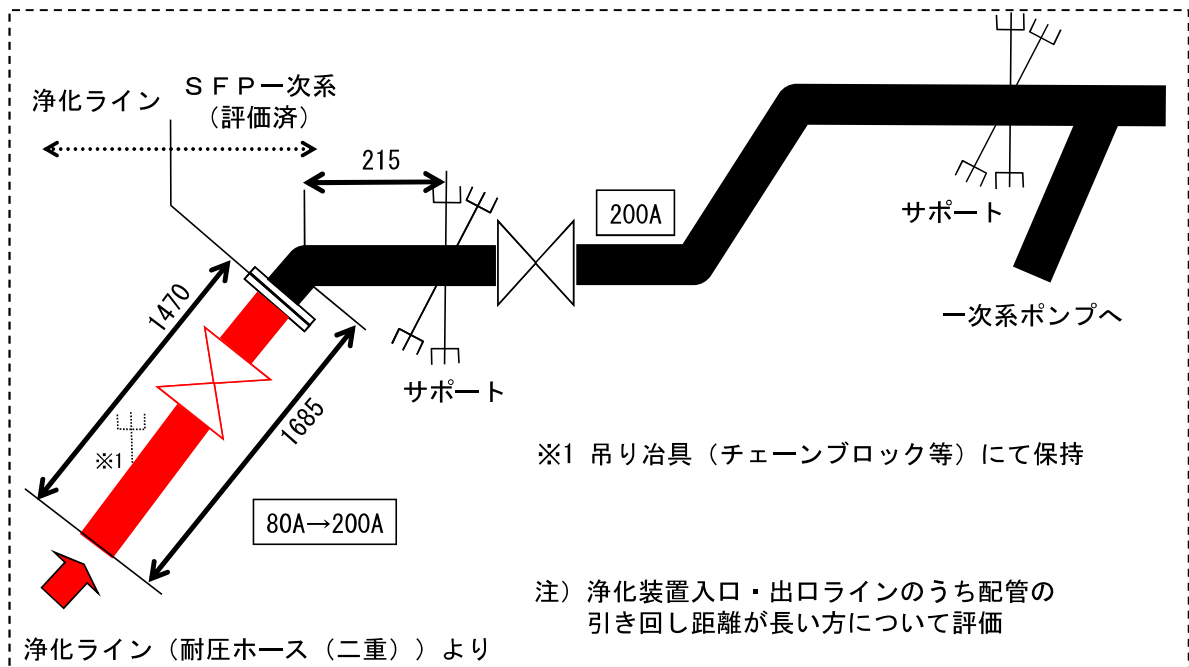


図-1 浄化ラインヘッド部概要図（2号機）

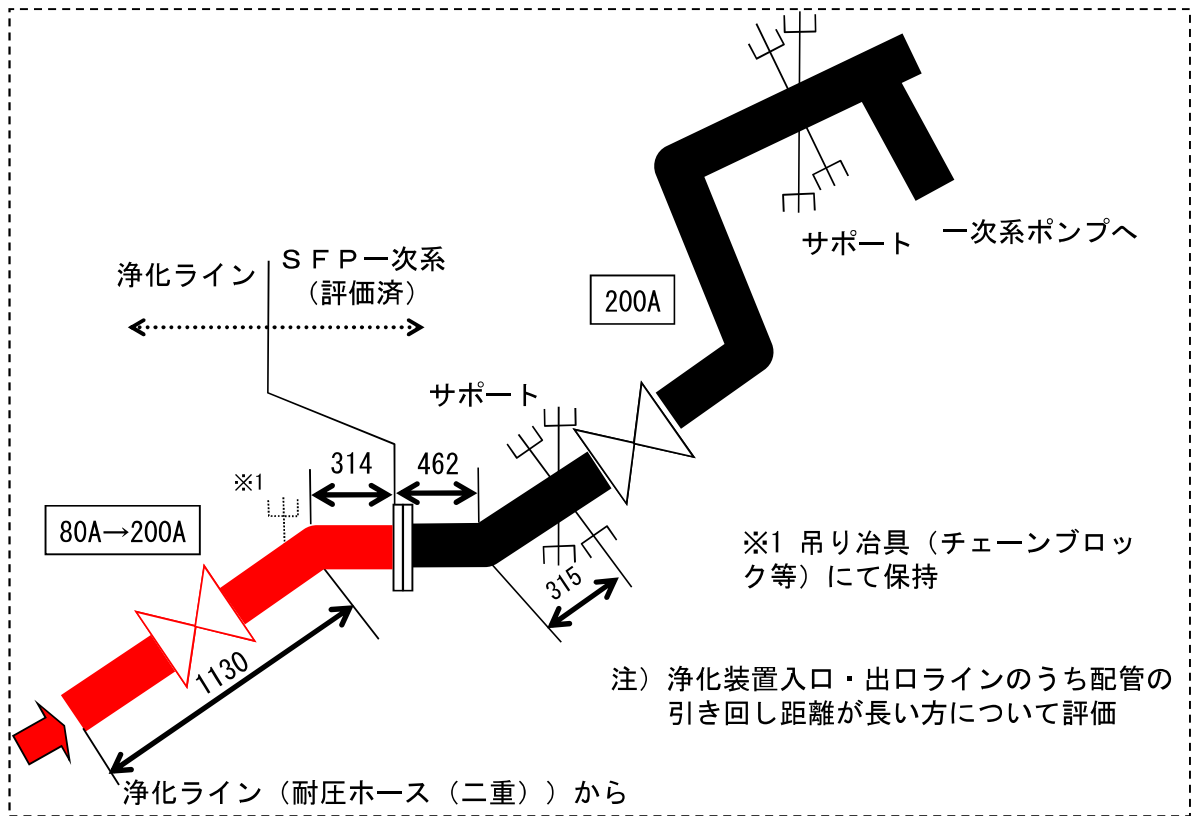


図-2 浄化ラインヘッド部概要図 (3号機)

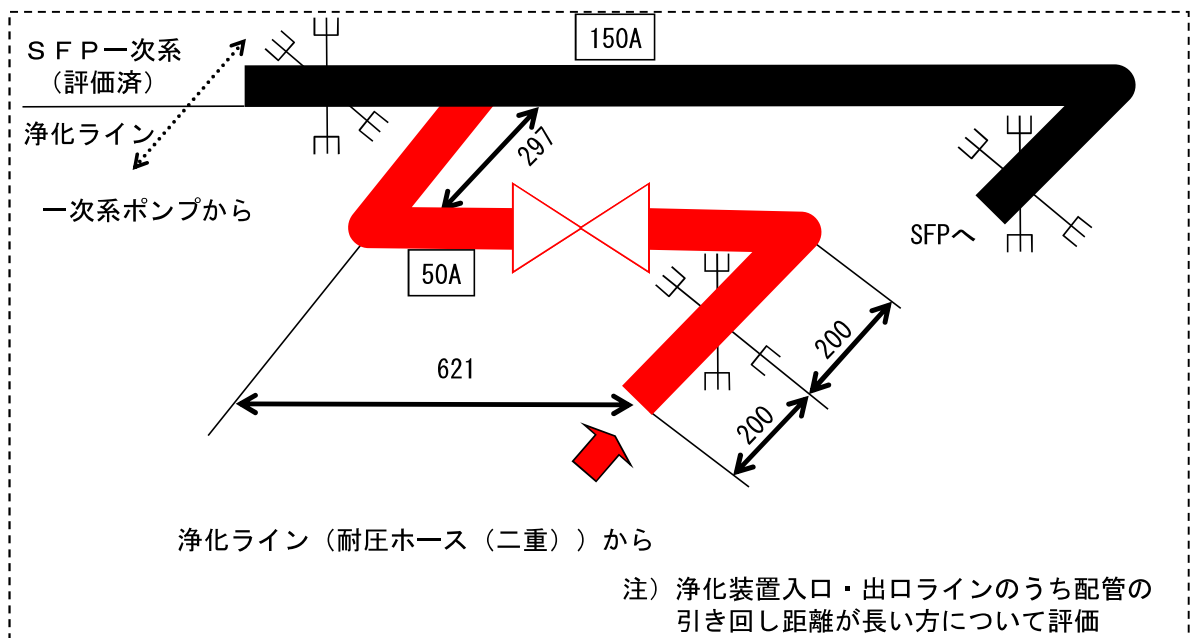


図-3 浄化ラインヘッド部概要図 (4号機)

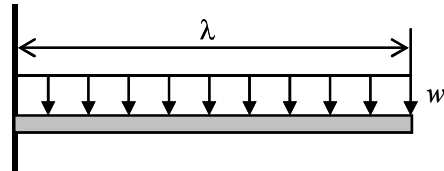
2. 試算結果

(1) 2号機

ヘッド部を、等分布荷重を受ける片持ち梁とみなし、応力を算出する。
等分布荷重を受ける片持ち梁の応力は下記の式で求められる。

$$\sigma = \frac{w\lambda^2}{2Z}$$

σ : 応力 (MPa)
 w : 等分布荷重 (N/mm)
 λ : 長さ (mm)
 Z : 断面係数 (mm³)



上記の式を用いて、自重による応力を算出すると、

$$\sigma = \frac{0.41 \times 1900^2}{2 \times 2.7 \times 10^5} = 2.77 \quad (\text{MPa})$$

w : 0.41 N/mm (STPG370) ※全て200A (Sch.40) とした。
 λ : 1900mm ※チェーンブロックによる支持は考慮しない。
 Z : 2.7×10^5 mm³ (外径 : 216.3mm, 内径 : 199.9mm)

耐震Bクラス相当 (震度 : 0.36) の地震力が加わった場合の応力は、

$$2.77 \times (1 + 0.36) = 3.77 \quad (\text{MPa})$$

となり、評価基準値 (333MPa) より十分小さい。

(2) 3号機

2号機と同様に評価すると、自重による応力は、

$$\sigma = \frac{0.41 \times 2221^2}{2 \times 2.7 \times 10^5} = 3.79 \quad (\text{MPa})$$

w : 0.41 N/mm (STPG370) ※全て200A (Sch.40) とした。
 λ : 2221mm ※チェーンブロックによる支持は考慮しない。
 Z : 2.7×10^5 mm³ (外径 : 216.3mm, 内径 : 199.9mm)

耐震Bクラス相当 (震度 : 0.36) の地震力が加わった場合の応力は、

$$3.79 \times (1 + 0.36) = 5.15 \quad (\text{MPa})$$

となり、評価基準値 (333MPa) より十分小さい。

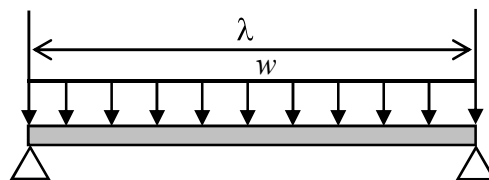
(3) 4号機

ヘッド部を、等分布荷重を受ける両端支持梁とみなし、応力を算出する。

等分布荷重を受ける両端支持梁の応力は下記の式で求められる。

$$\sigma = \frac{w\lambda^2}{8Z}$$

σ : 応力 (MPa)
 w : 等分布荷重 (N/mm)
 λ : 長さ (mm)
 Z : 断面係数 (mm³)



上記の式を用いて、自重による応力を算出すると、

$$\sigma = \frac{0.073 \times 1118^2}{8 \times 1.2 \times 10^4} = 0.96 \quad (\text{MPa})$$

w : 0.073 N/mm (STPT370) ※50A (Sch.80)

λ : 1118mm

Z : 1.2×10^4 mm³ (外径 : 60.5mm, 内径 : 49.5mm)

耐震Bクラス相当 (震度 : 0.36) の地震力が加わった場合の応力は、

$$0.96 \times (1 + 0.36) = 1.30 \quad (\text{MPa})$$

となり、評価基準値 (333MPa) より十分小さい。

以上

1, 2号機使用済燃料プール循環冷却系二次系設備の共用化について

1. はじめに

1, 2号機使用済燃料プール内燃料から発生する崩壊熱を安定的に除去することが可能な1, 2号機使用済燃料プール循環冷却系二次系共用設備（以下、「二次系共用設備」という。）を配備する。

2. 基本方針

2.1 設置の目的

1, 2号機使用済燃料プール内の燃料から発生する崩壊熱を最終的な熱の逃がし場である大気へ放出し、使用済燃料プール水の冷却を行う。

2.2 設計方針

(1) 冷却機能

1, 2号機使用済燃料プール内燃料から発生する崩壊熱を最終的な熱の逃がし場である大気へ放出し、使用済燃料プール水を冷却できる設計とする。

(2) 構造強度

二次系共用設備は、材料の選定、製作及び検査について、適切と認められる規格及び基準によるものとする。

(3) 多重性・多様性

二次系共用設備のうち動的機器及び駆動電源は、多重性を備えた設計とする。また、外部電源が喪失した場合にも冷却機能を確保できる設計とする。

(4) 誤操作の防止に対する考慮

二次系共用設備には誤操作を防止するために、操作バルブには銘板を設けるとともに、運転手順書を整備し運転にあたる。

(5) 検査可能性に対する設計上の考慮

適切な方法により検査ができるよう、漏えい検査・通水検査等ができる設計とする。

2.3 設備概要

二次系共用設備は、二次系ポンプ、エアフィンクーラ、サージタンクで構成され、配管は主に鋼管、ポリエチレン管を用いる。

2.4 自然災害対策等

2.4.1 津波

二次系共用設備については、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を上回る津波などにより、万が一、使用済燃料プール循環冷却系の複数の系統や機器の機能が同時に喪失する場合に備え、消防車等を配備し使用済燃料プールの冷却を再開できるようにする。

2.4.2 火災

火災の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。また初期消火の対応ができるよう、現場制御盤近傍に消火器を設置し、火災発生は巡視点検、運転パラメータ監視、監視カメラにより確認する。なお、二次系共用設備周辺からは可能な限り可燃物を排除するため燃焼・延焼はし難い。

2.4.3 豪雨

二次系共用設備のポンプ、エアフィンクーラおよびサージタンクについては、屋外仕様としており雨水の系統への浸入を防止する構造としている。

2.4.4 強風（台風・竜巻）

二次系共用設備のポンプ、エアフィンクーラおよびサージタンクについては、ボルト締結により敷鉄板等へ固定し、強風（台風）に耐えうる構造としている。また竜巻などにより、万が一、使用済燃料プール循環冷却系の複数の系統や機器の機能が同時に喪失する場合に備え、消防車等を配備し使用済燃料プールの冷却を再開できるようにする。

2.5 共用に対する設計上の考慮

二次系共用設備のうち動的機器及び駆動電源は、1系列以上を予備とすることで多重性を備えた設計とする。また、外部電源が喪失した場合でも、所内共通ディーゼル発電機又は専用のディーゼル発電機から電源を供給し、冷却機能を確保できる設計とする。

1系列で1、2号機使用済燃料プール内の燃料から発生する崩壊熱を全て除去することが可能な設計とする。

3. 二次系共用設備の具体的な安全確保策

二次系共用設備における、環境条件対策について具体的な安全確保策を以下の通り定める。

3.1 環境条件対策

(1) 腐食

二次系共用設備の系統水はろ過水であり，閉ループで構成されていることから塩分等の流入がないため，腐食の影響は小さい。

(2) 熱による劣化

二次系冷却水の温度は，ほぼ常温のため，材料の劣化の懸念はない。

(3) 凍結

大口径配管及び機器は，待機系についても冬季は微量通水運転を行うため凍結の恐れはない。凍結が懸念される小口径配管等については保温材または電気ヒータを取付けることにより，凍結防止を図る。

(4) 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により，紫外線による劣化を防止する。

別紙

(1) 1， 2号機使用済燃料プール循環冷却系二次系共用設備に係る確認事項

以上

1， 2号機使用済燃料プール循環冷却系二次系共用設備に係る確認事項

1， 2号機使用済燃料プール循環冷却系二次系共用設備の構造強度及び機能・性能に関する確認事項を表－1～6に示す。1， 2号機使用済燃料プール循環冷却系二次系共用設備で扱う液体の放射能濃度は37kBq/cm³以下である。

表－1 確認事項（二次系ポンプ）

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・据付状態を確認する。	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。

表－2 確認事項（エアフィンクーラ）

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・据付状態を確認する。	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。

表－3 確認事項（サージタンク）

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。	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・据付状態を確認する。	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。

表－4 確認事項（二次系主要配管（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	配管の据付位置・据付状態を確認する。	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。

表－5 確認事項（二次系ポリエチレン管）

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。	計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	製造者等の指定方法・圧力による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。

表－6 確認事項（使用済燃料プール循環冷却系二次系共用設備）

確認事項	確認項目	確認内容	判定
性能	運転性能確認	定格容量を通水出来ることを確認する。 ポンプ及びエアフィンクーラの運転状態を確認する。	定格容量を通水出来ること。 ポンプ及びエアフィンクーラの運転時に、異音、異臭、異常振動等がないこと。
機能	機能確認	使用済燃料プール水を冷却できることを確認する。	エアフィンクーラの出口側の系統水温度が入口側の系統水温度を下回っていること。

以上

3, 4号機使用済燃料プール循環系について

1. はじめに

3, 4号機は使用済燃料プール内の全燃料を取り出しており, 崩壊熱を除去する必要はないが, 使用済燃料プール内の放射化された機器等を貯蔵するため3, 4号機使用済燃料プール循環系として, 既存の3, 4号機使用済燃料プール循環冷却設備一次系を使用する。

2. 基本設計

2.1 設置の目的

使用済燃料プール内の水位をオーバーフロー水位付近に保ち, 必要に応じて使用済燃料プール内に系統水を補給する。

2.2 要求される機能

- (1) 使用済燃料プール水の状態を適切に監視できること。
- (2) 使用済燃料プールに水を補給できること。
- (3) 必要に応じて使用済燃料プール水の浄化ができる機能を有すること。
- (4) 建屋外への漏えいを防止できる機能を有すること。
- (5) 動的機器, 駆動電源について多重性を有すること。

2.3 設計方針

(1) 監視機能

使用済燃料プール循環系は, 使用済燃料プールの保有水量, 並びに循環流量等の運転状態の確認, 使用済燃料プールからの漏えいの検知に必要な主要パラメータが監視できるとともに, 記録が可能な機能を有する設計とする。

(2) 補給機能

使用済燃料プール循環系は, 使用済燃料プールに水を補給できる設計とする。

(3) 浄化機能

使用済燃料プール循環系は, 使用済燃料プール水の分析ができる設計とし, 使用済燃料プールライニングの腐食等による外部への放射性物質の漏えい及び使用済燃料プールの保有水の漏えい防止, 微生物腐食防止の観点から, 必要な場合には, 使用済燃料プール水の浄化ができる設計とする。

(4) 漏えい防止機能

使用済燃料プール循環系は、漏えいしがたい設計とし、万一、漏えいが発生しても建屋外への漏えいを防止できる機能を有する設計とする。

また、漏えいがあった場合に拡大を防止することができるように、漏えいの検出ができ、漏えい箇所を隔離できる設計とする。

(5) 構造強度

使用済燃料プール循環系は、材料の選定、製作及び検査について、適切と認められる規格及び基準によるものとする。

(6) 多重性・多様性

使用済燃料プール循環系のうち動的機器及び駆動電源は、多重性を備えた設計とする。また、外部電源が喪失した場合にも補給機能を確保できる設計とする。

(7) 誤操作の防止に対する考慮

使用済燃料プール循環系には誤操作を防止するために、操作バルブには銘板を設けるとともに、運転手順書を整備し運転にあたる。

(8) 検査可能性に対する設計上の考慮

適切な方法として検査ができるよう、漏えい検査・通水検査等ができる設計とする。

(9) 放射線遮へいに対する考慮

使用済燃料プール循環系は、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。

2.4 供用期間中に確認する項目

- (1) 使用済燃料プールへ系統水を補給できること。
- (2) 使用済燃料プール水がオーバーフロー水位付近にあること。

2.5 主要な機器

(1) 設備概要

使用済燃料プール循環系は、既設設備と新設設備を組み合わせ、使用済燃料プール水位を維持することを目的とし使用済燃料プール循環系設備で構成する。なお、使用済燃料プール循環系設備はポンプ等で構成する。

(2) 使用済燃料プール循環系設備

使用済燃料プール循環系設備は、補給機能を有する使用済燃料プール循環設備、漏えい防止機能を有する漏えい拡大防止設備、監視機能を有する監視設備、浄化機能を有する浄化装置と、これら設備に供給する電源によって構成する。

a. 使用済燃料プール循環設備

使用済燃料プール循環設備は、使用済燃料プール水を循環させる系からなり、補給水ラインを持ち、使用済燃料プールに水を補給する。

また、使用済燃料プール循環設備のポンプ等の動的機器は、1系列100%容量、1系列予備とすることで多重性を有する設計とする。

b. 漏えい拡大防止設備

使用済燃料プール循環設備は、震災以降に新設した機器・配管を使用していることから、使用済燃料プール循環設備の系統水の系外及び建屋外への漏えいを最小限に留めるために、新設設備の損傷等による漏えいに対し、系統の自動停止のインターロックを設け、系統の出入口弁を自動閉とし、ポンプを自動停止できる設計とする。また、使用済燃料プール循環設備はすべて建屋内に設置し、設備の破損等による建屋外への漏えい経路には堰を設けることにより、系統水の建屋外への漏えいを防止する。

c. 監視設備

使用済燃料プール循環系設備は、使用済燃料プールの保有水量、運転状態、漏えい等を監視できるとともに記録可能な監視設備を設ける。使用済燃料プールの保有水量については、スキマ・サージ・タンクへオーバーフローしていることをスキマ・サージ・タンク水位により監視する。スキマ・サージ・タンクの水位は、ポンプ吸込側圧力計又はスキマ・サージ・タンク水位計により監視し、それぞれ免震重要棟内にある監視室のモニターで監視する。

使用済燃料プール水の状態については使用済燃料プール循環設備の系統流量、系統圧力を免震重要棟内にある監視室のモニターで監視できるとともに、記録が可能な機能を有する設計とする。

使用済燃料プール循環設備からの漏えいについては、使用済燃料プールと同様、スキマ・サージ・タンク水位で監視する。また、床漏えい検知器により免震重要棟集中監視室の警報発生の有無を監視する。

漏えいを検知した場合や流量もしくは圧力の低下が発生した際は、免震重要棟内にある監視室内に警報が発報する。また、系統に異常が確認された際は、免震重要棟集中監視室の緊急停止ボタンにより手動停止を可能とする。

d. 電源

使用済燃料プール循環系設備の電源は異なる送電系統で2回線の外部電源から受電できる構成とする。

外部電源喪失の場合でも、所内共通ディーゼル発電機から電源を供給することで運転が可能な構成とする。

e. 浄化装置

使用済燃料プール循環系は、使用済燃料プール循環設備から使用済燃料プール水の水質測定をするためのサンプリングが可能であり、使用済燃料プールライニングの腐食等による外部への放射性物質の漏えい及び使用済燃料プール保有水の漏えい防止、微生物腐食防止の観点から必要な場合には、使用済燃料プールへの薬液の注入や使用済燃料プール水の浄化ができるよう配管等を設け、モバイル式処理装置（塩分除去装置）を配備する。モバイル式処理装置は、移動式の設備であり、使用済燃料プール水質に応じた浄化作業ができ、使用時のみ設置する。

2.6 廃棄物の管理

使用済燃料プール循環系設備が構成する系統水ラインは閉ループで構成され、液体廃棄物が発生しない設計としている。

2.7 自然災害対策等

2.7.1 津波

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を上回る津波などにより、万が一、使用済燃料プール循環系設備の機能が喪失する場合は、使用済燃料プール水の補給等を実施する。

2.7.2 火災

火災の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。また初期消火の対応ができるよう、現場制御盤近傍に消火器を設置し、火災発生は巡視点検、運転パラメータ監視、監視カメラにより確認する。なお、使用済燃料プール循環系設備周辺からは可能な限り可燃物を排除するため燃焼・延焼はし難い。

2.7.3 豪雨

使用済燃料プール循環系設備は3、4号機原子炉建屋及び廃棄物処理建屋の屋内に設置されており、雨水の系統への浸入を防止する構造としている。

2.7.4 強風（台風・竜巻）

使用済燃料プール循環系設備は3，4号機原子炉建屋及び廃棄物処理建屋の屋内に設置されており，強風に耐えうる構造としている。

2.8 構造強度及び耐震性

(1) 構造強度

使用済燃料プール循環系のうち使用済燃料プール循環系設備は，技術基準上，燃料プール冷却浄化系に相当するクラス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）」で規定されるものであるが，設計・建設規格は，鋼材を基本とした要求事項を設定したものであり，耐圧ホース等の非金属材料についての基準がない。従って，鋼材を使用している設備については，設計・建設規格のクラス3機器相当での評価を行い，非金属材料については，当該設備に加わる機械的荷重により損傷に至らないことをもって評価を行う。この際，当該の設備がJISや独自の製品規格等を有している場合や，試験等を実施した場合はその結果などを活用し，評価を行う。また，溶接部については，耐圧試験，系統機能試験等を行い，有意な変形や漏えい等のないことをもって評価を行なう。

(2) 耐震性

使用済燃料プール循環系のうち使用済燃料プール循環系設備は耐震設計審査指針上のBクラスの設備と位置づけられることから，その主要設備については，静的震度（1.8Ci）に基づく構造強度評価及び共振の恐れがある場合は動的解析を行い，評価基準値を満足することを原則とする。

耐震性に関する評価にあたっては，「JEAG4601 原子力発電所耐震設計技術指針」に準拠することを基本とするが，必要に応じてその他の適切と認められる指針や試験結果等を用いた現実的な評価を行う。

2.9 機器の故障への対応

2.9.1 使用済燃料プール循環系の機器の単一故障

(1) ポンプ故障

ポンプが故障した場合は，現場に移動し，待機号機の起動を行い，使用済燃料プールの循環及び補給を再開する。

(2) 電源喪失

使用済燃料プール循環系設備の電源が外部電源喪失や所内電源喪失により喪失した場合，プール水の蒸発を考慮し必要に応じて補給機能による注水を行う。

(3) 循環ラインの損傷

使用済燃料プール循環系の循環ラインが損傷した場合は、循環ライン内の系統水が系外へ漏えいすることが考えられることから、系外へ漏えいした系統水を建屋内に設置した堰により滞留させた後、漏えい水を建屋地下（廃棄物処理建屋地下又は原子炉建屋地下）に移送し、循環ラインの復旧後、使用済燃料プールの循環及び補給を再開する。

3. 使用済燃料プール循環系設備の具体的な安全確保策

使用済燃料プール循環系設備における、環境条件対策について具体的な安全確保策を以下の通り定める。

3.1 環境条件対策

(1) 腐食

使用済燃料プール循環系設備の系統水は浄化装置により水質を管理されているため、腐食の影響は小さい。

(2) 熱による劣化

使用済燃料プール水の温度は、ほぼ常温のため、熱による劣化の懸念はない。

(3) 凍結

使用済燃料プール循環系設備は3，4号機原子炉建屋及び廃棄物処理建屋の屋内に設置されており、使用済燃料プール水を循環する過程では、水が流れているため凍結の恐れはない。

(4) 耐放射線性

使用済燃料プール循環系設備は震災以降使用しており、既に燃料の取り出しが完了していることから、放射線照射の影響により大きく劣化することはない。

4. 基本仕様

4.1 3号機使用済燃料プール循環系の主要仕様

(1) ポンプ (完成品)

台 数	2
容 量	100m ³ /h (1台あたり)
揚 程	60m
最高使用圧力	1.0MPa
最高使用温度	100℃
負荷容量	30kW (1台あたり)

(2) 熱交換器 (完成品)

型 式	プレート式
基 数	2
最高使用圧力	一次側 1.0MPa
最高使用温度	一次側 100℃

※ 3号機使用済燃料プールの冷却を行う必要がないが、使用済燃料プール水を循環させるためのバウンダリを構成する。

(3) モバイル式処理装置 (塩分除去装置 (RO膜装置)) (完成品：供用中) (1～4号機共通)

系 列 数	1
処 理 量	約 4.2m ³ /h

(4) モバイル式処理装置 (塩分除去装置 (イオン交換装置)) (完成品：供用中) (1～4号機共通)

系 列 数	1
処 理 量	約 10m ³ /h

表-1 3号機使用済燃料プール循環系の主要配管仕様(1/2)

名称	仕様	
一次系主要配管	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 200A/Sch. 40 STPG370 1.0MPa 100℃
主要配管からモバイル式処理装置入口, 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. 40 100A/Sch. 40 200A/Sch. 40 STPG370 1.0MPa 66℃
主要配管からモバイル式処理装置入口, 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, 80A 相当(二重管) ポリ塩化ビニル 0.98MPa 50℃
モバイル式処理装置(塩分除去装置(RO膜装置))濃縮水タンク出口から3号機廃棄物処理建屋地下排水口まで(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(二重管) ポリ塩化ビニル 0.98MPa 50℃

表-1 3号機使用済燃料プール循環系の主要配管仕様(2/2)

名 称	仕 様	
モバイル式処理装置(塩分除去装置(RO膜装置)) 内配管 (1~4号機共通)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 10 SUS304TP 1.0MPa 66℃
	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	40A, 50A 相当 ポリ塩化ビニル 1.0MPa 66℃
	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	40A 相当 耐油性合成ゴム 1.0MPa 66℃
モバイル式処理装置(塩分除去装置(イオン交換装置)) 内配管 (1~4号機共通)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 10 SUS316TP 1.0MPa 66℃

4.2 4号機使用済燃料プール循環系の主要仕様

(1) ポンプ (完成品)

台 数	2
容 量	100m ³ /h (1台あたり)
揚 程	68m
最高使用圧力	1.0MPa
最高使用温度	100℃
負荷容量	90kW (1台あたり)

(2) 熱交換器 (完成品)

型 式	プレート式
基 数	2
最高使用圧力	一次側 1.0MPa
最高使用温度	一次側 100℃

※ 4号機使用済燃料プールの冷却を行う必要がないが、使用済燃料プール水を循環させるためのバウンダリを構成する。

(3) モバイル式処理装置 (塩分除去装置 (RO膜装置)) (完成品 : 供用中)

(1~4号機共通)

系 列 数	1
処 理 量	約 4.2m ³ /h

(4) モバイル式処理装置 (塩分除去装置 (イオン交換装置)) (完成品 : 供用中)

(1~4号機共通)

系 列 数	1
処 理 量	約 10m ³ /h

表-2 4号機使用済燃料プール循環系の主要配管仕様 (1/2)

名 称	仕 様	
一次系主要配管	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 STPT370, STPT410, SUS304TP 1.0MPa 100℃
一次系フレキシブルチューブ	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A, 150A 相当 SUS316L 1.0MPa 100℃
主要配管からモバイル式処理装置入口, 出口まで (鋼管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A／Sch. 80 STPT370 1.0MPa 66℃
主要配管からモバイル式処理装置入口, 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 (二重管) ポリ塩化ビニル 0.98MPa 50℃
モバイル式処理装置 (塩分除去装置 (RO膜装置)) 濃縮水タンク出口から4号機廃棄物処理建屋地下排水口まで (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 (二重管) ポリ塩化ビニル 0.98MPa 50℃

表-2 4号機使用済燃料プール循環系の主要配管仕様(2/2)

名 称	仕 様	
モバイル式処理装置(塩分除去装置(RO膜装置))内配管 (1~4号機共通)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 10 SUS304TP 1.0MPa 66℃
	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	40A, 50A 相当 ポリ塩化ビニル 1.0MPa 66℃
	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	40A 相当 耐油性合成ゴム 1.0MPa 66℃
モバイル式処理装置(塩分除去装置(イオン交換装置))内配管 (1~4号機共通)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 10 SUS316TP 1.0MPa 66℃

以上

2.15 放射線管理関係設備等

2.15.1 基本設計

2.15.1.1 設置の目的

福島第一原子力発電所1～4号機から環境に放出される気体廃棄物を抑制するために設けられた設備の健全性を把握すること、ならびに当該設備を経由して放出される放射性物質の放出量を把握することを目的とする。また、万が一、安全に関する機能が一時的に喪失した場合でも、一般公衆ならびに放射線業務従事者を放射線から防護するため、周辺環境における放射線量率等の状況を把握することを目的とする。

2.15.1.2 要求される機能

福島第一原子力発電所1～4号機から放出される気体廃棄物中の放射性物質、ならびに周辺監視区域周辺の空間放射線量率を監視できること。

2.15.1.3 設計方針

(1) 1～4号機から放出される気体廃棄物の監視設備

原子炉格納容器ガス管理設備、原子炉建屋カバー排気設備、原子炉建屋排気設備のダスト放射線モニタにより、建屋から放出される気体廃棄物中の放射性物質の濃度を監視できる設計とする。

(2) 周辺監視区域周辺の監視設備

モニタリングポストは、1～6号機その他、附帯設備を含めた発電所全体からの影響を把握するため、周辺監視区域境界付近8箇所空間放射線量率を監視できる設計とする。

(3) 供用期間中に確認する項目

福島第一原子力発電所1～4号機から放出される気体廃棄物中の放射性物質、ならびに周辺監視区域周辺の空間放射線量率を適切に監視できること。

2.15.1.4 主要な機器

a. ダスト放射線モニタ

ダスト放射線モニタは、2チャンネル設置し、免震重要棟において遠隔監視ならびに記録可能な設備とする。

b. モニタリングポスト

モニタリングポストは、周辺監視区域境界付近8箇所に設置し、空間放射線量率を連続的に測定可能な設備とし、免震重要棟において遠隔監視ならびに記録可能な設備とする。

2.15.1.5 設計上の考慮すべき事項

ダスト放射線モニタ、モニタリングポストならびに2号機原子炉建屋排気設備は、『特定原子力施設への指定に際し東京電力株式会社福島第一原子力発電所に対して求める措置を講ずべき事項について』に示される“14. 設計上の考慮”を踏まえた設計とすることを基本方針として、特に次の事項に考慮する。

(1) 準拠規格及び基準

一般的な放射線計測器や一般構造物と同様の構造強度を有する設計とし、耐震性についても一般構造物と同等なものとして設計する。

(2) 自然現象に対する設計上の考慮

仮設防潮堤を設置したことでアウターライズ津波の影響がないと想定される1~4号機の標高以上のエリアに設置する。(Ⅲ.3.1.3 参照)

(3) 信頼性に対する設計上の考慮

ダスト放射線モニタならびに2号機原子炉建屋排気設備においては、所内高圧母線からの受電の他、外部電源喪失の場合に備えて、非常用所内電源からも受電できる構成とする。

モニタリングポストにおいては、異なる2系統の所内高圧母線から受電できる構成とし、外部電源喪失の場合に備えて、非常用所内電源ならびに蓄電池から受電できる構成とする。

2.15.2 基本仕様

2.15.2.1 主要仕様

(1) 1号機

ダスト放射線モニタ (原子炉建屋カバー排気設備出口※)

検出器の種類 シンチレーション検出器

計測範囲 $10^0 \sim 10^4 \text{ s}^{-1}$

チャンネル数 2

※原子炉建屋カバー設置時のみ。(以下、本章において同様。)

ダスト放射線モニタ (原子炉格納容器ガス管理設備出口)

検出器の種類 シンチレーション検出器

計測範囲 $10^{-1} \sim 10^6 \text{ s}^{-1}$

チャンネル数 2

(2) 2号機

ダスト放射線モニタ (原子炉建屋排気設備出口)

検出器の種類 シンチレーション検出器

計測範囲	$10^0 \sim 10^4 \text{ s}^{-1}$
チャンネル数	2

ダスト放射線モニタ (原子炉格納容器ガス管理設備出口)

検出器の種類	シンチレーション検出器
計測範囲	$10^{-1} \sim 10^5 \text{ s}^{-1}$
チャンネル数	2

(3) 3号機

ダスト放射線モニタ (原子炉格納容器ガス管理設備出口)

検出器の種類	シンチレーション検出器
計測範囲	$10^{-1} \sim 10^5 \text{ s}^{-1}$
チャンネル数	2

ダスト放射線モニタ (燃料取り出し用カバー換気設備出口)

検出器の種類	シンチレーション検出器
計測範囲	$10^{-1} \sim 10^5 \text{ s}^{-1}$
チャンネル数	2

(4) 4号機

ダスト放射線モニタ (燃料取り出し用カバー換気設備出口)

検出器の種類	シンチレーション検出器
計測範囲	$10^0 \sim 10^4 \text{ s}^{-1}$
チャンネル数	2

(5) モニタリングポスト

検出器の種類	電離箱検出器
測定範囲	$10 \sim 10^8 \text{ nGy/h}$
台数	8

(6) エリア放射線モニタ

エリア放射線モニタについては、以下の各章に記載している。

- ・ II.2.11 使用済燃料プールからの燃料取り出し設備
- ・ II.2.12 使用済燃料共用プール設備
- ・ II.2.13 使用済燃料乾式キャスク仮保管設備
- ・ II.2.34 5・6号機 計測制御設備

(7)排気設備

a. 2号機原子炉建屋排気設備

台数	2台(※)
容量	10000m ³ /h(1台当たり)
フィルタ形式	高性能粒子フィルタ
フィルタ効率	97%(粒径0.3μm)以上

※本設備は、作業環境改善の目的で設置されている設備であり、常時運転の必要性がある設備ではない。

b. その他排気設備

その他排気設備については、以下の各章に記載している。

- ・ 1号機原子炉建屋カバー排気設備(Ⅱ.2.11 使用済燃料プールからの燃料取り出し設備 添付資料6 別添5 原子炉建屋カバー附属設備について)
- ・ 3号機燃料取り出し用カバー換気設備(Ⅱ.2.11 使用済燃料プールからの燃料取り出し設備)
- ・ 4号機燃料取り出し用カバー換気設備(Ⅱ.2.11 使用済燃料プールからの燃料取り出し設備)
- ・ 原子炉格納容器ガス管理設備(Ⅱ.2.8 原子炉格納容器ガス管理設備)
- ・ 雑固体廃棄物焼却設備(Ⅱ.2.17 放射性固体廃棄物等の管理施設及び関連施設(雑固体廃棄物焼却設備))

2.15.3 添付資料

添付資料—1 ダスト放射線モニタ系統概略図

添付資料—2 モニタリングポストの配置図

ダスト放射線モニタ系統概略図

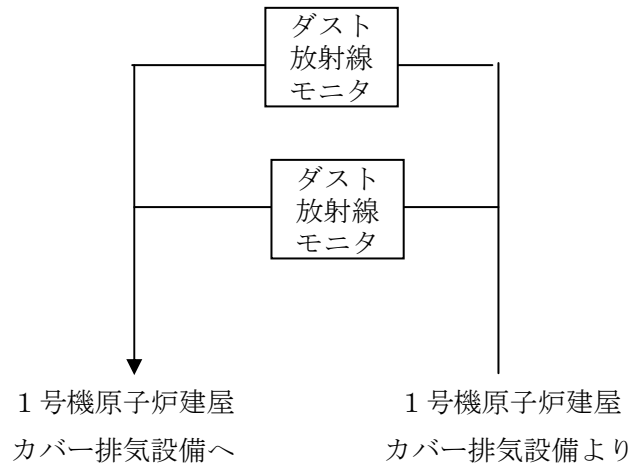


図2.15-1 1号機 ダスト放射線モニタ検出器 系統概略図
(原子炉建屋カバー排気設備出口)

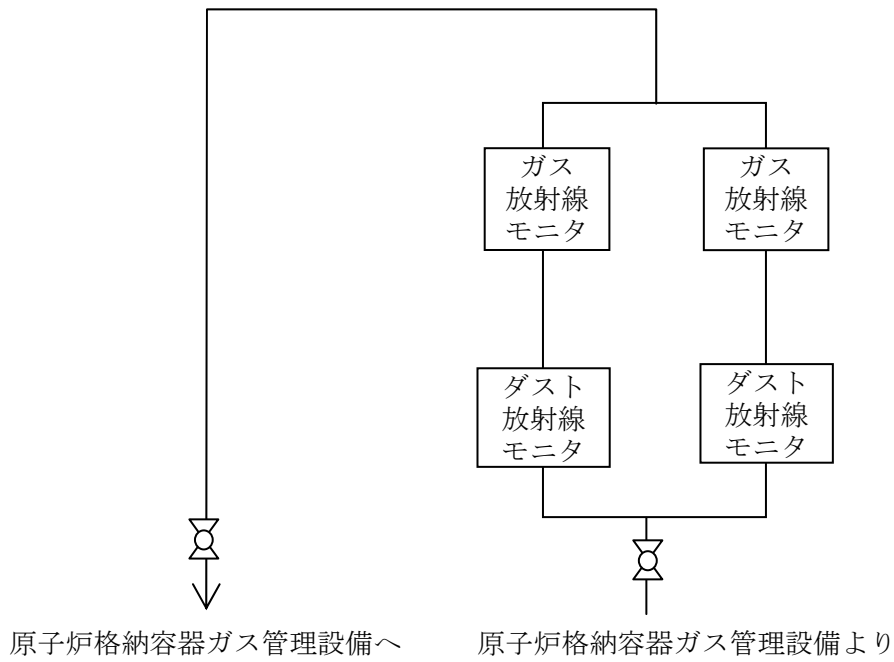


図2.15-2 1号機 ダスト放射線モニタ, ガス放射線モニタ検出器 系統概略図
(原子炉格納容器ガス管理設備出口)

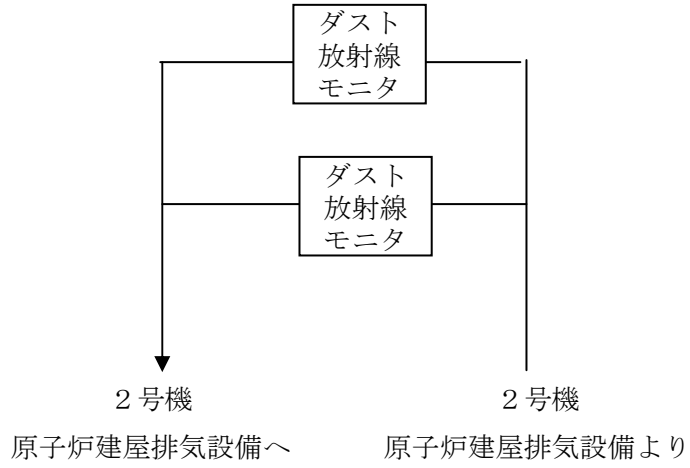


図 2. 15-3 2号機 ダスト放射線モニタ検出器 系統概略図
(原子炉建屋排気設備出口)

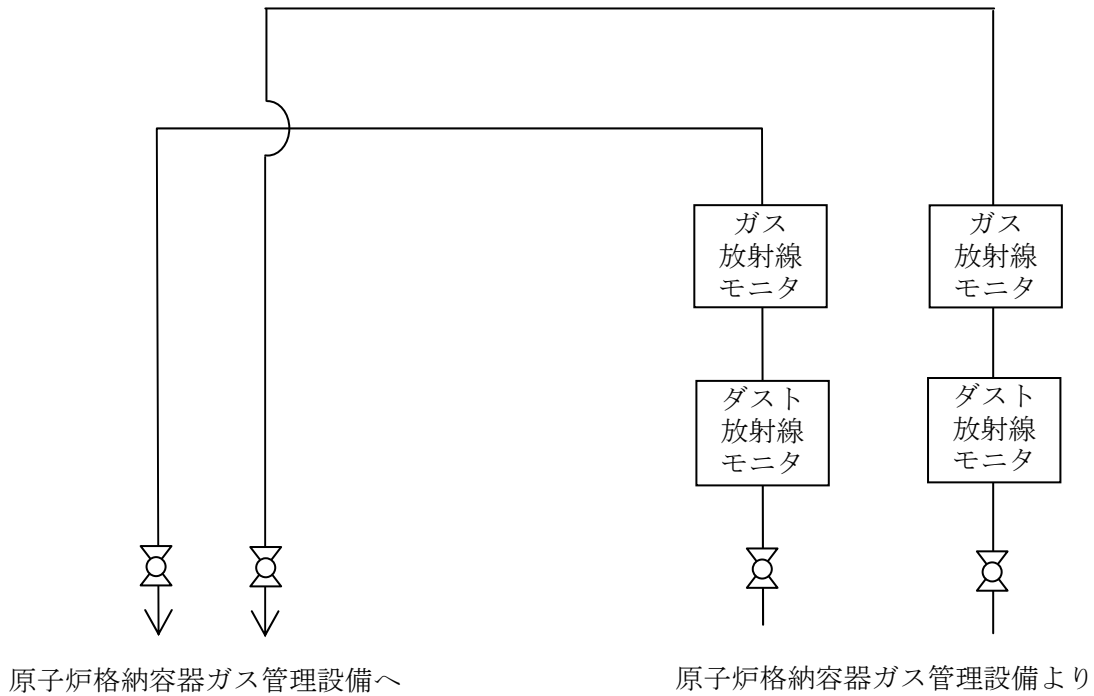


図 2. 15-4 2号機 ダスト放射線モニタ, ガス放射線モニタ検出器 系統概略図
(原子炉格納容器ガス管理設備出口)

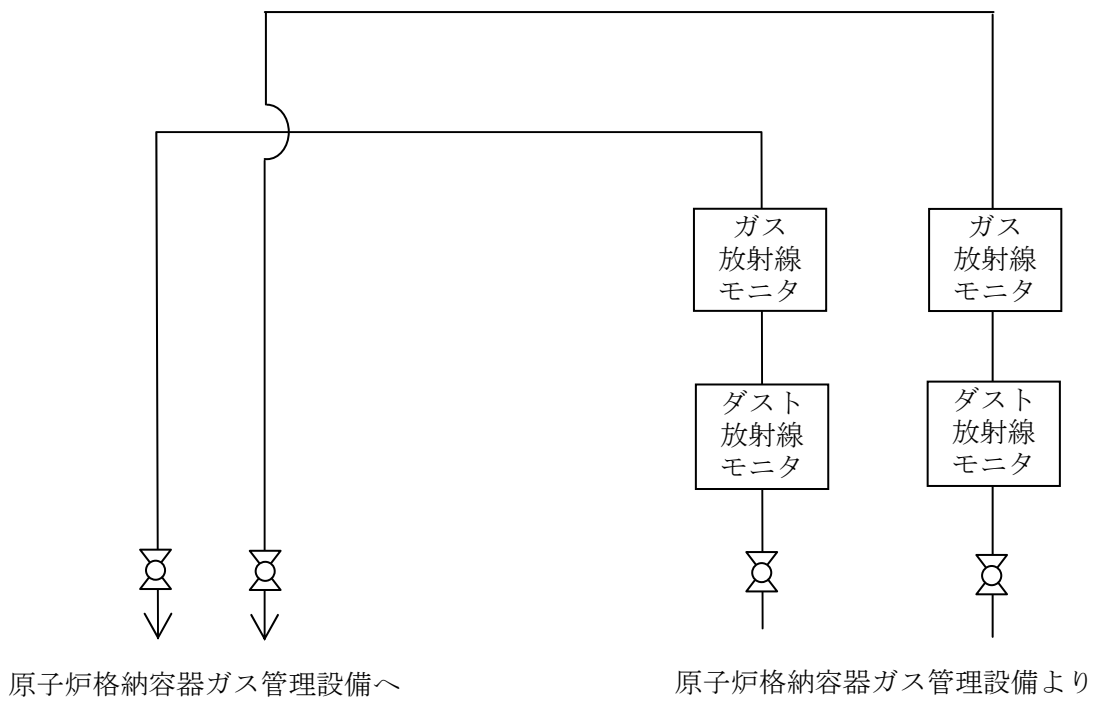


図2. 15-5 3号機 ダスト放射線モニタ, ガス放射線モニタ検出器 系統概略図
(原子炉格納容器ガス管理設備出口)

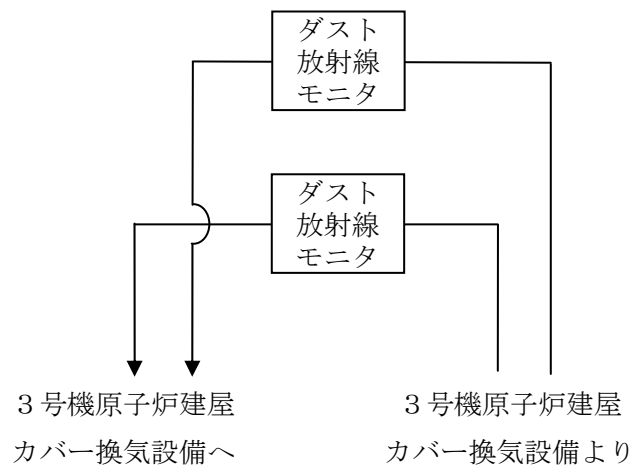


図2. 15-6 3号機 ダスト放射線モニタ検出器 系統概略図
(燃料取り出し用カバー換気設備出口)

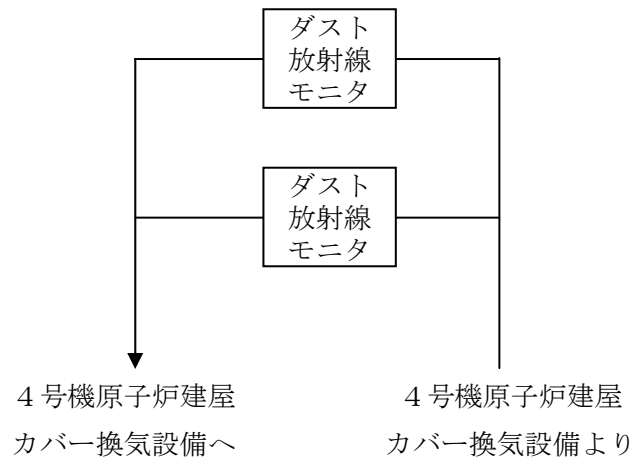


図2. 15-7 4号機 ダスト放射線モニタ検出器 系統概略図
(燃料取り出し用カバー換気設備出口)

モニタリングポストの配置図

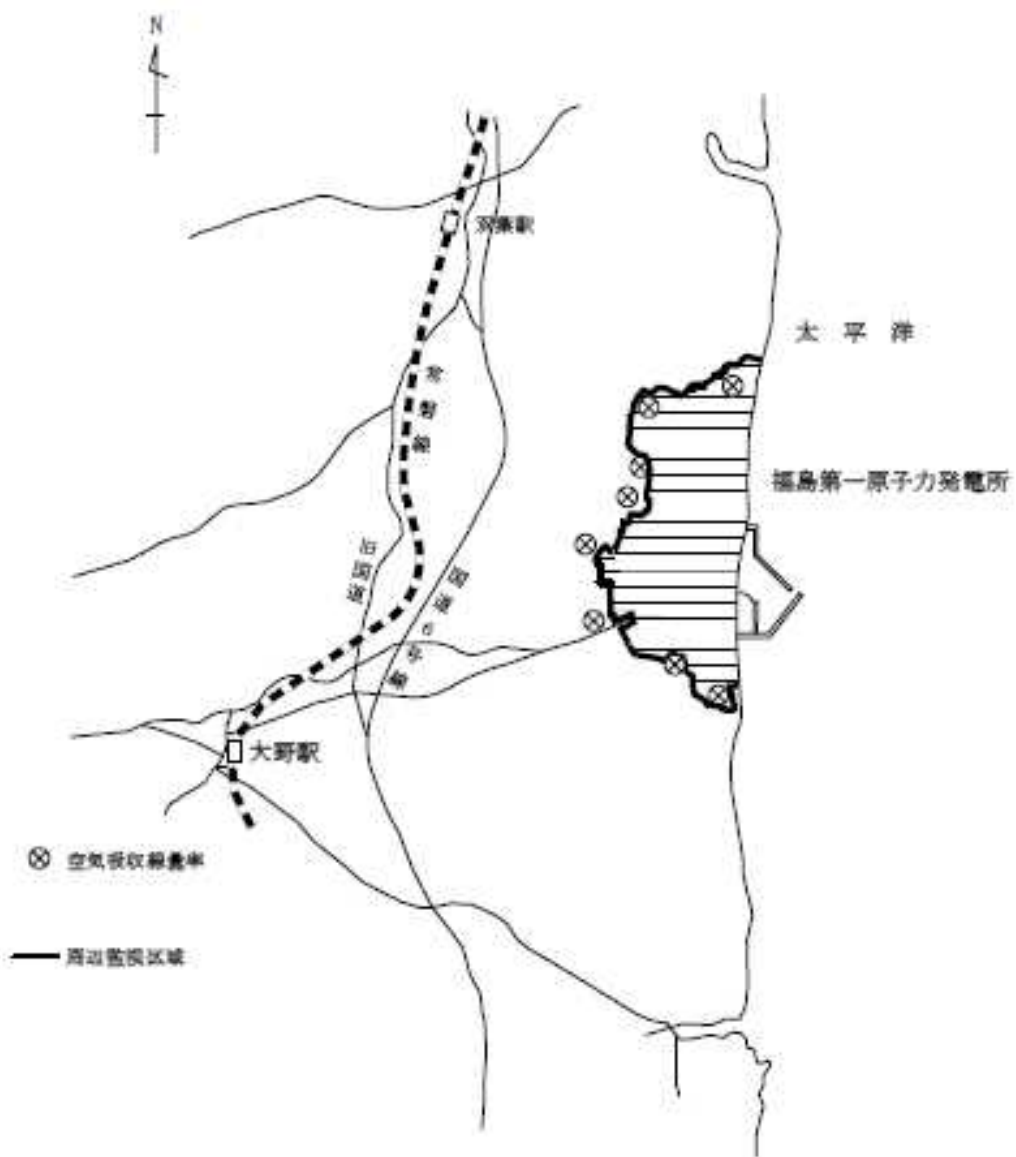


図2.15-8 モニタリングポスト配置図

2.41 放射性物質分析・研究施設第1棟

2.41.1 基本設計

2.41.1.1 設置の目的

放射性物質分析・研究施設第1棟（以下「第1棟」という。）は、福島第一原子力発電所（以下「発電所」という。）で発生する瓦礫類（瓦礫、資機材、土壌）、伐採木、可燃物を焼却した焼却灰、汚染水処理に伴い発生する二次廃棄物（使用済吸着材、沈殿処理生成物）等*（以下「分析対象物」という。）の性状を把握することにより、処理・処分方策とその安全性に関する技術的な見通し等を得るため、分析・試験を行うことを目的とする。

*瓦礫類（瓦礫、資機材、土壌）、伐採木、可燃物を焼却した焼却灰、汚染水処理に伴い発生する二次廃棄物（使用済吸着材、沈殿処理生成物）と同等の線量レベルのもの。

2.41.1.2 要求される機能

第1棟においては、分析対象物について、目的に応じた分析及び測定を行えること。

また、第1棟内で取り扱う放射性物質については、必要に応じて遮へいや漏えい防止・汚染拡大防止等を行うことにより、敷地周辺の線量を達成できる限り低減すること。

2.41.1.3 設計方針

2.41.1.3.1 分析対象物の分析

分析対象物の表面線量率、性状等に応じて、分析することが可能な形態（試料）に調製するため、第1棟には、鉄セル、グローブボックス、フード等を設置する。また、放射能分析、化学分析、物性測定等の分析を行うことができるようにする。

分析対象物のうち、表面線量率が1mSv/h以下のもの（以下「低線量分析対象物」という。）については、主にフード、グローブボックスで試料の調製を行う。表面線量率が1mSv/h を超え1Sv/h以下のもの（以下「中線量分析対象物」という。）については、主に鉄セルで分析対象物から試料を採取し、その後、主にフードで試料の調製を行う。

2.41.1.3.2 放射性の固体廃棄物の考慮

第1棟で発生する放射性の固体廃棄物（以下「第1棟固体廃棄物」という。）については、一時的に保管ができるようにする。

2.41.1.3.3 放射性の液体廃棄物の考慮

第1棟で発生する放射性の液体廃棄物（以下「第1棟液体廃棄物」という。）については、一時的に保管ができるようにする。第1棟液体廃棄物を一時的に保管するための設備については、次の各項を考慮した設計とする。

- ① 機器、配管等には環境や内部流体の性状に応じた適切な材料を使用するとともに、受槽には液位計を設置する。
- ② 液体廃棄物一時貯留設備については、万一、液体状の放射性物質が漏えいした場合の拡大を防止するため、堰を設置する。

- ③ 槽水位、漏えい検知等の警報については、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。

2.41.1.3.4 放射性気体廃棄物の考慮

換気空調設備については、鉄セル、グローブボックス、フード等の排気を、高性能フィルタにより、放射性物質を十分低い濃度になるまで除去した後、排気口から放出する設計としており、放出された放射性物質の濃度は、試料放射能測定装置により、「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」（平成二十五年四月十二日原子力規制委員会告示第三号）に定める濃度限度を下回ることを確認する。

2.41.1.3.5 構造強度

第1棟の建屋は「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会 2013年8月）」に基づく。

第1棟の設備（機器、配管等）は「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 2007年9月）」（以下「設計・建設規格」という。）に基づくが、これに該当しない設備（機器、配管等）については日本産業規格及び米国機械学会（ASME）規格に適合した信頼性を有する材料・施工方法等に基づく。

2.41.1.3.6 耐震性

第1棟の建屋及び設備の耐震設計は、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」（平成18年9月19日）に基づく。

2.41.1.3.7 火災防護

第1棟の建屋は、建築基準法及び関係法令に基づく耐火建築物とする。放射性物質を取り扱う鉄セル、グローブボックス、フードは、可能な限り不燃性材料又は難燃性材料を使用する設計とする。

また、火災の早期検知に努めるとともに、消火設備を設けることで初期消火を可能にし、火災により安全性を損なうことのないようにする。

2.41.1.3.8 被ばく低減

第1棟は、放射線業務従事者等の立入場所における線量を合理的に達成できる限り低減できるように、遮へい、機器の配置、放射性物質の漏えい防止、換気等の所要の放射線防護上の措置を講じた設計とする。

また、敷地周辺の線量を達成できる限り低減するため、遮へい等の所要の放射線防護上の措置を講じた設計とする。

2.41.1.3.9 閉じ込め機能

放射性物質を取り扱う設備は、放射性物質の漏えいを防止する設計とする。万一、放射性物質が漏えいした場合には、その漏えいを検知する機能を設ける。

鉄セル、グローブボックスは換気空調設備により、その内部を負圧にする設計とする。放射性物質を取り扱うフードの開口部については一定の風速を満たす設計とする。

放射性物質を取り扱う室の壁、床等で汚染のおそれのある部分の表面は平滑で、気体又は液体が浸透しにくく、腐食しにくいエポキシ樹脂等で塗装する。

2.41.1.4 供用期間中に確認する項目

第1棟から放出する排気については、放射性物質の濃度を環境に放出可能な値までに低減できていること。

2.41.1.5 主要な機器

2.41.1.5.1 分析設備

分析のための設備は、鉄セル、グローブボックス、フード及び各種分析装置から構成する。分析対象物を第1棟に搬入した後は、分析対象物を各種分析装置で分析可能な形態にするために、パネルハウス室、鉄セル、グローブボックス、フードにて試料の調製を行った後、放射能測定装置、化学分析装置、物性測定装置等を用いて分析を行う。

パネルハウス室では、低線量分析対象物が収納された容器から分析対象物を取り出し外観確認等を実施し、分析に必要な量を採取する。

鉄セルでは、中線量分析対象物が収納された容器から分析対象物を取り出し、グローブボックス及びフードにて取り扱える量の試料を採取する。

グローブボックスでは、パネルハウス室あるいは鉄セルにて採取された試料の内、飛散しやすいものに対して粉碎等の試料調製等を行う。

フードでは、パネルハウス室あるいは鉄セルにて採取された試料、グローブボックスにて調製された試料に対して、粉碎、溶解、分離などの試料調製等を行う。

測定室では、試料調製後の試料に対して、各種分析装置にて分析を行う。

小型受入物待機室では、分析対象物及びそこから分取した試料を一時的に保管する。

ライブラリ保管室では、分析対象物から採取した試料の一部を保存試料（ライブラリ）として、一時的に保管を行う。

2.41.1.5.2 固体廃棄物払出準備設備

第1棟固体廃棄物は、一時的に保管ができるようにする。一時的に保管した第1棟固体廃棄物は発電所内の放射性固体廃棄物等の管理施設等に払い出す。

2.41.1.5.3 液体廃棄物一時貯留設備

第1棟液体廃棄物は、一時的に保管ができるようにする。第1棟液体廃棄物は、中和したものを発電所内の放射性液体廃棄物関連施設に払い出す。本設備は、廃液の受槽、配管、廃液の移送を行うポンプ等で構成される。

2. 41. 1. 5. 4 換気空調設備

鉄セル、グローブボックス、フード並びに管理区域の諸室の排気は、高性能フィルタを有したフィルタユニットにて放射性物質濃度を十分に低減した後、排風機を介して排気口から大気放出する。

2. 41. 1. 5. 5 放射線管理設備（モニタリング設備）

排気口において排気中の放射性物質濃度を試料放射能測定装置により確認する。

2. 41. 1. 5. 6 遮へい壁

分析対象物、固体廃棄物払出準備設備、液体廃棄物一時貯留設備等からの放射線に対して、放射線業務従事者等を保護するため、必要に応じてコンクリートの壁・天井による遮へいを行う。

また、敷地周辺の線量を達成できる限り低減するために、分析対象物、固体廃棄物払出準備設備、液体廃棄物一時貯留設備等からの放射線について、コンクリートの外壁・天井による遮へいを行う。

2. 41. 1. 5. 7 第1棟の建屋

発電所西門北側に配置する第1棟の建屋は、鉄筋コンクリート造の地上3階で、平面が約45m（東西方向）×約70m（南北方向）の建物で、地上高さは約25mである。

2. 41. 1. 6 自然災害対策

2. 41. 1. 6. 1 津波

第1棟は、アウターライズ津波が到達しないと考えられるT.P. +約40mの場所に設置するため、津波の影響は受けない。

2. 41. 1. 6. 2 火災

火災検知器及び消火設備（屋内消火栓設備、消火器、不活性ガス消火設備及びハロゲン化物消火設備）を消防法及び関係法令に基づき適切に設置し、火災の早期検知、消火活動の円滑化を図る。

2. 41. 1. 6. 3 その他の自然災害（台風、竜巻、積雪等）

台風・竜巻など暴風時に係る建屋の設計は、建築基準法及び関係法令に基づく風圧力に対して耐えられるように設計する。なお、その風圧力は、その地方における観測記録に基づくものとする。豪雨に対しては、構造設計上考慮することはないが、屋根面の排水等、適切な排水を行うものとする。

その他自然現象としては、積雪時に係る建屋の設計は、建築基準法及び関係法令、福島県建築基準法施行細則第19条に基づく積雪荷重に耐えられるように設計する。なお、その積雪荷重は、その地方における垂直積雪量を考慮したものとする。

2. 41. 1. 7 構造強度及び耐震性

2. 41. 1. 7. 1 強度評価の基本方針

第1棟の建屋の構造強度は「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会 2013年8月）」に基づく。

第1棟を構成する設備（機器、配管等）のうち、「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、クラス3に位置付けられる機器、配管については、設計・建設規格に基づき設計・製作・検査を行う。クラス3に該当しない機器、配管等については日本産業規格及び米国機械学会（ASME）規格に適合した信頼性を有する材料・施工方法等に基づく。

2.41.1.7.2 耐震性評価の基本方針

第1棟の建屋及び設備の耐震設計は、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」（平成18年9月19日）に基づく。

また、その耐震性を評価するにあたっては、「JEAC4601-2008 原子力発電所耐震設計技術規程」に基づく。

2.41.1.8 機器の故障への対応

2.41.1.8.1 機器単一故障

(1) 負圧維持機能を有する動的機器の故障

第1棟の負圧維持機能を有する動的機器に関しては、複数台設置する。負圧維持機能を有する動的機器が故障した場合でも、待機している機器が起動することにより負圧を維持する。

(2) モニタリング設備の故障

試料放射能測定装置は、2チャンネルを有し、1チャンネル故障時でも他の1チャンネルで排気口における放射性物質濃度を確認可能とする。

(3) 電源喪失

第1棟の電源は2系統より受電する設計とし、1系統からの受電が停止した場合でも全ての負荷に給電できる構成とする。

2.41.1.8.2 複数の設備が同時に機能喪失した場合

第1棟の換気空調設備の排風機が複数同時に機能喪失した場合は、速やかに分析作業等中止する。

2.41.2 基本仕様

2.41.2.1 主要仕様

2.41.2.1.1 分析設備

(1) 鉄セル

名称			鉄セルNo. 1～ No. 4	
インナーボックス	主要寸法 (外寸)	高さ	mm	1750
		幅	mm	1500
		奥行	mm	1500
	主要材料		-	SUS304L
遮へい体	材料		-	SS400
	厚さ		mm	300以上
室数			室	4
備考			-	No. 1及びNo. 4は中線量分析対象物用容器の接続ポート有

(2) グローブボックス

基数 10基

(3) フード

基数 56基

吸引能力 面速0.5m/s以上 (1/3開口状態)

2.41.2.1.2 換気空調設備

(1) 鉄セル・グローブボックス用排風機

基数 2基

容量 1370m³/h/基

(2) フード用排風機

基数 3基

容量 66870m³/h/基

(3) 管理区域用排風機

基数 3基

容量 75000m³/h/基

(4) 管理区域用送風機

基数 3基

容量 135000m³/h/基

(5) 鉄セル・グローブボックス用排気フィルタユニット

名称			鉄セル・グローブボックス用排気フィルタユニット
主要寸法	高さ	mm	2300
	幅	mm	1000
	奥行	mm	1000
材料	ケーシング	-	SUS304
容量		m ³ /h/基	1370
基数		基	2

(6) フード用排気フィルタユニット

基数 7基
容量 11145m³/h/基

(7) 管理区域用排気フィルタユニット

基数 18基
容量 8824m³/h/基

(8) 主要排気管*1

名称			主要排気管
主要寸法	外径/厚さ	mm	60.5/3.5 (鉄セル排気出口から排気母管まで)
			318.5/4.5 (排気母管)
			267.4/4.0 (排気母管から鉄セル・グローブボックス用排気フィルタユニット入口まで)
材料	本体	-	SUS304TP

*1鉄セル排気出口から鉄セル・グローブボックス用排気フィルタユニット入口まで

2.41.2.1.3 液体廃棄物一時貯留設備

(1) 分析廃液中間受槽

名称		分析廃液中間受槽	
公称容量	m ³	7	
最高使用圧力	MPa	静水頭	
最高使用温度	℃	66	
主要寸法	高さ (外寸)	mm	2689
	胴径 (内寸)	mm	2000
	厚さ	mm	9
材料	-	SUS316L	
基数	基	1	

(2) 分析廃液受槽 A~C

名称		分析廃液受槽A~C	
公称容量	m ³	30	
最高使用圧力	MPa	静水頭	
最高使用温度	℃	66	
主要寸法	高さ (外寸)	mm	3391
	胴径 (内寸)	mm	3800
	厚さ	mm	9
材料	-	SUS316L	
基数	基	3	

(3) 塩酸含有廃液受槽

名称		塩酸含有廃液受槽	
公称容量	m ³	0.6	
最高使用圧力	MPa	静水頭	
最高使用温度	℃	66	
主要寸法	高さ (外寸)	mm	1476
	胴径 (内寸)	mm	900
	厚さ	mm	9
材料	-	SM400A	
基数	基	1	

(4) 分析廃液移送ポンプA, B

名称		分析廃液移送ポンプA, B	
容量		m ³ /h/基	15
主要寸法	高さ	mm	385
	横	mm	685
	たて	mm	530
基数		基	2

(5) 設備管理廃液受槽 A, B

名称		設備管理廃液受槽 A, B	
公称容量		m ³	30
最高使用圧力		MPa	静水頭
最高使用温度		℃	66
主要寸法	高さ (外寸)	mm	4191
	胴径 (内寸)	mm	3800
	厚さ	mm	9
材料		-	SUS304
基数		基	2

(6) 主要配管

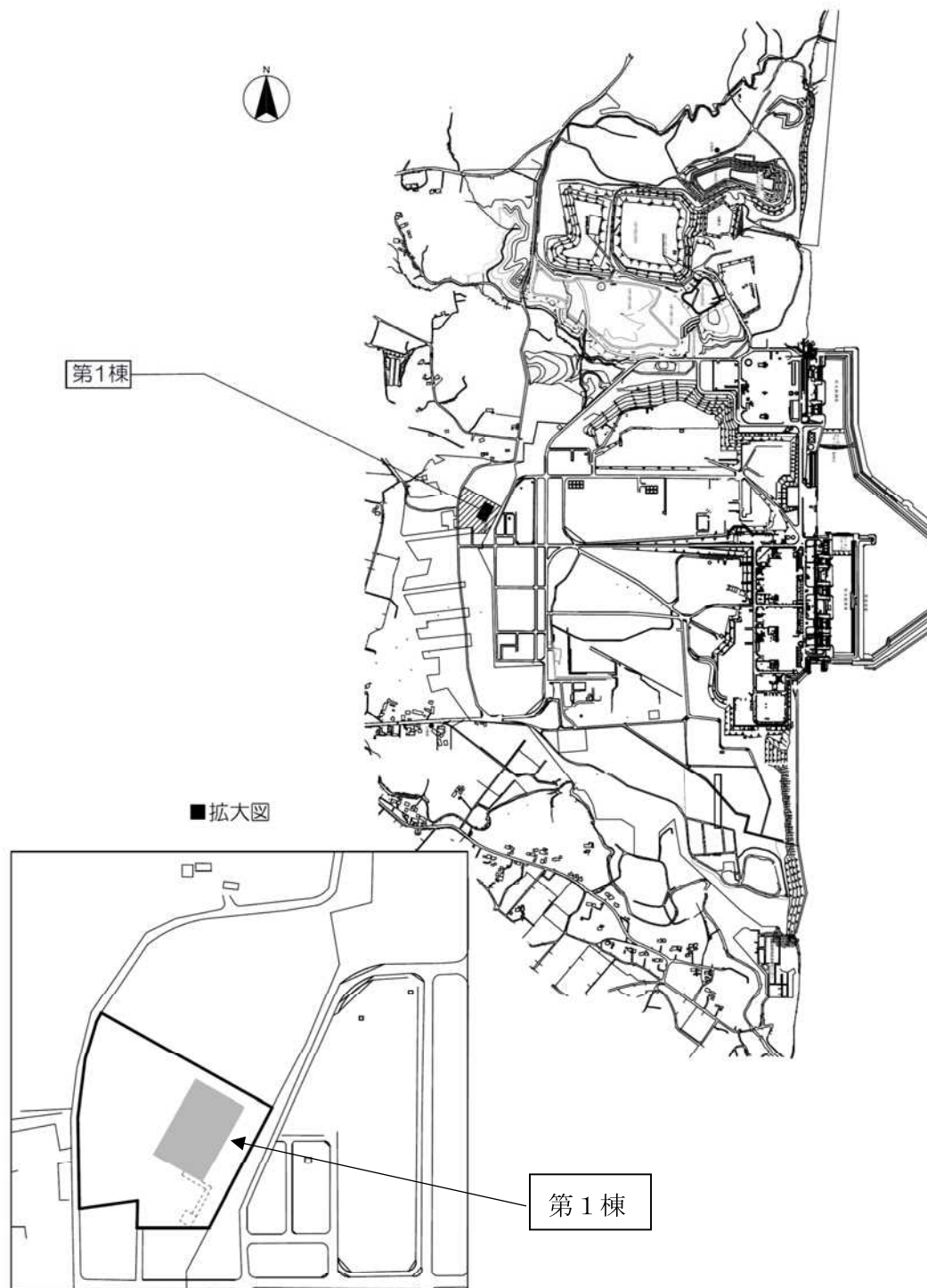
名称	仕様	
分析廃液中間受槽出口から分析廃液移送ポンプ入口まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材料 最高使用圧力 最高使用温度	65A (Sch. 40) SUS316LTP 0.98MPa 66℃
分析廃液移送ポンプ出口から分析廃液受槽A～C入口まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材料 最高使用圧力 最高使用温度	40A (Sch. 40) SUS316LTP 0.98MPa 66℃
分析廃液受槽A～C出口から分析廃液払出口まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材料 最高使用圧力 最高使用温度	50A (Sch. 40) SUS316LTP 大気圧+Vac. 66℃
設備管理廃液受槽A, B出口から設備管理廃液払出口まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材料 最高使用圧力 最高使用温度	50A (Sch. 40) SUS304TP 大気圧+Vac. 66℃

2.41.2.1.4 補助遮へい

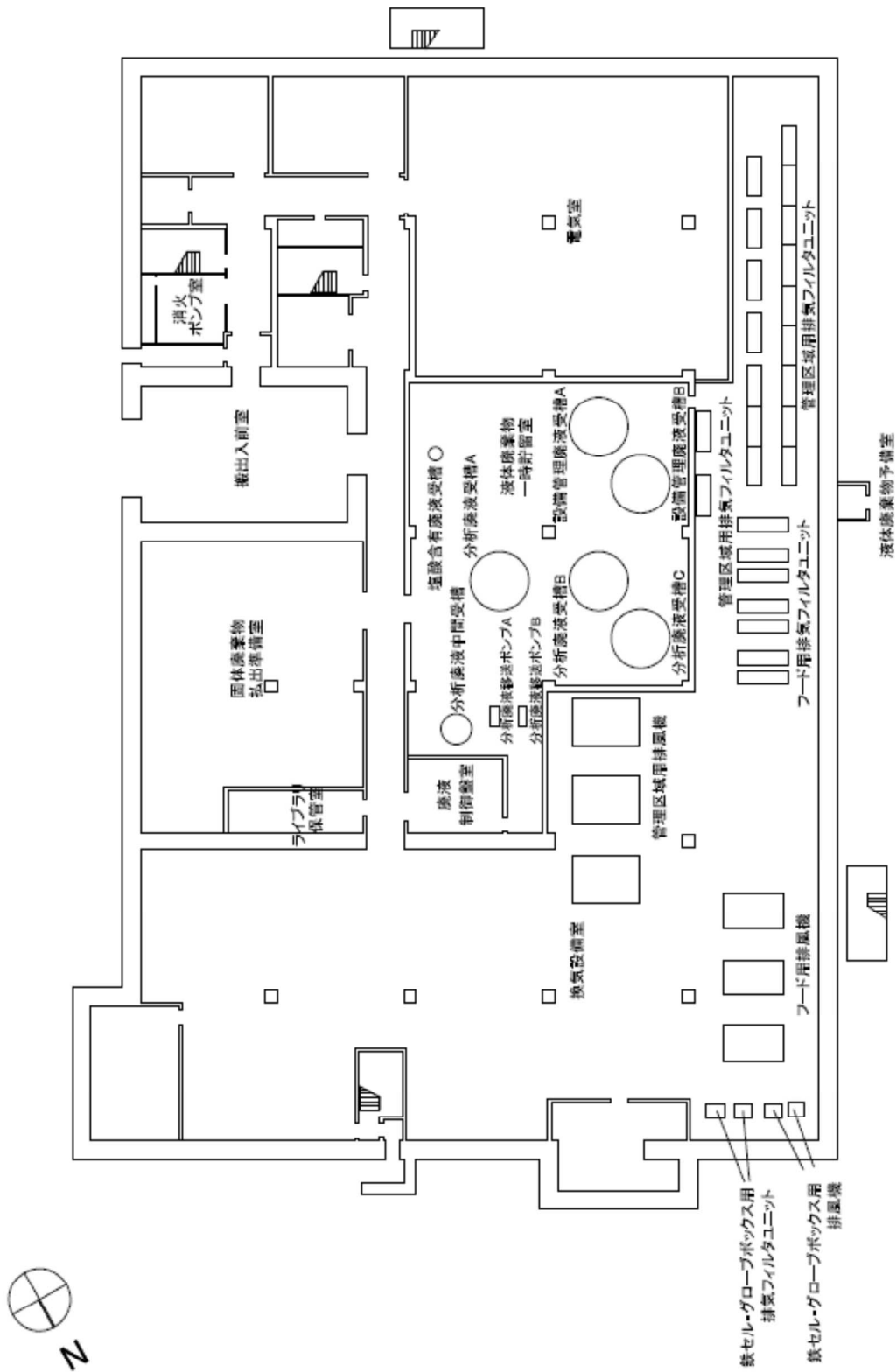
	種 類	遮へい厚 (mm)	冷却方法	材 質
1 階	建屋外壁（北，南，東，西側）	700	自然冷却	普通コンクリート (密度2.1g/cm ³ 以上)
	2階床	350		
	固体廃棄物払出準備室（南側）	500		
	ライブラリ保管室（南，東側）	250		
	搬出入前室（南側の一部）	200		
	換気設備室（南側）	250		
	電気室（北，西側）	250		
2 階	建屋外壁（北，南，東，西側）	600	自然冷却	普通コンクリート (密度2.1g/cm ³ 以上)
	3階床	350		
	パネルハウス室（南側）	600		
	パネルハウス室（北側）	350		
	パネルハウス室（西側）	250		
	鉄セル室（西側）	250		
	グローブボックス室（東側）	250		
	小型受入物待機室（北，東，西側）	250		
	小型受入物待機室（南側）	100		
	フード室（1）（南，東，西側）	250		
	搬出入前室（南側の一部）	200		
3 階	建屋外壁（北，南，東，西側）	600	自然冷却	普通コンクリート (密度2.1g/cm ³ 以上)
	屋上床	250		
	測定室（1）（西，南側）	250		
	測定室（2）（西側）	250		
	測定室（3）（南側）	600		
	搬出入前室（南側の一部）	200		

2.41.3 添付資料

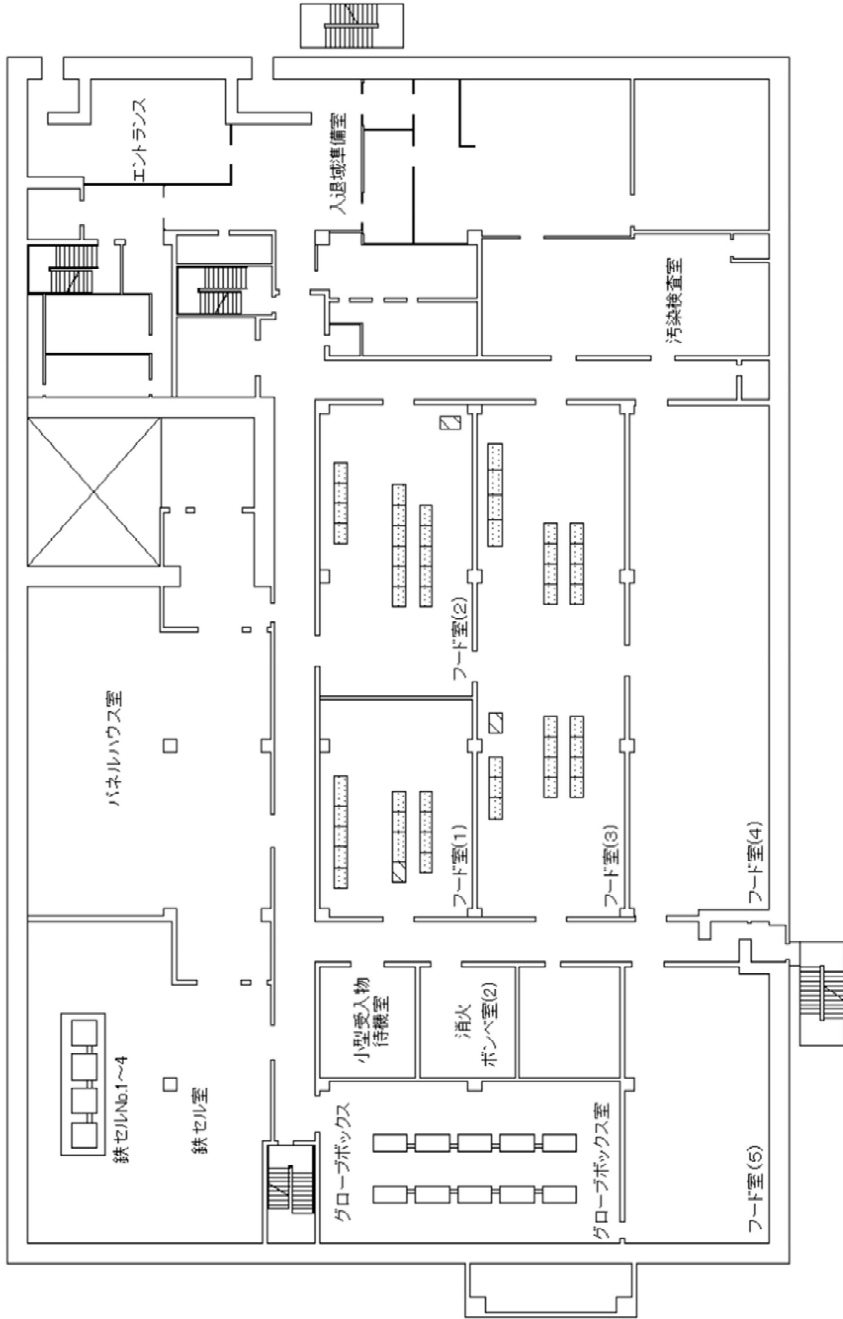
添付資料-1	第1棟の全体概要図
添付資料-2	第1棟の機器配置図
添付資料-3	第1棟の分析試料等フロー図
添付資料-4	第1棟の主要分析機器一覧表
添付資料-5	第1棟の換気空調設備概略系統図
添付資料-6	第1棟の液体廃棄物一時貯留設備概略系統図
添付資料-7	第1棟の施設外への漏えい防止能力についての計算書
添付資料-8	第1棟の遮へいに関する検討書
添付資料-9	第1棟の機器構造図
添付資料-10	第1棟の火災防護に関する説明書並びに消火設備の取付箇所を明示した図面
添付資料-11	第1棟の安全避難通路に関する説明書及び安全避難通路を明示した図面
添付資料-12	第1棟の非常用照明に関する説明書及び取付箇所を明示した図面
添付資料-13	第1棟の設置について
添付資料-14	第1棟の分析対象物に含まれている可能性のある核燃料物質について
添付資料-15	第1棟の液体廃棄物一時貯留設備及び換気空調設備における適切な材料の使用について
添付資料-16	第1棟の液体廃棄物一時貯留設備に関する警報について
添付資料-17	第1棟の緊急時対策について
添付資料-18	第1棟の運転員の誤操作の防止について
添付資料-19	第1棟の建屋の構造強度及び耐震強度に関する検討結果
添付資料-20	第1棟の設備の構造強度に関する検討結果
添付資料-21	第1棟の設備の耐震強度に関する検討結果
添付資料-22	第1棟に係る確認事項



第1棟の全体概要図

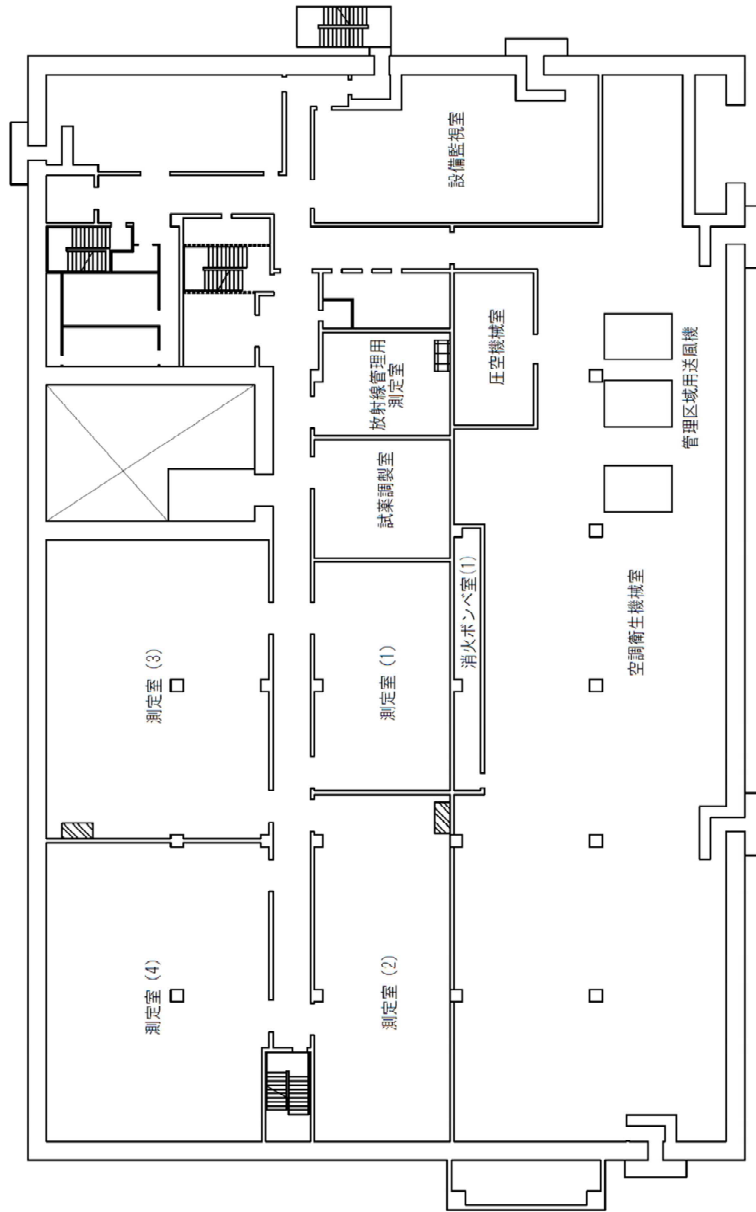


第1棟の機器配置図 1階



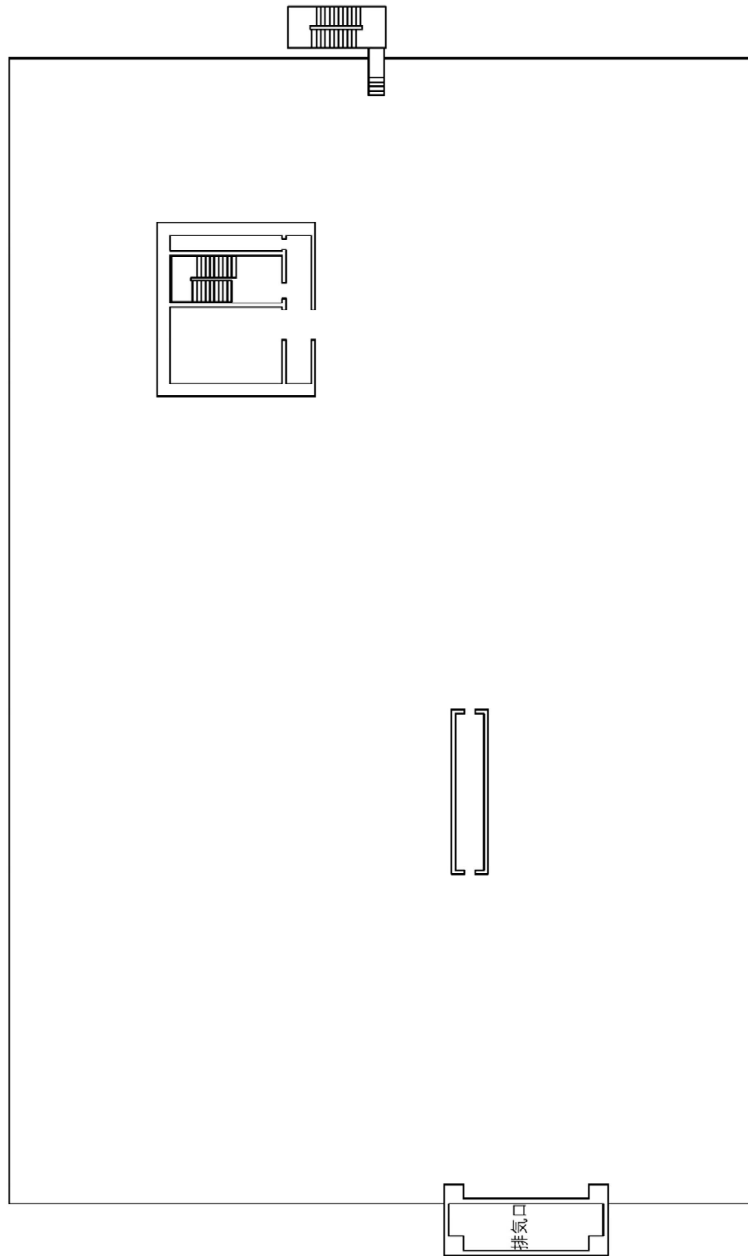
凡例	
	分析用フード
	廃液処理用フード

第1棟の機器配置図 2階

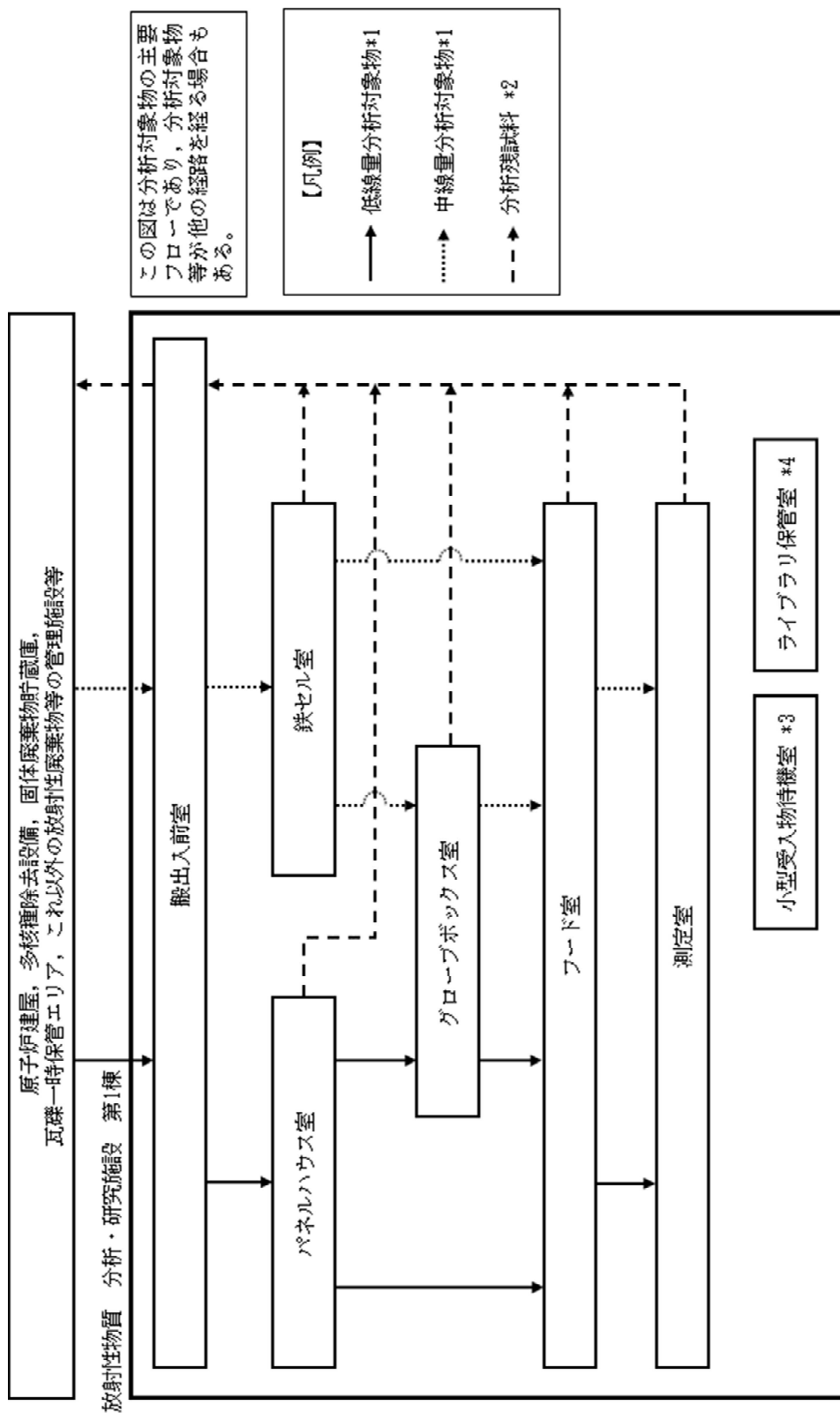


凡例	
▨	測定室用フード
▤	放射線管理用フード

第1棟の機器配置図 3階

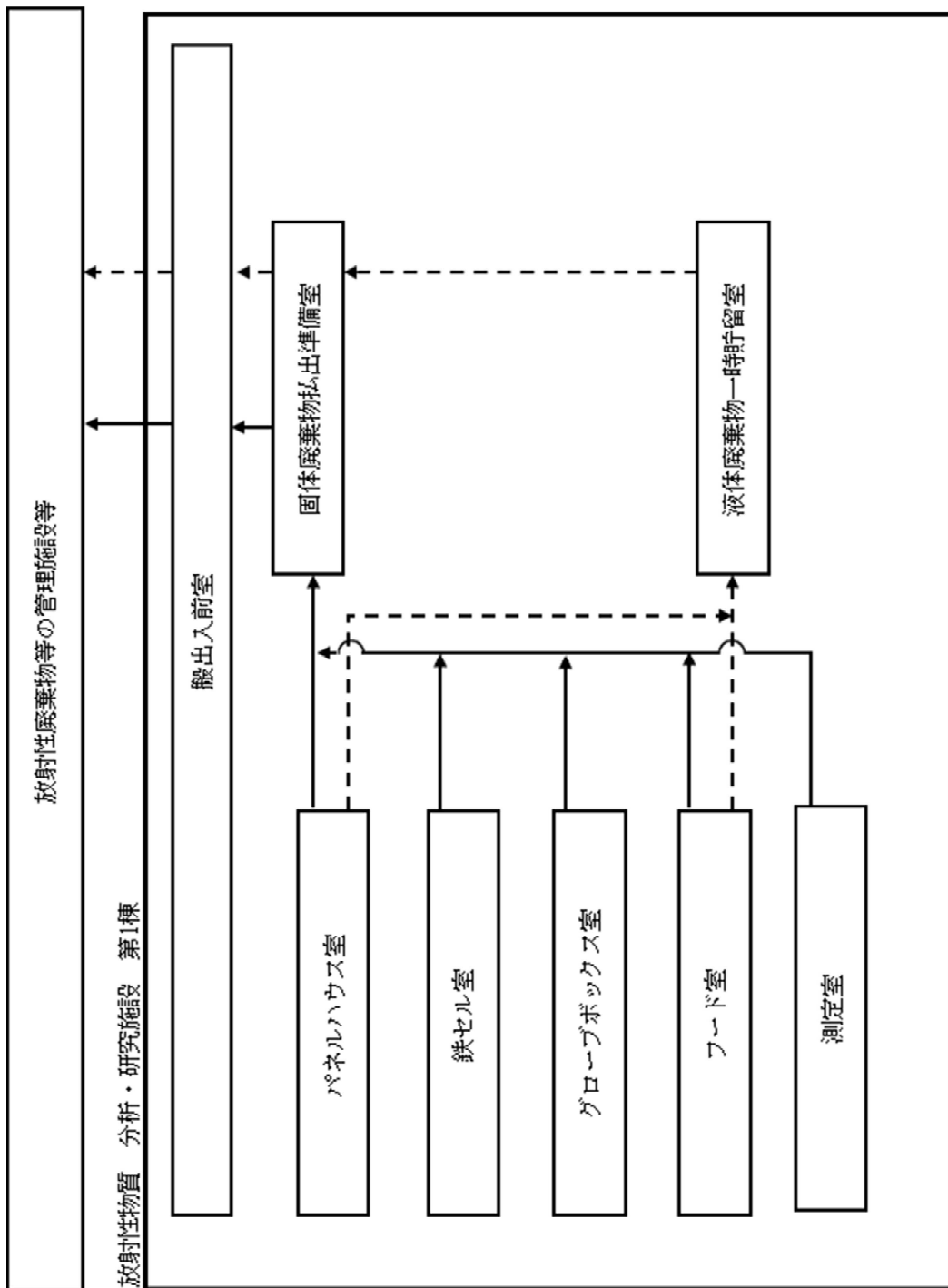


第1棟の機器配置図 屋上階



*1: 発電所より分析対象として第1棟に搬入した試料及びそこから一部採取し分析に使用する試料。
 *2: 分析対象物から分析のために一部採取した後に残ったもの及び分析に使用したもので, 化学的処理等が施されておらず, 元の分析対象物と同様な管理手法で保管することが可能なもの。
 *3: 小型受入物待機室では, 分析対象物を搬入してから分析に必要な試料を採取するまでの期間一時的に保管し, また, 採取後, 分析が終了し, 第1棟から払い出すまでの期間, 分析対象物を一時的に保管する。
 *4: ライブラリ保管室では, 保存試料(ライブラリ)を一時的に保管する。

第1棟の分析試料等フロー図 (1)主要分析対象物等フロー図



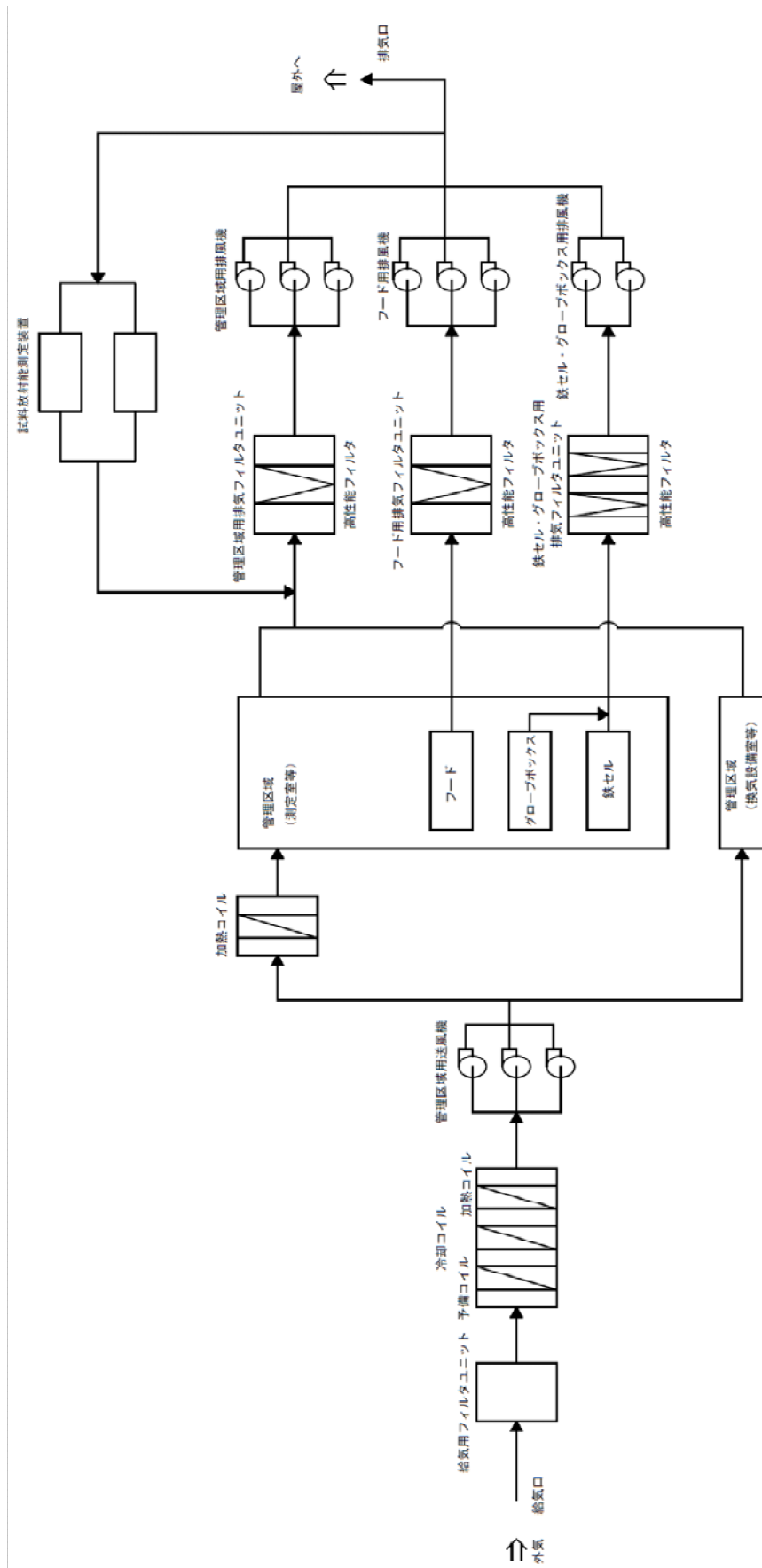
*：第1棟において発生する廃棄物量は、年間分析試料数、分析方法、施設の運転条件といったものに伴って変動しうるが、年間分析試料数200とし、給気・排気フィルタについての保守的な想定として交換頻度1回/年といたった仮定の下で試算すると、第1種固体廃棄物の年間発生量は約238m³/年程度となる。その第1種からの私出頻度については、数か月1回程度を目安とすることを想定している。

第1棟において発生する廃棄物量は、年間分析試料数、分析方法、施設の運転条件といったものに伴って変動しうるが、年間分析試料数200といたった仮定の下で試算すると、第1種液体廃棄物のうち、分析に伴って発生する廃液の年間発生量は約102m³/年程度となる。その第1種からの私出頻度については、数か月1回程度を目安とすることを想定している。

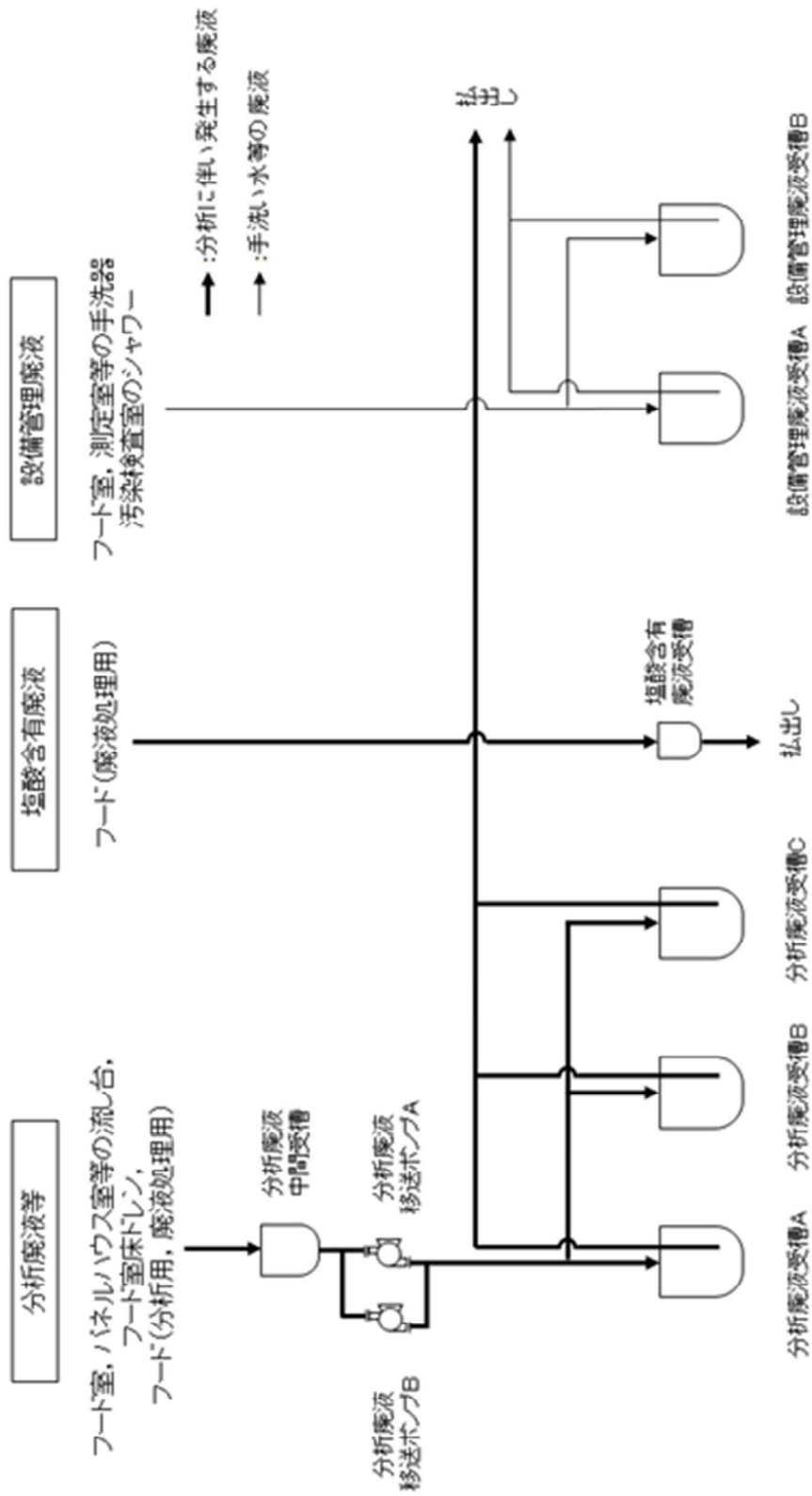
第1棟の分析試料等フロー図 (2) 主要廃棄物フロー図

第1棟の主要分析機器一覧表

分 析 装 置	数 量
液体シンチレーションカウンタ ガンマ線スペクトロメータ アルファ線スペクトロメータ ガスフローカウンタ 高周波誘導結合プラズマ発光分光分析装置 高周波誘導結合プラズマ質量分析装置 イオンクロマトグラフ 走査型電子顕微鏡・エネルギー分散型 X線分析装置等	一 式



第1棟の換気空調設備概略系統図



第1棟の液体廃棄物一時貯留設備概略系統図

第1棟の施設外への漏えい防止能力についての計算書

1. 液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

液体廃棄物一時貯留設備において、第1棟液体廃棄物を一時的に保管する受槽（以下「槽」という。）は、漏えい拡大防止のための堰内に設置する。堰は、堰内に設置する槽の漏えい廃液を全量保持できる容量とする。表-1に漏えい防止能力の評価を示す。

表-1 漏えい防止能力の評価

堰*	堰名	槽容量 [m ³]	想定する最大の 漏えい量[m ³]	堰の床面積 [m ²]	見込み高さ* [cm]	必要な堰の高さ [cm]	堰の高さ [cm]		評価
							A	E	
(1)	分析廃液中間受槽	7	7	35	16	D=A/B×100+C	E	100以上	堰の高さは想定する最大の漏えい廃液を保持するのに必要な高さを満足しており、施設外へ漏えいを防止できる。
	分析廃液受槽A	30	90	150	12	72	100以上		
		分析廃液受槽B						30	
(2)	分析廃液受槽C	30	60.6	156	9	48	100以上		
	塩酸含有廃液受槽	0.6							
(3)	設備管理廃液受槽A	30	60.6	156	9	48	100以上		
	設備管理廃液受槽B	30							

*1 図-1の番号に対応

*2 基礎体積による高さ増加分（基礎体積÷槽を設置する堰の床面積）

2. 液体廃棄物一時貯留設備の堰に関する説明

液体廃棄物一時貯留設備の堰の配置を図-1に示す。また、堰の主要寸法及び材料について、表-2に示す。

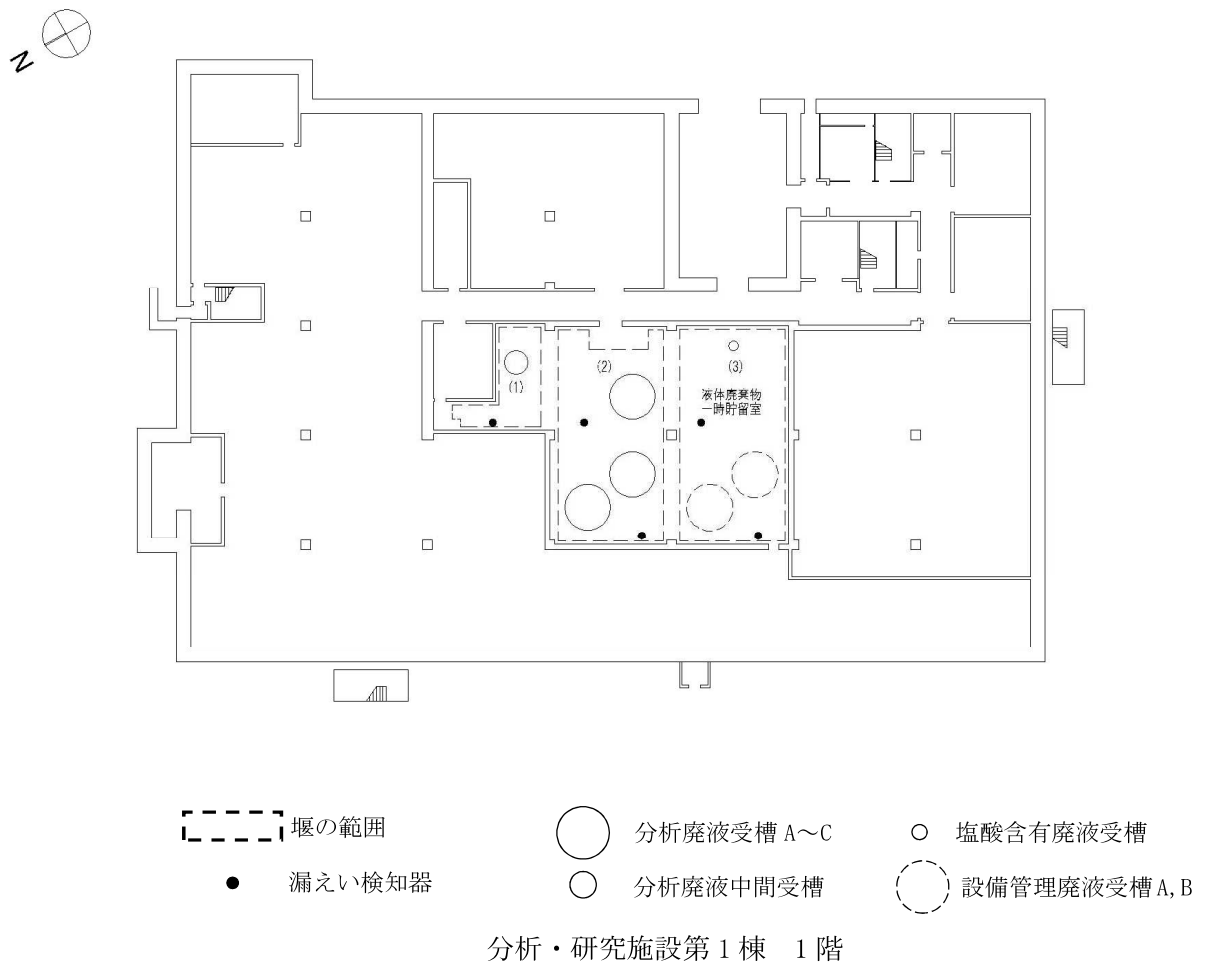


図-1 液体廃棄物一時貯留設備 堰を明示した図

表-2 堰の主要寸法及び材料

名称		液体廃棄物一時貯留設備 漏えい防止堰(1)～(3)
主要寸法	堰の高さ	1000mm以上
	床・壁の塗装	床面及び床面から堰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

3. 床及び壁の塗装

3.1 塗装の耐水性

床、壁はエポキシ樹脂を使用して塗装することにより耐水性を確保する。

3.2 塗装の範囲

塗装の範囲は、第1棟液体廃棄物を内包する槽の漏えい廃液を全量保持できるように設計した床、堰及び床面から堰の高さ以上までの壁とする。概念図を図-2に示す。

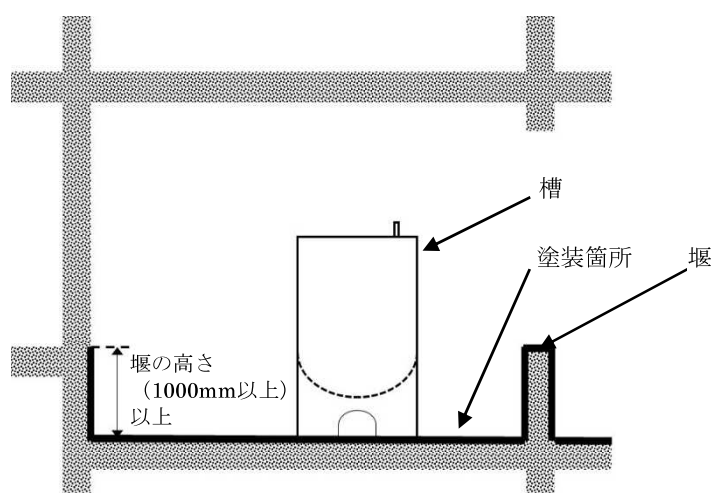


図-2 堰の塗装範囲

4. 配管及び電気配線並びに排気管及び空調ダクトの貫通部

4.1 配管

図-1の堰内の範囲の貫通部は原則として、壁については堰の高さ以上に設け、床については堰の高さ以上までスリーブを立ち上げる。やむを得ず堰の高さ未満となる場合には防水処理を施す。

4.2 電気配線（ケーブルトレイ、電線管）

図-1の堰内の範囲の貫通部は原則として、壁については堰の高さ以上に設け、床については貫通部を設けない。やむを得ず堰の高さ未満となる場合には防水処理を施す。

4.3 排気管及び空調ダクト

図-1の堰内の範囲の貫通部は原則として、壁については堰の高さ以上に設け、床については貫通部を設けない。やむを得ず堰の高さ未満となる場合には防水処理を施す。

第1棟の遮へいに関する検討書

1. 一般事項

本計算書は、第1棟における生体遮へい装置（以下「補助遮へい」という。）の放射線の遮へい及び熱除去に関する評価について説明するものである。

1.1 遮へい設計評価の基本方針

第1棟は、建屋躯体を用いた補助遮へいで区画し、その補助遮へいの厚さに対し、第1棟の各線源からの線量率計算結果が、外部放射線に係る設計基準線量率 $2.6 \times 10^{-3} \text{mSv/h}$ 以下を満足していることを確認することにより、遮へい設計が十分であるものと評価する。

1.2 遮へい設計の設計基準線量率

遮へい設計においては、通常運用時、放射線業務従事者等の受ける線量が「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」（平成二十五年四月十二日原子力規制委員会告示第三号）に定める線量限度を超えないようにするとともに、放射線業務従事者等の立入場所における線量を合理的に達成できる限り低減するように、放射線防護上の措置を講じた設計とする。遮へい設計に際しては、第1棟の各線源からの外部放射線に係る線量率が、設計基準線量率 $2.6 \times 10^{-3} \text{mSv/h}$ 以下を満足する設計とする。

1.3 遮へい設計の方法

第1棟の補助遮へいの設計方法は、以下のとおりである。

- (1) 第1棟においては、福島第一原子力発電所で発生する瓦礫類（瓦礫、資機材、土壌）、伐採木、可燃物を焼却した焼却灰、汚染水処理に伴い発生する二次廃棄物（使用済吸着材、沈殿処理生成物）等*（以下「分析対象物」という。）を取扱う。線源となる分析対象物は、原則としてコンクリートの遮へい壁で囲まれた区画に収容する。

* 瓦礫類（瓦礫、資機材、土壌）、伐採木、可燃物を焼却した焼却灰、汚染水処理に伴い発生する二次廃棄物（使用済吸着材、沈殿処理生成物）と同等の線量レベルのもの。

- (2) 第1棟の通常運用時に予想される線源強度で、実効線量率が最大となるときの線源強度を計算する。
- (3) 遮へい計算は、対象となる線源の線源強度及び幾何学的形状を勘案して適切な計算機コードを選択し、機器配置を考慮して補助遮へい外側表面の線量率を計算する。

1.4 遮へい設計の前提条件

補助遮へいの遮へい設計に用いる前提条件は、以下のとおりである。

- (1) コンクリートの密度は 2.1g/cm^3 とする。
- (2) 計算モデル化に際しては、保守的な評価となるようにする。

1.5 熱除去に関する設計

第1棟の補助遮へいは、取り扱われるものが、1.3(1)で示した分析対象物であることから、コンクリート壁に入射するガンマ線フラックスが低いので、コンクリート壁での発熱量は小さく、また建屋内は換気空調設備で熱除去される。

2. 補助遮へいの計算に用いる線源強度

第1棟における補助遮へいの対象となる線源は、分析対象物及びそれらから分析のために採取した試料である。

各線源の強度は、表-1に示す分析対象物に内包する放射能に基づき設定する。なお、分析対象物の放射能は、その表面線量率が1mSv/h（低線量分析対象物）または1Sv/h（中線量分析対象物）となる条件から求めたものであり、線源核種としてCo-60を想定した。

表-1 遮へい計算に用いる分析対象物の放射能

核種	放射能 (Bq)		
	低線量分析対象物 (小型)	低線量分析対象物 (大型)	中線量分析対象物
Co-60	9.3×10^7	6.4×10^8	2.2×10^{10}

3. 補助遮へいの遮へい計算

3.1 計算方法

第1棟の遮へい計算には、計算機コード「MCNP」を用いる。計算機コードの主な入力条件は以下の項目である。

- ・線源の放射能
- ・線源のエネルギースペクトル
- ・線源形状
- ・遮へい厚さ
- ・線源からの距離
- ・遮へい体の物質の指定

3.2 線量率計算

補助遮へい外側表面の線量率計算は、3.1に示した入力条件を計算機コードに入力して行う。

3.2.1 線量率計算モデル

線量率の評価位置は、線源強度及び遮へい厚さが異なる代表的な壁及び天井スラブの外側表面において線量率が最大になる箇所とする。

線源強度は表-1の分析対象物の放射能に基づき設定する。

図-1～4の計算配置図に第1棟の線源配置と個数及び評価点位置を示す。

(1) 固体廃棄物払出準備室の計算モデル

固体廃棄物払出準備室で取り扱う第1棟固体廃棄物が収納された角型容器の数量は最大で128個相当であるが、解析における線源形状・寸法は表-2に示すとおりとし、各角型容器間の空間もすべて線源とした直方体線源とする。

東側外壁表面（評価点①）の線量率の計算に用いる線源の形状・寸法、壁の厚さ、評価点の位置を図-5に示す。線源の放射能は、表-2に示した放射能とする。評価点位置は、線量率が最大となる位置とする。

(2) 液体廃棄物一時貯留室の計算モデル

第1棟液体廃棄物の分析廃液受槽（以下「槽」という。）は3基設置されているが、槽3基分の放射能が評価点側に最も近い槽に存在するものと想定し、円筒形状の槽を円柱線源としてモデル化した。評価点位置は、線量率が最大となる位置とする。線源の放射能は、表-2に示した放射能とする。

a. 外壁

西側外壁表面（評価点②）の線量率の計算に用いる線源の形状・寸法、壁の厚さ、評価点の位置を図-6に示す。

b. 電気室

電気室側境界（評価点③）の線量率の計算に用いる線源の形状・寸法、壁の厚さ、評価点の位置を図-7に示す。

(3) フード室 (2) 及び (3) の計算モデル

フード室 (2) 及び (3) の線源は、点線源としてモデル化する。

フード室 (2) 及び (3) の南側方向（評価点④）の線量率の計算に用いる線源の形状・寸法、評価点の位置を図-8に示す。

フード室 (3) の天井方向（評価点⑤）の線量率の計算に用いる線源の形状・寸法、評価点の位置を図-9に示す。

評価点位置は、線量率が最大となる位置とする。線源の放射能は、表-2に示した放射能とする。

(4) 測定室 (2) の計算モデル

測定室 (1)～(4) の4室分の放射能が評価点側に最も近い1室（測定室 (2)）に存在するものとし、点線源としてモデル化する。

空調衛生機械室側の側壁及び天井の遮へい厚さは共に250mmであること、また線源から側壁あるいは天井までの距離は設計距離より短い安全側の条件として、1000mmと設定し、共通の計算モデルを用いることとする。

側壁方向（評価点⑥）及び天井方向（評価点⑦）の線量率の計算に用いる線源の形状・寸法、評価点の位置を図-10に示す。評価点位置は、線量率が最大となる位置とする。線源の放射能は、表-2に示した放射能とする。

表-2 評価対象における放射能

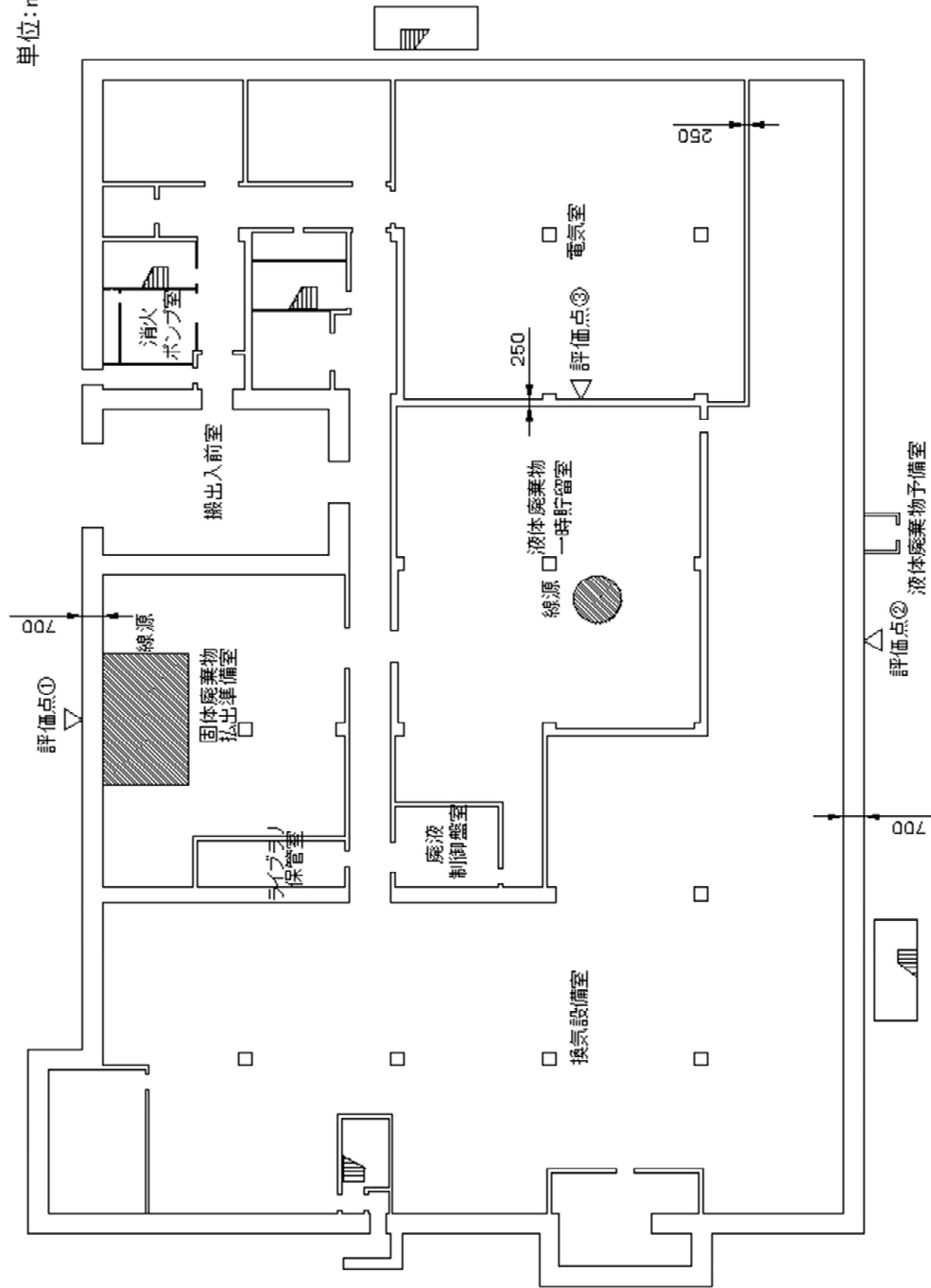
評価対象	線源強度 (Bq)	線源形状
(1) 固体廃棄物払出準備室	1.1×10^8	縦5940mm×横5940mm×高さ3530mm 直方体線源
(2) 液体廃棄物一時貯留室	3.7×10^7	直径3800mm×高さ1940mm 円柱線源
(3) フード室 (2) 及び (3)	各 2.4×10^5	点線源
(4) 測定室 (2)	3.7×10^5	点線源

3.2.2 線量率計算結果

補助遮へい外側表面の線量率は、いずれのエリアも設計基準線量率 2.6×10^{-3} mSv/h以下を満足することを確認した。

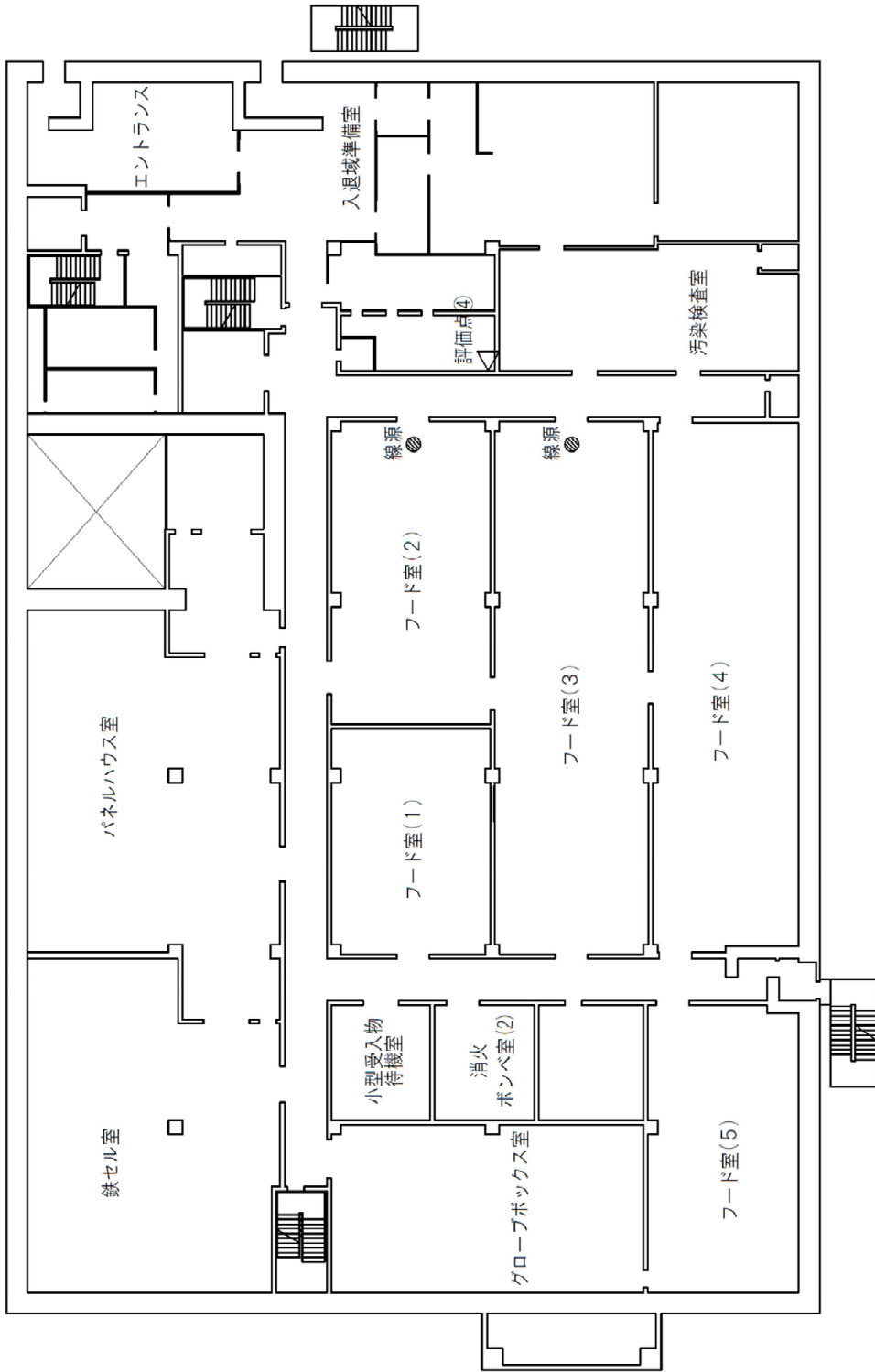


単位: mm



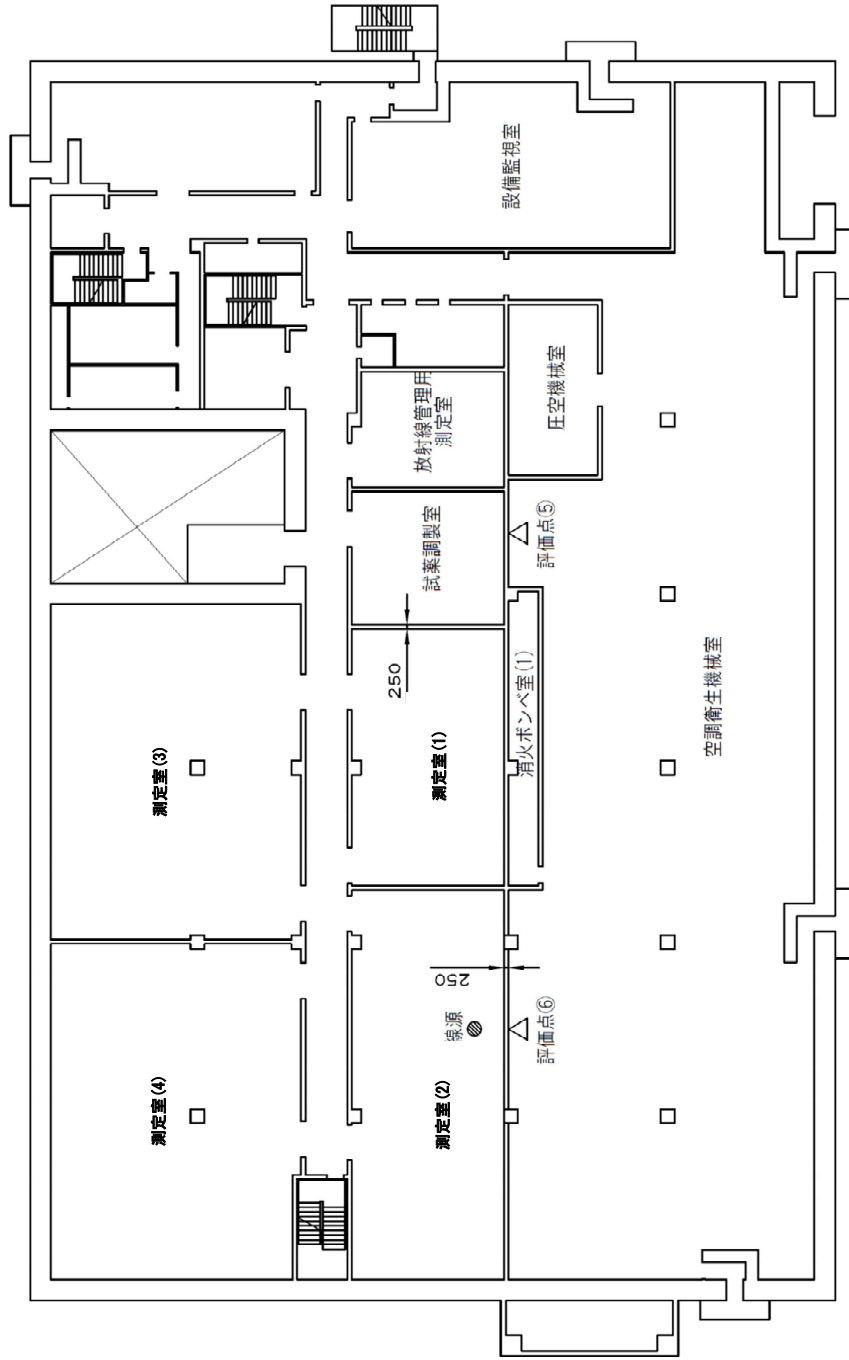
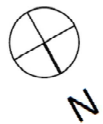
※寸法は遮へい厚さを示す。

図一1 第1棟の計算配置図 1階



図一2 第1棟の計算配置図 2階

単位：mm



※寸法は遮へい厚さを示す。

図-3 第1棟の計算配置図 3階

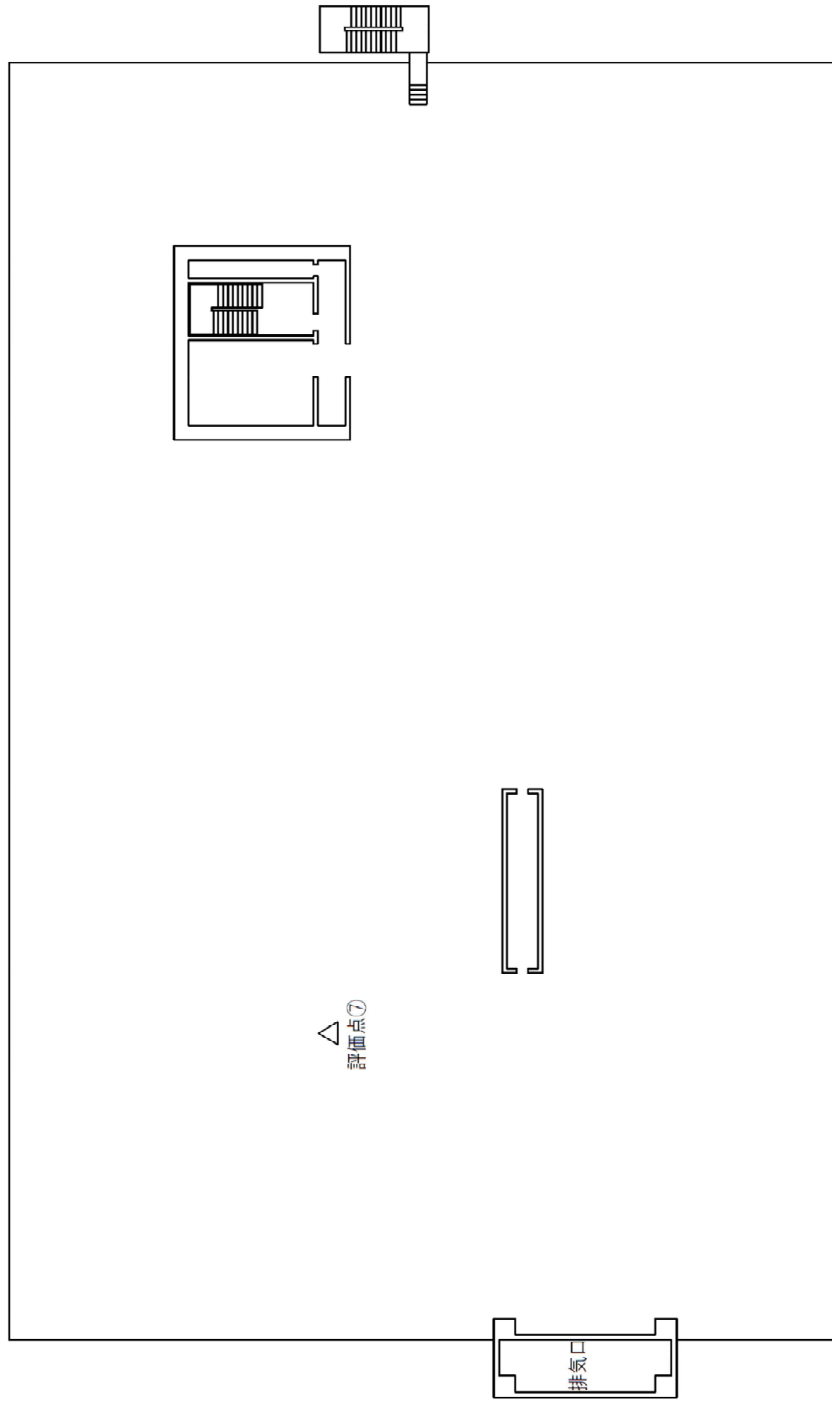
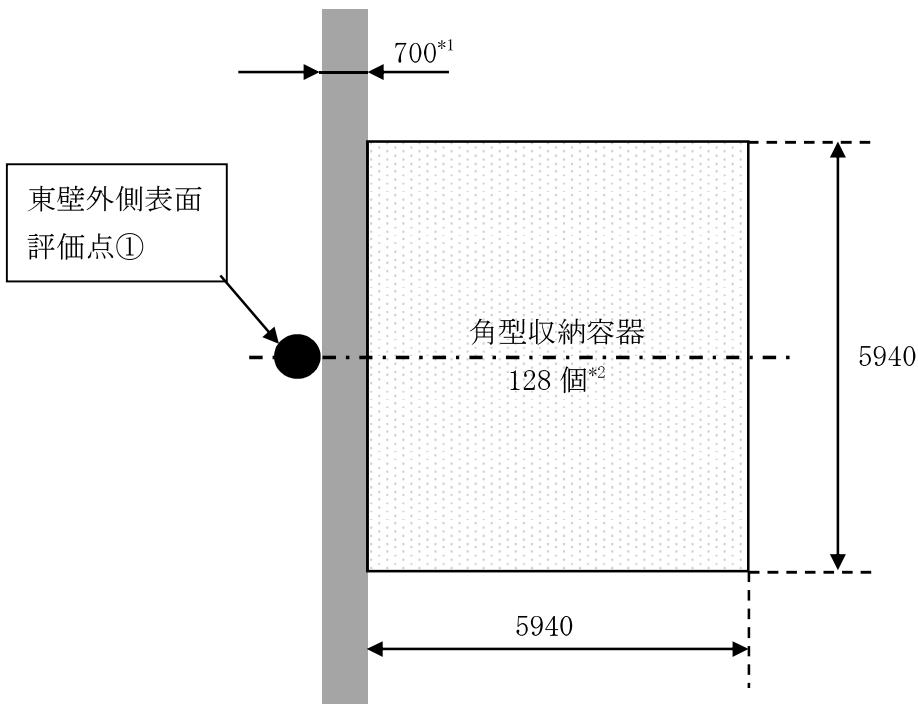
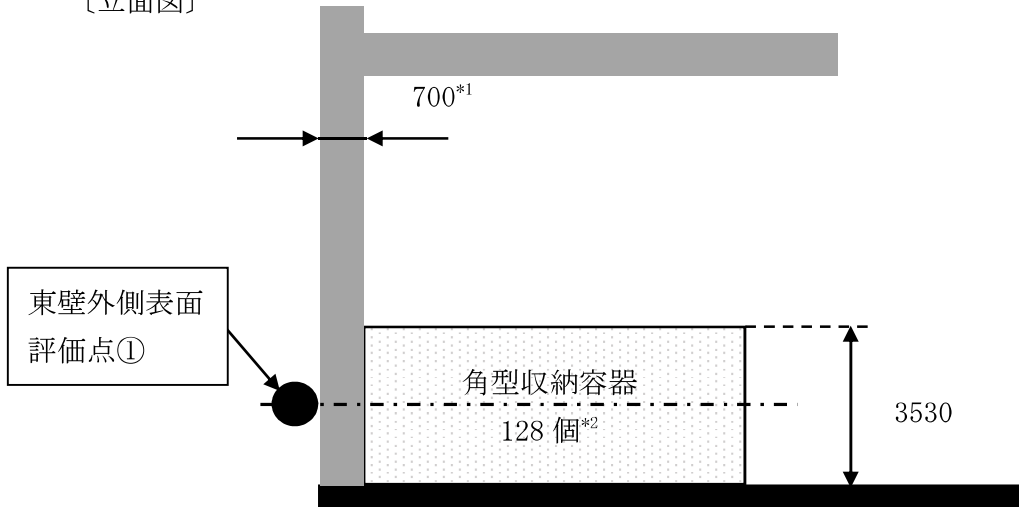


図-4 第1棟の計算配置図 屋上階

[平面図]



[立面図]



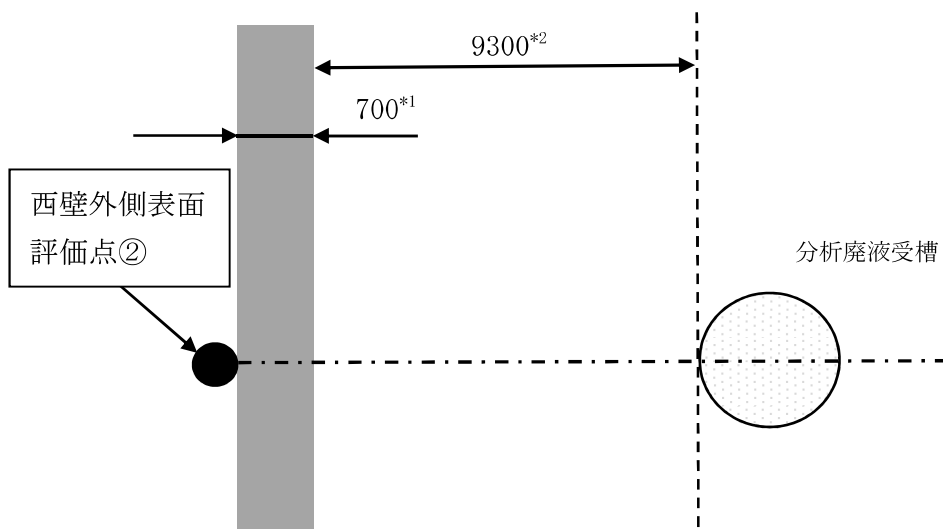
(単位：mm)

注記 *1：遮へい厚さを示す。

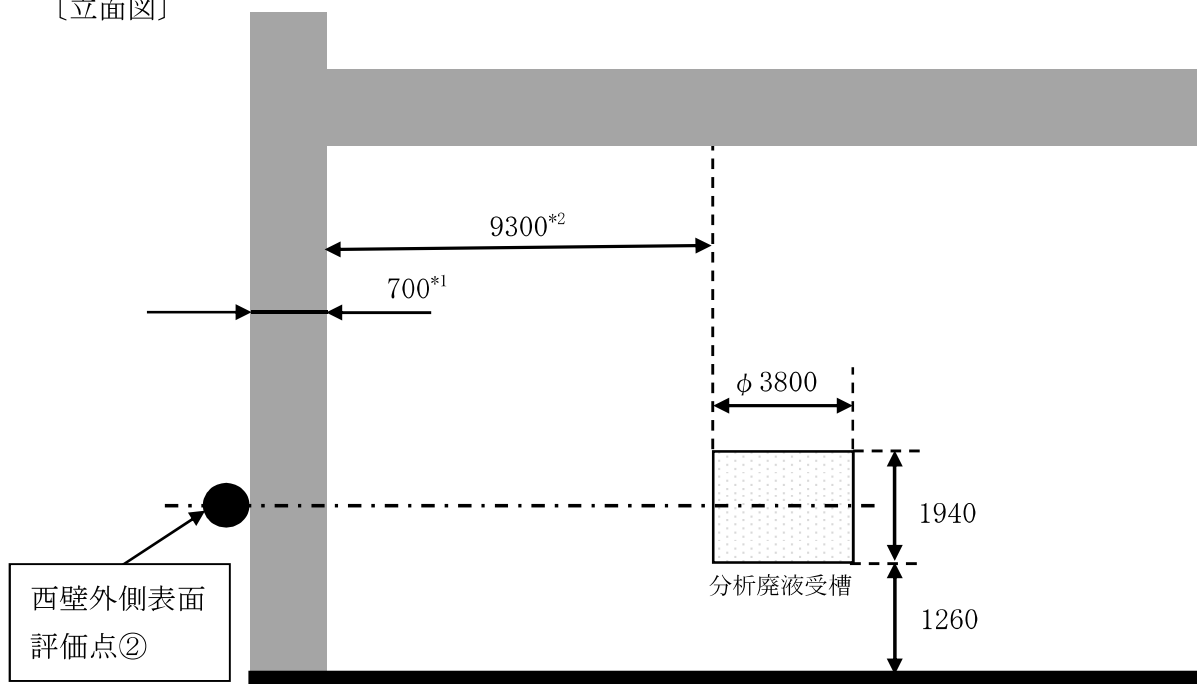
*2：128個相当。直方体線源。計算モデルは4段積み，固体廃棄物払出準備室に全配置された状態を仮定。

図一5 固体廃棄物払出準備室の東壁外側表面の計算モデル

〔平面図〕



〔立面図〕



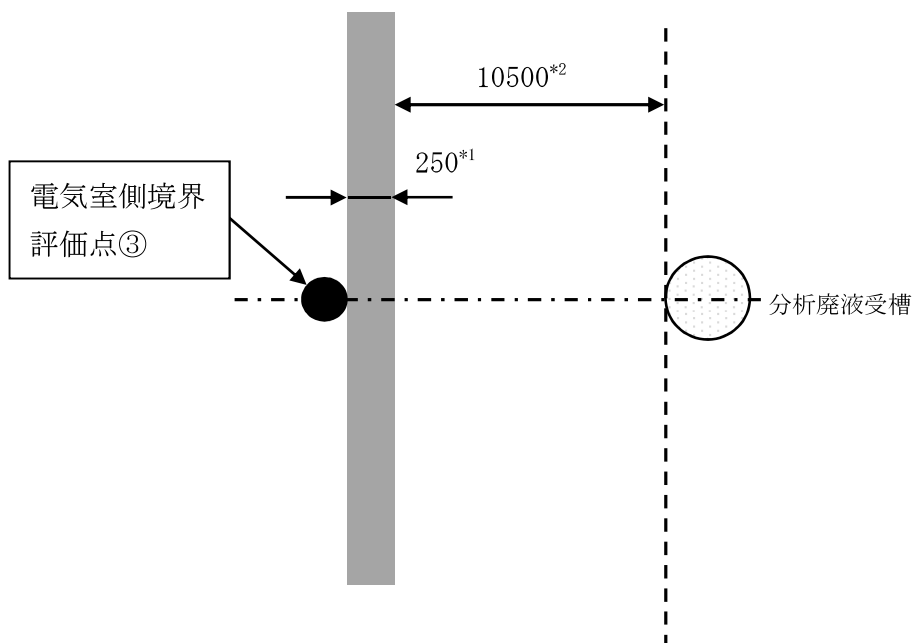
(単位：mm)

注記 *1：遮へい厚さを示す。

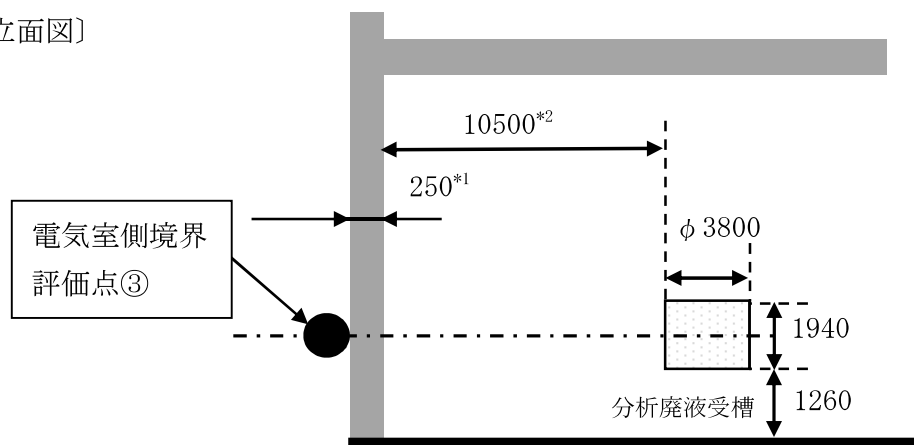
*2：槽から西壁までの距離は、設計距離より短い安全側の条件として9300mmとした。

図－6 液体廃棄物一時貯留室の西壁外側表面の計算モデル

[平面図]



[立面図]



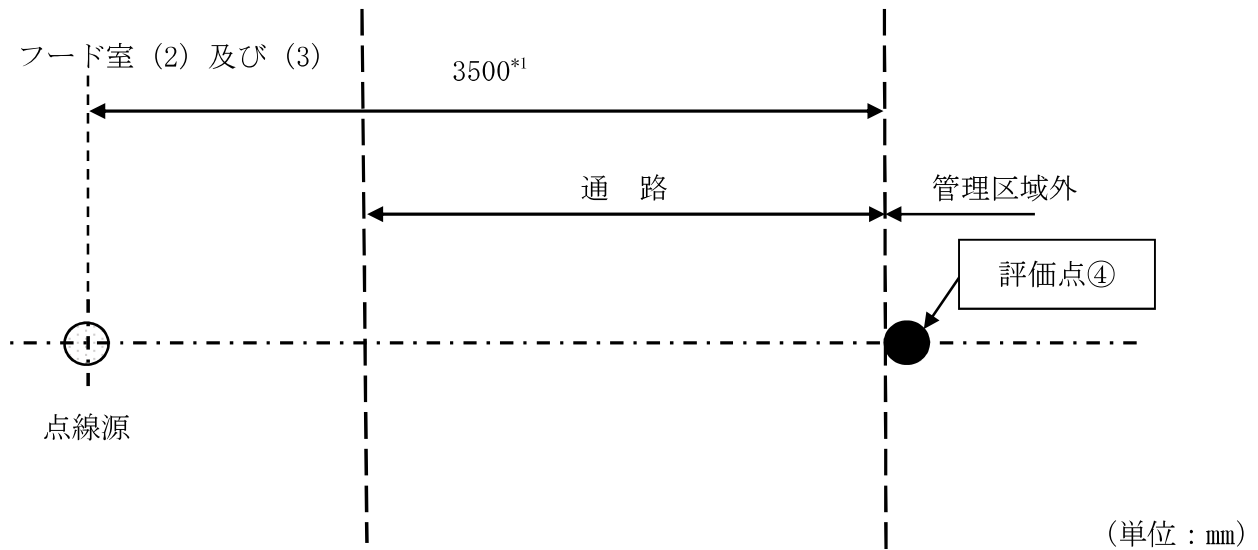
(単位：mm)

注記 *1：遮へい厚さを示す。

*2：槽から電気室側境界壁までの距離は、設計距離より短い安全側の条件として10500mmとした。

図-7 液体廃棄物一時貯留室の電気室側境界の計算モデル

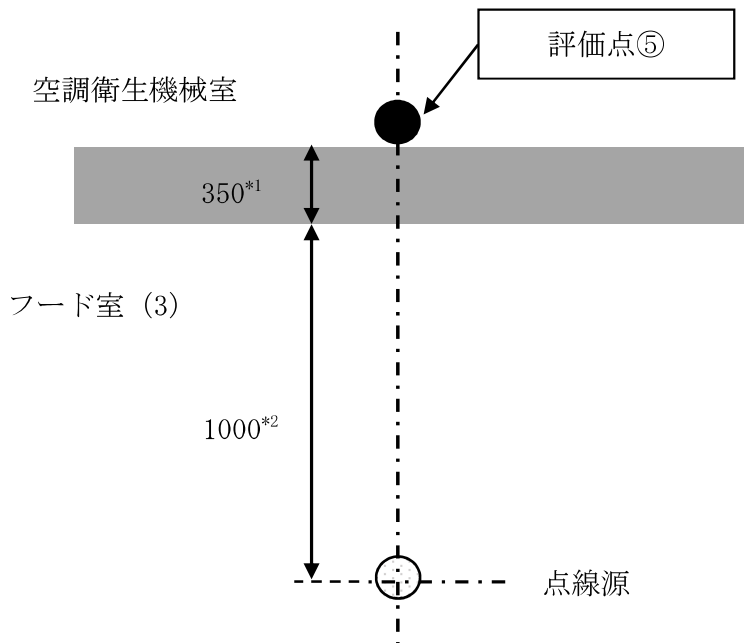
〔平面図〕



注記 *1：線源から管理区域までの距離は、設計距離より短い安全側の条件として3500mmとした。

図-8 フード室 (2) 及び (3) の南側方向の計算モデル

〔立面図〕



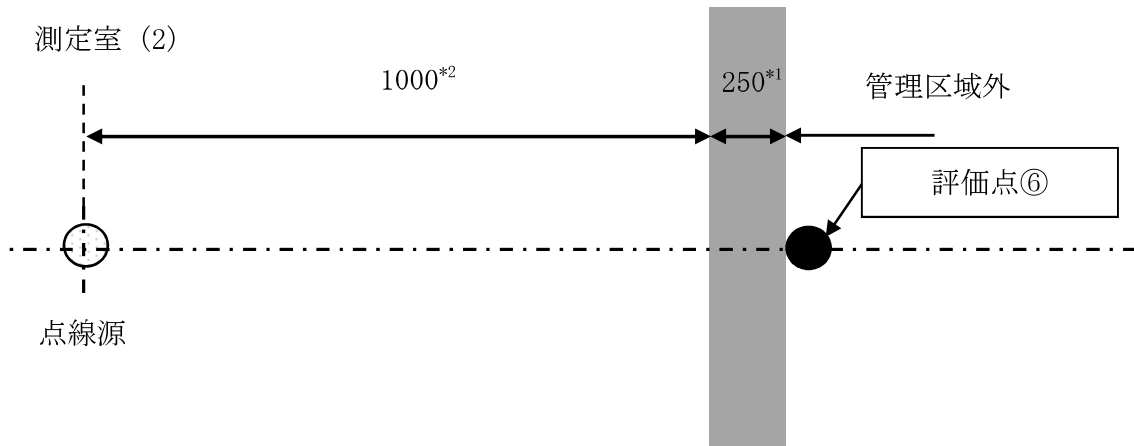
注記 *1：遮へい厚さを示す。

(単位：mm)

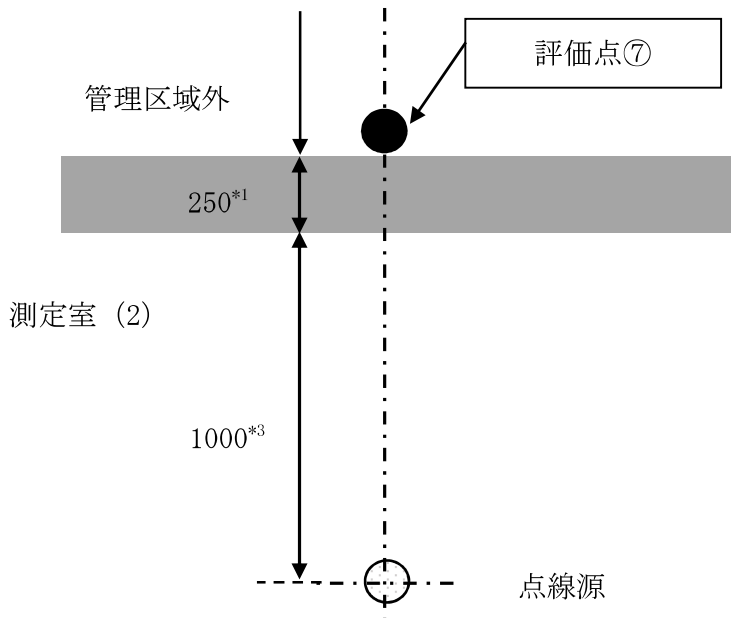
*2：線源から空調衛生機械室境界天井までの距離は、設計距離より短い安全側の条件として1000mmとした。

図-9 フード室 (3) の天井方向の計算モデル

[平面図]



[立面図]



(単位：mm)

注記 *1：遮へい厚さを示す。

*2：測定室線源から空調衛生機械室境界壁までの距離は，設計距離より短い安全側の条件として1000mmとした。

*3：測定室線源から天井までの距離は，設計距離より短い安全側の条件として1000mmとした。

図-10 測定室 (2) の計算モデル

4. 補助遮へいの貫通部に対する考慮

第1棟の高線量率区域と低線量率区域の間の補助遮へい貫通部は、原則として放射線漏えいが問題とならないようにその位置を決める。

ただし、放射線漏えいが問題となる位置に設置せざるを得ない場合は、配管等の放射線漏えいを防止する措置を講じることとする。

貫通部に対する放射線漏えい防止措置の例を図-11, 12に示す。

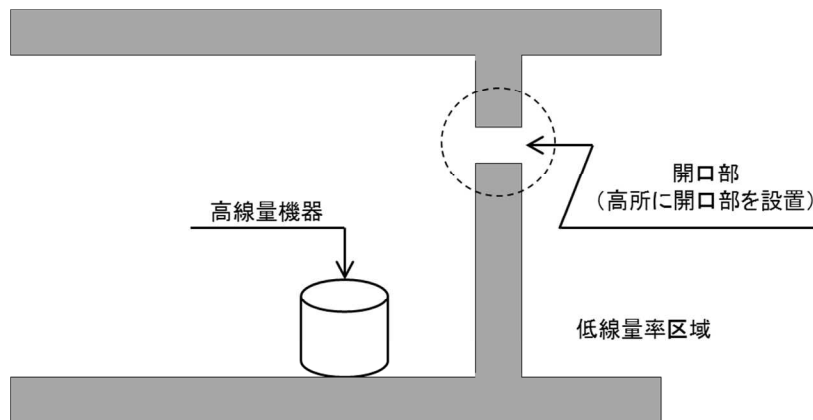


図-11 開口部の高所設置 (例)

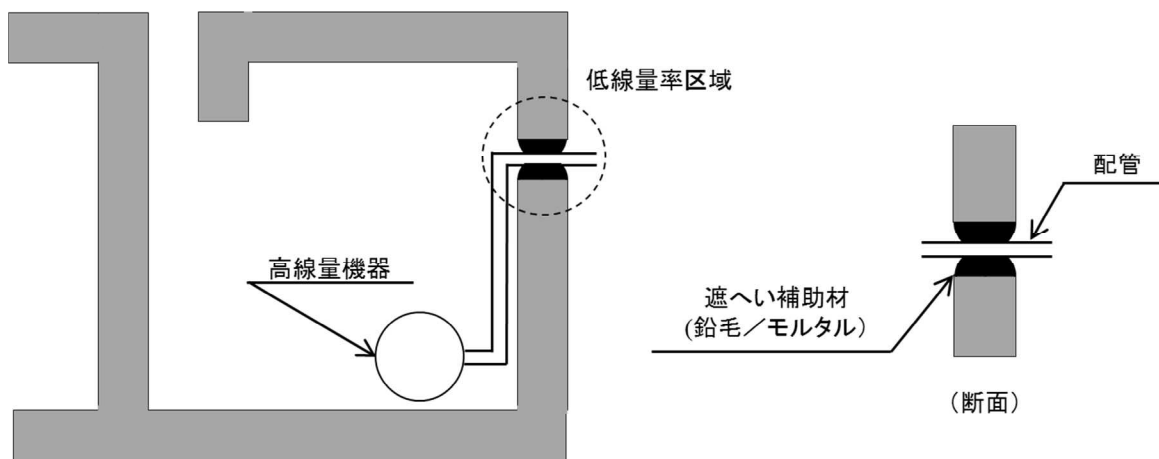


図-12 貫通孔の補助遮へい (例)

5. 補助遮へいの熱除去計算

5.1 補助遮へいの熱除去計算方法

補助遮へいであるコンクリート中のガンマ発熱密度はコンクリート中のガンマ線フラックスの減衰に応じて減少する。しかし、安全側にガンマ線の減衰を無視して入射面の最大のガンマ発熱密度でコンクリート全体が均一に発熱するものと仮定すると、コンクリート中の温度と表面温度の差の最大値 ΔT_{\max} は、内部発熱が均一とした平板の温度分布の計算式(6. 引用文献(1)参照)を引用した下式により求められる。

$$\Delta T_{\max} = T_{\max} - T_s = Q' \cdot L^2 / 2\lambda$$

ここで、 T_{\max} : コンクリート厚さ中心での最高温度 (°C)

T_s : コンクリート表面温度 (°C)

Q' : コンクリートの発熱密度 (W/m³)

L : コンクリートの厚さの1/2 (m)

λ : コンクリートの熱伝導率 (W/m・°C)

また、上記のコンクリートの発熱密度は、下式により求められる。

$$Q' = 10^6 \cdot \rho \cdot Q$$

ここで、 ρ : コンクリート密度 (g/cm³)

Q : ガンマ発熱密度 (W/g)

$$= K \cdot \Phi$$

K : ガンマ発熱密度換算係数 (W・s・cm²/g)

$$= C \cdot E \cdot (\mu_{en} / \rho)$$

C : 換算係数 (W・s/MeV) (1.602×10⁻¹³)

E : ガンマ線エネルギー (MeV)

(μ_{en} / ρ) : コンクリートの質量エネルギー吸収係数 (cm²/g)

Φ : ガンマ線フラックス (photons/cm²・s)

上記において、ガンマ発熱密度は補助遮へいの壁内側表面の最大となる点について計算機コード「QAD」にて、計算を行う。

5.2 補助遮へいの熱除去計算結果

補助遮へい中のガンマ発熱による発熱密度は約1.7×10⁻³W/m³となり、温度上昇は0.1°C未満であり、自然冷却で十分である。

6. 引用文献

- (1) 日本機械学会「伝熱工学資料 改訂第5版」(2009)

人が常時勤務し，又は頻繁に出入する原子力施設内の場所における
線量率に関する説明書

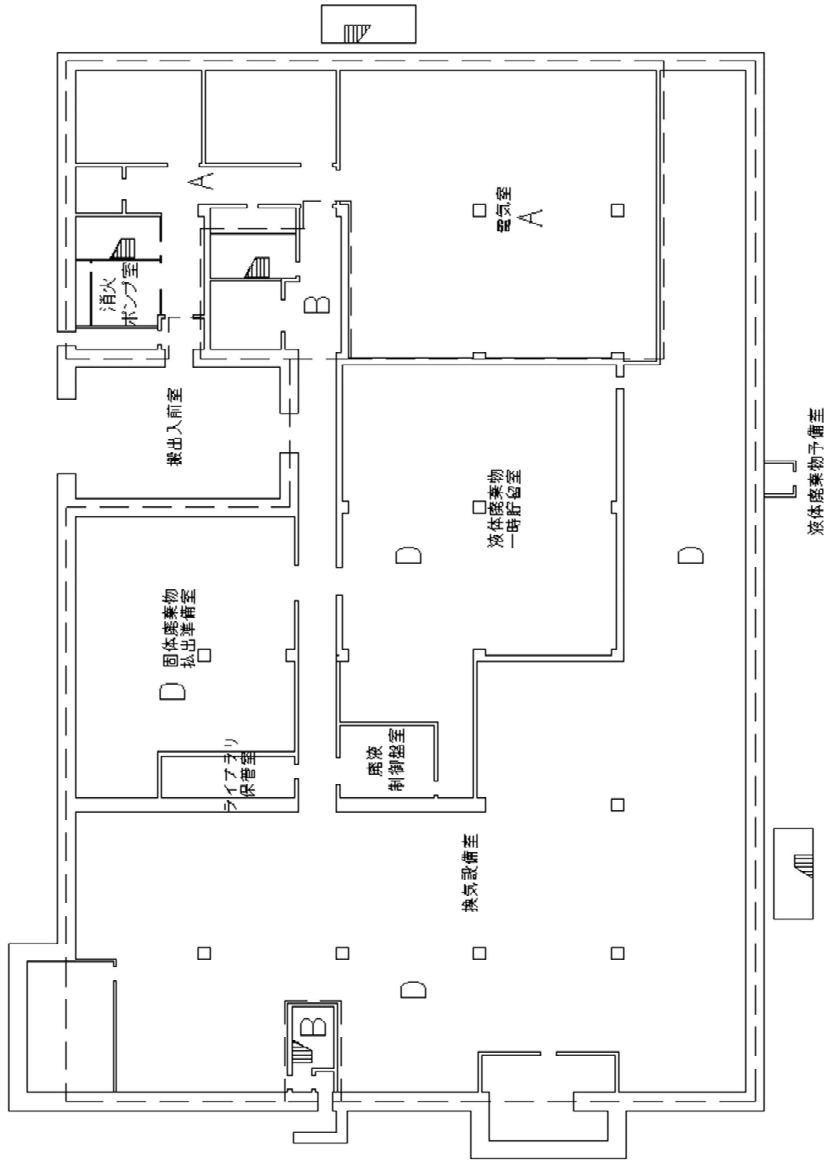
1. 遮へい設計上の基準線量率

本説明書は，通常運用時に人が常時勤務し，又は頻繁に出入する分析・研究施設第1棟内の場所における外部放射線量に係る線量率による区域区分を示すものである。各区域区分の外部放射線に係る設計基準線量率を表-1のとおり設定する。また，第1棟区域区分を図-1～4に示す。

表-1 各区域区分の外部放射線に係る設計基準線量率^{*1}

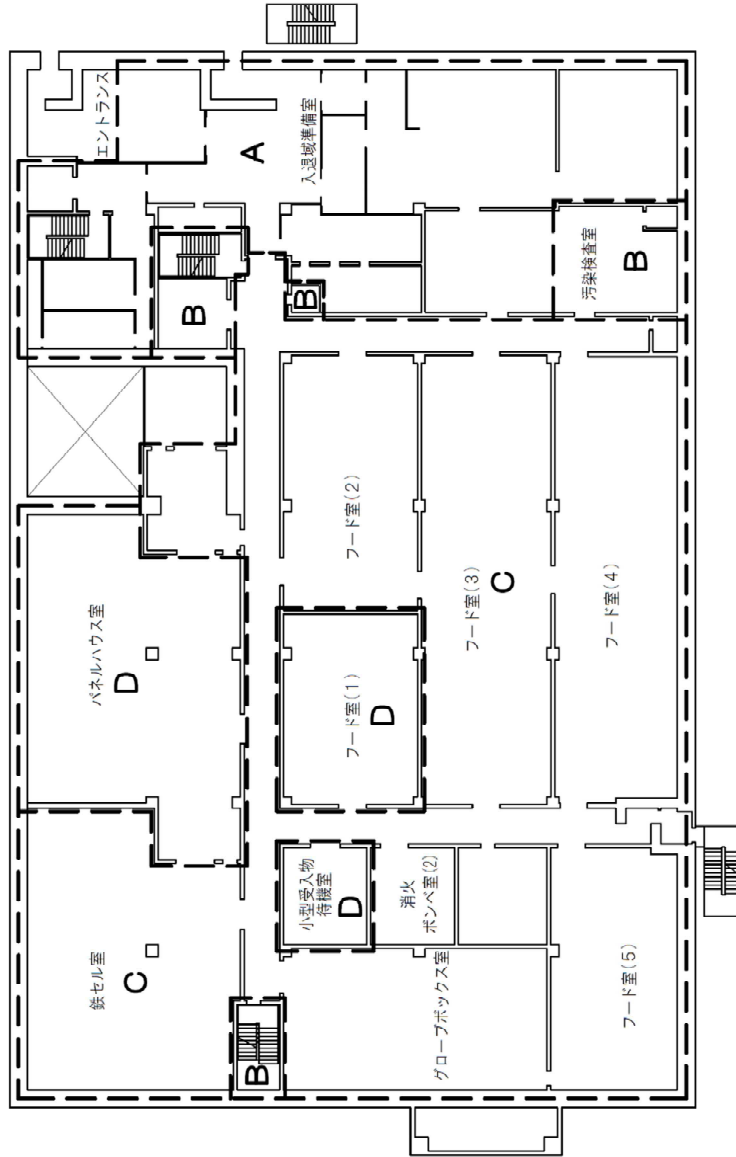
区 分		外部放射線に係る設計基準線量率
管理区域外	A	0.0026mSv/h 以下
管理区域	B	0.01mSv/h 未満
	C	0.05mSv/h 未満
	D	0.25mSv/h 未満

*1：人が常時立入る場合



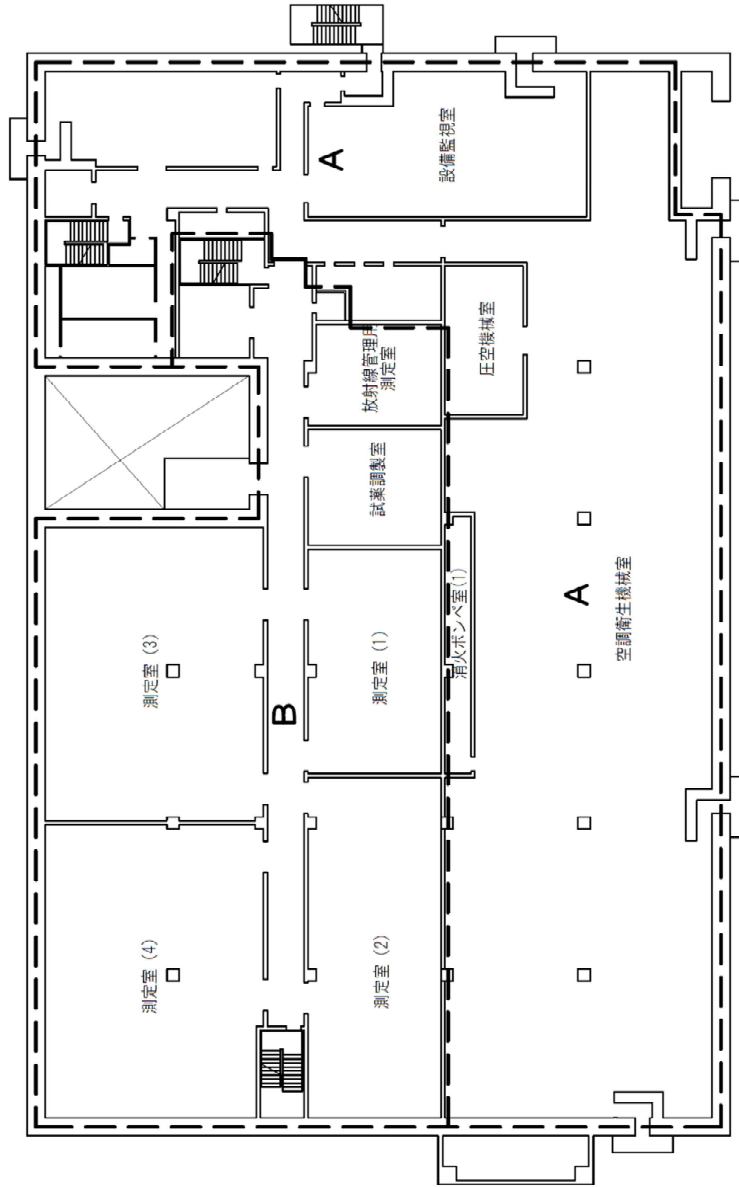
区分	外部封鎖に係る設計基準容量率
管理区域外	A 0.0025m ² 以下
	B 0.01m ² 未満
管理区域	C 0.05m ² 未満
	D 0.25m ² 未満

図-1 第1棟の区域区分図 1階



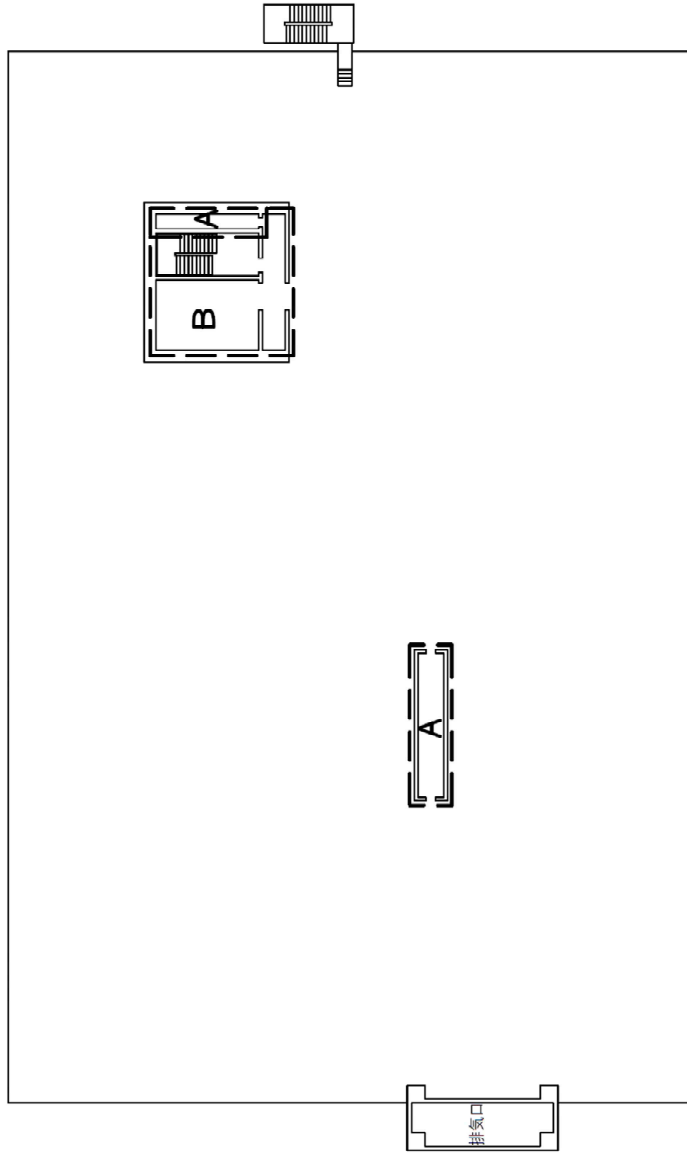
区分	外部放射線に係る設計基準総量率
管理区域外	A 0.0026mSv/h以下
管理区域	B 0.01mSv/h未満
	C 0.05mSv/h未満
	D 0.25mSv/h未満

図-2 第1棟の区域区分図 2階



区分	外部放射線に係る設計基準線量率
管理区域外	A 0.0026mSv/h以下
管理区域	B 0.01mSv/h未満
	C 0.05mSv/h未満
	D 0.25mSv/h未満

図-3 第1棟の区域区分図 3階



区分	外部放射線に係る設計基準線量率
管理区域外	0.0025mSv/h以下
A	0.01mSv/h未満
B	0.05mSv/h未満
C	0.25mSv/h未満
D	0.25mSv/h未満

図一4 第1棟の区域区分図 屋上階

2. 作業エリアの区域区分

第1棟内で、設計上想定される、作業エリアの区域区分を表-2に示す。

表-2 作業エリアの区域区分表

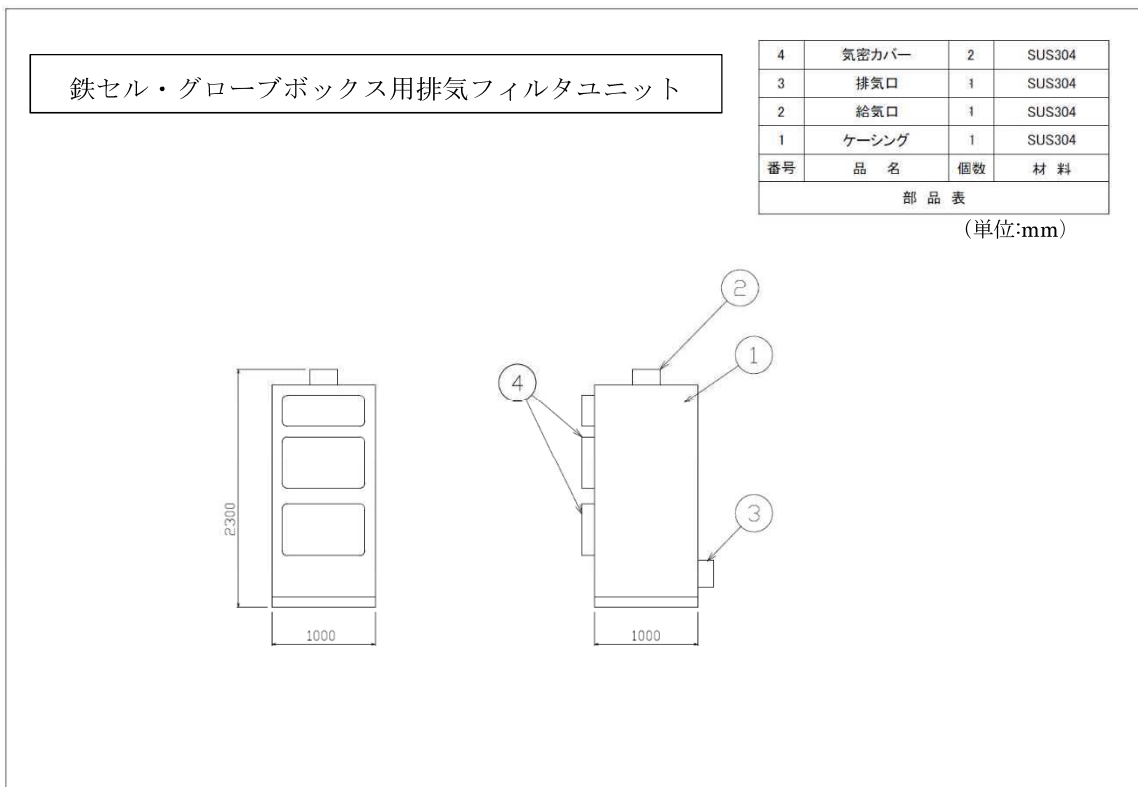
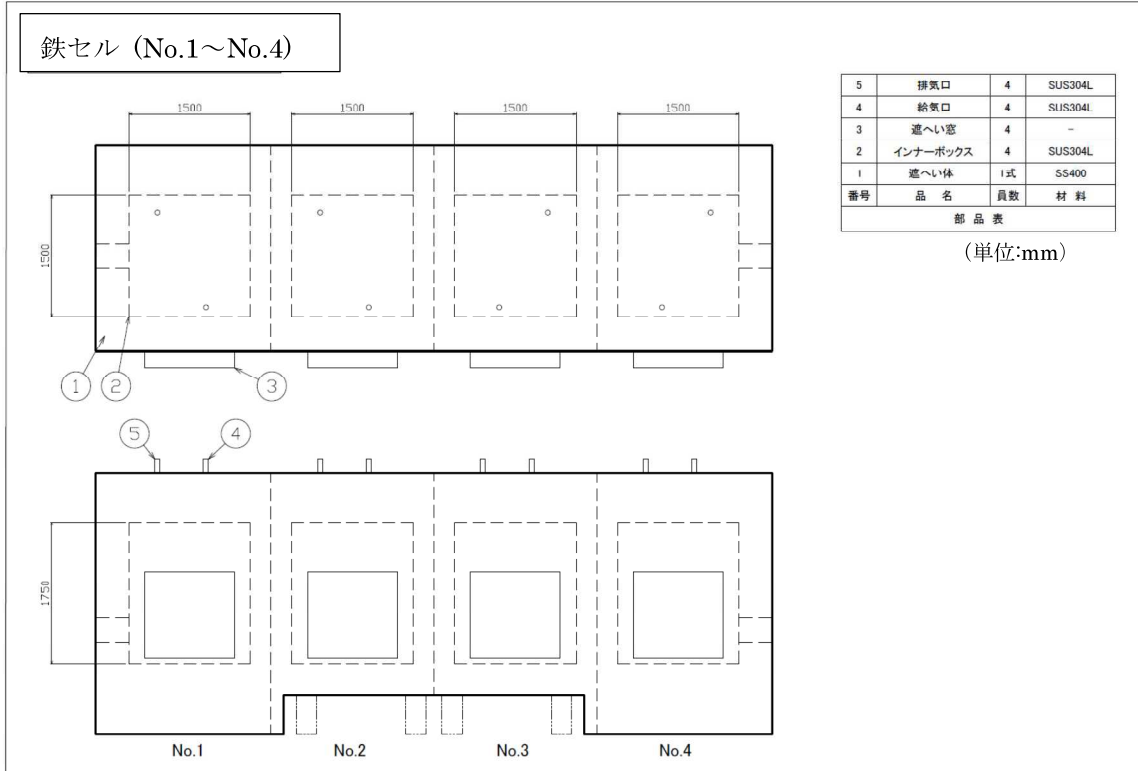
No.	エリア名称	区分	区分の設定根拠
1	固体廃棄物払出準備室	D	第1棟固体廃棄物を一時的に保管するので線量率はD区分となる。
2	ライブラリ保管室	D	放射性物質（試料）を保管するので線量率はD区分となる。
3	液体廃棄物一時貯留室	D	第1棟液体廃棄物を一時的に保管するので線量率はD区分となる。
4	パネルハウス室	D	放射性物質（試料）の前処理を行う室なので線量率はD区分となる。
5	換気設備室	D	排気フィルタユニット（高性能フィルタ）は測定管理することから線量率はD区分となる。
6	鉄セル室	C	セル内で放射性物質（試料）を取り扱うので、線量率はC区分となる。
7	フード室（1）	D	取り扱う放射性物質（試料）の量から線量率はD区分となる。
8	フード室（2）～（3）	C	取り扱う放射性物質（試料）の量から線量率はC区分となる。
9	グローブボックス室	C	取り扱う放射性物質（試料）の量から線量率はC区分となる。
10	小型受入物待機室	D	試料を一時的に保管することから線量率はD区分となる。
11	測定室（1）～（4）	B	取り扱う放射性物質（試料）の量から線量率はB区分となる。

3. 実効線量の管理方法

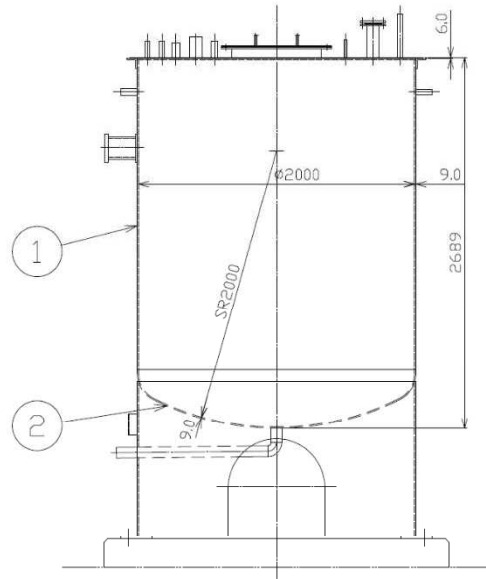
運用開始後の実効線量の管理は、外部放射線に係る線量当量率及び空気中の放射性物質の濃度を測定し、放射線業務従事者の作業時間の制限等を実施することで、「東京電力株式会社福島第一原子力発電所原子炉施設の保安及び特定核燃料物質の防護に関して必要な事項を定める告示」（平成二十五年四月十二日原子力規制委員会告示第三号）に定める線量限度を遵守することはもとより、放射線業務従事者の線量を合理的に達成できる限り低減する。

第1棟の機器構造図

第1棟に関する構造図を、以下に示す。



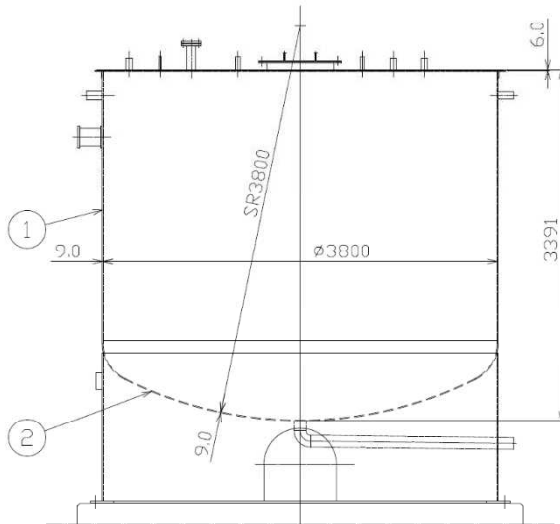
分析廃液中間受槽



2	鏡板	1	SUS316L
1	胴板	1	SUS316L
番号	品名	個数	材料
部品表			

(単位:mm)

分析廃液受槽A~C



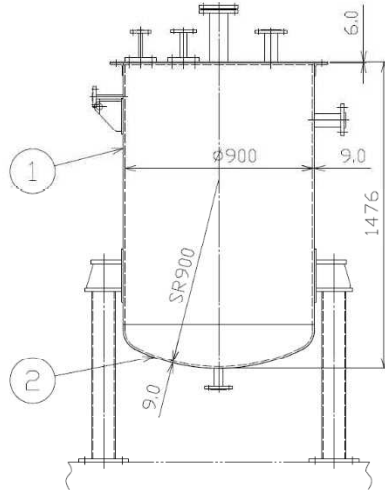
2	鏡板	1	SUS316L
1	胴板	1	SUS316L
番号	品名	個数	材料
部品表			

(単位:mm)

塩酸含有廃液受槽

2	鏡板	1	SM400A
1	胴板	1	SM400A
番号	品名	個数	材料
部品表			

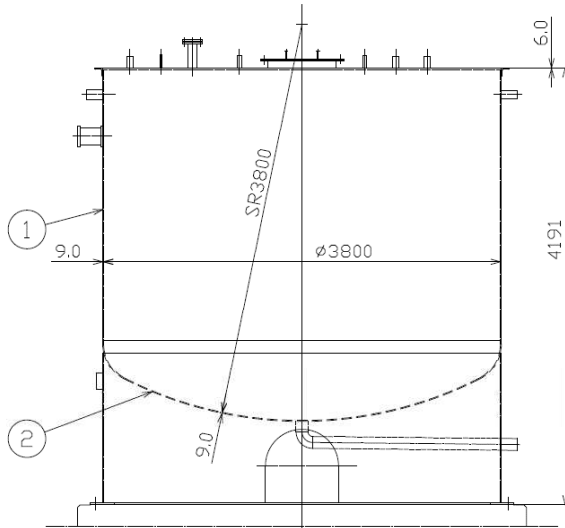
(単位:mm)



設備管理廃液受槽A, B

2	鏡板	1	SUS304
1	胴板	1	SUS304
番号	品名	個数	材料
部品表			

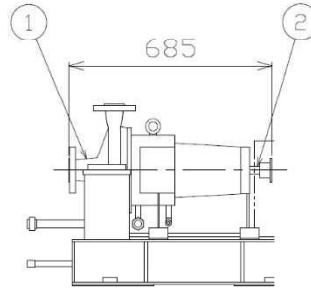
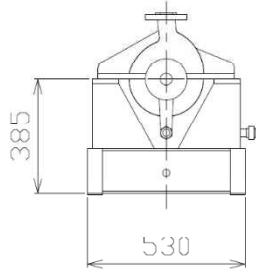
(単位:mm)



分析廃液移送ポンプA, B

2	軸	1	SUS316
1	ケーシング	1	SCS14A
番号	品名	個数	材料
部品表			

(単位:mm)



第1棟の火災防護に関する説明書並びに消火設備の取付箇所を明示した図面

1. 火災防護に関する基本方針

第1棟は、火災により安全性が損なわれることを防止するために、火災の発生防止対策、火災の検知及び消火対策、火災の影響の軽減対策の3方策を適切に組み合わせた措置を講じる。

2. 火災の発生防止

2.1 不燃性材料、難燃性材料の使用

第1棟は、主要構造部である壁、柱、床、梁、屋根及び階段は、不燃性材料を使用し、間仕切り壁、天井及び仕上げは、建築基準法及び関係法令に基づく他、可能な限り不燃性材料又は難燃性材料を使用する。

また、建屋内の機器、配管、排気管、トレイ、電線路及び盤の筐体の主要構造体並びにこれらの支持構造物は、不燃性材料とし、幹線ケーブル及び動力ケーブルは難燃ケーブルを使用する他、消防設備用のケーブルは消防法に基づき耐火ケーブル及び耐熱ケーブルを使用する。

2.2 自然現象による火災発生防止

第1棟の建物、系統及び機器は、落雷、地震等の自然現象により火災が生じることがないように防護した設計とし、建築基準法及び関係法令に基づき避雷設備を設置する。

第1棟の建屋は、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」（平成18年9月19日）に基づき設計を行い、破壊又は倒壊を防ぐことにより、火災発生を防止する。

3. 火災の検知及び消火

3.1 火災検知器及び消火設備

火災検知器及び消火設備は、第1棟に対する火災の悪影響を限定し、早期消火を行えるよう消防法及び関係法令に基づいた設計とする。

① 火災検知器

放射線、取付面高さ、温度、湿度、空気流等の環境条件や予想される火災の性質を考慮して検知器の型式（熱・煙）を選定する。なお、火災検知時は、受信器より常時人のいる建屋内設備監視室及び免震重要棟に代表警報を発報する設計とする。

② 消火設備

消火設備は、屋内・屋外消火栓設備、消火器、不活性ガス消火設備及びハロゲン化物消火設備で構成する。また、鉄セル、グローブボックス内の火災に関しては、不活性ガス消火設備を設ける。

消防法上の消火水槽の容量は約16m³であるが、これは屋内消火栓においては約2時間の放水量に相当する。また、福島第一原子力発電所内の消防水利に消防車を連結することにより、第1棟の消火が可能である。

3.2 自然現象に対する消火設備の性能維持

火災検知器及び消火設備は地震等の自然現象によっても、その性能が著しく阻害されないよう措置を講じる。消火設備は、消防法及び関係法令に基づく設計とし、耐震設計は「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」（平成18年9月19日）に基づいて適切に行う。

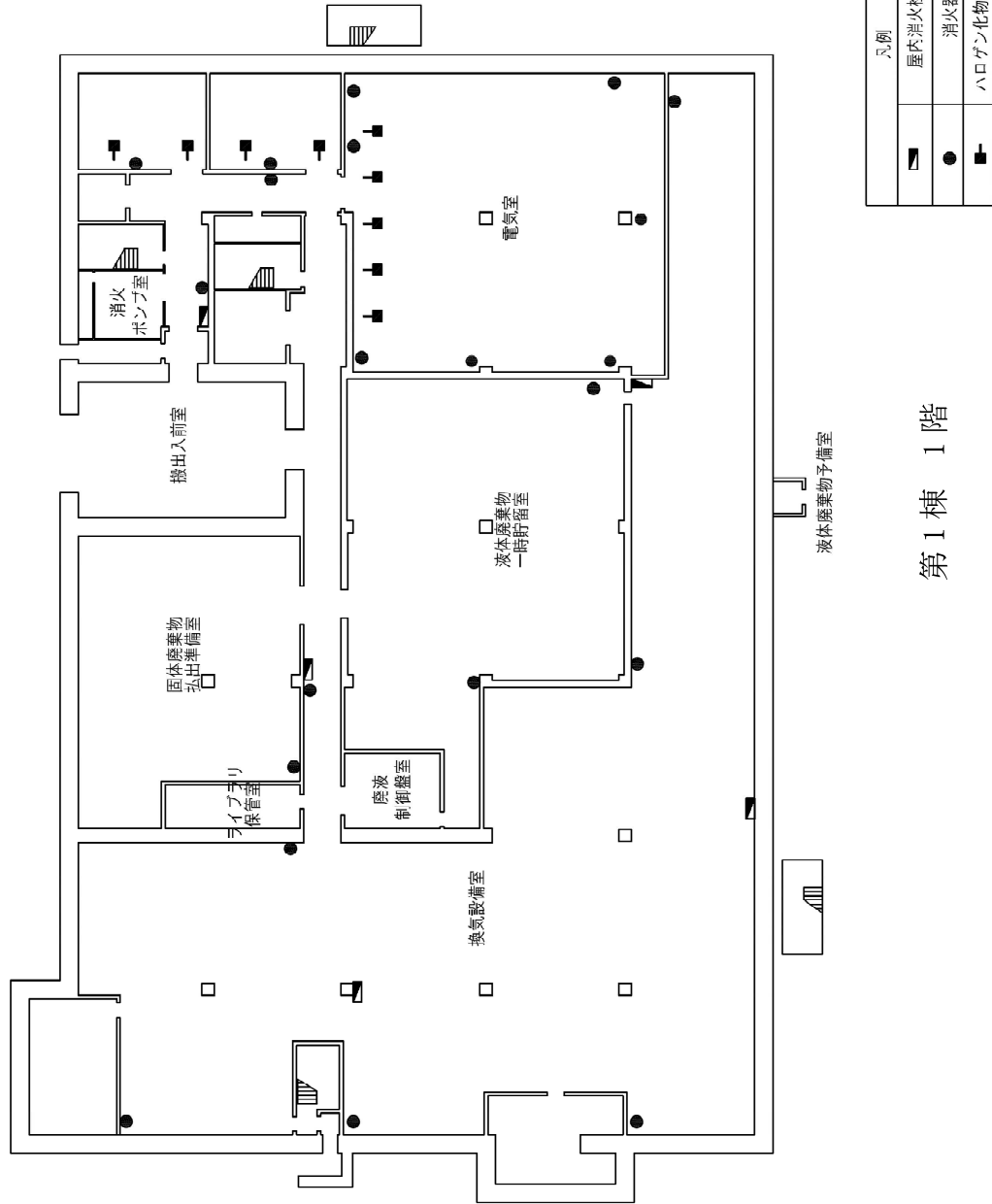
4. 火災の影響の軽減

第1棟の建屋は、建築基準法及び関係法令に基づき防火区画を設置し、消防設備と組み合わせることにより、火災の影響を軽減する設計とする。

なお、主要構造部の外壁（鉄筋コンクリート造）は、延焼を防止するために必要な耐火性能を有する設計とする。

5. 消火設備の取付箇所を明示した図面

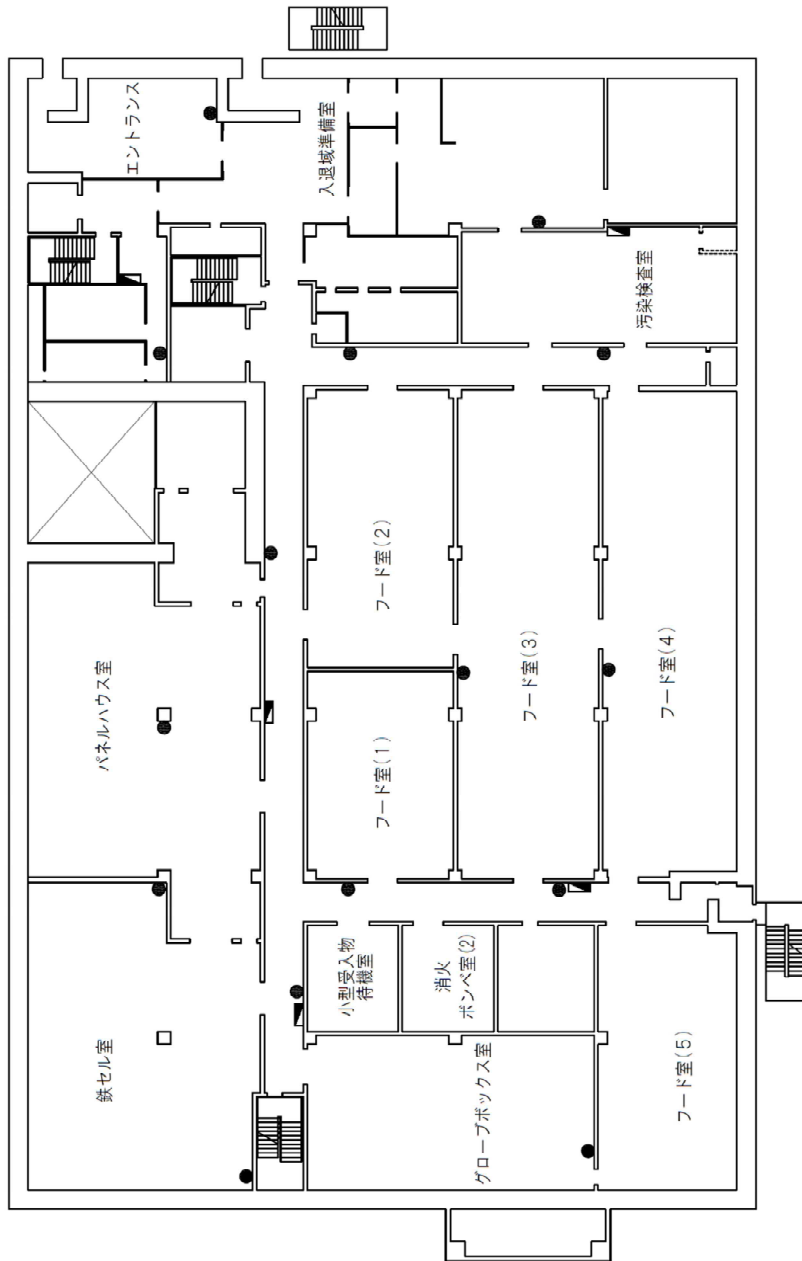
消火設備の取付箇所について、図-1～4に示す。



凡例	
■	屋内消火栓設備
●	消火器
■	ハロゲン化物消火設備

第1棟 1階

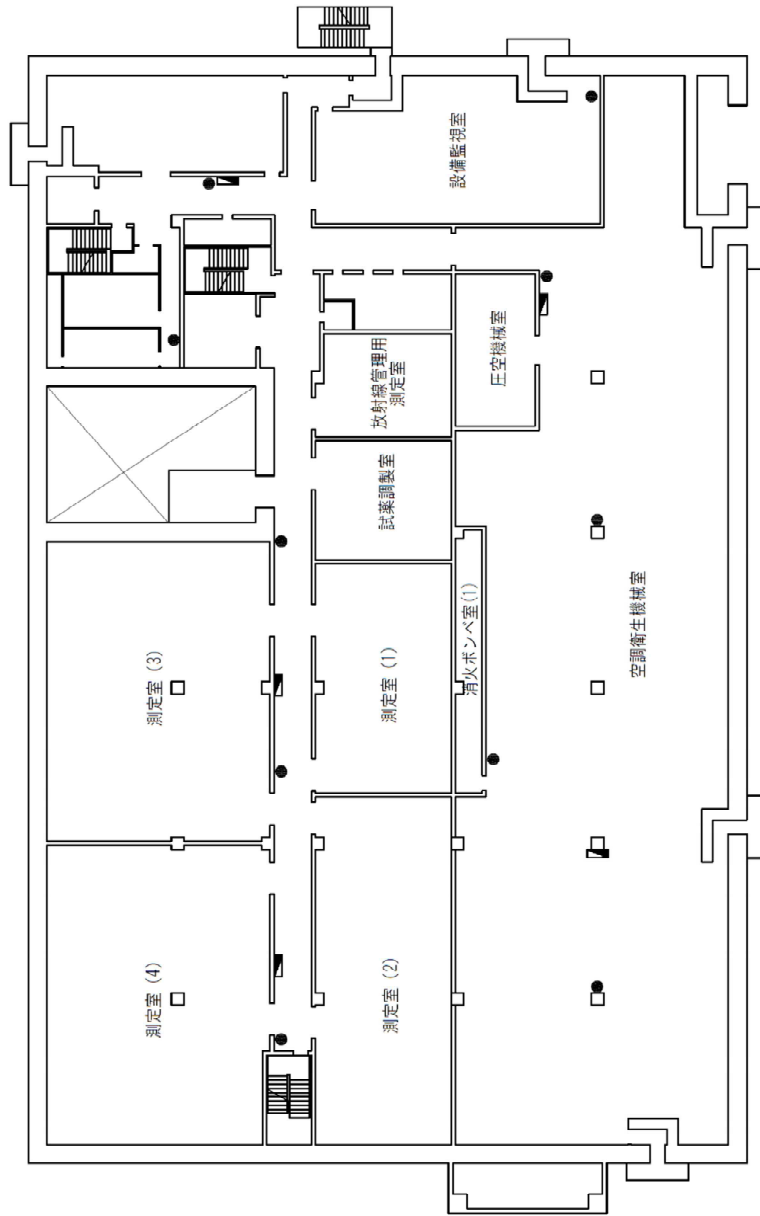
図-1 第1棟の消火設備の取付箇所を明示した図面



凡例	
■	屋内消火設備
●	消火器

第1棟 2階

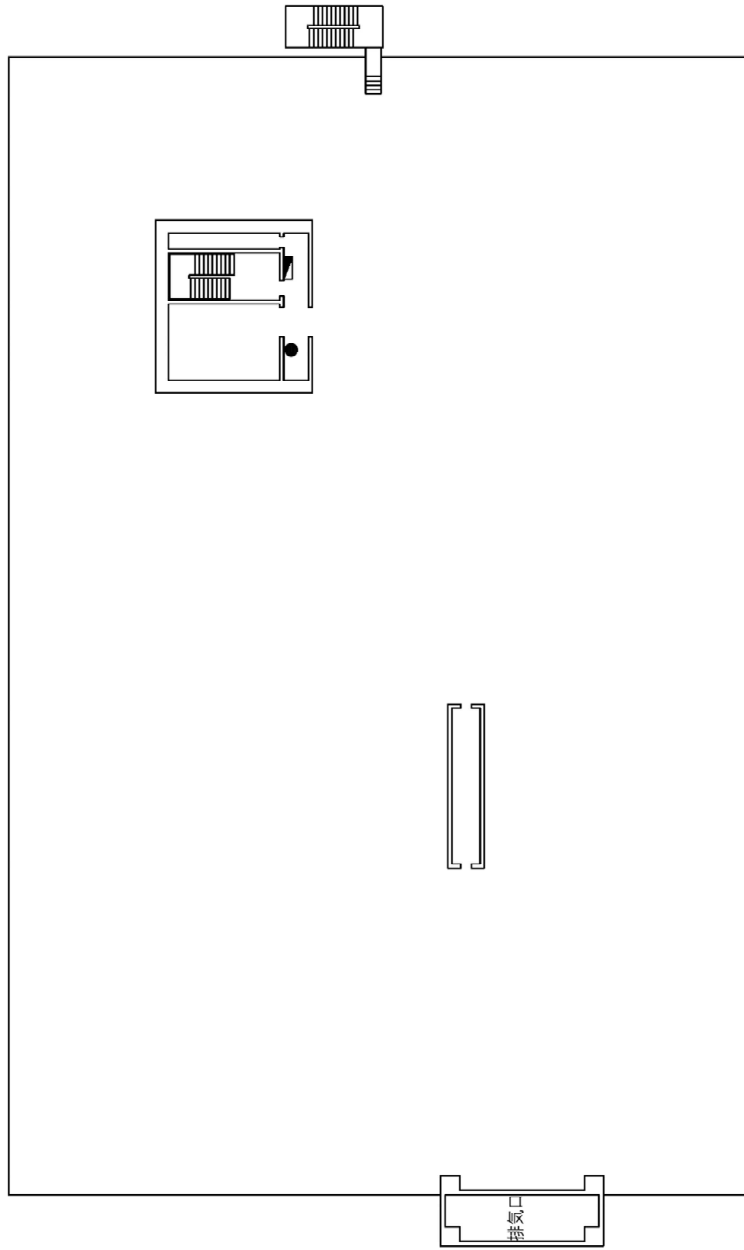
図-2 第1棟の消火設備の取付箇所を明示した図面



凡例	
◻	屋内消火栓設備
●	消火器

第1棟 3階

図-3 第1棟の消火設備の取付箇所を明示した図面



凡例	
■	屋内消火栓設備
●	消火器

第1棟 屋上階

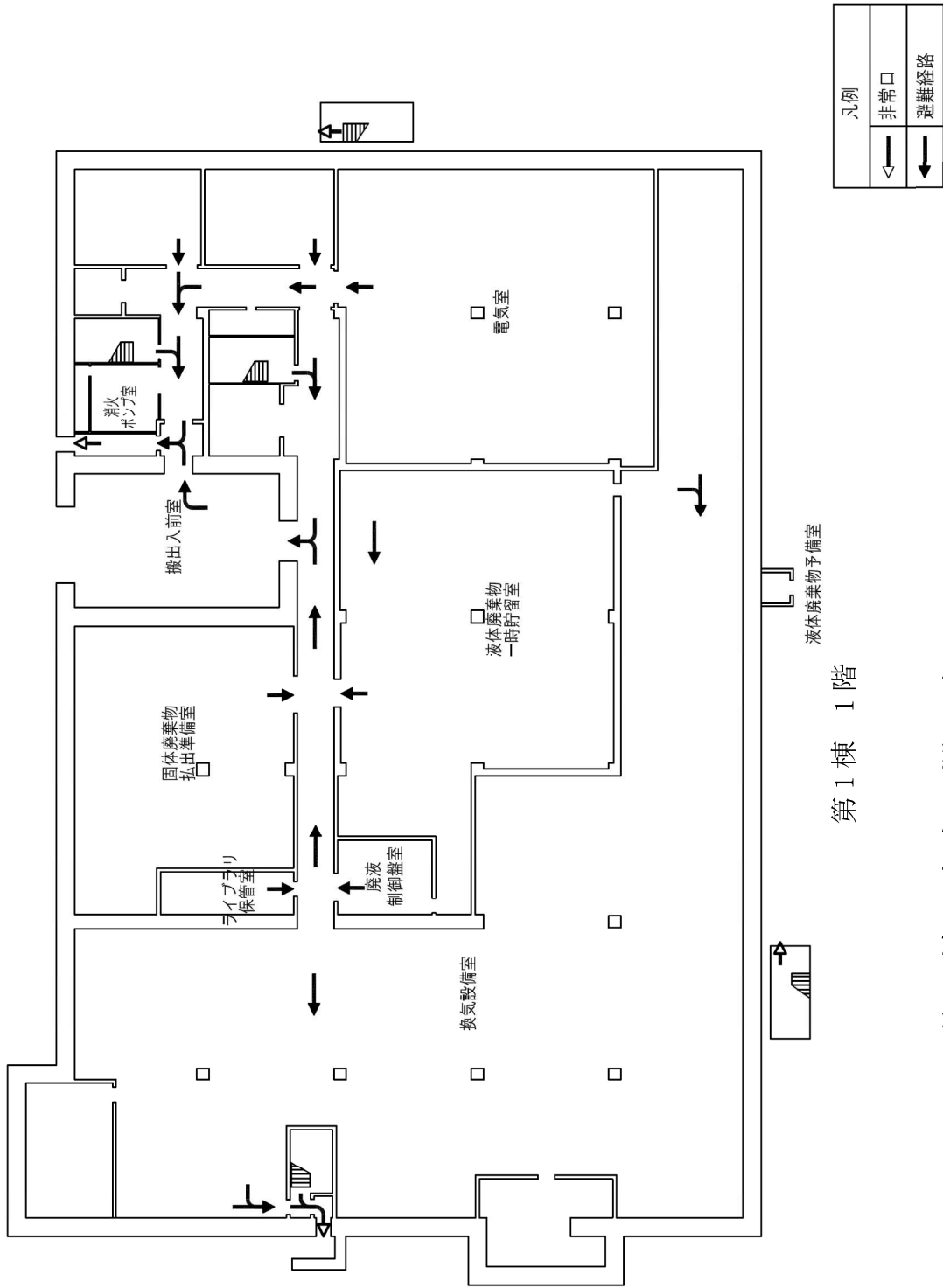
図-4 第1棟の消火設備の取付箇所を明示した図面

第1棟の安全避難通路に関する説明書及び安全避難通路を明示した図面

1. 安全避難通路の設置方針

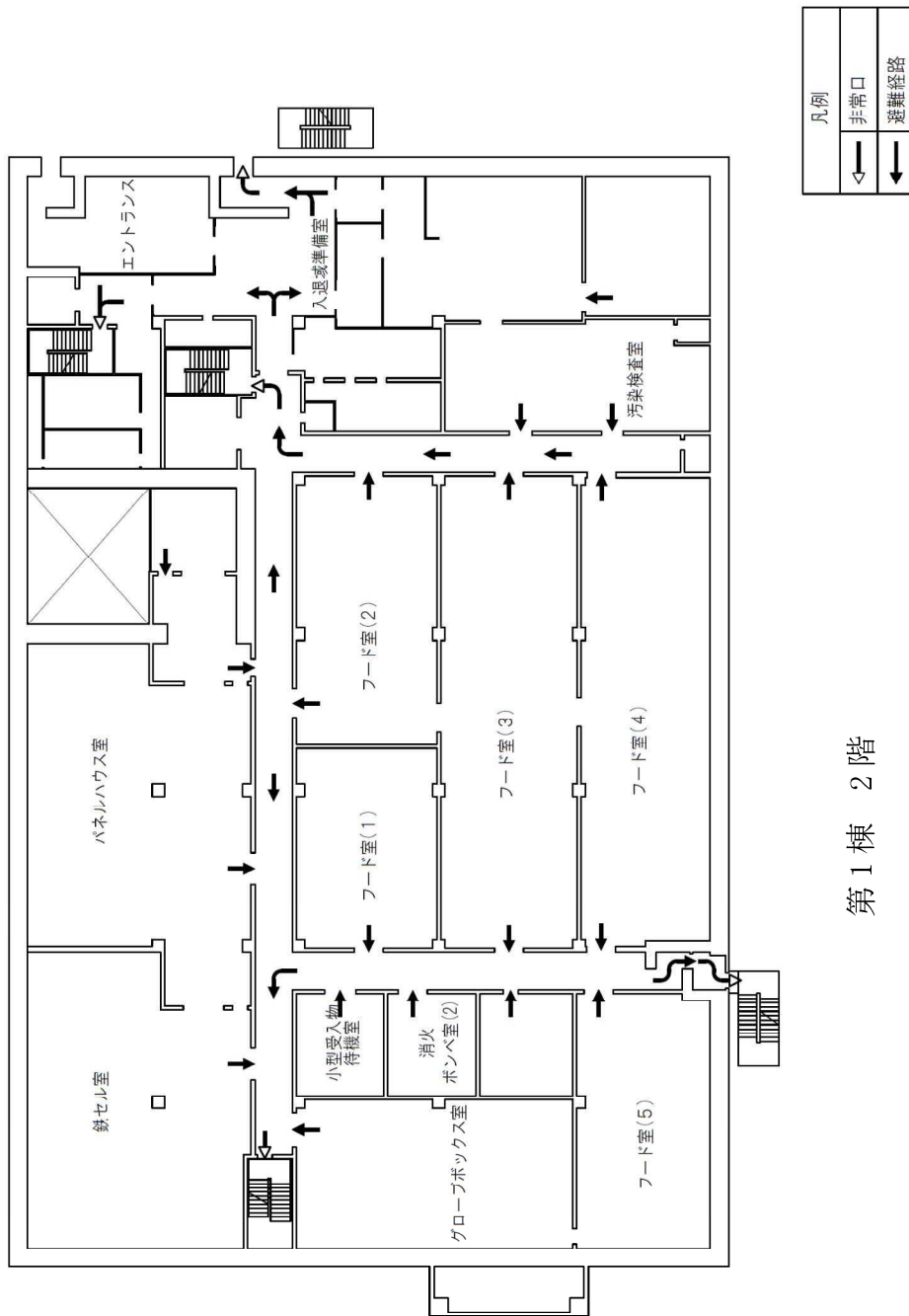
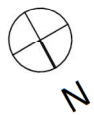
第1棟の建屋には、分析、定期的な放射線測定、建物及び建屋内の巡視点検のための出入りを行うことから、建築基準法及び関係法令並びに消防法及び関係法令に基づき安全避難通路を設定する。

避難通路を図-1～4に示す。

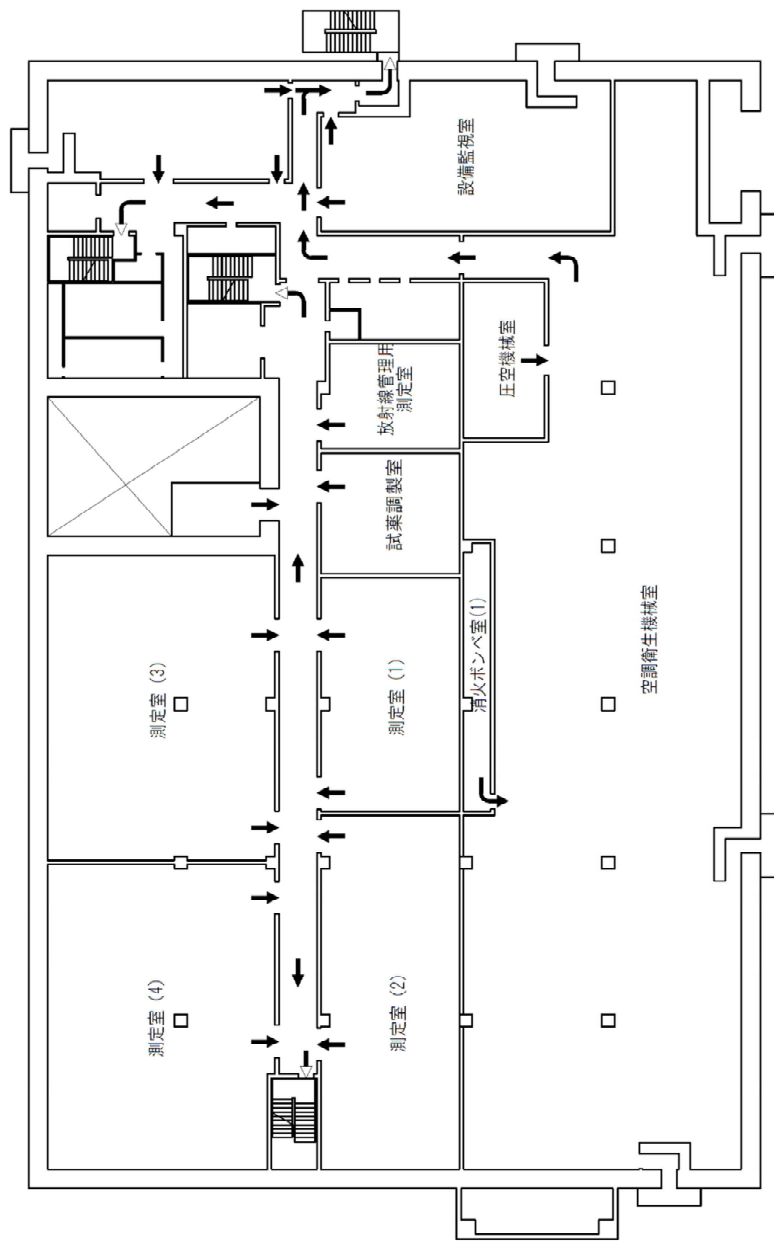


第1棟 1階

図一1 第1棟の安全避難通路を明示した図面



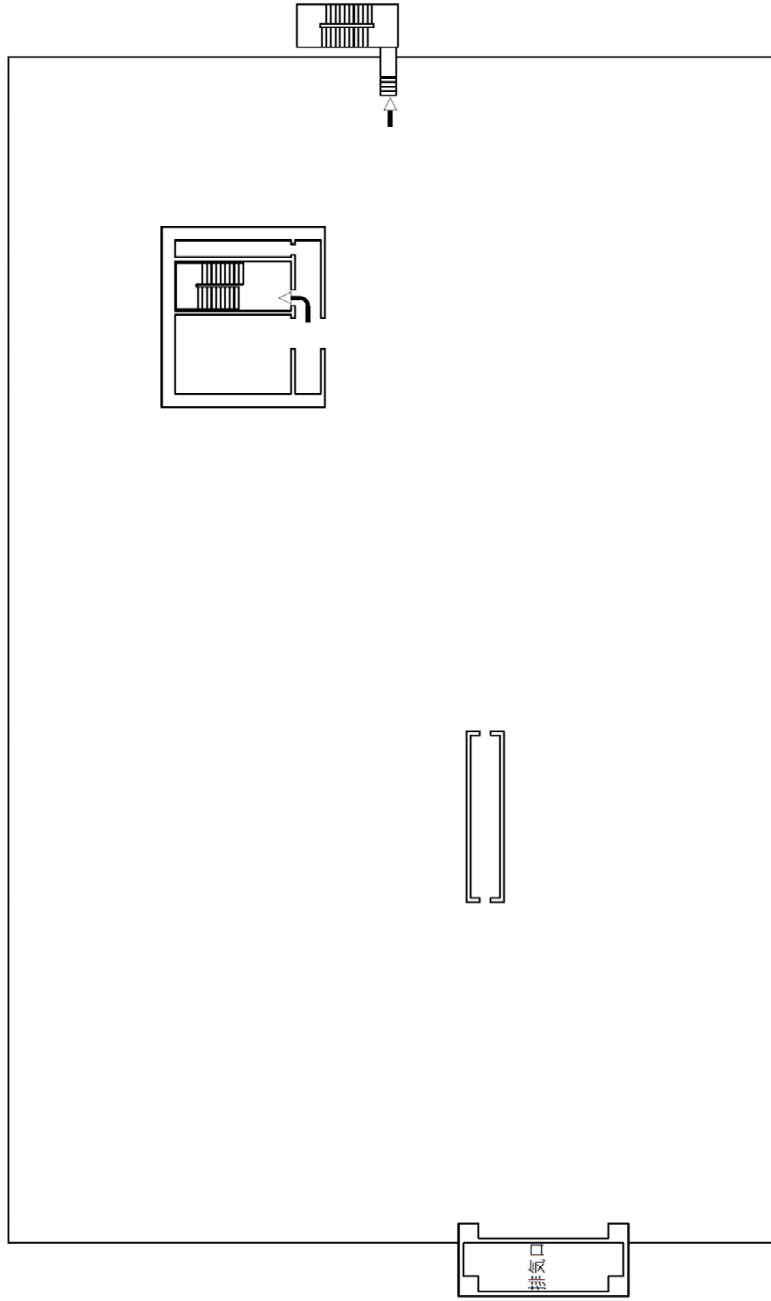
図一2 第1棟の安全避難通路を明示した図面



第1棟 3階

凡例
←
→

図-3 第1棟の安全避難通路を明示した図面



凡例	
◀	非常口
▶	避難経路

第1棟 屋上階

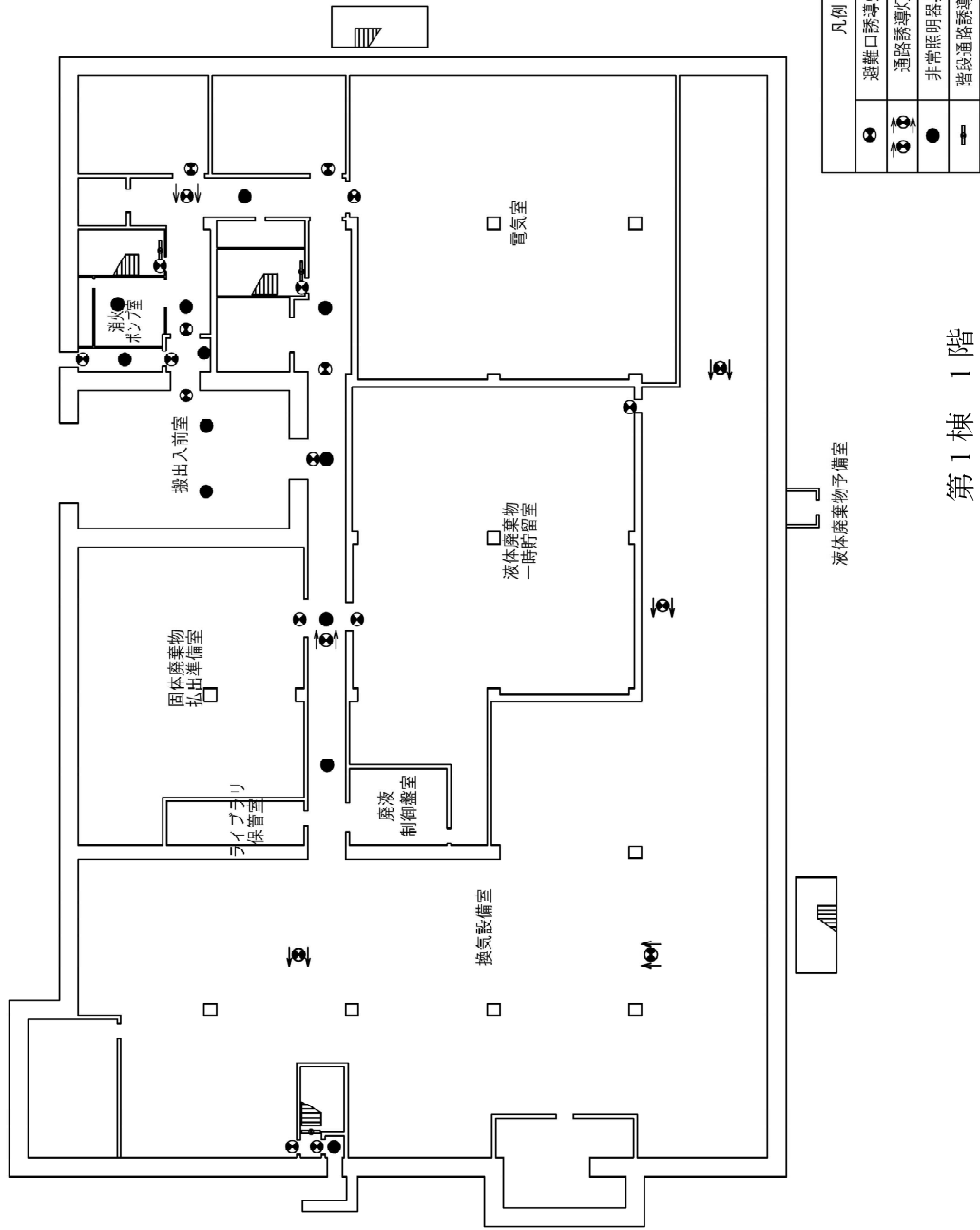
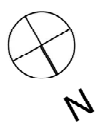
図-4 第1棟の安全避難通路を明示した図面

第1棟の非常用照明に関する説明書及び取付箇所を明示した図面

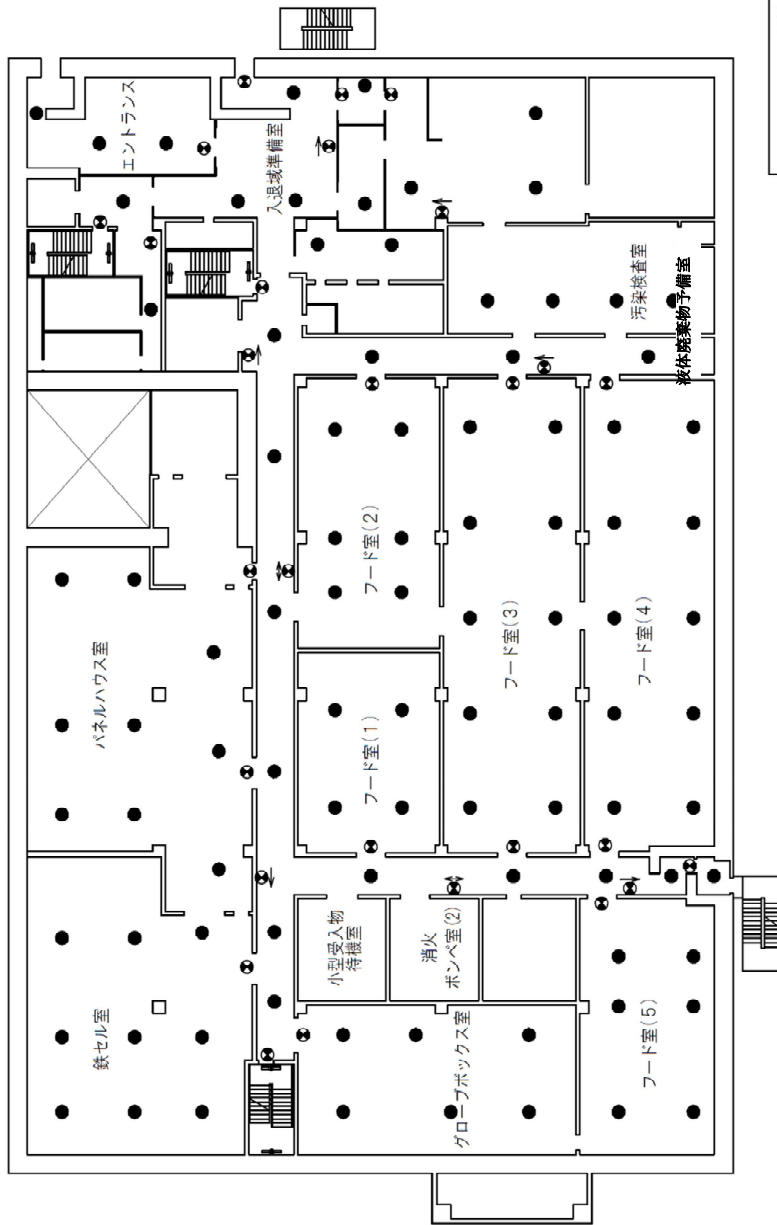
1. 非常用照明の設置方針

第1棟には、分析、定期的な放射線測定、建物及び建屋内の巡視点検のための出入りを行うことから、建築基準法及び関係法令に基づく非常用照明、消防法及び関係法令に基づく誘導灯を設置する。

非常用照明、誘導灯の取付箇所について、図-1～4に示す。



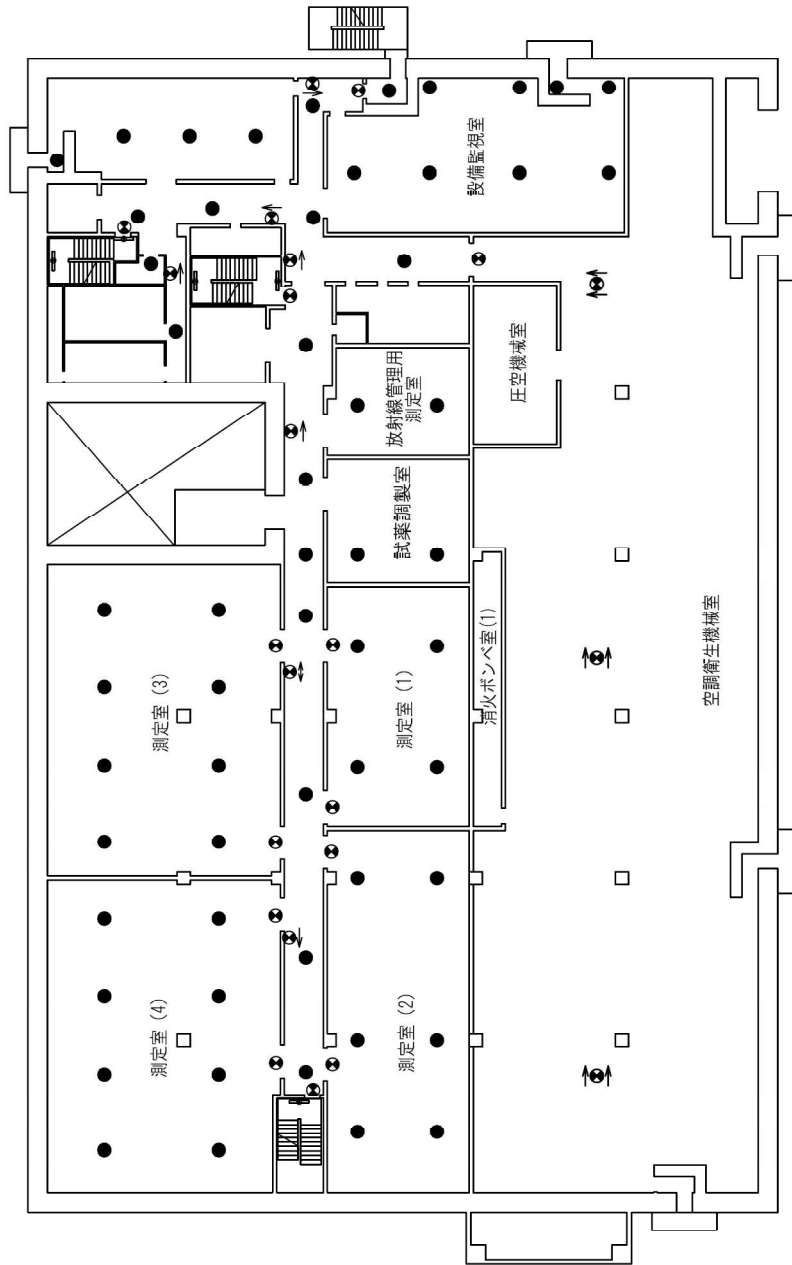
図一1 第1棟の非常用照明の取付箇所を明示した図面



凡例	
	避難口誘導灯 (電池内蔵型)
	通路誘導灯 (電池内蔵型)
	非常照明器具 (電池内蔵型)
	階段通路誘導灯 (電池内蔵型)

第1棟 2階

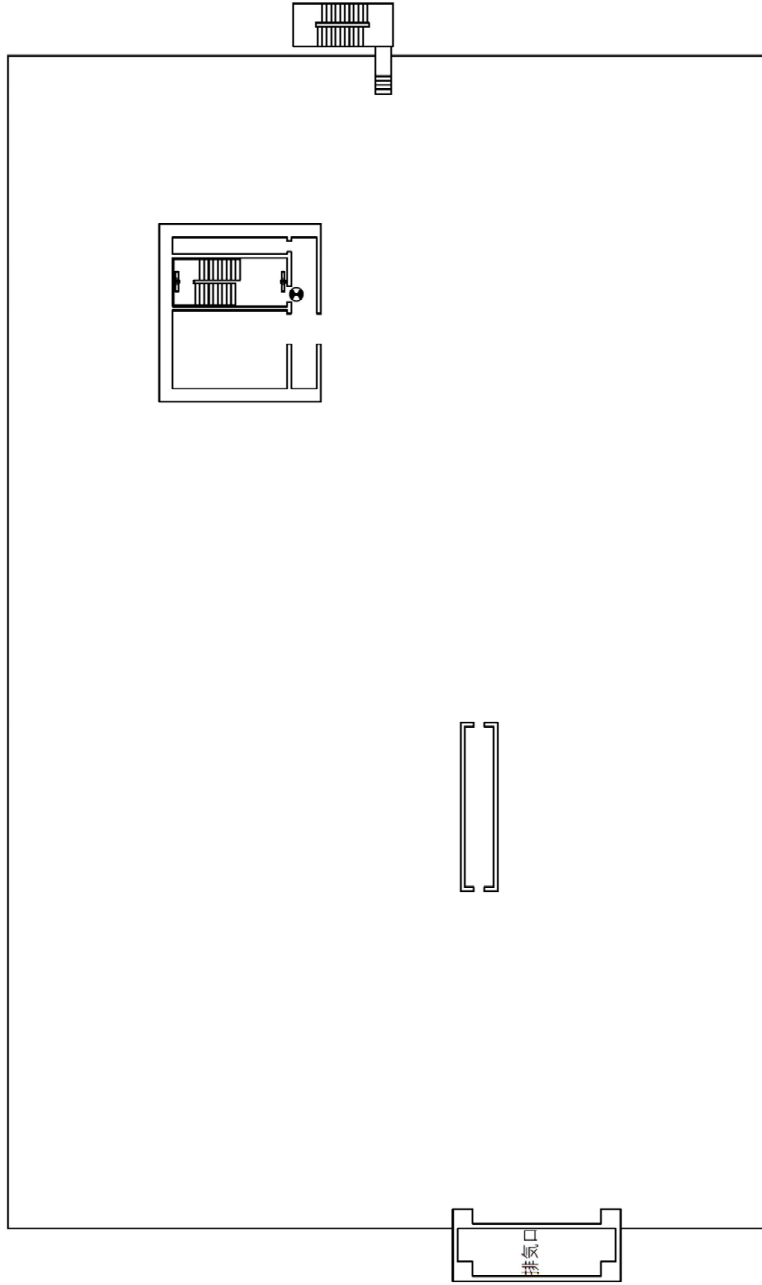
図一2 第1棟の非常用照明の取付箇所を明示した図面



凡例	
	避難口誘導灯 (電池内蔵型)
	通路誘導灯 (電池内蔵型)
	非常照明器具 (電池内蔵型)
	階段通路誘導灯 (電池内蔵型)

第1棟 3階

図-3 第1棟の非常用照明の取付箇所を明示した図面



凡例	
	避難口誘導灯 (電池内蔵型)
	通路誘導灯 (電池内蔵型)
	非常照明器具 (電池内蔵型)
	階段通路誘導灯 (電池内蔵型)

第1棟 屋上階

図-4 第1棟の非常用照明の取付箇所を明示した図面

第1棟の設置について

1. 工事概要

福島第一原子力発電所で発生する瓦礫類（瓦礫，資機材，土壤），伐採木，可燃物を焼却した焼却灰，汚染水処理に伴い発生する二次廃棄物（使用済吸着材，沈殿処理生成物）等*の性状を把握することにより，処理・処分方策とその安全性に関する技術的な見通し等を得るために，分析・試験を行うことを目的とし，第1棟を建設する。

*瓦礫類（瓦礫，資機材，土壤），伐採木，可燃物を焼却した焼却灰，汚染水処理に伴い発生する二次廃棄物（使用済吸着材，沈殿処理生成物）と同等の線量レベルのもの。

2. 工程

年	平成28年			平成29年												平成30年												平成31年				令和元年											
	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
建設工事																																											
運用																																											

年	令和2年												令和3年		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
建設工事															
運用															

第1棟の分析対象物に含まれている可能性のある核燃料物質について

1. 分析対象物に含まれている可能性のある核燃料物質等について

第1棟においては、福島第一原子力発電所（以下「発電所」という。）で発生する瓦礫類（瓦礫、資機材、土壌）、伐採木、可燃物を焼却した焼却灰、汚染水処理に伴い発生する二次廃棄物（使用済吸着材、沈殿処理生成物）等*（以下「分析対象物」という。）を取扱う。

これらには、平成23年3月の発電所事故により拡散した炉心内の核燃料物質（ウラン（以下「U」という。）、プルトニウム（以下「Pu」という。）、核分裂生成物、放射化した原子炉構造材が含まれている可能性がある。

* 瓦礫類（瓦礫、資機材、土壌）、伐採木、可燃物を焼却した焼却灰、汚染水処理に伴い発生する二次廃棄物（使用済吸着材、沈殿処理生成物）と同等の線量レベルのもの。

2. 分析対象物に含まれている可能性のある核燃料物質の分析事例について

第1棟の分析対象物に含まれている可能性のある核燃料物質の分析事例として、日本原子力研究開発機構が平成26年度にまとめた、発電所から発生した瓦礫等を分析した結果（JAEA Data/Code 2015-020 東京電力福島第一原子力発電所から発生する滞留水・処理水および瓦礫等の分析結果 -水分析結果（2014年度版）および瓦礫等分析結果（2014年度版）の公開-、2015年（以下「JAEA Data/Code 2015-020」という。）がある（JAEA Data/Code 2015-020に示された分析対象物も発電所で採取されたものではあるが、発電所における廃棄物に対する代表性は必ずしもない）。JAEA Data/Code 2015-020によれば、2号機建屋内から採取した瓦礫に含まれていた²³⁸Pu及び²³⁹Pu+²⁴⁰Puの量の最大値は、次のとおりである。

○瓦礫（2号機建屋内から採取）

²³⁸Pu : 9.3×10^{-11} g/g

²³⁹Pu+²⁴⁰Pu : 1.1×10^{-8} g/g

また、土壌に含まれていた²³⁵Uの量の最大値は、次のとおりである。

○土壌

²³⁵U : 1.2×10^{-8} g/g

なお、上記と同じ瓦礫・土壌について、200試料を取り扱うものとし、そのうちの90%は1試料あたり20kg、10%は1試料あたり300kgを扱う場合について核燃料物質の量を計算すると以下のとおりとなる。

^{238}Pu	: $9.3 \times 10^{-11} \text{g/g}$	$\times (20,000 \times 180 + 300,000 \times 20)$	$= 8.9 \times 10^{-4} \text{g}$
$^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$: $1.1 \times 10^{-8} \text{g/g}$	$\times (20,000 \times 180 + 300,000 \times 20)$	$= 1.1 \times 10^{-1} \text{g}$
^{235}U	: $1.2 \times 10^{-8} \text{g/g}$	$\times (20,000 \times 180 + 300,000 \times 20)$	$= 1.2 \times 10^{-1} \text{g}$

これらの数値は、核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律施行令第41条に定める核燃料物質の量を超えるレベルではない。

第1棟の分析対象物に含まれる可能性のある核燃料物質については、分析対象物から放射性核種を分離、抽出等の処理を行った上で、分析を実施することにより、初めて定量できる程度の極微量である。なお、先に示したJAEA Data/Code 2015-020における試料に含まれる核燃料物質の量の最大値が第1棟で扱う試料に含まれる核燃料物質の量の最大値に等しいとは必ずしも言えないが、その量が含まれる試料について200試料を取り扱うものとし、そのうちの90%は1試料あたり20kg、10%は1試料あたり300kgを扱った場合には、先の核燃料物質の量と同じ程度の少量にしかならない。また、第1棟は、そのような性状のわからない分析対象物に含まれる放射性物質の分析を行うことを目的としているため、取り扱う核燃料物質の上限値を設定して管理する必要はない。

なお、添付資料-14の記載内容は、データ及び知見の蓄積を踏まえ必要に応じ適宜見直すこととする。

第1棟の液体廃棄物一時貯留設備及び換気空調設備における適切な材料の使用について

第1棟液体廃棄物を一時的に保管するための設備に対する考慮については、「2.41.1.3.3 放射性の液体廃棄物の考慮」のとおりである。

そのうち、適切な材料の使用については、次のとおりである。

第1棟の液体廃棄物一時貯留設備において取り扱う第1棟液体廃棄物には、分析作業において硝酸、アルカリ等による溶解、分離等の作業に伴い発生する廃液や洗浄等によって発生する廃液（分析廃液）と、塩酸を使用する分析作業で発生する廃液（塩酸含有廃液）がある。また、手洗い等によって発生する腐食のおそれのない廃液（設備管理廃液）がある。

これらの廃液のうち、分析廃液を一時的に保管する分析廃液中間受槽、分析廃液受槽A～C及び分析廃液が流れる主要配管については、主に硝酸や硫酸に対する耐食性を考慮する必要があることから、硝酸や硫酸に対する耐食性に優れているSUS316Lを使用する。

塩酸含有廃液を一時的に保管する塩酸含有廃液受槽については、塩酸による鋼材の腐食を防止するため、塩酸に対する耐食性に優れているテフロン樹脂を受槽の内面にライニングする。

設備管理廃液を一時的に保管する設備管理廃液受槽A、B及び設備管理廃液が流れる主要配管については、SUS304を使用する。

換気空調設備に対する考慮については、「2.41.1.3.4 放射性気体廃棄物の考慮」のとおりである。ここでは、換気空調設備は、鉄セル、グローブボックス、フード等の排気を、高性能フィルタにより、放射性物質を十分低い濃度になるまで除去した後、排気口から放出する設計としている。この設計に関連した主要排気管の材料の使用については、次のとおりである。

鉄セル及びグローブボックスからの排気を取り扱う主要排気管にはSUS304を使用する。なお、鉄セル及びグローブボックスでは試料の採取、粉碎、試料調製といった作業を行うが、試薬は使用しない。このため、鉄セル及びグローブボックスからの排気中に腐食性のものは含まれない。

第1棟の液体廃棄物一時貯留設備に関する警報について

第1棟液体廃棄物を一時的に保管するための設備に対する考慮については、「2.41.1.3.3 放射性の液体廃棄物の考慮」のとおりである。

そのうち、分析に伴って発生する廃液の槽水位については、分析廃液中間受槽、分析廃液受槽A～C、塩酸含有廃液受槽に設置した水位計により検知し、漏えい検知については、液体廃棄物一時貯留室内の漏えい防止堰(1)～(3)に設置した漏えい検知器により検知する。

槽水位、漏えい検知等の警報については、上記の水位計、漏えい検知器等が異常を検知した際に、異常の発生を確実に運転員に伝え適切な措置をとれるようにするため、運転員が常駐している第1棟3階の設備監視室において、第1棟液体廃棄物を一時的に保管するための設備の運転状態を監視できるようにするとともに、警報発報時には運転員がこの警報に係る異常に対して適切な対応をとる。

第1棟の緊急時対策について

福島第一原子力発電所の緊急時対策については「Ⅱ.1.13 緊急時対策」のとおりである。これに基づき、第1棟としての具体的な対策を以下に示す。

1. 緊急時において必要な施設及び資機材等

第1棟については以下について整備する。

- ① 安全避難経路の設定
- ② 火災検知器，消火設備，及び防火区画の設置
- ③ 非常用照明，誘導灯の設置
- ④ 緊急時の資機材としての担架，除染用具，線量計の整備

2. 緊急時の警報系及び通信連絡設備

第1棟については以下について整備する。

- ① 火災検知警報
- ② 通信連絡設備

第1棟内の人に対する指示は，放送設備，ページング，電話回線を用いて行う。第1棟から免震重要棟に対しては電話回線，LAN回線を用いて連絡する。また，免震重要棟から第1棟に対しても，同設備を用いて連絡する。特定原子力施設内のすべての人に対する指示が必要な場合には免震重要棟を介して行う。

第1棟の運転員の誤操作の防止について

運転員の誤操作を防止するための設計上の考慮としては、「Ⅱ.1.14 設計上の考慮」のとおりである。これに基づき、第1棟では以下のとおり設計上の考慮を行う。

液体廃棄物一時貯留設備では、分析廃液の移送時に運転員が適切に操作でき、誤操作をしないようにするため、各受槽に貯留している容量を確認できる液位計を備えている。運転員の誤操作は、この液位計により以下のように防止される。

分析廃液の移送前に、分析廃液を受け入れる側の受槽の液位計により、現在の受け入れ可能な容量を確認できる。これにより、運転員が、受け入れ可能な量を超えるような移送を計画することを防止できる。また分析廃液の移送の開始後においても、液位計により逐次受け入れた液量を確認し、所定の量が移送された時点で分析廃液の移送を手動で停止する、又は移送元側の槽の分析廃液が無くなったとき（槽の最低液位まで液位が低下したとき）に移送が自動的に停止することで、計画する量以上の分析廃液を移送しない設計とする。

以上のように液位計を用いた運転操作により誤操作が防止されるが、それでもなお運転員が誤った操作をしようとした際にも、以下の設備対応により、その実施が防止される。

分析廃液について、分析廃液中間受槽から分析廃液受槽A～Cへの移送において、分析廃液受槽A～Cが満水になり、溢れ出ないように、分析廃液受槽A～Cが満水近くになった場合には、液位計からの満水に達することを防止するための信号により、それ以上、分析廃液が入らないように入口側のバルブが自動で閉止し、移送を停止するよう設計している。また、分析廃液受槽A～Cが満水近くであることに運転員が気付かずに、分析廃液移送ポンプA, Bを操作して、更に分析廃液を移送しようとした場合にも、液位計からの満水に達することを防止するための信号が入った状態が維持されている限り、入口側のバルブが開かず、移送を停止するよう設計している。

換気空調設備については、管理区域用排風機が停止している際に、運転員が管理区域用送風機を作動させて建屋内が正圧になり、管理区域内の放射性物質が外に出ることを防止するため、管理区域用排風機の停止を示す信号により、管理区域用送風機が作動しないように設計している。

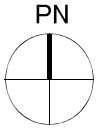
第1棟の建屋の構造強度及び耐震強度に関する検討結果

1. 評価方針

第1棟は、発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針上のBクラス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。なお、設計は建築基準法に基づき実施するとともに、積雪荷重及び風圧力についても評価する。

第1棟は、鉄筋コンクリート造の地上3階で、平面が45.0m (EW 方向) × 70.0m (NS 方向) の建物で、地上高さは25.6mである。基礎は杭基礎 (鋼管杭) で富岡層に支持させる。第1棟の杭配置図、平面図及び断面図を図-1～図-8に示す。

建屋に加わる地震時の水平力は、主に外周部及び建物内部に設けた耐震壁にて負担する。耐震性の評価は、地震層せん断力係数として $1.5 \cdot C_1$ を採用した場合の当該部位の応力に対して行う。第1棟の評価手順を図-9に示す。



杭記号	杭径 (m)	杭長 (m)
○	φ 0.8	15.5~18.0

— : 建築外壁面
 - - - : 階段及び地下構造物

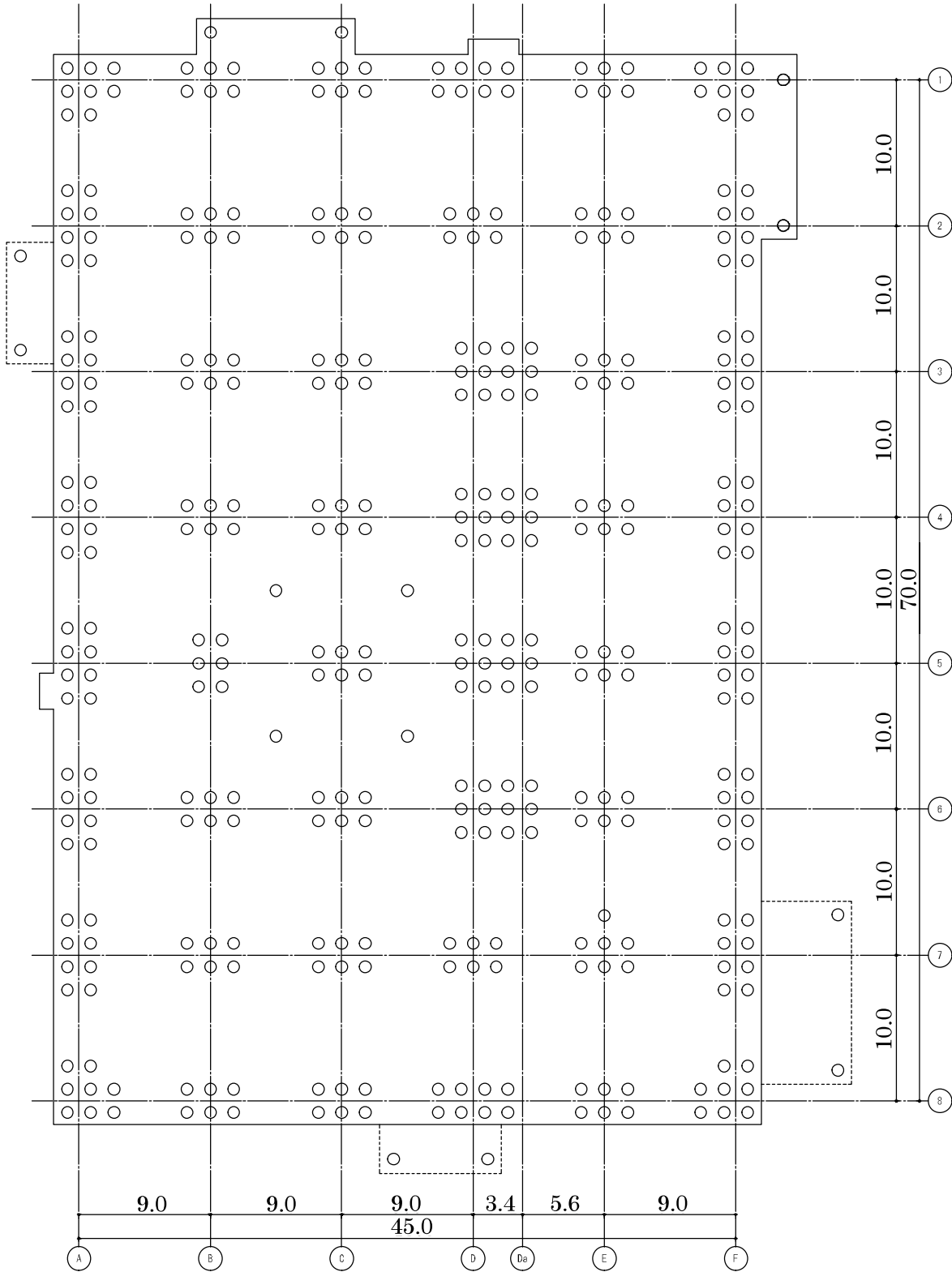
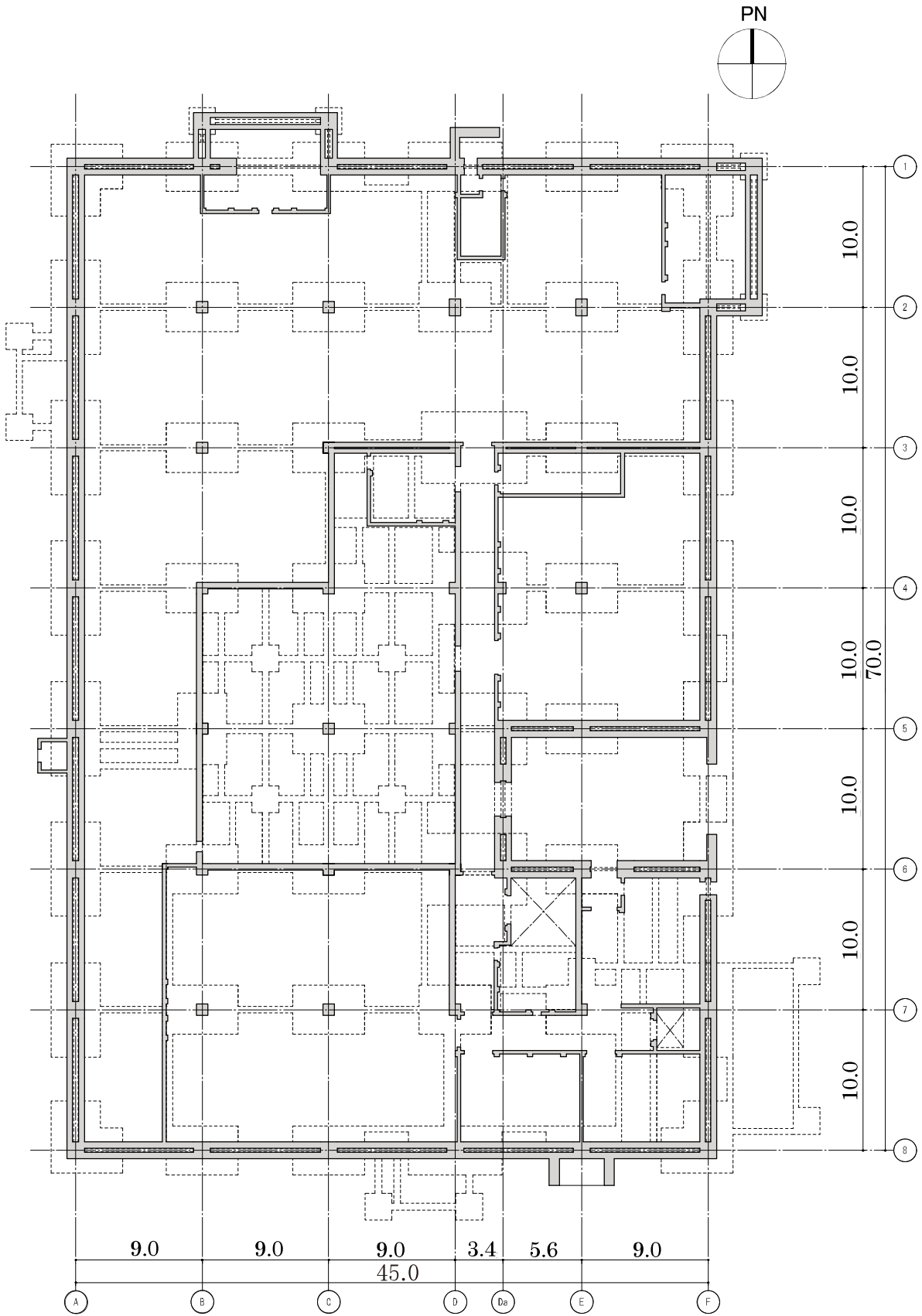


図-1 杭配置図 (G.L. -2.71~-5.17) (単位 : m)



图一2 1階平面図 (G.L. +0.30) (単位 : m)

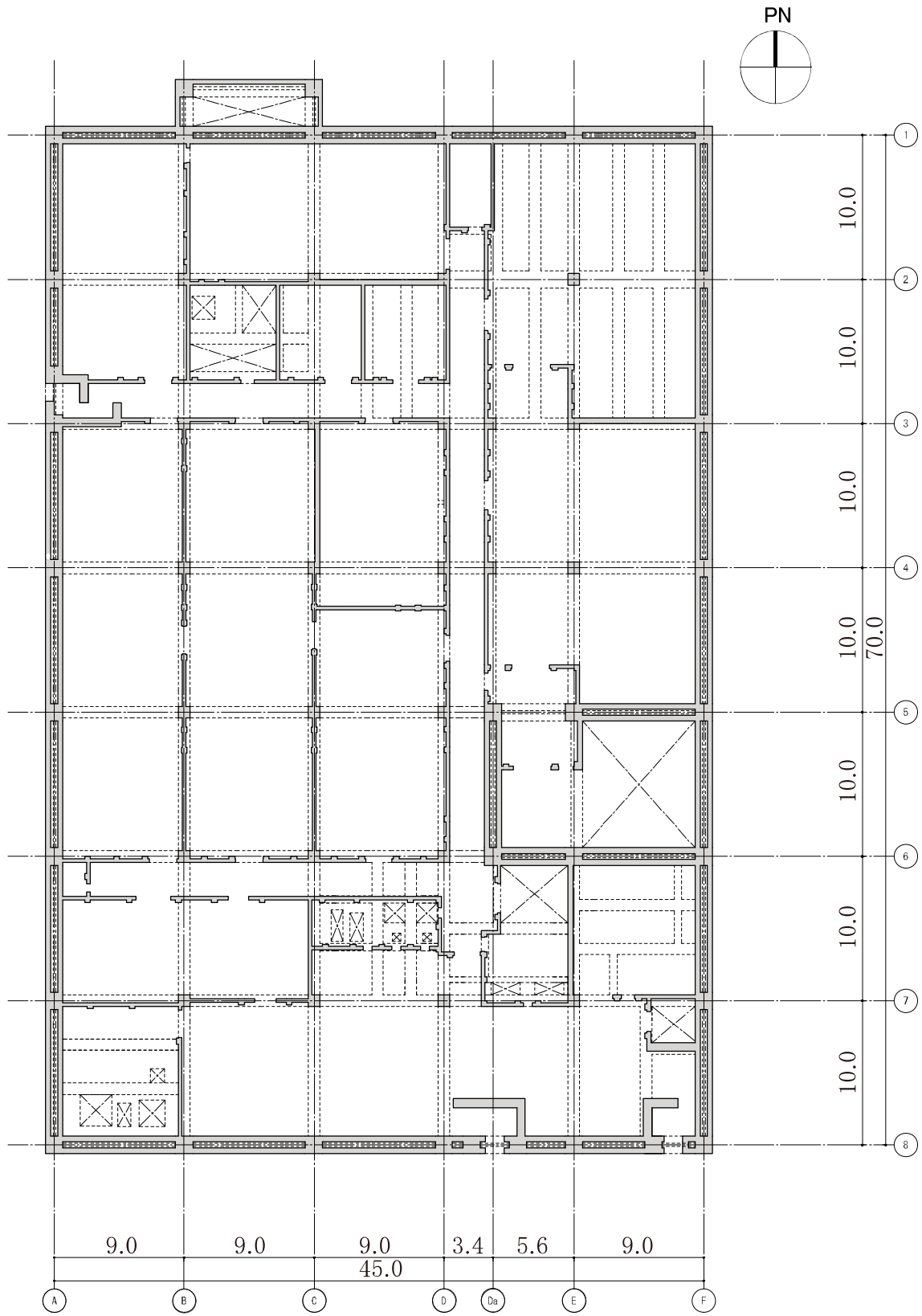


图-3 2階平面図 (G.L. +8.80) (单位 : m)

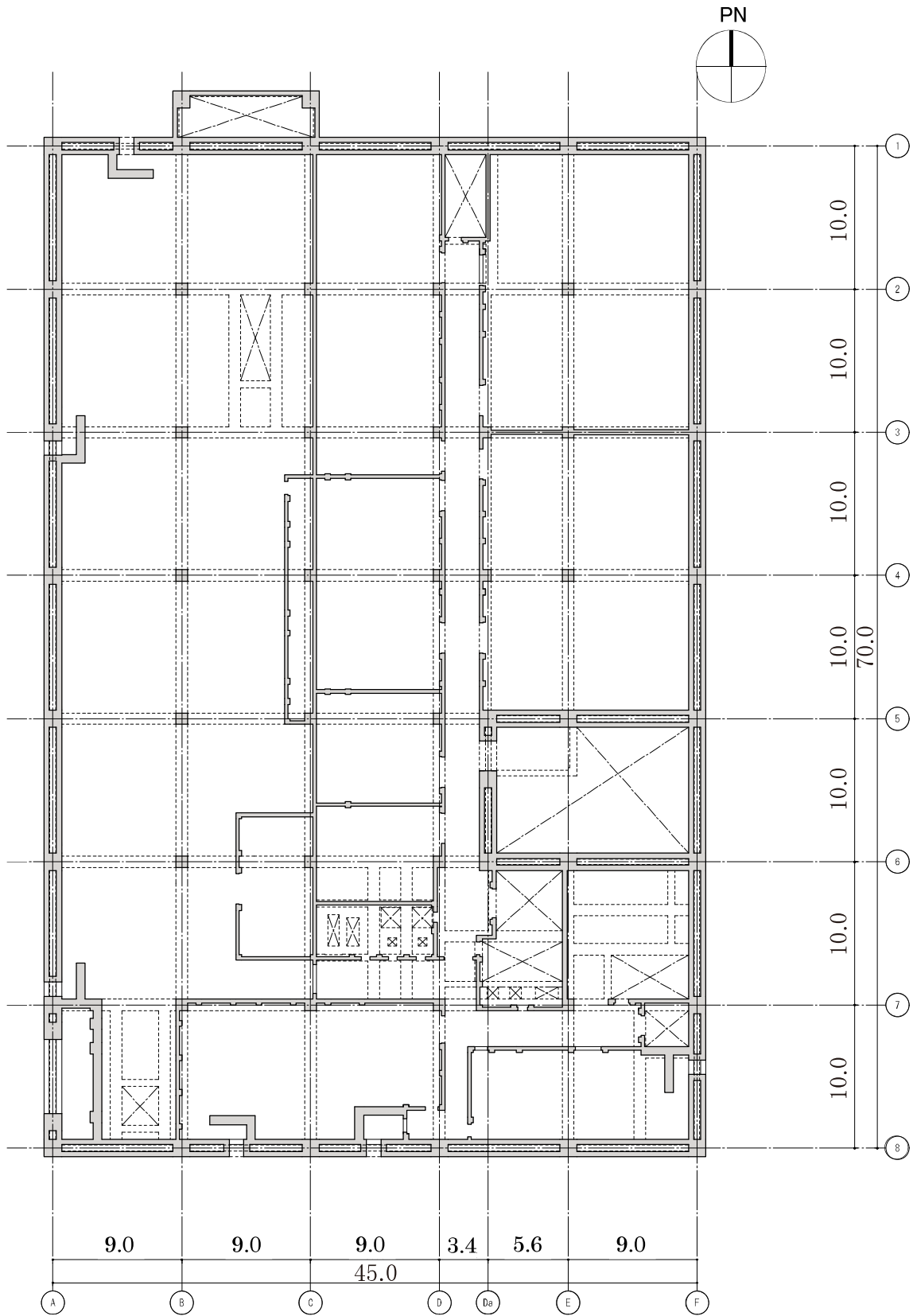


图-4 3 階平面図 (G. L. +15.80) (单位 : m)

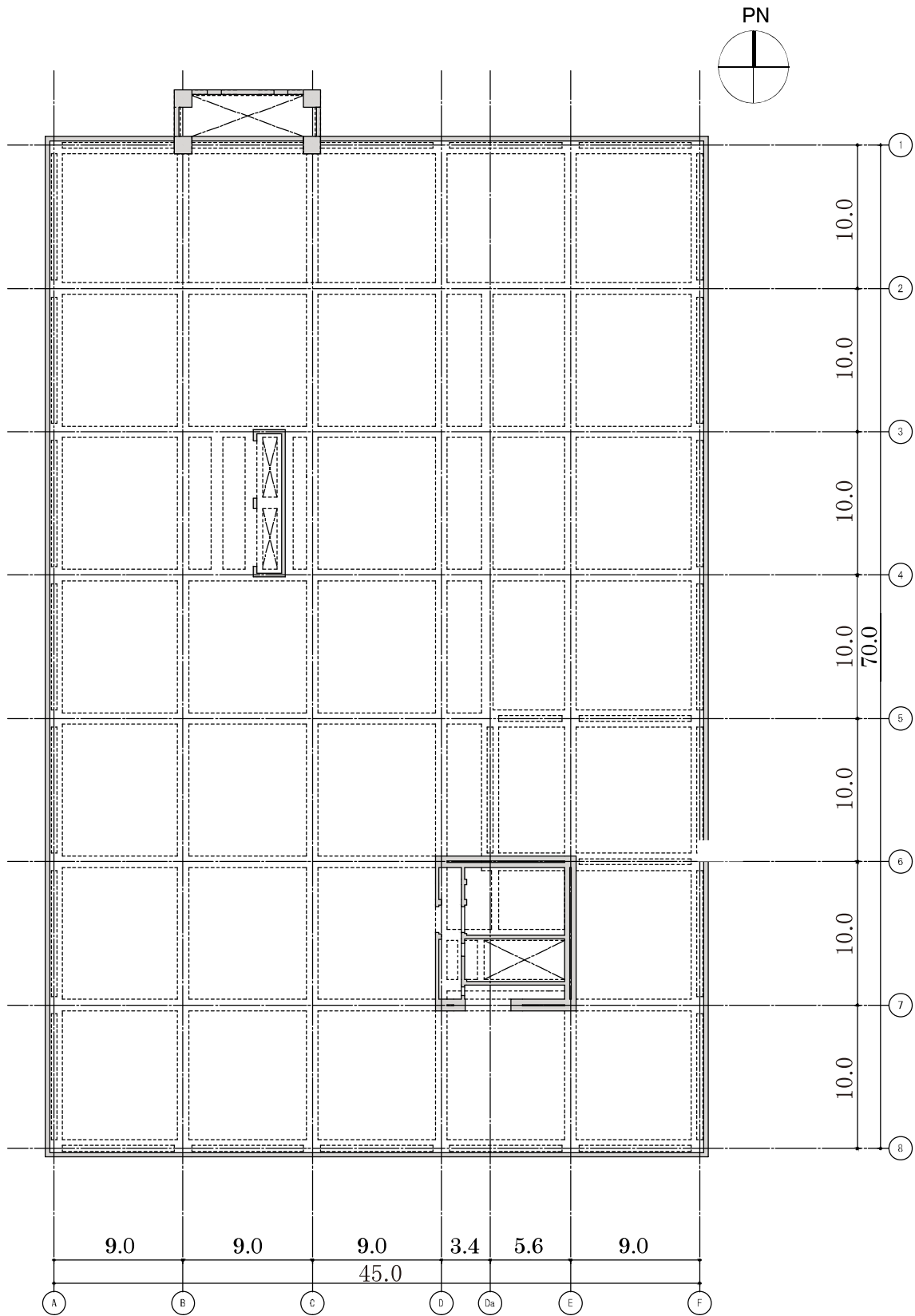


图-5 屋上階平面図 (G. L. +24. 30) (单位 : m)

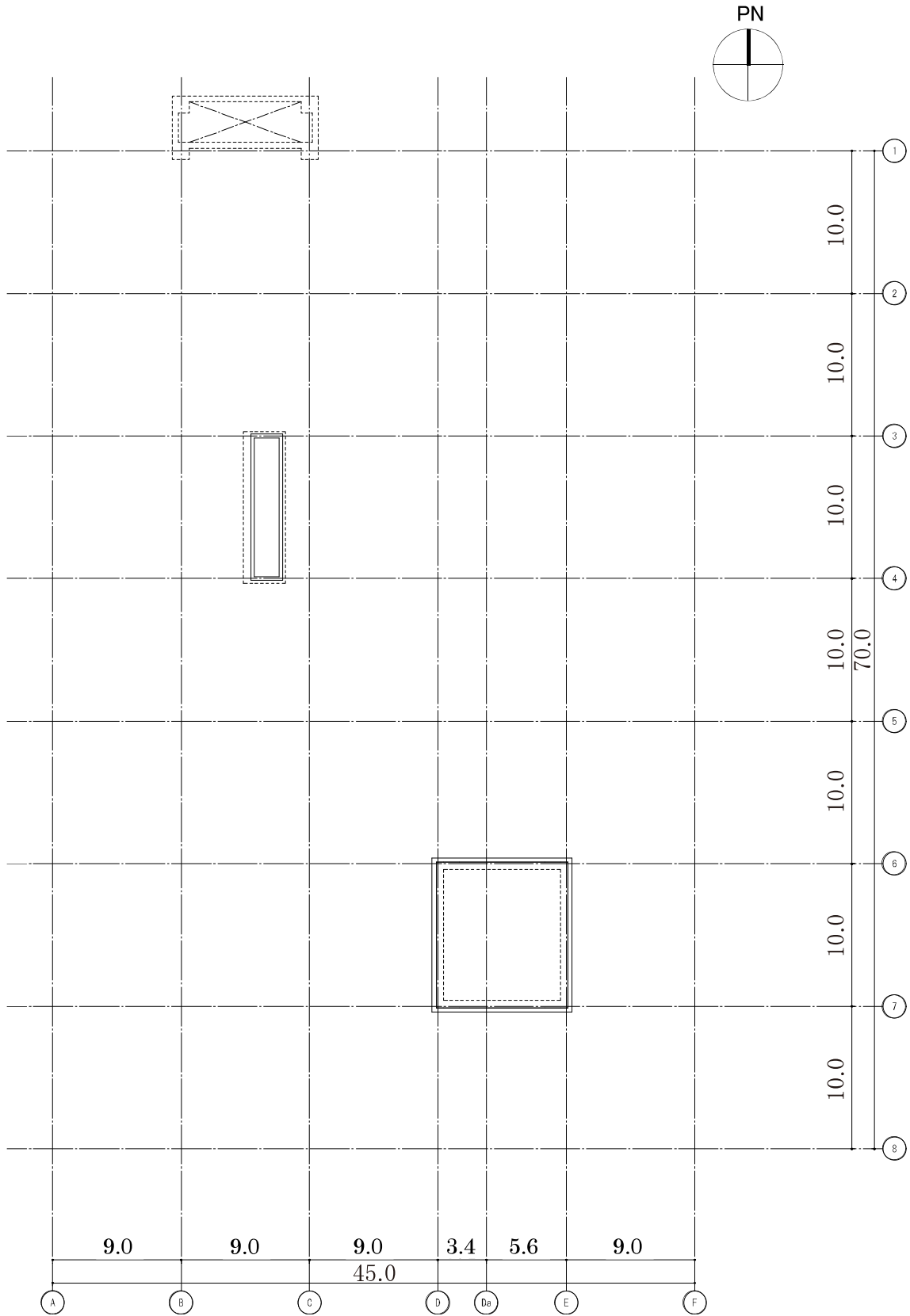


图-6 屋根平面图 (G. L. +29.30) (单位 : m)

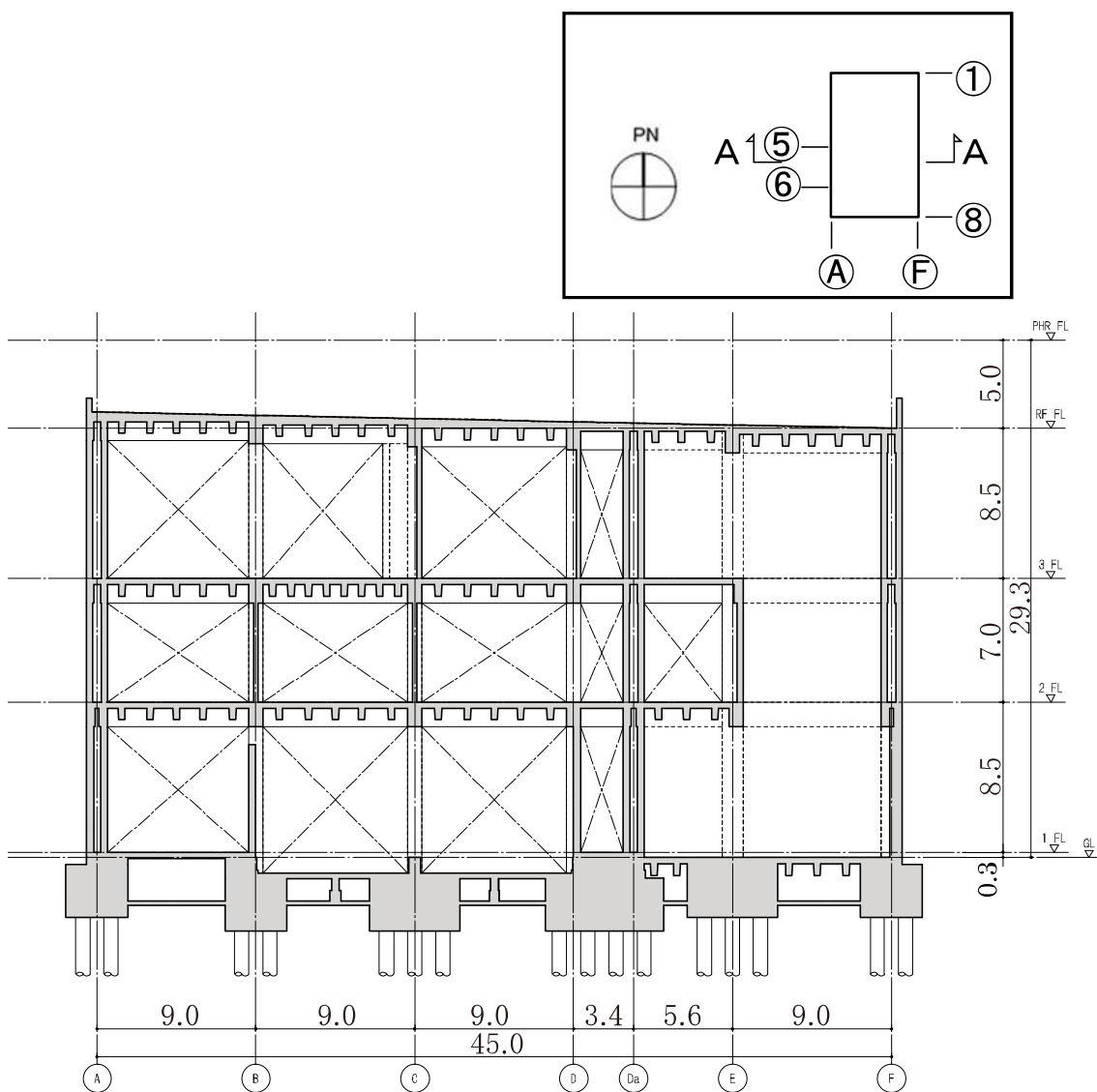


图-7 A-A 断面图 (EW 方向) (单位 : m)

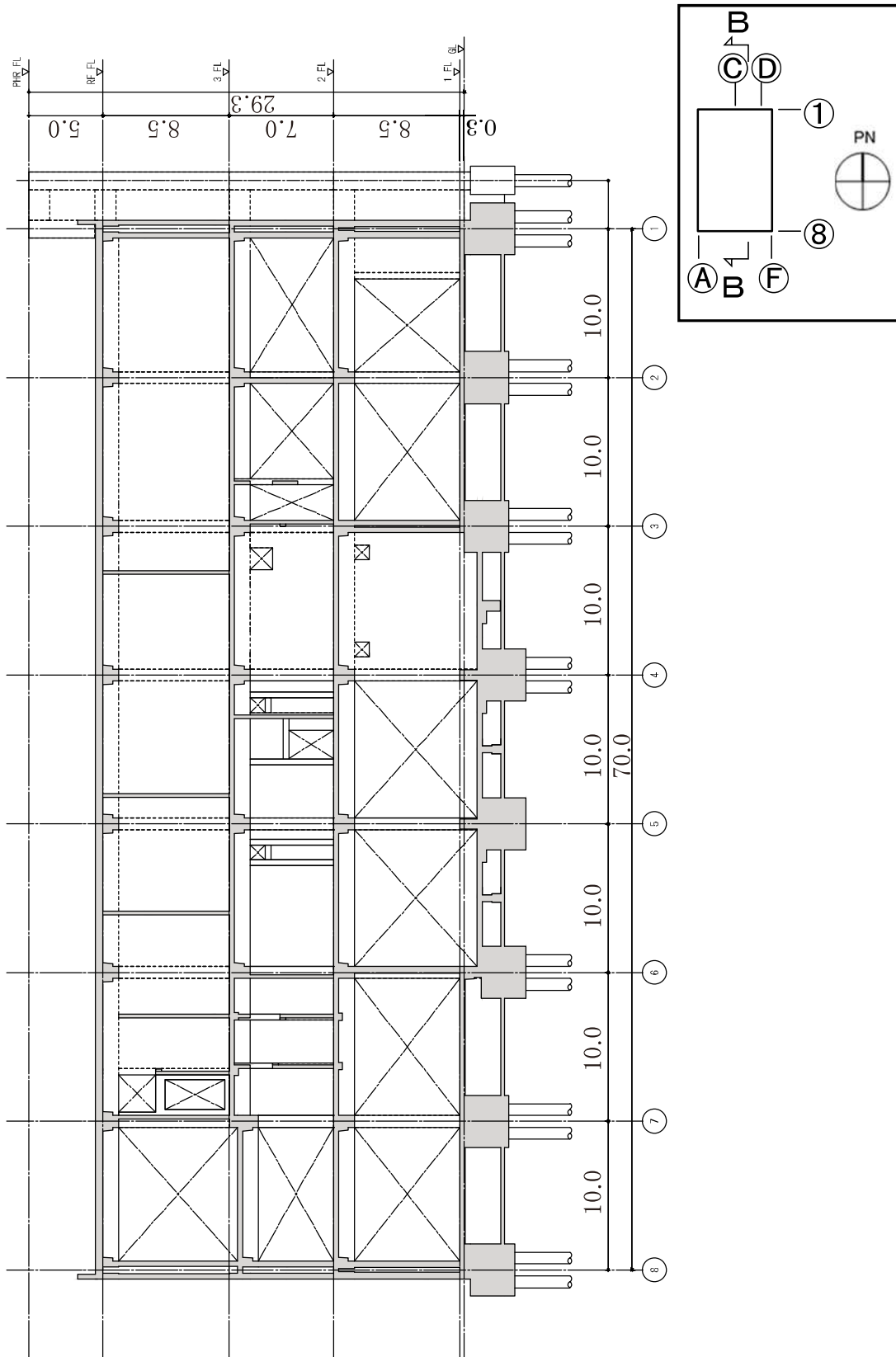


图-8 B-B断面图 (NS方向) (单位 : m)

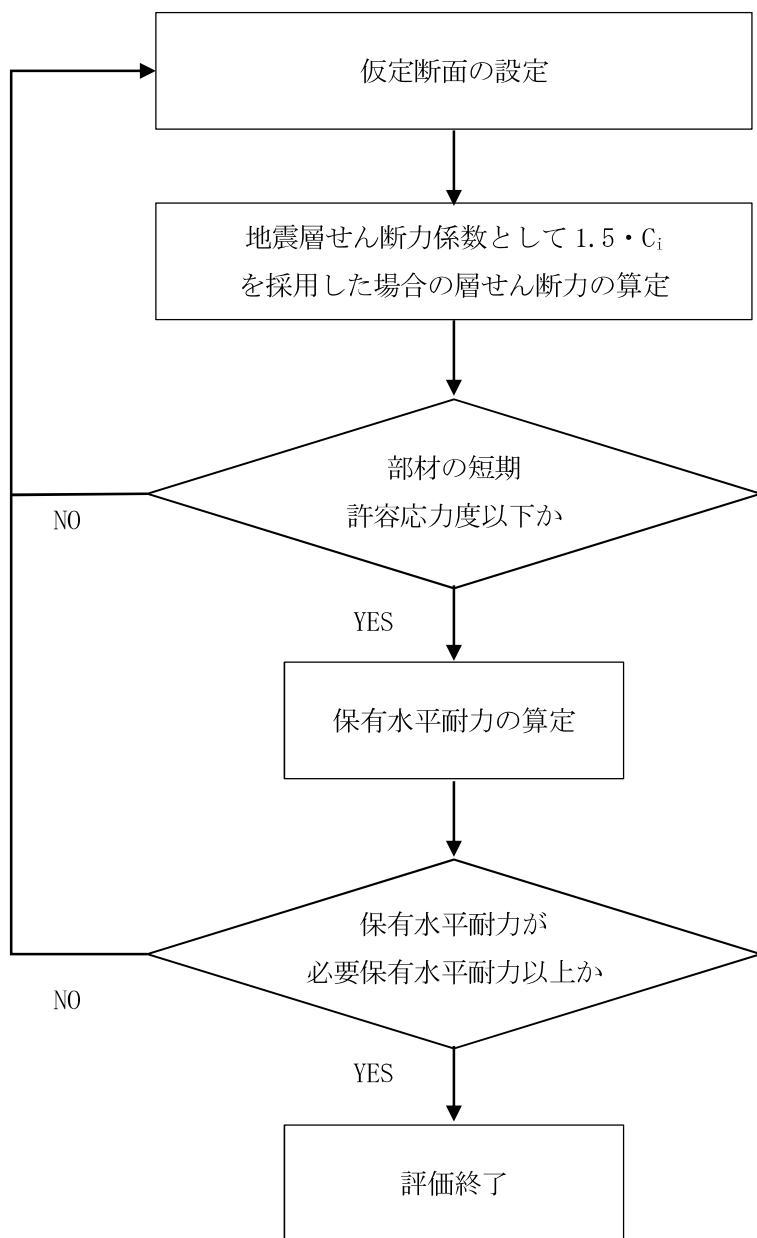


図-9 Bクラス施設としての建屋の耐震安全性評価手順

2. 評価条件

2.1 使用材料並びに材料の許容応力度及び材料強度

第1棟の上部構造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 、 36N/mm^2 及び 60N/mm^2 とする。鉄筋は SD295A、SD345、及び SD390 とする。杭は鋼管杭とし、杭径は $\phi 800\text{mm}$ とする。

各使用材料の許容応力度及び杭の許容支持力を表-1～表-3 に示す。

表-1 コンクリートの許容応力度※

	長期 (N/mm ²)		短期 (N/mm ²)	
	圧縮	せん断	圧縮	せん断
$F_c = 30\text{N/mm}^2$	10	0.79	20	1.18
$F_c = 36\text{N/mm}^2$	12	0.85	24	1.27
$F_c = 60\text{N/mm}^2$	20	1.09	40	1.63

※「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」(日本建築学会 2013年8月)

表-2 鉄筋の許容応力度※

		長期 (N/mm ²)		短期 (N/mm ²)	
		引張及び圧縮	せん断補強	引張及び圧縮	せん断補強
SD295A	D16 以下	195	195	295	295
SD345	D19～D25	215	195	345	345
SD390	D29～D38	195	195	390	390

※「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」(日本建築学会 2013年8月)

表-3 杭の許容支持力※

杭径 (mm)	杭長 (m)	長期 (kN/本)	短期 (kN/本)
$\phi 800$	15.5～18.0	2700	5400

※許容支持力の算定方法は、別紙-1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、積載荷重（機器荷重を含む）及び仕上荷重（配管荷重を含む）とする。

2) 積雪荷重 (SNL)

積雪荷重は、建築基準法施行令第 86 条及び福島県建築基準法施行細則第 19 条に基づき以下の条件とする。

積雪量：30cm，単位荷重：20N/m²/cm

3) 風荷重 (WL)

建築基準法施行令第 87 条及び建設省告示第 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：30m/s
- ・地表面粗度区分：Ⅲ

4) 地震荷重 (SEL)

地震力を算定する際の基準面は、基礎スラブ上端として、建屋の高さに応じた当該部分に作用する全体の地震力を算定する。水平地震力は下式により算定し、算定結果を表-4 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-4 水平地震力の算定結果

G. L. (m)	当該層以上の重量 W_i (kN)	地震層せん断力係数 $1.5 \cdot C_i$	設計用地震力 (kN)
+29.30	3688	1.494	5508
+24.30			
+15.80	112634	0.480	54120
+8.80	243023	0.370	89949
+0.30	374107	0.300	112232

(2) 荷重の組合せ

荷重の組合せについて表-5 に示す。

表-5 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
地震時	C1	VL+SEL(W→E方向)	
	C2	VL+SEL(E→W方向)	
	C3	VL+SEL(S→N方向)	
	C4	VL+SEL(N→S方向)	
暴風時	D1	VL+WL(W→E方向)	
	D2	VL+WL(E→W方向)	
	D3	VL+WL(S→N方向)	
	D4	VL+WL(N→S方向)	

3. 評価結果

上部構造の応力解析は、大ばり及び柱を線材置換したフレームで、耐震壁は壁エレメント置換した立体モデルにより行う。

3.1 耐震壁の評価結果

検討により求められた耐震壁の作用応力と許容応力と比較し、検定比が最大となる部位を表-6 に示し、配筋図を図-10 に示す。

これより、耐震壁の作用応力は、許容応力以下であることを確認した。

表-6 耐震壁の検討結果

部位	断面	荷重 ケース	応力	作用応力 (kN)	許容応力* (kN)	検定比
3階8通り C~D通り間	壁厚 350mm (F _c =36) タテ筋 D25@400 ダブル千鳥 ヨコ筋 D16@200 ダブル	地震時 C1	せん断力	4461.1	6944.3	0.64 ≤ 1.0

※「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」(日本建築学会 2013年8月)

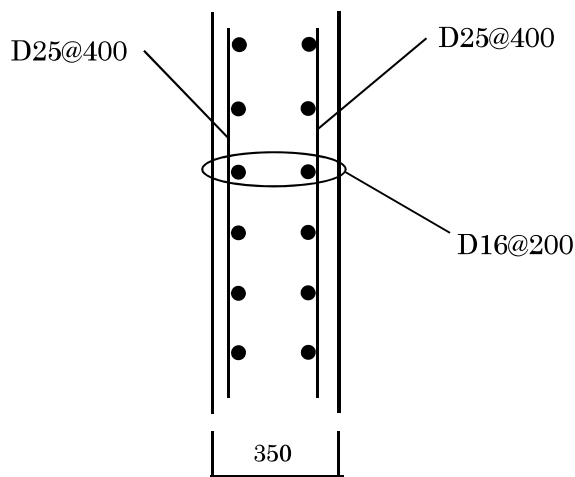


図-10 耐震壁の配筋図 (単位: mm)

3.2 ラーメン構造部の評価結果

検討により求められたフレーム部材の応力を許容応力と比較して、検定比の最大となる部位について表-7～表-8に示す。

これより、各部材の応力は、許容応力以下となっていることを確認した。

表-7 大ばり断面算定表

検討箇所	断面	荷重 ケース	応力	作用応力		許容応力 [※]		検定比
				曲げモーメント : kN・m	せん断力 : kN	曲げモーメント : kN・m	せん断力 : kN	
R階 2通り E～F 通り間	B×D =800×1400 (F _c =36) 上端筋 7-D38 下端筋 5-D38 あばら筋 3-D13@150 (端部)	常時 A	曲げモーメント	1752.6	1869.5	0.94 ≤ 1.0		
			せん断力	1067.4	1394.0	0.77 ≤ 1.0		
R階 D通り 6～7 通り間	B×D =800×1400 (F _c =36) 上端筋 5-D35 下端筋 4-D35 あばら筋 3-D13@150 (端部)	地震時 C3	曲げモーメント	2148.4	2193.3	0.96 ≤ 1.0		
			せん断力	1008.9	1936.1	0.52 ≤ 1.0		

※「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」(日本建築学会 2013年8月)

表-8 柱断面算定表

検討箇所	断面	荷重 ケース	応力	作用応力		許容応力 ^{※1}		検定比
				曲げモーメント : kN・m	せん断力 : kN	曲げモーメント : kN・m	せん断力 : kN	
1階 7/D通り	B×D =800×800 (F _c =60) 主筋 10-D32 帯筋 2-2-D13@100 (柱脚)	常時 A	曲げモーメント	30.7	42.9	(軸力 9857.2kN 作用時 ^{※2})	0.72 ≤ 1.0	
			せん断力	7.3	545.5	0.01 ≤ 1.0		
R階 6/D通り	B×D =800×800 (F _c =60) 主筋 12-D32 (柱脚) 帯筋 2-2-D13@100	地震時 C3	曲げモーメント	1121.8	1271.0	(軸力 730.8kN 作用時 ^{※2})	0.86 ≤ 1.0	
			せん断力	870.1	904.5	0.96 ≤ 1.0		

※1「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」(日本建築学会 2013年8月)

※2 圧縮を正とする。

3.3 杭の評価結果

(1) 設計方針

検討は、常時及び地震時の杭に生じる応力を算定し、支持力については許容支持力以内であることを確認する。また、地震時においては発生す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) 常時における杭の検討（長期）

常時における杭に生じる最大軸力と許容支持力の比較を検定比が最大となる位置について表-9に示す。

表-9 杭の支持力の検討（常時）

検討位置	軸力 (kN)	許容支持力 (kN)	検定比
1/B 通り	2383	2700	$0.88 \leq 1.0$

(3) 地震時における杭の検討（短期）

地震時における杭に生じる最大及び最小軸力と許容支持力の比較を検定比が最大となる位置について表-10に示す。最大軸力は圧縮側の許容支持力との比較をし、引張側は引き抜き抵抗との比較を示す。また、杭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-11に示す。

表-10 杭の鉛直力と許容支持力の検討（地震時）

検討位置	軸力 (kN)	許容支持力 (kN)	検定比
圧縮側 1/C 通り	4450	5400	$0.83 \leq 1.0$
引張側 1/A 通り	-332	-1100	$0.30 \leq 1.0$

表-11 杭の応力度の検討（地震時）

検討位置	最大応力度 (曲げ+軸力) (N/mm ²)	許容応力度 (N/mm ²)	検定比
1/C 通り	202.3	325.0	$0.62 \leq 1.0$

4. 保有水平耐力の検討

保有水平耐力 (Q_u) が必要保有水平耐力 (Q_{un}) 以上であることを確認する。

各層の保有水平耐力は、建築基準法施行令第82条の3及び平成19年国土交通省告示第594号に基づき算出する。各層の必要保有水平耐力と保有水平耐力の算定結果を表-12に示す。

これより、第1棟は必要保有水平耐力以上の保有水平耐力を有していることを確認した。

表-12 必要保有水平耐力と保有水平耐力の比較

(1)EW 方向 (短辺)

G. L. (m)	必要保有水平耐力 Q_{un} (kN)	保有水平耐力 Q_u (kN)	$\frac{Q_u}{Q_{un}}$
+15.80 ~ +24.30	99219	169935	1.71
+8.80 ~ +15.80	164907	282440	1.71
+0.30 ~ + 8.80	205759	352409	1.71

(2)NS 方向 (長辺)

G. L. (m)	必要保有水平耐力 Q_{un} (kN)	保有水平耐力 Q_u (kN)	$\frac{Q_u}{Q_{un}}$
+15.80 ~ +24.30	99219	187254	1.88
+8.80 ~ +15.80	164907	311224	1.88
+0.30 ~ + 8.80	205759	388323	1.88

以上のことから、第1棟の耐震安全性は確保されているものと評価した。

杭の許容支持力の算定に関する説明書

1. 杭の許容支持力の算定

1.1 設計方針

杭は鋼管杭を使用し、杭工法は打ち込み工法とする。

杭の許容支持力は、平成 13 年国土交通省告示第 1113 号に基づき地盤の許容支持力又は杭耐力のうちいずれかの小さい値とする。

1.2 使用材料

鋼管杭に使用する材料はSKK490 (JIS A 5525) とする。杭の諸元を表-1 に示す。

表-1 杭の諸元

杭径 (mm)	杭長 (m)	鋼管材料	鋼管の基準強度 F (N/mm ²)	鋼管厚 t _s (mm)
φ 800	15.5~18.0	SKK490	325	19, 16

1.3 杭の許容支持力

1.3.1 地盤から決まる許容支持力

地盤から求まる許容支持力は、平成 13 年国土交通省告示第 1113 号に基づき算定する。

(1) 長期に生じる力に対する地盤の許容支持力

$$R_a = (1/3) \times \left\{ \alpha \cdot \bar{N} \cdot A_p + \left(\beta \cdot \bar{N}_s \cdot L_s + \gamma \cdot \bar{q}_u \cdot L_c \right) \phi \right\}$$

(2) 短期に生じる力に対する地盤の許容支持力

$$R_a = (2/3) \times \left\{ \alpha \cdot \bar{N} \cdot A_p + \left(\beta \cdot \bar{N}_s \cdot L_s + \gamma \cdot \bar{q}_u \cdot L_c \right) \phi \right\}$$

ここで、 α : 杭の支持力係数 ($\alpha = 300$)

β : 砂質地盤における杭周面摩擦力係数 ($\beta = 10/3$)

γ : 粘性土地盤における杭周面摩擦力係数 ($\gamma = 1/2$)

\bar{N} : 基礎ぐいの先端より下方に $1D_1$ (D_1 : 基礎ぐい先端部の直径), 上方に $4D_1$ の間の地盤の標準貫入試験による打撃回数の平均値 (回)

ただし, \bar{N} が 60 を超える場合は 60 とする。

A_p : 基礎ぐい先端の有効断面積 (m²)

$$A_p = 0.2 \cdot \pi \cdot D_1^2$$

\bar{N}_s : 基礎ぐいの周囲の地盤のうち砂質地盤の標準貫入試験による打撃回数の平均値 (回)

ただし, \bar{N}_s が 30 を超える場合は 30 とする。

$\overline{q_u}$: 基礎ぐいの周囲の地盤のうち粘土質地盤の位置軸圧縮強度の平均値 (kN/m²)

ただし、 $\overline{q_u}$ が 200 を超える場合は 200 とする。

L_s : 基礎ぐいの周囲の地盤のうち砂質地盤に接する有効長さの合計(m)
有効長さは根固め部上部より上の地盤についての長さとする。

L_c : 基礎ぐいの周囲の地盤のうち粘土質地盤に接する有効長さの合計(m)
有効長さは根固め部上端より上の地盤についての長さとする。

ϕ : 基礎ぐいの周囲の有効長さ(m)

$$\phi = \pi \cdot D_1$$

1.3.2 杭材から決まる許容耐力

杭材から求まる許容耐力は、平成 13 年国土交通省告示第 1113 号に基づき算定する。

(1) 長期に生じる力に対する杭材の許容耐力

$$N_a = {}_l f_c \cdot A_e \cdot (1 - \alpha_1 - \alpha_2) \cdot R_c \text{ (kN)}$$

(2) 短期に生じる力に対する杭材の許容耐力

$$N_a = {}_s f_c \cdot A_e \cdot (1 - \alpha_1 - \alpha_2) \cdot R_c \text{ (kN)}$$

ここで、

${}_l f_c$: 鋼管杭の長期許容圧縮応力度 (kN/m²)

${}_s f_c$: 鋼管杭の短期許容圧縮応力度 (kN/m²)

A_e : 鋼管杭の有効断面積 (m²)

α_1 : 継手による低減係数 (継手 1 ヶ所について 0.05) (溶接継手 $\alpha_1 = 0$)

α_2 : 細長比による低減係数 ($\alpha_2 = (L/d - 100) / 100$) ($\alpha_2 = 0$)

L : 杭長 (m)

d : 杭径 (m)

R_c : 許容応力度に乗じる低減係数 ($(t - c) / r \leq 0.08$ の場合) ※

$$R_c = 0.80 + 2.5 \cdot ((t - c) / r)$$

t : 鋼管厚 (mm) = 19

c : 腐食しろ (mm) = 1

r : 杭体の半径 (mm) = 400

$$\text{※ } (t - c) / r = 18 / 400 = 0.045 \leq 0.08$$

$$\text{ゆえに } R_c = 0.80 + 2.5 \times 18 / 400 = 0.913$$

第1棟の設備の構造強度に関する検討結果

1. 基本方針

1.1 強度評価の基本方針

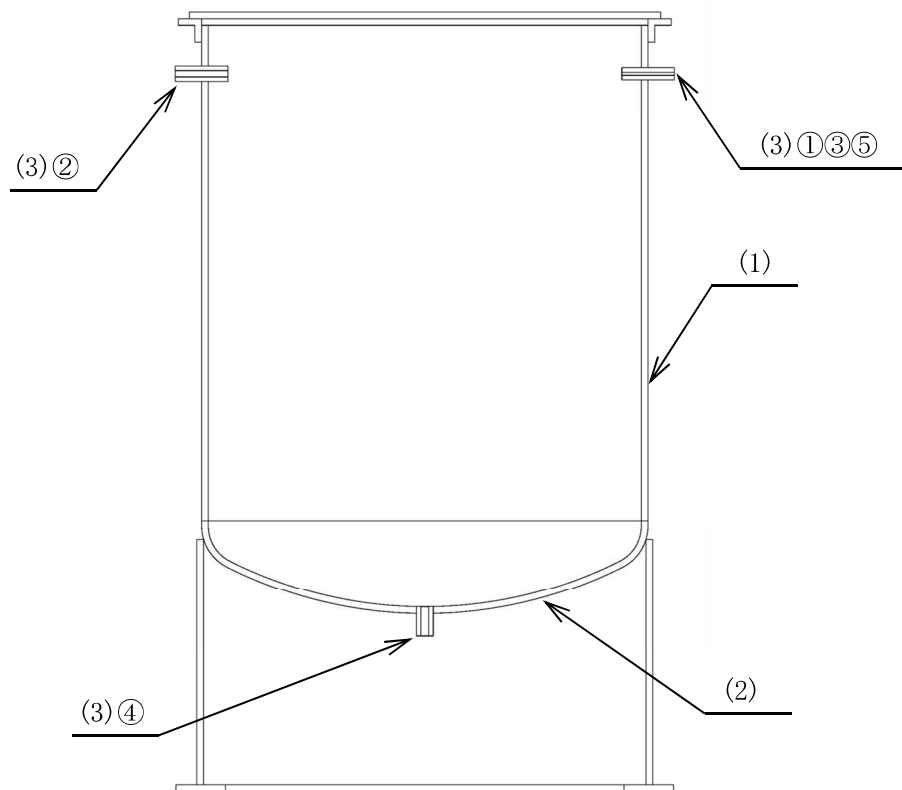
第1棟を構成する設備（機器、配管等）のうち「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」においてクラス3に位置づけられる機器、配管は、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC-1-2005（2007年追補版含む。）（日本機械学会 2007年9月）」（以下「設計・建設規格」という。）に基づき評価を行う。

2. 強度評価

2.1 分析廃液中間受槽

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 分析廃液中間受槽概要図

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. 胴の規格上必要な最小厚さ： t_1

炭素鋼鋼板または低合金鋼鋼板で作られたもの場合は 3mm、その他の材料で作られたもの場合は 1.5mm とする。

b. 胴の計算上必要な厚さ： t_2

$$t_2 = \frac{D_i \cdot H \cdot \rho}{0.204 \cdot S \cdot \eta}$$

D_i : 胴の内径(m)
 H : 水頭(m)
 ρ : 液体の比重(-)
 S : 許容引張応力(MPa)
 η : 継手効率(-)

(2) 底板の厚さの評価

底板に必要な厚さは、次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

a. 鏡板のフランジ部の計算上必要な厚さ： t_1

$$t_1 = \frac{P \cdot D_i}{2 \cdot S \cdot \eta - 1.2 \cdot P}$$

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

$$t_2 = \frac{P \cdot R \cdot W}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P}$$

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(-)
 r : さら形鏡板のすみの丸みの内半径(mm)

$$\text{ただし, } W = \frac{1}{4} \left(3 + \sqrt{\frac{R}{r}} \right)$$

(3) 管台の厚さの評価 (①, ②, ③, ④, ⑤)

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

$$t_1 = \frac{D_i \cdot H \cdot \rho}{0.204 \cdot S \cdot \eta}$$

D_i : 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(-)

b. 管台の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 により求めた管台の厚さとする。

(4) 開放タンクの穴の補強計算

開放タンクの胴板及び底板の穴の径が 85mm 以下なので、穴の補強計算は不要である。

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することを確認した。

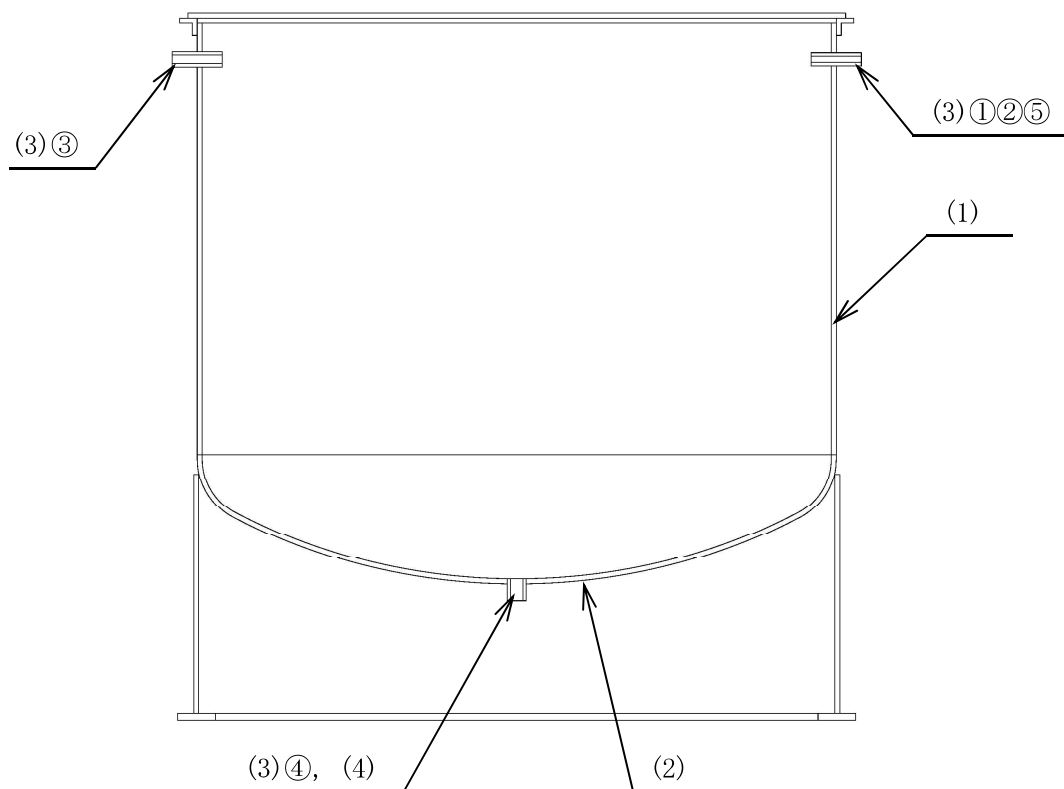
表-1 分析廃液中間受槽の評価結果

機器名称	評価部位	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
分析廃液中間受槽	胴の厚さ	1.50	6.55
	底板の厚さ	0.39	5.43
	管台①の厚さ	1.70	3.13
	管台②の厚さ	2.20	2.40
	管台③の厚さ	3.50	4.01
	管台④の厚さ	2.70	3.75
	管台⑤の厚さ	1.40	2.40

2.2 分析廃液受槽 A～C

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 の番号に対応する。

図-2 分析廃液受槽 A～C 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. 胴の規格上必要な最小厚さ： t_1

炭素鋼鋼板または低合金鋼鋼板で作られたもの場合は 3mm，その他の材料で作られたもの場合は 1.5mm とする。

b. 胴の計算上必要な厚さ： t_2

$$t_2 = \frac{D_i \cdot H \cdot \rho}{0.204 \cdot S \cdot \eta}$$

D_i : 胴の内径 (m)

H : 水頭 (m)

ρ : 液体の比重 (-)

S : 許容引張応力 (MPa)

η : 継手効率 (-)

(2) 底板の厚さの評価

底板に必要な厚さは、次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

a. 鏡板のフランジ部の計算上必要な厚さ： t_1

$$t_1 = \frac{P \cdot D_i}{2 \cdot S \cdot \eta - 1.2 \cdot P}$$

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

$$t_2 = \frac{P \cdot R \cdot W}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P}$$

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 (-)
 r : さら形鏡板のすみの丸みの内半径 (mm)

ただし、 $W = \frac{1}{4} \left(3 + \sqrt{\frac{R}{r}} \right)$

(3) 管台の厚さの評価 (①, ②, ③, ④, ⑤)

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

$$t_1 = \frac{D_i \cdot H \cdot \rho}{0.204 \cdot S \cdot \eta}$$

D_i : 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 (-)

b. 管台の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 により求めた管台の厚さとする。

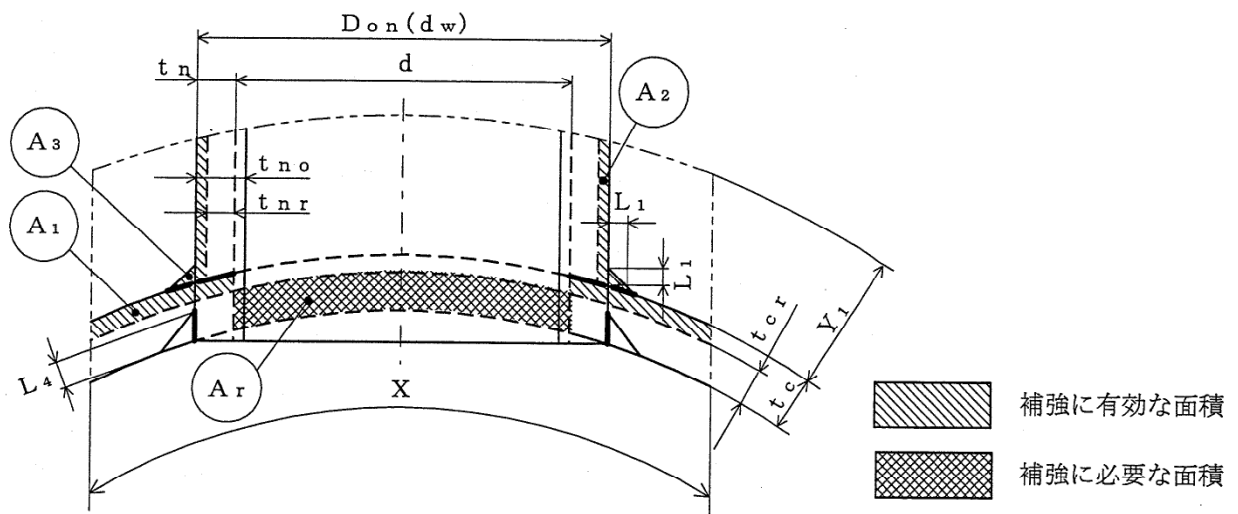
(4) 開放タンクの穴の補強計算

開放タンクの鏡板の穴の径が 85mm を超えるので、穴の補強計算を実施する。

a. 補強に有効な範囲内にある補強に有効な総面積が、補強に必要な面積より大きくなるようにすること (図-3 参照)。

b. 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) 以下及び内径が 1500mm を超える場合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、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。



- | | |
|------------------------------|---|
| d : 穴の径 (mm) | X, Y_1 : 補強の有効範囲 (mm) |
| d_w : 管台が取り付く穴の径 (mm) | L_1, L_4 : 溶接寸法 (mm) |
| $D_{o n}$: 管台の外径 (mm) | A_r : 補強に必要な面積 (mm^2) |
| t_c : 鏡板の最小厚さ (mm) | A_1 : 鏡板の有効補強断面積 (mm^2) |
| $t_{c r}$: 鏡板の計算上必要な厚さ (mm) | A_2 : 管台の有効補強断面積 (mm^2) |
| t_n : 管台の最小厚さ (mm) | A_3 : すみ肉溶接部の有効補強断面積 (mm^2) |
| $t_{n r}$: 管台の計算上必要な厚さ (mm) | A_0 : 補強に有効な総面積 ($= A_1 + A_2 + A_3$) (mm^2) |
| $t_{n o}$: 管台の呼び厚さ (mm) | |

図-3 補強計算概念図

2.2.3 評価結果

評価結果を表-2, 3に示す。必要厚さ及び穴の補強を満足しており、十分な構造強度を有することを確認した。

表-2 分析廃液受槽 A~C の評価結果 (板厚)

機器名称	評価部位	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
分析廃液受槽 A~C	胴の厚さ	1.50	6.57
	底板の厚さ	1.33	4.45
	管台①の厚さ	1.70	3.13
	管台②の厚さ	2.70	3.75
	管台③の厚さ	2.20	2.40
	管台④の厚さ	3.50	4.45
	管台⑤の厚さ	1.40	2.40

表-3 分析廃液受槽 A~C の評価結果 (穴の補強)

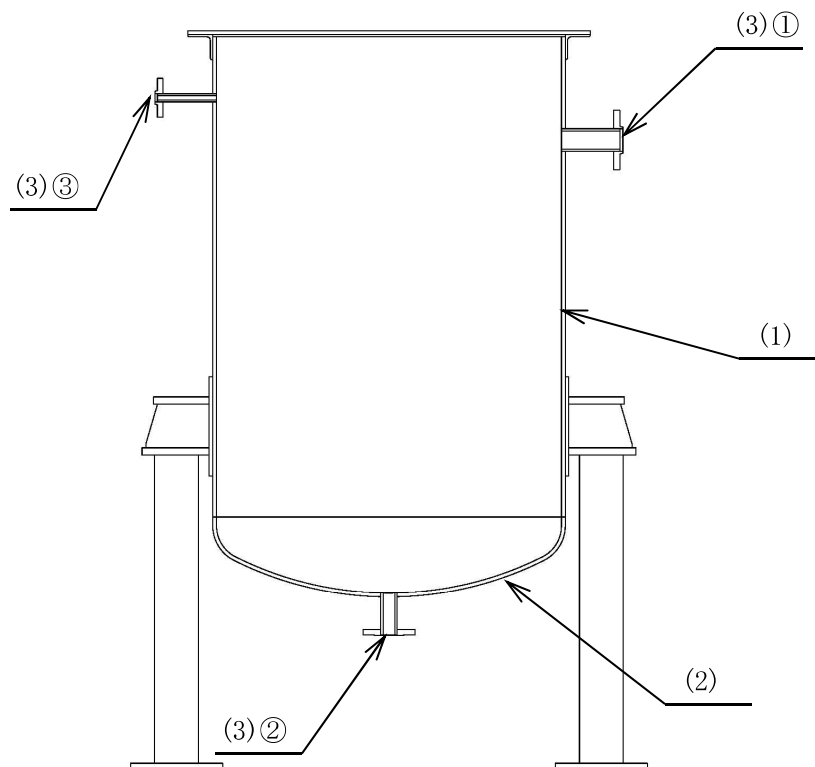
機器名称	評価部位	評価結果	
		補強に必要な面積 (mm ²)	補強に有効な総面積 (mm ²)
分析廃液受槽 A~C	鏡板の穴	63.37	540.3
		大きな穴の補強を要しない最大径 (mm)	穴の径 (mm)
		1000.00	105.40
		溶接部の負うべき荷重 (N)	予想される破断箇所の強さ (N)
		-3.639×10^4	—※

※ 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

2.3 塩酸含有廃液受槽

2.3.1 評価箇所

強度評価箇所を図-4に示す。



図中の番号は2.3.2の番号に対応する。

図-4 塩酸含有廃液受槽概要図

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. 胴の規格上必要な最小厚さ： t_1

炭素鋼鋼板または低合金鋼鋼板で作られたもの場合は3mm、その他の材料で作られたもの場合は1.5mmとする。

b. 胴の計算上必要な厚さ： t_2

$$t_2 = \frac{D_i \cdot H \cdot \rho}{0.204 \cdot S \cdot \eta}$$

D_i : 胴の内径(m)

H : 水頭(m)

ρ : 液体の比重(-)

S : 許容引張応力(MPa)

η : 継手効率(-)

(2) 底板の厚さの評価

底板に必要な厚さは、次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

a. 鏡板のフランジ部の計算上必要な厚さ： t_1

$$t_1 = \frac{P \cdot D_i}{2 \cdot S \cdot \eta - 1.2 \cdot P}$$

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

$$t_2 = \frac{P \cdot R \cdot W}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P}$$

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 (-)
 r : さら形鏡板のすみの丸みの内半径 (mm)

$$\text{ただし, } W = \frac{1}{4} \left(3 + \sqrt{\frac{R}{r}} \right)$$

(3) 管台の厚さの評価 (①, ②, ③)

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

$$t_1 = \frac{D_i \cdot H \cdot \rho}{0.204 \cdot S \cdot \eta}$$

D_i : 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 (-)

b. 管台の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 により求めた管台の厚さとする。

(4) 開放タンクの穴の補強計算

開放タンクの胴板及び底板の穴の径が 85mm 以下なので、穴の補強計算は不要である。

2.3.3 評価結果

評価結果を表-4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ことを確認した。

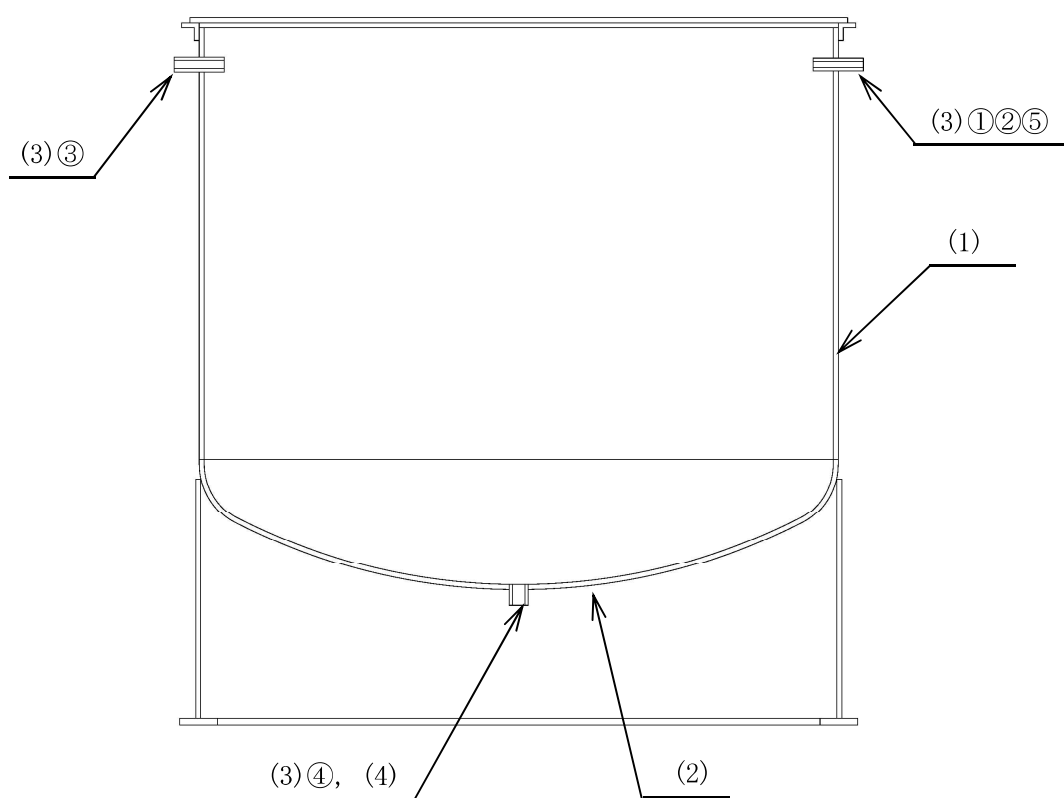
表-4 塩酸含有廃液受槽の評価結果

機器名称	評価部位	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
塩酸含有廃液受槽	胴の厚さ	3.00	6.51
	底板の厚さ	0.11	5.61
	管台①の厚さ	2.40	2.40
	管台②の厚さ	1.70	1.90
	管台③の厚さ	1.70	1.90

2.4 設備管理廃液受槽 A, B

2.4.1 評価箇所

強度評価箇所を図-5に示す。



図中の番号は2.4.2の番号に対応する。

図-5 設備管理廃液受槽 A, B 概要図

2.4.2 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. 胴の規格上必要な最小厚さ： t_1

炭素鋼鋼板または低合金鋼鋼板で作られたもの場合は 3mm，その他の材料で作られたもの場合は 1.5mm とする。

b. 胴の計算上必要な厚さ： t_2

$$t_2 = \frac{D_i \cdot H \cdot \rho}{0.204 \cdot S \cdot \eta}$$

D_i	: 胴の内径 (m)
H	: 水頭 (m)
ρ	: 液体の比重 (-)
S	: 許容引張応力 (MPa)
η	: 継手効率 (-)

(2) 底板の厚さの評価

底板に必要な厚さは、次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

a. 鏡板のフランジ部の計算上必要な厚さ： t_1

$$t_1 = \frac{P \cdot D_i}{2 \cdot S \cdot \eta - 1.2 \cdot P}$$

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

$$t_2 = \frac{P \cdot R \cdot W}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P}$$

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 (-)
r	: さら形鏡板のすみの丸みの内半径 (mm)

$$\text{ただし, } W = \frac{1}{4} \left(3 + \sqrt{\frac{R}{r}} \right)$$

(3) 管台の厚さの評価 (①, ②, ③, ④, ⑤)

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

$$t_1 = \frac{D_i \cdot H \cdot \rho}{0.204 \cdot S \cdot \eta}$$

D_i	: 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 (-)

b. 管台の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 により求めた管台の厚さとする。

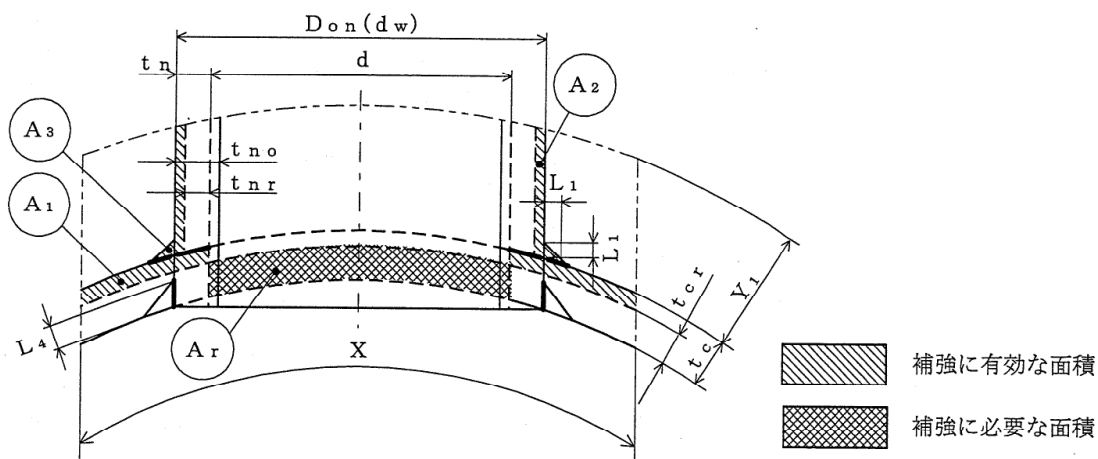
(4) 開放タンクの穴の補強計算

開放タンクの鏡板の穴の径が 85mm を超えるので、穴の補強計算を実施する。

a. 補強に有効な範囲内にある補強に有効な総面積が、補強に必要な面積より大きくなるようにすること (図-6 参照)。

b. 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) 以下及び内径が 1500mm を超える場合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。



d	: 穴の径(mm)	X, Y ₁	: 補強の有効範囲(mm)
d _w	: 管台が取り付け穴の径(mm)	L ₁ , L ₄	: 溶接寸法(mm)
D _{o,n}	: 管台の外径(mm)	A _r	: 補強に必要な面積(mm ²)
t _c	: 鏡板の最小厚さ(mm)	A ₁	: 鏡板の有効補強断面積 (mm ²)
t _{c,r}	: 鏡板の計算上必要な厚さ(mm)	A ₂	: 管台の有効補強断面積 (mm ²)
t _n	: 管台の最小厚さ(mm)	A ₃	: すみ肉溶接部の有効補強断面積 (mm ²)
t _{n,r}	: 管台の計算上必要な厚さ(mm)	A ₀	: 補強に有効な総面積 (=A ₁ +A ₂ +A ₃) (mm ²)
t _{n,o}	: 管台の呼び厚さ(mm)		

図-6 補強計算概念図

2.4.3 評価結果

評価結果を表-5, 6に示す。必要厚さ及び穴の補強を満足しており, 十分な構造強度を有することを確認した。

表-5 設備管理廃液受槽 A, B の評価結果 (板厚)

機器名称	評価部位	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
設備管理廃液 受槽 A, B	胴の厚さ	1.50	6.57
	底板の厚さ	1.14	4.45
	管台①の厚さ	1.70	3.13
	管台②の厚さ	2.70	3.75
	管台③の厚さ	2.70	4.01
	管台④の厚さ	3.50	4.45
	管台⑤の厚さ	1.40	2.40

表-6 設備管理廃液受槽 A, B の評価結果 (穴の補強)

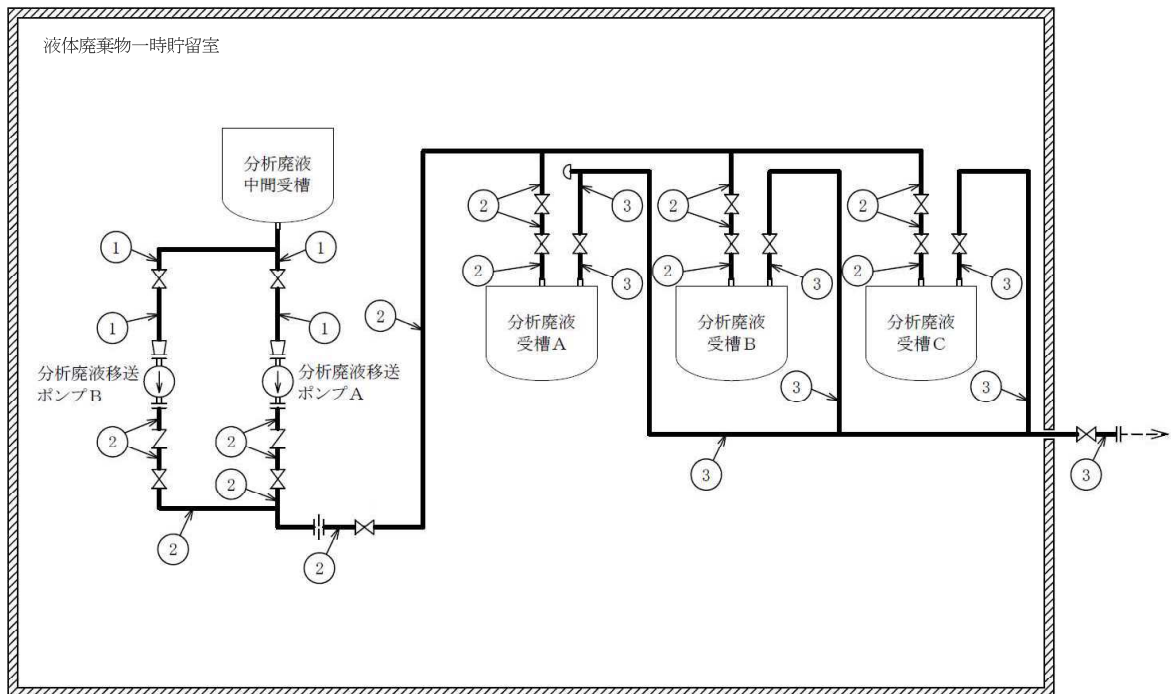
機器名称	評価部位	評価結果	
		補強に必要な 面積 (mm ²)	補強に有効な 総面積 (mm ²)
設備管理廃液 受槽 A, B	鏡板の穴	48.49	555.1
		大きな穴の補強を 要しない最大径 (mm)	穴の径 (mm)
		1000.00	105.40
		溶接部の負うべき 荷重 (N)	予想される破断箇所の 強さ (N)
		-4.636×10^4	—※

※ 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

2.5 主要配管（鋼管）

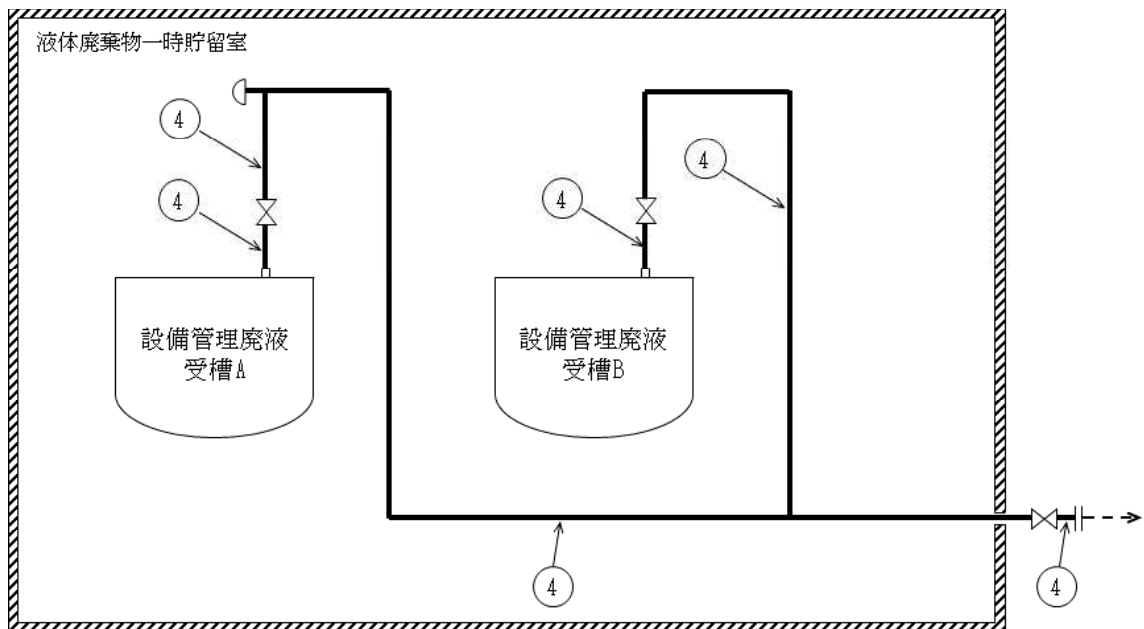
2.5.1 評価箇所

強度評価箇所を図-7,8に示す。



図中の番号は2.5.3の番号に対応する。

図-7 液体廃棄物一時貯留室 主要配管（鋼管）強度評価箇所（その1）



図中の番号は2.5.3の番号に対応する。

図-8 液体廃棄物一時貯留室 主要配管（鋼管）強度評価箇所（その2）

2.5.2 評価方法

(1) 管の厚さの評価

管の必要な厚さは、次に掲げる値以上とする。

a. 内面に圧力を受ける管の計算上必要な厚さ：t

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

P : 最高使用圧力 (MPa)
 D_o : 管の外径 (mm)
 S : 許容引張応力 (MPa)
 η : 継手効率 (-)

b. 外面に圧力を受ける管の計算上必要な厚さ：t

$$t = \frac{3 \cdot P_e \cdot D_o}{4 \cdot B}$$

P_e : 外面に受ける最高の圧力 (MPa)
 D_o : 管の外径 (mm)
 B : 設計・建設規格 付録材料図 表 Part7 より求めた値

2.5.3 評価結果

評価結果を表-7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ことを確認した。

表-7 主要配管（鋼管）の評価結果

No.	外径 D _o (mm)	公称 厚さ (mm)	材料	最高使用圧力 P (MPa)	最高使用 温度 (°C)	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
①	76.3	5.20	SUS316LTP	0.98 *1	66	0.35	4.55
②	48.6	3.70	SUS316LTP	0.98 *1	66	0.22	3.20
③	60.5	3.90	SUS316LTP	大気圧+Vac. *2	66	0.54	3.40
④	60.5	3.90	SUS304TP	大気圧+Vac. *2	66	0.54	3.40

*1 内面に圧力を受ける管

*2 外面に圧力を受ける管，最高使用圧力 0.10MPa

第1棟の設備の耐震強度に関する検討結果

1. 耐震設計の基本方針

第1棟の設備に係る耐震設計は、「JEAC4601-2008 原子力発電所耐震設計技術規程」等に基づき耐震性評価を行う。

(1) 設備の重要度による耐震クラス別分類

耐震クラス別 設備	B	C
2.41 放射性物質分析・ 研究施設第1棟 (1) 分析設備 (2) 液体廃棄物 一時貯留設備 (3) 換気空調設備	○鉄セル ○分析廃液中間受槽 ○分析廃液受槽 A～C ○塩酸含有廃液受槽 ○分析廃液移送ポンプ A, B ○主要配管（鋼管）*1 ○鉄セル・グローブボックス用排 気フィルタユニット ○主要排気管（鋼管）*2	グローブボックス フード 設備管理廃液受槽 A, B 主要配管（鋼管）*3 フード用排気フィルタユニット 管理区域用排気フィルタユニット 鉄セル・グローブボックス用排風 機 フード用排風機 管理区域用排風機 管理区域用送風機
備考	○印は、評価結果を本資料にて示すもの	

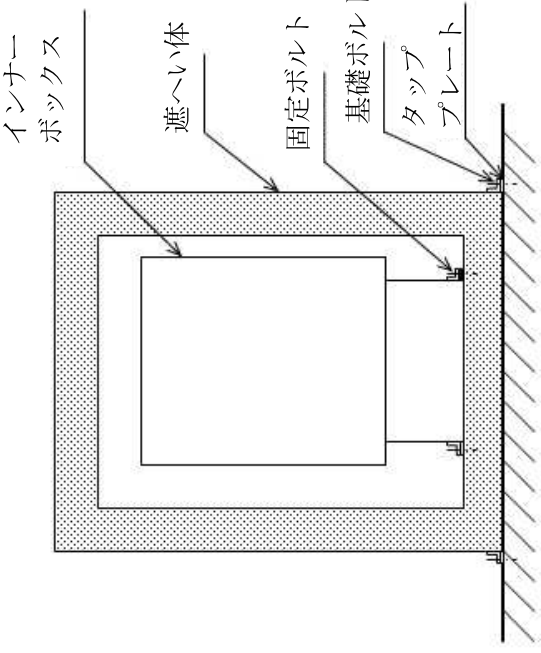
*1：分析廃液中間受槽出口から分析廃液移送ポンプ入口まで、
分析廃液移送ポンプ出口から分析廃液受槽 A～C 入口まで、
及び分析廃液受槽 A～C 出口から分析廃液払出口まで

*2：鉄セル排気出口から鉄セル・グローブボックス用排気フィルタユニット入口まで

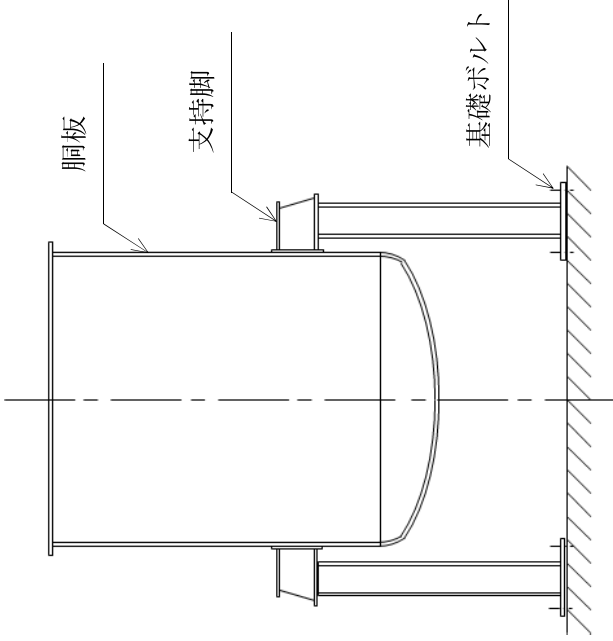
*3：設備管理廃液受槽 A, B 出口から設備管理廃液払出口まで

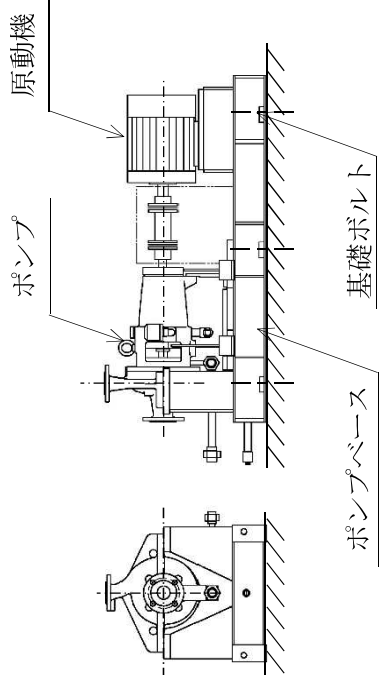
(2) 構造計画

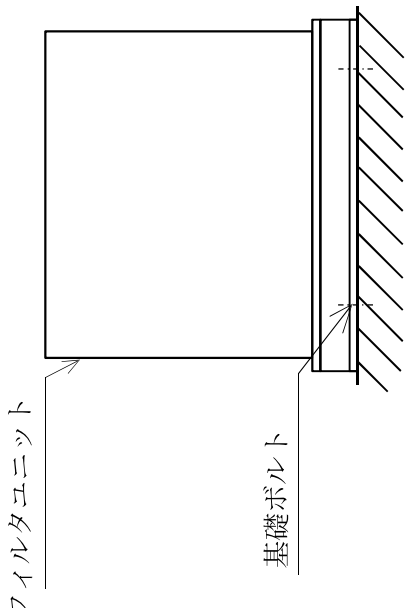
a. 機器

主要区分	計画の概要		概要構造図	摘要
	基礎・支持構造	主体構造		
(1) 鉄セル	インナーボックスを固定ボルトにより遮へい体に固定し、遮へい体を埋込金物に溶接したタックプレートに基礎ボルトで据え付ける。	垂直自立形		・鉄セル

主要区分	計画の概要		概要構造図	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、スカートを基礎ボルトで据え付ける。	上面に平板、下面に鏡板を有するたて置円筒形		<ul style="list-style-type: none"> 分析廃液中間受槽 分析廃液受槽 A ~C

<p>主要区分</p> <p>(3) 4脚たて置円筒形容器</p>	<p>計画の概要</p> <p>基礎・支持構造</p>	<p>概要</p> <p>主 体 構 造</p>	<p>概略構造図</p>	<p>摘要</p>
	<p>胴を支持脚で支持し、支持脚を基礎ボルトで据え付ける。</p>	<p>上面に平板、下面に鏡板を有するたて置円筒形</p>		<p>・塩酸含有廃液受槽</p>

<p>主要区分</p> <p>(4) 横軸ポンプ</p>	<p>計画の概要</p> <p>基礎・支持構造</p> <p>ポンプはポンプベースに固定され、ポンプベースは基礎ボルトで据え付ける。</p>	<p>の概要</p> <p>うず巻形</p>	<p>概略構造図</p> 	<p>摘要</p> <p>・分析廃液移送ポンプ A, B</p>
------------------------------	--	------------------------	---	----------------------------------

主要区分	計画の概要		概要構造図	摘要
	基礎・支持構造	主体構造		
(5) ファイルタユニット	ファイルタユニットは基礎ボルトで据え付ける。	垂直自立形		<ul style="list-style-type: none"> 鉄セル・グローブボックス用排气ファイルタユニット

b. 配管系

a) 主要配管/主要排気管

主要配管/主要排気管はサポートにより建屋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 ($1.8 \cdot C_i^{*1}$)	—	設計用地震力は、静的地震力とする。

*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、以下のとおりとする。

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静的地震力	
$B_A S$:	Bクラス設備の地震時の許容応力状態	
S_y	:	設計降伏点	「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 2007年9月)」(以下「設計・建設規格」という。) 付録材料表 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	:	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_s 」とは、設計・規格 GNR-2110 に規定される状態に、通常運転時、運転時の異常な過渡変化時、及び事故時に生じるそれぞれの荷重と、弾性設計用地震動 S_d による地震力又は静的地震力を組み合せた状態をいう。

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	$D + P_d + M_d + S_B$	C_s (B_{AS})	S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方ただし、 $A S S$ 及び $H N A$ については上記の値と $1.2 \cdot S_y$ のうち大きい方とする。	S_y ただし、 $A S S$ 及び $H N A$ については上記の値と $1.2 \cdot S_y$ のうち大きい方とする。	<ul style="list-style-type: none"> 分析廃液中間受槽 分析廃液受槽 A~C 塩酸含有廃液受槽

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	引張	せん断	組合せ	組合せ		
B	$D + P_d + M_d + S_B$	C_s (B_{AS})	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	組合せ	引張	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	組合せ	<ul style="list-style-type: none"> 基礎ボルト スカート 脚 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9月)」等の幅厚比の規定を満足する。

2. 耐震性評価

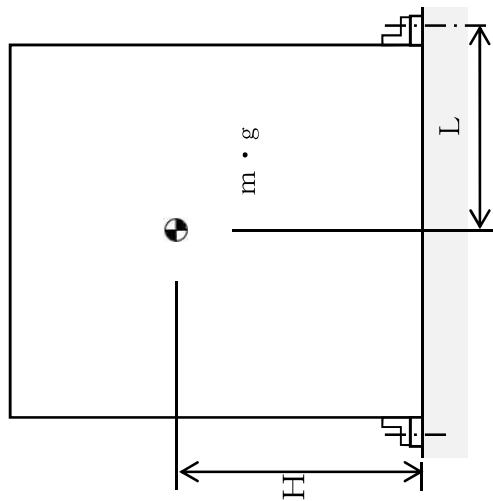
本評価は、「付録1 スカート支持たて置円筒形容器（耐震設計上の重要度分類Bクラス）の耐震性についての計算書作成の基本方針」，「付録2 4脚たて置円筒形容器（耐震設計上の重要度分類Bクラス）の耐震性についての計算書作成の基本方針」及び「付録3 横軸ポンプ（耐震設計上の重要度分類Bクラス）の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づいて，耐震性の計算を行う。また，評価方法が同付録に依らないものは以下に特記する。

- (1) 鉄セル …転倒モーメントと安定モーメントの比較により評価する。
- (6) 主要配管（鋼管） …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。
- (7) 鉄セル・グローブボックス用排気フィルタユニット …算出応力と許容応力の比較により基礎ボルトを評価する。
- (8) 主要排気管（鋼管） …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。

(1) 鉄セル

a. 条件

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、それらと比較することにより転倒評価を実施した。



m : 機器質量 (kg)

g : 重力加速度 (m/s^2)

H : 固定面から重心までの距離 (mm)

L : 転倒支点から機器重心までの距離 (mm)

C_H : 水平方向設計震度 (-)

地震による転倒モーメント: $M_1 = C_H \cdot m \cdot g \cdot H$

自重による安定モーメント: $M_2 = m \cdot g \cdot L$

b. 評価結果

機器名称	評価部位	評価項目	水平方向設計震度	算出値	許容値	単位
インナーボックス (セルNo. 1, No. 4)	本体	転倒	$C_H = 0.36$	1.856×10^7	4.936×10^7	N・mm
インナーボックス (セルNo. 2, No. 3)	本体	転倒	$C_H = 0.36$	7.026×10^6	1.524×10^7	N・mm
鉄セル (全体)	本体	転倒	$C_H = 0.36$	2.303×10^9	4.450×10^9	N・mm

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。

(2) 分析廃液中間受槽

a. 条件

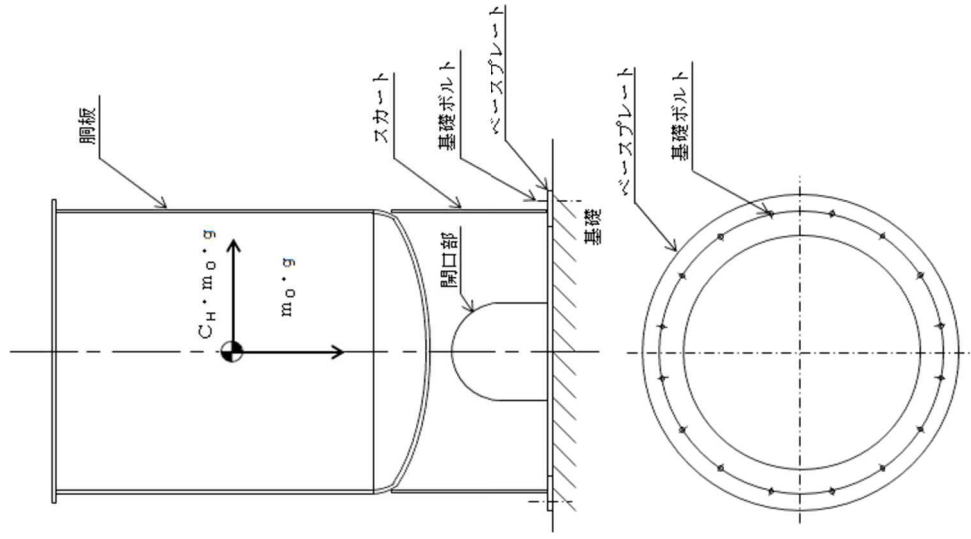
機器名称	耐震設計上の 重要度分類	据付場所	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	最高使用 圧力 (MPa)	最高使用 温度 (°C)	周囲環境 温度 (°C)	比重
分析廃液 中間受槽	B	放射性物質分 析・研究施設 第1棟 1階	$C_H = 0.36$	—	静水頭	66	40	1.00

b. 評価結果

(単位: MPa)

部材	材料	応力 組合せ	算出応力	許容応力
胴板	SUS316L	組合せ	$\sigma_0 = 4$	$S_a = 159$
スカート	SM400A	組合せ	$\sigma_s = 8$	$f_t = 245$
		圧縮と曲げ の組合せ (座屈の評価)	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$	
			0.04 (無次元)	
基礎ボルト	SS400	引張り	$\sigma_b = 1$	$f_{ts} = 176$
		せん断	$\tau_b = 5$	$f_{sb} = 135$

すべて許容応力以下である。



(3) 分析廃液受槽 A~C

a. 条件

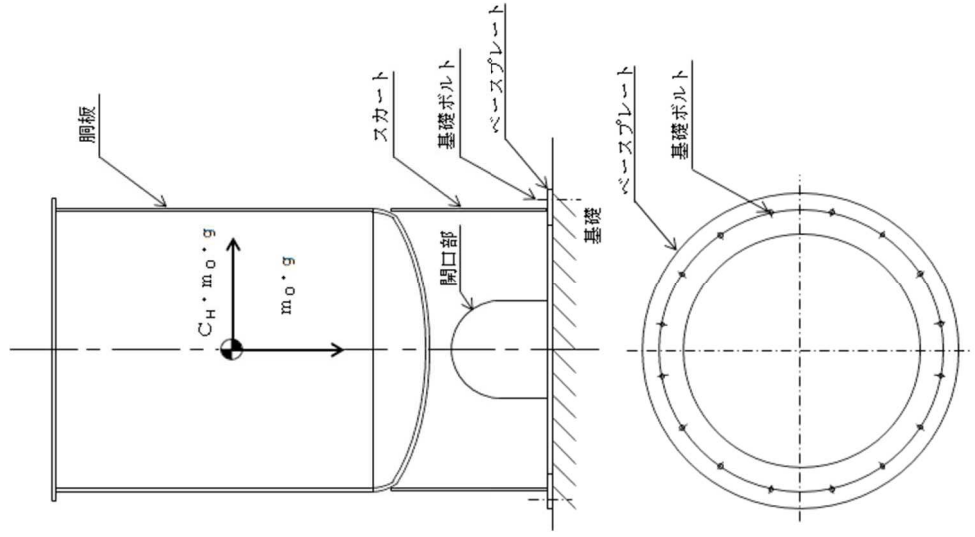
機器名称	分析廃液受槽 A~C	耐震設計上の重要度分類	B	据付場所	放射性物質分析・研究施設 第1棟 1階	水平方向設計震度	$C_H = 0.36$	鉛直方向設計震度	—	最高使用圧力 (MPa)	静水頭	最高使用温度 (°C)	66	周囲環境温度 (°C)	40	比重	1.00
------	------------	-------------	---	------	---------------------	----------	--------------	----------	---	--------------	-----	-------------	----	-------------	----	----	------

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	$\sigma_0 = 8$	$S_a = 159$
スカート	SM400A	組合せ	$\sigma_s = 10$	$f_t = 245$
		圧縮と曲げの組合せ (座屈の評価)	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$	
基礎ボルト	SS400	引張り	—	$f_{ts} = 176$
		せん断	$\tau_b = 13$	$f_{sb} = 135$

すべて許容応力以下である。



(4) 塩酸含有廃液受槽

a. 条件

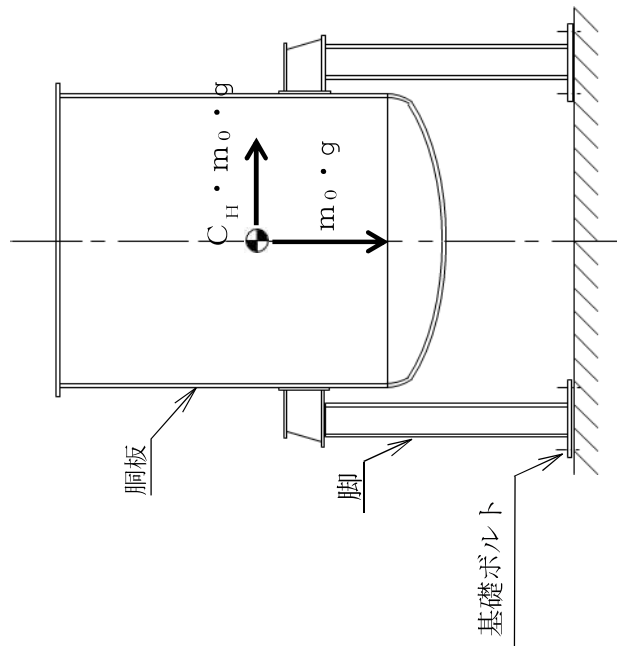
機器名称	耐震設計上の重要度分類	据付場所	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	比重
塩酸含有廃液受槽	B	放射性物質分析・研究施設 第1棟 1階	$C_H = 0.36$	—	静水頭	66	40	1.00

b. 評価結果

(単位: MPa)

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
胴板	SM400A	一次一般膜	$\sigma_0 = 1$	$S_a = 231$
		一次	$\sigma_1 = 5$	$S_a = 234$
		組合せ	$\sigma_s = 18$	$f_t = 245$
脚	STPT410	圧縮と曲げの組合せ (座屈の評価)	$\frac{\sigma_{sr} + \sigma_{st} + \sigma_{sc}}{f_{br}} + \frac{\sigma_{sc}}{f_{bt}} + \frac{\sigma_{sc}}{f_c} \leq 1$	
			0.08 (無次元)	
			$\sigma_b = 6$	$f_{ts} = 176$
基礎ボルト	SS400	引張り	$\tau_b = 2$	$f_{sb} = 135$
		せん断		

すべて許容応力以下である。



(5) 分析廃液移送ポンプ A, B

a. 条件

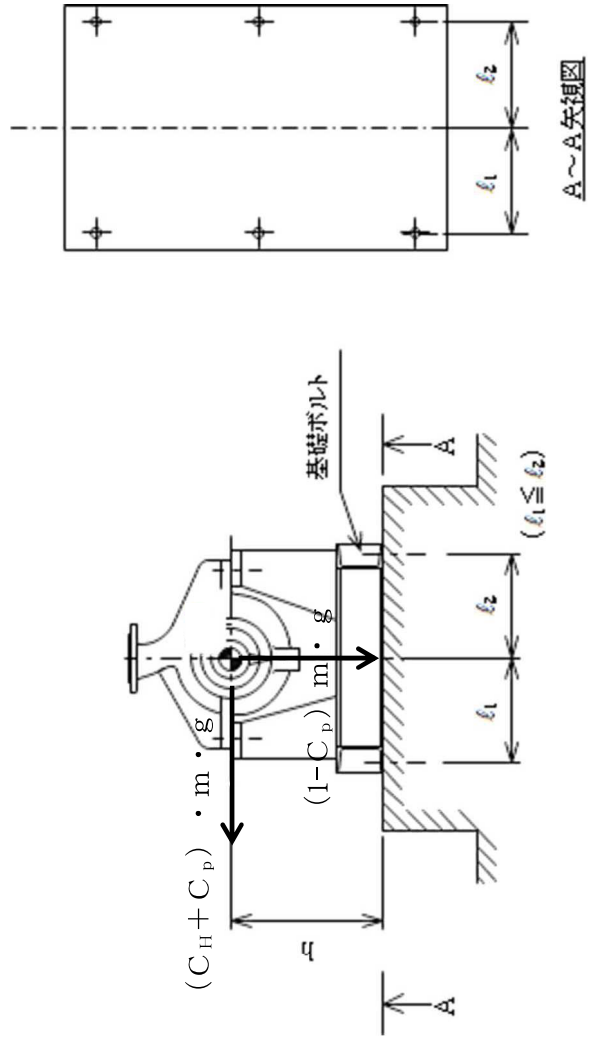
機器名称	耐震設計上の 重要度分類	据付場所	水平方向設計震度	ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
分析廃液移送ポンプ A, B	B	放射性物質 分析・研究施設 第1棟 1階	$C_H = 0.36$	$C_P = 0.21$	66	40

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	せん断	$\tau_b = 3$	$f_{sb} = 124$
		引張	$\sigma_b = 1$	$f_{ts} = 161$

すべて許容応力以下である。



(6) 主要配管（鋼管）

a. 評価条件

評価条件として主要配管は、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。

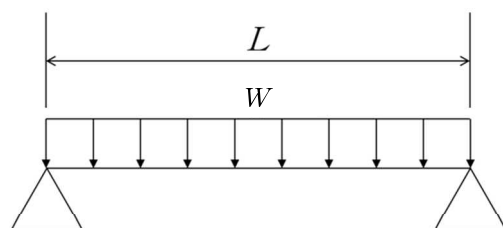


図-1 等分布荷重 両端単純支持はりモデル

剛構造となる配管支持間隔は下式にて計算する。

$$L = \sqrt{\frac{\pi}{40} \sqrt{\frac{E \cdot I}{W}}}$$

ここで、 L : 支持間隔 (m)
 E : 縦弾性係数 (N/m²)
 I : 断面 2 次モーメント (m⁴)
 W : 配管の単位長さ当たりの質量 (kg/m)

当該設備における主要配管（鋼管）について、各種条件及び配管支持間隔の計算結果を表-1 に示す。

表-1 配管系における各種条件及び配管支持間隔の計算結果

配管分類	主要配管（鋼管）		
配管クラス	クラス 3		
耐震クラス	Bクラス		
設計温度 [°C]	66		
配管材質	SUS316LTP		
配管口径	40A	50A	65A
Sch	40	40	40
設計圧力 [MPa]	0.98	大気圧 + Vac.	0.98
配管支持間隔 [m]	2.3	2.5	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を行う。

自重による応力 S_W は、下記の式で示される。

$$S_W = \frac{M}{Z} = \frac{w \cdot L^2}{8Z}$$

ここで S_W : 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 S_S は、自重による応力 S_W の震度倍で下記の式で示される。

$$S_S = \alpha \cdot S_W$$

S_S : 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 原子力発電所耐震設計技術規程」に記載の供用応力状態 C s 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。

$$S = S_p + S_W + S_S = S_p + S_W + \alpha \cdot S_W = S_p + (1 + \alpha)S_W \leq 1.0S_y$$

ここで S : 内圧, 自重, 地震による発生応力 (MPa)
 S_p : 内圧による応力 (MPa)
 S_y : 設計降伏点 (MPa)

c. 評価結果

両端単純支持はりモデルで、剛構造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、剛構造となるようサポート配置を決定することで、主要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	主要配管 (鋼管)		
配管材質	SUS316LTP		
配管口径	40A	50A	65A
Sch	40	40	40
設計圧力 [MPa]	0.98	大気圧+Vac.	0.98
内圧, 自重, 地震による発生応力 S [MPa]	17	11	18
供用状態 C s における一次応力許容値 [MPa]	1.0Sy=159	1.0Sy=159	1.0Sy=159

(7) 鉄セル・グローブボックス用排気フィルタユニット

a. 条件

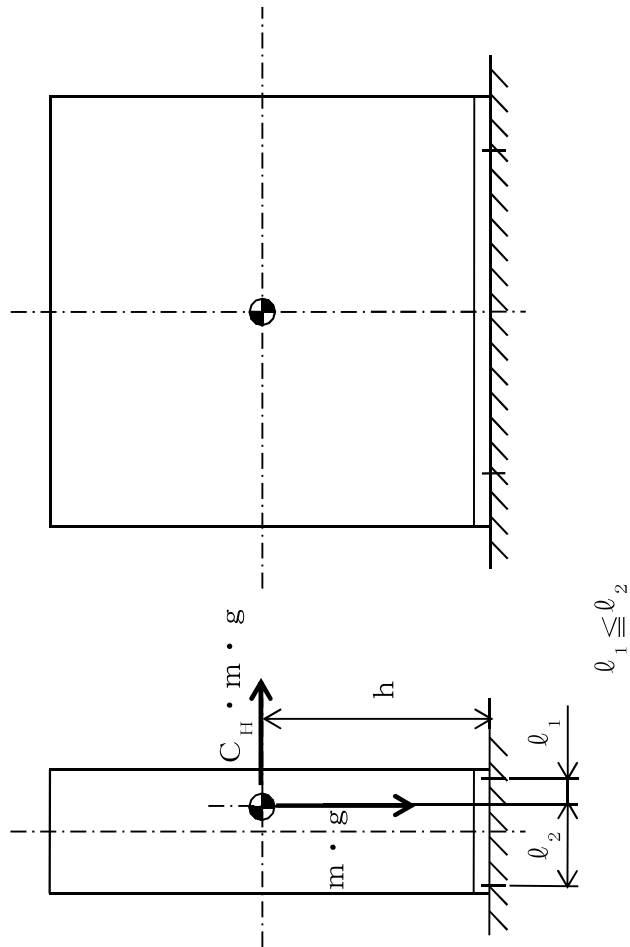
機器名称	耐震設計上の 重要度分類	据付場所	水平方向設計震度	鉛直方向 設計震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
鉄セル・グローブボックス用 排気フィルタユニット	B	放射性物質 分析・研究施設 第1棟 1階	$C_H=0.36$	—	60	40

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	SS400	引張	$\sigma_b=1$	$f_{ts}=177$
		せん断	$\tau_b=5$	$f_{sb}=136$

すべて許容応力以下である。



(8) 主要排気管（鋼管）

a. 評価条件

評価条件として主要排気管（鋼管）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はりモデル（図-2）とする。

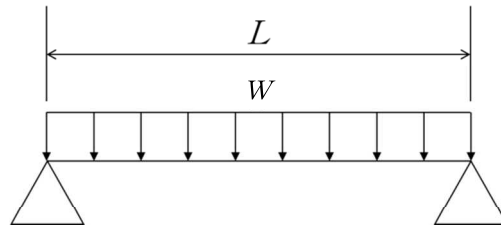


図-2 等分布荷重 両端単純支持はりモデル

剛構造となる配管支持間隔は下式にて計算する。

$$L = \sqrt{\frac{\pi}{40} \sqrt{\frac{E \cdot I}{W}}}$$

ここで、 L : 支持間隔 (m)
 E : 縦弾性係数 (N/m²)
 I : 断面2次モーメント (m⁴)
 W : 配管の単位長さ当たりの質量 (kg/m)

当該設備における主要排気管（鋼管）について、各種条件及び配管支持間隔の計算結果を表-3に示す。

表-3 主要排気管（鋼管）における各種条件及び配管支持間隔の計算結果

配管分類	主要排気管（鋼管）		
配管クラス	クラス外		
耐震クラス	Bクラス		
設計温度 [°C]	60		
配管材質	SUS304TP		
配管口径	50A	250A	300A
Sch	20S	10S	10S
設計圧力 [kPa]	7.3	7.3	7.3
配管支持間隔 [m]	2.7	6.0	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を行う。

自重による応力 S_W は、下記の式で示される。

$$S_W = \frac{M}{Z} = \frac{w \cdot L^2}{8Z}$$

ここで S_W :	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 S_S は、自重による応力 S_W の震度倍で下記の式で示される。

$$S_S = \alpha \cdot S_W$$

S_S :	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 原子力発電所耐震設計技術規程」に記載の供用応力状態 C s 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。

$$S = S_p + S_W + S_S = S_p + S_W + \alpha \cdot S_W = S_p + (1 + \alpha)S_W \leq 1.0S_y$$

ここで S :	内圧，自重，地震による発生応力	(MPa)
S_p :	内圧による応力	(MPa)
S_y :	設計降伏点	(MPa)

c. 評価結果

両端単純支持はりモデルで、剛構造となる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、剛構造となるようサポート配置を決定することで、主要排気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

配管分類	主要排気管（鋼管）		
配管材質	SUS304TP		
配管口径	50A	250A	300A
Sch	20S	10S	10S
設計圧力 [kPa]	7.3	7.3	7.3
内圧，自重，地震による発生応力 S [MPa]	8	8	8
供用状態 C _s における一次応力許容値 [MPa]	1.0S _y =153	1.0S _y =153	1.0S _y =153

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）」に基づく。

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) 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) スカートの部材において、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。

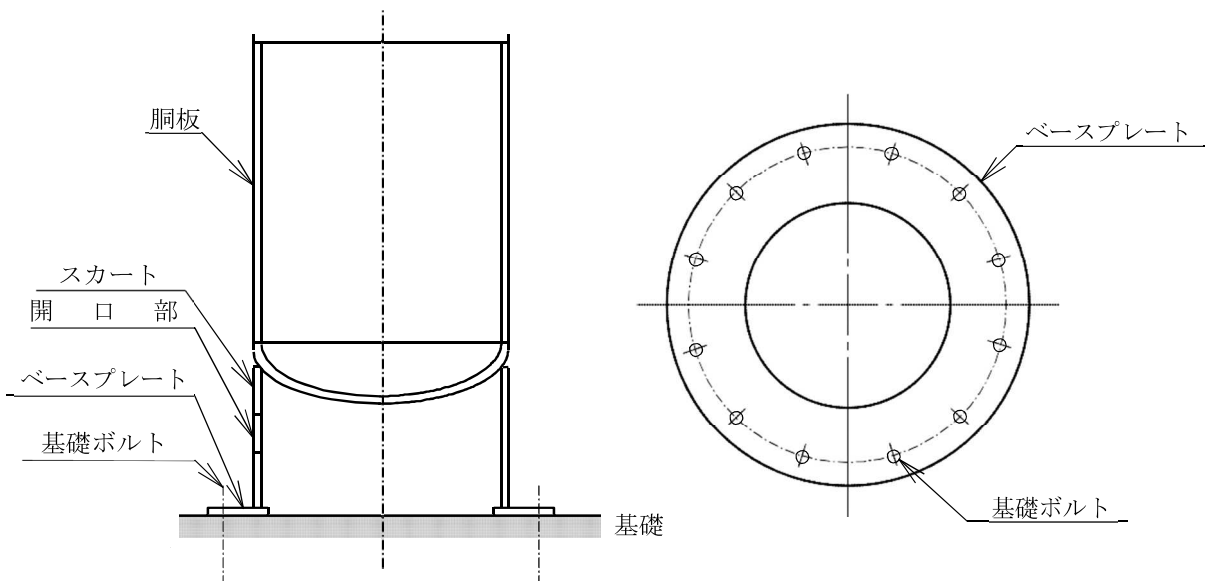


図1-1 概要図

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 _{s e}	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 _{b i}	ベースプレートの内径	mm
D _{b o}	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	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	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 _{s b}	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 _{t o}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f _{t s}	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	—
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	mm
λ_r	容器の重心から上端支持部までの距離	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

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 $\times 10^{-6}$)	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_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
$\sigma_{x1}, \sigma_{\phi 1}$	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

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

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。

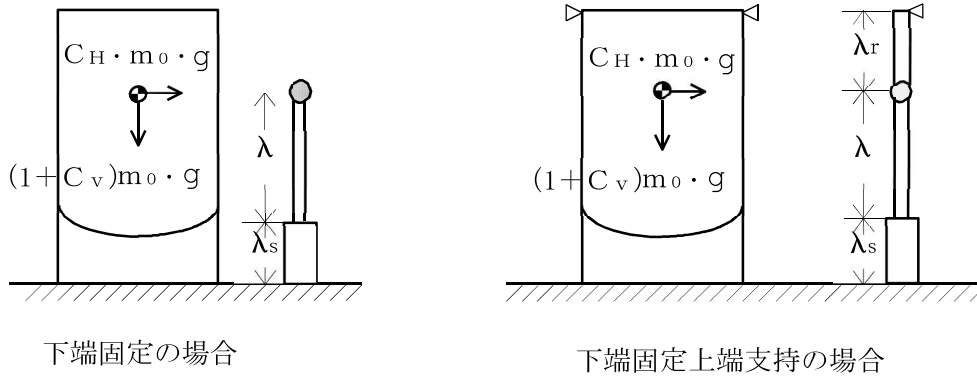


図 2-1 固有周期の計算モデル

(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。

$$K_H = 1000 \left\{ \frac{\lambda^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{1}{3 \cdot E_s \cdot I_s} \cdot (3 \cdot \lambda^2 \cdot \lambda_s + 3 \cdot \lambda \cdot \lambda_s^2 + \lambda_s^3) + \frac{\lambda}{G \cdot A_e} + \frac{\lambda_s}{G_s \cdot A_{s_e}} \right\} \dots \dots \dots (2.1.1)$$

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

$$I = \frac{\pi}{8} \cdot (D_i + t)^3 \cdot t \dots \dots \dots (2.1.2)$$

$$A_e = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot (D_i + t) \cdot t \dots \dots \dots (2.1.3)$$

スカートの断面性能は

$$I_s = \frac{\pi}{8} \cdot (D_s + t_s)^3 \cdot t_s - \frac{1}{4} \cdot (D_s + t_s)^2 \cdot t_s \cdot Y \dots \dots \dots (2.1.4)$$

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）

$$Y = \sum_{j=1}^{j1} (D_s + t_s) \cdot \sin^{-1} \left(\frac{D_j}{D_s + t_s} \right) \dots \dots \dots (2.1.5)$$

$$A_{s_e} = \frac{2}{3} \cdot \{ \pi \cdot (D_s + t_s) - Y \} \cdot t_s \quad \dots\dots\dots (2.1.6)$$

したがって、固有周期は次式で求める。

$$T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_H}} \quad \dots\dots\dots (2.1.7)$$

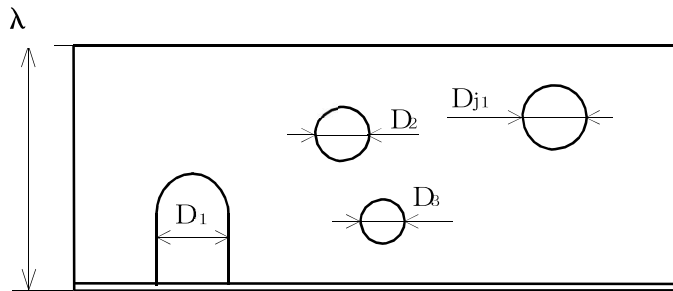


図 2-2 スカート開口部の形状

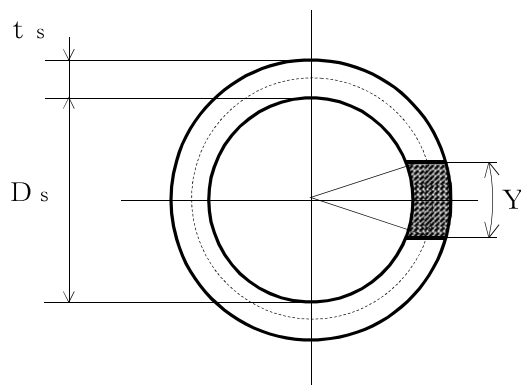


図 2-3 スカート開口部の水平断面における最大円周長さ

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。

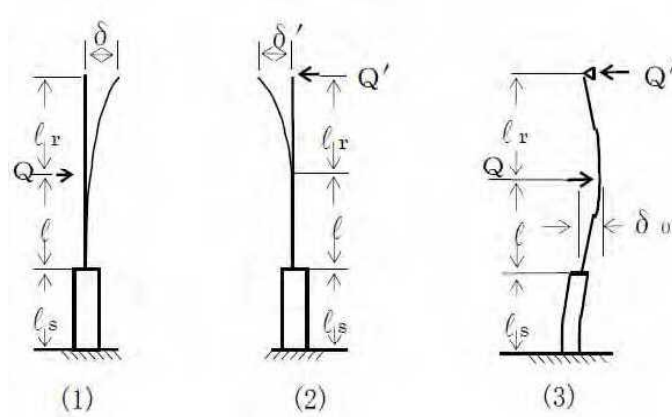


図2-4 下端固定上端支持の場合の変形モデル

図2-4の(1)の場合

$$\delta = \frac{Q \cdot \lambda^2}{6 \cdot E \cdot I} \cdot (2 \cdot \lambda + 3 \cdot \lambda_r) + \frac{Q}{6 \cdot E_s \cdot I_s} \cdot \left\{ 2 \cdot \lambda_s^3 + 3 \cdot \lambda_s^2 \cdot \lambda_r + 6 \cdot \lambda_s \cdot \lambda \cdot (\lambda_s + \lambda + \lambda_r) \right\} + \frac{Q \cdot \lambda}{G \cdot A_e} + \frac{Q \cdot \lambda_s}{G_s \cdot A_{s_e}} \dots \dots \dots (2.1.8)$$

図2-4の(2)の場合

$$\delta' = \frac{Q' \cdot (\lambda + \lambda_r)^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{Q'}{3 \cdot E_s \cdot I_s} \cdot \left\{ 3 \cdot (\lambda + \lambda_r)^2 \cdot \lambda_s + 3 \cdot (\lambda + \lambda_r) \cdot \lambda_s^2 + \lambda_s^3 \right\} + \frac{Q' \cdot (\lambda + \lambda_r)}{G \cdot A_e} + \frac{Q' \cdot \lambda_s}{G_s \cdot A_{s_e}} \dots \dots \dots (2.1.9)$$

(2.1.8) 式と (2.1.9) 式を等しく置くことにより、

$$Q' = Q \cdot \left\{ \frac{\lambda^2 \cdot (2 \cdot \lambda + 3 \cdot \lambda_r)}{6 \cdot E \cdot I} + \frac{2 \cdot \lambda_s^3 + 3 \cdot \lambda_s^2 \cdot \lambda_r + 6 \cdot \lambda_s \cdot \lambda \cdot (\lambda_s + \lambda + \lambda_r)}{6 \cdot E_s \cdot I_s} + \frac{\lambda}{G \cdot A_e} + \frac{\lambda_s}{G_s \cdot A_{s_e}} \right\} \cdot \left\{ \frac{(\lambda + \lambda_r)^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{3 \cdot (\lambda + \lambda_r)^2 \cdot \lambda_s + 3 \cdot (\lambda + \lambda_r) \cdot \lambda_s^2 + \lambda_s^3}{3 \cdot E_s \cdot I_s} + \frac{\lambda + \lambda_r}{G \cdot A_e} + \frac{\lambda_s}{G_s \cdot A_{s_e}} \right\} \dots \dots \dots (2.1.10)$$

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。

$$\begin{aligned}
 K_H = \frac{Q}{\delta_o} = 1000 \Bigg/ & \left\{ \frac{\lambda^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{3 \cdot \lambda^2 \cdot \lambda_s + 3 \cdot \lambda \cdot \lambda_s^2 + \lambda_s^3}{3 \cdot E_s \cdot I_s} \right. \\
 & + \left(1 - \frac{Q'}{Q} \right) \cdot \left(\frac{\lambda}{G \cdot A_e} + \frac{\lambda}{G_s \cdot A_{s_e}} \right) - \frac{Q'}{Q} \cdot \left(\frac{2 \cdot \lambda^3 + 3 \cdot \lambda^2 \cdot \lambda_r}{6 \cdot E \cdot I} \right. \\
 & \left. \left. + \frac{3 \cdot \lambda_s^2 \cdot \lambda + \lambda_s^3 + 3 \cdot \lambda_s \cdot \lambda^2 + 3 \cdot \lambda_s \cdot \lambda \cdot \lambda_r + \frac{3}{2} \cdot \lambda_s^2 \cdot \lambda_r}{3 \cdot E_s \cdot I_s} \right) \right\} \quad \dots\dots\dots (2.1.11)
 \end{aligned}$$

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。

$$K_v = 1000 \Bigg/ \left(\frac{\lambda}{E \cdot A} + \frac{\lambda_s}{E_s \cdot A_s} \right) \quad \dots\dots\dots (2.1.12)$$

$$A = \pi \cdot (D_i + t) \cdot t \quad \dots\dots\dots (2.1.13)$$

$$A_s = \left\{ \pi \cdot (D_s + t_s) - Y \right\} \cdot t_s \quad \dots\dots\dots (2.1.14)$$

したがって、固有周期 T_v は次式で求める。

$$T_v = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_v}} \quad \dots\dots\dots (2.1.15)$$

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。）

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i}{2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (2.2.1.1)$$

$$\sigma_{\phi 2} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i \cdot C_v}{2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (2.2.1.2)$$

$$\sigma_{x 1} = 0 \quad \dots\dots\dots (2.2.1.3)$$

内圧による場合

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (2.2.1.4)$$

$$\sigma_{\phi 2} = 0 \quad \dots\dots\dots (2.2.1.5)$$

$$\sigma_{x 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{4 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (2.2.1.6)$$

(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

$$\sigma_{x 2} = \frac{(m_o - m_e) \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \quad \dots\dots\dots (2.2.1.7)$$

$$\sigma_{x 5} = \frac{(m_o - m_e) \cdot g \cdot C_v}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \quad \dots\dots\dots (2.2.1.8)$$

上部の胴について

$$\sigma_{x 3} = \frac{m_e \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \quad \dots\dots\dots (2.2.1.9)$$

$$\sigma_{x 6} = \frac{m_e \cdot g \cdot C_v}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \quad \dots\dots\dots (2.2.1.10)$$

(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

$$\sigma_{x4} = \frac{4 \cdot C_H \cdot m_o \cdot g \cdot \lambda}{\pi \cdot (D_i + t)^2 \cdot t} \dots\dots\dots (2.2.1.11)$$

$$\tau = \frac{2 \cdot C_H \cdot m_o \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \dots\dots\dots (2.2.1.12)$$

b. 下端固定上端支持の場合

$$\sigma_{x4} = \frac{4 \cdot C_H \cdot m_o \cdot g \cdot \left| \lambda - \frac{Q'}{Q} \cdot (\lambda + \lambda_r) \right|}{\pi \cdot (D_i + t)^2 \cdot t} \dots\dots\dots (2.2.1.13)$$

$$\tau = \frac{2 \cdot C_H \cdot m_o \cdot g \cdot \left(1 - \frac{Q'}{Q} \right)}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \dots\dots\dots (2.2.1.14)$$

(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

$$\sigma_\phi = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (2.2.1.15)$$

$$\sigma_{0t} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_\phi + \sigma_{xt} + \sqrt{(\sigma_\phi - \sigma_{xt})^2 + 4 \cdot \tau^2} \right\} \dots\dots\dots (2.2.1.16)$$

ここで、

【絶対値和】

$$\sigma_{xt} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x4} + \sigma_{x5} \dots\dots\dots (2.2.1.17)$$

【SRSS法】

$$\sigma_{xt} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sqrt{\sigma_{x4}^2 + \sigma_{x5}^2} \dots\dots\dots (2.2.1.18)$$

(b) 組合せ圧縮応力

$$\sigma_\phi = -\sigma_{\phi 1} - \sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (2.2.1.19)$$

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。

$$\sigma_{oc} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_\phi + \sigma_{xc} + \sqrt{(\sigma_\phi - \sigma_{xc})^2 + 4 \cdot \tau^2} \right\} \dots\dots\dots (2.2.1.20)$$

ここで,

【絶対値和】

$$\sigma_{xc} = -\sigma_{x1} + \sigma_{x3} + \sigma_{x4} + \sigma_{x6} \quad \dots\dots\dots (2.2.1.21)$$

【S R S S法】

$$\sigma_{xc} = -\sigma_{x1} + \sigma_{x3} + \sqrt{\sigma_{x4}^2 + \sigma_{x6}^2} \quad \dots\dots\dots (2.2.1.22)$$

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、S R S S法それぞれに対して、

$$\sigma_0 = \text{Max} \{ \text{組合せ引張応力} (\sigma_{0t}), \text{組合せ圧縮応力} (\sigma_{0c}) \} \quad \dots\dots\dots (2.2.1.23)$$

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。

$$\sigma_{s1} = \frac{m_o \cdot g}{\{ \pi \cdot (D_s + t_s) - Y \} \cdot t_s} \quad \dots\dots\dots (2.2.2.1)$$

$$\sigma_{s3} = \frac{m_o \cdot g \cdot C_v}{\{ \pi \cdot (D_s + t_s) - Y \} \cdot t_s} \quad \dots\dots\dots (2.2.2.2)$$

(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

$$\sigma_{s2} = \frac{M_s}{(D_s + t_s) \cdot t_s \cdot \left\{ \frac{\pi}{4} \cdot (D_s + t_s) - \frac{Y}{2} \right\}} \quad \dots\dots\dots (2.2.2.3)$$

$$\tau_s = \frac{2 \cdot C_H \cdot m_o \cdot g}{\{ \pi \cdot (D_s + t_s) - Y \} \cdot t_s} \quad \dots\dots\dots (2.2.2.4)$$

ここで,

$$M_s = C_H \cdot m_o \cdot g \cdot (\lambda_s + \lambda) \quad \dots\dots\dots (2.2.2.5)$$

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。

$$M_{s1} = C_H \cdot m_o \cdot g \cdot \left| \lambda - \frac{Q'}{Q} \cdot (\lambda + \lambda_r) \right| \dots\dots\dots (2.2.2.6)$$

$$M_{s2} = C_H \cdot m_o \cdot g \cdot \left| \lambda_s + \lambda - \frac{Q'}{Q} \cdot (\lambda_s + \lambda + \lambda_r) \right| \dots\dots\dots (2.2.2.7)$$

$$\tau_s = \frac{2 \cdot C_H \cdot m_o \cdot g \cdot (1 - \frac{Q'}{Q})}{\{\pi \cdot (D_s + t_s) - Y\} \cdot t_s} \dots\dots\dots (2.2.2.8)$$

(3) 組合せ応力

組合せ応力は次式で求める。

【絶対値和】

$$\sigma_s = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s3})^2 + 3 \cdot \tau_s^2} \dots\dots\dots (2.2.2.9)$$

【SRSS法】

$$\sigma_s = \sqrt{\left(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s2}^2 + \sigma_{s3}^2} \right)^2 + 3 \cdot \tau_s^2} \dots\dots\dots (2.2.2.10)$$

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。

$$k = \frac{1}{1 + \frac{\sigma_b}{s \cdot \sigma_c}} \quad \dots\dots\dots (2.2.3.1)$$

- 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。

$$\alpha = \cos^{-1} (1 - 2 \cdot k) \quad \dots\dots\dots (2.2.3.2)$$

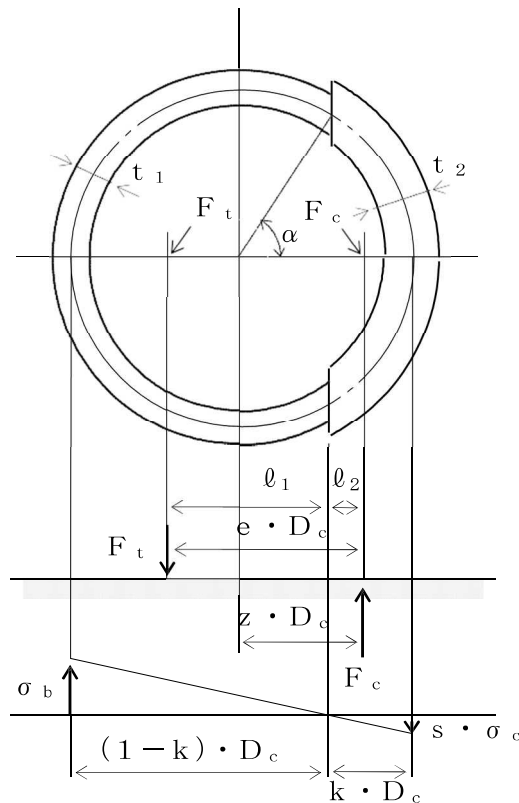


図2-5 基礎の荷重説明図

c. 各定数 e , z , C_t 及び C_c を求める。

$$e = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \frac{(\pi - \alpha) \cdot \cos^2 \alpha + \frac{1}{2} \cdot (\pi - \alpha) + \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha}{(\pi - \alpha) \cdot \cos \alpha + \sin \alpha} + \frac{\frac{1}{2} \cdot \alpha - \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha + \alpha \cdot \cos^2 \alpha}{\sin \alpha - \alpha \cdot \cos \alpha} \right\} \dots\dots\dots (2.2.3.3)$$

$$z = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \cos \alpha + \frac{\frac{1}{2} \cdot \alpha - \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha + \alpha \cdot \cos^2 \alpha}{\sin \alpha - \alpha \cdot \cos \alpha} \right\} \dots\dots\dots (2.2.3.4)$$

$$C_t = \frac{2 \cdot \{ (\pi - \alpha) \cdot \cos \alpha + \sin \alpha \}}{1 + \cos \alpha} \dots\dots\dots (2.2.3.5)$$

$$C_c = \frac{2 \cdot (\sin \alpha - \alpha \cdot \cos \alpha)}{1 - \cos \alpha} \dots\dots\dots (2.2.3.6)$$

d. 各定数を用いて F_t 及び F_c を求める。

【絶対値和】

$$F_t = \frac{M_s - (1 - C_v) \cdot m_0 \cdot g \cdot z \cdot D_c}{e \cdot D_c} \dots\dots\dots (2.2.3.7)$$

$$F_c = F_t + (1 - C_v) \cdot m_0 \cdot g \dots\dots\dots (2.2.3.8)$$

【SRSS法】

$$F_t = \frac{\sqrt{M_s^2 + (C_v \cdot m_0 \cdot g \cdot z \cdot D_c)^2}}{e \cdot D_c} - \frac{z}{e} \cdot m_0 \cdot g \dots\dots\dots (2.2.3.9)$$

$$F_c = \frac{\sqrt{M_s^2 + (C_v \cdot m_0 \cdot g \cdot (z - e) \cdot D_c)^2}}{e \cdot D_c} + \left(1 - \frac{z}{e}\right) \cdot m_0 \cdot g \dots\dots\dots (2.2.3.10)$$

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。

$F_t \leq 0$ 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。

$$\sigma_b = \frac{2 \cdot F_t}{t_1 \cdot D_c \cdot C_t} \dots\dots\dots (2.2.3.11)$$

$$\sigma_c = \frac{2 \cdot F_c}{(t_2 + s \cdot t_1) \cdot D_c \cdot C_c} \dots\dots\dots (2.2.3.12)$$

ここで,

$$t_1 = \frac{n \cdot A_b}{\pi \cdot D_c} \dots\dots\dots (2.2.3.13)$$

$$t_2 = \frac{1}{2} \cdot (D_{bo} - D_{bi}) - t_1 \dots\dots\dots (2.2.3.14)$$

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

$$\tau_b = \frac{C_H \cdot m_0 \cdot g}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (2.2.3.15)$$

b. 下端固定上端支持の場合

$$\tau_b = \frac{C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \left(1 - \frac{Q'}{Q}\right)}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (2.2.3.16)$$

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つては許容引張応力 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。

$$f_t = \frac{F}{1.5} \cdot 1.5 \quad \dots\dots\dots (3.2.2.1)$$

(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)

$$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1 \quad \dots\dots\dots (3.2.2.2)$$

ここで、 f_c は次による。

$$\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \leq \frac{1200 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_c = F \quad \dots\dots\dots (3.2.2.3)$$

$$\frac{1200 \cdot g}{F} < \frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} < \frac{8000 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_c = F \cdot \left[1 - \frac{1}{6800 \cdot g} \cdot \left\{ F - \phi_1 \left(\frac{8000 \cdot g}{F} \right) \right\} \cdot \left(\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right) \right] \quad \dots\dots\dots (3.2.2.4)$$

$$\frac{8000 \cdot g}{F} \leq \frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \leq 800 \quad \text{のとき}$$

$$f_c = \phi_1 \left(\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \right) \quad \dots \quad (3.2.2.5)$$

ただし、 $\phi_1(x)$ は次の関数とする。

$$\phi_1(x) = 0.6 \cdot \frac{E_s}{x} \cdot \left[1 - 0.901 \cdot \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{1}{16} \cdot \sqrt{x}\right) \right\} \right] \quad \dots \quad (3.2.2.6)$$

また、 f_b は次による。

$$\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \leq \frac{1200 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_b = F \quad \dots \quad (3.2.2.7)$$

$$\frac{1200 \cdot g}{F} < \frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} < \frac{9600 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_b = F \cdot \left[1 - \frac{1}{8400 \cdot g} \cdot \left\{ F - \phi_2 \left(\frac{9600 \cdot g}{F} \right) \right\} \cdot \left(\frac{D_s + 2 \cdot t_s - 1200 \cdot g}{2 \cdot t_s} \right) \right] \quad \dots \quad (3.2.2.8)$$

$$\frac{9600 \cdot g}{F} \leq \frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \leq 800 \quad \text{のとき}$$

$$f_b = \phi_2 \left(\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \right) \quad \dots \quad (3.2.2.9)$$

ただし、 $\phi_2(x)$ は次の関数とする

$$\phi_2(x) = 0.6 \cdot \frac{E_s}{x} \cdot \left[1 - 0.731 \cdot \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{1}{16} \cdot \sqrt{x}\right) \right\} \right] \quad \dots \quad (3.2.2.10)$$

η は安全率で次による。

$$\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \leq \frac{1200 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$\eta = 1 \quad \dots \quad (3.2.2.11)$$

$$\frac{1200 \cdot g}{F} < \frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} < \frac{8000 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$\eta = 1 + \frac{0.5 \cdot F}{6800 \cdot g} \cdot \left(\frac{D_s + 2 \cdot t_s - 1200 \cdot g}{2 \cdot t_s} \right) \quad \dots \quad (3.2.2.12)$$

$$\frac{8000 \cdot g}{F} \leq \frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \quad \text{のとき}$$

$$\eta = 1.5 \quad \dots \quad (3.2.2.13)$$

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。

$$f_{ts} = 1.4 \cdot f_{t0} - 1.6 \cdot \tau_b \quad \dots\dots\dots (3.2.3.1)$$

かつ、

$$f_{ts} \leq f_{t0} \quad \dots\dots\dots (3.2.3.2)$$

ただし、 f_{t0} 及び f_{sb} は下表による。

	許容引張応力 f_{t0}	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 4脚たて置円筒形容器（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、4脚たて置円筒形容器（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 JEAG 4601-1987（日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和62年8月）」に基づく。

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。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) 容器の胴は4個の脚で支持され、脚はそれぞれボルトで基礎又は架台に取り付ける。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) 胴と脚をはりと考え、変形モードは曲げ及びせん断変形を考慮する。
- (5) 胴と脚の取付部において、胴の局部変形を考慮する。
- (6) ボルトが脚1個について（水平力 F_0 に直角の方向より見て）1列の場合は、その脚の下端を単純支持とし、2列の場合は固定とする。

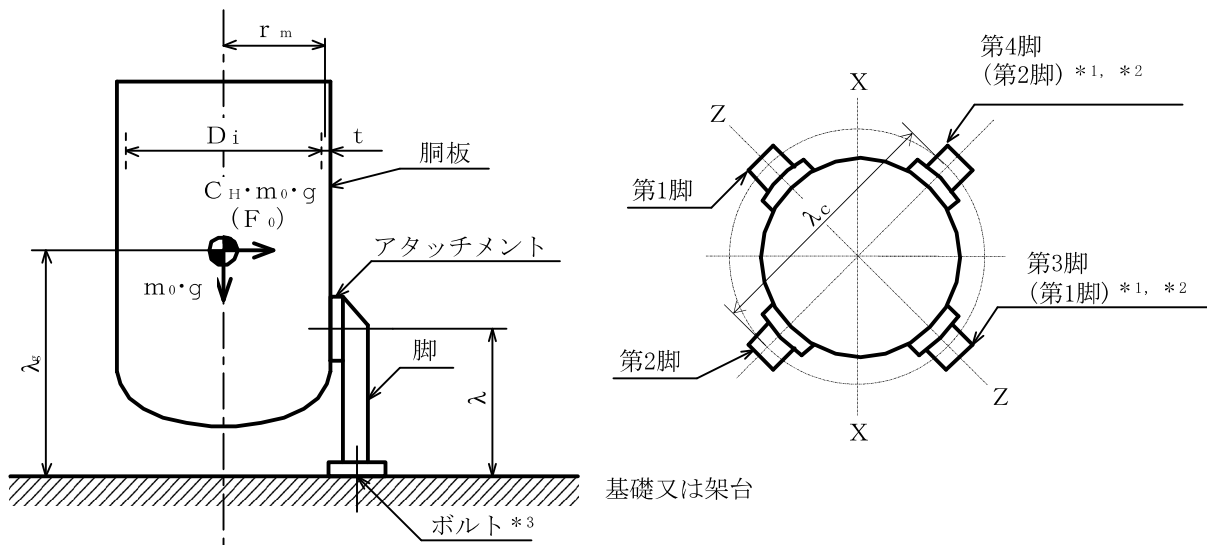


図1-1 概要図

- *1：本計算書において地震の方向はX方向とZ方向を考慮し、Z方向地震による応力の計算においては、第3脚を第1脚に、第4脚を第2脚に読み替える。(ボルトの応力評価の場合を除く。)
- *2：脚部材については胴の半径方向をr軸、その直角方向をt軸とする。
- *3：容器が基礎に据え付けられる場合は基礎ボルト、容器が架台に据え付けられる場合は取付ボルトと称する。

1.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	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_f	脚の圧縮フランジの断面積	mm^2
A_s	脚の断面積	mm^2
A_{s1}	脚の半径方向軸に対するせん断断面積	mm^2
A_{s2}	脚の周方向軸に対するせん断断面積	mm^2
A_{sf}	脚の圧縮フランジとせいの6分の1から成るT形断面の断面積	mm^2
A_{sr}	脚の半径方向軸に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{st}	脚の周方向軸に対する有効せん断断面積	mm^2
a	脚底板の半径方向幅	mm
b	脚底板の周方向幅	mm
C	脚の座屈曲げモーメントに対する修正係数	—
C_1	脚の胴付け根部のアタッチメントの幅の2分の1 (胴の周方向)	mm
C_2	脚の胴付け根部のアタッチメントの幅の2分の1 (胴の軸方向)	mm
C_{cj}	周方向モーメントによる応力の補正係数 ($j=1$: 周方向応力, $j=2$: 軸方向応力)	—
C_H	水平方向設計震度	—
C_v	鉛直方向設計震度	—
$C_{\lambda j}$	鉛直方向モーメントによる応力の補正係数 ($j=1$: 周方向応力, $j=2$: 軸方向応力)	—
D_i	胴の内径	mm
d_1	脚底板端面からボルト中心までの半径方向の距離	mm
d_2	脚底板端面からボルト中心までの周方向の距離	mm
d_b	ボルトの呼び径	mm
E	胴の縦弾性係数	MPa
E_s	脚の縦弾性係数	MPa
e	脚中心から偏心荷重作用点までの距離	mm
F	設計・建設規格 SSB-3121.1又はSSB-3131に定める値	MPa
F_o	振動モデル系における水平力	N
F_b	ボルトに作用する引張力	N
F_v	鉛直方向荷重	N
f_{br}	脚の半径方向軸回りの許容曲げ応力	MPa
f_{bt}	脚の半径方向に直角な方向の軸回りの許容曲げ応力	MPa
f_c	脚の許容圧縮応力	MPa

記号	記号の説明	単位
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f_t	脚の許容引張応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける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ボルトの許容引張応力	MPa
G	胴のせん断弾性係数	MPa
G_s	脚のせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
H	水頭	mm
h	脚断面のせい	mm
I	胴の断面二次モーメント	mm^4
i	脚の弱軸についての断面二次半径	mm
i_f	脚の圧縮フランジとせいの6分の1から成るT形断面のウェーブ 軸回りの断面二次半径	mm
I_{sf}	脚の圧縮フランジとせいの6分の1から成るT形断面のウェーブ 軸回りの断面二次モーメント	mm^4
I_{sr}	脚の半径方向軸に対する断面二次モーメント	mm^4
I_{st}	脚の周方向軸に対する断面二次モーメント	mm^4
J_s	脚のねじりモーメント係数	mm^4
K_{1j}, K_{2j}	アタッチメントパラメータの補正係数 ($j=1$: 周方向応力, $j=2$: 軸方向応力)	—
K_c	胴の脚付け根部における周方向曲げモーメントに対する局部ばね 定数	—
K_H	ばね定数 (水平方向)	N/m
K_λ	胴の脚付け根部における長手方向曲げモーメントに対する局部ば ね定数	—
K_r	胴の脚付け根部における半径方向荷重に対する局部ばね定数	—
K_v	ばね定数 (鉛直方向)	N/m
k_c, k_λ	アタッチメントパラメータの周方向及び軸方向の補正係数	—
λ	脚の長さ	mm
λ_c	脚の中立軸間の距離	mm
λ_g	基礎又は架台から容器重心までの距離	mm
λ_k	脚の有効座屈長さ	mm
M_1	Z方向地震による胴の脚付け根部の鉛直方向モーメント	N・mm

記 号	記 号 の 説 明	単 位
M_3	Z方向地震による胴の脚付け根部のねじりモーメント	N・mm
M_c	Z方向地震による胴の脚付け根部の周方向モーメント	N・mm
M_λ	運転時質量による胴の脚付け根部の鉛直方向モーメント	N・mm
$M_{\lambda 2}$	鉛直方向地震による胴の脚付け根部の鉛直方向モーメント	N・mm
M_{s1}, M_{s2}	脚の上下両端に作用する曲げモーメント	N・mm
M_{x1}	X方向地震により脚の底部に作用する合成モーメント	N・mm
M_{z1}	Z方向地震により第1脚及び第3脚の底部に作用する合成モーメント	N・mm
M_{z2}	Z方向地震により第2脚及び第4脚の底部に作用する合成モーメント	N・mm
m_0	容器の運転時質量	kg
N_x	胴に生じる軸方向の膜力	N/mm
N_ϕ	胴に生じる周方向の膜力	N/mm
n	脚1個当たりのボルトの本数	—
n_1	Z方向地震により第1脚及び第3脚の脚1個当たりの引張りを受けるボルトの本数	—
n_2	Z方向地震により第2脚及び第4脚の脚1個当たりの引張りを受けるボルトの本数	—
P	運転時質量による胴の脚付け根部の半径方向荷重	N
P_1	Z方向地震による胴の脚付け根部の半径方向荷重	N
P_2	鉛直方向地震による胴の脚付け根部の半径方向荷重	N
P_r	最高使用圧力	MPa
Q	Z方向地震による胴の脚付け根部の周方向荷重	N
R	運転時質量による脚の軸力	N
R_1	Z方向地震により脚に作用する軸力	N
R_2	鉛直方向地震により脚に作用する軸力	N
R_{x1}	X方向地震により脚に作用する軸力	N
R_{z1}	Z方向地震により第1脚及び第3脚に作用する軸力	N
R_{z2}	Z方向地震により第2脚及び第4脚に作用する軸力	N
r_m	胴の平均半径	mm

記号	記号の説明	単位
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	ボルトと基礎又は架台の縦弾性係数比	—
T_H	水平方向の固有周期	s
T_v	鉛直方向の固有周期	s
t	胴板の厚さ	mm
u	脚の中心軸から胴板の厚さの中心までの距離	mm
X_n	基礎又は架台が圧縮力を受ける幅	mm
Z_{sp}	脚のねじり断面係数	mm ³
Z_{sr}	脚の半径方向軸に対する断面係数	mm ³
Z_{st}	脚の周方向軸に対する断面係数	mm ³
β, β_1, β_2	アタッチメントパラメータ	—
γ	シェルパラメータ	—
δ_H	水平力 F_0 による胴重心の水平方向変位量	mm
δ_v	胴重心の鉛直方向変位量	mm
Δ_r	運転時質量による胴の半径方向局部変位量	mm
Δ_{r1}	水平力 F_0 による胴の半径方向局部変位量	mm
Δ_{x1}	水平力 F_0 による第1脚上端の水平方向変位量	mm
Δ_{x3}	水平力 F_0 による第2脚上端の水平方向変位量	mm
Δ_{y1}	水平力 F_0 による第1脚の鉛直方向変位量	mm
Δ_{y2}	鉛直方向荷重 F_v による支持脚の鉛直方向変位量	mm
Δ_{y3}	鉛直方向荷重 F_v による胴の鉛直方向変位量	mm
Δ_{y4}	運転時質量による胴付け根部における局部傾き角による鉛直方向変位量	mm
θ	運転時質量による胴の脚付け根部における局部傾き角	rad
θ_0	水平力 F_0 による胴の中心軸の傾き角	rad
θ_1	水平力 F_0 による第1脚の傾き角	rad
$\theta_{1'}$	水平力 F_0 による胴の第1脚付け根部における局部傾き角	rad
θ_3	水平力 F_0 による第2脚の傾き角	rad
Λ	脚の限界細長比	—
λ	脚の有効細長比	—
ν	座屈に対する安全率	—
π	円周率	—

記号	記号の説明	単位
ρ'	液体の密度 (=比重 $\times 10^{-6}$)	kg/mm ³
σ_0	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
$\sigma_{0\phi}$	胴の周方向の一次一般膜応力	MPa
σ_{0x}	胴の軸方向の一次一般膜応力	MPa
σ_1	胴の一次応力の最大値	MPa
σ_{11}, σ_{12}	Z方向地震が作用した場合の胴の第1脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における組合せ一次応力	MPa
σ_{13}, σ_{14}	Z方向地震が作用した場合の胴の第2脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における組合せ一次応力	MPa
σ_{15}, σ_{16}	X方向地震が作用した場合の胴の脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における組合せ一次応力	MPa
σ_b	ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
σ_{b1}, σ_{b2}	Z方向地震によりボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{b3}	X方向地震によりボルトに生じる引張応力	MPa
σ_s	脚の組合せ応力の最大値	MPa
σ_{s1}, σ_{s2}	運転時質量による脚の圧縮及び曲げ応力	MPa
σ_{s3}, σ_{s4}	鉛直方向地震による脚の圧縮及び曲げ応力	MPa
$\sigma_{s5}, \sigma_{s6}, \sigma_{s7}$	Z方向地震による脚の圧縮並びに第1脚及び第2脚の曲げ応力	MPa
$\sigma_{s8}, \sigma_{s9}, \sigma_{s10}$	X方向地震による脚の圧縮並びに半径方向及び周方向の曲げ応力	MPa
σ_{sc}	脚の圧縮応力の和	MPa
σ_{sr}	脚の半径方向軸回りの圧縮側曲げ応力の和	MPa
σ_{st}	脚の半径方向に直角な軸回りの圧縮側曲げ応力の和	MPa
σ_{sx}	X方向地震が作用した場合の脚の組合せ応力	MPa
$\sigma_{sz1}, \sigma_{sz2}$	Z方向地震が作用した場合の第1脚及び第2脚の組合せ応力	MPa
$\sigma_{\phi 1}, \sigma_{x1}$	静水頭又は内圧による胴の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 2}$	鉛直方向地震による胴の周方向応力	MPa
σ_{x2}	運転時質量による胴の軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 3}, \sigma_{x3}$	運転時質量により生じる鉛直方向モーメントによる胴の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 4}, \sigma_{x4}$	運転時質量により生じる半径方向荷重による胴の周方向及び軸方向応力	MPa
σ_{x5}	水平方向地震が作用した場合の転倒モーメントによる胴の軸方向応力	MPa
σ_{x7}	鉛直方向地震による胴の軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 8}, \sigma_{x8}$	鉛直方向地震により生じる鉛直方向モーメントによる胴の周方向及び軸方向応力	MPa

記号	記号の説明	単位
$\sigma_{\phi 9}, \sigma_{x 9}$	鉛直方向地震により生じる半径方向荷重による胴の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 6 1}, \sigma_{x 6 1}$	Z方向地震が作用した場合の半径方向荷重による胴の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 7 1}, \sigma_{x 7 1}$	Z方向地震が作用した場合の鉛直方向モーメントによる胴の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 8 1}, \sigma_{x 8 1}$	Z方向地震が作用した場合の周方向モーメントによる胴の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 9 1}, \sigma_{x 9 1}$	X方向地震が作用した場合の半径方向荷重による胴の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 10 1}, \sigma_{x 10 1}$	X方向地震が作用した場合の鉛直方向モーメントによる胴の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 11 1}, \sigma_{x 11 1}$	X方向地震が作用した場合の周方向モーメントによる胴の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{x x 1}, \sigma_{x x 2}$	X方向地震が作用した場合の胴の脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{x z 1}, \sigma_{x z 2}$	Z方向地震が作用した場合の胴の第1脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{x z 3}, \sigma_{x z 4}$	Z方向地震が作用した場合の胴の第2脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{\phi x 1}, \sigma_{\phi x 2}$	X方向地震が作用した場合の胴の脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における周方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{\phi z 1}, \sigma_{\phi z 2}$	Z方向地震が作用した場合の胴の第1脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における周方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{\phi z 3}, \sigma_{\phi z 4}$	Z方向地震が作用した場合の胴の第2脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における周方向一次応力の和	MPa
τ_3	Z方向地震により胴の脚付け根部に生じるねじりモーメントによるせん断応力	MPa
τ_6	X方向地震により胴の脚付け根部に生じるねじりモーメントによるせん断応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
$\tau_{b 1}$	Z方向地震により第1脚及び第3脚のボルトに生じるせん断応力	MPa
$\tau_{b 2}$	Z方向地震により第2脚及び第4脚のボルトに生じるせん断応力	MPa

記 号	記 号 の 説 明	単 位
τ_{b3}	X方向地震によりボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_{c1}	Z方向地震により胴の脚付け根部に生じる周方向せん断応力	MPa
τ_{c4}	X方向地震により胴の脚付け根部に生じる周方向せん断応力	MPa
$\tau_{\lambda 1}$	運転時質量により胴の脚付け根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
$\tau_{\lambda 2}$	Z方向地震により胴の脚付け根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
$\tau_{\lambda 5}$	X方向地震により胴の脚付け根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
$\tau_{\lambda 7}$	鉛直方向地震により胴の脚付け根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
τ_{s1}	運転時質量による脚のせん断応力	MPa
τ_{s2}	鉛直方向地震による脚のせん断応力	MPa
τ_{s3}, τ_{s4}	Z方向地震による第1脚及び第2脚のせん断応力	MPa
τ_{s5}	X方向地震による脚のせん断応力	MPa

2. 計算方法

2.1 固有周期の計算方法

(1) 計算モデル

第1脚及び第2脚とも固定の場合の変形モードを図2-1に示す。

(2) 固有周期

それぞれの脚及び胴について、荷重、モーメント及び変形の釣合い条件の方程式を作ることに
より、以下のように固有周期を求める。

a. 水平方向の固有周期

(a) 第1脚及び第2脚とも固定の場合（図2-1参照）

水平力の釣合いより

$$2 \cdot P_1 + 2 \cdot Q = F_0 \quad \dots\dots\dots (2.1.1)$$

転倒モーメントの釣合いより

$$2 \cdot M_1 - 2 \cdot M_3 + 2 \cdot R_1 \cdot r_m = F_0 \cdot (\lambda_g - \lambda) \quad \dots\dots\dots (2.1.2)$$

ただし、

$$r_m = (D_i + t) / 2 \quad \dots\dots\dots (2.1.3)$$

水平力 F_0 による第1脚の水平方向変位量 Δ_{x1} 、傾き角 θ_1 及び鉛直方向変位量 Δ_{y1} は

$$\Delta_{x1} = \frac{P_1 \cdot \lambda^3}{3 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{P_1 \cdot \lambda}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{(M_1 - R_1 \cdot u) \cdot \lambda^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{st}} \quad \dots\dots\dots (2.1.4)$$

ここで、（図1-1及び図2-1参照）

$$u = \frac{\lambda_c}{2} - r_m \quad \dots\dots\dots (2.1.5)$$

$$\theta_1 = \frac{(M_1 - R_1 \cdot u) \cdot \lambda}{E_s \cdot I_{st}} + \frac{P_1 \cdot \lambda^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{st}} \quad \dots\dots\dots (2.1.6)$$

$$\Delta_{y1} = \frac{R_1 \cdot \lambda}{A_s \cdot E_s} \quad \dots\dots\dots (2.1.7)$$

水平力 F_0 による胴の半径方向局部変位量 Δ_{r1} と局部傾き角 $\theta_{1'}$ は

$$\Delta_{r1} = \frac{K_r \cdot P_1}{r_m \cdot E} \quad \dots\dots\dots (2.1.8)$$

$$\theta_{1'} = \frac{K\lambda \cdot M_1}{r_m^3 \cdot \beta^2 \cdot E} \quad \dots\dots\dots (2.1.9)$$

ここで、 K_r 及び $K\lambda$ は胴の半径方向荷重による局部変位と長手方向曲げモーメントによる局部傾き角に対する定数であり、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β は、以下のように定義する。

$$r_m = (D_i + t) / 2 \quad \dots\dots\dots (2.1.10)$$

$$\gamma = r_m / t \quad \dots\dots\dots (2.1.11)$$

$$\beta_1 = C_1 / r_m \quad \dots\dots\dots (2.1.12)$$

$$\beta_2 = C_2 / r_m \quad \dots\dots\dots (2.1.13)$$

$$\beta = k\lambda \cdot \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2} \quad \dots\dots\dots (2.1.14)$$

水平力 F_0 による第2脚の傾き角（胴の中心軸の傾き角に同じ。）と水平方向変位量は

$$\theta_0 = \frac{-M_3 \cdot \lambda}{E_s \cdot I_{sr}} + \frac{Q \cdot \lambda^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{sr}} \quad \dots\dots\dots (2.1.15)$$

$$\Delta_{x3} = \frac{Q \cdot \lambda^3}{3 \cdot E_s \cdot I_{sr}} + \frac{Q \cdot \lambda}{G_s \cdot A_{st}} - \frac{M_3 \cdot \lambda^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{sr}} \quad \dots\dots\dots (2.1.16)$$

第1脚と胴の傾き角の釣合いより

$$\theta_1 + \theta_{1'} - \theta_0 = 0 \quad \dots\dots\dots (2.1.17)$$

水平力 F_0 による第2脚のねじれ角と胴の局部傾き角は等しいから

$$\theta_3 = \frac{(Q \cdot u - M_c) \cdot \lambda}{G_s \cdot J_s} = \frac{K_c \cdot M_c}{r_m^3 \cdot \beta^2 \cdot E} \quad \dots\dots\dots (2.1.18)$$

ここで、 K_c は、胴の周方向曲げモーメントによる局部傾き角に対する定数であり、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β は、(2.1.10) 式～(2.1.14) 式とする。ただし、(2.1.14) 式の $k\lambda$ を k_c 、 β_1 を β_2 及び β_2 を β_1 に置き換える。

脚と胴の水平方向変位量の釣合いより

$$\Delta_{x1} + \Delta_{r1} = \Delta_{x3} + u \cdot \theta_3 \quad \dots\dots\dots (2.1.19)$$

さらに、鉛直方向の釣合いより

$$\Delta y_1 - u \cdot \theta_1 - r_m \cdot \theta_0 = 0 \quad \dots\dots\dots (2.1.20)$$

(2.1.20) 式へ (2.1.6) 式, (2.1.7) 式及び (2.1.15) 式を代入して

$$\frac{R_1 \cdot \lambda}{A_s \cdot E_s} - \frac{u \cdot (M_1 - R_1 \cdot u) \cdot \lambda}{E_s \cdot I_{st}} - \frac{u \cdot P_1 \cdot \lambda^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{r_m \cdot M_3 \cdot \lambda}{E_s \cdot I_{sr}} - \frac{r_m \cdot Q \cdot \lambda^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{sr}} = 0 \quad \dots\dots\dots (2.1.21)$$

(2.1.17) 式へ (2.1.6) 式, (2.1.9) 式及び (2.1.15) 式を代入して

$$\frac{M_3 \cdot \lambda}{E_s \cdot I_{sr}} - \frac{Q \cdot \lambda^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{sr}} + \frac{(M_1 - R_1 \cdot u) \cdot \lambda}{E_s \cdot I_{st}} + \frac{P_1 \cdot \lambda^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{K\lambda \cdot M_1}{r_m^3 \cdot \beta^2 \cdot E} = 0 \quad \dots\dots\dots (2.1.22)$$

(2.1.18) 式を変形して

$$\frac{u \cdot Q \cdot \lambda}{G_s \cdot J_s} - \frac{M_c \cdot \lambda}{G_s \cdot J_s} - \frac{K_c \cdot M_c}{r_m^3 \cdot \beta^2 \cdot E} = 0 \quad \dots\dots\dots (2.1.23)$$

(2.1.19) 式へ (2.1.4) 式, (2.1.8) 式, (2.1.16) 式及び (2.1.18) 式を代入して

$$\frac{P_1 \cdot \lambda^3}{3 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{P_1 \cdot \lambda}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{(M_1 - R_1 \cdot u) \cdot \lambda^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{K_r \cdot P_1}{r_m \cdot E} - \frac{Q \cdot \lambda^3}{3 \cdot E_s \cdot I_{sr}} - \frac{Q \cdot \lambda}{G_s \cdot A_{st}} + \frac{M_3 \cdot \lambda^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{sr}} - \frac{u \cdot K_c \cdot M_c}{r_m^3 \cdot \beta^2 \cdot E} = 0 \quad \dots\dots\dots (2.1.24)$$

以上より、6 変数 P_1 , Q , R_1 , M_1 , M_3 及び M_c に対して (2.1.1) 式, (2.1.2) 式及び (2.1.21) 式～ (2.1.24) 式を連立させ、 Δx_1 , Δr_1 及び θ_0 を求める。

胴重心の変位量 δ_H , ばね定数 K_H 及び固有周期 T_H は次式で求める。

$$\delta_H = \Delta x_1 + \Delta r_1 + (\lambda_g - \lambda) \cdot \theta_0 + \frac{(\lambda_g - \lambda)^3}{3 \cdot E \cdot I} \cdot F_0 + \frac{(\lambda_g - \lambda)}{G \cdot A_e} \cdot F_0 \quad \dots\dots\dots (2.1.25)$$

$$K_H = \frac{1000 \cdot F_0}{\delta_H} \quad \dots\dots\dots (2.1.26)$$

$$T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_H}} \quad \dots\dots\dots (2.1.27)$$

ここで、胴の断面性能は次式で求める。

$$I = \frac{\pi}{8} \cdot (D_i + t)^3 \cdot t \quad \dots\dots\dots (2.1.28)$$

$$A_e = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot (D_i + t) \cdot t \quad \dots\dots\dots (2.1.29)$$

b. 鉛直方向の固有周期

鉛直方向荷重 F_v による支持脚の鉛直方向変位量 Δy_2 と胴の鉛直方向変位量 Δy_3 は次式で求める。

$$\Delta y_2 = \frac{F_v \cdot \lambda}{4 \cdot A_s \cdot E_s} \dots\dots\dots (2.1.30)$$

$$\Delta y_3 = \frac{F_v \cdot (\lambda_g - \lambda)}{A \cdot E} \dots\dots\dots (2.1.31)$$

ここで、

$$A = \pi \cdot (D_i + t) \cdot t \dots\dots\dots (2.1.32)$$

運転時質量による胴の脚付け根部における局部傾き角による鉛直方向変位は次式で求める。

$$\Delta y_4 = \theta \cdot u \dots\dots\dots (2.1.33)$$

局部傾き角は

$$\theta = \frac{K\lambda \cdot M\lambda}{r m^3 \cdot \beta^2 \cdot E} \dots\dots\dots (2.1.34)$$

ここで、

$$M\lambda = \left\{ \left(\frac{\lambda^3}{12 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{\lambda}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{K_r}{r m \cdot E} \right) \cdot \frac{F_v \cdot u \cdot \lambda}{4 \cdot E_s \cdot I_{st}} \right\} \\ \cdot \left\{ \left(\frac{\lambda^3}{3 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{\lambda}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{K_r}{r m \cdot E} \right) \cdot \left(\frac{\lambda}{E_s \cdot I_{st}} + \frac{K\lambda}{r m^3 \cdot \beta^2 \cdot E} \right) - \left(\frac{\lambda^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{st}} \right)^2 \right\} \\ \dots\dots\dots (2.1.35)$$

以上により、胴重心の鉛直方向変位量 δ_v 、ばね定数 K_v 及び固有周期 T_v は次式で求める。

$$\delta_v = \Delta y_2 + \Delta y_3 + \Delta y_4 \dots\dots\dots (2.1.36)$$

$$K_v = \frac{1000 \cdot F_v}{\delta_v} \dots\dots\dots (2.1.37)$$

$$T_v = 2 \cdot \pi \sqrt{\frac{m_0}{K_v}} \dots\dots\dots (2.1.38)$$

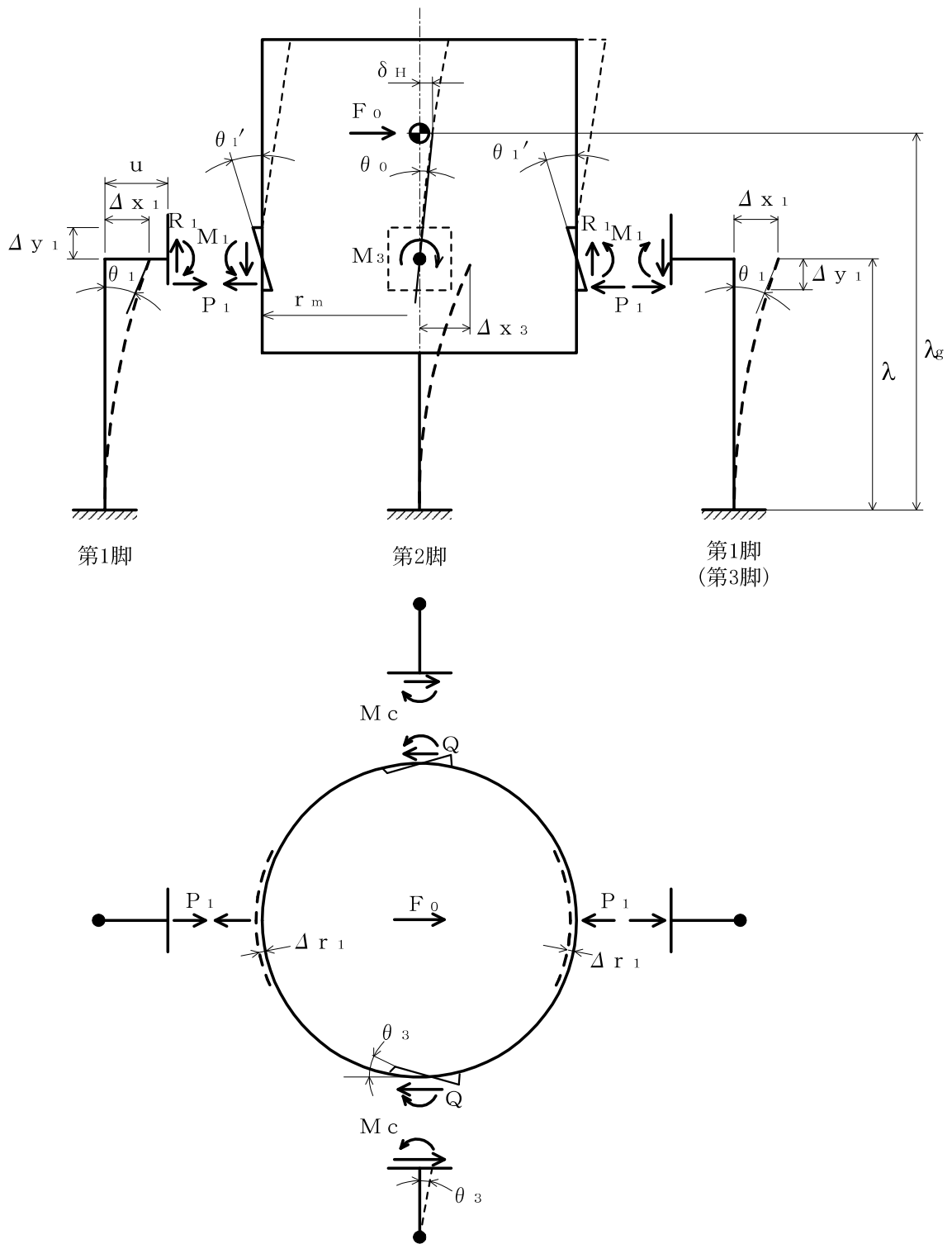


図 2-1 第 1 脚及び第 2 脚とも脚下端が固定されている場合の変形モード

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）

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i}{2 \cdot t} \dots\dots\dots (2.2.1.1)$$

$$\sigma_{\phi 2} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i \cdot C_v}{2 \cdot t} \dots\dots\dots (2.2.1.2)$$

$$\sigma_{x1} = 0 \dots\dots\dots (2.2.1.3)$$

(2) 運転時質量及び鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{x2} = \frac{m_0 \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \dots\dots\dots (2.2.1.4)$$

$$\sigma_{x7} = \frac{m_0 \cdot g \cdot C_v}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \dots\dots\dots (2.2.1.5)$$

(3) 運転時質量による胴の脚付け根部の応力

脚下端が固定の場合、脚の半径方向変位量と胴の半径方向局部変位量は等しいから

$$\begin{aligned} \Delta_r &= \frac{-P \cdot \lambda^3}{3 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{-P \cdot \lambda}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{(R \cdot u - M\lambda) \cdot \lambda^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{st}} \\ &= \frac{K_r \cdot P}{r_m \cdot E} \dots\dots\dots (2.2.1.6) \end{aligned}$$

また、脚上端の傾き角と胴の局部傾き角は等しいから

$$\begin{aligned} \theta &= \frac{(R \cdot u - M\lambda) \cdot \lambda}{E_s \cdot I_{st}} + \frac{-P \cdot \lambda^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{st}} \\ &= \frac{K\lambda \cdot M\lambda}{r_m^3 \cdot \beta^2 \cdot E} \dots\dots\dots (2.2.1.7) \end{aligned}$$

ここで、

$$R = \frac{m_0 \cdot g}{4} \dots\dots\dots (2.2.1.8)$$

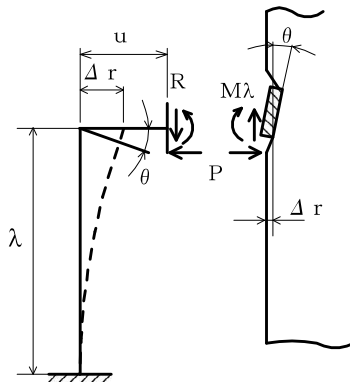


図 2-2 脚下端が固定されている場合の運転時質量による脚及び胴の変形

したがって、(2.2.1.8)式を(2.2.1.6)式及び(2.2.1.7)式に代入した式を連立することにより、鉛直方向曲げモーメント M_λ を以下のように求める。

$$M_\lambda = \left\{ \left(\frac{\lambda^3}{12 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{\lambda}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m \cdot E} \right) \cdot \frac{m_0 \cdot g \cdot u \cdot \lambda}{4 \cdot E_s \cdot I_{st}} \right. \\ \left. \cdot \left\{ \left(\frac{\lambda^3}{3 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{\lambda}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m \cdot E} \right) \cdot \left(\frac{\lambda}{E_s \cdot I_{st}} + \frac{K_\lambda}{r_m^3 \cdot \beta^2 \cdot E} \right) - \left(\frac{\lambda^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{st}} \right)^2 \right\} \right\} \quad \dots\dots\dots (2.2.1.9)$$

半径方向荷重 P は(2.2.1.6)式に(2.2.1.8)式を代入して整理すると

$$P = \frac{\frac{m_0 \cdot g \cdot u - M_\lambda}{4} \cdot \lambda^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{st}} \cdot \frac{\lambda^3}{3 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{\lambda}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m \cdot E} \quad \dots\dots\dots (2.2.1.10)$$

となる。

鉛直方向曲げモーメント M_λ により生じる胴の周方向応力 $\sigma_{\phi 3}$ 、 $\sigma_{\phi 4}$ 及び軸方向応力 $\sigma_{x 3}$ 、 $\sigma_{x 4}$ は次のようにして求める。

シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β を以下のように定義する。

$$r_m = (D_i + t) / 2 \quad \dots\dots\dots (2.2.1.11)$$

$$\gamma = r_m / t \quad \dots\dots\dots (2.2.1.12)$$

$$\beta_1 = C_1 / r_m \quad \dots\dots\dots (2.2.1.13)$$

$$\beta_2 = C_2 / r_m \quad \dots\dots\dots (2.2.1.14)$$

$$\beta = \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2} \quad \dots\dots\dots (2.2.1.15)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β によって値（以下*を付記するもの）を求めることにより、次式で求める。

$$\sigma_{\phi 3} = \left\{ \frac{N_\phi}{M_\lambda \gamma (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_\lambda}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta} \right) \cdot C_{\lambda 1} \quad \dots\dots\dots (2.2.1.16)$$

$$\sigma_{x 3} = \left\{ \frac{N_x}{M_\lambda \gamma (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_\lambda}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta} \right) \cdot C_{\lambda 2} \quad \dots\dots\dots (2.2.1.17)$$

半径方向荷重 P により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は

$$\sigma_{\phi 4} = \left(\frac{N_\phi}{P / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P}{r_m \cdot t} \right) \quad \dots\dots\dots (2.2.1.18)$$

$$\sigma_{x4} = \left(\frac{N_x}{P / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P}{r_m \cdot t} \right) \dots\dots\dots (2.2.1.19)$$

ここで、 γ 及び β は(2.2.1.11)式～(2.2.1.15)式によるが、(2.2.1.15)式を

$4 \geq \beta_1 / \beta_2 \geq 1$ のとき

$$\beta = \left\{ 1 - \frac{1}{3} \cdot (\beta_1 / \beta_2 - 1) \cdot (1 - K_{1j}) \right\} \cdot \sqrt{\beta_1 \cdot \beta_2} \dots\dots\dots (2.2.1.20)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

$\frac{1}{4} \leq \beta_1 / \beta_2 < 1$ のとき

$$\beta = \left\{ 1 - \frac{4}{3} \cdot (1 - \beta_1 / \beta_2) \cdot (1 - K_{2j}) \right\} \cdot \sqrt{\beta_1 \cdot \beta_2} \dots\dots\dots (2.2.1.21)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

に置き換える。

反力Rによるせん断応力は

$$\tau_{\lambda 1} = \frac{R}{4 \cdot C_2 \cdot t} \dots\dots\dots (2.2.1.22)$$

(4) 水平方向地震による胴の曲げ応力

水平方向地震により胴に転倒モーメントが作用するため、脚が取り付く胴の円周上に以下の曲げ応力が発生する。

$$\sigma_{x5} = \frac{C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot (\lambda_g - \lambda) \cdot (D_i + 2 \cdot t)}{2 \cdot I} \dots\dots\dots (2.2.1.23)$$

(5) Z方向地震による胴の脚付け根部の応力

Z方向地震による胴の脚付け根部の応力は、2.1項の固有周期計算において(2.1.1)式及び(2.1.2)式の水平力 F_0 を $C_H \cdot m_0 \cdot g$ に置き換えて得られる数値を使用する。

半径方向荷重 P_1 により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は(2.2.1.18)式及び(2.2.1.19)式と同様にして

$$\sigma_{\phi 61} = \left(\frac{N_\phi}{P_1 / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P_1}{r_m \cdot t} \right) \dots\dots\dots (2.2.1.24)$$

$$\sigma_{x 61} = \left(\frac{N_x}{P_1 / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P_1}{r_m \cdot t} \right) \dots\dots\dots (2.2.1.25)$$

鉛直方向曲げモーメント M_1 により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は(2.2.1.16)式及び(2.2.1.17)式と同様にして

$$\sigma_{\phi 71} = \left\{ \frac{N_\phi}{M_1 / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_1}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta} \right) \cdot C_{\lambda 1} \dots\dots\dots (2.2.1.26)$$

$$\sigma_{x71} = \left\{ \frac{N_x}{M_1 / (r m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_1}{r m^2 \cdot t \cdot \beta} \right) \cdot C_{\lambda 2} \quad \dots\dots (2.2.1.27)$$

周方向曲げモーメント M_c により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は(2.2.1.16)式及び(2.2.1.17)式と同様にして

$$\sigma_{\phi 81} = \left\{ \frac{N_\phi}{M_c / (r m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_c}{r m^2 \cdot t \cdot \beta} \right) \cdot C_{c1} \quad \dots\dots (2.2.1.28)$$

$$\sigma_{x81} = \left\{ \frac{N_x}{M_c / (r m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_c}{r m^2 \cdot t \cdot \beta} \right) \cdot C_{c2} \quad \dots\dots (2.2.1.29)$$

ここで、 γ 及び β は(2.2.1.11)式～(2.2.1.15)式によるが、(2.2.1.15)式を

$$\beta = \sqrt[3]{\beta_1^2 \cdot \beta_2} \quad \dots\dots (2.2.1.30)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

に置き換える。

周方向せん断力 Q によるせん断応力は

$$\tau_{c1} = \frac{Q}{4 \cdot C_1 \cdot t} \quad \dots\dots (2.2.1.31)$$

鉛直方向せん断力 R_1 によるせん断応力は

$$\tau_{\lambda 2} = \frac{R_1}{4 \cdot C_2 \cdot t} \quad \dots\dots (2.2.1.32)$$

ねじりモーメント M_3 により生じる胴のせん断応力は

$$\tau_3 = \frac{M_3}{2 \cdot \pi \cdot C_1^2 \cdot t} \quad \dots\dots (2.2.1.33)$$

ここで、 $C_1 > C_2$ のとき C_1 を C_2 に置き換える。

(6) X方向地震による胴の脚付け根部の応力

X方向地震による胴の脚付け根部の応力は、(2.2.1.24)式～(2.2.1.29)式までの右辺に $\frac{1}{\sqrt{2}}$ を乗じて得られる値を使用し、半径方向荷重による場合には $\sigma_{\phi 91}$ 及び σ_{x91} 、鉛直方向曲げモーメントによる場合には $\sigma_{\phi 101}$ 及び σ_{x101} 並びに周方向曲げモーメントによる場合には、 $\sigma_{\phi 111}$ 及び σ_{x111} とする。

また、(2.2.1.31)式～(2.2.1.33)式までの右辺に $\frac{1}{\sqrt{2}}$ を乗じて得られる値を使用し、周方向せん断力による場合には τ_{c4} 、鉛直方向せん断力による場合には $\tau_{\lambda 5}$ 及びねじりモーメントによる場合には τ_6 とする。

(7) 組合せ応力

(1)～(6)によって求めた胴の脚付け根部に生じる応力を以下のように組み合わせる。

a. 一次一般膜応力

$$\sigma_0 = \text{Max} \{ \text{周方向応力} (\sigma_{0\phi}), \text{軸方向応力} (\sigma_{0x}) \} \quad \dots\dots (2.2.1.34)$$

ここで,

$$\sigma_{0\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (2.2.1.35)$$

$$\sigma_{0x} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 7} + \sigma_{x 5} \dots\dots\dots (2.2.1.36)$$

b. Z方向地震及び鉛直方向地震が作用した場合の組合せ一次応力

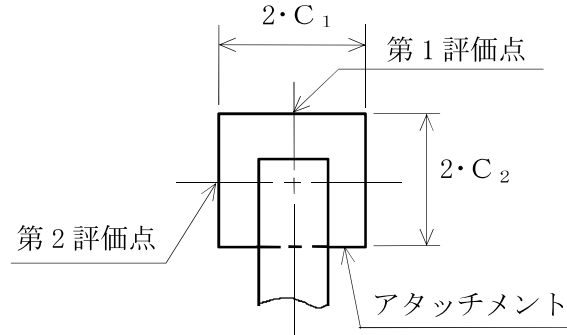


図 2-3 胴の評価点

(a) 第1脚付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{\phi z 1} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 6 1} + \sigma_{\phi 7 1} + \sigma_{\phi 8} + \sigma_{\phi 9} \dots\dots\dots (2.2.1.37)$$

$$\sigma_{x z 1} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 6 1} + \sigma_{x 7 1} + \sigma_{x 7} + \sigma_{x 8} + \sigma_{x 9} \dots\dots\dots (2.2.1.38)$$

$$\sigma_{11} = \frac{1}{2} \cdot \{ (\sigma_{\phi z 1} + \sigma_{x z 1}) + \sqrt{(\sigma_{\phi z 1} - \sigma_{x z 1})^2} \} \dots\dots\dots (2.2.1.39)$$

第2評価点については

$$\sigma_{\phi z 2} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 6 1} + \sigma_{\phi 9} \dots\dots\dots (2.2.1.40)$$

$$\sigma_{x z 2} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 6 1} + \sigma_{x 7} + \sigma_{x 9} \dots\dots\dots (2.2.1.41)$$

$$\sigma_{12} = \frac{1}{2} \cdot \{ (\sigma_{\phi z 2} + \sigma_{x z 2}) + \sqrt{(\sigma_{\phi z 2} - \sigma_{x z 2})^2 + 4 \cdot (\tau_{\lambda 1} + \tau_{\lambda 2} + \tau_{\lambda 7})^2} \} \dots\dots\dots (2.2.1.42)$$

(b) 第2脚付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{\phi z 3} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 8} + \sigma_{\phi 9} \dots \dots \dots (2.2.1.43)$$

$$\sigma_{x z 3} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 7} + \sigma_{x 8} + \sigma_{x 9} \dots \dots \dots (2.2.1.44)$$

$$\sigma_{13} = \frac{1}{2} \cdot \{ (\sigma_{\phi z 3} + \sigma_{x z 3}) + \sqrt{(\sigma_{\phi z 3} - \sigma_{x z 3})^2 + 4 \cdot (\tau_{c1} + \tau_3)^2} \} \dots \dots \dots (2.2.1.45)$$

第2評価点については

$$\sigma_{\phi z 4} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 81} \dots \dots \dots (2.2.1.46)$$

$$\sigma_{x z 4} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 81} + \sigma_{x 7} + \sigma_{x 9} \dots \dots \dots (2.2.1.47)$$

$$\sigma_{14} = \frac{1}{2} \cdot \{ (\sigma_{\phi z 4} + \sigma_{x z 4}) + \sqrt{(\sigma_{\phi z 4} - \sigma_{x z 4})^2 + 4 \cdot (\tau_{\lambda 1} + \tau_3 + \tau_{\lambda 7})^2} \} \dots \dots \dots (2.2.1.48)$$

c. X方向地震及び鉛直方向地震が作用した場合の組合せ一次応力

第1評価点については

$$\sigma_{\phi x 1} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 91} + \sigma_{\phi 101} + \sigma_{\phi 8} + \sigma_{\phi 9} \dots \dots \dots (2.2.1.49)$$

$$\sigma_{x x 1} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 91} + \sigma_{x 101} + \sigma_{x 7} + \sigma_{x 8} + \sigma_{x 9} \dots \dots \dots (2.2.1.50)$$

$$\sigma_{15} = \frac{1}{2} \cdot \{ (\sigma_{\phi x 1} + \sigma_{x x 1}) + \sqrt{(\sigma_{\phi x 1} - \sigma_{x x 1})^2 + 4 \cdot (\tau_{c4} + \tau_6)^2} \} \dots \dots \dots (2.2.1.51)$$

第2評価点については

$$\sigma_{\phi x 2} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 91} + \sigma_{\phi 111} + \sigma_{\phi 9} \dots \dots \dots (2.2.1.52)$$

$$\sigma_{x x 2} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 91} + \sigma_{x 111} + \sigma_{x 7} + \sigma_{x 9} \dots \dots \dots (2.2.1.53)$$

$$\sigma_{16} = \frac{1}{2} \cdot \{ (\sigma_{\phi x 2} + \sigma_{x x 2}) + \sqrt{(\sigma_{\phi x 2} - \sigma_{x x 2})^2 + 4 \cdot (\tau_{\lambda 1} + \tau_{\lambda 5} + \tau_6 + \tau_{\lambda 7})^2} \} \dots \dots \dots (2.2.1.54)$$

d. 胴の一次応力の最大値

ここで、b項及びc項により組み合わせた一次応力のうち最大のものを σ_1 とする。

$$\sigma_1 = \text{Max} (\sigma_{11}, \sigma_{12}, \sigma_{13}, \sigma_{14}, \sigma_{15}, \sigma_{16}) \dots\dots\dots (2.2.1.55)$$

2.2.2 脚の応力

脚にかかる荷重の大きい方について計算する。

(1) 運転時質量による応力

$$\sigma_{s1} = \frac{R}{A_s} \dots\dots\dots (2.2.2.1)$$

$$\sigma_{s2} = \frac{\text{Max} (|R \cdot u - M_{\lambda} - P \cdot \lambda|, |R \cdot u - M_{\lambda}|)}{Z_{st}} \dots\dots\dots (2.2.2.2)$$

$$\tau_{s1} = \frac{P}{A_{s1}} \dots\dots\dots (2.2.2.3)$$

(2) 鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{s3} = \frac{R_2}{A_s} \dots\dots\dots (2.2.2.4)$$

$$\sigma_{s4} = \frac{\text{Max} (|R_2 \cdot u - M_{\lambda 2} - P_2 \cdot \lambda|, |R_2 \cdot u - M_{\lambda 2}|)}{Z_{st}} \dots\dots\dots (2.2.2.5)$$

$$\tau_{s2} = \frac{P_2}{A_{s1}} \dots\dots\dots (2.2.2.6)$$

(3) Z方向地震による応力

第1脚については

$$\sigma_{s5} = \frac{R_1}{A_s} \dots\dots\dots (2.2.2.7)$$

$$\sigma_{s6} = \frac{\text{Max} (|R_1 \cdot u - M_1 - P_1 \cdot \lambda|, |R_1 \cdot u - M_1|)}{Z_{st}} \dots\dots\dots (2.2.2.8)$$

$$\tau_{s3} = \frac{P_1}{A_{s1}} \dots\dots\dots (2.2.2.9)$$

第2脚については

$$\sigma_{s7} = \frac{\text{Max} (|Q \cdot \lambda - M_3|, |M_3|)}{Z_{sr}} \dots\dots\dots (2.2.2.10)$$

$$\tau_{s4} = \frac{Q}{A_{s2}} + \frac{Q \cdot u - M_c}{Z_{sp}} \dots\dots\dots (2.2.2.11)$$

(4) X方向地震による応力

$$\sigma_{s8} = \frac{R_1}{\sqrt{2} \cdot A_s} \dots\dots\dots (2.2.2.12)$$

$$\sigma_{s9} = \frac{\text{Max} (|R_1 \cdot u - M_1 - P_1 \cdot \lambda|, |R_1 \cdot u - M_1|)}{\sqrt{2} \cdot Z_{st}} \dots\dots\dots (2.2.2.13)$$

$$\sigma_{s10} = \frac{\text{Max} (|Q \cdot \lambda - M_3|, |M_3|)}{\sqrt{2} \cdot Z_{sr}} \dots\dots\dots (2.2.2.14)$$

$$\tau_{s5} = \frac{P_1}{\sqrt{2} \cdot A_{s1}} + \frac{Q}{\sqrt{2} \cdot A_{s2}} + \frac{Q \cdot u - M_c}{\sqrt{2} \cdot Z_{sp}} \dots\dots\dots (2.2.2.15)$$

(5) 組合せ応力

脚の最大応力は次式で求める。

a. Z方向地震及び鉛直方向地震が作用した場合

第1脚については

$$\sigma_{sz1} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s3} + \sigma_{s4} + \sigma_{s5} + \sigma_{s6})^2 + 3 \cdot (\tau_{s1} + \tau_{s2} + \tau_{s3})^2} \dots\dots\dots (2.2.2.16)$$

第2脚については

$$\sigma_{sz2} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s4} + \sigma_{s7})^2 + 3 \cdot (\tau_{s1} + \tau_{s2} + \tau_{s4})^2} \dots\dots\dots (2.2.2.17)$$

b. X方向地震及び鉛直方向地震が作用した場合

$$\sigma_{sx} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s3} + \sigma_{s4} + \sigma_{s8} + \sigma_{s9} + \sigma_{s10})^2 + 3 \cdot (\tau_{s1} + \tau_{s2} + \tau_{s5})^2} \dots\dots\dots (2.2.2.18)$$

ここで、組み合わせた応力のうち最大のものを σ_s とする。

$$\sigma_s = \text{Max} (\sigma_{sz1}, \sigma_{sz2}, \sigma_{sx}) \dots\dots\dots (2.2.2.19)$$

2.2.3 ボルトの応力

基礎又は架台には鉛直荷重、水平方向のせん断力、鉛直軸回りのねじりモーメント及び転倒モーメントが作用する。

(1) Z方向地震及び鉛直方向地震が作用した場合

a. 引張応力

脚底部に作用するモーメント及び鉛直荷重は、第1脚及び第3脚については脚下端が固定の場合

【絶対値和】

$$M_{z1} = |P_1 \cdot \lambda + M_1 - R_1 \cdot u| + |(P - P_2) \cdot \lambda + (M\lambda - M\lambda_2) - (R - R_2) \cdot u| \dots \quad (2.2.3.1)$$

$$R_{z1} = R - R_2 - R_1 \dots \dots \dots (2.2.3.2)$$

モーメントと鉛直荷重の比を

$$e = M_{z1} / R_{z1} \dots \dots \dots (2.2.3.3)$$

とする。

図2-4のように脚底面においてボルト位置に圧縮荷重がかかる状況では、ボルトに引張力は作用しないため、引張力の評価は行わない。

一方、鉛直荷重（軸力） R_{z1} が負になる場合に相当する $e < 0$ のとき、ボルトに引張力が作用する。

また、図2-5のようにボルト位置に圧縮荷重がかからない状況に相当する(2.2.3.4)式が成立するとき、ボルトに引張力が生じる。

$$e > \frac{a}{6} + \frac{d_1}{3} \dots \dots \dots (2.2.3.4)$$

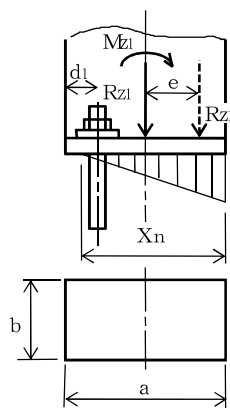


図2-4 基礎又は架台部に作用する外荷重により生じる荷重の関係（その1）

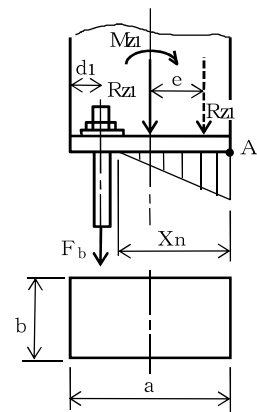


図2-5 基礎又は架台部に作用する外荷重により生じる荷重の関係（その2）

このとき図2-5において、鉛直荷重の釣合い、A点回りのモーメントの釣合い、ボルトの伸びと基礎又は架台の縮みの関係から中立軸の位置 X_n は、

$$X_n^3 + 3 \cdot \left(e - \frac{a}{2} \right) \cdot X_n^2 - \frac{6 \cdot s \cdot A_b \cdot n_1}{b} \cdot \left(e + \frac{a}{2} - d_1 \right) \cdot (a - d_1 - X_n) = 0 \quad \dots\dots\dots (2.2.3.5)$$

より求めることができ、ボルトに生じる引張力は、

$$F_b = \frac{R_{z1} \cdot \left(e - \frac{a}{2} + \frac{X_n}{3} \right)}{a - d_1 - \frac{X_n}{3}} \quad \dots\dots\dots (2.2.3.6)$$

となる。

したがって、ボルトに生じる引張応力は次式で求める。

$$\sigma_{b1} = \frac{F_b}{n_1 \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (2.2.3.7)$$

第2脚及び第4脚のボルトについては、脚下端が固定の場合

$$M_{z2} = \sqrt{(Q \cdot \lambda - M_3)^2 + \{(P - P_2) \cdot \lambda + (M\lambda - M\lambda_2) - (R - R_2) \cdot u\}^2} \quad \dots\dots\dots (2.2.3.8)$$

$$R_{z2} = R - R_2 \quad \dots\dots\dots (2.2.3.9)$$

(2.2.3.3)式の M_{z1} を M_{z2} 及び R_{z1} を R_{z2} に置き換え、(2.2.3.3)式～(2.2.3.7)式で得られたボルトの応力を σ_{b2} とする。

ただし、上式中で a を b 、 b を a 、 d_1 を d_2 及び n_1 を n_2 に置き換えた場合に得られるボルトの引張応力が、 σ_{b2} より大きいときは、その値を σ_{b2} とする。

b. せん断応力

第1脚及び第3脚のボルトについては

$$\tau_{b1} = \frac{P_1 + P + P_2}{n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (2.2.3.10)$$

第2脚及び第4脚のボルトについては

$$\tau_{b2} = \frac{\sqrt{Q^2 + (P + P_2)^2}}{n \cdot A_b} + \frac{Q \cdot u - M_c}{n \cdot A_b \cdot \sqrt{\left(\frac{a - 2 \cdot d_1}{2} \right)^2 + \left(\frac{b - 2 \cdot d_2}{2} \right)^2}} \quad \dots\dots\dots (2.2.3.11)$$

(2) X方向地震及び鉛直方向地震が作用した場合

a. 引張応力

脚底部に作用するモーメント及び鉛直荷重は、第1脚～第4脚については、脚下端が固定の場合

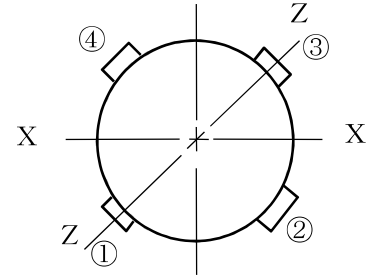


図2-6 地震力の作用する方向

$$M_{x1} = \left[\left\{ \left| \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot (P_1 \cdot \lambda + M_1 - R_1 \cdot u) \right| + \left| (P - P_2) \cdot \lambda + (M_1 - M_2) - (R - R_2) \cdot u \right| \right\}^2 + \left\{ \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot (Q \cdot \lambda - M_3) \right\}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad \dots \quad (2.2.3.12)$$

$$R_{x1} = R - R_2 - \frac{R_1}{\sqrt{2}} \quad \dots \quad (2.2.3.13)$$

(2.2.3.3)式の M_{z1} を M_{x1} 、 R_{z1} を R_{x1} 及び(2.2.3.6)式の R_{z1} を R_{x1} に置き換え、(2.2.3.3)式～(2.2.3.7)式で得られたボルトの応力を σ_{b3} とする。

ただし、 a を b 、 b を a 、 d_1 を d_2 及び n_1 を n_2 に置き換えた場合に得られるボルトの引張応力が σ_{b3} より大きいときはその値を σ_{b3} とする。

b. せん断応力

第1脚～第4脚のボルトについては

$$\tau_{b3} = \frac{\sqrt{\left(\frac{P_1}{\sqrt{2}} + P + P_2 \right)^2 + \left(\frac{Q}{\sqrt{2}} \right)^2}}{n \cdot A_b} + \frac{Q \cdot u - M_c}{\sqrt{2} \cdot n \cdot A_b \cdot \sqrt{\left(\frac{a - 2 \cdot d_1}{2} \right)^2 + \left(\frac{b - 2 \cdot d_2}{2} \right)^2}} \quad \dots \quad (2.2.3.14)$$

(3) ボルトに生じる最大応力

(1)及び(2)より求めたボルトの応力のうち最大のものを σ_b 及び τ_b とする。

a. ボルトの最大引張応力

$$\sigma_b = \text{Max} (\sigma_{b1}, \sigma_{b2}, \sigma_{b3}) \quad \dots \quad (2.2.3.15)$$

b. ボルトの最大せん断応力

$$\tau_b = \text{Max} (\tau_{b1}, \tau_{b2}, \tau_{b3}) \quad \dots \quad (2.2.3.16)$$

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耐震設計の基本方針に基づき、水平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

胴の応力評価は、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 以下であることを評価する。

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	設計降伏点 S_y とする。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。

3.2.2 脚の応力評価

(1) 脚の応力評価は、2.2.2項で求めた脚の組合せ応力が許容引張応力 f_t 以下であることを評価する。

$$f_t = \frac{F}{1.5} \cdot 1.5 \quad \dots\dots\dots (3.2.2.1)$$

(2) 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)

$$\frac{\sigma_{sr}}{f_{br}} + \frac{\sigma_{st}}{f_{bt}} + \frac{\sigma_{sc}}{f_c} \leq 1 \quad \dots\dots\dots (3.2.2.2)$$

a. f_c は次による。

$\lambda \leq \Lambda$ のとき

$$f_c = 1.5 \cdot \left\{ 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F}{v} \quad \dots\dots\dots (3.2.2.3)$$

$\lambda > \Lambda$ のとき

$$f_c = 1.5 \cdot 0.277 F \cdot \left(\frac{\Lambda}{\lambda} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (3.2.2.4)$$

ここで,

$$\lambda = \lambda_k / i \quad \dots\dots\dots (3.2.2.5)$$

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E_s}{0.6 \cdot F}} \quad \dots\dots\dots (3.2.2.6)$$

$$\nu = 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2 \quad \dots\dots\dots (3.2.2.7)$$

$$i = \sqrt{\frac{\text{Min}(I_{st}, I_{sr})}{A_s}} \quad \dots\dots\dots (3.2.2.8)$$

λ_k は有効座屈長さで脚下端を固定とする場合は $1.2 \cdot \lambda$, 単純支持とする場合は $2.1 \cdot \lambda$ とする。

b. f_{br} , f_{bt} は脚が鋼管の場合, 次のようになる。

$$f_{br} = f_{bt} = f_t \quad \dots\dots\dots (3.2.2.9)$$

c. 応力の区分は次のようにする。

(a) Z方向地震が作用した場合の第1脚及び第3脚について

$$\sigma_{sc} = \sigma_{s1} + \sigma_{s3} + \sigma_{s5} \quad \dots\dots\dots (3.2.2.10)$$

$$\sigma_{st} = \sigma_{s2} + \sigma_{s4} + \sigma_{s6} \quad \dots\dots\dots (3.2.2.11)$$

$$\sigma_{sr} = 0 \quad \dots\dots\dots (3.2.2.12)$$

(b) Z方向地震が作用した場合の第2脚及び第4脚について

$$\sigma_{sc} = \sigma_{s1} + \sigma_{s3} \quad \dots\dots\dots (3.2.2.13)$$

$$\sigma_{st} = \sigma_{s2} + \sigma_{s4} \quad \dots\dots\dots (3.2.2.14)$$

$$\sigma_{sr} = \sigma_{s7} \quad \dots\dots\dots (3.2.2.15)$$

(c) X方向地震が作用した場合について

$$\sigma_{sc} = \sigma_{s1} + \sigma_{s3} + \sigma_{s8} \quad \dots\dots\dots (3.2.2.16)$$

$$\sigma_{st} = \sigma_{s2} + \sigma_{s4} + \sigma_{s9} \quad \dots\dots\dots (3.2.2.17)$$

$$\sigma_{sr} = \sigma_{s10} \quad \dots\dots\dots (3.2.2.18)$$

3.2.3 基礎ボルトの応力評価

基礎ボルトの応力評価は，2.2.3項で求めたボルトの引張応力 σ_b が，次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であることを評価する。

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。

$$f_{ts} = 1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b \quad \dots\dots\dots (3.2.3.1)$$

かつ，

$$f_{ts} \leq f_{to} \quad \dots\dots\dots (3.2.3.2)$$

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 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。

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）」に基づく。

なお、耐震設計の手順は、指針「6.6.3(3)a. ポンプ・ブローヤ類」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。

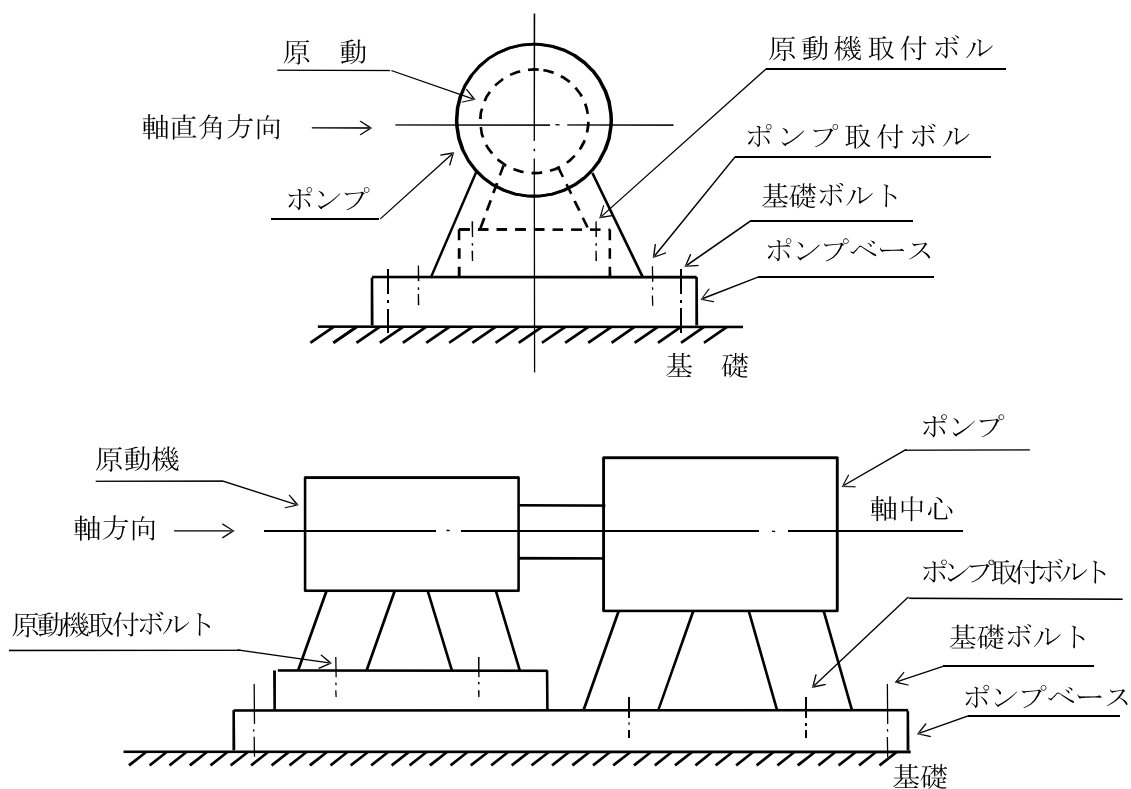


図1-1 概要図

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_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本あたり）	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_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
λ_{1i}	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
λ_{2i}	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
M_p	ポンプ回転により作用するモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
m_i	運転時質量	kg
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： A_{bi} , d_i , F_i , F_{bi} , f_{sbi} , f_{toi} , f_{tsi} , λ_{1i} , λ_{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。）

注2： 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

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。

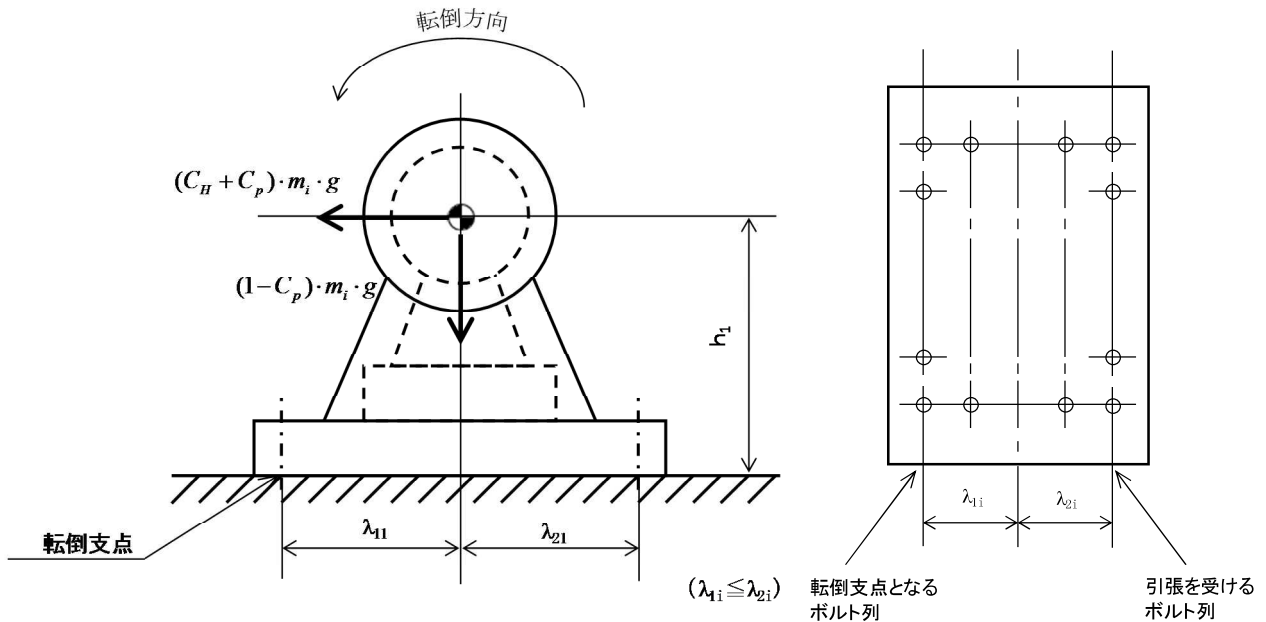


図2-1 計算モデル（軸直角方向転倒）

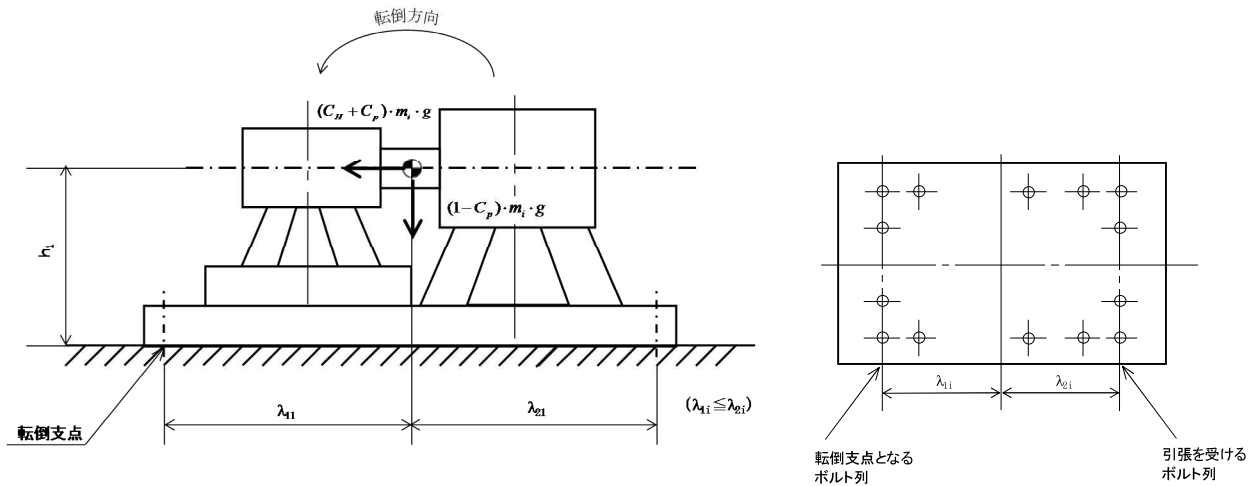


図2-2 計算モデル（軸方向転倒）

(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) 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

$$F_{b\ i} = \frac{(C_H + C_p) \cdot m_i \cdot g \cdot h_i + M_p - (1 - C_p) \cdot m_i \cdot g \cdot \lambda_{1\ i}}{n_{f\ i} \cdot (\lambda_{1\ i} + \lambda_{2\ i})} \dots\dots\dots (2.2.1)$$

λ_{1i} が負となる場合、(2.2.1)式中の $(1 - C_p)$ を $(1 + C_p)$ に置き換える。
ここで、ポンプ回転により作用するモーメント M_p は次式で求める。

$$M_p = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N_p} \right) \cdot 10^6 \cdot P \dots\dots\dots (2.2.2)$$

また、 C_p 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。

$$C_p = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{H_p}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N_p}{60} \right)^2}{g \cdot 1000} \dots\dots\dots (2.2.3)$$

引張応力

$$\sigma_{b\ i} = \frac{F_{b\ i}}{A_{b\ i}} \dots\dots\dots (2.2.4)$$

ここで、ボルトの軸断面積 $A_{b\ i}$ は

$$A_{b\ i} = \frac{\pi}{4} \cdot d_i^2 \dots\dots\dots (2.2.5)$$

ただし、 F_b 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

$$Q_{bi} = (C_H + C_p) \cdot m_i \cdot g \quad \dots\dots\dots (2.2.6)$$

せん断応力

$$\tau_{bi} = \frac{Q_{bi}}{n_i \cdot A_{bi}} \quad \dots\dots\dots (2.2.7)$$

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。

$$f_{tsi} = 1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi} \quad \dots\dots\dots (3.1.1)$$

かつ、

$$f_{tsi} \leq f_{toi} \quad \dots\dots\dots (3.1.2)$$

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	$\frac{F_i}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F_i}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

第1棟に係る確認事項

第1棟の建屋の工事に係る主要な確認事項を表-1に示す。

表-1 第1棟の建屋の工事に係る確認事項

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
遮へい機能	材料確認	コンクリートの乾燥単位容積質量を確認する。	2.1g/cm ³ 以上であること。
	寸法確認	遮へい部材の断面寸法を確認する。	遮へい部材の断面寸法が、実施計画に記載されている寸法以上であること。
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の強度が、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、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、間隔が、JASS 5Nの基準を満足すること。

第1棟の設備の工事に係る主要な確認事項を表-2～14に示す。

表-2 確認事項（鉄セル）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
遮へい機能	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	遮へい体の断面寸法を確認する。	実施計画に記載されている寸法以上であること。
構造強度 ・耐震性	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	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。

表-3 確認事項（グローブボックス）

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。

表-4 確認事項（フード）

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。
性能	運転性能確認	運転状態にて開口部（1/3開放状態）の面速を確認する。	実施計画に記載されている面速以上であること。

表-5 確認事項（鉄セル・グローブボックス用排風機，フード用排風機，
管理区域用排風機，管理区域用送風機）

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。
性能	運転性能確認	運転状態にて風量を確認する。	実施計画に記載されている容量を満足すること。 また，異音，異臭，振動等の異常がないこと。

表-6 確認事項（鉄セル・グローブボックス用排気フィルタユニット）

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	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	排風機を運転し，定格容量での装置の状態を確認する。	実施計画に記載されている容量にて著しい漏えいがないこと。

表-7 確認事項（フード用排気フィルタユニット，管理区域用排気フィルタユニット）

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。
性能	運転性能確認	排風機を運転し，定格容量での装置の状態を確認する。	実施計画に記載されている容量にて著しい漏えいがないこと。

表-8 確認事項（主要排気管）

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外径・厚さを確認する。	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。

表-9 確認事項（分析廃液中間受槽, 分析廃液受槽 A~C, 塩酸含有廃液受槽）

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	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	試験圧力で保持した後, 試験圧力に耐えていることを確認する。 耐圧試験終了後, 耐圧部からの漏えいの有無も確認する。	試験圧力に耐え, 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」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」側 ^{※1} の信号により警報が発生すること。

※1 受槽により信号名称は異なる。

表-10 確認事項（分析廃液移送ポンプ A, B）

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。
性能	運転性能確認	ポンプの運転確認を行う。	実施計画に記載の容量を満足すること。 また, 異音, 異臭, 振動等の異常がないこと。

表-11 確認事項（設備管理廃液受槽 A, B）

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	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	試験圧力で保持した後, 試験圧力に耐えていることを確認する。 耐圧試験終了後, 耐圧部からの漏えいの有無も確認する。	試験圧力に耐え, 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-12 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	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-13 確認事項（液体廃棄物一時貯留設備の堰）

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。

表-14 確認事項（主要配管）

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外径・厚さを確認する。	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	試験圧力で保持した後，試験圧力に耐えていることを確認する。 耐圧試験終了後，耐圧部からの漏えいの有無も確認する。*1	試験圧力に耐え，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
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。

*1：試験圧力をかけることが困難な個所については，可能な限り高い圧力で耐圧試験を行い，耐圧部からの漏えいがないことを確認したのち，代替検査として非破壊検査(浸透探傷試験)で確認する。

第1棟の設備の溶接部に係る主要な確認事項を表-15, 16に示す。

表-15 確認事項（分析廃液中間受槽，分析廃液受槽 A～C，塩酸含有廃液受槽）

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 分析廃液中間受槽 ② 分析廃液受槽 A～C ③ 塩酸含有廃液受槽	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 分析廃液中間受槽 ② 分析廃液受槽 A～C ③ 塩酸含有廃液受槽	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 分析廃液中間受槽 ② 分析廃液受槽 A～C ③ 塩酸含有廃液受槽	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 分析廃液中間受槽 ② 分析廃液受槽 A～C ③ 塩酸含有廃液受槽	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。
	耐圧・漏えい検査 外観検査	① 分析廃液中間受槽 ② 分析廃液受槽 A～C ③ 塩酸含有廃液受槽	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，耐圧部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（主要配管）

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	分析廃液中間受槽出口から分析廃液移送ポンプ入口までの外径 61 mm以上の主要配管	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	分析廃液中間受槽出口から分析廃液移送ポンプ入口までの外径 61 mm以上の主要配管	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	分析廃液中間受槽出口から分析廃液移送ポンプ入口までの外径 61 mm以上の主要配管	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及び溶接士により溶接施工をしていること。
	非破壊試験	分析廃液中間受槽出口から分析廃液移送ポンプ入口までの外径 61 mm以上の主要配管	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。
	耐圧・漏えい検査 外観検査	分析廃液中間受槽出口から分析廃液移送ポンプ入口までの外径 61 mm以上の主要配管	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、耐圧部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}

*1：試験圧力をかけることが困難な箇所については、可能な限り高い圧力で耐圧試験を行い、耐圧部からの漏えいがないことを確認したのち、代替検査として非破壊検査（放射線透過試験）で確認する。

2.43 油処理装置

2.43.1 基本設計

2.43.1.1 設置の目的

タービン建屋他の滞留水表面に確認されている油分は、滞留水水位を低下させる過程で、滞留水移送装置にて汚染水処理装置へ移送されると、汚染水処理装置の吸着性能への影響が懸念されるため、現在回収を実施している。本装置は、回収した滞留水の油分を低減させ、汚染水処理を円滑に進めていくことを目的として設置するものである。

2.43.1.2 要求される機能

- (1) 油分を含む滞留水の油分濃度を低減する能力を有すること。
- (2) 漏えい防止機能を有すること。万一、機器・配管から漏えいした場合においても、施設外への漏えい拡大を防止できること。

2.43.1.3 設計方針

(1) 処理能力

油処理装置は、回収した油分を含む滞留水から油分濃度を低減する能力を有する設計とする。

(2) 材料

油処理装置は、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) 放射性物質を内包する液体の漏えい防止及び漏えい拡大防止

油処理装置の機器は、放射性物質を内包する液体の漏えい防止及び施設外への漏えい拡大を防止するため、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、機器には適切な材料を使用するとともに、容器に水位検出器を設ける。
- 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、堰内等に漏えい検知器を設置し、早期検知を図る。
- c. 異常を早期に検知し適切な処置をとれるよう、容器の水位や漏えい検出の警報は油処理装置監視室に表示する。

(4) 放射性気体廃棄物の考慮

油処理装置の機器は、放射性気体廃棄物を適切に処理・管理を行うため、次の各項を考慮した設計とする。

- a. 油処理装置の油分解時に発生する排気ガスに含まれる気体状の放射性物質及び各槽から発生する気体状の放射性物質は十分低い濃度であるが、可燃性ガスと共に希釈しフィルタを通して排気できる設計とする。

- (5) 被ばく低減
油処理装置の機器は、遮へい、機器の配置により被ばくの低減を考慮した設計とする。また、運転員が運転状態を油処理装置監視室にて監視できる配置とし、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
油処理装置は、油分解時に発生する可燃性ガスを滞留することなく排気できる設計とする。
- (7) 誤操作の防止に対する考慮
油処理装置は、運転員の誤操作、誤判断を防止するために、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設計とする。
- (8) 健全性に対する考慮
油処理装置は、機器の重要度に応じて有効な保全が可能な設計とする。

2.43.1.4 供用期間中に確認する項目

油処理装置の処理により、回収された油分を含む滞留水の油分濃度が低減出来ること。

2.43.1.5 主要な機器

油処理装置は、油水分離装置・油分解装置及び排ガス系統で構成される。

- (1) 油水分離装置
油水分離装置は、集合槽・浮上分離槽・樹脂充填塔及び配管等で構成される。
 - a. 集合槽は、角型槽を4槽に区画した、受水槽・循環槽・均一化槽・第1モニタリング槽からなる。
 - (a) 受水槽では、移送された滞留水を一時貯留し、攪拌して油層と水層を混合する。
 - (b) 循環槽では、浮上分離槽で分離した水層を一時貯留する。
 - (c) 均一化槽では、浮上分離槽で分離した油層を一時貯留し、攪拌して油層を均一化する。
 - (d) 第1モニタリング槽では、樹脂充填塔の処理水および第2モニタリング槽からの移送水を一時貯留し、油分濃度が所定値以下であることを確認する。所定値以下であることを確認された処理水は、プロセス主建屋へ移送する。
 - b. 浮上分離槽では、受水槽からの油水混合液を油層と水層に分離する。
 - c. 樹脂充填塔では、水層に残留した油分を、充填した油吸着樹脂により除去する。

(2) 油分解装置

油分解装置は、乳化槽・酸化分解機・ブロー水受槽・油吸着樹脂塔・第2モニタリング槽及び配管等で構成される。

- a. 乳化槽では、電解質を溶かした水に油と乳化剤を添加し、攪拌することで、酸化分解に適した性状に整える。
- b. 酸化分解機では、水と油の混合液を二酸化炭素・酸素・水素に酸化分解する。なお、乳化槽、酸化分解機は循環系を形成し、水と油の混合液の油分濃度を監視しながら、一定時間の回分処理を行う。
- c. ブロー水受槽では、回分処理を終えた混合液を受け、乳化破壊と油分吸着を同時に行う樹脂を投入して、一定時間攪拌することで反応させる。
- d. 油吸着樹脂塔では、水層に残留した油分を、充填した油吸着樹脂により除去する。
- e. 第2モニタリング槽では、油吸着樹脂塔の処理水を一時貯留し、油分濃度が所定値以下であることを確認する。油分濃度が所定値以下であることを確認後、処理水を第1モニタリング槽へ移送する。

(3) 排ガス系統

排ガス系統は、アルカリスクラバ・活性炭フィルタ・HEPA フィルタ・吸引ファンで構成される。

- a. アルカリスクラバでは、発生する可能性のある酸性ガスを中和する。
- b. 活性炭フィルタでは、発生する可能性のある酸性ガスを吸着する。
- c. HEPA フィルタでは、排ガス中にダスト状の放射性廃棄物が存在した場合にこれを濾別除去する。
- d. 吸引ファンでは、酸化分解機にて発生した可燃性ガスと各槽のベントガスを大気により希釈し排出する。

2.43.1.6 自然災害対策等

(1) 津波

油処理装置は、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には、油処理装置監視室より直ちに装置の運転を停止し、隔離弁を閉止することで、滞留水の流出を防止する。

(2) 火災

油処理装置は、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、設備周辺から可能な限り可燃物を排除し、周辺設備と十分な離隔距離を確保することで延焼を防止する。また、初期消火のため消火器を本装置近傍に設置する。さらに、装置運転中はコンテナ内外に設置された監視カメラで遠隔監視することによって、

火災の早期発見に努める。なお、万が一の火災発生時には、運転員等が初期消火を行い、初期消火で火災が鎮火できない場合は、常駐する初期消火要員が本格的な消火活動を行う。

(3) 豪雨及び強風

油処理装置は、雨水の侵入を防止し、強風に耐えうる構造とするため、コンテナ車内に設置または屋外仕様を採用し点検架台下に設置する。

(4) 竜巻

竜巻の発生が予見される場合は、第1モニタリング槽の水をポンプ保護レベルまでプロセス主建屋へ排水後、装置の停止・隔離弁の閉止操作を行い、汚染水の漏えい防止及び漏えい水の拡大防止を図る。

2.43.1.7 構造強度及び耐震性

(1) 構造強度

油処理装置を構成する主要な機器は主に「JSME S NC1 2005/2007 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）」に従い設計することとし、必要に応じて JIS, ISO, WSP 規格に準じた設計とする。設計・建設規格で規定される材料の 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。

なお、JSME 規格に記載のない非金属材料の機器については 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。

(2) 耐震性

油処理装置の油水分離装置と油分解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、「発電用原子力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。また、排ガス系統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、耐震 C クラス相当と位置付けられ、水平震度に対して耐震性を評価し、十分な耐震性を有することを確認した。

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。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。ポリエチレン管及び伸縮継手は、材料の可撓性により耐震性を確保する。

2.43.2 基本仕様

2.43.2.1 系統仕様

(1) 油水分離装置

処理方式 加圧浮上分離及び吸着材方式

系列数 2

処理量 1m³/h/系列

(2) 油分解装置

処理方式 酸化分解及び吸着材方式

系列数 1

性能 出口側にて浮遊油 10ppm 以下（目標値）

2.43.2.2 機器仕様

2.43.2.2.1 油水分離装置

(1) 集合槽

名 称			集合槽			
			受水槽	第1モニタ リング槽	循環槽	均一化槽
種 類	—	角形				
容 量	m ³ /個	2.0	2.2	2.2	2.2	
最 高 使 用 圧 力	MPa	静水頭				
最 高 使 用 温 度	℃	40				
主 要 寸 法	側 板 厚 さ	mm	9.0	9.0	9.0	9.0
	底 板 厚 さ	mm	18.0			
	仕 切 板 厚 さ	mm	9.0	9.0	9.0	
	内 寸（たて）	mm	1294.0	1294.0	1294.0	1294.0
	内 寸（横）	mm	995.5	997.0	997.0	995.5
	高 さ	mm	1888.0	1888.0	1888.0	1888.0
材 料	側 板	—	SUS304（ライニング）			
	底 板	—	SUS304（ライニング）			
個 数	個	1				

(2) 浮上分離槽

名 称			浮上分離槽
種	類	—	たて置円筒形
容	量	m ³ /個	0.25
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	601.6
	胴 板 厚 さ	mm	4.0
	円 す い 胴 板 厚 さ	mm	4.0
	底 板	mm	4.0
	高 さ	mm	1713.0
材 料	胴 板	—	SUS304 (ライニング)
	円 す い 胴 板	—	SUS304 (ライニング)
個	数	個	2

(3) 樹脂充填塔

名 称			樹脂充填塔
種	類	—	たて置円筒形
容	量	m ³ /h/個	1.0
最 高 使 用 圧 力		MPa	0.3
最 高 使 用 温 度		℃	40
主 要 寸 法	胴 板 厚 さ	mm	6.0
	鏡 板 厚 さ	mm	6.0
	胴 内 径	mm	496.0
	高 さ	mm	1489.0
材 料	胴 板	—	SUS304 (ライニング)
	鏡 板	—	SUS304 (ライニング)
個	数	個	4

(4) ポンプ

a. 原水ポンプ (完成品)

台数 2 台

容量 1.2 m³/h

b. 樹脂充填塔送りポンプ (完成品)

台数 2 台

容量 1.2 m³/h

c. 処理水返送ポンプ (完成品)

台数 1 台

容量 2.4 m³/h

d. 浮上油移送ポンプ (完成品)

台数 1 台

容量 3.66×10^{-3} m³/h

(5) 主配管

主配管仕様 (1/2)

名 称	仕 様	
原水の油水分離装置入口取合い点から集合槽（受水槽）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. 20S SUS304TP（ライニング） 0.3MPa 40℃
集合槽（受水槽）出口から原水ポンプ（A, B）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	40A／Sch. 20S SUS304TP（ライニング） 静水頭 40℃
原水ポンプ出口（A, B）から浮上分離槽（A, B）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	25A／Sch. 20S 32A／Sch. 20S SUS304TP（ライニング） 0.15MPa 40℃
浮上分離槽（A, B）水層出口から集合槽（循環槽）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. 20S SUS304TP（ライニング） 静水頭 40℃
浮上分離槽（A, B）油層出口から集合槽（均一化槽）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 SUS316LTP 静水頭 40℃
集合槽（循環槽）出口から樹脂充填塔送りポンプ（A, B）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	40A／Sch. 20S SUS304TP（ライニング） 静水頭 40℃
樹脂充填塔送りポンプ（A, B）出口から樹脂充填塔（A, B, C, D）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	25A／Sch. 20S SUS304TP（ライニング） 0.3MPa 40℃
樹脂充填塔出口配管分岐から樹脂充填塔入口配管分岐まで（A-C, B-D, C-A, D-B） （鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	25A／Sch. 20S SUS304TP（ライニング） 0.3MPa 40℃
樹脂充填塔（A, B, C, D）出口から集合槽（第1モニタリング槽）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	25A／Sch. 20S 50A／Sch. 20S SUS304TP（ライニング） 0.3MPa 40℃

主配管仕様 (2/2)

名 称	仕 様	
樹脂充填塔 (A, B, C, D) 出口配管分岐から集合槽 (循環槽) 入口まで (オフスペック水配管) (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 20S SUS304TP (ライニング) 0.3MPa 40℃
集合槽 (第1モニタリング槽) 出口から処理水返送ポンプ入口まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 20S SUS304TP (ライニング) 静水頭 40℃
処理水返送ポンプ出口から油水分離装置出口取合い点まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	25A/Sch. 20S 50A/Sch. 20S SUS304TP (ライニング) 0.4MPa 40℃
処理水返送ポンプ出口配管分岐から集合槽 (循環槽) 入口まで (オフスペック水配管) (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	25A/Sch. 20S SUS304TP (ライニング) 0.4MPa 40℃
油水分離装置出口取合い点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	50A 相当 ポリエチレン 0.4MPa 40℃
集合槽 (均一化槽) 出口から浮上油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	32A/Sch. 40 SUS316LTP 静水頭 40℃
浮上油移送ポンプ出口から油分解装置入口取合い点まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	8A/Sch. 40 15A/Sch. 40 20A/Sch. 40 SUS316LTP 0.3MPa 40℃
(伸縮継手)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	20A 相当 SUS316L 0.3MPa 40℃
油分解装置処理水の油水分離装置入口取合い点から集合槽 (第1モニタリング槽) 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	25A/Sch. 40 SUS304TP 0.15MPa 50℃

2.43.2.2.2 油分解装置

(1) 乳化槽

名 称			乳化槽
種	類	—	たて置円筒形
容	量	m ³ /個	1.3
最 高 使 用 圧 力		MPa	静水頭
最 高 使 用 温 度		℃	50
主 要 寸 法	胴 板 厚 さ	mm	4.0
	鏡 板 厚 さ	mm	4.0
	胴 内 径	mm	1200.0
	高 さ	mm	1567.0
材 料	胴 板	—	SUS304
	鏡 板	—	SUS304
個	数	個	1

(2) ブロー水受槽

名 称			ブロー水受槽
種	類	—	たて置円筒形
容	量	m ³ /個	1.8
最 高 使 用 圧 力		MPa	静水頭
最 高 使 用 温 度		℃	50
主 要 寸 法	胴 板 厚 さ	mm	4.0
	底 板 厚 さ	mm	6.0
	胴 内 径	mm	1200.0
	胴 部 高 さ	mm	1600.0
材 料	胴 板	—	SUS304
	底 板	—	SUS304
個	数	個	1

(3) 油吸着樹脂塔

名 称		油吸着樹脂塔	
種	類	—	たて置円筒形
容	量	m ³ /h/個	0.045
最 高 使 用 圧 力		MPa	0.3
最 高 使 用 温 度		℃	50
主 要 寸 法	胴 板 厚 さ	mm	6.0
	鏡 板 厚 さ	mm	6.0
	胴 内 径	mm	306.5
	胴 部 高 さ	mm	1831.0
材 料	胴 板	—	SUS304
	鏡 板	—	SUS304
個	数	個	2

(4) 第2モニタリング槽

名 称		第2モニタリング槽	
種	類	—	たて置円筒形
容	量	m ³ /個	1.8
最 高 使 用 圧 力		MPa	静水頭
最 高 使 用 温 度		℃	50
主 要 寸 法	胴 板 厚 さ	mm	4.0
	底 板 厚 さ	mm	6.0
	胴 内 径	mm	1200.0
	胴 部 高 さ	mm	1600.0
材 料	胴 板	—	SUS304
	底 板	—	SUS304
個	数	個	1

(5) ポンプ

- a. 循環ポンプ（完成品）
 - 台数 1 台
 - 容量 72 m³/h
- b. ブロー水受槽送りポンプ（完成品）
 - 台数 1 台
 - 容量 2.4 m³/h
- c. 油吸着樹脂塔送りポンプ（完成品）
 - 台数 1 台
 - 容量 0.45 m³/h
- d. 処理水第1モニタリング槽送りポンプ（完成品）
 - 台数 1 台
 - 容量 2.4 m³/h

(6) 酸化分解機（完成品）

名 称		酸化分解機	
種 類	—	角形	
容 量	m ³ /個	0.1	
最 高 使 用 圧 力	MPa	0.3	
最 高 使 用 温 度	℃	50	
主 要 寸 法 ^{※1}	側 板 厚 さ	mm	9.0
	ふた板（上部）の厚さ	mm	15.0
	ふた板（下部）の厚さ	mm	28.0
	内 寸 （ た て ）	mm	510.0
	内 寸 （ 横 ）	mm	250.0
	高 さ	mm	691.0
材 料	側 板	—	SUS304（ライニング）
	ふ た 板	—	SUS304（ライニング）
個 数	個	4	

※1 寸法はいずれもライニング加工前のものとする。

(7) 主配管

主配管仕様 (1/2)

名 称	仕 様	
浮上油の油分解装置入口取合い点から乳化工槽入口まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	20A/Sch. 40 SUS316LTP 0.3MPa 40℃
乳化工槽出口から循環ポンプ入口まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	150A/Sch. 40 100A/Sch. 40 SUS304TP 静水頭 50℃
循環ポンプ出口から酸化分解機入口 (A, B, C, D) 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 80A/Sch. 40 100A/Sch. 40 SUS304TP 0.3MPa 50℃
酸化分解機出口 (A, B, C, D) から乳化工槽入口まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	65A/Sch. 40 100A/Sch. 40 150A/Sch. 40 SUS304TP 0.3MPa 50℃
乳化工槽出口配管分岐からブロー水受槽送りポンプ入口まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 40 SUS304TP 静水頭 50℃
ブロー水受槽送りポンプ出口からブロー水受槽入口まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 40 SUS304TP 0.15MPa 50℃
(伸縮継手)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当 SUS304 0.15MPa 50℃
ブロー水受槽出口から油吸着樹脂塔送りポンプ入口まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	25A/Sch. 40 SUS304TP 静水頭 50℃

主配管仕様 (2/2)

名 称	仕 様	
油吸着樹脂塔送りポンプ出口から油吸着樹脂塔 (A, B) 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	25A/Sch. 40 SUS304TP 0.3MPa 50℃
油吸着樹脂塔出口配管分岐から油吸着樹脂塔入口配管分岐まで (A-B, B-A) (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	25A/Sch. 40 SUS304TP 0.3MPa 50℃
油吸着樹脂塔 (A, B) 出口から第 2 モニタリング槽入口まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	25A/Sch. 40 SUS304TP 0.3MPa 50℃
第 2 モニタリング槽出口から処理水第 1 モニタリング槽送りポンプ入口まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A/Sch. 40 SUS304TP 静水頭 50℃
処理水第 1 モニタリング槽送りポンプ出口から油水分離装置入口取合い点まで (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	25A/Sch. 40 SUS304TP 0.15MPa 50℃
(伸縮継手)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	25A 相当 SUS304 0.15MPa 50℃
処理水第 1 モニタリング槽送りポンプ出口配管分岐からブロー水受槽入口まで (オフスペック水配管) (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	25A/Sch. 40 SUS304TP 0.15MPa 50℃

2.43.2.2.3 排ガス系統

(1) アルカリスクラバ(完成品)

容量 1800 m³/h

基数 1

(2) 活性炭フィルタ(完成品)

容量 1800 m³/h

基数 1

(3) HEPA フィルタ(完成品)

容量 1800 m³/h

基数 1

(4) 吸引ファン(完成品)

容量 1800 m³/h

基数 1

2.43.3 添付資料

添付資料－1：装置配置概要図，系統構成図

添付資料－2：油処理装置の耐震性に関する説明書

添付資料－3：油処理装置の強度に関する説明書

添付資料－4：油処理装置の具体的な安全確保策

添付資料－5：油処理装置に係る確認事項

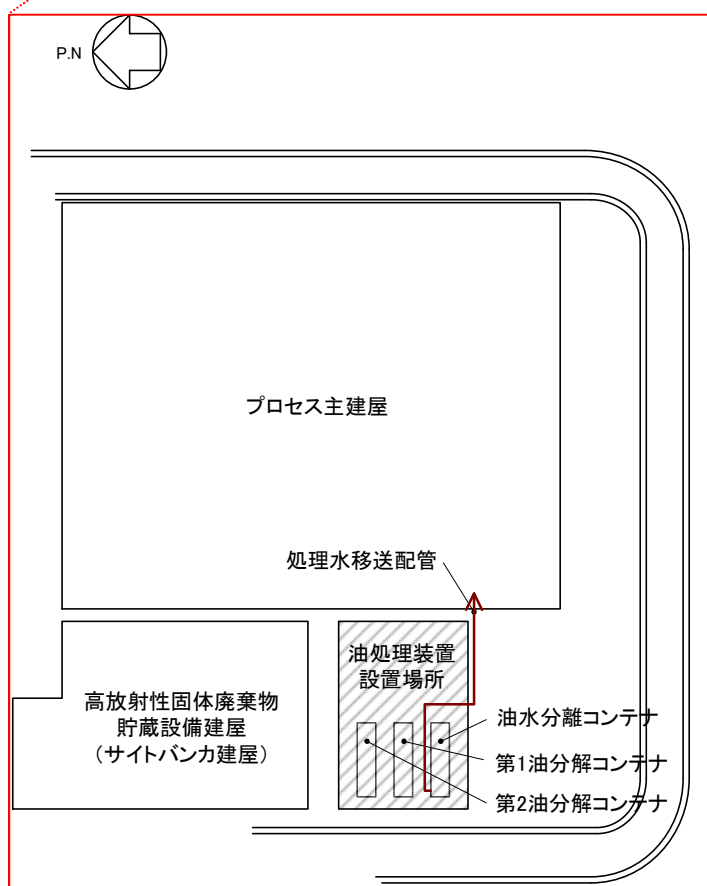
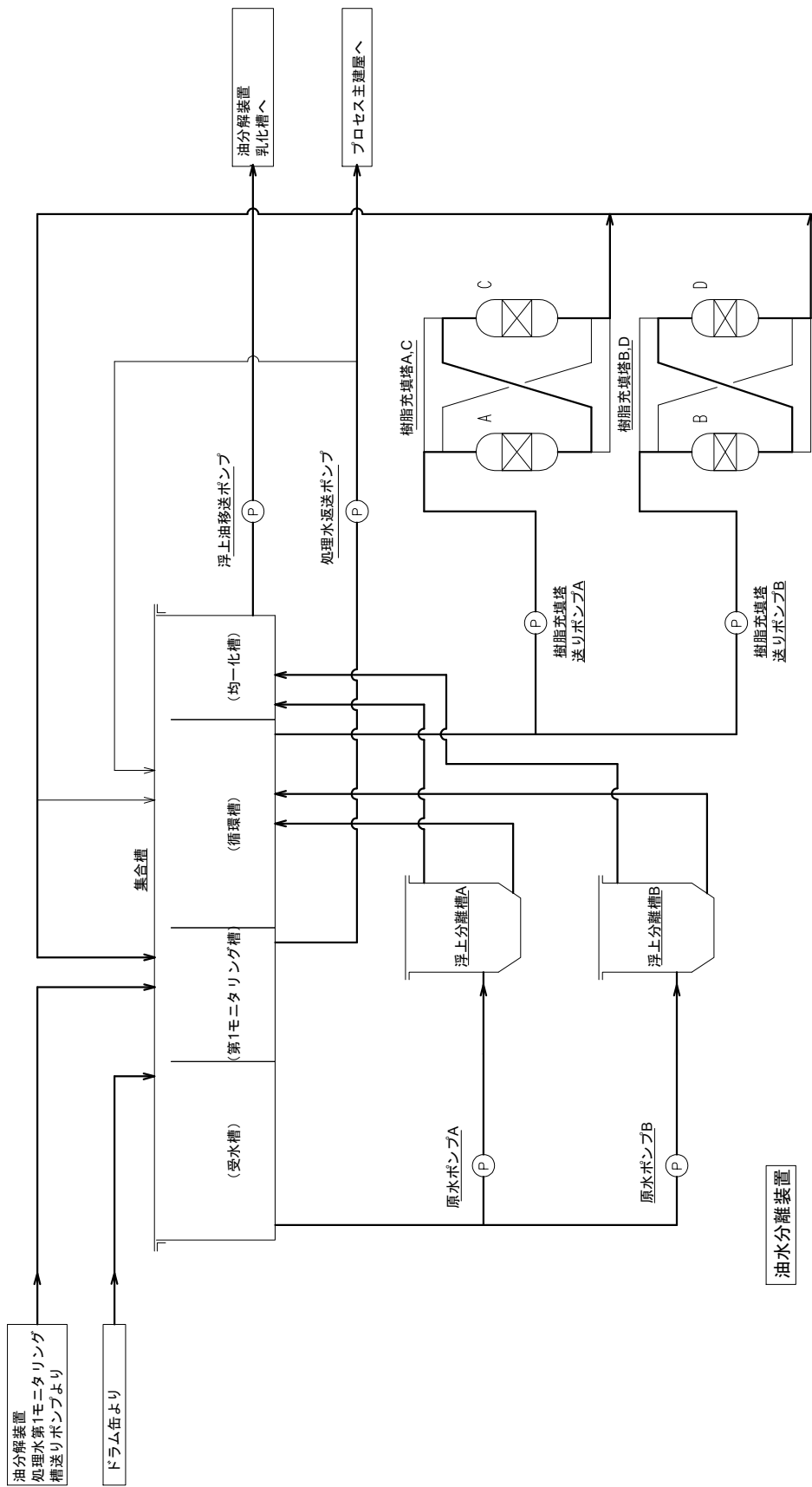


図-1 装置配置概要図



油水分離装置

図-2 系統構成図

(1/3)

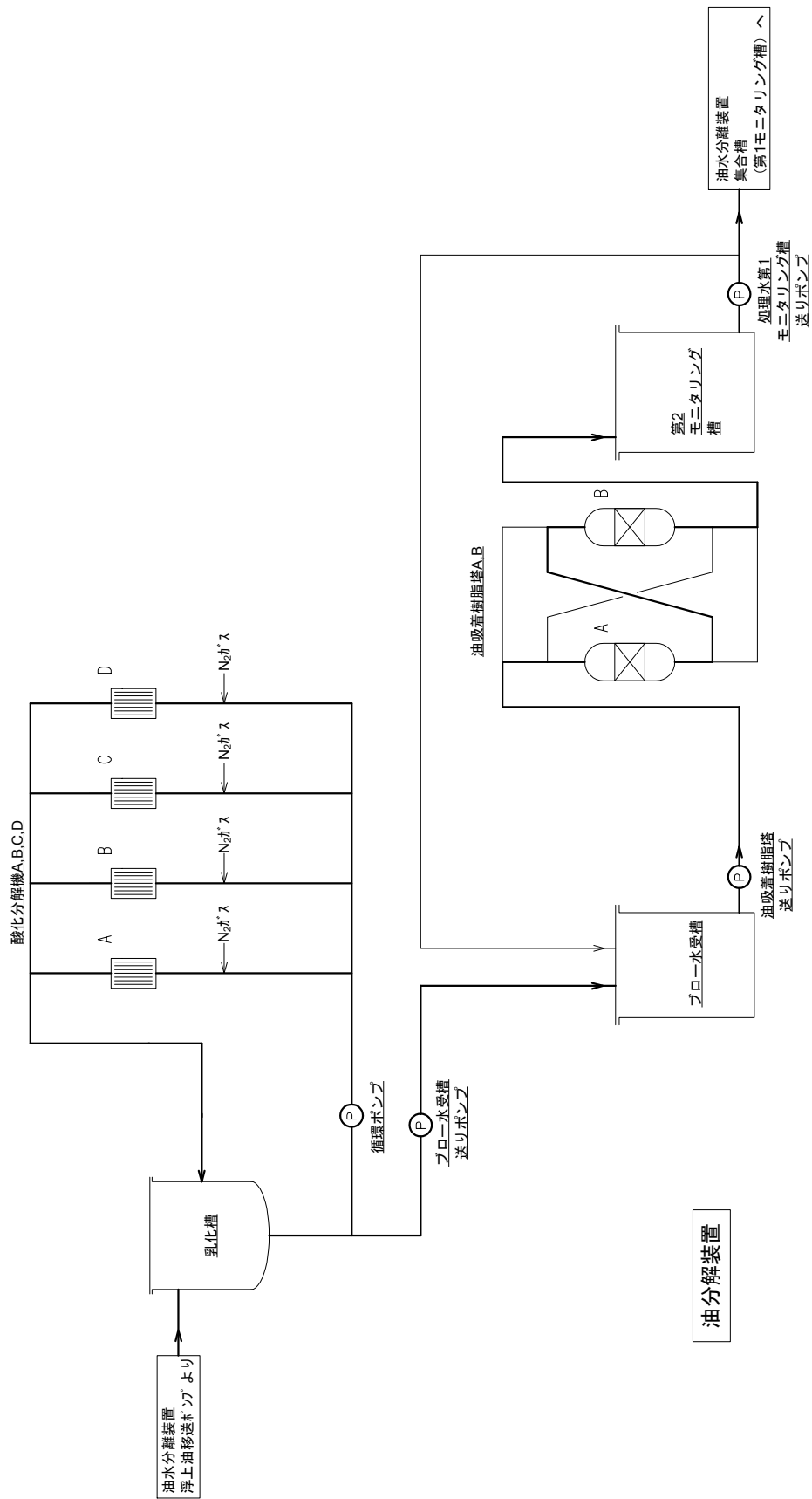
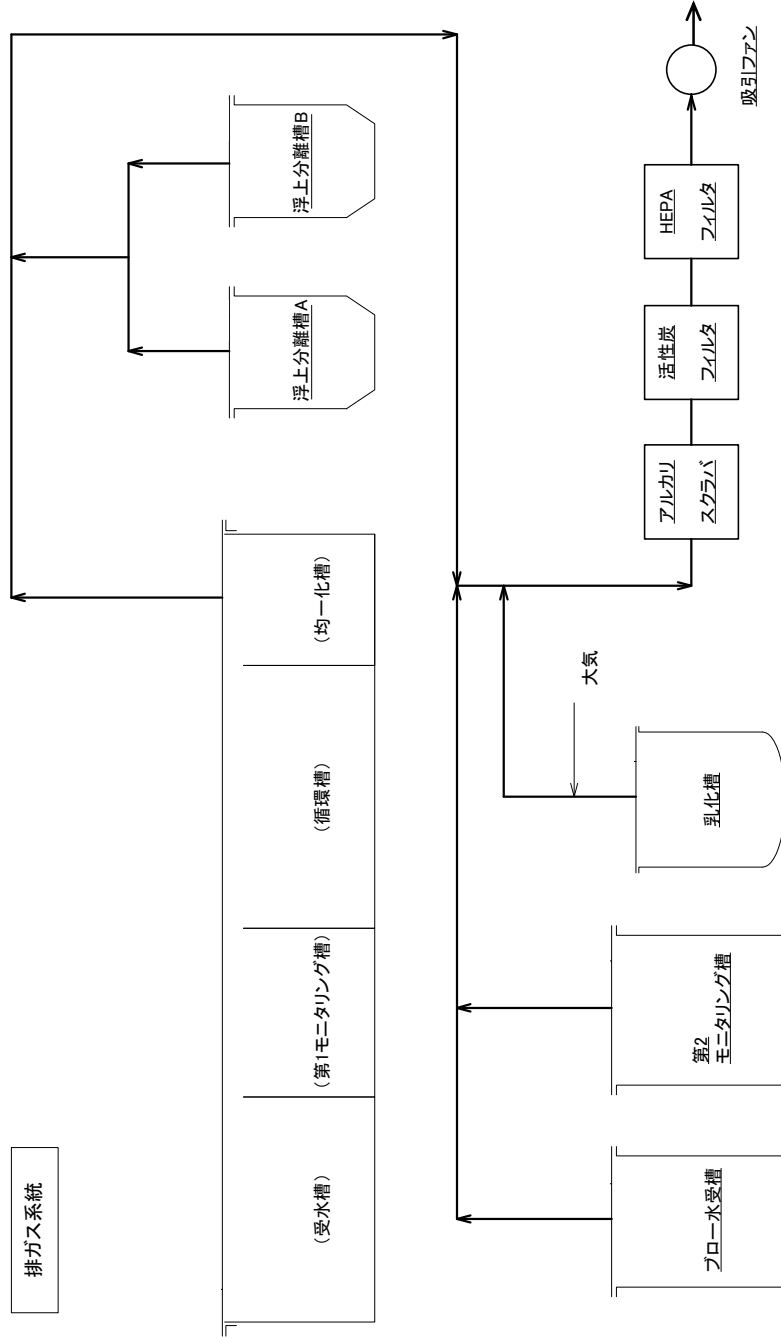


図-2 系統構成図
(2/3)



※排ガス系統：各槽からの排気ライン
及び希釈ライン

図-2 系統構成図
(3/3)

油処理装置の耐震性に関する説明書

1 耐震設計の方針

油処理装置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クラスまたはCクラス相当の設備と位置付けられる。主要な機器および配管の耐震評価は、「JEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規程」等に準じて行う。

1.1 設備の重要度による耐震クラス別分類

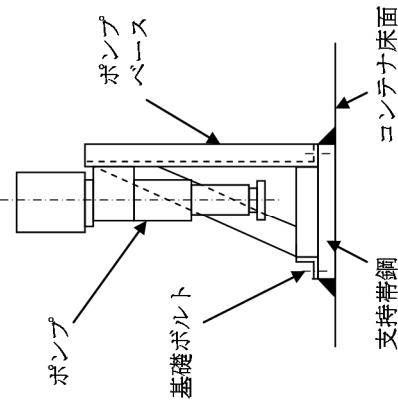
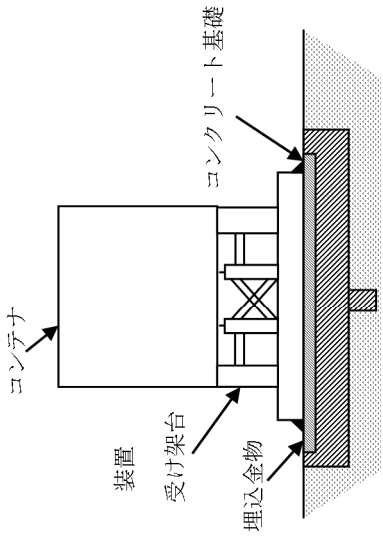
耐震クラス 系統設備	B	C
油水分離装置・油分解装置 (1) 容器	<ul style="list-style-type: none"> ○集合槽 ○浮上分離槽 ○樹脂充填塔 ○乳化槽 ○ブロー水受槽 ○油吸着樹脂塔 ○第2モニタリング槽 ○酸化分解機 	
(2) ポンプ	<ul style="list-style-type: none"> ○原水ポンプ ○樹脂充填塔送りポンプ ○処理水返送ポンプ ○浮上油移送ポンプ ○循環ポンプ ○ブロー水受槽送りポンプ ○油吸着樹脂塔送りポンプ ○処理水第1モニタリング槽送りポンプ 	
(3) 配管	<ul style="list-style-type: none"> ○主配管 	
(4) コンテナ	<ul style="list-style-type: none"> ○装置受け架台 	
排ガス系統 (1) アルカリスクラバ		アルカリスクラバ
(2) フィルタ		活性炭フィルタ HEPAフィルタ
(3) ファン		吸引ファン
備 考	○印は評価結果を本資料にて示すもの	

1.2 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	主体構造		
(1) 平底たて置円筒形容器	床面に設けた支持帯鋼に、底板を基礎ボルトで固定する。	下面に底板を有するたて置円筒形		ブロー水受槽 第2モニタリング槽
(2) スカート支持たて置円筒形容器	胴板をスカートで支持し、床面に設けた支持帯鋼に、スカートを基礎ボルトで固定する。	下面に円錐形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		浮上分離槽 樹脂充填塔 油吸着樹脂塔

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) 4脚たて置円筒形容器	胴板を4脚で支持し、床面に設けた支持帯鋼に、脚を基礎ボルトで固定する。	下面に鏡板を有するたて置円筒形		乳化槽
(4) 平底角形容器	床面に設けた支持帯鋼に、底板を基礎ボルトで固定する。	下面に底板を有する平底角形		集合槽

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) 角形機器	角形機器は床面に設けた架台に基礎ボルトで固定する。	上, 下面に平板を有する角形機器		酸化分解機
(6) 横軸うず巻ポンプ	ポンプはポンプベースに固定し, 床面に設けた支持帯鋼に, ポンプベースを基礎ボルトで固定する。	うず巻形		循環ポンプ

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		
(7) たて型一軸ねじポンプ	ポンプはポンプベースに固定し、床面に設けた支持帯鋼に、ポンプベースを基礎ボルトで固定する。	一軸ねじ形		原水ポンプ 樹脂充填塔送りポンプ 処理水返送ポンプ 浮上油移送ポンプ ブロー水受槽送りポンプ 油吸着樹脂塔送りポンプ 処理水第1モニタリング槽送りポンプ
(8) コンテナ	コンテナは装置受け架台と基礎に埋込む金物と装置受け架台を溶接で固定する。	コンテナ		油分離コンテナ 第1油分解コンテナ 第2油分解コンテナ

1.3 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 ($1.8 \times C_i^*$)	—	静的地震力

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

1.4.1 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。

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静的地震力
- C_S : Bクラスの設備の地震時の供用状態
- 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
- f_p : 許容支圧応力 同上
- τ_b : ボルトに生じるせん断応力

(1) 機器

耐震クラス	荷重の組合せ	供用状態	許容限界	
			一次一般膜応力	一次応力
B	$D + P_d + M_d + S_B$	C s	$\min[S_y, 0.6 \cdot S_u]$ 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、 $1.2 \cdot S$ とすることができる。	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、 $1.2 \cdot S$ とすることができる。

(2) 支持構造物(ボルト等以外)

応力分類 供用状態	許容限界(ボルト等以外)									
	一次応力				一次+二次応力範囲					
	引張	せん断	圧縮	曲げ	支圧	引張 ⁽¹⁾ 圧縮	せん断 ⁽¹⁾	曲げ ⁽¹⁾	支圧	座屈
C s	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_p$	$3 \cdot f_t$	$3 \cdot f_s$ ⁽²⁾	$3 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_p$	$1.5 \cdot f_b$ ⁽³⁾ , $1.5 \cdot f_s$ 又は $1.5 \cdot f_c$

注(1):地震荷重のみによる応力範囲について評価する。

注(2):すみ肉溶接部にあつては、最大応力を $1.5 f_s$ 以下に制限する。

注(3):自重により常時作用する荷重に、地震による荷重を重ね合わせて得られる応力の圧縮最大値について評価する。

(3) 支持構造物(ボルト等)

応力分類 供用状態	許容限界(ボルト等)		
	一次応力		
	引張	せん断	組合せ
C s	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$\min[1.5 \cdot f_t, 2.1 \cdot f_t - 1.6 \cdot \tau_b]$

2 耐震性評価

2.1 ブロー水受槽， 第2モニタリング槽

2.1.1 評価方法

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」（以下、「基本方針」という。）に準じて行う。応力評価箇所を図-1， 2に示す。

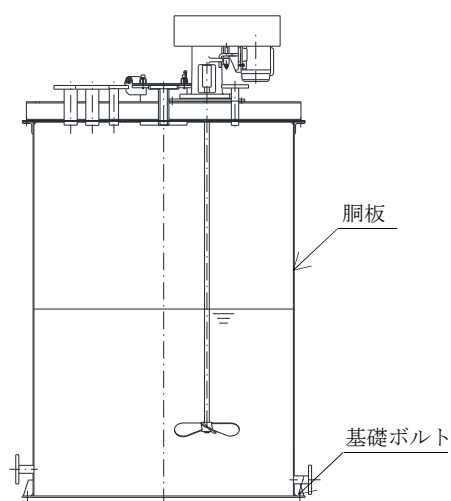


図-1 ブロー水受槽応力評価箇所

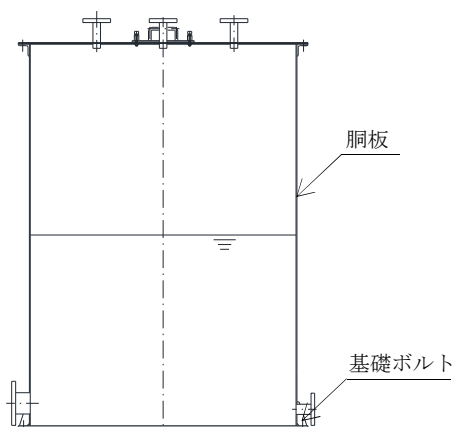


図-2 第2モニタリング槽応力評価箇所

2.1.2 評価結果

各部材に生じる最大応力が許容応力以下であることを確認した。(表-1, 2)

(1) ブロー水受槽

表-1 本体, 基礎ボルトの応力評価結果

部材	材料	応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
胴板	SUS304	一次一般膜応力	3	153
		圧縮と曲げの組合せ (座屈評価)	$\frac{\alpha_B(P/A)}{f_c} + \frac{\alpha_B(M/Z)}{f_b} \leq 1$	
			0.02(無次元)	
基礎 ボルト	SUS304	引張応力	<0	148
		せん断応力	7	114

(2) 第2モニタリング槽

表-2 本体, 基礎ボルトの応力評価結果

部材	材料	応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
胴板	SUS304	一次一般膜応力	3	153
		圧縮と曲げの組合せ (座屈評価)	$\frac{\alpha_B(P/A)}{f_c} + \frac{\alpha_B(M/Z)}{f_b} \leq 1$	
			0.02(無次元)	
基礎 ボルト	SUS304	引張応力	<0	148
		せん断応力	7	114

2.2 浮上分離槽，樹脂充填塔，油吸着樹脂塔

2.2.1 評価方法

本評価は、「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」(以下、「基本方針」という。)に準じて行う。応力評価箇所を図-3～5に示す。

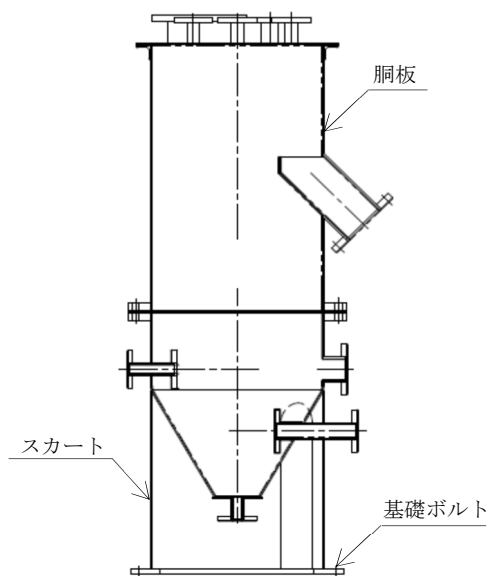


図-3 浮上分離槽応力評価箇所

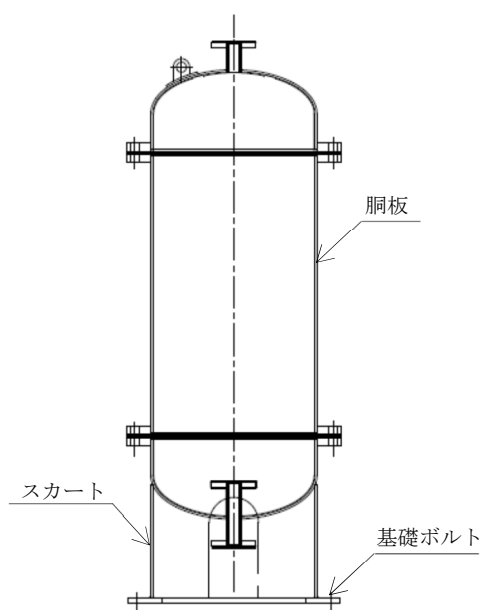
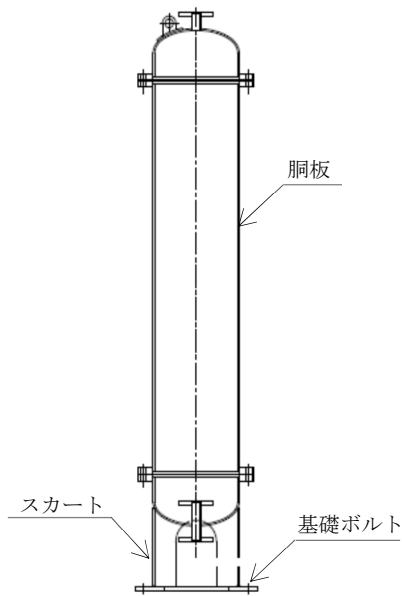


図-4 樹脂充填塔応力評価箇所



図－5 油吸着樹脂塔応力評価箇所

2.2.2 評価結果

各部材に生じる最大応力が許容応力以下であることを確認した。(表－3～5)

(1) 浮上分離槽

表－3 本体，基礎ボルトの応力評価結果

部材	材料	応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
胴板	SUS304	一次一般膜応力	3	154
スカート	SUS304	組合せ応力	18	205
		圧縮と曲げの組合せ (座屈評価)	$\frac{\alpha_B(P/A)}{f_c} + \frac{\alpha_B(M/Z)}{f_b} \leq 1$	
			0.09(無次元)	
基礎 ボルト	SUS304	引張応力	3	153
		せん断応力	3	118

(2) 樹脂充填塔

表-4 本体, 基礎ボルトの応力評価結果

部材	材料	応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
胴板	SUS304	一次一般膜応力	13	154
スカート	SUS304	組合せ応力	5	205
		圧縮と曲げの組合せ (座屈評価)	$\frac{\alpha_B(P/A)}{f_c} + \frac{\alpha_B(M/Z)}{f_b} \leq 1$	
			0.03(無次元)	
基礎 ボルト	SUS304	引張応力	2	153
		せん断応力	3	118

(3) 油吸着樹脂塔

表-5 本体, 基礎ボルトの応力評価結果

部材	材料	応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
胴板	SUS304	一次一般膜応力	8	153
スカート	SUS304	組合せ応力	15	205
		圧縮と曲げの組合せ (座屈評価)	$\frac{\alpha_B(P/A)}{f_c} + \frac{\alpha_B(M/Z)}{f_b} \leq 1$	
			0.08(無次元)	
基礎 ボルト	SUS304	引張応力	4	153
		せん断応力	1	118

2.3 乳化槽

2.3.1 評価方法

本評価は、「付録3 4脚たて置円筒形容器（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。）に準じて行う。応力評価箇所を図-6に示す。

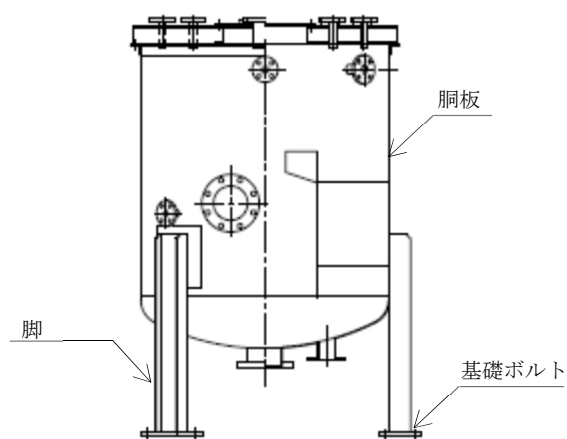


図-6 乳化槽応力評価箇所

2.3.2 評価結果

各部材に生じる最大応力が許容応力以下であることを確認した。（表-6）

表-6 本体，基礎ボルトの応力評価結果

部材	材料	応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
胴板	SUS304	一次一般膜応力	3	153
		一次応力	9	
脚	SUS304	組合せ応力	21	205
		圧縮と曲げの組合せ (座屈評価)	$\frac{\sigma_{sr}}{f_{br}} + \frac{\sigma_{st}}{f_{bt}} + \frac{\sigma_{sc}}{f_{bc}} \leq 1$ 0.11(無次元)	
基礎 ボルト	SUS304	引張応力	22	153
		せん断応力	7	118

2.4 集合槽

2.4.1 評価方法

地震力による応力計算には、3次元FEMモデルを採用し、解析コードとしてNastranを用いる。応力評価箇所を図-7に示す。

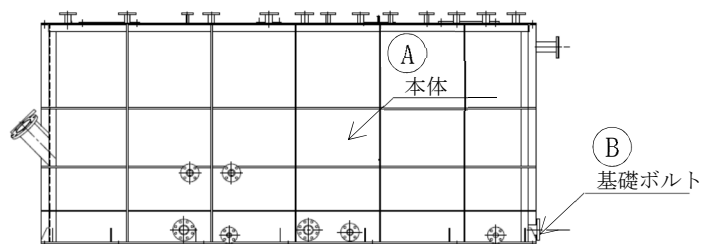


図-7 集合槽応力評価箇所

2.4.2 評価結果

各部材に生じる最大応力が許容応力以下であることを確認した。(表-7, 8)

表-7 応力評価箇所A(本体)の応力評価結果

部材	材料	応力		算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
本体	SUS304	一次一般膜応力		28	154
		組合せ応力 (座屈評価)	圧縮+曲げ	0.07 (無次元)	1 (無次元)
			引張+曲げ	0.14 (無次元)	1 (無次元)

表-8 応力評価箇所B(基礎ボルト)の応力評価結果

応力	材料	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
引張応力	SUS304	1	147
せん断応力		53	118

耐震安全解析に用いるコード (NASTRAN) について

1. 概要

NASTRAN コードは、1968 年アメリカ航空宇宙局 (NASA) で開発され、1971 年に米国 MacNeal-Schwendler Corporation (MSC 社) から発売された有限要素法に基づく構造解析等の汎用解析コード (MSCNastran) であり、航空宇宙、自動車、造船、重機械、原子力機器、土木・建築などの重工業を中心に広く受け入れられている。

2. 機能

NASTRAN コードは、固有値解析、応力解析に際して以下の機能を有している。

- ① ある固有振動範囲の設定、あるいは必要固有値個数を設定すればその範囲の多くの固有振動及び必要固有値個数に対応する固有振動を求めることができる。
- ② 各振動モードに対する刺激係数、有効質量を算出できる。
- ③ 引張等の初期応力があれば、この初期応力を考慮した固有振動解析ができる。
- ④ スペクトルモード解析の入力データとして固有振動解析結果をそのまま利用できる。
- ⑤ 使用要素は一次元～三次元の多くの要素が適用できる。
- ⑥ 質量は集中質量、分布質量が適用できる。
- ⑦ 応力解析における荷重は、集中荷重、分散荷重が適用できる。質量に加速度をかけることで、荷重として適用できる。
- ⑧ 応力解析では、剛性と荷重の釣り合いから、変位・応力を計算できる。

3. 解析フロー

NASTRAN コードの固有振動解析フローを図-8 に示す。また、応力解析について、線形静解析フローを図-9 に示す。

4. 使用実績

NASTRAN コードは、これまで多くの固有振動数解析及び応力解析に対して使用実績がある。

5. 検証方法

理論値との比較による検証が実施されていることを確認した。

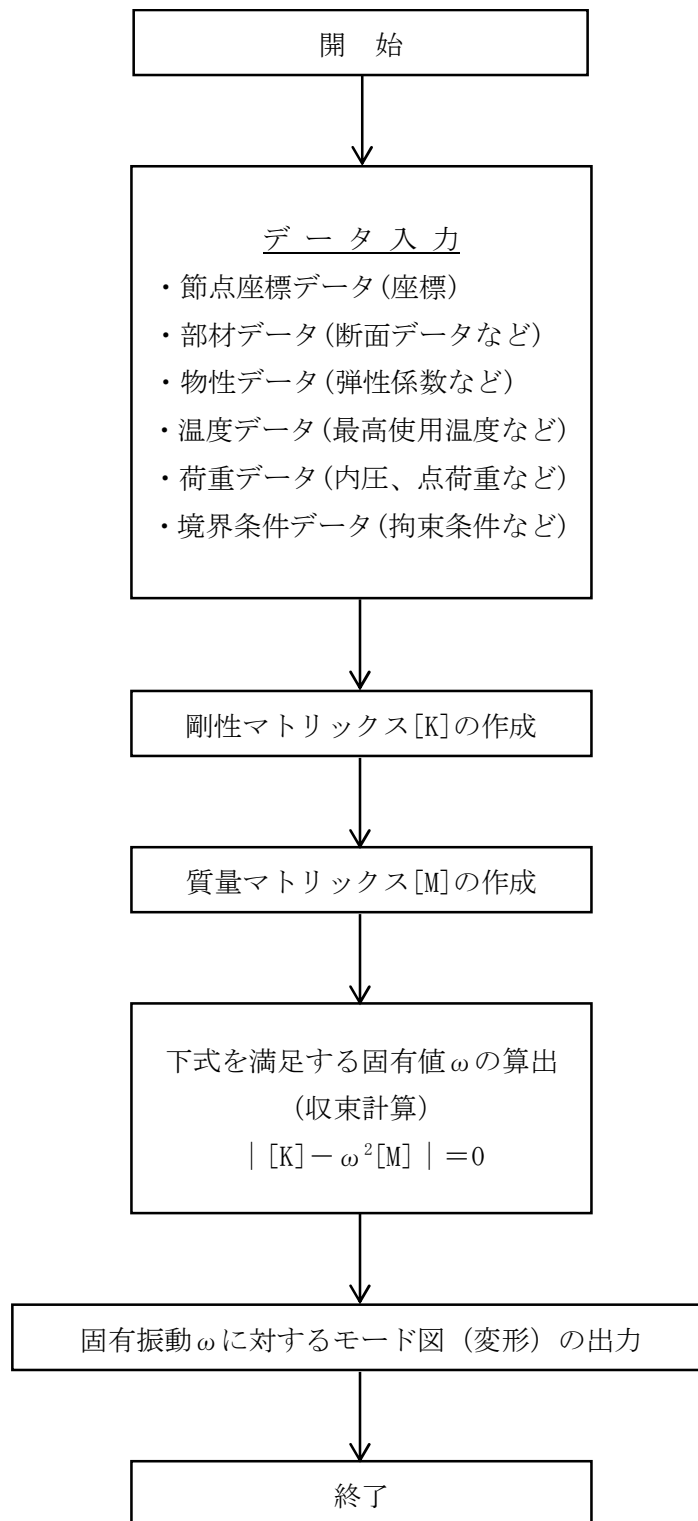


図-8 NASTRAN コードの固有振動解析フロー図

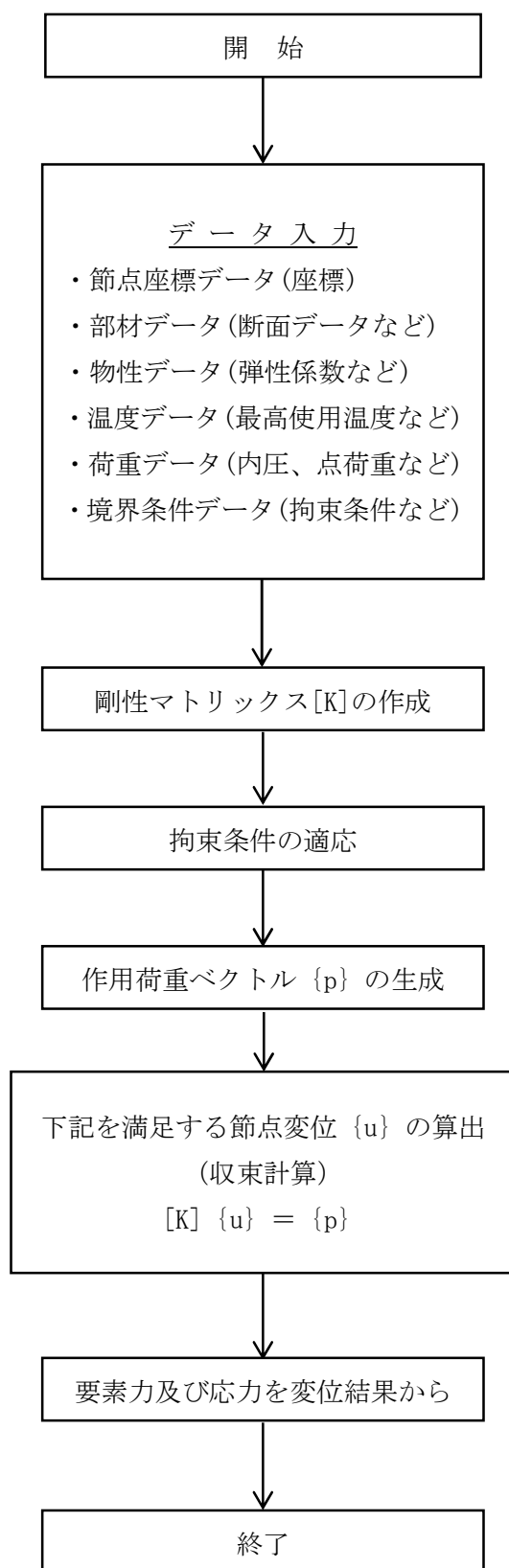
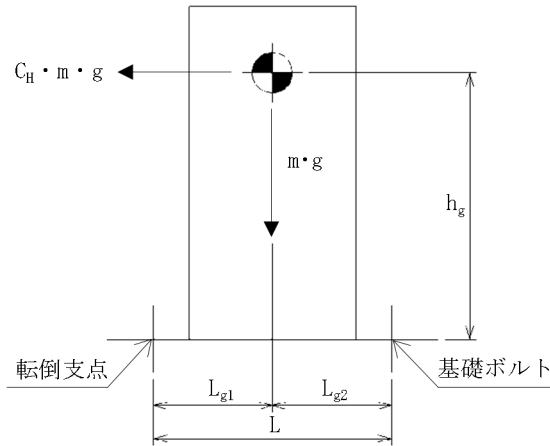


図-9 NASTRAN コードの線形静解析フロー図

2.5 酸化分解機

基礎ボルトの耐震評価は「原子力発電所耐震設計技術指針」に準じて行う。地震によって作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力が許容応力以下であることを確認する。

2.5.1 評価方法



- m : 運転重量 (kg)
- g : 重力加速度 9.80665 (m/s^2)
- h_g : 据付面から重心までの距離 (mm)
- L : 基礎ボルト間の水平方向距離 (mm)
- L_{g1} : 重心と基礎ボルト間の水平方向距離 (mm) $L_{g1} \leq L_{g2}$
- n : 基礎ボルト本数
- n_f : 引張力が作用する基礎ボルトの本数
- A_b : 基礎ボルトの断面積 (mm^2)
- C_H : 水平方向設計震度

基礎ボルトに作用する引張力： F_b (N)

$$F_b = \frac{C_H \cdot m \cdot g \cdot h_g - m \cdot g \cdot L_{g1}}{L}$$

基礎ボルトに生じる引張応力： σ_b (MPa)

$$\sigma_b = \frac{F_b}{n_f \cdot A_b}$$

基礎ボルトに作用するせん断力： Q_b (N)

$$Q_b = C_H \cdot m \cdot g$$

基礎ボルトに生じるせん断応力： τ_b (MPa)

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b}$$

2.5.2 評価結果

基礎ボルトに生じる応力が許容応力以下であることを確認した。(表-9)

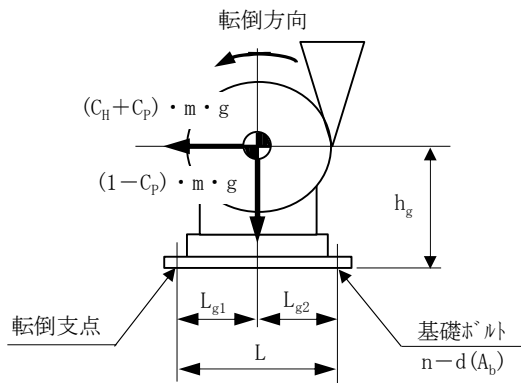
表-9 酸化分解機の耐震評価結果

機器名称	部材	材料	応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
酸化分解機	基礎ボルト	SUS304	せん断	3.6	118
			引張	<0	153

2.6 ポンプ

基礎ボルトの耐震評価は「原子力発電所耐震設計技術指針」に準じて行う。地震による震度, ポンプ振動による震度およ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応力とせん断応力が許容応力以下であることを確認する。

2.6.1 評価方法



- m : 運転重量 (kg)
- g : 重力加速度 $9.80665 \text{ (m/s}^2\text{)}$
- h_g : 据付面から重心までの距離 (mm)
- M_p : ポンプ振動によるモーメント ($\text{N}\cdot\text{mm}$)
- L : 基礎ボルト間の水平方向距離 (mm)
- L_{g1} : 重心と基礎ボルト間の水平方向距離 (mm) $L_{g1} \leq L_{g2}$
- n : 基礎ボルト本数
- n_f : 引張力が作用する基礎ボルトの本数
- A_b : 基礎ボルトの断面積 (mm^2)
- C_H : 水平方向設計震度
- 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 (N)

$$F_b = \frac{(C_H + C_P) \cdot m \cdot g \cdot h_g + M_p - (1 - C_P) \cdot m \cdot g \cdot L_{g1}}{L}$$

基礎ボルトに生じる引張応力: σ_b (MPa)

$$\sigma_b = \frac{F_b}{n_f \cdot A_b}$$

基礎ボルトに作用するせん断力: Q_b (N)

$$Q_b = (C_H + C_P) \cdot m \cdot g$$

基礎ボルトに生じるせん断応力: τ_b (MPa)

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b}$$

2.6.2 評価結果

基礎ボルトに生じる最大応力が許容応力以下であることを確認した。(表-10)

表-10 基礎ボルトの応力評価結果

機器名称	材料	応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
原水ポンプ	SUS304	せん断	1	118
		引張	1	153
樹脂充填塔送りポンプ	SUS304	せん断	1	118
		引張	1	153
処理水返送ポンプ	SUS304	せん断	1	118
		引張	2	153
浮上油移送ポンプ	SUS304	せん断	1	118
		引張	1	153
循環ポンプ	SUS304	せん断	2	118
		引張	2	153
ブロー水受槽送りポンプ	SUS304	せん断	1	118
		引張	1	153
油吸着樹脂塔送りポンプ	SUS304	せん断	1	118
		引張	1	153
処理水第1モニタリング槽 送りポンプ	SUS304	せん断	1	118
		引張	1	153

2.7 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はりモデル（図-10）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-11に示す。

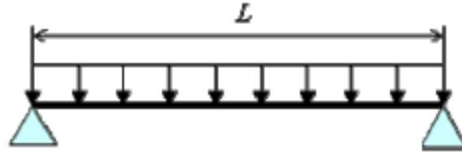


図-10 等分布荷重 両端単純支持はりモデル

表-11 配管系における各種条件（1/4）

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				
配管材質	SUS304TP				
配管口径	25A	25A	25A	25A	25A
Sch	20S	20S	20S	40	40
設計温度（℃）	40	40	40	50	50
設計圧力（MPa）	0.15	0.3	0.4	静水頭	0.15
配管支持間隔（m）	4.0				

表-11 配管系における各種条件（2/4）

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					
配管材質	SUS304TP					
配管口径	25A	32A	40A	50A	50A	50A
Sch	40	20S	20S	20S	20S	20S
設計温度（℃）	50	40	40	40	40	40
設計圧力（MPa）	0.3	0.15	静水頭	静水頭	0.3	0.4
配管支持間隔（m）	4.0	4.0	4.5	5.0		

表-11 配管系における各種条件 (3/4)

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					
配管材質	SUS304TP					
配管口径	50A	50A	65A	80A	100A	100A
Sch	40	40	40	40	40	40
設計温度 (°C)	50	50	50	50	50	50
設計圧力 (MPa)	静水頭	0.15	0.3	0.3	静水頭	0.3
配管支持間隔 (m)	5.0		6.0	6.0	7.0	

表-11 配管系における各種条件 (4/4)

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						
配管材質	SUS304TP			SUS316LTP			
配管口径	150A	150A	8A	15A	20A	32A	150A
Sch	40	40	40	40	40	40	40
設計温度 (°C)	50	50	40	40	40	40	40
設計圧力 (MPa)	静水頭	0.3	0.3	0.3	0.3	静水頭	静水頭
配管支持間隔 (m)	8.0		2.5	3.0	3.5	4.0	8.0

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を評価する。

自重による応力 S_w は、下記式で示される。

$$S_w = \frac{M}{Z} = \frac{w \cdot L^2}{8 \cdot Z}$$

S_w : 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力による応力 S_s は、自重による応力 S_w の震度倍で下記の式で示される。

$$S_s = \alpha \cdot S_w$$

S_s : 地震による応力 (MPa)

α : 想定震度値 (-)

また、評価基準として JEAC4601-2008 に記載の供用応力状態 C_s 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。

$$S = S_p + S_w + S_s = S_p + S_w + \alpha \cdot S_w = S_p + (1 + \alpha) \cdot S_w \leq 1.0 \cdot S_y$$

S : 内圧, 自重, 地震力による発生応力 (MPa)

S_p : 内圧による応力 (MPa)

S_y : 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 S_w 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-12 に示す。表-12 より、自重による応力 S_w を 30 (MPa) 以下に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-12 応力評価結果 (主配管 (鋼管)) (1/4)

配管分類	主配管 (鋼管)				
配管材質	SUS304TP				
配管口径	25A	25A	25A	25A	25A
Sch	20S	20S	20S	40	40
設計温度 (°C)	40	40	40	50	50
設計圧力 (MPa)	0.15	0.3	0.4	静水頭	0.15
内圧, 自重, 地震による発生応力 S (MPa)	38.4	39.2	39.7	37.3	37.9
供用状態 C_s における一次応力許容値 (MPa)	205			198	

表-12 応力評価結果（主配管（鋼管））（2/4）

配管分類	主配管（鋼管）					
配管材質	SUS304TP					
配管口径	25A	32A	40A	50A	50A	50A
Sch	40	20S	20S	20S	20S	20S
設計温度（℃）	50	40	40	40	40	40
設計圧力（MPa）	0.3	0.15	静水頭	静水頭	0.3	0.4
内圧，自重，地震による発生応力 S（MPa）	38.6	32.0	35.5	35.8	38.1	39.0
供用状態 Cs における 一次応力許容値 （MPa）	198	205				

表-12 応力評価結果（主配管（鋼管））（3/4）

配管分類	主配管（鋼管）					
配管材質	SUS304TP					
配管口径	50A	50A	65A	80A	100A	100A
Sch	40	40	40	40	40	40
設計温度（℃）	50	50	50	50	50	50
設計圧力（MPa）	静水頭	0.15	0.3	0.3	静水頭	0.3
内圧，自重，地震による発生応力 S（MPa）	34.9	35.9	41.3	36.6	38.2	40.7
供用状態 Cs における 一次応力許容値 （MPa）	198					

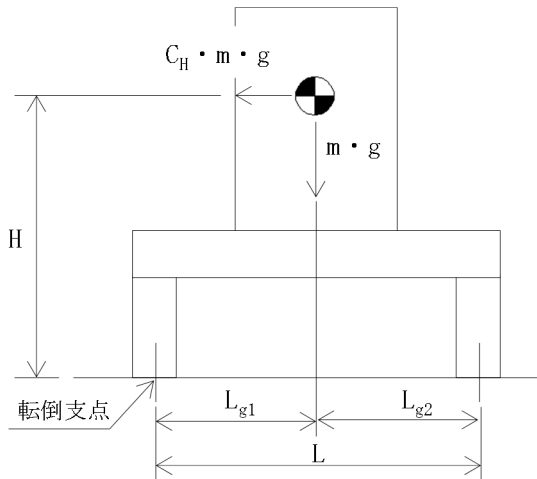
表-12 応力評価結果（主配管（鋼管））（4/4）

配管分類	主配管（鋼管）						
配管材質	SUS304TP		SUS316LTP				
配管口径	150A	150A	8A	15A	20A	32A	150A
Sch	40	40	40	40	40	40	40
設計温度（℃）	50	50	40	40	40	40	40
設計圧力 （MPa）	静水頭	0.3	0.3	0.3	0.3	静水頭	静水頭
内圧，自重，地 震による発生 応力 S（MPa）	36.9	40.0	37.5	33.8	37.0	30.4	37.0
供用状態 Cs に おける一次応 力許容値 （MPa）	198		175				

2.8 装置受け架台

装置受け架台およびそれを搭載しているコンテナの転倒評価については、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で転倒評価を行った。

2.8.1 評価方法



- m : 運転重量 (kg)
- g : 重力加速度 $9.80665 \text{ (m/s}^2\text{)}$
- H : 据付面から重心までの距離 (m)
- L : 転倒支点間の水平方向距離 (m)
- L_{g1} : 重心と転倒支点間の水平方向距離 (m) $L_{g1} \leq L_{g2}$
- C_H : 水平方向設計震度 (0.36)
- C_v : 鉛直方向設計震度 (0)

地震による転倒モーメント : $M_1 \text{ (N} \cdot \text{m)}$

$$M_1 = m \times g \times C_H \times H$$

自重による安定モーメント : $M_2 \text{ (N} \cdot \text{m)}$

$$M_2 = m \times g \times L_{g1}$$

地震によるせん断力 : $\tau \text{ (kN)}$

$$\tau = m \times g \times C_H / 1000$$

溶接部の耐荷重 : $W \text{ (kN)}$

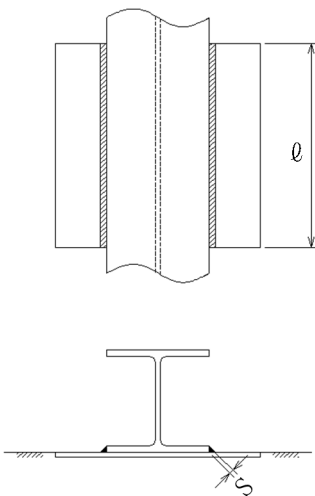
$$W = \ell \times S \times \alpha \times F_y / 1000$$

ℓ : 溶接長さ (mm)

S : のど厚さ (mm)

α : 低減係数

F_y : 降伏点 (MPa)



2.8.2 評価結果

地震による転倒モーメント M_1 は自重による安定モーメント M_2 より小さいことから、転倒しないことを確認した。また、地震によって生じるせん断力が溶接部の許容耐力以下であることを確認した。(表-13, 14)

表-13 架台の耐震評価結果

	材料	転倒モーメント M_1 (N・m)	安定モーメント M_2 (N・m)
油水分離装置	SS400	350800	540869
油分解装置(1)	SS400	301862	465836
油分解装置(2)	SS400	206681	329092

表-14 埋込金物との溶接部の耐震評価結果

	材料	地震によるせん断力 τ (kN)	溶接部の耐荷重 W (kN)
油水分離装置	SS400	159	13857
油分解装置(1)	SS400	144	13857
油分解装置(2)	SS400	100	13857

2.9 耐震Sクラス相当参考評価

油処理装置の主要機器および主要配管について、参考評価として耐震Sクラス相当の水平及び鉛直震度に対して耐震性を評価し、十分な耐震性を有することを確認した。

2.9.1 ブロー水受槽

表-15 本体，基礎ボルトの応力評価結果

部材	材料	応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
胴板	SUS304	一次一般膜応力	6	153
		一次+二次応力範囲	9	396
		圧縮と曲げの組合せ (座屈評価)	$\frac{\alpha_B(P/A)}{f_c} + \frac{\alpha_B(M/Z)}{f_b} \leq 1$	
			0.04(無次元)	
基礎 ボルト	SUS304	引張応力	11	148
		せん断応力	14	114

2.9.2 第2モニタリング槽

表-16 本体，基礎ボルトの応力評価結果

部材	材料	応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
胴板	SUS304	一次一般膜応力	6	153
		一次+二次応力範囲	9	396
		圧縮と曲げの組合せ (座屈評価)	$\frac{\alpha_B(P/A)}{f_c} + \frac{\alpha_B(M/Z)}{f_b} \leq 1$	
			0.03(無次元)	
基礎 ボルト	SUS304	引張応力	<0	148
		せん断応力	13	114

2.9.3 浮上分離槽

表-17 本体，基礎ボルトの応力評価結果

部材	材料	応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
胴板	SUS304	一次一般膜応力	5	154
		一次+二次応力範囲	7	410
スカート	SUS304	組合せ応力	34	205
		圧縮と曲げの組合せ (座屈評価)	$\frac{\alpha_B(P/A)}{f_c} + \frac{\alpha_B(M/Z)}{f_b} \leq 1$	
			0.18(無次元)	
基礎 ボルト	SUS304	引張応力	17	153
		せん断応力	5	118

2.9.4 樹脂充填塔

表-18 本体，基礎ボルトの応力評価結果

部材	材料	応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
胴板	SUS304	一次一般膜応力	13	154
		一次+二次応力範囲	7	410
スカート	SUS304	組合せ応力	9	205
		圧縮と曲げの組合せ (座屈評価)	$\frac{\alpha_B(P/A)}{f_c} + \frac{\alpha_B(M/Z)}{f_b} \leq 1$	
			0.04(無次元)	
基礎 ボルト	SUS304	引張応力	14	153
		せん断応力	5	118

2.9.5 油吸着樹脂塔

表-19 本体, 基礎ボルトの応力評価結果

部材	材料	応力	算出応力 (MPa)	評価応力 (MPa)
胴板	SUS304	一次一般膜応力	9	153
		一次+二次応力範囲	8	396
スカート	SUS304	組合せ応力	30	205
		圧縮と曲げの組合せ (座屈評価)	$\frac{\alpha_B(P/A)}{f_c} + \frac{\alpha_B(M/Z)}{f_b} \leq 1$	
			0.15(無次元)	
基礎 ボルト	SUS304	引張応力	12	153
		せん断応力	2	118

2.9.6 乳化槽

表-20 本体, 基礎ボルトの応力評価結果

部材	材料	応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
胴板	SUS304	一次一般膜応力	4	153
		一次応力	14	229
		一次+二次応力範囲	28	396
脚	SUS304	組合せ応力	39	205
		圧縮と曲げの組合せ (座屈評価)	$\frac{\sigma_{sr}}{f_{br}} + \frac{\sigma_{st}}{f_{bt}} + \frac{\sigma_{sc}}{f_{bc}} \leq 1$	
			0.18(無次元)	
基礎 ボルト	SUS304	引張応力	55	153
		せん断応力	14	118

2.9.7 集合槽

表－2 1 応力評価箇所A(本体)の応力評価結果

部材	材料	応力		算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
本体	SUS304	一次一般膜応力		45	154
		組合せ応力 (座屈評価)	圧縮+曲げ	0.19 (無次元)	1 (無次元)
			引張+曲げ	0.25 (無次元)	1 (無次元)

表－2 2 応力評価箇所B(基礎ボルト)の応力評価結果

応力	材料	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
引張応力	SUS304	20	153
せん断応力		84	118

2.9.8 酸化分解機

表－2 3 酸化分解機の耐震評価結果

機器名称	部材	材料	応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
酸化分解機	基礎ボルト	SUS304	せん断	7.1	118
			引張	9.1	153

2.9.9 ポンプ

表-24 基礎ボルトの応力評価結果

機器名称	材料	応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
原水ポンプ	SUS304	せん断	1	118
		引張	3	153
樹脂充填塔送りポンプ	SUS304	せん断	1	118
		引張	3	153
処理水返送ポンプ	SUS304	せん断	1	118
		引張	4	153
浮上油移送ポンプ	SUS304	せん断	1	118
		引張	2	153
循環ポンプ	SUS304	せん断	3	118
		引張	4	153
ブロー水受槽送りポンプ	SUS304	せん断	2	118
		引張	3	153
油吸着樹脂塔送りポンプ	SUS304	せん断	1	118
		引張	2	153
処理水第1モニタリング槽 送りポンプ	SUS304	せん断	2	118
		引張	3	153

2.9.10 配管

表-25 応力評価結果（主配管（鋼管））（1/4）

配管分類	主配管（鋼管）				
配管材質	SUS304TP				
配管口径	25A	25A	25A	25A	25A
Sch	20S	20S	20S	40	40
設計温度（℃）	40	40	40	50	50
設計圧力（MPa）	0.15	0.3	0.4	静水頭	0.15
内圧，自重，地震による発生応力 S（MPa）	48.3	49.1	49.6	47.1	47.7
供用状態 Cs における 一次応力許容値 （MPa）	205			198	

表-25 応力評価結果（主配管（鋼管））（2/4）

配管分類	主配管（鋼管）					
配管材質	SUS304TP					
配管口径	25A	32A	40A	50A	50A	50A
Sch	40	20S	20S	20S	20S	20S
設計温度（℃）	50	40	40	40	40	40
設計圧力（MPa）	0.3	0.15	静水頭	静水頭	0.3	0.4
内圧，自重，地震による発生応力 S（MPa）	48.4	40.2	44.9	45.3	47.6	48.4
供用状態 Cs における 一次応力許容値 （MPa）	198	205				

表-25 応力評価結果（主配管（鋼管））（3/4）

配管分類	主配管（鋼管）					
配管材質	SUS304TP					
配管口径	50A	50A	65A	80A	100A	100A
Sch	40	40	40	40	40	40
設計温度（℃）	50	50	50	50	50	50
設計圧力（MPa）	静水頭	0.15	0.3	0.3	静水頭	0.3
内圧，自重，地震による発生応力 S（MPa）	44.1	45.0	51.7	45.7	48.2	50.8
供用状態 Cs における 一次応力許容値 （MPa）	198					

表-25 応力評価結果（主配管（鋼管））（4/4）

配管分類	主配管（鋼管）						
配管材質	SUS304TP		SUS316LTP				
配管口径	150A	150A	8A	15A	20A	32A	150A
Sch	40	40	40	40	40	40	40
設計温度（℃）	50	50	40	40	40	40	40
設計圧力 （MPa）	静水頭	0.3	0.3	0.3	0.3	静水頭	静水頭
内圧，自重，地震による発生 応力 S（MPa）	46.6	49.7	47.1	42.5	46.4	38.3	46.8
供用状態 Cs における一次応力許容値 （MPa）	198		175				

2.9.11 装置受け架台

表-26 架台の耐震評価結果

	材料	転倒モーメント M_1 (N・m)	安定モーメント M_2 (N・m)
油水分離装置	SS400	701599	324521
油分解装置(1)	SS400	603723	279502
油分解装置(2)	SS400	413362	197455

表-27 埋込金物との溶接部の耐震評価結果

	材料	応力	算出値 (kN)	溶接部の耐荷重 (kN)
油水分離装置	SS400	せん断	317	13857
		引張	180	6928
油分解装置(1)	SS400	せん断	287	13857
		引張	155	6928
油分解装置(2)	SS400	せん断	200	13857
		引張	103	6928

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規程 JEAC4601-2008（社団法人 日本電気協会 原子力規格委員会）に準拠する。

但し、材料強度に関する規準は、JSME S NC1-2005/2007 による。

1.2 計算条件

- (1) 容器及び内容物の質量を重心位置に集中させる。
- (2) 容器下端は固定とする。
- (3) 容器は鉛直方向に剛とみなす。
- (4) 水平方向については、容器を梁と考慮して曲げ変形及びせん断変形を考慮する。
- (5) 地震力は、容器に対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用させて応力を計算し、強度評価において各応力を組み合わせる。

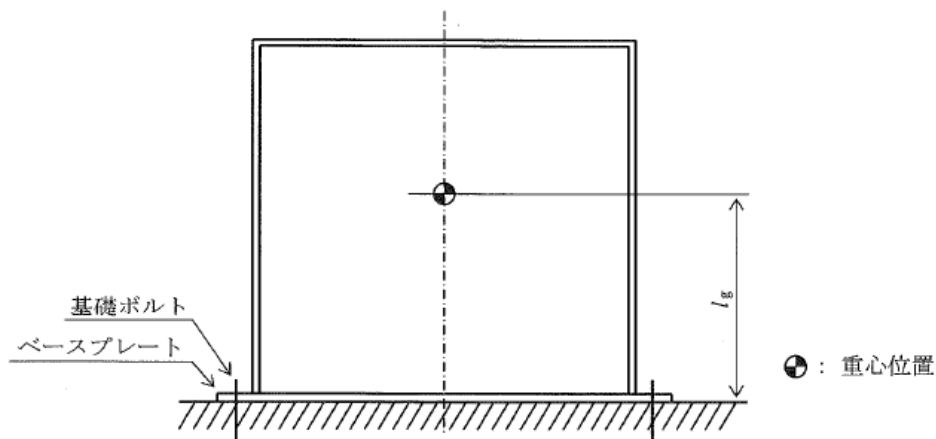


図1-1 概要図

1.3 記号の定義

記号	記号の定義	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_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
C_c	基礎ボルト計算における係数	—
C_t	基礎ボルト計算における係数	—
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 設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表1に定める値	MPa
e	基礎ボルト計算における係数	—
F	材料の許容応力を決定する場合の基準値。なお、支持構造物の許容応力は、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/mm
k	基礎ボルト計算における中立軸の荷重係数	—
L	胴長	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_g	基礎から容器重心までの距離	mm

記号	記号の定義	単位
M	胴に作用する転倒モーメント	N・mm
m_e	容器の空質量	kg
m_o	容器の運転時質量	kg
n	基礎ボルトの本数	—
P	胴の軸圧縮荷重	N
R	胴の平均半径	mm
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	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	断面係数	mm ³
z	基礎ボルト計算における係数	—
a	基礎ボルト計算における中立軸を定める角度	rad
α_B	座屈応力に対する安全率	—
$\eta, \eta_1, \eta_2, \eta_3$	座屈計算における係数	—
ν	ポアソン比	—
π	円周率	—
ρ	液体の比重	—
σ_0	胴の組合せ一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{0c}	胴の組合せ一次一般膜応力 (圧縮側)	MPa
σ_{0t}	胴の組合せ一次一般膜応力 (引張側)	MPa
σ_2	地震力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
$\sigma_{2\phi}$	地震力のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
σ_{2c}	地震力のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和の変動値 (圧縮側)	MPa
σ_{2t}	地震力のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和の変動値 (引張側)	MPa
σ_{2xc}	地震力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}	地震力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

記号	記号の定義	単位
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
$\sigma_{x1}, \sigma_{\phi 1}$	静水頭又は内圧により胴に生じる軸方向応力，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}	鉛直方向地震力による胴の軸方向応力	MPa
σ_{x4}	水平方向地震力による胴の軸方向応力	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

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）（日本機械学会 2005年9月及び2007年9月）を言う。

2. 計算方法

2.1 固有周期の計算

(1) 計算モデル

本容器は、1.2 項より図 2-1 に示す構造をもつ平底たて置円筒形容器に適用する。

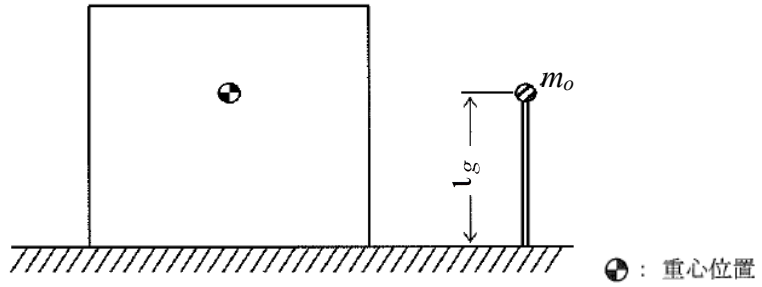


図 2-1 固有周期の計算モデル

(2) 水平方向固有周期

固有周期は、次による。

$$T_H = 2\pi \sqrt{\frac{m_0}{10^3 \cdot K_H}} \dots\dots\dots (2-1)$$

ここで、曲げ及びせん断変形によるばね定数 K_H は、次による。

$$K_H = \frac{I}{\frac{l_g^3}{3EI} + \frac{l_g}{GAe}} \dots\dots\dots (2-2)$$

胴の断面性能は、次による。

$$I = \frac{\pi}{8} (Di + t)^3 t \dots\dots\dots (2-3)$$

$$A_e = \frac{2}{3} \pi (Di + t) t \dots\dots\dots (2-4)$$

(3) 鉛直方向固有周期

鉛直方向については、剛構造とみなす。

2.2 応力の計算

2.1 項の計算で得られた固有周期から、耐震クラスに応じた設計震度及び地震力を決定し、応力計算を行う。

静的地震力を用いる場合は絶対値和を適用する。なお、B、Cクラスに対する応力を計算する場合には、一次＋二次応力を計算することを要しない。また、鉛直地震力は考慮しない。

2.2.1 胴の応力

(1) 静水頭（鉛直方向地震時を含む）による応力

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{10^{-6} \cdot g \rho H D_i}{2t} \dots\dots\dots (2-5)$$

$$\sigma_{\phi 2} = \frac{10^{-6} \cdot g \rho H D_i C_v}{2t} \dots\dots\dots (2-6)$$

$$\sigma_{x1} = 0 \dots\dots\dots (2-7)$$

(2) 運転時質量による応力及び鉛直方向地震時の運転時質量による応力

胴のベースプレートと接合する点に生じる軸方向応力は、次のように求める。

$$\sigma_{x2} = \frac{m_e g}{\pi (D_i + t) t} \dots\dots\dots (2-8)$$

$$\sigma_{x3} = \frac{C_v m_e g}{\pi (D_i + t) t} \dots\dots\dots (2-9)$$

(3) 水平方向地震力による応力

水平方向地震力による胴のベースプレート結合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り生じるせん断応力は、次のように求める。

$$\sigma_{x4} = \frac{4 C_H m_0 g l_g}{\pi (D_i + t)^2 t} \dots\dots\dots (2-10)$$

$$\tau = \frac{2 C_H m_0 g}{\pi (D_i + t) t} \dots\dots\dots (2-11)$$

(4) 組合せ応力

(1)～(3)項によって算出される胴の応力は、次により組み合わせる。

a. 一次一般膜応力【絶対値和】

(a) 組合せ引張応力

$$\sigma_{\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (2-12)$$

$$\sigma_{xt} = \sigma_{x1} - \sigma_{x2} + \sigma_{x3} + \sigma_{x4} \quad \dots\dots\dots (2-13)$$

$$\sigma_{0t} = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_{\phi} + \sigma_{xt} + \sqrt{(\sigma_{\phi} - \sigma_{xt})^2 + 4\tau^2} \right\} \quad \dots\dots\dots (2-14)$$

(b) 組合せ圧縮応力

$$\sigma_{\phi} = -\sigma_{\phi1} - \sigma_{\phi2} \quad \dots\dots\dots (2-15)$$

$$\sigma_{xc} = -\sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x3} + \sigma_{x4} \quad \dots\dots\dots (2-16)$$

σ_{xc} が正の値（圧縮側）の場合は，組合せ圧縮応力は次による。

$$\sigma_{0c} = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_{\phi} + \sigma_{xc} + \sqrt{(\sigma_{\phi} - \sigma_{xc})^2 + 4\tau^2} \right\} \quad \dots\dots\dots (2-17)$$

したがって，胴に生じる一次一般膜応力の最大値は，次による。

$$\sigma_0 = \max \left[\sigma_{0t}, \sigma_{0c} \right] \quad \dots\dots\dots (2-18)$$

b. 一次応力（膜+曲げ）

一次応力（膜+曲げ）は「a. 一次一般膜応力」に示す式により組合せ応力として算出した値と同じである。

c. 地震力のみによる一次+二次応力の変動値【絶対値和】

(a) 組合せ引張応力

$$\sigma_{2\phi} = \sigma_{\phi2} \quad \dots\dots\dots (2-19)$$

$$\sigma_{2xt} = \sigma_{x3} + \sigma_{x4} \quad \dots\dots\dots (2-20)$$

$$\sigma_{2t} = \sigma_{2\phi} + \sigma_{2xt} + \sqrt{(\sigma_{2\phi} - \sigma_{2xt})^2 + 4\tau^2} \quad \dots\dots\dots (2-21)$$

(b) 組合せ圧縮応力

$$\sigma_{2\phi} = -\sigma_{\phi2} \quad \dots\dots\dots (2-22)$$

$$\sigma_{2xc} = \sigma_{x3} + \sigma_{x4} \quad \dots\dots\dots (2-23)$$

$$\sigma_{2c} = \sigma_{2\phi} + \sigma_{2xc} + \sqrt{(\sigma_{2\phi} - \sigma_{2xc})^2 + 4\tau^2} \quad \dots\dots\dots (2-24)$$

したがって，胴に生じる一次+二次応力の変動値の最大値は，次による。

$$\sigma_2 = \max \left[\sigma_{2t}, \sigma_{2c} \right] \quad \dots\dots\dots (2-25)$$

2.2.2 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 は、次による。

$$M = C_H m_0 g l_g \quad \dots\dots\dots (2-26)$$

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条件を考慮する。(図2-2参照)

以下にその手順を示す。

$$t_1 = \frac{n A_b}{\pi D_c} \quad \dots\dots\dots (2-27)$$

$$t_2 = \frac{1}{2}(D_{bo} - D_{bi}) - t_1 \quad \dots\dots\dots (2-28)$$

- a. σ_b , σ_c を仮定して、中立軸の荷重係数 k を求める。

$$k = \frac{l}{l + \frac{\sigma_b}{s \cdot \sigma_c}} \quad \dots\dots\dots (2-29)$$

- b. 中立軸を定める角度 a を求める。

$$a = \cos^{-1}(1 - 2k) \quad \dots\dots\dots (2-30)$$

- c. 各定数 e , z , C_t , C_c を計算する。

$$e = \frac{1}{2} \left\{ \frac{(\pi - a) \cos^2 a + \frac{1}{2}(\pi - a) + \frac{3}{2} \sin a \cos a}{(\pi - a) \cos a + \sin a} + \frac{\frac{1}{2}a - \frac{3}{2} \sin a \cos a + a \cos^2 a}{\sin a - a \cos a} \right\} \quad \dots\dots\dots (2-31)$$

$$z = \frac{1}{2} \left\{ \cos a + \left(\frac{\frac{1}{2}a - \frac{3}{2} \sin a \cos a + a \cos^2 a}{\sin a - a \cos a} \right) \right\} \quad \dots\dots\dots (2-32)$$

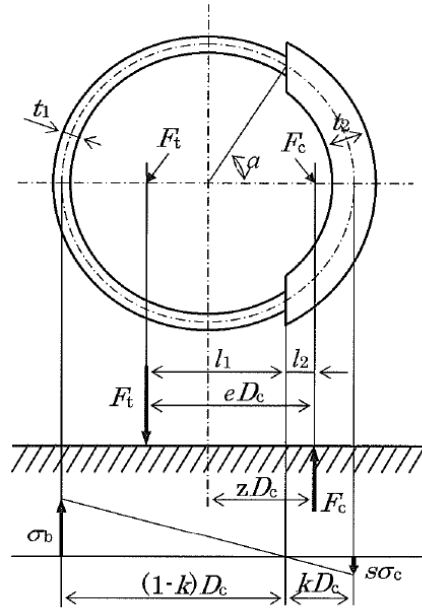


図2-2 基礎の荷重説明図

$$C_t = \frac{2\{(\pi - a)\cos a + \sin a\}}{1 + \cos a} \dots\dots\dots (2-33)$$

$$C_c = \frac{2(\sin a - a \cos a)}{1 - \cos a} \dots\dots\dots (2-34)$$

d. 各定数を用いて F_t , F_c を求める。【絶対値和】

$$F_t = \frac{M - (1 - C_V) m_0 g z \cdot D_c}{e \cdot D_c} \dots\dots\dots (2-35)$$

$$F_c = F_t + (1 - C_V) m_0 g \dots\dots\dots (2-36)$$

基礎ボルトに引張力が作用しないのは、 a が π に等しくなったときであるので、式 (2-31) 及び式 (2-32) において a を π に近づけた場合の値 $e = 0.75$, $z = 0.25$ を式 (2-35) 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。

- ・ $F_t \leq 0$ ならば引張力は作用しない。
- ・ $F_t > 0$ ならば引張力は作用しているので以降の計算を行う。

e. σ_b , σ_c を求める。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。

$$\sigma_b = \frac{2F_t}{t_1 D_c C_t} \dots\dots\dots (2-37)$$

$$\sigma_c = \frac{2F_c}{(t_2 + s t_1) D_c C_c} \dots\dots\dots (2-38)$$

(2) せん断応力

$$\tau_b = \frac{C_H m_o g}{n A_b} \dots\dots\dots (2-39)$$

3. 強度評価

3.1 胴の応力

2.2.1(4)項で求めた組合せ応力が、胴の最高使用温度における表3-1に示す許容応力 S_a 以下であること。

なお、一次応力（膜+曲げ）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。

表3-1 胴の許容応力

耐震クラス	供用状態	許容応力 S_a	
		一次一般膜応力	一次応力(膜+曲げ)
B, C	C s	$\min[S_y, 0.6 S_u]$ 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は、 $1.2 S$ とすることができる。	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は、 $1.2 S$ とすることができる。

3.2 胴の座屈

座屈に対する評価が必要な場合は、「JEAC4601-2008 4.2.3.1(1)c クラスMC容器の座屈防止」に規定する評価式によることができる。軸圧縮荷重と曲げモーメントが負荷されるクラスMC容器は、共用状態C s及びD sにおいて次の不等式を満足しなければならない。

$$\frac{\alpha_B(P/A)}{f_c} + \frac{\alpha_B(M/Z)}{f_b} \leq 1 \quad \dots\dots\dots (3-1)$$

式(3-1)は $L/R \leq 5$ の場合に適用できる。ただし、強め輪等により $L/R \leq 0.5$ となる場合は、強め輪の効果を考慮することができる。

ここで、 f_c : 軸圧縮荷重に対する許容座屈応力は次による。

$$f_c = \begin{cases} F & (\eta \leq \eta_1) \\ F \left\{ 1 - \frac{1}{6800g} (F - \Phi_c \{ \eta_2 \}) (\eta - \eta_1) \right\} & (\eta_1 < \eta < \eta_2) \\ \Phi_c \{ \eta \} & (\eta_2 \leq \eta \leq 800) \end{cases} \quad \dots\dots (3-2)$$

$$\Phi_c \{\eta\} = 0.6 \frac{E}{\eta} \left[1 - 0.901 \left\{ 1 - \exp \left(-\frac{1}{16} \sqrt{\eta} \right) \right\} \right] \dots\dots\dots (3-3)$$

また、 f_b : 曲げモーメントに対する許容座屈応力は次による。

$$f_b = \begin{cases} F & (\eta \leq \eta_1) \\ F \left\{ 1 - \frac{I}{8400g} (F - \Phi_b \{\eta_3\}) (\eta - \eta_1) \right\} & (\eta_1 < \eta < \eta_3) \quad \dots (3-4) \\ \Phi_b \{\eta\} & (\eta_3 \leq \eta \leq 800) \end{cases}$$

$$\Phi_b \{\eta\} = 0.6 \frac{E}{\eta} \left[1 - 0.731 \left\{ 1 - \exp \left(-\frac{1}{16} \sqrt{\eta} \right) \right\} \right] \dots\dots\dots (3-5)$$

α_B は安全率で、次による。

$$\alpha_B = \begin{cases} 1.0 & (\eta \leq \eta_1) \\ 1.0 + \frac{F}{13600g} (\eta - \eta_1) & (\eta_1 < \eta < \eta_2) \quad \dots\dots\dots (3-6) \\ 1.5 & (\eta_2 \leq \eta) \end{cases}$$

ここで、 $\eta, \eta_1, \eta_2, \eta_3$ は座屈計算における係数で、次による。

$$\eta = R/t \quad \dots\dots\dots (3-7)$$

$$\eta_1 = 1200 g/F \quad \dots\dots\dots (3-8)$$

$$\eta_2 = 8000 g/F \quad \dots\dots\dots (3-9)$$

$$\eta_3 = 9600 g/F \quad \dots\dots\dots (3-10)$$

3.3 基礎ボルトの応力

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。ただし、 f_{to} は表3-2による。

$$f_{ts} = \min [1.4f_{to} - 1.6\tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (3-11)$$

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。ただし、 f_{sb} は表3-2による。

表3-2 基礎ボルトの許容応力

耐震 クラス	供用 状態	許容引張応力 f_{to}	許容せん断応力 f_{sb}
B, C	C _s	$1.5 \left(\frac{F}{2} \right)$	$1.5 \left(\frac{F}{1.5\sqrt{3}} \right)$

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規定 JEAC4601 -2008（社団法人 日本電気協会 原子力規格委員会）に準拠する。

但し、材料強度に関する規準は JSME S NC1-2005/2007 による。

1.2 計算条件

- (1) 容器及び内容物の質量は、重心位置に集中させる。
- (2) スカート下端部は、固定端とする。
- (3) 容器頂部に水平方向変位を拘束する構造物が設けられている場合は、その部分をピン支持とする。
- (4) スカートに、マンホールなどの開口部があつて補強されていない場合は、その部分の影響を考慮する。
- (5) 容器及びスカートは鉛直方向に剛とみなす。
- (6) 水平方向については、容器及びスカートを梁と考えたときの曲げ変形及びせん断変形を考慮する。
- (7) 地震力は、容器に対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用させて応力計算し、強度評価において各応力を組み合わせる。

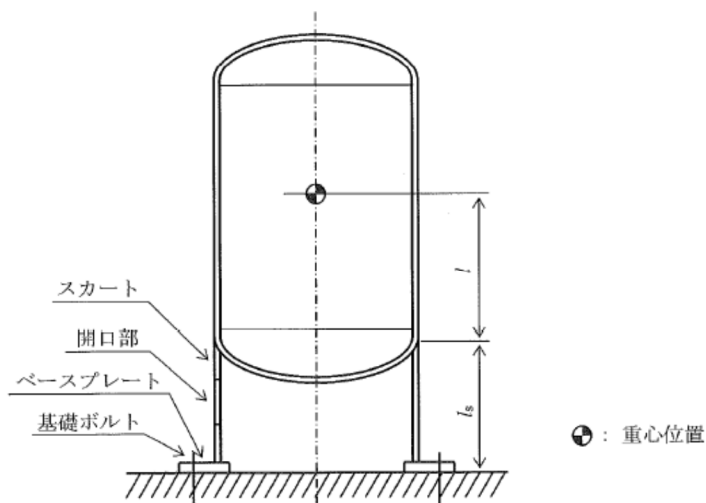


図 1 - 1 概 要 図

1.3 記号の説明

記号	記号の定義	単位
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
$A_{s e}$	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	—
$D_{b i}$	ベースプレート内径	mm
$D_{b o}$	ベースプレート外径	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水平断面における最大開口幅 ($j=1, 2, 3 \dots j_i$)	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	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	MPa
e	基礎ボルト計算における係数	—
F	材料の許容応力を決定する場合の基準値。なお、支持構造物の許容応力は、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
$f_{s b}$	せん断力のみ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
$f_{t 0}$	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
$f_{t s}$	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

記号	記号の定義	単位
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数	—
K_H	水平方向のばね定数	N/mm
k	基礎ボルト計算における中立軸の荷重係数	—
l	スカートの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	$\text{N} \cdot \text{mm}$
M_{s1}	スカートの上端部に作用する転倒モーメント	$\text{N} \cdot \text{mm}$
M_{s2}	スカートの下端部に作用する転倒モーメント	$\text{N} \cdot \text{mm}$
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重量	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_1	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	胴板の厚さ	mm
t_1	基礎ボルトの面積相当板幅	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_1	荷重 Q_1 による容器の上端での変位量	mm
δ_0	荷重 Q, Q_1 による容器の重心での変位量	mm
π	円周率	—
ρ	液体の比重	—

記 号	記 号 の 定 義	単 位
σ_0	胴の組合せ一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{0c}	胴の組合せ一次一般膜応力（圧縮側）	MPa
σ_{0t}	胴の組合せ一次一般膜応力（引張側）	MPa
σ_2	地震力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
$\sigma_{2\phi}$	地震力のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
σ_{2c}	地震力のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和の変動値（圧縮側）	MPa
σ_{2t}	地震力のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和の変動値（引張側）	MPa
σ_{2xc}	地震力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}	地震力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_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力による軸方向応力	MPa
$\sigma_{x1}, \sigma_{\phi 1}$	水頭又は内圧により胴に生じる軸方向応力，円周方向応力	MPa
σ_{x2}	胴の運転時質量による軸方向引張応力	MPa
σ_{x3}	胴の空重量による軸方向圧縮応力	MPa
σ_{x4}	地震による胴に生じる軸方向応力	MPa
σ_{x5}	鉛直方向地震力による胴の軸方向引張応力	MPa
σ_{x6}	鉛直方向地震力による胴の軸方向圧縮応力	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	地震力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	地震力によりスカート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 S NC1-2005/2007）（日本機械学会 2005年9月及び2007年9月）を言う。

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 質点系の振動モデルとして考える。

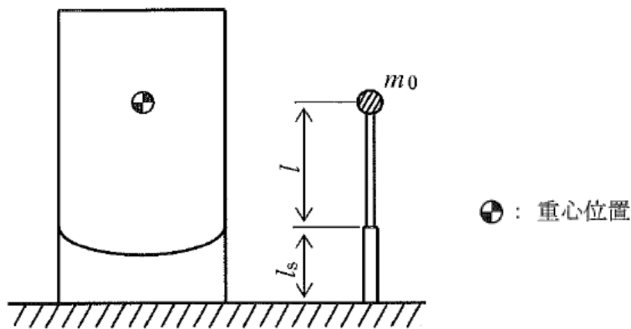


図 2-1 固有周期の計算モデル

(2) 固有周期の計算

a. 水平方向

固有周期は次による。

$$T_H = 2\pi \sqrt{\frac{m_0}{10^3 \cdot K_H}} \dots\dots\dots (2-1)$$

ここで、曲げ及びせん断変形によるばね定数 K_H は、次による。

$$K_H = \frac{1}{\left\{ \frac{l^3}{3EI} + \frac{1}{3E_s I_s} (3l^2 l_s + 3l \cdot l_s^2 + l_s^3) \right\} + \frac{l}{GA_e} + \frac{l_s}{G_s A_{se}}} \dots\dots\dots (2-2)$$

スカートに設けたマンホール等の開口部による影響を考慮とした場合、胴及びスカートの断面性能は、次による。

$$I_s = \frac{\pi}{8}(D_s + t_s)^3 t_s - \frac{1}{4}(D_s + t_s)^2 t_s Y \quad \dots\dots\dots (2-3)$$

$$Y = \sum_{j=1}^{j_i} (D_s + t_s) \sin^{-1} \left(\frac{D_j}{D_s + t_s} \right) \quad \dots\dots\dots (2-4)$$

$$A_{se} = \frac{2}{3} \{ \pi(D_s + t_s) - Y \} t_s \quad \dots\dots\dots (2-5)$$

$$I = \frac{\pi}{8}(D_i + t)^3 t \quad \dots\dots\dots (2-6)$$

$$A_e = \frac{2}{3} \pi(D_i + t)t \quad \dots\dots\dots (2-7)$$

b. 鉛直方向

鉛直方向については、剛構造とみなす。

2.2 応力の計算

静的地震力は絶対値和を適用する。なお、B、Cクラスに対する応力を計算する場合には、一次＋二次応力を計算することを要しない。また、鉛直地震力は考慮しない。

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）

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{10^{-6} \cdot g \rho H D_i}{2t} \quad \dots\dots\dots (2-8)$$

$$\sigma_{\phi 2} = \frac{10^{-6} \cdot g \rho H D_i C_v}{2t} \quad \dots\dots\dots (2-9)$$

$$\sigma_{x1} = 0 \quad \dots\dots\dots (2-10)$$

(2) 運転時質量による応力及び鉛直方向地震時の運転時質量による応力

胴がスカートと接合する点を境界とし，上部の胴に生じる圧縮応力及び下部の胴に生じる引張応力は，次のように求める。

上部の胴について（圧縮応力）

$$\sigma_{x3} = \frac{m_e g}{\pi(D_i + t)t} \dots\dots\dots (2-11)$$

$$\sigma_{x6} = \frac{C_v m_e g}{\pi(D_i + t)t} \dots\dots\dots (2-12)$$

下部の胴について

$$\sigma_{x2} = \frac{(m_o - m_e)g}{\pi(D_i + t)t} \dots\dots\dots (2-13)$$

$$\sigma_{x5} = \frac{C_v(m_o - m_e)g}{\pi(D_i + t)t} \dots\dots\dots (2-14)$$

(3) 水平方向地震力による応力

水平方向地震力により，スカート接合部の胴で最大となる曲げモーメントによる軸方向応力及び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

$$\sigma_{x4} = \frac{4C_H m_0 g l}{\pi(D_i + t)^2 t} \dots\dots\dots (2-15)$$

$$\tau = \frac{2C_H m_0 g}{\pi(D_i + t)t} \dots\dots\dots (2-16)$$

(4) 組合せ応力

(1)～(3)によって算出される胴の応力は、次により組み合わせる。

a. 一次一般膜応力

【絶対値和】

(a) 組合せ引張応力

$$\sigma_{\phi} = \sigma_{\phi_1} + \sigma_{\phi_2} \dots\dots\dots (2-17)$$

$$\sigma_{xt} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x4} + \sigma_{x5} \dots\dots\dots (2-18)$$

$$\sigma_{0t} = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_{\phi} + \sigma_{xt} + \sqrt{(\sigma_{\phi} - \sigma_{xt})^2 + 4\tau^2} \right\} \dots\dots\dots (2-19)$$

(b) 組合せ圧縮応力

$$\sigma_{\phi} = -\sigma_{\phi_1} - \sigma_{\phi_2} \dots\dots\dots (2-20)$$

$$\sigma_{xc} = -\sigma_{x1} + \sigma_{x3} + \sigma_{x4} + \sigma_{x6} \dots\dots\dots (2-21)$$

σ_{xc} が正の値（圧縮側）の場合は、組合せ圧縮応力は、次による。

$$\sigma_{0c} = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_{\phi} + \sigma_{xc} + \sqrt{(\sigma_{\phi} - \sigma_{xc})^2 + 4\tau^2} \right\} \dots\dots\dots (2-22)$$

したがって、胴に生じる一次一般膜応力の最大値は、次による。

$$\sigma_0 = \max[\sigma_{0t}, \sigma_{0c}] \dots\dots\dots (2-23)$$

b. 一次応力（膜＋曲げ）

一次応力（膜＋曲げ）は「(a)一次一般膜応力」に示す式により組合せ応力として算出した値と同じである。

c. 地震力のみによる一次+二次応力の変動値

【絶対値和】

(a) 組合せ引張応力

$$\sigma_{2\phi} = \sigma_{\phi_2} \dots\dots\dots (2-24)$$

$$\sigma_{2xt} = \sigma_{x4} + \sigma_{x5} \dots\dots\dots (2-25)$$

$$\sigma_{2t} = \sigma_{2\phi} + \sigma_{2xt} + \sqrt{(\sigma_{2\phi} - \sigma_{2xt})^2 + 4\tau^2} \dots\dots\dots (2-26)$$

(b) 組合せ圧縮応力

$$\sigma_{2\phi} = -\sigma_{\phi_2} \dots\dots\dots (2-27)$$

$$\sigma_{2xc} = \sigma_{x4} + \sigma_{x6} \dots\dots\dots (2-28)$$

$$\sigma_{2c} = \sigma_{2\phi} + \sigma_{2xc} + \sqrt{(\sigma_{2\phi} - \sigma_{2xc})^2 + 4\tau^2} \dots\dots\dots (2-29)$$

したがって、胴に生じる一次+二次応力の変動値の最大値は、次による。

$$\sigma_2 = \max[\sigma_{2t}, \sigma_{2c}] \dots\dots\dots (2-30)$$

2.2.2 スカートの応力

(1) 運転時質量による応力及び鉛直方向地震時の運転時質量による応力

スカート底部に生じる運転時質量による圧縮力及び鉛直方向地震時の運転時質量による圧縮応力は、次による。

$$\sigma_{s1} = \frac{m_0 g}{\{\pi(D_s + t_s) - Y\}t_s} \dots\dots\dots (2-31)$$

$$\sigma_{s3} = \frac{C_V m_0 g}{\{\pi(D_s + t_s) - Y\}t_s} \dots\dots\dots (2-32)$$

(2) 水平方向地震力による応力

水平方向地震力によるスカート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り生じるせん断応力は、次のように求める。

a. 下端固定の場合

$$\sigma_{s2} = \frac{M_s}{(D_s + t_s)t_s \left\{ \frac{\pi(D_s + t_s)}{4} - \frac{Y}{2} \right\}} \dots\dots\dots (2-33)$$

$$\tau_s = \frac{2C_H m_0 g}{\{\pi(D_s + t_s) - Y\}t_s} \dots\dots\dots (2-34)$$

ここで、

$$M_s = C_H m_0 g (l_s + l) \dots\dots\dots (2-35)$$

b. 組合せ応力

組合せ応力は、次による。

【絶対値和】

$$\sigma_s = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s3})^2 + 3\tau_s^2} \dots\dots\dots (2-36)$$

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、下端固定の場合は式(2-35)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条件を考慮する。(図2-2参照)次にその手順を示す。

$$t_1 = \frac{nA_b}{\pi D_c} \dots\dots\dots (2-37)$$

$$t_2 = \frac{1}{2}(D_{bo} - D_{bi}) - t_1 \dots\dots\dots (2-38)$$

a. σ_b , σ_c 仮定して係数 k を求める。

$$k = \frac{1}{1 + \frac{\sigma_b}{s \cdot \sigma_c}} \dots\dots\dots (2-39)$$

b. a を求める

$$a = \cos^{-1}(1-2k) \dots\dots\dots (2-40)$$

c. 各定数 e , z , C_t , C_c を計算する。

$$e = \frac{1}{2} \left\{ \frac{(\pi-a)\cos^2 a + \frac{1}{2}(\pi-a) + \frac{3}{2}\sin a \cos a}{(\pi-a)\cos a + \sin a} + \frac{\frac{1}{2}a - \frac{3}{2}\sin a \cos a + a \cos^2 a}{\sin a - a \cos a} \right\} \dots\dots\dots (2-41)$$

$$z = \frac{1}{2} \left\{ \cos a + \left(\frac{\frac{1}{2}a - \frac{3}{2}\sin a \cos a + a \cos^2 a}{\sin a - a \cos a} \right) \right\} \dots\dots (2-42)$$

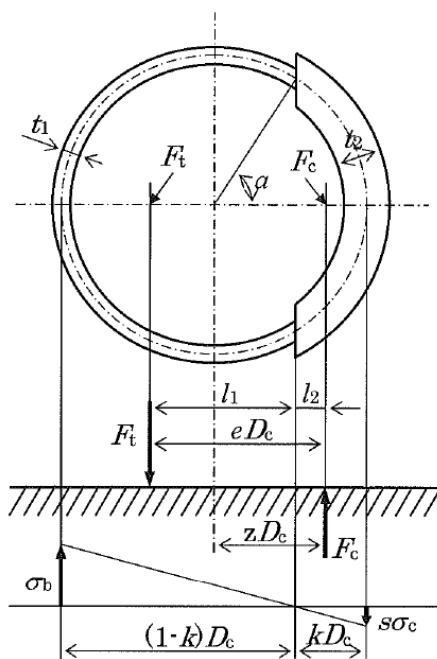


図 2-2 基礎の荷重説明図

$$C_t = \frac{2\{(\pi - a)\cos a + \sin a\}}{1 + \cos a} \dots\dots\dots$$

(2-43)

$$C_c = \frac{2(\sin a - a \cos a)}{1 - \cos a} \dots\dots\dots (2-44)$$

d. 各定数を用いて F_t , F_c を求める。

【絶対値和】

$$F_t = \frac{M_s - (1 - C_V)m_0gz \cdot D_c}{e \cdot D_c} \dots\dots\dots (2-45)$$

$$F_c = F_t + (1 - C_V)m_0g \dots\dots\dots (2-46)$$

基礎ボルトに引張力が作用しないのは、 a が π に等しくなったときであるので、式(2-41)及び式(2-42)において a を π に近づけた場合の値 $e=0.75$, $z=0.25$ を式(2-45)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。

- ・ $F_t \leq 0$ ならば引張力は作用しない。
- ・ $F_t > 0$ ならば引張力は作用しているので以降の計算を行う。

e. σ_b , σ_c を求め, a. にて仮定した値と十分に近似していることを確認する。

$$\sigma_b = \frac{2F_t}{t_1 D_c C_t} \dots\dots\dots (2-47)$$

$$\sigma_c = \frac{2F_c}{(t_2 + st_1) D_c C_c} \dots\dots\dots (2-48)$$

(2)せん断応力

$$\tau_b = \frac{C_H m_0 g}{n A_b} \dots\dots\dots (2-49)$$

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、水平方向からの設計震度を求める。

3.2 胴の応力評価

2.2.1(4)項で求めた組合せ応力が、胴の最高使用温度における表 3-1 に示す許容応力 S_a 以下であること。

なお、一次応力（膜+曲げ）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。

表 3-1 胴の許容応力

耐震 クラス	供用状態	許 容 応 力 S_a	
		一次一般膜応力	一次応力
B, C	C s	$\min [S_y, 0.6 S_u]$ 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は、 $1.2 S$ とすることができる。	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は、 $1.2 S$ とすることができる。

3.3 スカートの応力評価

2.2.2(2)b 項で求めたスカートの組合せ応力が表 3-2 に示す許容応力 f_t 以下であること。

表 3-2 スカートの許容応力

耐震 クラス	供用状態	許容引張応力 f_t
B, C	C _s	$1.5\left(\frac{F}{1.5}\right)$

3.4 基礎ボルトの応力

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。ただし、 f_{t0} は表 3-3 による。

$$f_{ts} = \min [1.4 f_{t0} - 1.6 \tau_b, f_{t0}] \quad \dots\dots\dots (2-50)$$

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。ただし、 f_{sb} は表 3-3 による。

表 3-3 基礎ボルトの許容応力

耐震 クラス	供用状態	許容引張応力 f_{t0}	許容せん断応力 f_{sb}
B, C	C _s	$1.5\left(\frac{F}{2}\right)$	$1.5\left(\frac{F}{1.5\sqrt{3}}\right)$

3.5 座屈評価

3.5.1 座屈の防止

軸圧縮荷重と曲げモーメントが負荷されるクラスMC容器は、共用状態C_s及びD_sにおいて次の不等式を満足しなければならない。

$$\frac{\alpha_B(P/A)}{f_c} + \frac{\alpha_B(M/Z)}{f_b} \leq 1 \quad \dots\dots\dots (2-51)$$

式(2-51)は $l/R \leq 5$ の場合に適用できる。ただし、強め輪等により $l/R \leq 0.5$ となる場合は、強め輪の効果を考慮することができる。ここで、

- P : 軸圧縮荷重 (N)
- A : 容器の断面積 (mm²)
- M : 曲げモーメント (N・mm)
- Z : 断面係数 (mm³)
- f_c : 軸圧縮荷重に対する座屈応力 (MPa)
- f_b : 曲げモーメントに対する座屈応力 (MPa)
- α_B : 安全率
- l : 胴長 (mm)
- R : 円筒の平均半径 (mm)

(1) 軸圧縮荷重に対する座屈応力 (f_c)

$$f_c = \begin{cases} F & (\eta \leq \eta_1) \\ F \left\{ 1 - \frac{1}{6800g} (F - \Phi_c\{\eta_2\})(\eta - \eta_1) \right\} & (\eta_1 < \eta < \eta_2) \quad \dots (2-52) \\ \Phi_c\{\eta\} & (\eta_2 \leq \eta \leq 800) \end{cases}$$

$$\Phi_c\{\eta\} = 0.6 \frac{E}{\eta} \left[1 - 0.901 \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{1}{16} \sqrt{\eta}\right) \right\} \right] \quad \dots\dots\dots (2-53)$$

(2) 曲げモーメントに対する座屈応力 (f_b)

$$f_b = \begin{cases} F & (\eta \leq \eta_1) \\ F \left\{ 1 - \frac{1}{8400g} (F - \Phi_b \{\eta_3\})(\eta - \eta_1) \right\} & (\eta_1 < \eta < \eta_3) \quad \cdots (2-54) \\ \Phi_b \{\eta\} & (\eta_3 \leq \eta \leq 800) \end{cases}$$

$$\Phi_b \{\eta\} = 0.6 \frac{E}{\eta} \left[1 - 0.731 \left\{ 1 - \exp \left(-\frac{1}{16} \sqrt{\eta} \right) \right\} \right] \quad \cdots \cdots (2-55)$$

(3) 安全率 (α_B)

安全率は、共用状態 C s 及び D s に対して、

$$\alpha_B = \begin{cases} 1.0 & (\eta \leq \eta_1) \\ 1.0 + \frac{F}{13600g} (\eta - \eta_1) & (\eta_1 < \eta < \eta_2) \quad \cdots \cdots \cdots (2-56) \\ 1.5 & (\eta_2 \leq \eta) \end{cases}$$

ここに、

F : 設計・建設規格 SSB-3121.1 において定める F の値 (MP a)

E : 材料の縦弾性係数 (MP a)

t : 円筒の板厚 (mm)

g : 重力加速度 (=9.80665m/s²)

$$\eta = R/t$$

$$\eta_1 = 1200g/F$$

$$\eta_2 = 8000g/F$$

$$\eta_3 = 9600g/F$$

付録 3 4脚たて置円筒形容器（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、4脚たて置き円筒形容器（耐震設計上の重要度分類 B クラス）の耐震性に関する計算方法を示す。

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規定 JEAC4601 -2008（社団法人 日本電気協会 原子力規格委員会 平成 20 年 12 月 19 日）に準拠する。但し、材料強度に関する規準は JSME S NC1-2005/2007 による。

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) 胴と脚の取付部で胴の局部変形を考慮する。
- (3) 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。
鉛直方向の地震力は考慮しないものとする。
- (4) 脚は、基礎ボルトにより直接基礎に取付けられるものとする。

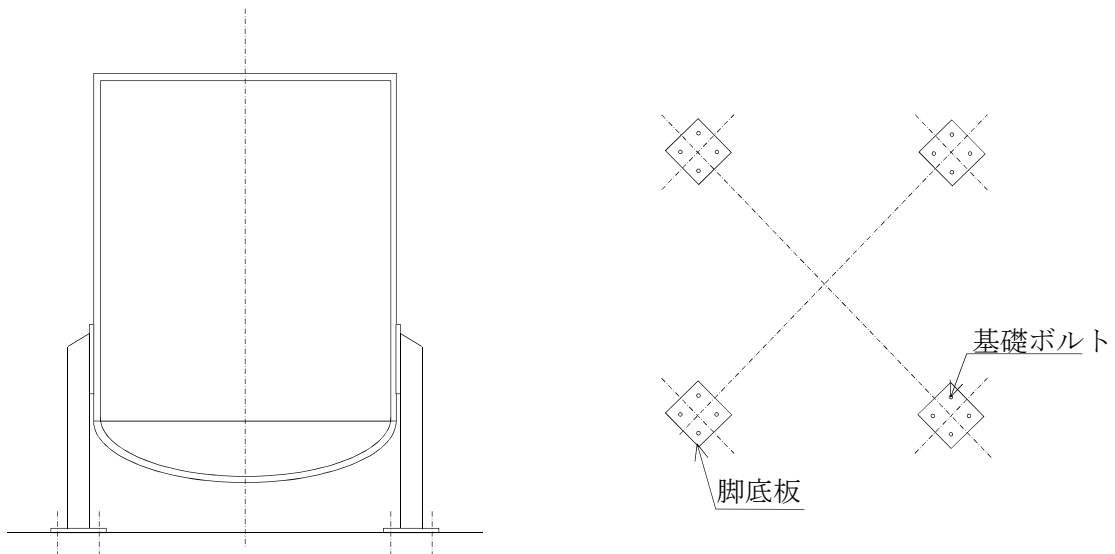


図 1-1 概要図

1.3 記号の説明

記号	記号の定義	単位
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_f	脚の圧縮フランジの断面積	mm^2
A_s	脚の断面積	mm^2
A_{sf}	脚の圧縮フランジとせいの1/6からなるT形断面の断面積	mm^2
A_{sr}	胴の半径方向軸に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{st}	脚の周方向軸に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{s1}	胴の半径方向軸に対するせん断断面積	mm^2
A_{s2}	脚の周方向軸に対するせん断断面積	mm^2
a	脚底板の半径方向幅	mm
b	脚底板の周方向幅	mm
C	脚の座屈曲げモーメントに対する修正係数	—
C_1	アタッチメントである脚の胴への取付部の幅の1/2 (胴の周方向)	mm
C_2	アタッチメントである脚の胴への取付部の幅の1/2 (胴の軸方向)	mm
C_c	応力の補正係数 (参考文献 (附 4.3-2) より得られる値)	—
C_H	水平方向設計震度	—
C_l	応力の補正係数 (参考文献 (附 4.3-2) より得られる値)	—
C_v	鉛直方向設計震度	—
D_i	胴の内径	mm
d_1	脚底板端面から基礎ボルト中心までの半径方向の距離	mm
d_2	脚底板端面から基礎ボルト中心までの周方向の距離	mm
d_b	基礎ボルトの外径	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	MPa
E_s	脚の縦弾性係数 設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表1に定める値 基礎ボルトにおける係数	MPa
e	脚中心から偏心荷重作用点までの距離	mm
F	材料の許容応力を決定する場合の基準値。なお、支持構造物の許容応力は、設計・建設規格 SSB-3121.1 又は SSB-3131 に定める値。	MPa
F_0	振動モデル系における水平力	N

記号	記号の定義	単位
f_{bc}	脚の許容圧縮応力	MPa
f_{br}	脚の半径方向軸まわりの許容曲げ応力	MPa
f_{bt}	脚の半径方向に直角な方向の軸まわりの許容曲げ応力	MPa
f_t	脚の許容引張応力	MPa
G	胴のせん断弾性係数	MPa
G_s	脚のせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
H	水頭	mm
h	脚断面のせい	mm
i	脚の弱軸についての断面2次半径	mm
i_f	脚の圧縮フランジとせいの 1/6 からなる T形断面のウェブ軸まわりの断面2次半径	mm
I_{sr}	脚の半径方向軸に対する断面2次モーメント	mm ⁴
I_{st}	脚の周方向軸に対する断面2次モーメント	mm ⁴
I_{sf}	脚の圧縮フランジとせいの 1/6 からなる T形断面のウェブ軸まわりの断面2次モーメント	mm ⁴
J_s	脚のねじりモーメント係数	mm ⁴
K_1, K_2	参考文献 (附 4.3-2) より得られる定数	—
K_c	胴の脚つけ根部における周方向曲げモーメントに対する局部ばね定数 (参考文献 (附 4.3-1) より得られる値)	—
K_H	ばね定数 (水平方向)	N/mm
K_l	胴の脚つけ根部における長手方向曲げモーメントに対する局部ばね定数 (参考文献 (附 4.3-1) より得られる値)	N/mm
K_r	胴の脚つけ根部における半径方向荷重に対する局部ばね定数 (参考文献 (附 4.3-1) より得られる値)	N/mm
k_1	参考文献 (附 4.3-2) によるアタッチメントパラメータ軸方向の補正係数	—
k_c	参考文献 (附 4.3-2) によるアタッチメントパラメータ軸方向の補正係数	—
l	脚の長さ	mm
l_c	脚の中立軸間の距離	mm
l_g	基礎から容器上部重心までの距離	mm
l_k	脚の有効座屈長さ	mm
M_1	水平方向地震力 (Z方向) による胴の脚つけ根部の鉛直方向モーメント	N・mm

記 号	記 号 の 定 義	単 位
M_3	水平方向地震力 (Z 方向) による胴の脚つけ根部のねじりモーメント	N・mm
M_c	水平方向地震力 (Z 方向) による胴の脚つけ根部の周方向モーメント	N・mm
M_1	運転時質量による胴の脚つけ根部の鉛直方向モーメント	N・mm
M_{12}	鉛直地震力による胴の脚つけ根部の鉛直方向モーメント	N・mm
M_{s1}, M_{s2}	脚の上下両端に作用する曲げモーメント	N・mm
M_{x1}	水平方向地震力 (X 方向) により第 1 脚及び第 4 脚の底部に働く合成モーメント	N・mm
M_{x2}	水平方向地震力 (X 方向) により第 2 脚及び第 3 脚の底部に働く合成モーメント	N・mm
M_{z1}	水平方向地震力 (Z 方向) により第 1 脚の底部に働く合成モーメント	N・mm
M_{z2}	水平方向地震力 (Z 方向) により第 2 脚及び第 4 脚の底部に働く合成モーメント	N・mm
M_{z3}	水平方向地震力 (Z 方向) により第 3 脚の底部に働く合成モーメント	N・mm
m_0	運転時質量	kg
N_x	胴に生じる軸方向の膜力	N/mm
N_ϕ	胴に生じる周方向の膜力	N/mm
n	脚 1 個あたりの基礎ボルトの本数	—
n_1, n_2	引張りを受ける基礎ボルトの本数	—
P	運転時質量による胴の脚つけ根部の半径方向荷重	N
P_1	水平方向地震力 (Z 方向) による胴の脚つけ根部の半径方向荷重	N
P_2	鉛直方向地震力による胴の脚つけ根部の半径方向荷重	N
P_r	最高使用圧力	MPa
Q	水平方向地震力 (Z 方向) による胴の脚つけ根部の周方向荷重	N
R	運転時質量による脚の軸力	N
R_1	水平方向地震力 (Z 方向) により脚に作用する軸力	N
R_2	鉛直方向地震力により脚に作用する軸力	N
R_{s1}	運転時質量 (圧縮) により脚に作用する軸力	N
R_{s2}	運転時質量 (圧縮) により脚に作用する軸力	N

記号	記号の定義	単位
R_{x1}	水平方向地震力（X方向）により第1脚及び第4脚に作用する軸力	N
R_{x2}	水平方向地震力（X方向）により第2脚及び第3脚に作用する軸力	N
R_{z1}	水平方向地震力（Z方向）により第1脚に作用する軸力	N
R_{z2}	水平方向地震力（Z方向）により第2脚及び第4脚に作用する軸力	N
R_{z3}	水平方向地震力（Z方向）により第3脚に作用する軸力	N
r_m	胴の平均半径	mm
T_H	水平方向固有周期	s
t	胴の板厚	mm
u	脚の中心軸から胴の板厚中心までの距離	mm
X_n	基礎が圧縮力を受ける幅	mm
Z_{sp}	脚のねじり断面係数	mm ³
Z_{sr}	脚の半径方向軸に対する断面係数	mm ³
Z_{st}	脚の周方向軸に対する断面係数	mm ³
$\beta,$ $\beta_1, \beta_2,$ β_c, β_l	} 参考文献（附 4.3-2）によるアタッチメントパラメータ	—
γ		参考文献（附 4.3-2）によるシェルパラメータ
δ_H	水平力 F_0 による胴重心の変位量	mm
Δ_r	運転時質量による胴の半径方向局部変位量	mm
Δ_{r1}	水平力 F_0 による胴の半径方向局部変位量	mm
Δ_{x1}	水平力 F_0 による第1脚上端の水平方向変位量	mm
Δ_{x3}	水平力 F_0 による第2脚上端の水平方向変位量	mm
Δ_{y1}	水平力 F_0 による第1脚の鉛直方向変位量	mm
θ	運転時質量による胴の脚つけ根部における局部傾き角	rad
θ_0	水平力 F_0 による胴の中心軸の傾き角	rad
θ_1	水平力 F_0 による第1脚の傾き角	rad
θ_2	水平力 F_0 による胴の第1脚つけ根部における局部傾き角	rad
θ_3	水平力 F_0 による第2脚の傾き角	rad
ν	座屈に対する安全率	—
Λ	脚の限界細長比	—
λ	脚の有効細長比	—
π	円周率	—

記号	記号の定義	単位
ρ	液体の比重	—
$\sigma_{0\phi}$	胴の周方向一次一般膜応力	MPa
σ_{0x}	胴の軸方向一次一般膜応力	MPa
$\sigma_{x11} \sim \sigma_{x14}$	水平方向地震力（Z方向）が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
$\sigma_{x15} \sim \sigma_{x16}$	水平方向地震力（X方向）が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
$\sigma_{x21} \sim \sigma_{x24}$	水平方向地震力（Z方向）が作用した場合の胴の組合せ一次＋二次応力	MPa
$\sigma_{x25} \sim \sigma_{x26}$	水平方向地震力（X方向）が作用した場合の胴の組合せ一次＋二次応力	MPa
$\sigma_{b1} \sim \sigma_{b2}$	水平方向地震力（Z方向）により基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{b4}, σ_{b5}	水平方向地震力（X方向）により基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{s1}, σ_{s2}	運転時質量による脚の圧縮応力，曲げ応力	MPa
σ_{s3}, σ_{s4}	鉛直方向地震力による脚の圧縮応力，曲げ応力	MPa
$\sigma_{s5} \sim \sigma_{s7}$	水平方向地震力（Z方向）による脚の圧縮応力，曲げ応力	MPa
$\sigma_{s8} \sim \sigma_{s10}$	水平方向地震力（X方向）による脚の圧縮応力，曲げ応力	MPa
σ_{sc}	脚の圧縮応力の和	MPa
σ_{sr}	脚の半径方向軸まわりの圧縮側曲げ応力の和	MPa
σ_{st}	脚の半径方向に直角な軸まわりの圧縮側曲げ応力の和	MPa
σ_{sx}	水平方向地震力（X方向）が作用した場合の脚の組合せ応力	MPa
$\sigma_{sz1}, \sigma_{sz2}$	水平方向地震力（Z方向）が作用した場合の脚の組合せ応力	MPa
$\sigma_{\phi1}, \sigma_{x1}$	静水頭又は内圧による胴の周方向応力，軸方向応力	MPa
σ_{x2}	運転時質量による胴の軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi3}, \sigma_{x3}$	運転時質量により生じる鉛直方向モーメントによる胴の周方向応力，軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi4}, \sigma_{x4}$	運転時質量により生じる半径方向荷重による胴の周方向応力，軸方向応力	MPa
σ_{x5}	地震力が作用した場合の転倒モーメントによる胴の軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi7}, \sigma_{x7}$	鉛直方向地震力による胴の周方向応力，軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi8}, \sigma_{x8}$	鉛直方向地震力により生じる鉛直方向モーメントによる胴の周方向応力，軸方向応力	MPa

記号	記号の定義	単位
$\sigma_{\Phi 9}, \sigma_{x9}$	鉛直方向地震力により生じる半径方向荷重による胴の周方向応力, 軸方向応力	MPa
$\sigma_{\Phi 10}, \sigma_{x10}$	鉛直方向地震力により生じる鉛直方向モーメントによる胴の局部応力	MPa
$\sigma_{\Phi 11}, \sigma_{x11}$	鉛直方向地震力により生じる半径方向荷重による胴の局部応力	MPa
$\sigma_{\Phi 61}, \sigma_{x61}$ $\sigma_{\Phi 62}, \sigma_{x62}$	水平方向地震力 (Z 方向) が作用した場合の半径方向荷重による胴の周方向応力, 軸方向応力	MPa
$\sigma_{\Phi 71}, \sigma_{x71}$ $\sigma_{\Phi 72}, \sigma_{x72}$	水平方向地震力 (Z 方向) が作用した場合の鉛直方向モーメントによる胴の周方向応力, 軸方向応力	MPa
$\sigma_{\Phi 81}, \sigma_{x81}$ $\sigma_{\Phi 82}, \sigma_{x82}$	水平方向地震力 (Z 方向) が作用した場合の周方向モーメントによる胴の周方向応力, 軸方向応力	MPa
$\sigma_{\Phi 91}, \sigma_{x91}$ $\sigma_{\Phi 92}, \sigma_{x92}$	水平方向地震力 (X 方向) が作用した場合の半径方向荷重による胴の周方向応力, 軸方向応力	MPa
$\sigma_{\Phi 101}, \sigma_{x101}$ $\sigma_{\Phi 102}, \sigma_{x102}$	水平方向地震力 (X 方向) が作用した場合の鉛直方向モーメントによる胴の周方向応力, 軸方向応力	MPa
$\sigma_{\Phi 111}, \sigma_{x111}$ $\sigma_{\Phi 112}, \sigma_{x112}$	水平方向地震力 (X 方向) が作用した場合の周方向モーメントによる胴の周方向応力, 軸方向応力	MPa
$\sigma_{xx1}, \sigma_{xx2}$	水平方向地震力 (X 方向) が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{xx3}, \sigma_{xx4}$	水平方向地震力 (X 方向) が作用した場合の胴の軸方向一次+二次応力の和	MPa
$\sigma_{xz1} \sim \sigma_{xz4}$	水平方向地震力 (Z 方向) が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{xz5} \sim \sigma_{xz8}$	水平方向地震力 (Z 方向) が作用した場合の胴の軸方向一次+二次応力の和	MPa
$\sigma_{\Phi x1}, \sigma_{\Phi x2}$	水平方向地震力 (X 方向) が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa

記号	記号の定義	単位
$\sigma_{\Phi x3}, \sigma_{\Phi x4}$	水平方向地震力（X方向）が作用した場合の胴の周方向一次 +二次応力の和	MPa
$\sigma_{\Phi z1} \sim \sigma_{\Phi z4}$	水平方向地震力（Z方向）が作用した場合の胴の周方向一次 応力の和	MPa
$\sigma_{\Phi z5} \sim \sigma_{\Phi z8}$	水平方向地震力（Z方向）が作用した場合の胴の周方向一次 +二次応力の和	MPa
τ_3	水平方向地震力（Z方向）により胴の脚つけ根部に生じるね じりモーメントによるせん断応力	MPa
τ_6	水平方向地震力（X方向）により胴の脚つけ根部に生じるね じりモーメントによるせん断応力	MPa
τ_{b1}, τ_{b2}	水平方向地震力（Z方向）により基礎ボルトに生じるせん断 応力	MPa
τ_{b4}, τ_{b5}	水平方向地震力（X方向）により基礎ボルトに生じるせん断 応力	MPa
τ_{c1}	水平方向地震力（Z方向）により胴の脚つけ根部に生じる周 方向せん断応力	MPa
τ_{c4}	水平方向地震力（X方向）により胴の脚つけ根部に生じる周 方向せん断応力	MPa
τ_{l1}	運転時質量により胴の脚つけ根部に生じる軸方向せん断応 力	MPa
τ_{l2}	水平方向地震力（Z方向）により胴の脚つけ根部に生じる軸 方向せん断応力	MPa
τ_{l3}	鉛直方向地震力により胴の脚つけ根部に生じる軸方向せん 断応力	MPa
τ_{l5}	水平方向地震力（X方向）により胴の脚つけ根部に生じる軸 方向せん断応力	MPa
τ_{s1}	運転時質量による脚のせん断応力	MPa
τ_{s2}	鉛直方向地震力による脚のせん断応力	MPa
τ_{s3}, τ_{s4}	水平方向地震力（Z方向）による脚のせん断応力	MPa
τ_{s5}	水平方向地震力（X方向）による脚のせん断応力	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 S NC1-2005/2007）（日本機械学会 2005年9月及び2007年9月）を言う。参考文献（附 4.3-1）とは、Bijlaard, P. P.: Stresses from Radial Loads and External Moments in Cylindrical Pressure Vessels, *The Welding Journal*, 34(12), Research Supplement, 1955. を言う。参考文献（附 4.3-2）とは、Wichman, K. R. et al. : Local Stress in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings, Welding Research Council bulletin, March 1979 revision of WRC bulletin 107/August 1965. を言う。

2. 計算方法

2.1 固有周期の計算方法

(1) 計算モデル

本評価法は、図 2-1 に示す構造をもつ 4 脚たて置円筒形容器に適用する。

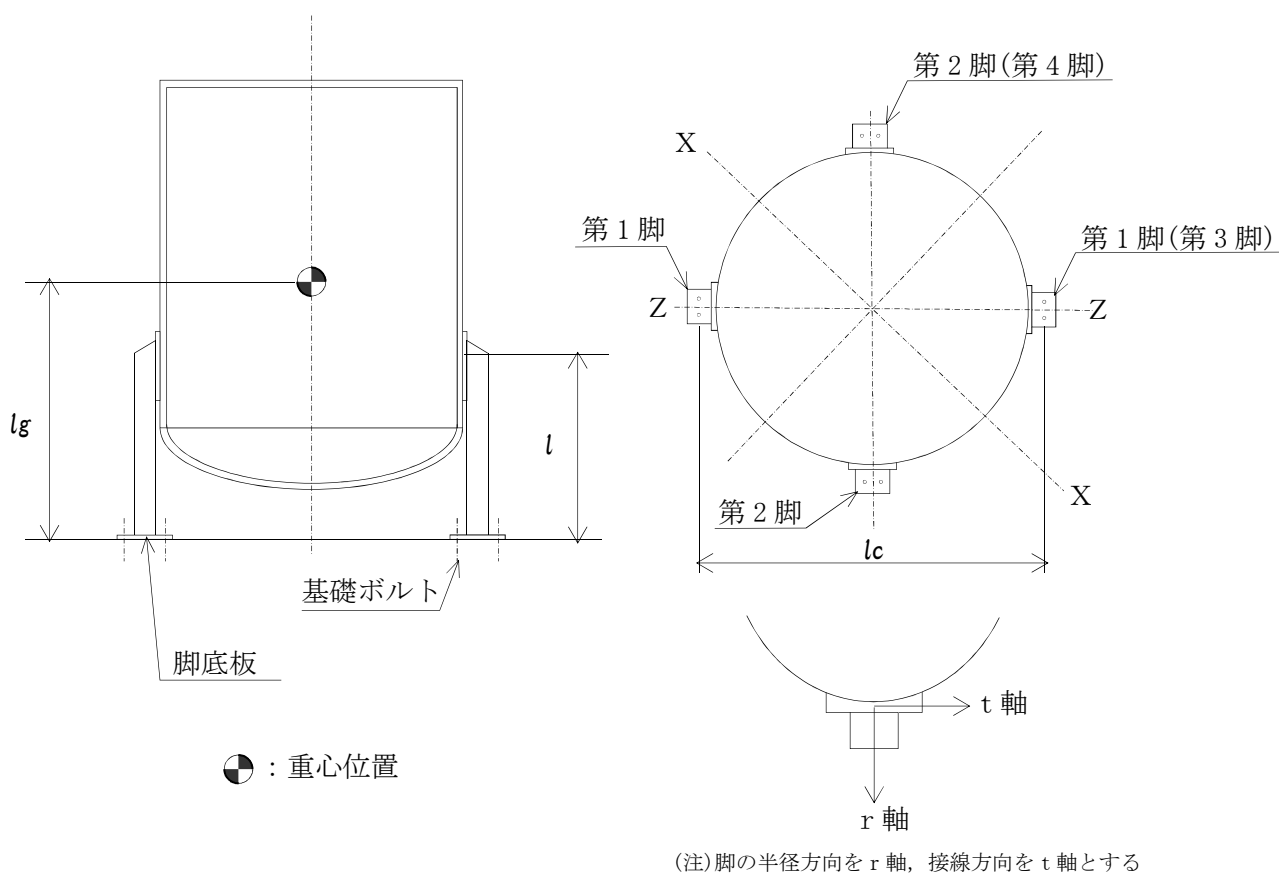


図 2-1 固有周期の計算モデル

- a. 容器及び内容物の質量は、重心に集中したものとする。
- b. 脚を基礎に固定する基礎ボルトが、脚の変形方向に直角方向より見て脚1本につき1列の場合は脚下端を単純支持とする。その他の場合は、固定とする。
- c. 水平方向については、脚と胴の曲げ変形及びせん断変形を考慮する。
- d. 胴板と脚との取付部で、胴の局部変形を考慮する。
- e. 地震力は、容器に対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用するものとし、応力計算において組み合わせる。なお、水平方向については地震力の方向と4本の脚の取り付け方向との関係を考慮して、図2-1に示すX方向とZ方向について評価する。

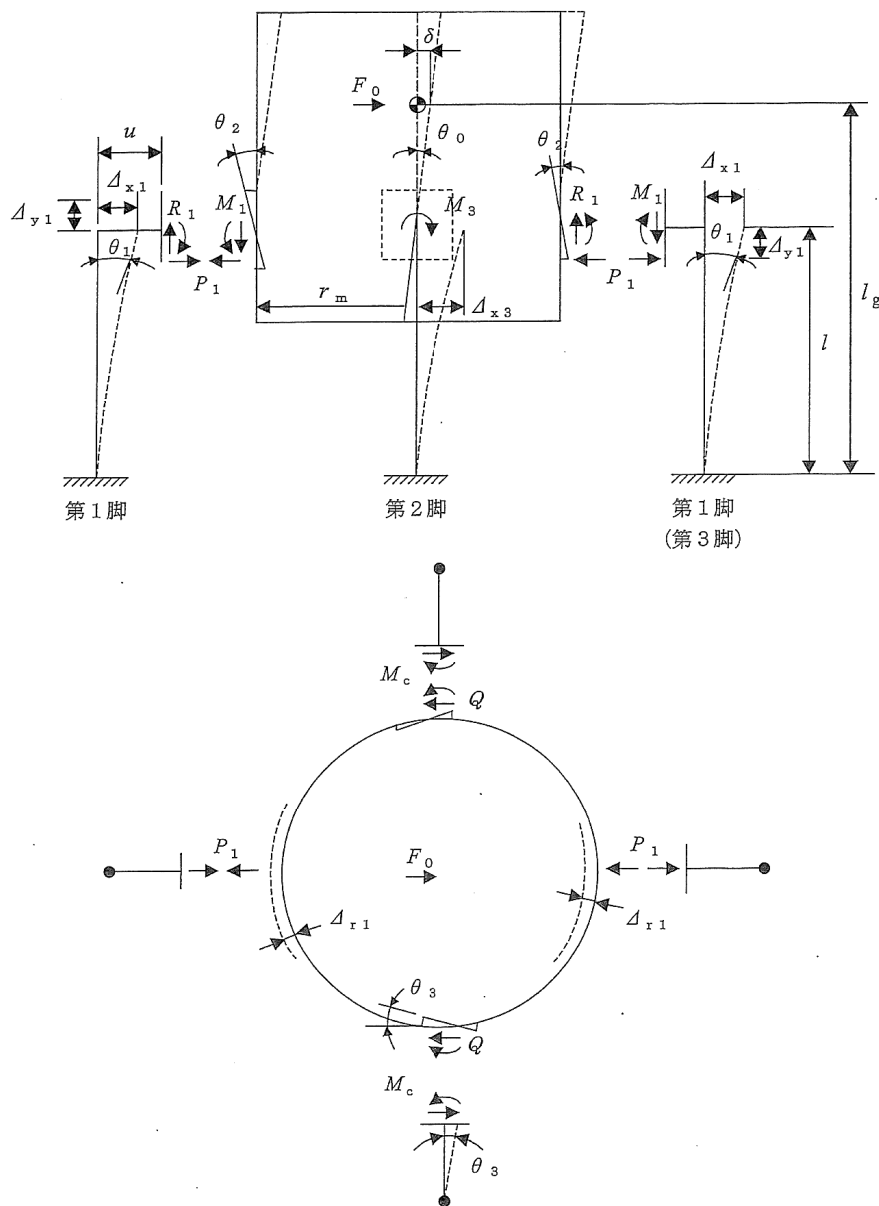


図2-2 脚下端が第1脚，第2脚とも固定の場合の変形モード

(2) 固有周期の計算

a. 水平方向

固有周期 T_H は、下式による。

$$T_H = 2\pi \sqrt{\frac{m_0}{10^3 \cdot K_H}} \quad \dots\dots\dots (2-1)$$

ばね定数 K_H は、胴重心に水平力 F_0 を加えたときの変位量 δ_H より求める。

$$K_H = \frac{F_0}{\delta_H} \quad \dots\dots\dots (2-2)$$

$$\delta_H = \Delta_{x1} + \Delta_{r1} + (l_g - l)\theta_0 + \frac{(l_g - l)^3}{3EI} F_0 + \frac{(l_g - l)}{GA_e} F_0 \quad \dots\dots (2-3)$$

ここで、胴の断面性能 I と A_e は下式による。

$$I = \frac{\pi}{8} (D_i + t)^3 t \quad \dots\dots\dots (2-4)$$

$$A_e = \frac{2}{3} \pi (D_i + t)t \quad \dots\dots\dots (2-5)$$

脚上端の水平方向変位 Δ_{x1} 、胴の半径方向局部変位 Δ_{r1} 及び胴の中心軸の傾き角 θ_0 は、胴と脚との境界部における変位量及び傾き角を変数とした荷重及びモーメントの釣合方程式を立て、連立方程式として解くことで求める。

下記(a) から(d) に釣合方程式を示す。

(a) 水平力の釣合より

$$2P_1 + 2Q = F_0 \quad \dots\dots\dots (2-6)$$

(b) 転倒モーメントの釣合より

$$2M_1 - 2M_3 + 2R_1 r_m = F_0 (l_g - l) \quad \dots\dots\dots (2-7)$$

ここで、

$$r_m = (D_i + t)/2 \quad \dots\dots\dots (2-8)$$

第1脚の水平方向変位量 Δ_{x1} 、傾き角 θ_1 、鉛直方向変位量 Δ_{y1} は次による。

$$\Delta_{x1} = \frac{P_1 l^3}{3E_s I_{st}} + \frac{P_1 l}{G_s A_{sr}} + \frac{(M_1 - R_1 u) l^2}{2E_s I_{st}} \dots\dots\dots (2-9)$$

$$\theta_1 = \frac{(M_1 - R_1 u) l}{E_s I_{st}} + \frac{P_1 l^2}{2E_s I_{st}} \dots\dots\dots (2-10)$$

$$\Delta_{y1} = \frac{R_1 l}{A_s E_s} \dots\dots\dots (2-11)$$

ここで、

$$u = \frac{l_c}{2} - r_m \dots\dots\dots (2-12)$$

胴の半径方向局部変位量 Δ_{r1} と局部傾き角 θ_2 は、次による。

$$\Delta_{r1} = \frac{K_r P_1}{r_m E} \dots\dots\dots (2-13)$$

$$\theta_2 = \frac{K_l M_1}{r_m^3 \beta_1^2 E} \dots\dots\dots (2-14)$$

ここで、

$$\beta_1 = k_l \sqrt[3]{\beta_1 \beta_2^2} \quad , \quad \beta_1 = \frac{C_1}{r_m} \quad , \quad \beta_2 = \frac{C_2}{r_m} \quad \dots\dots\dots (2-15)$$

第2脚の傾き角 θ_0 と水平方向変位量 Δ_{x3} は、次による。

$$\theta_0 = -\frac{M_3 l}{E_s I_{sr}} + \frac{Q \cdot l^2}{2E_s I_{sr}} \dots\dots\dots (2-16)$$

$$\Delta_{x3} = \frac{Q l^3}{3E_s I_{sr}} + \frac{Q l}{G_s A_{st}} - \frac{M_3 l^2}{2E_s I_{sr}} \dots\dots\dots (2-17)$$

(c) 第1脚と胴の傾き角の釣合より

$$\theta_1 + \theta_2 - \theta_0 = 0 \dots\dots\dots (2-18)$$

第2脚のねじり角と胴の局部傾き角は等しいことから

$$\theta_3 = \frac{(Qu - M_c) l}{G_s J_s} = \frac{K_c M_c}{r_m^3 \beta_c^2 E} \dots\dots\dots (2-19)$$

ここで、

$$\beta_c = k_c \sqrt[3]{\beta_1^2 \beta_2} \quad , \quad \beta_1 = \frac{C_1}{r_m} \quad , \quad \beta_2 = \frac{C_2}{r_m} \quad \dots\dots\dots (2-20)$$

(d) 脚と胴の水平方向変位の釣合より

$$\Delta_{x1} + \Delta_{r1} = \Delta_{x3} + u\theta_3 \quad \dots\dots\dots (2-21)$$

さらに、鉛直方向変位の釣合より

$$\Delta_{y1} - u\theta_1 - r_m\theta_0 = 0 \quad \dots\dots\dots (2-22)$$

式(2-22)へ、式(2-10)、式(2-11)、式(2-16)を代入し

$$\frac{R_1 l}{A_s E_s} - \frac{u(M_1 - R_1 u)l}{E_s I_{st}} - \frac{u P_1 l^2}{2 E_s I_{st}} + \frac{r_m M_3 l}{E_s I_{sr}} - \frac{r_m Q l^2}{2 E_s I_{sr}} = 0 \quad \dots\dots (2-23)$$

式(2-18)へ、式(2-10)、式(2-14)、式(2-16)を代入し

$$\frac{M_3 l}{E_s I_{sr}} - \frac{Q l^2}{2 E_s I_{sr}} + \frac{(M_1 - R_1 u)l}{E_s I_{st}} + \frac{P_1 l^2}{2 E_s I_{st}} + \frac{K_1 M_1}{r_m^3 \beta_1^2 E} = 0 \quad \dots\dots (2-24)$$

式(2-19)を変形して

$$\frac{u Q l}{G_s J_s} - \frac{M_c l}{G_s J_s} - \frac{K_c M_c}{r_m^3 \beta_c^2 E} = 0 \quad \dots\dots\dots (2-25)$$

式(2-21)へ、式(2-9)、式(2-13)、式(2-17)、式(2-19)を代入して、

$$\begin{aligned} \frac{P_1 l^3}{3 E_s I_{st}} + \frac{P_1 l}{G_s A_{sr}} + \frac{(M_1 - R_1 u)l^2}{2 E_s I_{st}} + \frac{K_r P_1}{r_m E} \\ - \frac{Q l^3}{3 E_s I_{sr}} - \frac{Q l}{G_s A_{st}} + \frac{M_3 l^2}{2 E_s I_{sr}} - \frac{u K_c M_c}{r_m^3 \beta_c^2 E} = 0 \quad \dots\dots (2-26) \end{aligned}$$

式(2-6)、式(2-7)及び式(2-23)～式(2-26)の方程式から、水平力F₀を加えたときの脚上端の水平方向変位量Δ_{x1}、胴の半径方向局部変位量Δ_{r1}及び胴の中心軸の傾き角θ₀を求める。

b. 鉛直方向

鉛直方向については、剛構造とみなす。

2.2 応力の計算

静的地震力は絶対値和を適用する。

なお、B、Cクラスに対する応力を計算する場合には、一次＋二次応力を計算することを要しない。また、鉛直地震力は考慮しない。

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）

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{10^{-6} \cdot g \rho H D_i}{2t} \quad \dots\dots\dots (2-27)$$

$$\sigma_{\phi 7} = \frac{10^{-6} \cdot g \rho H D_i C_v}{2t} \quad \dots\dots\dots (2-28)$$

$$\sigma_{x1} = 0 \quad \dots\dots\dots (2-29)$$

(2) 運転時質量及び鉛直方向地震力による応力

$$\sigma_{x2} = \frac{m_0 g}{\pi(D_i + t)t} \quad \dots\dots\dots (2-30)$$

$$\sigma_{x7} = \frac{m_0 g C_v}{\pi(D_i + t)t} \quad \dots\dots\dots (2-31)$$

(3) 運転時質量による胴の脚つけ根部の応力

脚下端が固定の場合は、

$$R = \frac{m_0 g}{4} \quad \dots\dots\dots (2-32)$$

脚の半径方向変位量と胴の半径方向局部変位量は等しいことから

$$\Delta_r = \frac{-Pl^3}{3E_s I_{st}} + \frac{-Pl}{G_s A_{sr}} + \frac{(Ru - M_l)l^2}{2E_s I_{st}} = \frac{K_r P}{r_m E} \quad \dots\dots\dots (2-33)$$

また、脚下端の傾き角と胴の局部傾き角は等しいことから

$$\theta = \frac{(Ru - M_l)l}{E_s I_{st}} - \frac{Pl^2}{2E_s I_{st}} = \frac{K_l M_l}{r_m^3 \beta_1^2 E} \dots\dots\dots (2-34)$$

式(2-32)から式(2-34)までを連立させることにより、運転時質量による胴の脚つけ根部の鉛直方向モーメント及び半径方向荷重を次式により求める。

$$M_l = \frac{\left(\frac{l^3}{12E_s I_{st}} + \frac{l}{G_s A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m E} \right) m_0 g u l}{\left(\frac{l^3}{3E_s I_{st}} + \frac{l}{G_s A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m E} \right) \left(\frac{l}{E_s I_{st}} + \frac{K_l}{r_m^3 \beta_1^2 E} \right) - \left(\frac{l^2}{2E_s I_{st}} \right)^2} \dots\dots\dots (2-35)$$

$$P = \frac{\frac{m_0 g}{4} u - M_l}{2E_s I_{st}} \frac{l^2}{\frac{l^3}{3E_s I_{st}} + \frac{l}{G_s A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m E}} \dots\dots\dots (2-36)$$

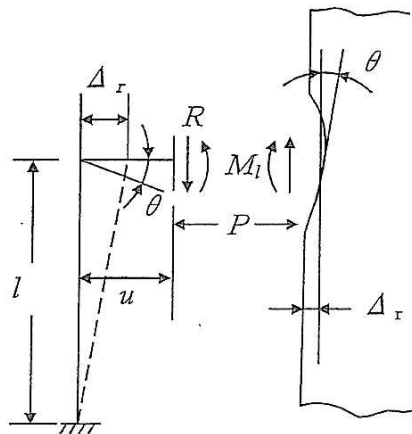


図2-3 脚下端が固定されている場合の脚及び胴の変形

鉛直方向モーメント M_l により生じる胴の局部応力は、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β によって参考文献(附4.3-2)の表より求めた値(以下*を付記する)を用いて次式により算定する。

$$\sigma_{\phi 3} = \left[\frac{N_{\phi}}{M_1 / (r_m^2 \beta)} \right]^* \left(\frac{M_1}{r_m^2 t \beta_1} \right) C_1 \quad \dots \quad (2-37)$$

$$\sigma_{x3} = \left[\frac{N_x}{M_1 / (r_m^2 \beta)} \right]^* \left(\frac{M_1}{r_m^2 t \beta_1} \right) C_1 \quad \dots \quad (2-38)$$

ここで,

$$r_m = (D_i + t) / 2 \quad \dots \quad (2-39)$$

$$\gamma = r_m / t \quad \dots \quad (2-40)$$

$$\beta_1 = C_1 / r_m \quad \dots \quad (2-41)$$

$$\beta_2 = C_2 / r_m \quad \dots \quad (2-42)$$

$$\beta_1 = \sqrt[3]{\beta_1 \beta_2^2} \quad \dots \quad (2-43)$$

β は次式による。

$\beta_1 / \beta_2 \geq 1$ のとき

$$\beta = \left\{ 1 - \frac{1}{3} (\beta_1 / \beta_2 - 1) (1 - K_1) \right\} \sqrt{\beta_1 \beta_2} \quad \dots \quad (2-44)$$

$\beta_1 / \beta_2 < 1$ のとき

$$\beta = \left\{ 1 - \frac{4}{3} (1 - \beta_1 / \beta_2) (1 - K_2) \right\} \sqrt{\beta_1 \beta_2} \quad \dots \quad (2-45)$$

半径方向荷重 P により生じる胴の局部応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 4} = \left[\frac{N_{\phi}}{P / r_m} \right]^* \left(\frac{P}{r_m t} \right) \quad \dots \quad (2-46)$$

$$\sigma_{x4} = \left[\frac{N_x}{P / r_m} \right]^* \left(\frac{P}{r_m t} \right) \quad \dots \quad (2-47)$$

反力 R によるせん断応力は、次による。

$$\tau_{11} = \frac{R}{4C_2 t} \quad \dots \quad (2-48)$$

(4) 水平方向地震力による胴の曲げ応力

$$\sigma_{x5} = \frac{m_0 g C_H (l_g - l)(D_i + 2t)}{2I} \dots\dots\dots (2-49)$$

(5) 水平方向地震力（Z方向）による胴の脚つけ根部の応力

2.1(2)項において単位荷重 F_0 を $m_0 g C_H$ に置き換えて得られる数値を使用して、胴の脚つけ根部の応力を次のように求める。

a. 一次応力

半径方向荷重 P_1 により生じる胴の局部応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 61} = \left[\frac{N_\phi}{P_1 / r_m} \right]^* \left(\frac{P_1}{r_m t} \right) \dots\dots\dots (2-50)$$

$$\sigma_{x61} = \left[\frac{N_x}{P_1 / r_m} \right]^* \left(\frac{P_1}{r_m t} \right) \dots\dots\dots (2-51)$$

鉛直方向曲げモーメント M_1 により生じる胴の局部応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 71} = \left[\frac{N_\phi}{M_1 / (r_m^2 \beta)} \right]^* \left(\frac{M_1}{r_m^2 t \beta_1} \right) C_l \dots\dots\dots (2-52)$$

$$\sigma_{x71} = \left[\frac{N_x}{M_1 / (r_m^2 \beta)} \right]^* \left(\frac{M_1}{r_m^2 t \beta_1} \right) C_l \dots\dots\dots (2-53)$$

周方向曲げモーメント M_c により生じる胴の局部応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 81} = \left[\frac{N_\phi}{M_c / (r_m^2 \beta)} \right]^* \left(\frac{M_c}{r_m^2 t \beta_c} \right) C_c \dots\dots\dots (2-54)$$

$$\sigma_{x81} = \left[\frac{N_x}{M_c / (r_m^2 \beta)} \right]^* \left(\frac{M_c}{r_m^2 t \beta_c} \right) C_c \dots\dots\dots (2-55)$$

ここで、 β_c は次式による。

$$\beta_c = \sqrt[3]{\beta_1^2 \beta_2} \dots\dots\dots (2-56)$$

周方向せん断力Qによるせん断応力は、次による。

$$\tau_{c1} = \frac{Q}{4C_1 t} \quad \dots\dots\dots (2-57)$$

鉛直方向せん断力R₁によるせん断応力は、次による。

$$\tau_{l2} = \frac{R_1}{4C_2 t} \quad \dots\dots\dots (2-58)$$

ねじりモーメントM₃により生じる胴の局部せん断応力は、次による。

$$\tau_3 = \frac{M_3}{2\pi C_1^2 t} \quad \dots\dots\dots (2-59)$$

ここで、C₁ > C₂のときはC₁をC₂に置き換える。

b. 二次応力

半径方向荷重P₁により生じる胴の局部曲げ応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 62} = \left[\frac{M_\phi}{P_1} \right]^* \left(\frac{6P_1}{t^2} \right) \quad \dots\dots\dots (2-60)$$

$$\sigma_{x62} = \left[\frac{M_x}{P_1} \right]^* \left(\frac{6P_1}{t^2} \right) \quad \dots\dots\dots$$

(2-61)

鉛直方向曲げモーメントM₁により生じる胴の局部曲げ応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 72} = \left[\frac{M_\phi}{M_1 / (r_m \beta)} \right]^* \left(\frac{6M_1}{r_m t^2 \beta_l} \right) \quad \dots\dots\dots (2-62)$$

$$\sigma_{x72} = \left[\frac{M_x}{M_1 / (r_m \beta)} \right]^* \left(\frac{6M_1}{r_m t^2 \beta_l} \right) \quad \dots\dots\dots (2-63)$$

ただし、式(2-43)により求められたアタッチメントパラメータβ_{0k}にさらにk₀を乗じた値とする。

周方向曲げモーメントM_cにより生じる胴の局部曲げ応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 82} = \left[\frac{M_\phi}{M_c / (r_m \beta)} \right]^* \left(\frac{6M_c}{r_m t^2 \beta_c} \right) \quad \dots\dots\dots (2-64)$$

$$\sigma_{x82} = \left[\frac{M_x}{M_c / (r_m \beta)} \right]^* \left(\frac{6M_c}{r_m t^2 \beta_c} \right) \dots\dots\dots (2-65)$$

ただし、式(2-56)により求められたアタッチメントパラメータ β_c にさらに k_c を乗じた値とする。

(6) 水平方向地震力(X方向)による胴の脚つけ根部の応力

a. 一次応力

半径方向荷重 P_1 により生じる胴の局部応力は、次による。

$$\sigma_{\phi91} = \sigma_{\phi61} / \sqrt{2} \dots\dots\dots (2-66)$$

$$\sigma_{x91} = \sigma_{x61} / \sqrt{2} \dots\dots\dots (2-67)$$

鉛直方向曲げモーメント M_1 により生じる胴の局部応力は、次による。

$$\sigma_{\phi101} = \sigma_{\phi71} / \sqrt{2} \dots\dots\dots (2-68)$$

$$\sigma_{x101} = \sigma_{x71} / \sqrt{2} \dots\dots\dots (2-69)$$

周方向曲げモーメント M_c により生じる胴の局部応力は、次による。

$$\sigma_{\phi111} = \sigma_{\phi81} / \sqrt{2} \dots\dots\dots (2-70)$$

$$\sigma_{x111} = \sigma_{x81} / \sqrt{2} \dots\dots\dots (2-71)$$

周方向せん断力 Q によるせん断応力は、次による。

$$\tau_{c4} = \tau_{c1} / \sqrt{2} \dots\dots\dots (2-72)$$

鉛直方向せん断力 R_1 によるせん断応力は、次による。

$$\tau_{l5} = \tau_{l2} / \sqrt{2} \dots\dots\dots (2-73)$$

ねじりモーメント M_3 により生じる胴の局部せん断応力は、次による。

$$\tau_6 = \tau_3 / \sqrt{2} \dots\dots\dots (2-74)$$

b. 二次応力

半径方向荷重 P_1 により生じる胴の局部曲げ応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 92} = \sigma_{\phi 62} / \sqrt{2} \quad \dots\dots\dots (2-75)$$

$$\sigma_{x 92} = \sigma_{x 62} / \sqrt{2} \quad \dots\dots\dots (2-76)$$

鉛直方向曲げモーメント M_1 により生じる胴の局部曲げ応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 102} = \sigma_{\phi 72} / \sqrt{2} \quad \dots\dots\dots (2-77)$$

$$\sigma_{x 102} = \sigma_{x 72} / \sqrt{2} \quad \dots\dots\dots (2-78)$$

周方向曲げモーメント M_c により生じる胴の局部曲げ応力は、次による。

$$\sigma_{\phi 112} = \sigma_{\phi 82} / \sqrt{2} \quad \dots\dots\dots (2-79)$$

$$\sigma_{x 112} = \sigma_{x 82} / \sqrt{2} \quad \dots\dots\dots (2-80)$$

(7) 鉛直方向地震力による胴の脚つけ根部の応力

鉛直方向地震力による胴の脚のつけ根部の応力は考慮しない。

(8) 組合せ応力

(1)～(7)項によって算出される脚つけ根部に生じる胴の応力は、次により組み合わせる。

a. 一次一般膜応力

【絶対値和】

$$\sigma_{0\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 7} \quad \dots\dots\dots (2-81)$$

$$\sigma_{0x} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 7} \quad \dots\dots\dots (2-82)$$

$$\sigma_0 = \max[\sigma_{0\phi}, \sigma_{0x}] \quad \dots\dots\dots (2-83)$$

b. 一次応力（膜+曲げ）

【絶対値和】

(a) 水平方向地震力（Z方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合

第1脚つけ根部

第1評価点

$$\sigma_{\phi z1} = \sigma_{\phi1} + \sigma_{\phi3} + \sigma_{\phi4} + \sigma_{\phi7} + \sigma_{\phi8} + \sigma_{\phi9} + \sigma_{\phi61} + \sigma_{\phi71} \dots\dots\dots (2-84)$$

$$\sigma_{xz1} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x3} + \sigma_{x4} + \sigma_{x5} + \sigma_{x7} + \sigma_{x8} + \sigma_{x9} + \sigma_{x61} + \sigma_{x71} \dots\dots\dots (2-85)$$

$$\sigma_{11} = \frac{1}{2} \left\{ (\sigma_{\phi z1} + \sigma_{xz1}) + \sqrt{(\sigma_{\phi z1} - \sigma_{xz1})^2} \right\} \dots\dots\dots (2-86)$$

第2評価点

$$\sigma_{\phi z2} = \sigma_{\phi1} + \sigma_{\phi4} + \sigma_{\phi7} + \sigma_{\phi9} + \sigma_{\phi61} \dots\dots\dots (2-87)$$

$$\sigma_{xz2} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x4} + \sigma_{x5} + \sigma_{x7} + \sigma_{x9} + \sigma_{x61} \dots\dots\dots (2-88)$$

$$\sigma_{12} = \frac{1}{2} \left\{ (\sigma_{\phi z2} + \sigma_{xz2}) + \sqrt{(\sigma_{\phi z2} - \sigma_{xz2})^2 + 4(\tau_{l1} + \tau_{l2} + \tau_{l3})^2} \right\} \dots\dots (2-89)$$

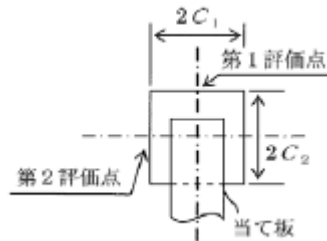


図2-4 胴の評価点

第2脚つけ根部

第1評価点

$$\sigma_{\phi z3} = \sigma_{\phi1} + \sigma_{\phi3} + \sigma_{\phi4} + \sigma_{\phi7} + \sigma_{\phi8} + \sigma_{\phi9} \quad \dots\dots\dots (2-90)$$

$$\sigma_{xz3} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x3} + \sigma_{x4} + \sigma_{x7} + \sigma_{x8} + \sigma_{x9} \quad \dots\dots\dots (2-91)$$

$$\sigma_{13} = \frac{1}{2} \left\{ (\sigma_{\phi z3} + \sigma_{xz3}) + \sqrt{(\sigma_{\phi z3} - \sigma_{xz3})^2 + 4(\tau_{c1} + \tau_3)^2} \right\} \quad \dots\dots\dots (2-92)$$

第2評価点

$$\sigma_{\phi z4} = \sigma_{\phi1} + \sigma_{\phi4} + \sigma_{\phi7} + \sigma_{\phi9} + \sigma_{\phi81} \quad \dots\dots\dots (2-93)$$

$$\sigma_{xz4} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x4} + \sigma_{x7} + \sigma_{x9} + \sigma_{x81} \quad \dots\dots\dots (2-94)$$

$$\sigma_{14} = \frac{1}{2} \left\{ (\sigma_{\phi z4} + \sigma_{xz4}) + \sqrt{(\sigma_{\phi z4} - \sigma_{xz4})^2 + 4(\tau_{l1} + \tau_3 + \tau_{l3})^2} \right\} \quad \dots\dots\dots (2-95)$$

(b) 水平方向地震力 (X方向) 及び鉛直方向地震力が作用した場合

第1評価点

$$\sigma_{\phi x1} = \sigma_{\phi1} + \sigma_{\phi3} + \sigma_{\phi4} + \sigma_{\phi7} + \sigma_{\phi8} + \sigma_{\phi9} \\ + \sigma_{\phi91} + \sigma_{\phi101} \quad \dots\dots\dots (2-96)$$

$$\sigma_{xx1} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x3} + \sigma_{x4} + \sigma_{x5} + \sigma_{x7} + \sigma_{x8} \\ + \sigma_{x9} + \sigma_{x91} + \sigma_{x101} \quad \dots\dots\dots (2-97)$$

$$\sigma_{15} = \frac{1}{2} \left\{ (\sigma_{\phi x1} + \sigma_{xx1}) + \sqrt{(\sigma_{\phi x1} - \sigma_{xx1})^2 + 4(\tau_{c4} + \tau_6)^2} \right\} \quad \dots\dots\dots (2-98)$$

第2評価点

$$\sigma_{\phi x2} = \sigma_{\phi1} + \sigma_{\phi4} + \sigma_{\phi7} + \sigma_{\phi9} + \sigma_{\phi91} + \sigma_{\phi111} \quad \dots\dots\dots (2-99)$$

$$\sigma_{xx2} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x4} + \sigma_{x5} + \sigma_{x7} + \sigma_{x9} \\ + \sigma_{x91} + \sigma_{x111} \quad \dots\dots\dots (2-100)$$

$$\sigma_{16} = \frac{1}{2} \left\{ (\sigma_{\phi x2} + \sigma_{xx2}) + \sqrt{(\sigma_{\phi x2} - \sigma_{xx2})^2 + 4(\tau_{l1} + \tau_{l5} + \tau_6 + \tau_{l3})^2} \right\} \dots\dots\dots (2-101)$$

$$\sigma_1 = \max[\sigma_{11}, \sigma_{12}, \sigma_{13}, \sigma_{14}, \sigma_{15}, \sigma_{16}] \dots\dots\dots (2-102)$$

2.2.2 脚の応力（上端と下端にかかる荷重の大きい方）

(1) 運転時質量による応力

$$\sigma_{s1} = \frac{R}{A_s} \dots\dots\dots (2-103)$$

$$\sigma_{s2} = \frac{\max[|Ru - M_l - Pl|, |Ru - M_l|]}{Z_{st}} \dots\dots\dots (2-104)$$

ただし、脚下端が単純支持の場合は次による。

$$\sigma_{s2} = \frac{Pl}{Z_{st}} \dots\dots\dots (2-105)$$

$$\tau_{s1} = \frac{P}{A_{s1}} \dots\dots\dots (2-106)$$

(2) 鉛直方向地震力による応力

鉛直方向地震力による応力は考慮しない。

(3) 水平方向地震力（Z方向）による応力

a. 第1脚

$$\sigma_{s5} = \frac{R_1}{A_s} \dots\dots\dots (2-107)$$

$$\sigma_{s6} = \frac{\max[|R_1u - M_1 - P_l|, |R_1u - M_1|]}{Z_{st}} \dots\dots\dots (2-108)$$

$$\tau_{s3} = \frac{P_1}{A_{s1}} \dots\dots\dots (2-109)$$

b. 第2脚

$$\sigma_{s7} = \frac{\max[|Ql - M_3|, |M_3|]}{Z_{sr}} \dots\dots\dots (2-110)$$

$$\tau_{s4} = \frac{Q}{A_{s2}} + \frac{Qu - M_c}{Z_{sp}} \dots\dots\dots (2-111)$$

(4) 水平方向地震力 (X方向) による応力

$$\sigma_{s8} = \frac{R_1}{\sqrt{2}A_s} \dots\dots\dots (2-112)$$

$$\sigma_{s9} = \frac{\max[|R_1u - M_1 - P_1l|, |R_1u - M_1|]}{\sqrt{2}Z_{st}} \dots\dots\dots (2-113)$$

$$\sigma_{s10} = \frac{\max[|Ql - M_3|, |M_3|]}{\sqrt{2}Z_{sr}} \dots\dots\dots (2-114)$$

$$\tau_{s5} = \frac{P_1}{\sqrt{2}A_{s1}} + \frac{Q}{\sqrt{2}A_{s2}} + \frac{Qu - M_c}{\sqrt{2}Z_{sp}} \dots\dots\dots (2-115)$$

(5) 組合せ応力

脚の最大応力は、下記式による。

【絶対値和】

a. 水平方向地震力 (Z方向) 及び鉛直方向地震力が作用した場合

(a) 第1脚

$$\sigma_{sz1} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s3} + \sigma_{s4} + \sigma_{s5} + \sigma_{s6})^2 + 3(\tau_{s1} + \tau_{s2} + \tau_{s3})^2} \dots\dots\dots (2-116)$$

(b) 第2脚

$$\sigma_{sz2} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s3} + \sigma_{s4} + \sigma_{s7})^2 + 3(\tau_{s1} + \tau_{s2} + \tau_{s4})^2} \dots\dots\dots (2-117)$$

b. 水平方向地震力 (X方向) 及び鉛直方向地震力が作用した場合

$$\sigma_{sx} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s3} + \sigma_{s4} + \sigma_{s8} + \sigma_{s9} + \sigma_{s10})^2 + 3(\tau_{s1} + \tau_{s2} + \tau_{s5})^2} \dots\dots\dots (2-118)$$

$$\sigma_s = \max[\sigma_{sz1}, \sigma_{sz2}, \sigma_{sx}] \dots\dots\dots (2-119)$$

2.2.3 基礎ボルトの応力

基礎ボルトには鉛直荷重，水平方向のせん断力，鉛直軸まわりのねじりモーメント及び転倒モーメントを考慮する。

(1) 水平方向地震力（Z方向）が作用した場合

a. 引張応力

【絶対値和】

(a) 第1脚及び第3脚

脚底部に働くモーメント及び鉛直荷重は次による。

$$M_{z1} = |P_1 l + M_1 - R_1 u| + |(P - P_2) l + (M_l - M_{l2}) - (R - R_2) u| \quad \dots\dots\dots (2-120)$$

$$R_{z1} = R - R_2 - R_1 \quad \dots\dots\dots (2-121)$$

モーメントと圧縮荷重の比を

$$e = M_{z1} / R_{z1} \quad \dots\dots\dots (2-122)$$

とすると， R_{z1} が負のとき，又は，

$$e > \frac{a}{6} + \frac{d_1}{3} \quad \dots\dots\dots (2-123)$$

のとき，基礎ボルトに生じる引張力は次により求める。

中立軸の位置 X_n を次式により求め，

$$X_n^3 + 3\left(e - \frac{a}{2}\right)X_n^2 - \frac{6sA_b n_1}{b}\left(e + \frac{a}{2} - d_1\right)(a - d_1 - X_n) = 0 \quad \dots\dots\dots (2-124)$$

基礎ボルトに生じる引張力

$$F_b = \frac{R_{z1}\left(e - \frac{a}{2} + \frac{X_n}{3}\right)}{a - d_1 - \frac{X_n}{3}} \quad \dots\dots\dots (2-125)$$

から，基礎ボルトに生じる引張力を次式により求める。

$$\sigma_{b1} = \frac{F_b}{n_1 A_b} \quad \dots\dots\dots (2-126)$$

(b) 第2脚の基礎ボルト

$$M_{Z2} = \sqrt{(Ql - M_3)^2 + \{(P - P_2)l + (M_1 - M_{12}) - (R - R_2)u\}^2}$$

..... (2-127)

$$R_{Z2} = R - R_2 \quad \text{..... (2-128)}$$

を M_{Z1} , R_{Z1} と置き換え, 式(2-122)から式(2-126)を使用して得られた基礎ボルト応力を σ_{b2} とする。

ただし, aをb, bをa, d_1 を d_2 , n_1 を n_2 に置き換えた場合に得られる基礎ボルトの引張応力が σ_{b2} より大きいときは, その値を σ_{b2} とする。

(c) 脚下端が半径方向及びその直角方向についても単純支持の場合は, 圧縮荷重のみなので基礎ボルトに引張応力は評価しない。

b. せん断応力

【絶対値和】

(a) 第1脚及び第3脚の基礎ボルト

$$\tau_{b1} = \frac{P_1 + P + P_2}{n A_b} \quad \text{..... (2-129)}$$

(b) 第2脚及び第4脚の基礎ボルト

$$\tau_{b2} = \frac{\sqrt{Q^2 + (P + P_2)^2}}{n A_b} + \frac{Qu - M_c}{n A_b \sqrt{\left(\frac{a - 2d_1}{2}\right)^2 + \left(\frac{b - 2d_2}{2}\right)^2}}$$

..... (2-130)

(2) 水平方向地震力 (X方向) が作用した場合

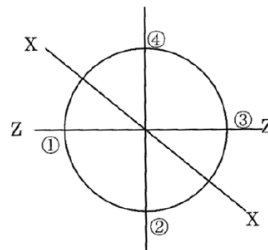


図2-5 地震力の作用する方向

a. 引張応力

【絶対値和】

(a) 脚下端が固定の場合，第1脚～第4脚の脚底部に働くモーメント及び鉛直荷重は次による。

$$M_{x1} = \left[\left\{ \left| \frac{1}{\sqrt{2}} (P_1 l + M_1 - R_1 u) \right| + \left| (P - P_2) l + (M_l - M_{l2}) - (R - R_2) u \right| \right\}^2 + \left\{ \frac{1}{\sqrt{2}} (Q l - M_3) \right\}^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

..... (2-131)

$$R_{x1} = R - R_2 - \frac{R_1}{\sqrt{2}} \quad \text{..... (2-132)}$$

2.2.3(1)a. (b)と同様に式(2-122)から式(2-126)を使用して得られた基礎ボルトの応力を σ_{b4} とする。ただし，aをb，bをa， d_1 を d_2 ， n_1 を n_2 に置き換えた場合に得られる基礎ボルトの引張応力が σ_{b4} より大きいときはその値を σ_{b4} とする。

b. せん断応力

【絶対値和】

第1脚～第4脚の基礎ボルト

$$\tau_{b5} = \frac{\sqrt{\left(\frac{P_1}{\sqrt{2}} + P + P_2\right)^2 + \left(\frac{Q}{\sqrt{2}}\right)^2}}{n A_b} + \frac{Q u - M_c}{\sqrt{2} A_b \sqrt{\left(\frac{a - 2d_1}{2}\right)^2 + \left(\frac{b - 2d_2}{2}\right)^2}}$$

..... (2-133)

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，水平方向の設計震度を求める。

3.2 胴の応力評価

2.2.1(8)で求めた組合せ応力 σ_0 , σ_1 , σ_2 が胴の最高使用温度における表 2-1 に示す許容応力 S_a 以下であること。

表 2-1 胴の許容応力

耐震 クラス	供用状態	許 容 応 力 S_a	
		一次一般膜応力	一次応力
B, C	C s	$\min [S_y, 0.6 S_u]$ 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は， $1.2 S$ とすることができる。	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は， $1.2 S$ とすることができる。

3.3 脚の応力評価

2.2.2. (5) で求めた脚の組合せ応力 σ_s が表 3-2 に示す許容応力 f_t 以下であること。

表 3-2 脚の許容応力

耐震 クラス	供用状態	許容引張応力 f_t
B, C	C _s	$1.5\left(\frac{F}{1.5}\right)$

3.4 座屈評価

圧縮応力と曲げによる圧縮側応力の組合せは下記を満足すること。

$$\frac{\sigma_{sr}}{f_{br}} + \frac{\sigma_{st}}{f_{bt}} + \frac{\sigma_{sc}}{f_{bc}} \leq 1 \quad \dots\dots\dots (2-134)$$

(1) f_{bc} は次による。

$\lambda \leq \Lambda$ のとき

$$f_{bc} = 1.5 \left\{ 1 - 0.4 \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \frac{F}{\nu} \quad \dots\dots\dots (2-135)$$

$\lambda > \Lambda$ のとき

$$f_{bc} = 1.5(0.277F) \left(\frac{\Lambda}{\lambda} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (2-136)$$

ここで,

$$\lambda = l_k / i \quad \dots\dots\dots (2-137)$$

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 E_s}{0.6 F_s}} \quad \dots\dots\dots (2-138)$$

$$\nu = 1.5 + \frac{2}{3} \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (2-139)$$

$$i = \sqrt{\frac{\min[I_{st}, I_{sr}]}{A_s}} \dots\dots\dots (2-140)$$

l_k は、有効座屈長さで脚下端を固定とする場合は $1.2l$ 、単純支持とする場合は $2.1l$ とする。

(2) f_{br} 、 f_{bt} は次による。

a. 脚が鋼管の場合

$$f_{br} = f_{bt} = f_t \dots\dots\dots (2-141)$$

b. 脚が型钢の場合で弱軸が半径方向軸の場合

$$f_{br} = f_t \dots\dots\dots (2-142)$$

f_{bt} は次の2つの計算式により計算した値のうちいずれか大きい値又は f_t のいずれか小さい方の値とする。

$$f_{bt} = \left(1 - 0.4 \frac{l^2}{C \Lambda^2 i_f^2}\right) f_t \dots\dots\dots (2-143)$$

$$f_{bt} = \left(\frac{0.433 E_s A_f}{lh}\right) 1.5 \dots\dots\dots (2-144)$$

ここで、 i_f は脚の圧縮フランジと梁のせいの1/6とからなるT形断面のウェブ軸まわりの断面2次半径で次式による。

$$i_f = \sqrt{\frac{I_{sf}}{A_{sf}}} \dots\dots\dots (2-145)$$

Cは次の計算式により計算した値又は2.3のいずれか小さい方。 M_{s2} 及び M_{s1} はそれぞれ脚の両端における強軸まわりの曲げモーメント。ここで、 M_{s2} と M_{s1} の比は1より小さいものとし、単曲率の場合を正に、複曲率の場合を負とする。

$$C = 1.75 - 1.05 \left(\frac{M_{s2}}{M_{s1}}\right) + 0.3 \left(\frac{M_{s2}}{M_{s1}}\right)^2 \dots\dots\dots (2-146)$$

c. 脚が型鋼の場合で強軸が半径方向軸の場合

b. と同様にして求められた f_{br} を f_{bt} に、 f_{bt} を f_{br} に置き換える。

(3) 応力の区分は、次のようにする。

a. 水平方向地震力（Z方向）が作用した場合の第1脚

$$\sigma_{sc} = \sigma_{s1} + \sigma_{s3} + \sigma_{s5} \dots\dots\dots (2-147)$$

$$\sigma_{st} = \sigma_{s2} + \sigma_{s4} + \sigma_{s6} \dots\dots\dots (2-148)$$

$$\sigma_{sr} = 0 \dots\dots\dots (2-149)$$

(a) 脚の強軸が半径方向で、脚下端がその軸まわりに固定の場合

強軸まわりの曲げモーメント M_{S1} 、 M_{S2} は次の2つの式により計算する。なお、 M_{S2} の絶対値が M_{S1} の絶対値より大きいときは、 M_{S1} 、 M_{S2} を入れ換える。

(以下同じ)

【絶対値和】

$$M_{S1} = - (M_1 + M_{l2} + M_1) + (R + R_2 + R_1) u \dots\dots\dots (2-150)$$

$$M_{S2} = - (P + P_2 + P_1) l - (M_l + M_{l2} + M_1) + (R + R_2 + R_1) u \dots\dots\dots (2-151)$$

b. 水平方向地震力（Z方向）が作用した場合の第2脚

$$\sigma_{sc} = \sigma_{s1} + \sigma_{s3} \dots\dots\dots (2-152)$$

$$\sigma_{st} = \sigma_{s2} + \sigma_{s4} \dots\dots\dots (2-153)$$

$$\sigma_{sr} = \sigma_{s7} \dots\dots\dots (2-154)$$

(a) 脚の強軸が半径方向で、脚下端がその軸まわりに固定の場合

強軸まわりの曲げモーメントは次による。

$$M_{S1} = M_3 \dots\dots\dots (2-155)$$

$$M_{S2} = M_3 - Q l \dots\dots\dots (2-156)$$

c. 水平方向地震力（X方向）が作用した場合

$$\sigma_{sc} = \sigma_{s1} + \sigma_{s3} + \sigma_{s8} \dots\dots\dots (2-157)$$

$$\sigma_{st} = \sigma_{s2} + \sigma_{s4} + \sigma_{s9} \dots\dots\dots (2-158)$$

$$\sigma_{sr} = \sigma_{s10} \dots\dots\dots (2-159)$$

(a) 脚の強軸が半径方向で、脚下端がその軸まわりに固定の場合

強軸まわりの曲げモーメントは次による。

$$M_{s1} = \frac{1}{\sqrt{2}} M_3 \quad \dots\dots\dots (2-160)$$

$$M_{s2} = \frac{1}{\sqrt{2}} M_3 - Q l \quad \dots\dots\dots (2-161)$$

3.5 基礎ボルトの応力

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。ただし、 f_{t0} は表 3-3 による。

$$f_{ts} = \min [1.4 f_{t0} - 1.6 \tau_b, f_{t0}] \quad \dots\dots\dots (2-162)$$

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。ただし、 f_{sb} は表 3-3 による。

表 3-3 基礎ボルトの許容応力

耐震 クラス	供用状態	許容引張応力 f_{t0}	許容せん断応力 f_{sb}
B, C	Cs	$1.5 \left(\frac{F}{2} \right)$	$1.5 \left(\frac{F}{1.5\sqrt{3}} \right)$

油処理装置の強度に関する説明書

1 強度評価の方針

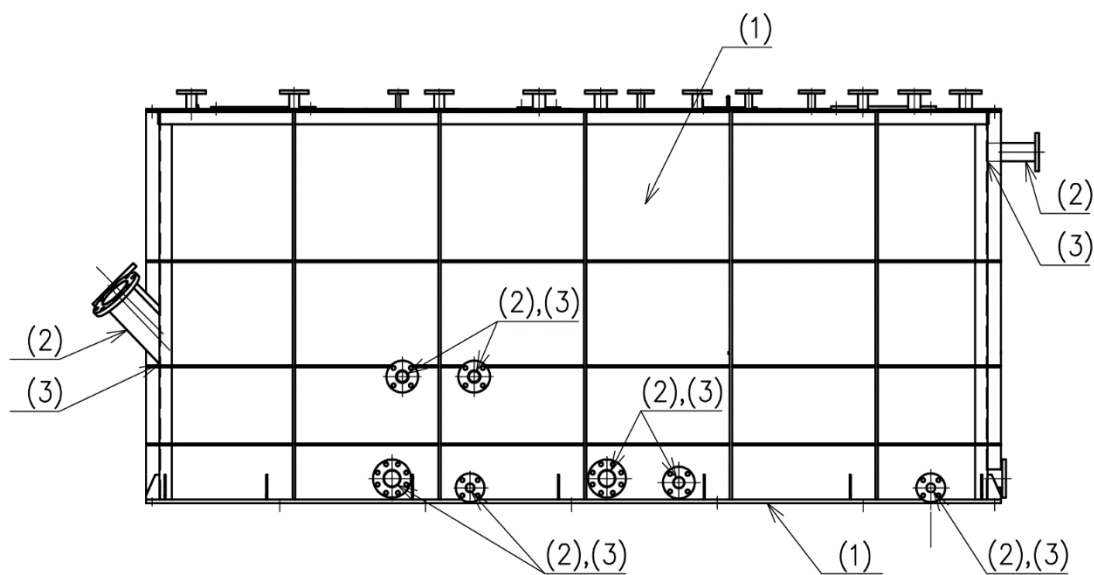
強度評価において、浮上分離槽，樹脂充填塔，油吸着樹脂塔，乳化槽，ブロー水受槽，第2モニタリング槽，主配管（鋼管，伸縮継手）は，「JSME S NC1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格」（以下，「設計・建設規格」という。）のクラス3機器，クラス3配管に準じた評価を行う。集合槽は，WSP 規格及び設計・建設規格に準じた評価を行い，酸化分解機は設計・建設規格及び JIS に準じた評価を行う。

2 強度評価

2.1 集合槽

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 集合槽概要図

2.1.2 評価方法

(1) 側板、底板の評価

集合槽の側板、底板の必要厚さは、以下の計算式より求められる値以上とする。

a. 規格上必要な最小厚さ： t_1

側板、底板の最小厚さは、それぞれ 4.5mm, 6.0mm とする。

b. 計算上必要な最小厚さ： t_2

$$t_2 = \sqrt{\frac{\beta_i \cdot P \cdot d^2}{S \cdot \eta}}$$

t_2 : 必要厚さ (mm)

β_i : 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 : 最高使用圧力 (MPa)

S : 許容引張応力 (MPa)

η : 継手効率 (-)

(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： t_1

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。

b. 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 : 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 (-)

(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。

$$A_r = d \times t_{sr}$$

$$A_0 = A_1 + A_2 + A_3 + A_4$$

- A_r : 補強に必要な面積 (mm²)
- d : 側板の断面に現れる穴の径 (mm)
- t_{sr} : 側板の計算上必要な厚さ (mm)
- A_0 : 補強に有効な総面積 (mm²)
- A_1 : 側板の有効補強面積 (mm²)
- A_2 : 管台の有効補強面積 (mm²)
- A_3 : すみ肉溶接部の有効補強面積 (mm²)
- A_4 : 強め板の有効補強面積 (mm²)

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 集合槽の評価結果 (板厚)

機器名称	評価項目	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
集合槽	(1)側板の厚さ	4.5	6.9
	(1)底板の厚さ	10.6	15.8
	(2)管台の厚さ (32A)	1.9	2.2
	(2)管台の厚さ (40A)	2.2	2.3
	(2)管台の厚さ (50A)	2.4	2.5
	(2)管台の厚さ (80A)	3.5	3.9
	(2)管台の厚さ (150A)	3.5	5.3

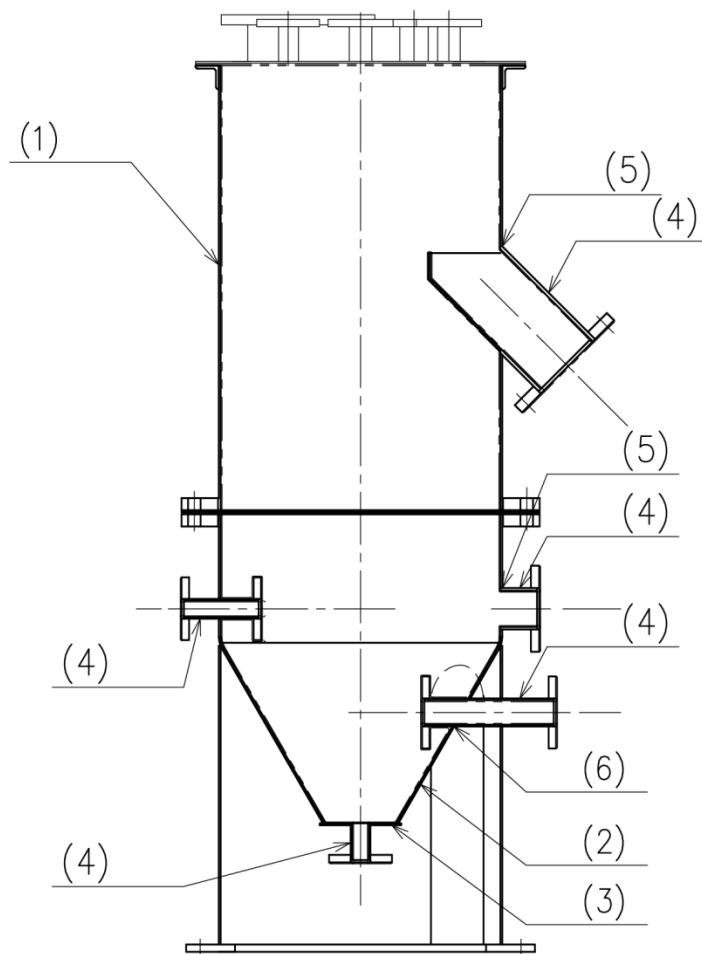
表-2 集合槽の評価結果 (管台の穴の補強計算)

機器名称	評価項目	補強に必要な面積 (mm ²)	補強に有効な総面積 (mm ²)
集合槽	(3)胴 (80A 管台)	301	428
	(3)胴 (150A 管台)	826	1003

2.2 浮上分離槽

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 浮上分離槽概要図

2.2.2 評価方法

(1) 胴の厚さの評価

浮上分離槽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. 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 (-)

(2) 円すい胴の厚さの評価

円すい胴の厚さは、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. 計算上必要な厚さ： t_2

$$t_2 = \frac{P \cdot D_i}{2 \cdot \cos \theta \cdot (S \cdot \eta - 0.6 \cdot P)}$$

t_2 : 胴の計算上必要な厚さ (mm)

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 1/2 (°)

P : 最高使用圧力 (MPa)

S : 許容引張応力 (MPa)

η : 継手効率 (-)

(3) 平板の厚さの評価

平板の必要な厚さは、次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

- a. 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)

P : 最高使用圧力 (MPa)

S : 許容引張応力 (MPa)

K : 取付け方法による係数 (-)

- 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)

P : 最高使用圧力 (MPa)

S : 許容引張応力 (MPa)

K : 取付け方法による係数 (-)

(4) 管台の厚さの評価

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. 規格上必要な最小厚さ： t_1

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。

- b. 管台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 : 管台の内径 (m)

H : 水頭 (m)

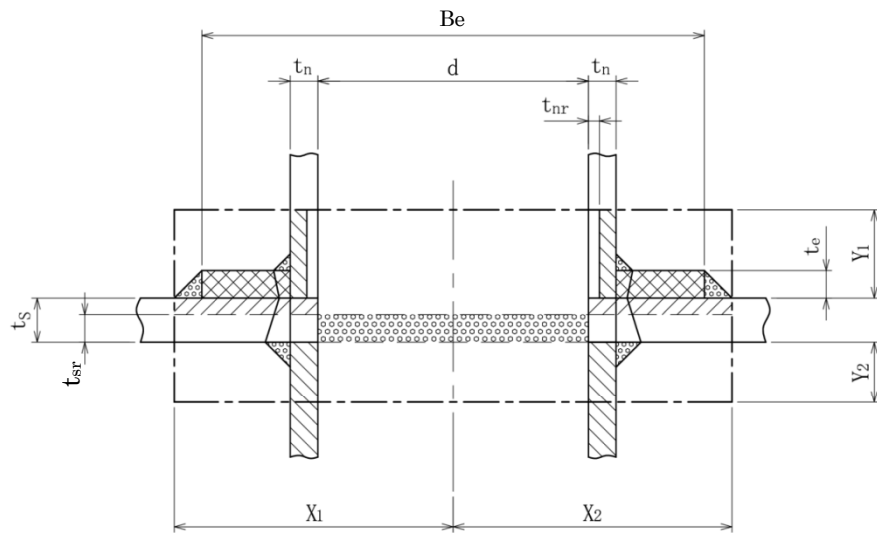
ρ : 液体の比重。ただし、1未満の場合は1とする。

S : 許容引張応力 (MPa)

η : 継手効率 (-)

(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。(図-3参照)
- b. 胴の穴の補強計算は、設計・建設規格 PVD-3512の規定により、85 mm以上の穴に対して計算する。



- 補強に必要な面積
- 胴のうち補強に必要な有効面積
- 管台のうち補強に有効な面積
- 強め材の断面積
- すみ肉溶接部の断面積

- d : 胴の断面に現れる穴の径 (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_1, X_2, Y_1, Y_2 : 補強の有効範囲 (mm)
- Be : 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

(6) 円すい胴の補強を要しない穴の最大径の評価

円すい胴の補強を要しない穴の最大径は、以下の計算した値のうちいずれかとする。

- a. 穴の径が 61 mm以下で、かつ次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 : 胴板の最小厚さ (mm)

- b. a. に掲げるものを除き、穴径が 200 mm以下で、かつ、設計・建設規格 図 PVD-3122-1 及び図 PVD-3122-2 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 : PVD-1.3 より求めた係数 (-)

2.2.3 評価結果

評価結果を表-3～5 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-3 浮上分離槽の評価結果（板厚）

機器名称	評価項目	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
浮上分離槽 A, B	(1) 胴板の厚さ	1.5	2.1
	(2) 円すい胴の厚さ	1.5	1.6
	(3) 平板の厚さ	1.5	2.3
	(4) 管台の厚さ (32A)	1.9	2.2
	(4) 管台の厚さ (50A)	2.4	2.5
	(4) 管台の厚さ (80A)	3.5	3.9
	(4) 管台の厚さ (150A)	3.5	5.3

表-4 浮上分離槽の評価結果（胴の穴の補強）

機器名称	評価項目	補強に必要な面積 (mm ²)	補強に有効な総面積 (mm ²)
浮上分離槽 A, B	(5) 胴 (80A 管台)	3.3	265
	(5) 胴 (150A 管台)	6.2	445

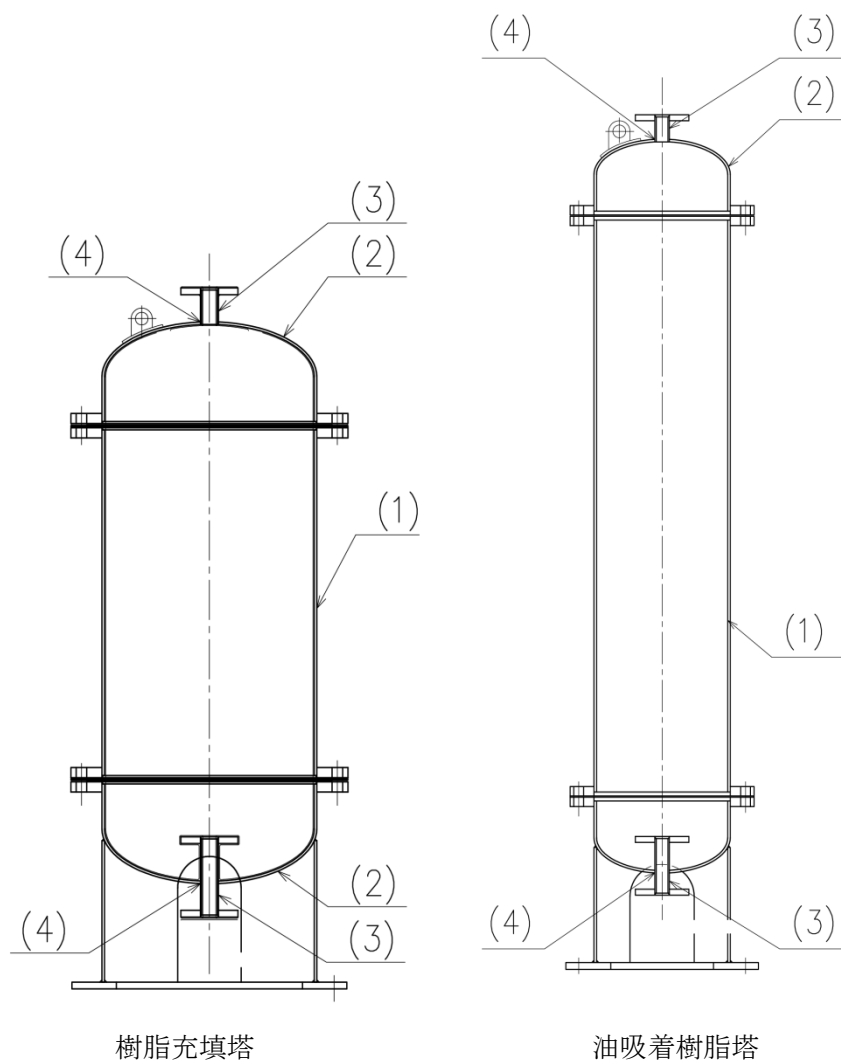
表-5 浮上分離槽の評価結果（円すい胴の補強要否確認）

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)
浮上分離槽 A, B	(6) 円すい胴 (50A 管台)	78	60.5

2.3 樹脂充填塔，油吸着樹脂塔

2.3.1 評価箇所

強度評価箇所を図－4に示す。



図中の番号は，2.3.2，2.3.3の番号に対応する。

図－4 樹脂充填塔，油吸着樹脂塔概要図

2.3.2 評価方法

(1) 胴の厚さの評価

胴の厚さは、次の上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. 内圧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) 鏡板の厚さの評価

半だ円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. 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. フランジ部： 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. 鏡板 : t_3

$$t_3 = \frac{PD_{iL}K}{2S\eta - 0.2P}$$

t_3 : 必要厚さ (mm)

P : 最高使用圧力 (MPa)

D_{iL} : 鏡板の内面における長径 (mm)

K : 半だ円形鏡板の形状による係数で、次式により計算した値

$$K = \frac{1}{6} \left\{ 2 + \left(\frac{D_{iL}}{2h} \right)^2 \right\}$$

h : 鏡板の内面における短径の 1/2 (mm)

S : 許容引張応力 (MPa)

η : 継手効率 (-)

(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. 規格上必要な最小厚さ : t_1

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。

b. 内面に圧力を受ける管台 : t_2

$$t_2 = \frac{P \cdot D_0}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$$

t_2 : 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 (-)

(4) 補強を必要と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、以下の計算した値のうちいずれか大きい値とする。

- a. 穴の径が 61 mm以下で、かつ次式により計算した値以下の穴

$$d_{r1} = \frac{D_1 - 2 \cdot t_{co}}{4}$$

d_{r1} : 補強を要しない穴の最大径 (mm)

D_1 : 鏡板の外径 (mm)

t_{co} : 鏡板の呼び厚さ (mm)

- b. a. に掲げるものを除き、穴径が 200 mm以下で、かつ、設計・建設規格 図 PVD-3122-1 及び図 PVD-3122-2 より求めた値以下の穴

$$d_{r2} = 8.05 \cdot \sqrt[3]{D_1 \cdot t_c \cdot (1 - K)}$$

d_{r2} : 補強を要しない穴の最大径 (mm)

D_1 : 鏡板の外径 (mm)

t_c : 鏡板の最小厚さ (mm)

K : PVD-1.1 より求めた係数 (-)

ここで、 K は半だ円形鏡板の場合、次式により計算した値で、 $K > 0.99$ のときは、 $K = 0.99$ とする。

$$K = \frac{P \cdot D_1}{1.82 \cdot S \cdot \eta \cdot t_c}$$

P : 最大使用圧力 (MPa)

D_1 : 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)

2.3.3 評価結果

評価結果を表－6，7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－6 樹脂充填塔，油吸着樹脂塔の評価結果（板厚）

機器名称	評価項目	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
樹脂充填塔 A, B, C, D	(1) 胴板の厚さ	1.5	3.9
	(2) 鏡板の厚さ	1.5	3.6
	(3) 管台の厚さ (32A)	0.1	2.2
油吸着樹脂塔 A, B	(1) 胴板の厚さ	1.5	3.9
	(2) 鏡板の厚さ	1.5	3.6
	(3) 管台の厚さ (25A)	0.1	2.0

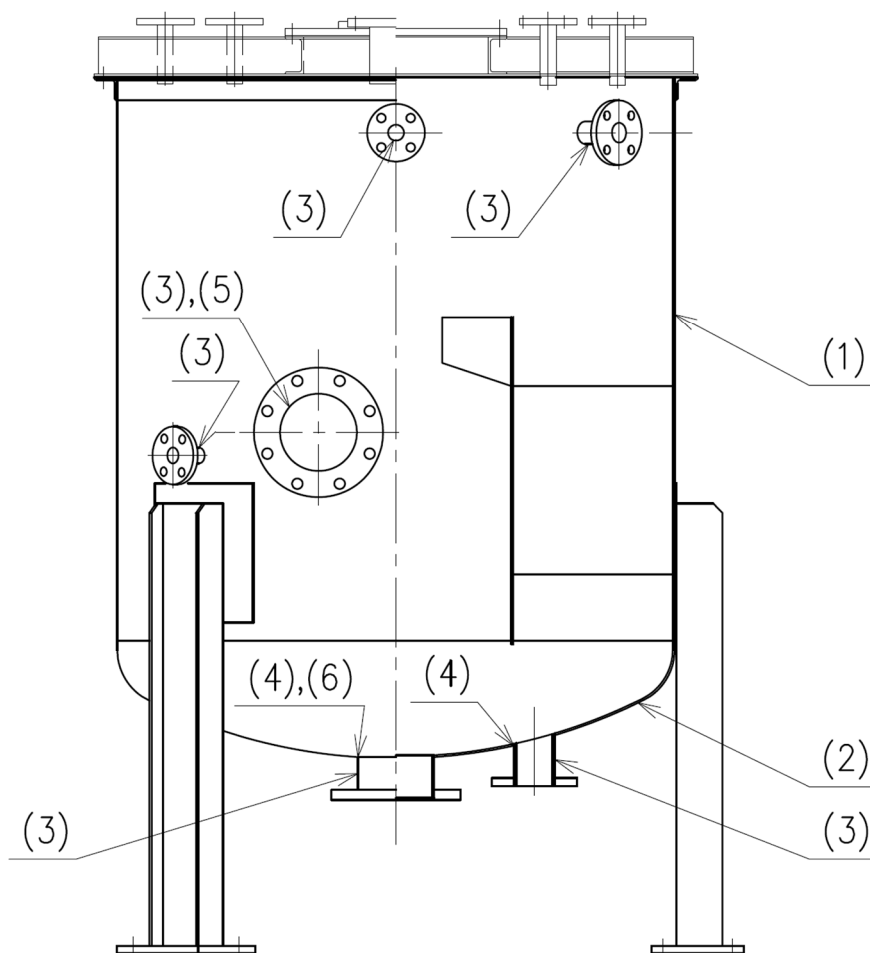
表－7 樹脂充填塔，油吸着樹脂塔の評価結果（鏡板の補強要否確認）

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)
樹脂充填塔 A, B, C, D	(4) 鏡板 (32A 管台)	61	42.7
油吸着樹脂塔 A, B	(4) 鏡板 (25A 管台)	61	34.0

2.4 乳化槽

2.4.1 評価箇所

強度評価箇所を図-5に示す。



図中の番号は、2.4.2、2.4.3の番号に対応する。

図-5 乳化槽概要図

2.4.2 評価方法

(1) 胴の厚さの評価

乳化槽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. 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 (-)

(2) 鏡板の厚さの評価

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. 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. フランジ部： 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. 鏡板： t_3

$$t_3 = \frac{P \cdot R \cdot W}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P}$$

t_3 : 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 : さらに形鏡板の形状による係数で、次式により計算した値

$$W = \frac{1}{4} \left(3 + \sqrt{\frac{R}{r}} \right)$$

r : 鏡板のすみの丸みの内半径 (mm)

S : 許容引張応力 (MPa)

η : 継手効率 (-)

(3) 管台の厚さの評価

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. 規格上必要な最小厚さ： t_1

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。

b. 管台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 : 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 (-)

(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、以下の計算した値のうちいずれか大きい値とする。

- a. 穴の径が 61 mm以下で、かつ次式により計算した値以下の穴

$$d_{r1} = \frac{D_1 - 2 \cdot t_{co}}{4}$$

d_{r1} : 補強を要しない穴の最大径 (mm)

D_1 : 鏡板の外径 (mm)

t_{co} : 鏡板の呼び厚さ (mm)

- b. a. に掲げるものを除き、穴径が 200 mm以下で、かつ、設計・建設規格 図 PVD-3122-1 及び図 PVD-3122-2 より求めた値以下の穴

$$d_{r2} = 8.05 \cdot \sqrt[3]{D_1 \cdot t_c \cdot (1 - K)}$$

d_{r2} : 補強を要しない穴の最大径 (mm)

D_1 : 鏡板の外径 (mm)

t_c : 鏡板の最小厚さ (mm)

K : PVD-1.1 より求めた係数 (-)

ここで、 K は、さら形鏡板の場合、次式により計算した値で、 $K > 0.99$ のときは、 $K = 0.99$ とする。

$$K = \frac{P \cdot D_1}{1.82 \cdot S \cdot \eta \cdot t_c}$$

P : 最高使用圧力 (MPa)

D_1 : 鏡板の外径 (mm)

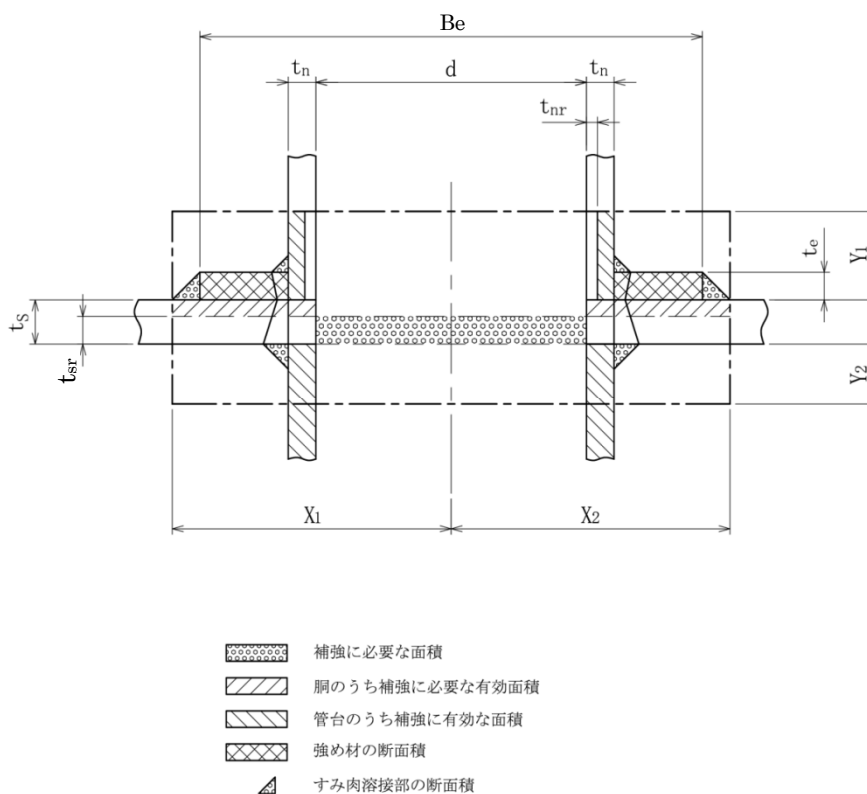
S : 許容引張応力 (MPa)

η : 継手効率 (-)

t_c : 鏡板の最小厚さ (mm)

(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。(図-6 参照)
- b. 胴の穴の補強計算は、設計・建設規格 PVD-3512 の規定により、85 mm以上の穴に対して計算する。

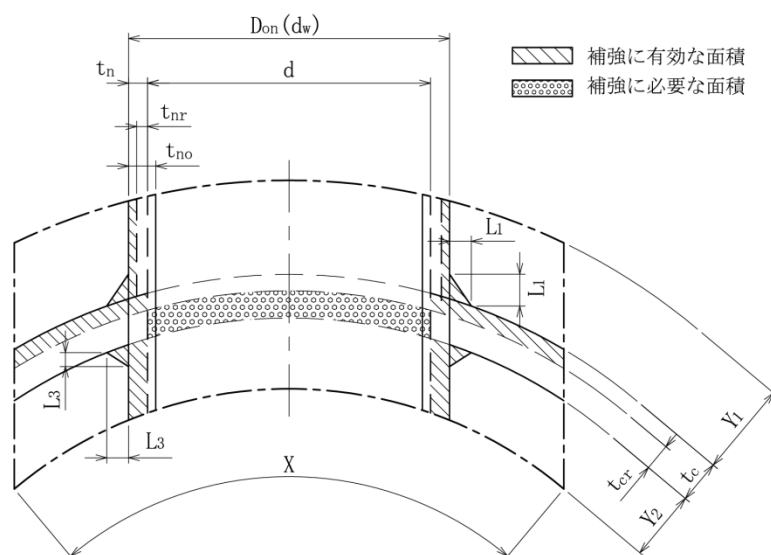


- d : 胴の断面に現れる穴の径 (mm)
 t_s : 胴板の最小厚さ (mm)
 t_{sr} : 胴板の計算上必要な厚さ (mm)
 t_n : 管台の最小厚さ (mm)
 t_{nr} : 管台の計算上必要な厚さ (mm)
 X_1, X_2, Y_1, Y_2 : 補強の有効範囲 (mm)
 B_e : 強め材の外径 (mm)
 t_e : 強め材の厚さ (mm)
 A_r : 補強に必要な面積 (mm^2)
 A_0 : 補強に有効な総面積 (mm^2)

図-6 補強計算概念図

(6) 鏡板の穴の補強計算

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-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_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 : 補強に有効な総面積 (mm^2)

図-7 補強計算概念図

2.4.3 評価結果

評価結果を表－8～10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－8 乳化槽の評価結果（板厚）

機器名称	評価項目	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
乳化槽	(1) 胴板の厚さ	1.5	2.1
	(2) 鏡板の厚さ	1.5	1.8
	(3) 管台の厚さ (25A)	1.7	2.0
	(3) 管台の厚さ (40A)	2.2	2.3
	(3) 管台の厚さ (80A)	3.5	3.9
	(3) 管台の厚さ (150A)	3.5	5.3

表－9 乳化槽の評価結果（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)
乳化槽	(4) 鏡板 (80A 管台)	102	89.1
	(4) 鏡板 (150A 管台)	102	165.2 ^{※1}

※1 鏡板の穴の補強計算を行う。

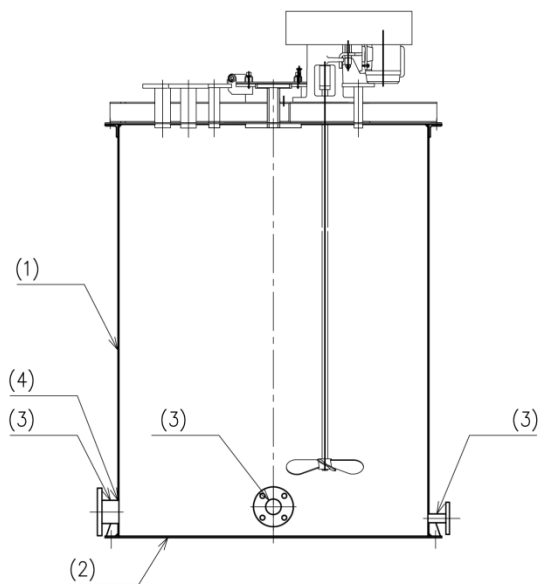
表－10 乳化槽の評価結果（穴の補強）

機器名称	評価項目	補強に必要な 面積 (mm ²)	補強に有効な 総面積 (mm ²)
乳化槽	(5) 胴 (150A 管台)	12.3	432
	(6) 鏡板 (150A 管台)	12.3	377

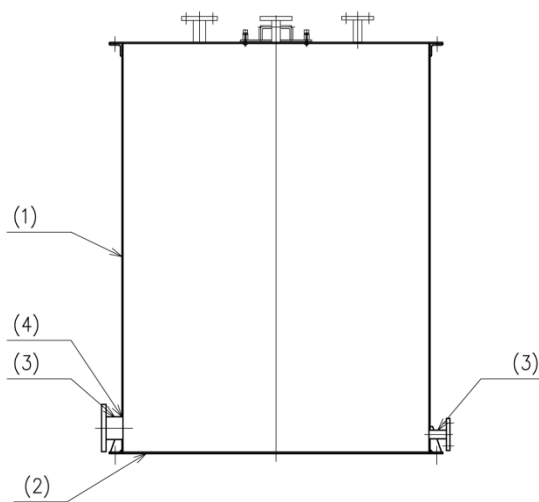
2.5 ブロー水受槽，第2モニタリング槽

2.5.1 評価箇所

強度評価箇所を図-8に示す。



ブロー水受槽



第2モニタリング槽

図中の番号は，2.5.2，2.5.3の番号に対応する。

図-8 ブロー水受槽，第2モニタリング槽概要図

2.5.2 評価方法

(1) 胴板の厚さの評価

ブロー水受槽および第2モニタリング槽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. 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 : 引張応力 (MPa)

η : 継手効率 (-)

(2) 底板の厚さの評価

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（PVD-3010クラス3容器より）。

(3) 管台の厚さの評価

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. 規格上必要な最小厚さ： t_1

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。

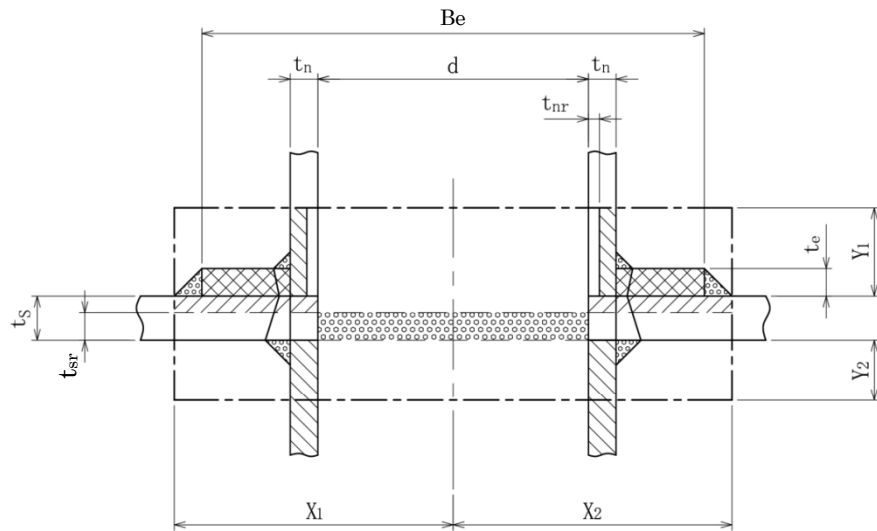
- b. 計算上必要な厚さ： t_2






$$t_2 = \frac{D_i \cdot H \cdot \rho}{0.204 \cdot S \cdot \eta}$$

- t_2 : 管台の計算上必要な厚さ (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 (-)

(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. 胴の穴の補強計算は、設計・建設規格 PVD-3512の規定により、85 mm以上の穴に対して計算する。



-  補強に必要な面積
-  胴のうち補強に必要な有効面積
-  管台のうち補強に有効な面積
-  強め材の断面積
-  すみ肉溶接部の断面積

- d : 胴の断面に現れる穴の径 (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_1, X_2, Y_1, Y_2 : 補強の有効範囲 (mm)
- B_e : 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－9 補強計算概念図

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すると評価している。

表-11 ブロー水受槽, 第2モニタリング槽の評価結果 (板厚)

機器名称	評価項目	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
ブロー水受槽	(1) 胴板の厚さ	1.5	2.1
	(2) 底板の厚さ	3.0	4.1
	(3) 管台の厚さ (25A)	1.7	2.0
	(3) 管台の厚さ (50A)	2.4	2.5
	(3) 管台の厚さ (80A)	3.5	3.9
第2モニタリング槽	(1) 胴板の厚さ	1.5	2.1
	(2) 底板の厚さ	3.0	4.1
	(3) 管台の厚さ (25A)	1.7	2.0
	(3) 管台の厚さ (50A)	2.4	2.5
	(3) 管台の厚さ (80A)	3.5	3.9

表-12 ブロー水受槽, 第2モニタリング槽の評価結果 (胴の穴の補強)

機器名称	評価項目	補強に必要な面積 (mm ²)	補強に有効な総面積 (mm ²)
ブロー水受槽	(4) 胴 (80A 管台)	6.6	262
第2モニタリング槽	(4) 胴 (80A 管台)	6.6	262

2.6 酸化分解機

2.6.1 評価箇所

強度評価箇所を図-10に示す。

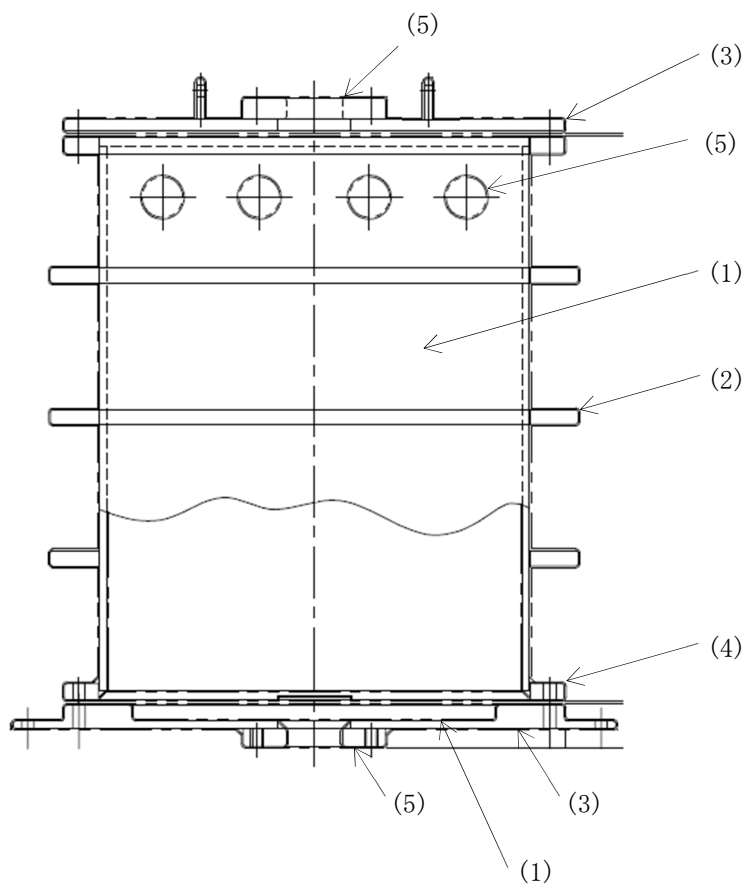


図-10 酸化分解機概要図

2.6.2 評価方法

(1) 側板, 底板の評価

側板及び底板の必要厚さは, 以下の計算式より求められる値以上とする。

$$t = \sqrt{\frac{\beta_i \cdot P \cdot d^2}{S}}$$

- t : 必要厚さ (mm)
- P : 最高使用圧力 (MPa)
- S : 許容引張応力(SUS304, 50°C) (MPa)
- β_i : D/d に対する応力係数(-)
- d : 短辺の長さ (mm)
- D : 長辺の長さ (mm)

(2) 補強リブの評価

リブの受け持つ荷重を両端固定梁とみなして計算する。

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

- σ : 最大発生応力 (MPa)
- Z : 断面係数 (mm³)
- M : 発生モーメント (N・mm)

$$M = \frac{w\ell^2}{12}$$

- w : リブが受ける等分布荷重 (N/mm)
- ℓ : 支点間距離 (mm)

(3) ふた板 (上部, 下部) の厚さの評価

ふた板の必要厚さは, 以下の計算式により求められる値以上とする。

JIS B 8265 L. 3. 2. (a). 2 による(円形以外)。

$$t = d \sqrt{\frac{0.25ZP}{S \cdot \eta}}$$

- t : 必要厚さ (mm)
- P : 最高使用圧力 (MPa)
- S : 許容引張応力 (MPa)
- d : ボルト最小スパン (mm)
- Z : ふた板の修正係数 (-)
- η : 継手効率 (-)

(4) 角フランジの厚さの評価

JIS B 8280(2003) 附属書 1(規定)フランジ付き非円形胴を適用する。

$$t_F = \sqrt{\frac{6 \cdot C_F \cdot M_0}{S}}, t_F = \sqrt{\frac{6 \cdot C_F \cdot M_g}{S}}$$

- t_F : 必要厚さ (mm)
- C_F : 荷重修正係数, ただし $C_F \geq 1.0$ とする (-)
- M_0 : 使用状態でフランジに作用する単位長さ当りの全モーメント
(N・mm/mm)
- M_g : ガasket締付時にフランジに作用する単位長さ当りの全モーメント
(N・mm/mm)
- S : 許容引張応力 (MPa)

(5) 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 : t_1
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。
- b. 内面に圧力を受ける管台の必要厚さ : t_2

$$t_2 = \frac{P \cdot D_0}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$$

- t_2 : 必要厚さ (mm)
- P : 最高使用圧力 (MPa)

- D_o : 管台の外径 (mm)
 S : 許容引張応力 (MPa)
 η : 継手効率 (-)

2.6.3 評価結果

評価結果を表-13, 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ことを評価している。

表-13 酸化分解機の評価結果 (板厚)

評価項目	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
(1) 側板の厚さ	6.0	6.9
(1) 底板の厚さ	4.3	8.1
(3) ふた板 (上部) の厚さ	11.4	14.1
(3) ふた板 (下部) の厚さ	11.4	27.1
(4) 角フランジの厚さ	10.9	17.8
(5) 管台の厚さ (出入口)	0.2	25.0
(5) 管台の厚さ (給電部)	0.2	25.0

表-14 酸化分解機の評価結果 (リブ)

評価項目	発生応力 (MPa)	許容引張応力 (MPa)
(2) 補強リブの厚さ	73	128

2.7 主配管

2.7.1 評価箇所

強度評価箇所を図-11に示す。

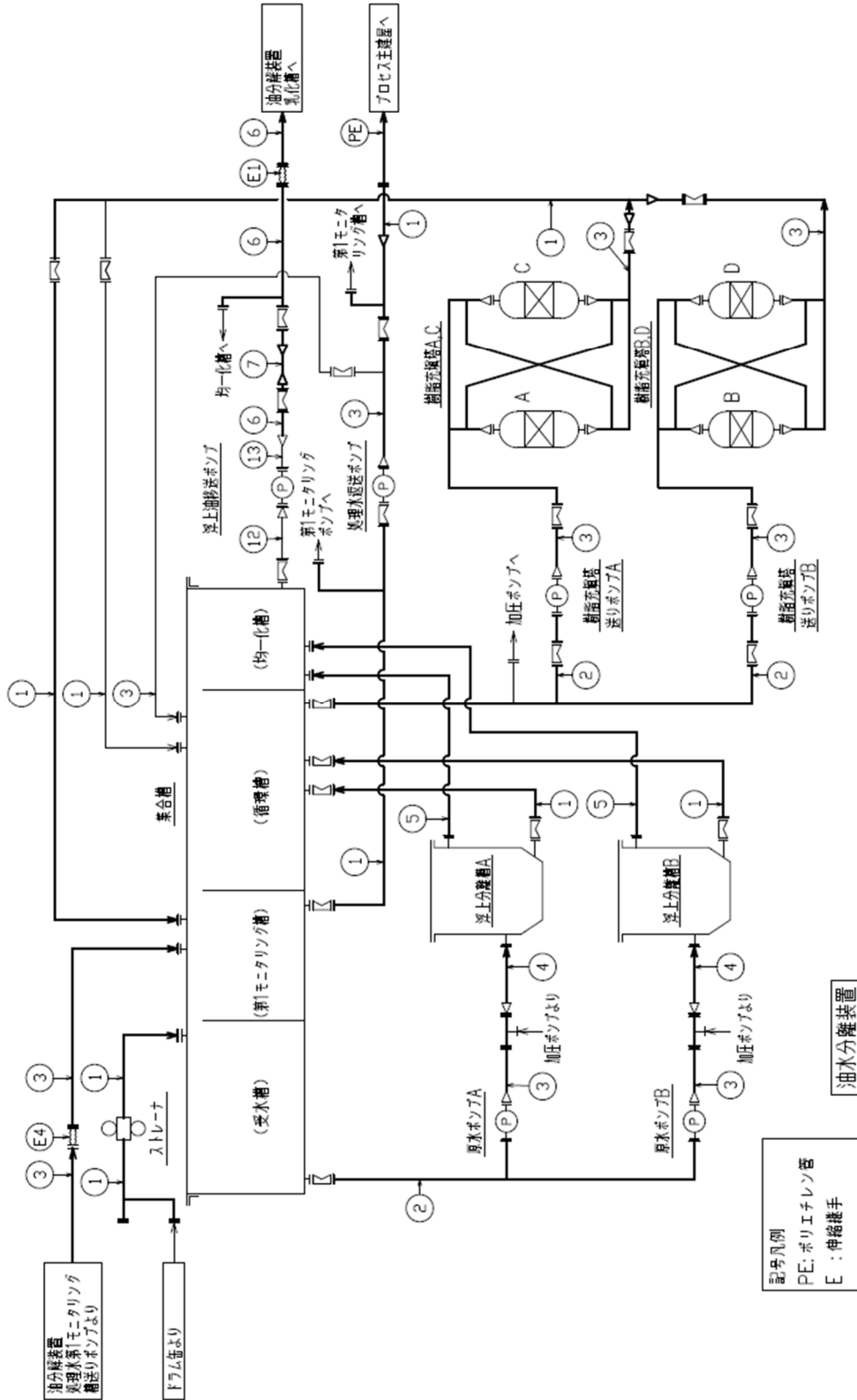
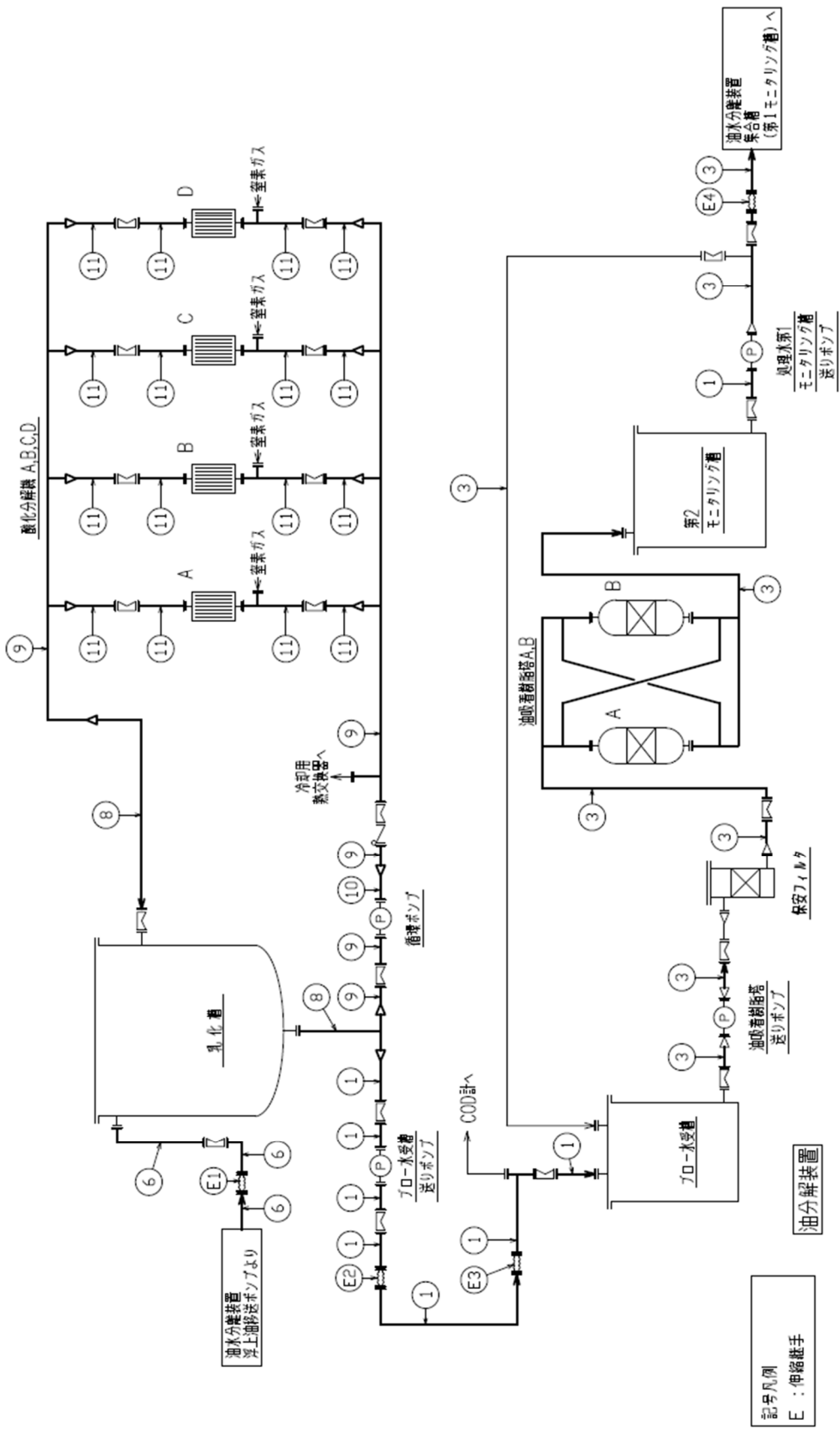


図-11 配管概略図(1/2)



図一 1 1 配管概略図(2 / 2)

2.7.2 評価方法

(1) 管の厚さの評価

管の厚さは、以下の計算式により求められる値以上とする。

$$t = \frac{P \cdot D_0}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$$

- t : 管の計算上の必要な厚さ (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) 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返し回数が、実際の繰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 : 継手部の波の数の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

2.7.3 評価結果

評価結果を表－15, 16に示す。使用する配管の最小厚さは必要厚さに対し厚く、主要配管は十分な強度を有することを確認した。

表－15 配管 強度評価結果

No.	外径 (mm)	材料	最高 使用 圧力 (MPa)	最高 使用 温度 (°C)	必要 厚さ (mm)	最小 厚さ (mm)
①	60.5	SUS304TP	0.4	50	0.10	3.0
②	48.6	SUS304TP	0.02	40	0.01	2.5
③	34.0	SUS304TP	0.4	50	0.06	2.5
④	42.7	SUS304TP	0.15	40	0.03	2.5
⑤	165.2	SUS316LTP	0.02	40	0.02	4.3
⑥	27.2	SUS316LTP	0.3	40	0.04	2.0
⑦	13.8	SUS316LTP	0.3	40	0.02	1.5
⑧	165.2	SUS304TP	0.3	50	0.20	4.3
⑨	114.3	SUS304TP	0.3	50	0.14	3.5
⑩	89.1	SUS304TP	0.3	50	0.11	3.5
⑪	76.3	SUS304TP	0.3	50	0.09	3.0
⑫	42.7	SUS316LTP	0.02	40	0.01	2.5
⑬	21.7	SUS316LTP	0.3	40	0.03	2.0

注1) 継手類及び弁類は JIS 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) 必要厚さの計算は、配管仕様毎に最も高い圧力、最も高い温度にて評価を行う。

表－16 伸縮継手の評価結果

No.	材料	最高使用 圧力 (MPa)	最高使用 温度 (°C)	許容繰り返し 回数 (回)	実際の繰り返 し回数 (回)
①	SUS316L	0.3	40	94.1×10^3	0.1×10^3
②	SUS304	0.4	50	498×10^3	0.1×10^3
③	SUS304	0.4	50	51.1×10^3	0.1×10^3
④	SUS304	0.4	50	83.3×10^3	0.1×10^3

油処理装置の具体的な安全確保策

油処理装置は放射性物質を含む滞留水や浮上油を扱うため、漏えい防止、被ばく低減、可燃性ガス滞留防止、使用済吸着材の貯蔵について、具体的な安全確保策を以下のとおり定め実施する。

1. 放射性物質の漏えい防止等に対する考慮

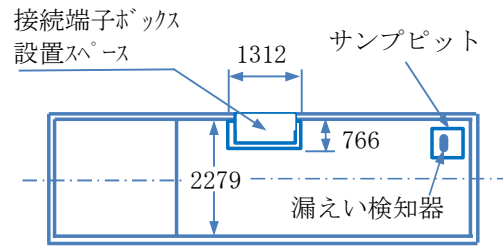
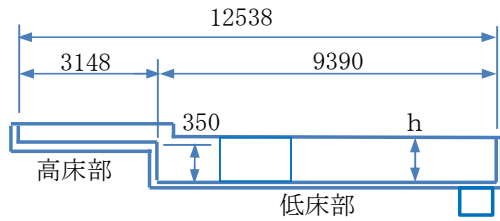
(1) 漏えい発生防止

- a. 油と塩化物イオンを含む滞留水を扱うため、接液部は耐放射線性、耐油性、耐食性を併せ持つ材質を使用する。
塩化物イオン濃度の高い液体と接する金属部は、耐食性を有するゴムライニングを施し、ゴムライニングを施せない金属部は耐食性を有する材質を使用する。
- b. 処理水をプロセス主建屋まで移送する配管は耐食性を有するポリエチレン管を使用する。
- c. 乳化槽の可燃性ガスの排気及び各槽の換気を行う排ガス系統のダクト管は、酸性ガスの発生を考慮して耐食性を有するポリ塩化ビニル管を使用する。

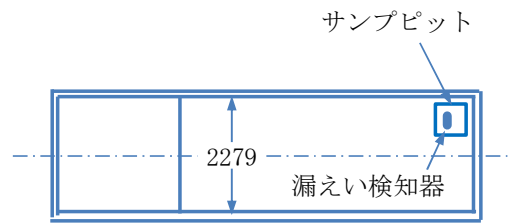
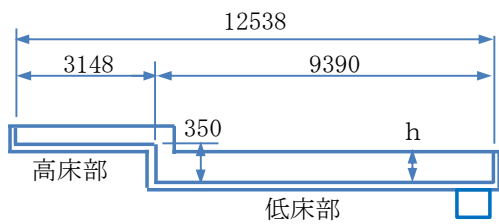
(2) 漏えい検知・漏えい拡大防止

- a. 漏えい早期検知として、装置を設置するコンテナには漏えい拡大防止堰を設けるとともに、漏えい検知器を設ける。漏えい拡大防止堰は、各コンテナに收容される機器に内包す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漏えい拡大防止堰内に収まり、漏えい拡大防止堰外に漏えいすることはない（図－1および表－1）。
- b. コンテナ間の連絡配管はトラフ内に敷設する。トラフ内に漏えいした液体は、コンテナの漏えい拡大防止堰内へ導く構造とする。
- c. 処理水をプロセス主建屋へ移送する配管には、トラフを設置し、トラフ内には漏えい検知器を設ける。
- d. 漏えいを検知した場合は、油処理装置監視室に警報を発報するとともに、油処理運転を停止させる。
- e. 配管と油処理装置との取合い部はフランジ接続とするが、接続の位置は漏えい拡大防止堰の内部とすることで、漏えいの拡大を防止する。また、プロセス主建屋へ処理水を移送する配管はポリエチレン管とし、ポリエチレン管同士の接続部は漏えい発生防止のため融着構造とする。
- f. 排ガス系統のダクト管は、カバーを設置し二重化を行う。

単位：mm



・油水分離コンテナ漏えい拡大防止堰高さ：h=434 mm



・第1油分解コンテナ漏えい拡大防止堰高さ：h=144 mm

・第2油分解コンテナ漏えい拡大防止堰高さ：h=244 mm

図－1 漏えい拡大防止堰の寸法（単位：mm）

表－1 施設外への漏えい拡大防止能力の評価

名称	装置保有水量 ^{※1} (m ³)	設置区画内床面積 ^{※2} (m ²)	見込み高さ ^{※3} (mm)	漏えい廃液を貯留するために必要な堰高さ (mm)	漏えい拡大防止堰高さ ^{※3} (mm)	評価
	①	②	③	④=①/② ×1000+③	⑤	
	m ³	m ²	mm	mm	mm	
油水分離コンテナ	7.00	27.56	110.84	364.83	365 以上	漏えい拡大防止堰高さ：hは、装置保有水量を貯留するために必要な堰高さを満足しており、施設外への漏えい拡大を防止できる。
第1油分解コンテナ	2.59	21.39	4.67	125.75	126 以上	
第2油分解コンテナ	4.48	21.39	8.42	217.86	218 以上	

備考 ※1 保有水量が最大となる装置内に設置する全水槽および配管の総水量としている。

※2 各コンテナの漏えい拡大防止堰の床面積。

※3 堰高さ以下にある槽、機器、支持帯、架台、支柱、配管、タイヤスペースについて計上。

2. 被ばく低減対策

- (1) 油処理装置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 以下を目標とし、適切に遮へいを設ける。また、本装置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 0.0075mSv となる。

評価点	年間線量 (mSv/年)
No. 7	0.0075

- (2) 通常運転時は、油処理装置監視室から遠隔での運転操作及び監視を可能とする。
- (3) 保守作業時の運転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) 油処理装置の運転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、標識を設けて放射線業務従事者の被ばく低減を図る。

3. 可燃性ガス滞留防止対策

酸化分解機の運転に伴い水の電気分解により可燃性ガス（水素ガス）が発生する。可燃性ガス（水素ガス）の滞留防止のため以下の対策を実施する。

(1) 通常運転時

乳化槽で水と分離した可燃性ガス（水素ガス）を、空気により水素可燃限界以下に希釈して排気する（別添-1 を参照）。

(2) 排気の風量低下または可燃性ガス（水素ガス）濃度上昇時

故障・誤操作により排気風量低下もしくは可燃性ガス（水素ガス）の濃度が上昇した場合は、電気分解を停止させるとともに、窒素ガスを酸化分解機に注入し、可燃性ガス（水素ガス）と置換する。

(3) 主電源喪失時

電気分解が停止し、可燃性ガス（水素ガス）発生は停止する。

4. 使用済吸着材の取扱いに対する考慮

油処理装置で発生する固体廃棄物については、容器に保管した上で発電所内の屋外一時保管エリアにて保管する。

5. 環境条件に対する対策

(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

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。

(3) 凍結

屋外に敷設している配管は水を移送している過程では凍結の恐れはないが，水の移送が停止した場合，凍結による破損が懸念されるため，保温材等を取り付ける。

(4) 紫外線による劣化

屋外敷設箇所のポリエチレン管は，トラフ内に設置かつ耐紫外線性を有する保温材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。屋外敷設箇所のポリ塩化ビニル管は，点検架台下に設置することで，紫外線による劣化を防止する。

(5) 耐放射線性

ポリエチレンは，集積線量が $2 \times 10^5 \text{Gy}$ 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， $2 \times 10^5 \text{Gy}$ 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。

(6) 長期停止中の措置

油処理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。

可燃性ガス（水素ガス）の排気濃度について

1. 概要

酸化分解機の運転に伴い水の電気分解により可燃性ガス（水素ガス）が発生する。排気中の水素ガス濃度を水素可燃限界（4%）の1/10である0.4%まで希釈するよう、油処理装置排ガス系統の必要風量を設定するため、安全上の問題はない。

2. 排気の水素ガス濃度評価

2.1 評価方法

(1) 評価手法

- 酸化分解機への通電量より、電流から水素への変換効率が100%であると仮定した場合の最大水素発生量を計算する。
- 油処理装置排ガス系統の水素濃度は、水素可燃限界を十分下回るように設定される。
- 水素ガス発生量と排ガス系統の水素濃度の割合から必要な排気風量を計算する。

(2) 水素ガス発生量

酸化分解機に通電される電流量は油処理装置全体で14,400(A)であり、定電流電源によって供給されるためこの電流量は装置の電気抵抗変動に影響されず一定である。

1モルの水素ガス発生に必要な理論電気量は53.6(Ah/mol)^{(3.引用文献(1)参照)}であることから、油処理装置の1時間当たりの水素ガス発生量は6.0(m³/h)が最大値となる。

(3) 排気の水素濃度

油処理装置排ガス系統の水素濃度は、水素可燃限界（4%）の1/10である0.4%とする。

(4) 必要排気風量

必要排気風量は、水素ガス希釈用風量（水素ガス発生量を水素可燃限界（4%）の1/10に希釈するために必要な風量）とミスト拡散防止用風量（各槽の気相部を3回/h以上換気可能な風量）の和となるので、約1,516(m³/h)となる。

2.2 評価結果

評価の結果、必要排気風量は約1,516(m³/h)となるため、定格風量1,800(m³/h)の吸引ファンを用いることで安全上の問題はないと判断する。

3. 引用文献

- (1)水素エネルギーシステム vol. 36, 1, 11-16 「水電解技術の現状と課題」(2011) 光島ら

油処理装置に係る確認事項

1. 油水分離装置

油水分離装置に係る主要な確認事項を表－1～5に示す。

溶接検査に関する確認事項を表－6に示す。性能に関する確認事項を表－7に示す。

表－1 確認事項（集合槽（受水槽，第1モニタリング槽，循環槽，均一化槽），浮上分離槽，樹脂充填塔）

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・据付確認※1	各部の外観を確認する。 機器の据付位置および据付状態を確認する。	有意な欠陥がないこと。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	受水槽，第1モニタリング槽，循環槽，均一化槽，浮上分離槽： 静水頭圧力で保持した後，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。	静水頭圧力に耐え，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。
		樹脂充填塔： 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－2 確認事項（原水ポンプ，樹脂充填塔送りポンプ，処理水返送ポンプ，浮上油移送ポンプ）

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・据付確認※2	各部の外観を確認する。 機器の据付位置および据付状態を確認する。	有意な欠陥がないこと。 実施計画のとおり施工・据付されていること。
	漏えい確認	運転圧力で耐圧部からの漏えいの有無を確認する。	耐圧部からの漏えいがないこと。
性能	運転性能確認※2	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。

※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。

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。	実施計画のとおりであること。
	外観・据付確認※3	各部の外観を確認する。 配管の据付位置および据付状態を確認する。	有意な欠陥がないこと。 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。

※3：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-3-2 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。	実施計画のとおりであること。
	外観・据付確認 ^{※4}	各部の外観を確認する。 配管の据付位置および据付状態を確認する。	有意な欠陥がないこと。 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 ^{※4}	最高使用圧力以上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。	最高使用圧力以上の水圧に耐え、かつ構造物の変形がないこと。 また、耐圧部から漏えいがないこと。

※4：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-3-3 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	実施計画に記載した指定サイズ（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・据付確認 ^{※5}	各部の外観を確認する。 配管の据付位置および据付状態を確認する。	有意な欠陥がないこと。 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	最高使用圧力の1.25倍以上の気圧で保持した後、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1.25倍以上の気圧に耐え、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。

※5：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（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・据付確認	各部の外観を確認する。 機器の据付位置および据付状態を確認する。	有意な欠陥がないこと。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」※ ⁶ の信号により、警報が発生することを確認する。	「漏えい」※ ⁶ の信号により警報が発生すること。

※6：漏えい検知器により信号名称は異なる。

表－５ 確認事項（漏えい拡大防止堰）

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※ ⁷	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。

※7：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。

表一6 確認事項（集合槽（受水槽，第1モニタリング槽，循環槽，均一化槽），浮上分離槽，樹脂充填塔，鋼管）

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，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。	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。
	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法及び溶接士により溶接施工が行われていること。
	非破壊検査	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	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	受水槽，第1モニタリング槽，循環槽，均一化槽，浮上分離槽： 静水頭圧力で保持した後，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。	静水頭圧力に耐え，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。
		樹脂充填塔： 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。

		鋼管： 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。
	外観検査※8	各部の外観を確認する。	外観上，傷・へこみ・変形等の異常がないこと。

※8：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（油水分離装置）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
性能	性能確認	通常運転状態にて通油状態を確認する。	通常運転状態にて，油分解装置（乳化槽）へ通油されること。
		通常運転状態にて通水状態を確認する。	通常運転状態にて，プロセス主建屋へ通水されること。

2. 油分解装置

油分解装置に係る主要な確認事項を表－8～13に示す。

排ガス系統に係る構造強度および機能に関する確認事項を表－14に示す。

性能に関する確認事項を表－15に示す。

表－8 確認事項（乳化槽，ブロー水受槽，油吸着樹脂塔，第2モニタリング槽）

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 ^{※9}	各部の外観を確認する。 機器の据付位置および据付状態を確認する。	有意な欠陥がないこと。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	乳化槽，ブロー水受槽，第2モニタリング槽： 静水頭圧力で保持した後，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。 油吸着樹脂塔： 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。	静水頭圧力に耐え，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。 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。

※9：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－9 確認事項（循環ポンプ，ブロー水受槽送りポンプ，油吸着樹脂塔送りポンプ，処理水第1モニタリング槽送りポンプ）

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・据付確認 ^{※10}	各部の外観を確認する。 機器の据付位置および据付状態を確認する。	有意な欠陥がないこと。実施計画のとおり施工・据付されていること。
	漏えい確認	運転圧力で耐圧部からの漏えいの有無を確認する。	耐圧部からの漏えいがないこと。
性能	運転性能確認 ^{※10}	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。

※10：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 確認事項（酸化分解機）

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・据付確認 ^{※11}	各部の外観を確認する。 機器の据付位置および据付状態を確認する。	有意な欠陥がないこと。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。

※11：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 1－1 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。	実施計画のとおりであること。
	外観・据付確認 ^{※12}	各部の外観を確認する。 配管の据付位置および据付状態を確認する。	有意な欠陥がないこと。 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。

※12：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 1－2 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	実施計画に記載した指定サイズ（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・据付確認 ^{※13}	各部の外観を確認する。 配管の据付位置および据付状態を確認する。	有意な欠陥がないこと。 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	最高使用圧力の 1.25 倍以上の気圧で保持した後，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 1.25 倍以上の気圧に耐え，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。

※13：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 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・据付確認	各部の外観を確認する。 機器の据付位置および据付状態を確認する。	有意な欠陥がないこと。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」 ^{※14} の信号により、警報が発生することを確認する。	「漏えい」 ^{※14} の信号により警報が発生すること。

※14：漏えい検知器により信号名称は異なる。

表－1 3 確認事項（漏えい拡大防止堰）

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 ^{※15}	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。

※15：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 4 確認事項（排ガス系統）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度	外観・据付確認 ^{※16}	各部の外観を確認する。 機器の据付位置および据付状態を確認する。	有意な欠陥がないこと。実施計画のとおり施工・据付されていること。
機能	運転性能確認 ^{※16}	運転状態での風量を確認する。 運転状態での装置の状態を確認する。	排気風量が必要排気風量を下回らないこと。 異音，異臭，振動，変形等の異常がないこと。

※16：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 5 確認事項（油分解装置）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
性能	性能確認	通常運転状態にて通水状態を確認する。	通常運転状態にて，集合槽（第1モニタリング槽）へ通水されること。

2.44 放射性固体廃棄物等の管理施設及び関連施設（増設雑固体廃棄物焼却設備）

2.44.1 基本設計

2.44.1.1 設置の目的

増設雑固体廃棄物焼却設備は、放射性固体廃棄物等（その他雑固体廃棄物、使用済樹脂、瓦礫類、伐採木、使用済保護衣等）で処理可能なものについて焼却処理することを目的とする。

2.44.1.2 要求される機能

放射性固体廃棄物等の処理にあたっては、その廃棄物の性状に応じて適切に処理し、遮へい等の適切な管理を行うことにより、敷地周辺の線量を達成できる限り低減すること。

2.44.1.3 設計方針

(1) 放射性固体廃棄物等の処理

増設雑固体廃棄物焼却設備は、放射性固体廃棄物等の処理過程において放射性物質の散逸等の防止を考慮した設計とする。具体的には、焼却処理により発生する焼却灰は専用の密閉できる保管容器に詰めて密閉し、固体廃棄物貯蔵庫などの遮へい機能を有する設備に貯蔵保管する。処理過程においては、系統を負圧にし、放射性物質が散逸しない設計とする。

(2) 放射性気体廃棄物の考慮

増設雑固体廃棄物焼却設備は、敷地周辺の線量を合理的に達成できる限り低減できるように、焼却処理に伴い発生する排ガス及び汚染区域の排気を、フィルタを通し放射性物質を十分低い濃度になるまで除去した後、本建屋専用の排気筒から放出する設計としており、放出された粒子状の放射性物質の濃度は、試料放射能測定装置により、法令に定める濃度限度を下回ることを確認する。

なお、モニタリング設備にて排気中の放射性物質の濃度を監視しており、定められた値を上回った場合は、焼却運転を自動停止させる設計とする。

(3) 構造強度

「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。）に従うことを基本方針とし、必要に応じて JIS や製品規格に従った設計とする。

(4) 耐震性

増設雑固体廃棄物焼却設備の耐震設計は、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」（平成 18 年 9 月 19 日）に従い設計するものとする。

(5) 火災防護

火災の早期検知に努めるとともに、消火設備を設けることで初期消火を可能にし、火災により安全性を損なうことのないようにする。

(6) 被ばく低減

増設雑固体廃棄物焼却設備は放射線業務従事者等の立入場所における線量を合理的に達成できる限り低減できるように、遮へい、機器の配置、放射性物質の漏えい防止、換気等の所要の放射線防護上の措置を講じた設計とする。

また、敷地周辺の線量を達成できる限り低減するため、遮へい等の所要の放射線防護上の措置を講じた設計とする。

2.44.1.4 供用期間中に確認する項目

増設雑固体廃棄物焼却設備は、焼却設備のフィルタとモニタリング設備の健全性を維持することにより排気筒から放出する排ガスについて、放射性物質の濃度を環境に放出可能な値まで低減できていること。

2.44.1.5 主要な機器

増設雑固体廃棄物焼却設備は、新たに設置する建屋内に設置され、焼却設備、換気空調設備、モニタリング設備等で構成され、放射性固体廃棄物等で処理可能なものを焼却する。

(1) 焼却設備

焼却設備はロータリーキルン・ストーカ・二次燃焼器（以下、焼却機器という。）、排ガス冷却器、バグフィルタ、プレフィルタ、一次排ガスフィルタ、二次排ガスフィルタ、排ガスブロワ、排ガス補助ブロワ、排気筒で構成される。

焼却機器は、ロータリーキルンを回転させることで攪拌させ、かつストーカ上で時間をかけて焼却処理を行い、二次燃焼器で排ガスを 800℃以上で2秒以上の滞留で完全燃焼させ、ダイオキシン類を完全に分解し安定した性状の排ガスを排ガス冷却器へ供給する。

排ガス冷却器では、水噴霧により排ガスを急冷しダイオキシン類の再合成を防止するとともに、高温に達した排ガスをフィルタ類で処理できる温度まで冷却する。

バグフィルタはケーシング内にろ布が装着され、排ガスを通すことによりろ布表面で集塵を行う。ダストが堆積した場合、逆洗により定期的にダストを払い落とし、回収を行う。なお、当該設備の除染係数（以下、DFとする。）は10以上を確保する。

一次排ガスフィルタ、二次排ガスフィルタは粒径 0.3 μm に対して 99.97%の粒子捕集率があるHEPAフィルタで構成され、バグフィルタで集塵しきれなかった排ガス中の微粒子を回収する。当該設備ではHEPAフィルタを一次排ガスフィルタ、二次排ガスフィルタの2段直列に配置することでDF=10⁵以上を確保する。なお、HEPAフィルタの目詰まり

抑制のため、その前段にプレフィルタを設ける。

排ガスブロワは、一連の系統を吸引しフィルタにて処理された排ガスを排気筒へ送り出す。また、系統を負圧にし、放射性物質の散逸等を防止する。

これらの焼却設備のDFは系統全体で 10^6 以上である。

なお、焼却処理にて発生する焼却灰は専用の密閉できる保管容器に保管する。

(2) 増設雑固体廃棄物焼却設備建屋

増設雑固体廃棄物焼却設備建屋（以下、増設焼却炉建屋という。）は、鉄筋コンクリート造（一部鉄骨鉄筋コンクリート造および一部鉄骨造）の地上5階で、平面が約80m（東西方向）×約51m（南北方向）の建物で、地上高さは約39mである。

(3) 換気空調設備

換気空調設備は、送風機、排風機、排気フィルタ等で構成する。

送風機、排風機は、それぞれ50%容量のもの3台で構成する。建屋内に供給された空気は、フィルタを通した後、排風機により排気筒から大気に放出する。

(4) モニタリング設備

排気筒において排ガス中の放射性物質濃度をガス放射線モニタ及びダスト放射線モニタにより監視する。

(5) 遮へい壁

焼却設備、雑固体廃棄物、焼却灰からの放射線に対し、放射線業務従事者等を保護する目的として、主に機器まわりのコンクリート壁・天井による遮へいを行う。

また、敷地周辺の線量を達成できる限り低減するために、雑固体廃棄物及び焼却灰からの放射線について、建屋のコンクリート壁・天井により遮へいを行う。

2.44.1.6 自然災害対策等

(1) 津波

増設焼却炉建屋は、アウターライズ津波が到達しないと考えられるT.P.約32mの場所に設置する。このため、津波の影響は受けない。

(2) 火災

増設焼却炉建屋内では、可燃性の雑固体廃棄物を一時保管し、燃料を使用するため、火災報知設備、消火栓設備、消火設備、消火器等を消防法及び関係法令に基づいて適切に設置し、火災の早期検知、消火活動の円滑化を図る。

(3) その他の自然災害（台風、竜巻、積雪等）

台風・竜巻など暴風時に係る建屋の設計は、建築基準法及び関係法令に基づく風圧力に対して耐えられるように設計する。なお、その風圧力は、その地方における観測記録に基づくものとする。豪雨に対しては、構造設計上考慮することはないが、屋根面の排水等、適切な排水を行うものとする。

その他自然現象としては、積雪時に係る建屋の設計は、建築基準法及び関係法令、福島県建築基準法施行細則第 19 条に基づく積雪荷重に耐えられるように設計する。なお、その積雪荷重は、その地方における垂直積雪量を考慮したものとする。

2.44.1.7 構造強度及び耐震性

(1) 強度評価の基本方針

増設雑固体廃棄物焼却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、廃棄物処理設備に該当することから、クラス 3 に位置付けられる機器を含む。「設計・建設規格」のクラス 3 に該当するものについては、同規格に準拠した設計・製作・検査を行う。

(2) 耐震性評価の基本方針

増設雑固体廃棄物焼却設備の耐震設計は、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」（平成 18 年 9 月 19 日）に従い設計するものとする。また、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」を準用する。

2.44.1.8 機器の故障への対応

2.44.1.8.1 機器の単一故障

(1) 負圧維持機能を有する動的機器の故障

増設雑固体廃棄物焼却設備の負圧維持機能を有する動的機器に関しては予備機を設置する。負圧維持機能を有する排ガスブロワと排ガス補助ブロワは同時に運転することはないことから、いずれか一方が故障した場合には、もう一方の運転継続により負圧維持が可能となる。

(2) モニタリング設備の故障

ガス放射線モニタ及びダスト放射線モニタは、2 チャンネルを有し、1 チャンネル故障時でも他の 1 チャンネルで排気筒における放射性物質濃度を監視可能とする。

(3) その他の主要な機器の故障

その他の主要な機器が故障した場合、速やかに焼却運転を停止させる。

(4) 電源喪失

増設雑固体廃棄物焼却設備の電源は2系統より受電する設計とし、1系統からの受電が停止した場合でも全ての負荷に給電できる構成とする。

2.44.1.8.2 複数の設備が同時に機能喪失した場合

増設雑固体廃棄物焼却設備の複数の設備が同時に機能喪失した場合、速やかに焼却処理を停止する。外部電源喪失した場合、廃棄物の供給は停止するため、焼却は自然に停止に向かう。

2.44.2 基本仕様

2.44.2.1 主要仕様

(1) 焼却設備

a. ロータリーキルン・ストーカ・二次燃焼器

名 称			ロータリーキルン・ストーカ ・二次燃焼器	
容 量		kcal/h/基	約 13400000 (廃棄物 3960kg/h 相当)	
ロータリーキルン	主要寸法	長 さ	mm	8000
		胴 外 径	mm	3750
		外 殻 厚 さ	mm	25
	材料	外 殻	—	SS400
ストーカ	主要寸法	た て	mm	9262
		横	mm	3158
		高 さ	mm	7304
		外 殻 厚 さ	mm	9
	材料	外 殻	—	SS400
二次燃焼器	主要寸法	た て	mm	3718
		横	mm	3718
		高 さ	mm	12219
		外 殻 厚 さ	mm	9
	材料	外 殻	—	SS400
基 数		基	1	

b. 排ガス冷却器

名 称			排ガス冷却器	
主要寸法	高 さ	mm	26023	
	胴 外 径	mm	4468	
	外 殻 厚 さ	mm	9	
材料	外 殻	—	SS400	
基 数		基	1	

c. バグフィルタ

名 称		バグフィルタ	
容 量		Nm ³ /h/基	62000
主要寸法	た て	mm	10720
	横	mm	3060
	高 さ	mm	12000
材料	ケーシング	—	SS400
基 数		基	1

d. プレフィルタ

名 称		プレフィルタ	
容 量		Nm ³ /h/基	31000
主要寸法	胴 外 径	mm	2924
	長 さ	mm	4600
材料	ケーシング	—	SS400
基 数		基	2

e. 一次排ガスフィルタ

名 称		一次排ガスフィルタ	
容 量		Nm ³ /h/基	31000
主要寸法	胴 外 径	mm	2924
	長 さ	mm	6150
材料	ケーシング	—	SS400
基 数		基	2

f. 二次排ガスフィルタ

名 称		二次排ガスフィルタ	
容 量		Nm ³ /h/基	31000
主要寸法	胴 外 径	mm	2924
	長 さ	mm	6150
材料	ケーシング	—	SS400
基 数		基	2

g. 排気筒

名 称			排気筒
主要 寸法	洞 外 径	mm	2518
	高 さ	mm	16000
材 料	洞 板	—	SUS304
基 数		基	1

h. 煙道

名 称			煙道
主要 寸法	外 径 / 厚 さ	mm	1524.0 / 12.0
			1117.6 / 12.0
材 料	本 体	—	SS400

i. 排ガスブロワ

容 量 62000Nm³/h/基
基 数 1

j. 排ガス補助ブロワ

容 量 6800Nm³/h/基
基 数 1

(2) 廃液処理設備

a. 建屋ドレンサンプタンク

名 称		建屋ドレンサンプタンク	
容 量	m ³ /基	4.5	
最高使用圧力	MPa	静水頭	
最高使用温度	℃	66	
主 要 寸 法	胴 内 径	mm	2000
	胴 板 厚 さ	mm	6
	鏡 板 厚 さ	mm	6
	平 板 厚 さ	mm	12
	高 さ	mm	1944
材 料	胴 板	—	SUS304
	鏡 板	—	SUS304
基 数	基	1	
制 御 方 法	—	液位高による警報発報回路	

b. サンプルタンク

名 称		サンプルタンク	
容 量	m ³ /基	4.5	
最高使用圧力	MPa	静水頭	
最高使用温度	℃	66	
主 要 寸 法	胴 内 径	mm	2000
	胴 板 厚 さ	mm	6
	鏡 板 厚 さ	mm	6
	平 板 厚 さ	mm	12
	高 さ	mm	1944
材 料	胴 板	—	SUS304
	鏡 板	—	SUS304
基 数	基	1	
制 御 方 法	—	液位高による受入停止回路 液位高高による警報発報回路	

c. 建屋ドレンポンプ

容 量	2.4m ³ /h 基
基 数	1

d. サンプルポンプ

容 量	2.4m ³ /h/基
基 数	1

e. 主配管

名 称	仕 様	
建屋ドレンポンプから サンプルタンクまで (鋼管)	外径／厚さ	48.6mm／3.7mm 27.2mm／2.9mm
	材質	SUS304TP
	最高使用圧力	0.78MPa
	最高使用温度	66℃
サンプルポンプから 移送容器接続口まで (鋼管)	外径／厚さ	48.6mm／3.7mm 27.2mm／2.9mm
	材質	SUS304TP
	最高使用圧力	0.78MPa
	最高使用温度	66℃

f. 施設外への漏えいの拡大を防止するための堰その他の設備

名 称		ドレンタンク室 (F-1)
主要寸法	堰の高さ	30cm 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
取 付 箇 所		増設焼却炉建屋 地上 1 階

名 称		増設焼却炉建屋 1 階の施設外との境界壁面 (F-2) 及びこれに囲まれた床面 (F-3)
主要寸法	堰の高さ	—
	床・壁の塗装	床面及び床面から 5cm 以上までの壁面
材 料	堰	—
	床・壁の塗装	エポキシ樹脂
取 付 箇 所		増設焼却炉建屋 地上 1 階

名 称	搬出入室トラックヤード出入口	(F-4)
	送風機室前室出入口	(F-5)
	焼却炉室通路出入口	(F-6)
	出入管理エリア出入口	(F-7)
主要寸法	堰の高さ	5cm 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
取 付 箇 所	増設焼却炉建屋 地上 1 階	

名 称	増設焼却炉建屋 4 階の施設外との境界壁面 (F-8)	
	及びこれに囲まれた床面	
主要寸法	堰の高さ	—
	床・壁の塗装	床面及び床面から 5cm 以上までの壁面
材 料	堰	—
	床・壁の塗装	エポキシ樹脂
取 付 箇 所	増設焼却炉建屋 地上 4 階	

名 称	排気室出入口	(F-9)
	排気室出入口	(F-10)
主要寸法	堰の高さ	5cm 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
取 付 箇 所	増設焼却炉建屋 地上 4 階	

g. 漏えいの検出装置及び自動警報装置

	建屋ドレンサンプタンク, サンプルタンク (G-1)	
名 称	漏えい検出装置	警報装置
検出器の種類	電極式	—
動作範囲	ドレンタンク室集水ます底面 +20mm ～ドレンタンク室 1 階床面	ドレンタンク室集水ます底面 +20mm ～ドレンタンク室 1 階床面
取付箇所	ドレンタンク室	制御室表示

(3) 換気空調設備

a. 送風機

容 量 52500m³/h/基
基 数 3

b. 排風機

容 量 105000m³/h/基
基 数 3

c. 排気フィルタ

名 称		排気フィルタ	
容 量		m ³ /h/基	70000
主 要 寸 法	た て	mm	3070
	横	mm	4890
	高 さ	mm	3030
基 数		基	4

(4) モニタリング設備

名 称	検出器の種類	計測範囲	取付箇所
ダスト放射線モニタ	シンチレーション	10 ⁻¹ ~10 ⁵ s ⁻¹	増設雑固体廃棄物焼却設備排気筒出口 合計 2 チャンネル (監視・記録は制御室)
ガス放射線モニタ	シンチレーション	10 ⁻¹ ~10 ⁵ s ⁻¹	増設雑固体廃棄物焼却設備排気筒出口 合計 2 チャンネル (監視・記録は制御室)

(5) 補助遮へい

種類		主要寸法 (mm)	冷却方法	材料	
補助遮へい	増設焼却炉建屋	送風機室	南壁 (1階)	500	自然冷却 普通コンクリート (密度 2.15g/cm ³ 以上)
			南壁 (2階)	500	
			南壁 (3階)	500	
			天井 (3階)	300	
		送風機室前室	北壁 (1階)	500	
			東壁 (1階)	500	
		搬出入室	西壁 (1階)	500	
			西壁 (2階)	500	
			西壁 (3階)	500	
		搬出入室 トラックヤード	西壁 (1階)	500	
			南壁 (1階)	500	
			西壁 (2階)	500	
			南壁 (2階)	500	
			西壁 (3階)	500	
			南壁 (3階)	500	
		灰充填室通路	南壁 (1階)	500	

種類			主要寸法 (mm)	冷却方法	材料	
補助遮へい	増設焼却炉建屋	焼却炉室	東壁 (2階)	650	自然冷却	普通コンクリート (密度 2.15g/cm ³ 以上)
			南壁 (2階)	500		
			東壁 (3階)	500		
			南壁 (3階)	500		
			東壁 (4階)	350		
			南壁 (4階)	500		
			西壁 (5階)	300		
			南壁 (5階)	300		
			天井 (5階)	200		
		焼却炉室通路	南壁 (1階)	500		
		廃棄物貯留ピット	北壁 (1階)	500		
			東壁 (1階)	650		
			北壁 (2階)	500		
			東壁 (2階)	650		
			東壁 (3階)	500		
			東壁 (4階)	350		
		灰ホッパ室	南壁 (2階)	500		
			南壁 (3階)	500		
		給気フィルタ室	天井 (2階)	300		

種類		主要寸法 (mm)	冷却方法	材料		
補助 遮へい	増設 焼却 炉建屋	廃棄物受入室	北壁 (3階)	350	自然冷却	普通コンクリート (密度 2.15g/cm ³ 以上)
			西壁 (3階)	500		
			東壁 (3階)	500		
			北壁 (4階)	350		
			東壁 (4階)	350		
		クレーン操作室	北壁 (3階)	200		
			東壁 (3階)	200		
			南壁 (3階)	200		
			天井 (3階)	200		
		排気室	北壁 (4階)	350		
			西壁 (4階)	350		
			天井 (4階)	300		
		廃油タンク室	西壁 (4階)	350		
			南壁 (4階)	500		
			天井 (4階)	300		
		排水タンク室	南壁 (4階)	500		
			天井 (4階)	300		
		冷却水タンク室	南壁 (4階)	500		
			天井 (4階)	300		

種類			主要寸法 (mm)	冷却方法	材料	
補助遮へい	増設焼却炉建屋	排ガスモニタ室	北壁 (4階)	350	自然冷却	普通コンクリート (密度 2.15g/cm ³ 以上)
		排ガス処理室	北壁 (5階)	300		
			西壁 (5階)	300		
			天井 (5階)	200		
		クレーン保守エリア	北壁 (5階)	300		
			東壁 (5階)	300		
			天井 (5階)	300		
		廃棄物供給室	東壁 (5階)	300		
			天井 (5階)	300		
		廃棄物供給室前室	南壁 (5階)	300		
			天井 (5階)	300		

2.44.3 添付資料

- 添付資料-1 焼却設備概略系統図
- 添付資料-2 増設雑固体廃棄物焼却設備の全体概要図
- 添付資料-3 増設焼却炉建屋平面図
- 添付資料-4 換気空調設備概略系統図
- 添付資料-5 排気中の放射性物質濃度に係る説明書
- 添付資料-6 設定根拠に関する説明書
- 添付資料-7 廃棄設備に係る機器の配置を明示した図面
- 添付資料-8 増設焼却炉建屋の構造強度に関する検討結果
- 添付資料-9 安全避難通路に関する説明書及び安全避難通路を明示した図面
- 添付資料-10 非常用照明に関する説明書及び取付箇所を明示した図面
- 添付資料-11 火災防護に関する説明書並びに消火設備の取付箇所を明示した図面
- 添付資料-12 生体遮へい装置の放射線の遮へい及び熱除去についての計算書
- 添付資料-13 補助遮へいに関する構造図
- 添付資料-14 放射性物質の散逸防止に関する説明書
- 添付資料-15 増設雑固体廃棄物焼却設備の設置について
- 添付資料-16 増設雑固体廃棄物焼却設備に係る確認事項
- 添付資料-17 増設雑固体廃棄物焼却設備の耐震性に関する説明書
- 添付資料-18 増設雑固体廃棄物焼却設備の強度に関する説明書
- 添付資料-19 増設雑固体廃棄物焼却設備に関する構造図
- 添付資料-20 流体状の放射性廃棄物の施設外への漏えい防止能力についての計算書
- 添付資料-21 流体状の放射性廃棄物の漏えいの検出装置及び自動警報装置の構成に関する説明書

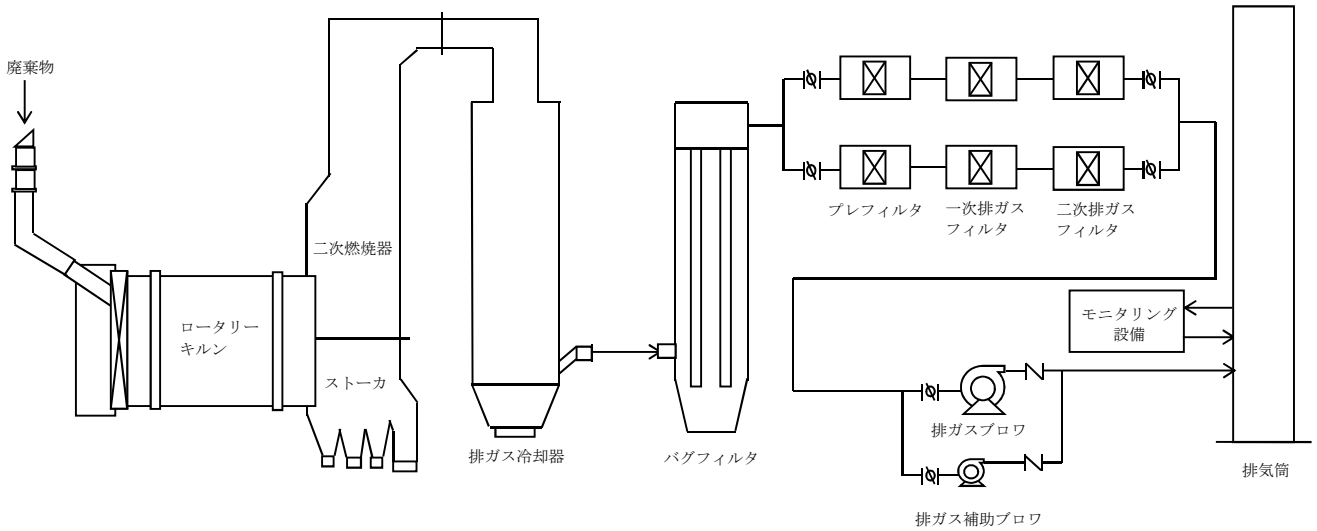


図-1 焼却設備概略系統図

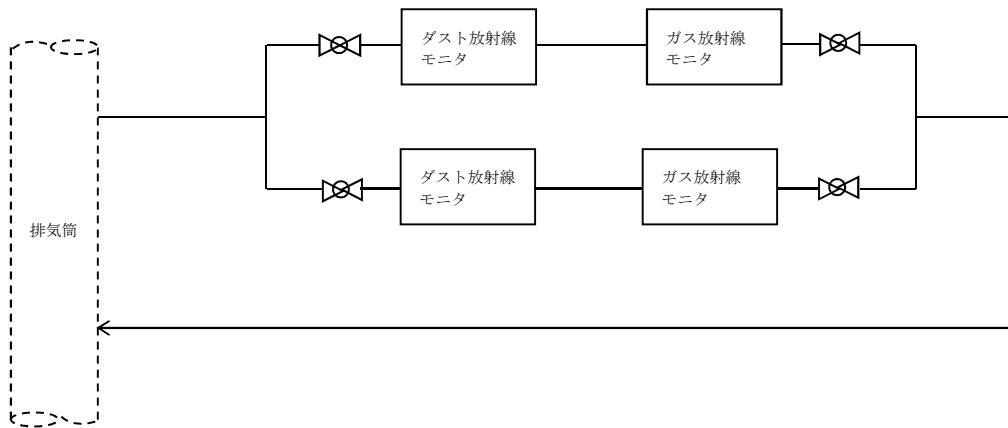


図-2 モニタリング設備概略系統図

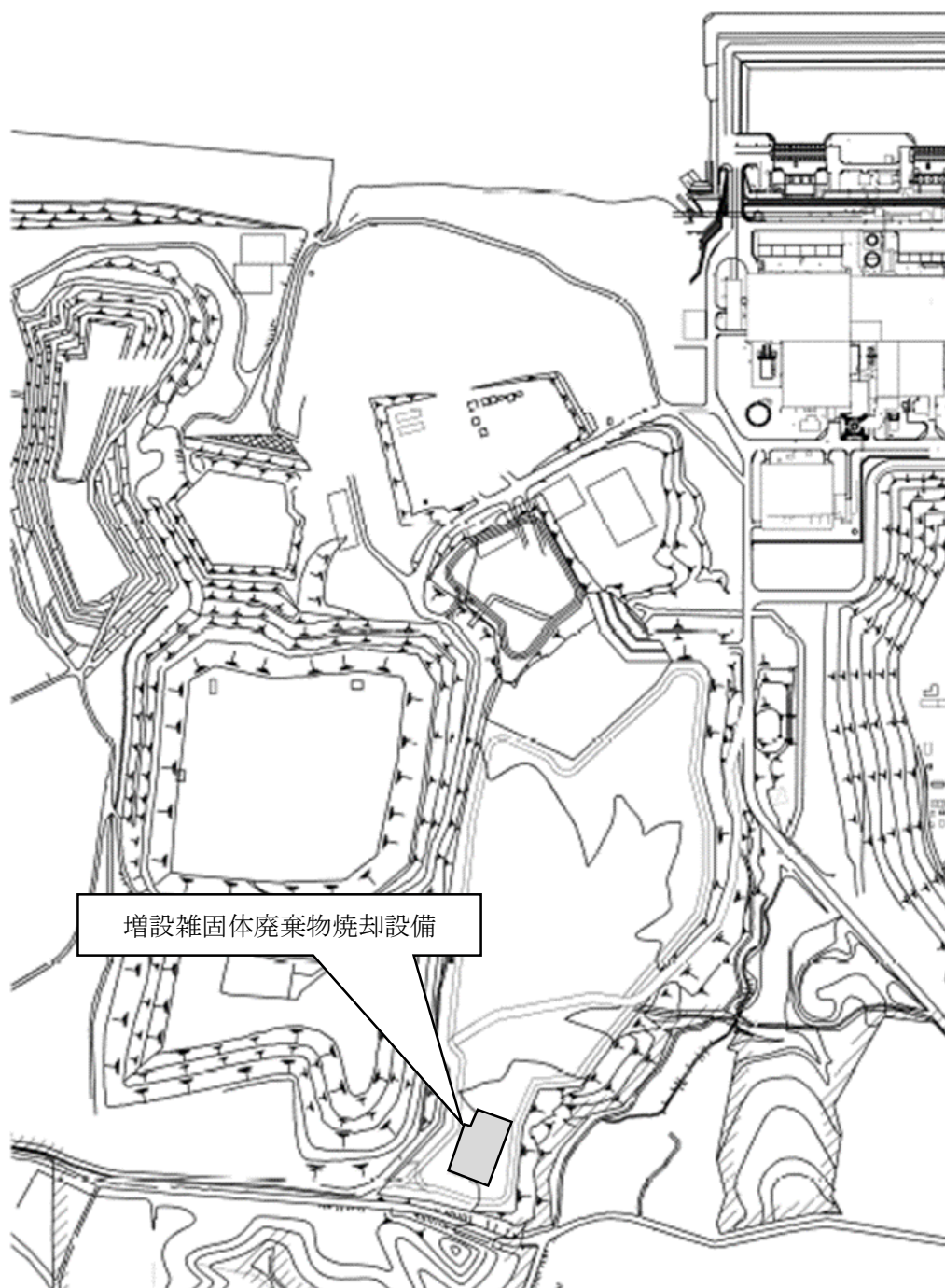


図-1 増設雑固体廃棄物焼却設備の全体概要図

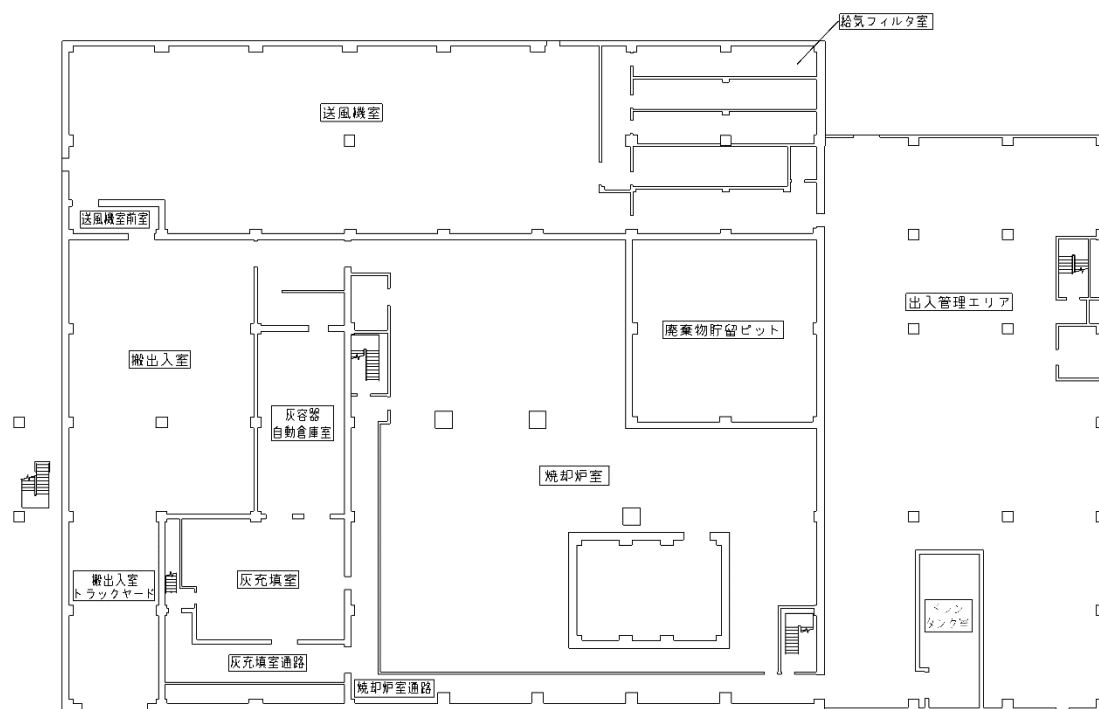


図-1 増設焼却炉建屋平面図 (1/6)

増設焼却炉建屋 1階

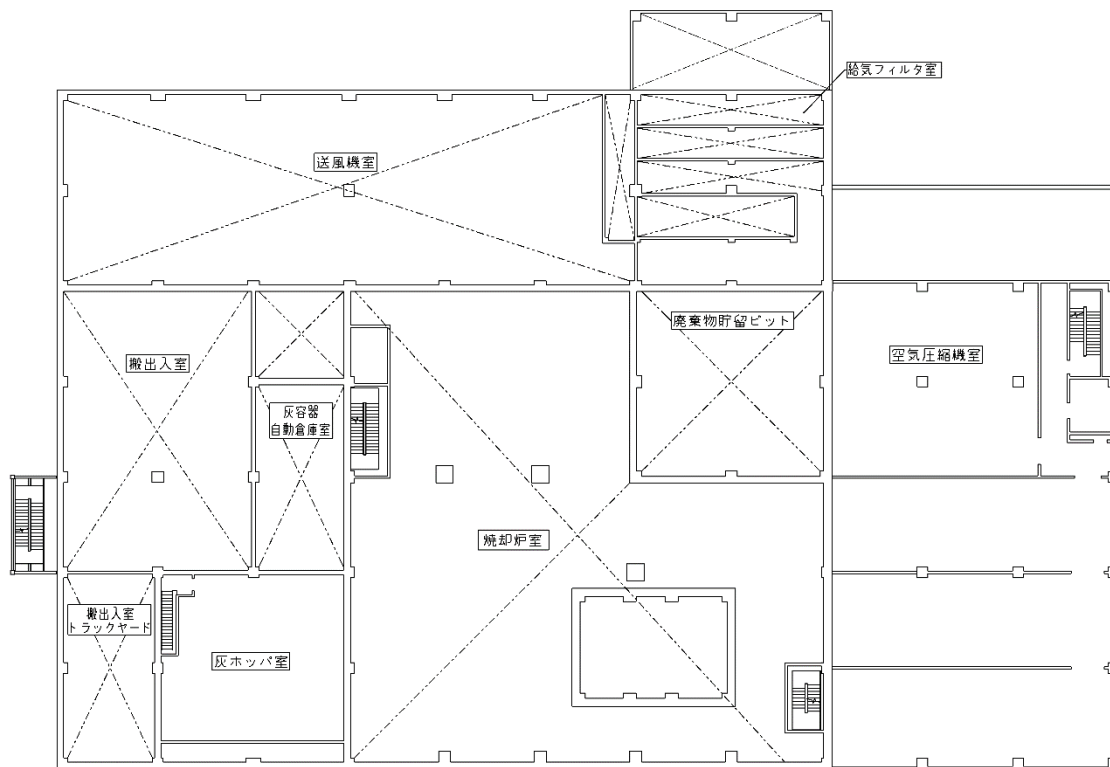


図-1 増設焼却炉建屋平面図 (2/6)

増設焼却炉建屋 2階

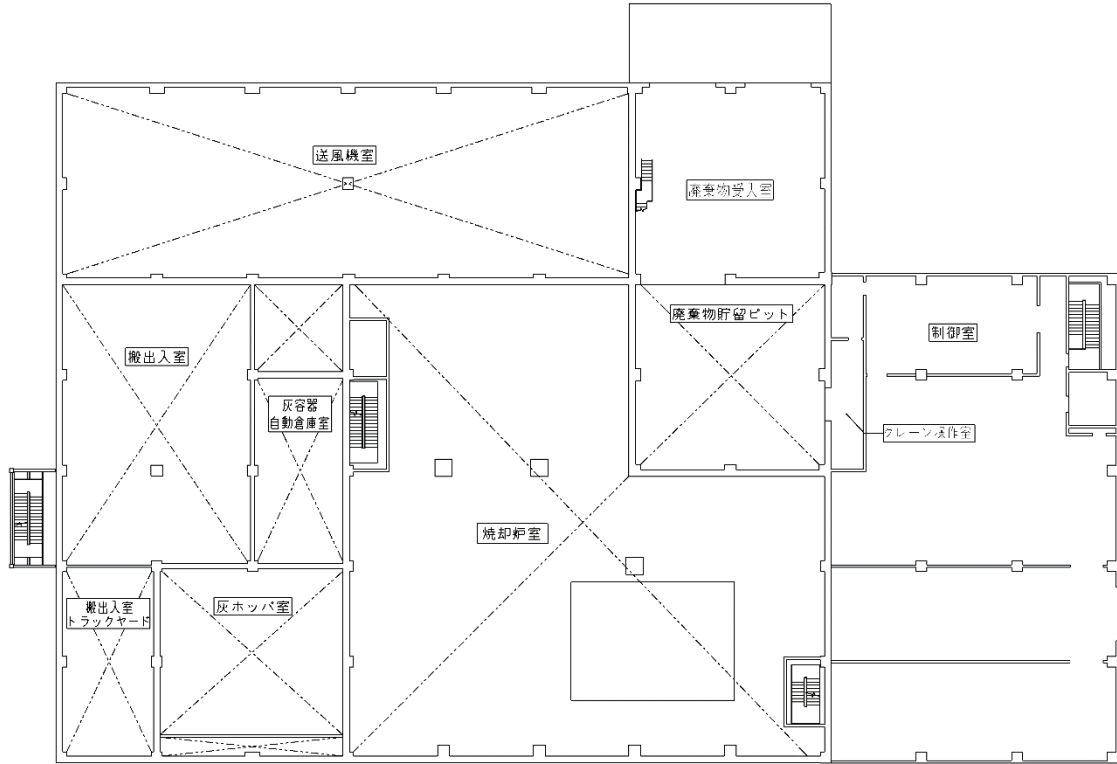


図-1 増設焼却炉建屋平面図 (3 / 6)

増設焼却炉建屋 3階

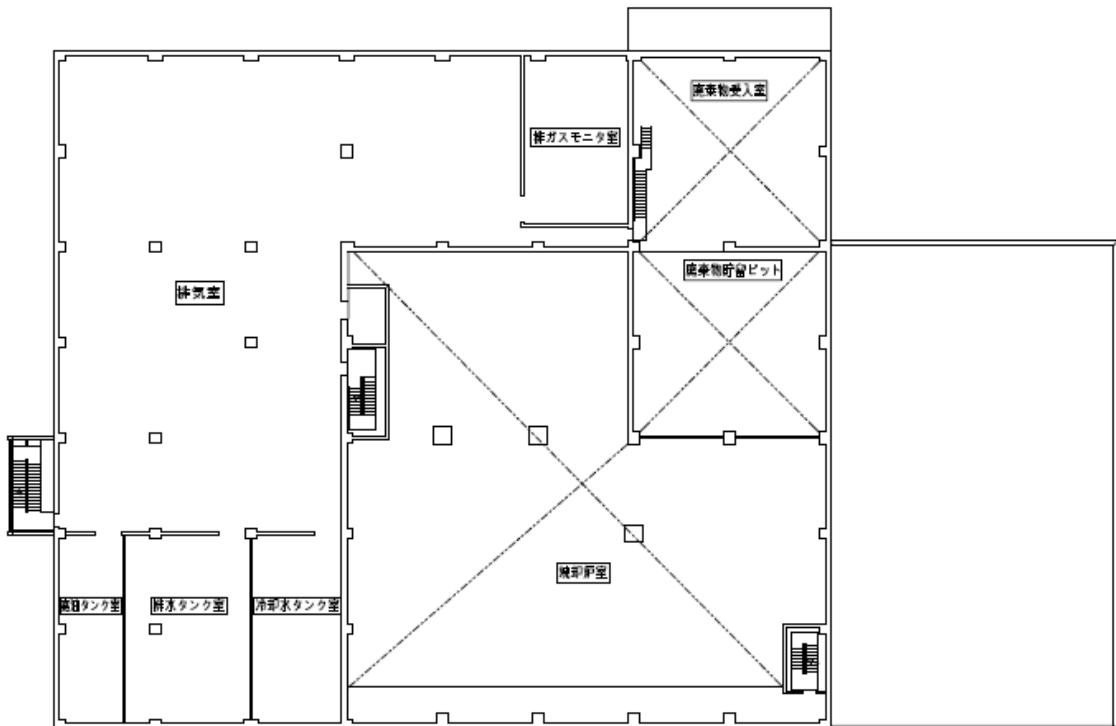


図-1 増設焼却炉建屋平面図 (4 / 6)

増設焼却炉建屋 4階

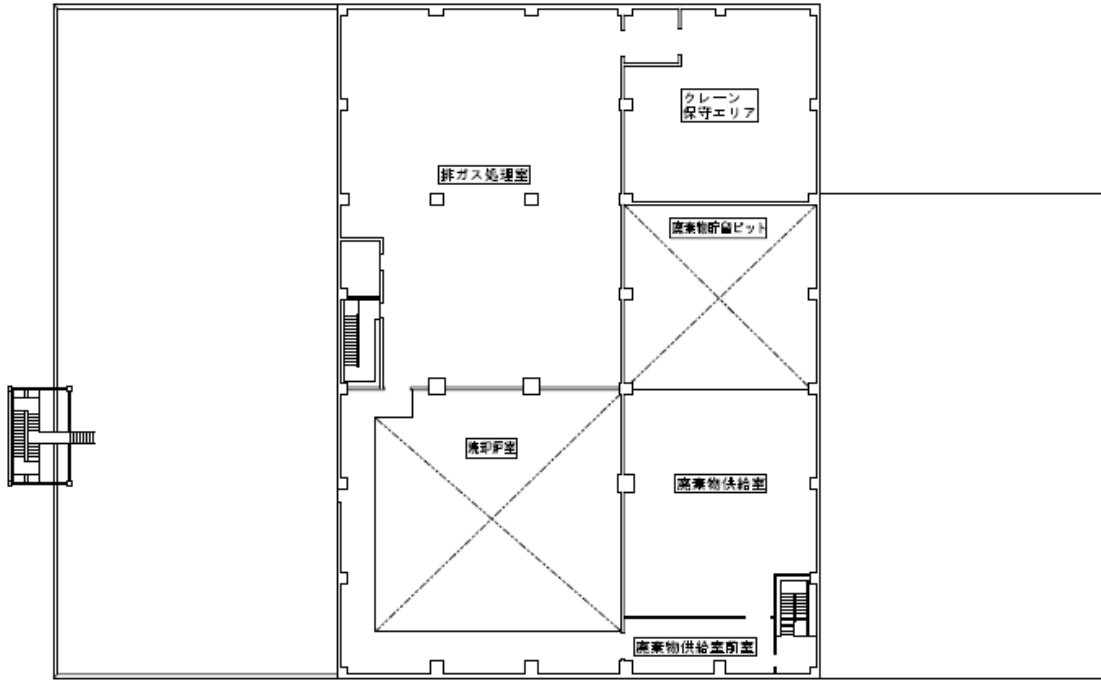


図-1 増設焼却炉建屋平面図 (5 / 6)

増設焼却炉建屋 5階

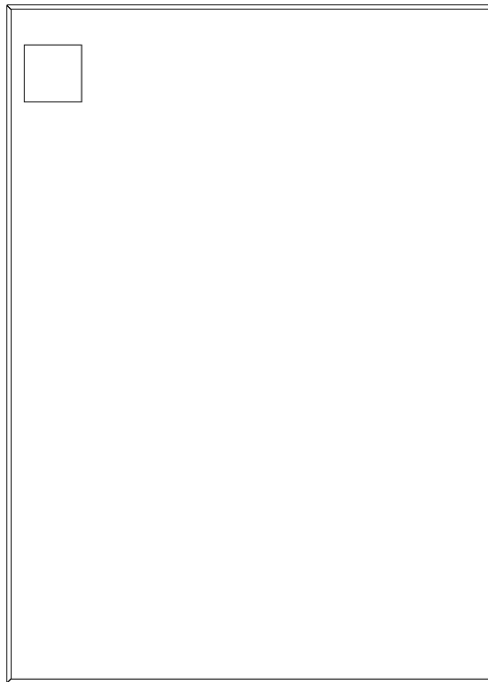


図-1 増設焼却炉建屋平面図 (6 / 6)

増設焼却炉建屋 屋上階

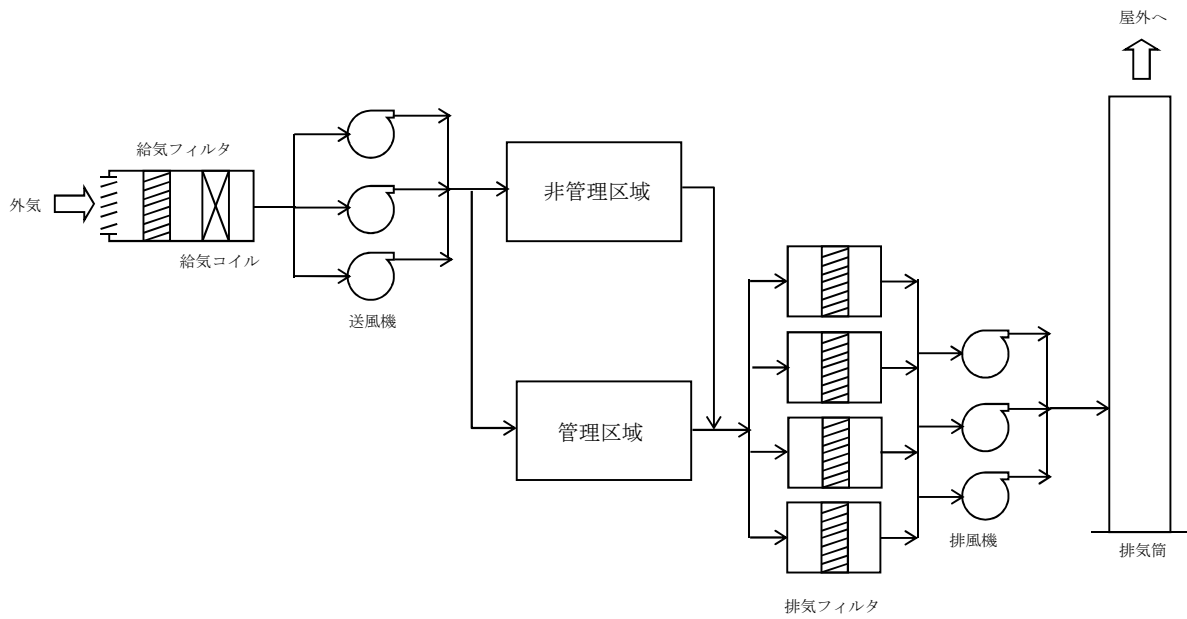


図-1 換気空調設備概略系統図

排気中の放射性物質濃度に係る説明書

1. 廃棄物の放射能濃度

雑固体廃棄物の放射能濃度を表-1に示す。

表-1 雑固体廃棄物の放射能濃度

核種	放射能濃度 (Bq/kg)
Mn-54	3.4E+03
Co-58	1.6E+01
Co-60	9.6E+03
Sr-89	1.3E+02
Sr-90	8.4E+05
Ru-103	1.2E-01
Ru-106	3.2E+04
Sb-124	1.7E+01
Sb-125	3.0E+04
I-131	3.2E-22
Cs-134	2.9E+05
Cs-136	2.1E-14
Cs-137	7.9E+05
Ba-140	1.4E-12
α	2.2E+01
合計	2.0E+06

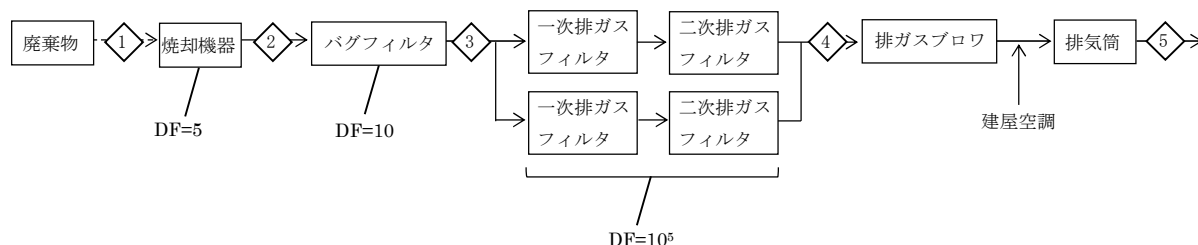
2. 排気中の放射性物質濃度

焼却機器の処理能力 3960kg/h, 系統全体の除染係数 10^6 以上 (焼却機器で 5, バグフィルタで 10, 一次排ガスフィルタと二次排ガスフィルタで 10^5), 系統の流量を考慮すると, 排気中の放射性物質濃度は図-1 のようになり, 排気筒出口の各核種の放射性物質濃度は, 告示に定める周辺監視区域外の空気中の濃度限度を下回り, 各核種の告示濃度限度に対する割合の和が 1 未満となっている。

さらに, 排気筒からの大気拡散効果を考慮すると, 周辺監視区域外においては, この濃度はさらに低下することから告示に定める濃度限度を十分に下回る。

なお, 排気中の放射性物質の濃度を確認するために粒子状物質 (主要ガンマ線放出核種, 全ベータ放射能, 全アルファ放射能, ストロンチウム 89 濃度, ストロンチウム 90 濃度),

トリチウム、よう素131濃度の測定を実施する。



流体 番号	◇1 (Bq/kg)	◇2 (Bq/cm ³)	◇3 (Bq/cm ³)	◇4 (Bq/cm ³)	◇5 (Bq/cm ³)	告示濃度 限度 (Bq/cm ³)	告示濃度 限度に 対する割合
流量 (m ³ /h)	—	106284	110679	113841	371169	—	—
Mn-54	3.4E+03	2.5E-05	2.4E-06	2.4E-11	7.3E-12	8.0E-05	9.1E-08 < 1
Co-58	1.6E+01	1.2E-07	1.1E-08	1.1E-13	3.4E-14	6.0E-05	5.7E-10 < 1
Co-60	9.6E+03	7.2E-05	6.9E-06	6.7E-11	2.0E-11	4.0E-06	5.1E-06 < 1
Sr-89	1.3E+02	9.7E-07	9.3E-08	9.0E-13	2.8E-13	2.0E-05	1.4E-08 < 1
Sr-90	8.4E+05	6.3E-03	6.0E-04	5.8E-09	1.8E-09	8.0E-07	2.2E-03 < 1
Ru-103	1.2E-01	8.9E-10	8.6E-11	8.3E-16	2.6E-16	4.0E-05	6.4E-12 < 1
Ru-106	3.2E+04	2.4E-04	2.3E-05	2.2E-10	6.8E-11	2.0E-06	3.4E-05 < 1
Sb-124	1.7E+01	1.3E-07	1.2E-08	1.2E-13	3.6E-14	2.0E-05	1.8E-09 < 1
Sb-125	3.0E+04	2.2E-04	2.1E-05	2.1E-10	6.4E-11	3.0E-05	2.1E-06 < 1
I-131	3.2E-22	1.2E-29	1.1E-29	1.1E-29	3.4E-30	5.0E-06	6.8E-25 < 1
Cs-134	2.9E+05	2.2E-03	2.1E-04	2.0E-09	6.2E-10	2.0E-05	3.1E-05 < 1
Cs-136	2.1E-14	1.6E-22	1.5E-23	1.5E-28	4.5E-29	1.0E-04	4.5E-25 < 1
Cs-137	7.9E+05	5.9E-03	5.7E-04	5.5E-09	1.7E-09	3.0E-05	5.6E-05 < 1
Ba-140	1.4E-12	1.0E-20	1.0E-21	9.7E-27	3.0E-27	1.0E-04	3.0E-23 < 1
α	2.2E+01	1.6E-07	1.6E-08	1.5E-13	4.7E-14	3.0E-09	1.6E-05 < 1
合計	2.0E+06	1.5E-02	1.4E-03	1.4E-08	4.3E-09	—	2.4E-03 < 1

図-1 増設雑固体廃棄物焼却設備 排気中の放射性物質濃度

増設雑固体廃棄物焼却設備自動停止時の放出評価

1. 自動停止時の放出評価方法の考え方

増設雑固体廃棄物焼却設備は、モニタリング設備にて排気中の放射性物質の濃度を監視しており、定められた値を上回った場合は自動停止する設計としているが、焼却設備が停止する際には、炉内に残存している未燃物（通常運転1時間分）の焼却が完了するまで、排ガスは発生し続ける。

本評価では自動停止に至る事象として、一次排ガスフィルタと二次排ガスフィルタのいずれか4台中の1台が何らかの不具合により破損した場合で、増設雑固体廃棄物焼却設備が自動停止するものの、未燃物の焼却が完了するまでの期間に、破損した一次排ガスフィルタまたは二次排ガスフィルタから漏出し続けたケースで評価する。なお、運用開始後に当該事象が発生した場合は、異常のある排ガスフィルタの前後ダンパを閉じる措置を講じて、異常のないフィルタを介して放出する状態に復帰させる。

2. 廃棄物の放射能濃度

雑固体廃棄物の放射能濃度は、添付資料-5 表-1を参照。

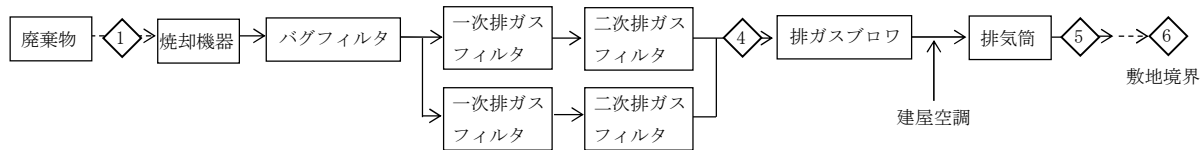
3. 排気中の放射性物質濃度

焼却機器の処理能力、除染係数の考え方は添付資料-5と同様とするが、一次排ガスフィルタと二次排ガスフィルタのいずれか4台中の1台が何らかの不具合により破損しており、除染性能が全く発揮できないとする。また、自動停止後の炉内に残存している未燃物は1時間で焼却完了するものとし、排ガス流量は不具合前後で変わらないと仮定する。

なお、周辺監視区域外の空気中の放射性物質濃度の評価においては、告示に定める濃度限度と比較するため、排ガスフィルタから漏出した状態で連続放出した場合を想定する。

計算地点は、1・2号機共用排気筒を中心として16方位に分割した陸側9方位の敷地境界外について行う。

上記条件で計算した結果、周辺監視区域外における空気中の放射性物質濃度は、告示に定める濃度限度を下回り、各核種の告示濃度限度に対する割合の和が1未満となっている。



* 一次排ガスフィルタと二次排ガスフィルタのいずれか4台中の1台が何らかの不具合により破損している。

流体番号	◇1 (Bq/kg)	◇4 (Bq/cm ³)	◇5 (Bq/cm ³)	◇6 (Bq/cm ³)	告示濃度 限度 (Bq/cm ³)	告示濃度 限度に 対する割合
流量 (m ³ /h)	—	113841	371169	—	—	—
Mn-54	3.4E+03	2.4E-08	7.3E-09	7.6E-13	8.0E-05	9.5E-09 < 1
Co-58	1.6E+01	1.1E-10	3.4E-11	3.6E-15	6.0E-05	5.9E-11 < 1
Co-60	9.6E+03	6.7E-08	2.0E-08	2.1E-12	4.0E-06	5.3E-07 < 1
Sr-89	1.3E+02	9.0E-10	2.8E-10	2.9E-14	2.0E-05	1.4E-09 < 1
Sr-90	8.4E+05	5.8E-06	1.8E-06	1.9E-10	8.0E-07	2.3E-04 < 1
Ru-103	1.2E-01	8.3E-13	2.6E-13	2.7E-17	4.0E-05	6.7E-13 < 1
Ru-106	3.2E+04	2.2E-07	6.8E-08	7.1E-12	2.0E-06	3.6E-06 < 1
Sb-124	1.7E+01	1.2E-10	3.6E-11	3.8E-15	2.0E-05	1.9E-10 < 1
Sb-125	3.0E+04	2.1E-07	6.4E-08	6.7E-12	3.0E-05	2.2E-07 < 1
I-131	3.2E-22	1.1E-29	3.4E-30	3.6E-34	5.0E-06	7.1E-29 < 1
Cs-134	2.9E+05	2.0E-06	6.2E-07	6.5E-11	2.0E-05	3.2E-06 < 1
Cs-136	2.1E-14	1.5E-25	4.5E-26	4.7E-30	1.0E-04	4.7E-26 < 1
Cs-137	7.9E+05	5.5E-06	1.7E-06	1.8E-10	3.0E-05	5.9E-06 < 1
Ba-140	1.4E-12	9.7E-24	3.0E-24	3.1E-28	1.0E-04	3.1E-24 < 1
α	2.2E+01	1.5E-10	4.7E-11	4.9E-15	3.0E-09	1.6E-06 < 1
合計	2.0E+06	1.4E-05	4.3E-06	4.4E-10	—	2.5E-04 < 1

評価点◇2, ◇3については, 添付資料-5 図1と同様なので省略する。

図-1 自動停止時における排気中の放射性物質濃度

設定根拠に関する説明書

1. 焼却設備に関する設定根拠

(1) ロータリーキルン・ストーカ・二次燃焼器

基数	—	1
容量	kcal/h/基	約 13400000 (廃棄物 3960kg/h 相当)
<p>1. 容量の設定根拠</p> <p>○福島第一原子力発電所では、至近の実績から約 4.5 万 t の伐採木が発生する見込みである。発生した伐採木は、2 年で処理する計画としていることから</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 1900t/月 = 2640kg/h < 3960kg/h <p>発生量 < 容量 であることから、容量は妥当である。</p> <p>○廃棄物の発熱量を約 3383kcal/kg とすると、$3383 \times 3960 = 13397000$ より、約 13400000kcal/h/基とした。</p>		

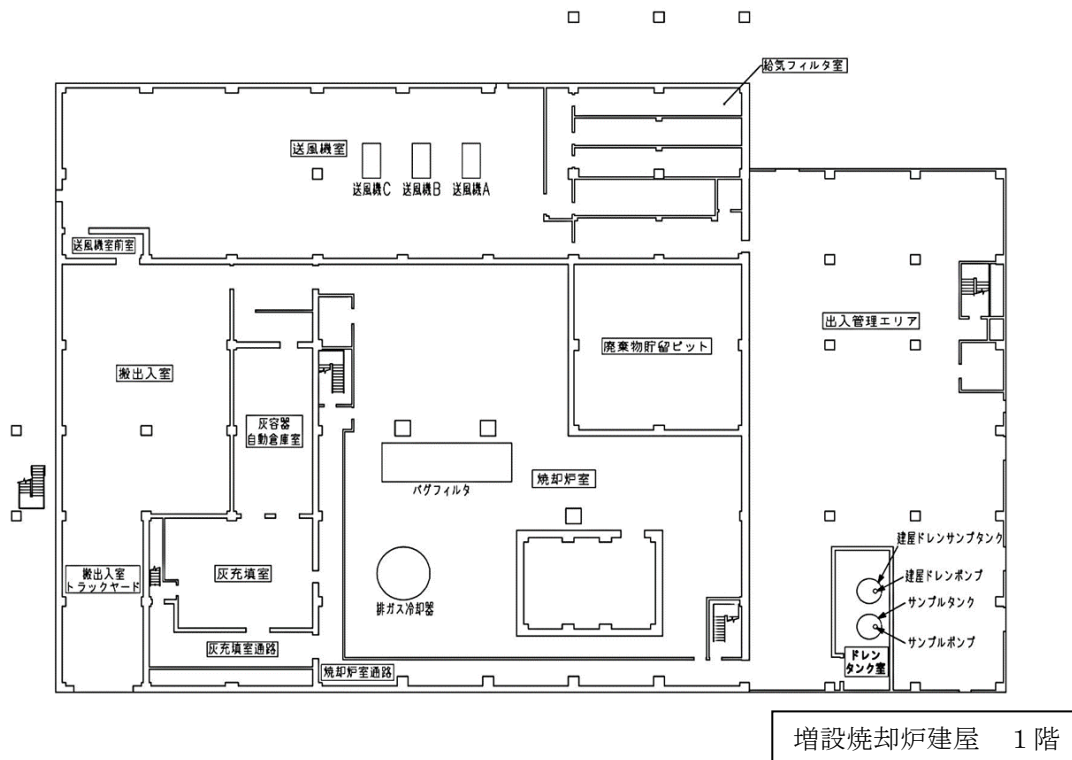


図-1 廃棄設備に係る機器の配置を明示した図面 (1 / 6)

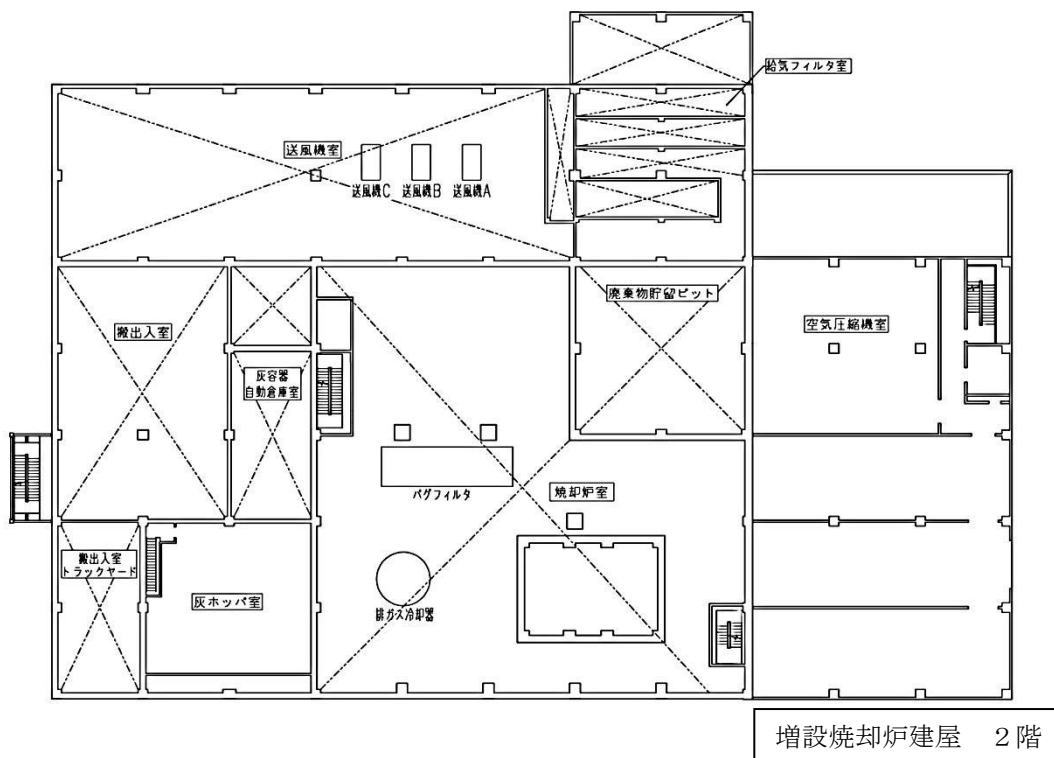
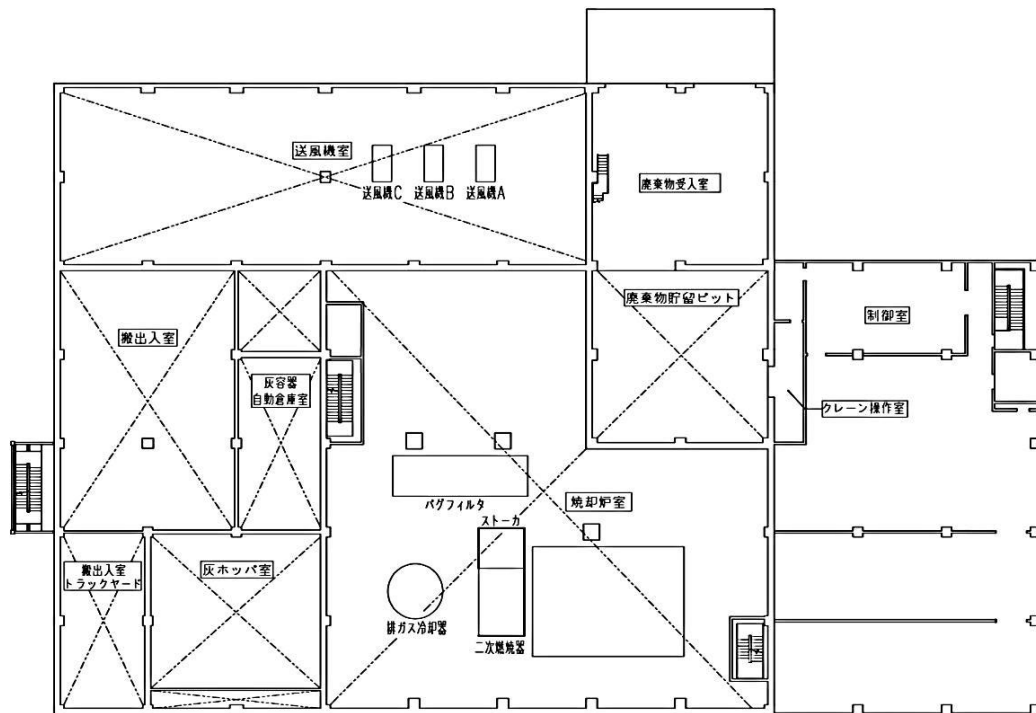
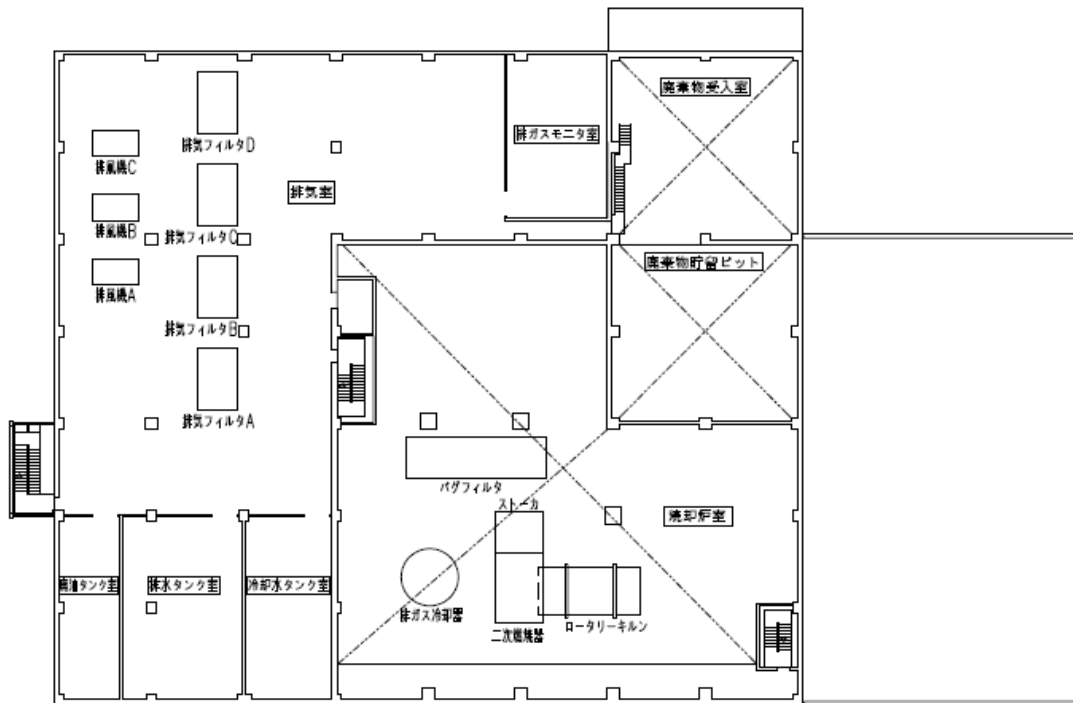


図-1 廃棄設備に係る機器の配置を明示した図面 (2 / 6)



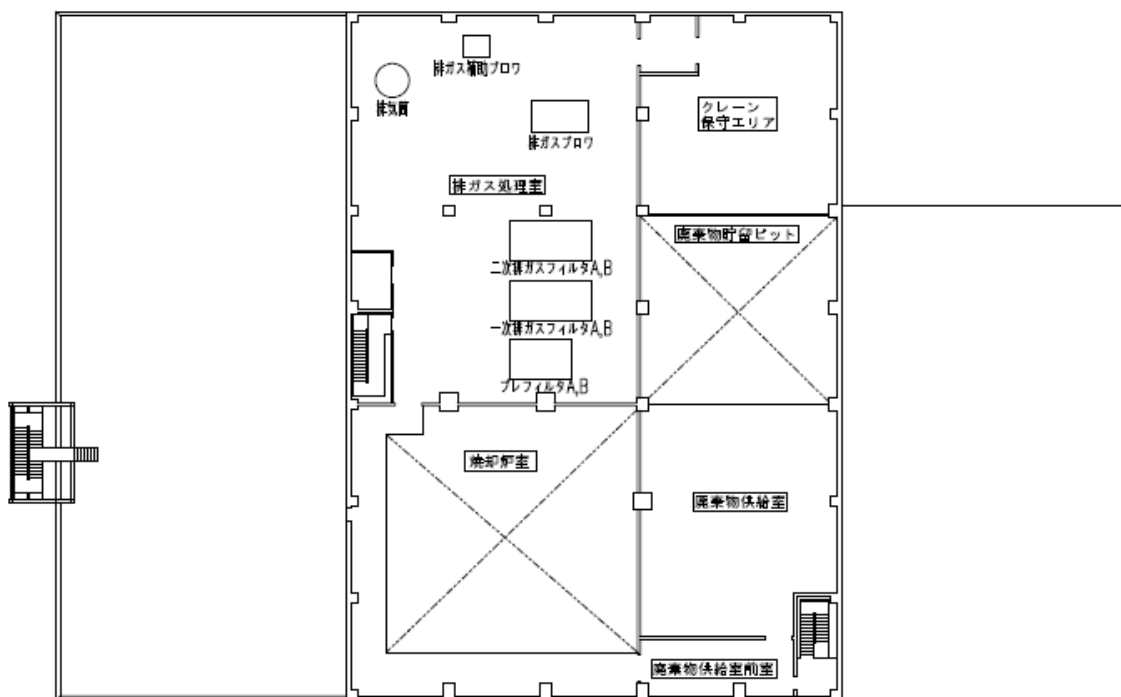
増設焼却炉建屋 3階

図-1 廃棄設備に係る機器の配置を明示した図面 (3 / 6)



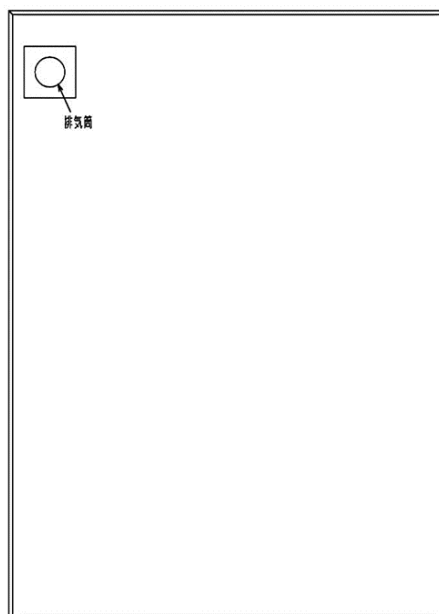
増設焼却炉建屋 4階

図-1 廃棄設備に係る機器の配置を明示した図面 (4 / 6)



増設焼却炉建屋 5階

図-1 廃棄設備に係る機器の配置を明示した図面 (5 / 6)



増設焼却炉建屋 屋上階

図-1 廃棄設備に係る機器の配置を明示した図面 (6 / 6)

増設焼却炉建屋の構造強度に関する検討結果

1. 評価方針

増設焼却炉建屋は、発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針上のBクラス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。なお、設計は建築基準法に準拠し、積雪荷重および風荷重についても評価する。

増設焼却炉建屋は、鉄筋コンクリート造(一部鉄骨鉄筋コンクリート造および一部鉄骨造)の地上5階で、平面が79.2m(EW方向)×50.4m(NS方向)の建物で、地上高さは36.7mである。

基礎は独立基礎フーチングとべた基礎で、改良地盤を介して設置する。増設焼却炉建屋の平面図および断面図を図-1から図-8に示す。

増設焼却炉建屋に加わる地震時の水平力は、耐震壁および柱と梁からなるラーメン構造で負担する。耐震性の評価は、地震層せん断力係数として $1.5 \cdot C_i$ を採用した場合の当該部位の応力に対して行う。増設焼却炉建屋の評価手順を図-9に示す。

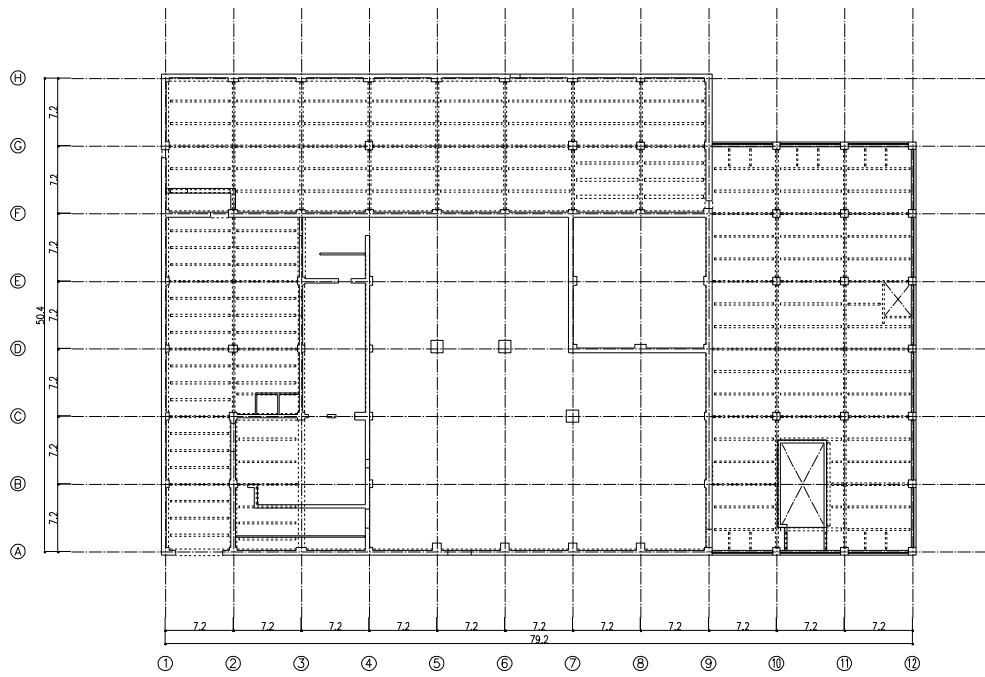


図-1 1階平面図(G.L. +0.2) (単位:m)

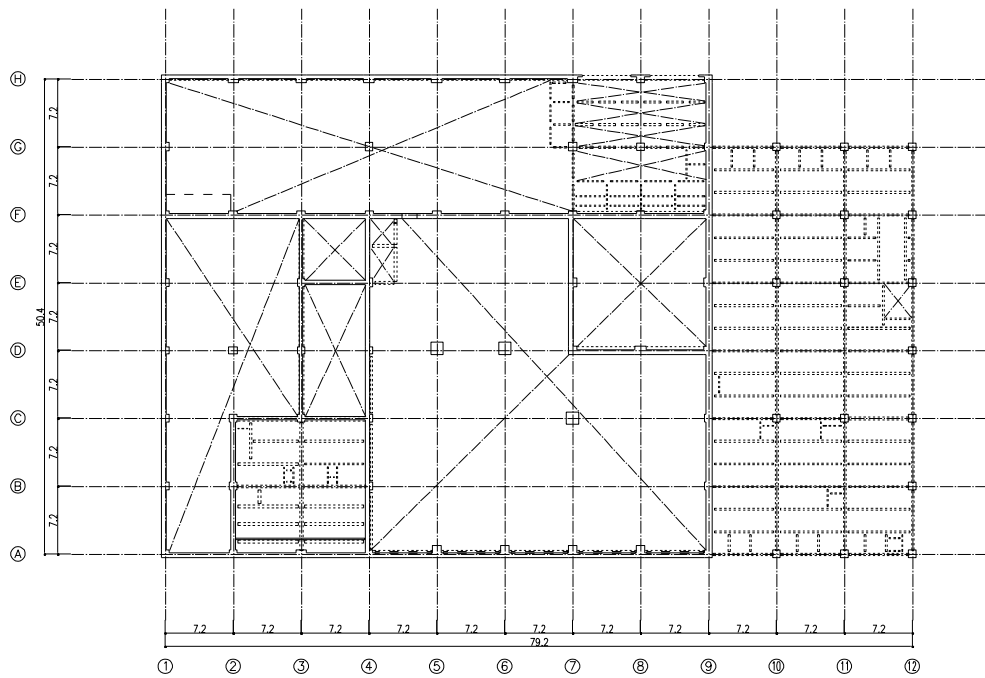


図-2 2階平面図(G.L. +4.2) (単位:m)

添付資料-8では、G.L. ±0m = T.P.32.2m^(※)とする。

(※) 構内基準点(2014.3 測量)からの測量値とする。

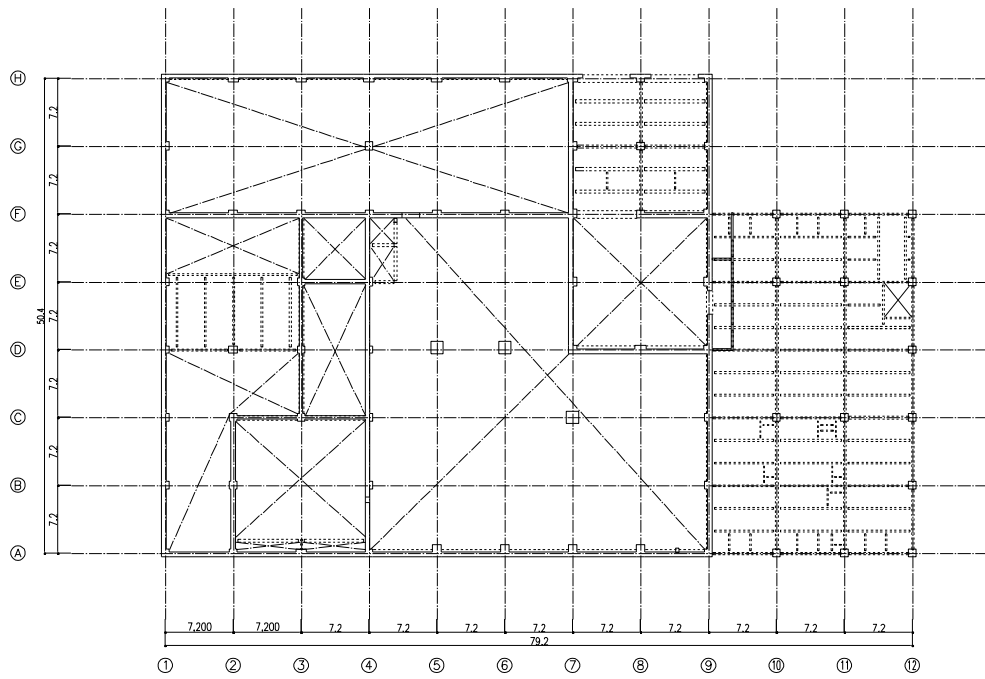


图-3 3階平面図(G.L. +9.2) (单位:m)

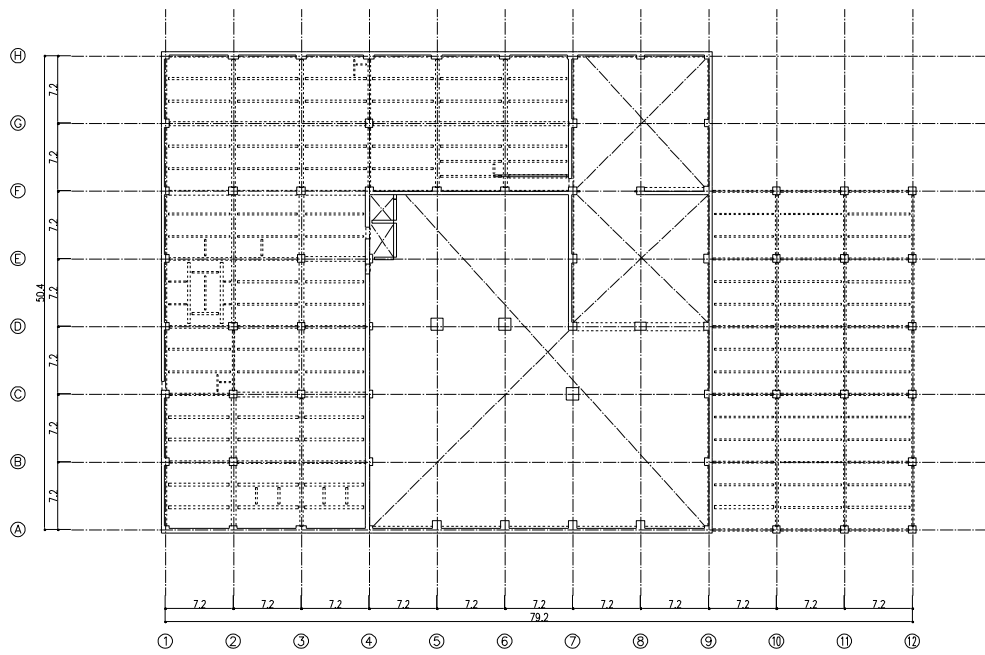
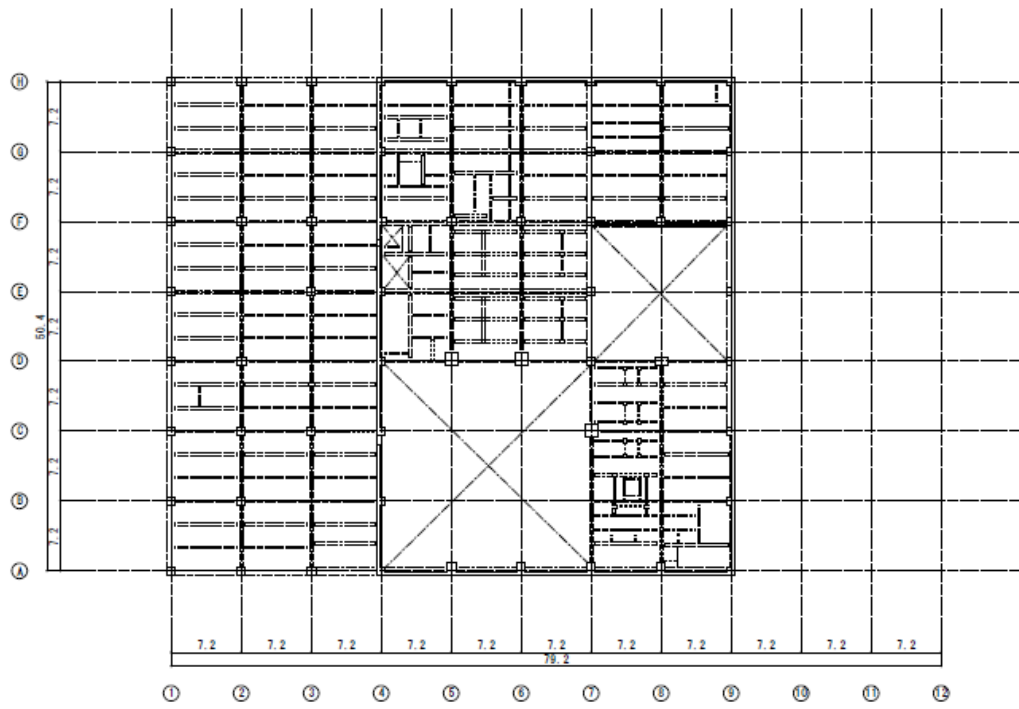
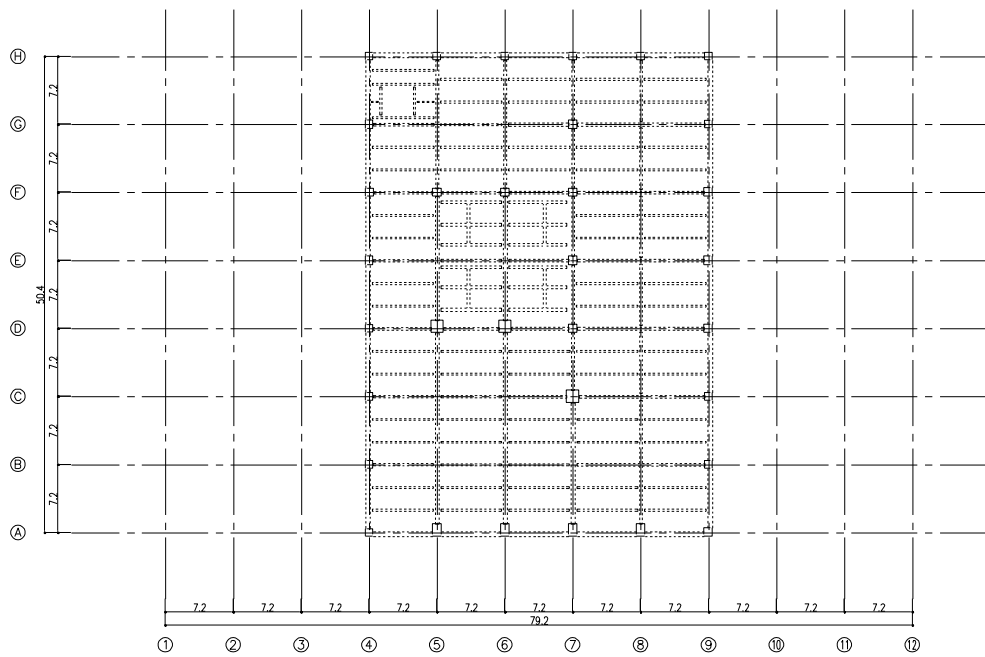


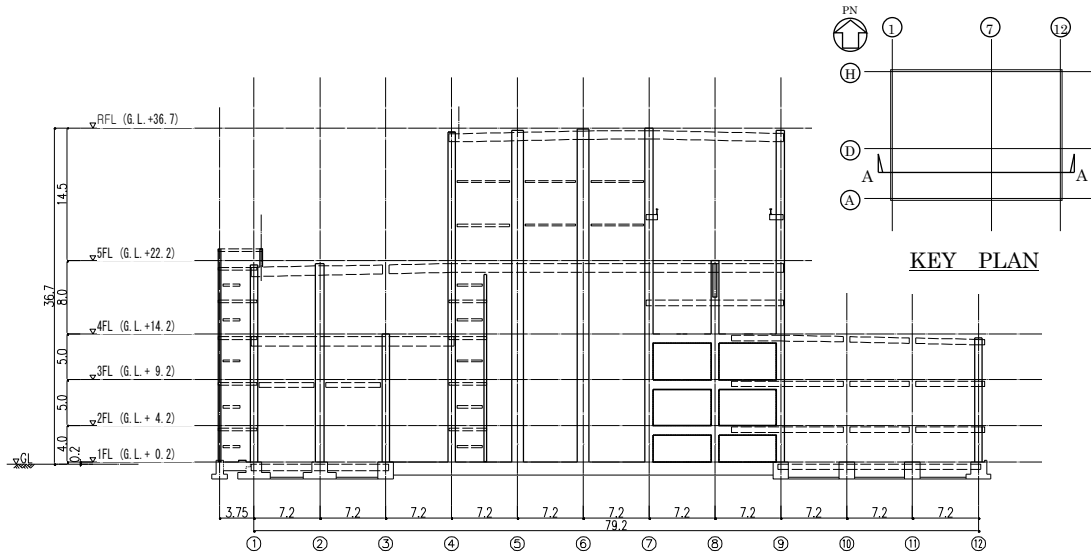
图-4 4階平面図(G.L. +14.2) (单位:m)



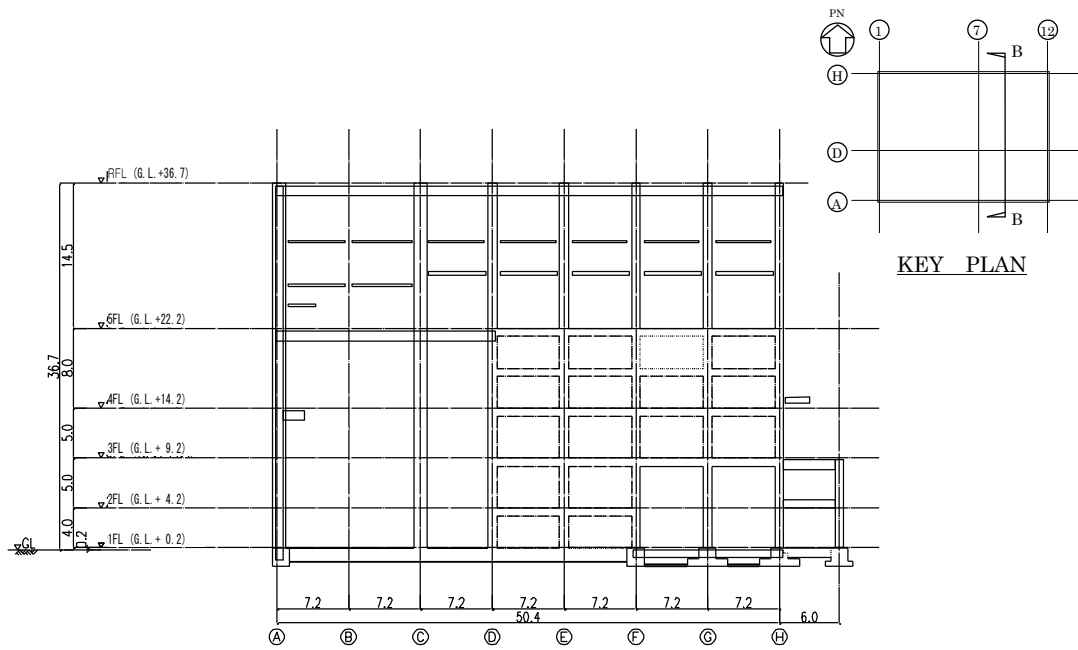
图一5 5 階平面図(G. L. +22. 2) (单位:m)



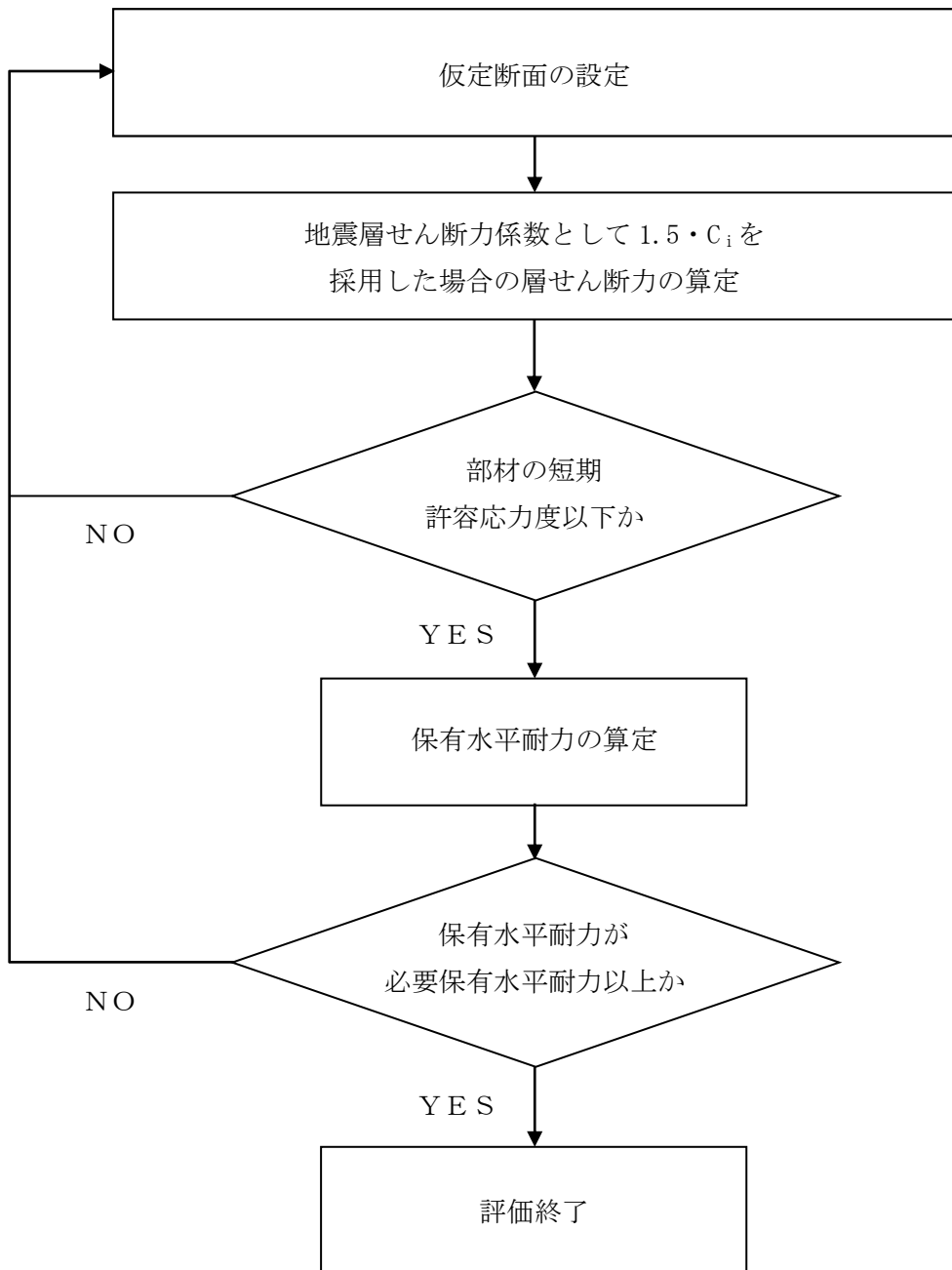
图一6 屋根平面図 (G. L. +36. 7) (单位:m)



图一 7 A - A 断面图(EW 方向) (单位:m)



图一 8 B - B 断面图(NS 方向) (单位:m)



図－9 Bクラス施設としての増設焼却炉建屋の耐震安全性評価手順

2. 評価条件

2.1 使用材料並びに材料の許容応力度および材料強度

増設焼却炉建屋の上部構造および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 は基礎スラブが 30N/mm^2 、その他が 36N/mm^2 とする。鉄筋はSD295A, SD345, SD390およびSD490とする。各使用材料の許容応力度および材料強度を表-1および表-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	1.19
$F_c=36$	12	0.85	24	1.28

注：日本建築学会「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算基準・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	
		引張および圧縮	せん断補強	引張および圧縮	せん断補強
SD295A	D25 以下	195	195	295	295
SD345	D25 以下	215	195	345	345
SD390	D29 以上	195	195	390	390
SD490	D29 以上	195	195	490	490

注：日本建築学会「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説」による。

2.2 荷重および荷重の組合せ

(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、機器荷重、配管荷重および積載荷重とする。

2) 積雪荷重(SNL)

積雪荷重は建築基準法施行令第86条、福島県建築基準法施行規則細則第19条に準拠し以下の条件とする。

- ・積雪量 : 30 cm
- ・単位荷重 : 20 N/m²/cm

3) 風荷重(WL)

風荷重は建築基準法施行令第87条、建設省告示第1454号に基づく速度圧および風力係数を用いて算定する。

- ・基準風速 : 30m/s
- ・地表面粗度区分 : II

4) 地震荷重(SEL)

地震力を算定する際の基準面は、基礎スラブ上端として、建屋の高さに応じた当該部分に作用する全体の地震力を算定する。水平地震力は下式により算定し、算定結果を表-3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-3 水平地震力の算定結果

G. L. (m)	階	当該層以上の重量 W_i (kN)	地震層せん断力係数 $1.5 \cdot C_i$	設計用地震力 (kN)
36.7	5	23,100	0.705	16,300
		34,600	0.623	21,600
		44,600	0.577	25,800
22.2	4	90,300	0.463	41,900
		110,000	0.434	47,800
14.2	3	160,000	0.375	60,000
9.2	2	203,000	0.334	67,900
4.2	1	244,000	0.300	73,200
0.2				

(2) 荷重の組合せ

荷重の組合せについて表-4に示す。図-10に暴風時と地震時の層せん断力の比較結果を示す。

表-4 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*1	長期
積雪時	B	VL+SNL	短期
地震時	C1	VL+SEL (W→E 方向)	
	C2	VL+SEL (E→W 方向)	
	C3	VL+SEL (S→N 方向)	
	C4	VL+SEL (N→S 方向)	

- *1: 鉛直荷重(VL)は固定荷重(DL), 配管荷重(PL), 機器荷重(EL)および積載荷重(LL)を加え合わせたものである。
- *2: 暴風時の風荷重(WL)は地震荷重(設計用地震力 $1.5 \cdot C_i$)に比べて小さいため, 荷重の組合せにおいては地震荷重によって代表させる。

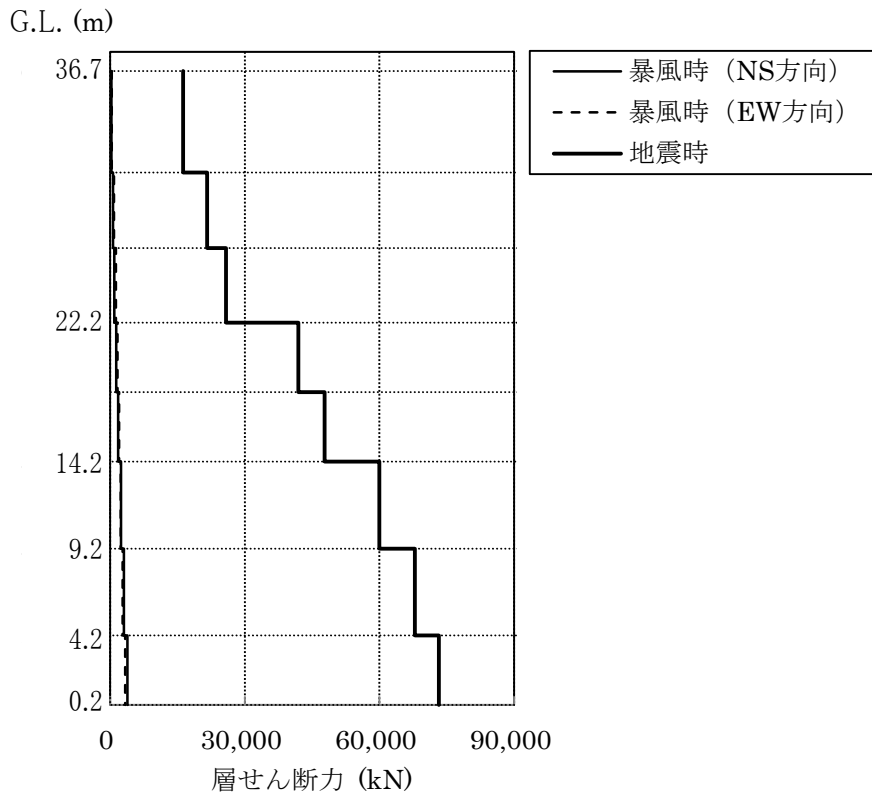


図-10 暴風時と地震時の層せん断力の比較結果*2

3. 評価結果

上部構造の応力解析は、耐震壁は壁エレメント置換した立体モデル、大梁および柱を線材置換したフレームモデルにより行う。

3.1 耐震壁の評価結果

検討により求められた耐震壁の作用応力を許容応力と比較し、検定比が最大となる部位について表-5に示す。配筋図を図-11に示す。

これより、耐震壁の作用応力は許容応力以下であることを確認した。

表-5 耐震壁の検討結果

部位	断面	荷重 ケース	作用応力 (kN)	許容応力 (kN)	検定比
3階9通り B~C通り間	壁厚 500 mm タテ 2-D29@200 ヨコ 2-D22@200	地震時 C4	4332	8358	$0.52 \leq 1.0$

注：日本建築学会「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説」による。

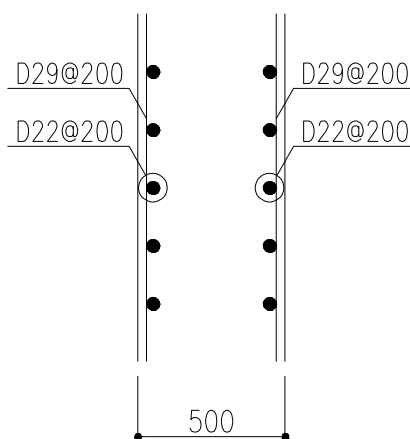


図-11 耐震壁の配筋図 (3階9通り B~C通り間)

3.2 ラーメン構造部の評価結果

検討により求められたフレーム部材の応力を許容応力と比較して、検定比が最大となる部位について表-6および表-7に示す。配筋図を図-12から図-14に示す。

これより、各部材の応力は、許容応力以下となっていることを確認した。

表-6 大梁断面算定表（鉄筋コンクリート）

検討箇所	断面	荷重ケース	応力	作用応力	許容応力	検定比
3階 H通り 8~9 通り間	B×D =800×1290 主筋 8-D38 あばら筋 4-D16@200	常時 A	曲げモーメント	487 kN・m	926 kN・m	0.53 ≤ 1.0
			せん断力	291 kN	1329 kN	0.22 ≤ 1.0
3階 H通り 8~9 通り間	B×D =800×1290 主筋 8-D38 あばら筋 4-D16@200	地震時 C1	曲げモーメント	1269 kN・m	2327 kN・m	0.55 ≤ 1.0
			せん断力	739 kN	1085 kN	0.69 ≤ 1.0

注：日本建築学会「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説」による。

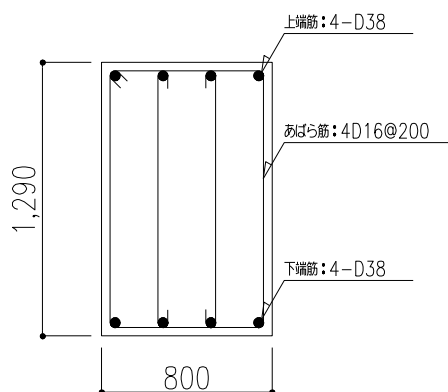


図-12 大梁の配筋図（3階H通り8~9通り間）

表-7 柱断面算定表 (鉄筋コンクリート)

検討箇所	断面	荷重ケース	応力	作用応力	許容応力	検定比
4階 1 / G 通り	B×D =800×900 主筋 12-D32 帯筋 2-2-D13@100	常時 A	曲げモーメント	743 kN・m	807 kN・m (軸力 918 kN 作用時*)	0.93 ≤ 1.0
			せん断力	188 kN	453 kN	0.42 ≤ 1.0
2階 9 / H 通り	B×D =800×800 主筋 20-D32 帯筋 4-4-D16@100	地震時 C1	曲げモーメント	1421 kN・m	1770 kN・m (軸力 5348 kN 作用時*)	0.81 ≤ 1.0
			せん断力	786 kN	969 kN	0.82 ≤ 1.0

注：日本建築学会「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説」による。

注記*：圧縮を正とする。

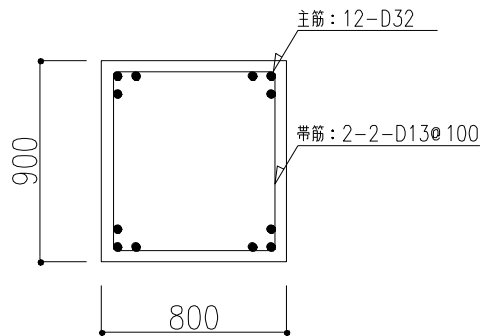


図-13 柱の配筋図 (4階 1 / G 通り)

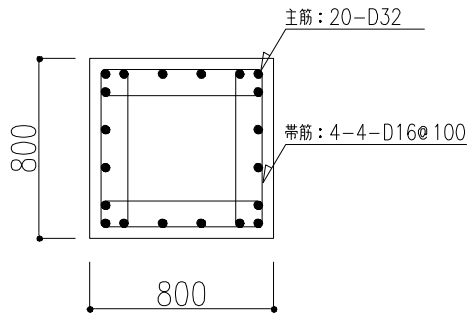


図-14 柱の配筋図 (2階 9 / H 通り)

3.3 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。

必要鉄筋比およ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-8および表-9に示す。基礎スラブ配筋図を図-15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-8 軸力およ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)			
常時 A	0	813	0.26	0.41	$0.64 \leq 1.0$
地震時 C3	8	1378	0.25	0.41	$0.61 \leq 1.0$

注記*：圧縮を正とする。

表-9 面外せん断に対する検討結果

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
常時 A	496	863	$0.58 \leq 1.0$
地震時 C2	1098	1294	$0.85 \leq 1.0$

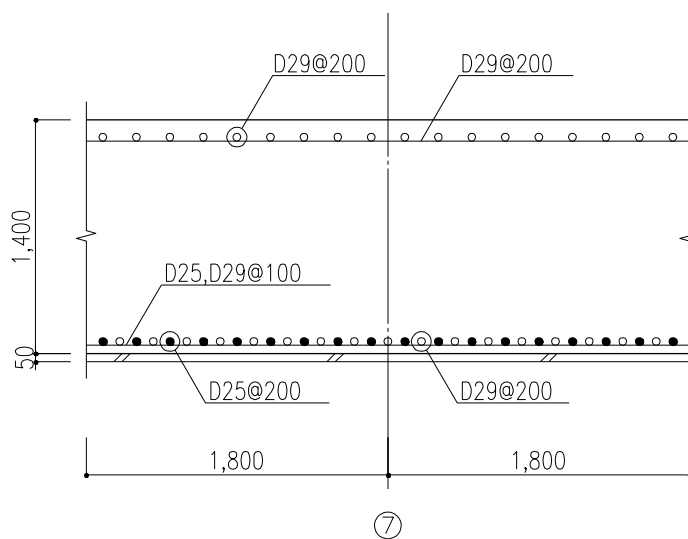


図-15 基礎スラブの配筋図 (7通り)

3.4 改良地盤の評価結果

(1) 設計方針

増設焼却炉建屋を支持する改良地盤は、基礎直下の地盤を南北方向に約56m、東西方向に約84m、改良体厚さ約2.5mとし、G.L.-4.1mの泥岩に支持する。

検討は「改定版 建築物のための改良地盤設計および品質管理指針 日本建築センター」に準拠し、改良地盤の支持力に対して、常時およ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。

(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と許容支持力度の比較を、検定比が最大となる位置について表-10に示す。

これより、改良地盤に生じる最大応力が許容支持力度以下であることを確認した。

表-10 改良地盤の許容支持力度と接地圧の比較

検討位置	接地圧 (kN/m ²)	許容支持力度* (kN/m ²)	検定比
F/9 通り	435	500	0.87 ≤ 1.0

* : G.L.-4.1mの地盤支持力とG.L.-1.6mの改良地盤を含んだ地盤支持力の小さい値を記載

(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と許容支持力度の比較を、検定比が最大となる位置について表-11に示す。

これより、改良地盤に生じる最大応力が許容支持力度以下であることを確認した。

表-11 改良地盤の許容支持力度と接地圧の比較

検討位置	接地圧 (kN/m ²)	許容支持力度* (kN/m ²)	検定比
F/9 通り	718	1000	0.72 ≤ 1.0

* : G.L.-4.1mの地盤支持力とG.L.-1.6mの改良地盤を含んだ地盤支持力の小さい値を記載

4. 保有水平耐力の検討

必要保有水平耐力(Q_{un}) に対して、保有水平耐力(Q_u)が上回っていることを確認する。

各層の保有水平耐力は、建築基準法・同施行令および平成19年国土交通省告示第594号に基づき算出する。各層の必要保有水平耐力と保有水平耐力の算定結果を表-12に示す。

これより、増設焼却炉建屋は必要保有水平耐力の1.29倍以上の保有水平耐力を有していることを確認した。

表-12 必要保有水平耐力と保有水平耐力の比較

(1)EW 方向 (長辺)

G. L. (m)	階	必要保有水平耐力 Q_{un} (kN)	保有水平耐力 Q_u (kN)	$\frac{Q_u}{Q_{un}}*$
36.7	5	30,000	59,000	1.96
		40,000	78,000	1.95
		48,000	93,000	1.93
22.2	4	77,000	152,000	1.97
		87,000	172,000	1.97
14.2	3	110,000	216,000	1.96
9.2	2	125,000	246,000	1.96
4.2	1	134,000	267,000	1.99
0.2				

注記*：安全余裕

(2)NS 方向 (短辺)

G. L. (m)	階	必要保有水平耐力 Q_{un} (kN)	保有水平耐力 Q_u (kN)	$\frac{Q_u}{Q_{un}} *$
36.7	5	30,000	54,000	1.80
		40,000	71,000	1.77
		48,000	85,000	1.77
22.2	4	85,000	139,000	1.63
		87,000	157,000	1.80
14.2	3	141,000	198,000	1.40
9.2	2	148,000	225,000	1.52
4.2	1	188,000	243,000	1.29
0.2				

注記* : 安全余裕

以上のことから、増設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。

安全避難通路に関する説明書及び安全避難通路を明示した図面

1. 安全避難通路の設置方針

増設焼却炉建屋には、廃棄物の分別、焼却炉運転及び定期的な放射線測定、建物及び建物内の巡視点検のための出入りを行うことから、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。

避難経路を、図-1に示す。

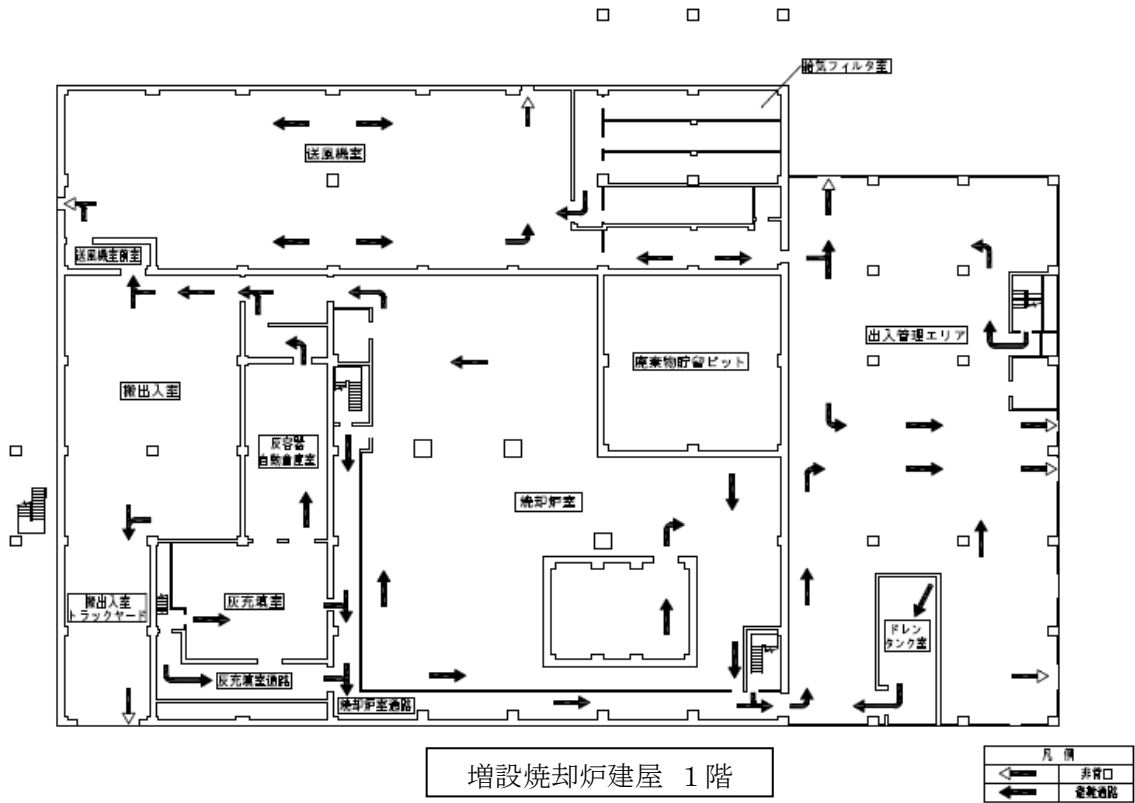


図-1 安全避難通路を明示した図面 (1 / 6)

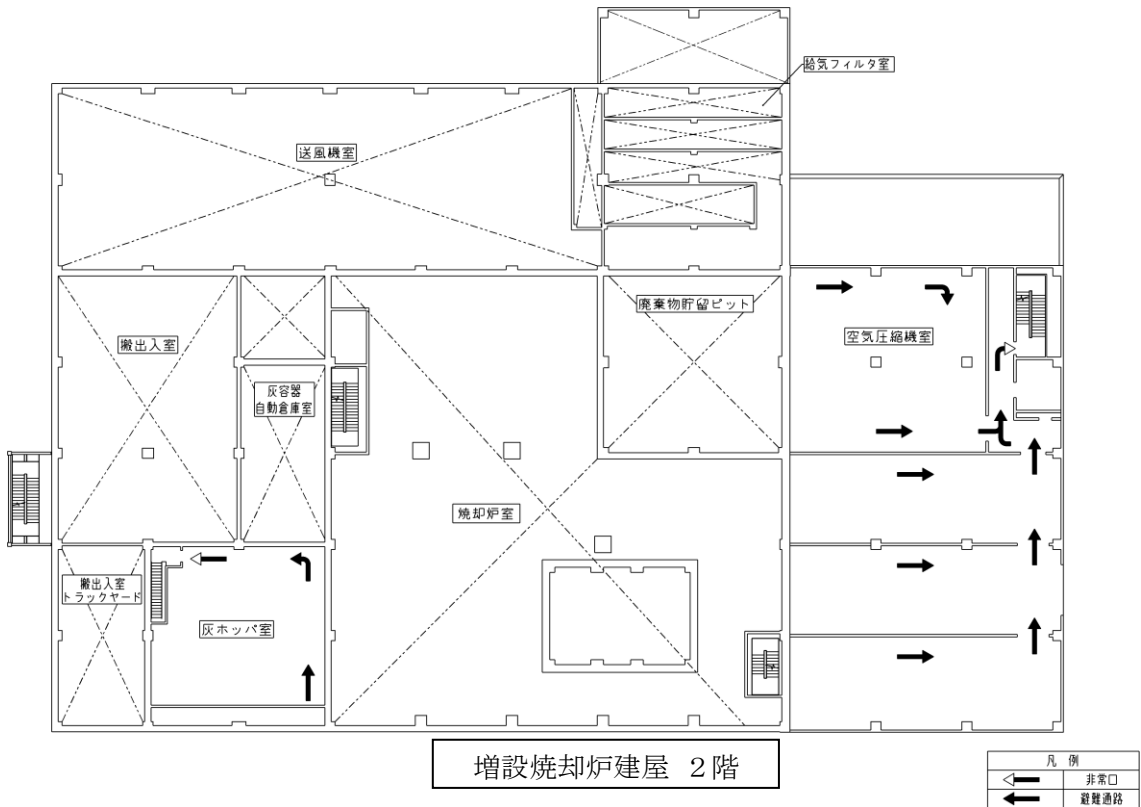


図-1 安全避難通路を明示した図面 (2 / 6)

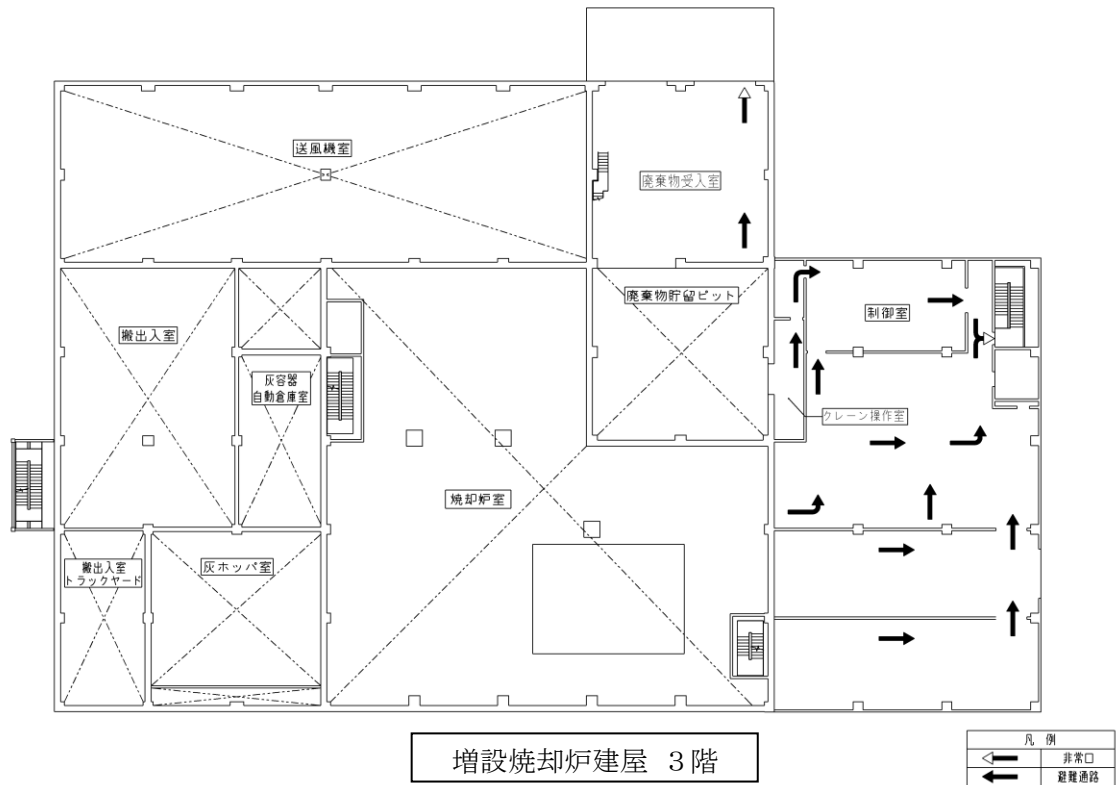


図-1 安全避難通路を明示した図面 (3 / 6)

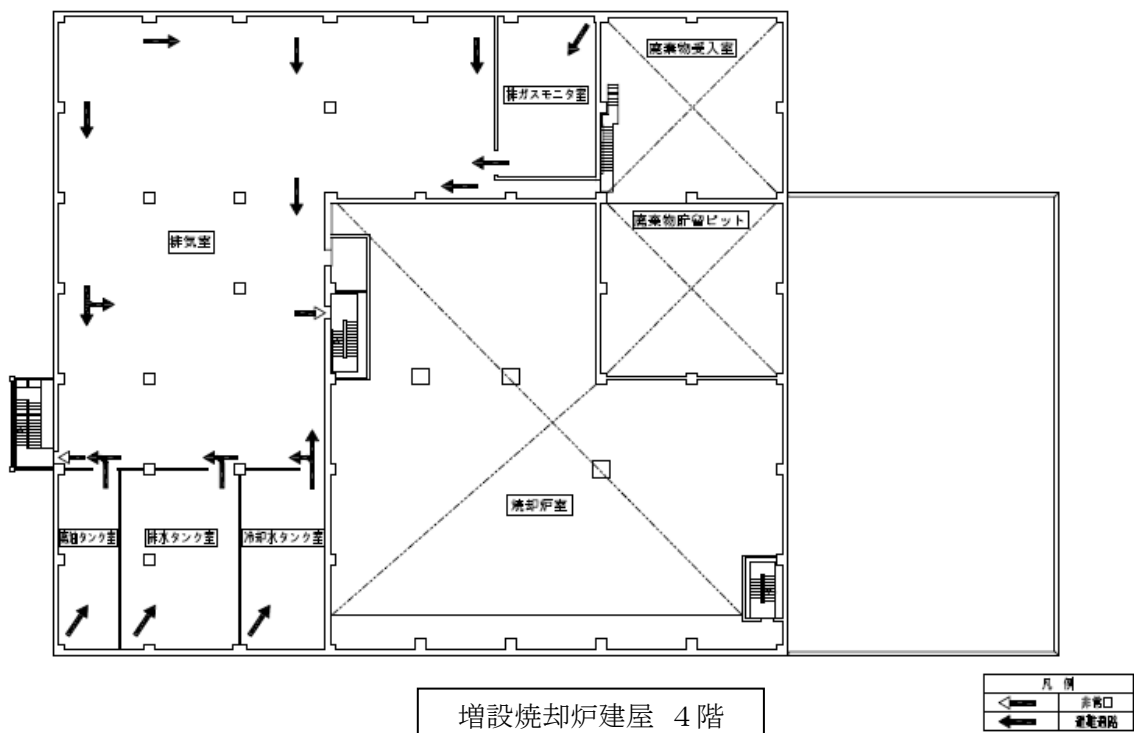


図-1 安全避難通路を明示した図面 (4 / 6)

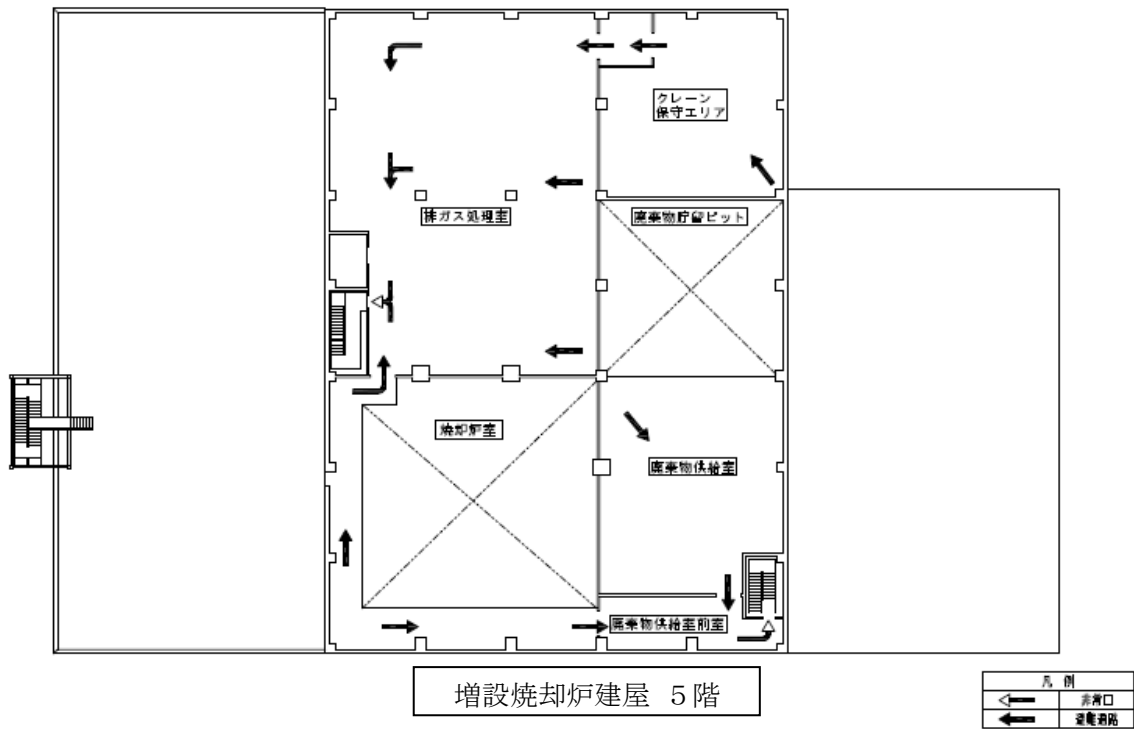


図-1 安全避難通路を明示した図面 (5 / 6)

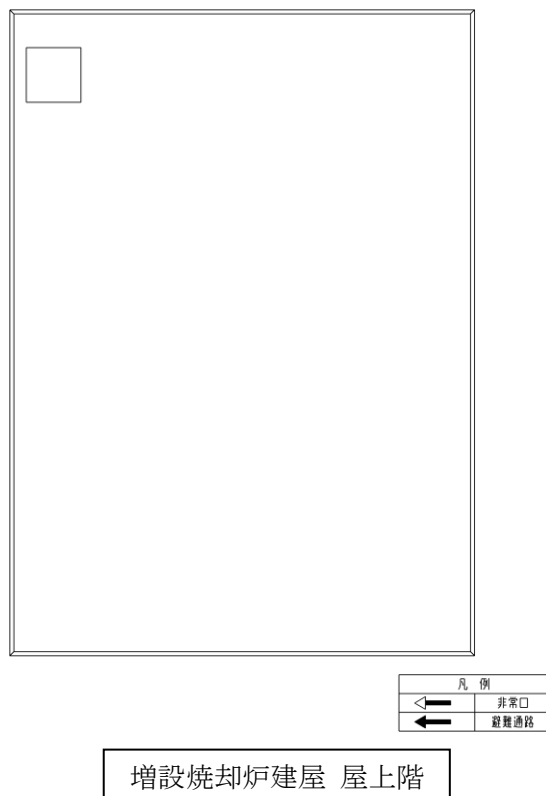


図-1 安全避難通路を明示した図面 (6 / 6)

非常用照明に関する説明書及び取付箇所を明示した図面

1. 非常用照明の設置方針

増設焼却炉建屋には、廃棄物の分別、焼却炉運転及び定期的な放射線測定、建物及び建物内の巡視点検のための出入りを行うことから、建築基準法及び関係法令に基づく非常用の照明装置、並びに消防法及び関係法令に基づく誘導灯を設置する。

非常用照明の取付箇所について、図－1に示す。

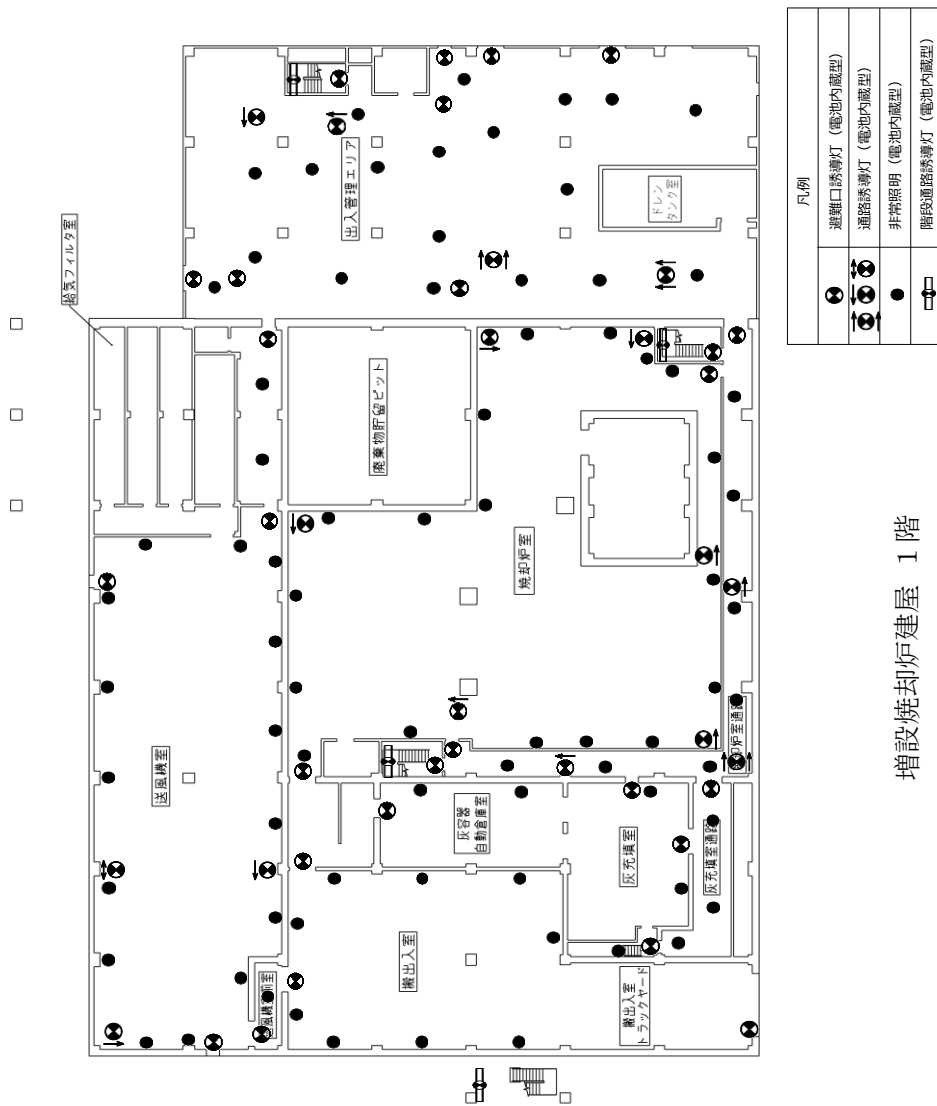
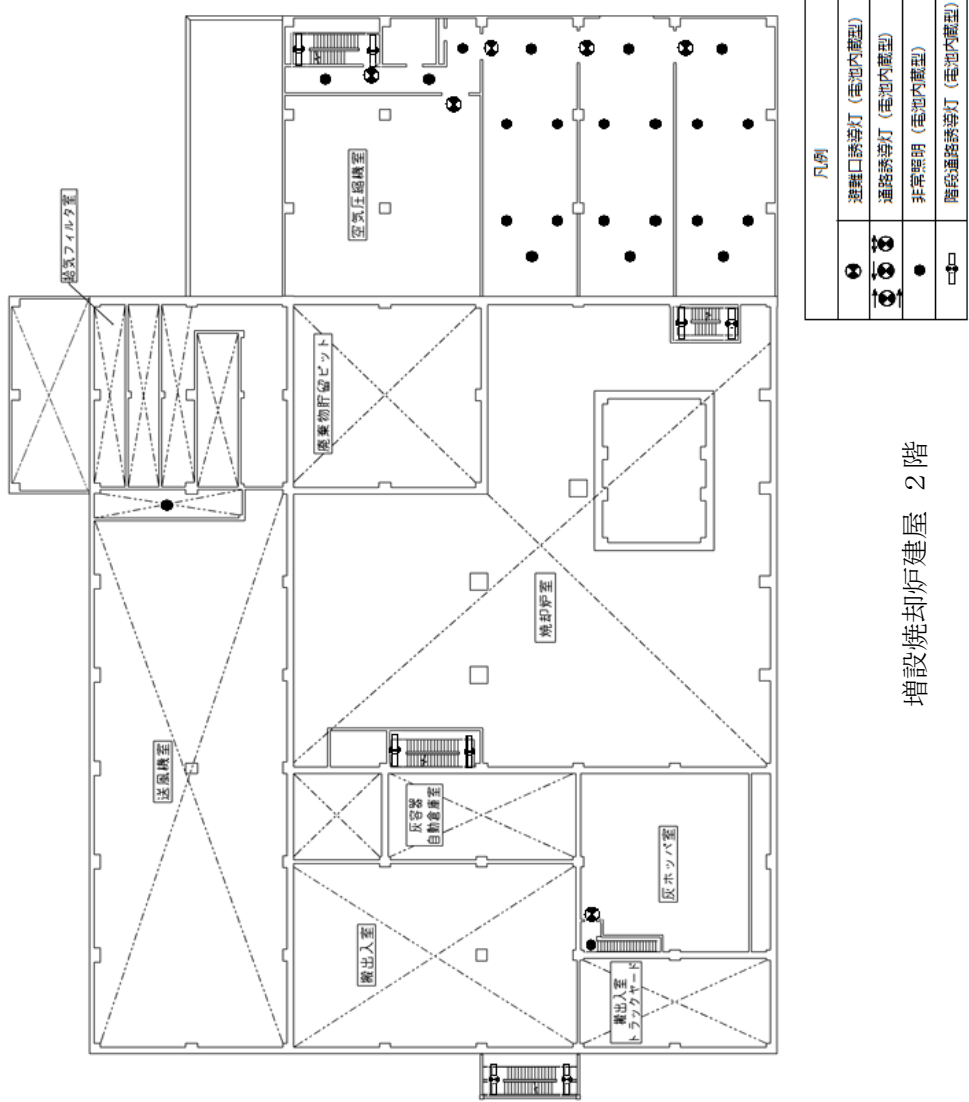
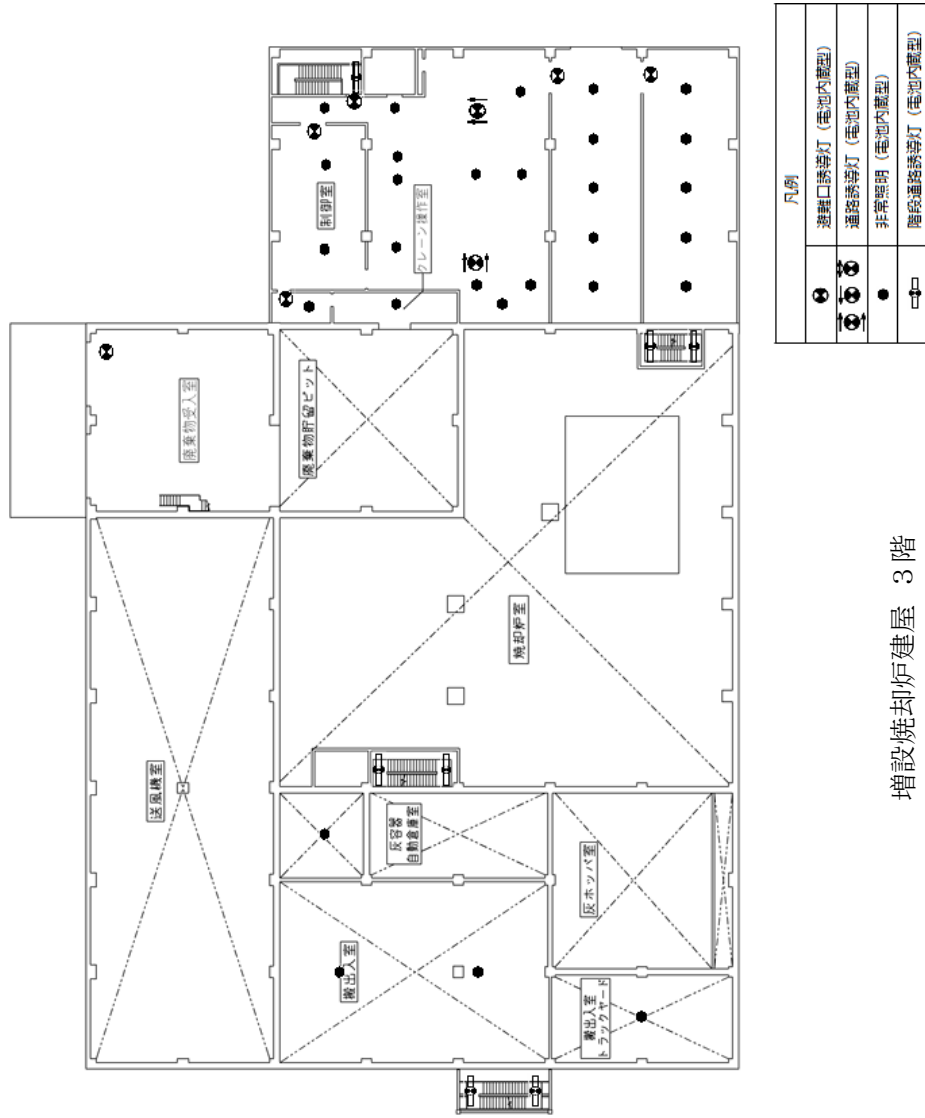


図-1 非常用照明の取付箇所を明示した図面 (1/6)



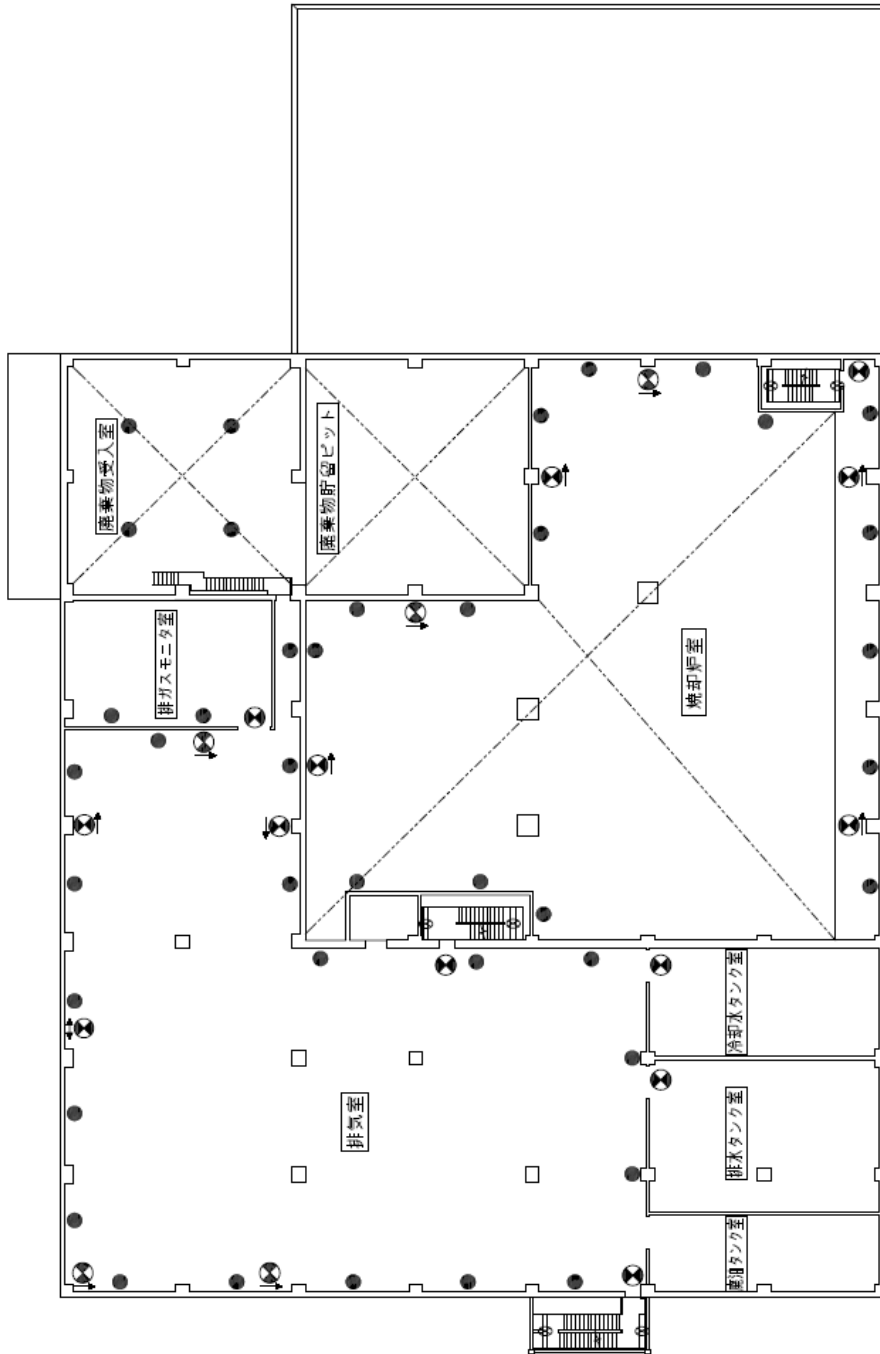
増設焼却炉建屋 2 階

図-1 非常用照明の取付箇所を明示した図面 (2 / 6)



増設焼却炉建屋 3階

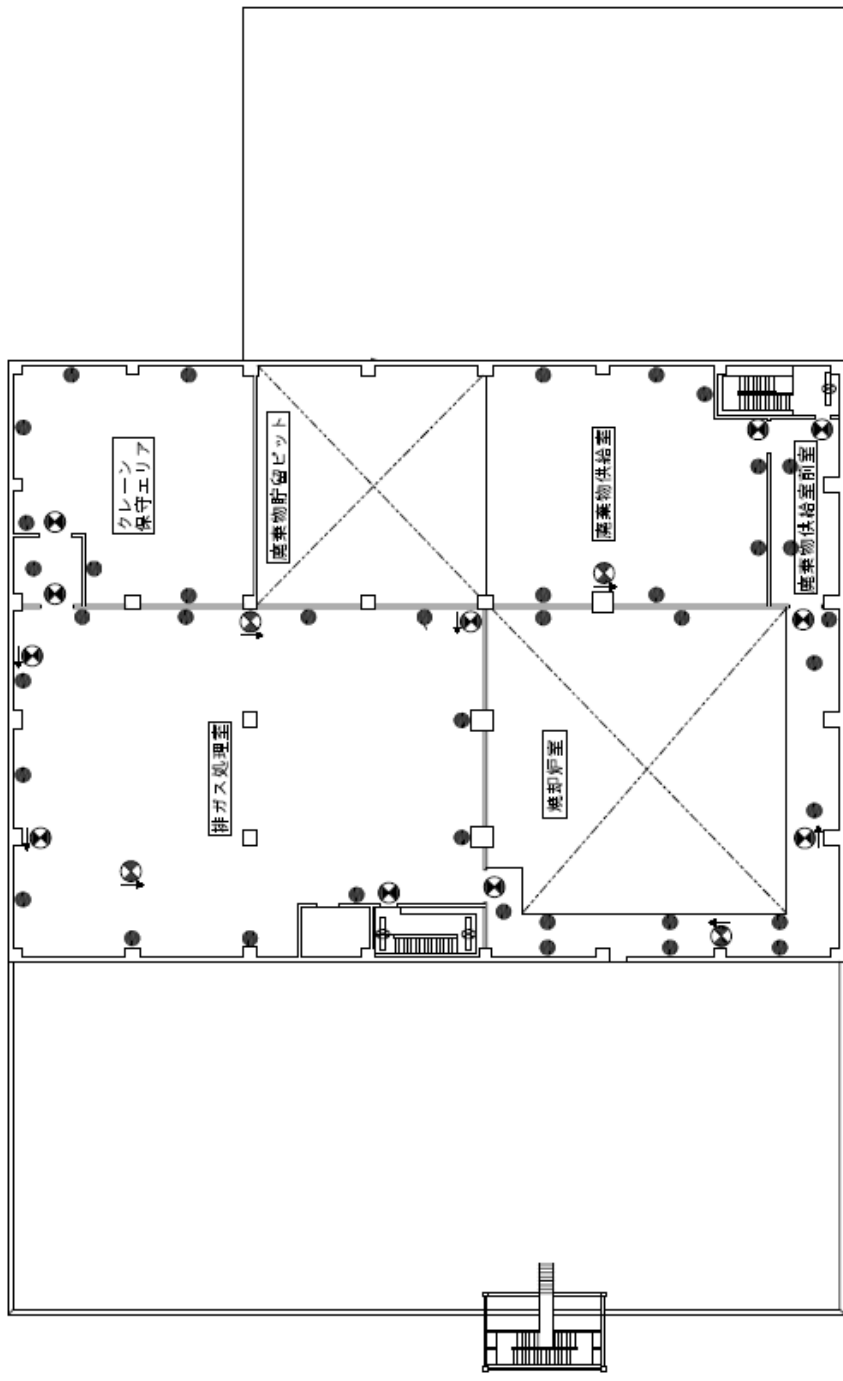
図-1 非常用照明の取付箇所を明示した図面 (3 / 6)



凡例	
	避難口誘導灯 (蓄池内蔵型)
	通路誘導灯 (蓄池内蔵型)
	非常照明 (蓄池内蔵型)
	階段通路誘導灯 (蓄池内蔵型)

増設焼却炉建屋 4階

図-1 非常用照明の取付箇所を明示した図面 (4 / 6)



凡例	
	避難口誘導灯 (電池内蔵型)
	通路誘導灯 (電池内蔵型)
	非常照明 (電池内蔵型)
	階段通路誘導灯 (電池内蔵型)

増設焼却炉建屋 5階

図-1 非常用照明の取付箇所を明示した図面 (5/6)



凡例	
	避難口誘導灯 (電池内蔵型)
	通路誘導灯 (電池内蔵型)
	非常照明 (電池内蔵型)
	階段通路誘導灯 (電池内蔵型)

増設焼却炉建屋 屋上階

図-1 非常用照明の取付箇所を明示した図面 (6 / 6)

火災防護に関する説明書並びに消火設備の取付箇所を明示した図面

1. 火災防護に関する基本方針

増設雑固体廃棄物焼却設備（以下、本設備という。）は、火災により安全性が損なわれることを防止するために、火災の発生防止対策、火災の検知及び消火対策、火災の影響の軽減対策の3方策を適切に組み合わせた措置を講じる。

2. 火災の発生防止

2.1 不燃性材料、難燃性材料の使用

増設焼却炉建屋の主要構造部である壁、柱、床、梁、屋根は、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、間仕切り壁及び天井材についても、建築基準法及び関係法令に基づき、実用上可能な限り不燃性又は難燃性材料を使用する。

更に、建屋内の機器、配管、ダクト、トレイ、電線路、盤の筐体、及びこれらの支持構造物についても、実用上可能な限り不燃性又は難燃性材料を使用し、幹線ケーブル及び動力ケーブルは難燃ケーブルを使用する他、消防設備用のケーブルは消防法に基づき、耐火ケーブルや耐熱ケーブルを使用する。

2.2 発火性、引火性材料の予防措置

通常運転時はもとより、異常状態においても火災の発生を防止するための予防措置を講じる。

発火性又は引火性液体を内包する設備については、溶接構造、シール構造とし、液面監視により、漏えいの早期発見を図る。また、その内蔵量を運転上の要求に見合う最低量に抑える設計とする。

2.3 自然現象による火災発生防止

本設備の構築物、系統及び機器は、落雷、地震等の自然現象により火災が生じることがないように防護した設計とし、建築基準法及び関係法令に基づき避雷設備を設置する。

本設備は「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」（平成18年9月19日）に従い設計を行い、破壊又は倒壊を防ぐことにより、火災発生を防止する設計とする。

3. 火災の検知及び消火

3.1 火災検出設備及び消火設備

火災検出設備及び消火設備は、本設備に対する火災の悪影響を限定し、早期消火を行える消防法及び関係法令に基づいた設計とする。

(1) 火災検出設備

放射線，取付面高さ，温度，湿度，空気流等の環境条件や予想される火災の性質を考慮して感知器の型式（熱・煙）を選定する。また，火災検出設備は外部電源喪失時に機能を失わないよう電池を内蔵した設計とする。

(2) 消火設備

消火設備は，屋内消火栓設備及び二酸化炭素消火設備及び連結送水口並びに消火器で構成する。

消防法に基づき，屋内消火栓設備の消火水槽（容量：約 5.2m³）及び，各階に屋内消火栓設備を設置し早期消火が行える設計とする。また，福島第一原子力発電所内の消防水利に消防車を連結することにより，本設備の消火が可能である。

3.2 自然現象に対する消火装置の性能維持

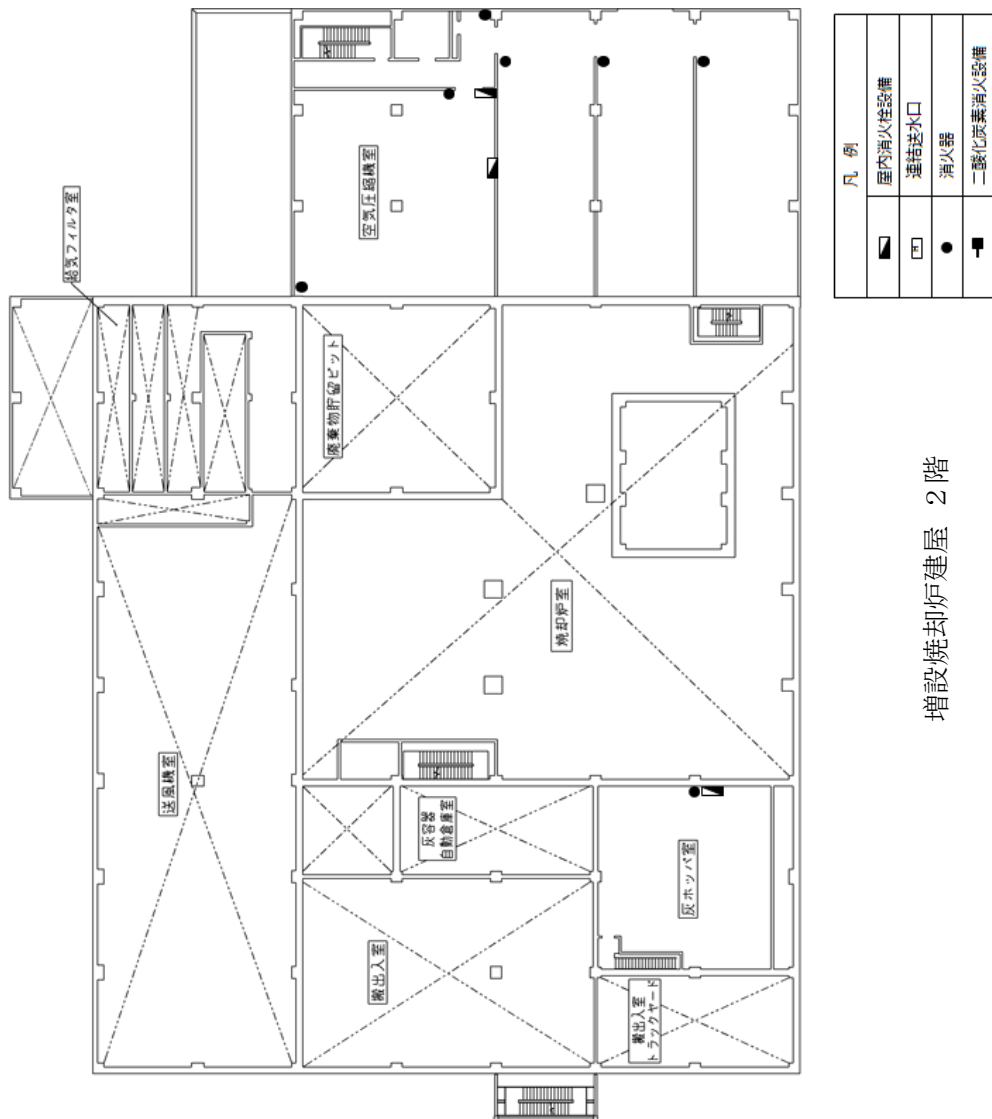
火災検出設備及び消火設備は地震等の自然現象によっても，その性能が著しく阻害されることがないように措置を講じる。消火設備は，消防法に基づいた設計とし，耐震設計は耐震設計審査指針に基づいて適切に行う。

4. 火災の影響の軽減

本設備は，建築基準法及び関係法令に基づき防火区画を設置し，消防設備と組み合わせることにより，火災の影響を軽減する設計とする。なお，主要構造部の外壁は，建築基準法及び関係法令に基づき，必要な耐火性能を有する設計とする。

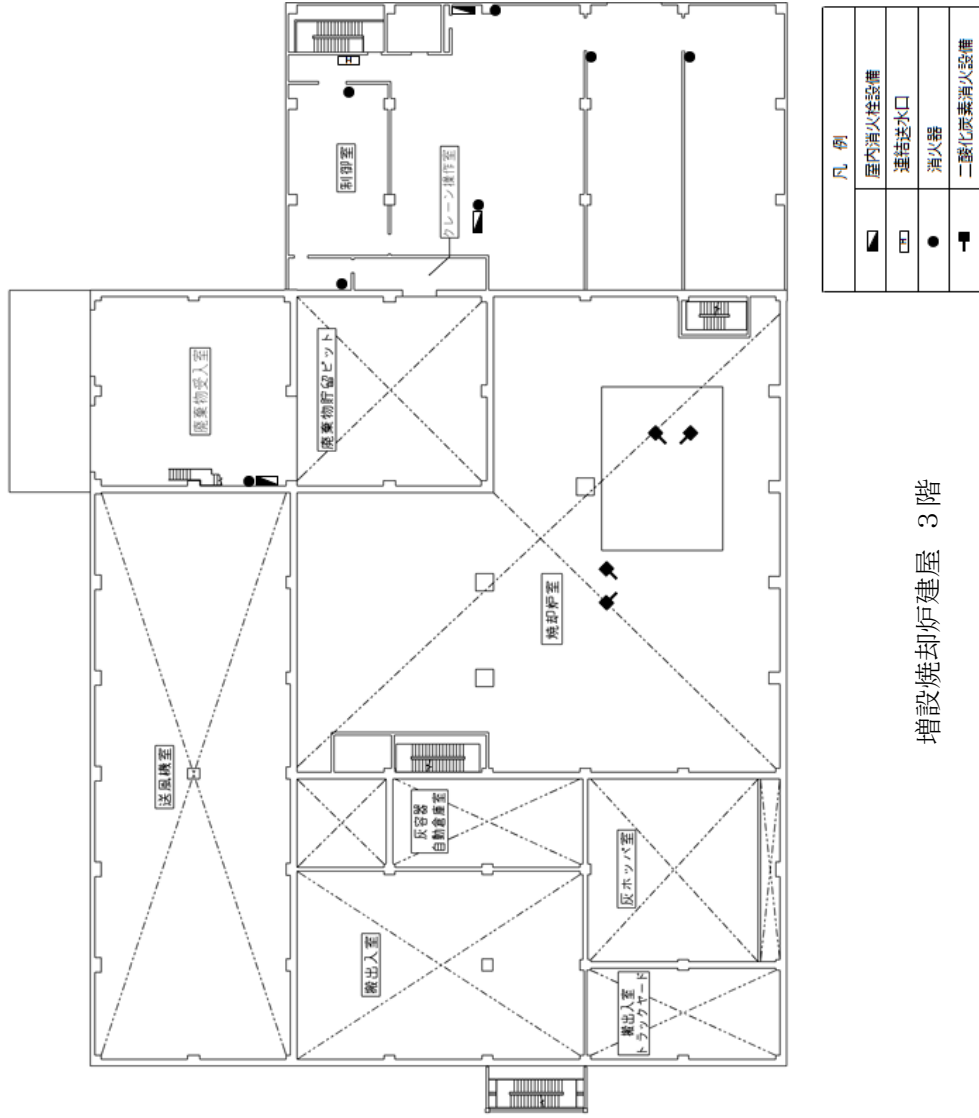
5. 消火設備の取付箇所を明示した図面

消火設備の取付箇所について，図－1 に示す。



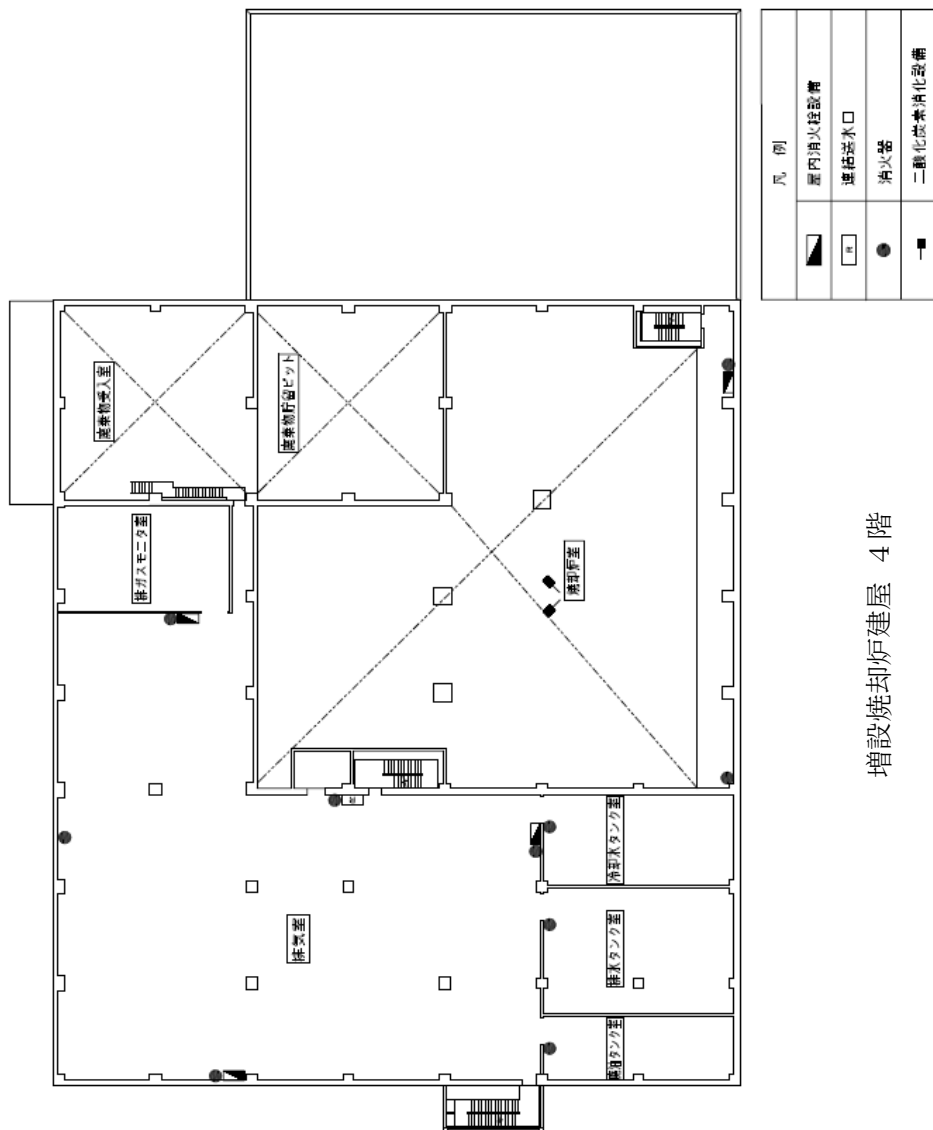
増設焼却炉建屋 2階

図-1 消火設備の取付箇所を明示した図面 (2/6)



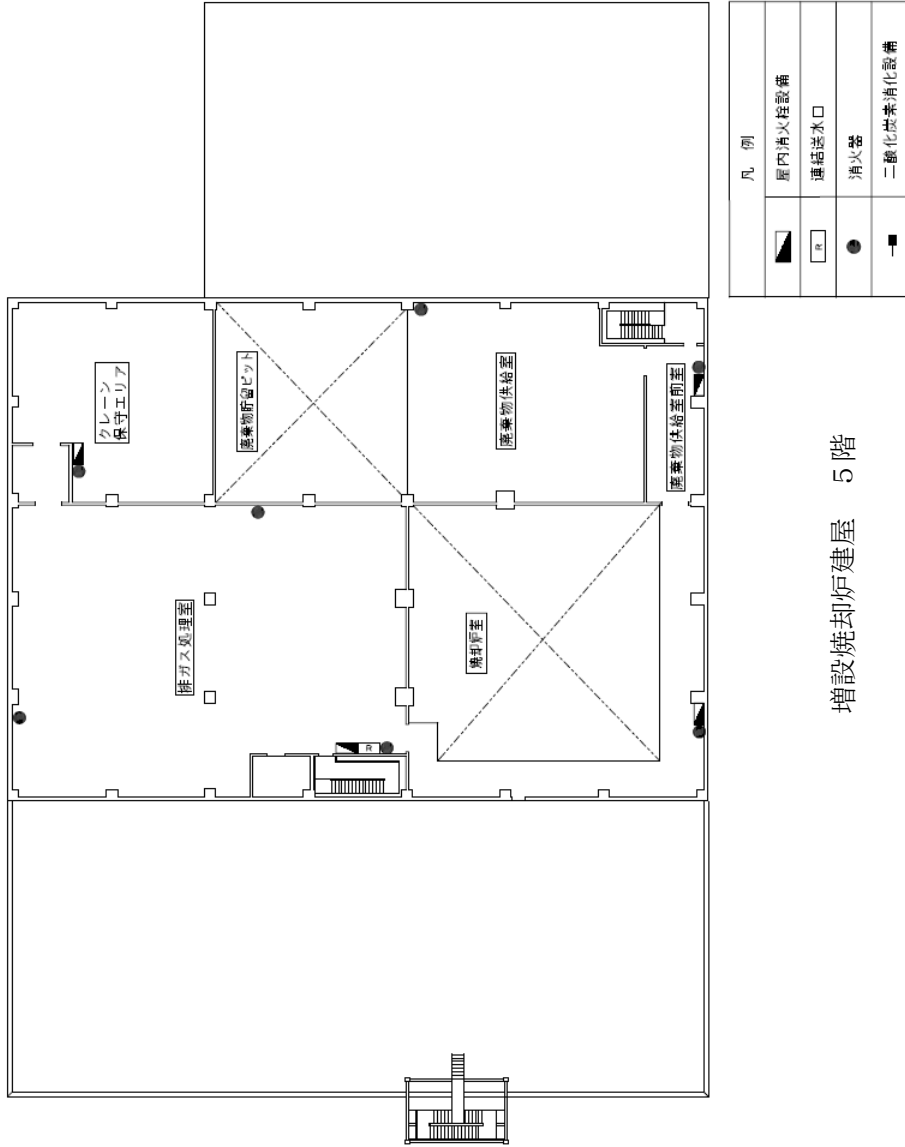
増設焼却炉建屋 3階

図-1 消火設備の取付箇所を明示した図面 (3/6)



増設焼却炉建屋 4階

図-1 消火設備の取付箇所を明示した図面 (4 / 6)



増設焼却炉建屋 5階

図-1 消火設備の取付箇所を明示した図面 (5/6)



増設焼却炉建屋 屋上階





凡 例	
	屋内消火栓設備
	連絡送水口
	消火器
	二酸化炭素兼消火設備

図-1 消火設備の取付箇所を明示した図面 (6 / 6)

生体遮へい装置の放射線の遮へい及び熱除去についての計算書

1. 一般事項

本計算書は、増設焼却炉建屋における生体遮へい装置（以下、補助遮へいという。）の放射線の遮へい及び熱除去に関する評価について説明するものである。

1.1 遮へい設計評価の基本方針

増設雑固体廃棄物焼却設備は、建屋躯体を用いた補助遮へいで区画し、その補助遮へいの厚さに対し、増設雑固体廃棄物焼却設備の各線源からの線量率計算結果が、外部放射線に係る設計基準線量率 $2.6 \times 10^{-3} \text{mSv/h}$ 以下を満足していることを確認することにより、遮へい設計が十分であることを評価する。

1.2 遮へい設計の設計基準線量率

通常運転時、放射線業務従事者の受ける線量が「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」（平成25年4月12日原子力規制委員会告示第3号）に定めた線量限度を超えないようにするとともに、放射線業務従事者の立入場所における線量を合理的に達成できる限り低減するように、放射線防護上の措置を講じた設計とする。遮へい設計に際しては、焼却設備の各線源からの外部放射線に係る線量率が、設計基準線量率 $2.6 \times 10^{-3} \text{mSv/h}$ 以下を満足する設計とする。

1.3 遮へい設計の方法

増設焼却炉建屋の補助遮へいの設計方法は、以下のとおりである。

- (1) 線源となる雑固体廃棄物、焼却灰は、原則としてコンクリートの遮へい壁で囲まれた区画に収容する。
- (2) 増設焼却炉建屋の通常運転時に予想される実効線量率が最大となる時の線源強度を計算する。
- (3) 遮へい計算は、対象となる線源の線源強度および幾何学的形状を勘案して適切な計算機コードを選択し、機器配置を考慮して補助遮へい外側表面の線量率を計算する。

1.4 遮へい設計の前提条件

補助遮へいの遮へい設計に用いる前提条件は、以下のとおりである。

- (1) コンクリートの密度は 2.15g/cm^3 とする。
- (2) 計算モデルは、保守的な評価となるようにする。

1.5 熱除去に関する設計

増設焼却炉建屋の補助遮へいは、取り扱われるものが雑固体廃棄物、焼却灰であることから、コンクリート壁に入射するガンマ線エネルギー束が低いので、コンクリート壁での発熱量は小さく、また建屋内は換気空調設備で熱除去される。

2. 補助遮へいの計算に用いる線源強度

増設焼却炉建屋における補助遮へいの対象となる線源は、雑固体廃棄物、焼却灰である。各線源は滞留水を汚染起源と仮定し、表-1に示す核種、放射能濃度を内包しているとす。なお、各線源のガンマ線源強度の計算はORIGEN2コードにより行う。

表-1 遮へい計算に用いる各線源の放射能濃度

核種	放射能濃度 (Bq/cm ³)	
	雑固体廃棄物	焼却灰
Mn-54	1.0E+00	1.7E+01
Co-58	4.8E-03	8.0E-02
Co-60	2.9E+00	4.8E+01
Sr-89	3.9E-02	6.5E-01
Sr-90	2.5E+02	4.2E+03
Ru-103	3.6E-05	6.0E-04
Ru-106	9.6E+00	1.6E+02
Sb-124	5.1E-03	8.5E-02
Sb-125	9.0E+00	1.5E+02
I-131	9.6E-26	1.6E-24
Cs-134	8.7E+01	1.5E+03
Cs-136	6.3E-18	1.1E-16
Cs-137	2.4E+02	4.0E+03
Ba-140	4.2E-16	7.0E-15
合計	6.0E+02	1.0E+04

3. 補助遮へい計算方法

3.1 計算方法

増設焼却炉建屋の遮へい計算には、計算機コード「MCNP」を用いる。計算機コードの主な入力条件は以下の項目である。

- ・線源の放射能濃度
- ・線源のエネルギースペクトル
- ・線源形状
- ・遮へい厚さ
- ・線源からの距離
- ・遮へい体の物質の指定

3.2 線量率計算

補助遮へい外側表面の線量率計算は、3.1 に示した入力条件を計算機コードに入力して行う。

3.2.1 線量率計算モデル

線量率の評価位置は、線源強度および遮へい厚さが異なる代表的な壁および天井スラブの外側表面において線量率が最大になる箇所とする。

図-1～6の計算配置図に増設焼却炉建屋の線源配置および評価点位置を示す。

(1) 廃棄物貯留ピットの計算モデル

廃棄物貯留ピットで取り扱う雑固体廃棄物は、容量をピット内に充填されている状態とした直方体線源とする。線源の放射能濃度は、表-1に示した放射能濃度とする。

a. 廃棄物貯留ピット1階の北壁（壁厚 500 mm）

廃棄物貯留ピット1階の北壁外側表面（評価点①）の線量率の計算に用いる線源の形状・寸法，壁の厚さ，評価点の位置を図-1及び図-7に示す。

b. 廃棄物貯留ピット2階の東壁（壁厚 650 mm）

廃棄物貯留ピット2階の東壁外側表面（評価点②）の線量率の計算に用いる線源の形状・寸法，壁の厚さ，評価点の位置を図-2及び図-8に示す。

c. 廃棄物貯留ピットの天井スラブ（スラブ厚 300 mm）

廃棄物貯留ピットの天井スラブ外側表面（評価点③）の線量率の計算に用いる線源の形状・寸法，天井の厚さ，評価点の位置を図-6及び図-9に示す。

(2) 灰容器自動倉庫の計算モデル

灰容器自動倉庫に保管する灰充填容器の数量は最大74個であるが、解析における線源形状・寸法は保守的に各灰充填容器間の空間も全て線源とした直方体線源とする。線源の放射能濃度は、表-1に示した放射能濃度とする。

a. 搬出入室1階の西壁（灰容器自動倉庫室壁厚300mm，搬出入室壁厚500mm）

搬出入室1階の西壁外側表面（評価点④）の線量率の計算に用いる線源の形状・寸法，壁の厚さ，評価点の位置を図-1及び図-10に示す。

(3) 主灰ホップ及び飛灰ホップの計算モデル

主灰ホップ及び飛灰ホップの解析における線源形状・寸法は，焼却灰が内包される範囲として主灰ホップ，飛灰ホップを直方体線源とする。線源の放射能濃度は，表-1に示した放射能濃度とする。

a. 灰充填室通路1階の南壁（灰ホップ室壁厚180mm，灰充填室通路壁厚500mm）

灰充填室通路1階の南壁外側表面（評価点⑤）の線量率の計算に用いる線源の形状・寸法，壁の厚さ，評価点の位置を図-1及び図-11に示す。

b. 冷却水タンク室の天井スラブ（4階床スラブ厚300mm，天井スラブ厚300mm）

冷却水タンク室の4階天井スラブ外側表面（評価点⑥）の線量率の計算に用いる線源の形状・寸法，天井の厚さ，評価点の位置を図-5及び図-12に示す。

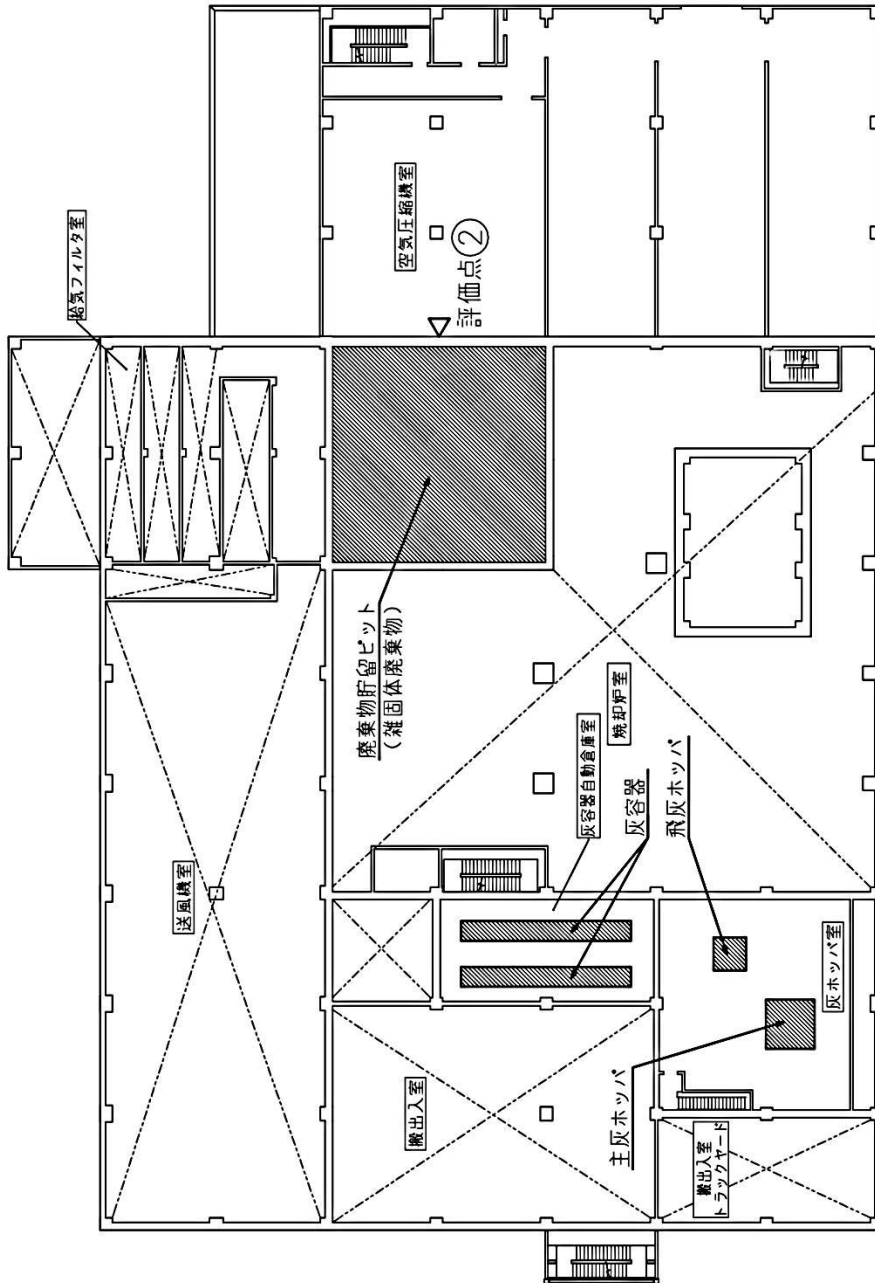
3.2.2 線量率計算結果

線量率の計算結果を表-2に示す。

補助遮へい外側表面の線量率は，いずれのエリアも設計基準線量率 $2.6 \times 10^{-3} \text{mSv/h}$ 以下を満足することを確認した。

表-2 線量率の計算結果

評価点	評価箇所	線量率計算結果	設計基準線量率
①	廃棄物貯留ピット1階の北壁	$9.1 \times 10^{-5} \text{mSv/h}$	$2.6 \times 10^{-3} \text{mSv/h}$ 以下
②	廃棄物貯留ピット2階の東壁	$4.0 \times 10^{-5} \text{mSv/h}$	
③	廃棄物貯留ピットの天井スラブ	$1.9 \times 10^{-4} \text{mSv/h}$	
④	搬出入室1階の西壁	$8.6 \times 10^{-6} \text{mSv/h}$	
⑤	灰充填室通路1階の南壁	$2.5 \times 10^{-6} \text{mSv/h}$	
⑥	冷却水タンク室の天井スラブ	$5.5 \times 10^{-5} \text{mSv/h}$	



図一 2 増設雑固体廃棄物焼却設備の計算配置図 (2階)

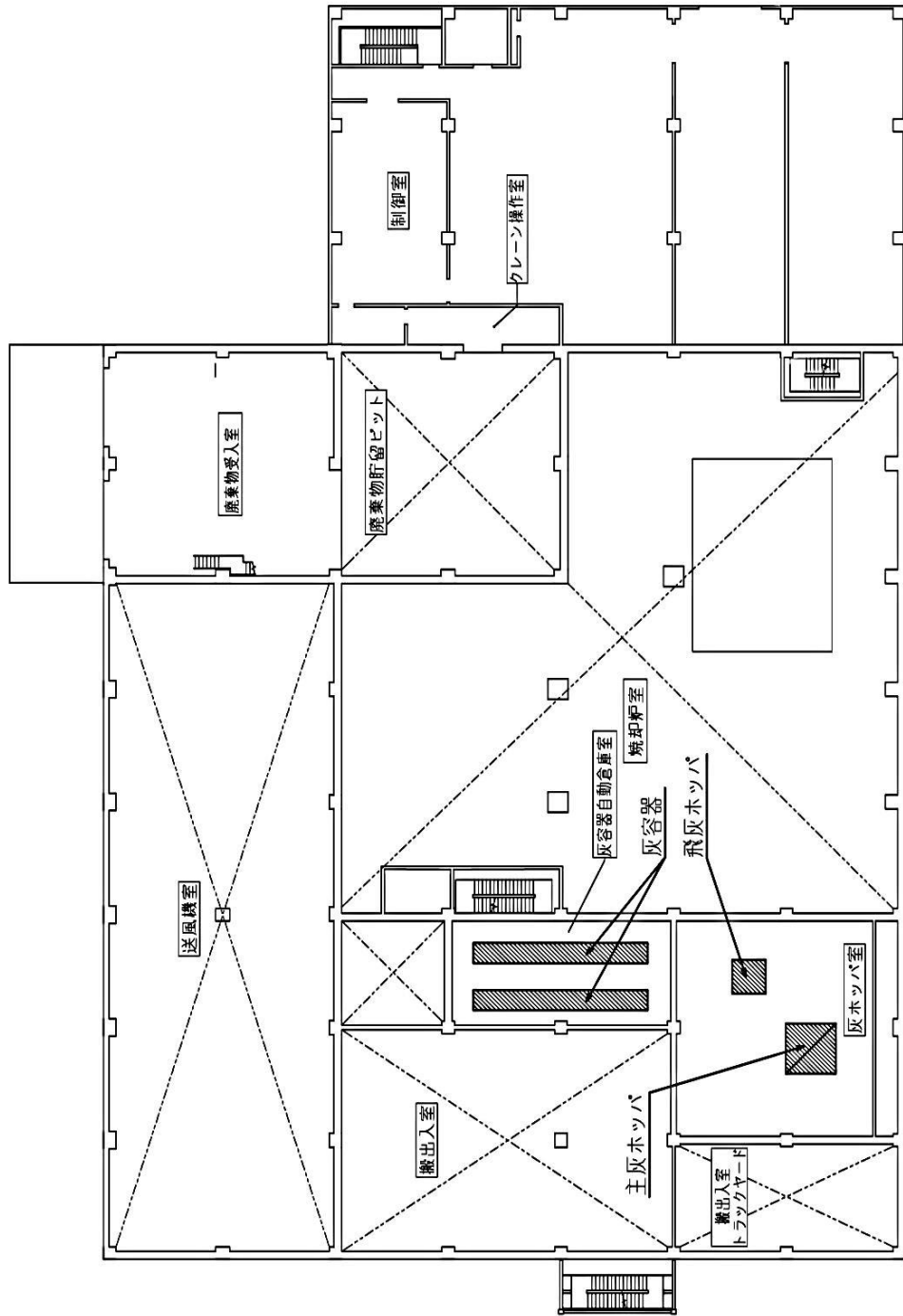


図-3 増設雑固体廃棄物焼却設備の計算配置図(3階)

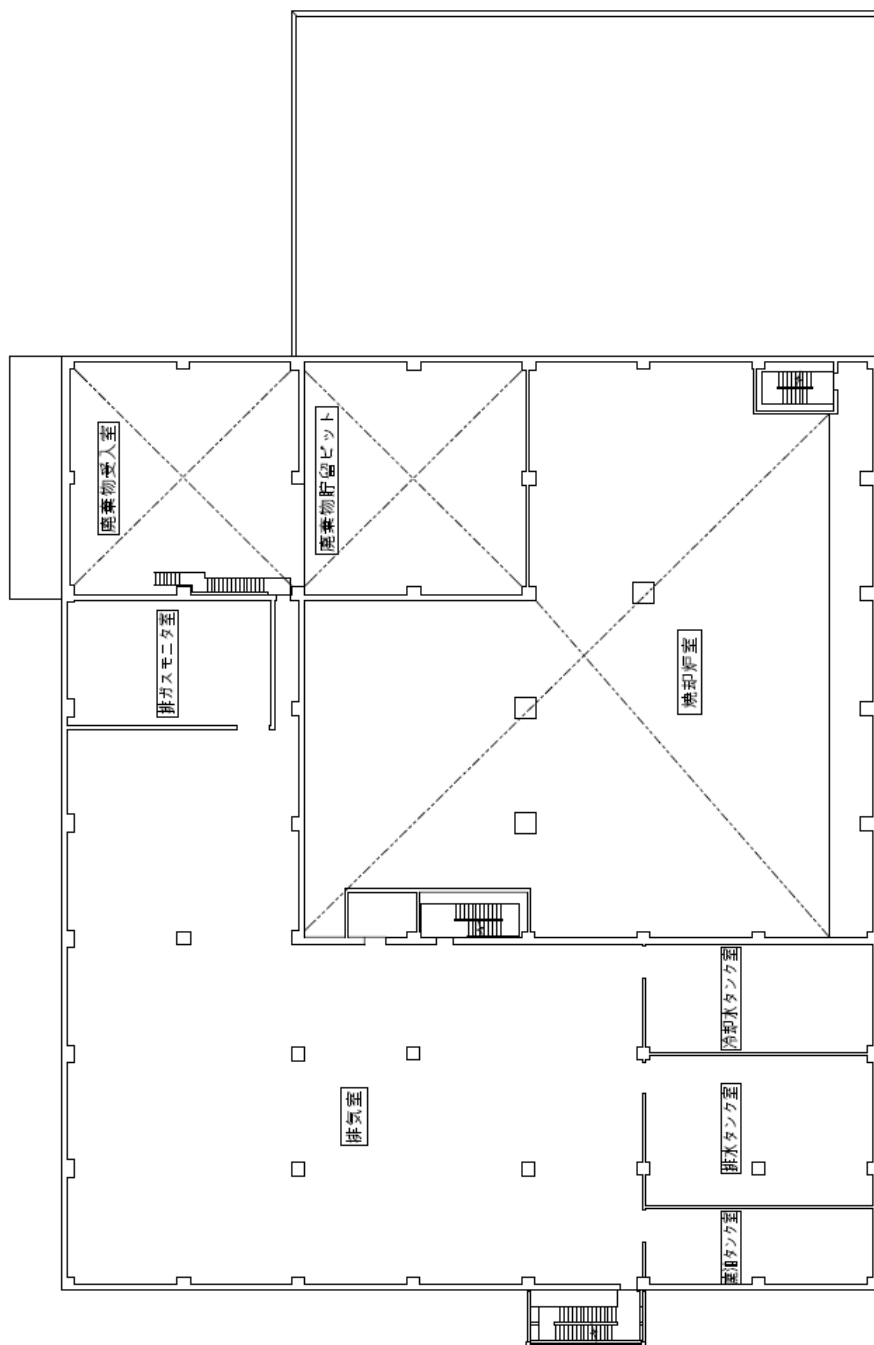


図-4 増設雑固体廃棄物焼却設備の計算配置図（4階）

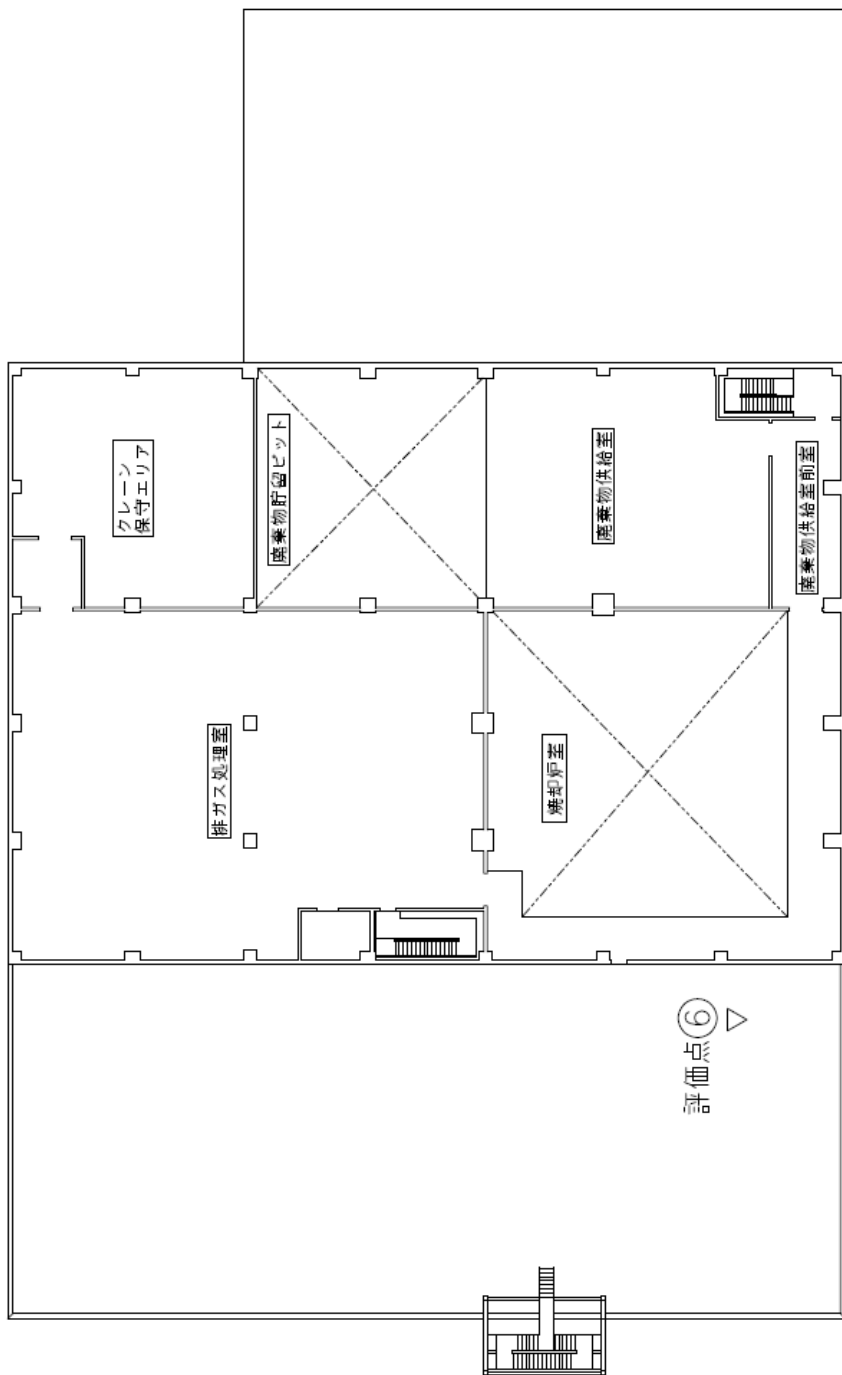
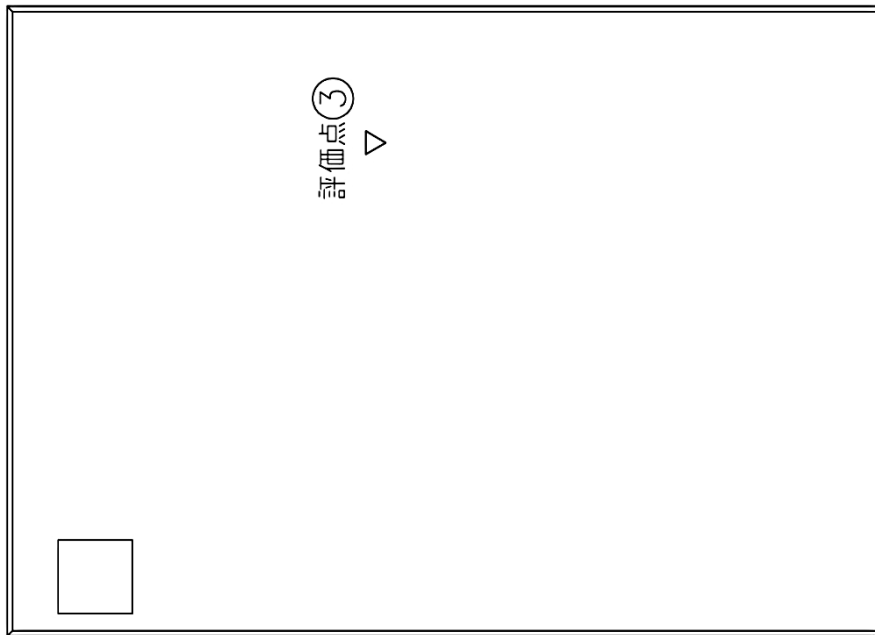


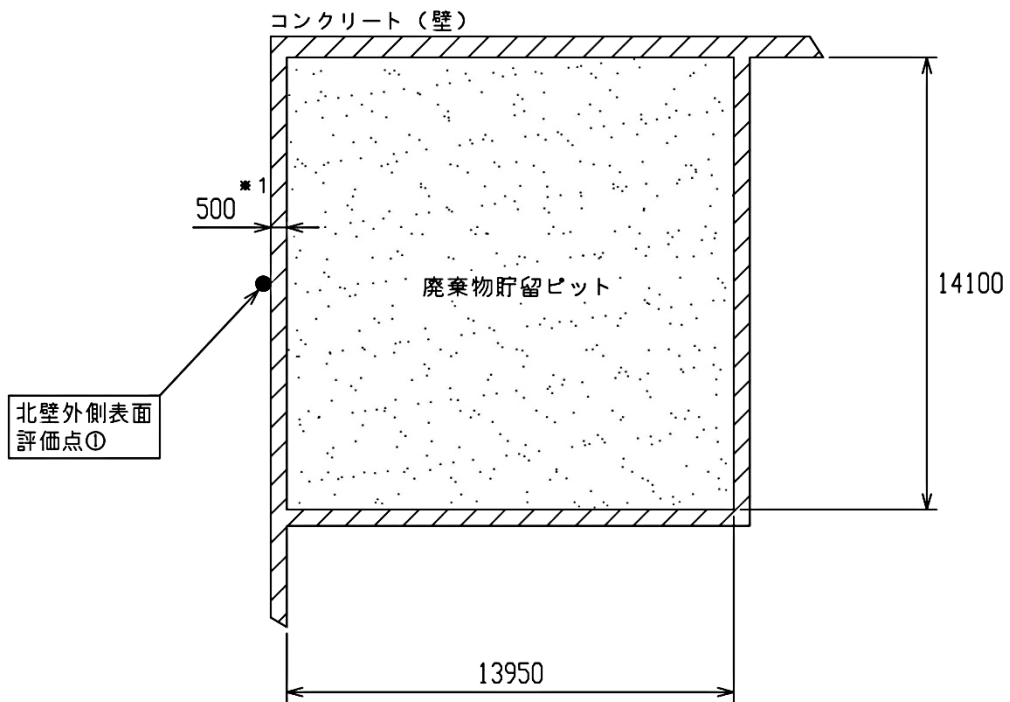
図-5 増設雑固体廃棄物焼却設備の計算配置図(5階)



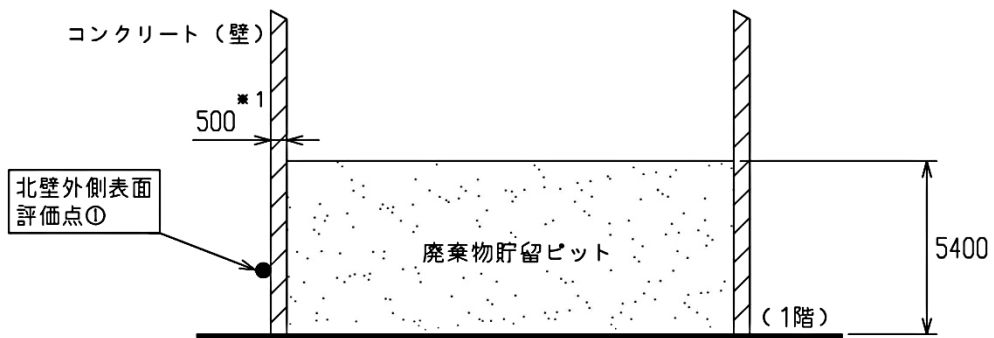
図一6 増設雑固体廃棄物焼却設備の計算配置図（5階天井）



[平面図]



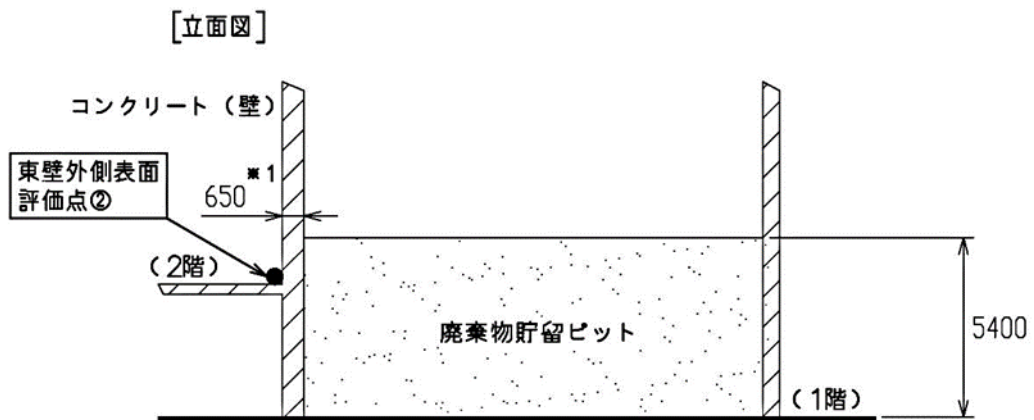
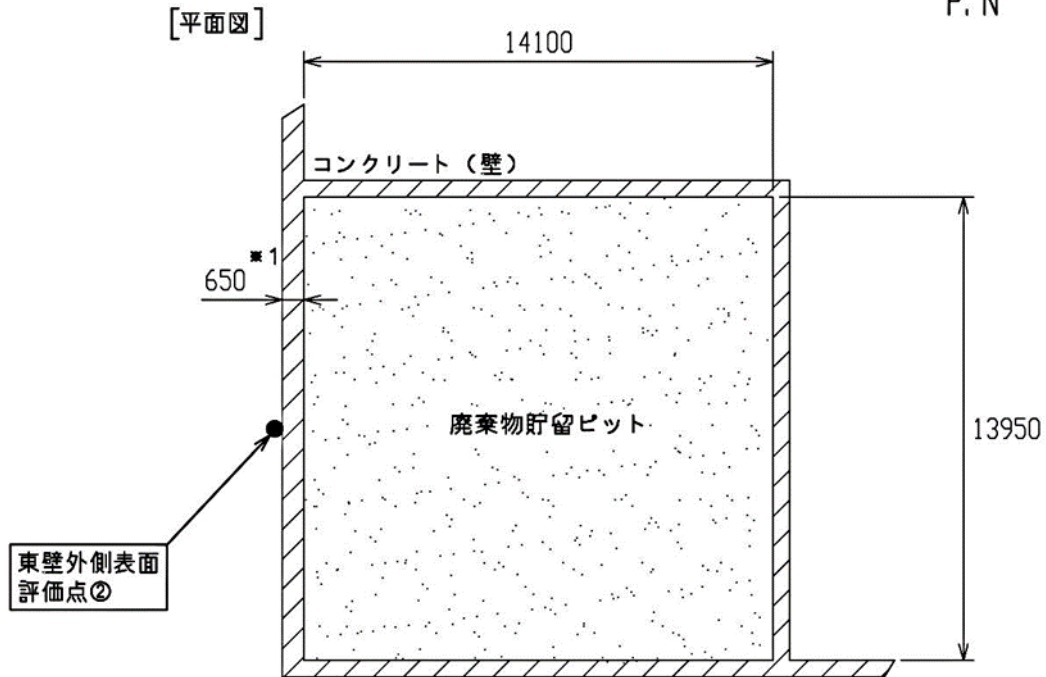
[立面図]



(単位：mm)

注記 * 1：公称値を示す

図-7 廃棄物貯留ピット1階の北壁外側表面の計算モデル



注記 ※1：公称値を示す

(単位：mm)

図-8 廃棄物貯留ピット2階の東壁外側表面の計算モデル

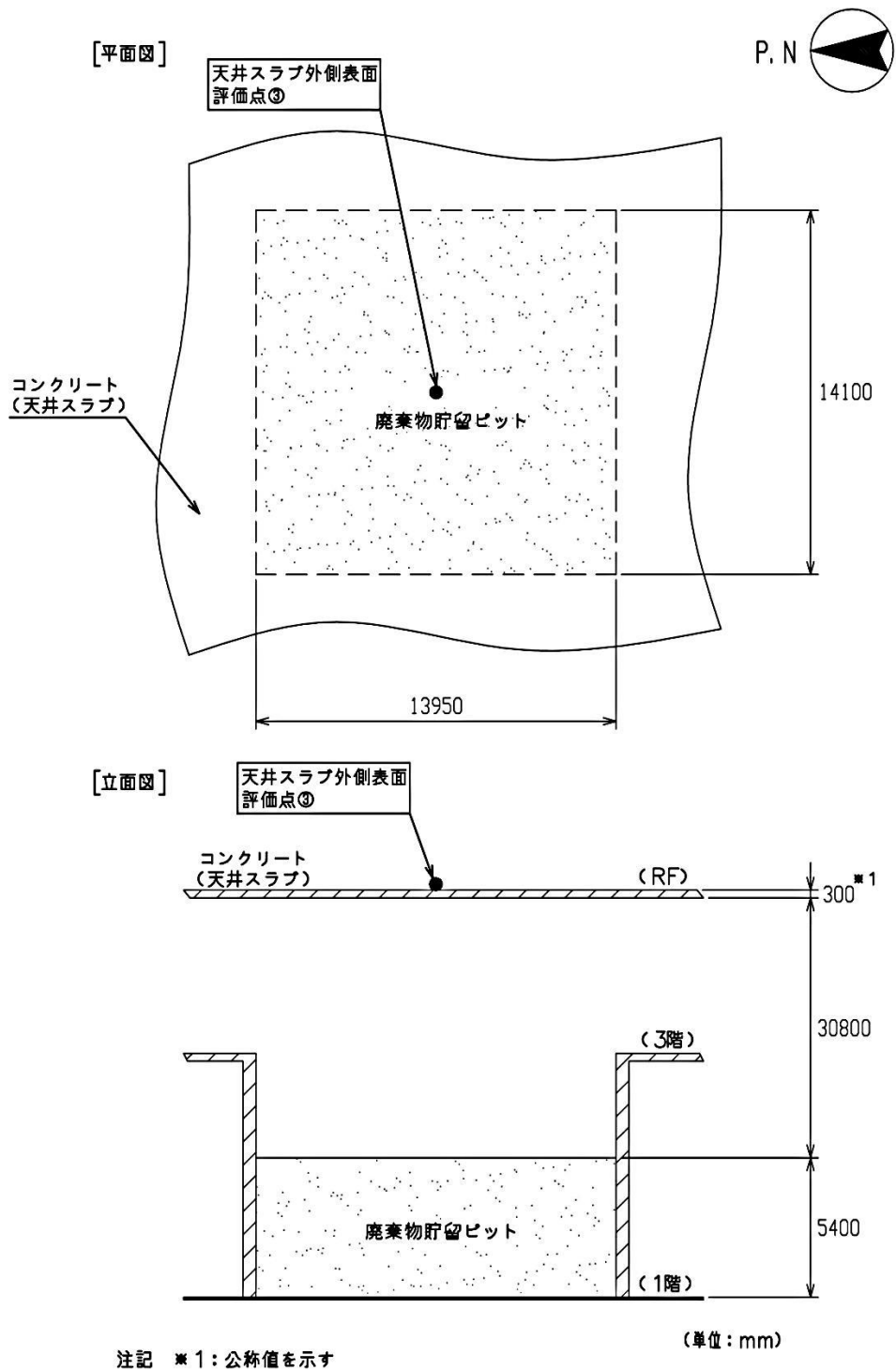
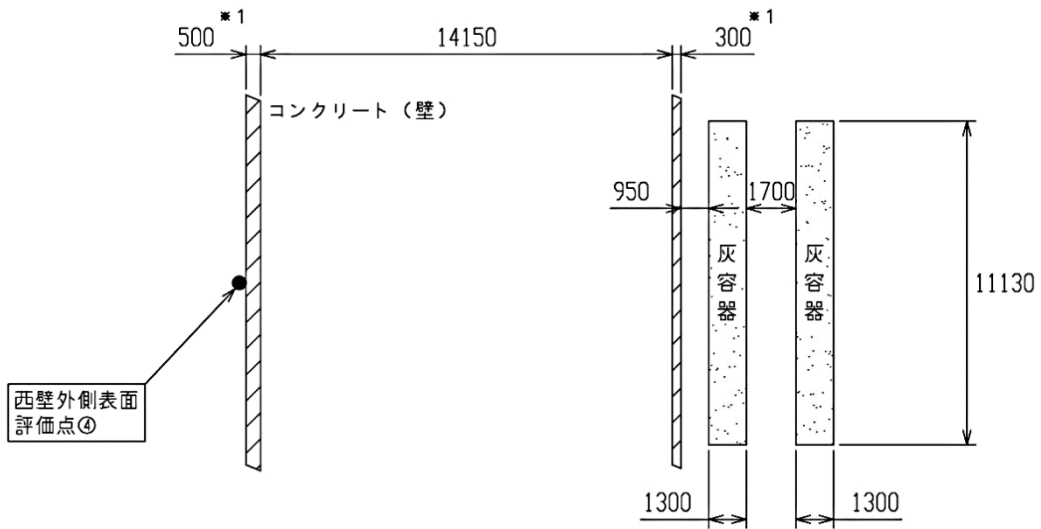


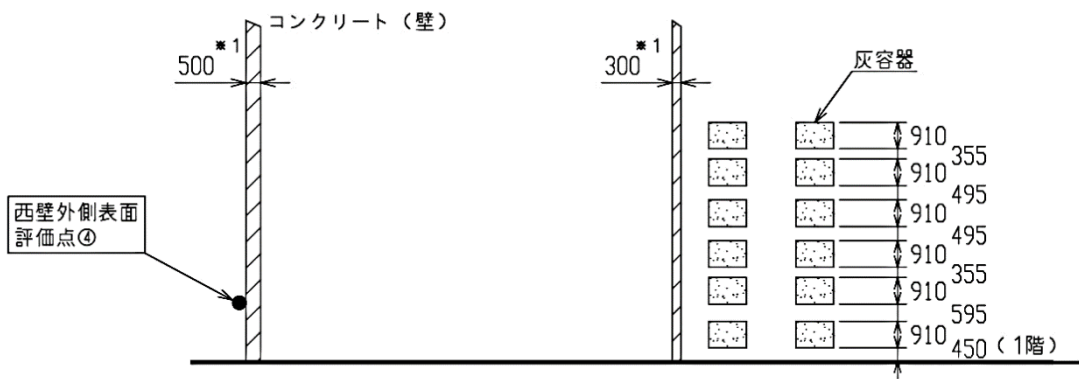
図-9 廃棄物貯留ピットの天井スラブ外側表面の計算モデル



[平面図]



[立面図]



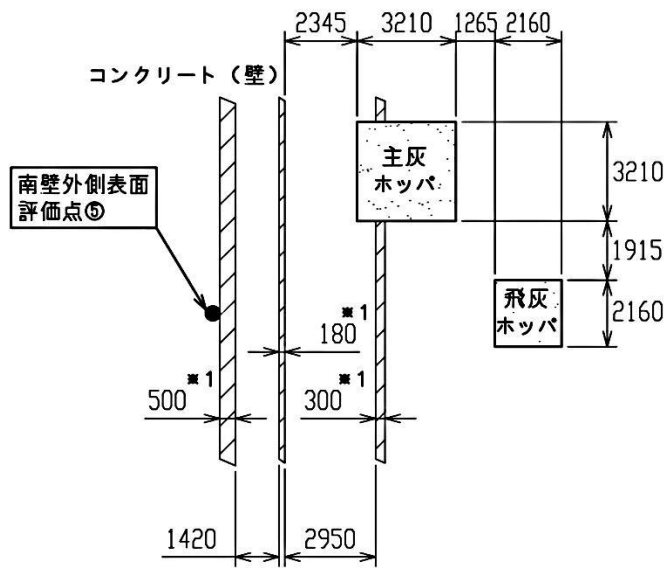
注記 *1: 公称値を示す

(単位: mm)

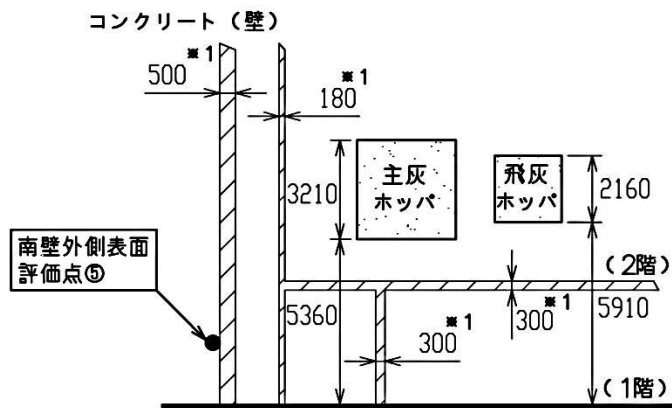
図-10 搬出入室1階の西壁外側表面の計算モデル



[平面図]



[立面図]



注記 ※1: 公称値を示す (単位: mm)

図-11 灰充填室通路1階の南壁外側表面の計算モデル

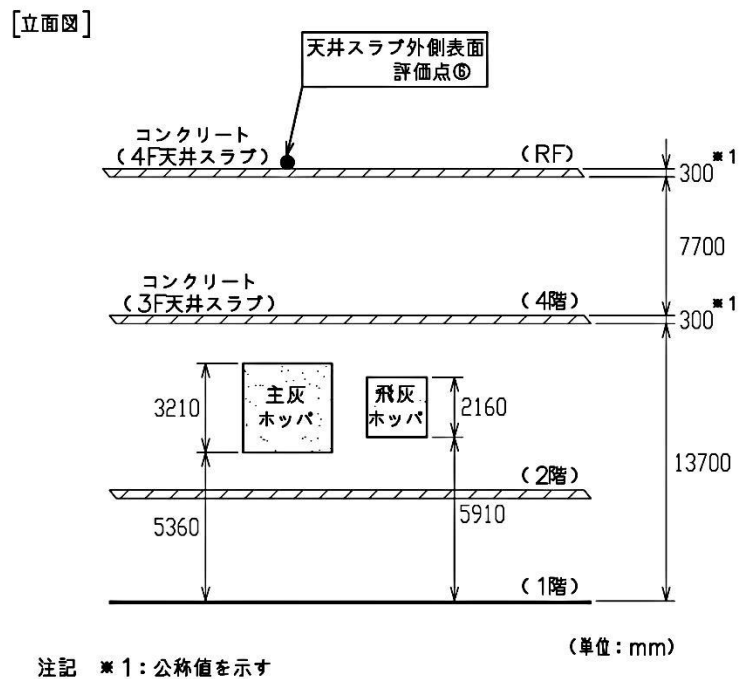
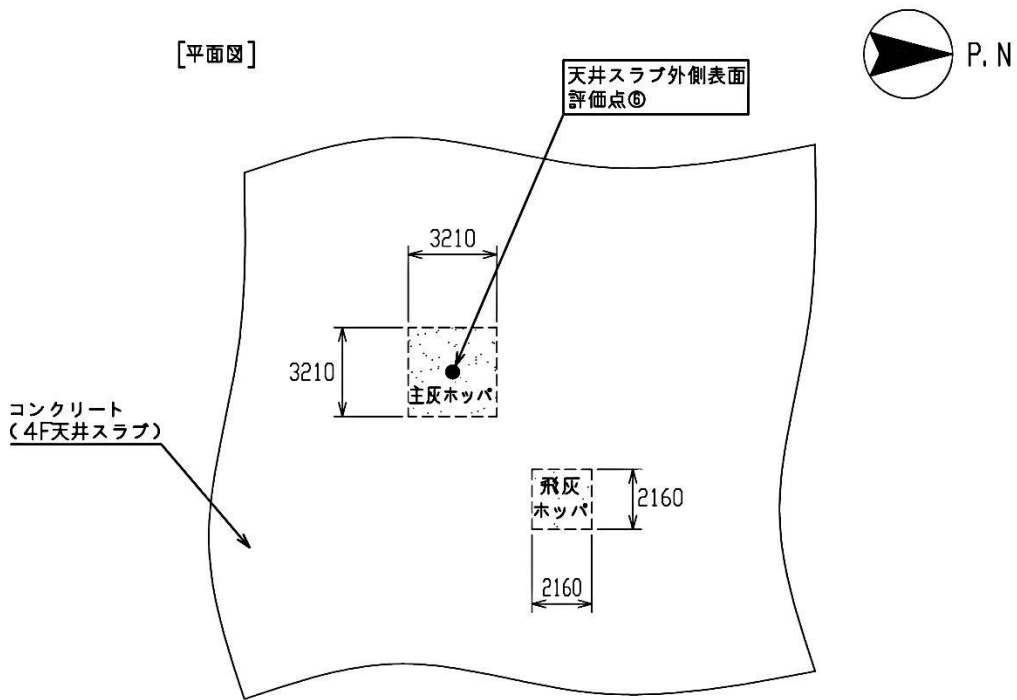


図-12 冷却水タンク室の天井スラブ外側表面の計算モデル

4. 補助遮への貫通部に対する考慮

増設焼却炉建屋の高線量率区域と低線量率区域の間の補助遮への貫通部は、原則として放射線の通過が問題とならないようにその位置を決める。

ただし、放射線の通過が問題となる位置に設置せざるを得ない場合は、配管等の貫通部に遮へい補償材（鉛毛またはモルタル）を詰め、放射線の通過を防止する措置を講じることとする。

貫通部に対する放射線の通過防止措置の例を図-13、14に示す。

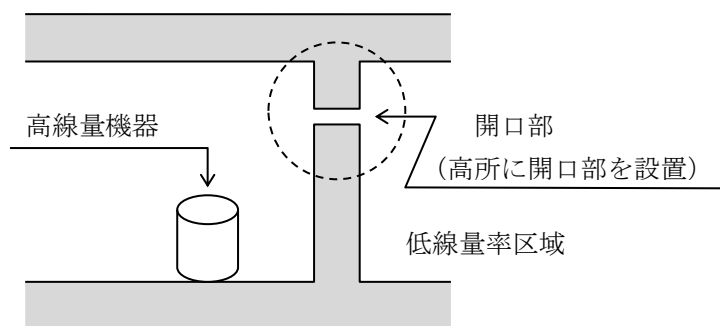


図-13 開口部の高所設置 (例)

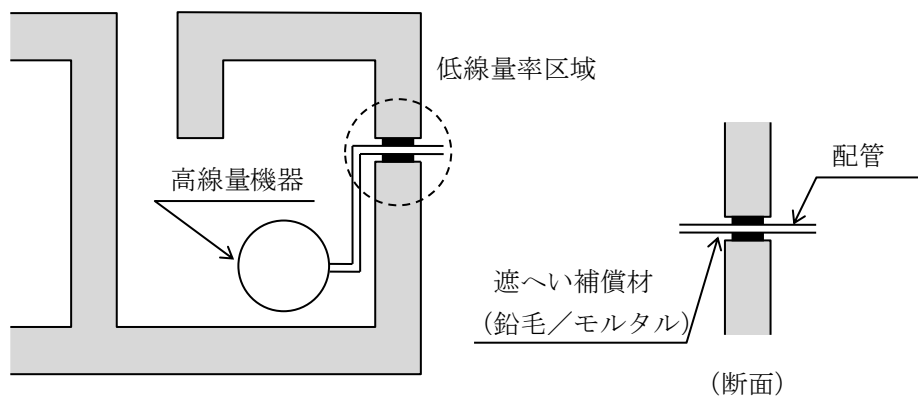


図-14 貫通孔の補償遮へい (例)

5. 補助遮へいの熱除去計算

5.1 補助遮へいの熱除去計算方法

補助遮へいであるコンクリート中のガンマ発熱密度はコンクリート中のガンマ線フラックスの減衰に応じて減少する。しかし、安全側にガンマ線の減衰を無視して入射面の最大のガンマ発熱密度でコンクリート全体が均一に発熱するものと仮定すると、コンクリート中の温度と表面温度の差の最大値 ΔT_{\max} は、内部発熱が均一とした平板の温度分布の計算式 (6. 引用文献(1)参照) を引用した下式により求められる。

$$\Delta T_{\max} = T_{\max} - T_s = Q' \cdot L^2 / 2\lambda$$

ここで、

- T_{\max} : コンクリート厚さ中心での最高温度 (°C)
- T_s : コンクリート表面温度 (°C)
- Q' : コンクリートの発熱密度 (W/m³)
- L : コンクリートの厚さの1/2 (m)
- λ : コンクリートの熱伝導率 (W/m・°C)

また、上記のコンクリートの発熱密度は、下式により求められる。

$$Q' = 10^6 \cdot \rho \cdot Q$$

ここで、

- ρ : コンクリート密度 (g/cm³)
- Q : ガンマ発熱密度 (W/g)
 $= K \cdot \phi$
- K : ガンマ発熱密度換算係数 (W・s・cm²/g)
 $= C \cdot E \cdot (\mu_{en}/\rho)$
- C : 換算係数 (W・s/MeV) (1.602×10⁻¹³)
- E : ガンマ線エネルギー (MeV)
- (μ_{en}/ρ) : コンクリートの質量エネルギー吸収係数 (cm²/g)
- ϕ : ガンマ線フラックス (photons/cm²・s)

上記において、ガンマ発熱密度は補助遮へいの灰容器自動倉庫室西壁内側の最大となる点について計算機コード「MCNP」にて計算を行う。

5.2 補助遮へいの熱除去計算結果

補助遮へい中のガンマ発熱による発熱密度は約 4×10^{-2} W/m³ となり, 温度上昇は 0.1℃ 未満であり, 自然冷却で十分である。

6. 引用文献

- (1) 日本機械学会「伝熱工学資料 改訂第5版」(2009)

人が常時勤務し、又は頻繁に出入する原子力発電所内の場所における
線量率に関する説明書

1. 遮へい設計上の基準線量率

本説明書は、通常運転時に人が常時勤務し、又は頻繁に出入する原子力発電所内の場所における外部放射線に係る線量率による区域区分を示すものである。各区域区分の外部放射線に係る設計基準線量率は、次の通り設定する。

区分		外部放射線に係る設計基準線量率
管理区域外	A	0.0026mSv/h 以下
管理区域内	B	0.01mSv/h 未満
	C	0.05mSv/h 未満
	D	0.25mSv/h 未満
	E	1 mSv/h 未満
	F	1 mSv/h 以上

上記の設計基準線量率を基にした増設焼却炉建屋の遮へい設計上の区域区分を次頁以降に示す。区域区分のうち、C-E、C-F、D-E、E-Fは、雑固体廃棄物等の線源の収納又は取扱い状態により、その範囲内で区域区分が変動することを示す。

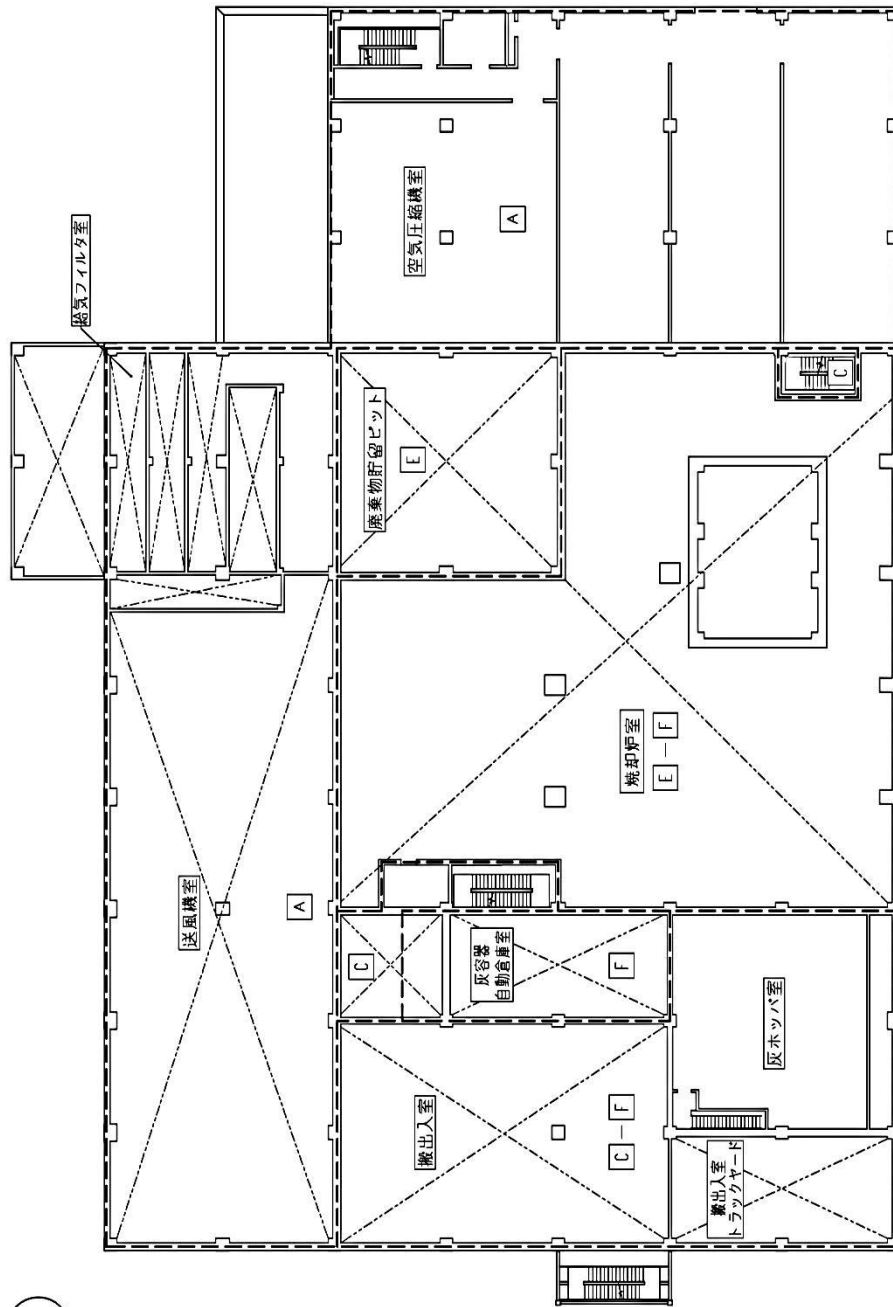


図-2 区域区分図 (増設焼却炉建屋2階)

区分	基準値
管理区域外	
A	0.0026mSv/h以下
B	0.01mSv/h未満
C	0.05 mSv/h未満
管理区域内	
D	0.25 mSv/h未満
E	1 mSv/h未満
F	1 mSv/h以上

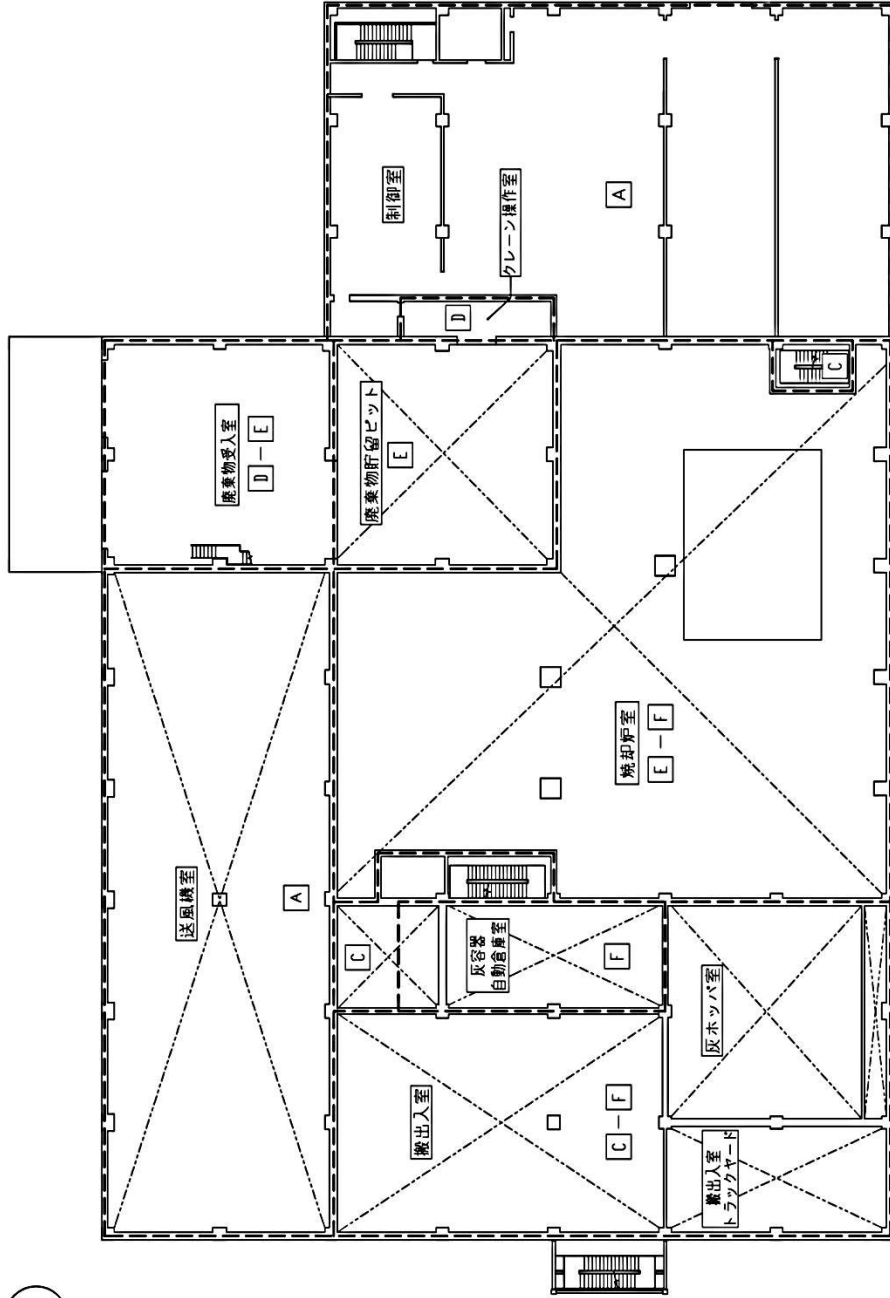


図-3 区域区分図 (増設焼却炉建屋3階)

区分	基準値	
	管理区域外	A
管理区域内	B	0.01 mSv/h未満
	C	0.05 mSv/h未満
	D	0.25 mSv/h未満
	E	1 mSv/h未満
	F	1 mSv/h以上

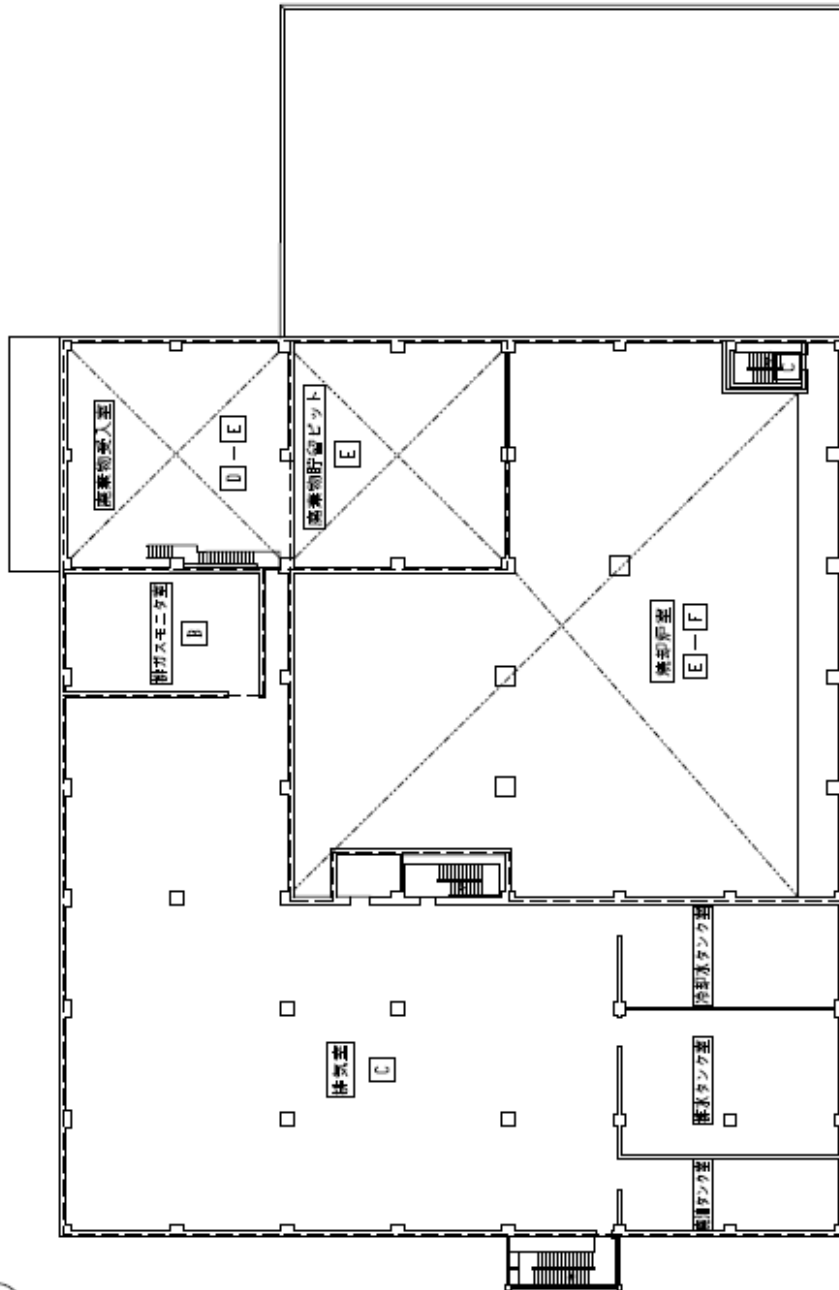
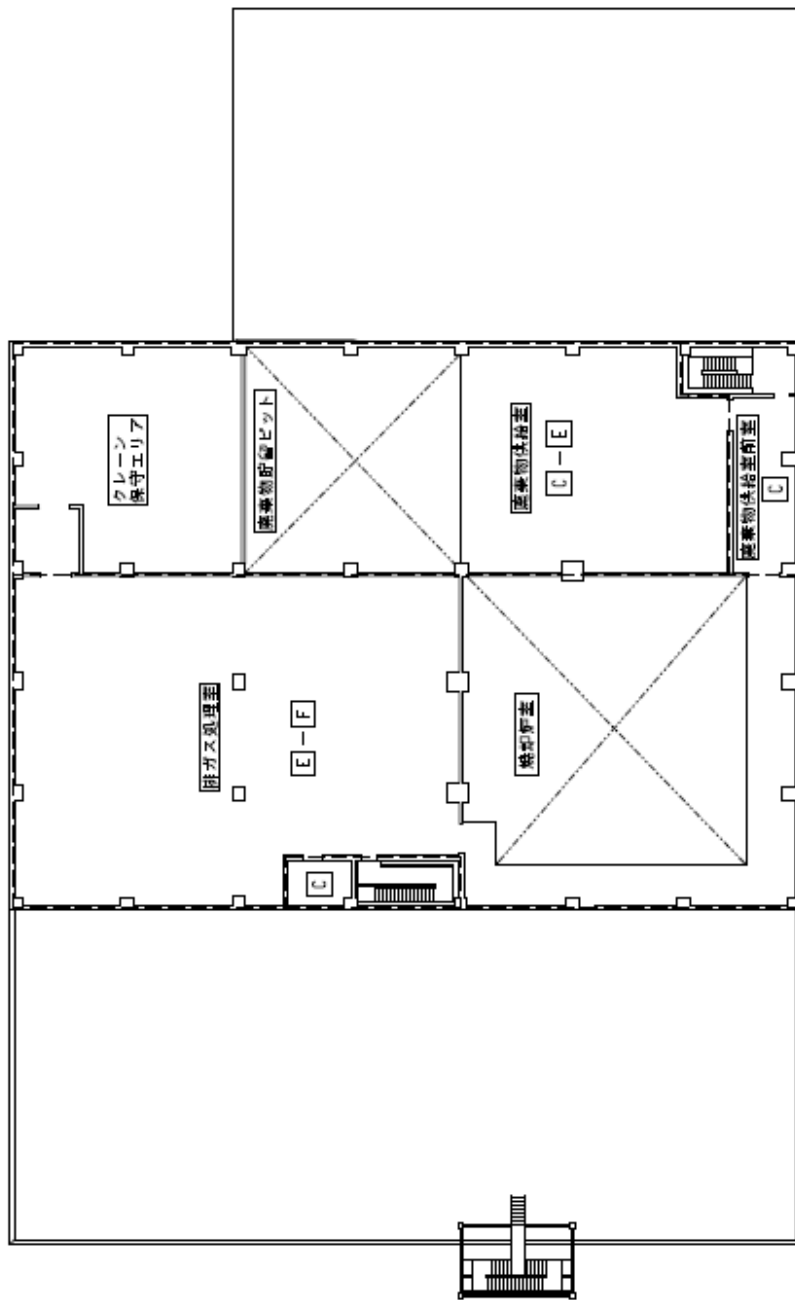


図-4 区域区分図 (増設焼却炉建屋4階)

区分	基準値
管理区域外	A 0.0026mSv/h以下
	B 0.01mSv/h未満
管理区域内	C 0.05 mSv/h未満
	D 0.25 mSv/h未満
	E 1 mSv/h未満
	F 1 mSv/h以上



図一5 区域区分図（増設焼却炉建屋5階）

区分	基準値
管理区域外	A 0.0026mSv/h以下
	B 0.01mSv/h未満
	C 0.05 mSv/h未満
管理区域内	D 0.25 mSv/h未満
	E 1 mSv/h未満
	F 1 mSv/h以上

2. 作業エリアの区域区分

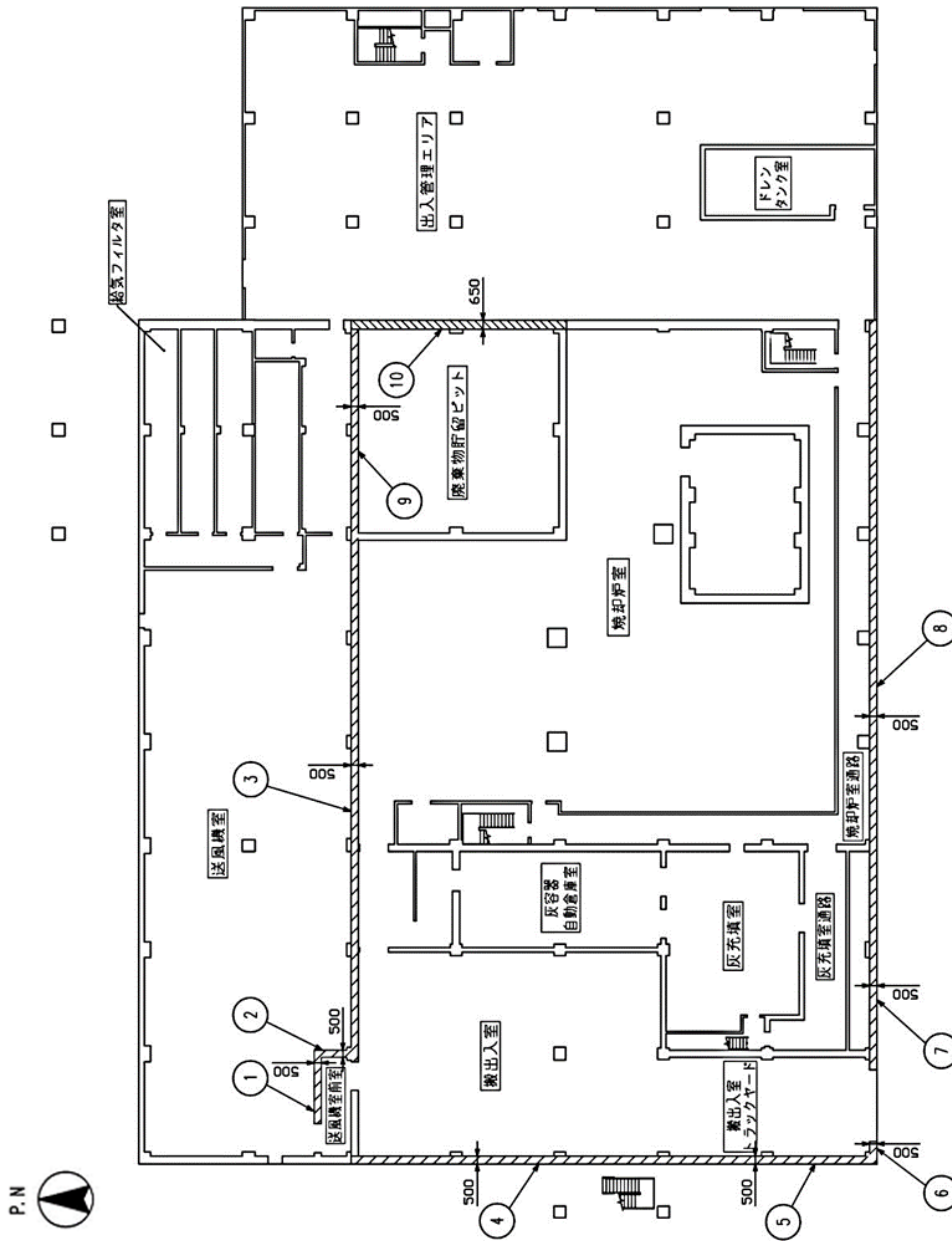
増設焼却炉建屋内で、設計上想定される作業エリアの区域区分を以下に示す。

エリア名称	区分	区分の設定根拠
廃棄物受入室	D-E	通常時はD区分となるが、廃棄物を取扱う時に限りE区分となる。
灰充填室	C-F	灰充填時は高線量の焼却灰を取扱うため作業時間の管理を行う。 作業員が滞在する灰容器蓋ボルト締め外しエリアは、高線量の焼却灰に対して機器遮へいを設置することでC区分となる。
搬出入室	C-F	灰容器搬出時は高線量の焼却灰を取扱うため作業時間の管理を行う。 搬出入室は、灰容器搬出時以外は機器遮へいを設置することでC区分となる。
クレーン操作室	D	廃棄物貯留ピットの廃棄物によりD区分となる。
制御室	A	焼却設備の運転は、焼却炉建屋の制御室より行うため、非管理区域に設定する。

上記エリアにおける作業では作業員の被ばくを低減させる目的として、作業の自動・遠隔化、機器遮へい、装置の密閉化等の対策を実施する。

3. 実効線量の管理方針

運用開始後の実効線量の管理は、必要に応じ、外部放射線に係る線量当量率及び空気中の放射性物質の濃度を測定し、作業時間の制限等を実施することで、法令に定める線量限度を遵守することはもとより、作業員の線量を合理的に達成出来る限り低減する。

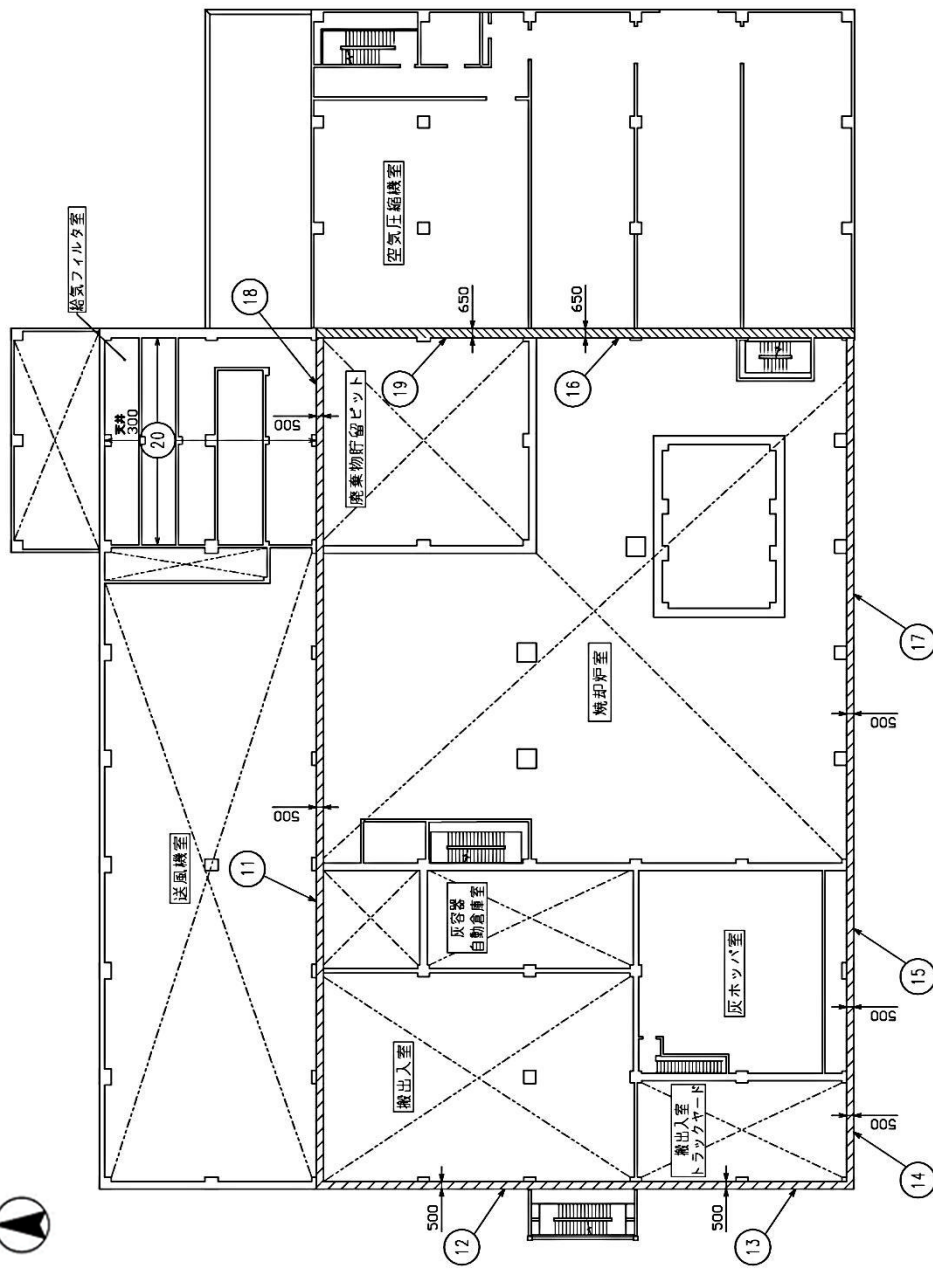


No.	種類	壁
①	送風機室前室	北壁
②		東壁
③	送風機室	南壁
④		西壁
⑤	搬出入室	西壁
⑥		南壁
⑦	灰充填室通路	南壁
⑧		南壁
⑨	焼却炉室通路	北壁
⑩		東壁

注1：寸法は、mmを示す。

増設焼却炉建屋 1階

図-1 補助遮へいに関する構造図 (1/5)

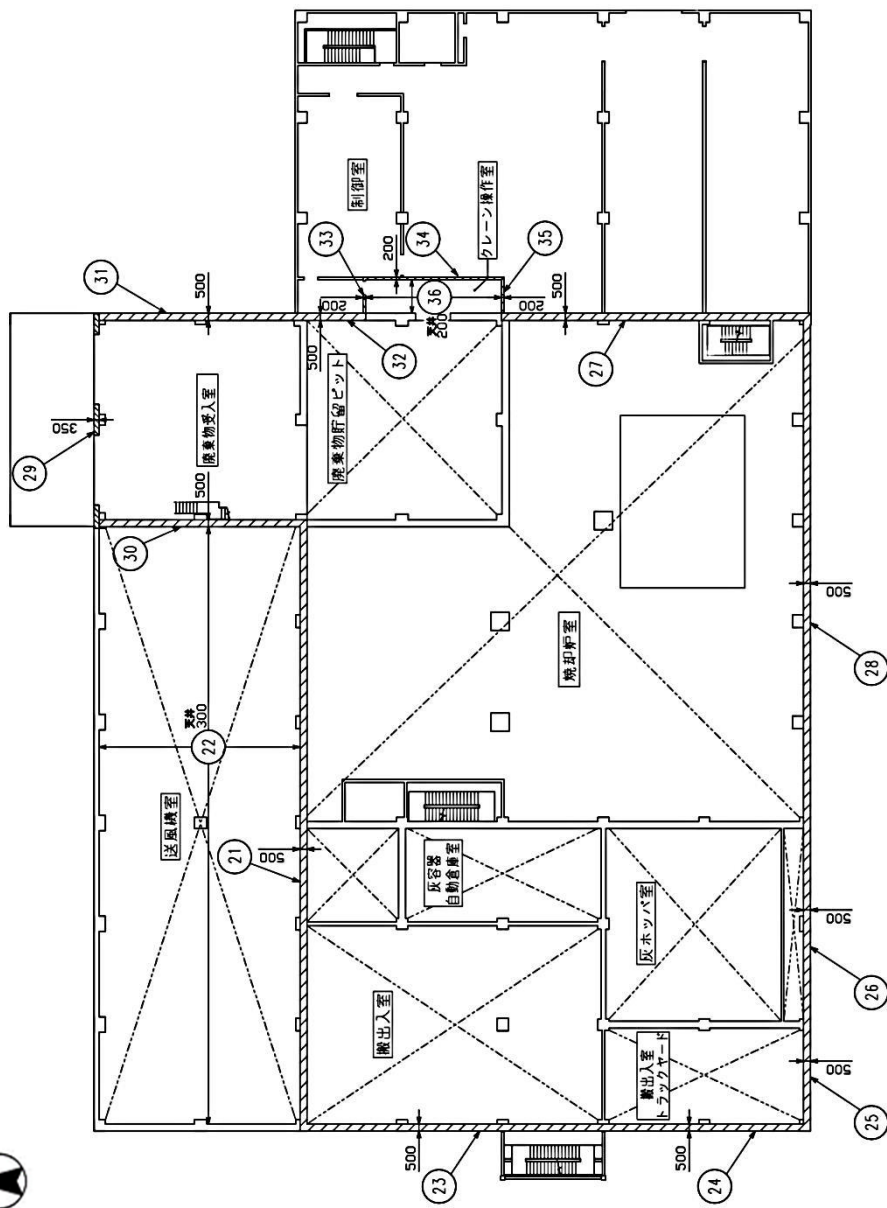


No.	種類	種類
(11)	送風機室	南壁
(12)	搬入室	西壁
(13)	搬入室トラックヤード	西壁
(14)		南壁
(15)	灰ホッパ室	南壁
(16)	焼却炉室	東壁
(17)		南壁
(18)	塵棄物貯留ピット	北壁
(19)		東壁
(20)	給気フィルタ室	天井

注1：寸法は、mmを示す。

増設焼却炉建屋 2階

図一1 補助遮へいに関する構造図 (2/5)

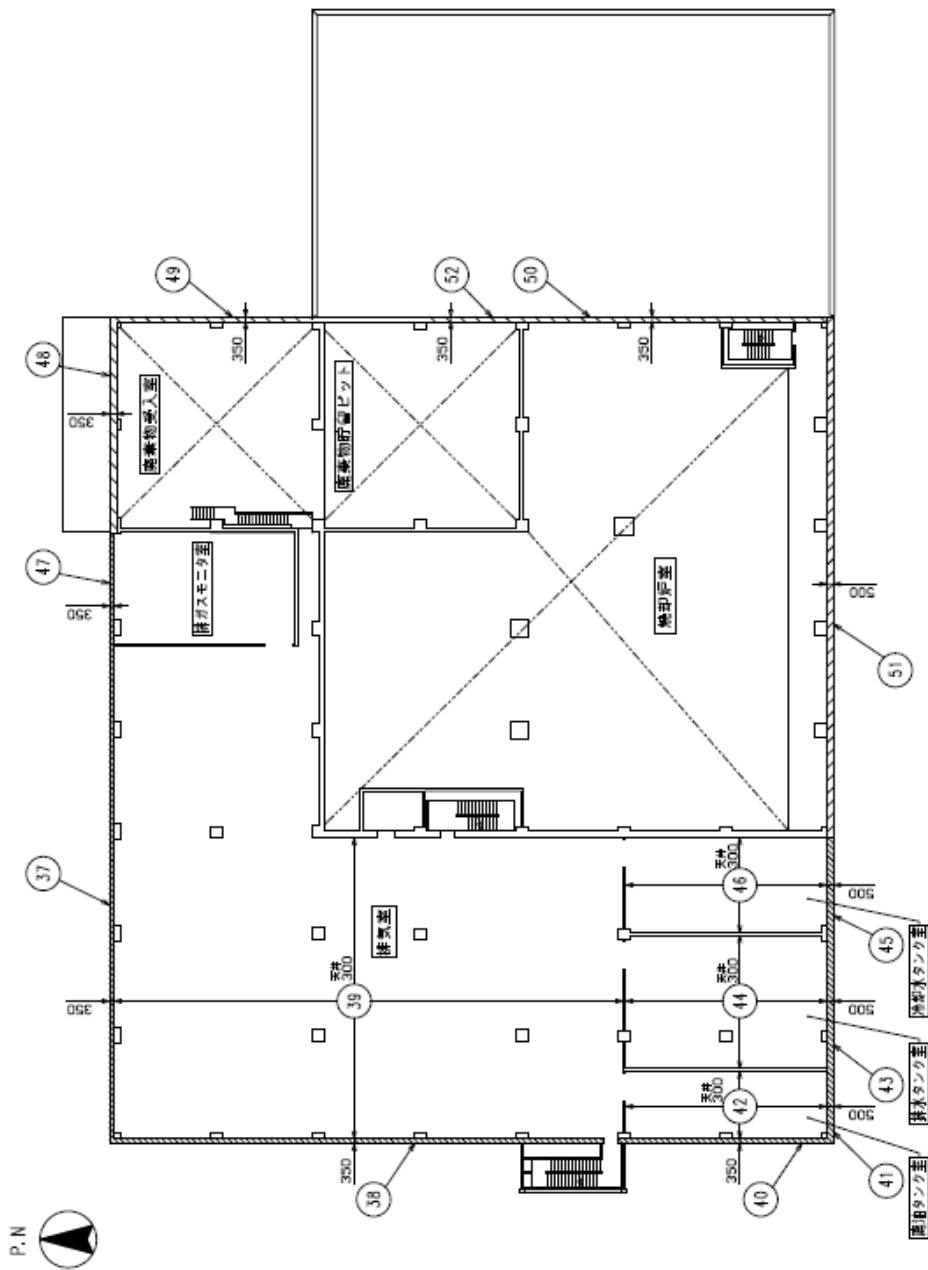


増設焼却炉建屋 3階

図一1 補助遮へいに関する構造図 (3 / 5)

No.	種類	南壁	天井	西壁	西壁	南壁	南壁	東壁	南壁	北壁	西壁	東壁	東壁	北壁	東壁	南壁	天井
21	送風機室																
22	搬入室																
23	搬入室トトラックヤード																
24	灰ホツパ室																
25	焼却炉室																
26	廃棄物受入室																
27	廃棄物貯留ピット																
28	クレーン操作室																
29																	
30																	
31																	
32																	
33																	
34																	
35																	
36																	

注1:寸法は、mmを示す。

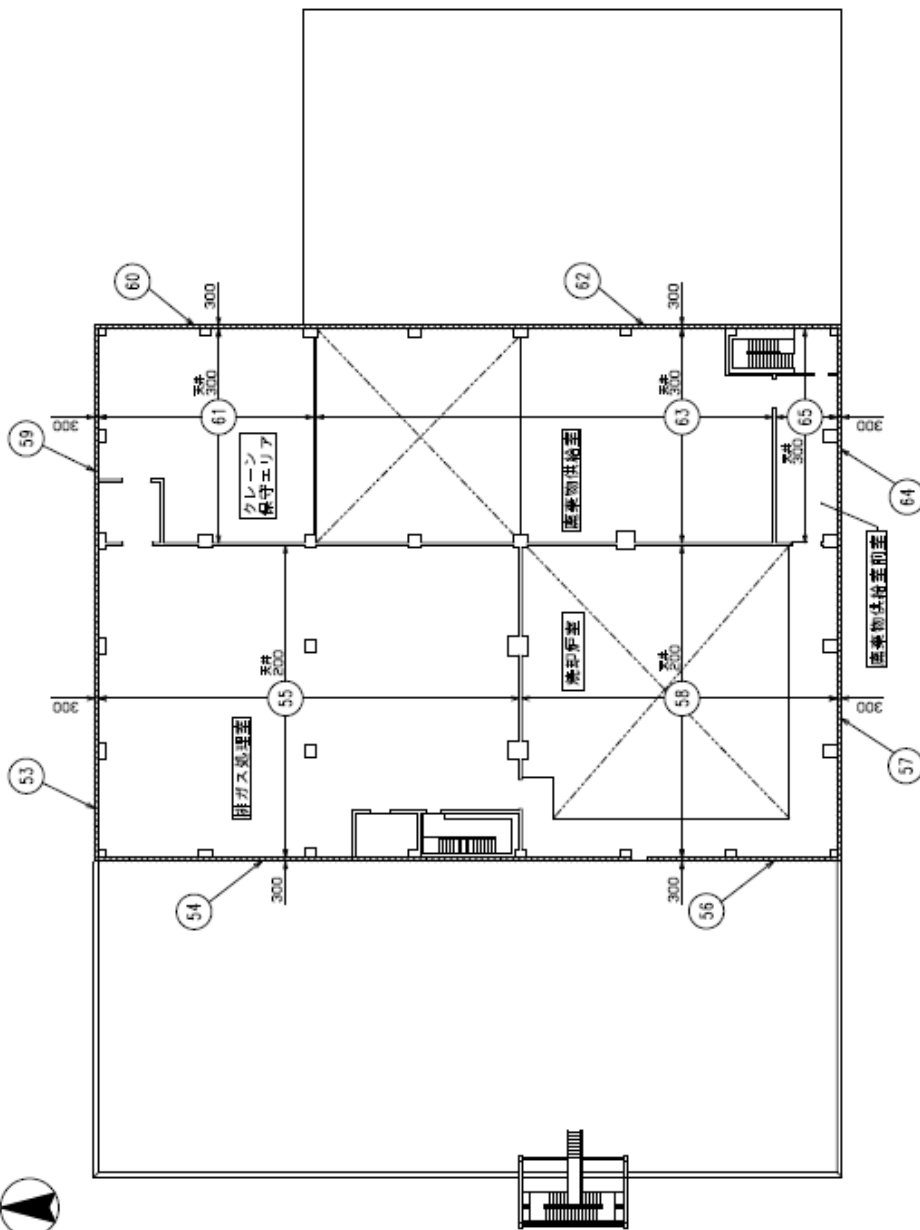


増設焼却炉建屋 4階

図一I 補助遮へいに関する構造図(4/5)

No.	種 類	
37	排気室	北壁
38		西壁
39		天井
40	廃油タンク室	西壁
41		南壁
42		天井
43	排水タンク室	南壁
44		天井
45	冷却水タンク室	南壁
46		天井
47	排ガスモニタ室	北壁
48	廃棄物受入室	北壁
49		東壁
50	焼却炉室	東壁
51		南壁
52	廃棄物貯留ピット	東壁

注1:寸法は、mmを示す。



増設焼却炉建屋 5階

図一1 補助遮へいに関する構造図 (5 / 5)

No.	種 類	
(53)	排ガス処理室	北壁
(54)		西壁
(55)		天井
(56)	焼却炉室	西壁
(57)		南壁
(58)		天井
(59)	クレーン保守エリア	北壁
(60)		東壁
(61)		天井
(62)	廃棄物供給室	東壁
(63)		天井
(64)		南壁
(65)	廃棄物供給室前室	天井

注1：寸法は、mmを示す。

放射性物質の散逸防止に関する説明書

1. 焼却灰の取扱方法

増設雑固体廃棄物焼却設備では、放射性固体廃棄物等の焼却処理を行う。

焼却灰は専用の密閉できる保管容器に詰めて密閉し保管する。

焼却灰を取扱う機器の概要は以下のとおりである。なお、焼却灰取扱機器の概要を図-1に示す。

(1) ロータリーキルン・ストーカ・二次燃焼器

焼却処理により発生する焼却灰は、ストーカ下部から排出され、主灰搬送コンベヤにて主灰ホッパに搬送される。

(2) 排ガス冷却器

排ガスに随伴し排ガス冷却器へ持ち込まれた焼却灰の一部は、排ガス冷却器下部から排出され、飛灰搬送コンベヤにて飛灰ホッパに搬送される。

(3) バグフィルタ

排ガス冷却器を通過した排ガス中の焼却灰は、バグフィルタで捕捉される。

フィルタ逆洗に伴い、焼却灰はバグフィルタ底部から排出され、排ガス冷却器からの焼却灰と合わせ、飛灰搬送コンベヤにて飛灰ホッパに搬送される。

(4) 灰搬送コンベヤ及び灰ホッパ

灰搬送コンベヤにて搬送された焼却灰は、灰ホッパに一時貯留後、保管容器へ充填される。

2. 焼却灰の散逸防止

焼却灰取扱機器で取扱う焼却灰は固体状であり、流体状ではないため、万一散逸した場合でも拡大する恐れはない。

ただし、焼却灰は放射性物質の濃度が比較的高いことから、放射線業務従事者等の被ばくを合理的に達成できる限り低減する観点に立ち、以下のとおり、焼却灰の散逸防止を図る。

また、万一の焼却灰散逸時の対応に十分配慮するとともに、インターロックにより、異常時にも対応できるよう配慮する。

2.1 安全性を確保した設計

(1) 適用材料

焼却灰取扱機器は、運転状態における最高使用圧力及び最高使用温度を考慮し適正な材料を使用する。

灰ホッパは炭素鋼とし、接続部は溶接またはフランジ構造とし散逸を防止する。

(2) 焼却灰の散逸防止

ロータリーキルンは、炉が回転するため、前後で接続される固定設備（廃棄物投入側と二次燃焼器）との取り合い部における焼却灰の散逸防止を図るため、廃棄物投入側とストーカ・二次燃焼器側へ本体が差し込まれた構造となっている。この境界部の隙間は十分小さくなっているが、可能な限り隙間を閉止することを目的に摺動式シールプレートにしている。この摺動式シールプレートは、熱伸びが吸収できるようスプリング構造とし、円周に沿うように構成される（図-2）。境界部で漏れ難い構造としている他、排ガスブロワおよび排ガス補助ブロワにより系統内を負圧に維持し焼却灰の散逸を防止する。

灰搬送コンベヤは、ストーカ、排ガス冷却器及びバグフィルタから排出される焼却灰を搬送し、カバーで囲むことにより焼却灰が散逸し難いものとする。

また、焼却灰の保管容器への充填作業は、焼却灰が散逸し難いように灰充填機のチャンバ内で行う。

(3) インターロックによる管理

灰ホッパには灰レベル高を検出するレベル計を設け、警報を発して運転員に知らせるとともに、インターロックにより灰の受入れを停止することで灰ホッパからの焼却灰の散逸を防止する。

焼却灰を充填する保管容器には、灰レベル高を検出するレベル計を設け、灰ホッパからの灰の排出を停止し焼却灰の散逸を防止する。また、排ガスブロワ停止の異常時には警報を発して運転員に異常を知らせるとともに、負圧を維持する排ガス補助ブロワによりバックアップし、焼却炉の運転を自動停止する。

なお、系統内の温度、圧力、放射線モニタの指示値の異常時や機器の故障時においても、インターロックにより焼却炉の運転を自動停止する。

(4) 腐食を考慮した設計

排ガスを扱う設備については腐食の原因となる腐食性物質を含む結露水を発生させないように運転温度の管理や保温材取付を行うとともに、局所的に温度が低下する可能性のある部位についてはヒータを設置することで温度低下を防止する。

(5) 運転員操作に対する設計上の考慮

運転員の誤操作を防止するため設備の動作に関する操作（起動、停止、操作選択）はダブルアクションとし、運転パラメータの監視画面の独立表示を行い操作性に留意する。また、操作器具、弁に対しては意図しない操作の防止のために保護カバー、ハンドルロックを設ける。

2.2 異常時への対応

(1) 放射能閉じ込め

ロータリーキルン・ストーカ・二次燃焼器、排ガス冷却器、バグフィルタ他の焼却灰取扱機器内は、排ガスブロワおよび排ガス補助ブロワにより負圧に維持し、万一損傷が生じた場合でも、焼却灰が飛散しないようにする。

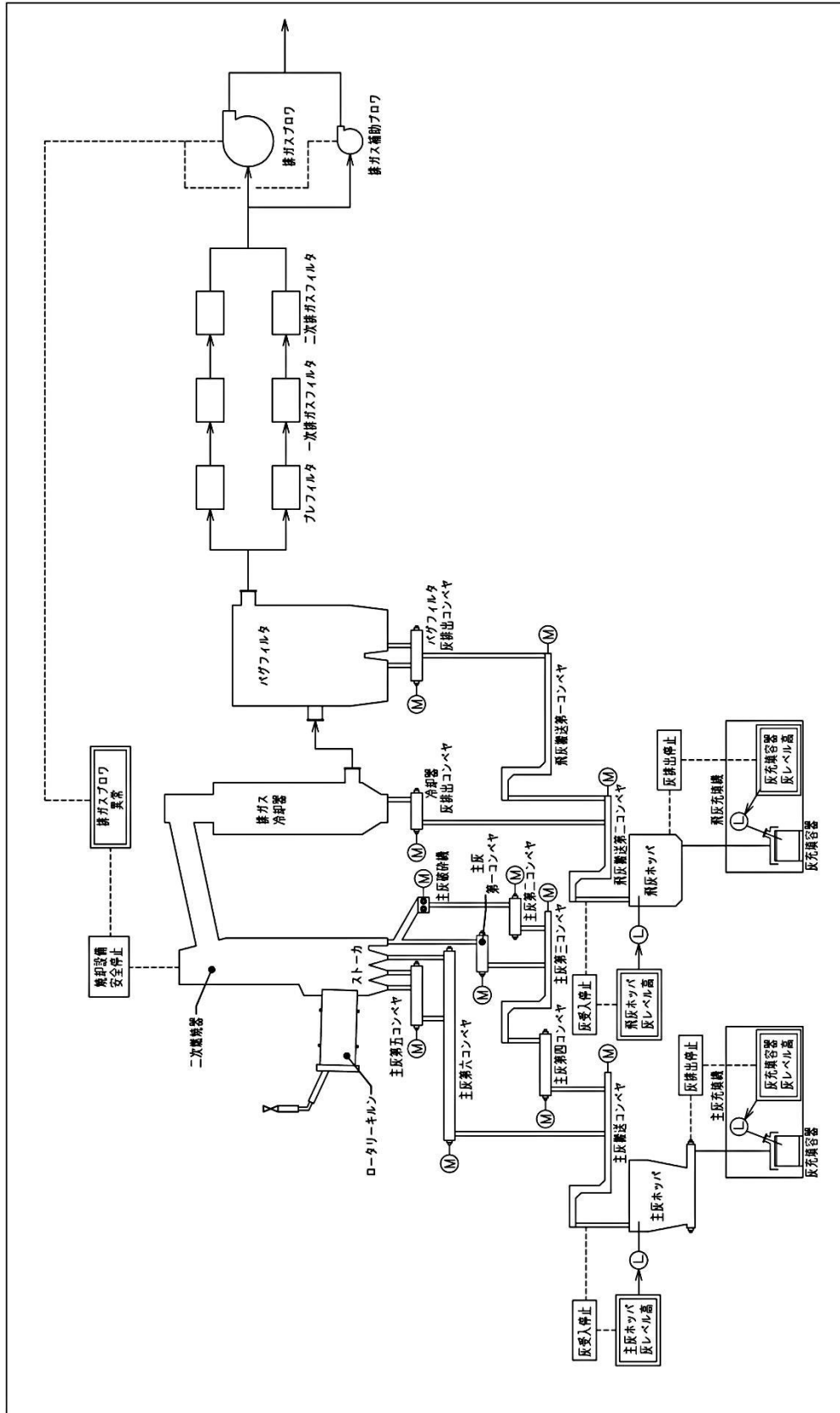
(2) 焼却灰散逸時の対応

焼却灰の保管容器への充填作業は、吸引されている灰充填機のチャンバ内で行うため、焼却灰が保管容器への充填時に散逸したとしても、焼却灰がチャンバ外へ散逸する可能性は少ない。

また、焼却灰取扱機器が破損し焼却灰が飛散しても、補助遮へい壁で囲まれた区画内に保持されているため、周辺公衆へ焼却灰が飛散することはほとんどない。

3. 焼却灰の発生量について

伐採木を焼却減容した場合、年間約 4000m³ の焼却灰が発生する見込みである。本設備からの廃棄物発生量については、今後適切な時期に実施計画における廃棄物の想定発生量に反映を行う。



: 検出信号
 : インターロック

図一 1 焼却灰取扱機器の概要

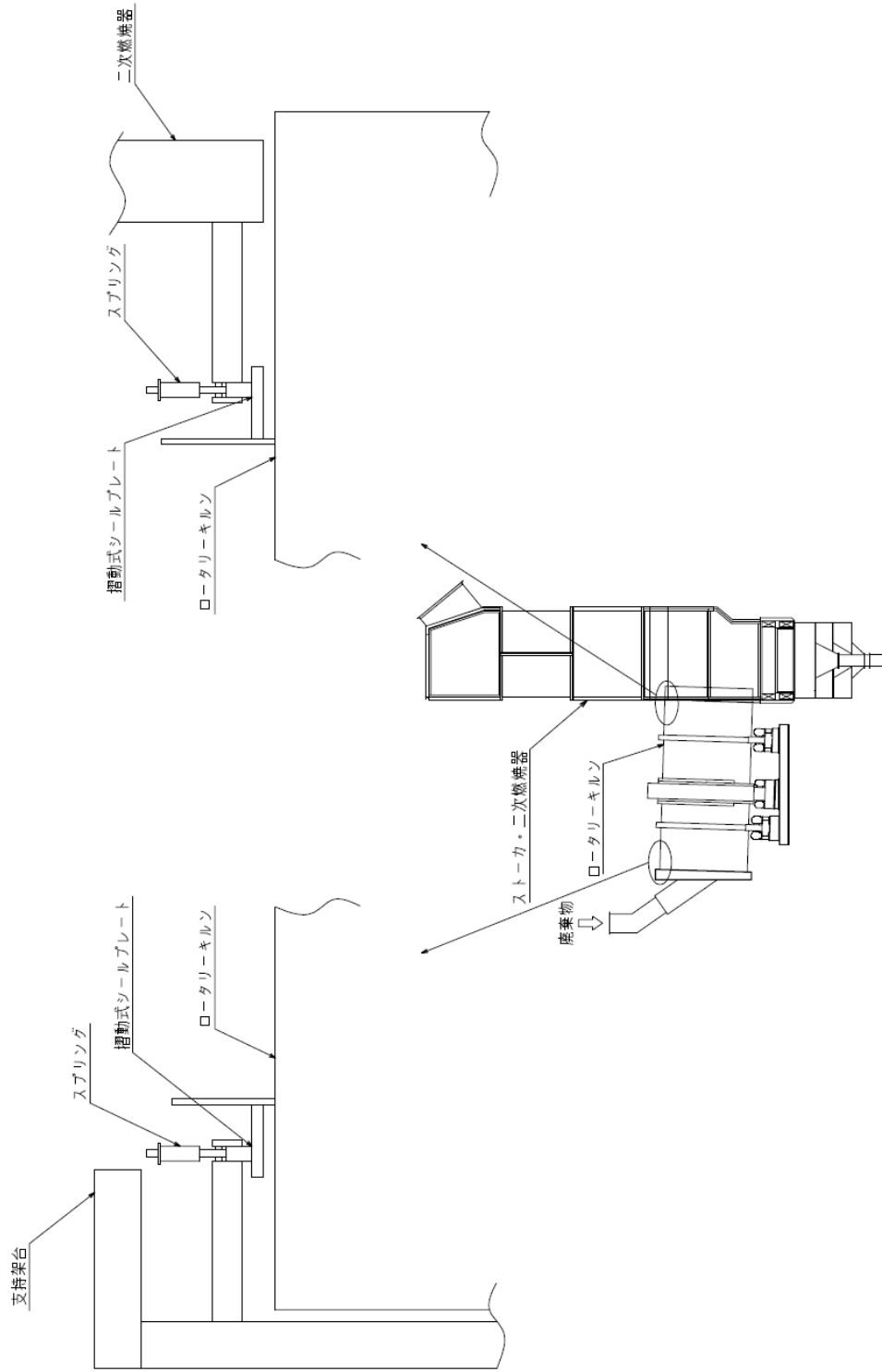


図-2 焼却炉境界部の構造

増設雑固体廃棄物焼却設備に係る確認事項

増設焼却炉建屋の工事に係る主要な確認事項を表-1に示す。

表-1 増設焼却炉建屋の工事に係る確認事項

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
遮へい機能	材料確認	コンクリートの乾燥単位容積質量を確認する。	2.15g/cm ³ 以上であること。
	寸法確認	遮へい部材の断面寸法を確認する。	遮へい部材の断面寸法が、実施計画に記載されている寸法以上であること。
構造強度	材料確認	コンクリートの圧縮強度を確認する。	コンクリートの強度が、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	コンクリート部材の断面寸法を確認する。	コンクリート部材の断面寸法が、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、間隔が JASS 5N の基準を満足すること。

増設雑固体廃棄物焼却設備の工事に係る主要な確認事項を表－２～１６に示す。

表－２ 確認事項（ロータリーキルン・ストーカ・二次燃焼器，排ガス冷却器）

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	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	焼却運転を行い，定格容量の 廃棄物を焼却できるか確認 する。	実施計画に記載されている容量の 廃棄物を焼却できること。 また，著しい漏えいがないこと。

表－３ 確認事項（バグフィルタ，プレフィルタ，一次／二次排ガスフィルタ）

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	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	ブロワを運転し，定格容量で の装置の状態を確認する。	実施計画に記載されている容量に て著しい漏えいがないこと。

表－４ 確認事項（排気筒）

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	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。

表－５ 確認事項（煙道）

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 外径・厚さを確認する。	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。

表－6 確認事項（排ガスブロワ，排ガス補助ブロワ）

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。
性能	運転性能確認	運転状態にて風量を確認する。	実施計画に記載されている容量を満足すること。 また，異音，異臭，振動の異常がないこと。

表－7 確認事項（建屋ドレンサンプタンク）

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	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	試験圧力で保持した後，試験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。	試験圧力に耐え，かつ構造物の変形がないこと。 また，耐圧部から著しい漏えいがないこと。
機能	警報確認	液位高の信号により警報が発生することを確認する。	液位高の信号により警報が発生すること。

表－8 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	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	試験圧力で保持した後, 試験 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。	試験圧力に耐え, かつ構造物の変 形がないこと。 また, 耐圧部から著しい漏えいが ないこと。
機能	受入停止 確認	液位高の信号によりポンプ 停止信号が発生することを 確認する。	液位高の信号によりポンプ停止信 号が発生すること。
	警報確認	液位高高の信号により警報 が発生することを確認する。	液位高高の信号により警報が発生 すること。

表－9 確認事項 (建屋ドレンポンプ, サンプルポンプ)

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。
性能	運転性能 確認	ポンプの運転確認を行う。	実施計画に記載の容量を満足する こと。また, 異音, 異臭, 振動の異 常がないこと。

表－１０ 確認事項（主配管）

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 外径・厚さを確認する。	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	試験圧力で保持した後, 試験 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。	試験圧力に耐え, かつ構造物の変 形がないこと。 また, 耐圧部から著しい漏えいが ないこと。 また, 廃液処理設備の主配管のう ち現地で施工するフランジ部, ポ ンプ類については, 運転状態にお ける通水で漏えいがないこと。

表－１１ 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
構造強度 ・耐震性	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－１２ 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, 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－１３ 確認事項（送風機, 排風機）

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。
性能	運転性能確認	送風機, 排風機の運転確認を行う。	実施計画に記載されている容量を満足すること。また, 異音, 異臭, 振動の異常がないこと。

表－１４ 確認事項（排気フィルタ）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度 ・耐震性	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	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	定格容量での装置の状態を確認する。	実施計画に記載されている容量にて変形の異常がないこと。

表－15 確認事項（ダスト放射線モニタ）

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	警報確認	設定値通りに警報が作動することを確認する。	許容範囲以内で警報が作動すること。
性能確認	線源校正確認	標準線源を用いて基準計数率を測定する。	基準計数率に対する測定値が許容範囲以内であること。
	校正確認	校正点の基準入力を与え, 指示値を確認する。	指示値が許容範囲以内であること。

表－16 確認事項（ガス放射線モニタ）

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	警報確認	設定値通りに警報が作動することを確認する。	許容範囲以内で警報が作動すること。
性能確認	線源校正確認	標準線源を用いて基準計数率を測定する。	基準計数率に対する測定値が許容範囲以内であること。
	校正確認	校正点の基準入力を与え, 指示値を確認する。	指示値が許容範囲以内であること。

増設雑固体廃棄物焼却設備の耐震性に関する説明書

1. 基本方針

1.1 耐震性評価の基本方針

増設雑固体廃棄物焼却設備に係る耐震設計は、「JEAG4601 原子力発電所耐震設計技術指針」に準用し、耐震性評価を行う。

1.1.1 設備の重要度による耐震クラス分類

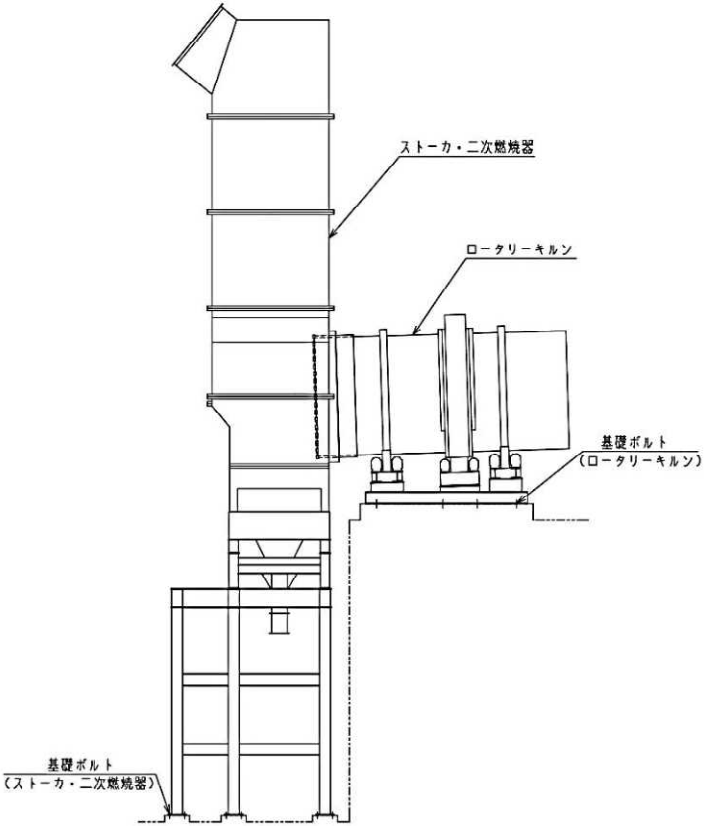
設備	耐震クラス別	B	C
(1) 焼却設備		<input type="checkbox"/> ロータリーキルン・ ストーカ・二次燃焼器 <input type="checkbox"/> 排ガス冷却器 <input type="checkbox"/> バグフィルタ <input type="checkbox"/> プレフィルタ <input type="checkbox"/> 一次排ガスフィルタ <input type="checkbox"/> 二次排ガスフィルタ <input type="checkbox"/> 煙道*1	排ガスブロワ 排ガス補助ブロワ 煙道*2 排気筒
(2) 廃液処理設備		—	建屋ドレンサンプタンク サンプルタンク 建屋ドレンポンプ サンプルポンプ 主配管
(3) 換気空調設備		—	送風機 排風機 排気フィルタ
備考		○印は評価結果を本資料にて示すもの	

*1 焼却設備の煙道のうち、排ガス冷却器から二次排ガスフィルタの間にあるものを指す。

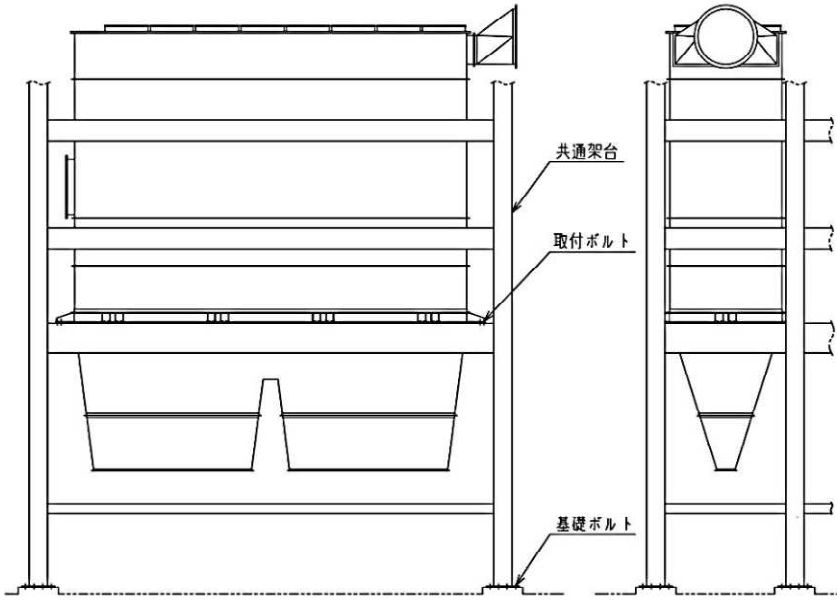
*2 焼却設備の煙道のうち、二次排ガスフィルタから排気筒の間にあるものを指す。

1.1.2 構造計画

(1) 機器

主要区分	構造計画の概要	概略構造図
<p>a. ロータリーキルン・ ストーカ・二次燃焼器</p>	<p>ロータリーキルンは横置きで、基礎ボルトで基礎に据え付ける。 ストーカ・二次燃焼器はたて置きで、基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	 <p>The diagram illustrates the structural layout of the boiler components. On the left, a vertical stack of components is shown, including the stoker and secondary burner, which are secured to the foundation with vertical foundation bolts. On the right, a rotary kiln is shown in a horizontal orientation, supported by its own set of foundation bolts. Labels in Japanese identify the 'ストーカ・二次燃焼器' (stoker and secondary burner), 'ロータリーキルン' (rotary kiln), and '基礎ボルト' (foundation bolts) for both the vertical and horizontal units.</p>

主要区分	構造計画の概要	概略構造図
<p>b. 排ガス冷却器</p>	<p>排ガス冷却器はたて置きで、胴を共通架台で支持し、共通架台を基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	

主要区分	構造計画の概要	概略構造図
c. バグフィルタ	バグフィルタはたて置きで、胴を共通架台で支持し、共通架台を基礎ボルトで基礎に据え付ける。	 <p>The diagram illustrates the structural components of a bag filter system. It features a vertical frame supported by foundation bolts. A common frame (共通架台) is used to support the filter body. Mounting bolts (取付ボルト) are used to secure the filter body to the common frame. The filter body consists of a hopper at the bottom and a top section with a circular filter. The entire structure is mounted on a foundation using foundation bolts (基礎ボルト).</p>

主要区分	構造計画の概要	概略構造図
<p>d. プレフィルタ、一次排ガスフィルタ及び二次排ガスフィルタ</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・プレフィルタ A、一次排ガスフィルタ A 及び二次排ガスフィルタ A は横置きで、基礎ボルトで基礎に据え付ける。 ・プレフィルタ B、一次排ガスフィルタ B 及び二次排ガスフィルタ B は横置きで、胴を共通架台で支持し、共通架台を取付ボルトで建屋内の構造物に据え付ける。 	

主要区分	構造計画の概要
e. 煙道	<ul style="list-style-type: none"> ・煙道は、サポートにより建屋内の構造物に支持する。 ・主要な煙道の構成を概略系統図*1に示す。

注記 *1：主要な煙道の構成を示す概略系統図を以下に示す。

2.9 煙道 (図-44, 45)

1.1.3 設計用地震力

(1) 静的地震力

静的地震力は、以下の表に基づき算定する。

耐震クラス	機器・配管系	
	水平震度*	鉛直震度
B	$1.8 \cdot C_i$	—
C	$1.2 \cdot C_i$	—

注記 *：機器・配管系の C_i は、標準せん断応力係数を 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) 動的地震力

Bクラス設計で建物・構築物と共振のおそれがあるものについては、弾性設計用地震動 S_d を 1/2 倍した地震波による動的地震力を考慮する。

項目	機器・配管系	備考
設計用地振動	$1/2 S_d - 1$: (水平)最大加速度振幅 112.5gal, 約 81 秒間 (鉛直)最大加速度振幅 75gal, 約 81 秒間 $1/2 S_d - 2$: (水平)最大加速度振幅 150gal, 約 61 秒間 (鉛直)最大加速度振幅 100gal, 約 61 秒間 $1/2 S_d - 3$: (水平)最大加速度振幅 112.5gal, 約 26 秒間 (鉛直)最大加速度振幅 75gal, 約 26 秒間	T.P. 約-197mの基盤 ($V_s =$ 約 750m/s) を解放基盤表面として定義する。

1.1.4 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。

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静的地震力
C_S	: Bクラスの設備の地震時の供用状態
S_y	: 設計降伏点 設計・建設規格 付録材料図表 Part3 表 6 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 Part3 表 7 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 Part3 表 3 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
f_p	: 許容支圧応力 同上
τ_b	: ボルトに生じるせん断応力

(1) 機器

耐震 クラス	荷重の組合せ	供用状態	許容限界	
			一次一般膜応力	一次応力
B	$D + P_d + M_d + S_B$	C_s	$\min [S_y, 0.6 \cdot S_u]$ 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、 $1.2 \cdot S$ とすることができる。	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、 $1.2 \cdot S$ とすることができる。

(2) 支持構造物（ボルト等以外）

応力分類 / 供用状態	許容限界（ボルト等以外） ⁽⁴⁾									
	一次応力					一次＋二次応力範囲				
	引張	せん断	圧縮	曲げ	支圧	引張 ⁽¹⁾ 圧縮	せん断 ⁽¹⁾	曲げ ⁽¹⁾	支圧	座屈
C_s	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_p$	$3 \cdot f_t$	$3 \cdot f_s^{(2)}$	$3 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_p^{(3)}$	$1.5 \cdot f_b^{(3)},$ $1.5 \cdot f_s$ 又は $1.5 \cdot f_c$

注(1)：地震荷重のみによる応力範囲について評価する。

注(2)：すみ肉溶接部にあつては、最大応力を $1.5f_s$ 以下に制限する。

注(3)：自重により常時作用する荷重に、地震による荷重を重ね合わせて得られる応力の圧縮最大値について評価する。

注(4)：上記応力の組合せについては、設計・建設規格 SSB-3121.1(6)、SSB-3121.2 を準用し、組合せ応力に対しても評価する。

(3) 支持構造物（ボルト等）

応力分類 供用状態	許容限界（ボルト等）		
	一次応力		
	引張	せん断	組合せ
C_s	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$\min[1.5 \cdot f_t, 2.1 \cdot f_t - 1.6 \cdot \tau_b]$

1.1.5 設計用床応答スペクトル

増設焼却炉建屋の機器の耐震計算に使用する設計用床応答スペクトルは、下記に示す条件に基づき設定した地震応答解析モデルによる応答解析から得られる加速度の時刻歴応答に基づき作成する。

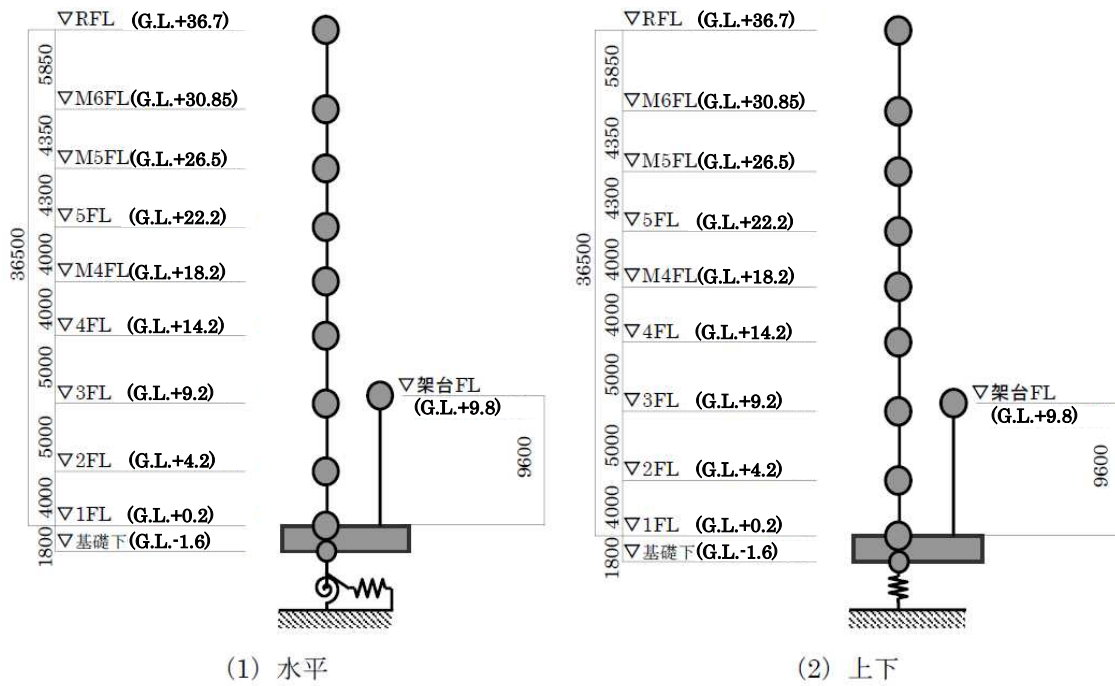
増設焼却炉建屋の地震応答解析モデルは、地盤を等価な地盤ばねに置換したモデルとする。建屋は、その形状及び構造特性等を十分考慮して評価し、水平モデルは質点とはり要素からなる集中質点系に置換し、鉛直モデルは軸断面積を考慮した解析モデルを設定する。地盤は、その動的相互作用効果を考慮して評価し、基礎底面ばねによって表現する。また、入力地振動は、自由地盤の一次元波動論による解析より求められる建屋底面位置での応答波とする。

1.1.5.1 設計用床応答スペクトル作成位置

増設焼却炉建屋については、図-1に示す解析モデルに基づき各質点について設計用床応答スペクトルを作成する。

1.1.5.2 建物・構築物の設計用床応答スペクトル

増設焼却炉建屋の設計用床応答スペクトルは建屋の動解析結果より得られる3つの機器設計用地震動を包絡する波形とし、スペクトルの一覧表を表-1に、設計用床応答スペクトルを図2～31にそれぞれ示す。



記号	内容
●	質点
	はり要素
⌞	上下ばね
⌞	水平ばね
⌞	回転ばね

図-1 増設焼却炉建屋地震応対解析モデル

添付資料-17 では、G.L. ±0m= T.P. 32.2m^(※)とする。
 (※) 構内基準点(2014.3 測量)からの実測値に基づき設定している。

表-1 設計用床応答スペクトル一覧表

構造物	質点番号	G. L. + (m)	減衰定数 (%)	地震方向	図番
増設焼却炉建屋	1 (RFL)	36.7	1.0	鉛直方向	図-2
				NS方向	図-3
				EW方向	図-4
			1.5	鉛直方向	図-5
				NS方向	図-6
				EW方向	図-7
	4 (5FL)	22.2	1.0	鉛直方向	図-8
				NS方向	図-9
				EW方向	図-10
			1.5	鉛直方向	図-11
				NS方向	図-12
				EW方向	図-13
	6 (4FL)	14.2	1.5	鉛直方向	図-14
				NS方向	図-15
				EW方向	図-16
	7 (3FL)	9.2	1.0	鉛直方向	図-17
				NS方向	図-18
				EW方向	図-19
			1.5	鉛直方向	図-20
				NS方向	図-21
				EW方向	図-22
8 (2FL)	4.2	1.5	鉛直方向	図-23	
			NS方向	図-24	
			EW方向	図-25	
9 (1FL)	0.2	1.0	鉛直方向	図-26	
			NS方向	図-27	
			EW方向	図-28	
10 (架台FL)	9.8	1.0	鉛直方向	図-29	
			NS方向	図-30	
			EW方向	図-31	

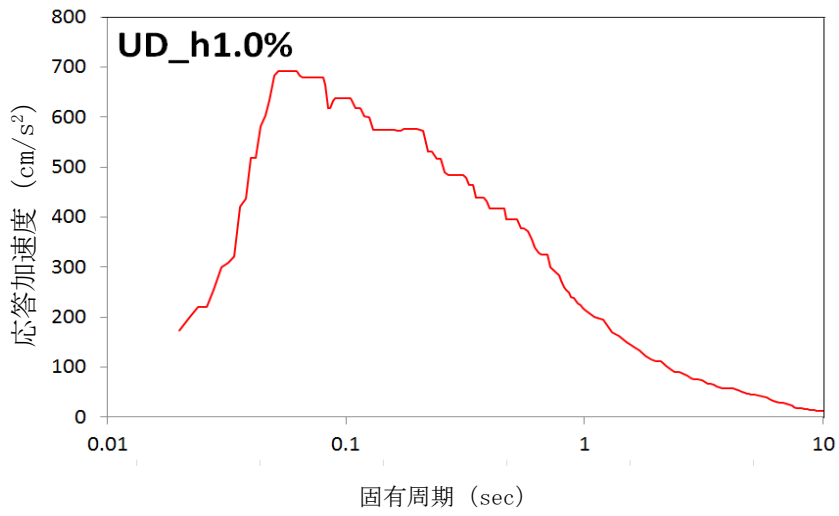


図-2 RFL (G. L. +36.7) の設計用応答スペクトル (鉛直方向, 1.0%減衰)

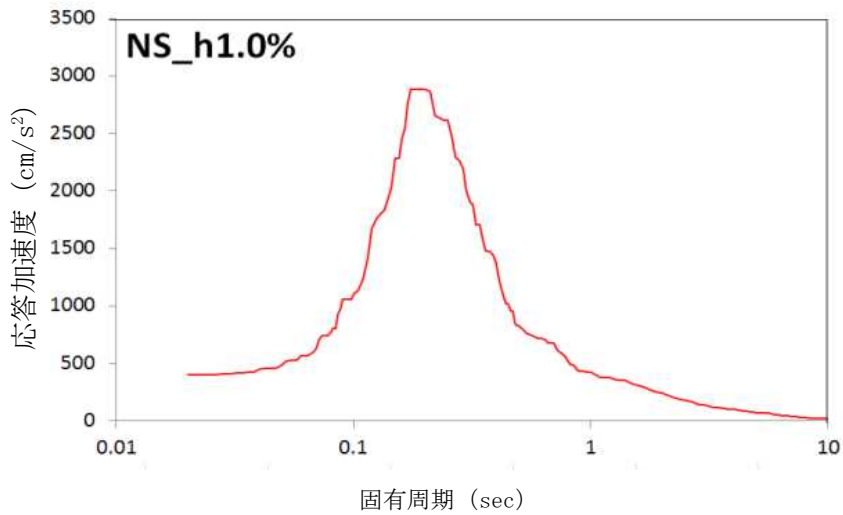


図-3 RFL (G. L. +36.7) の設計用応答スペクトル (NS方向, 1.0%減衰)

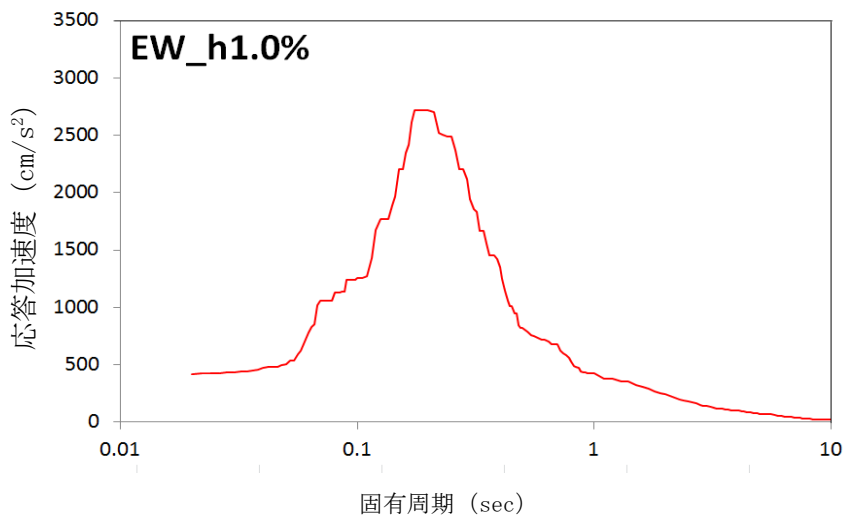
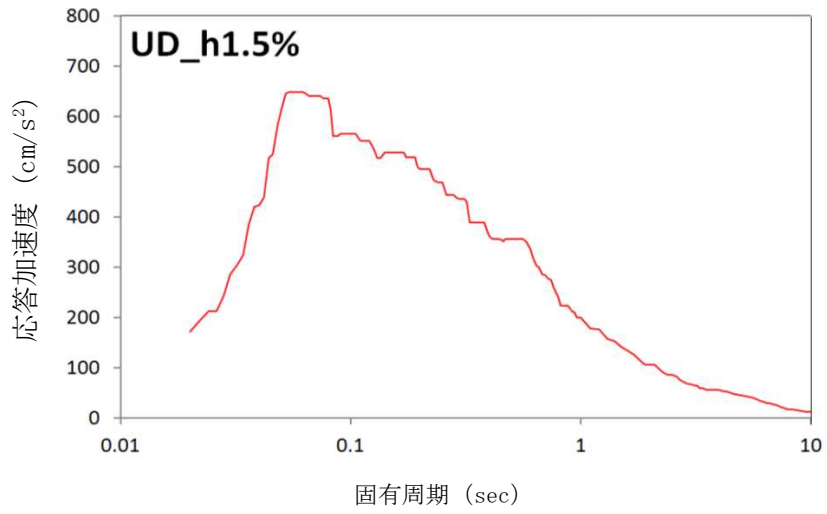
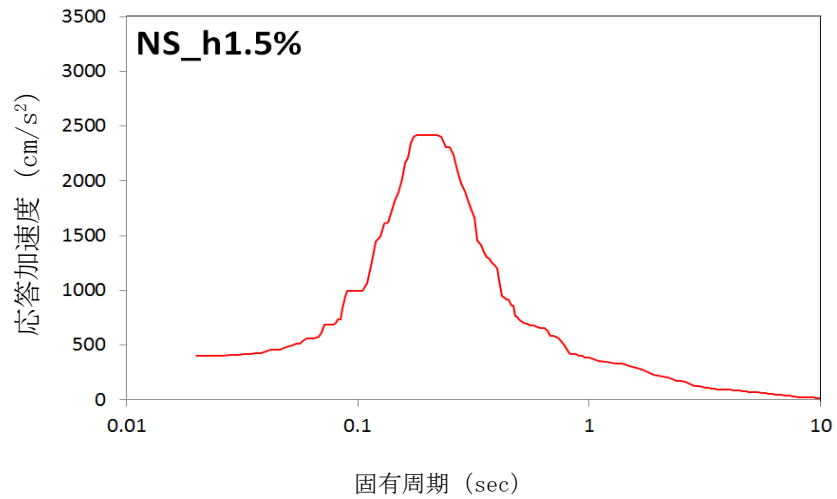


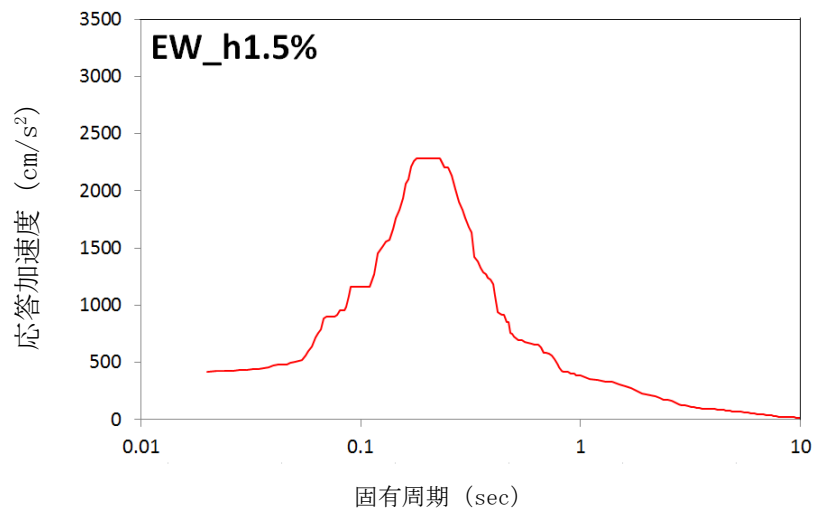
図-4 RFL (G. L. +36.7) の設計用応答スペクトル (EW方向, 1.0%減衰)



図一五 RFL (G. L. +36. 7) の設計用応答スペクトル (鉛直方向, 1. 5%減衰)



図一六 RFL (G. L. +36. 7) の設計用応答スペクトル (N S方向, 1. 5%減衰)



図一七 RFL (G. L. +36. 7) の設計用応答スペクトル (E W方向, 1. 5%減衰)

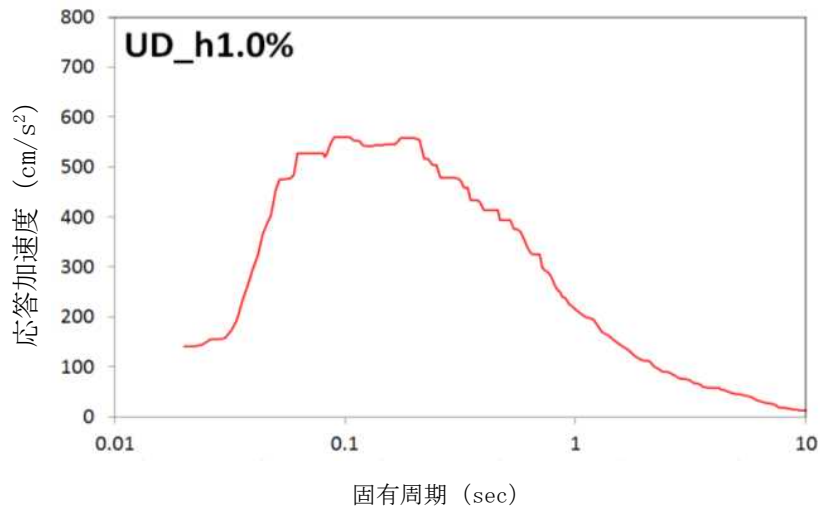


図-8 5FL (G.L. +22.2) の設計用応答スペクトル (鉛直方向, 1.0%減衰)

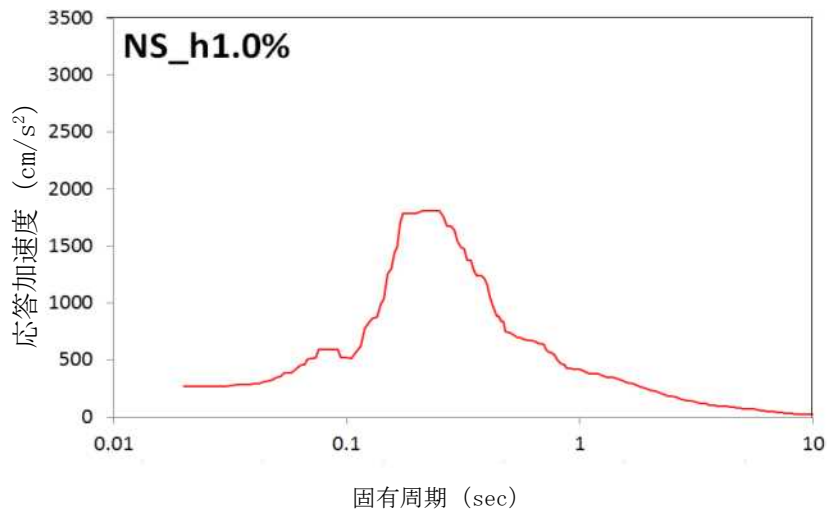


図-9 5FL (G.L. +22.2) の設計用応答スペクトル (NS方向, 1.0%減衰)

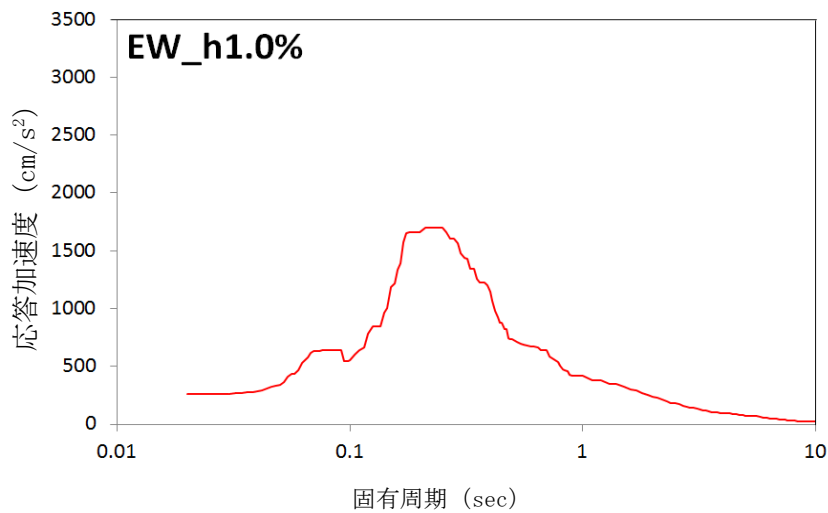


図-10 5FL (G.L. +22.2) の設計用応答スペクトル (EW方向, 1.0%減衰)

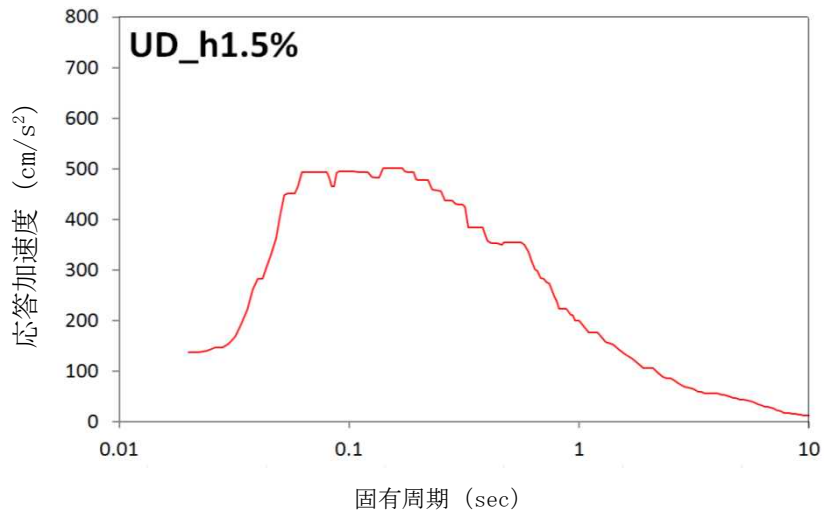


図-1 1 5FL (G.L. +22.2) の設計用応答スペクトル (鉛直方向, 1.5%減衰)

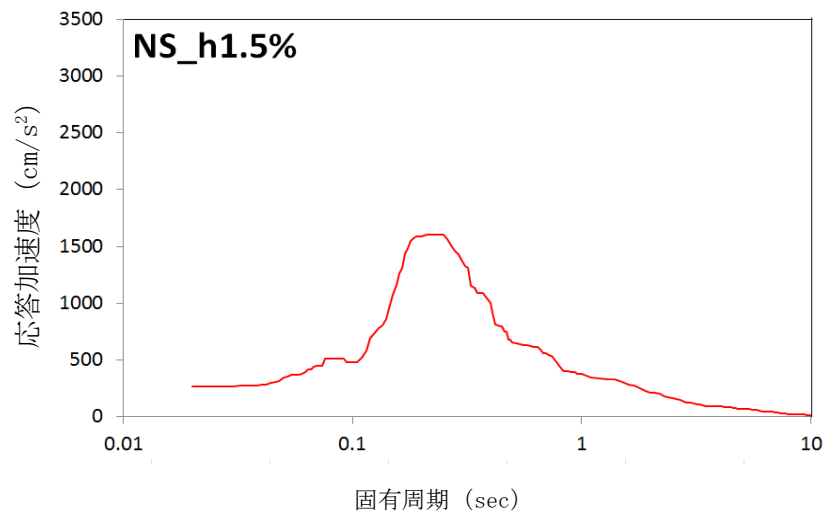


図-1 2 5FL (G.L. +22.2) の設計用応答スペクトル (NS方向, 1.5%減衰)

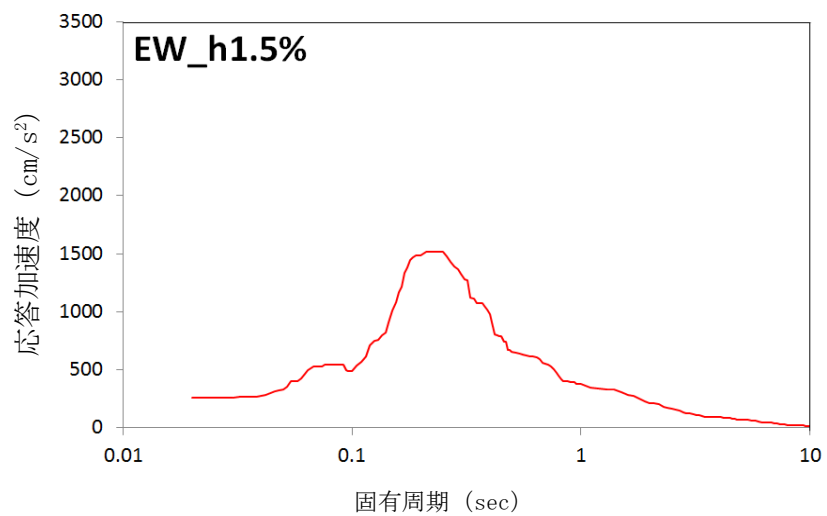


図-1 3 5FL (G.L. +22.2) の設計用応答スペクトル (EW方向, 1.5%減衰)

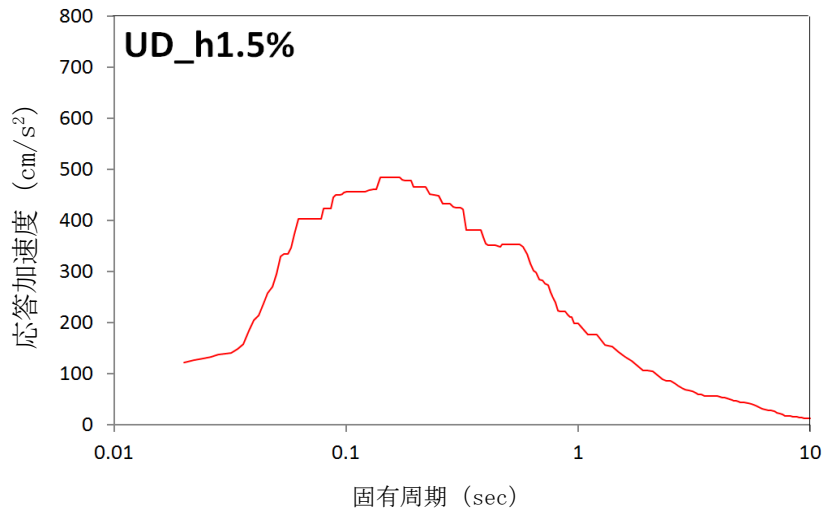


図-1 4 4FL (G.L. +14.2) の設計用応答スペクトル (鉛直方向, 1.5%減衰)

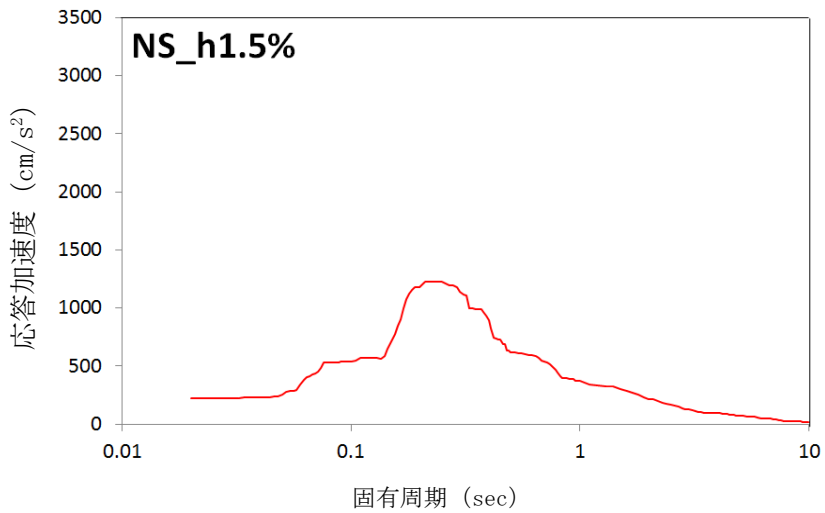


図-1 5 4FL (G.L. +14.2) の設計用応答スペクトル (N S方向, 1.5%減衰)

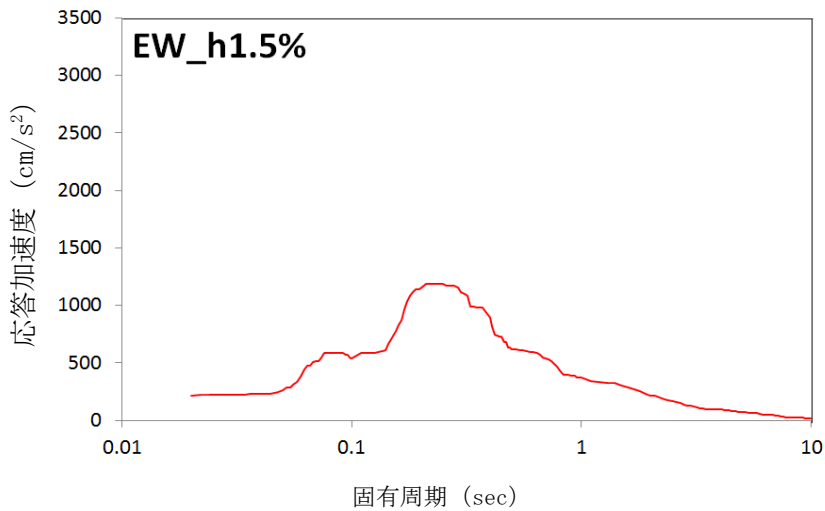


図-1 6 4FL (G.L. +14.2) の設計用応答スペクトル (E W方向, 1.5%減衰)

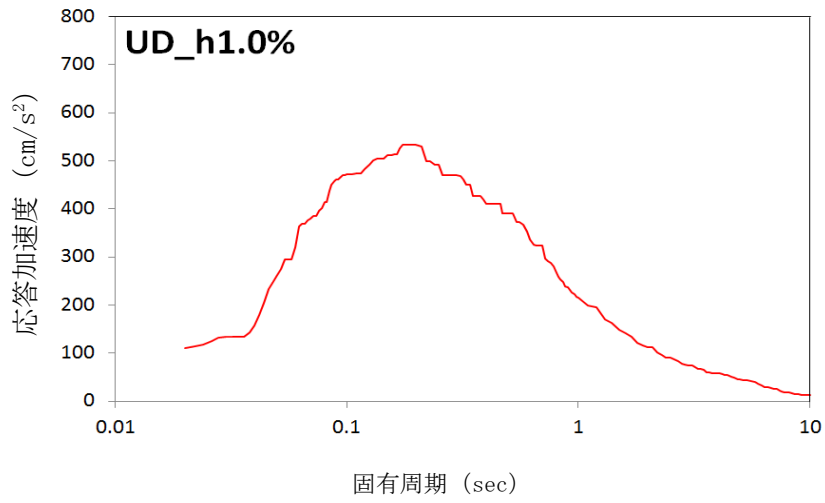


図-17 3FL (G.L. +9.2) の設計用応答スペクトル (鉛直方向, 1.0%減衰)

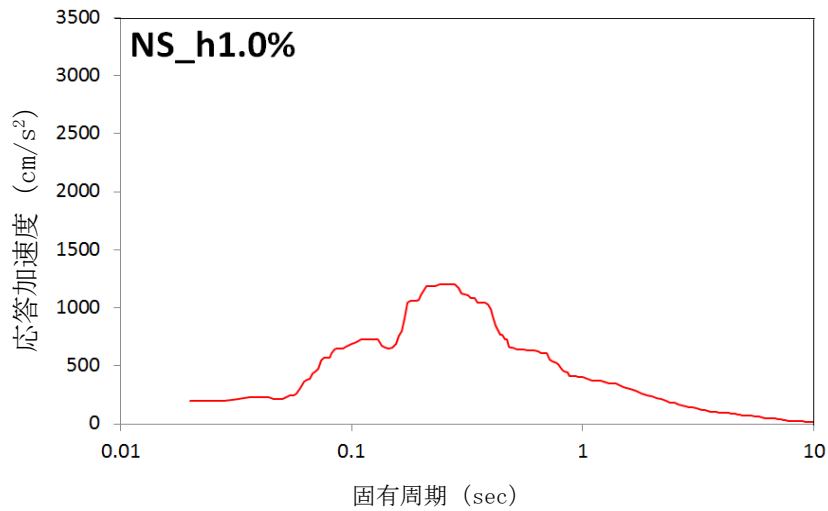


図-18 3FL (G.L. +9.2) の設計用応答スペクトル (NS方向, 1.0%減衰)

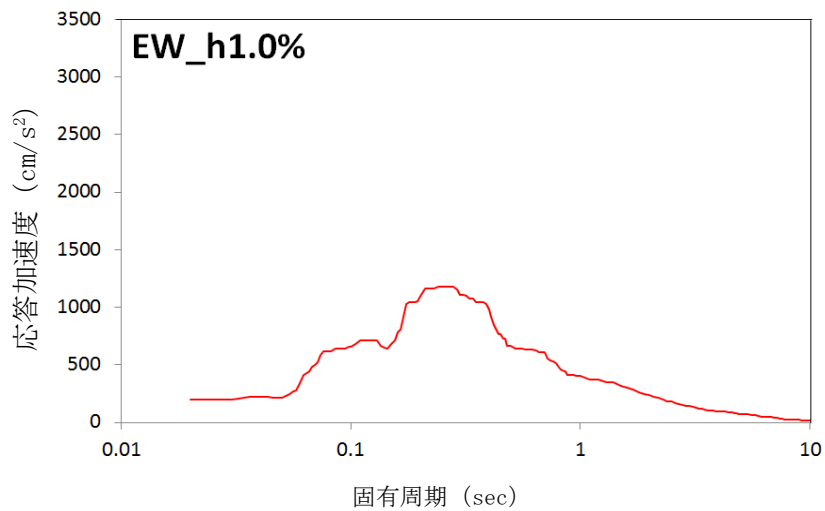


図-19 3FL (G.L. +9.2) の設計用応答スペクトル (EW方向, 1.0%減衰)

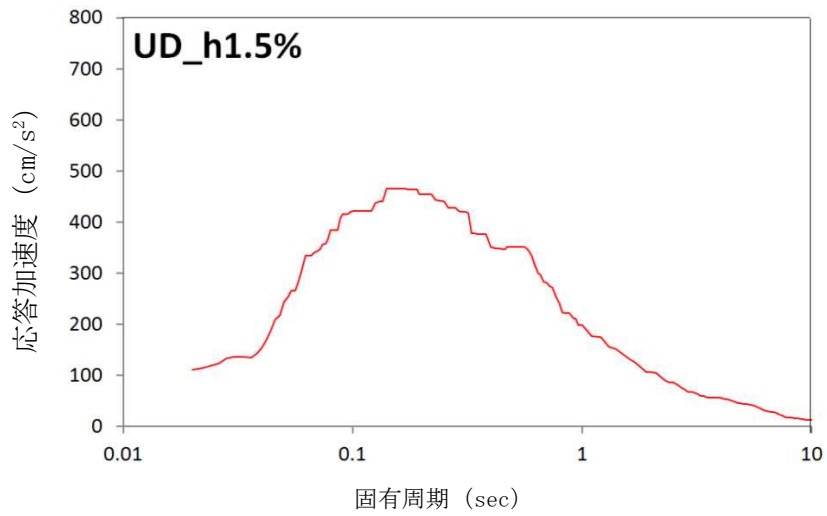


図-20 3FL (G.L. +9.2) の設計用応答スペクトル (鉛直方向, 1.5%減衰)

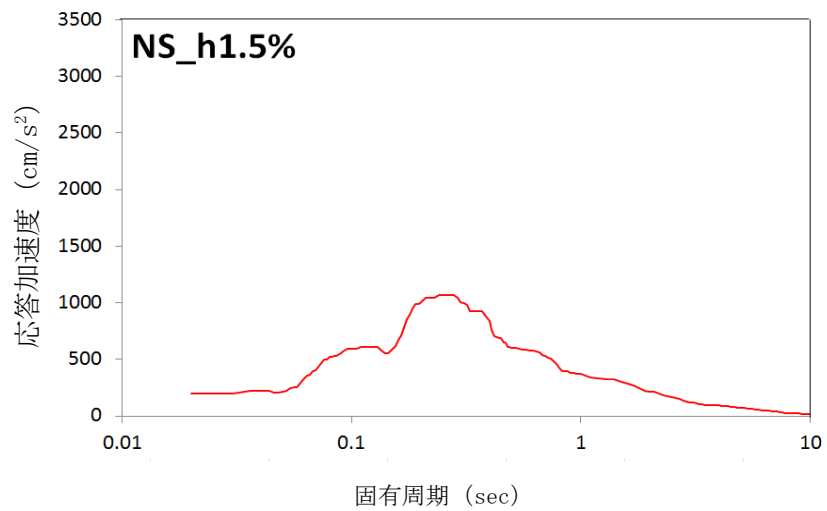


図-21 3FL (G.L. +9.2) の設計用応答スペクトル (NS方向, 1.5%減衰)

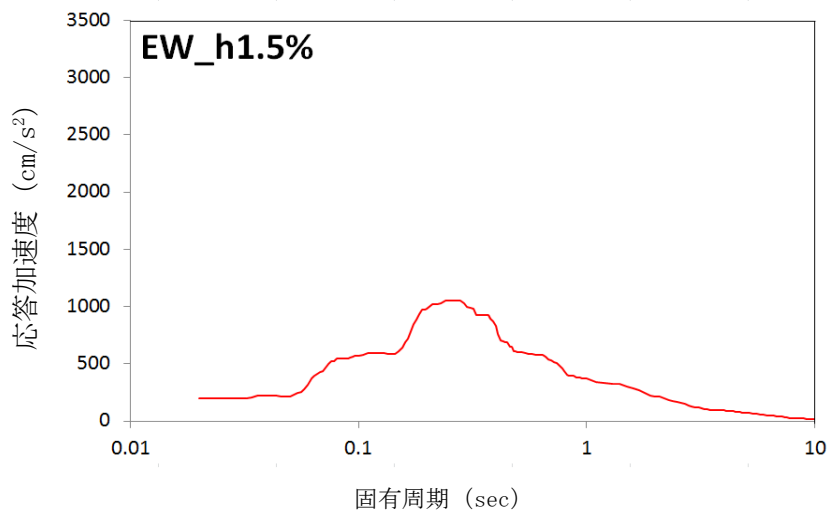


図-22 3FL (G.L. +9.2) の設計用応答スペクトル (EW方向, 1.5%減衰)

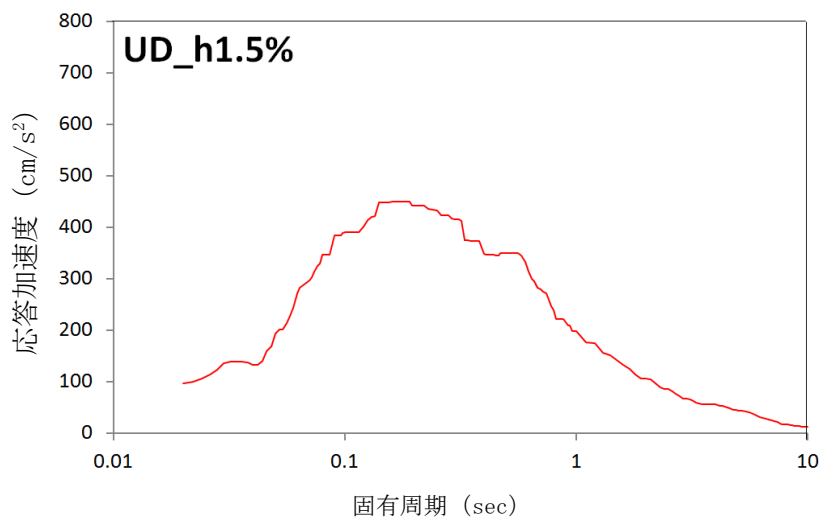


図-2-3 2FL (G.L. +4.2) の設計用応答スペクトル (鉛直方向, 1.5%減衰)

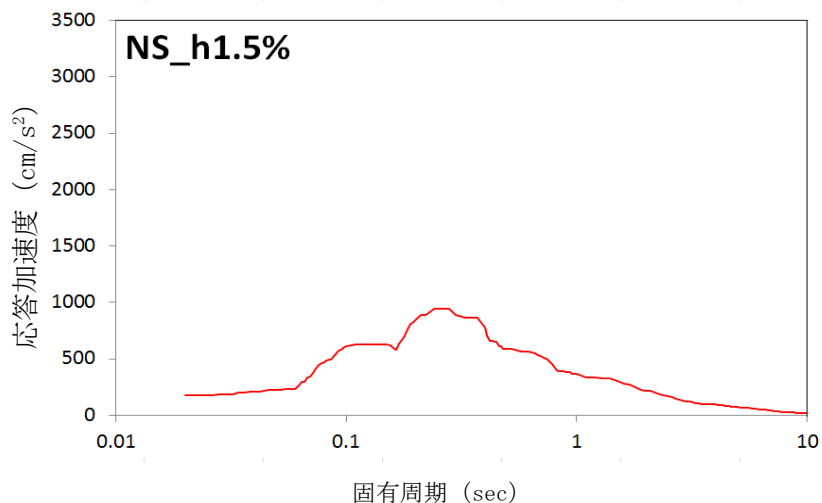


図-2-4 2FL (G.L. +4.2) の設計用応答スペクトル (NS方向, 1.5%減衰)

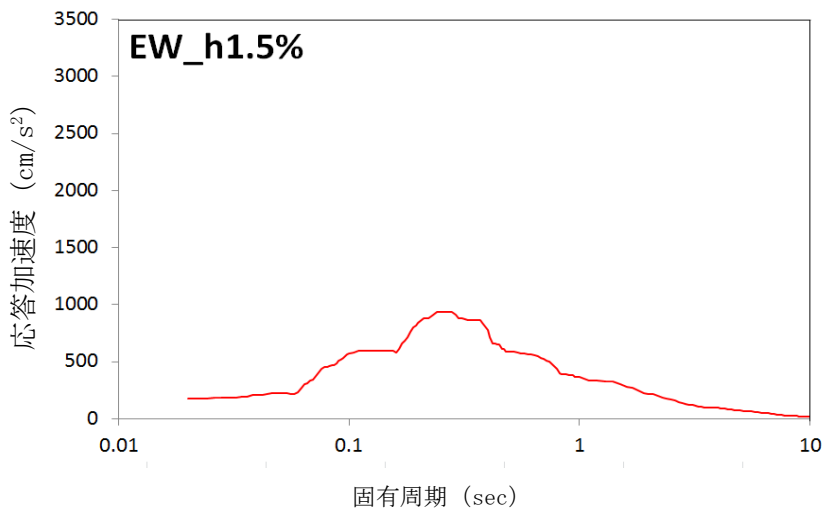


図-2-5 2FL (G.L. +4.2) の設計用応答スペクトル (EW方向, 1.5%減衰)

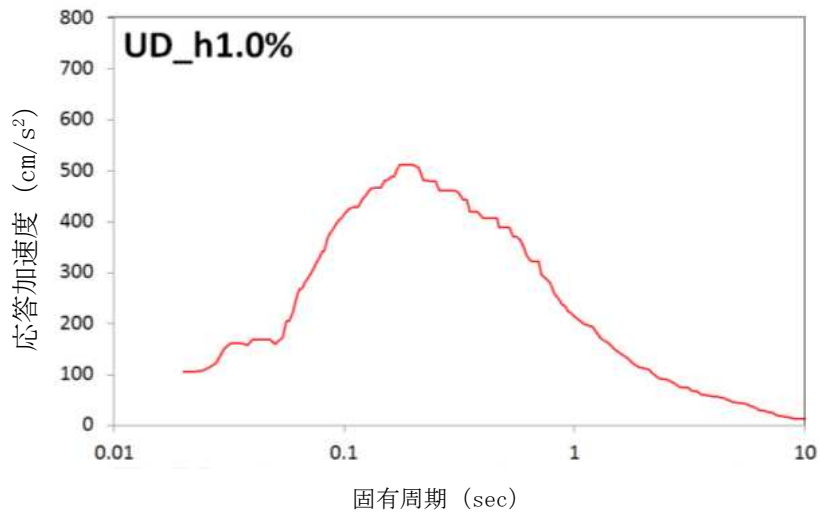


図-2 6 1FL (G.L. +0.2) の設計用応答スペクトル (鉛直方向, 1.0%減衰)

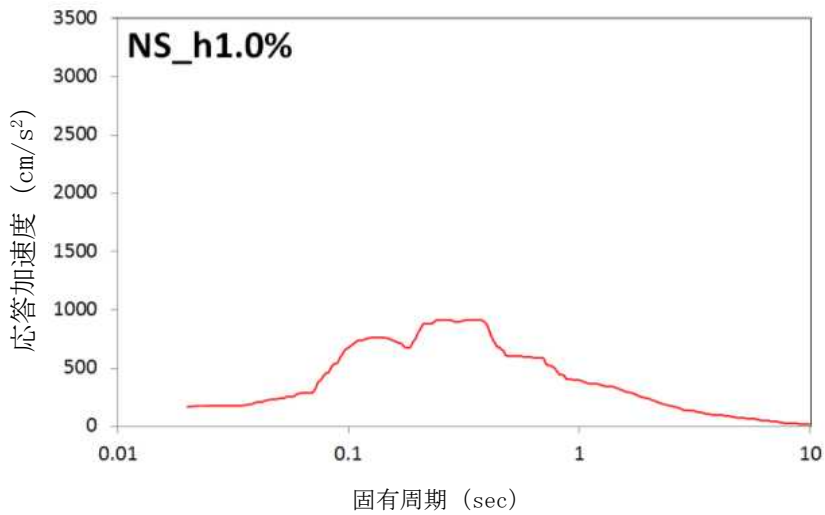


図-2 7 1FL (G.L. +0.2) の設計用応答スペクトル (NS方向, 1.0%減衰)

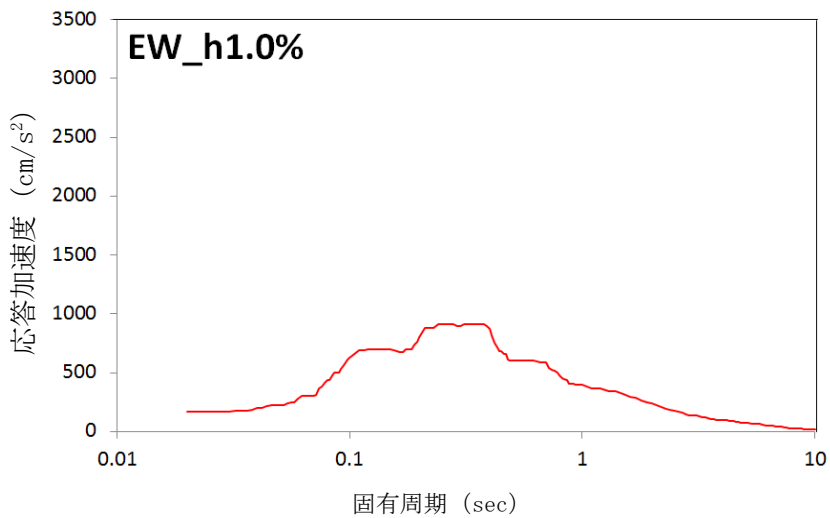


図-2 8 1FL (G.L. +0.2) の設計用応答スペクトル (EW方向, 1.0%減衰)

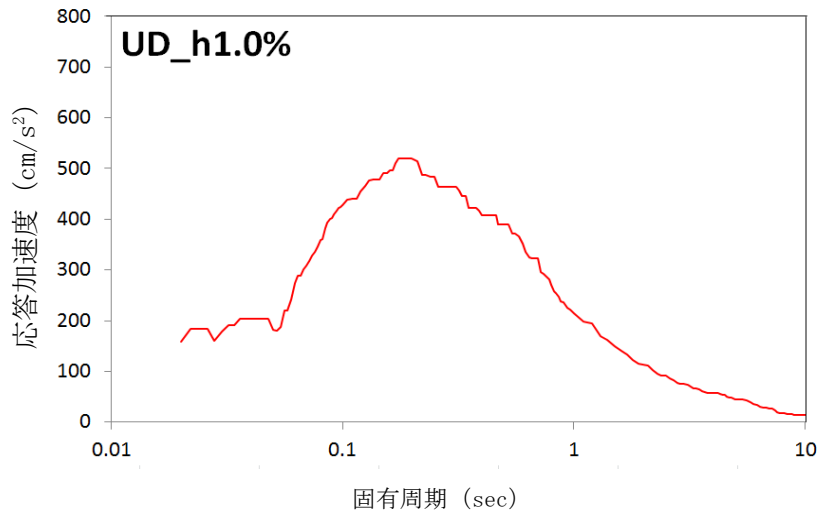


図-29 架台FL (G.L. +9.8) の設計用応答スペクトル (鉛直方向, 1.0%減衰)

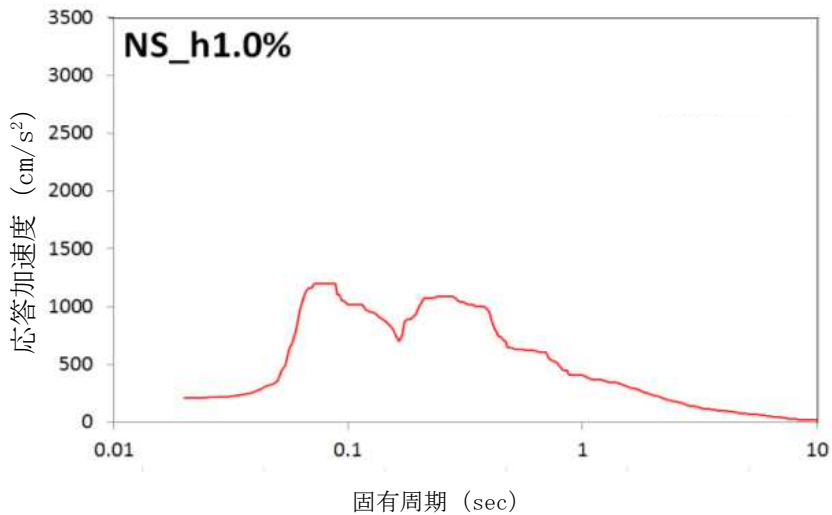


図-30 架台FL (G.L. +9.8) の設計用応答スペクトル (NS方向, 1.0%減衰)

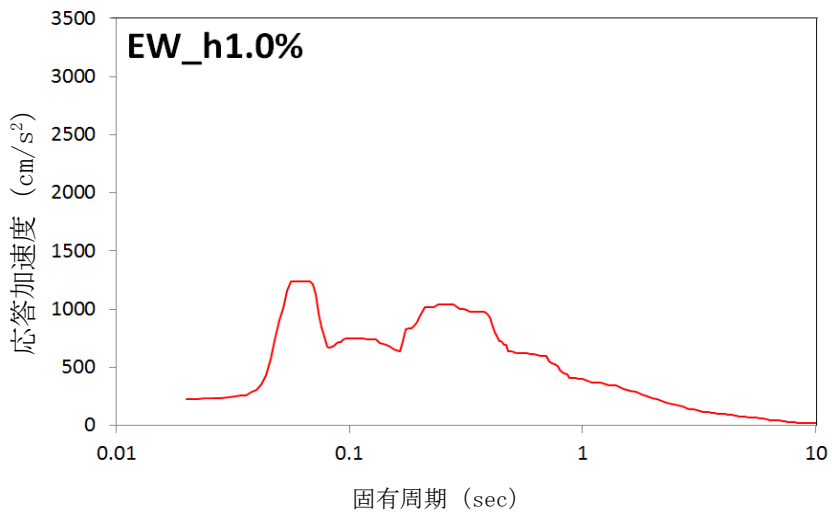


図-31 架台FL (G.L. +9.8) の設計用応答スペクトル (EW方向, 1.0%減衰)

2. 耐震性評価

2.1 ロータリーキルン

2.1.1 計算条件

- (1) ロータリーキルン（本体部）は，基礎ボルトで基礎に固定する。
- (2) 固有振動解析した結果，1次固有振動数が20Hz未満の場合，共振のおそれのあるものとして，弾性設計用地震動 S_d の1/2倍を用いた地震力を考慮する。

2.1.2 記号の説明

記号	記号の説明	単位
C_{Hx}	水平 x 方向設計震度	—
C_{Hy}	水平 y 方向設計震度	—
C_v	鉛直方向設計震度	—
σ_b	ボルト 1 本あたりに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルト 1 本あたりに生じるせん断応力	MPa
F_b	ボルト 1 本あたりに生じる引張力	N
Q_b	ボルト 1 本あたりに生じるせん断力	N
A	ボルトの断面積	mm ²

2.1.3 計算方法

固有周期及び地震力による応力計算には，汎用構造解析プログラム ABAQUS を用いる。主な構造部材の応力評価箇所を図-32に示す。

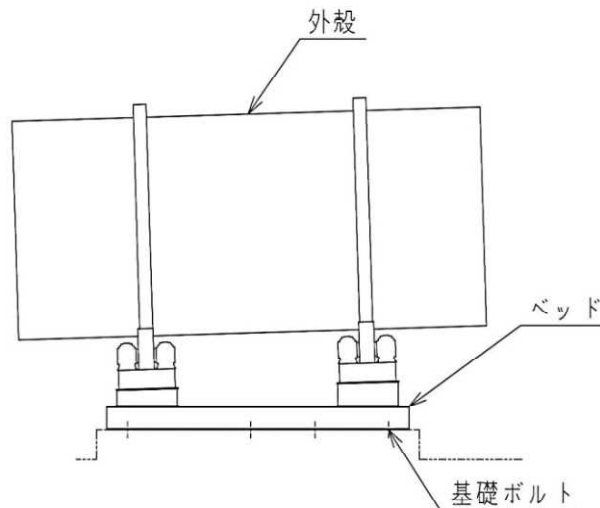


図-32 ロータリーキルンの応力評価箇所

2.1.4 設計条件

据付場所 (m)	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	最高使用圧力 (kPa)
焼却炉室 (G. L. +9.8)	$C_{Hx}=1.26$ $C_{Hy}=1.23$	$C_v=0.19$	-6.3

2.1.5 評価結果

解析で求めた各部材に生じる応力が許容応力以下であることを確認した。(表-2)

表-2 ロータリーキルンの応力評価結果

部材	材料	応力の種類	算出結果 (MPa)	許容応力 (MPa)
外殻	SS400	一次一般膜	135	185
		一次	143	185
ベッド	SS400	組合せ	153	170
基礎ボルト	SNB7	引張	154	562
		せん断	163	324

なお、ボルトに生じる応力については、解析により求められた引張力 F_b 、せん断力 Q_b より、以下の算出式によって求められる。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A} \quad , \quad \tau_b = \frac{Q_b}{A}$$

2.2 ストーカ・二次燃焼器

2.2.1 計算条件

- (1) ストーカ・二次燃焼器は，基礎ボルトで基礎に固定する。
- (2) 固有振動解析した結果，1次固有振動数が20Hz未満の場合，共振のおそれのあるものとして，弾性設計用地震動 S_d の1/2倍を用いた地震力を考慮する。

2.2.2 記号の説明

記号	記号の説明	単位
C_{Hx}	水平 x 方向設計震度	—
C_{Hy}	水平 y 方向設計震度	—
C_v	鉛直方向設計震度	—
σ_b	ボルト1本あたりに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルト1本あたりに生じるせん断応力	MPa
F_b	ボルト1本あたりに生じる引張力	N
Q_b	ボルト1本あたりに生じるせん断力	N
A	ボルトの断面積	mm ²
σ_c	平均圧縮応力	MPa
${}_c\sigma_b$	圧縮側曲げ応力	MPa
${}_t\sigma_b$	引張側曲げ応力	MPa
f_c	圧縮力のみを受ける架台の許容圧縮応力	MPa
f_b	曲げ力のみを受ける架台の許容曲げ応力	MPa
f_t	引張力のみを受ける架台の許容引張応力	MPa

2.2.3 計算方法

固有周期及び地震力による応力計算には、汎用構造解析プログラム ABAQUS を用いる。
 主な構造部材の応力評価箇所を図-33に示す。

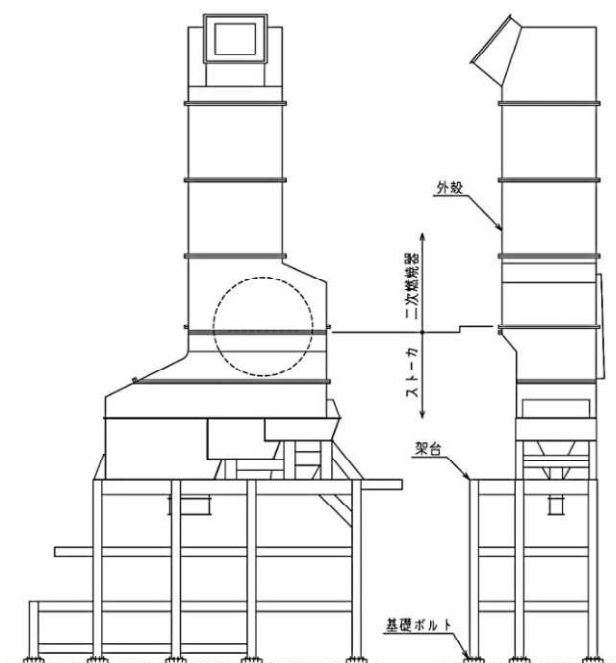


図-33 ストーカ・二次燃焼器の応力評価箇所

2.2.4 設計条件

据付場所 (m)	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	最高使用圧力 (kPa)
焼却炉室 (G. L. +0.2)	$C_{Hx}=0.72$ $C_{Hy}=0.77$	$C_v=0.40$	-6.3

2.2.5 評価結果

解析で求めた各部材に生じる応力が許容応力以下であることを確認した。(表-3)

表-3 ストーカ・二次燃焼器の応力評価結果

部材	材料	応力の種類	算出結果 (MPa)	許容応力 (MPa)
外殻	SS400	一次一般膜	196	221
		一次	201	221
架台	SS400	組合せ	119	212
		圧縮と曲げの 組合せ	$\frac{ \sigma_c }{1.5f_c} + \frac{ c\sigma_b }{1.5f_b} \leq 1, \quad \frac{ t\sigma_b - \sigma_c }{1.5f_t} \leq 1$	
			0.55 (無次元)	
基礎ボルト	SS400	引張	106	225
		せん断	17	130

なお、ボルトに生じる応力については、解析により求められた引張力 F_b 、せん断力 Q_b より、以下の算出式によって求められる。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A}, \quad \tau_b = \frac{Q_b}{A}$$

2.3 排ガス冷却器（本体部）

2.3.1 計算条件

- (1) 排ガス冷却器（本体部）は，取付ボルトで共通架台に固定する。
- (2) 共通架台は，単体で個別に評価を行う。
- (3) 固有振動解析した結果，1次固有振動数が20Hz未満の場合，共振のおそれのあるものとして，弾性設計用地震動 S_d の1/2倍を用いた地震力を考慮する。

2.3.2 記号の説明

記号	記号の説明	単位
C_{Hx}	水平 x 方向設計震度	—
C_{Hy}	水平 y 方向設計震度	—
C_v	鉛直方向設計震度	—
σ_b	ボルト 1 本あたりに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルト 1 本あたりに生じるせん断応力	MPa
F_b	ボルト 1 本あたりに生じる引張力	N
Q_b	ボルト 1 本あたりに生じるせん断力	N
A	ボルトの断面積	mm ²

2.3.3 計算方法

固有周期及び地震力による応力計算には，汎用構造解析プログラム ABAQUS を用いる。主な構造部材の応力評価箇所を図-34に示す。

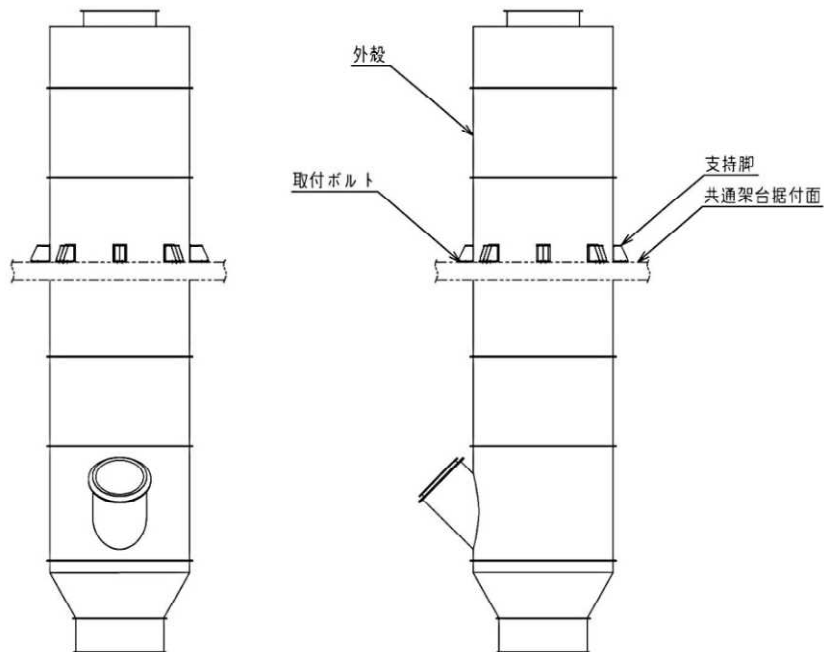


図-34 排ガス冷却器（本体部）の応力評価箇所

2.3.4 設計条件

据付場所 (m)	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	最高使用圧力 (kPa)
焼却炉室機器共通架台 (据付レベル G. L. +15.98)	$C_{Hx}=0.56$ $C_{Hy}=0.47$	$C_v=0.48$	-6.3

2.3.5 評価結果

解析で求めた各部材に生じる応力が許容応力以下であることを確認した。(表-4)

表-4 排ガス冷却器(本体部)の応力評価結果

部材	材料	応力の種類	算出結果 (MPa)	許容応力 (MPa)
外殻	SS400	一次一般膜	111	181
		一次	164	181
支持脚	SS400	組合せ	97	160
取付ボルト	SNB7	引張	196	531
		せん断	185	306

なお、ボルトに生じる応力については、解析により求められた引張力 F_b 、せん断力 Q_b より、以下の算出式によって求められる。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A} \quad , \quad \tau_b = \frac{Q_b}{A}$$

2.4 排ガス冷却器（入口部）

2.4.1 計算条件

- (1) 排ガス冷却器（入口部）は，取付ボルトで共通架台に固定する。
- (2) 共通架台は，単体で個別に評価を行う。
- (3) 固有振動解析した結果，1次固有振動数が20Hz未満の場合，共振のおそれのあるものとして，弾性設計用地震動 S_d の1/2倍を用いた地震力を考慮する。

2.4.2 記号の説明

記号	記号の説明	単位
C_{Hx}	水平 x 方向設計震度	—
C_{Hy}	水平 y 方向設計震度	—
C_v	鉛直方向設計震度	—
σ_b	ボルト 1 本あたりに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルト 1 本あたりに生じるせん断応力	MPa
F_b	ボルト 1 本あたりに生じる引張力	N
Q_b	ボルト 1 本あたりに生じるせん断力	N
A	ボルトの断面積	mm ²

2.4.3 計算方法

固有周期及び地震力による応力計算には，汎用構造解析プログラム ABAQUS を用いる。主な構造部材の応力評価箇所を図-35に示す。

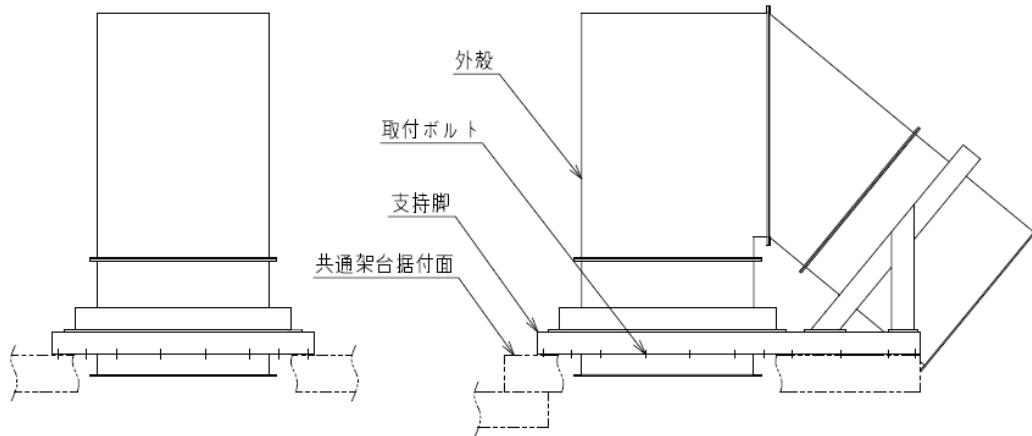


図-35 排ガス冷却器（入口部）の応力評価箇所

2.4.4 設計条件

据付場所 (m)	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	最高使用圧力 (kPa)
焼却炉室機器共通架台 (据付レベル G. L. +24.85)	$C_{Hx}=0.49$ $C_{Hy}=0.44$	$C_v=0.23$	-6.3

2.4.5 評価結果

解析で求めた各部材に生じる応力が許容応力以下であることを確認した。(表-5)

表-5 排ガス冷却器(入口部)の応力評価結果

部材	材料	応力の種類	算出結果 (MPa)	許容応力 (MPa)
外殻	SS400	一次一般膜	99	207
		一次	100	207
支持脚	SS400	組合せ	148	198
取付ボルト	SNB7	引張	22	531
		せん断	118	306

なお、ボルトに生じる応力については、解析により求められた引張力 F_b 、せん断力 Q_b より、以下の算出式によって求められる。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A} \quad , \quad \tau_b = \frac{Q_b}{A}$$

2.5 バグフィルタ

2.5.1 計算条件

- (1) バグフィルタは，取付ボルトで共通架台に固定する。
- (2) 共通架台は，単体で個別に評価を行う。
- (3) 固有振動解析した結果，1次固有振動数が20Hz未満の場合，共振のおそれのあるものとして，弾性設計用地震動 S_d の1/2倍を用いた地震力を考慮する。

2.5.2 記号の説明

記号	記号の説明	単位
C_{Hx}	水平 x 方向設計震度	—
C_{Hy}	水平 y 方向設計震度	—
C_v	鉛直方向設計震度	—
σ_b	ボルト1本あたりに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルト1本あたりに生じるせん断応力	MPa
F_b	ボルト1本あたりに生じる引張力	N
Q_b	ボルト1本あたりに生じるせん断力	N
A	ボルトの断面積	mm ²

2.5.3 計算方法

固有周期及び地震力による応力計算には，汎用構造解析プログラム ABAQUS を用いる。主な構造部材の応力評価箇所を図-36に示す。

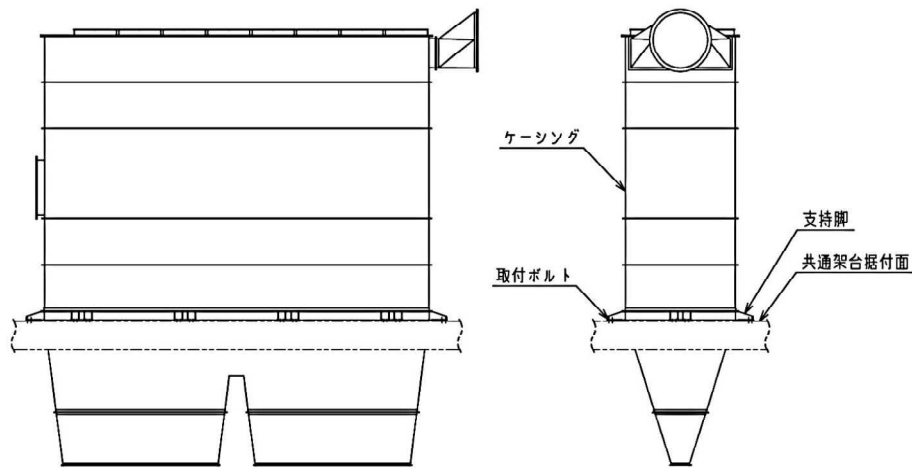


図-36 バグフィルタの応力評価箇所

2.5.4 設計条件

据付場所 (m)	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	最高使用圧力 (kPa)
焼却炉室機器共通架台 (据付レベル G.L. +7.6)	$C_{Hx}=0.28$ $C_{Hy}=1.22$	$C_v=0.24$	-6.3

2.5.5 評価結果

解析で求めた各部材に生じる応力が許容応力以下であることを確認した。(表-6)

表-6 バグフィルタの応力評価結果

部材	材料	応力の種類	算出結果 (MPa)	許容応力 (MPa)
ケーシング	SS400	一次一般膜	142	181
		一次	165	173
支持脚	SS400	組合せ	142	160
取付ボルト	SNB7	引張	121	531
		せん断	172	306

なお、ボルトに生じる応力については、解析により求められた引張力 F_b 、せん断力 Q_b より、以下の算出式によって求められる。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A}, \quad \tau_b = \frac{Q_b}{A}$$

2.6 プレフィルタ、一次排ガスフィルタ及び二次排ガスフィルタ

2.6.1 計算条件

- (1) 容器及び内容物により作用する荷重は、胴の中心軸に集中したものとする。
- (2) 容器は、胴を2個の脚で支持され、脚はそれぞれ基礎ボルト※で基礎に据付けられているものとする。ただし2個の脚のうち1個は胴の長手方向に基礎に対してスライドできるものとする。(※以下、機器が架台に据付けられる構造の場合は、基礎ボルトを取付ボルトと読み替える。)
- (3) 共通架台は、単体で個別に評価を行う。
- (4) 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。鉛直方向の設計震度は考慮しないものとする。
- (5) 容器の胴は剛とし、脚の曲げ及びせん断変形を考慮するものとする。
- (6) 第2脚は、長手方向にスライドできるのでその方向の力はすべて1脚で受けるものとする。

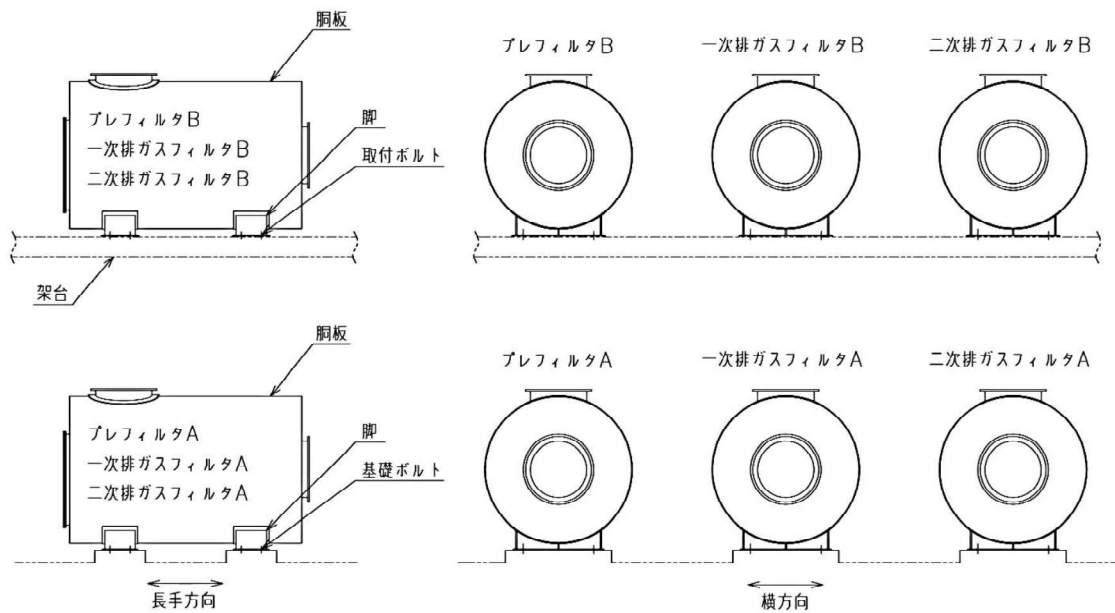


図-37 プレフィルタ，一次排ガスフィルタ及び二次排ガスフィルタ概要図

2.6.2 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
A_s	脚の断面積	mm^2
A_{s1}	脚の長手方向に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{s2}	脚の横方向に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{s3}	脚の長手方向に対するせん断断面積	mm^2
A_{s4}	脚の横方向に対するせん断断面積	mm^2
a	脚底板の長手方向幅	mm
b	脚底板の横方向幅	mm
C_H	水平方向設計震度	—
C_c	参考文献(1)より得られる値	—
C_e	参考文献(1)より得られる値	—
C_1	脚の胴体つけ根部のアタッチメントの幅の2分の1 (胴の横方向)	mm
C_2	脚の胴体つけ根部のアタッチメントの幅の2分の1 (胴の長手方向)	mm
D_i	胴の内径	mm
d_1	脚底板端面から基礎ボルト中心までの長手方向の距離	mm
d_2	脚底板端面から基礎ボルト中心までの横方向の距離	mm

記号	記号の説明	単位
E_s	脚の縦弾性係数	MPa
e	脚中心から偏心荷重作用点までの距離	mm
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F_b	基礎ボルトに作用する引張力	N
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	脚の許容引張応力	MPa
f_{t0}	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_s	脚のせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 ($g=9806.65$)	mm/s ²
h_1	基礎から脚の胴つけ根部までの高さ	mm
h_2	基礎から胴の中心までの高さ	mm
I_x	脚の長手方向軸に対する断面2次モーメント	mm ⁴
I_y	脚の横方向軸に対する断面2次モーメント	mm ⁴
j_1	荷重分布で分けられた静荷重の数	—
j_2	第1脚より第2脚と反対の方向に作用する静荷重の数 (第1脚上の荷重は含まない)	—
j_3	第2脚より第1脚と反対の方向に作用する静荷重の数 (第2脚上の荷重は含まない)	—
K_1	参考文献(1)よりの定数	—
K_c	脚のばね定数 (胴の横方向に水平力が作用する場合)	N/mm
K_ℓ	脚のばね定数 (胴の長手方向に水平力が作用する場合)	N/mm
ℓ_i	第1脚より各質量までの距離 (ここで第2脚側の距離は正, その反対側は負とする)	mm
ℓ_0	脚中心間距離	mm
M	脚底板に作用するモーメント	N・mm
M_c	横方向地震による胴の脚つけ根部のモーメント	N・mm
M_{c1}	横方向地震により脚底面に働くモーメント	N・mm
M_ℓ	長手方向地震による胴の脚つけ根部のモーメント	N・mm
$M_{\ell1}$	長手方向地震により脚底面に働くモーメント	N・mm
M_1, M_2	第1脚, 第2脚部における胴の運転時質量によるモーメント	N・mm

記号	記号の説明	単位
N_x	胴に生じる軸方向の膜力	N/mm
N_ϕ	胴に生じる周方向の膜力	N/mm
n	脚 1 個当たりの基礎ボルト本数	本
n_1	脚 1 個あたりの長手方向地震によって引張を受ける基礎ボルトの本数	本
n_2	脚 1 個あたりの横方向地震によって引張を受ける基礎ボルトの本数	本
P	胴の脚つけ根部に作用する反力	N
P_r	最高使用圧力	MPa
P_ℓ	長手方向地震により胴の脚つけ根部に働く鉛直荷重	N
P_s	長手方向地震により脚底部に働く鉛直荷重	N
P_{s1}	横方向地震により脚底部に働く鉛直荷重	N
R_1, R_2	第 1, 第 2 脚の受ける荷重	N
r_m	脚つけ根部における胴の平均半径	mm
r_o	脚つけ根部における胴の外半径	mm
s	基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比	—
S_a	胴の許容応力	MPa
S_u	設計引張強さ 設計・建設規格 付録材料図表 Part3 表 7 に規定される値	MPa
S_y	設計降伏点 設計・建設規格 付録材料図表 Part3 表 6 に規定される値	MPa
T_1	長手方向の固有周期	s
T_2	横方向の固有周期	s
t	胴の板厚	mm
t_e	脚つけ根部における胴の有効板厚	mm
W_o	容器の有効運転質量	kg
W_i	各部の質量	kg
W_s	脚の質量	kg
X_n	基礎が圧縮力を受ける幅	mm
Z	参考文献(2)による胴の断面係数	mm ³
Z_{sx}	脚の長手方向軸に対する断面係数	mm ³
Z_{sy}	脚の横方向軸に対する断面係数	mm ³
β, β_1, β_2	参考文献(1)によるアタッチメントパラメータ	—
γ	参考文献(1)によるシェルパラメータ	—
θ	参考文献(2)による胴の有効範囲角の 2 分の 1	rad
θ_o	胴体脚端部より鉛直軸までの角度	rad
σ_o	胴の一次一般膜応力あるいは組合せ応力の最大値	MPa

記号	記号の説明	単位
σ_{0c}	横方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次一般膜応力	MPa
σ_{0cx}	横方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次一般膜応力の和	MPa
$\sigma_{0c\phi}$	横方向地震が作用した場合の胴の周方向一次一般膜応力の和	MPa
$\sigma_{0\ell}$	長手方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次一般膜応力	MPa
$\sigma_{0\ell x}$	長手方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次一般膜応力の和	MPa
$\sigma_{0\ell\phi}$	長手方向地震が作用した場合の胴の周方向一次一般膜応力の和	MPa
σ_1	胴の一次応力の最大値	MPa
σ_{1c}	横方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
σ_{1cx}	横方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{1c\phi}$	横方向地震が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{1\ell}$	長手方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
$\sigma_{1\ell x}$	長手方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{1\ell\phi}$	長手方向地震が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa
σ_{b1}	長手方向地震により基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{b2}	横方向地震により基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_s	脚の組合せ応力の最大値	MPa
σ_{s1}	脚の運転時質量による圧縮応力	MPa
σ_{s2}	長手方向地震により脚に生じる圧縮及び曲げ応力の和	MPa
σ_{s3}	横方向地震により脚に生じる曲げ応力	MPa
σ_{sc}	横方向地震が作用した場合の脚の組合せ応力	MPa
$\sigma_{s\ell}$	長手方向地震が作用した場合の脚の組合せ応力	MPa
σ_{x1}	内圧により胴に生じる軸方向応力	MPa
σ_{x2}	胴の長手方向曲げモーメントにより胴に生じる軸方向応力	MPa
σ_{x3}	運転時質量により胴の脚つけ根部に生じる軸方向応力	MPa
σ_{x4}	長手方向地震により胴の脚つけ根部に生じる軸方向応力の和	MPa
$\sigma_{x4.1}$	長手方向地震による胴の脚つけ根部のモーメントにより生じる軸方向応力	MPa
$\sigma_{x4.2}$	長手方向地震による胴の脚つけ根部の鉛直荷重により生じる軸方向応力	MPa
$\sigma_{x4.3}$	長手方向地震により生じる水平方向荷重による胴の応力	MPa
σ_{x5}	横方向地震による胴の脚つけ根部のモーメントにより生じる軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 1}$	内圧により胴に生じる周方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 3}$	運転時質量により胴の脚つけ根部に生じる周方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 4}$	長手方向地震により胴の脚つけ根部に生じる周方向応力の和	MPa
$\sigma_{\phi 4.1}$	長手方向地震による胴の脚つけ根部のモーメントにより生じる周方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 4.2}$	長手方向地震による胴の脚つけ根部の鉛直荷重により生じる周方向応力	MPa

記号	記号の説明	単位
$\sigma_{\phi 5}$	横方向地震による胴の脚つけ根部のモーメントにより生じる周方向応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
τ_{b1}	長手方向地震により基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_{b2}	横方向地震により基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_c	横方向地震により胴の脚つけ根部に生じるせん断応力	MPa
τ_θ	長手方向地震により胴の脚つけ根部に生じるせん断応力	MPa
τ_{s2}	長手方向地震により脚に生じるせん断応力	MPa
τ_{s3}	横方向地震により脚に生じるせん断応力	MPa

2.6.3 固有周期の計算方法

(1) 長手方向の固有周期

長手方向のばね定数は、

$$K_\ell = \frac{1}{\frac{h_1^3}{12E_s I_y} + \frac{h_1}{G_s A_{s1}}}$$

固有周期は、

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{W_0}{K_\ell g}}$$

(2) 横方向の固有周期

横方向のばね定数は、

$$K_c = \frac{1}{\frac{h_1^2(3h_2 - h_1)}{6E_s I_x} + \frac{(h_2 - h_1)h_1(h_2 - h_1/2)}{E_s I_x} + \frac{h_1}{G_s A_{s2}}}$$

固有周期は、

$$T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{R_1 + W_s}{K_c g}}$$

ただし、脚の受ける荷重が $R_2 > R_1$ となる場合は R_1 を R_2 に置き換える。

2.6.4 胴の応力の計算方法

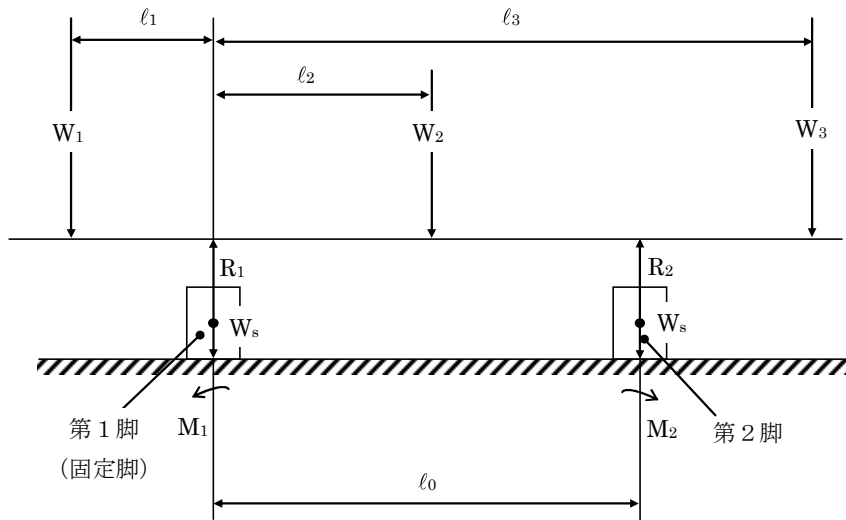


図-38 荷重状態

(1) 脚の受ける荷重

脚に作用する荷重は、モーメントの釣合より求める。図-38において第1脚まわりのモーメントの釣合より次式が与えられる。

第1脚に作用する荷重

$$R_1 = \sum_{i=1}^{j1} W_i - R_2$$

第2脚に作用する荷重

$$R_2 = \frac{\sum_{i=1}^{j1} W_i l_i}{l_0}$$

(2) 曲げモーメント

第1脚つけ根の部分における曲げモーメント

$$M_1 = \sum_{i=1}^{j2} W_i |l_i|$$

第2脚つけ根の部分における曲げモーメント

$$M_2 = \sum_{i=j1-j3+1}^{j1} W_i |l_i - l_0|$$

(3) 内圧による応力

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{P_r(D_i + 1.2t)}{200t}$$

$$\sigma_{x1} = \frac{P_r(D_i + 1.2t)}{400t}$$

ここで、機器の最高使用圧力が大気圧以下の場合、内圧は作用しないため、応力評価は不要とする。

(4) 運転時質量により生じる長手方向曲げモーメントによる応力（第1脚つけ根部）

(2)で求めた曲げモーメントにより胴の脚つけ根部に生じる応力は、次のようにして求められる。

参考文献(2)によれば、この曲げモーメントは胴の断面に対して一様に作用するものではなく、脚取付部において円周方向の曲げモーメントに置換され、胴の局部変形を生じさせようとする。

今、長手方向の曲げモーメントによる胴の応力の影響範囲を脚上 $\theta_0/6$ の点とすると、長手方向曲げモーメントに対する胴の有効断面積は、図-39に 2θ で示される円殻である。したがって、応力は次式で表わされる。

$$\sigma_{x2} = \frac{M_1}{Z}$$

ここで、

$$r_m = \frac{D_i + t_e}{2}$$

$$Z = r_m^2 t_e \left(\frac{\theta + \sin \theta \cos \theta - 2 \sin^2 \theta / \theta}{\sin \theta / \theta - \cos \theta} \right)$$

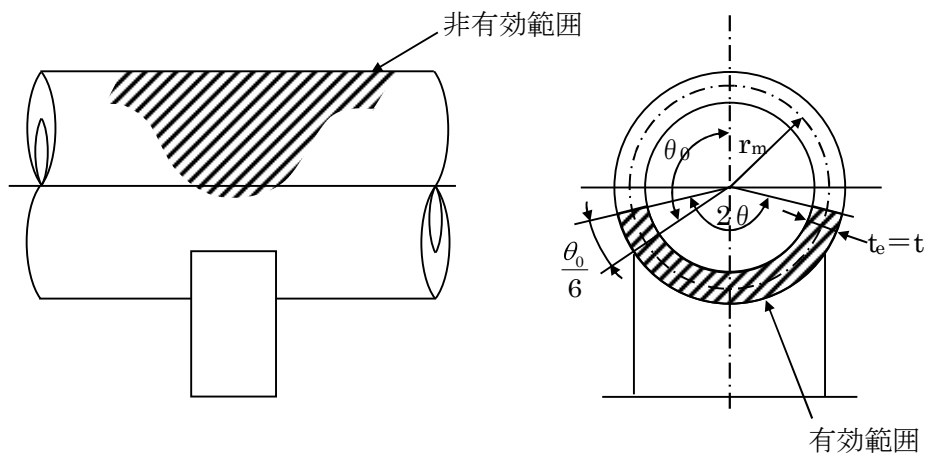


図-39 脚付け根部の有効範囲

(5) 運転時質量による脚つけ根部の応力

胴の脚つけ根部には，脚反力による局部応力が生じる。

胴の第1脚つけ根部に作用する反力は次式で表わされる。

$$P = R_1$$

この反力Pにより生じる胴の局部応力は，参考文献(1)によると次のようにして求めることができる。(以下，*が付記された記号は参考文献(1)より求める値を示す。)

$$\gamma = r_m / t_e$$

$$\beta_1 = C_1 / r_m$$

$$\beta_2 = C_2 / r_m$$

$\beta_1 / \beta_2 \geq 1$ のとき

$$\beta = \left\{ 1 - \frac{1}{3} (\beta_1 / \beta_2 - 1) (1 - K_1^*) \right\} \sqrt{\beta_1 \beta_2}$$

シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β によって，参考文献(1)より値を求めることにより応力は次式で表わされる。

$$\sigma_{\phi 3} = \left(\frac{N_{\phi}}{P / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P}{r_m t_e} \right)$$

$$\sigma_{x 3} = \left(\frac{N_x}{P / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P}{r_m t_e} \right)$$

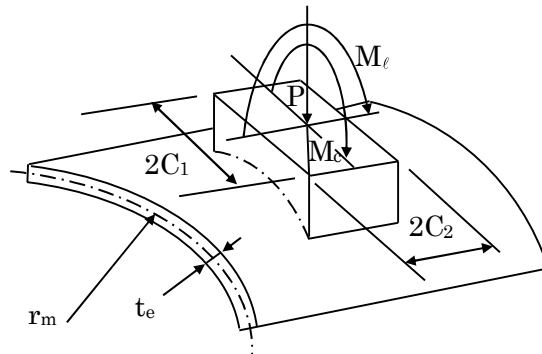


図-40 脚が胴に及ぼす力の関係図

(6) 長手方向地震による脚つけ根部の応力

第2脚は，長手方向に自由にスライドできるので固定脚である第1脚が変形し，脚つけ根部に生じる曲げモーメント及び鉛直荷重（偶力）は次式により与えられる。

$$M_l = \frac{1}{2} C_H (W_0 - W_s) h_1$$

$$P_\ell = C_H (W_0 - W_s) \frac{h_2 - \frac{1}{2}h_1}{\ell_0}$$

曲げモーメント M_ℓ と鉛直荷重 P_ℓ により生じる胴の局部応力は(5)と同様な方法で参考文献(1)により求められる。

曲げモーメント M_ℓ により生じる応力は、

$$\sigma_{\phi 41} = \left(\frac{N_\phi}{M_\ell / (r_m^2 \beta)} \right)^* \cdot \left(\frac{M_\ell}{r_m^2 t_e \beta} \right) C_\ell^*$$

$$\sigma_{x 41} = \left(\frac{N_x}{M_\ell / (r_m^2 \beta)} \right)^* \cdot \left(\frac{M_\ell}{r_m^2 t_e \beta} \right) C_\ell^*$$

ここで、アタッチメントパラメータ β は次式で表わされる。

$$\beta = \sqrt[3]{\beta_1 \beta_2^2}$$

鉛直荷重 P_ℓ により生じる応力は、

$$\sigma_{\phi 42} = \left(\frac{N_\phi}{P_\ell / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P_\ell}{r_m t_e} \right)$$

$$\sigma_{x 42} = \left(\frac{N_x}{P_\ell / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P_\ell}{r_m t_e} \right)$$

また、水平方向荷重により胴には下記式で表わされる引張応力が生じる。

$$\sigma_{x 43} = \frac{C_H (W_0 - W_s)}{\pi (D_i + t) t}$$

したがって、曲げモーメント M_ℓ 、鉛直力 P_ℓ 及び水平方向荷重により生じる胴の応力は、

$$\sigma_{\phi 4} = \sigma_{\phi 41} + \sigma_{\phi 42}$$

$$\sigma_{x 4} = \sigma_{x 41} + \sigma_{x 42} + \sigma_{x 43}$$

また、長手方向の地震が作用した場合、第1脚つけ根部に生じるせん断応力は次式で表わされる。

$$\tau_\ell = \frac{C_H (W_0 - W_s)}{4C_2 t}$$

(7) 横方向地震による脚つけ根部の応力

横方向の地震が作用した場合、第1脚のつけ根部に生じる曲げモーメント M_c は、

$$M_c = C_H R_1 r_0$$

$$r_0 = \frac{D_i}{2} + t_e$$

曲げモーメント M_c により生じる胴の局部応力は、(5)、(6)と同様な方法で参考文献(1)より求められる。

シェルパラメータ γ は(5)と同じであるが、アタッチメントパラメータ β は次式にて表わされる。

$$\beta = \sqrt[3]{\beta_1^2 \beta_2}$$

したがって、応力は、

$$\sigma_{\phi s} = \left(\frac{N_\phi}{M_c / (r_m^2 \beta)} \right)^* \cdot \left(\frac{M_c}{r_m^2 \beta t_e} \right) C_c^*$$

$$\sigma_{x s} = \left(\frac{N_x}{M_c / (r_m^2 \beta)} \right)^* \cdot \left(\frac{M_c}{r_m^2 \beta t_e} \right) C_c^*$$

で表わすことができる。

また、横方向に地震が作用した場合第1脚つけ根部に生じるせん断応力は次式で表わされる。

$$\tau_c = \frac{C_H R_1}{4 C_1 t}$$

(8) 組合せ応力

(3)～(7)によって算出される第1脚つけ根部に生じる胴の応力は、以下により組み合わせられる。

a. 一次一般膜応力

長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{0\ell} = \text{Max}(\sigma_{0\ell\phi}, \sigma_{0\ell x})$$

ここで、

$$\sigma_{0\ell\phi} = \sigma_{\phi 1}$$

$$\sigma_{0\ell x} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x43}$$

横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{0c} = \text{Max}(\sigma_{0c\phi}, \sigma_{0cx})$$

ここで、

$$\sigma_{0c\phi} = \sigma_{\phi 1}$$

$$\sigma_{0cx} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2}$$

したがって、胴に生じる一次一般膜応力の最大値は、

$$\sigma_0 = \text{Max}(\sigma_{0\ell}, \sigma_{0c})$$

で表わされる。

b. 一次応力

長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{1\ell} = \frac{1}{2} \left\{ (\sigma_{1\ell\phi} + \sigma_{1\ell x}) + \sqrt{(\sigma_{1\ell\phi} - \sigma_{1\ell x})^2 + 4\tau_{\ell}^2} \right\}$$

ここで、

$$\sigma_{1\ell\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 4}$$

$$\sigma_{1\ell x} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x3} + \sigma_{x4}$$

横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{1c} = \frac{1}{2} \left\{ (\sigma_{1c\phi} + \sigma_{1cx}) + \sqrt{(\sigma_{1c\phi} - \sigma_{1cx})^2 + 4\tau_c^2} \right\}$$

ここで、

$$\sigma_{1c\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 5}$$

$$\sigma_{1cx} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x3} + \sigma_{x5}$$

したがって、胴に生じる一次応力の最大値は、

$$\sigma_1 = \text{Max}(\sigma_{1\ell}, \sigma_{1c})$$

で表わされる。

2.6.5 脚の応力の計算方法

脚の受ける荷重が $R_2 > R_1$ となる場合は R_1 を R_2 に置き換える。

- (1) 運転時質量における圧縮応力

$$\sigma_{s1} = \frac{R_1 + W_s}{A_s}$$

- (2) 長手方向地震による応力

曲げ応力, 圧縮応力は

$$\sigma_{s2} = \frac{M_{\ell 1}}{Z_{sy}} + \frac{P_{\ell}}{A_s}$$

ここで,

$$M_{\ell 1} = \frac{1}{2} C_H W_0 h_1$$

せん断応力は

$$\tau_{s2} = \frac{C_H W_0}{A_{s3}}$$

- (3) 横方向地震による応力

曲げ応力は

$$\sigma_{s3} = \frac{C_H (R_1 + W_s) h_2}{Z_{sx}}$$

せん断応力は

$$\tau_{s3} = \frac{C_H (R_1 + W_s)}{A_{s4}}$$

- (4) 組合せ応力

長手方向地震が作用する場合

$$\sigma_{s\ell} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2})^2 + 3\tau_{s2}^2}$$

横方向地震が作用する場合

$$\sigma_{sc} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s3})^2 + 3\tau_{s3}^2}$$

したがって, 脚に生じる最大応力は

$$\sigma_s = \text{Max}(\sigma_{s\ell}, \sigma_{sc})$$

で表わされる。

2.6.6 基礎ボルトの応力の計算方法

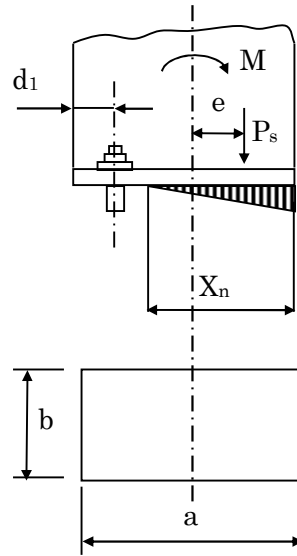


図-4 1 基礎部に作用する外荷重より生じる荷重の関係

(1) 長手方向の地震が作用した場合

a. せん断応力

$$\tau_{bl} = \frac{C_H W_o}{n A_b}$$

b. 引張応力

長手方向の地震が作用した場合に脚底面に働くモーメントは

$$M = M_{\ell 1}$$

鉛直荷重は,

$$P_s = R_1 + W_s - P_\ell$$

である。

今, モーメントと圧縮荷重の比を

$$e = M_{\ell 1} / P_s$$

とすると, e が負の場合及び

$$e > \frac{a}{6} + \frac{d_1}{3}$$

の時, 基礎ボルトに引張力が生じこの引張力は次のようにして求められる。

今, 中立軸の位置 X_n を

$$X_n^3 + 3\left(e - \frac{a}{2}\right)X_n^2 - \frac{6sA_b n_1}{b}\left(e + \frac{a}{2} - d_1\right)(a - d_1 - X_n) = 0$$

より求めると, 基礎ボルトに生じる引張力は

$$F_b = \frac{P_s \left(e - \frac{a}{2} + \frac{X_n}{3} \right)}{a - d_1 - \frac{X_n}{3}}$$

となる。

したがって、基礎ボルトに生じる引張応力は次のようになる。

$$\sigma_{b1} = \frac{F_b}{n_1 \cdot A_b}$$

(2) 横方向の地震が作用した場合

脚の受ける荷重 R_2 が R_1 よりも大きいときは、 R_1 を R_2 と読み替えて計算する。

a. せん断応力

$$\tau_{b2} = \frac{C_H (R_1 + W_s)}{n A_b}$$

b. 引張応力

横方向の地震が作用した場合に脚底面に働くモーメントは

$$M_{c1} = C_H (R_1 + W_s) h_2$$

鉛直力は、

$$P_{s1} = R_1 + W_s$$

で表わされる。

モーメントと圧縮荷重の比を

$$e = M_{c1} / P_{s1}$$

とすると、 e が負の場合及び

$$e > \frac{b}{6} + \frac{d_2}{3}$$

の時、基礎ボルトに引張力が生じ、この引張力は次のようにして求められる。

今、中立軸の位置 X_n を

$$X_n^3 + 3 \left(e - \frac{b}{2} \right) X_n^2 - \frac{6sA_b n_2}{a} \left(e + \frac{b}{2} - d_2 \right) (b - d_2 - X_n) = 0$$

より求めると、基礎ボルトに生じる引張力は、

$$F_b = \frac{P_{s1} \left(e - \frac{b}{2} + \frac{X_n}{3} \right)}{b - d_2 - \frac{X_n}{3}}$$

となる。

したがって、基礎ボルトに生じる引張応力は次のようになる。

$$\sigma_{b2} = \frac{F_b}{n_2 \cdot A_b}$$

2.6.7 固有周期の評価方法

2.6.3項で求めた固有周期より、固有振動数が20Hz以上であれば、剛構造として建屋との共振の恐れが無いものと判断する。

2.6.8 応力の評価方法

(1) 胴の応力評価

2.6.4項で求めた組合せ応力が、胴の許容応力 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ほうの値
一次応力	設計降伏点 S_y

(2) 脚の応力評価

2.6.5項で求めた脚の組合せ応力が、脚の許容応力 f_t 以下であること。

$$f_t = \left(\frac{F}{1.5} \right) 1.5$$

(3) 基礎ボルトの応力評価

長手方向、横方向とも、2.6.6項で求めた基礎ボルトの引張応力が、下記2式より求めた基礎ボルトの許容引張力 f_{ts} 以下であること。

長手方向、横方向とも、2.6.6項で求めた基礎ボルトのせん断応力が、せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。

$$f_{ts} = 1.4f_{t0} - 1.6\tau_b$$

$$f_{ts} \leq f_{t0}$$

ただし、 f_{t0} 、 f_{sb} は下表による。

	許容引張応力 f_{t0}	許容せん断応力 f_{sb}
計算式	$\left(\frac{F}{2} \right) 1.5$	$\left(\frac{F}{1.5\sqrt{3}} \right) 1.5$

参考文献(1)

Wichman, K.R. et al. : Local Stress in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings, Welding Research Council bulletin, March 1979 revision of WRC bulletin 107/August 1965.

参考文献(2)

Stresses in Large Horizontal Cylindrical Pressure Vessels on Two Saddle Supports, Welding Research Supplement, Sep. 1951.

2.6.9 設計条件

(1) プレフィルタ A

据付場所 (m)	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	最高使用圧力 (kPa)
排ガス処理室 (5F G.L. +22.2)	$C_H=0.68$	—	-10.7

(2) プレフィルタ B

据付場所 (m)	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	最高使用圧力 (kPa)
排ガス処理室 (5F G.L. +28.7)	$C_H=0.85$	—	-10.7

(3) 一次排ガスフィルタ A, 二次排ガスフィルタ A

据付場所 (m)	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	最高使用圧力 (kPa)
排ガス処理室 (5F G.L. +22.2)	$C_H=0.68$	—	-10.7

(4) 一次排ガスフィルタ B, 二次排ガスフィルタ B

据付場所 (m)	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	最高使用圧力 (kPa)
排ガス処理室 (5F G.L. +28.7)	$C_H=0.85$	—	-10.7

2.6.10 評価結果

地震力による応力計算結果より,各部材に生じる応力が許容応力以下であることを確認した。(表-7)

表-7 プレフィルタ,一次排ガスフィルタ及び二次排ガスフィルタの応力評価結果

機器名称	部材	材料	応力の種類		算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
プレフィルタ A	胴板	SS400	一次一般膜		$\sigma_0=7$	$S_a=181$
			一次		$\sigma_1=69$	
	脚	SS400	組合せ		$\sigma_s=7$	$f_t=173$
	基礎ボルト	SS400	引張	長手方向	$\sigma_{b1}=17$	$f_{ts}=123$
				横方向	$\sigma_{b2}=13$	
			せん断	長手方向	$\tau_{b1}=37$	$f_{sb}=99$
横方向				$\tau_{b2}=20$		
プレフィルタ B	胴板	SS400	一次一般膜		$\sigma_0=8$	$S_a=181$
			一次		$\sigma_1=81$	
	脚	SS400	組合せ		$\sigma_s=9$	$f_t=173$
	取付ボルト	SS400	引張	長手方向	$\sigma_{b1}=28$	$f_{ts}=109$
				横方向	$\sigma_{b2}=19$	
			せん断	長手方向	$\tau_{b1}=46$	$f_{sb}=99$
横方向				$\tau_{b2}=25$		
二次排ガスフィルタ A	胴板	SS400	一次一般膜		$\sigma_0=9$	$S_a=181$
			一次		$\sigma_1=66$	
	脚	SS400	組合せ		$\sigma_s=9$	$f_t=173$
	基礎ボルト	SS400	引張	長手方向	$\sigma_{b1}=27$	$f_{ts}=111$
				横方向	$\sigma_{b2}=17$	
			せん断	長手方向	$\tau_{b1}=45$	$f_{sb}=99$
横方向				$\tau_{b2}=27$		
二次排ガスフィルタ B	胴板	SS400	一次一般膜		$\sigma_0=9$	$S_a=181$
			一次		$\sigma_1=76$	
	脚	SS400	組合せ		$\sigma_s=11$	$f_t=173$
	取付ボルト	SS400	引張	長手方向	$\sigma_{b1}=39$	$f_{ts}=94$
				横方向	$\sigma_{b2}=25$	
			せん断	長手方向	$\tau_{b1}=55$	$f_{sb}=99$
横方向				$\tau_{b2}=33$		

2.7 焼却炉室機器共通架台

2.7.1 計算条件

- (1) 焼却炉室機器共通架台は，基礎ボルトで基礎に固定する。
- (2) 固有振動解析した結果，1次固有振動数が20Hz未満の場合，共振のおそれのあるものとして，弾性設計用地震動 S_d の1/2倍を用いた地震力を考慮する。

2.7.2 記号の説明

記号	記号の説明	単位
C_{Hx}	水平 x 方向設計震度	—
C_{Hy}	水平 y 方向設計震度	—
C_v	鉛直方向設計震度	—
σ_b	ボルト1本あたりに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルト1本あたりに生じるせん断応力	MPa
F_b	ボルト1本あたりに生じる引張力	N
Q_b	ボルト1本あたりに生じるせん断力	N
A	ボルトの断面積	mm ²
σ_c	平均圧縮応力	MPa
${}_c\sigma_b$	圧縮側曲げ応力	MPa
${}_t\sigma_b$	引張側曲げ応力	MPa
f_c	圧縮力のみを受ける架台の許容圧縮応力	MPa
f_b	曲げ力のみを受ける架台の許容曲げ応力	MPa
f_t	引張力のみを受ける架台の許容引張応力	MPa

2.7.3 計算方法

固有周期及び地震力による応力計算には、汎用構造解析プログラム ABAQUS を用いる。
 主な構造部材の応力評価箇所を図-42に示す。

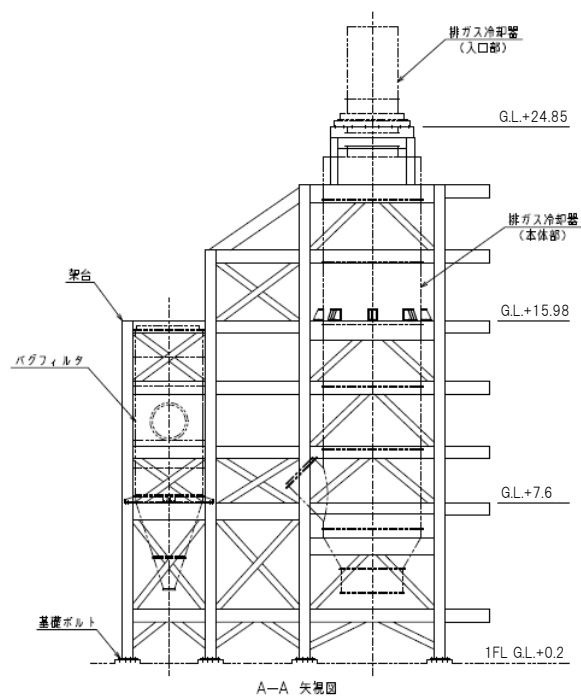
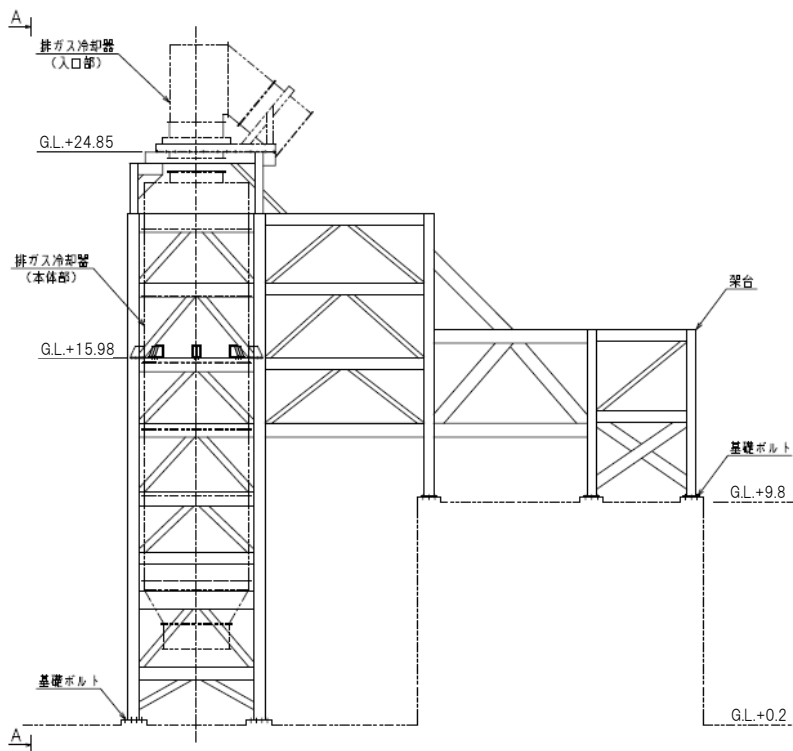


図-42 焼却炉室機器共通架台の応力評価箇所

2.7.4 設計条件

据付場所 (m)	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	最高使用圧力 (kPa)
焼却炉室 (G. L. +0.2, G. L. +9.8)	$C_{Hx}=1.26$ $C_{Hy}=1.23$	$C_v=0.41$	—

2.7.5 評価結果

解析で求めた各部材に生じる応力が許容応力以下であることを確認した。(表-8)

表-8 焼却炉室機器共通架台の応力評価結果

部材	材料	応力の種類	算出結果 (MPa)	許容応力 (MPa)
架台	SS400	組合せ	169	173
		圧縮と曲げの 組合せ	$\frac{ \sigma_c }{1.5f_c} + \frac{ c\sigma_b }{1.5f_b} \leq 1, \frac{ t\sigma_b - \sigma_c }{1.5f_t} \leq 1$	
			0.97 (無次元)	
基礎ボルト	SNB7	引張	420	562
		せん断	86	324

なお、ボルトに生じる応力については、解析により求められた引張力 F_b 、せん断力 Q_b より、以下の算出式によって求められる。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A}, \quad \tau_b = \frac{Q_b}{A}$$

2.8 排ガス処理室機器共通架台

2.8.1 計算条件

- (1) 排ガス処理室機器共通架台は，取付ボルトで建屋内の構造物に固定する。
- (2) 固有振動解析した結果，1次固有振動数が20Hz未満の場合，共振のおそれのあるものとして，弾性設計用地震動 S_d の1/2倍を用いた地震力を考慮する。

2.8.2 記号の説明

記号	記号の説明	単位
C_{Hx}	水平 x 方向設計震度	—
C_{Hy}	水平 y 方向設計震度	—
C_v	鉛直方向設計震度	—
σ_b	ボルト1本あたりに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルト1本あたりに生じるせん断応力	MPa
F_b	ボルト1本あたりに生じる引張力	N
Q_b	ボルト1本あたりに生じるせん断力	N
A	ボルトの断面積	mm ²
σ_c	平均圧縮応力	MPa
${}_c\sigma_b$	圧縮側曲げ応力	MPa
${}_t\sigma_b$	引張側曲げ応力	MPa
f_c	圧縮力のみを受ける架台の許容圧縮応力	MPa
f_b	曲げ力のみを受ける架台の許容曲げ応力	MPa
f_t	引張力のみを受ける架台の許容引張応力	MPa

2.8.3 計算方法

固有周期及び地震力による応力計算には、汎用構造解析プログラム ABAQUS を用いる。
 主な構造部材の応力評価箇所を図-43に示す。

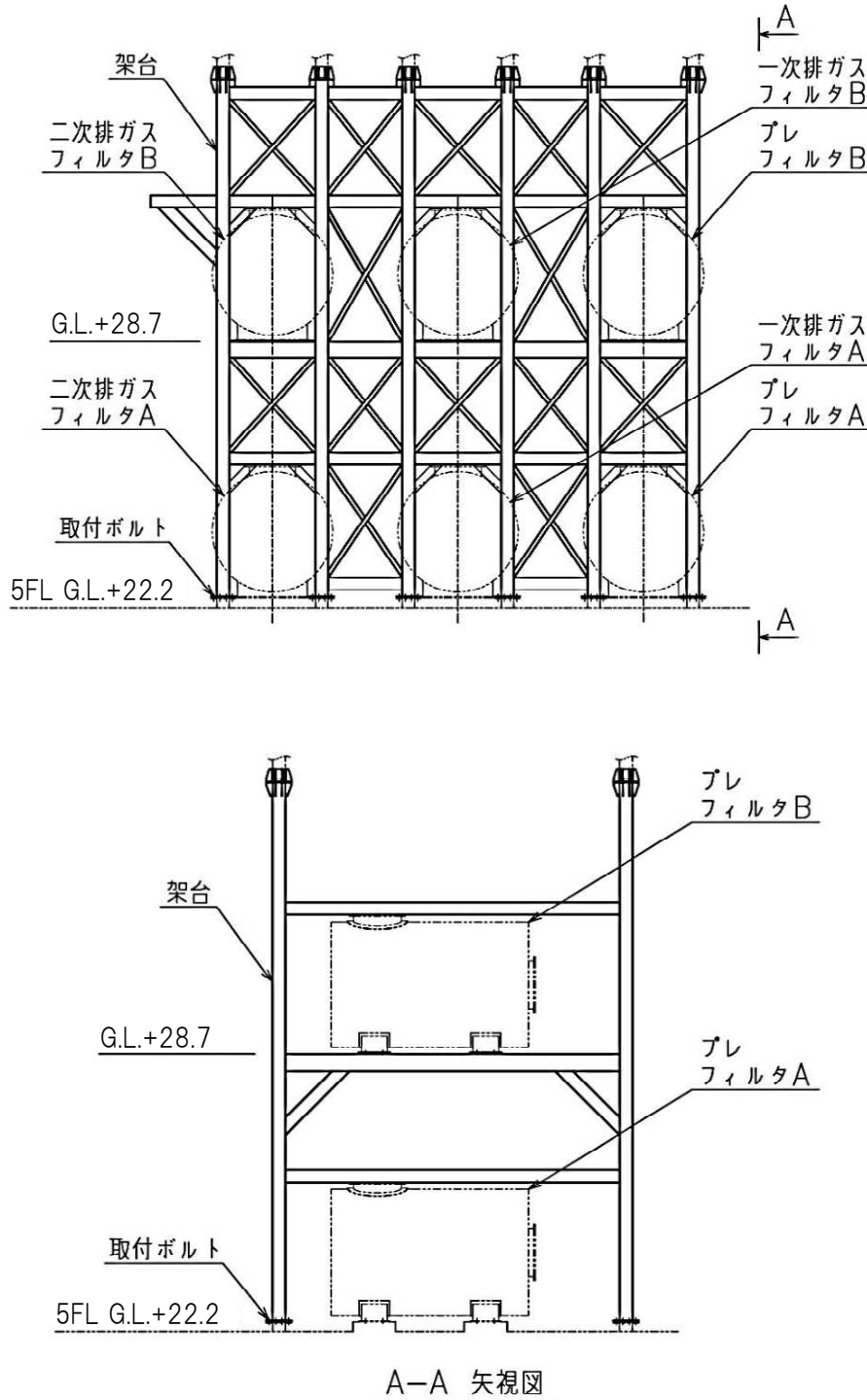


図-43 排ガス処理室機器共通架台の応力評価箇所

2.8.4 設計条件

据付場所 (m)	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	最高使用圧力 (kPa)
排ガス処理室 (G. L. +22. 2)	$C_{Hx}=1.74$ $C_{Hy}=0.88$	$C_v=0.54$	—

2.8.5 評価結果

解析で求めた各部材に生じる応力が許容応力以下であることを確認した。(表-9)

表-9 排ガス処理室機器共通架台の応力評価結果

部材	材料	応力の種類	算出結果 (MPa)	許容応力 (MPa)
架台	SS400	組合せ	170	173
		圧縮と曲げの 組合せ	$\frac{ \sigma_c }{1.5f_c} + \frac{ \sigma_b }{1.5f_b} \leq 1, \frac{ \sigma_b - \sigma_c }{1.5f_t} \leq 1$	
			0.98 (無次元)	
取付ボルト	SNB7	引張	233	562
		せん断	20	324



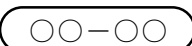

なお、ボルトに生じる応力については、解析により求められた引張力 F_b 、せん断力 Q_b より、以下の算出式によって求められる。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A}, \quad \tau_b = \frac{Q_b}{A}$$

2.9 煙道

煙道における解析範囲は、排ガス冷却器から二次排ガスフィルタまでの煙道である。解析範囲の概略系統図を図-44、45に示す。

概略系統図記号凡例

記号	内容
 (太線)	評価対象範囲
 (点線)	評価対象範囲外
	鳥瞰図記号
	アンカ

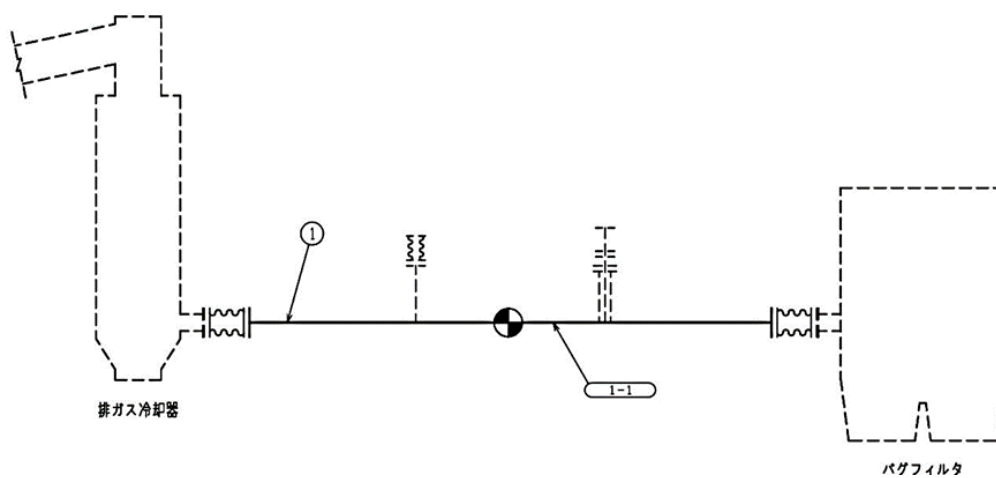


図-44 概略系統図（排ガス冷却器からバグフィルタまでの煙道）

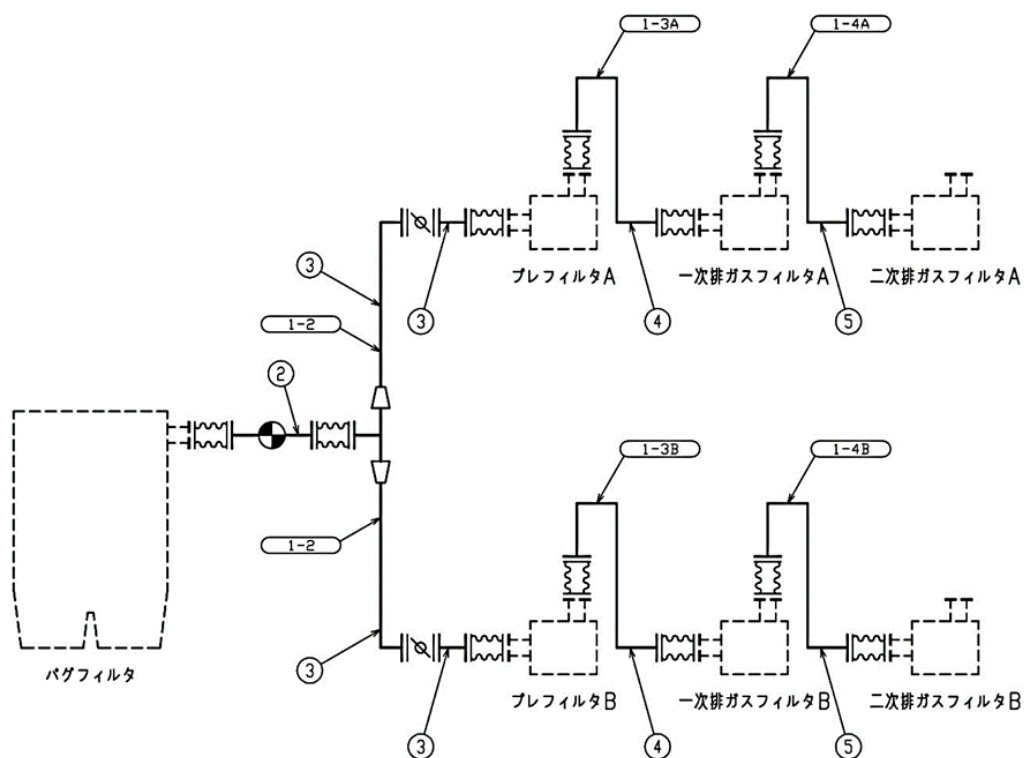


図-45 概略系統図（バグフィルタから二次排ガスフィルタまでの煙道）

2.9.1 計算条件

- (1) 煙道は、アンカ及びレストレイントにより支持される。
- (2) 固有振動解析した結果、1次固有振動数が20Hz未満の場合、共振のおそれのあるものとして、弾性設計用地震動 S_d の1/2倍を用いた地震力を考慮する。

2.9.2 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$S_{pr m}$	一次応力	MPa
$S P_m$	内圧応力	MPa
$S M_a$	自重応力	MPa
$S M_b$	地震応力	MPa

2.9.3 計算方法

固有周期及び地震力による応力計算には、計算機コード AutoPIPE を用いる。解析範囲における設計条件を表-10に示す。

表-10 設計条件

解析範囲	排ガス冷却器から 二次排ガスフィルタまでの煙道			
	No.	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料
	①	1524.0	12.0	SS400
	②	1524.0	12.0	SS400
	③	1117.6	12.0	SS400
	④	1117.6	12.0	SS400
	⑤	1117.6	12.0	SS400

2.9.4 設計震度

鳥瞰図 方向	水 平		鉛 直
	X	Z	Y
1-1	0.75	0.75	0.50
1-2	0.76	0.98	0.60
1-3A	1.65	1.60	0.53
1-3B	1.65	1.60	0.53
1-4A	1.66	1.61	0.53
1-4B	1.66	1.61	0.53

2.9.5 評価結果

解析により応力成分を算出し、次式より求めた応力が許容応力以下であることを確認した。

(表-11)

$$S_{p r m} = S P_m + S M_a + S M_b$$

表-11 煙道の応力評価結果

鳥瞰図	最大応力 評価点	一次応力 (MPa)	
		算出応力	許容応力
1-1	10	24	181
1-2	5	33	181
1-3A	16	40	181
1-3B	16	40	181
1-4A	16	41	181
1-4B	16	41	181

増設雑固体廃棄物焼却設備の強度に関する説明書

1. 基本方針

1.1 強度評価の基本方針

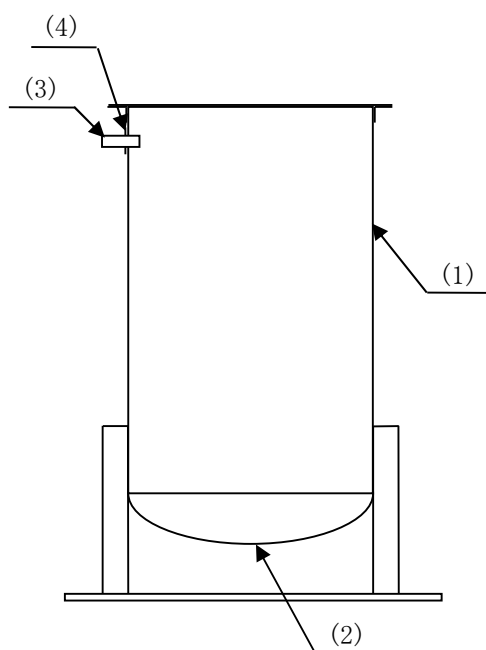
増設雑固体廃棄物焼却設備を構成する機器のうち、「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令」において、クラス3に位置付けられる機器は、「設計・建設規格」に準拠した評価を行う。

2. 強度評価

2.1 建屋ドレンサンプタンク

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 建屋ドレンサンプタンク概要図

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. 胴の規格上必要な最小厚さ： t_1

炭素鋼鋼板または低合金鋼鋼板で作られたもの場合は3mm, その他の材料で作られたもの場合は1.5mmとする。

b. 胴の計算上必要な厚さ： t_2

$$t_2 = \frac{D_i \cdot H \cdot \rho}{0.204 \cdot S \cdot \eta}$$

D_i	: 胴の内径 (m)
H	: 水頭 (m)
ρ	: 液体の比重 (—)
S	: 許容引張応力 (MPa)
η	: 継手効率 (—)

(2) 底板の厚さの評価

底板に必要な厚さは、次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

a. 鏡板の計算上必要な厚さ： t_1

$$t_1 = \frac{P \cdot R \cdot W}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P}$$

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 (—)
r	: 鏡板のすみの丸みの内半径 (mm)

$$\text{ただし, } W = \frac{1}{4} \cdot \left(3 + \sqrt{\frac{R}{r}} \right)$$

b. 鏡板のフランジ部の計算上必要な厚さ： t_2

$$t_2 = \frac{P \cdot D_i}{2 \cdot S \cdot \eta - 1.2 \cdot P}$$

D_i	: 胴の内径 (mm)
S	: 許容引張応力 (MPa)
η	: 継手効率 (—)

(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

$$t_1 = \frac{D_i \cdot H \cdot \rho}{0.204 \cdot S \cdot \eta}$$

D_i	: 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 (—)

- b. 管台の規格上必要な最小厚さ： t_2

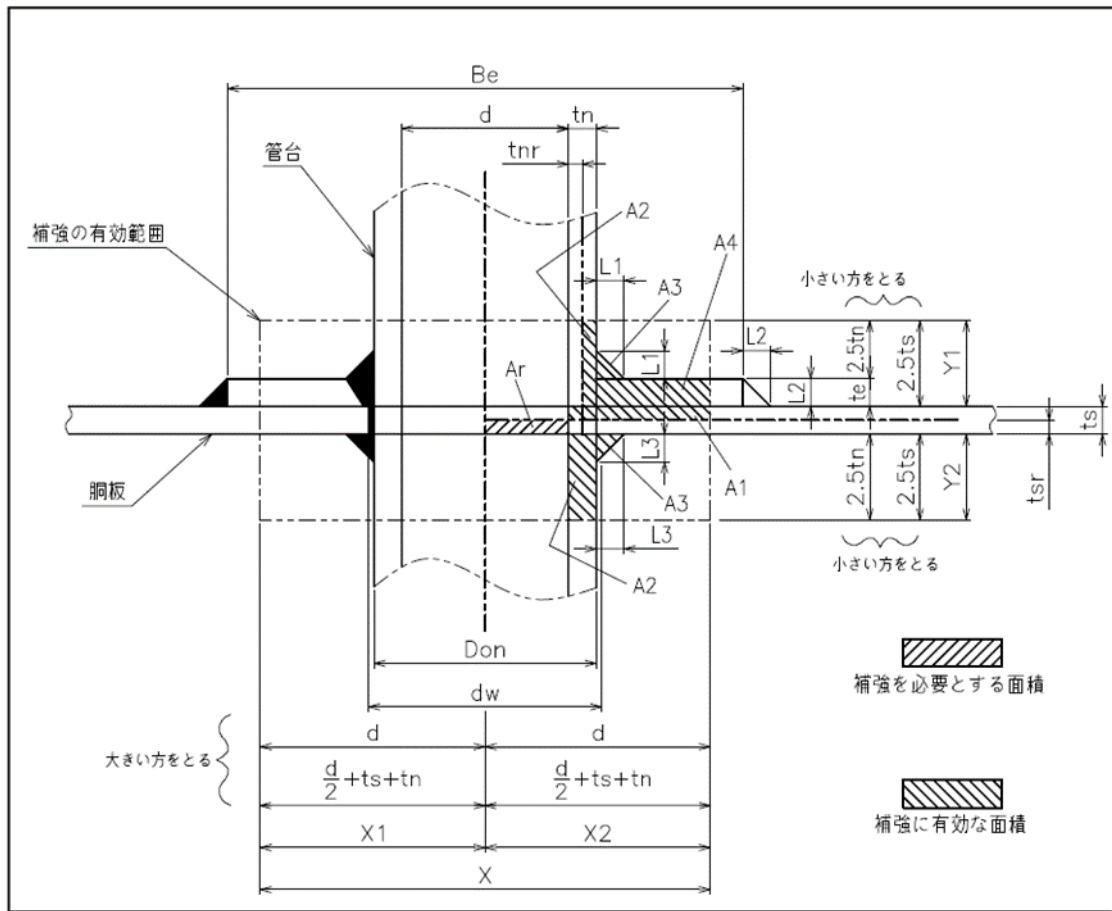
管台の外径に応じ、設計・建設規格 表 PVC-3980-1 より求めた管台の厚さとする。

(4) 開放タンクの穴の補強計算

開放タンクの胴板の穴が 85mm を超えるので、穴の補強計算を実施する。

- a. 補強に有効な範囲内にある補強に有効な総面積が、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)
- b. 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) 以下及び内径が 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、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。

補強の有効範囲



- | | |
|------------------------------|--|
| d : 胴の断面に現れる穴の径 (mm) | t_{nr} : 管台の計算上必要な厚さ (mm) |
| d_w : 管台が取り付く穴の径 (mm) | t_e : 強め板の最小厚さ (mm) |
| D_{on} : 管台の外径 (mm) | X, X_1, X_2, Y_1, Y_2 : 補強の有効範囲 (mm) |
| t_s : 胴の最小厚さ (mm) | L_1, L_2, L_3 : 溶接の脚長 (mm) |
| t_{sr} : 胴の計算上必要な最小厚さ (mm) | A_r : 穴の補強に必要な面積 (mm ²) |
| t_n : 管台の最小厚さ (mm) | A_1, A_2, A_3, A_4 : 補強に有効な面積 (mm ²) |
| B_e : 強め板の外径 (mm) | |

図-2 補強計算概念図

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ことを確認した。

表-1 建屋ドレンサンプタンクの評価結果 (板厚)

機器名称	評価部位	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
建屋ドレンサンプタンク	胴の厚さ	1.50	4.10
	底板の厚さ	0.23	4.60
	管台の厚さ	3.50	4.81

表-2 建屋ドレンサンプタンクの評価結果 (穴の補強)

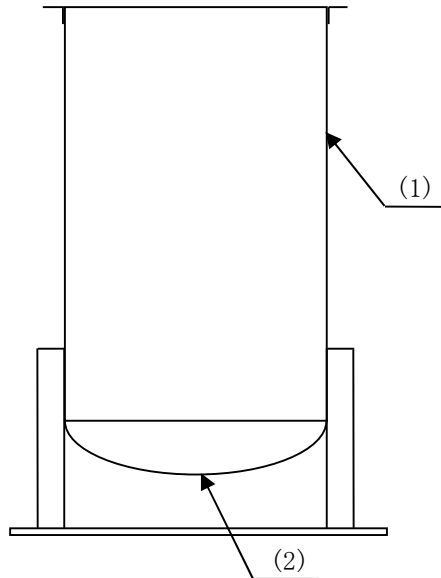
機器名称	評価部位	評価結果	
		穴の補強に必要な面積 (mm ²)	補強に有効な総面積 (mm ²)
建屋ドレンサンプタンク	胴板の穴	9.6	906.6
		補強を要する穴の限界径 (mm)	胴の断面に現れる穴の径 (mm)
		666.66	79.48
		溶接部の負うべき荷重 (N)	予想される破断箇所の強さ (N)
		-41802.5	—※

※ 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

2.2 サンプルタンク

2.2.1 評価箇所

強度評価箇所を図-3に示す。



図中の番号は、2.2.2の番号に対応する。

図-3 サンプルタンク概要図

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. 胴の規格上必要な最小厚さ： t_1

炭素鋼鋼板または低合金鋼鋼板で作られたもの場合は3mm，その他の材料で作られたもの場合は1.5mmとする。

b. 胴の計算上必要な厚さ： t_2

$$t_2 = \frac{D_i \cdot H \cdot \rho}{0.204 \cdot S \cdot \eta}$$

D_i	: 胴の内径 (m)
H	: 水頭 (m)
ρ	: 液体の比重 (—)
S	: 許容引張応力 (MPa)
η	: 継手効率 (—)

(2) 底板の厚さの評価

底板に必要な厚さは、次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

a. 鏡板の計算上必要な厚さ： t_1

$$t_1 = \frac{P \cdot R \cdot W}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P}$$

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 (-)
 r : 鏡板のすみの丸みの内半径 (mm)

ただし、 $W = \frac{1}{4} \cdot \left(3 + \sqrt{\frac{R}{r}} \right)$

b. 鏡板のフランジ部の計算上必要な厚さ： t_2

$$t_2 = \frac{P \cdot D_i}{2 \cdot S \cdot \eta - 1.2 \cdot P}$$

D_i : 胴の内径 (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。

表-3 サンプルタンクの評価結果

機器名称	評価部位	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
サンプルタンク	胴の厚さ	1.50	4.10
	底板の厚さ	0.23	4.60

2.3 主配管

2.3.1 評価箇所

強度評価箇所を図-4に示す。

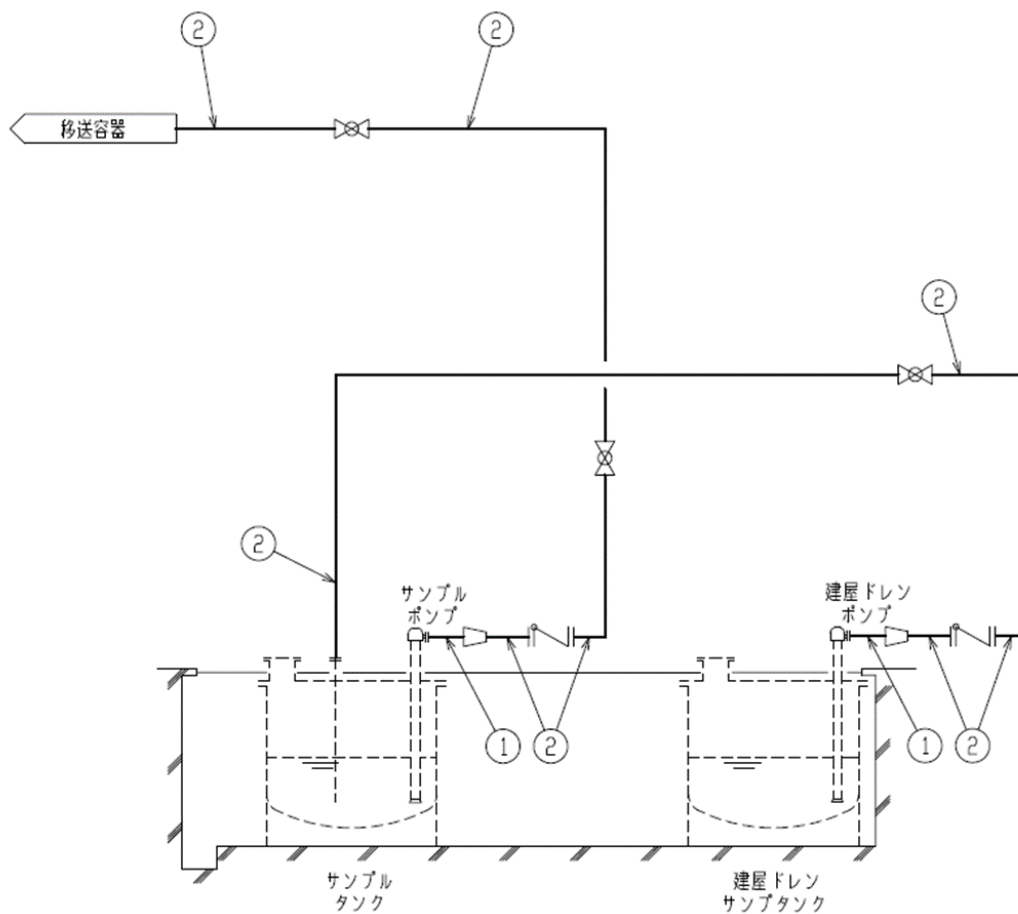


図-4 廃液処理設備 系統図

2.3.2 評価方法

(1) 管の厚さの評価

管の必要な厚さは、次に掲げる値以上とする。

a. 内面に圧力を受ける管の計算上必要な厚さ：t

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

P : 最高使用圧力 (MPa)
 D_o : 管の外径 (mm)
 S : 許容引張応力 (MPa)
 η : 継手効率 (-)

2.3.3 評価結果

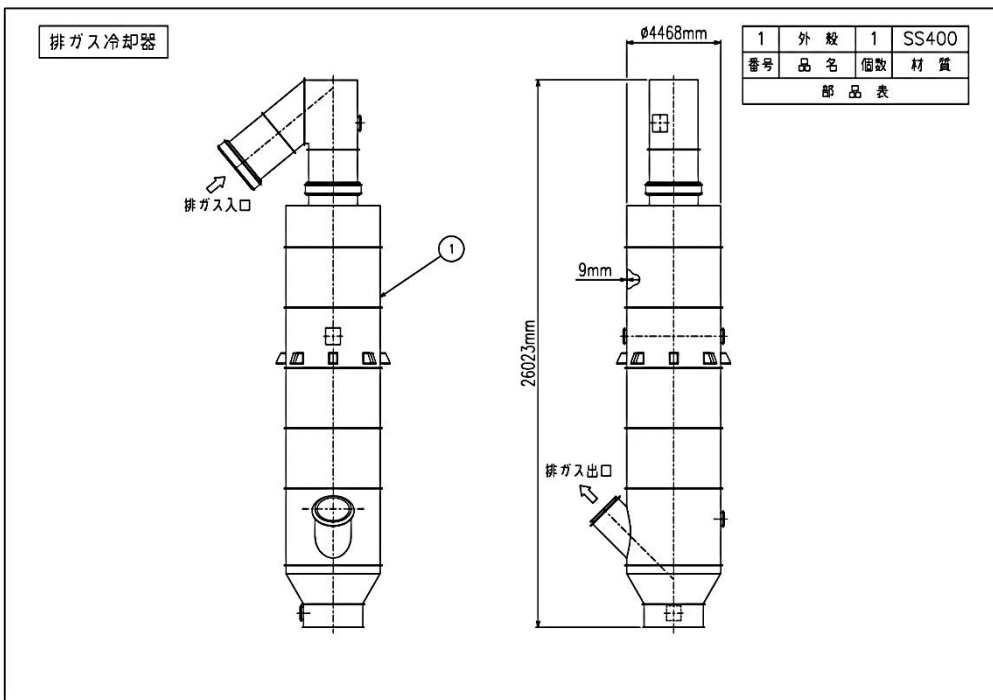
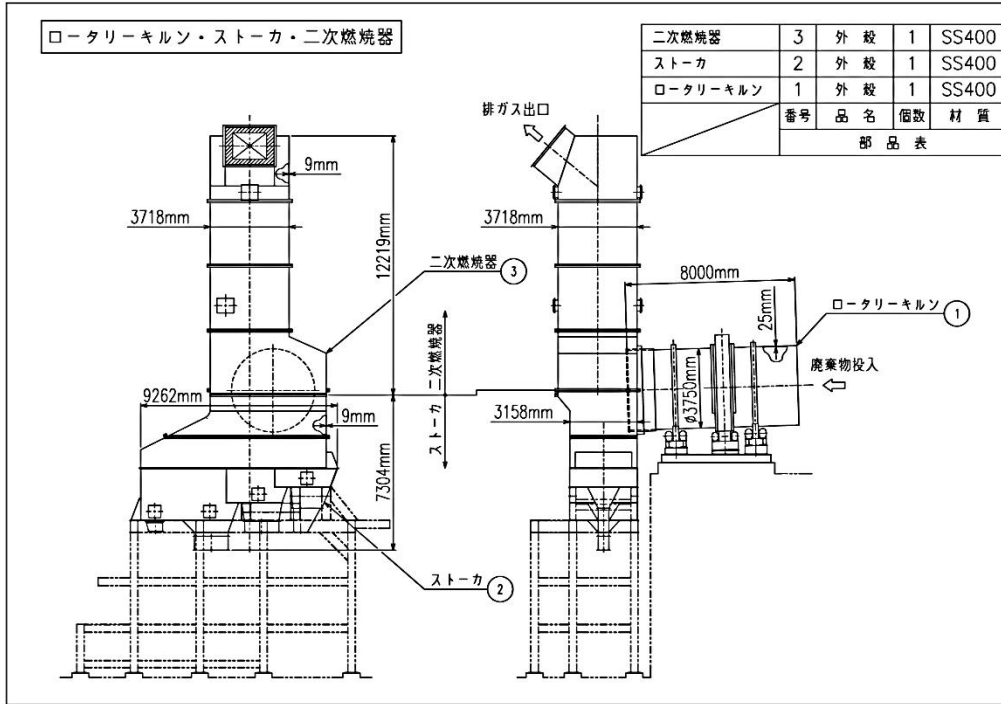
評価結果を表-4に示す。必要厚さを満足しており、十分な構造強度を有していることを確認した。

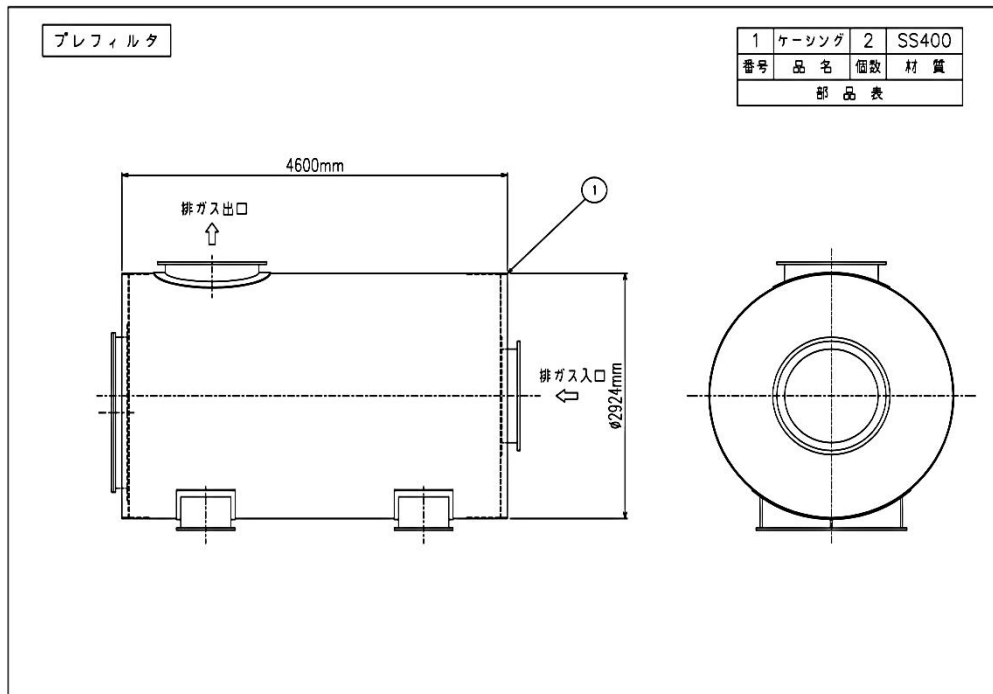
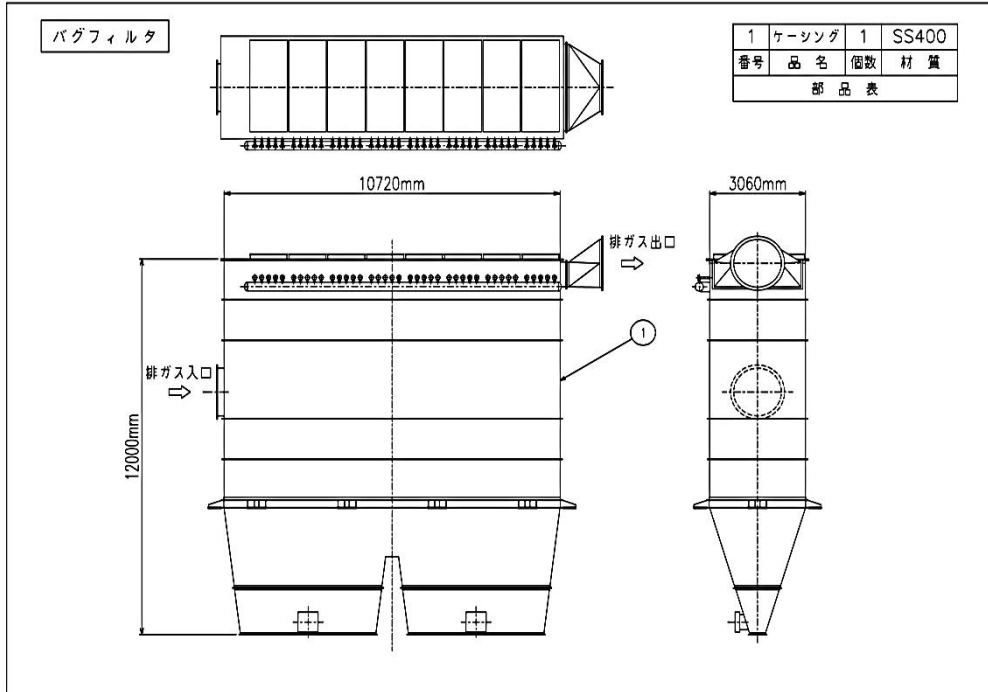
表-4 主配管の評価結果

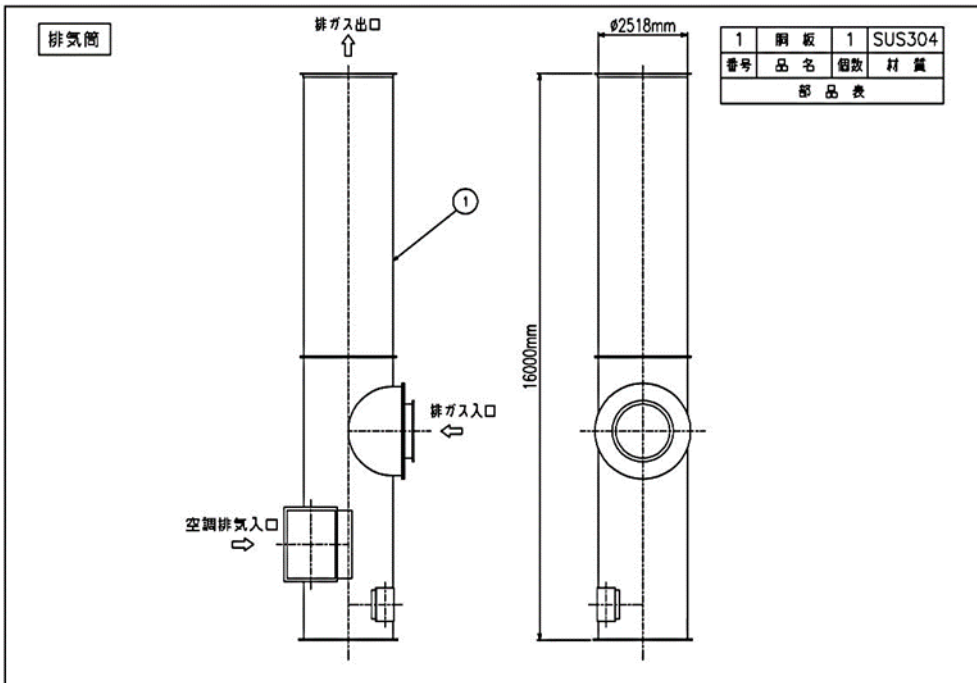
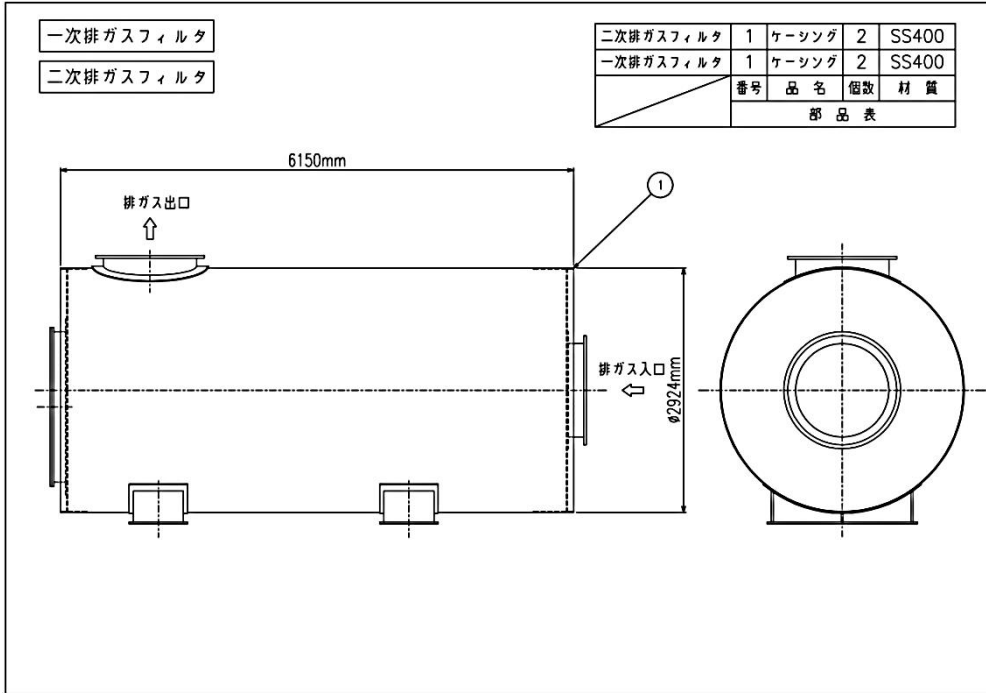
No.	外径 D _o (mm)	公称 厚さ (mm)	材 料	最高使用圧力 P (MPa)	最高使用 温 度 (°C)	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
①	48.6	3.7	SUS304TP	0.78	66	0.31	3.2
②	27.2	2.9	SUS304TP	0.78	66	0.18	2.4

増設雑固体廃棄物焼却設備に関する構造図

増設雑固体廃棄物焼却設備に関する構造図を以下に示す。

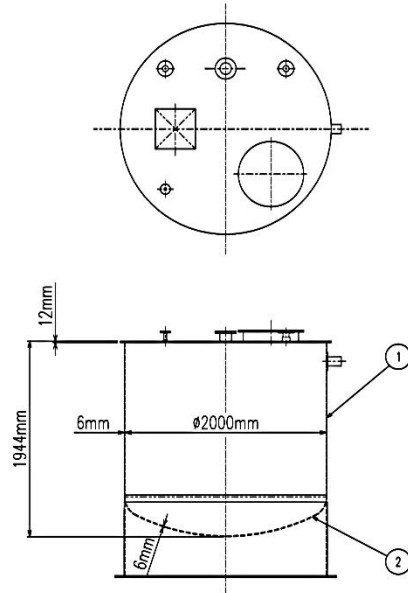






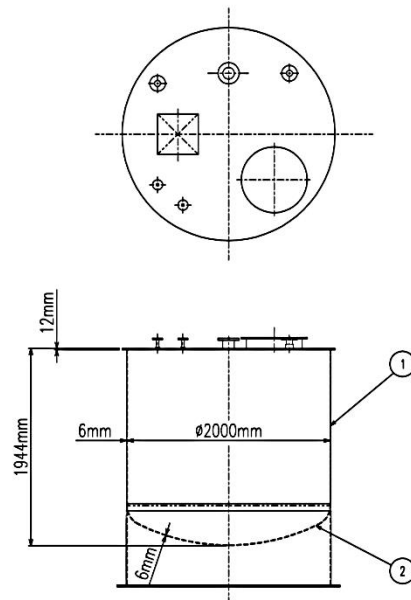
建屋ドレンサンプタンク

2	鏡板	1	SUS304
1	胴板	1	SUS304
番号	品名	個数	材質
部品表			

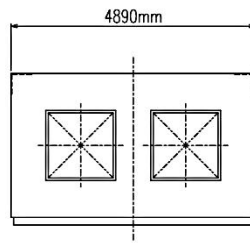
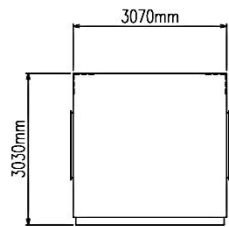
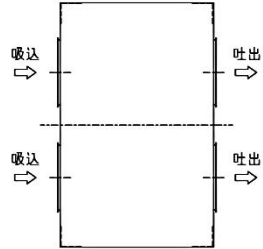


サンプルタンク

2	鏡板	1	SUS304
1	胴板	1	SUS304
番号	品名	個数	材質
部品表			



排気フィルタ



流体状の放射性廃棄物の施設外への漏えい防止能力についての計算書

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

放射性廃液を内包する容器からの漏えい事故が起きた場合、漏えい廃液は床ドレン受口より建屋ドレンサンプタンクに回収される。

廃液漏えい時には建屋ドレンサンプタンクの水位高の警報等により廃液の異常な漏えいが検知され、対処が可能である。

ここでは、放射性廃液を内包する容器に対し、廃液全量の漏えいを想定しても、施設内に留めることが可能であることを確認した。

容器設置区画に廃液が全量流出した場合の評価を表-1に示し、容器設置区画以外の箇所における当該容器のポンプ移送配管から廃液が全量流出した場合の評価を表-2に示す。

表-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（容器設置区画における漏えい）

容器名称	設置場所		容器容量 (m ³)	漏えい想定区 画内床面積*1 (m ²)	基礎・機器 断面積*2 (m ²)	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/ (②-③) ×100	⑤	
建屋ドレンサフ ^o タンク	増設焼却炉 建屋	G. L. -3.9	4.5	(ドレンサフ室) 40.1	10.0	15.0	30 以上	容器設置区画の拡大 防止堰の高さは、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、 漏えいの拡大を防止 できる。
サンプルタンク	同上	G. L. -3.9	4.5			15.0	30 以上	

注記*1 : 漏えい想定区画内の内のり面積

*2 : 当該容器設置区画内に設置される基礎及び機器断面積を減じて、床面積を補正する。

添付資料-20 では、G. L. ±0m= T. P. 32. 2m^(※)とする。
 (※) 構内基準点(2014. 3 測量)からの実測値に基づき設定している。

表-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（容器設置区画以外の箇所における漏えい）

容器名称	設置場所		容器容量 (m ³)	漏えい想定区 画内床面積 ^{*1} (m ²)	基礎・機器 断面積 ^{*2} (m ²)	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/ (②-③) ×100	⑤	
建屋トレンサップタンク ^{*3}	増設焼却炉 建屋	G. L. -3.9	4.5	(トレンサップ室等) 100.0	10.0	5.0	5以上	漏えい想定区画の拡大防止堰の高さは、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、漏えいの拡大を防止できる。
サンプルタンク ^{*3}		同上	G. L. -3.9			4.5	5.0	
スプレー水タンク ^{*3}	同上	G. L. +0.2	36	(焼却炉室等) 1577.6	41.9	2.4	5以上	同上
排水タンク ^{*3}	同上	G. L. +14.2	30	(排気室等) 1358.1	129.8	2.5	5以上	同上
冷却水タンク ^{*3}	同上	G. L. +14.2	20			1.7	5以上	同上

注記*1 : 漏えい想定区画内の内り面積

*2 : 漏えい想定区画内に設置される基礎及び機器断面積を減じて、床面積を補正する。

*3 : ここでは当該容器のポンプ移送配管からの漏えいを想定。

2. 床及び壁の塗装

2.1 塗装の耐水性

床、壁及びドレンタンク室は耐水性エポキシ樹脂を使用して塗装することにより耐水性を確保する。

2.2 塗装の範囲

本施設内に設置する放射性廃液を内包する容器は図-1に示すように設置される区画の堰内に設置し、容器からの漏えい廃液を堰内に留めることを可能にする。塗装範囲は、当該容器設置区画の床、堰及び床面から堰の高さ以上までの壁面とする。

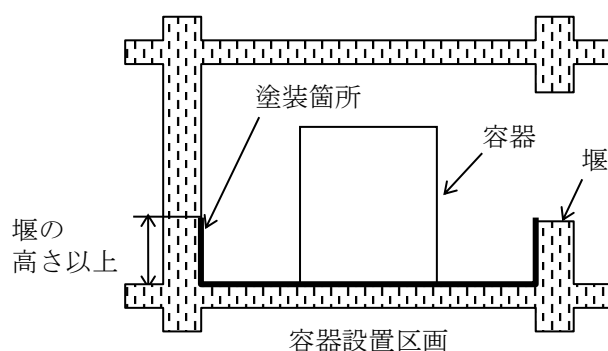


図-1 放射性廃液を内包する容器の配置の概念図

また、容器設置区画外における配管からの漏えいを考慮し、本施設の施設外への漏えいを防止するための堰の配置及び塗装を実施する。本施設の施設外への漏えいを防止するための堰の配置及び建屋内の塗装範囲を図-2～3に示す。

3. 配管、電気配線及び空調ダクトの貫通部

3.1 配管

放射性廃液を内包する容器が設置される区画の貫通部は原則として、壁については堰の高さ以上に設け、床については堰の高さ以上までスリーブを立ち上げる。やむを得ず堰の高さ未満となる場合には図-4に示すように防水処置を施す。

上記以外の管理区域内の貫通部についても原則として、壁については基準床面より10cm以上の高さに設け、床については基準床面より10cm以上の高さまでスリーブを立ち上げる。やむを得ずこれ未満となる場合には防水処置を施す。

3.2 電気配線

(1) ケーブルトレイ

放射性廃液を内包する容器が設置される区画の貫通部は原則として図-5に示すように、壁については堰の高さ以上に設け、床については貫通部を設けない。

上記以外の管理区域内の貫通部についても、壁については基準床面より 10cm 以上の高さに設け、床については貫通部の廻りに基準床面より 10cm 以上の高さのカーブを設ける。

(2) 電線管

放射性廃液を内包する容器が設置される区画の貫通部は原則として図-5 に示すように、壁については堰の高さ以上に設け、床については貫通部を設けない。

上記以外の管理区域内の貫通部についても、壁については基準床面より 10cm 以上の高さに設け、床については電線管の接続部が基準床面より 10cm 以上の高さにする。

3.3 空調ダクト

放射性廃液を内包する容器が設置される区画の貫通部は原則として、壁については堰の高さ以上に設け、床については貫通部の廻りに堰の高さ以上のカーブを設ける。やむを得ず堰の高さ未満となる場合には図-6 に示すように防水処置を施す。

上記以外の管理区域内の貫通部についても原則として、壁については基準床面より 10cm 以上の高さに設け、床については基準床面より 10cm 以上の高さのカーブを設ける。やむを得ず基準床面より 10cm 未満の高さとなる場合には防水処置を施す。

4. 建屋ドレンサンプタンク、サンプルタンク及び配管

4.1 漏えい防止を考慮した材料

液体廃棄物を内包する建屋ドレンサンプタンク、サンプルタンク及び配管は、万一腐食性物質が混入する可能性を考慮して、耐食性のあるステンレス鋼とする。

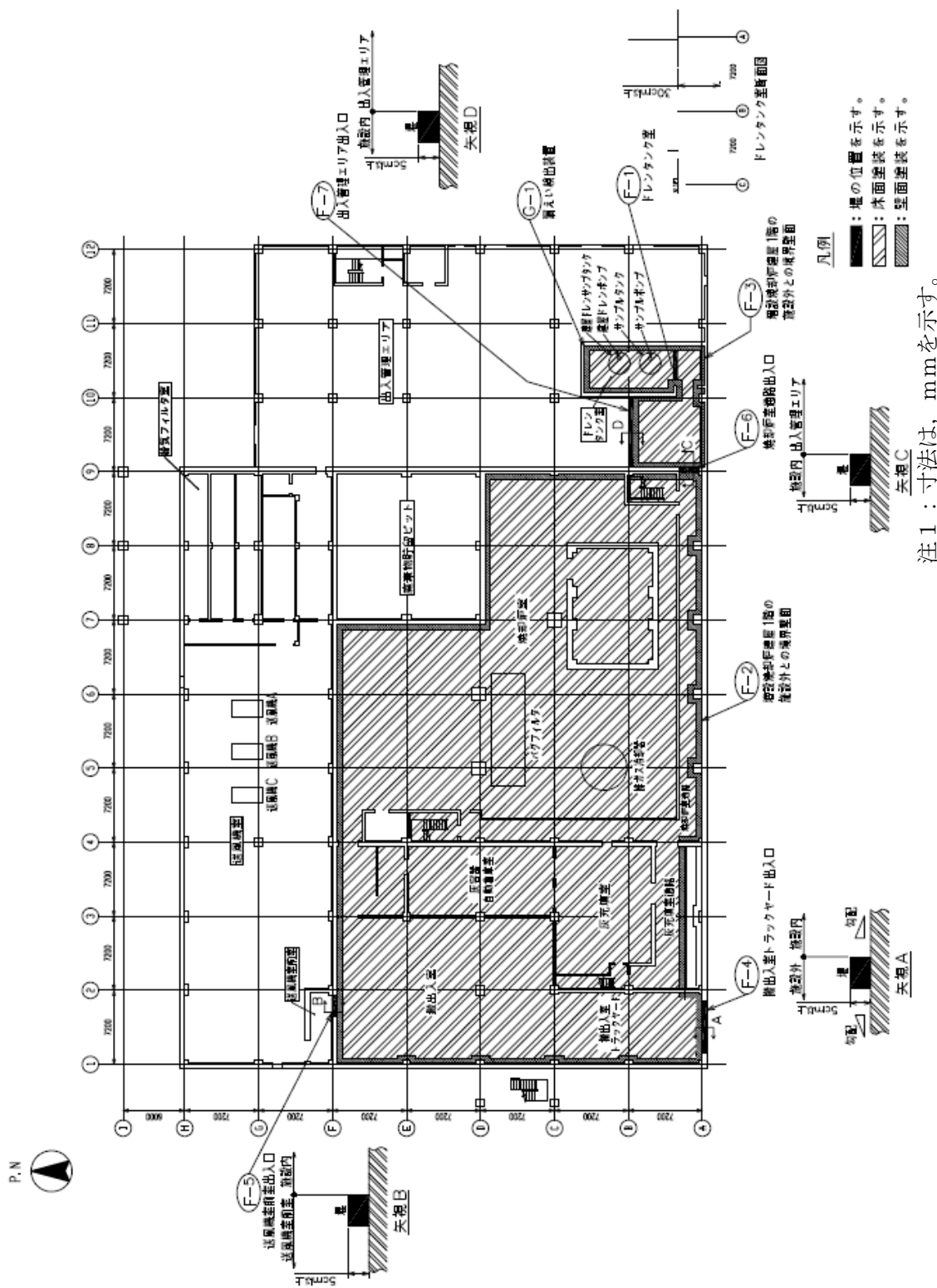
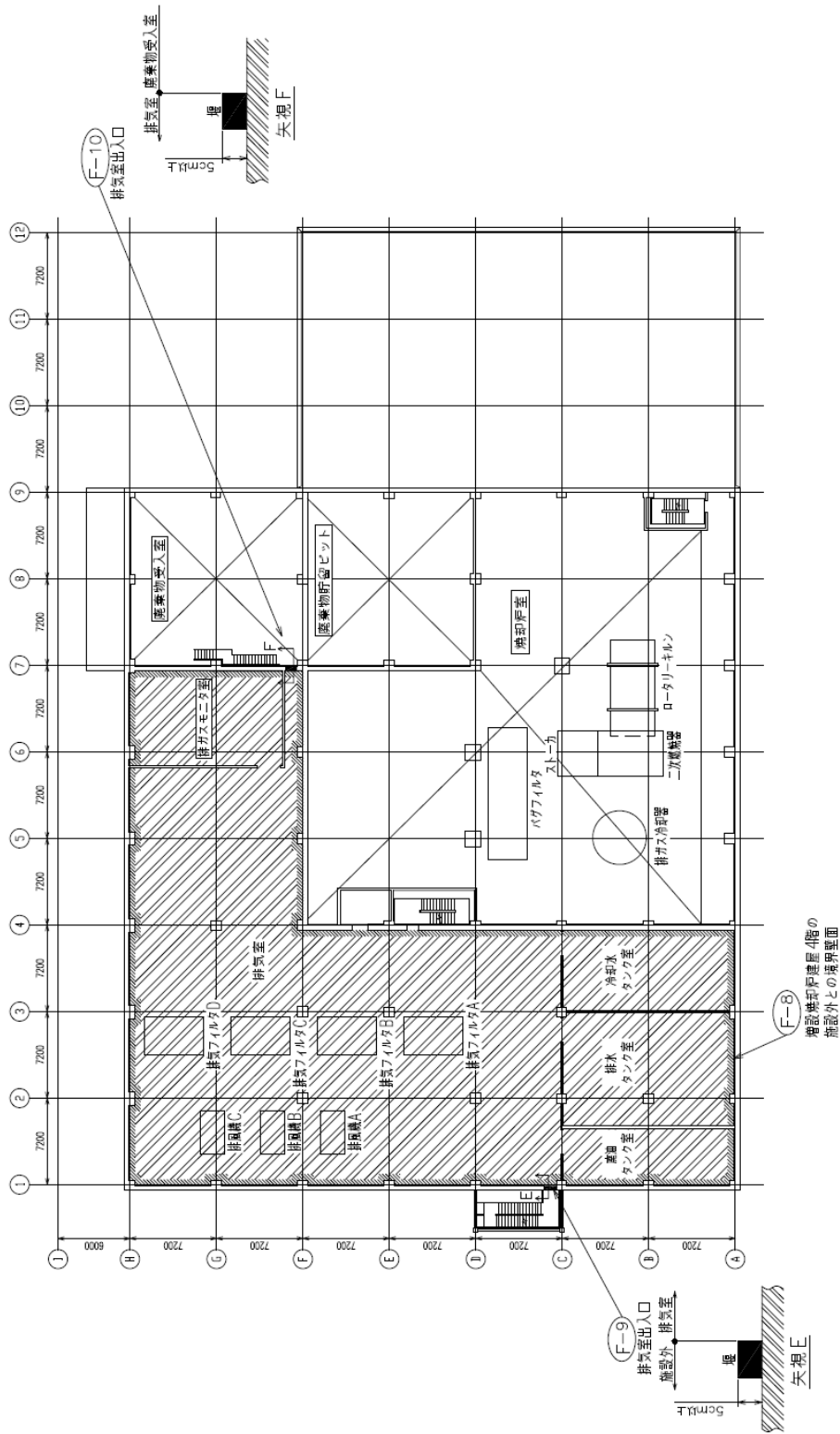


図-2 堰その他設備の構造の概要を明示した図面 (1階)

P.N



凡例

- : 堰の位置を示す。
- : 床面塗装を示す。
- : 壁面塗装を示す。

注 1 : 寸法は、mmを示す。

図-3 堰その他設備の構造の概要を明示した図面 (4階)

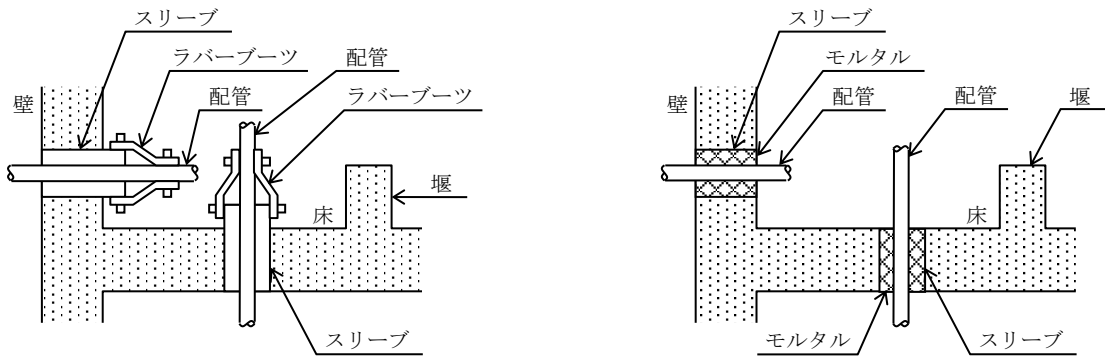


図-4 配管貫通部構造図例（堰の高さ未満の場合）

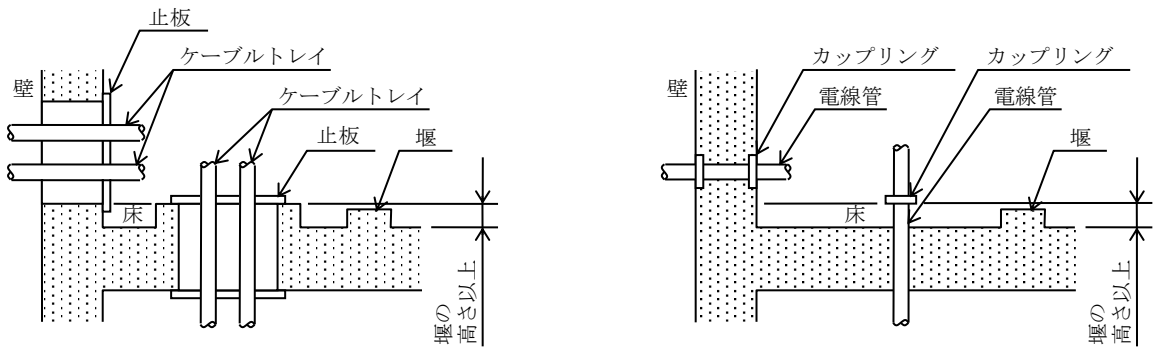


図-5 電気配線貫通部構造図例（ケーブルトレイ及び電線管）

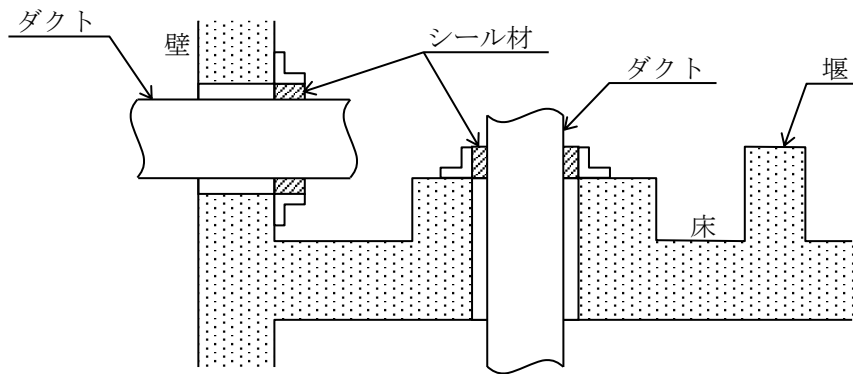


図-6 空調ダクト貫通部構造図例（堰の高さ未満の場合）

流体状の放射性廃棄物の漏えいの検出装置及び自動警報装置の構成に関する説明書

1. 流体状の放射性廃棄物の漏えい検出について

放射性廃液を内包する容器からの漏えい事故が起きた場合、漏えい廃液は漏えい防止堰内に留められ、床ドレン受口より建屋ドレンサンプタンクに回収される。

このため、以下に示す漏えい検出器によって放射性廃液が著しく漏えいする恐れを確実に検出する。

1.1 ドレンタンク室の漏えい検出器について

ドレンタンク室の漏えいを検出するために、ドレンタンク室内に電極式レベルスイッチを設置する。

電極式レベルスイッチは、導電性の液体が電極に接触すると電流が流れることにより、水位を検知するものである。ドレンタンク室の液位が上昇すると検出用電極間に電流が流れ、これをリレーで検出し、警報表示を行う。

漏えい検出器はドレンタンク室の集水ます底面より 20mm 以上で作動する。なお、作動液位以上の液位においては警報状態を継続する。

警報設定値をドレンタンク室の集水ます底面より 20mm に設定した場合には約 0.002m³ の漏えいで検出可能である。ドレンタンク室の漏えい検出器の概念を図-1 に示す。

1.2 建屋ドレンサンプタンク及びサンプルタンクの液位検出について

放射性廃液を内包する容器から漏えいが生じた場合、漏えい廃液は床ドレン受口より建屋ドレンサンプタンクへ導かれる。

また、建屋ドレンサンプタンクよりドレンを移送する場合はサンプルタンクに移送する。

建屋ドレンサンプタンク及びサンプルタンクには液位検出器を設置し、増設焼却炉建屋の制御室で監視可能である。

建屋ドレンサンプタンク及びサンプルタンクの液位が、設定液位を超えて異常上昇する場合は警報表示を行う。なお、作動液位以上の液位では動作状態を継続する。

建屋ドレンサンプタンク及びサンプルタンク液位検出器の概念を図-2 に示す。

2. 警報について

ドレンタンク室の漏えい検出及び建屋ドレンサンプタンク及びサンプルタンクの液位検出による警報表示は、増設焼却炉建屋の制御室に警報表示を行う。

なお、警報表示は点滅表示及び音によって行い、原因解除後の警報リセット操作にて復帰を行う。警報表示内容及び警報表示場所を表-1 に示す。

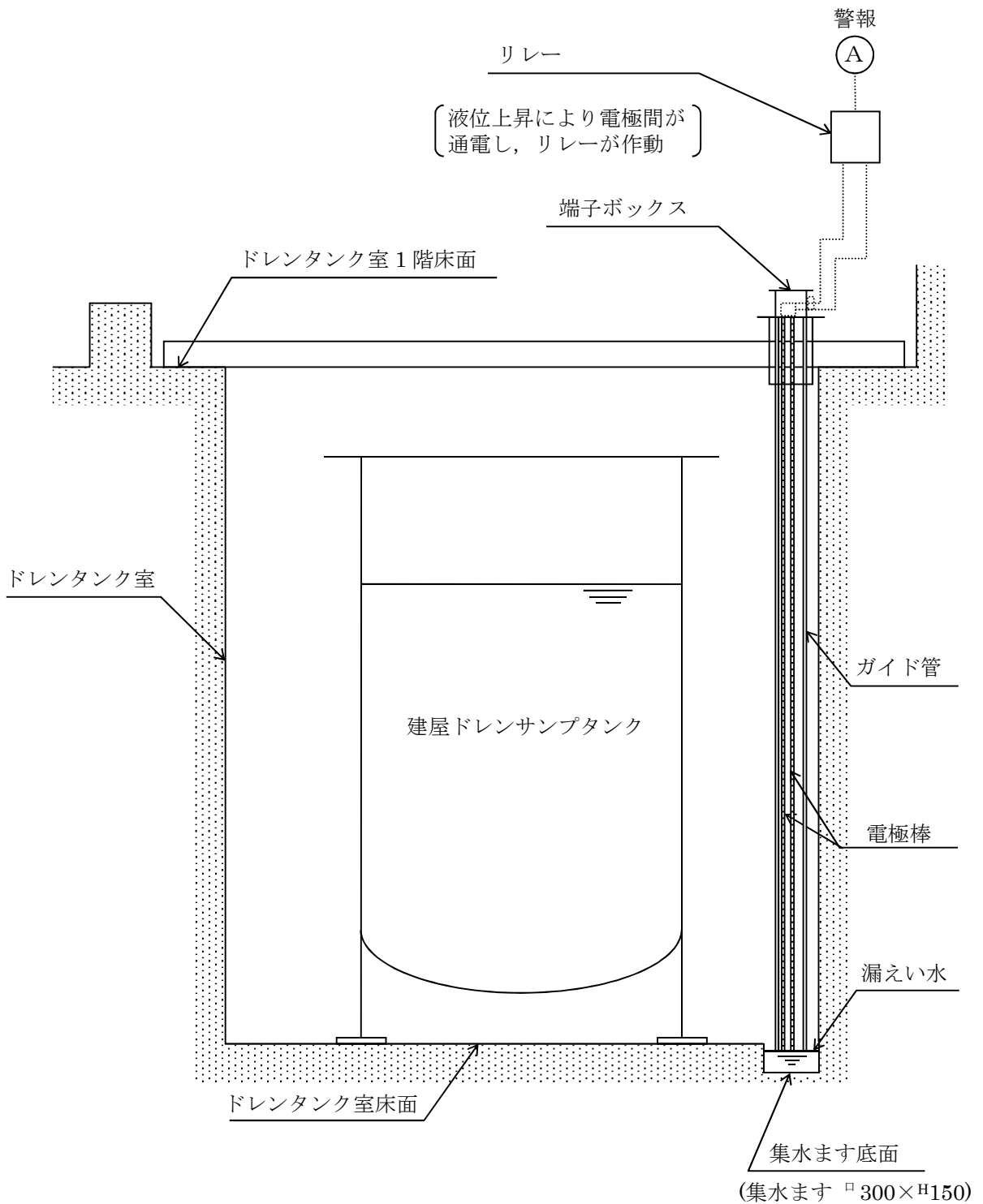


図-1 ドレンタンク室の漏えい検出器の概念図
(電極式レベルスイッチ)

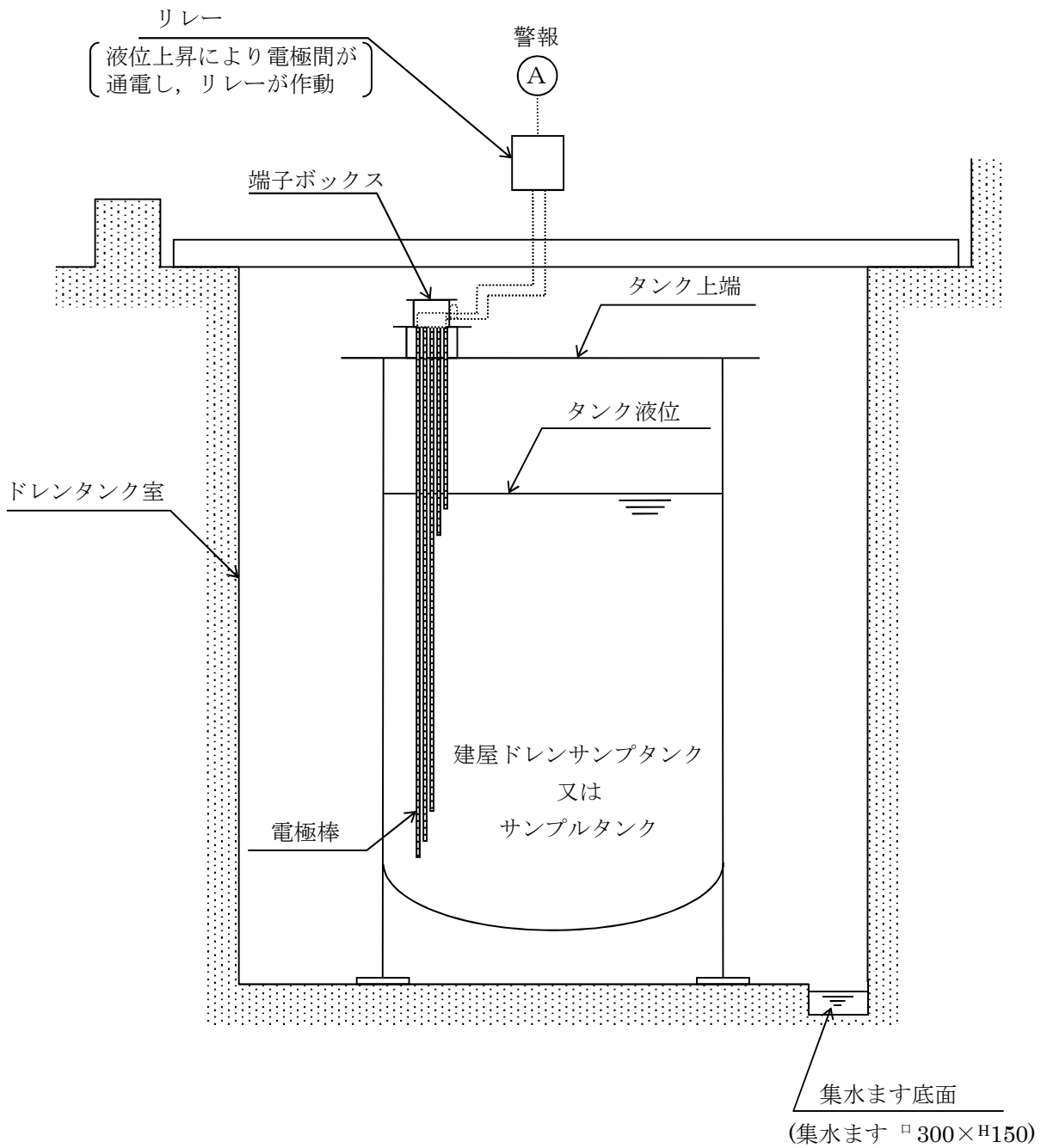


図-2 建屋ドレンサンプタンク、サンプルタンクの液位検出器の概念図
(電極式レベルスイッチ)

表－1 警報表示内容及び警報表示箇所

警報表示内容	警報表示場所
ドレンタンク室漏えい	制御室
建屋ドレンサンプタンク液位高	
サンプルタンク液位高	

3 放射線管理に係る補足説明

3.1 放射線防護及び管理

3.1.1 放射線防護

3.1.1.1 概要

地震、津波、水素爆発に伴い、1～4号機原子炉建屋、タービン建屋、廃棄物処理建屋、廃棄物集中処理建屋及び使用済燃料輸送容器保管建屋については管理区域境界であった建屋の壁が損壊した。5、6号機原子炉建屋、タービン建屋、廃棄物処理建屋及び運用補助共用施設については、損壊の程度は少ないものの、管理区域出入口などが損壊状態にある。また、大規模な放射性物質の放出による放射線レベルの上昇により、従来、放射性物質によって汚染された物の表面の放射性物質の密度及び空気中の放射性物質濃度が管理区域に係る値を超えるおそれのない区域であった固体廃棄物貯蔵庫を含め、周辺監視区域全体が、外部放射線に係る線量、空気中の放射性物質濃度、又は放射性物質によって汚染された物の表面の放射性物質密度について、管理区域に係る値を超えている。これらのことから、現状、周辺監視区域全体を管理区域と同等の管理を要するエリアとして管理対象区域に設定する。このため、従来の区域を限定して遮へい設備や換気空調系を用いて行ってきた放射線防護を同様に行うことは難しい状況となっている。また、これら発電所敷地に飛散した放射性物質については、作業環境の改善及びさらなる汚染拡大防止のため収集・保管を進めているところである。

免震重要棟においては、放射線業務従事者等が常時滞在することを考慮し、遮へい設備を設置する等して線量を低減し、また換気空調系を設置する等により、非管理区域又は放射性物質によって汚染された物の放射性物質の密度及び空気中の放射性物質濃度が法令に定める管理区域に係る値を超えるおそれのない区域として管理する。なお、飲食及び喫煙を可能とするために設ける区域においても換気空調系を設置する等により、放射性物質によって汚染された物の放射性物質の密度及び空気中の放射性物質濃度が法令に定める管理区域に係る値を超えるおそれのない区域として管理する。

以上を踏まえて、発電所周辺の一般公衆及び放射線業務従事者等の線量を低減すべく以下のとおり放射線防護の措置を行う。

発電所敷地に飛散した放射性物質については、さらなる汚染の拡大を防止すべく継続して放射性物質に汚染された瓦礫等の収集・保管を行うとともに、それらの線源に対して適切な遮へい設備の設置を検討していく。

また、現状の管理対象区域について、放射線業務従事者の滞在時間等を考慮して、エリアの区画や換気空調系の設置により、放射性物質によって汚染された物の放射性物質の密度及び空気中の放射性物質濃度が法令に定める管理区域に係る値を超えるおそれのない区域等とするよう措置を行う。

3.1.1.2 基本方針

放射線防護は、以下の基本方針に基づき措置する。

- ①遮へい設備，換気空調系等により発電所周辺の一般公衆及び放射線業務従事者等の線量を低減すること
- ②今後の復旧作業において異常時も含め放射線業務従事者が所要の対応を行えること

3.1.1.3 具体的方法

(1) 全般

a. 周辺の放射線防護

原子炉施設からの直接線及びスカイシャイン線による空気カーマについては、敷地境界で原子炉施設からの放射性物質の追加放出による線量と合算した線量が年間 1mSv を上回っている。よって、上記の線量が年間 1mSv を下回るようにするべく、遮へい設備等の措置を行う。

b. 放射線業務従事者等の放射線防護

発電所の事故対応等の業務において放射線防護設備は、放射線業務従事者が受ける線量等が「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」に定められた限度を超えないようにすることはもちろん、放射線業務従事者等の立入場所における線量を合理的に達成できる限り低くするように、放射線業務従事者等の作業性等を考慮して、遮へい，機器の配置，遠隔操作，放射性物質の漏えい防止，換気等，所要の放射線防護上の措置を講じる。

c. 異常時の放射線業務従事者の放射線防護

異常時においても放射線業務従事者が必要な操作を行うことができるように，放射線防護上の措置を講じる。

(2) 中央制御室及び免震重要棟

1～4 号機の中央制御室については，水素爆発等の影響により汚染し，また線量が比較的高く常時滞在することが好ましくない状況であることから，現在は必要最小限のパラメータの監視を行うべく，一定の頻度で立入している状況である。代わってプラント状態の監視等の作業を免震重要棟で行う。

よって，免震重要棟では放射線業務従事者等が常時滞在していることから，被ばく低減のため，免震重要棟に遮へい等の措置を講じる。

なお，5 号及び 6 号機の中央制御室については，既設の遮へい設計は維持されているものとするが，換気については，放射性物質によって汚染された物の放射性物質の密度及び空気中の放射性物質濃度が法令に定める管理区域に係る値を超えるおそれのない区域とし

て設定できるよう、既設の換気空調設備に加え、「3.1.2.3 発電所における放射線管理」に示す汚染のおそれのない管理対象区域としての措置を行う。

(3) 遮へい設備

遮へい設備については従前より設置している原子炉遮へい壁等のうち1号、3号及び4号機について水素爆発の影響により二次遮へい壁が損壊する等、既存設備の機能の一部が喪失している。今後、建屋内線源からの線量を低減すべく、機能確認・復旧を行うが、これらの遮へい壁が設置されている箇所雰囲気線量が高いこと等から、作業エリアの線量率及び滞在時間を考慮し、必要に応じて一時的遮へいを用いる。また、事故対応等の業務において稼働している高レベル放射性汚染水処理設備及び全域が汚染した発電所敷地内から収集・保管された瓦礫等を貯蔵する施設からの線量が比較的高い状況となっている。さらに、1号、3号及び4号機の使用済燃料の取扱設備については、水素爆発等により設備が損傷していると考えられる。

なお、2号、5号及び6号機の設備や固体廃棄物貯蔵庫等の共用設備については、従前の遮へい設計が維持されているものと考えている。

以上を踏まえ、既存設備、高レベル放射性汚染水処理設備及び瓦礫等を貯蔵する施設からの発電所周辺の一般公衆及び放射線業務従事者等の線量を低減すべく、必要に応じて既存の遮へい設備を復旧するか新たに設置する。

また、遮へい設備の有無に関わらず、管理対象区域内の管理として、放射線レベルの高い場所や放射線レベルが確認されていない場所については、放射線業務従事者に当該場所を周知し、特に放射線レベルが高い場所においては、必要に応じてロープ等により人の立入制限の措置を行う。また、作業管理として、放射線業務従事者の線量を合理的に達成できる限り低減すべく、必要に応じて一時的遮へいを用い、作業環境の改善に努める。1号、3号及び4号機の二次遮へい壁の損壊箇所についても、当面の復旧が困難であるため同様の措置を行う。

なお、免震重要棟においては、放射線業務従事者等が常時滞在していることから、被ばく低減のため、遮へいを行う。

(4) 換気空調系

既設建屋内の換気空調系は現在機能していないが、建屋内への入域の頻度及びエリアが限られていることから、現状は、換気空調系であらかじめ建屋内の空気中の放射性物質濃度を低減する代わりに放射線防護具装備を活用することにより、建屋内の空気中に浮遊している放射性物質の取り込みや壁面に付着している放射性物質の身体への付着を低減する。また、地震発生以降で新たに設置する建屋内についても同様の措置を講じる。

なお、5,6号機の原子炉建屋及びサービス建屋と共用プール建屋については、建屋換気系が運転しており、換気が行われている状況にある。

今後、既設建屋及び地震発生以降に新たに設置する建屋においては、建屋内への入域の頻度の多さ、入域するエリアの拡大度合い及び建屋内の放射性物質によって汚染された物の放射性物質の密度及び空気中の放射性物質濃度の状況を考慮して、必要に応じて上記の管理的手段から換気空調系による屋内雰囲気管理に移行できるよう検討をすすめる。

また、今後設置する建屋についても、既設建屋と同様に入域の頻度の多さ等を考慮し、上記の管理的手段もしくは換気空調系による屋内雰囲気管理を行う設計とする。

なお、既存の換気空調系の復旧を行う場合は、ベント時に系統内に付着するなどした放射性物質の新たな放出を低減する措置を講じる。

免震重要棟並びに飲食及び喫煙を可能とするために設ける区域においては、換気空調により、放射性物質によって汚染された物の放射性物質の密度及び空気中の放射性物質濃度が法令に定める管理区域に係る値を超えるおそれのない区域として設定できるよう措置を行う。

なお、各換気空調系のフィルタは、点検及び交換することができる設計とする。

(5) その他の放射線防護措置

a. 機器の配置

放射線レベルの高い区域は、原則として区画するとともにその入口には迷路又は遮へい扉を設ける。なお、これらの措置を行うことが難しい場合は、当該区域を周知する等により不要に近づかないような措置を講じる。

また、操作頻度の高い制御盤等は、低放射線区域に配置する。

b. 遠隔操作

地震発生以降、発電所敷地全域で通常時に比べ高い放射線レベルが測定されているが、その中でも特に放射線レベルの高い1～3号機の原子炉建屋周辺等については、特に不必要な被ばくを防止する必要がある。よって、そのような放射線レベルが高い区域での作業に当たっては、必要に応じて放射線源の低減に努めることはもちろんのことロボットの活用、操作等の遠隔化により不必要な放射線被ばくを防止する措置を講じる。

c. 放射性物質の漏えい防止

現状、原子炉冷却材が原子炉圧力容器から漏えいしており、原子炉建屋等に滞留している状況であるが、これらの汚染水を処理するとともに原子炉注水する系統においては系外へ漏えいしにくくなるよう措置を講じる。

今後、その他の既存設備の復旧、若しくは新規設備の設置にあたっては放射性物質の漏えいを防止する設計とする。

d. 汚染拡大の防止

地震発生以降，発電所敷地は外部放射線に係る線量，空気中の放射性物質濃度，又は放射性物質によって汚染された物の表面の放射性物質密度について，管理区域に係る値を超えており，そのうち免震重要棟並びに飲食及び喫煙を可能とするために設ける区域といった放射性物質によって汚染された物の放射性物質の密度及び空気中の放射性物質濃度が法令に定める管理区域に係る値を超えるおそれのない区域については，立ち入り者の身体及び衣服，履物等身体に着用している物並びにその持ち出そうとする物品（その物品を容器に入れ又は包装した場合には，その容器又は包装）の表面の放射性物質の密度について表面汚染測定等により測定場所のバックグラウンド値を超えないようにしている。

今後とも，放射性物質によって汚染された物の放射性物質の密度及び空気中の放射性物質濃度が法令に定める管理区域に係る値を超えるおそれのない区域については，上記の通りスクリーニングを行うことで，汚染拡大防止の措置を講じる。

また，発電所敷地に飛散した放射性物質については，作業環境の改善及びさらなる汚染拡大防止のため収集・保管を進めているところである。

これら発電所敷地に飛散した放射性物質については，さらなる汚染の拡大を防止するべく継続して放射性物質に汚染された瓦礫等の収集・保管の措置を講じる。

3.1.2 放射線管理

3.1.2.1 概要

地震、津波、水素爆発に伴い、1～4号機原子炉建屋、タービン建屋、廃棄物処理建屋、廃棄物集中処理建屋及び使用済燃料輸送容器保管建屋については管理区域境界であった建屋の壁が損壊した。5、6号機原子炉建屋、タービン建屋、廃棄物処理建屋及び運用補助共用施設については、損壊の程度は少ないものの、管理区域出入口などが損壊状態にある。このため、これらの管理区域境界については、区画物による区画・放射線等の危険性に応じた立入制限等を行うことができない状況にある。

また、大規模な放射性物質の放出による放射線レベルの上昇により、従来、放射性物質によって汚染された物の表面の放射性物質の密度及び空気中の放射性物質濃度が管理区域に係る値を超えるおそれのない区域であった固体廃棄物貯蔵庫を含め、周辺監視区域全体が、外部線量に係る線量、空気中放射性物質の濃度、又は放射性物質によって汚染された物の表面の放射性物質の密度について、管理区域に係る値を超えている。このため、管理区域から人が退去し、又は物品を持ち出そうとする場合に、その者の身体及び衣服、履物等身体に着用している物並びにその持ち出そうとする物品（その物品を容器に入れ又は包装した場合には、その容器又は包装）の表面の放射性物質の密度が管理区域に係る値を超えていないことの確認ができない状況にある。

これらのことから、現状、周辺監視区域全体を管理区域と同等の管理を要するエリアとして管理対象区域を設定している。管理対象区域では、周辺監視区域と同一のさく等の区画物によって区画するほか周辺監視区域と同一の標識を設けることによって明らかに他の場所と区別し、かつ、放射線等の危険性の程度に応じて、人の立入制限等の措置を講じている。また、管理対象区域から人が退去し、又は物品を持ち出そうとする場合の表面汚染検査は、管理対象区域の境界に出入管理設備を設けて、原子力災害対策本部が定める警戒区域からのスクリーニングレベル（平成23年9月16日付・原子力非常災害対策本部長通知及び最新の通知、以下「スクリーニングレベル」という。具体的には40Bq/cm²（13,000cpm相当）である。）を超えないことを確認している。なお、管理対象区域に立ち入る者は放射線業務従事者と一時立入者とする。個人被ばく管理については、放射線業務従事者が管理対象区域で作業を行う場合には、放射線測定器を着用させ、外部被ばくによる線量当量の評価を行っている。また、内部被ばくについては、原則としてホールボディカウンタによる体外計測法などで定期的及び必要の都度、評価を行っている。

管理対象区域のうち管理区域については、現状の放射線レベルに応じて再区分するとともに、今後、立入制限等必要な措置を順次講じていく。管理対象区域のうち管理区域を除く区域については、放射線レベルを低下していくためには、長い期間を要することから、今後、管理対象区域内の除染等を検討し、実施する。詳細は、「3.1.3 敷地内に飛散した放射性物質の拡散防止及び除染」参照。

3.1.2.2 基本方針

- ① 現存被ばく状況において、放射線被ばくを合理的に達成できる限り低減する方針で、今後、新たに設備を設置する場合には、遮へい設備、換気空調設備、放射線管理設備及び放射性廃棄物廃棄施設を設計し、運用する。また、事故後、設置した設備においても、放射線被ばくを合理的に達成できる限り低減する方針で、必要な設備の改良を図る。
- ② 放射線被ばくを合理的に達成できる限り低くするために、周辺監視区域全体を管理対象区域として設定して、立入りの制限を行い、外部放射線に係る線量、空気中もしくは水中の放射性物質の濃度及び床等の表面の放射性物質の密度を監視して、その結果を管理対象区域内の諸管理に反映するとともに必要な情報を免震重要棟や出入管理箇所等で確認できるようにし、作業環境の整備に努める。
- ③ 放射線業務に限らず業務上管理対象区域に立ち入る作業者を放射線業務従事者とし、被ばく歴を把握し、常に線量を測定評価し、線量の低減に努める。また、放射線業務従事者を除く者であって、放射線業務従事者の随行により管理対象区域に立ち入る者等を一時立入者とする。
さらに、各個人については、定期的に健康診断を行って常に身体的状態を把握する。
- ④ 周辺監視区域を設定して、この区域内に人の居住を禁止し、境界に柵または標識を設ける等の方法によって人の立入を制限する。
- ⑤ 原子炉施設の保全のために、管理区域を除く場所であって特に管理を必要とする区域を保全区域に設定して、立入りの制限等を行う。
- ⑥ 核燃料物質によって汚染された物の運搬にあたっては、放射線業務従事者の防護及び発電所敷地外への汚染拡大抑制に努める。

3.1.2.3 発電所における放射線管理

(1) 管理対象区域、管理区域、保全区域及び周辺監視区域

a. 管理対象区域

周辺監視区域全体が外部線量に係る線量、空気中放射性物質の濃度、又は放射性物質によって汚染された物の表面の放射性物質の密度について、管理区域に係る値を超えるか、又は、そのおそれがあるため、管理区域と同等の管理を要するエリアとして管理対象区域を設定する。管理対象区域は、管理区域と管理区域を除く区域に分けられる。

管理対象区域のうち管理区域を除く区域については、外部線量に係る線量、空気中放射性物質の濃度、又は放射性物質によって汚染された物の表面の放射性物質の密度について、管理区域に係る値を下回るよう、必要の都度、遮へいにより線量当量率を下げ、又は除染により線量当量率及び表面汚染密度を下げしていく。

b. 管理区域

外部線量に係る線量，空气中放射性物質の濃度，又は放射性物質によって汚染された物の表面の放射性物質の密度について，管理区域に係る値を超えるか，又は，そのおそれのある区域である。

管理区域境界の大物搬出入口などが開放状態にあることや管理区域境界においても放射線レベルが高いことから，管理区域に求められる管理区域内の管理，物品の出入管理ができていないが，今後，順次，修復し，管理区域に求められる要件を満足するようにする。また，管理対象区域のうち管理区域を除く場所において，除染等を行っても管理区域に係る値を下回るようにすることが困難な場合には，管理区域に求められる措置を適切に講じた上で管理区域を設定する。

c. 保全区域

「実用発電用原子炉の設置，運転等に関する規則」（第1条）に基づき，原子炉施設の保全のために特に管理を必要とする区域であって，管理区域を除く区域を保全区域とする。

d. 周辺監視区域

外部放射線に係る線量，空気中もしくは水中の放射性物質濃度が，「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」，「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」に定められた値を超えるおそれのある区域が周辺監視区域であるが，放出により沈着した放射性物質が広域に広がってしまっており，周辺監視区域を線量限度に基づき設定することが困難であるため，管理上の便宜も考慮して図3. 1-1に示すように周辺監視区域を設定する。

(2)管理対象区域内の管理

管理対象区域については，次の措置を講じる。

- ① 管理対象区域は当面の間，周辺監視区域と同一にすることにより，さく等の区画物によって区画するほか周辺監視区域と同一の標識等を設けることによって明らかに他の場所と区別し，かつ，放射線等の危険性の程度に応じて，人の立入制限等を行う。

管理対象区域内の線量測定結果を放射線業務従事者の見やすい場所に掲示する等の方法によって，管理対象区域に立ち入る放射線業務従事者に放射線レベルの高い場所や放射線レベルが確認されていない場所を周知する。特に放射線レベルが高い場所においては，必要に応じてロープ等により人の立入制限を行う。

- ② 放射性物質を経口摂取するおそれのある場所での飲食及び喫煙を禁止する。ただし，飲食及び喫煙を可能とするために，放射性物質によって汚染された物の表面の放射

性物質の密度及び空気中の放射性物質濃度が、法令に定める管理区域に係る値を超えるおそれのない区域を設ける。なお、設定後は、定期的な測定を行い、この区域内において、法令に定める管理区域に係る値を超えるような予期しない汚染を床又は壁等に発見した場合等、汚染拡大防止のための放射線防護上必要な措置等を行うことにより、放射性物質の経口摂取を防止する。

- ③ 管理対象区域全体にわたって放射線のレベル及び作業内容に応じた保護衣類や放射線防護具類を着用させる。
- ④ 管理対象区域から人が退去し、又は物品を持ち出そうとする場合には、その者の身体及び衣服、履物等身体に着用している物並びにその持ち出そうとする物品（その物品を容器に入れ又は包装した場合には、その容器又は包装）の表面の放射性物質の密度についてスクリーニングレベルを超えないようにする。管理対象区域内において汚染された物の放射性物質の密度及び空気中の放射性物質濃度が法令に定める管理区域に係る値を超えるおそれのない区域に人が立ち入り、又は物品を持ち出そうとする場合は、その者の身体及び衣服、履物等身体に着用している物並びにその持ち出そうとする物品（その物品を容器に入れ又は包装した場合には、その容器又は包装）の表面の放射性物質の密度について表面汚染測定等により測定場所のバックグラウンド値を超えないようにする。
- ⑤ 管理対象区域内においては、除染や遮へい、換気を実施することにより外部線量に係る線量、空気中放射性物質の濃度、及び放射性物質によって汚染された物の表面の放射性物質密度について、管理区域に係る値を超えるおそれのない場合は、人の出入管理及び物品の出入管理に必要な措置を講じた上で、管理対象区域として扱わないこととする。

また、管理対象区域内は、場所により外部放射線に係る線量当量率、放射線業務従事者等の立入頻度等に差異があるので、これらのことを考慮して適切な管理を行う。

管理対象区域のうち管理区域については、地震、津波、水素爆発に伴い、1～4号機原子炉建屋、タービン建屋、廃棄物処理建屋、廃棄物集中処理建屋及び使用済燃料輸送容器保管建屋については管理区域境界であった建屋の壁が損壊した。5、6号機原子炉建屋、タービン建屋、廃棄物処理建屋及び運用補助共用施設については、損壊の程度は少ないものの、管理区域出入口などが損壊状態にある。このため、他の場所との区別・放射線等の危険性の程度に応じた人の立入制限等の措置は、管理対象区域で講ずる措置と同一とする。

a. 線量等の測定

放射線業務従事者等の線量の管理が、容易かつ確実に行えるようにするため放射線測定器により、管理対象区域における放射線レベル等の状況を把握する。

(a) 外部放射線に係る線量当量の測定

①エリア放射線モニタによる測定

管理対象区域内で運転操作、監視、点検等のために人が駐在する場所に、エリア放射線モニタを設置し、放射線環境の状況の把握と放射線防護への情報提供の観点から放射線レベルの連続監視を行う必要があるが、既設建屋内のエリア放射線モニタは、津波による水没や爆発による故障、建屋内の線量が高いためエリア放射線モニタの健全性を確認していない。

放射線環境の状況の把握と放射線防護への情報提供の観点から、放射線業務従事者の立入頻度を考慮し、放射線レベルの連続監視を行う必要性を踏まえ、エリア放射線モニタによる管理に移行できるよう検討を行う。

②サーベイメータによる測定

管理対象区域内において放射線業務従事者が特に頻繁に立ち入る箇所については、定期的あるいは必要の都度サーベイメータによる外部放射線に係る線量率の測定を行う。

測定した結果は、測定点、測定日時、測定結果を記入したサーベイマップを作成し、放射線業務従事者の、見やすい場所に掲示する等の方法によって、管理対象区域内に立ち入る放射線業務従事者に放射線レベルの高い場所や放射線レベルが確認されていない場所を周知する。

(b) 空気中の放射性物質の濃度及び表面の放射性物質の密度の測定

管理対象区域内において、放射線業務従事者が特に頻繁に立ち入る箇所については、定期的あるいは必要の都度空気中の放射性物質の濃度及び床等の表面の放射性物質の密度を測定する。

① 排気モニタによる測定

排気モニタにより建屋内の空気中の放射性物質の濃度を監視する。放射能レベルがあらかじめ設定された値を超えた場合は、免震重要棟又は中央制御室（5，6号機）において警報を出し、適切な処置がなされるよう運転員の注意を喚起する。

② サンプルングによる測定

管理対象区域内において放射線業務従事者が特に頻繁に立ち入る箇所について、サンプルングにより空気中の放射性物質の濃度及び床等の表面の放射性物質の密度の測定を定期的及び必要の都度行う。

(c) 系統内の放射能測定

施設が正常に運転されていることを確認するため、系統内の気体及び液体の放射性物質の濃度を測定する。

① プロセス放射線モニタによる測定

プロセス放射線モニタは、空気中又は水中の放射性物質の濃度を監視し、放射能レ

ベルが、あらかじめ設定された値を超えた場合は、免震重要棟又は中央制御室（5，6号機）において警報を出し、適切な処置がなされるよう運転員の注意を喚起する。なお、警報は異常の早期発見が可能な値を定める。

② サンプルングによる測定

主な系統については、定期的及び必要の都度サンプルングにより放射性物質の濃度を測定する。

b. 人の出入管理

(a) 管理対象区域（管理区域を含む）への立入制限

管理対象区域（管理区域を含む）への立入りは、あらかじめ指定された者で、かつ必要な場合に限るものとする。なお、管理対象区域（管理区域を含む）への立入制限は、出入管理箇所において行う。

(b) 出入管理の原則

管理対象区域（管理区域を含む）の出入管理の原則は次のとおりとする。

① 管理対象区域（管理区域を含む）の出入りは、出入管理箇所を経由して行う。

② 管理対象区域（管理区域を含む）に立ち入る者には、出入管理箇所です定の保護衣類を配備して着用させる。また、出入管理箇所または免震重要棟において所定の放射線測定器を配備して着用させる。

③ 管理対象区域及び管理対象区域のうち管理区域から退出した者には、サーベイメータ等によって表面汚染検査を行わせる。

管理対象区域内のうち、汚染された物の表面の放射性物質の密度及び空気中の放射性物質濃度が法令に定める管理区域に係る値を超えるおそれのない区域に立ち入る者には、その出入口においてサーベイメータ等によって表面汚染検査（予め管理区域に係る値を超えないことを確認した場合は除く）を行わせる。

④ 出入管理箇所では、管理対象区域（管理区域を含む）の人の出入りを監視する。

(c) 管理対象区域（管理区域を含む）内での遵守事項

① 指定された場所以外では、飲食及び喫煙を禁止する。

② 異常事態の発生又はそのおそれがある事象を発見した場合は、直ちに必要箇所へ連絡させ、その指示に従わせる。

c. 物品の出入管理

管理対象区域への物品の持込み及び持出しは、出入管理箇所を経由して行う。なお、管理対象区域のうち管理区域内への物品の出入管理は、管理対象区域における物品の出入管理で実施している管理と同一である。

管理対象区域から物品を持ち出す場合には、スクリーニングレベルを超えないことを確認する。

なお、当社が貸与する下着類及び構内で使用した作業服のうち再使用可能なものについては、これまで福島第一原子力発電所の管理区域に設置する洗濯設備で洗浄し再使用する運用としていたが、震災により当該設備が使用できない状況にあるため、当社福島第二原子力発電所の管理区域に設置する同等の洗濯設備で洗浄して福島第一原子力発電所で再使用することとし、この場合における管理対象区域からの下着類及び構内で使用した作業服の持出しにあたってはスクリーニングレベルを超えないことを確認する。当該運用にあたっては、福島第二原子力発電所で発生する使用済保護衣類の処理に支障を来さない範囲で行うとともに、洗濯廃液系の取り扱いにおいては福島第二原子力発電所の保安規定を遵守する。

d. 管理対象区域内の区分

管理対象区域は、管理区域と管理区域を除く区域に区分する。

管理対象区域のうち管理区域は、放射性物質によって汚染された物の表面の放射性物質の密度及び空気中の放射性物質濃度が法令に定める管理区域に係る値を超えるおそれのない区域と、表面の放射性物質の密度又は空気中の放射性物質濃度が、法令に定める管理区域に係る値を超えるか又は超えるおそれのある区域とに区分する。なお、放射線レベルが高く、区域区分に係る条件を満足できない場合は、管理対象区域のうち管理区域を除く区域の区域区分と同一とする。

管理対象区域のうち管理区域を除く区域については汚染された物の表面の放射性物質の密度又は空気中の放射性物質濃度が法令に定める管理区域に係る値を超えるまたは超えるおそれのある区域と汚染された物の表面の放射性物質の密度及び空気中の放射性物質濃度が法令に定める管理区域に係る値を超えるおそれのない区域とに区分する。

e. 作業管理

管理対象区域での作業は、放射線業務従事者の線量を合理的に達成できる限り低減することを旨として原則として次のように行う。

- ① 事前に作業環境に応じて放射線防護具類の着用、作業人数、時間制限等必要な条件を定め、放射線業務従事者の個人被ばく歴を考慮して合理的な作業計画を立てる。また、上記の作業計画において必要な条件を定めるために、事前に作業訓練やロボットの活用を行うことも考慮する。
- ② 作業前及び作業中には、必要に応じ、外部放射線に係る線量当量率及び空気中の放射性物質の濃度を測定し、高線量作業を識別した上で作業を行うとともに、事故後初めて立ち入る場合等必要な場合には、一時的遮へいの使用、除染等を行い、作業環境の改善に努める。

- ③ 請負業者の作業管理については、労働安全衛生法及び電離放射線障害防止規則に基づき各請負業者に実施義務があるが、東京電力の放射線業務従事者に準じて行う。具体的には、請負業者が作成する作業計画の内容を確認し、適切なものとなるよう指導する、作業計画の周知を図るよう指導する、作業現場を巡視するなどの指導または援助を行う。

f. 事業所内運搬

核燃料物質によって汚染された物（資機材、瓦礫等）を運搬する際は、汚染を広げないよう養生等による汚染拡大抑制を図るとともに、必要に応じて遮へい等による被ばく低減に努める。なお、これら汚染拡大抑制対策に関する措置について適宜確認して適正化を図る。

(3) 保全区域内の管理

保全区域は、「実用発電用原子炉設置、運転等に関する規則」（第8条）の規定に基づき、標識を設ける等の方法によって明らかに他の場所と区別し、かつ、管理の必要性に応じて人の立入制限等の措置を講じる。

(4) 周辺監視区域内の管理

「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則」（第8条）の規定に基づき、周辺監視区域は人の居住を禁止し、境界にさく又は標識を設ける等の方法によって周辺監視区域に業務上立ち入る者を除く者の立入りを制限する。

周辺監視区域内は、全域を管理対象区域とし、その管理については、「3.1.2.3(2)管理対象区域内の管理」で述べる。

(5) 個人被ばく管理

管理対象区域（管理区域を含む）に立ち入る者の個人被ばく管理は、線量を常に測定評価するとともに定期的及び必要に応じて健康診断を実施し、身体的状態を把握することによって行う。

なお、請負業者の放射線業務従事者の個人被ばく管理については、法令に定められるものについて、東京電力の放射線業務従事者に準じて扱う。

a. 管理対象区域（管理区域を含む）立入前の措置

放射線業務に限らず業務上管理対象区域に立ち入る作業者を放射線業務従事者とする。また、放射線業務従事者に対しては、あらかじめ次のような措置を講じる。

- ① 放射線防護に関する教育、訓練を行う。
- ② 被ばく歴及び健康診断結果を調査する。

b. 放射線業務従事者の線量限度

放射線業務従事者の線量は、「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して必要な事項を定める告示」、及び最新の告示に定める線量限度を超えないようにする。

放射線業務従事者の5年間の線量のうち平成23年3月11日の東日本大震災以降から平成23年3月31日までの線量については、「福島第一原子力発電所で従事する労働者の被ばく線量管理等の徹底について 基発0428第3号・平成23年4月28日」に基づき平成23年度を含む定められた5年間の線量として線量限度を超えないようにする。

平成23年3月11日の東日本大震災以降から平成23年3月31日までの線量に係る「1年間の線量が20ミリシーベルトを超えた放射線業務従事者の当該1年間を含む定められた5年間の線量」は平成23年度を含む定められた5年間の線量とし、「放射線業務従事者が業務に就く日の属する年度における当該日以前の放射線被ばくの経歴及び定められた5年間における当該年度の前年度までの放射線被ばくの経歴」については、平成23年3月11日以降の経歴として記録する。

c. 線量の管理

放射線業務従事者の線量が、線量限度を超えないよう被ばく管理上必要な措置を講じる。

(a) 外部被ばくによる線量の評価

外部被ばくによる線量の測定は、原則として次のように行う。

- ① 管理対象区域（管理区域を含む）に立ち入る場合には、警報付ポケット線量計等を着用させ、外部被ばくによる線量をその日ごとに測定する。
- ② 特殊な作業に従事する者に対しては、その作業に応じて被ばくする線源や作業姿勢を考慮し適切な放射線測定器、例えば中性子線源取扱作業やβ線被ばく作業などに関しては中性子線用固体飛跡検出器やβ線測定用線量計等を、体幹部以外にも局所的に被ばくする箇所がある場合は当該末端部に着用させ、その都度線量の測定を行う。

(b) 内部被ばくによる線量の評価

内部被ばくによる線量の測定は、原則として次のように行う。

- ① 放射線業務従事者の内部被ばくによる線量の評価は、ホールボディカウンタによる体外計測法又は作業環境の空気中の放射性物質の濃度を測定することにより行う。
- ② ホールボディカウンタによる測定は、発電所退所時（放射線業務従事者として勤務を解除する時）並びに定期的及び必要に応じて行う。
- ③ 放射性物質の体内摂取が考えられる場合には、必要に応じてバイオアッセイを行う。

(c) 放射線業務従事者の線量の評価結果は、本人に通知する。

(d) 個人の線量の測定結果は、定期的に評価、記録するとともに以後の放射線管理及び健康管理に反映させる。

なお、視察等管理対象区域（管理区域を含む）に一時的に立ち入る者については、その都度警報付ポケット線量計等を着用させ、外部被ばくによる線量の測定を行うほか、必要に応じて内部被ばくによる線量の評価を行う。

d. 健康管理

- ① 「労働安全衛生規則」（第 44 条及び第 45 条）による健康診断のほか「電離放射線障害防止規則」（第 56 条）、「東京電力福島第一原子力発電所における被ばく管理の徹底について 基安発 1030 号第 1 号・平成 24 年 10 月 30 日」及び最新の通知に基づき放射線業務従事者について健康診断を実施し、常にその健康状態を把握する。
- ② 健康診断結果及び線量の評価結果による医師の勧告等を考慮し、必要ある場合は、保健指導及び就業上の措置を講じる。
- ③ 発電所内において放射線障害が発生した場合又はそのおそれがある場合は必要な応急措置をとる。

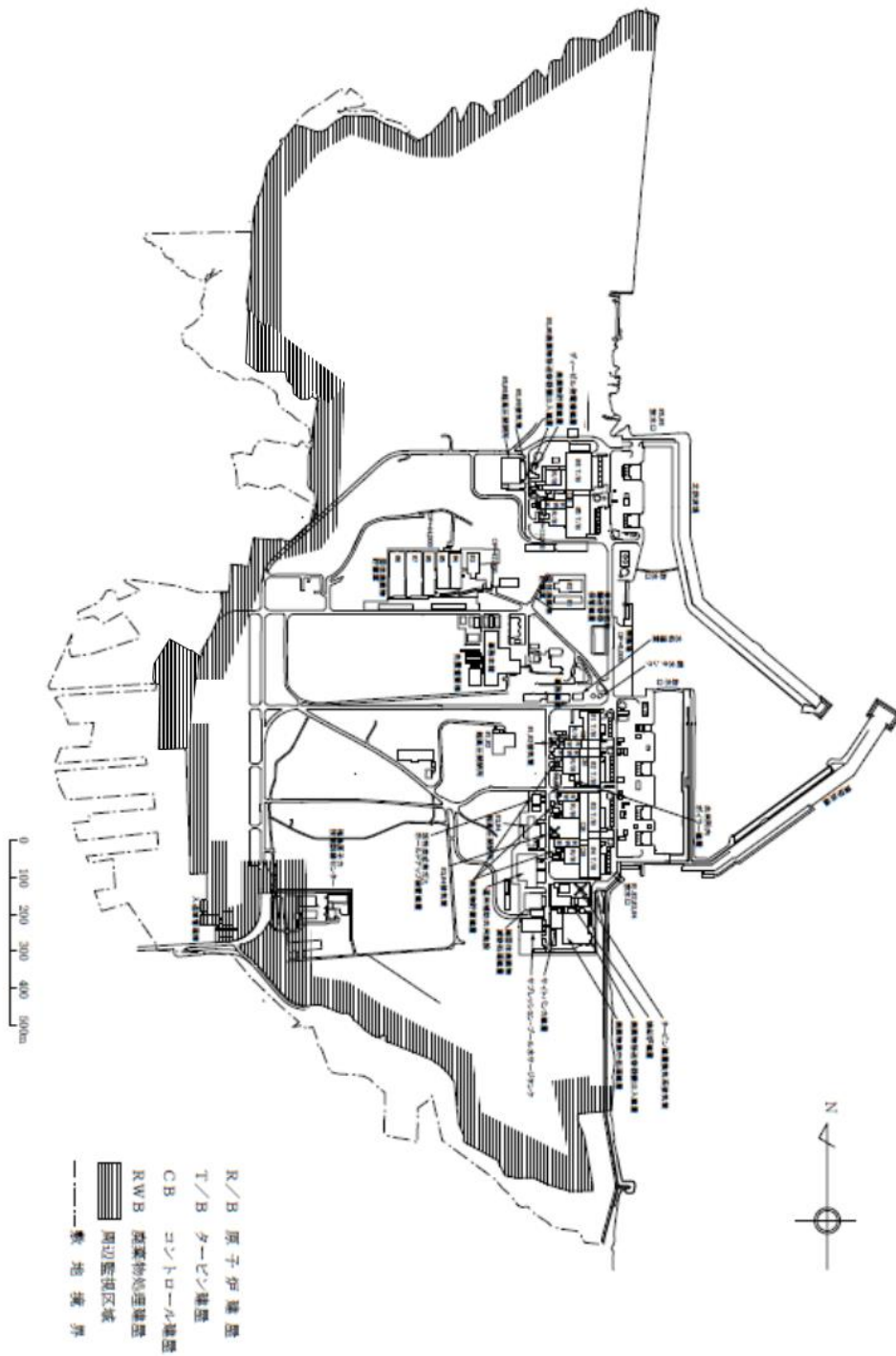


図3. 1-1 周辺監視区域図

3.1.2.4 周辺監視区域境界及び周辺地域の放射線監視

気体廃棄物の環境中への放出にあたっては各建屋で放出監視を行い、液体廃棄物の環境中への放出にあたっては放出毎に測定を行うことにより、厳重に管理するが、更に異常がないことを確認するため、周辺監視区域境界付近及び周辺地域において空間放射線量率及び環境試料の放射能の監視を行う。

(1) 空間放射線量等の監視

空間放射線量は、周辺監視区域境界付近及び周辺地域に設けるモニタリングポイントに蛍光ガラス線量計を配置し、これを定期的に回収して線量を読み取ることにより測定する。

空間放射線量率は、周辺監視区域境界付近にほぼ等間隔に8箇所設置されているモニタリングポストにより測定し、連続監視を行う。

空气中放射性物質濃度は、周辺監視区域境界付近までダストが飛散するおそれがある作業（原子炉建屋カバー解体やオペレーティングフロア上のガレキ撤去等）に関して、モニタリングポスト付近で、ダストモニタによる監視又はダストサンブラ等を用いて測定する。

モニタリングポストは、事故時に放出された放射性物質の影響により設置場所の線量率が上昇しているため、モニタリングポストの設置場所周辺からの空間線量率の影響を低減するために必要な範囲について森林の伐採、表土の除去を行う。線量率が高い一部の設置場所については、放射性物質の異常な放出の検知を目的として検出器周りに遮へい壁を設置するが、設置場所周辺の空間線量率の変動を監視するためにサーベイメータ等により測定を行う。

(2) 環境試料の放射能監視

周辺環境の陸域及び海域における放射性物質濃度を比較的長寿命核種に重点を置き測定する。

陸域、海域について、それぞれ以下のモニタリングを実施し、事故時に放出された放射性物質の環境への影響及び追加の異常な放出が無いことを監視する。

① 陸域

測定対象：空間線量率，放射性物質濃度

測定点：原子炉建屋周辺，敷地周辺

② 海域

測定対象：海水，海底土

測定点：発電所前面海域，沿岸海域

なお、事故後に関係機関と連携して実施しているモニタリングについては、国の「総合モニタリング計画」に基づき引き続き実施する。

(3) 異常時における測定

放射性物質を取り扱う各施設において、放射線量率の上昇や放射性物質の漏えいが生じた場合は、確認、測定の頻度を増やして放射線監視を強化する等、適切な措置を講じる。

今後各施設において想定される異常事象に備え、異常な放出が想定された場合、陸側では、モニタリングポストによる監視に加え、 γ 線サーベイメータ、ダストサンプラ等を搭載したモニタリングカーにより気象データに基づき風下側において敷地周辺の空間放射線量率、空气中放射性物質濃度の測定を行い、環境への影響の範囲、程度などの推定を敏速かつ確実に行う。海側では、海水の測定頻度を増やす等して、環境への影響の範囲、程度などの推定を敏速かつ確実に行う。

3.1.2.5 放射線管理に用いる測定機器等

(1) 主要設備

a. 出入管理関係設備

出入管理、汚染管理のため、以下の設備を設ける。

(a) 出入管理設備

管理対象区域（管理区域を含む）への立入りは、出入管理箇所を通る設計とする。

出入管理箇所では人員、物品等の出入管理を行い、保護衣類及び放射線測定器の配備を行う出入管理設備を設ける。

(b) 汚染管理設備

人の出入りに伴う汚染の管理は、更衣所、退出モニタ等を設置し、汚染サーベイメータ、汚染除去用器材を備えた箇所において、管理対象区域から退出する前に表面汚染検査を行う。

b. 試料分析関係設備

各系統の試料等の化学分析及び放射能測定を行うために、津波・地震等による被害が比較的軽微であった5、6号機及び環境管理棟の設備を使用する。なお、化学分析設備の分析スペース及び放射能測定設備が足りず試料の適時処理ができない、放射能測定設備のバックグラウンドが高く低放射能濃度試料の測定ができない状況のため、化学分析棟を設置するとともに発電所構外でも試料分析を実施している。

(a) 化学分析設備

放射線レベルの低減、空調設備の復旧及び分析設備の健全性確認を行い、既存の化学分析設備を使用する。なお、放射線レベルが震災前の値に戻っていないこと、分析スペースも足りないことから、新たな化学分析設備も設置する。

(b) 放射能測定設備

放射能測定設備のうち、 γ 核種・全 α 核種・全 β 核種・トリチウム・ストロンチウムの測定設備を使用する。なお、放射線レベルのバックグラウンドが震災前の値に戻って

いないこと、放射能測定設備が足りず試料の適時処理ができないことから、新たな放射能測定設備も設置する。

c. 個人管理用測定設備及び測定機器

個人の線量管理のため、外部放射線に係る線量当量を測定する蛍光ガラス線量計、警報付ポケット線量計等を発電所内に、内部被ばくによる線量を評価するためホールボディカウンタ等を発電所構外に備える。

なお、放射性物質の体内摂取が考えられる場合に実施するバイオアッセイについては、必要に応じて発電所構外にて実施する。

d. 放射線計測器の校正設備

放射線監視設備及び機器を定期的に校正し計測器の信頼度を維持するために、校正設備を設けている。本校正設備が健全であることを確認したため、今後も放射線監視設備及び機器は校正設備を用いて校正する。また、一部の放射線監視設備及び機器については、他施設に持ち込み放射線源による校正を行う。

e. 放射線監視

放射線監視設備は、エリア放射線モニタリング設備及び放射線サーベイ機器等からなり、次の機能を持つ。

エリア放射線モニタリング設備は、放射線レベルが設定値を超えたときは、警報を発する。

(a) エリア放射線モニタリング設備

既設建屋内のエリア放射線モニタが機能していない箇所については、建屋内への入域の頻度・エリアが限られていることから、入域の際に放射線業務従事者自らが周辺の放射線レベルを計測するという管理的手段により、異常の検知に努めている。

今後は、建屋内について入域の頻度の多さ、エリアの拡大を考慮して、必要に応じて上記の管理的手段から従来のエリア放射線モニタによる管理に移行できるよう検討をすすめていく。屋外については、敷地全域が汚染していることから、除染を行う等して放射線リスクの低減に努める。(詳細は、「3.1.3 敷地内に飛散した放射性物質の拡散防止及び除染による線量低減」を参照)

(b) プロセス放射線モニタリング設備

放出監視のための放射線モニタについて、使用済燃料共用プール排気口及び5、6号機の建屋換気排気に係るものを除いて現在機能していない状況である。放射性廃棄物の放出や建屋換気排気に係るモニタについては、機能を復旧させる必要があるが、当面、以下の設備により気体廃棄物の放出監視を行い、免震重要棟に表示する。

- ・ 1, 2, 3号機原子炉格納容器ガス管理設備
- ・ 1号機原子炉建屋カバー排気設備（原子炉建屋カバー設置時のみ）
- ・ 2号機原子炉建屋排気設備
- ・ 4号機燃料取出し用カバー排気設備

使用済燃料共用プール排気口のモニタについては共用プール建屋内監視操作室で、5, 6号機主排気筒のモニタについては5, 6号機中央制御室で、表示している。

(c) 環境モニタリング設備

以下の環境モニタリング設備により発電所敷地周辺の放射線監視を行う。

① 固定モニタリング設備

敷地境界付近に設置されているモニタリングポスト8基により、連続的に空間放射線量率を測定し、免震重要棟で指示及び記録を行い、放射線レベル基準設定値を超えたときは警報を出す。また、空間放射線量測定のため適切な間隔でモニタリングポイントを設定し、蛍光ガラス線量計を配置する。

② 環境試料測定設備

周辺監視区域境界付近で、モニタリングポストが設置されている2箇所についてダスト放射線モニタ2基により、空気中の粒子状放射性物質を捕集・測定する。敷地内で、ダストサンプラにより、空気中の粒子状放射性物質を捕集する。

③ モニタリングカー

γ線サーベイメータ、ダストサンプラ等を搭載した無線通話装置付のモニタリングカーにより、発電所敷地周辺の空間放射線量率、空気中の放射性物質濃度を迅速に測定する。

④ 気象観測設備

発電所周辺の一般公衆の線量評価に資するため、敷地内で、各種気象観測設備により、風向、風速、日射量、放射収支量などを連続的に測定する。

(d) 放射線サーベイ機器

発電所内外の必要箇所、特に放射線業務従事者等が頻繁に立ち入る箇所については、外部放射線に係る線量当量率、空気中及び水中の放射性物質濃度並びに表面汚染密度のうち、必要なものを定期的及び必要の都度測定する。

測定は、外部放射線に係る線量当量率については、携帯用の各種サーベイメータにより、空気中及び水中の放射性物質濃度については、サンプリングによる放射能測定により、また、表面汚染密度については、サーベイメータ又はスミヤ法による放射能測定によって行う。

放射線サーベイ関係主要測定器及び器具は、以下のとおりである。

- ・ GM管サーベイメータ

- ・電離箱サーベイメータ
- ・シンチレーションサーベイメータ
- ・中性子線用サーベイメータ
- ・ダストサンブラ
- ・ダストモニタ

また、以下の機器により、万が一汚染水がタンク等から漏えいし排水路へ流入した場合の検知を行い、免震重要棟に表示する。

- ・側溝放射線モニタ（C排水路）
- ・簡易放射線検知器（A排水路，物揚場排水路，K排水路）：今後、設置予定

(2) 主要仕様

放射線管理設備の主要仕様を以下に示す。

出入管理関係設備	1 式
<ul style="list-style-type: none"> ・更衣所 ・退出モニタ 	
試料分析関係設備	1 式
<ul style="list-style-type: none"> ・Ge 半導体γ線スペクトロメータ 	
個人管理用測定設備及び測定機器	1 式
<ul style="list-style-type: none"> ・ホールボディカウンタ ・警報付ポケット線量計 ・蛍光ガラス線量計 	
放射線監視設備	1 式
<ul style="list-style-type: none"> ・モニタリングポスト ・ダスト放射線モニタ（敷地境界付近） ・モニタリングカー ・気象観測設備 	

(3) 点検・校正

出入管理関係設備，試料分析関係設備，放射線監視設備等は，定期的に点検・校正を行うことによりその機能の健全性を確認する。

3.1.3 敷地内に飛散した放射性物質の拡散防止及び除染による線量低減

3.1.3.1 現状及び中期的見通し

事故で環境中に放出した放射性物質の影響により、敷地内の線量当量率が上昇した。敷地内に沈着した放射性物質に対して、建屋表面や地表面への飛散防止剤の散布、建屋周辺及び建屋上部の瓦礫の撤去、原子炉建屋カバーの設置等で、飛散（再浮遊）を抑制することにより、敷地境界付近の空気中の放射性物質濃度は事故後ピーク時の約千分の1程度まで低下し、告示の濃度限度に対しても約百分の1程度となっている。

作業員が常時滞在する免震重要棟内の線量当量率も高い状態であったが、除染、遮へいを行うことによって線量低減を図り、法令に定める管理区域に係る値を下回ったエリアを執務エリアとして運用している。また、入退域管理施設も、法令に定める管理区域に係る値を下回るよう伐採、表土除去等による線量低減を図り、福島第一原子力発電所の出入拠点として運用している。

敷地内の線量当量率は、1～4号機周辺を除き数 μSv ～数十 μSv /時であったが、多くの作業員が作業をしている敷地南側エリア（瓦礫等の一時保管エリアや固体廃棄物貯蔵庫を除く）について、伐採、表土除去、天地返し、遮へい等による線量低減対策を実施した結果、1～4号機周辺を除き平均5 μSv /時※に低減した（図3.1-2 線量低減範囲）。1～4号機周辺については、作業に支障となる瓦礫撤去や作業エリアの除染・遮へいによる線量低減を行っているが、プラントからの散乱線の影響が大きく、高線量の設備もあることから、原子炉建屋上部の瓦礫撤去や高線量設備の撤去等の工程を決定し、それに基づき線量低減を進める。

※線量限度5年100mSvを超えないために設定した目標線量率（年間2000時間作業した時の被ばく線量が、線量限度5年100mSvとなる1時間値[10 $\mu\text{Sv}/\text{h}$]の半分）。なお、プラントからの散乱線等の影響がある場所については、線量低減効果を確認するために、地表面（地表面から1cm程度）をコリメートして測定した線量当量率による評価も併用。

3.1.3.2 基本的対応方針及び中期的計画

福島第一原子力発電所の敷地内全体に広がっているフォールアウト汚染やプラントからの散乱線等の影響を実測により把握した上で、伐採、表土除去、天地返し、遮へい等による線量低減を進め、福島第一原子力発電所の作業環境を改善し、長期に亘る事故炉の安全収束・廃炉を進めていくための基盤を整備する。放射線業務従事者の被ばく線量が告示に定める線量限度を超えないことはもちろん、合理的に達成できる限り低減させていくために、多くの作業員が作業を行っているエリア、作業干渉が少ないエリアから順次線量低減を行い、その効果を確認する。目標線量当量率は段階的に下げていき、最終的には事故前の状態に近づけていく。

除染による線量低減では、主に以下の方法を用いるが、国内外の知見や技術開発の動向にも注視し、効果的な方法を検討して進める。また、除染により発生した伐採木や土壌等は、放射性物質濃度、性状等に応じて処理し、保管管理を行う。

- ① 土壌の除染
表土の剥ぎ取り，天地返し
- ② 森林の除染
樹木の伐採や落葉の回収
- ③ アスファルト・コンクリート等の除染
舗装面の超高压水切削や集塵・清掃，構築物の撤去等
- ④ その他の除染
建物や設備等の高压水洗浄等

なお，1～4号機周辺については，地表面等に残存した線源からの直接線成分と建屋からの散乱線成分が存在するため，直接線・散乱線の種類，線源方向を勘案して，有効な線量低減対策を選択して被ばく低減を図る。

- ① 地表面等に残存した線源からの直接線成分に対しては汚染源の除去，建屋からの散乱線成分に対しては建屋への遮へいによる線量低減が有効。
- ② 建屋周辺の作業エリアにおいては，建屋からの散乱線の寄与が大きいため，建屋方向と上方の遮へい（ボックスカルバートや衝立遮へい等）が有効。
- ③ 低エネルギーである散乱線成分は，セシウム等の直接線成分よりも大きな遮へい効果が見込まれるため，合理的な遮へい（過剰な厚みよりも移動式の遮へい等）を検討する。

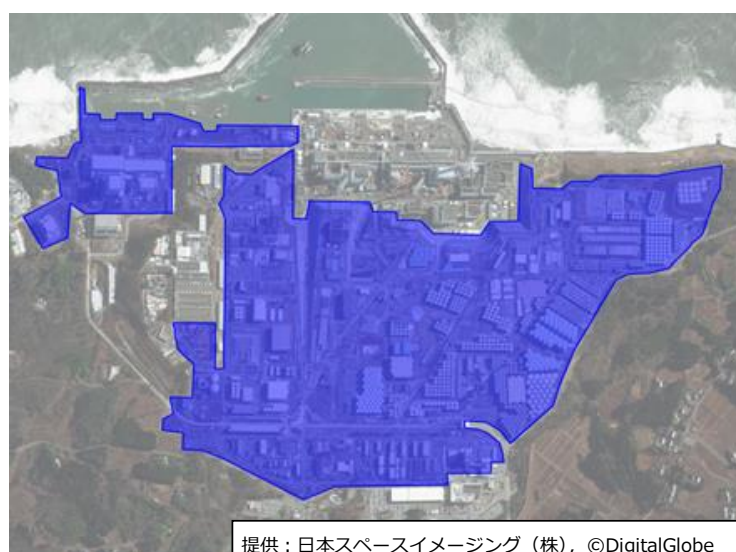


図3. 1－2 線量低減範囲（図中青色，2015年度末時点）

3.1.4 港湾内の海水、海底土、地下水及び排水路の放射性物質の低減

3.1.4.1 現状

港湾外への放射性物質の拡散防止を図るために、シルトフェンスによる取水路開渠内からの汚染拡大の抑制を維持するとともに、地下水による海洋汚染拡大を防止するために、護岸付近の地盤改良、トレンチ内汚染水の処理・移送、トレンチの閉塞、海側遮水壁（1～4号機の既設護岸の前面）の設置を実施している。さらに、海底土の巻き上がり等に伴う拡散の影響を低減するため、港湾内の海底土の被覆を実施している（図1参照）。また、雨水による港湾外への放射性物質の拡散防止を図るために、排水路の排出先を港湾外から港湾内へ付け替えを実施した。さらに、地表面の除染、排水路等の汚染した土砂回収や浄化材の設置などを継続している。

現在、1～4号機取水路開渠内のシルトフェンスで仕切られた内側エリア（1～4号機取水口内南側）では、海水中の放射性物質濃度がCs-137で8Bq/L程度、Sr-90で0.7Bq/L程度となっているが、降雨時にはCs-137、Sr-90の濃度に一時的な上昇が見られている（2020年3月～2021年2月末）。

排水路では、発災時のフォールアウトの影響等により、降雨時にCs-137の一時的な濃度上昇（～200Bq/L程度）が見られており、港湾の濃度上昇の主原因と考えられる（2020年3月～2021年2月末）。

3.1.4.2 基本的対応方針

港湾内の海水については、放射性物質濃度が低下している。地下水については、タービン建屋東側の護岸付近において放射性物質が一定のレベルで検出されている。これらの状況を把握、監視するため、港湾内外の海水及び地下水についてモニタリングを継続する。

排水路については、排水路からの放射性物質の排出を抑制する措置を講じるとともに、各排水路の排水についてモニタリングを継続する。

3.1.4.3 低減対策の基本的考え方

(1) 今後の検討

1～4号機前の取水路開渠内では海水中の放射性物質濃度が低下してきており、取水路開渠外や港湾外の濃度はより低いレベルで推移し外洋への影響は小さくなっているものと考えられるが、港湾内外の海水中の放射性物質のモニタリングを継続し、港湾外への影響がないことを確認する。海水、地下水及び排水路のモニタリング結果について総合的な評価を行うとともに、社外専門家の協力も得て変動要因の解明や低減対策の効果等の評価・検討を行う。

排水路については、放射性物質濃度のモニタリング結果を踏まえ、必要に応じて低減対策の見直しを行う。

(2) モニタリング

地下水の水位等のデータの分析結果より汚染された地下水が海水に漏えいしているものと推定したこと、及び排水路から海洋へ流出している放射性物質を適切に抑制する必要があることから、状況把握や変動要因及び低減対策の効果等の評価のために必要となるデータの採取を目的として、港湾内外の海水、地下水及び排水路のモニタリングを以下の考え方により実施する。

【港湾内外の海水及び地下水のモニタリングの考え方】

対象エリア及びサンプリング箇所

汚染や漏えいの状況に応じて、エリア・箇所を選定する。

海水 ・1～4号機取水路開渠内： 当該エリアの海水中放射性物質濃度及び港湾内への影響を監視する。

・港湾内： 港湾内の濃度分布を監視する。

・港湾外： 海洋への影響を監視する。

地下水 ・1～4号機タービン建屋東側： 汚染が確認又は想定される箇所及びその近傍、ウェルポイント等の地下水汲み上げ箇所、護岸部地盤改良体の海側等において地下水の汚染状況を監視する。

基本的な分析項目及び頻度

各項目について、1回/週（Sr-90については1回/月）を原則として実施する。

γ線：1回/週

H-3：1回/週

全β：1回/週

Sr-90：1回/月

【排水路の放射性物質の濃度及び流量の継続的測定】

サンプリング箇所

排水路（A，B・C，K，物揚場排水路）下流側においてサンプリングを行い、推移を把握する。

基本的な分析項目及びサンプリング頻度

各項目について、毎日（H-3については1回/週）を原則として実施する。

γ線：毎日

H-3：1回/週

全β：毎日

また、サンプリング箇所近傍にて流量を原則として毎日計測し、放出放射エネルギーを把握する。

具体的なモニタリング計画については、サンプリング箇所について図2，図3，分析項目及び頻度について表1に示す。濃度推移・現場状況等により，適宜計画の見直しを行う。

(3) 排水路の水の放射性物質濃度の低減対策

排水路（A，B・C，K，物揚場）については，上流部の現状調査を行うとともに流入する放射性物質の性状を確認し，放射性物質濃度を低減するため，敷地の計画的な除染（詳細は，「Ⅲ 特定原子力施設の保安 第3編 3.1.3 敷地内に飛散した放射性物質の拡散防止及び除染による線量低減」を参照），排水路等の継続的な汚染した土砂回収，さらに，排水路の水の浄化対策として浄化材等の設置を行う。（排水路における濃度低減対策の考え方を下記に記す）

低減対策の実施にあたっては，港湾内外の海水及び排水路のモニタリング結果等から対策の効果の評価を行う。

【排水路における濃度低減対策の考え方】

a. 上流部の現状調査

各排水路において，上流部に流入する水（枝排水路，建屋屋上等）をサンプリングし，放射性物質の濃度及び性状（粒子状，イオン状）について分析する。また，分析結果を踏まえ，敷地の除染（遮へい等），排水路等の汚染した土砂回収及び性状を踏まえた浄化対策等を実施する。

2016年度以降については，K排水路の上流部の重点箇所（建屋屋上等）について追加調査を継続しており，必要に応じて対策を検討し実施する。

b. 粒子状放射性物質に対する対策

排水中の粒子状放射性物質を低減させるため以下の対策を実施する。

(a) 敷地の除染

作業員の線量低減のために敷地の除染を実施しており（詳細は「Ⅲ 特定原子力施設の保安 第3編 3.1.3 敷地内に飛散した放射性物質の拡散防止及び除染による線量低減」を参照），その結果，除染（遮へい等）により土砂発生が抑制される。

(b) 排水路等の汚染した土砂回収

排水路内の汚染した土砂を低減させるため，排水路等の汚染した土砂堆積状況を調査して土砂回収計画を立案し，排水路等の汚染した土砂回収を実施する。また，異常気象等により汚染した土砂が著しく堆積した場合や定期的な放射性物質濃度分析で高濃度の

状況が確認された場合には、臨時調査を実施し、必要に応じて排水路等の汚染した土砂回収を行う。

(c)浄化対策①

排水中の粒子状放射性物質を低減させるために排水路等へ設置したフィルター等について、設置状況を確認し、モニタリング結果等も踏まえ、必要に応じて交換,追加,移設等を行う。

c. イオン状放射性物質に対する対策（浄化対策②）

排水中のイオン状放射性物質を低減させるために排水路等へ設置したゼオライト等の浄化材について、設置状況やモニタリング結果等を踏まえ、必要に応じて交換,追加,移設等を行う。

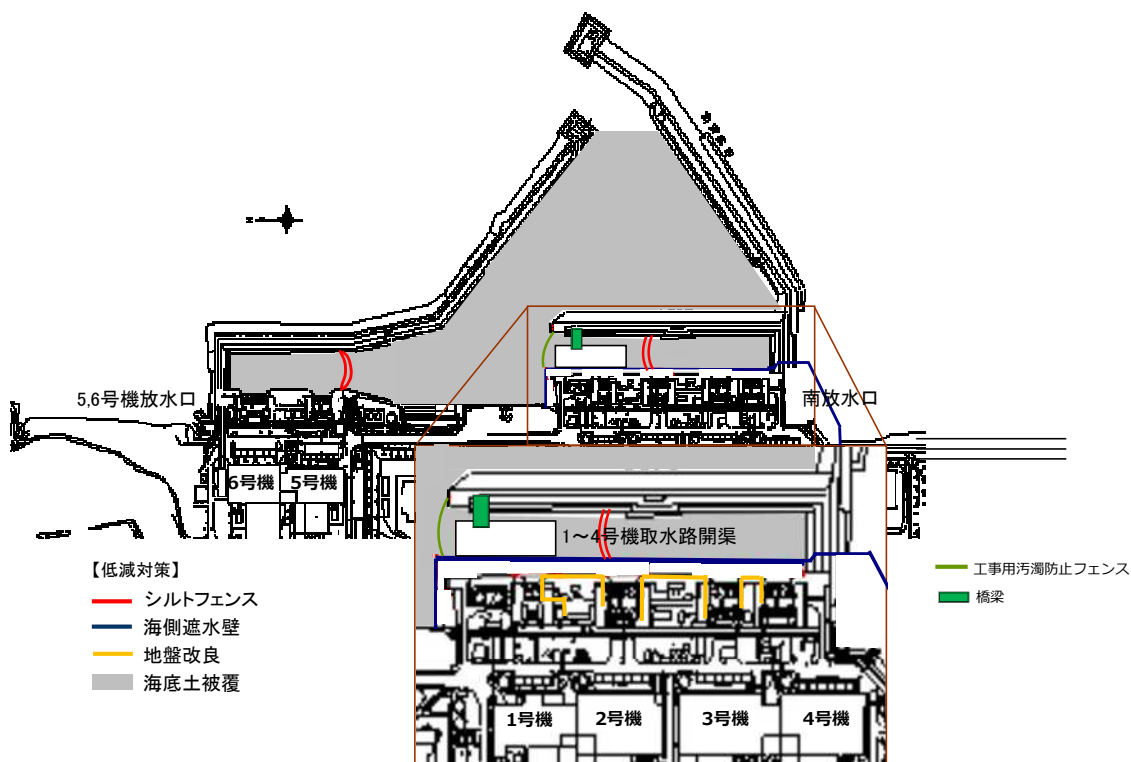


図1 港湾内の海水，海底土及び地下水の放射性物質の低減対策

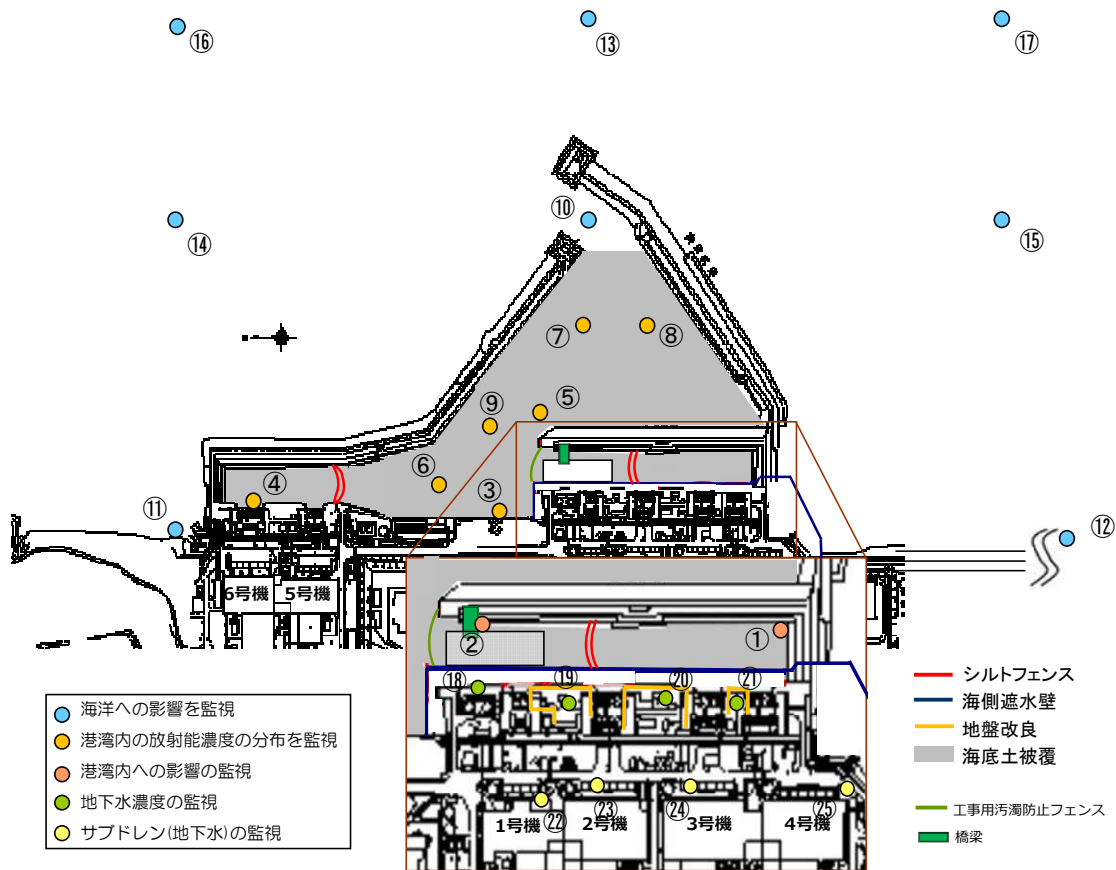


図2 港湾内外海水及び地下水のモニタリング計画 (サンプリング箇所)

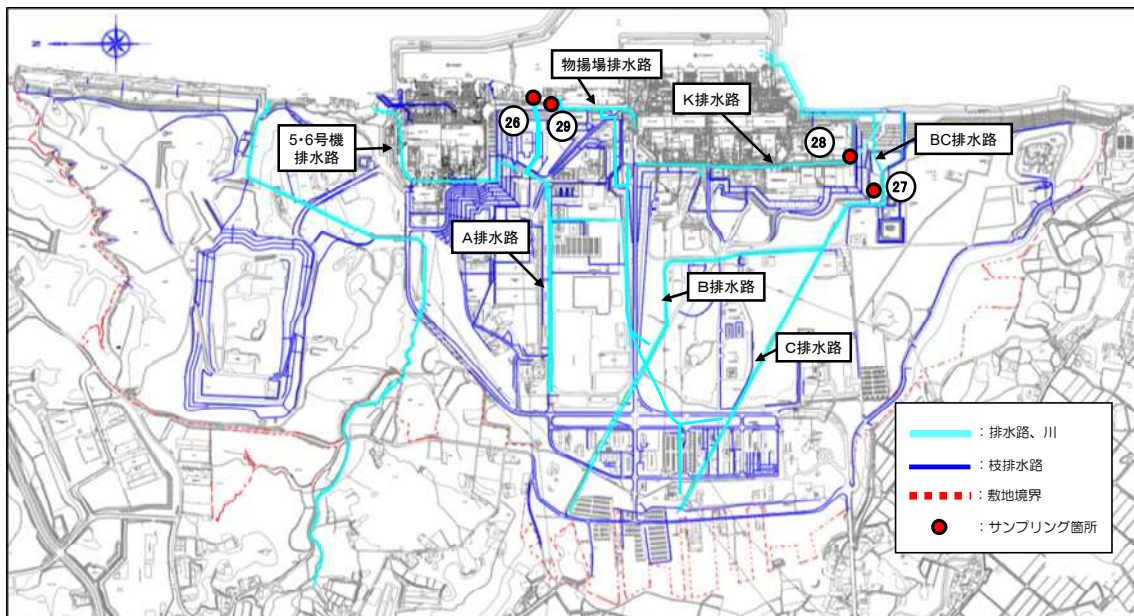


図3 排水路のモニタリング計画 (サンプリング箇所)

表1 港湾内外海水，地下水及び排水路のモニタリング計画（分析項目，頻度）

エリア	サンプリング箇所		分析項目，頻度			
			γ線	H-3	全β	Sr-90
1～4号機 取水路 開渠内	①	1～4号機取水口内南側（遮水 壁前）※1	毎日	1回/週	毎日	1回/週
	②	1～4号機取水口内北側（東波 除堤北側）※1	毎日	1回/週	毎日	1回/週
港湾内	③	物揚場※1	毎日	1回/週	毎日	1回/週
	④	6号機取水口前※1	毎日	1回/週	毎日	—
	⑤	港湾中央※1	毎日	1回/週	毎日	1回/週
	⑥	港湾内北側※1	毎日	1回/週	毎日	1回/週
	⑦	港湾内東側※1	毎日	1回/週	毎日	—
	⑧	港湾内南側※1	毎日	1回/週	毎日	—
	⑨	港湾内西側※1	毎日	1回/週	毎日	—
港湾外	⑩	港湾口※1	毎日	1回/週	毎日	1回/週
	⑪	5,6号機放水口北側※2	毎日	1回/週	1回/週	1回/月
	⑫	南放水口付近※2	毎日	1回/週	毎日	1回/月
	⑬	港湾口東側	1回/週	1回/週	1回/週	—
	⑭	北防波堤北側				
	⑮	南防波堤南側				
	⑯	港湾口北東側				
⑰	港湾口南東側					
陸域 (1～4号機 タービン 建屋海側)	⑱	地下水観測孔 No. 0-1 (追加ボーリング含む)	1回/週※3	1回/週※3	1回/週※3	1回/月※3
	⑲	地下水観測孔 No. 1 (追加ボーリング含む)	2回/週※3※4	2回/週※3※4	2回/週※3※4	1回/月※3
	⑳	地下水観測孔 No. 2 (追加ボーリング含む)	2回/週※3※4	2回/週※3※4	2回/週※3※4	1回/月※3
	㉑	地下水観測孔 No. 3 (追加ボーリング含む)	1回/週※3	1回/週※3	1回/週※3	1回/月※3
	㉒	1号機サブドレン	3回/週	2回/年	2回/年	2回/年
	㉓	2号機サブドレン	3回/週	1回/月	1回/月	1回/月
	㉔	3号機サブドレン	3回/週	2回/年	2回/年	2回/年
㉕	4号機サブドレン					
排水路	㉖	A排水路出口付近	毎日	1回/週	毎日	—
	㉗	B・C排水路出口付近				

	28	K排水路出口付近				
	29	物揚場排水路出口付近				

天候により採取できない場合あり。

- ※1 1～4号機取水路開渠内及び港湾内の全てのサンプリング箇所では海水中の放射性物質濃度が一定のレベルとなった時点で、1～4号機取水路開渠内及び港湾内の全てのサンプリング箇所について同時に γ 線、全 β の分析頻度を1回/週とする。一定のレベルとは、Cs-134, Cs-137, H-3及びSr-90濃度について、告示に定める周辺監視区域外の水中の濃度限度を目安として、各放射性物質濃度とそれらの濃度限度との比の総和が3ヶ月平均で1以下となる濃度とする。(Sr-90は分析値若しくは全 β での評価値とする。)
- ※2 記載の分析項目及び頻度に加え、Pu-238, Pu-239+Pu-240を年2回分析する。
- ※3 監視を継続する観測孔について実施する(Sr-90は、初回採取分のみとする場合あり)。
- ※4 3回/週, 1回/週, 1回/月とする場合あり。