

廃炉発官 R 2 第 5 1 号
令和 2 年 5 月 2 9 日

原子力規制委員会 殿

東京都千代田区内幸町1丁目1番3号
東京電力ホールディングス株式会社
代表執行役社長 小早川 智明

福島第一原子力発電所 特定原子力施設に係る実施計画 変更認可申請書の
一部補正について

令和2年4月22日付け廃炉発官 R 2 第 1 6 号をもって申請しました福島第一原子力発電所 特定原子力施設に係る実施計画 変更認可申請書を別紙の通り一部補正をいたします。

以 上

「福島第一原子力発電所 特定原子力施設に係る実施計画」及び「福島第一原子力発電所 特定原子力施設に係る実施計画 別冊集」について、下記の箇所を別添の通りとする。

補正箇所、補正理由及びその内容は以下の通り。

○福島第一原子力発電所 特定原子力施設に係る実施計画

1号機原子炉格納容器窒素封入ライン（不活性ガス系）撤去に関する変更について、記載の適正化を行う。

また、1号機燃料プール冷却浄化系ポンプ用電動機取替に伴い、下記の通り変更を行う。

II 特定原子力施設の設計、設備

2.2 原子炉格納容器内窒素封入設備

本文

- ・変更なし

添付資料－1

- ・記載の適正化

添付資料－2

- ・変更なし

添付資料－3

- ・記載の適正化

添付資料－1 1

- ・変更なし

2.3 使用済燃料プール設備

添付資料－8

- ・1号機燃料プール冷却浄化系ポンプの耐震評価について、新規記載

2.8 原子炉格納容器ガス管理設備

本文

- ・変更なし

○福島第一原子力発電所 特定原子力施設に係る実施計画 別冊集

別冊3 使用済燃料プール設備に係る補足説明

I 使用済燃料プール設備の構造強度及び耐震性について

- ・1号機燃料プール冷却浄化系ポンプの耐震評価について、新規記載

別冊6 原子炉格納容器ガス管理設備に係る補足説明

I 原子炉格納容器ガス管理設備の構造強度及び耐震性について

- ・変更なし

以 上

別添

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

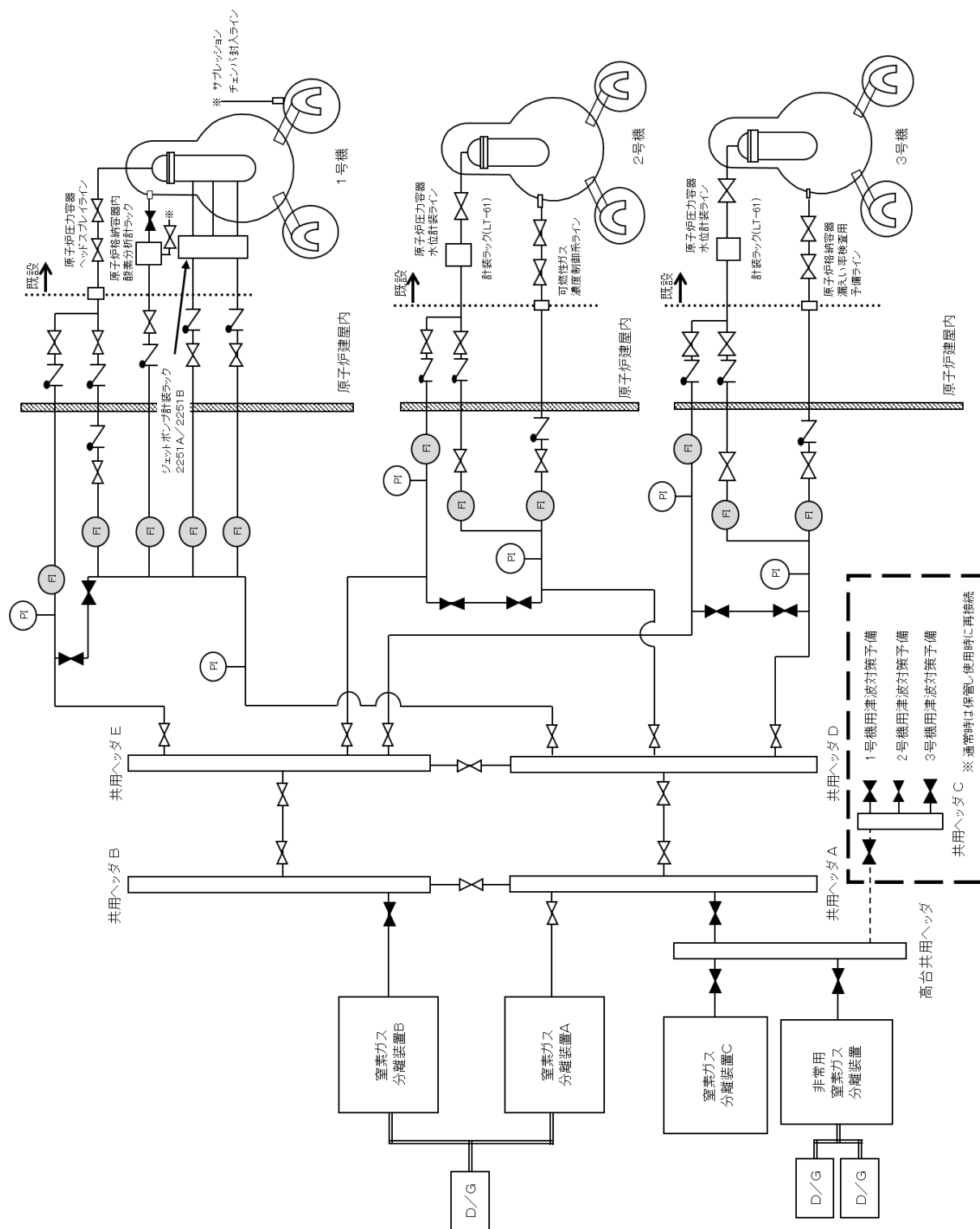


図-1 原子炉格納容器内窒素封入設備 系統概略図

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

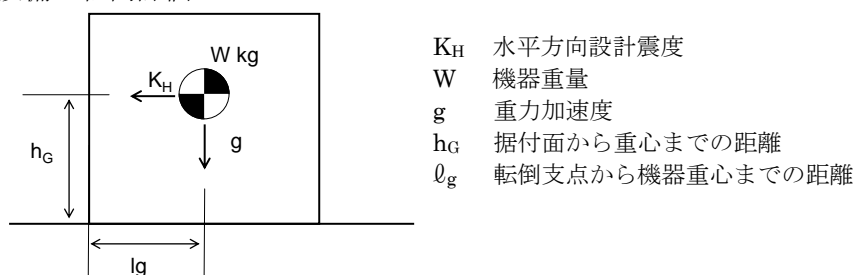
設備名		部位	必要板厚 (mm)	使用板厚 (mm)
窒素ガス 分離装置 A	吸着槽	胴板	5.56	9
		皿形鏡板	5.86	9
		半楕円形鏡板	4.17	12
		平ふた板	21.93	26
	製品槽	胴板	5.56	9
		皿形鏡板	5.86	9
窒素ガス 分離装置 B	吸着槽	胴板	5.56	9
		皿形鏡板	5.86	9
		半楕円形鏡板	4.17	12
		平ふた板	21.93	26
	製品槽	胴板	5.56	9
		皿形鏡板	5.86	9
窒素ガス 分離装置 C	活性炭槽	胴板	3.51	4.5
		半楕円形鏡板	2.75	4.5
		平ふた板	11.94	22
	空気槽	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



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)	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
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。

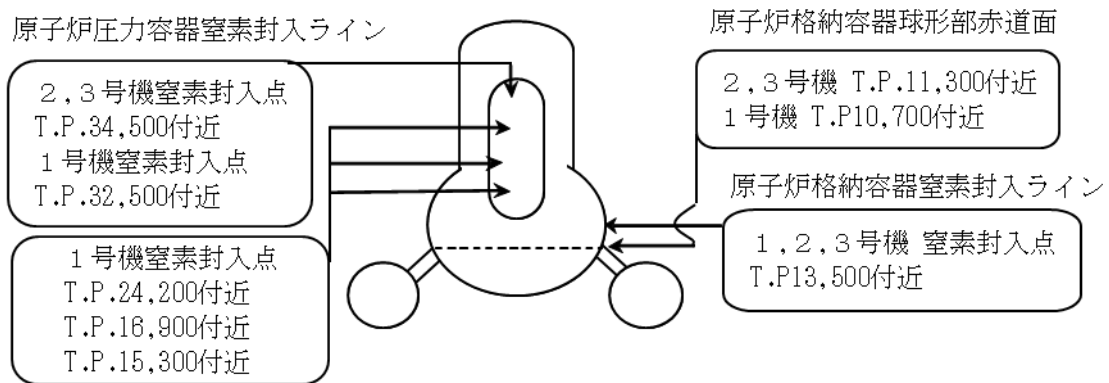


図-1 窒素封入ライン概略図

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4.6m³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) 配管切断時においては、全面マスクを着用して作業を実施する。また、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る。
- (2) 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。
- (3) 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。

2.3 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、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、2～3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、使用済燃料プールの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、使用済燃料プールのスキマ・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。

(2～3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1～3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（2～3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、システム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（1～3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。2～3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F P C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、「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、1～3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、1～3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、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（2～3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2m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)

※ 1～3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)

※ 1～3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

※ 1～3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
規格放水圧力	0.7MPa 以上
放水性能	60m ³ /h 以上
高压放水圧力	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)

※ 1～3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

※ 1～3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）

※ 1～3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 20m ³ /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 4.2m ³ /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 10m ³ /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)

※ 1～3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)

※ 1～3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

※ 1～3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
高压放水圧力	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)

※ 1～3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

※ 1～3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）

※ 1～3号機使用済燃料プール循環冷却設備と共用

表 2. 3-2 主要配管仕様

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℃
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 200A／Sch. 40 STPG370 0. 5MPa/0. 15MPa 100℃/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℃
一次系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 2 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℃

2.3.2.3 3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)

※ 1～3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)

※ 1～3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

※ 1～3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
高压放水圧力	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)

※ 1～3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

※ 1～3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）

※ 1～3号機使用済燃料プール循環冷却設備と共用

表 2. 3 - 3 主要配管仕様

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℃
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 200A/Sch. 40 STPG370 0. 5MPa/0. 15MPa 100℃/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℃
一次系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℃

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 1～3号機使用済燃料プール循環冷却系及び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 1～3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 4号機使用済燃料プール循環系について

1～3号機使用済燃料プール循環冷却系及び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 1～3号機二次系共用ポンプ

(1) 構造強度

1～3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、1～3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

1～3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℃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 1～3号機二次系共用サージタンク

(1) 構造強度

1～3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、1～3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

1～3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、1～3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ー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	S S 4 0 0 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。

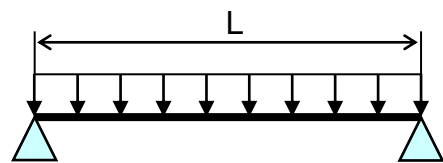
$$\bullet S_w = \frac{wL^2}{8Z}$$

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

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

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。

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

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/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)、0.353~0.355MPa(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。

3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]
3号機 一次系ライン	6.0	3.4
	7.1	3.8
	8.2	3.8
3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 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。

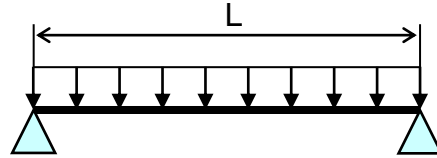
b. 評価方法

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 1～3号機二次系共用配管

(1) 構造強度

1～3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。

1～3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]
1～3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

1～3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。

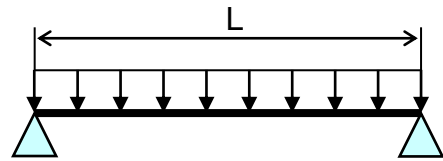
$$\cdot S_w = \frac{wL^2}{8Z}$$

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 C_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(4.12)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 $\text{STPG370}[60^\circ\text{C}]$ 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 1～3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 1～3号機共用エアフィンクーラ

(1) 構造強度

1～3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、1～3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

1～3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℃ 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]
1～3号機二次系共用ポンプ※	0.3	232	11762
1～3号機二次系共用サージタンク※	0.3	232	11762
1～3号機二次系共用エアフィンクーラ	0.3	515	40070

※1～3号機二次系共用ポンプ及び1～3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。

別冊 3

使用済燃料プール設備に係る補足説明

I 使用済燃料プール設備の構造強度及び耐震性について

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

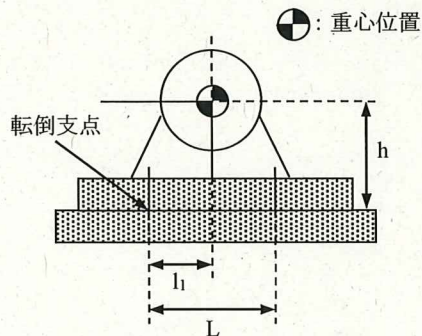
原子力発電所耐震設計技術規程(JEAC4601-2008)の横型ポンプの強度評価方法に準拠して評価を行った。

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。

(i) 評価方法及び条件

適用基準：原子力発電所耐震設計技術規程「JEAC4601 (2008)」

横形ポンプの強度評価方法に準拠して計算を行う。



- ・評価部位：基礎ボルト
- ・考慮する荷重：地震荷重 / ポンプ振動による荷重
- ・計算に用いる数式

$$\text{引張力 } F_b = \frac{1}{L} \{ mg(C_H + C_P)h + M_p - mg(1 - C_V - C_P)l_1 \}$$

$$\text{引張応力 } \sigma_b = \frac{F_b}{n_f A_b}$$

せん断力 $Q_b = mg(C_H + C_P)$

せん断応力 $\tau_b = \frac{Q_b}{nA_b}$

L 支点としている基礎ボルトより最大引張応力がかかる
基礎ボルトまでの距離

m 機器の運転時質量

g 重力加速度(=9.80665)

h 据付面から重心までの距離

M_P ポンプ回転により働くモーメント
※基礎ボルトに M_P は作用しない

l₁ 重心と基礎ボルト間の水平方向距離

n_f 引張力の作用する基礎ボルトの評価本数

n 基礎ボルトの本数

A_b 基礎ボルトの軸断面積

C_H 水平方向設計震度

C_V 鉛直方向設計震度 (=0)

C_P ポンプ振動による震度

・許容応力：供用状態 Cs における許容応力を適用し、以下の式で設定

基礎ボルトの許容引張応力 $: 1.5f_t = \min(f_{t0}, f_{ts})$

基礎ボルトの許容せん断応力 $: 1.5f_s = F/\sqrt{3}$

ここで、F は日本機械学会 設計・建設規格 JSME S NC1-2005/2007
で規定された式を用い、機械的性質については JIS G 3101 を適用
する。

$F = \min(Sy, 0.7Su)$

Sy : 165MPa

Su : 330MPa

従って、

$F = \min(Sy, 0.7Su) = \min(165, 0.7 \times 330) = 165 \text{ MPa}$

基礎ボルトの許容引張応力 $: 1.5f_t = \min(f_{t0}, f_{ts}) = (123, 162)$
= 123 MPa

$f_{t0} = F/2 \times 1.5 = 123.75 \text{ MPa} \rightarrow 123 \text{ MPa}$

$f_{ts} = 1.4 \times f_{t0} - 1.6 \times \tau_b = 1.4 \times 123 - 1.6 \times 6 = 162.6 \text{ MPa}$
→ 162MPa

基礎ボルトの許容せん断応力： $1.5f_s = F/\sqrt{3} = 95.26 \text{ MPa}$

→ 95 MPa

・設計震度：水平方向のみを考慮

$C_H=0.37$

(ii) 機器要目

L	m	g	h	l_1
■[mm]	■[kg]	9.80665	■[mm]	■[mm]

n_f	n	A_b	C_H	C_p
■	■	■[mm ²]	0.37	■

S_y	S_u	F
165*[MPa]	330*[MPa]	165[MPa]

*保守的な評価となるように‘軸の径>100mm’の値を使用。

(iii) 評価結果

	算出応力	許容応力
引張	6[MPa]	123[MPa]
せん断	6[MPa]	95[MPa]

1.2 2号機一次系ポンプ

(1) 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上に搭載し、トレーラ含めてユニット化（以下、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2号機FSTR（フィルター・スラッジタンクルーム）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

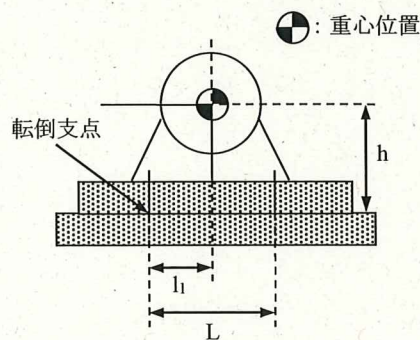
原子力発電所耐震設計技術規程(JEAC4601-2008)の横型ポンプの強度評価方法に準拠して評価を行った。また、ボルトの許容応力については、供用状態Csにおける許容応力を適用し、ボルトの評価温度は100℃とみなして、許容応力を求めた。

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。

(i) 評価方法及び条件

適用基準：原子力発電所耐震設計技術規程「JEAC4601 (2008)」

横形ポンプの強度評価方法に準拠して計算を行う。



- ・評価部位：基礎ボルト
- ・考慮する荷重：地震荷重 / ポンプ振動による荷重
- ・計算に用いる数式

$$\text{引張力 } F_b = \frac{1}{L} \{ mg(C_H + C_p)h + M_p - mg(1 - C_v - C_p)l_1 \}$$

$$\text{引張応力 } \sigma_b = \frac{F_b}{n_f A_b}$$

$$\text{せん断力 } Q_b = mg(C_H + C_P)$$

$$\text{せん断応力 } \tau_b = \frac{Q_b}{n A_b}$$

L 支点としている基礎ボルトより最大引張応力がかかる
基礎ボルトまでの距離

m 機器の運転時質量

g 重力加速度(=9.80665)

h 据付面から重心までの距離

M_P ポンプ回転により働くモーメント
※基礎ボルトに M_P は作用しない

l₁ 重心と基礎ボルト間の水平方向距離

n_f 引張力の作用する基礎ボルトの評価本数

n 基礎ボルトの本数

A_b 基礎ボルトの軸断面積

C_H 水平方向設計震度

C_V 鉛直方向設計震度 (=0)

C_P ポンプ振動による震度

・許容応力：供用状態 Cs における許容応力を適用し、以下の式で設定

$$\text{基礎ボルトの許容引張応力 } : 1.5f_t = \min(f_{t0}, f_{ts})$$

$$\text{基礎ボルトの許容せん断応力 } : 1.5f_s = F/\sqrt{3}$$

ここで、F は日本機械学会 設計・建設規格 JSME S NC1-2005 付属図表 Part 5 表 8 及び表 9 より、以下となる。

$$F = \min(Sy, 0.7Su)$$

$$Sy : \text{表 8 より } 100^\circ\text{C} : 194\text{MPa}$$

$$Su : \text{表 9 より } 100^\circ\text{C} : 373\text{MPa}$$

従って、

$$F = \min(Sy, 0.7Su) = \min(194, 0.7 \times 373) = 194 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \text{基礎ボルトの許容引張応力} : 1.5f_t &= \min(f_{t0}, f_{ts}) = (145, 198) \\ &= 145 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$f_{t0} = F/2 * 1.5 = 145.5\text{MPa} \rightarrow 145\text{MPa}$$

$$f_{ts} = 1.4 \times f_{t0} - 1.6 \times \tau_b = 1.4 \times 145 - 1.6 \times 3 = 198.2\text{MPa}$$

→ 198MPa

基礎ボルトの許容せん断応力： $1.5f_s = F/\sqrt{3} = 112.0 \text{ MPa}$

→ 112 MPa

・設計震度：水平方向のみを考慮

$C_H=0.36$

(ii) 機器要目

L	m	g	h	l ₁
■[mm]	■[kg]	9.80665	■[mm]	■[mm]

n _f	n	A _b	C _H	C _P
■	■	■[mm ²]	0.36	■

S _y	S _u	F
194*[MPa] (40mm<径≤100mm)	373*[MPa] (40mm<径≤100mm)	194[MPa]

*保守的な評価となるように‘40mm<径≤100mm’の値を使用。

(iii) 評価結果

	算出応力	許容応力
引張	作用しない	145[MPa]
せん断	3[MPa]	112[MPa]

※ 浮き上がりが生じないため引張応力は評価不要

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「3.2 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。

1.3 3号機一次系ポンプ

(1) 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上に搭載し、トレーラ含めてユニット化（以下、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3号機廃棄物処理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

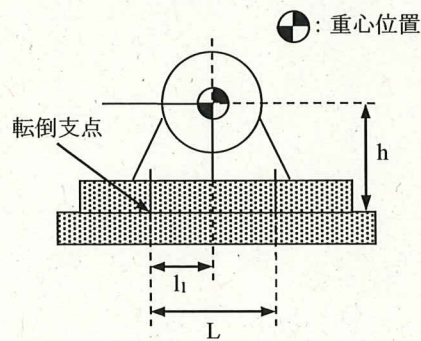
原子力発電所耐震設計技術規程(JEAC4601-2008)の横型ポンプの強度評価方法に準拠して評価を行った。また、ボルトの許容応力については、供用状態 Cs における許容応力を適用し、ボルトの評価温度は 100℃とみなして、許容応力を求めた。

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。

(i) 評価方法及び条件

適用基準：原子力発電所耐震設計技術規程「JEAC4601 (2008)」

横形ポンプの強度評価方法に準拠して計算を行う。



- ・評価部位：基礎ボルト
- ・考慮する荷重：地震荷重 / ポンプ振動による荷重
- ・計算に用いる数式

$$\text{引張力 } F_b = \frac{1}{L} \{ mg(C_H + C_P)h + M_p - mg(1 - C_V - C_P)l_1 \}$$

$$\text{引張応力 } \sigma_b = \frac{F_b}{n_f A_b}$$

せん断力 $Q_b = mg(C_H + C_P)$

せん断応力 $\tau_b = \frac{Q_b}{nA_b}$

L 支点としている基礎ボルトより最大引張応力がかかる
基礎ボルトまでの距離

m 機器の運転時質量

g 重力加速度(=9.80665)

h 据付面から重心までの距離

M_P ポンプ回転により働くモーメント

※基礎ボルトに M_P は作用しない

l_1 重心と基礎ボルト間の水平方向距離

n_f 引張力の作用する基礎ボルトの評価本数

n 基礎ボルトの本数

A_b 基礎ボルトの軸断面積

C_H 水平方向設計震度

C_V 鉛直方向設計震度 (=0)

C_P ポンプ振動による震度

・許容応力：供用状態 C_s における許容応力を適用し、以下の式で設定

基礎ボルトの許容引張応力 $: 1.5f_t = \min(f_{t0}, f_{ts})$

基礎ボルトの許容せん断応力 $: 1.5f_s = F/\sqrt{3}$

ここで、Fは日本機械学会 設計・建設規格 JSME S NC1-2005 付属図表 Part 5 表 8 及び表 9 より、以下となる。

$F = \min(Sy, 0.7Su)$

Sy : 表 8 より 100°C : 194MPa

Su : 表 9 より 100°C : 373MPa

従って、

$F = \min(Sy, 0.7Su) = \min(194, 0.7 \times 373) = 194 \text{ MPa}$

基礎ボルトの許容引張応力 $: 1.5f_t = \min(f_{t0}, f_{ts}) = (145, 198)$
= 145 MPa

$f_{t0} = F/2 \times 1.5 = 145.5 \text{ MPa} \rightarrow 145 \text{ MPa}$

$f_{ts} = 1.4 \times f_{t0} - 1.6 \times \tau_b = 1.4 \times 145 - 1.6 \times 3 = 198.2 \text{ MPa}$
 $\rightarrow 198 \text{ MPa}$

基礎ボルトの許容せん断応力 $: 1.5f_s = F/\sqrt{3} = 112.0 \text{ MPa}$

→ 112 MPa

・設計震度：水平方向のみを考慮

$C_H=0.36$

(ii) 機器要目

L	m	g	h	l_1
■ [mm]	■ [kg]	9.80665	■ [mm]	■ [mm]

n_f	n	A_b	C_H	C_p
■	■	■ [mm ²]	0.36	■

S_y	S_u	F
194* [MPa] (40mm<径≤100mm)	373* [MPa] (40mm<径≤100mm)	194 [MPa]

* 保守的な評価となるように '40mm<径≤100mm' の値を使用。

(iii) 評価結果

	算出応力	許容応力
引張	作用しない	145 [MPa]
せん断	3 [MPa]	112 [MPa]

※ 浮き上がりが生じないため引張応力は評価不要

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。

1.4 4号機一次系ポンプ

(1) 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（以下、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4号機廃棄物処理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。

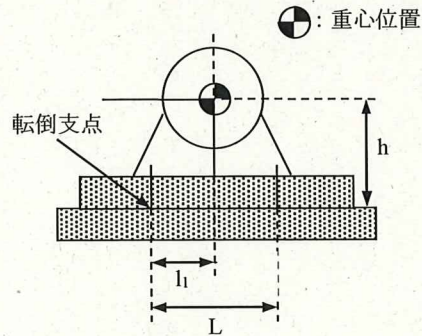
a. ボルトの強度評価

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拠して評価を行った。また、ボルトの許容応力については、供用状態 Cs における許容応力を適用し、ボルトの評価温度は 100°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。

(i) 評価方法及び条件

適用基準：原子力発電所耐震設計技術規程「JEAC4601 (2008)」
横形ポンプの強度評価方法に準拠して計算を行う。



- ・評価部位：基礎ボルト
- ・考慮する荷重：地震荷重 / ポンプ振動による荷重
- ・計算に用いる数式

$$\text{引張力 } F_b = \frac{1}{L} \{ mg(C_H + C_P)h + M_p - mg(1 - C_V - C_P)l_1 \}$$

$$\text{引張応力 } \sigma_b = \frac{F_b}{n_f A_b}$$

$$\text{せん断力 } Q_b = mg(C_H + C_P)$$

$$\text{せん断応力 } \tau_b = \frac{Q_b}{nA_b}$$

L 支点としている基礎ボルトより最大引張応力がかかる基礎ボルトまでの距離

m 機器の運転時質量

g 重力加速度(=9.80665)

h 据付面から重心までの距離

M_P ポンプ回転により働くモーメント

※基礎ボルトに M_P は作用しない

l_1 重心と基礎ボルト間の水平方向距離

n_f 引張力の作用する基礎ボルトの評価本数

n 基礎ボルトの本数

A_b 基礎ボルトの軸断面積

C_H 水平方向設計震度

C_V 鉛直方向設計震度 (=0)

C_P ポンプ振動による震度

・許容応力：供用状態 C_s における許容応力を適用し、以下の式で設定

$$\text{基礎ボルトの許容引張応力} : 1.5f_t = \min(f_{t0}, f_{ts})$$

$$\text{基礎ボルトの許容せん断応力} : 1.5f_s = F/\sqrt{3}$$

ここで、Fは日本機械学会 設計・建設規格 JSME S NC1-2005 付属図表 Part 5 表 8 及び表 9 より、以下となる。

$$F = \min(Sy, 0.7Su)$$

$$Sy : \text{表 8 より } 100^\circ\text{C} : 194\text{MPa}$$

$$Su : \text{表 9 より } 100^\circ\text{C} : 373\text{MPa}$$

従って、

$$F = \min(Sy, 0.7Su) = \min(194, 0.7 \times 373) = 194 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \text{基礎ボルトの許容引張応力} : 1.5f_t = \min(f_{t0}, f_{ts}) &= (145, 195) \\ &= 145\text{MPa} \end{aligned}$$

$$f_{t0} = F/2 \times 1.5 = 145.5\text{MPa} \rightarrow 145\text{MPa}$$

$$\begin{aligned} f_{ts} = 1.4 \times f_{t0} - 1.6 \times \tau_b &= 1.4 \times 145 - 1.6 \times 5 = 195\text{MPa} \\ &\rightarrow 195\text{MPa} \end{aligned}$$

$$\text{基礎ボルトの許容せん断応力} : 1.5f_s = F/\sqrt{3} = 112.0 \text{ MPa}$$

→ 112 MPa

・設計震度：水平方向のみを考慮

$C_H=0.36$

(ii) 機器要目

L	m	g	h	l_1
■ [mm]	■ [kg]	9.80665	■ [mm]	■ [mm]

n_f	n	A_b	C_H	C_p
■	■	■ [mm ²]	0.36	■

S_y	S_u	F
194* [MPa] (40mm<径≤100mm)	373* [MPa] (40mm<径≤100mm)	194 [MPa]

* 保守的な評価となるように '40mm<径≤100mm' の値を使用。

(iii) 評価結果

	算出応力	許容応力
引張	作用しない	145 [MPa]
せん断	5 [MPa]	112 [MPa]

※ 浮き上がりが生じないため引張応力は評価不要

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。

1.5 1～3号機二次系共用ポンプ

(1) 耐震性

1～3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

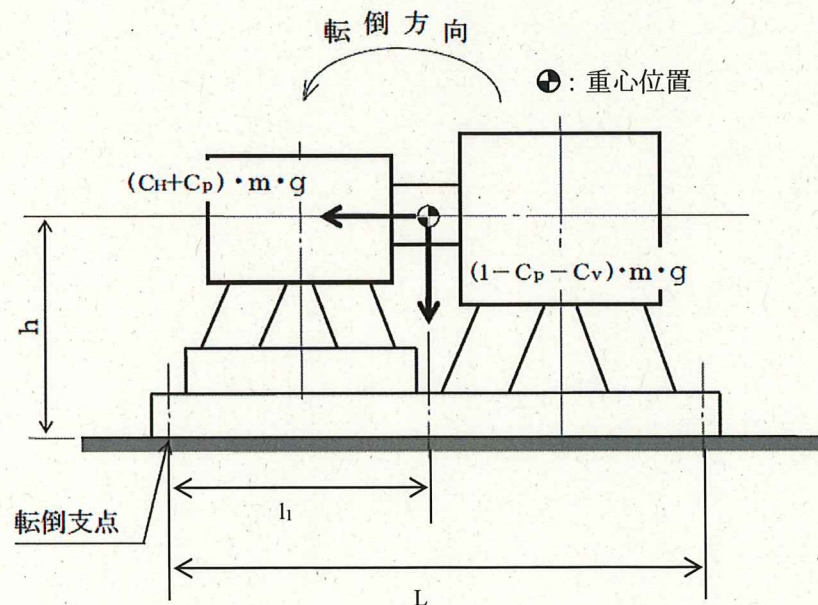
原子力発電所耐震設計技術規程(JEAC4601-2008)の横型ポンプの強度評価方法に準じて、ポンプ基礎ボルトの評価を行った。基礎ボルトの許容応力については、供用状態 C_s における許容応力を適用し、ボルトの評価温度は 50°C とみなして、許容応力を求めた。

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。

(i) 評価方法及び条件

適用基準：原子力発電所耐震設計技術規程「JEAC4601 (2008)」

横型ポンプの強度評価方法に準拠して計算を行う。



- ・評価部位：基礎ボルト
- ・考慮する荷重：地震荷重 / ポンプ振動による荷重
- ・計算に用いる数式

$$\text{引張力 } F_b = \frac{1}{L} \{ mg(C_H + C_P)h + M_P - mg(1 - C_V - C_P)l_1 \}$$

$$\text{引張応力 } \sigma_b = \frac{F_b}{n_f A_b}$$

$$\text{せん断力 } Q_b = mg(C_H + C_P)$$

$$\text{せん断応力 } \tau_b = \frac{Q_b}{n A_b}$$

L 支点としている基礎ボルトより最大引張応力がかかる
基礎ボルトまでの距離

m 機器の運転時質量

g 重力加速度(=9.80665)

h 据付面から重心までの距離

M_P ポンプ回転により働くモーメント

※基礎ボルトに M_P は作用しない

l₁ 重心と基礎ボルト間の水平方向距離

n_f 引張力の作用する基礎ボルトの評価本数

n 基礎ボルトの本数

A_b 基礎ボルトの軸断面積

C_H 水平方向設計震度

C_V 鉛直方向設計震度 (=0)

C_P ポンプ振動による震度

- ・許容応力：供用状態 Cs における許容応力を適用し、以下の式で設定

$$\text{基礎ボルトの許容引張応力} : 1.5f_t = \min(f_{to}, f_{ts})$$

$$\text{基礎ボルトの許容せん断応力} : 1.5f_s = F/\sqrt{3}$$

ここで、F は日本機械学会 設計・建設規格 JSME S NC1-2005 付録材料図表

Part 5 表 8 及び表 9 より、以下となる。

$$F = \min(Sy, 0.7Su)$$

Sy : 表 8 より 50℃ : 241 MPa

Su : 表 9 より 50℃ : 394 MPa

従って、

$$F = \min(Sy, 0.7Su) = \min(241, 0.7 \times 394) = 241 \text{ MPa}$$

基礎ボルトの許容引張応力： $1.5f_t = \min(f_{to}, f_{ts}) = (180, 247)$
 $= 180 \text{ MPa}$

$f_{to} = F/2 \times 1.5 = 180.1 \text{ MPa} \rightarrow 180 \text{ MPa}$

$f_{ts} = 1.4 \times f_{to} - 1.6 \times \tau_b = 1.4 \times 180 - 1.6 \times 3 = 247.2 \text{ MPa} \rightarrow 247 \text{ MPa}$

基礎ボルトの許容せん断応力： $1.5f_s = F/\sqrt{3} = 139.1 \text{ MPa} \rightarrow 139 \text{ MPa}$

・設計震度：水平方向のみを考慮

$C_H = 0.36$

(ii) 機器要目

L	m	g	h	l ₁
■[mm]	■[kg]	9.80665	■[mm]	■[mm]

n _f	n	A _b	C _H	C _P
■	■	■[mm ²]	0.36	■

S _y	S _u	F
241[MPa]	394[MPa]	241[MPa]

(iii) 評価結果

	算出応力	許容応力
引張	作用しない	180[MPa]
せん断	3[MPa]	139[MPa]

※ 浮き上がりが生じないため引張応力は評価不要

2. タンク

2.1 1～3号機二次系共用サージタンク

(1) 耐震性

1～3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、1～3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。

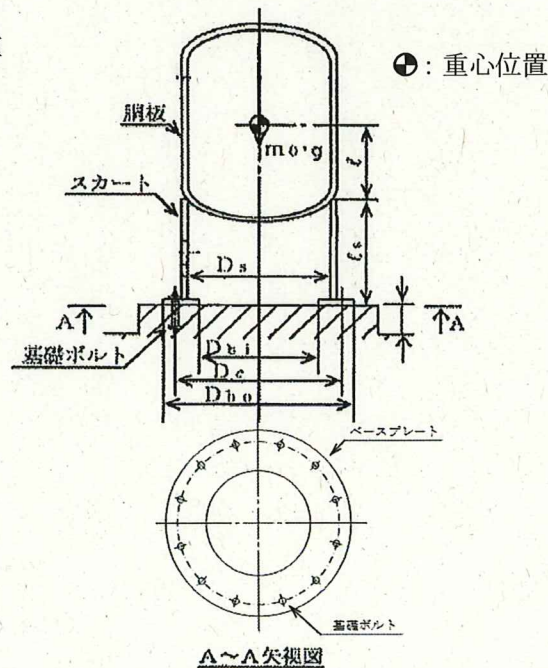
評価結果を以下に示す。算出応力は全て許容応力以下となっている。

(i) 評価方法及び条件

適用基準：原子力発電所耐震設計技術規程「JEAC4601 (2008)」

スカート支持たて置円筒形容器の強度評価方法に準拠して計算を行う。

- ・評価部位：基礎ボルト
- ・考慮する荷重：地震荷重



記号	記号の説明	単位
A_b	基礎ボルトの軸断面積	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 (=0)	—
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
e	基礎ボルト計算における係数	—
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_{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	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
k	基礎ボルト計算における中立軸の荷重係数	—
ℓ	胴のスカート接合点から重心までの距離	mm
ℓ_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_o	容器の運転時質量	kg
Q_b	機器に作用する水平力	N
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
S_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_1	基礎ボルト面積相当板幅	mm
t_2	圧縮側基礎相当幅	mm
z	基礎ボルト計算における係数	—
α	基礎ボルト計算における中立軸を定める角度	rad
π	円周率	—
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
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年追補版含む。））（日本機械学会 2007年9月）（以下「設計・建設規格」）

・計算に用いる数式

引張力及び圧縮力

$$F_t = \frac{M_s - (1 - C_v) \cdot m_0 \cdot g \cdot z \cdot D_c}{e \cdot D_c}$$

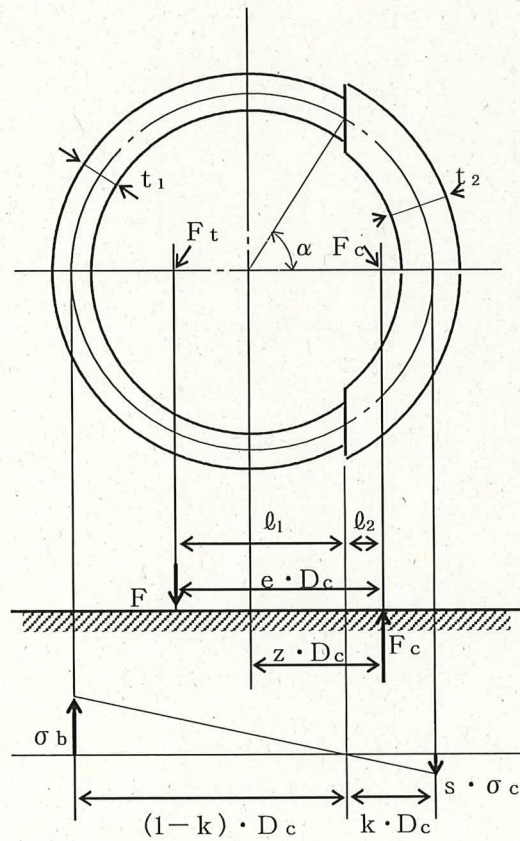
$$F_c = F_t + (1 - C_v) \cdot m_0 \cdot g$$

ここで、

$$M_s = C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot (\ell_s + \ell)$$

$$k = \frac{1}{1 + \frac{\sigma_b}{s \cdot \sigma_c}}$$

$$\alpha = \cos^{-1} (1 - 2 \cdot k)$$



$$e = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \frac{(\pi - \alpha) \cdot \cos^2 \alpha + \frac{1}{2} \cdot (\pi - \alpha) + \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha}{(\pi - \alpha) \cdot \cos \alpha + \sin \alpha} + \frac{\frac{1}{2} \cdot \alpha - \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha + \alpha \cdot \cos^2 \alpha}{\sin \alpha - \alpha \cdot \cos \alpha} \right\}$$

$$z = \frac{1}{2} \cdot \left(\cos \alpha + \frac{\frac{1}{2} \cdot \alpha - \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha + \alpha \cdot \cos^2 \alpha}{\sin \alpha - \alpha \cdot \cos \alpha} \right)$$

引張応力及び圧縮応力

$$\sigma_b = \frac{2 \cdot F_t}{t_1 \cdot D_c \cdot C_t}$$

$$\sigma_c = \frac{2 \cdot F_c}{(t_2 + s \cdot t_1) \cdot D_c \cdot C_c}$$

ここで,

$$t_1 = \frac{n \cdot A_b}{\pi \cdot D_c}$$

$$t_2 = \frac{1}{2} \cdot (D_{bo} - D_{bi}) - t_1$$

$$C_t = \frac{2 \cdot \{(\pi - \alpha) \cdot \cos \alpha + \sin \alpha\}}{1 + \cos \alpha}$$

$$C_c = \frac{2 \cdot (\sin \alpha - \alpha \cdot \cos \alpha)}{1 - \cos \alpha}$$

せん断力

$$Q_b = C_H \cdot m_0 \cdot g$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b}$$

- ・ 許容応力：供用状態 Cs における許容応力を適用し、以下の式で設定
 基礎ボルトの許容引張応力 : $1.5f_t = \min(f_{to}, f_{ts})$
 基礎ボルトの許容せん断応力 : $1.5f_s = F/\sqrt{3}$

ここで、Fは日本機械学会 設計・建設規格 JSME S NC1-2005 付録材料図表 Part 5 表 8 及び表 9 より、以下となる。

$$F = \min (S_y, 0.7S_u)$$

S_y : 表 8 より 50°C : 231 MPa

S_u : 表 9 より 50°C : 394 MPa

従って、

$$F = \min (S_y, 0.7S_u) = \min (231, 0.7 \times 394) = 231 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \text{基礎ボルトの許容引張応力} : 1.5f_t &= \min(f_{t_o}, f_{t_s}) = (173, 235) \\ &= 173 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$f_{t_o} = F/2 \times 1.5 = 173.2 \text{ MPa} \rightarrow 173 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} f_{t_s} &= 1.4 \times f_{t_o} - 1.6 \times \tau_b = 1.4 \times 173 - 1.6 \times 4 = 235.8 \text{ MPa} \\ &\rightarrow 235 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{基礎ボルトの許容せん断応力} : 1.5f_s &= F/\sqrt{3} = 133.3 \text{ MPa} \\ &\rightarrow 133 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(ii) 機器要目

m_o	\varnothing	\varnothing_s	g	s
■ [kg]	■ [mm]	■ [mm]	9.80665	■

n	A_b	D_{bi}	D_{bo}	D_c
■	■ [mm ²]	■ [mm]	■ [mm]	■ [mm]

S_y	S_u	F
231* [MPa] (16mm<径≤40mm)	394* [MPa] (16mm<径≤40mm)	231 [MPa]

* 保守的な評価となるように '16mm<径≤40mm' の値を使用。

(iii) 評価結果

	算出応力	許容応力
引張	1 [MPa]	173 [MPa]
せん断	4 [MPa]	133 [MPa]

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°C 、スカート部 50°C とみなして、許容応力を求めた。

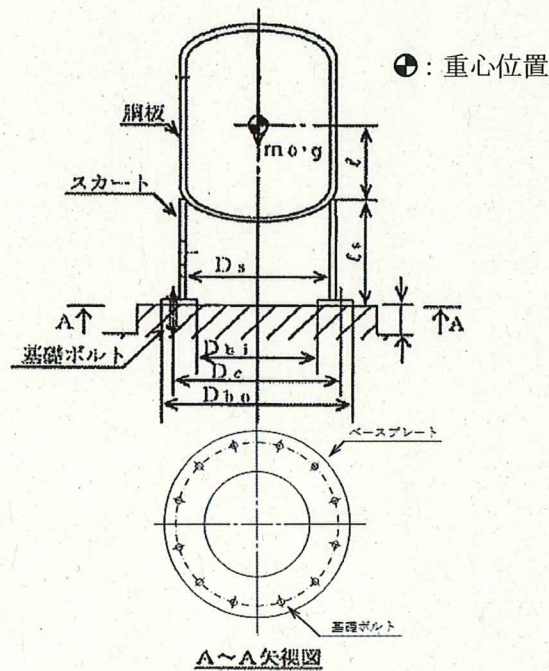
評価結果を以下に示す。算出値は全て許容値以下となっている。

(i) 評価方法及び条件

適用基準：原子力発電所耐震設計技術規程「JEAC4601 (2008)」

スカート支持たて置円筒形容器の強度評価方法に準拠して計算を行う。

- ・評価部位：胴板及びスカート
- ・考慮する荷重：地震荷重



記号	記号の説明	単位
C_H	水平方向設計震度	—
C_v	鉛直方向設計震度	—
D_i	胴の内径	mm
D_j	スカートに設けられた各開口部の穴径 ($j=1, 2, 3 \dots j_1$)	mm
D_s	スカートの内径	mm
F	設計・建設規格 SSB-3121.1又はSSB-3131に定める値	MPa
f_b	曲げモーメントに対する許容座屈応力	MPa
f_c	軸圧縮荷重に対する許容座屈応力	MPa
f_t	スカートの許容引張応力	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
H	水頭	mm
l	胴のスカート接合点から重心までの距離	mm
l_r	容器の重心から上端支持部までの長さ	mm
l_s	スカートの長さ	mm
M_s	スカートに作用する転倒モーメント	$N \cdot mm$
M_{s1}	スカートの上端部に作用する転倒モーメント	$N \cdot mm$
M_{s2}	スカートの下端部に作用する転倒モーメント	$N \cdot mm$
m_o	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
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
t	胴板の厚さ	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
η	座屈応力に対する安全率	—
π	円周率	—

記号	記号の説明	単位
ρ'	液体の密度 (=比重 $\times 10^{-6}$)	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_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_s	地震によりスカートに生じるせん断応力	MPa
$\phi_1(x)$	圧縮荷重に対する許容座屈応力の関数	MPa
$\phi_2(x)$	曲げモーメントに対する許容座屈応力の関数	MPa

注：「設計・建設規格」とは、発電用原子力設備規格（設計・建設規格 JSME S 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。)をいう。

・計算に用いる数式

静水頭又は内圧による胴の応力

静水頭による場合（鉛直方向地震時を含む。）

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i}{2 \cdot t}$$

$$\sigma_{\phi 2} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i \cdot C_v}{2 \cdot t}$$

$$\sigma_{x 1} = 0$$

内圧による場合

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{2 \cdot t}$$

$$\sigma_{\phi 2} = 0$$

$$\sigma_{x 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{4 \cdot t}$$

運転時質量及び鉛直方向地震による胴の応力

下部の胴について

$$\sigma_{x 2} = \frac{(m_o - m_e) \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t}$$

$$\sigma_{x 5} = \frac{(m_o - m_e) \cdot g \cdot C_v}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t}$$

上部の胴について

$$\sigma_{x 3} = \frac{m_e \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t}$$

$$\sigma_{x 6} = \frac{m_e \cdot g \cdot C_v}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t}$$

水平方向地震による胴の応力

下端固定の場合

$$\sigma_{x4} = \frac{4 \cdot C_H \cdot m_o \cdot g \cdot \ell}{\pi \cdot (D_i + t)^2 \cdot t}$$

$$\tau = \frac{2 \cdot C_H \cdot m_o \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t}$$

下端固定上端支持の場合

$$\sigma_{x4} = \frac{4 \cdot C_H \cdot m_o \cdot g \cdot \ell \cdot \left(1 - \frac{Q'}{Q} \cdot (\ell + \ell_r)\right)}{\pi \cdot (D_i + t)^2 \cdot t}$$

$$\tau = \frac{2 \cdot C_H \cdot m_o \cdot g \cdot \left(1 - \frac{Q'}{Q}\right)}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t}$$

組合せによる胴の応力

一次一般膜応力

胴の組合せ一次一般膜応力の最大値は、絶対値和、SRSS法それぞれに対して、次による。

$$\sigma_o = \text{Max} \{ \text{組合せ引張応力} (\sigma_{ot}), \text{組合せ圧縮応力} (\sigma_{oc}) \}$$

組合せ引張応力

$$\sigma_\phi = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2}$$

$$\sigma_{ot} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_\phi + \sigma_{xt} + \sqrt{(\sigma_\phi - \sigma_{xt})^2 + 4 \cdot \tau^2} \right\}$$

ここで、

【絶対値和】

$$\sigma_{xt} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x4} + \sigma_{x5}$$

【SRSS法】

$$\sigma_{xt} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sqrt{\sigma_{x4}^2 + \sigma_{x5}^2}$$

組合せ圧縮応力

σ_{xc} が正の値（圧縮側）のとき、次の組合せ圧縮応力を求める。

$$\sigma_{\phi} = -\sigma_{\phi 1} - \sigma_{\phi 2}$$

$$\sigma_{oc} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{\phi} + \sigma_{xc} + \sqrt{(\sigma_{\phi} - \sigma_{xc})^2 + 4 \cdot \tau^2} \right\}$$

ここで、

【絶対値和】

$$\sigma_{xc} = -\sigma_{x1} + \sigma_{x3} + \sigma_{x4} + \sigma_{x6}$$

【SRSS法】

$$\sigma_{xc} = -\sigma_{x1} + \sigma_{x3} + \sqrt{\sigma_{x4}^2 + \sigma_{x6}^2}$$

一次応力は一次一般膜応力と同じになるので省略する。

スカートの応力

運転時質量及び鉛直方向地震によるスカートの応力

$$\sigma_{s1} = \frac{m_o \cdot g}{\{\pi \cdot (D_s + t_s) - Y\} \cdot t_s}$$

$$\sigma_{s3} = \frac{m_o \cdot g \cdot C_v}{\{\pi \cdot (D_s + t_s) - Y\} \cdot t_s}$$

ここで、

$$Y = \sum_{j=1}^{j_1} (D_s + t_s) \cdot \sin^{-1} \left(\frac{D_j}{D_s + t_s} \right)$$

水平方向地震によるスカートの応力

下端固定の場合

$$\sigma_{s2} = \frac{M_s}{(D_s + t_s) \cdot t_s \cdot \left\{ \frac{\pi}{4} \cdot (D_s + t_s) - \frac{Y}{2} \right\}}$$

$$\tau_s = \frac{2 \cdot C_H \cdot m_o \cdot g}{\{\pi \cdot (D_s + t_s) - Y\} \cdot t_s}$$

ここで、

$$M_s = C_H \cdot m_o \cdot g \cdot (\ell_s + \ell)$$

下端固定上端支持の場合

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。

$$M_{s1} = C_H \cdot m_o \cdot g \cdot \left| \ell - \frac{Q'}{Q} \cdot (\ell + \ell_r) \right|$$

$$M_{s2} = C_H \cdot m_o \cdot g \cdot \left| \ell_s + \ell - \frac{Q'}{Q} \cdot (\ell_s + \ell + \ell_r) \right|$$

$$\tau_s = \frac{2 \cdot C_H \cdot m_o \cdot g \cdot \left(1 - \frac{Q'}{Q} \right)}{\{\pi \cdot (D_s + t_s) - Y\} \cdot t_s}$$

組合せによるスカートの応力

【絶対値和】

$$\sigma_s = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s3})^2 + 3 \cdot \tau_s^2}$$

【SRSS法】

$$\sigma_s = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s2}^2 + \sigma_{s3}^2})^2 + 3 \cdot \tau_s^2}$$

・許容応力

胴の許容応力

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。

スカートの許容応力

$$f_t = \frac{F}{1.5} \cdot 1.5$$

ここで、 F は日本機械学会 設計・建設規格 JSME S NC1-2005 付録材料図表

Part 5 表 8 及び表 9 より、以下となる。

$$F = \min (S_y, 0.7S_u)$$

S_y : 表 8 より 50°C : 241 MPa

S_u : 表 9 より 50°C : 394 MPa

・座屈評価

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。

$$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_b} \leq 1$$

ここで、 f_c は次による。

$$\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \leq \frac{1200 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_c = F$$

$$\frac{1200 \cdot g}{F} < \frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} < \frac{8000 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_c = F \cdot \left[1 - \frac{1}{6800 \cdot g} \cdot \left\{ F - \phi_1 \left(\frac{8000 \cdot g}{F} \right) \right\} \cdot \left(\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right) \right]$$

$$\frac{8000 \cdot g}{F} \leq \frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \leq 800 \quad \text{のとき}$$

$$f_c = \phi_1 \left(\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \right)$$

ただし、 $\phi_1(x)$ は次の関数とする。

$$\phi_1(x) = 0.6 \cdot \frac{E_s}{x} \cdot \left[1 - 0.901 \cdot \left\{ 1 - \exp \left(-\frac{1}{16} \cdot \sqrt{x} \right) \right\} \right]$$

また、 f_b は次による。

$$\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \leq \frac{1200 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_b = F$$

$$\frac{1200 \cdot g}{F} < \frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} < \frac{9600 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_b = F \cdot \left[1 - \frac{1}{8400 \cdot g} \cdot \left\{ F - \phi_2 \left(\frac{9600 \cdot g}{F} \right) \right\} \right. \\ \left. \cdot \left(\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right) \right]$$

$$\frac{9600 \cdot g}{F} \leq \frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \leq 800 \quad \text{のとき}$$

$$f_b = \phi_2 \left(\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \right)$$

ただし、 $\phi_2(x)$ は次の関数とする。

$$\phi_2(x) = 0.6 \cdot \frac{E_s}{x} \cdot \left[1 - 0.731 \cdot \left\{ 1 - \exp \left(-\frac{1}{16} \cdot \sqrt{x} \right) \right\} \right]$$

η は安全率で次による。

$$\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \leq \frac{1200 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$\eta = 1$$

$$\frac{1200 \cdot g}{F} < \frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} < \frac{8000 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$\eta = 1 + \frac{0.5 \cdot F}{6800 \cdot g} \cdot \left(\frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right)$$

$$\frac{8000 \cdot g}{F} \leq \frac{D_s + 2 \cdot t_s}{2 \cdot t_s} \quad \text{のとき}$$

$$\eta = 1.5$$

(ii) 機器要目

m_o	m_e	D_i	t	D_s	t_s
■■■[kg]	■■■[kg]	■■■[mm]	■■■[mm]	■■■[mm]	■■■[mm]

E	E_s	g
■■■[MPa]	■■■[MPa]	9.80665

ℓ	ℓ_s	D_1	D_2	D_3
■■■[mm]	■■■[mm]	■■■[mm]	■■■[mm]	■■■[mm]

Y	M_s
■■■[mm]	7.626E+06 [N・mm]

S_y (胴板)	S_u (胴板)	S_y (スカート)	S_u (スカート)	F (スカート)
223 ^{*1} [MPa] ■■■	374 ^{*1} [MPa]	241 ^{*2} [MPa] ■■■	394 ^{*2} [MPa]	241[MPa]

※1：最高使用温度 95℃で算出

※2：周囲環境温度 50℃で算出

(iii) 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

応力の組合せは絶対値和にて実施している。

3.熱交換器

3.1 2号機熱交換器

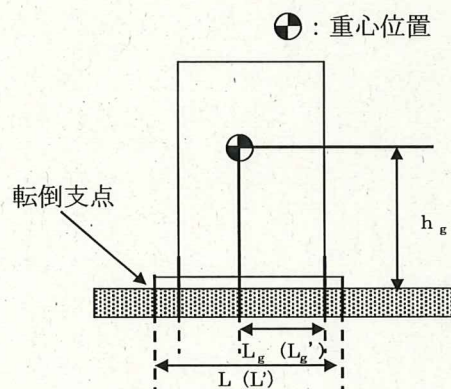
(1) 耐震性

2号機プレート式熱交換器については、一次系ポンプや配管、弁等と共にトレーラ上に搭載し、トレーラ含めてユニット化（以下、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2号機FSTR（フィルター・スラッジタンクルーム）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



(i) 評価条件

- ・ 機器質量 $W = \blacksquare$ [kg]
- ・ 重心高さ $h_g = \blacksquare$ [mm]
- ・ 重心位置（長辺） $L_g = \blacksquare$ [mm]
- ・ 重心位置（短辺） $L_g' = \blacksquare$ [mm]
- ・ 基礎ボルト片側本数 $n_t = \blacksquare$ 本
- ・ 基礎ボルト総本数 $n = \blacksquare$ 本
- ・ 基礎ボルト断面積 $A = \blacksquare$ [mm²] (\blacksquare)
- ・ ボルトスパン（長辺） $L = \blacksquare$ [mm]

・ボルトスパン（短辺） $L' = \blacksquare$ [mm]

・水平震度 $K_h = 0.66$

・鉛直震度 $K_v = 0.33$

(ii) 評価結果

・基礎ボルトにかかる長辺方向の引張応力 σ_1

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= (K_h \times W \times G \times h_g - (W - K_v \times W) \times L_g \times G) / (L \times n \times A) \\ &= (0.66 \times \blacksquare \times 9.80665 \times \blacksquare - (\blacksquare - 0.33 \times \blacksquare) \times \blacksquare \times 9.80665) / \\ &\quad (\blacksquare \times \blacksquare \times \blacksquare) \\ &= 9.6 \text{ [MPa]} \rightarrow 10 \text{ [MPa]} \end{aligned}$$

・基礎ボルトにかかる短辺方向の引張応力 σ_2

$$\begin{aligned} \sigma_2 &= (K_h \times W \times G \times h_g - (W - K_v \times W) \times L_g' \times G) / (L' \times n \times A) \\ &= (0.66 \times \blacksquare \times 9.80665 \times \blacksquare - (\blacksquare - 0.33 \times \blacksquare) \times \blacksquare \times 9.80665) / \\ &\quad (\blacksquare \times \blacksquare \times \blacksquare) \\ &= 46.2 \text{ [MPa]} \rightarrow 47 \text{ [MPa]} \end{aligned}$$

・基礎ボルト1本にかかるせん断応力 τ_1

$$\begin{aligned} \tau_1 &= K_h \times W \times G / (n \times A) \\ &= 0.66 \times \blacksquare \times 9.80665 / (\blacksquare \times \blacksquare) \\ &= 11.0 \text{ [MPa]} \rightarrow 11 \text{ [MPa]} \end{aligned}$$

許容応力との比較を下表に示す。

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

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。

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「3.2 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。

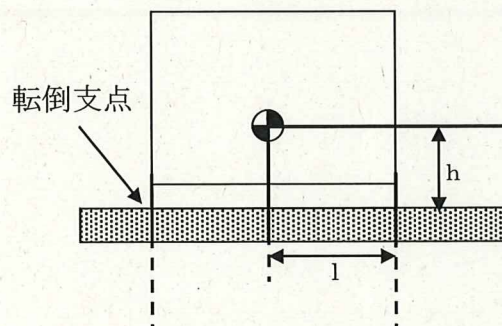
3.2 2号機熱交換器ユニット

(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、2号機FSTR（フィルター・スラッジタンクルーム）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対して、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。

⊙：重心位置



a. 転倒評価

熱交換器ユニット及びそれを搭載するトレーラの固定部に、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。

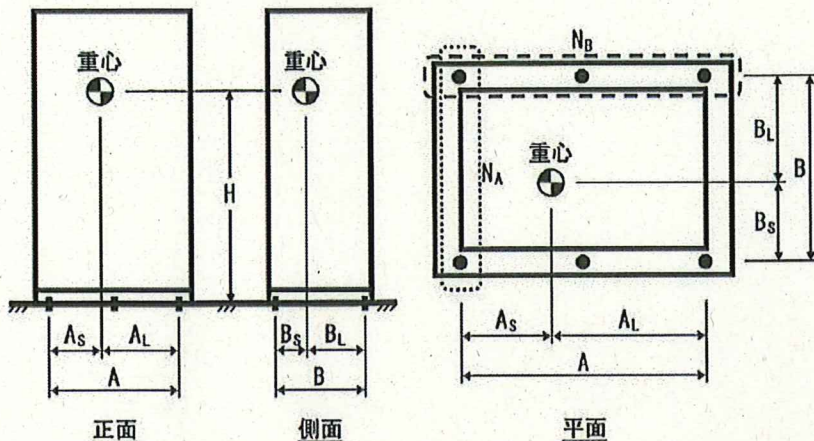
評価結果

部位	材料	荷重	算出荷重[N]	許容荷重[N]
アンカボルト	SUS304	引張	作用しない	41000
		せん断	30114	58000

※ 浮き上がりが生じないため引張荷重は評価不要

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。

< アンカボルト健全性評価 後打ちアンカ検討 >



アンカボルト健全性評価													
・ 機器名称													
・ 耐震クラス													
・ 最大機器荷重	W= (kg)												
・ 鉛直設計震度	CV= 0												
・ 水平設計震度	CH= 0.71												
・ 重心位置までの高さ	H= (mm)												
・ 後打ちアンカ総数	N= (本)												
・ 引張を受ける後打ちアンカ数	N _A = (本)												
	N _B = (本)												
・ 重心位置までの距離	<table border="0"> <tr> <td><短辺></td> <td>A_s= (mm)</td> <td>(A_s ≤ A_L)</td> </tr> <tr> <td><長辺></td> <td>A_L= (mm)</td> <td></td> </tr> <tr> <td><短辺></td> <td>B_s= (mm)</td> <td>(B_s ≤ B_L)</td> </tr> <tr> <td><長辺></td> <td>B_L= (mm)</td> <td></td> </tr> </table>	<短辺>	A _s = (mm)	(A _s ≤ A _L)	<長辺>	A _L = (mm)		<短辺>	B _s = (mm)	(B _s ≤ B _L)	<長辺>	B _L = (mm)	
<短辺>	A _s = (mm)	(A _s ≤ A _L)											
<長辺>	A _L = (mm)												
<短辺>	B _s = (mm)	(B _s ≤ B _L)											
<長辺>	B _L = (mm)												
・ 後打ちアンカスパン	<table border="0"> <tr> <td><A側></td> <td>A= (mm)</td> </tr> <tr> <td><B側></td> <td>B= (mm)</td> </tr> </table>	<A側>	A= (mm)	<B側>	B= (mm)								
<A側>	A= (mm)												
<B側>	B= (mm)												
・ 後打ちアンカサイズ (ﾌﾟﾗﾝﾄ)	IF-2 (ﾏﾙｱﾝｶ)												
・ 後打ちアンカ許容荷重	<table border="0"> <tr> <td>(長期) T0= (N)</td> <td>(短期) (N)</td> </tr> <tr> <td>T1= (N)</td> <td>(N)</td> </tr> <tr> <td>S0= (N)</td> <td>(N)</td> </tr> </table>	(長期) T0= (N)	(短期) (N)	T1= (N)	(N)	S0= (N)	(N)						
(長期) T0= (N)	(短期) (N)												
T1= (N)	(N)												
S0= (N)	(N)												
・ 転倒モーメント	MA= 35534250 (N・cm) MB= 35534250 (N・cm)												
・ 最大水平力	S= 30114 (N)												
・ 垂直力(引張)	TA= -48971 (N) TB= -11991 (N)												
・ 垂直力(圧縮)	PA= 120685 (N) PB= 72837 (N)												

表-3 基礎荷重表

設計震度		地震時				最大機器荷重 (kg)	耐震クラス
水平	垂直	転倒モーメント (N・cm)	最大水平力 (N)	最大垂直力			
0.71	0			35534250	30114	引張 (N)	圧縮 (N)
				0	120685	34600	-

後打ちアンカ検討	引張T= 0 (N)	K= 0.520
	せん断S= 30114 (N)	判定: OK

3.3 3号機熱交換器

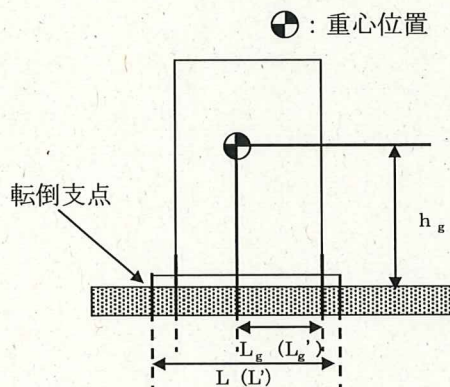
(1) 耐震性

3号機プレート式熱交換器については、一次系ポンプや配管、弁等と共にトレーラ上に搭載し、トレーラ含めてユニット化（以下、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3号機廃棄物処理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、メーカー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



(i) 評価条件

- ・ 機器質量 $W = \blacksquare$ [kg]
- ・ 重心高さ $h_g = \blacksquare$ [mm]
- ・ 重心位置（長辺） $L_g = \blacksquare$ [mm]
- ・ 重心位置（短辺） $L_g' = \blacksquare$ [mm]
- ・ 基礎ボルト片側本数 $n_t = \blacksquare$ 本
- ・ 基礎ボルト総本数 $n = \blacksquare$ 本
- ・ 基礎ボルト断面積 $A = \blacksquare$ [mm²] (\blacksquare)
- ・ ボルトスパン（長辺） $L = \blacksquare$ [mm]

- ・ボルトスパン（短辺） $L' = \blacksquare$ [mm]
- ・水平震度 $K_h = 0.66$
- ・鉛直震度 $K_v = 0.33$

(ii) 評価結果

- ・基礎ボルトにかかる長辺方向の引張応力 σ_1

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= (K_h \times W \times G \times h_g - (W - K_v \times W) \times L_g \times G) / (L \times n_t \times A) \\ &= (0.66 \times \blacksquare \times 9.80665 \times \blacksquare - (\blacksquare - 0.33 \times \blacksquare) \times \blacksquare \times 9.80665) / \\ &\quad (\blacksquare \times \blacksquare \times \blacksquare) \\ &= 9.6 \text{ [MPa]} \rightarrow 10 \text{ [MPa]} \end{aligned}$$

- ・基礎ボルトにかかる短辺方向の引張応力 σ_2

$$\begin{aligned} \sigma_2 &= (K_h \times W \times G \times h_g - (W - K_v \times W) \times L_g' \times G) / (L' \times n_t \times A) \\ &= (0.66 \times \blacksquare \times 9.80665 \times \blacksquare - (\blacksquare - 0.33 \times \blacksquare) \times \blacksquare \times 9.80665) / \\ &\quad (\blacksquare \times \blacksquare \times \blacksquare) \\ &= 46.2 \text{ [MPa]} \rightarrow 47 \text{ [MPa]} \end{aligned}$$

- ・基礎ボルト1本にかかるせん断応力 τ_1

$$\begin{aligned} \tau_1 &= K_h \times W \times G / (n \times A) \\ &= 0.66 \times \blacksquare \times 9.80665 / (\blacksquare \times \blacksquare) \\ &= 11.0 \text{ [MPa]} \rightarrow 11 \text{ [MPa]} \end{aligned}$$

許容応力との比較を下表に示す。

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

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。

b. トレーラ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。

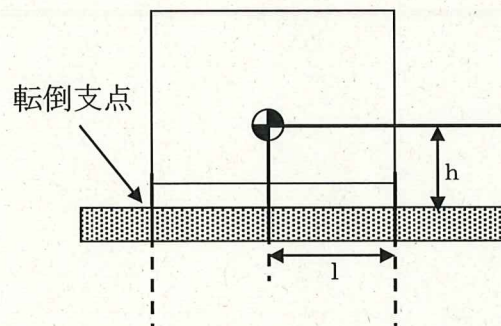
3.4 3号機熱交換器ユニット

(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、3号機廃棄物処理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対して、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。

⊙ : 重心位置



a. 転倒評価

熱交換器ユニット及びそれを搭載するトレーラの固定部に、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 1G 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。

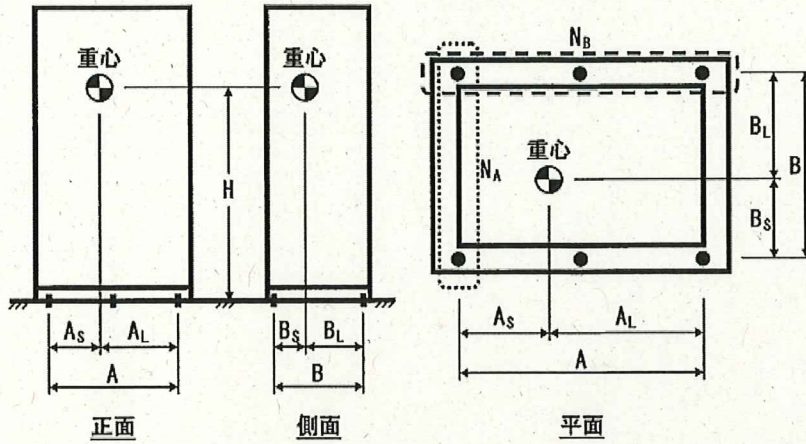
評価結果

部位	材料	荷重	算出荷重[N]	許容荷重[N]
アンカボルト	SUS304	引張	作用しない	41000
		せん断	23782	58000

※ 浮き上がりが生じないため引張荷重は評価不要

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。

< 1F-3 SFP代替冷却ユニット検討 転倒限界加速度 検討 >



・機器名称	1F-3 SFP代替冷却ユニット検討 転倒限界加速度	
・耐震クラス	-	
・最大機器荷重	W=	(kg)
・鉛直設計震度	CV=	0
・水平設計震度	CH=	1.00
・重心位置までの高さ	H=	(mm)
・後打ちアンカ総数	N=	(本)
・引張を受ける後打ちアンカ数	N _A =	(本)
	N _B =	(本)
・重心位置までの距離	<短辺> A _S =	(mm) (A _S ≤ A _L)
	<長辺> A _L =	(mm)
	<短辺> B _S =	(mm) (B _S ≤ B _L)
	<長辺> B _L =	(mm)
・後打ちアンカスパン	<A側> A=	(mm)
	<B側> B=	(mm)
・後打ちアンカサイズ (ブラント)	1F-3	(マルアンカ)
・後打ちアンカ許容荷重	(長期) T0=	(N) (短期) (N)
	T1=	(N) (N)
	S0=	(N) (N)
・転倒モーメント	MA= 40180591	(N・cm) MB= 40180591 (N・cm)
・最大水平力	S= 23782	(N)
・垂直力(引張)	TA= -26699	(N) TB= -34 (N)
・垂直力(圧縮)	PA= 115989	(N) PB= 47529 (N)

設計震度		地震時				最大機器荷重 (kg)	耐震クラス
水平	垂直	転倒モーメント (N・cm)	最大水平力 (N)	最大垂直力			
1	0			40180591	23782	引張 (N)	圧縮 (N)
				0	115989		

後打ちアンカ検討	引張T=	0 (N)	K=	0.411
	せん断S=	23782 (N)	判定:	OK

3.5 4号機熱交換器

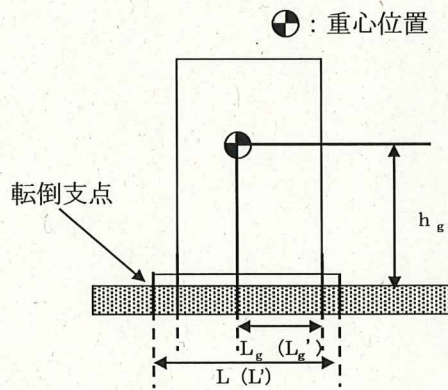
(1) 耐震性

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（以下、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、熱交換器ユニットは4号機廃棄物処理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、メーカー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



(i) 評価条件

- ・ 機器質量 $W = \blacksquare$ [kg]
- ・ 重心高さ $h_g = \blacksquare$ [mm]
- ・ 重心位置（長辺） $L_g = \blacksquare$ [mm]
- ・ 重心位置（短辺） $L_g' = \blacksquare$ [mm]
- ・ 基礎ボルト片側本数 $n_t = \blacksquare$ 本
- ・ 基礎ボルト総本数 $n = \blacksquare$ 本
- ・ 基礎ボルト断面積 $A = \blacksquare$ [mm²] (\blacksquare)
- ・ ボルトスパン（長辺） $L = \blacksquare$ [mm]

・ボルトスパン（短辺） $L' = \blacksquare$ [mm]

・水平震度 $K_h = 0.66$

・鉛直震度 $K_v = 0.33$

(ii) 評価結果

・基礎ボルトにかかる長辺方向の引張応力 σ_1

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= (K_h \times W \times G \times h_g - (W - K_v \times W) \times L_g \times G) / (L \times n \times A) \\ &= (0.66 \times \blacksquare \times 9.80665 \times \blacksquare - (\blacksquare - 0.33 \times \blacksquare) \times \blacksquare \times 9.80665) / \\ &\quad (\blacksquare \times \blacksquare \times \blacksquare) \\ &= 13.3 \text{ [MPa]} \rightarrow 14 \text{ [MPa]} \end{aligned}$$

・基礎ボルトにかかる短辺方向の引張応力 σ_2

$$\begin{aligned} \sigma_2 &= (K_h \times W \times G \times h_g - (W - K_v \times W) \times L_g' \times G) / (L' \times n \times A) \\ &= (0.66 \times \blacksquare \times 9.80665 \times \blacksquare - (\blacksquare - 0.33 \times \blacksquare) \times \blacksquare \times 9.80665) / \\ &\quad (\blacksquare \times \blacksquare \times \blacksquare) \\ &= 54.1 \text{ [MPa]} \rightarrow 55 \text{ [MPa]} \end{aligned}$$

・基礎ボルト1本にかかるせん断応力 τ_1

$$\begin{aligned} \tau_1 &= K_h \times W \times G / (n \times A) \\ &= 0.66 \times \blacksquare \times 9.80665 / (\blacksquare \times \blacksquare) \\ &= 12.9 \text{ [MPa]} \rightarrow 13 \text{ [MPa]} \end{aligned}$$

許容応力との比較を下表に示す。

表1 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

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。

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

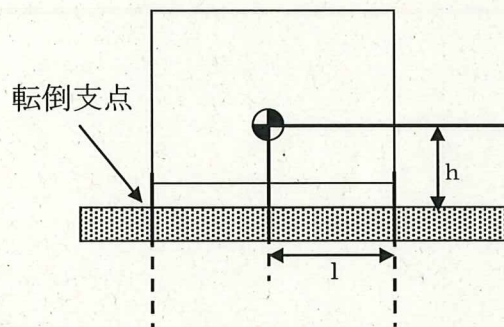
(1) 耐震性

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上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、床面の転倒及び滑り防止のため、4号機廃棄物処理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するとともに、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。

●：重心位置



- ・製品重量 [N]
- ・水平重心距離 $l =$ [mm]
- ・重心高さ $h =$ [mm]
- ・水平震度 0.36[G]

a. 転倒評価

計算過程を以下に示す。

$$[\text{水平荷重}] = [\text{水平震度}] \times [\text{製品重量}] = 28224[\text{N}]$$

$$[\text{転倒モーメント}] = [\text{水平荷重}] \times [\text{重心高さ}] = 31611 [\text{N}\cdot\text{m}]$$

$$[\text{安定モーメント}] = [\text{製品重量}] \times [\text{水平重心距離}] = 47040 [\text{N}\cdot\text{m}]$$

以上から、転倒モーメント < 安定モーメントであり、水平震度 0.36G に対しユニットは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下表に示す。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。

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

※ 浮き上がりが生じないため引張応力は評価不要

4. 配管

4.1 1号機配管

(1) 構造強度

鋼管については、「設計・建設規格」に基づき、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。

なお、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。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 1.0 MPa での評価結果を示す。

1号機二次系鋼管の構造強度評価結果※1

	材料	外径 : D0 [mm]	最高 使用 圧力 : P [MPa]	許容引張 応力 : S [MPa]	公称 肉厚 [mm]	管の計算上 必要な 厚さ : t[mm]	炭素鋼 鋼管の必要 最小厚さ※2 [mm]
1号機 二次系ライン	STPG370	60.5	1.0	93	5.5	0.33	2.4
	STPG370	165.2	1.0	93	7.1	0.89	3.8
	STPT370	60.5	1.0	93	5.5	0.33	2.4
	STPT370	165.2	1.0	93	7.1	0.89	3.8

※1 長手継手の効率 η は全て 1

※2 表-1 に定める値

■ 内圧を受ける直管

最高使用圧力に対する直管の厚さは、(式 1-1) により計算した値および表-1 に定める値のいずれか大きい方の値以上でなければならない。

$$t = \frac{PD_0}{2S\eta + 0.8P} \quad (\text{式 1-1})$$

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 PVD-3110」に定めるところによる。

表-1 炭素鋼鋼管の必要最小厚さ

管の外径 (mm)	管の厚さ (mm)
25 未満	1.4
25 以上 38 未満	1.7
38 以上 45 未満	1.9
45 以上 57 未満	2.2
57 以上 64 未満	2.4
64 以上 82 未満	2.7
82 以上 101 未満	3.0
101 以上 127 未満	3.4
127 以上	3.8

(2) 耐震性

二次系設備のうち、配管の耐震性についての評価結果を示す。

1. 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。

2. 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。

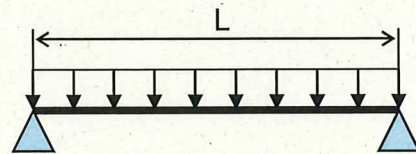
$$\cdot S_w = \frac{wL^2}{8Z}$$

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

$$\cdot S_s = \alpha S_w \quad (4.2)$$

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Ds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。

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

S_p : 内圧による応力[MPa]

S_w : 自重による応力[MPa]

Ss: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ることができる。

3. 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 0.36、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、(4.3)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、 $S_w=120$ [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[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。

なお、1号機代表配管に対するサポート支持間隔等の値を以下に示す。

(サポート支持間隔が最も長くなる配管を選定)

口径	材質	サポート 支持間隔 (mm)	断面係数 (mm ³)	配管自重 (N/mm)	配管自重による応力 (MPa)
50A/Sch80	STPT370	■	■	■	■

4.2 2号機配管

(1) 構造強度

鋼管については、「設計・建設規格」に基づき、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。

2号機一次系／二次系鋼管の構造強度評価結果^{※1}

	材料	外径 : D0 [mm]	最高 使用 圧力 : P [MPa]	許容引張 応力 : S [MPa]	公称 肉厚 [mm]	管の計算上 必要な 厚さ : t[mm]	炭素鋼 鋼管の必要 最小厚さ ^{※2} [mm]
2号機 一次系ライン	STPG370	114.3	1.0	93	6.0	0.62	3.4
	STPG370	165.2	1.0	93	7.1	0.89	3.8
	STPG370	216.3	1.0	93	8.2	1.16	3.8
2号機 二次系ライン	STPG370	165.2	0.5	93	7.1	0.45	3.8
	STPG370	216.3	0.5	93	8.2	0.59	3.8

※1 長手継手の効率 η は全て 1

※2 表-1 に定める値

■ 内圧を受ける直管

最高使用圧力に対する直管の厚さは、(式 1-1) により計算した値および表-1 に定める値のいずれか大きい方の値以上でなければならない。

$$t = \frac{PD_0}{2S\eta + 0.8P} \quad (\text{式 1-1})$$

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 PVD-3110」に定めるところによる。

表-1 炭素鋼鋼管の必要最小厚さ

管の外径 (mm)	管の厚さ (mm)
25 未満	1.4
25 以上 38 未満	1.7
38 以上 45 未満	1.9
45 以上 57 未満	2.2
57 以上 64 未満	2.4
64 以上 82 未満	2.7
82 以上 101 未満	3.0
101 以上 127 未満	3.4
127 以上	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配管についての耐震性の評価結果を示す。

1. 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

・鉛直地震力：耐震 B クラス相当の評価では求められていないが、鉛直方向における地震加速度大トリップ設定値である 100Gal の担保として 0.10G

・配管仕様：解析に用いた配管仕様を以下に示す。

配管仕様	
呼び径／厚さ	100A／Sch. 40 150A／Sch. 40 200A／Sch. 40
材質	STPG370
最高使用圧力	1.0MPa
最高使用温度	100℃

2. 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

解析結果及び評価

固有周期及び設計震度

鳥瞰図 KFPC-901

耐震クラス		B		
適用する地震動等		S _B 及び静的震度		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向
1次	0.134	0.00	0.00	—
2次	0.109	0.00	0.00	—
3次	0.104	0.00	0.00	—
4次	0.097	0.00	0.00	—
5次	0.093	0.00	0.00	—
6次	0.089	0.00	0.00	—
7次	0.087	0.00	0.00	—
8次	0.086	0.00	0.00	—
15次	0.051	0.00	0.00	—
16次	0.047	—	—	—
動的震度		0.36	0.36	0.10
静的震度		—	—	—

各モードに対応する刺激係数
鳥瞰図 KFPC-901

モード	固有周期 (s)	刺激係数		
		X方向	Y方向	Z方向
1次	0.134	0.177	0.018	0.127
2次	0.109	0.308	0.001	0.083
3次	0.104	0.007	0.007	0.102
4次	0.097	0.303	0.036	0.076
5次	0.093	0.012	0.251	0.020
6次	0.089	0.059	0.016	0.241
7次	0.087	0.440	0.005	0.026
8次	0.086	0.048	0.068	0.214
15次	0.051	0.067	0.084	0.068

結 論

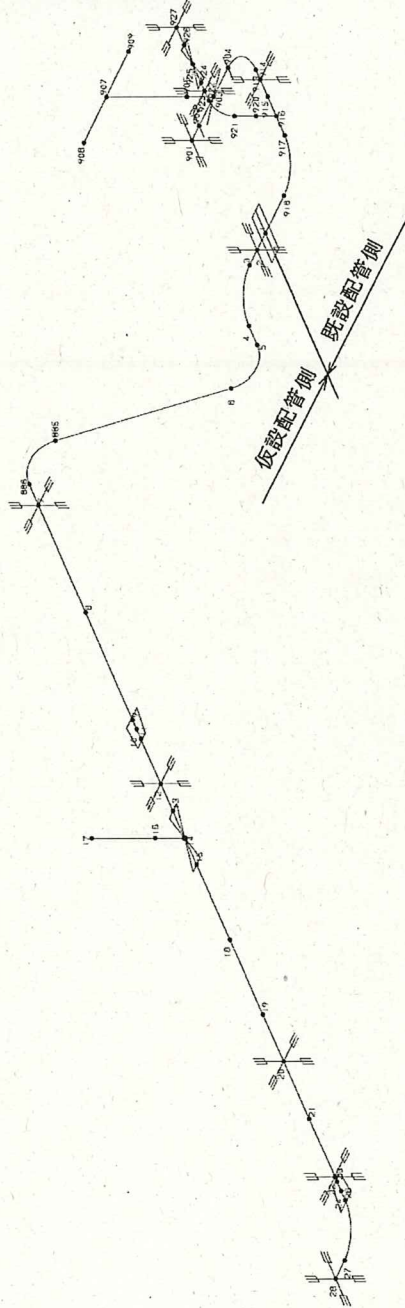
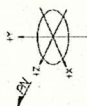
下表に示すごとく最大応力はすべて許容応力以下である。

クラス2管

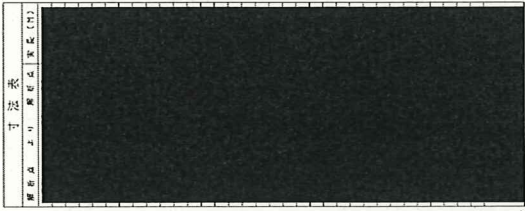
鳥瞰図	供用状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次 + 二次応力評価 (MPa)		疲労評価 疲れ累積係数 US ₁ US ₂
				計算応力 ①+② ①+②+③	許容応力 1.5・Sh 1.8・Sh Sy* 0.9・Su	計算応力 ①+②+④ ①+②+③+④	許容応力 Sa(c) Sa(d) Ss(S ₁) 2・Sy Ss(S ₂) 2・Sy	
KFPC-901	(A, B)	811	①+②	61	139	33	232	—
	(A, B)	101	①+②+④	29	139	115	232	—
	(A, B)	811	①+②+③	61	167	34	251	—
	(A, B)	101	①+②+③+④	30	167	116	251	—
	C (Ⅲ _A S)	101	①+②+③	77	189	74	378	—
	C (Ⅲ _A S)	114	Ss(S ₁)	73	189	74	378	—
	D (Ⅳ _A S)	—	①+②+③	—	—	—	—	—
D (Ⅳ _A S)	—	Ss(S ₂)	—	—	—	—	—	

注記*: 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 Sy と 1.2・Shのうち大きい方の値とする。
注: ①は内圧応力(S P(S Pm))②は自重応力(S Ma)③は地盤応力(他の短期的機械荷重による応力を含む)(S Mb)
④は二次応力(S Mc)を示す。

寸法表
欄外に寸法を記入する

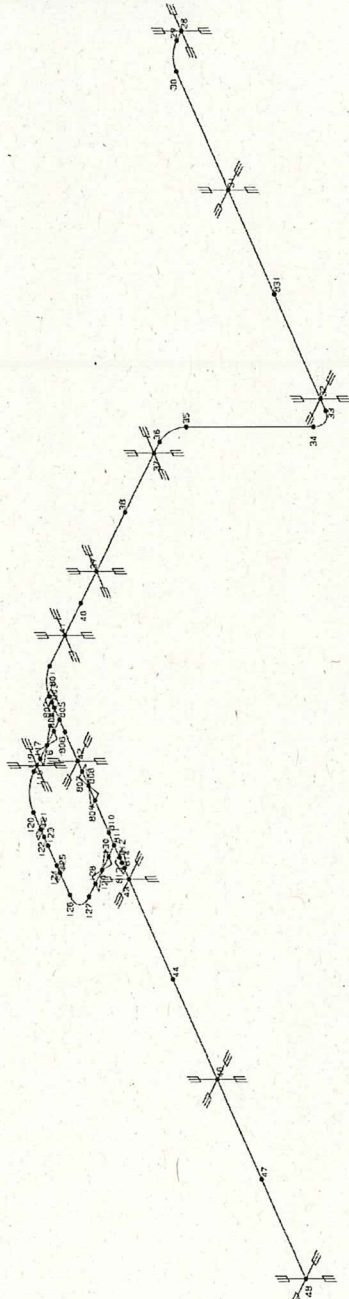
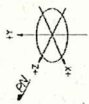


添付図
IF-2 KFC-901
部分図 1/3



干法集

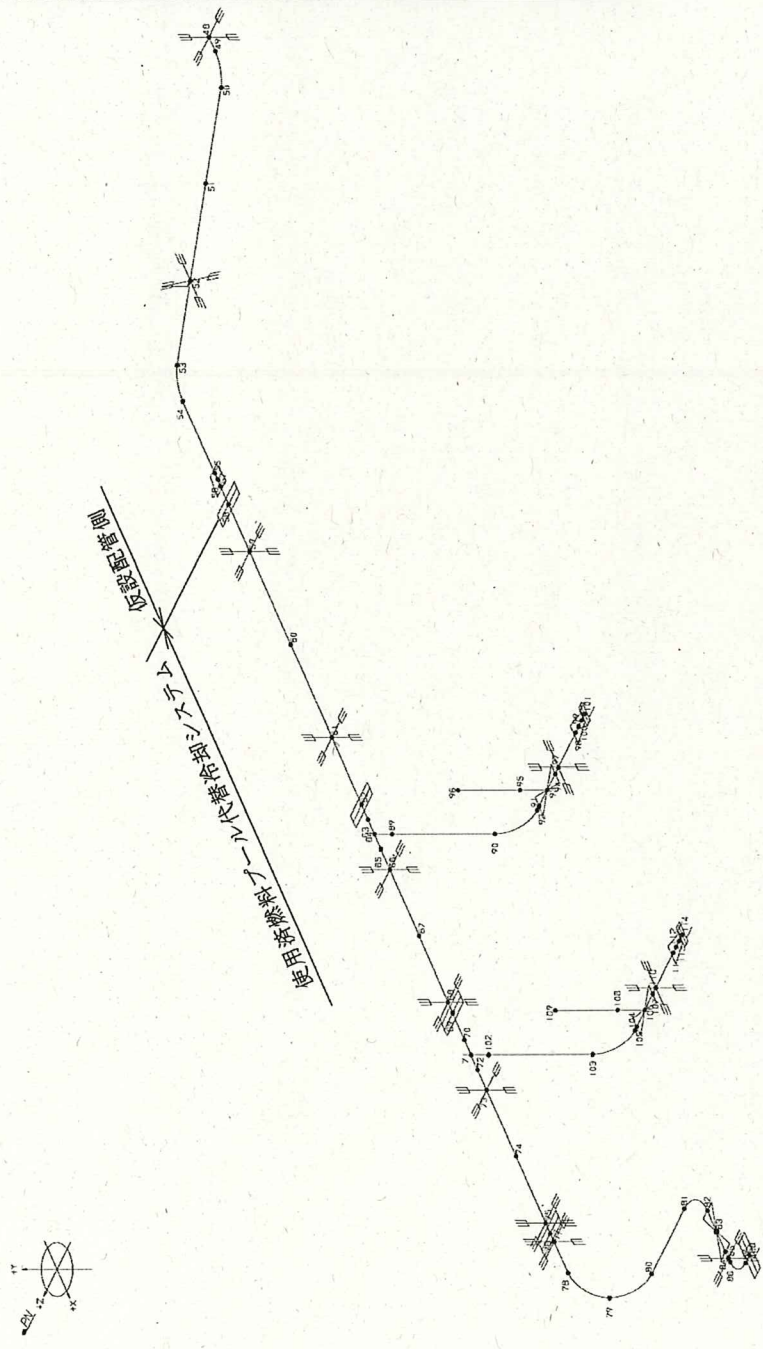
建設省 国土院 建設部 建設局 (19)



添付図
IF-2 KFFC-901
部分図 2/3



可研表
 图例
 比例尺 1:5000



添付図
 IF-2 KFC-901
 部分図 3/3

解析結果及び評価

固有周期及び設計震度

鳥瞰図 KFPC-902

耐震クラス		B		
適用する地震動等		S _B 及び静的震度		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向
1次	0.089	0.00	0.00	—
2次	0.087	0.00	0.00	—
3次	0.072	0.00	0.00	—
4次	0.067	0.00	0.00	—
5次	0.061	0.00	0.00	—
6次	0.058	0.00	0.00	—
7次	0.057	0.00	0.00	—
8次	0.055	0.00	0.00	—
11次	0.051	0.00	0.00	—
12次	0.048	—	—	—
動的震度		0.36	0.36	0.10
静的震度		—	—	—

各モードに対応する刺激係数
鳥瞰図 KFPC-902

モード	固有周期 (s)	刺激係数		
		X方向	Y方向	Z方向
1次	0.089	0.287	0.001	0.002
2次	0.087	0.124	0.003	0.078
3次	0.072	0.010	0.002	0.156
4次	0.067	0.095	0.003	0.089
5次	0.061	0.072	0.032	0.128
6次	0.058	0.014	0.067	0.020
7次	0.057	0.054	0.002	0.033
8次	0.055	0.353	0.005	0.007
11次	0.051	0.034	0.050	0.009

結 論

下表に示すごとく最大応力はすべて許容応力以下である。

クラス2管

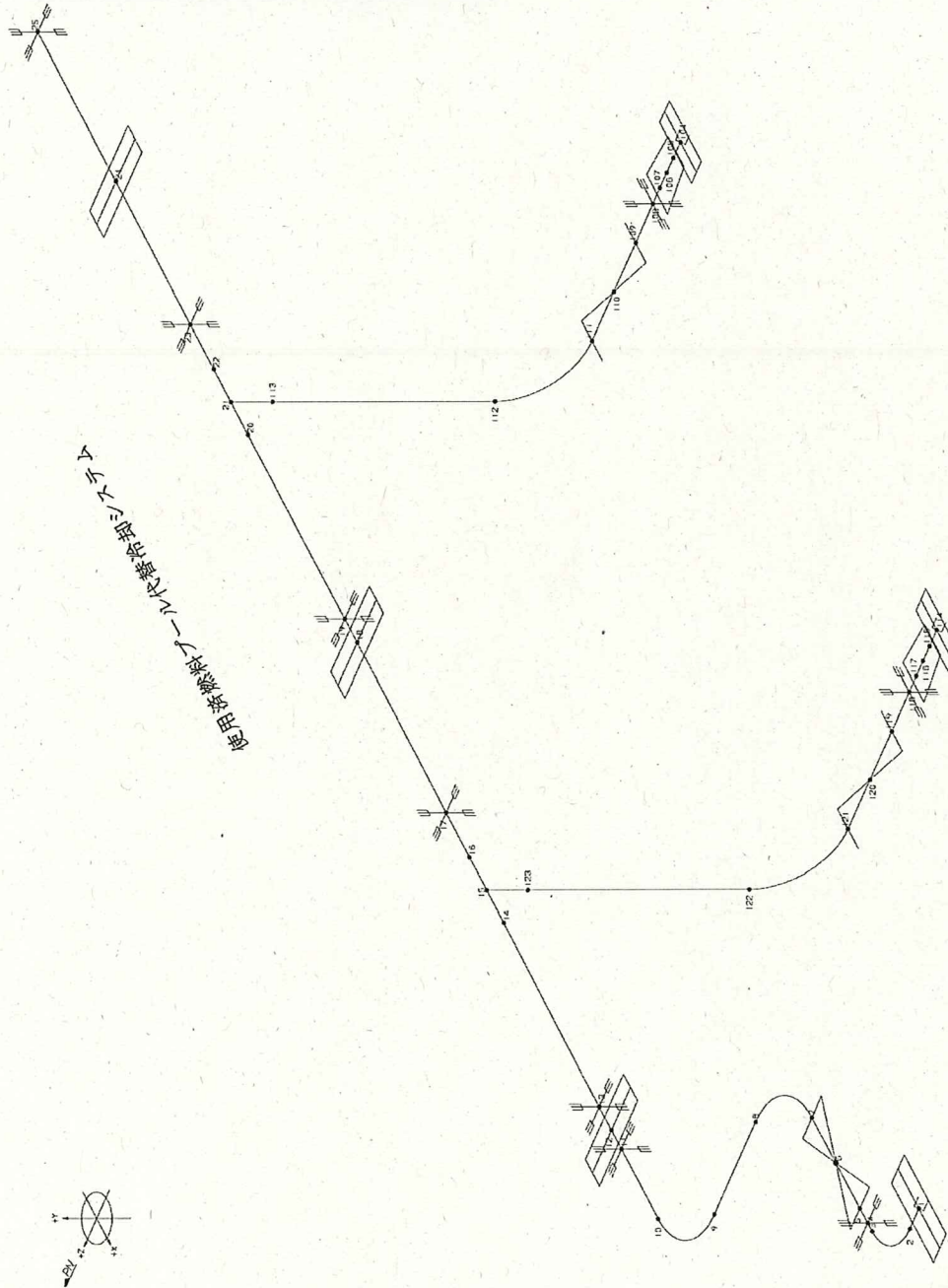
鳥瞰図	供用状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次 + 二次応力評価 (MPa)		疲労評価 疲れ累積係数
				計算応力 ①+② ①+②+③	許容応力 1.5・Sh 1.8・Sh Sy* 0.9・Su	計算応力 ①+②+④ ①+②+③+④	許容応力 Sa(c) Sa(d) 2・Sy 2・Sy	
KFPC-902	(A, B)	2	①+②	25	139	20	232	—
	(A, B)	104	①+②+③	23	139	107	232	—
	(A, B)	2	①+②+④	25	167	20	251	—
	(A, B)	104	①+②+③+④	24	167	108	251	—
	C (Ⅲ _A S)	104	①+②+④	46	189	30	378	—
	C (Ⅲ _A S)	114	Ss (S ₁)	44	189	30	378	—
	D (Ⅳ _A S)	—	①+②+④	—	—	—	—	—
D (Ⅳ _A S)	—	Ss (S ₂)	—	—	—	—	—	

注記*: 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 Sy と 1.2・Shのうち大きい方の値とする。

注: ①は内圧応力(S P(S P m))②は自重応力(S M a)③は地震応力(他の短期的機械荷重による応力を含む)(S M b)
④は二次応力(S M c)を示す。

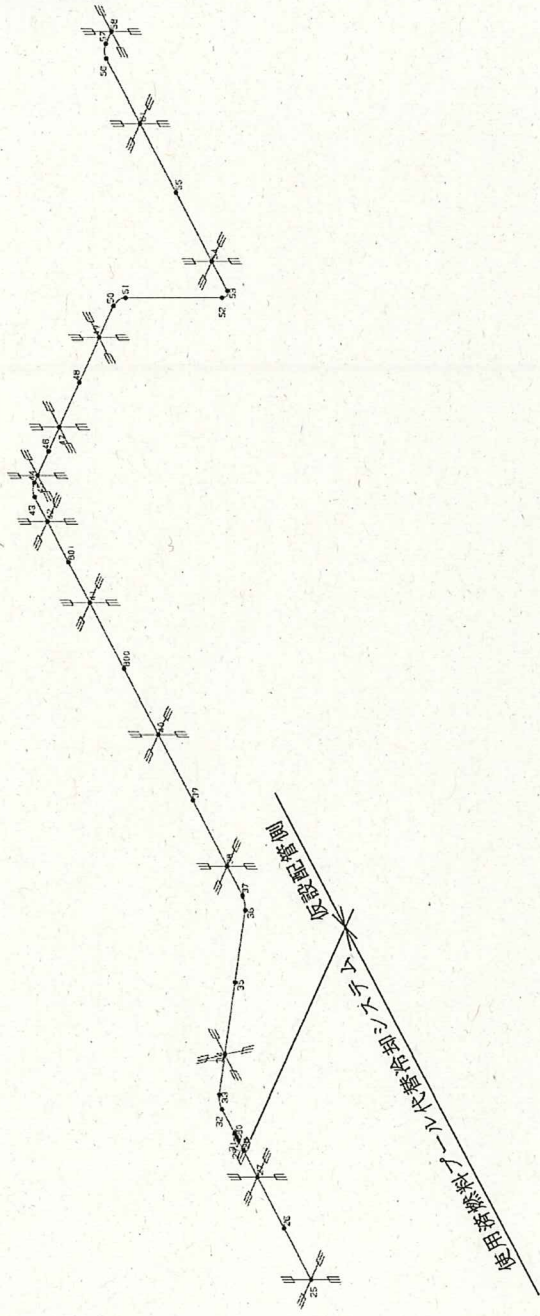
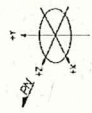
丁字表
原形图 大小 位置 位置 (17)

添付図
IF-2 KFC-902
部分図 1/3



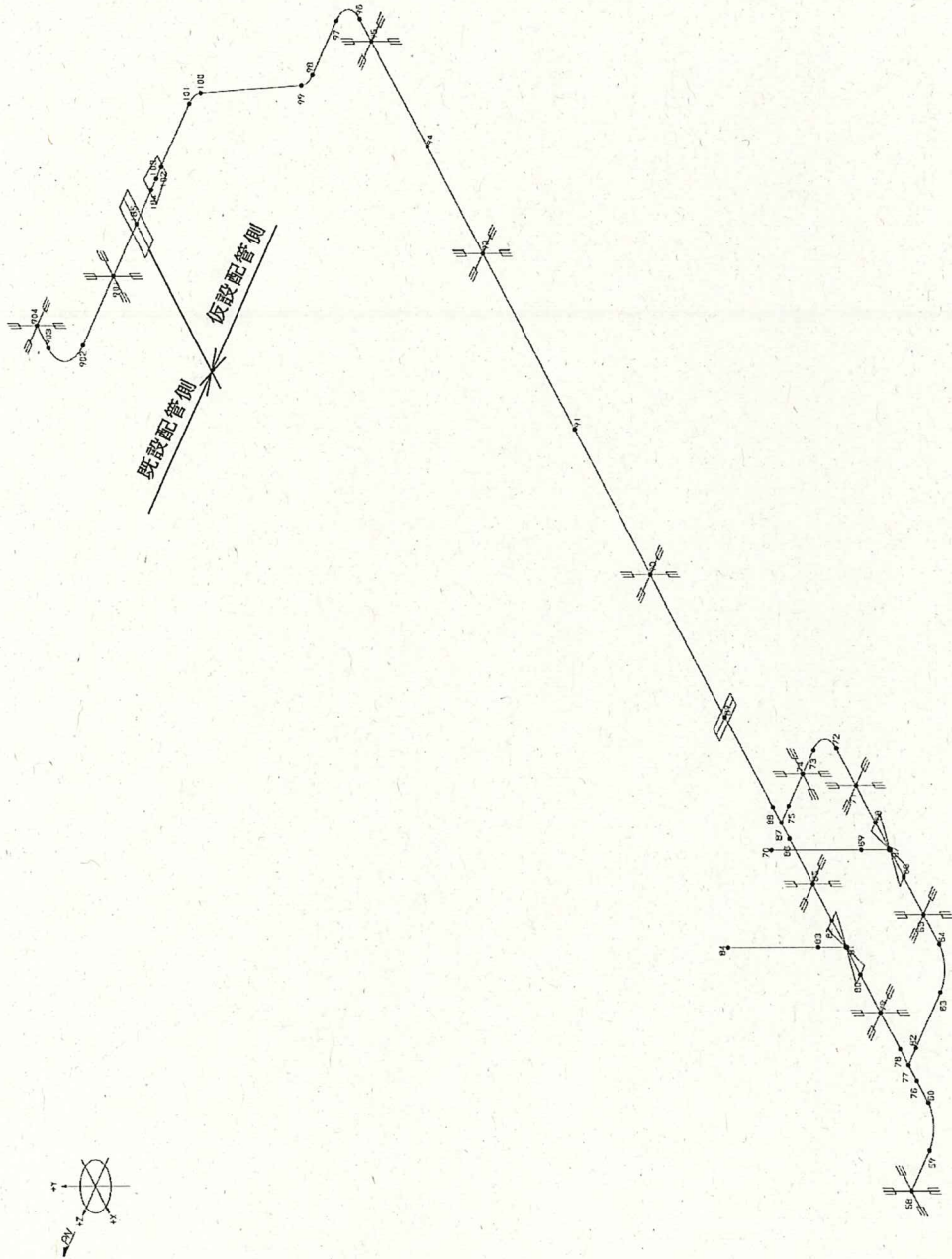


添 付 図
IF-2 KFC-902
部 分 図 2/3





平法案
 图例
 1:1
 比例尺



4.3 3号機配管

(1) 構造強度

鋼管については、「設計・建設規格」に基づき、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。

3号機一次系／二次系鋼管の構造強度評価結果※1

	材料	外径 : D0 [mm]	最高 使用 圧力:P [MPa]	許容引張 応力:S [MPa]	公称 肉厚 [mm]	管の計算上 必要な 厚さ: t[mm]	炭素鋼 鋼管の必要 最小厚さ※2 [mm]
3号機 一次系ライン	STPG370	114.3	1.0	93	6.0	0.62	3.4
	STPG370	165.2	1.0	93	7.1	0.89	3.8
	STPG370	216.3	1.0	93	8.2	1.16	3.8
3号機 二次系ライン	STPG370	165.2	0.5	93	7.1	0.45	3.8
	STPG370	216.3	0.5	93	8.2	0.59	3.8

※1 長手継手の効率 η は全て 1

※2 表-1 に定める値

■ 内圧を受ける直管

最高使用圧力に対する直管の厚さは、(式 1-1) により計算した値および表-1 に定める値のいずれか大きい方の値以上でなければならない。

$$t = \frac{PD_0}{2S\eta + 0.8P} \quad (\text{式 1-1})$$

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 PVD-3110」に定めるところによる。

表-1 炭素鋼鋼管の必要最小厚さ

管の外径 (mm)	管の厚さ (mm)
25 未満	1.4
25 以上 38 未満	1.7
38 以上 45 未満	1.9
45 以上 57 未満	2.2
57 以上 64 未満	2.4
64 以上 82 未満	2.7
82 以上 101 未満	3.0
101 以上 127 未満	3.4
127 以上	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配管についての耐震性の評価結果を示す。

1. 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
- ・鉛直地震力：耐震 B クラス相当の評価では求められていないが、鉛直方向における地震加速度大トリップ設定値である 100Gal の担保として 0.10G
- ・配管仕様：解析に用いた配管仕様を以下に示す。

配管仕様	
呼び径／厚さ	100A／Sch. 40 150A／Sch. 40 200A／Sch. 40
材質	STPG370
最高使用圧力	1.0MPa
最高使用温度	100℃

2. 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

解析結果及び評価

固有周期及び設計震度

鳥瞰図 KFPC-901

耐震クラス		B		
適用する地震動等		S _B 及び 静的震度		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向
1次	0.146	0.00	0.00	0.00
2次	0.132	0.00	0.00	0.00
3次	0.119	0.00	0.00	0.00
4次	0.107	0.00	0.00	0.00
5次	0.102	0.00	0.00	0.00
6次	0.100	0.00	0.00	0.00
7次	0.074	0.00	0.00	0.00
8次	0.070	0.00	0.00	0.00
17次	0.050	0.00	0.00	0.00
18次	0.049	—	—	—
動的震度		0.00	0.00	—
静的震度		0.36	0.36	0.10

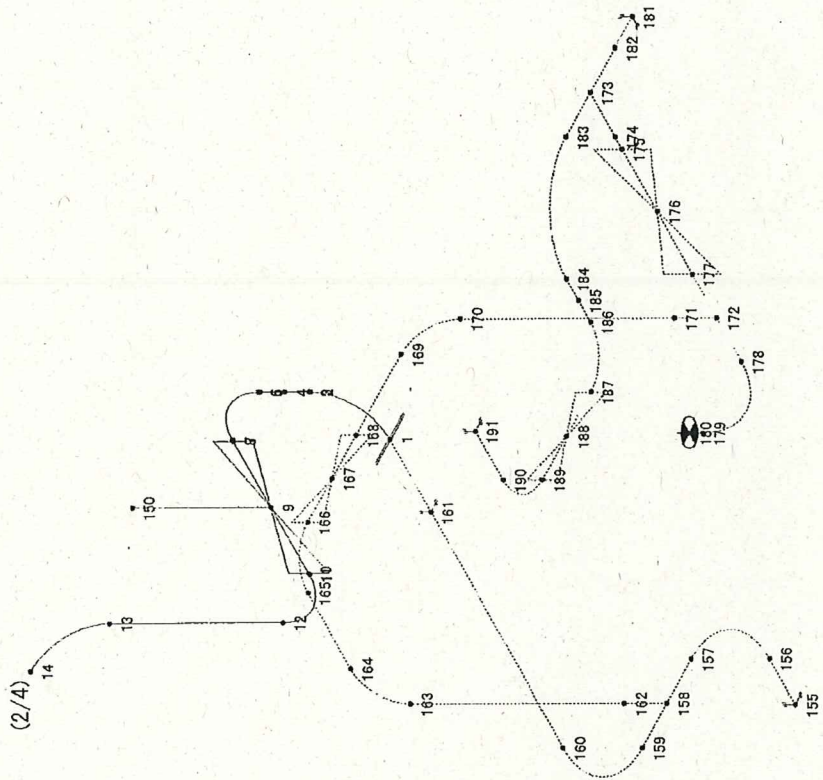
結論

下表に示すごとく最大応力はすべて許容応力以下である。

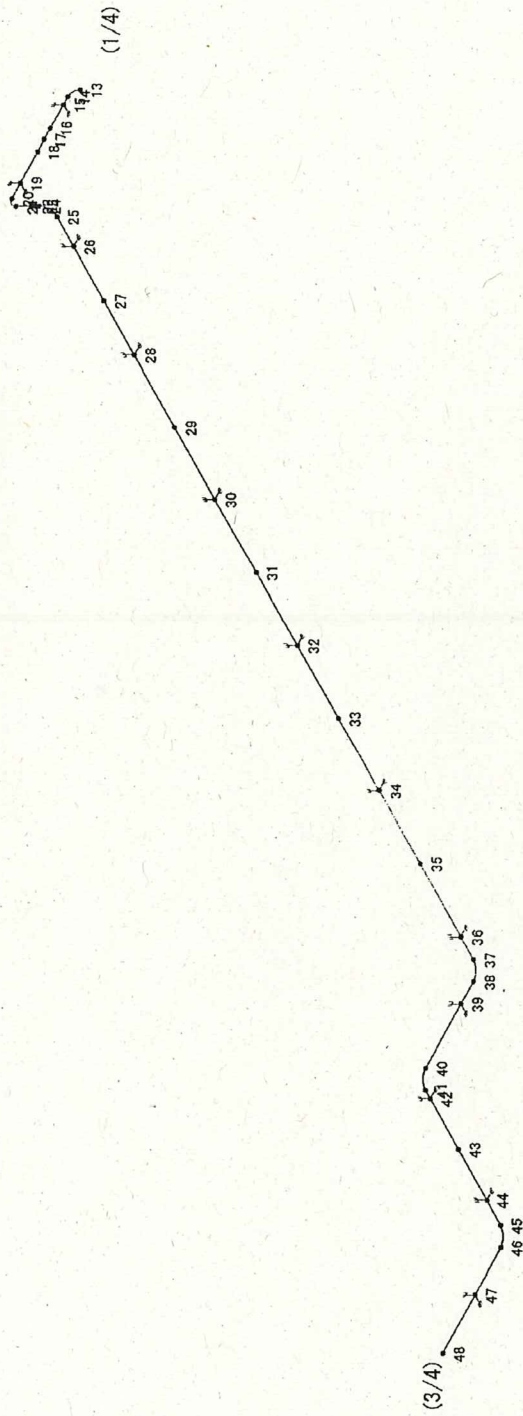
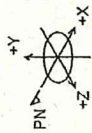
クラス3配管

鳥瞰図	供用状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)	
				計算応力 ①+② ①+②+③	許容応力 1.5·S _h 1.8·S _h S _y *	計算応力 ①+②+④ ①+②+③+④ S _s (S _h)	許容応力 S _a (c) S _a (d) 2·S _y
KFPC-901	(A, B)	121	①+②	39	139	84	232
	(A, B)	23	①+②+④	11	139	124	232
	(A, B)	121	①+②+③	39	167	85	251
	(A, B)	23	①+②+③+④	12	167	125	251
	C(B _A S)	121	①+②+③	83	173	88	346
	C(B _A S)	133	S _s (S _h)	73	173	94	346

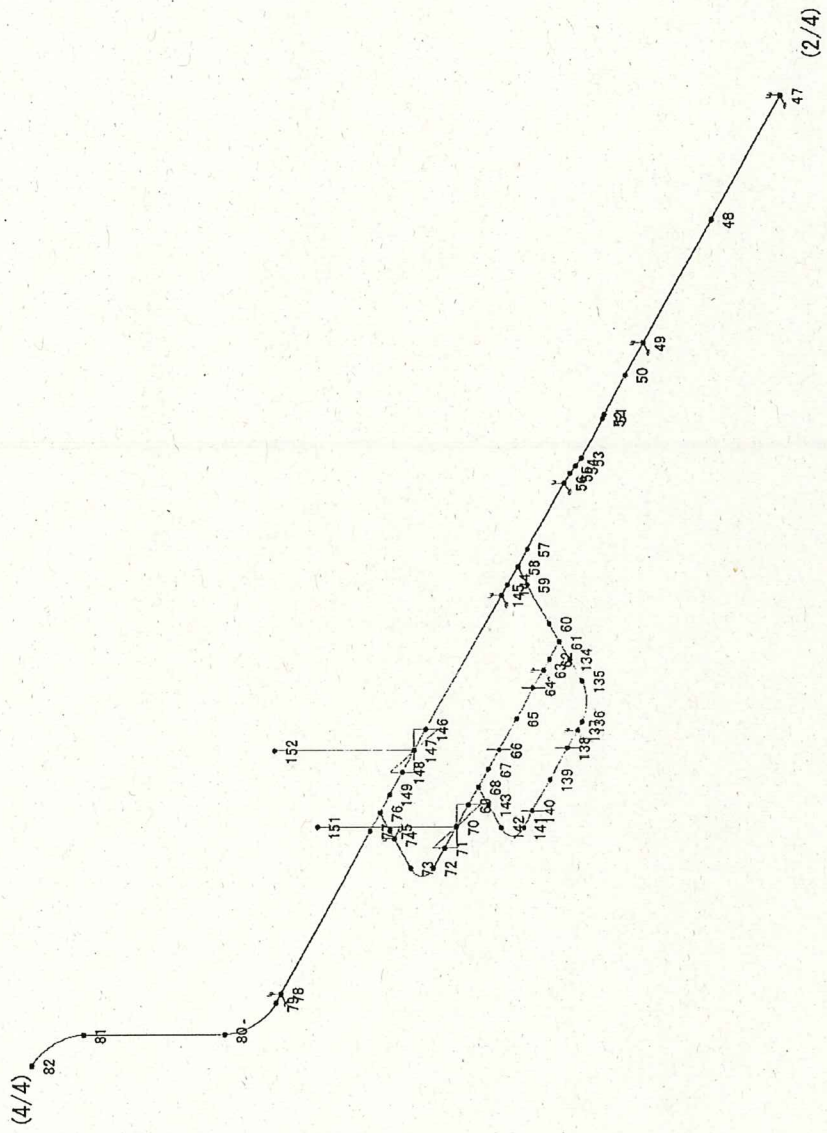
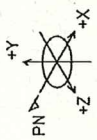
注記 *: オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については S_y と 1.2·S_h のうち大きいほうの値とする。
注: ①は内圧応力(S_{Pm}) ②は自重応力(S_{Ma}) ③は地震応力(他の短期的機械的荷重による応力を含む)(S_{Mb})を示す。



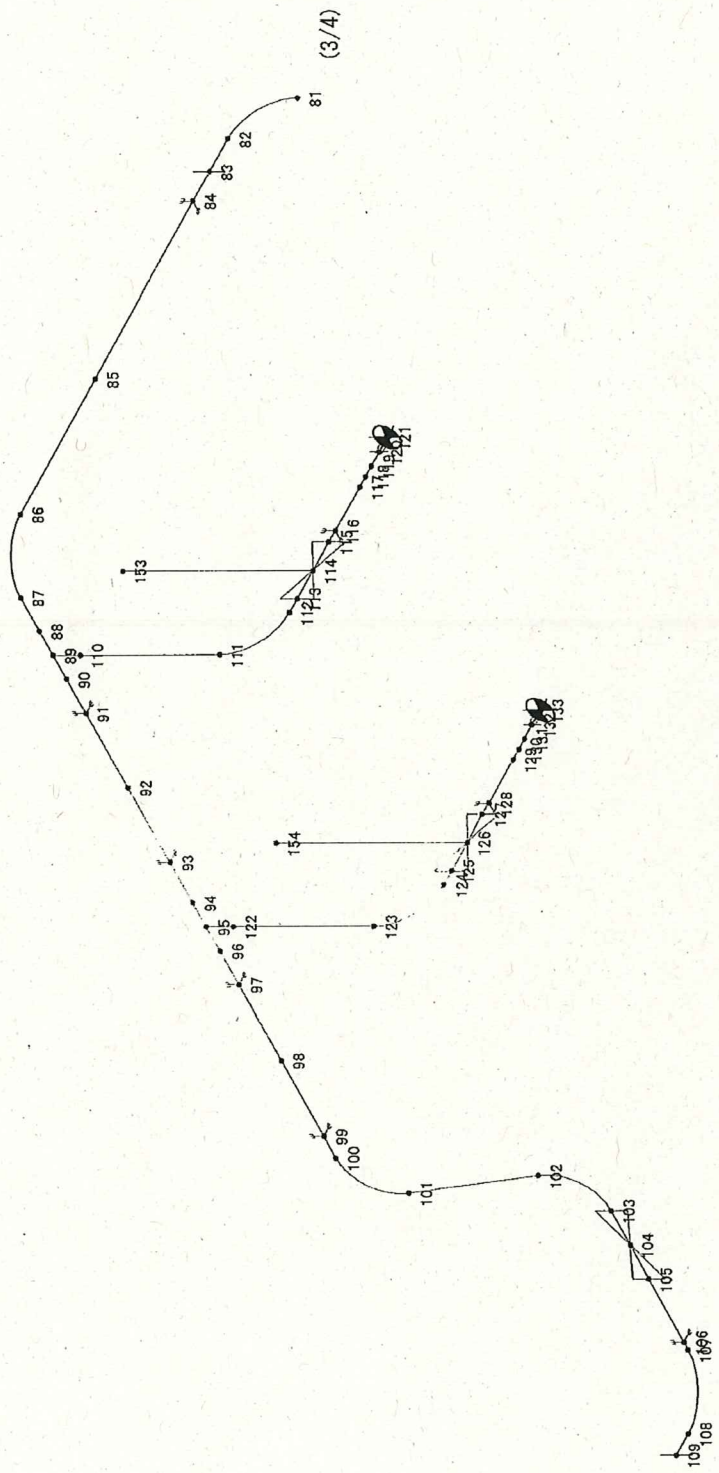
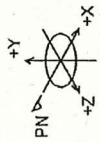
鳥瞰図 KFFC-901 (1/4)



点线图 KFPC-901 (2/4)



鳥瞰図 KFGC-901 (3/4)



鳥瞰図 KFPC-901 (4/4)

解析結果及び評価

固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 KFPC-902

耐震クラス		B		
適用する地震動等		S _B 及び 静的震度		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		鉛直震度
		X 方向	Z 方向	Y 方向
1 次	0.137	0.00	0.00	0.00
2 次	0.105	0.00	0.00	0.00
3 次	0.081	0.00	0.00	0.00
4 次	0.077	0.00	0.00	0.00
5 次	0.072	0.00	0.00	0.00
6 次	0.062	0.00	0.00	0.00
7 次	0.056	0.00	0.00	0.00
8 次	0.054	0.00	0.00	0.00
9 次	0.051	0.00	0.00	0.00
10 次	0.045	—	—	—
動的震度		0.00	0.00	—
静的震度		0.36	0.36	0.10

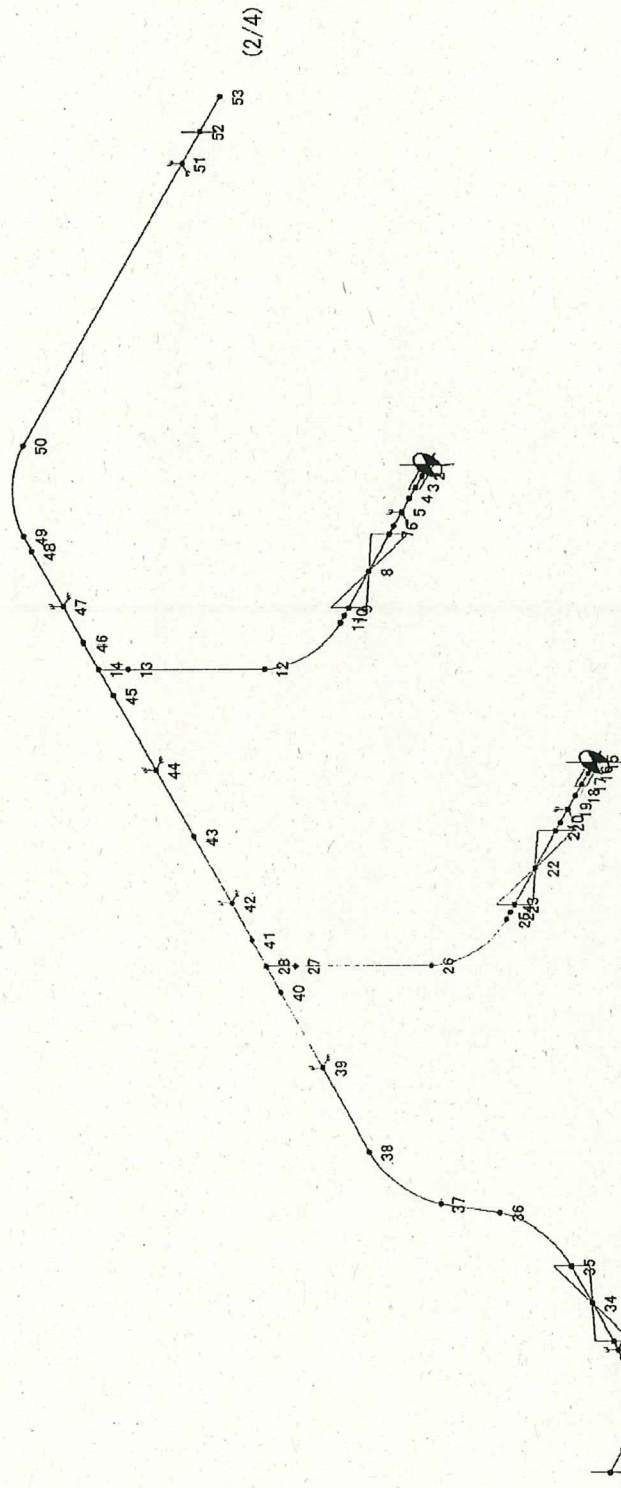
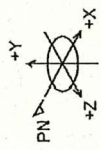
結 論

下表に示すごとく最大応力はすべて許容応力以下である。

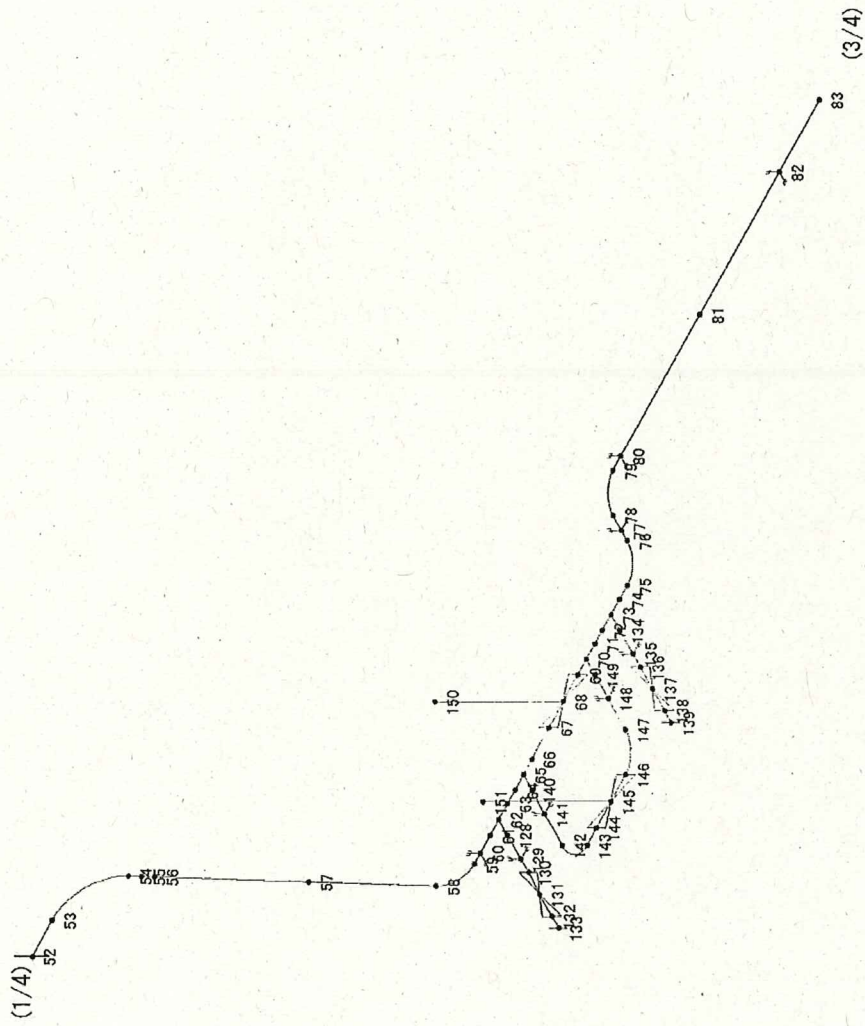
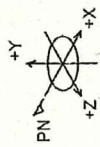
クラス 3 配管

鳥 瞰 図	供 用 状 態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一 次 応 力 評 価 (MPa)		一 次 + 二 次 応 力 評 価 (MPa)	
				計算応力 ①+② ①+②+③	許容応力 1.5·S _h 1.8·S _h S _y *	計算応力 ①+②+④ ①+②+③+④	許容応力 S _a (c) S _a (d) 2·S _y
KFPC-902	(A, B)	1	①+②	30	139	115	232
	(A, B)	15	①+②+④	29	139	126	232
	(A, B)	1	①+②+③	31	167	116	251
	(A, B)	15	①+②+③+④	30	167	127	251
	C(B _A S)	1	①+②+③	53	173	48	346
	C(B _A S)	1	S _s (S _B)	53	173	48	346

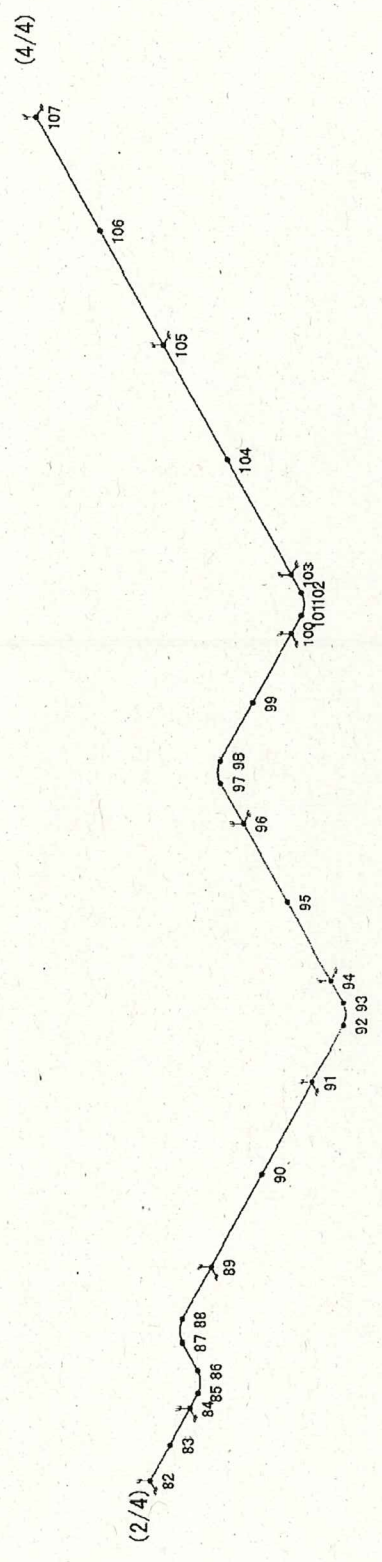
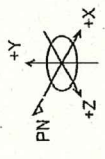
注記 *: オーステナイト系ステンレス鋼 及び 高ニッケル合金については S_y と 1.2·S_h のうち大きいほうの値とする。
注: ①は内圧応力(S_{Pm}) ②は自重応力(S_{Ma}) ③は地震応力(他の短期的機械的荷重による応力を含む)(S_{Mb}) を示す。



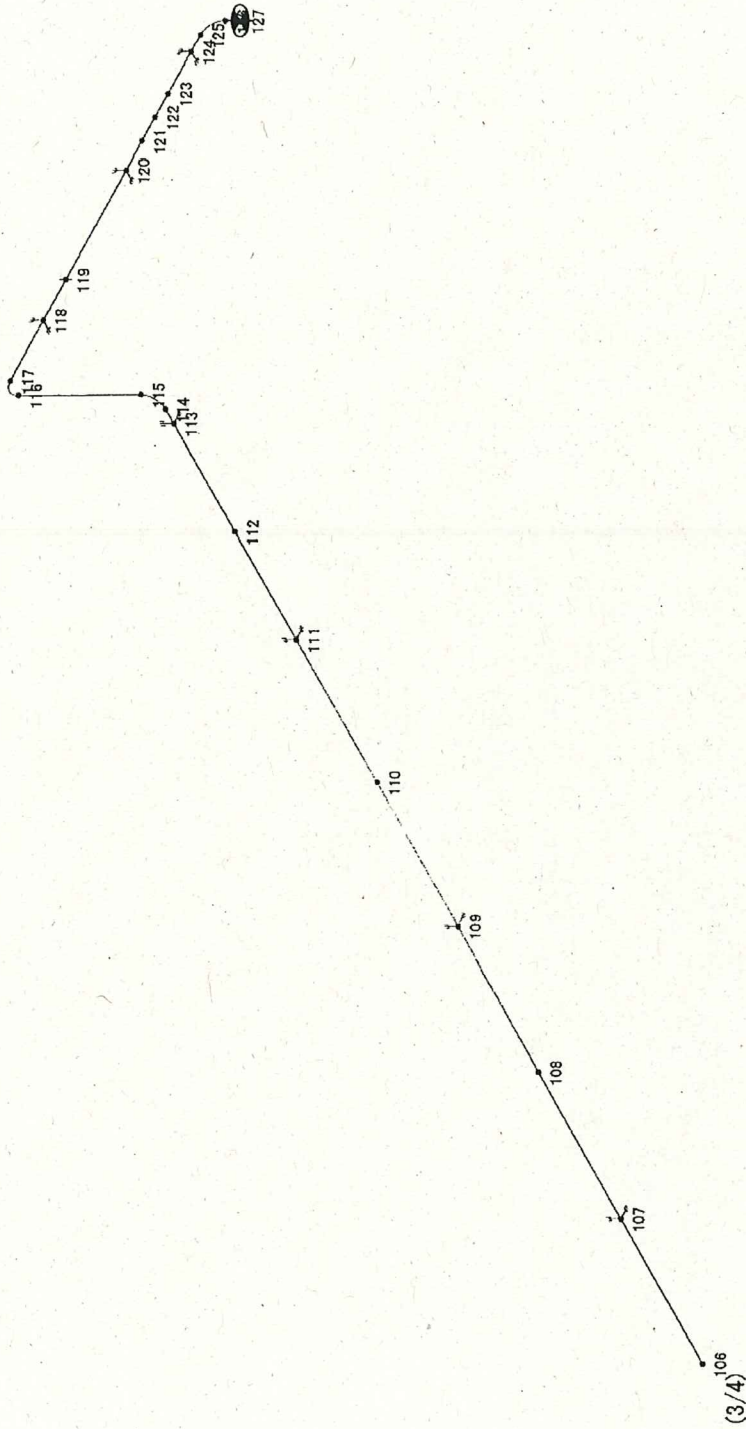
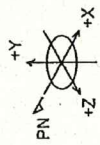
鳥瞰図 KFPO-902 (1/4)



鳥瞰圖 KFC-902 (2/4)



鳥瞰図 KFPC-902 (3/4)



鳥瞰図 KFPC-902 (4/4)

4.4 4号機配管

(1) 構造強度

鋼管については、「設計・建設規格」に基づき、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。

4号機一次系鋼管の構造強度評価結果※1

	材料	外径 : D0 [mm]	最高 使用 圧力: P [MPa]	許容引張 応力: S [MPa]	公称 肉厚 [mm]	管の計算上 必要な 厚さ: t[mm]	炭素鋼 鋼管の必要 最小厚さ※2 [mm]
4号機 一次系ライン	STPT370	114.3	1.0	93	6.0	0.62	3.4
	STPT370	165.2	1.0	93	7.1	0.89	3.8
	STPT410	114.3	1.0	103	6.0	0.56	3.4
	STPT410	165.2	1.0	103	7.1	0.80	3.8
	SUS304TP	114.3	1.0	122	6.0	0.47	—

※1 長手継手の効率 η は全て 1

※2 表-1 に定める値

■ 内圧を受ける直管

最高使用圧力に対する直管の厚さは、(式 1-1) により計算した値および表-1 に定める値のいずれか大きい方の値以上でなければならない。

$$t = \frac{PD_0}{2S\eta + 0.8P} \quad (\text{式 1-1})$$

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 PVD-3110」に定めるところによる。

表-1 炭素鋼鋼管の必要最小厚さ

管の外径 (mm)	管の厚さ (mm)
25 未満	1.4
25 以上 38 未満	1.7
38 以上 45 未満	1.9
45 以上 57 未満	2.2
57 以上 64 未満	2.4
64 以上 82 未満	2.7
82 以上 101 未満	3.0
101 以上 127 未満	3.4
127 以上	3.8

(2) 耐震性

一次系設備のうち、配管の耐震性についての評価結果を示す。

1. 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。

2. 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。

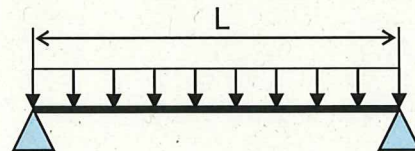
$$\bullet S_w = \frac{wL^2}{8Z}$$

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 Ds 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。

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

Sp:内圧による応力[MPa]

Sw:自重による応力[MPa]

Ss: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。

3. 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 0.36、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。

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

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、 $S_w=120$ [MPa]とすると以下となる。

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

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[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。

なお、4号機代表配管に対するサポート支持間隔等の値を以下に示す。

(サポート支持間隔が最も長くなる配管を選定)

口径	材質	サポート支持間隔(mm)	断面係数(mm ³)	配管自重(N/mm)	配管自重による応力(MPa)
150A/Sch40	STPT370	■	■	■	■

4.5 1, 4号機フレキシブルチューブ

(1) 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。フレキシブルチューブの仕様を以下に示す。

フレキシブルチューブ仕様

名 称	仕 様	
1号機二次系フレキシブルチューブ	呼び径／厚さ	150A 相当／0.5mm
	材質	SUS304
	最高使用圧力*	0.5MPa
	最高使用温度	60℃
4号機一次系フレキシブルチューブ	呼び径／厚さ	100A 相当／0.4mm 150A 相当／0.5mm
	材質	SUS316L
	最高使用圧力	1.0MPa
	最高使用温度	100℃

※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0.5MPaに変更されている。

4.6 1～3号機二次系共用配管

(1) 構造強度

鋼管については、「設計・建設規格」に基づき、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。

1～3号機二次系共用配管の構造強度評価結果※1

	材料	外径 : D0 [mm]	最高 使用 圧力 : P [MPa]	許容引張 応力 : S [MPa]	公称 肉厚 [mm]	管の計算上 必要な 厚さ : t[mm]	炭素鋼 鋼管の必要 最小厚さ※2 [mm]
1～3号機 二次系ライン	STPG370	60.5	0.5	93	5.5	0.17	2.4
	STPG370	76.3	0.5	93	5.2	0.21	2.7
	STPG370	89.1	0.5	93	5.5	0.24	3.0
	STPG370	114.3	0.5	93	6.0	0.31	3.4
	STPG370	165.2	0.5	93	7.1	0.45	3.8

※1 長手継手の効率 η は全て 1

※2 表-1 に定める値

■ 内圧を受ける直管

最高使用圧力に対する直管の厚さは、(式 1-1) により計算した値および表-1 に定める値のいずれか大きい方の値以上でなければならない。

$$t = \frac{PD_0}{2S\eta + 0.8P} \quad (\text{式 1-1})$$

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 PVD-3110」に定めるところによる。

表-1 炭素鋼鋼管の必要最小厚さ

管の外径 (mm)	管の厚さ (mm)
25 未満	1.4
25 以上 38 未満	1.7
38 以上 45 未満	1.9
45 以上 57 未満	2.2
57 以上 64 未満	2.4
64 以上 82 未満	2.7
82 以上 101 未満	3.0
101 以上 127 未満	3.4
127 以上	3.8

(2) 耐震性

二次系設備のうち、配管の耐震性についての評価結果を示す。

1. 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[※]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。

2. 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(4.10)式で表すことができる。

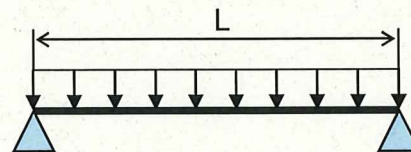
$$S_w = \frac{wL^2}{8Z}$$

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

$$\bullet S_s = \alpha S_w \quad (4.10)$$

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 (4.11) 式で表すことができる。

$$\bullet S = S_p + S_w + S_s = S_p + S_w + \alpha S_w = S_p + (1 + \alpha) S_w \leq 1.0 S_y \quad (4.11)$$

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 (4.11) 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。

3. 評価結果

両端単純支持はりで自重による応力 $S_w=30$ [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 $S_p=7$ [MPa], 自重による応力 $S_w=30$ [MPa], 許容応力を STPG370[60°C] の $1.0S_y=191$ [MPa] とし, (4.11) に代入すると以下となる。

$$\bullet S = S_p + (1 + \alpha) S_w = 7 + (1 + 0.36) \times 30 = 48 \text{ [MPa]} \leq 1.0 S_y = 191 \text{ [MPa]} \quad (4.12)$$

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, (4.12) 式の自重による応力 S_w に 3 を乗じ, $S_w \times 3 = 90$ [MPa] とすると以下となる。

$$\bullet S = S_p + (1 + \alpha) S_w \times 3 = 7 + (1 + 0.36) \times 90 = 130 \text{ [MPa]} \leq 1.0 S_y = 191 \text{ [MPa]} \quad (4.13)$$

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[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。なお、代表配管に対するサポート支持間隔等の値を以下に示す。
 (サポート支持間隔が最も長くなる配管を選定)

口径	材質	サポート支持間隔(mm)	断面係数 (mm ³)	配管自重 (N/mm)	配管自重による応力 (MPa)
150A/Sch40	STPG370	■	■	■	■

4.7 1～3号機二次系共用ポリエチレン管

(1) 耐震性

1～3号機二次系共用ポリエチレン管は、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られる。ポリエチレン管の仕様を以下に示す。

ポリエチレン管仕様

名 称	仕 様	
1～3号機二次系共用 ポリエチレン管	呼び径／厚さ	100A 相当／11.4mm 150A 相当／16.4mm
	材質	ポリエチレン
	最高使用圧力	0.5MPa
	最高使用温度	40℃

5. エアフィンクーラ

5.1 1～3号機共用エアフィンクーラ

(1) 耐震性

1～3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。

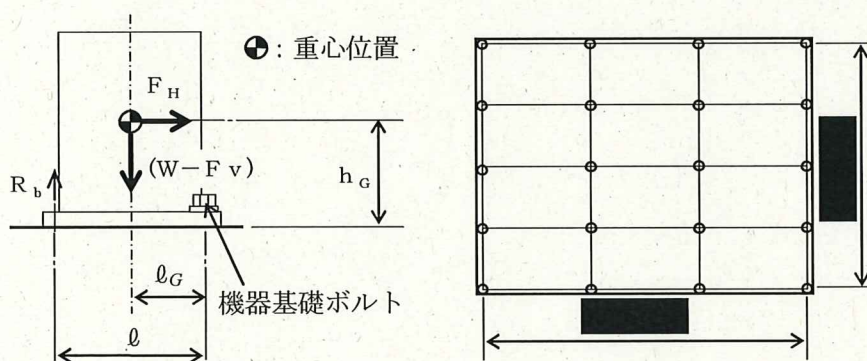
なお、評価においては水平方向震度を耐震Bクラス相当の評価である0.36Gとし、耐震設計審査指針上の耐震Bクラス相当の評価を行った。

a. 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℃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。

(i) 評価方法及び条件



- ・評価部位：基礎ボルト
- ・考慮する荷重：地震荷重
- ・計算に用いる数式

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。

$$F_b = \frac{F_H \cdot h_G - (W - F_v) \cdot l_G}{l}$$

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 (=0)

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]

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b \cdot n_f}$$

ここに、 A_b : ボルトの断面積[mm²]

n_f : 引張力を受けるボルトの数

せん断力

$$Q_b = K_H \cdot W$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{A_b \cdot n}$$

ここに、 n : せん断力を受けるボルトの数

・ 許容応力 : 供用状態 C_s における許容応力を適用し、以下の式で設定

基礎ボルトの許容引張応力 : $1.5f_t = \min(f_{t0}, f_{ts})$

基礎ボルトの許容せん断応力 : $1.5f_s = F/\sqrt{3}$

ここで、 F は日本機械学会 設計・建設規格 JSME S NC1-2005 付録材料図表 Part 5 表 8 及び表 9 より、以下となる。

$$F = \min(S_y, 0.7S_u)$$

S_y : 表 8 より 50°C : 231 MPa

S_u : 表 9 より 50°C : 394 MPa

従って、

$$F = \min(S_y, 0.7S_u) = \min(231, 0.7 \times 394) = 231 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \text{基礎ボルトの許容引張応力 : } 1.5f_t &= \min(f_{t0}, f_{ts}) = (173, 234) \\ &= 173 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$f_{t0} = F/2 \times 1.5 = 173.2 \text{ MPa} \rightarrow 173 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} f_{ts} &= 1.4 \times f_{t0} - 1.6 \times \tau_b = 1.4 \times 173 - 1.6 \times 5 = 234.2 \text{ MPa} \\ &\rightarrow 234 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\text{基礎ボルトの許容せん断応力 : } 1.5f_s = F/\sqrt{3} = 133.3 \text{ MPa}$$

$\rightarrow 133 \text{ MPa}$

(ii) 機器要目

ℓ	W	g	h_G	ℓ_G
■■■■ [mm]	■■■■ [N]	9.80665	■■■■ [mm]	■■■■ [mm]

n_f	n	A_b	K_H
■	■	■■■■ [mm ²]	0.36

S_y	S_u	F
231* [MPa] (16mm<径≤40mm)	394* [MPa] (16mm<径≤40mm)	231 [MPa]

* 保守的な評価となるように '16mm<径≤40mm' の値を使用。

(iii) 評価結果

	算出応力	許容応力
引張	作用しない	173 [MPa]
せん断	5 [MPa]	133 [MPa]

※ 浮き上がりが生じないため引張応力は評価不要

6. 浄化装置

6.1 浄化ライン

(1) 構造強度

a. 配管（1号機鋼管）

1号機鋼管については、「設計・建設規格」に基づき、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。

1号機浄化ライン鋼管の構造強度評価結果※1

	材料	外径：D ₀ [mm]	最高使用 圧力：P [MPa]	許容引張 応力：S [MPa]	公称 肉厚 [mm]	管の計算上 必要な厚さ： t [mm]
1号機 浄化ライン	SUS316LTP	60.5	1.00	108	5.5	0.28
	SUS316LTP	76.3	1.00	108	5.2	0.36
	SUS316LTP	114.3	1.00	108	6.0	0.53
	SUS316LTP	165.2	1.00	108	7.1	0.77

※1 長手継手の効率ηは全て1

※2 表-1に定める値

■ 内圧を受ける直管

最高使用圧力に対する直管の厚さは、(6.1.1)により計算した値および表-1に定める値のいずれか大きい方の値以上でなければならない。

$$t = \frac{PD_0}{2S\eta + 0.8P} \quad (6.1.1)$$

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PVD-3110」に定めるところによる。

(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, α2-27

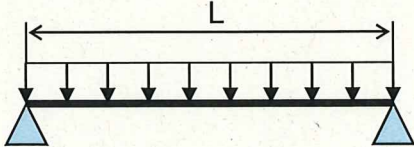
(ii) 評価方法

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(6.1.2)式で表すことができる。

• $S_w = \frac{wL^2}{8Z}$

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)

• $S_s = \alpha S_w$ (6.1.2)

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

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(6.1.3)式で表すことができる。

• $S = S_p + S_w + S_s = S_p + S_w + \alpha S_w = S_p + (1 + \alpha) S_w \leq 0.9 S_u$ (6.1.3)

Sp:内圧による応力 [MPa]

Sw:自重による応力 [MPa]

Ss: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(6.1.3)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 Sw=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 0.36、内圧による応力 Sp=10 [MPa]、自重による応力 Sw=40 [MPa]、許容応力を SUS316LTP [66°C]の 0.9Su=413 [MPa]とし、(6.1.3)に代入すると以下となる。

$$\bullet S=Sp+(1+\alpha)Sw = 10+(1+0.36)\times 40= 64.4[\text{MPa}] \leq 0.9Su = 413[\text{MPa}] \quad (6.1.4)$$

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、(6.1.4)式の自重による応力 Sw に 3 を乗じ、Sw=120 [MPa]とすると以下となる。

$$\bullet S=Sp+(1+\alpha)Sw\times 3= 10+(1+0.36)\times 120= 173.2[\text{MPa}] \leq 0.9Su = 413[\text{MPa}] \quad (6.1.5)$$

以上のことから、両端単純支持はりで自重による応力 Sw を 40 [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。

なお、代表配管に対するサポート支持間隔等の値を以下に示す。

(サポート支持間隔が最も長くなる配管を選定)

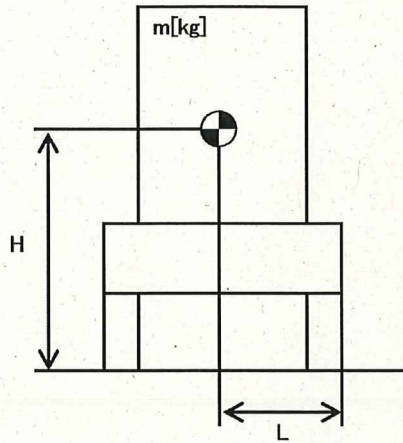
口径	材質	サポート支持間隔 (mm)	断面係数 (mm ³)	配管自重 (N/mm)	配管自重による応力 (MPa)
150A/Sch40	SUS316LTP	■	■	■	■

6.2 モバイル式処理装置（塩分除去装置）

6.2.1 RO膜装置

(1) 耐震性

RO膜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、それらと比較することで転倒評価を行った。



- m : 機器質量 ([redacted] kg)
- g : 重力加速度 (9.80665 m/s²)
- H : 据付面からの重心までの距離 ([redacted] m)
- L : 転倒支点から機器重心までの距離 ([redacted] m)
- C_H : 水平方向設計震度 (0.36)

地震による転倒モーメント : $M_1 [N \cdot m] = m \times g \times C_H \times H = 61878 \text{ N} \cdot \text{m} \rightarrow 62 \text{ kN} \cdot \text{m}$

自重による安定モーメント : $M_2 [N \cdot m] = m \times g \times L = 198717 \text{ N} \cdot \text{m} \rightarrow 199 \text{ kN} \cdot \text{m}$

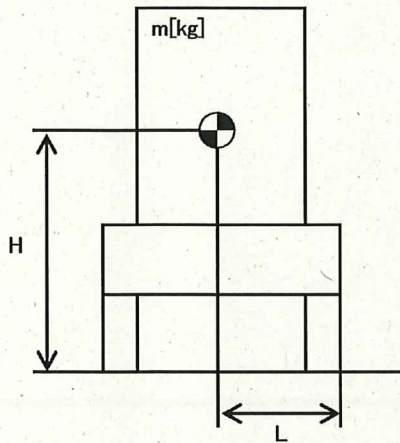
RO膜装置耐震評価結果

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

6.2.2 イオン交換装置

(1) 耐震性

イオン交換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 ([redacted] kg)
- g : 重力加速度 (9.80665 m/s²)
- H : 据付面からの重心までの距離 ([redacted] m)
- L : 転倒支点から機器重心までの距離 ([redacted] m)
- C_H : 水平方向設計震度 (0.36)

地震による転倒モーメント : $M_1 [N \cdot m] = m \times g \times C_H \times H = 34224 \text{ N} \cdot \text{m} \rightarrow 35 \text{ kN} \cdot \text{m}$

自重による安定モーメント : $M_2 [N \cdot m] = m \times g \times L = 123294 \text{ N} \cdot \text{m} \rightarrow 124 \text{ kN} \cdot \text{m}$

イオン交換装置耐震評価結果

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