

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

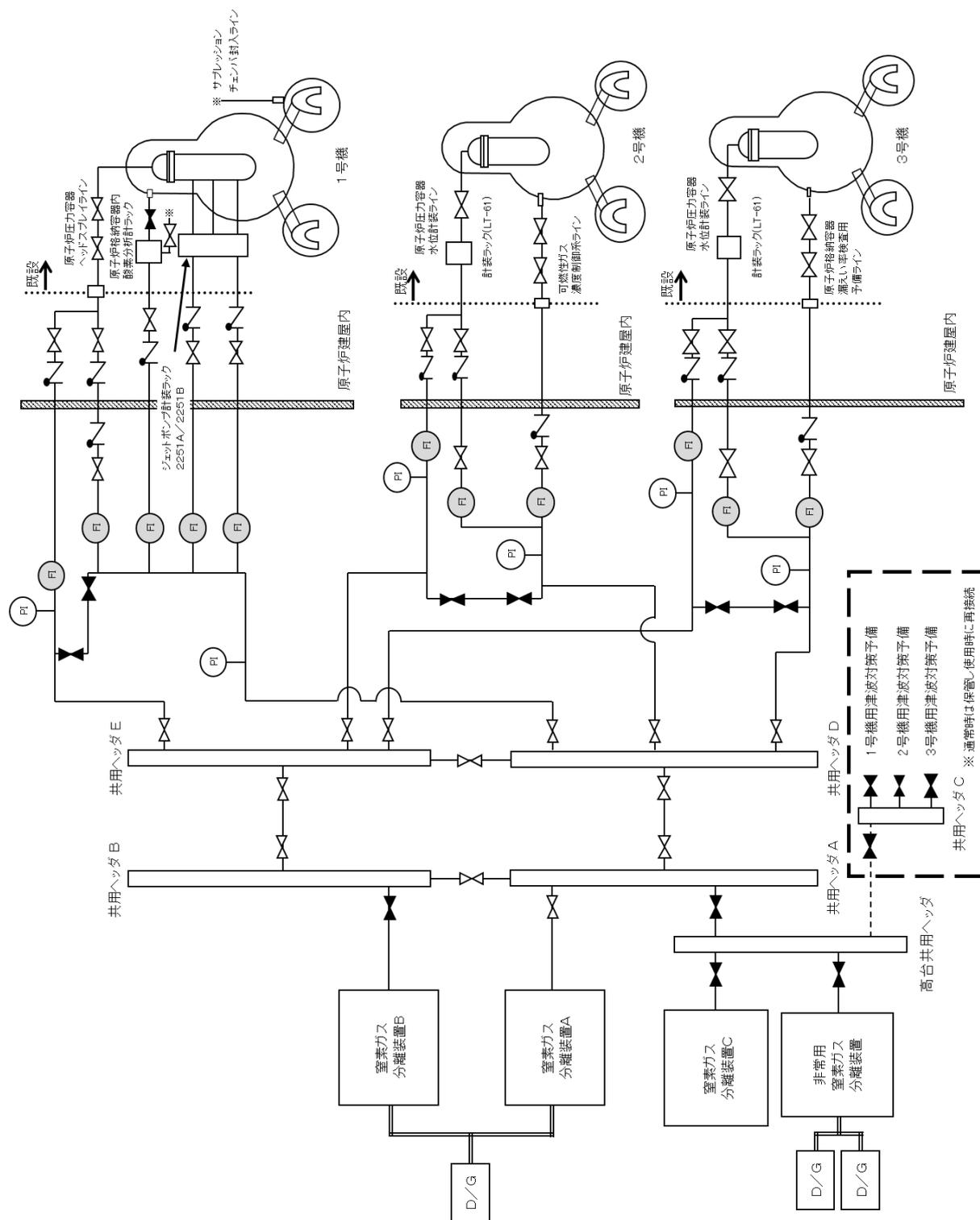


図-1 原子炉格納容器内窒素封入設備 系統概略図

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—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—1 第二種圧力容器 板厚計算結果

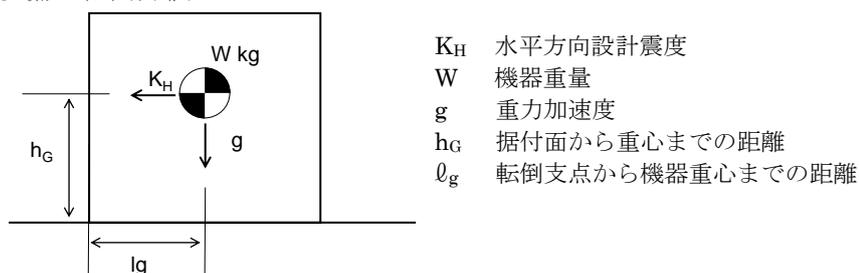
設備名		部位	必要板厚 (mm)	使用板厚 (mm)
窒素ガス 分離装置 A	吸着槽	胴板	5.56	9
		皿形鏡板	5.86	9
		半楕円形鏡板	4.17	12
		平ふた板	21.93	26
	製品槽	胴板	5.56	9
		皿形鏡板	5.86	9
窒素ガス 分離装置 B	吸着槽	胴板	5.56	9
		皿形鏡板	5.86	9
		半楕円形鏡板	4.17	12
		平ふた板	21.93	26
	製品槽	胴板	5.56	9
		皿形鏡板	5.86	9
窒素ガス 分離装置 C	活性炭槽	胴板	3.51	4.5
		半楕円形鏡板	2.75	4.5
		平ふた板	11.94	22
	空気槽	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

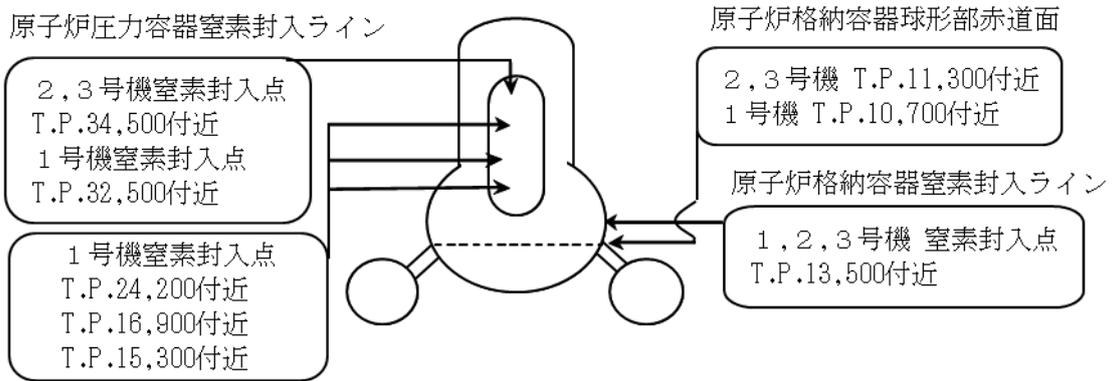


図-1 窒素封入ライン概略図

水素発生量の評価について

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

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

ここで、

M：可燃性ガス発生割合 (lbmol/h)

P₀：原子炉熱出力 (MWt)

P_t：崩壊エネルギー (MWt)

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

E：エネルギー吸収率 (γ線, β線) (—)

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

換算係数：82.2 (eV・lbmol/MW・h・分子) ※¹

※¹：1 lbmol=22.4/2.205 m³(Normal)

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

表—1 核分裂生成物の存在位置、存在割合及びエネルギー吸収率

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

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

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

※³：原子炉設置変更許可申請書

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

表-2 窒素封入量の評価結果

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

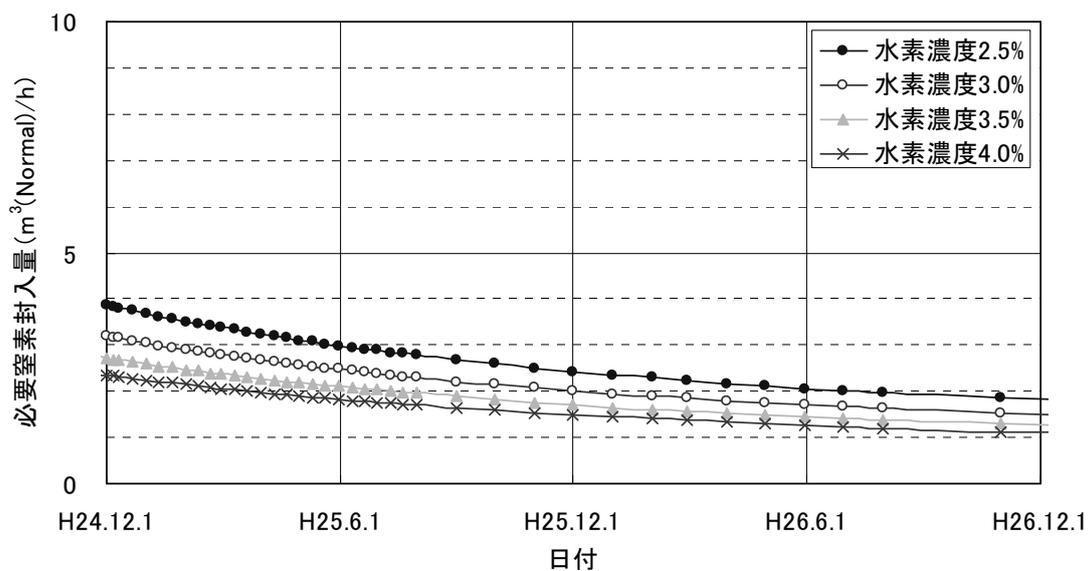


図-1 福島第一原子力発電所第1号機 必要窒素封入量の推移

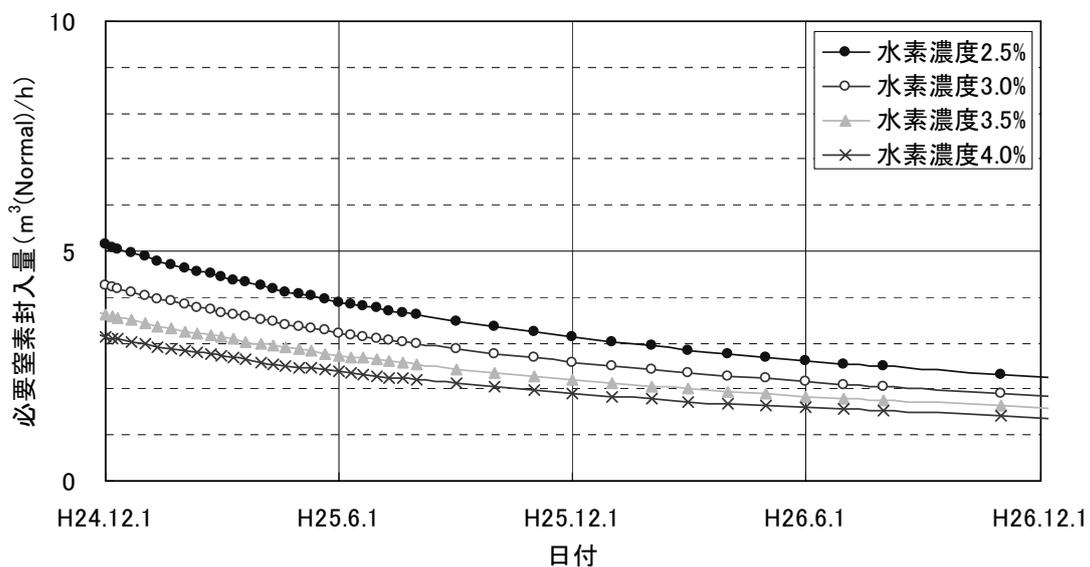


図-2 福島第一原子力発電所第2号機 必要窒素封入量の推移

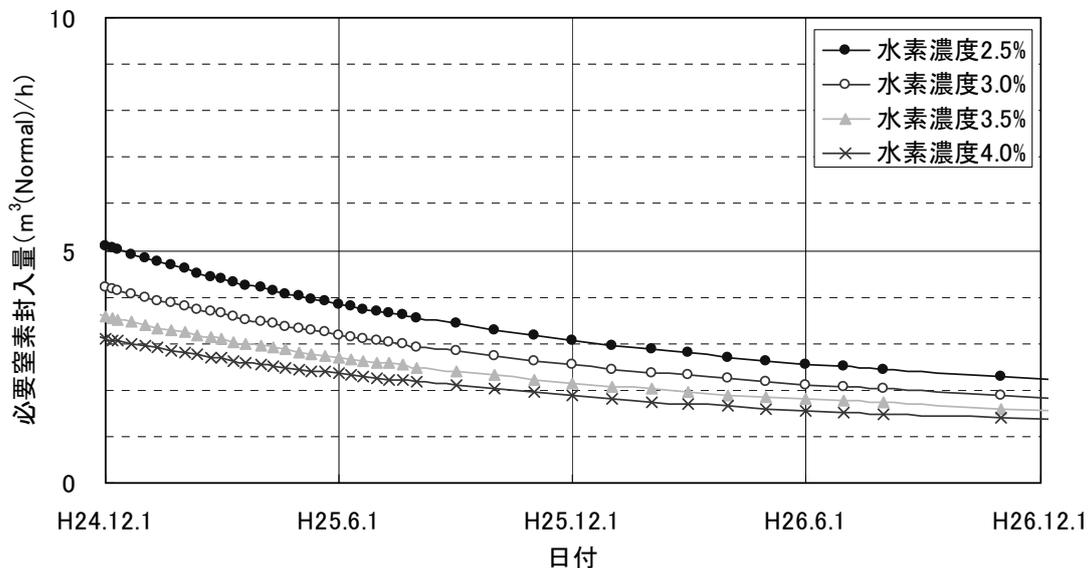


図-3 福島第一原子力発電所第3号機 必要窒素封入量の推移

窒素封入停止時の時間余裕について

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

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

T：時間余裕 (h)

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

C_{H₂}：原子炉格納容器内または原子炉压力容器内の初期水素濃度 (%)

M_{H₂}：水の放射線分解による単位時間あたりの水素発生量 (m³/h)

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

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

表－1 原子炉格納容器及び原子炉压力容器気相部体積について

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

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

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

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

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

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

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

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

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

サブプレッションチェンバ内の不活性化について

1. 概要

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

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

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

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

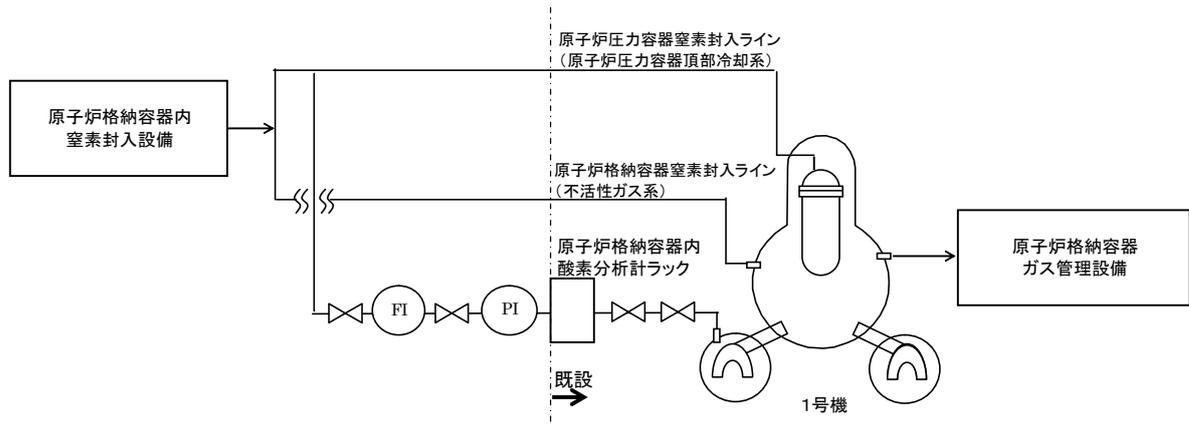


図1 1号機サブプレッションチェンバへの窒素封入系統概要図

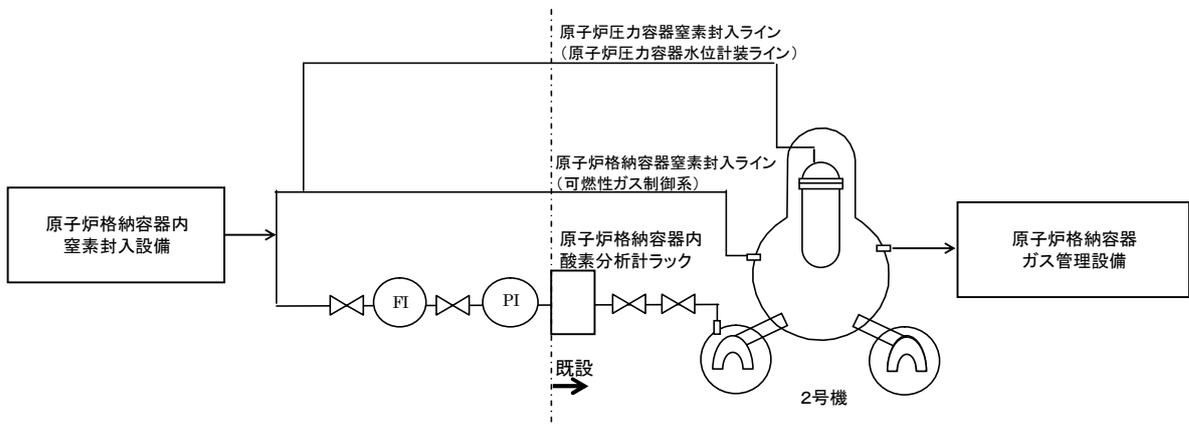


図2 2号機サブプレッションチェンバへの窒素封入系統概要図

2. 工程

	平成25年度			
	4月	7月	10月	1月
2号機 窒素封入作業	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 15px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 10px; height: 15px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 10px; height: 15px;"></div> </div>			

1号機ジェットポンプ計装ラックを用いた窒素封入設備について

1. はじめに

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

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

2. 基本設計及び基本仕様

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

3. 構造強度及び耐震性

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

3.1 新設ユニット

(1) 構造強度

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

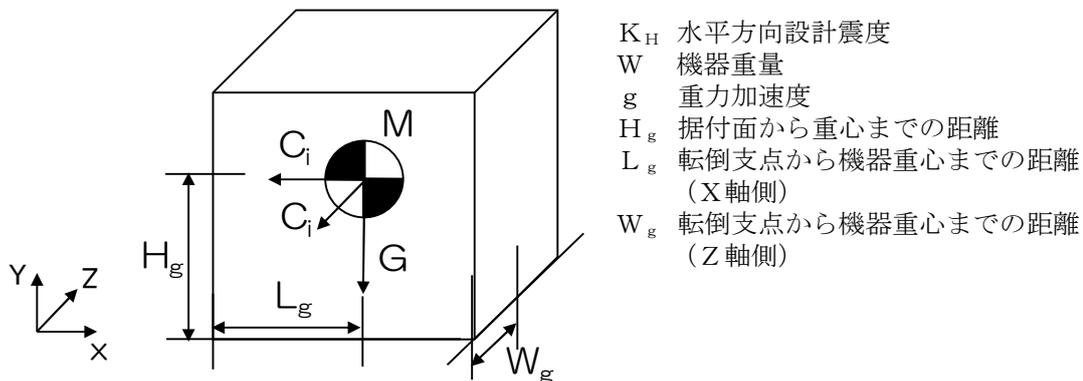
表－1 配管強度確認結果

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

(2) 耐震性

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

設備の転倒評価



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

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

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

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

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

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

3.2 ゴムホース

(1) 構造強度

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

(2) 耐震性

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

(3) 環境条件対策

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

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

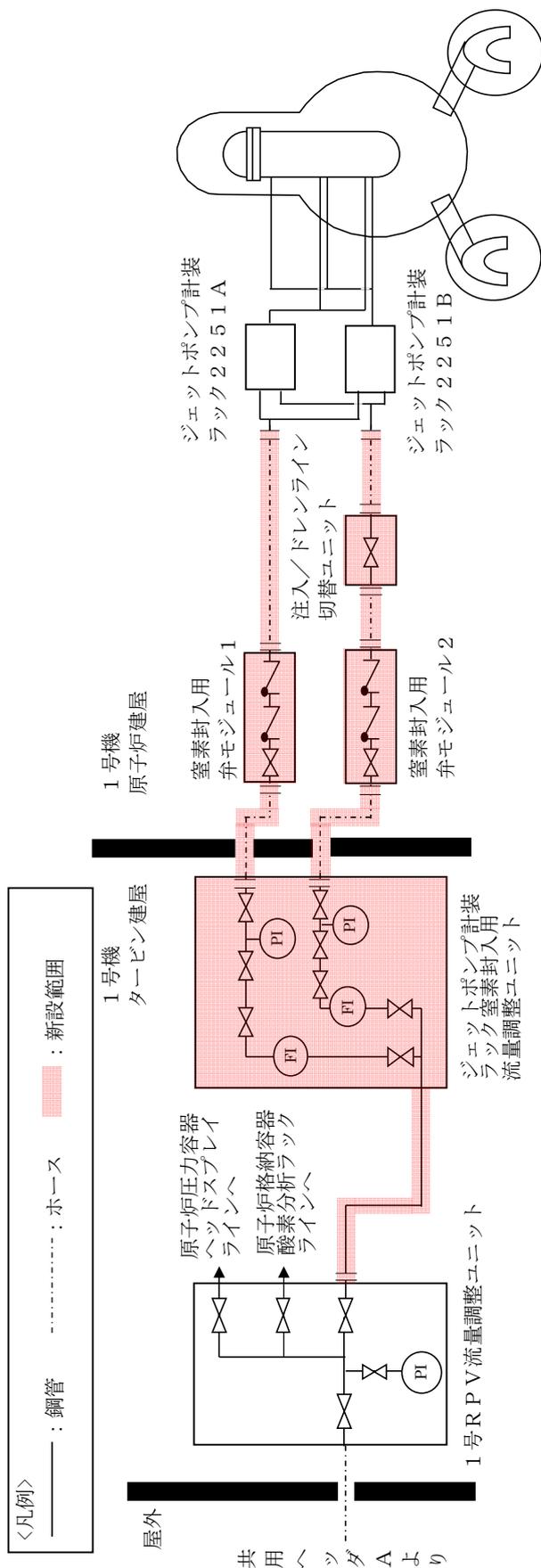


図1 新設範囲（1号機ジェットポンプ計装ラック入室封入ライン）

別紙

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

1号機ジェットポンプ計装ラックを用いた窒素封入設備に係わる申請範囲

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

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

1号機ジェットポンプ計装ラックを用いた窒素封入設備に係わる確認事項

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

表－１ 確認事項（主配管（鋼管））

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度 ・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した寸法について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	配管の据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で保持した後，確認圧力に耐えていることを確認する。 耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいの有無を確認する。 また，窒素ガス分離装置の運転圧力による漏えいの有無を確認する。	確認圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。 また，耐圧部から漏えいがないこと。
機能	通気確認	実施計画に定められた封入流量以上で窒素が通気されていることを確認する。	実施計画に定められた封入流量以上で窒素が通気されていること。

<構造強度・耐震性に係わる準拠規格及び基準>

- ・ JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格

表－２ 確認事項（主配管（ホース））

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度 ・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した寸法について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	配管の据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で保持した後、確認圧力に耐えていることを確認する。 耐圧確認終了後、耐圧部分からの漏えいの有無を確認する。 また、窒素ガス分離装置の運転圧力による漏えいの有無を確認する。	確認圧力に耐え、かつ構造物の変形等がないこと。 また、耐圧部から漏えいがないこと。
機能	通気確認	実施計画に定められた封入流量以上で窒素が通気されていることを確認する。	実施計画に定められた封入流量以上で窒素が通気されていること。

<構造強度に係わる準拠規格及び基準>

- ・一般高圧ガス保安規則

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

1. はじめに

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

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

2. 基本設計及び基本仕様

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

3. 構造強度及び耐震性

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

3.1 流量計ユニット，隔離弁ユニット及び共用ヘッダ

(1) 構造強度

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

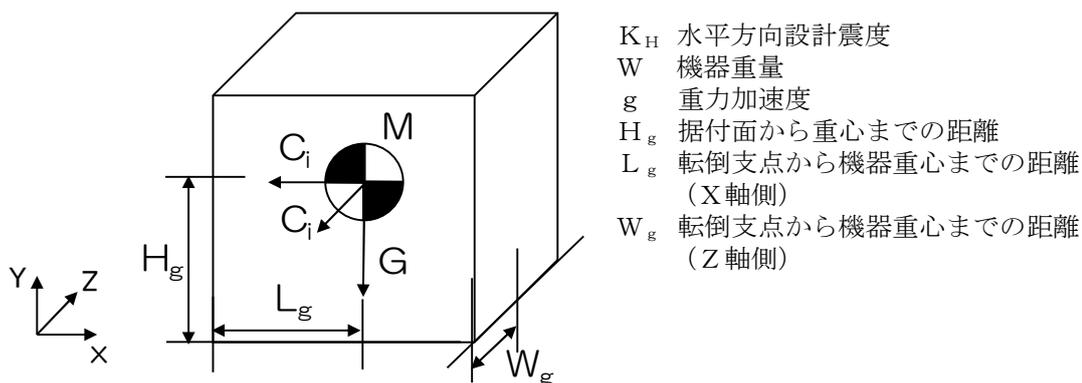
表－ 1 配管強度確認結果

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

(2) 耐震性

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

・設備の転倒評価



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

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

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

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

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

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

(3) 環境条件対策

a. 内部の劣化

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

b. 紫外線対策

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

3.2 ホース

(1) 構造強度

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

(2) 耐震性

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

(3) 環境条件対策

a. 内部の劣化

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

b. 紫外線対策

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

c. 人的損傷及び外的要因による損傷への対策

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

4. 本工事における考慮事項

(1) 被ばく低減対策

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

(2) 瓦礫類発生量

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

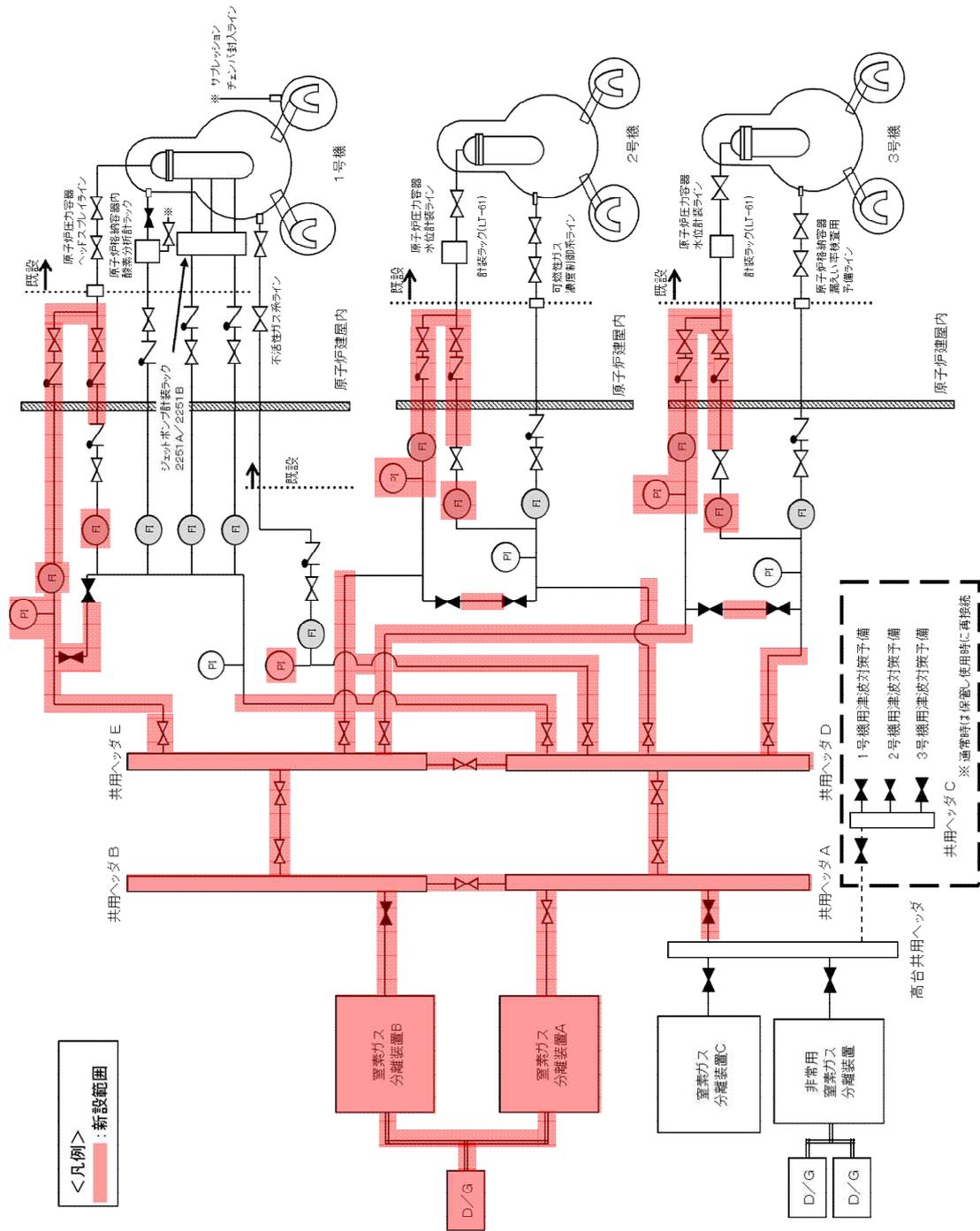


図-1 新設範囲図

別紙

別紙ー1 二重化封入ライン，窒素ガス分離装置A及びB等に係わる申請範囲

二重化封入ライン，窒素ガス分離装置A及びB等に係わる申請範囲

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

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

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

窒素ガス分離装置用専用D/Gについて

1. はじめに

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

2. 基本設計及び基本仕様

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

3. 構造強度及び耐震性

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

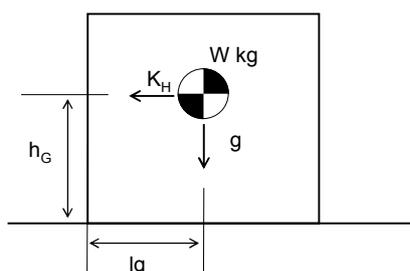
(1) 構造強度

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

(2) 耐震性

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

・設備の転倒評価



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

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

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

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

表-1 AB専用D/G 転倒評価結果 (Cクラス相当の静的震度)

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

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

表-2 AB専用D/G 転倒評価結果 (Sクラス相当の静的震度)

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

4. 自然災害対策等

(1) 豪雨

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

(2) 強風 (台風・竜巻)

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

原子炉格納容器内窒素封入設備に係わる確認事項について

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

表－ 1 確認事項（主要配管（鋼管））

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度 ・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した寸法について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	配管の据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で保持した後、確認圧力に耐えていることを確認する。 耐圧確認終了後、耐圧部分からの漏えいの有無を確認する。 また、窒素ガス分離装置の運転圧力による漏えいの有無を確認する。	確認圧力に耐え、かつ構造物の変形等がないこと。 また、耐圧部から著しい漏えいがないこと。
機能	通気確認	実施計画に定められた封入流量以上で窒素が通気されていることを確認する。	実施計画に定められた封入流量以上で窒素が通気されていること。

<構造強度・耐震性に係わる準拠規格及び基準>

- ・ JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格

表-2 確認事項（主要配管（ホース））

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度 ・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した寸法について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	配管の据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で保持した後、確認圧力に耐えていることを確認する。 耐圧確認終了後、耐圧部分からの漏えいの有無を確認する。 また、窒素ガス分離装置の運転圧力による漏えいの有無を確認する。	確認圧力に耐え、かつ構造物の変形等がないこと。 また、耐圧部から著しい漏えいがないこと。
機能	通気確認	実施計画に定められた封入流量以上で窒素が通気されていることを確認する。	実施計画に定められた封入流量以上で窒素が通気されていること。

<構造強度に係わる準拠規格及び基準>

- ・一般高圧ガス保安規則

表－3 確認事項（窒素ガス分離装置）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度 ・耐震性	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	窒素ガス分離装置の据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
性能	運転性能 確認	窒素ガス分離装置の運転性能を確認する。	運転状態にて、異音，異臭，異常振動等がないこと。 実施計画に定められた容量以上及び窒素純度以上で窒素を供給できること。

表－4 確認事項（専用ディーゼル発電機）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度 ・耐震性	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	専用ディーゼル発電機の据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
性能	運転性能 確認	専用ディーゼル発電機の運転性能を確認する。	運転状態にて、異音，異臭，異常振動等がないこと。 実施計画に定められた容量以上であること。

1号機原子炉格納容器窒素封入ライン（不活性ガス系）の撤去について

1. 撤去理由

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

2. 撤去の妥当性

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

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

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

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

3. 瓦礫類発生量

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

4. 作業員の被ばく低減対策

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

5. その他

既設不活性配管切断後、配管端部は閉止処置を行う。

2.3 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、使用済燃料プールの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

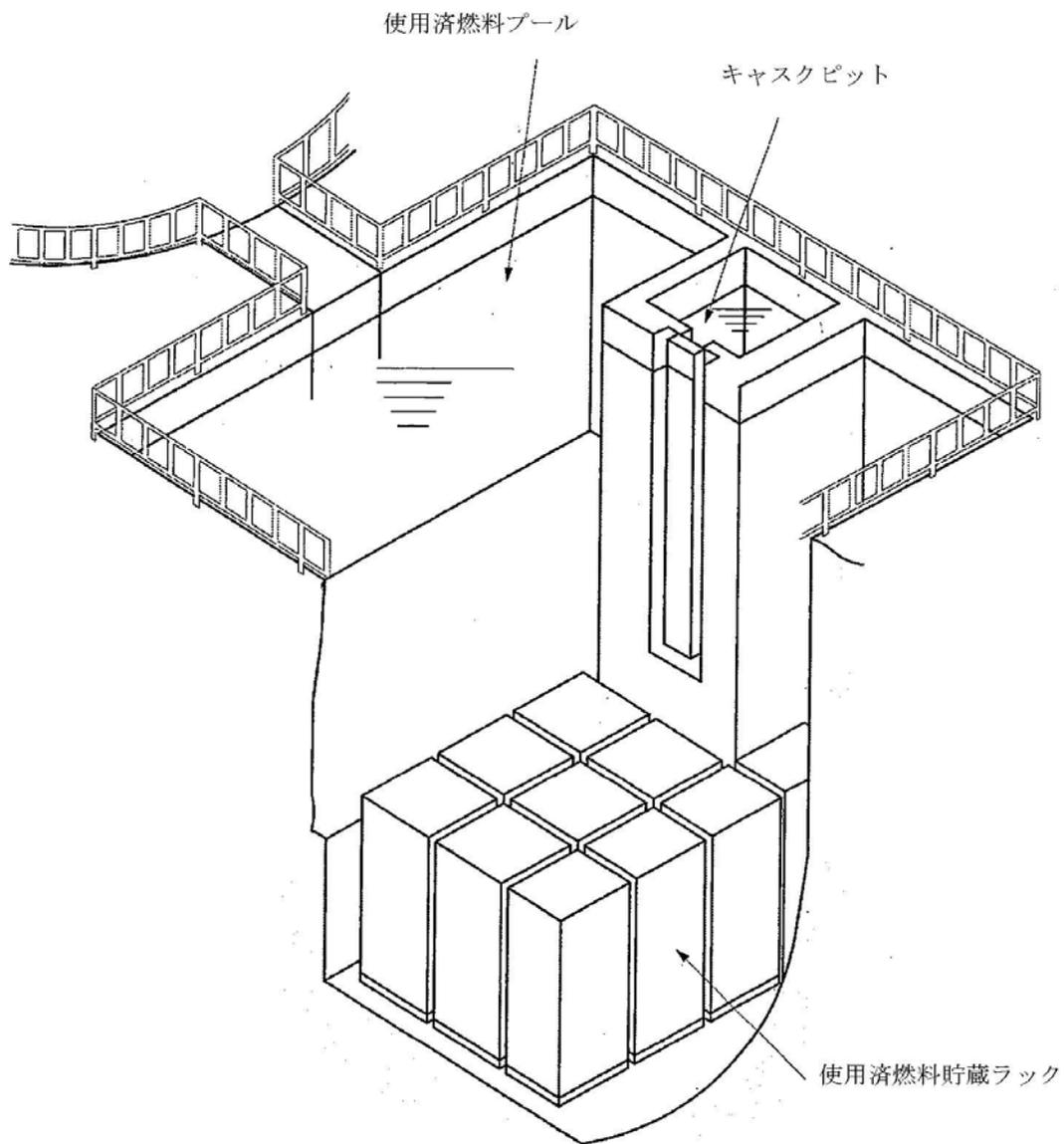


図1 使用済燃料プール概要図

※二次系設備は1~3号機で共用

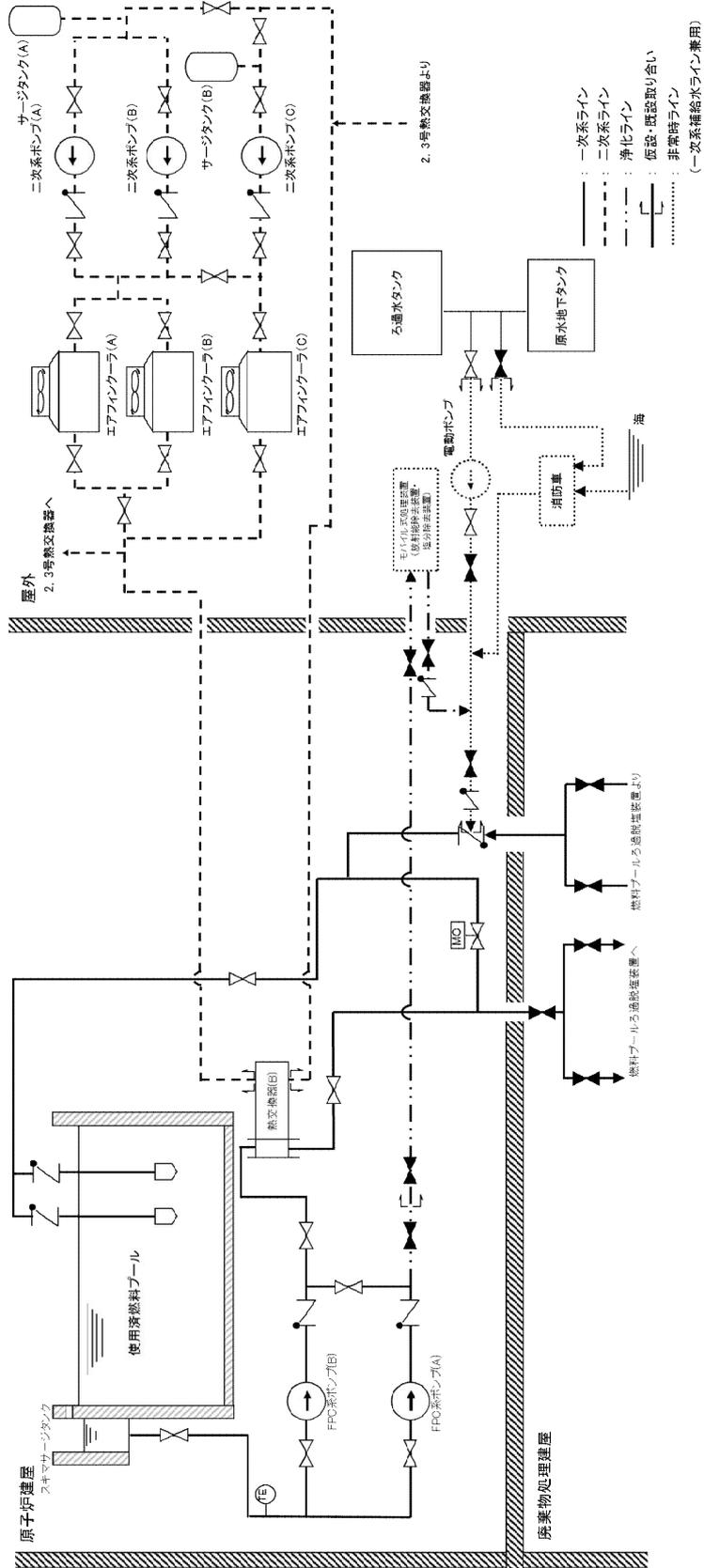
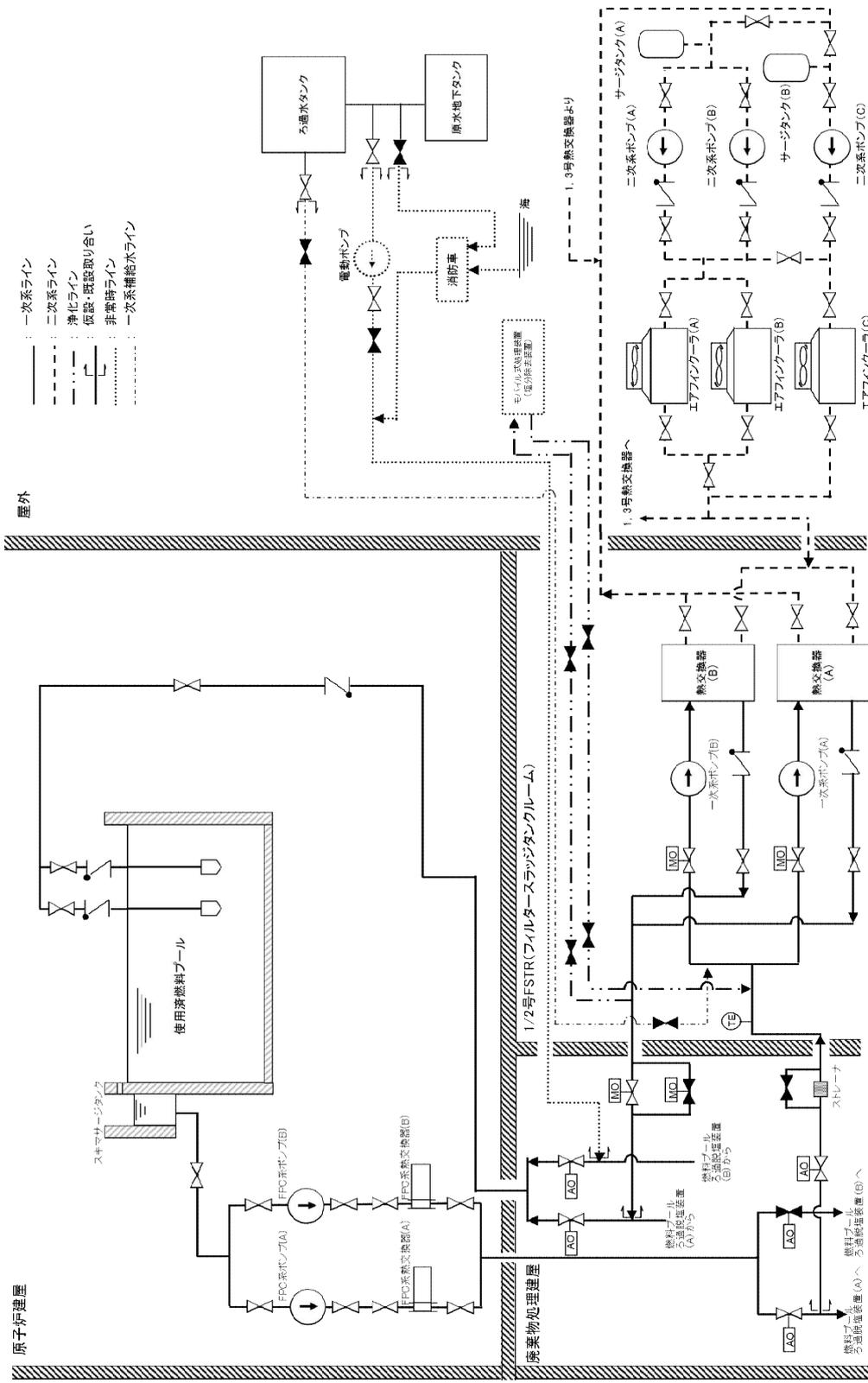


図 1 1号機使用済燃料プール冷却系統概略図



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

※二次系設備は1〜3号機で共用

図 2 2号機使用済燃料プール冷却系系統概略図

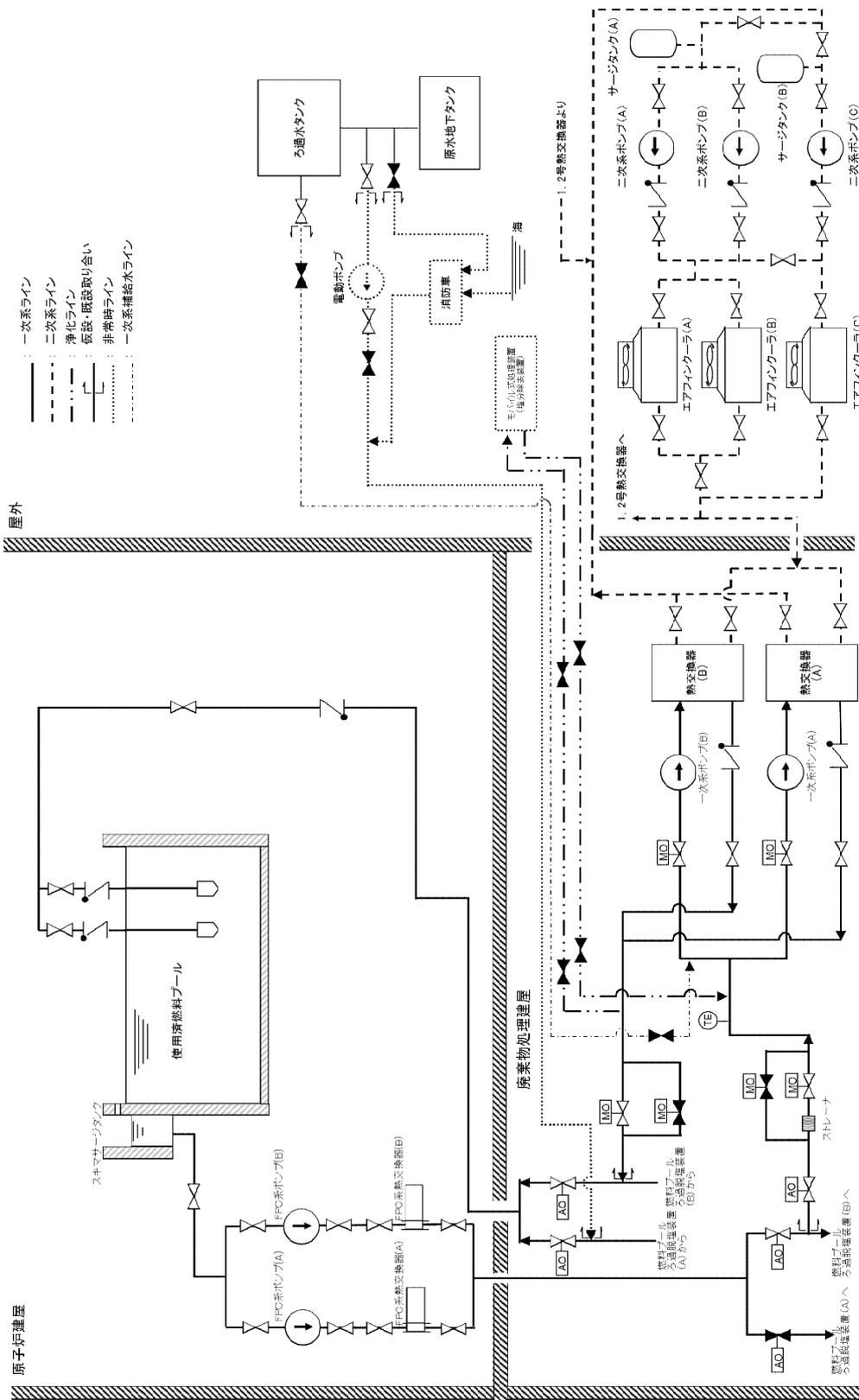


図 3 3 号機使用済燃料プール冷却系系統概略図

※二次系設備は 1~3 号機で共用

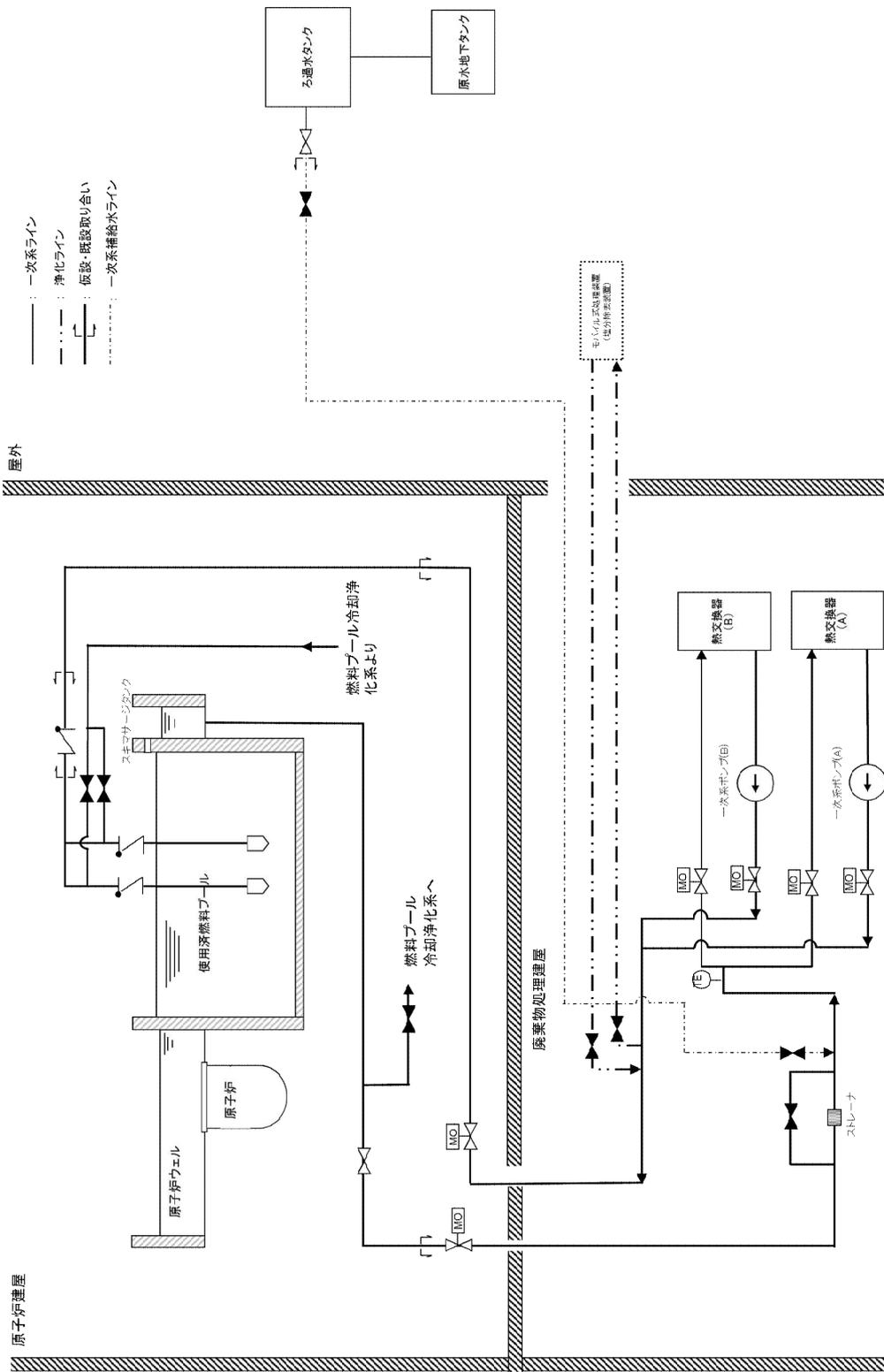


図 4 4号機使用済燃料プール循環系系統概略図

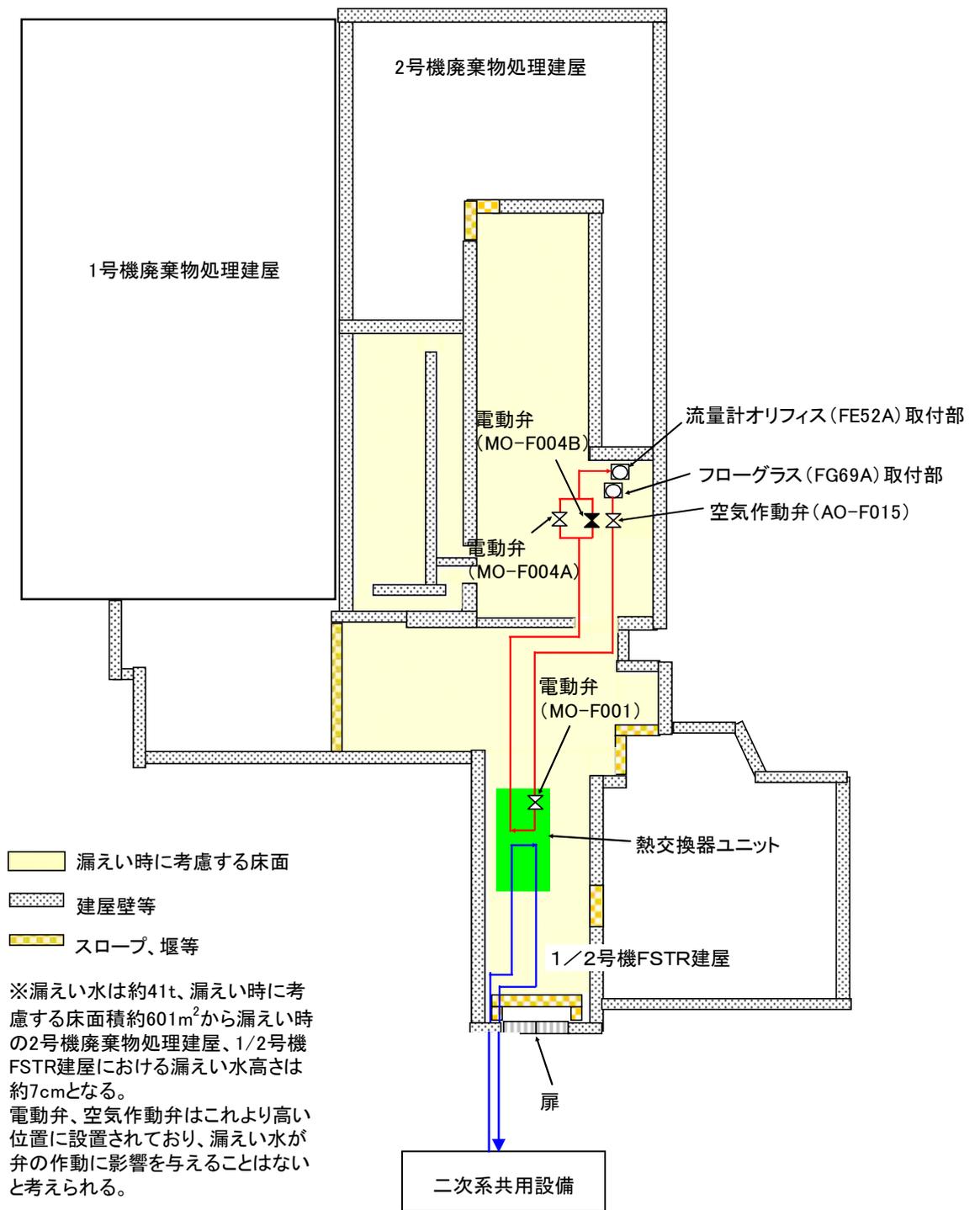


図1 2号機使用済燃料プール冷却系
漏えい拡大防止設備概要図 (2号機 廃棄物処理建屋 1FL)

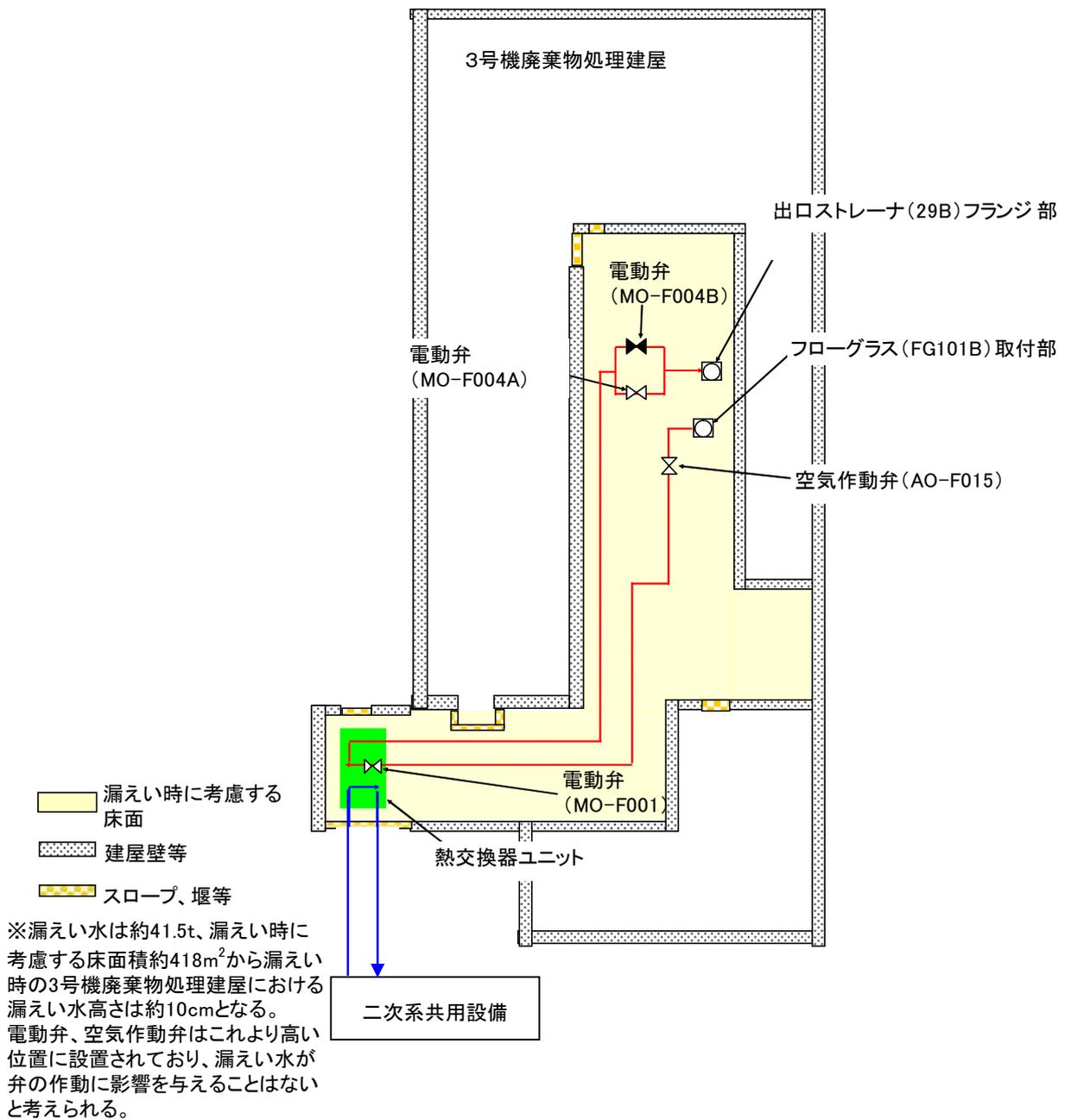


図2 3号機使用済燃料プール冷却系
漏えい拡大防止設備概要図 (3号機 廃棄物処理建屋 1FL)

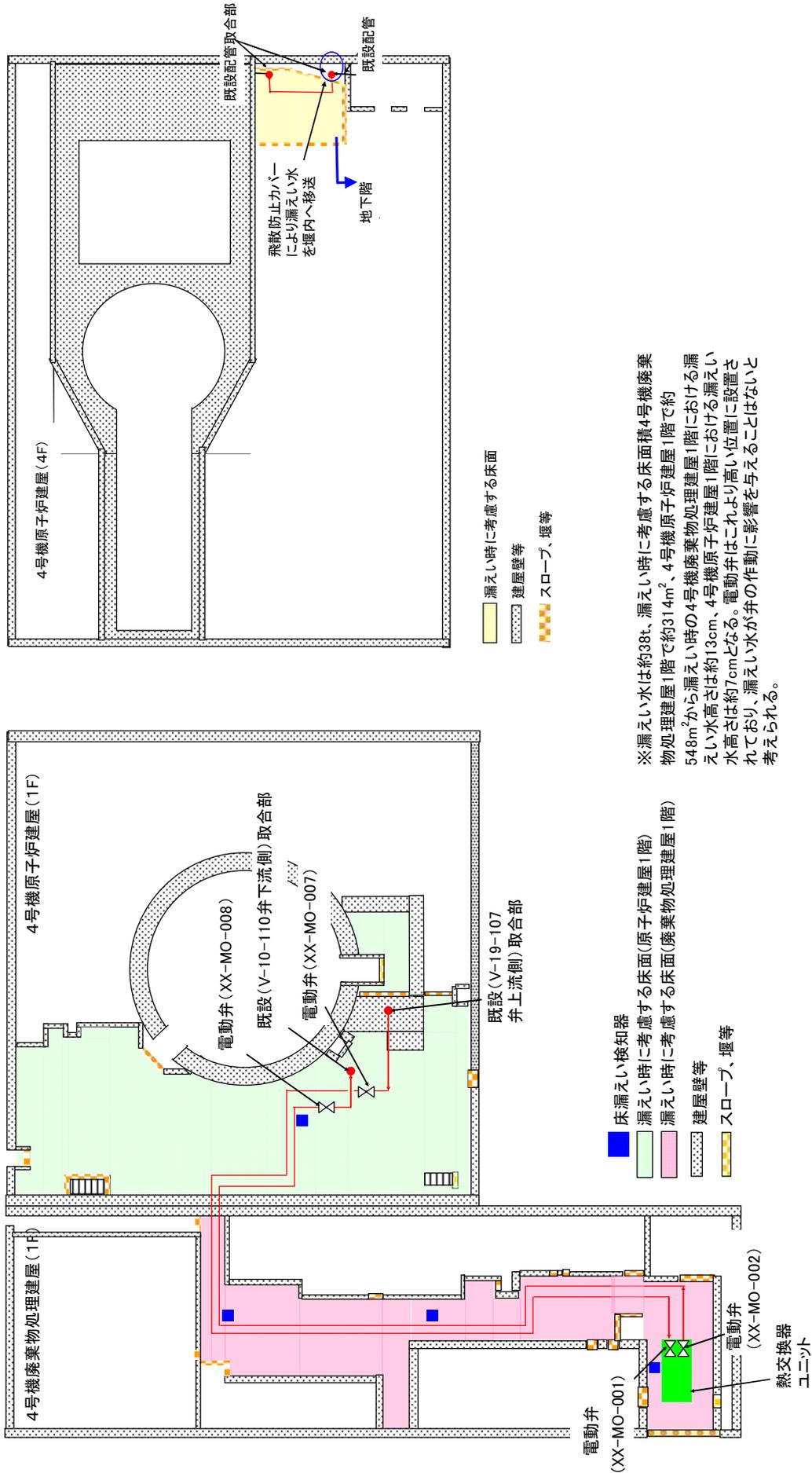


図3 4号機使用済燃料プール循環系
漏えい拡大防止設備概要図 (4号機 廃棄物処理建屋1F, 原子炉建屋1F, 4F)

セシウム溶液の大気中へのセシウム移行率確認試験

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

1. 試験概要

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

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

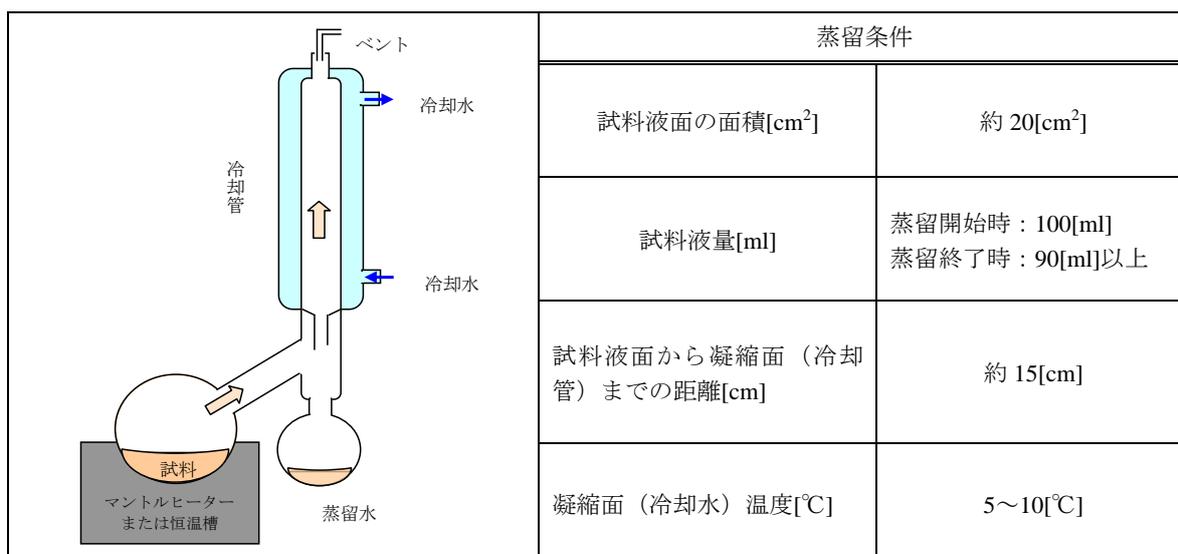


図1 蒸留装置模式図及び蒸留条件

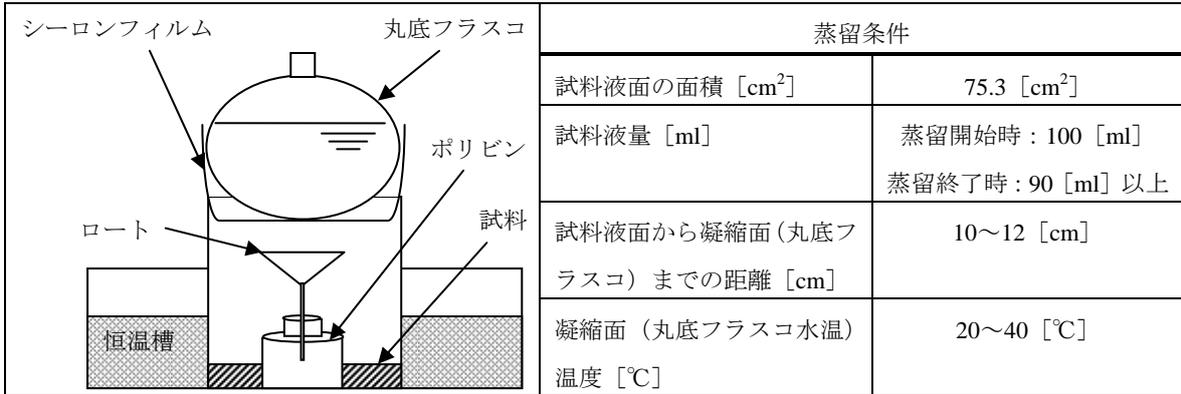


図2 蒸留装置模式図及び蒸留条件

2. 試験結果

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

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

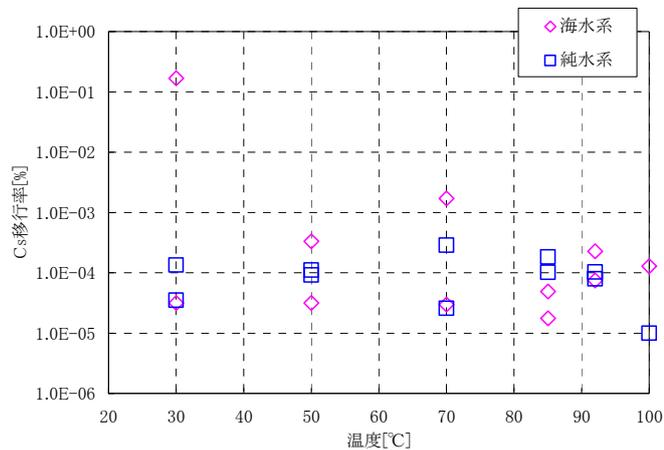


図3 蒸留温度別の大気中への Cs の移行量

3. まとめ

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

使用済燃料プール保有水から大気への放射性物質の移行程度の評価

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

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

1. 評価条件

使用済燃料プールから大気への移行の程度を推定するための条件を以下に示す。

(1) 放射性物質濃度

1～4号機使用済燃料プール保有水における放射性物質濃度を表1に示す。

表1 使用済燃料プール保有水における放射性物質濃度

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

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

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

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

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

(2) 使用済燃料プール水温

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

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

(3) 放射性物質移行率

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

○ 1～4号機： 1.0×10^{-4} [%]

2. 使用済燃料プールから大気への放射性物質の移行の程度の推定及び評価

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

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

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

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

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

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

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

使用済燃料プール水の塩化物イオン濃度の目標値について

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

<100ppm の根拠>

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

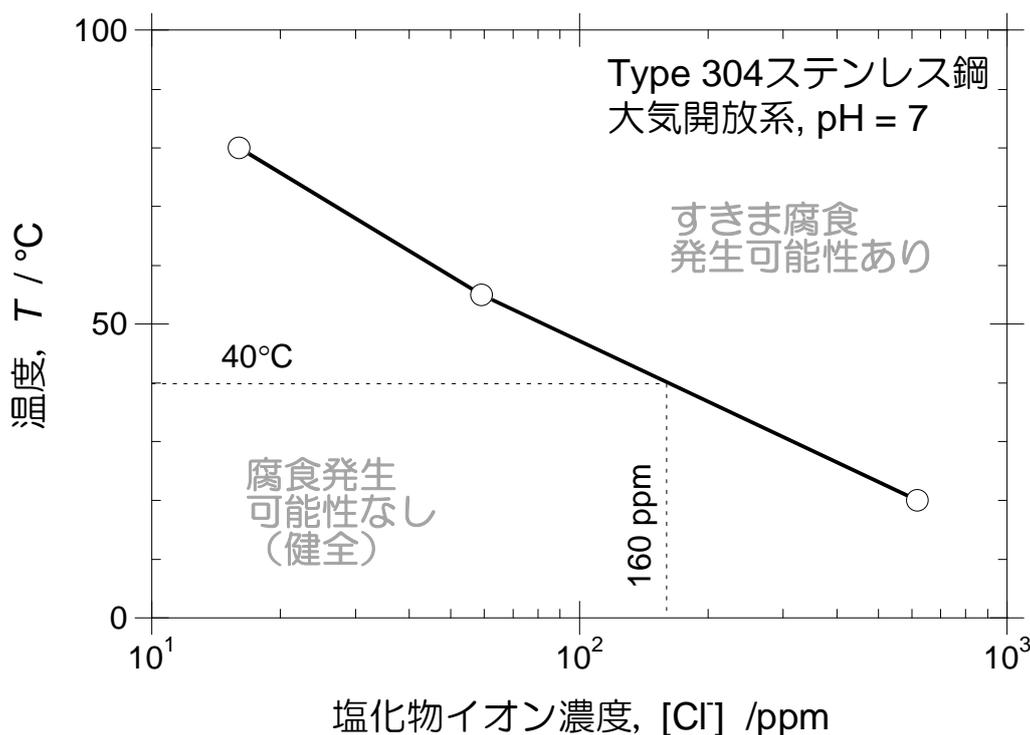


図 1 大気開放条件での 304 ステンレス鋼の腐食マップ^{1), 2)}

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

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

使用済燃料プールの構造強度及び耐震性に関する説明書

(1) 1号機使用済燃料プール

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

(2) 2号機使用済燃料プール

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

(3) 3号機使用済燃料プール

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

(4) 4号機使用済燃料プール

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

1～3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	S S 3 3 0	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Cs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。

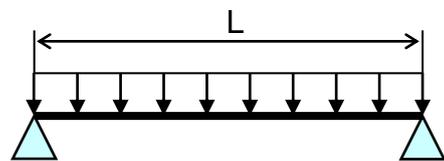
$$\bullet S_w = \frac{wL^2}{8Z}$$

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。

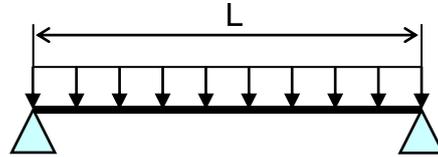
b. 評価方法

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。

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

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 $40[\text{MPa}]$ 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。

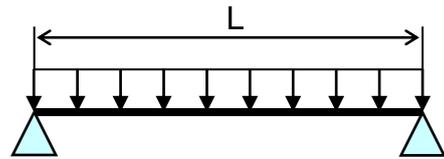
$$\cdot S_w = \frac{wL^2}{8Z}$$

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。

使用済燃料プール冷却系機能喪失評価

(1) 原因

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

(2) 対策及び保護機能

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

※:所要時間(目安)とは復旧作業の着手から完了までの時間(目安)である。

(3) 評価条件及び評価結果

a. 評価条件

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

(b) 使用済燃料から発生する崩壊熱は、次に示す値とする。

1号機：0.07MW　2号機：0.19MW　3号機：0.16MW

(平成28年3月1日時点のORIGEN評価値)

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

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

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

(c) 保守的に使用済燃料プール水の初期温度は65℃とする。

b. 評価結果

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

1号機：約203日、2号機：約98日、3号機：約115日

(4) 判断基準への適合性の検討

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

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

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

(5) 非常用注水設備の代替注水手段

地震・津波等により、非常用注水設備の使用が困難な場合、ろ過水タンク西側（T.P. 約 39m）に待機しているコンクリートポンプ車等を用いて使用済燃料プールを冷却する。

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

燃料取り出し用カバー設置後の 3 号機においては、カバー南側面に設ける注水口を通じてコンクリートポンプ車による注水を行う。注水口は受け口及び注水配管により構成され、受け口はコンクリートポンプ車先端の位置を合わせやすくするために設置する。

なお、注水口には弁を設けず、常に使用済燃料プールへの注水が可能な設計とする。

コンクリートポンプ車の仕様、3 号機注水口（受け口・注水配管）の仕様及び概略図を以下に示す。

コンクリートポンプ車

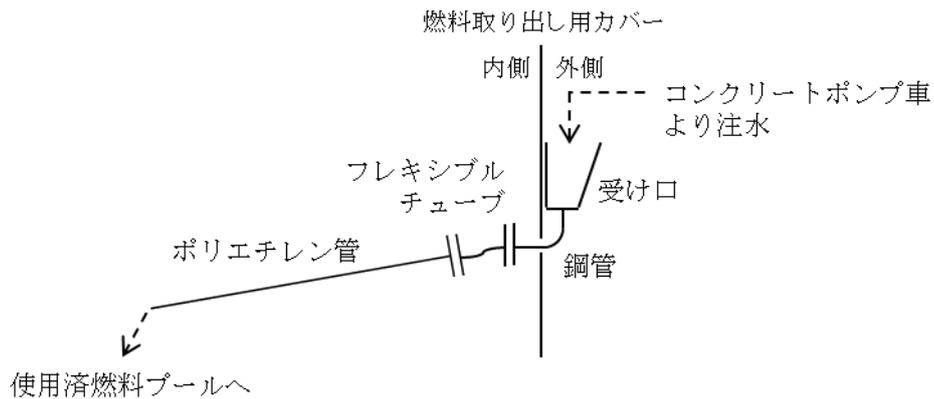
台数	1
アーム長さ	62m 以上
容量	160m ³ /h 以上
燃料タンク容量, 消費量	約 500 l（参考値）, 約 20 l/h（参考値）

3 号機受け口

台数	1
材質	炭素鋼
概略寸法	約 3.5m×約 1m（開口部幅×開口部奥行） 約 1.7m（高さ）

表－1 3号機注水配管仕様

名称	仕様	
注水配管（鋼管）	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	200A／Sch. 40 STPG370 静水頭 40℃
注水配管（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	200A 相当 SUS316L 静水頭 40℃
注水配管（ポリエチレン管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	200A 相当 ポリエチレン 静水頭 40℃



図－1 3号機注水口概略図

(6) 3号機注水口について

a. 規格・基準等

3号機注水口は，設計，製作及び検査について以下の規格の準拠等により信頼性を確保する。

- ・ 日本産業規格（JIS 規格）
- ・ ISO 規格
- ・ JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2012年，日本機械学会）
- ・ JEAG 4601 原子力発電所耐震設計技術指針（1987年，日本電気協会）
- ・ JEAC 4601 原子力発電所耐震設計技術規程（2008年，日本電気協会）
- ・ 鋼構造設計規準（2005年，日本建築学会）

b. 構造強度

注水口は、弁を設置しないため水を貯めることを想定していないが、水を貯めた場合の静水圧に対して十分な強度を有することを確認する。

注水口のうち受け口については、水を貯めた試験条件にて有意な変形や漏えい等のないことを確認する。

注水口のうちフレキシブルチューブ、ポリエチレン管については、水を貯めた場合の静水圧を超える圧力にて耐圧試験を実施し、有意な変形や漏えい等のないことを確認する。

注水口のうち鋼管については、「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格」に基づく必要肉厚（3.8mm）を有していることを確認する。

c. 耐震性

注水口の耐震性については、耐震設計技術指針における燃料プール水補給設備としてSクラス相当での評価を行う。なお、注水口は水を貯めることを想定していないため、地震時に受ける荷重は相対的に小さい。

注水口のうち受け口の耐震性については、「g. 受け口の強度設計」に示す通り、Sクラス相当の耐震性を有する。フレキシブルチューブ、ポリエチレン管は、可撓性により耐震性を確保する。鋼管は、定ピッチスパン法により剛設計となるサポート間隔とする。

なお、注水口の重量は燃料取り出し用カバーの重量に比べ十分小さいため、実施計画Ⅱ.2.11に記載している燃料取り出し用カバーの耐震性評価への影響はない。

d. 自然災害対策等

(a) 豪雨

注水口は、一部を屋外に据え付ける設備であるが、ポンプ・電動弁等の電動機器を使用する設備ではないため、豪雨により注水口の機能を失う恐れはない。

また、豪雨による雨水は注水口を通じて使用済燃料プールへ流入するが、受け口の開口面積に年間降雨量を乗じても年間の流入量は 10m^3 以下であり、使用済燃料プールの容量（約 1400m^3 ）に対して十分小さく、使用済燃料プールへの影響は僅かである。

なお、燃料取り出し用カバーが設置されておらず使用済燃料プールへ雨水が直接流入する期間においても、使用済燃料プールの水質管理・冷却運転に支障は生じていない。

(b) 津波

注水口は、燃料取り出し用カバーに取り付ける設備であり、その位置はT.P. 38m付近であるため、東北地方太平洋沖地震津波相当の津波により注水口が被水する恐れは

ない。

なお、燃料取り出し用カバーの脚部は津波を被水する恐れがある。燃料取り出し用カバーは鉄骨構造と鋼製の外装材により構成されているが、閉空間になっておらず、津波襲来時には、水は燃料取り出し用カバーの裏側に回り込み、津波による波圧は生じにくい。

(c) 火災

注水口は、ポンプ・電動弁等の動的機器を使用する設備ではないため、火災の発生要因となる恐れはない。

(d) 強風・竜巻

注水口は、風の影響を受ける受け口部について、建築基準法施行令に準拠した風圧力に対し設計している。詳細は「g. 受け口の強度設計」に示す。

万が一、強大な竜巻により注水口が損傷した場合、原子炉建屋及び廃棄物処理建屋に設置している使用済燃料プール循環冷却系の一次系配管が損傷する可能性は低い。ため、消防車等の非常用注水設備を用いて注水を実施する。さらに一次系配管も同時に損傷した場合は、配管補修、注水口補修、燃料取り出し用カバー撤去等の対応策から速やかに出来るものを実施し、非常用注水設備またはコンクリートポンプ車を用いて注水を実施する。

なお、使用済燃料プール循環冷却系の機能喪失後、崩壊熱による使用済燃料プール水の蒸発により、使用済燃料プール水位が有効燃料頂部+2mに到達するまでの期間は「(3) 評価条件及び評価結果」に示す通りであり、対応のための十分な時間的余裕がある。

e. 環境条件対策

注水口は、耐食性を考慮した設計とする。注水口のうち受け口は、防食加工した炭素鋼を使用し、注水配管は、ポリエチレン管、十分な肉厚を有する炭素鋼の鋼管、ステンレス (SUS316L) のフレキシブルチューブを使用する。

f. 小動物侵入防止対策

受け口部に鳥類が営巣し、注水時の障害となる恐れがあることから、受け口部にネット等の侵入防止を設置する。

g. 受け口の強度設計

受け口について、強風・地震に対する許容応力度設計を実施する。

(a) 使用材料の許容応力度

使用材料の許容応力度を表-2に示す。

表-2 使用材料の許容応力度

板厚	材料	基準強度 F (N/mm ²)	許容応力度
T ≤ 40mm	SS400, STKR400	235	「鋼構造設計基準」に従い、 左記 F の値より求める

(b) 荷重及び荷重組合せ

- ・鉛直荷重 (VL)

受け口の固定荷重を考慮する。

- ・風圧力 (WL)

風圧力は、建築基準法施行令第 87 条に基づき、基準風速を 30m/s、地表面粗度区分Ⅱとして算定し、2180N/m²とする。この値は、実施計画Ⅱ.2.11にて燃料取り出し用カバーの外装材妻壁の評価に用いる値である。

- ・地震荷重 (K)

NS方向の震度 1.5, EW方向の震度 1.0, UD方向の震度 1.5 として地震荷重を考慮する。この値は、解放基盤表面位置に基準地震動 Ss-1, Ss-2 及び Ss-3 を入力して得られる門型架構の応答加速度 (実施計画Ⅱ.2.11 参照) を包含する値である。

- ・荷重組合せ

荷重組合せを表-3に示す。

表-3 受け口の荷重組合せ

状態	荷重ケース	荷重組合せ	許容応力度
強風時	W1	VL + WL (NS)	短期
	W2	VL + WL (EW)	
地震時	E1	VL + K (NS + UD)	
	E2	VL + K (EW + UD)	

(c) 検討結果

図-2に断面検討を行う部位、表-4に各部位の応力度比が最大となる検討結果を示す。断面検討の結果、全ての部材に対する応力度比が1以下になることを確認した。

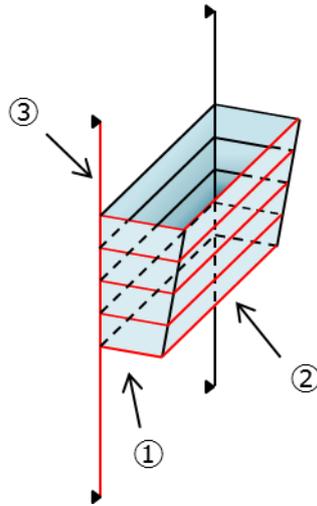


図-2 断面検討を行う部位

表-4 断面検討結果

部位 ^{*1}	部材形状 〈使用材料〉	荷重 ケース	作用応力度 (N/mm ²)			許容応力度 (N/mm ²)			応力 度比	判定
			軸力	曲げ		軸力	曲げ			
				強軸	弱軸		強軸	弱軸		
短 辺 梁 ①	□-100×100 ×4.5 〈STKR400〉	E2	—	34.7	5.7	—	235	235	0.18	0. K.
長 辺 梁 ②	□-100×100 ×4.5 〈STKR400〉	W1	—	30.3	10.5	—	235	235	0.18	0. K.
縦 材 ③	H-194×150 ×6×9 〈SS400〉	E2	1.8 (圧縮)	14.5	60.7	113 (圧縮)	231	235	0.34	0. K.

* 1 : ①～③は断面検討箇所を示す

h. 確認事項

3号機注水口の構造強度及び機能・性能に関する確認事項を表－5に示す。

表－5 確認事項

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度 ・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	【鋼管・ポリエチレン管】 実施計画に記載した主要寸法を確認する。 【フレキシブルチューブ】 指定のサイズ（呼び径）であることを確認する。	【鋼管・ポリエチレン管】 実施計画のとおりであること。 【フレキシブルチューブ】 指定のサイズ（呼び径）であること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器の据付位置・据付状態を確認する。	計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で保持した後、確認圧力に耐えていることを確認する。 耐圧確認終了後、耐圧部分からの漏えいの有無も確認する。	確認圧力に耐え、かつ構造物の変形等がないこと。 また、耐圧部から漏えいがないこと。
機能・性能	機能確認	使用済燃料プールへ注水できることを確認する。	流路が確保されていること。

使用済燃料プール（SFP）水温及び水位変化

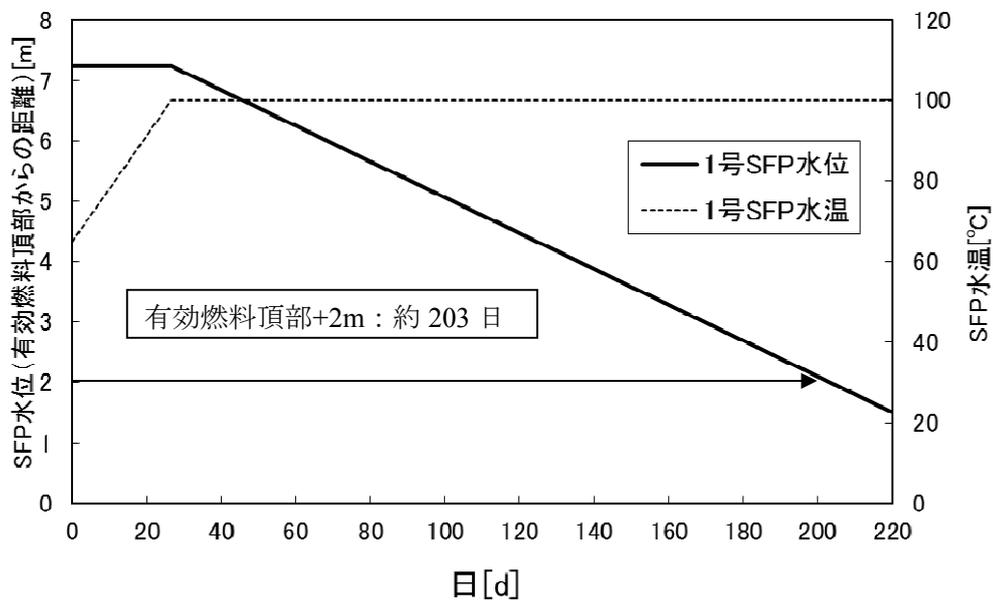


図1 1号機使用済燃料プール（SFP）水温及び水位変化

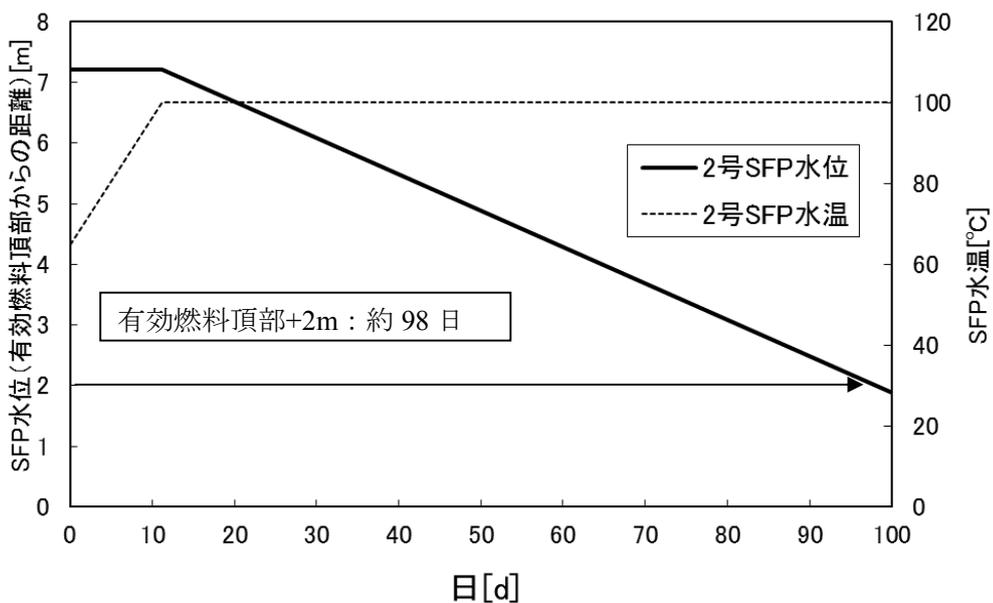


図2 2号機使用済燃料プール（SFP）水温及び水位変化

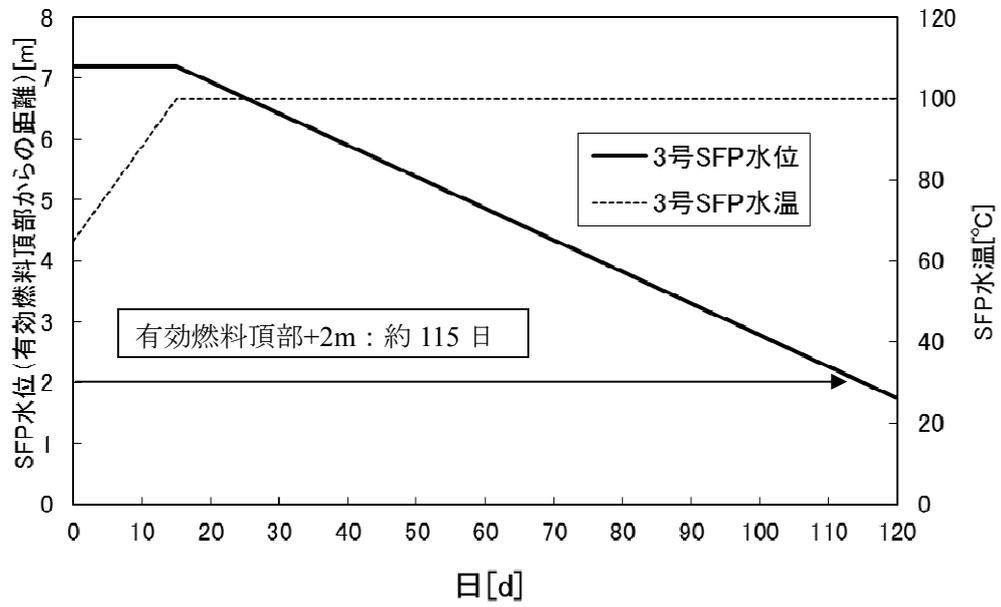


図3 3号機使用済燃料プール（SFP）水温及び水位変化

以上

有効燃料頂部＋ 2 mにおける線量評価

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

1. 評価条件

評価条件は以下の通りである。

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

2. 評価結果

評価結果を下記表に示す。

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

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

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

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

使用済燃料プール浄化装置について

1. はじめに

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

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

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

2. 基本方針

2.1 設置の目的

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

2.2 設計方針

2.2.1 浄化ライン

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

(1) 材料

使用済燃料プール水の性状を考慮し、適切な材料を用いた設計とする。

(2) 放射性物質の漏えい及び管理されない放出の防止

浄化ラインは、液体状の放射性物質の漏えいの防止及び所外への管理されない放出を防止するため、次の各項を考慮した設計とする。

- a. 漏えいの発生を防止するため、設置環境や内部流体の性状等に応じた適切な材料を使用する。
- b. モバイル式処理装置と接続する配管には耐圧ホースを使用するが、継手部については固縛等により継手が外れない処置を実施し、漏えいの発生を防止する。また、耐圧ホースは二重管構造とすることで、漏えいの拡大を防止する。

(3) 誤操作の防止に対する考慮

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

(4) 検査可能性に対する設計上の考慮

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

2.2.2 モバイル式処理装置（放射能除去装置）

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

(1) 運用方針

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

(2) 処理能力

使用済燃料プール水中の放射性物質の濃度を低減する能力を有する。

(3) 規格・基準等

放射能除去装置の機器等は、設計・材料の選定・製作及び検査において、原則として適切と認められる規格及び基準によるものとする。

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

(4) 放射性物質の漏えい及び管理されない放出の防止

放射能除去装置の機器等は、液体状の放射性物質の漏えいの防止及び所外への管理されない放出を防止するため、次の各項を考慮した設計とする。

- a. 漏えいの発生を防止するため、設置環境や内部流体の性状等に応じた適切な材料を使用する。
- b. 液体状の放射性物質の漏えい防止として、屋外には二重管構造の耐圧ホースを使用し、継手部については固縛すること等により、継手が外れない処置を実施する。

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

(5) 放射線遮へいに対する考慮

放射能除去装置は、放射線業務従事者等の線量を低減する観点から、放射線を適切に遮へいする設計とする。

(6) 崩壊熱除去に対する考慮

放射能除去装置は、放射性物質の崩壊熱による温度上昇を考慮し、必要に応じて崩壊熱を除去できる設計とする。

(7) 可燃性ガスの滞留防止に対する考慮

放射能除去装置は、水の放射線分解により発生する可燃性ガスを適切に排出できる設計とする。

(8) 誤操作の防止に対する考慮

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

(9) 検査可能性に対する設計上の考慮

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

(10) 電気故障の拡大防止に対する考慮

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

(11) 放射線防護に係わる被ばく防止措置

作業における被ばく低減ができるよう、以下の設計とする。

- ・吸着塔交換作業時の被ばく低減を図るため、吸着塔内の内部水をろ過水に置

換可能とする。

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

(12) 監視機能

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

2.2.3 モバイル式処理装置（塩分除去装置）

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

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

※ 特記無き場合は、RO膜装置とイオン交換装置の両方のことを指す。

(1) 運用方針

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

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

(2) 処理能力

使用済燃料プール水中の塩化物イオンの濃度を低減する能力を有する。

(3) 材料

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

(4) 放射性物質の漏えい及び管理されない放出の防止

塩分除去装置の機器等は、液体状の放射性物質の漏えいの防止及び所外への管

理されない放出を防止するため、次の各項を考慮した設計とする。

- a. 漏えいの発生を防止するため、設置環境や内部流体の性状等に応じた適切な材料を使用する。
- b. 万一の漏えいを考慮し、塩分除去装置（車両）内に堰を設置するとともに、漏えい検知器により漏えいの有無を監視する。また、漏えいを検知した場合には塩分除去装置の出入口自動隔離弁を閉じ、装置の運転を停止する。
- c. 漏えい検知の警報は免震重要棟に表示させることで、異常を確実に運転員に伝え、適切な措置をとれるようにする。

（５）放射線遮へいに対する考慮

塩分除去装置は、放射線業務従事者等の線量を低減する観点から、放射線を適切に遮へいする設計とする。

（６）誤操作の防止に対する考慮

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

（７）検査可能性に対する設計上の考慮

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

（８）電気故障の拡大防止に対する考慮

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

（９）監視機能

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

2.3 供用期間

2.3.1 浄化ライン

浄化ラインは、1～4号機の使用済燃料プール水の浄化時のみ使用する。

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

2.3.2 放射能除去装置

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

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

2.3.3 塩分除去装置

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

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

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

2.4 供用期間中に確認する項目

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

2.5 装置概要

2.5.1 浄化ライン

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

2.5.2 放射能除去装置

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

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

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

表-1 放射能除去装置の吸着材について

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

(※) ^{137}Cs 及び ^{134}Cs の合計値

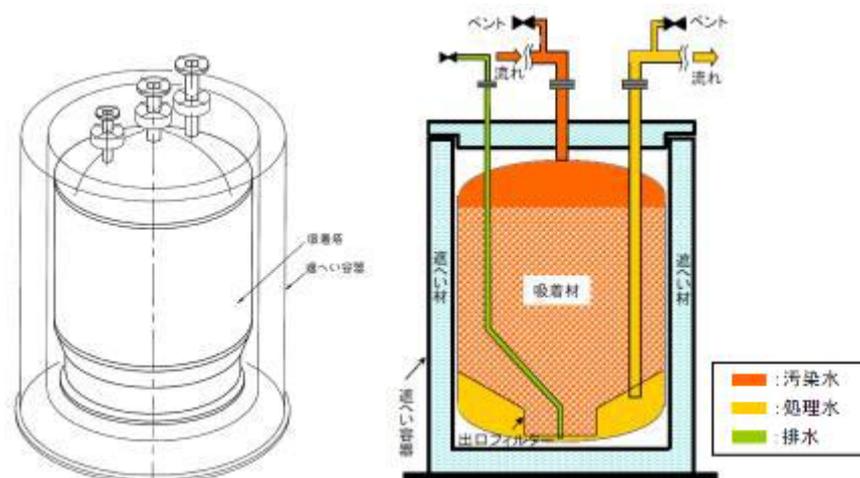
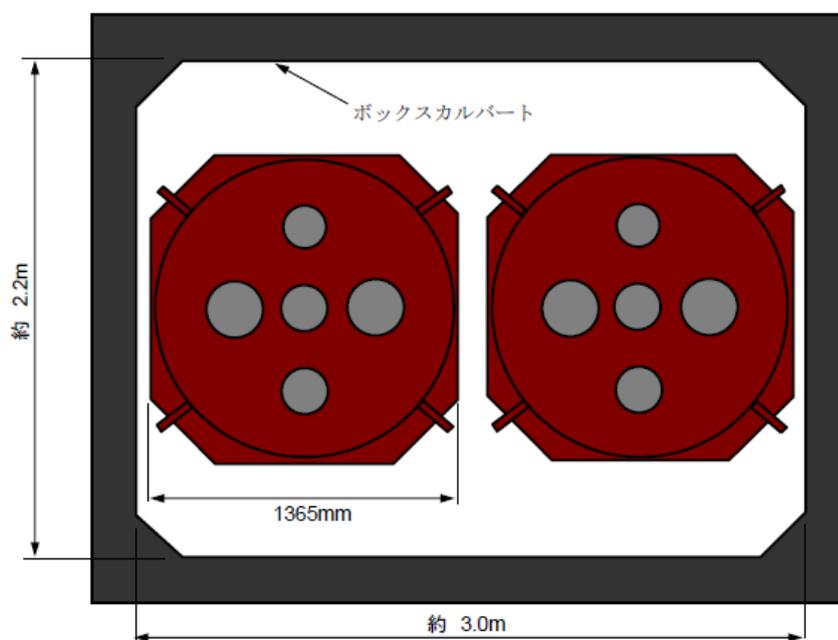


図-1 放射能除去装置の吸着塔外形図及び概略図

表－2 放射能除去装置 吸着塔の主要仕様

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



図－2 吸着塔の保管状況

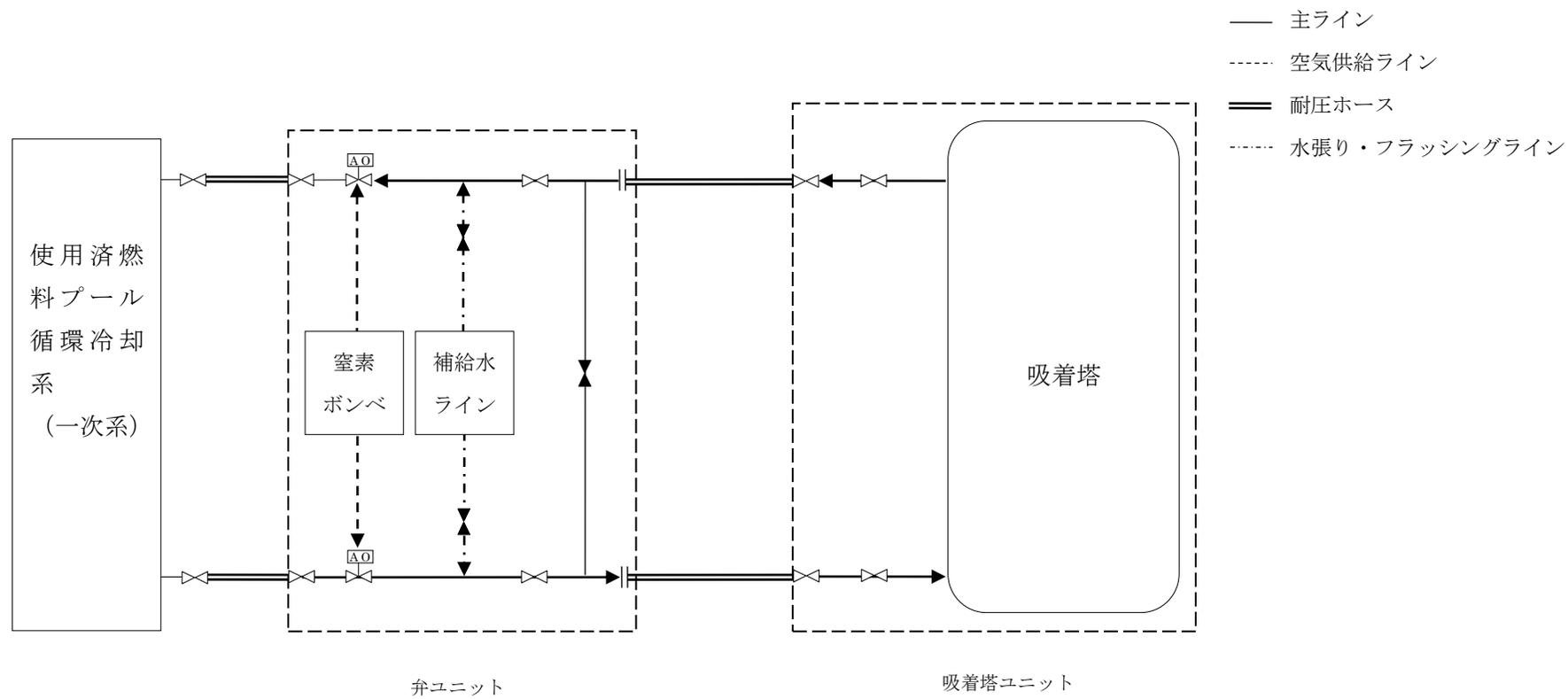


図-3 放射能除去装置系統概略図

2.5.3 塩分除去装置

2.5.3.1 塩分除去装置 (RO 膜装置) (図-4)

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

(1) 逆浸透膜 (RO 膜) 装置

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

(2) 前置フィルタ

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

(3) バッファタンク

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

(4) ろ過ポンプ

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

(5) チェックフィルタ

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

(6) 処理水移送ポンプ、処理水受けタンク

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

(7) 濃縮水タンク、濃縮水移送ポンプ、濃縮水移送ライン

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

2.5.3.2 塩分除去装置（イオン交換装置）（図－5）

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

（1）樹脂塔

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

（2）前置フィルタ

使用済燃料プール水中のクラッド成分を除去し、下流側の樹脂を保護する。

（3）移送ポンプ

樹脂塔出口の処理水を使用済燃料プール循環冷却系の一次系配管へ移送する。

（4）コンプレッサ

装置の出入口に設けた隔離弁（空気作動弁）の駆動用空気を供給する。

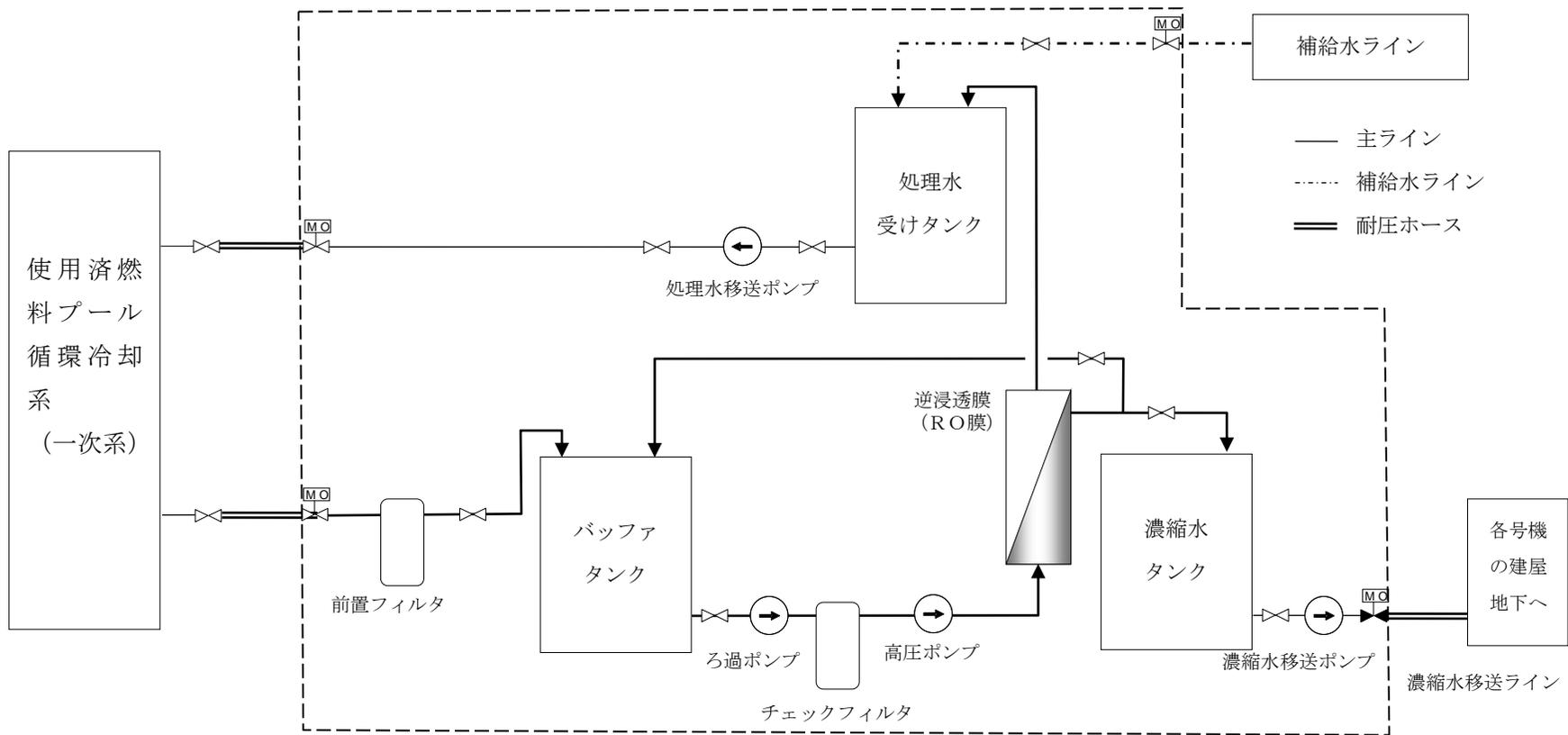


図-4 モバイル式処理装置 (塩分除去装置 (RO膜装置)) 系統概略図

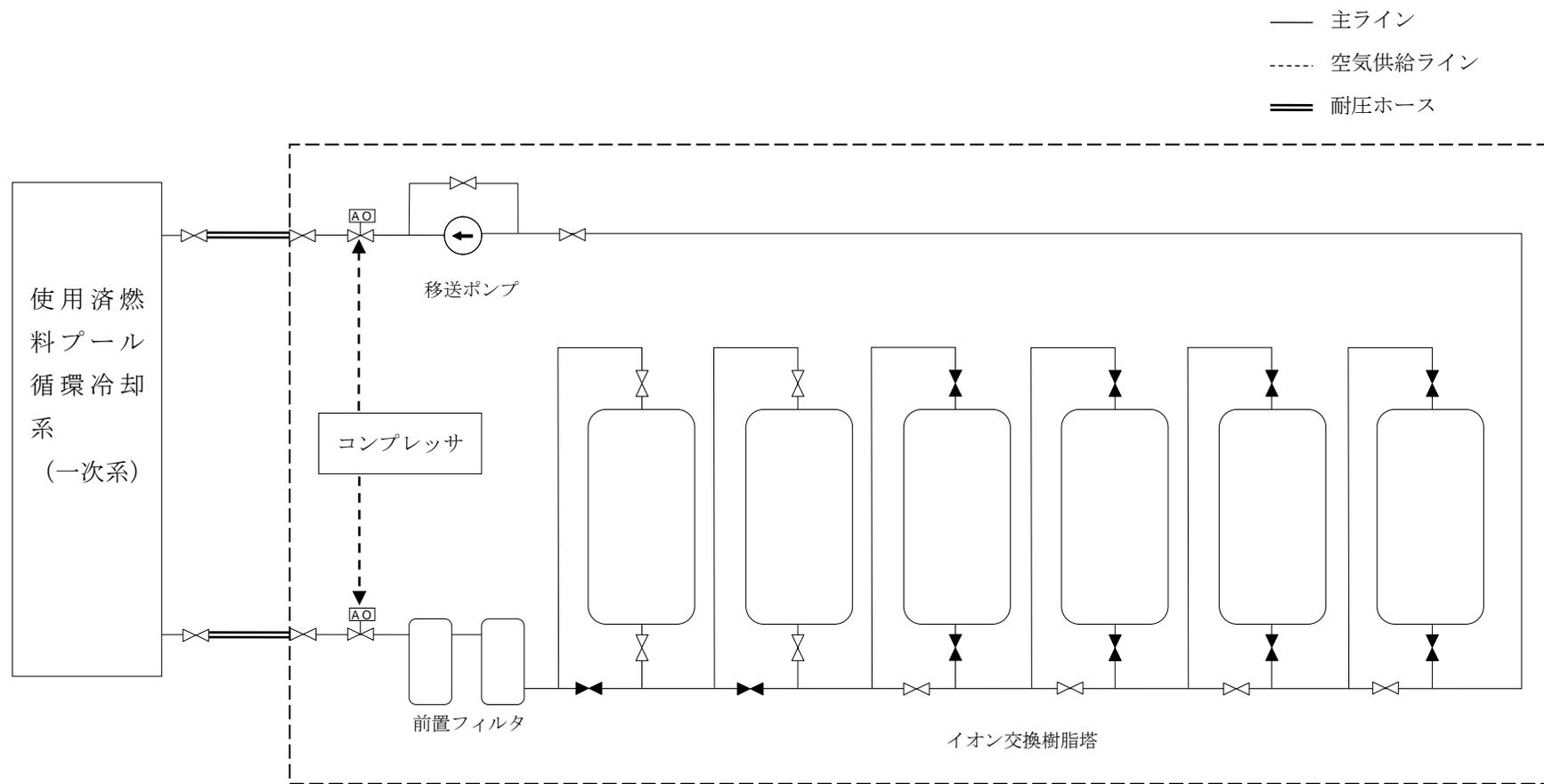


図-5 モバイル式処理装置（塩分除去装置（イオン交換装置））系統概略図

2.6 廃棄物の管理

a. 放射能除去装置の運転により発生する使用済み吸着塔

使用済みの吸着塔は、使用済セシウム吸着塔仮保管施設等において内部の水抜きを行い、使用済セシウム吸着塔仮保管施設及び使用済セシウム吸着塔一時保管施設のボックスカルバート内で貯蔵する。なお、ボックスカルバートは、コンクリート製（中空）で、吸着塔は各ボックスカルバート内に2塔ずつ貯蔵することができる。

b. 塩分除去装置の運転により発生する廃棄物

- ・RO膜装置の廃フィルタ類、イオン交換装置の廃樹脂については、容器に収納した上で固体廃棄物貯蔵庫にて保管する。なお、過去に発生した仮置中の廃棄物についても順次、固体廃棄物貯蔵庫へ移動する。
- ・塩分除去は必要に応じて実施することから廃棄物の年間発生量を見積もることはできないものの、過去の実績から発生量を推定すると、1回あたりの塩分除去（プール水の初期塩分濃度を70ppmとし、10ppmまで低減させる場合）において、RO膜装置の廃フィルタ類が約0.2m³（RO膜（0.03m³）6本）*、イオン交換装置の廃樹脂が約15m³（ドラム缶（0.25m³）約60本）と少量であり、塩分除去は1～4号機合計で1回／年程度（過去2年間の実績）であることから、固体廃棄物の貯蔵計画（貯蔵容量）に対して十分余裕がある。
※保管の際は、保管容器（6m³）に収納する。
- ・RO膜装置で発生する液体廃棄物（濃縮水）は、各号機の建屋地下へ排出する。RO膜装置で1回あたりの塩分除去で発生する濃縮水は、過去の実績から発生量を推定すると、1回あたりの塩分除去（条件は上記と同じ）において、700m³程度であり、液体廃棄物の貯蔵計画（貯蔵容量）に対して十分余裕がある。

2.7 自然災害対策等

2.7.1 津波

浄化装置については、仮設防潮堤により、アウターライズ津波による浸水を防止する。また、アウターライズ津波を上回る津波の襲来に備え、大津波警報が出た際は、モバイル式処理装置（放射能除去装置、塩分除去装置）の電源を停止し、隔離弁を閉止することで、使用済燃料プール水の流出を防止する。

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

2.7.2 火災

火災発生を防止するため、実用上可能な限り不燃性又は難燃性材料を使用する。また、初期消火の対応ができるよう、モバイル式処理装置（放射能除去装置、塩分除去装置）及び耐圧ホース近傍に消火器を設置する。なお、火災発生は、巡視点検、監視カメラにより確認できる。また、モバイル式処理装置は独立した車両上のコンテナ内または遮蔽付きスキッド内にあり、装置周辺から可能な限り可燃物を排除するため燃焼・延焼し難い。

2.7.3 豪雨

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

2.7.4 強風（台風・竜巻）

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

3. 構造強度及び耐震性

3.1 構造強度評価の基本方針

3.1.1 浄化ライン

新設する1号機浄化ラインのうち鋼管については、「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令」において、燃料貯蔵設備に相当するクラス3機器と位置づけられており、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2007年追補版）（JSME S NC1-2007）」（以下、「設計・建設規格」という。）のクラス3機器相当での評価を行う。2～4号機浄化ラインのうち鋼管については、日本産業規格（JIS）等に準拠して設計しており、漏えい試験等を行い、有意な変形や漏えい等のないことをもって評価を行う。その他の設備については、漏えい試験等を行い、有意な変形や漏えい等のないことをもって評価を行う。

3.1.2 放射能除去装置

放射能除去装置を構成する機器は、「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令」において、廃棄物処理設備に相当するクラス 3 機器と位置付けられる。この適用規格は、「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格」（以下、「設計・建設規格」という。）で規定されるものであるが、設計・建設規格は、鋼材を基本とした要求事項を設定したものであり、ポリエチレン管等の非金属材についての基準はない。

従って、鋼材を使用している設備については、設計・建設規格のクラス 3 機器相当での評価を行い、非金属材（ポリエチレン管等）については、漏えい試験等を行い、有意な変形や漏えい等のないことをもって評価を行う。

3.1.3 塩分除去装置

塩分除去装置を構成する機器は、日本産業規格（JIS）等に準拠して設計しており、使用済燃料プール循環冷却系の使用条件に対し、十分な構造強度を有している。なお、漏えい試験等を行い、有意な変形や漏えい等のないことをもって評価を行う。

3.2 耐震性評価の基本方針

3.2.1 浄化ライン

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

3.2.2 放射能除去装置

放射能除去装置を構成する機器のうち放射性物質を内包するものは、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の B クラス相当の設備と位置付けられる。耐震性を評価するにあたっては、「JEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規程」等に準拠して構造強度評価を行うことを基本とするが、評価手法、評価基準については実態にあわせたものを採用する。B クラス施設に要求される水平震度に対して耐震性を確保できない場合は、その影響について評価を行う。支持部材がない等の理由によって、耐震性に関する評価ができない設備を設置する場合においては、可撓性を有する材料を使用するなどし、耐震性を確保する。

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

- ・ 倒れ難い構造（機器等の重心を低くする、基礎幅や支柱幅を大きくとる）

- ・動き難い構造, 外れ難い構造 (機器をアンカ, 溶接等で固定する)
- ・変位による破壊を防止する構造 (定ピッチスパン法による配管サポート間隔の設定, 配管等に可撓性のある材料を使用)

3.2.3 塩分除去装置

塩分除去装置は, 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」のBクラス相当の設備と位置づけ, 「JEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規程」に準拠して評価しており, その結果, 塩分除去装置は水平震度に対して転倒しない。支持部材がない等の理由により耐震性に関する評価ができないものについては, 可撓性を有する材料の使用等により耐震性を確保する。

3.3 評価結果

3.3.1 浄化ライン

(1) 構造強度

a. 配管 (1～4号機鋼管)

1号機鋼管については, 「設計・建設規格」に基づき, 系統最高使用圧力に対して十分な厚さを有していることを確認しており, 使用済燃料プール循環冷却系における使用条件に対し, 十分な構造強度を有していると評価している (表-3)。また, 漏えい試験等を行い, 有意な変形や漏えい, 運転状態に異常がないことにより, 必要な構造強度を有していることを確認する。

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

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

t : 管の計算上必要な厚さ
 D₀ : 管の外径
 P : 最高使用圧力[MPa]
 S : 最高使用温度における
 材料の許容引張応力[MPa]
 η : 長手継手の効率

表-3 構造強度評価結果（1号機鋼管）

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

b. 配管（1号機フレキシブルチューブ）

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

c. 配管（1～4号機耐圧ホース）

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

(2) 耐震性

a. 配管（1号機鋼管）

(i) 評価条件

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

水平方向震度は、耐震Bクラス相当の評価である 0.36G とする。

注) 日本機械学会編 機械工学便覧 α. 基礎編 表4-1, α2-27

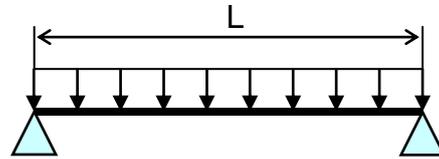
(ii) 評価方法

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(1)式で表すことができる。

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

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



(両端単純支持はりの等分布荷重より求まる自重による応力)

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

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

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

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

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

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

(iii) 評価結果

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

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

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

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

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

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

b. 配管（2～4号機鋼管）

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

c. 配管（1号機フレキシブルチューブ）

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

d. 配管（1～4号機耐圧ホース）

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

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

(1) 構造強度

a. 放射能除去装置

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

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

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

- t : 胴の計算上必要な厚さ
 Di : 胴の内径
 P : 最高使用圧力[MPa]
 S : 最高使用温度における
 材料の許容引張応力[MPa]
 η : 長手継手の効率 (0.70)

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

表-4 放射能除去装置構造強度結果

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

b. 配管

(i) 配管 (鋼製)

設計・建設規格におけるクラス 3 機器の要求を満足するものではないが、漏えい試験等を行い、有意な変形や漏えい、運転状態に異常がないことにより、必要な構造強度を有していることを確認する。

また、配管の主要仕様から設計・建設規格に基づき板厚評価を実施した。評価の結果、最高使用圧力に耐えられることを確認した (表-5)。

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

- t : 管の計算上必要な厚さ
 Do : 管の外径
 P : 最高使用圧力[MPa]
 S : 最高使用温度における
 材料の許容引張応力[MPa]
 η : 長手継手の効率 (1.00)

表－5 配管構造強度評価結果

評価機器	口径	Sch.	材質	最高使用 圧力 (MPa)	最高使用 温度 (°C)	必要肉厚 (mm)	肉厚 (mm)
配管①	50A	40	STPG370	0.98	40	0.32	3.9
配管②	50A	40	SUS316L	0.98	40	0.27	3.9

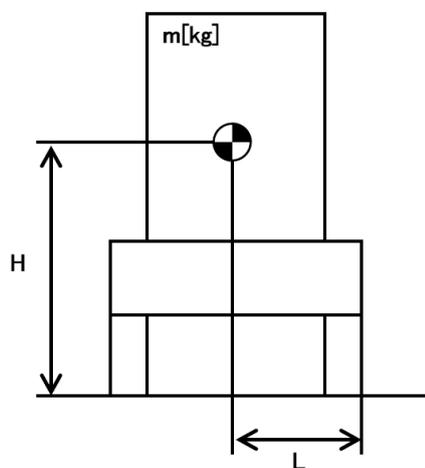
(ii) 配管 (耐圧ホース)

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

(2) 耐震性

a. 放射能除去装置 (吸着塔, トレーラー) の転倒評価

放射能除去装置, 及びそれを搭載しているトレーラーについて、地震による転倒モーメントと自重による安定モーメントを算出し、それらを比較することで転倒評価を行った。評価の結果、地震による転倒モーメントは自重による安定モーメントより小さいことから、転倒しないことを確認した (表－6)。



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

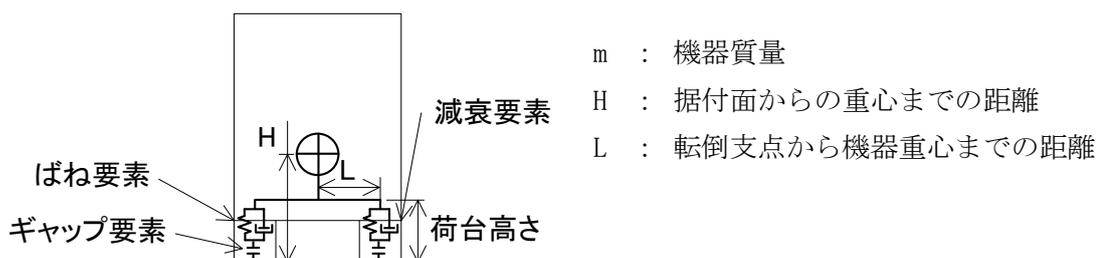
地震による転倒モーメント : $M_1 [N \cdot m] = m \times g \times C_H \times H$

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

表－6 放射能除去装置耐震評価結果

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

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



m : 機器質量
H : 据付面からの重心までの距離
L : 転倒支点から機器重心までの距離

電源車の耐震評価結果と放射能除去装置形状比較は以下のとおり。

表-7 電源車の耐震評価結果

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

・電源車の転倒に対する裕度は充分にある

表-8 放射能除去装置（吸着塔，トレーラー）と電源車の形状比較

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

m : 機器質量
H : 据付面からの重心までの距離
L : 転倒支点から機器重心までの距離

・放射能除去装置と電源車の形状は、放射能除去装置の方が安定している。

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

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

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

※添付資料12に記載の標高は、震災後の地盤沈下量（-709mm）とO.P.からT.P.への読替値（-727mm）を用いて、下式に基づき換算している。

<換算式>T.P.=旧O.P.-1,436mm

3.3.3 塩分除去装置

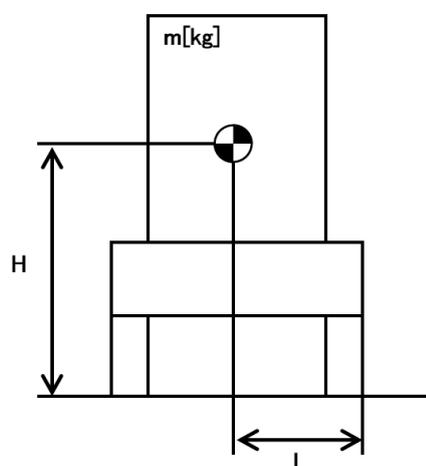
(1) 構造強度

漏えい試験等を行い、有意な変形や漏えい、運転状態に異常がないことを確認した。

従って、必要な構造強度を有すると評価した。

(2) 耐震性

塩分除去装置及びそれを搭載している車両について、地震による転倒モーメントと自重による安定モーメントを算出し、それらを比較することで転倒評価を行った。



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

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

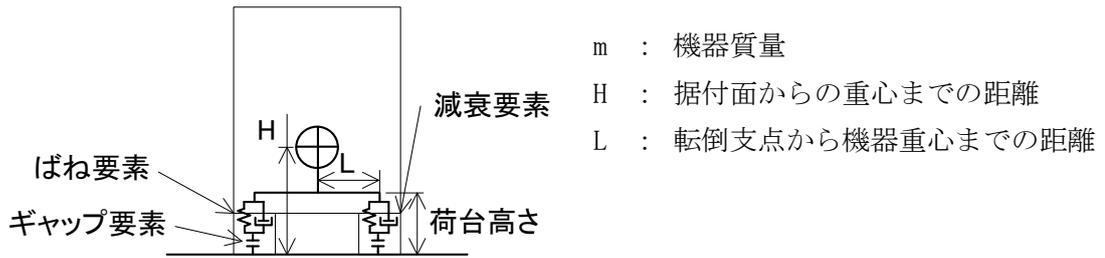
自重による安定モーメント： $M_2 [N \cdot m] = m \times g \times L$

表-9 塩分除去装置耐震評価結果

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

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

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



m : 機器質量
 H : 据付面からの重心までの距離
 L : 転倒支点から機器重心までの距離

電源車の耐震評価結果と塩分除去装置形状比較は以下のとおり。

表-10 電源車の耐震評価結果

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

- ・電源車の転倒に対する裕度は充分にある

表-11 塩分除去装置と電源車の形状比較

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

m : 機器質量
 H : 据付面からの重心までの距離
 L : 転倒支点から機器重心までの距離

- ・塩分除去装置と電源車の形状は、塩分除去装置の方が安定している。

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

さい。

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

※本標高は、震災後の地盤沈下量（-709mm）と O.P. から T.P. への換算値（-727mm）を用いて、
下式に基づき換算している。

<換算式>T.P. =旧 O.P. -1, 436

4. 浄化装置の具体的な安全確保策

浄化装置は、使用済燃料プール水を扱うため、漏えい防止対策、放射線遮へい、環境条件対策について具体的に安全確保策を以下の通り定め、実施する。

4.1 放射性物質漏えい防止等に対する考慮

(1) 漏えい発生防止

- a. 漏えいの発生を防止するため、機器等には適切な材料を使用するとともに、モバイル式処理装置（放射能除去装置、塩分除去装置）との接続部は、耐圧ホース（二重管構造）とする。ここで、耐圧ホースの継手部については、固縛すること等により、継手が外れない処置を実施する。
- b. 放射能除去装置吸着塔の容器は、腐食による漏えい発生を防止するために、耐腐食性、耐応力腐食割れ性を有する SUS316L 材の使用を基本とする。
- c. モバイル式処理装置（放射能除去装置、塩分除去装置）を移設する場合には設備との取り合い箇所における閉止処置（隔離弁の閉止、フランジ開口部の養生等）を実施し、系統のバウンダリとして適切に管理する。また、必要に応じて装置のフラッシングや内部の水抜きを実施する。なお、フラッシング及び水抜きにより発生する排水は各号機の建屋地下へ排出する。
- d. モバイル式処理装置（放射能除去装置）をトレンチ側から移設する場合には、装置内の残水の放射性物質濃度を 1 号機使用済燃料プール水以下に抑え、移設後に系統水濃度を上昇させないようにする。

(2) 漏えい検知・漏えい拡大防止

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

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

g. 放射能除去装置内部に内包する使用済燃料プール水と堰容量

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

表－12 放射能除去装置 漏えい拡大防止 堰仕様（設計値）

対象設備		縦幅 (m)	横幅 (m)	高さ (m)	容積 (m ³)	備考
放射能除去装置	吸着塔ユニット	3.25	2.04	0.19	0.996	※
	弁ユニット	3.82	1.24	0.14	0.663	

※ 吸着塔ユニット容積から吸着塔体積を差し引いた容積

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

表－13 塩分除去装置 漏えい拡大防止 堰仕様（設計値）

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

(3) 放射線遮へい・被ばく低減に対する考慮

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

(4) 崩壊熱除去

- a. 放射能除去装置吸着塔吸着材に吸着した放射性物質の崩壊熱は、処理水を通水することにより除熱する。なお、通水がない状態でも崩壊熱による温度上昇は1時間当たり1℃未満である。

なお、吸着塔内部の温度は、最も高温となる水を抜いた状態であっても、ベント弁を開放して貯蔵することで、放熱と排熱が釣り合うため、吸着材及び構造材料に影響しない範囲で収束する。

(5) 可燃性ガスの滞留防止

a. 放射能除去装置

- (i) 放射能除去装置の吸着塔内で水の放射線分解により発生する可能性のある可燃性ガスは、通水時は処理水とともに排出される。通水停止以降も再度その吸着塔により処理を行う場合には、可燃性ガスが滞留する可能性があるため、吸着塔のベント弁を手動で開操作して通気により排出する。なお、水の放射線分解により発生する可燃性ガスはわずかであり、ベント弁を開操作するまでに時間的余裕があることから、手動で実施する。

- (ii) 放射能除去装置にて発生する使用済みの吸着塔は、可燃性ガスの発生抑制のため、使用済セシウム吸着塔仮保管施設等において内部の水抜きを実施する。

なお、吸着塔の内部水は、滞留水を貯留している高温焼却炉建屋の地下階等に排出する。

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

b. 浄化ライン、塩分除去装置

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

(6) 吸着塔交換作業時の考慮

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

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

(7) 敷地境界における実効線量

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

※吸着塔表面線量を運用上の最大値（1mSv/h）とし、本設備に最も近い評価済みの放射性廃棄物一時保管エリア 0 と表面線量率および表面積を比較することにより、最短距離となる敷地境界評価点及び敷地境界で最大となる評価点への影響を確認した結果。なお、本設備は常時設置するものではないが、常時設置したと仮定。

4.2 環境条件対策

(1) 腐食

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

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

(2) 熱による劣化

使用済燃料プール水の温度は、ほぼ常温のため、金属材料の劣化の懸念はない。

(3) 凍結

使用済燃料プール水を浄化している過程では、水が流れているため凍結の恐れはな

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

(4) 耐放射線性

耐圧ホースの構造部材であるポリ塩化ビニルの放射線照射による影響は、 $10^5 \sim 10^6 \text{Gy}$ の集積線量において、破断時の伸びの減少等が確認されている。耐圧ホースの照射線量率を 1Gy/h と仮定すると、集積線量が 10^5Gy に到達する時間は 10^5 時間 (11.4 年) と評価される。そのため、耐圧ホースは数年程度の使用では放射線照射の影響により大きく劣化することはない。

(5) 長期停止中の措置

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

(6) 使用済み吸着塔長期保管時の考慮

前述の通り、吸着塔は耐腐食性を有する材料選定[※]、漏えい防止措置 (水抜き状態での保管)、安全評価 (崩壊熱・可燃性ガス・遮へいに係わる解析評価) 等により、長期保管を考慮した設計としている。また、以下の環境条件については、長期保管に影響しないことを確認している。

なお、新たな知見が確認された場合には、点検等の必要性について検討する。

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

a. 熱による劣化

吸着塔は SUS316L 材を用いており、温度評価の結果を踏まえると、熱による影響は考えにくい。

b. 凍結

長期保管中は、水抜きされた状態で保管されることから、凍結に対する配慮は必要ない。

c. 生物汚染

長期保管中は、水抜きされた状態で保管されることから、生物汚染に対する配慮は必要ない。

d. 耐放射線性

吸着塔は、SUS316L 材を用いており、樹脂系のような放射線による劣化は考えにくい。

e. 紫外線

吸着塔は SUS316L 材を用いており、樹脂系のような紫外線劣化は考えにくい。

4.3 吸着塔の温度評価

4.3.1 評価概要

使用済燃料プール水の処理に伴い、放射能除去装置から使用済吸着塔が発生する。これらは、水抜き後に使用済セシウム吸着塔仮保管施設、及び使用済セシウム吸着塔一時保管施設に一時的に貯蔵するが、高濃度の放射性物質を内包していることから崩壊熱による温度上昇を評価し、その吸着塔の機能への影響について確認を行う。

4.3.2 評価方法

一次元の定常温度評価により、使用済セシウム吸着塔一時保管施設で貯蔵する際の吸着塔中心温度及び遮へい体の最高温度について評価を行う。

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

4.3.3 評価結果

使用済セシウム吸着塔一時保管施設において、ボックスカルバートにより保温された場合の吸着塔の温度は、外気温度を 40°C とすると、塔あたりの発熱量が約 2.3×10^2 W の場合、吸着塔中心温度は約 160°C、遮へい体の最高温度は約 65°C と評価された。

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

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

別紙

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

以上

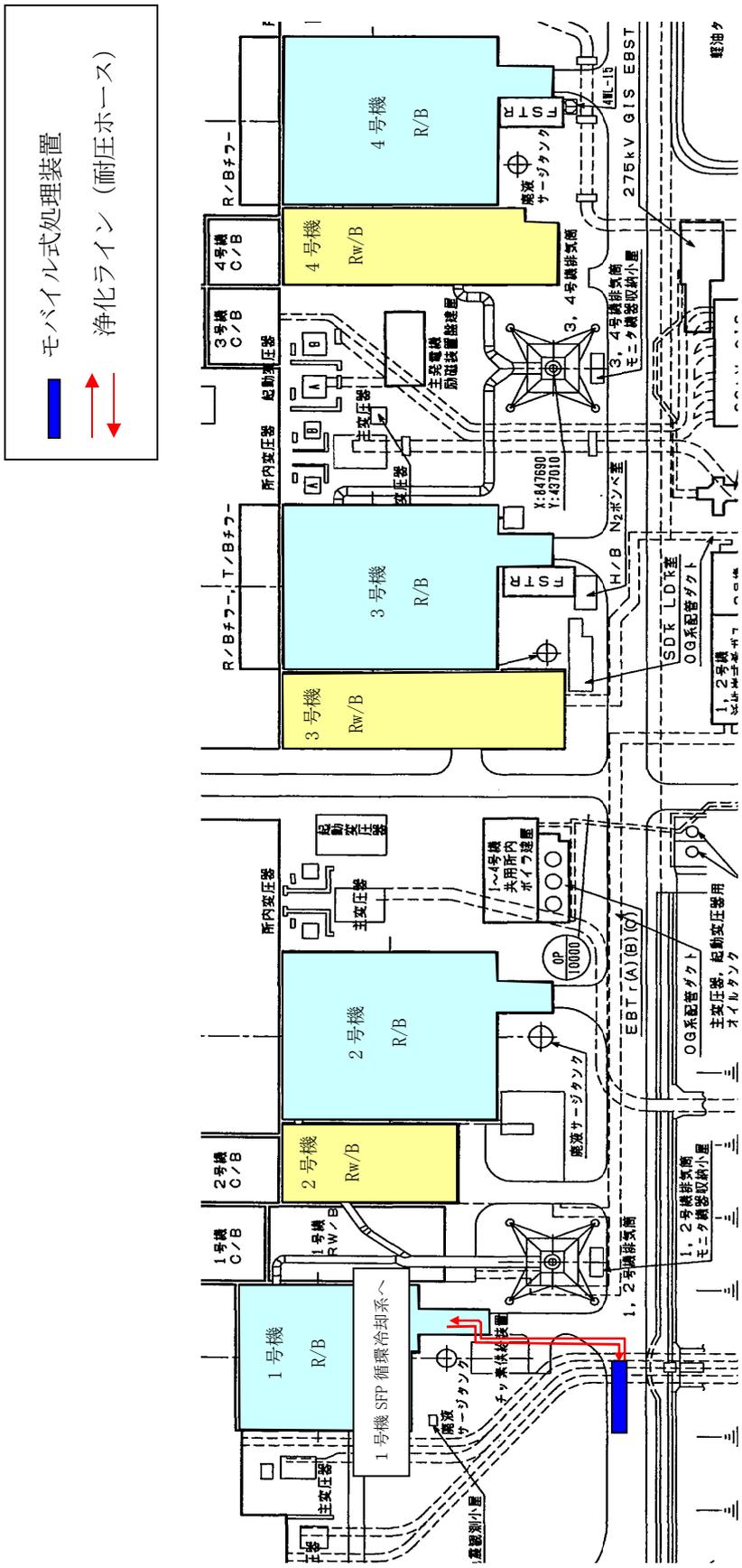


図1 モバイル式処理装置 (放射能除去装置) 配置図

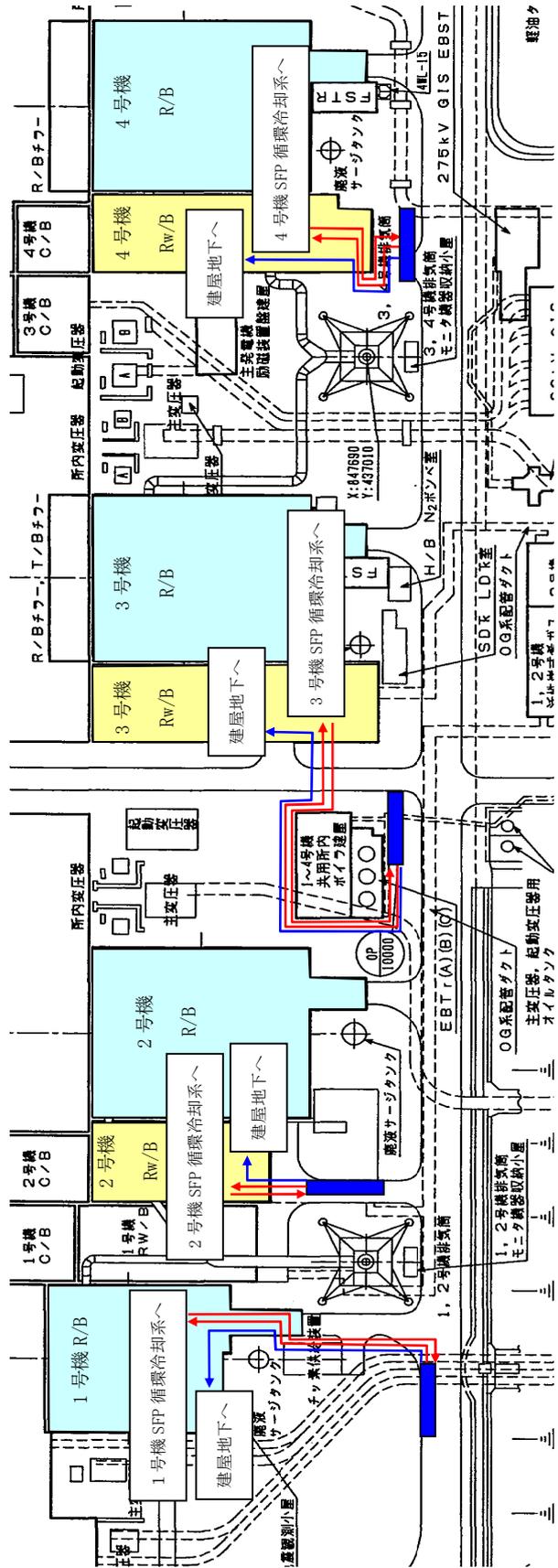
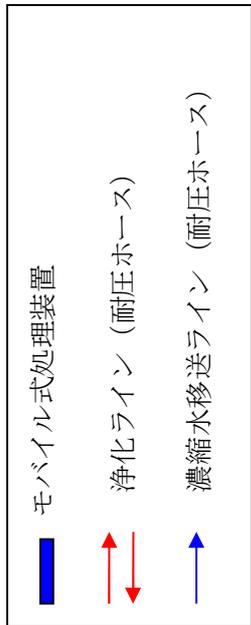


図2 モバイル式処理装置 (塩分除去装置) 配置図

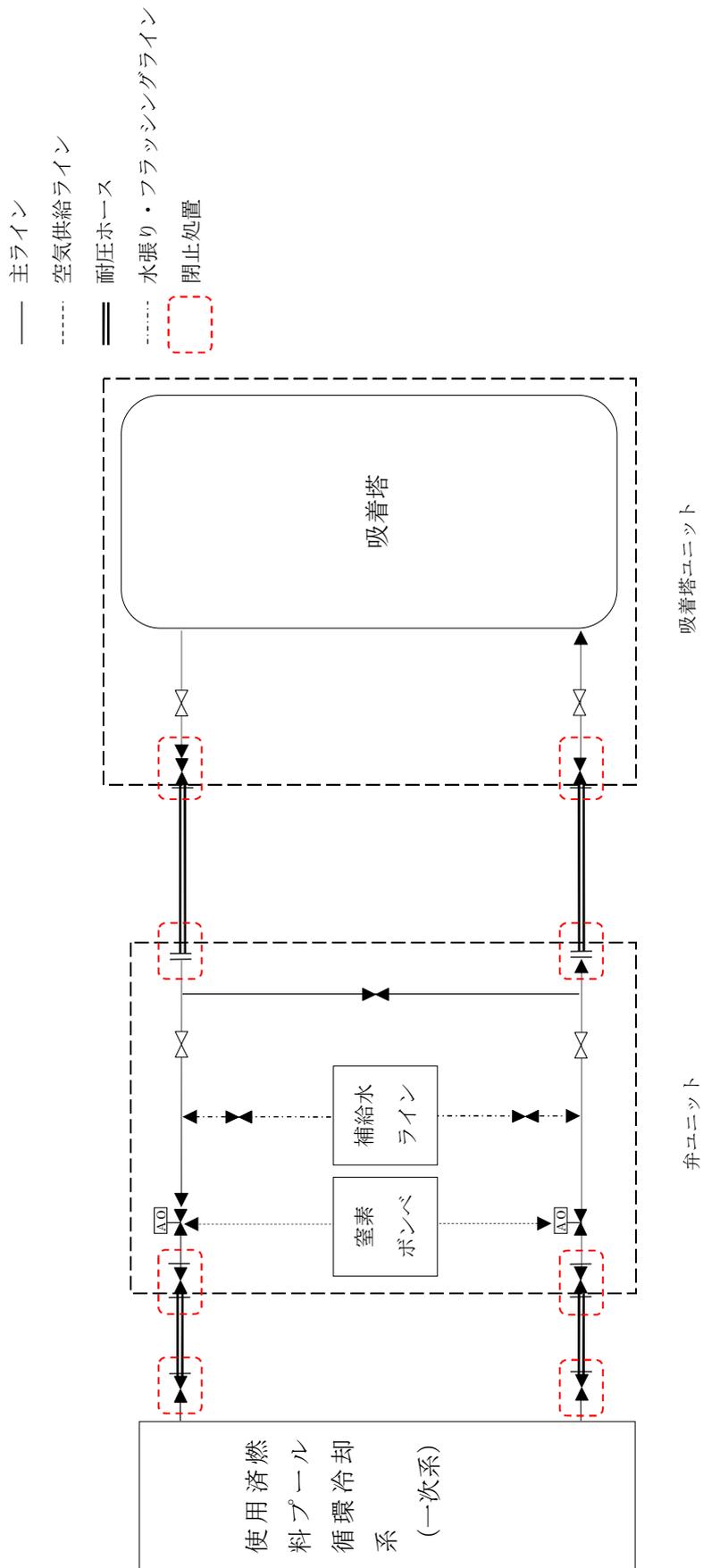


図1 モバイル式処理装置 (放射能除去装置) 切り離し状態図

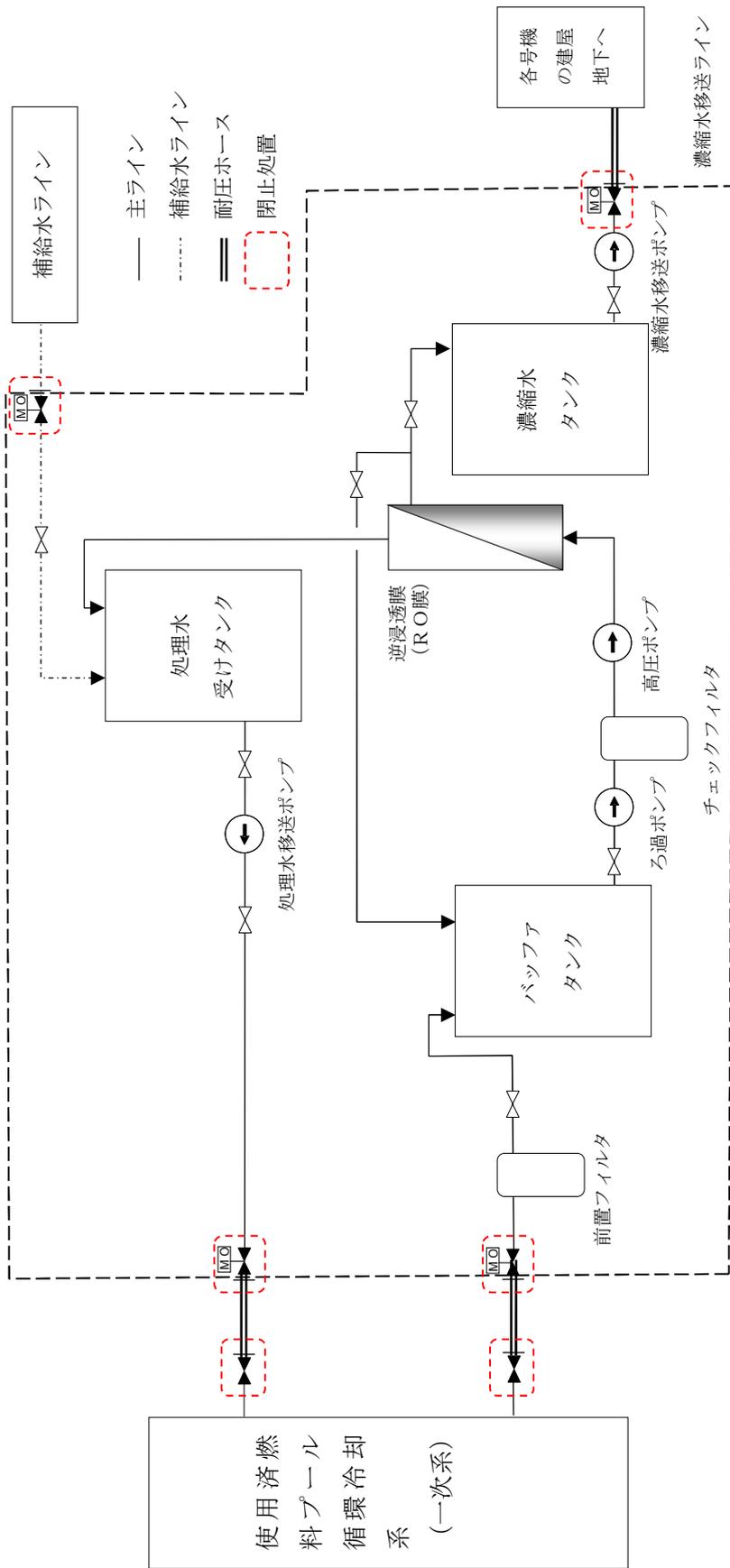


図2 モバイル式処理装置 (塩分除去装置 (RO膜装置)) 切り離し状態図

— 主ライン
 - - - 空気供給ライン
 ≡ 耐圧ホース
 □ 閉止処置

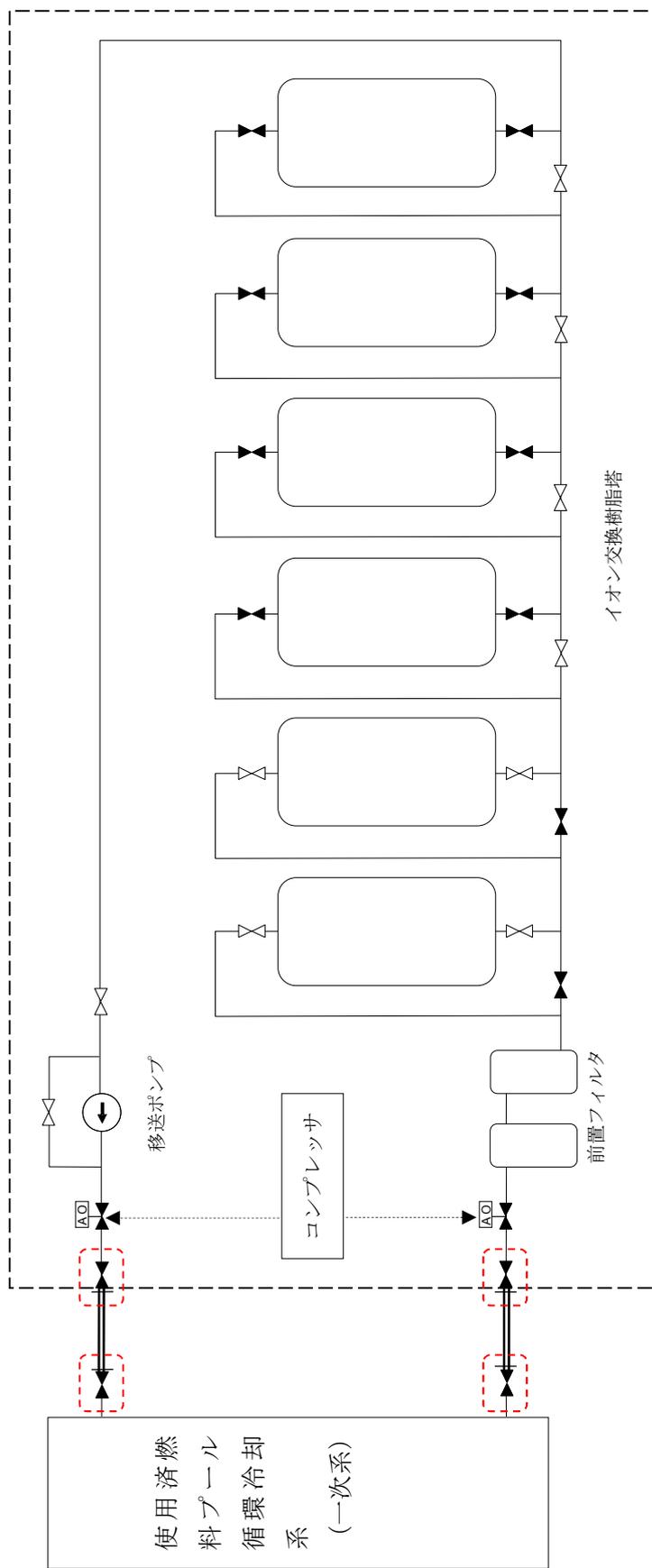


図3 モバイル式処理装置（塩分除去装置（イオン交換装置）切り離し状態図

廃棄物保管時の可燃性ガス発生量について

（1）放射能除去装置

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

【評価条件】

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

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

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

【評価結果】

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

（2）塩分除去装置

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

【評価条件】

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

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

【評価結果】

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

以上

使用済燃料プール浄化装置に係る申請範囲

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

表－１ 申請範囲（１／２）

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

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

※1 2.3 使用済燃料プール設備と 2.5 汚染水処理設備等にて共用

※2 1～4 号機共通

表-1 申請範囲 (2/2)

申請範囲	備考
2.3.2.4 4号機使用済燃料プール冷却系の主要仕様 表 2.3-4 主要配管のうち、一次系主要配管（既設）からモバイル式処理装置入口、出口まで（鋼管、耐圧ホース）	設置実績反映
表 2.3-4 主要配管のうち、モバイル式処理装置（塩分除去装置（RO膜装置））濃縮水タンク出口から4号機廃棄物処理建屋地下排水口まで（耐圧ホース）	設置実績反映
2.5 汚染水処理設備等 2.5.1 基本設計 2.5.1.5 主要な機器 2.5.1.5.1 汚染水処理設備、貯留設備（タンク等）及び関連設備（移送配管、移送ポンプ等） (10) モバイル式処理装置	(既認可設備) ・共用に関する記載の追記 ・具体的な安全確保策の記載の充実(移設の際の閉止処置等を追記)
2.5.2 基本仕様 2.5.2.1 主要仕様 2.5.2.1.1 汚染水処理設備、貯留設備（タンク等）及び関連設備（移送配管、移送ポンプ等） (55) モバイル式処理装置 ^{※2} (56) モバイル式処理装置 吸着塔 ^{※2}	(既認可設備) ・共用に関する記載の追記 ・具体的な安全確保策の記載の充実(移設の際の閉止処置等を追記)

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

<凡例>
 : 新設,
 : 設置実績反映

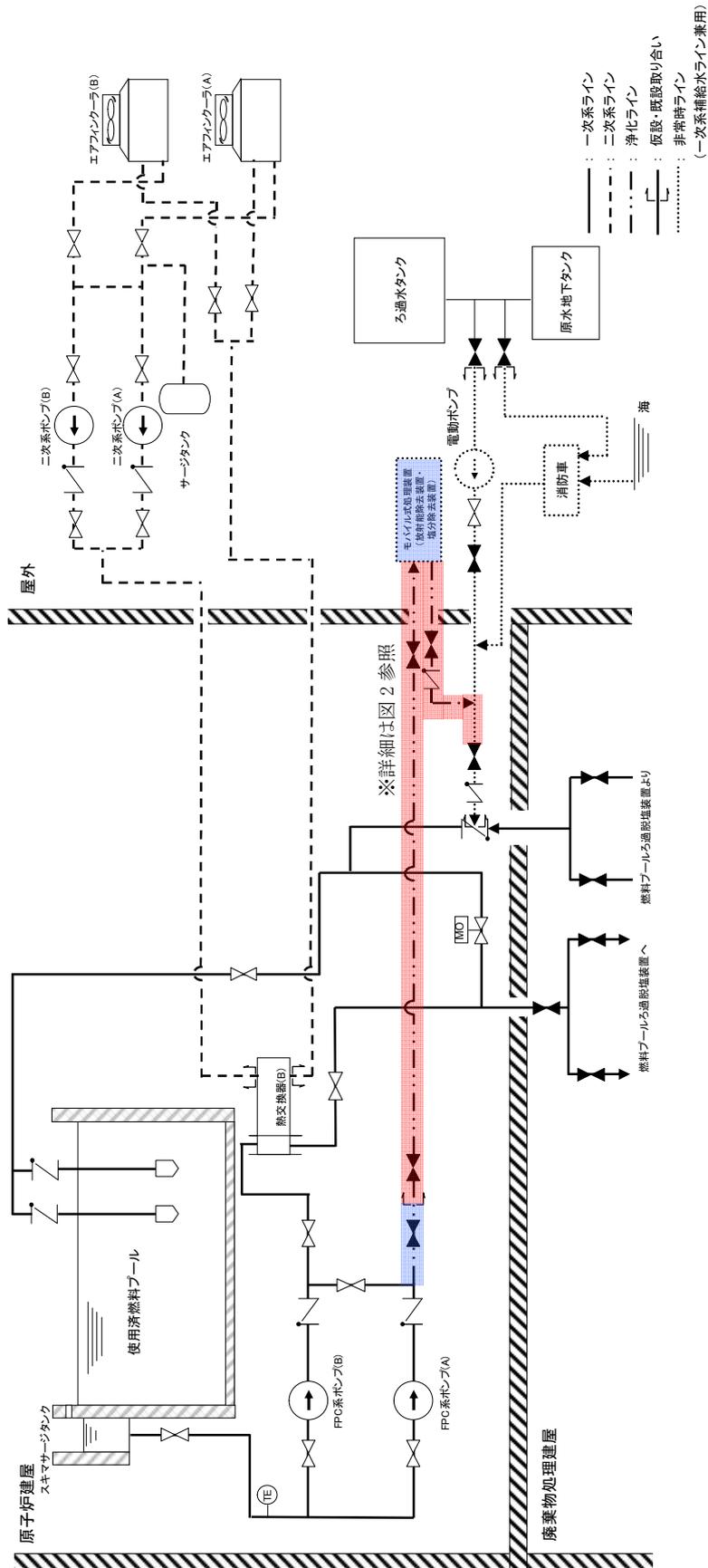


図1 申請範囲 (1号機使用済燃料プール冷却系)

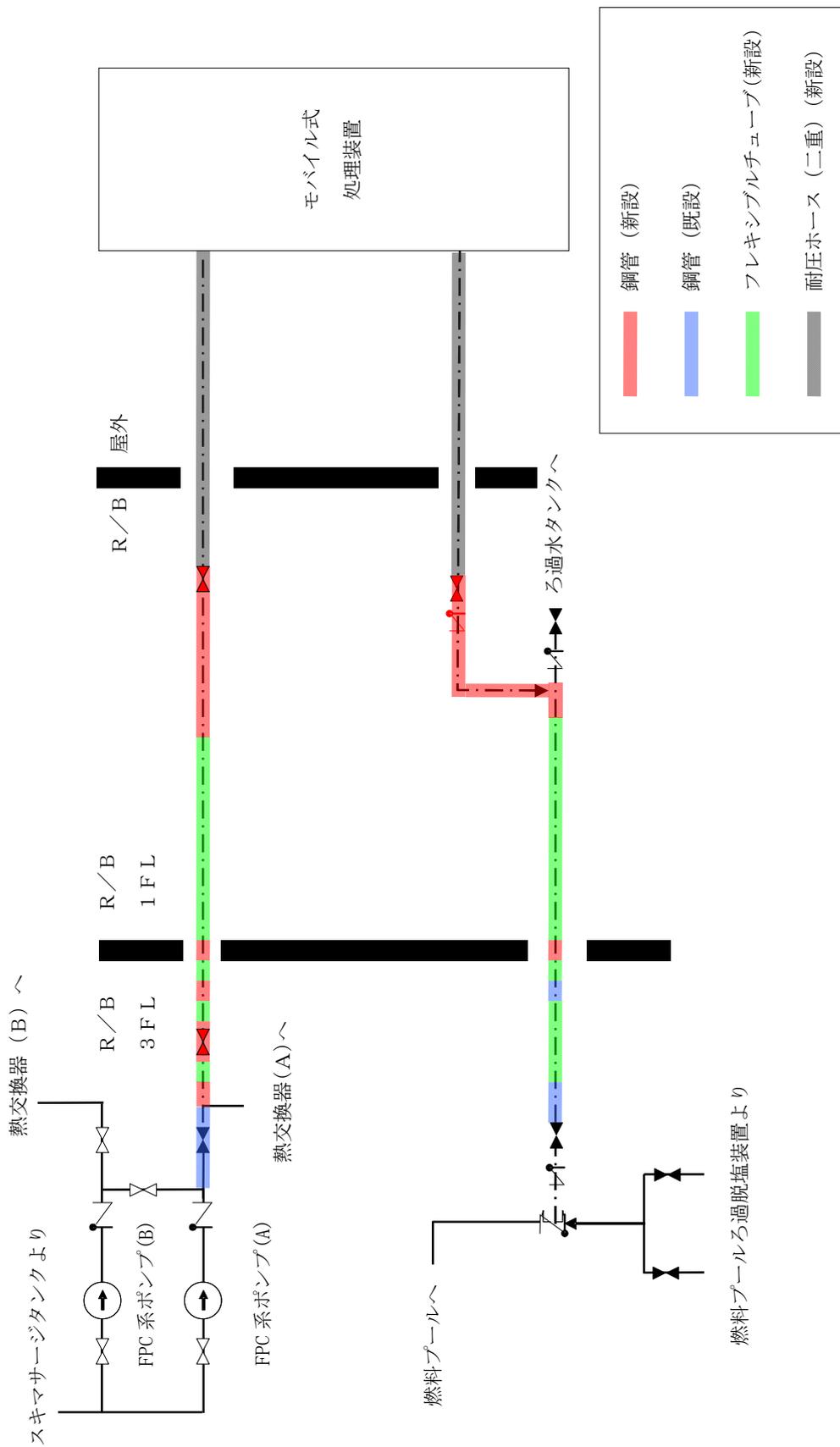


図2 申請範囲 (1号機浄化ライン詳細)

<凡例>
 : 新設,
 : 設置実績反映

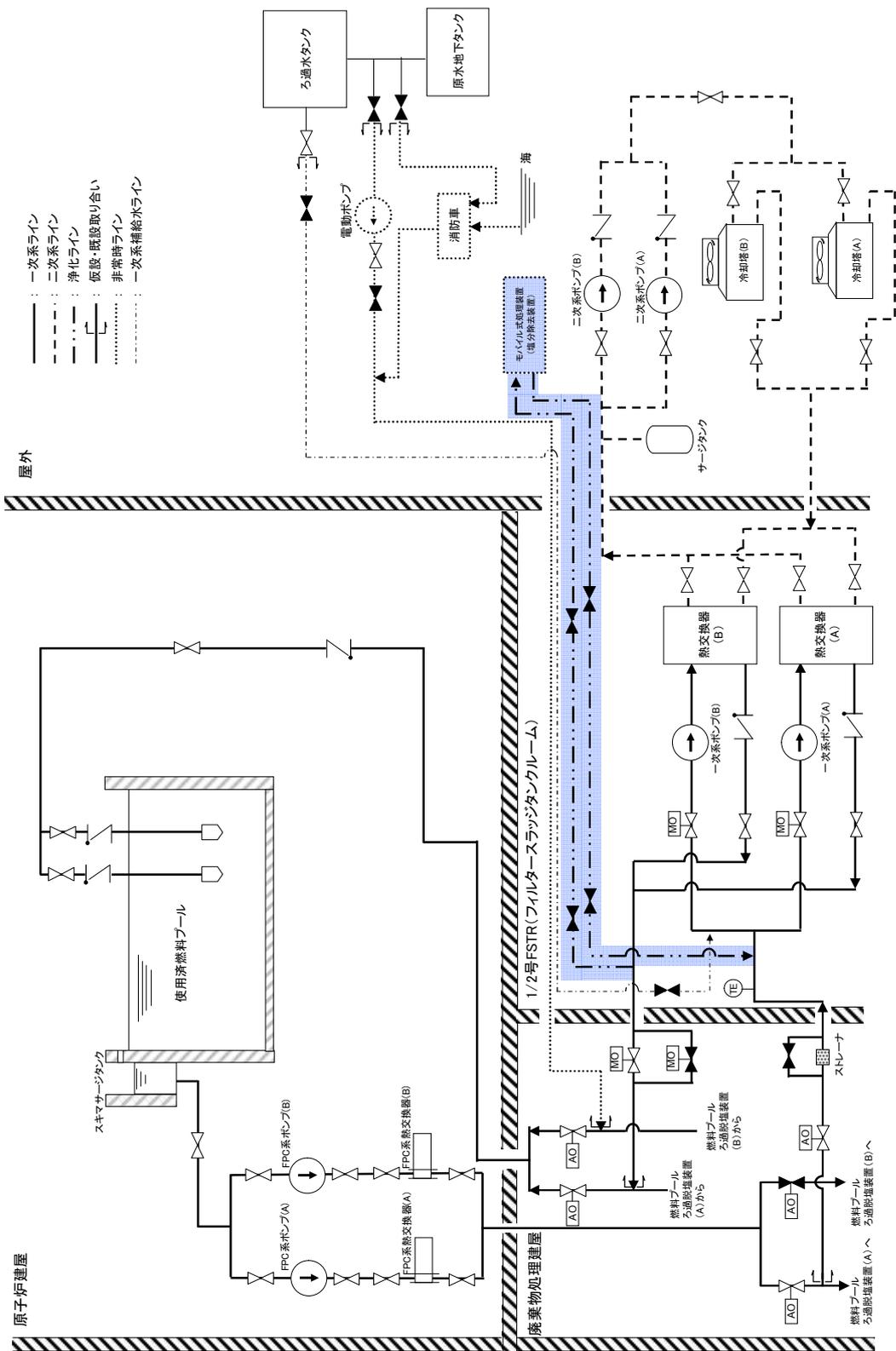


図3 申請範囲 (2号機使用済燃料プール冷却系)

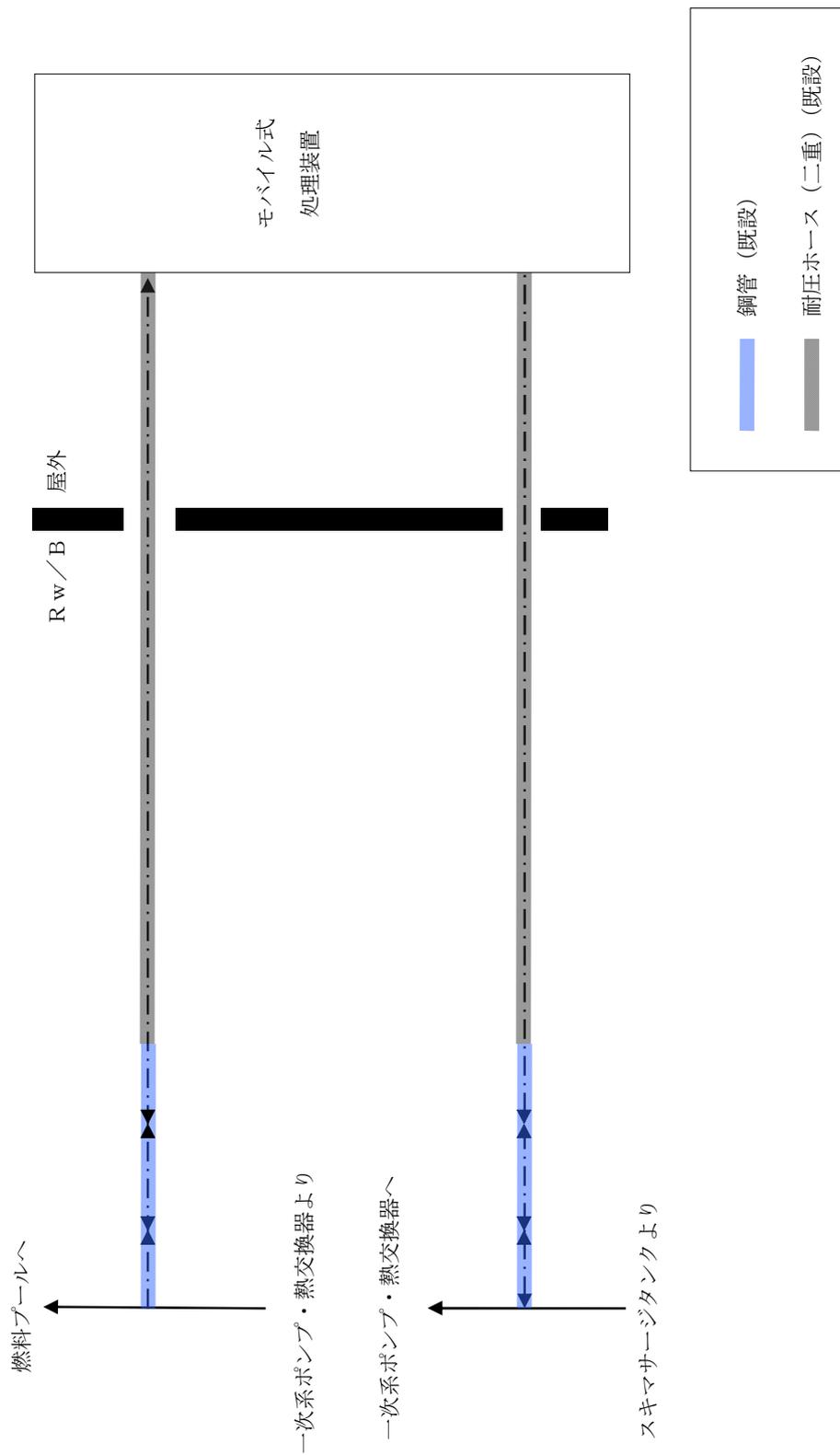


図4 申請範囲 (2号機浄化ライン詳細)

<凡例>
 : 新設,
 : 設置実績反映

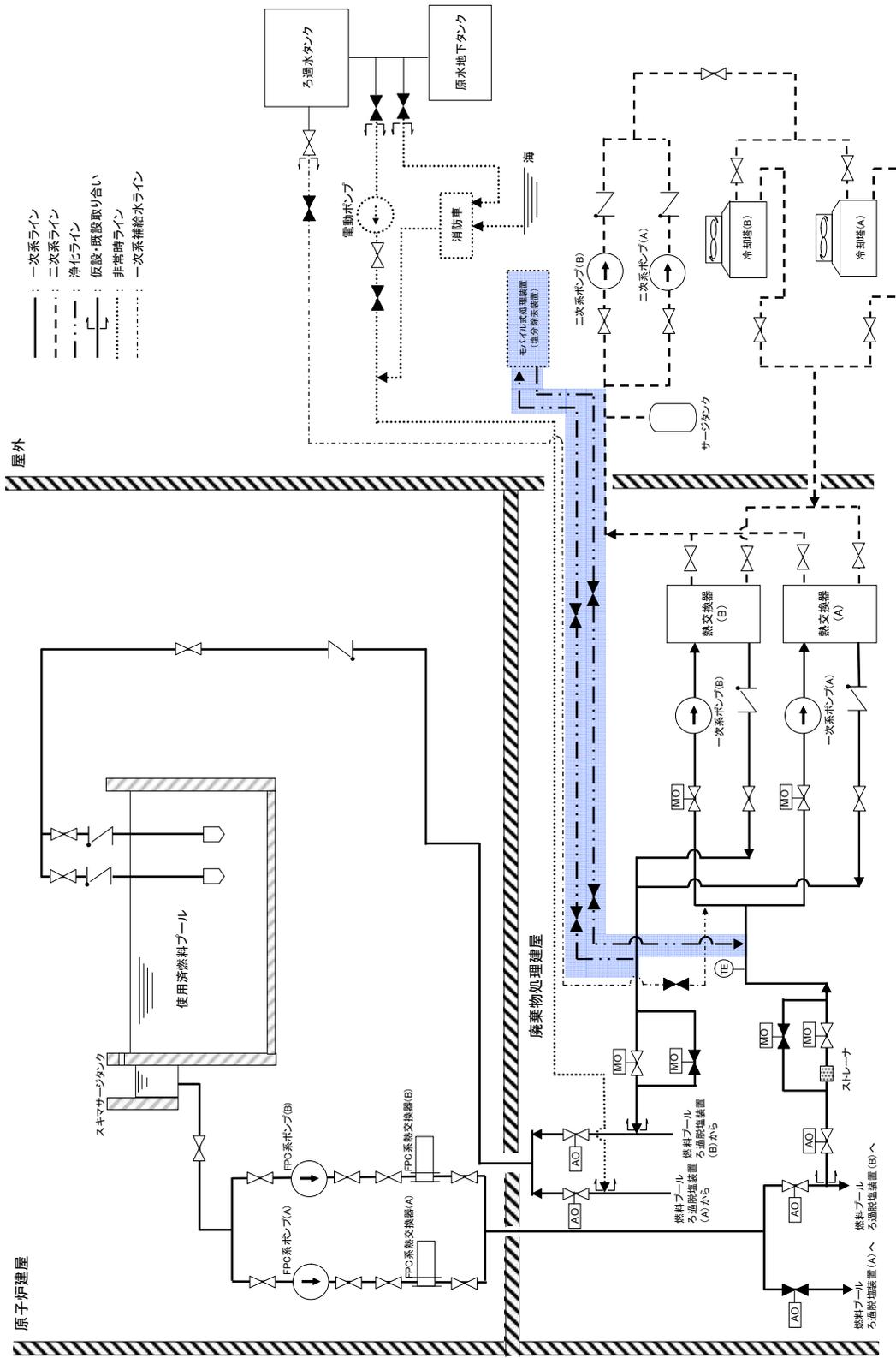


図5 申請範囲 (3号機使用済燃料プール冷却系)

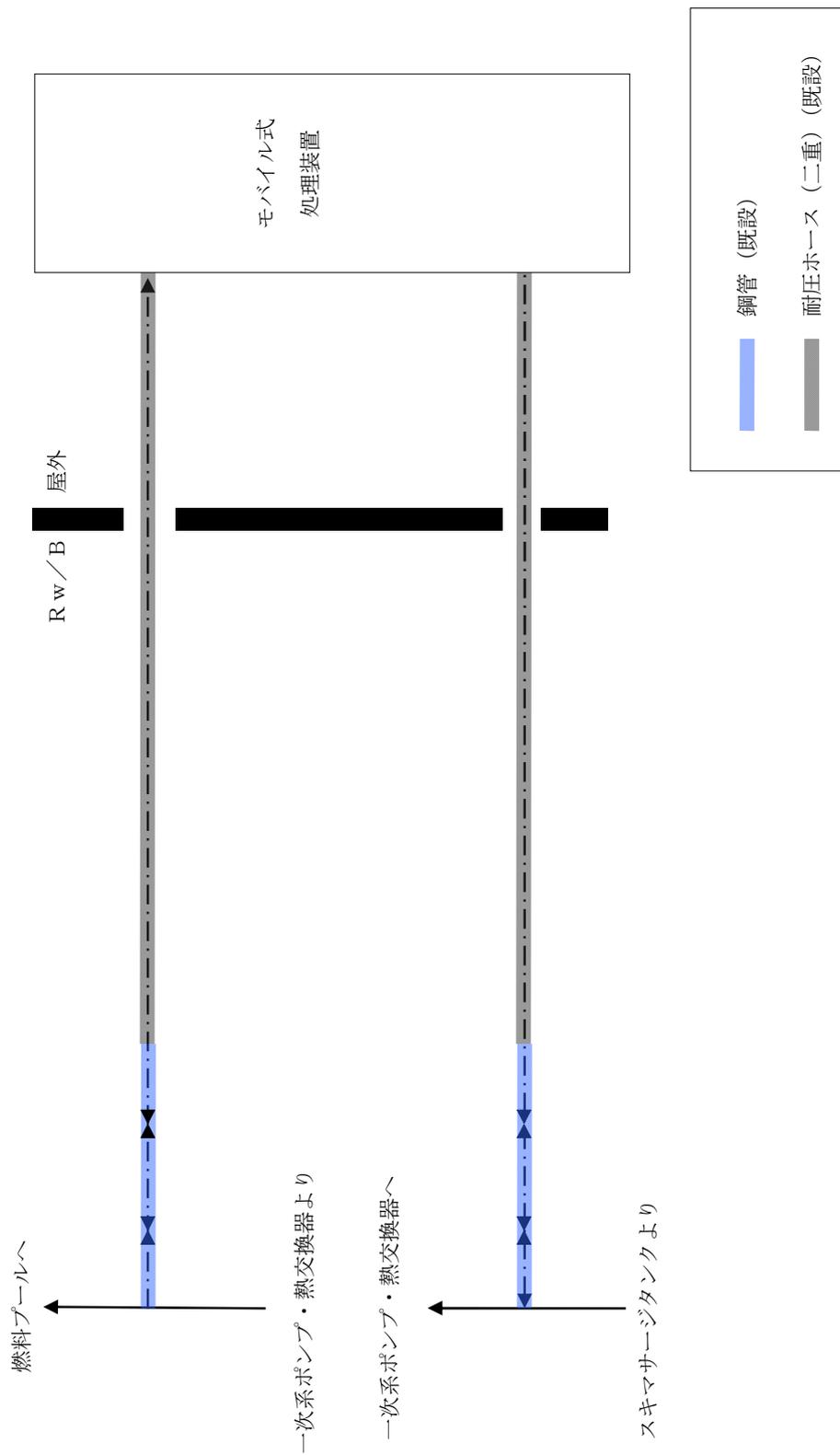


図 6 申請範囲 (3号機浄化ライン詳細)

<凡例>
 : 新設,
 : 設置実績反映

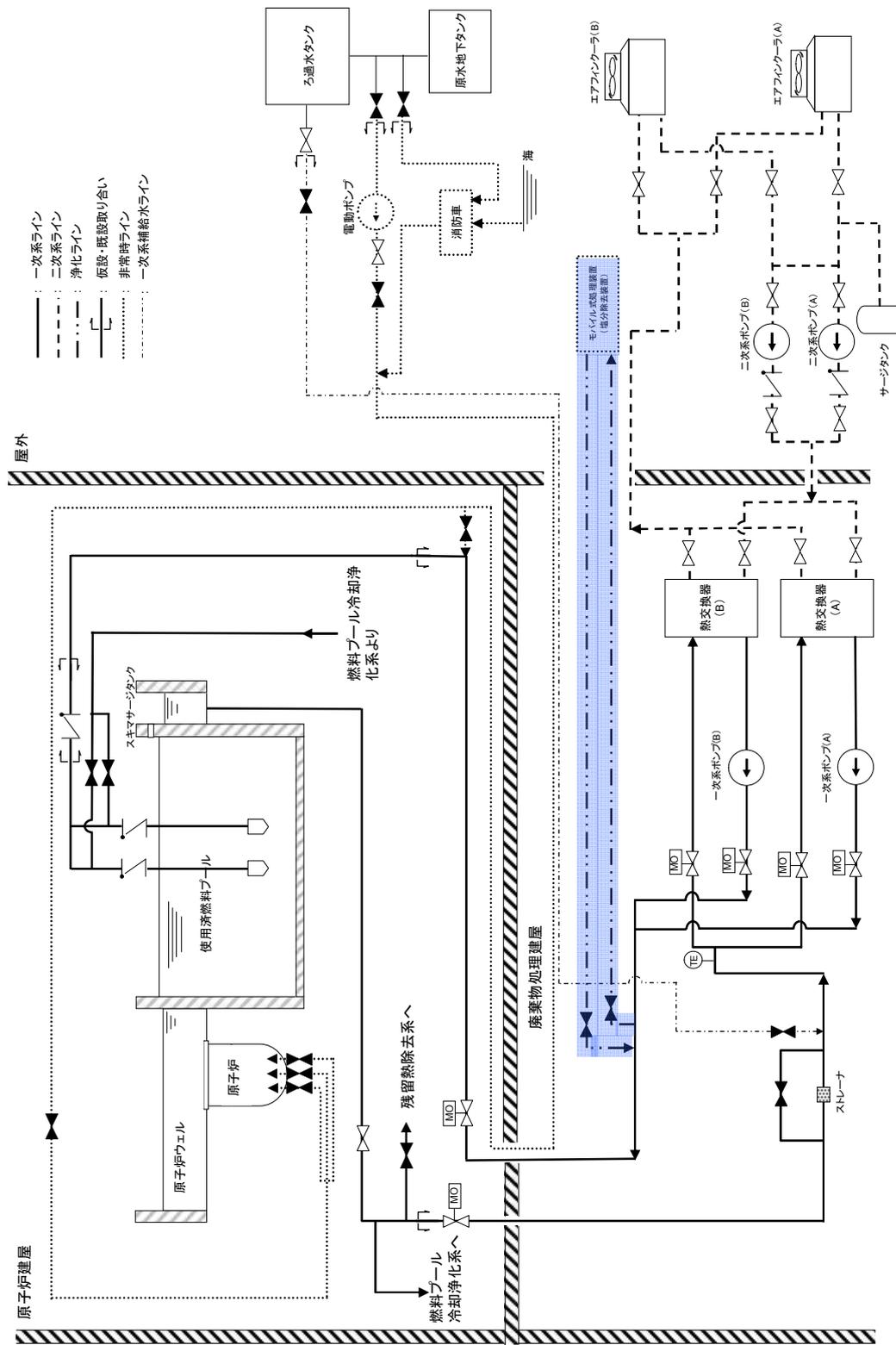


図7 申請範囲 (4号機使用済燃料プールの冷却系)

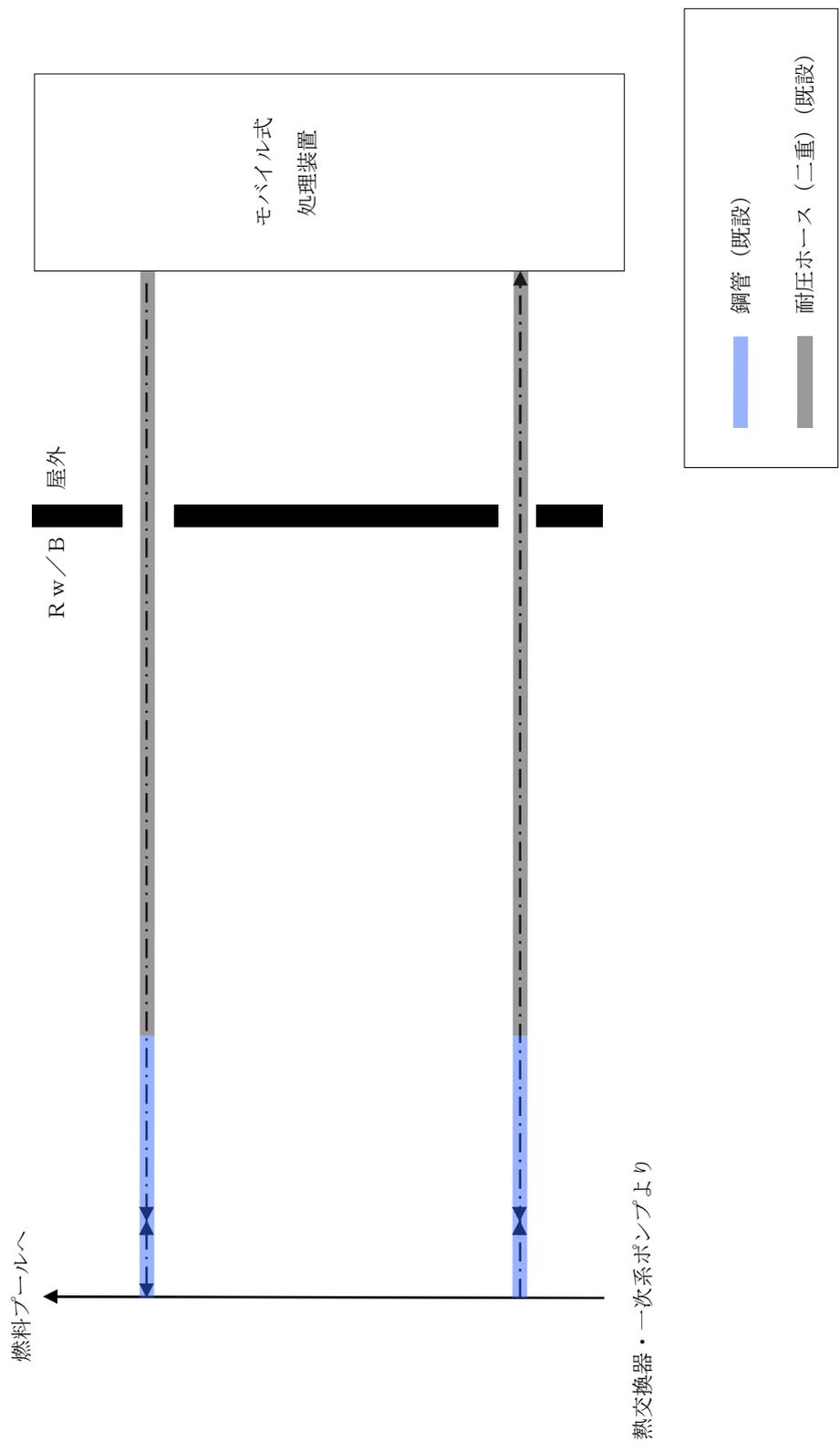


図8 申請範囲 (4号機浄化ライン詳細)

<凡例>
 : 新設,
 : 設置実績反映

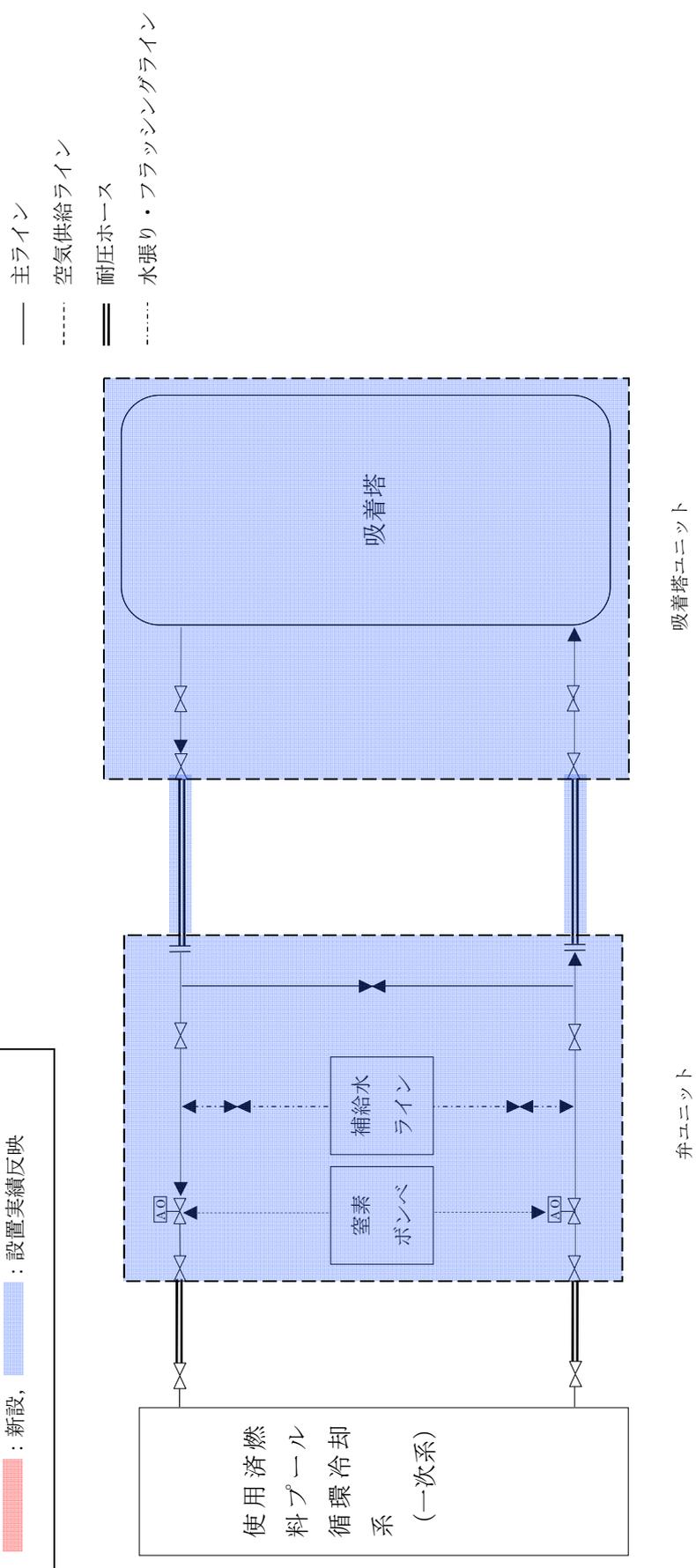


図 9 申請範囲 (モバイル式処理装置 (放射能除去装置))

<凡例>
 : 新設,
 : 設置実績反映

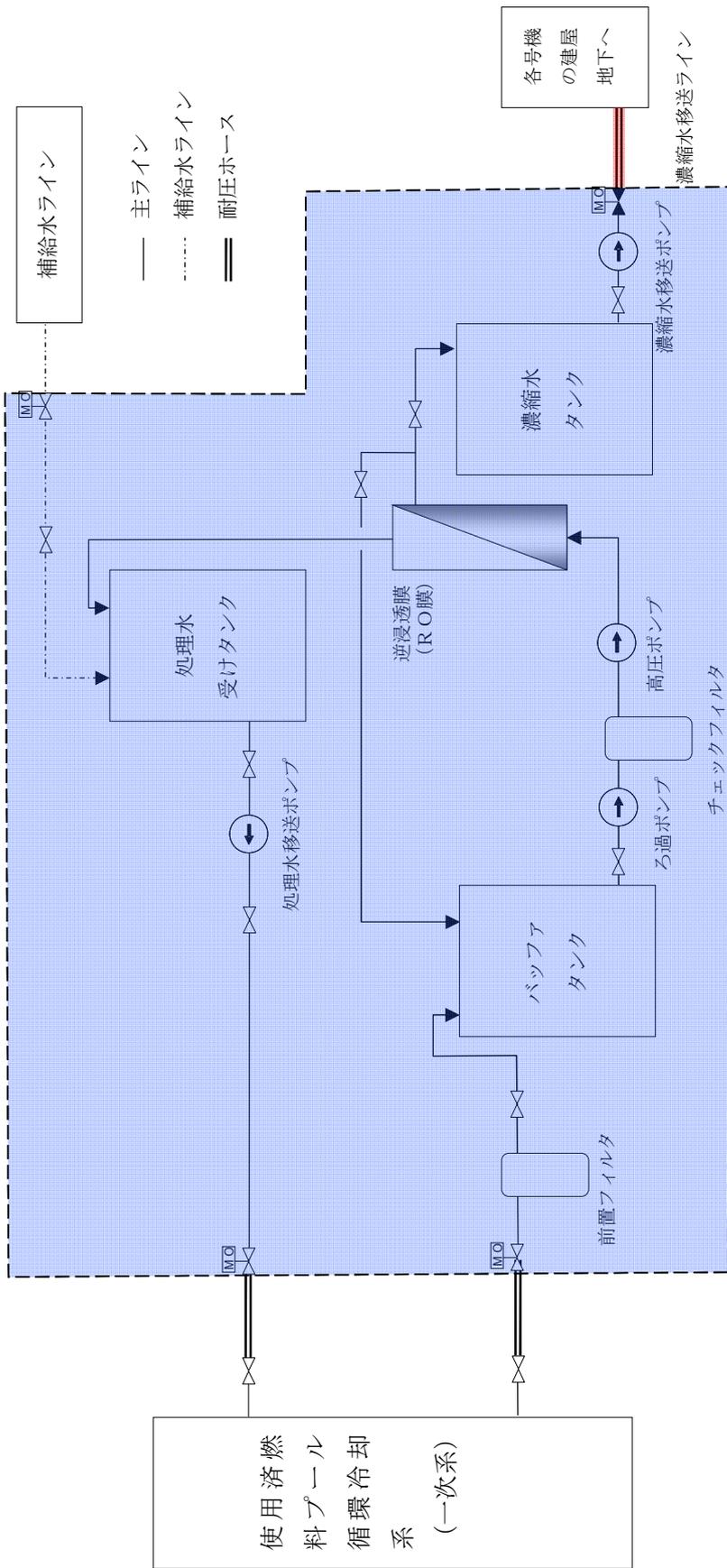


図 10 申請範囲 (モバイル式処理装置 (塩除去装置 (RO 膜装置))) ※ 1, 2 号接続時

<凡例>
 : 新設,
 : 設置実績反映

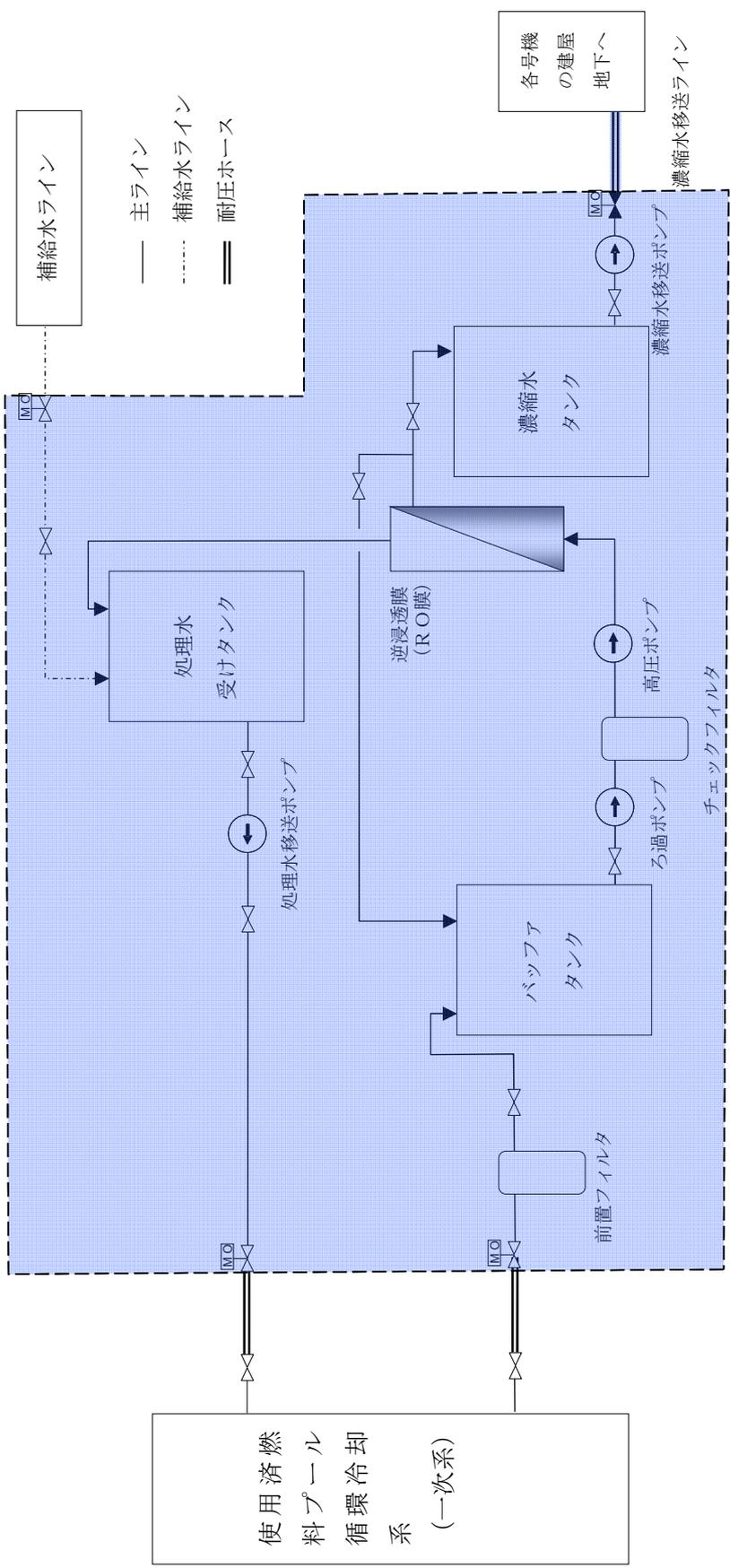


図 11 申請範囲 (モバイル式処理装置 (塩分除去装置 (RO 膜装置))) ※ 3, 4 号機接続時

<凡例>
 : 新設,
 : 設置実績反映

— 主ライン
 - - - 空気供給ライン
 = 耐圧ホース

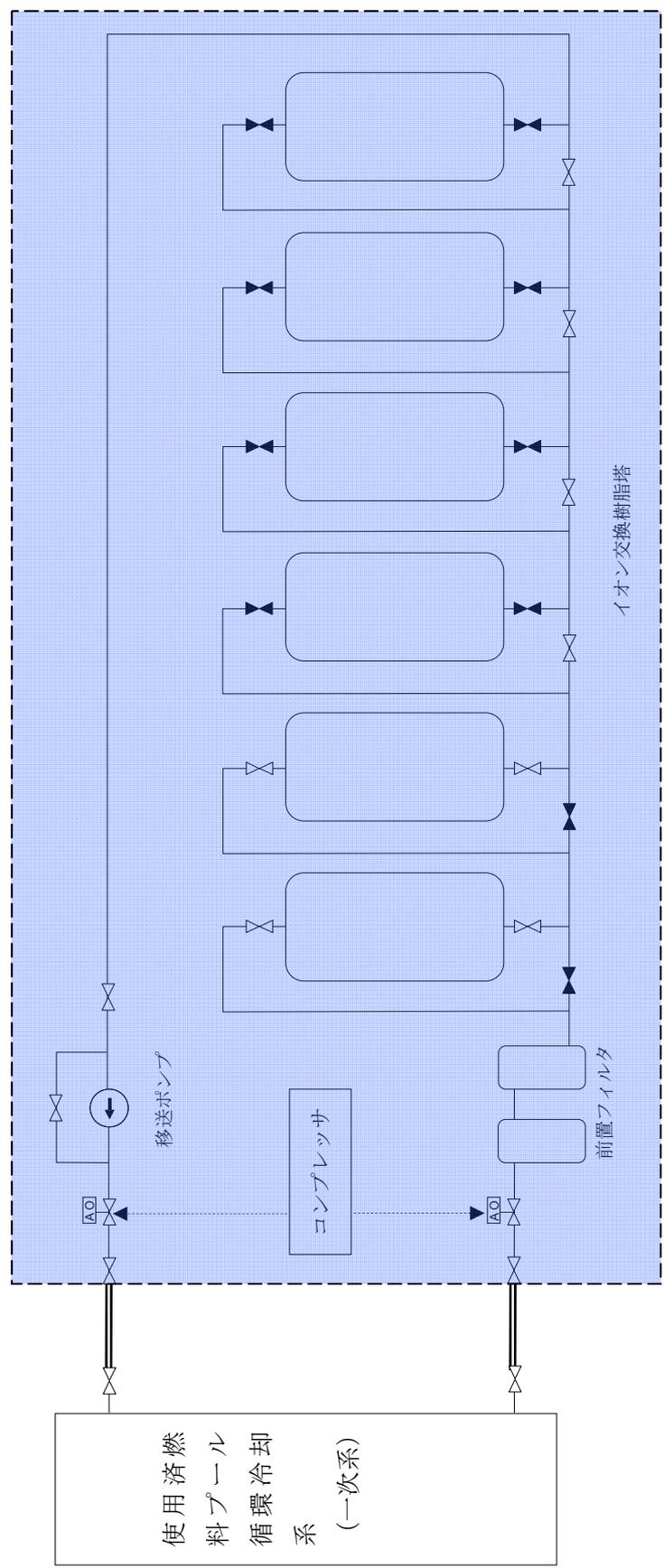


図 12 申請範囲 (モバイル式処理装置 (塩分除去装置 (イオン交換装置)))

使用済燃料プール浄化装置に係る確認事項

使用済燃料プール浄化装置の構造強度及び機能・性能に関する確認事項を表－１に示す。
使用済燃料プール浄化装置で扱う液体の放射能濃度は 37kBq/cm³ 以下である。

表－１ 確認事項（１号機浄化ライン※）

確認事項	確認項目	確認内容	判定	
構造強度 ・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料を記録にて確認する。	実施計画のとおりであること。	
	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法を記録にて確認する。	実施計画のとおりであること。	
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。	
	据付確認	機器の据付位置・据付状態を確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。	
	耐圧・漏えい確認		<鋼管> 溶接部における浸透探傷検査記録を確認する。	「発電用原子力設備規格 溶接規格(2007年版)」(JSME S NB1-2007)による。
			<フレキシブルチューブ> 確認圧力で保持した後、確認圧力に耐えていることを記録にて確認する。 耐圧確認終了後、耐圧部分からの漏えいの有無も確認する。	確認圧力に耐え、かつ構造物の変形等がないこと。 また、耐圧部から著しい漏えいがないこと。
			<耐圧ホース> 確認圧力で保持した後、確認圧力に耐えていることを記録にて確認する。 耐圧確認終了後、耐圧部分からの漏えいの有無も確認する。	確認圧力に耐え、かつ構造物の変形等がないこと。 また、耐圧部から著しい漏えいがないこと。
通水確認	通常運転状態にて通水し、流路が確保されていること及び各部より漏えいのないことを確認する。	流路が確保されていること及び漏えいのないこと。		

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

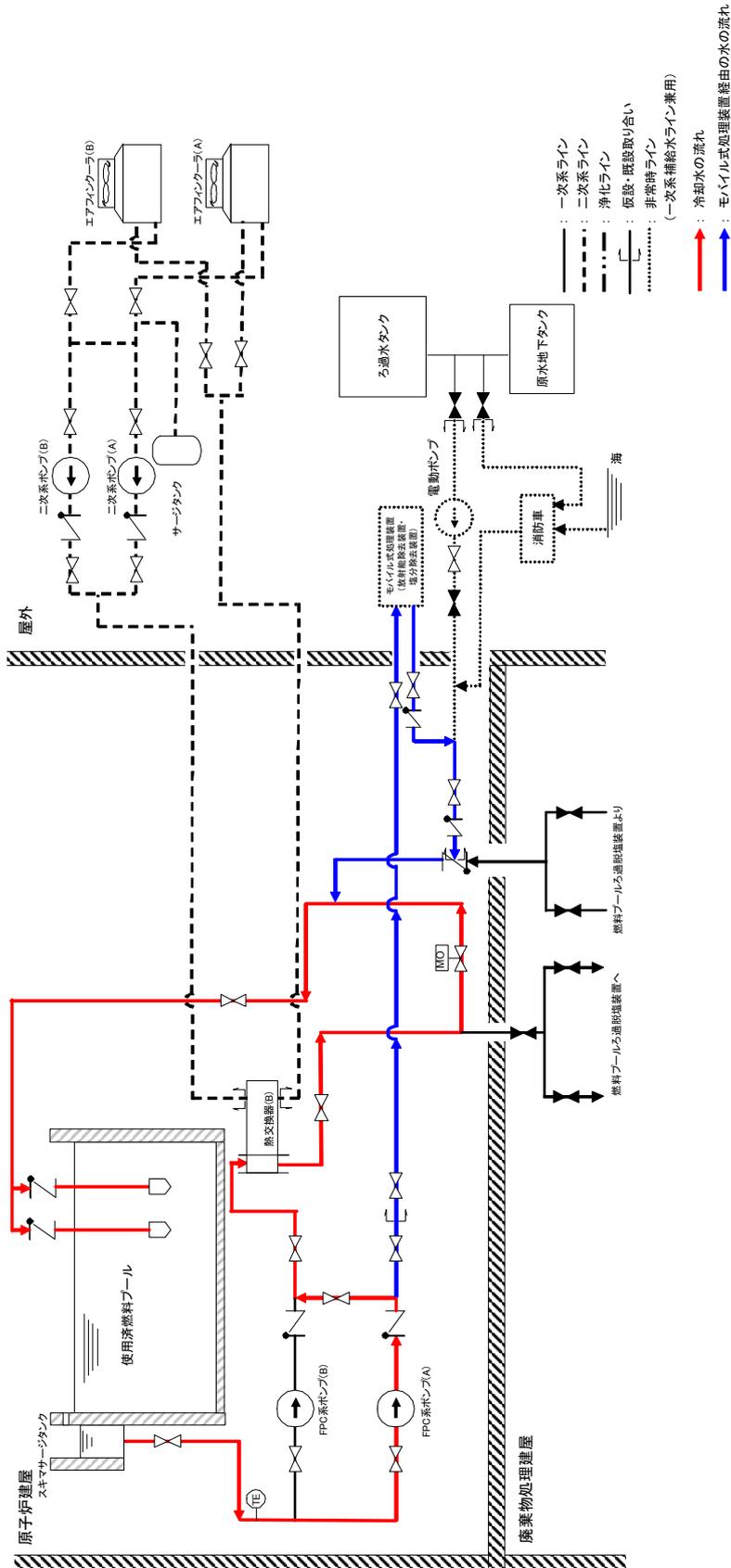
表－２ 確認事項（モバイル式処理装置（放射能除去装置））

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

表－３ 確認事項（１，２号機濃縮水移送ライン）

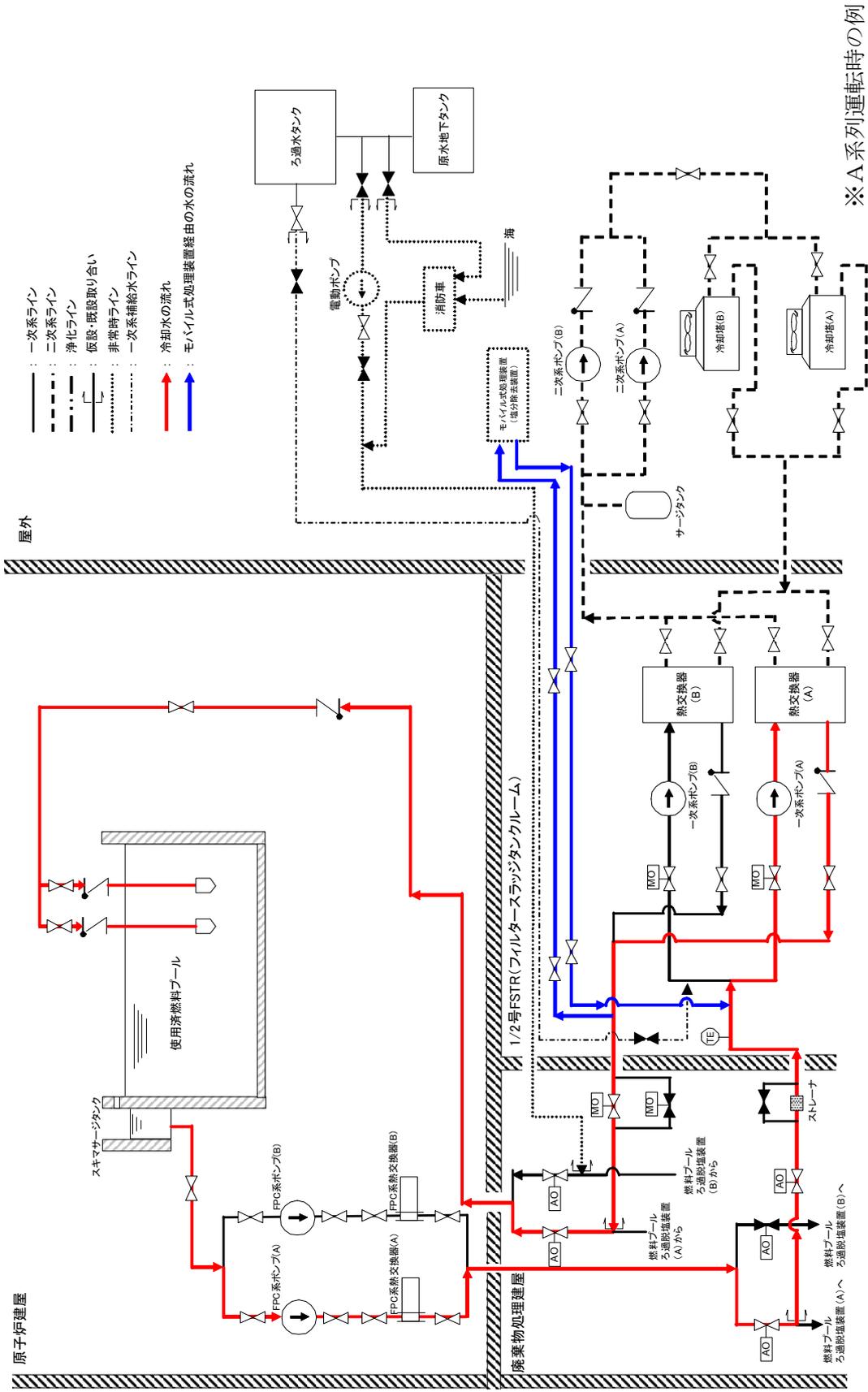
確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料を記録にて確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法を記録にて確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器の据付位置・据付状態を確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で保持した後、確認圧力に耐えていることを記録で確認する。 耐圧確認終了後、耐圧部分からの漏えいの有無も確認する。	確認圧力に耐え、かつ構造物の変形等がないこと。 また、耐圧部から著しい漏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

以上



※A系列運転時の例
(一次系熱交換器はB系列)

図1 1号機使用済燃料プール冷却系統概略図 (モバイル式処理装置運転中)



※A系列運転時の例

図 2 2号機使用済燃料プール冷却系系統概略図 (モバイル式処理装置運転中)

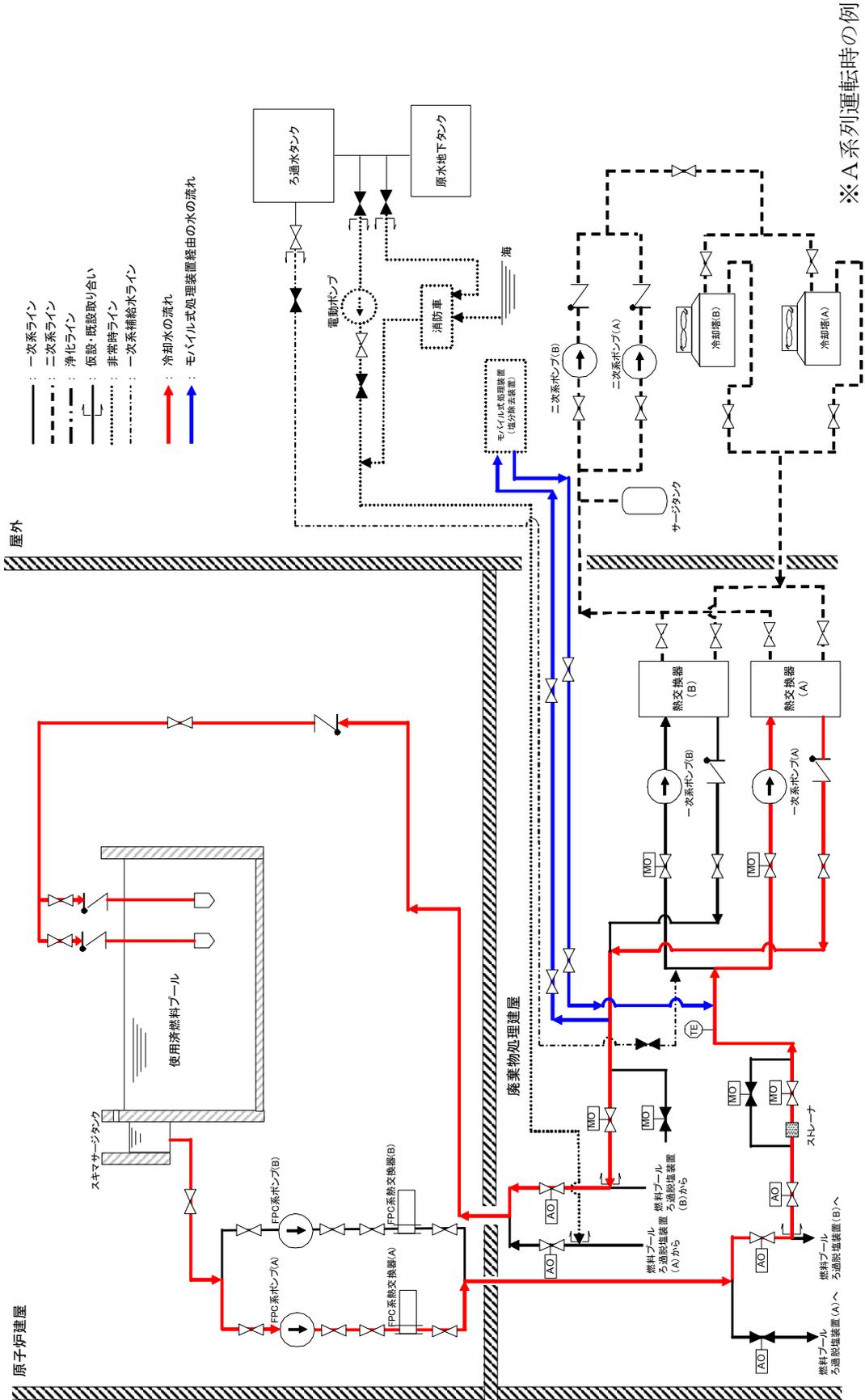


図 3 3 号機使用済燃料プール冷却系統図 (モバイル式処理装置運転中)

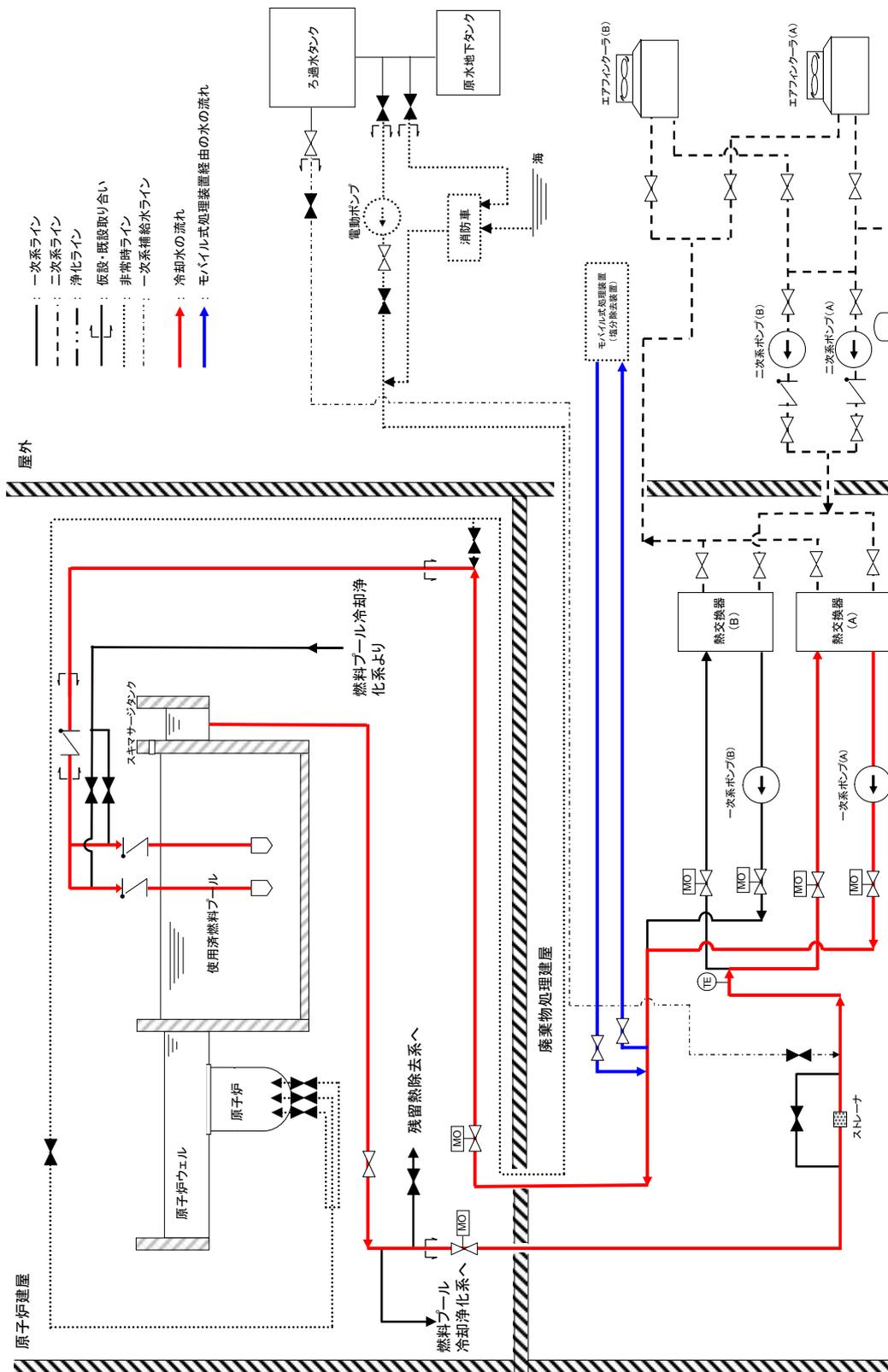


図 4 4号機使用済燃料プール冷却系統概略図 (モバイル式処理装置運転中) ※A系列運転時の例

2～4号機浄化ライン鋼管（ヘッド部）について

1. はじめに

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

ここでは、簡易的な手法を用いて、当該部における地震による応力を試算した。

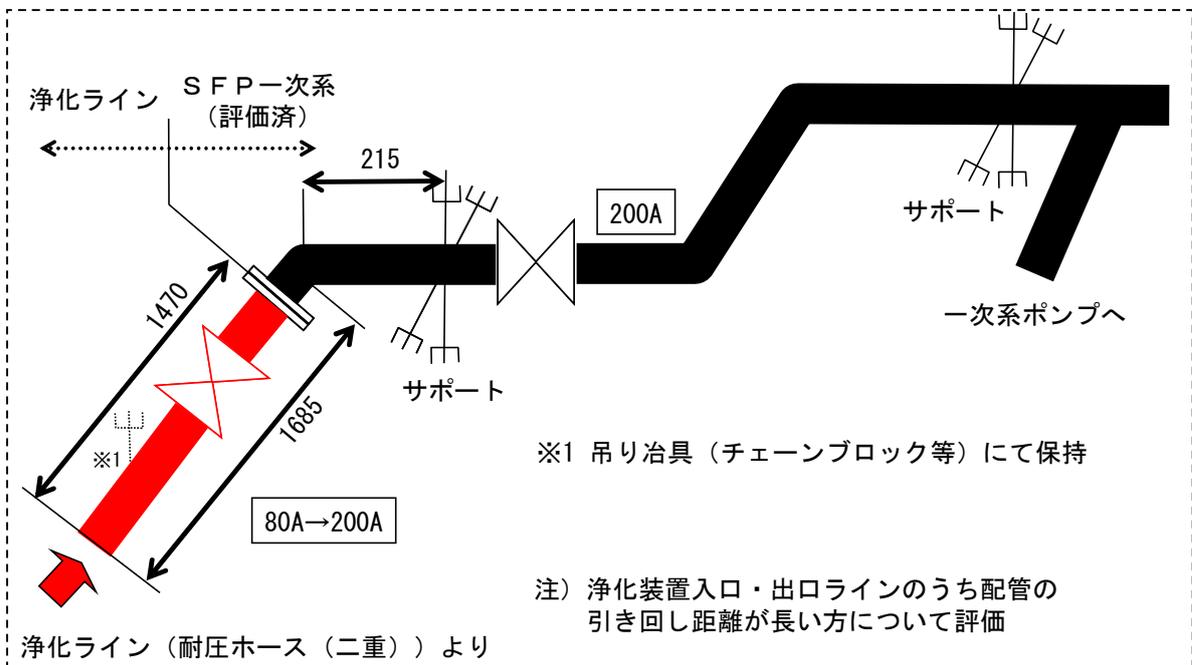


図-1 浄化ラインヘッド部概要図（2号機）

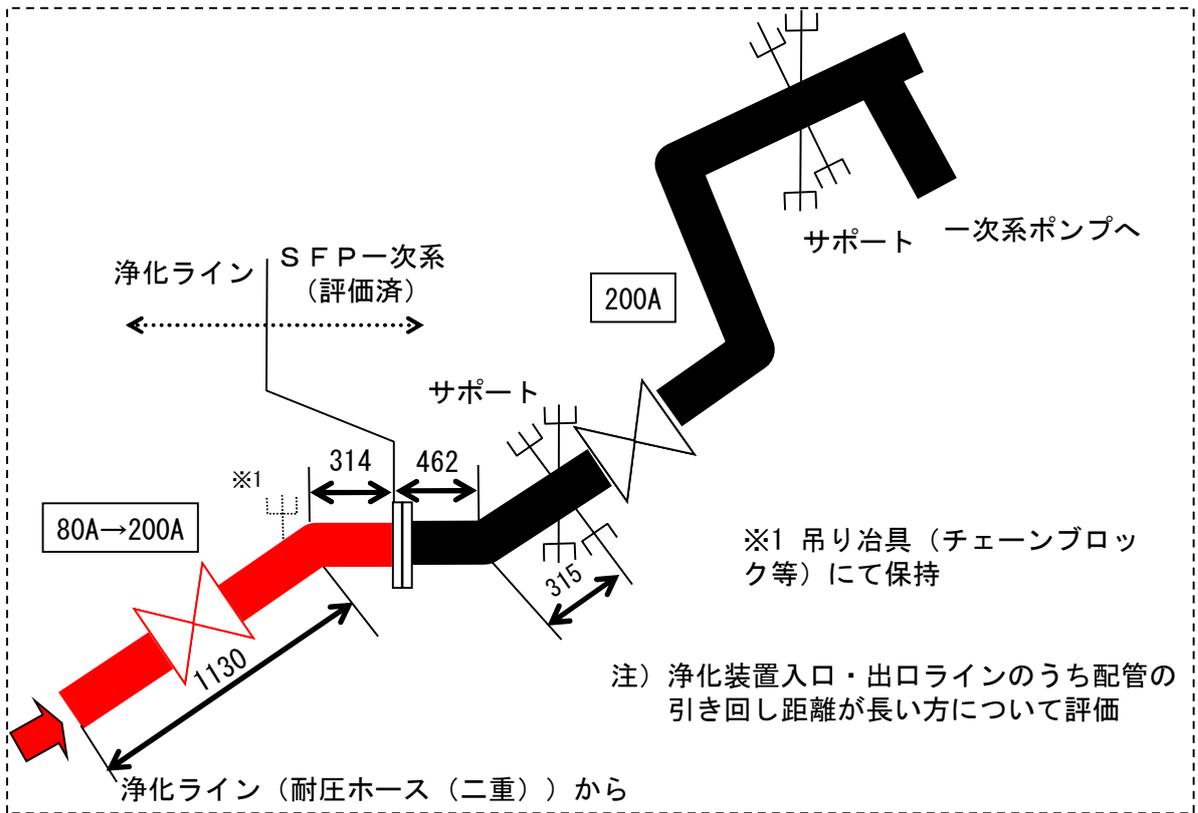


図-2 浄化ラインヘッド部概要図 (3号機)

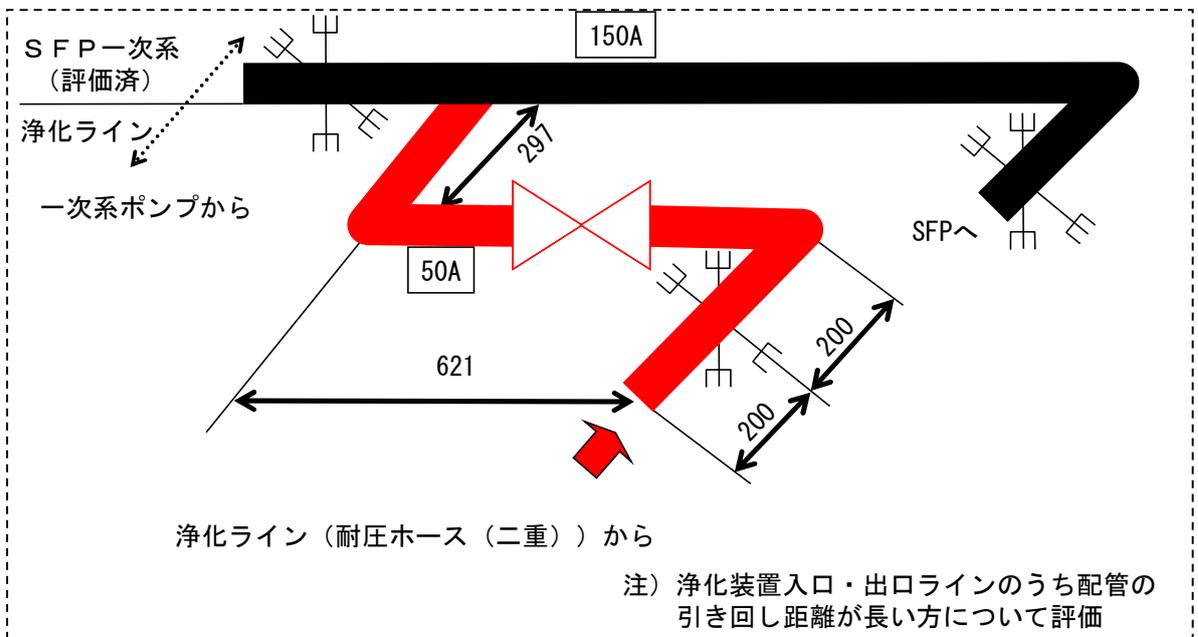


図-3 浄化ラインヘッド部概要図 (4号機)

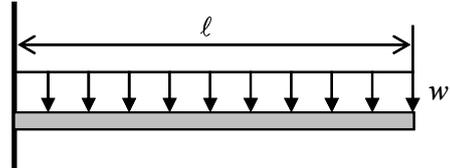
2. 試算結果

(1) 2号機

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

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

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



上記の式を用いて、自重による応力を算出すると、

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

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

耐震Bクラス相当 (震度 : 0.36) の地震力が加わった場合の応力は、

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

となり、評価基準値 (333MPa) より十分小さい。

(2) 3号機

2号機と同様に評価すると、自重による応力は、

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

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

耐震Bクラス相当 (震度 : 0.36) の地震力が加わった場合の応力は、

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

となり、評価基準値 (333MPa) より十分小さい。

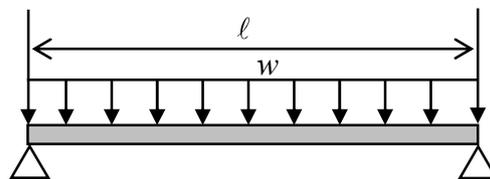
(3) 4号機

ヘッダ部を、等分布荷重を受ける両端支持梁とみなし、応力を算出する。

等分布荷重を受ける両端支持梁の応力は下記の式で求められる。

$$\sigma = \frac{wl^2}{8Z}$$

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



上記の式を用いて、自重による応力を算出すると、

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

w : 0.073 N/mm (STPT370) ※50A (Sch.80)
 l : 1118mm
 Z : 1.2×10^4 mm³ (外径 : 60.5mm, 内径 : 49.5mm)

耐震 B クラス相当 (震度 : 0.36) の地震力が加わった場合の応力は、

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

となり、評価基準値 (333MPa) より十分小さい。

以上

1～3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

1. はじめに

1～3号機使用済燃料プール内燃料から発生する崩壊熱を安定的に除去することが可能な1～3号機使用済燃料プール循環冷却系二次系共用設備（以下、「二次系共用設備」という。）を配備する。

2. 基本方針

2.1 設置の目的

1～3号機使用済燃料プール内の燃料から発生する崩壊熱を最終的な熱の逃がし場である大気へ放出し、使用済燃料プール水の冷却を行う。

2.2 設計方針

(1) 冷却機能

1～3号機使用済燃料プール内燃料から発生する崩壊熱を最終的な熱の逃がし場である大気へ放出し、使用済燃料プール水を冷却できる設計とする。

(2) 構造強度

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

(3) 多重性・多様性

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

(4) 誤操作の防止に対する考慮

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

(5) 検査可能性に対する設計上の考慮

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

2.3 設備概要

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

2.4 自然災害対策等

2.4.1 津波

二次系共用設備については、仮設防潮堤により、アウターライズ津波による浸水を防止する。またアウターライズを上回る津波などにより、万が一、使用済燃料プール循環冷却系の複数の系統や機器の機能が同時に喪失する場合に備え、消防車等を配備し使用済燃料プールの冷却を再開できるようにする。

2.4.2 火災

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

2.4.3 豪雨

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

2.4.4 強風（台風・竜巻）

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

2.5 共用に対する設計上の考慮

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

1系列で1～3号機使用済燃料プール内の燃料から発生する崩壊熱を全て除去することが可能な設計とする。

3. 二次系共用設備の具体的な安全確保策

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

3.1 環境条件対策

(1) 腐食

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

(2) 熱による劣化

二次系冷却水の温度は，ほぼ常温のため，材料の劣化の懸念はない。

(3) 凍結

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

(4) 紫外線

屋外敷設箇所のポリエチレン管は，耐紫外線性を有する保温材等で覆う処置を講ずることにより，紫外線による劣化を防止する。

別紙

(1) 1～3号機使用済燃料プール循環冷却系二次系共用設備に係る確認事項

以上

1～3号機使用済燃料プール循環冷却系二次系共用設備に係る確認事項

1～3号機使用済燃料プール循環冷却系二次系共用設備の構造強度及び機能・性能に関する確認事項を表－1～6に示す。1～3号機使用済燃料プール循環冷却系二次系共用設備で扱う液体の放射能濃度は37kBq/cm³以下である。

表－1 確認事項（二次系ポンプ）

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度 ・耐震性	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器の据付位置・据付状態を確認する。	計画のとおり施工・据付されていること。
	漏えい確認	運転圧力で耐圧部分からの漏えいの有無を確認する。	耐圧部から著しい漏えいがないこと。

表－2 確認事項（エアフィンクーラ）

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度 ・耐震性	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器の据付位置・据付状態を確認する。	計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で保持した後、確認圧力に耐えていることを記録で確認する。 耐圧確認終了後、耐圧部分からの漏えいの有無も確認する。	確認圧力に耐え、かつ構造物の変形等がないこと。 また、耐圧部から著しい漏えいがないこと。

表－3 確認事項（サージタンク）

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度 ・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器の据付位置・据付状態を確認する。	計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で保持した後、確認圧力に耐えていることを記録で確認する。 耐圧確認終了後、耐圧部分からの漏えいの有無も確認する。	確認圧力に耐え、かつ構造物の変形等がないこと。 また、耐圧部から漏えいがないこと。

表－4 確認事項（二次系主要配管（鋼管））

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度 ・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した外径，厚さについて記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	配管の据付位置・据付状態を確認する。	計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で保持した後、確認圧力に耐えていることを記録で確認する。 耐圧確認終了後、耐圧部分からの漏えいの有無も確認する。	確認圧力に耐え、かつ構造物の変形等がないこと。 また、耐圧部から著しい漏えいがないこと。

表－５ 確認事項（二次系ポリエチレン管）

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度 ・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した主要寸法について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	配管の据付状態について確認する。	計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	製造者等の指定方法・圧力による漏えいの有無を確認する。	耐圧部から著しい漏えいがないこと。

表－６ 確認事項（使用済燃料プール循環冷却系二次系共用設備）

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

以上

4号機使用済燃料プール循環系について

1. はじめに

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

2. 基本設計

2.1 設置の目的

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

2.2 要求される機能

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

2.3 設計方針

(1) 監視機能

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

(2) 補給機能

使用済燃料プール循環系は、使用済燃料プールに水を補給できる設計とする。

(3) 浄化機能

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

(4) 漏えい防止機能

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

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

(5) 構造強度

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

(6) 多重性・多様性

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

(7) 誤操作の防止に対する考慮

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

(8) 検査可能性に対する設計上の考慮

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

(9) 放射線遮へいに対する考慮

使用済燃料プール循環系は、放射線業務従事者の線量を低減する観点から、放射線を適切に遮へいする設計とする。

2.4 供用期間中に確認する項目

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

2.5 主要な機器

(1) 設備概要

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

(2) 使用済燃料プール循環系設備

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

a. 使用済燃料プール循環設備

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

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

b. 漏えい拡大防止設備

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

c. 監視設備

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

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

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

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

d. 電源

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

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

e. 浄化装置

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

2.6 廃棄物の管理

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

2.7 自然災害対策等

2.7.1 津波

仮設防潮堤により、アウターライズ津波による浸水を防止する。またアウターライズを上回る津波などにより、万が一、使用済燃料プール循環系設備の機能が喪失する場合は、使用済燃料プール水の補給等を実施する。

2.7.2 火災

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

2.7.3 豪雨

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

2.7.4 強風（台風・竜巻）

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

2.8 構造強度及び耐震性

(1) 構造強度

使用済燃料プール循環系のうち使用済燃料プール循環系設備は、技術基準上、燃料プール冷却浄化系に相当するクラス3機器と位置付けられる。この適用規格は、「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（以下、設計・建設規格という）」で規定されるものであるが、設計・建設規格は、鋼材を基本とした要求事項を設定したものであり、耐圧ホース等の非金属材料についての基準がない。従って、鋼材を使用している設備については、設計・建設規格のクラス3機器相当での評価を行い、非金属材料については、当該設備に加わる機械的荷重により損傷に至らないことをもって評価を行う。この際、当該の設備がJISや独自の製品規格等を有している場合や、試験等を実施した場合はその結果などを活用し、評価を行う。また、溶接部については、耐圧試験、系統機能試験等を行い、有意な変形や漏えい等のないことをもって評価を行なう。

(2) 耐震性

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

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

2.9 機器の故障への対応

2.9.1 使用済燃料プール循環系の機器の単一故障

(1) ポンプ故障

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

(2) 電源喪失

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

(3) 循環ラインの損傷

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

3. 使用済燃料プール循環系設備の具体的な安全確保策

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

3.1 環境条件対策

(1) 腐食

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

(2) 熱による劣化

使用済燃料プール水の温度は、ほぼ常温のため、熱による劣化の懸念はない。

(3) 凍結

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

(4) 耐放射線性

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

4. 基本仕様

4.1 4号機使用済燃料プール循環系の主要仕様

(1) ポンプ (完成品)

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

(2) 熱交換器 (完成品)

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

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

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

(1~4号機共通)

系 列 数	1
処 理 量	約 4.2m ³ /h

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

(1~4号機共通)

系 列 数	1
処 理 量	約 10m ³ /h

表4. 1-1 主要配管仕様 (1/2)

名 称	仕 様	
一次系主要配管	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A／Sch. 40 150A／Sch. 40 STPT370, STPT410, SUS304TP 1.0MPa 100℃
一次系フレキシブルチューブ	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	100A, 150A 相当 SUS316L 1.0MPa 100℃
主要配管からモバイル式処理装置入口，出口まで（鋼管）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A／Sch. 80 STPT370 1.0MPa 66℃
主要配管からモバイル式処理装置入口，出口まで（耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当（二重管） ポリ塩化ビニル 0.98MPa 50℃
モバイル式処理装置（塩分除去装置（RO膜装置））濃縮水タンク出口から4号機廃棄物処理建屋地下排水口まで（耐圧ホース）	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A 相当（二重管） ポリ塩化ビニル 0.98MPa 50℃

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

以上

2.8 原子炉格納容器ガス管理設備

2.8.1 基本設計

2.8.1.1 設置の目的

原子炉格納容器ガス管理設備は、原子炉格納容器内気体の抽気・ろ過等によって、環境へ放出される放射性物質の濃度及び量を達成できる限り低減することを目的とする。また、未臨界状態、水素濃度等の監視のため、原子炉格納容器内のガスを抽気することを目的とする。

2.8.1.2 要求される機能

- (1) 環境へ放出される放射性物質の濃度及び量を達成できる限り低減できること。
- (2) 未臨界状態、水素濃度等の監視のため、原子炉格納容器内のガスの抽気ができること。
- (3) 当該設備内及び放出口近傍において、不活性雰囲気を維持できること。

※：未臨界状態、水素濃度等の監視については、原子炉圧力容器内・原子炉格納容器内監視計測器（Ⅱ.2.9 参照）に、放射性物質濃度及び量の監視については放射線管理関係設備（Ⅱ.2.15 参照）に各々記載。

2.8.1.3 設計方針

(1) 放射性物質の放出抑制及び管理機能

原子炉格納容器の隔離機能または抽気機能によって、想定される事象に対して、環境へ放出される放射性物質の濃度及び量を達成できる限り低減できる設計とする。

(2) 不活性雰囲気の維持機能

原子炉格納容器ガス管理設備は、当該設備内及び放出口近傍において、不活性雰囲気を維持できる機能を有する設計とする。

(3) 構造強度

原子炉格納容器ガス管理設備は、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) 多重性又は多様性及び独立性

原子炉格納容器ガス管理設備のうち動的機器、フィルタ及び駆動電源は、多重性又は多様性及び独立性を備え、定期的に機能確認が行える設計とする。

(5) 異常時の対応機能

外部電源が利用できない場合においても放射性物質の放出抑制機能を継続できる設計とする。また、地震、津波等の発生を考慮しても、放射性物質の放出抑制機能

が再開可能である設計とする。

(6) 原子炉格納容器に接続する配管に対する考慮

原子炉格納容器に接続する原子炉格納容器ガス管理設備の配管は、水素爆発により、原子炉格納容器に影響を与えないよう、適切に対応するものとする。

(7) 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。

2.8.1.4 供用期間中に確認する項目

- (1) 排気ファンが運転しており、原子炉格納容器内のガスが抽気されていること。
- (2) フィルタユニットの前後差圧に異常がないこと。

2.8.1.5 主要な機器

(1) 原子炉格納容器ガス管理設備

原子炉格納容器ガス管理設備は、排気ファン、除湿機（1号機：空調機，2・3号機：放熱器），電気ヒータ，フィルタユニット及び流量計等で構成され，原子炉格納容器よりガスを抽気し，フィルタユニットにより放射性物質を除去した後に，一部のガスをタービン建屋脇より大気へ放出する。残りの大部分のガスは，再循環し，再びフィルタユニットを通る。フィルタの湿分対策として，除湿機等により抽出ガス中の水蒸気を凝縮・分離させ，電気ヒータにより相対湿度を低下させる。

原子炉格納容器ガス管理設備によるガス抽出がない場合は，原子炉圧力容器及び原子炉格納容器への窒素封入量分は原子炉格納容器から漏えいしている。一方，原子炉格納容器ガス管理設備からの放出放射エネルギーは，ガス抽出量に比例する。したがって，原子炉格納容器ガス管理設備は，窒素封入量と同程度のガスを抽気することで原子炉格納容器からの大気へ放射性物質の直接の漏えいを抑制するとともに，抽出したガスの放射性物質濃度を 1/100 以下にして放出することで，環境に放出される放射性物質の濃度及び量を低減させることができる。

原子炉格納容器ガス管理設備の動的機器及びフィルタユニットは，1系列 100%容量を 2系列とすることで，多重性を有する設計とする。

(2) 電源

動的機器及びフィルタユニットは 2系統を有し，各々異なる系統の所内高圧母線から受電することとする。また，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いずれかの系統が運転可能な構成とする。

(3) 放射性物質除去設備

放射性物質除去設備は、フィルタユニットに取り付けられた高性能粒子フィルタ（HEPA フィルタ）により、セシウム等の粒子状の放射性物質を捕獲する。なお、気体状の放射性物質（希ガス）は、セシウム等の粒子状物質と比べて影響が小さいため、放射能の減衰設備は設けていない。

また、弁開閉操作により、フィルタユニット廻りの再循環量を変更することにより、大気へ放出する放射性物質の濃度を低減できるものとする。

(4) その他

原子炉格納容器ガス管理設備は、窒素を注入できる構成とし、水素濃度が2.5%以上となった場合には、窒素の封入、設備の停止、隔離等の適切な対応をとることとする。原子炉格納容器ガス管理設備の配管等の枝管は、「BWR 配管における混合ガス（水素・酸素）の燃焼による配管損傷防止に関するガイドライン（第3版）」（一般社団法人 日本原子力技術協会）を参考に、水平下り勾配とする等、水素の滞留を防止する。

また、当該設備内に予備座を設けることにより、気体の採取ができる構成とする。

2.8.1.6 自然災害対策等

(1) 津波

津波により、万が一、原子炉格納容器ガス管理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、速やかに機器等の復旧を行う。原子炉格納容器ガス管理設備は、設備停止後は速やかに対応し運転を再開させる。

(2) 火災

現場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こととする。

2.8.1.7 構造強度及び耐震性

(1) 構造強度

a. 基本方針

原子炉格納容器ガス管理設備は、既設設備に該当する系統は無いが、その用途から、換気空調系に類似すると考える。当該設備は、技術基準に定められた内包する流体の放射性物質の濃度が $37\text{mBq}/\text{cm}^3$ 以上に該当することから、排気ファン等の機器についてはクラス3機器相当、配管・ダクト等については放射線管理設備に属するダクトとしてクラス4配管相当と位置付けられる。

クラス3機器及びクラス4配管の構造・強度は、「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、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機器相当やクラス4配管相当での評価を行い、非金属材料等については、当該設備が 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できるものとし、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う。

b. 主要設備の構造強度

(a) 排気ファン

排気ファンは、材料証明書がなく設計・建設規格におけるクラス3機器相当の要求を満足するものではないが、系統機能試験等を行い、有意な変形や漏えい、運転状態に異常がないことを確認することで、必要な構造強度を有するものと評価する。

(b) フィルタユニット

フィルタユニットは、材料証明書がなく設計・建設規格におけるクラス3機器相当の要求を満足するものではないが、耐圧試験、系統機能試験等を行い、有意な変形や漏えい、運転状態に異常がないことを確認することで、必要な構造強度を有するものと評価する。

(c) 除湿機

除湿機は、原子炉格納容器ガス管理設備内ガスを通気する放熱器について評価する。放熱器は、材料証明書がなく設計・建設規格におけるクラス3機器相当の要求を満足するものではないが、耐圧試験、系統機能試験等を行い、有意な変形や漏えい、運転状態に異常がないことを確認することで、必要な構造強度を有するものと評価する。

(d) 配管類（鋼管、鋼板ダクト、ダクトホース、フレキシブルホース）

配管類は、材料証明書がなく設計・建設規格におけるクラス4配管相当の要求を満足するものではないが、系統機能試験等を行い、有意な変形や漏えい、運転状態に異常がないことを確認することで、必要な構造強度を有するものと評価する。

(2) 耐震性

a. 基本方針

原子炉格納容器ガス管理設備は、既設設備に該当する系統が無いが、その用途から、換気空調系であるCクラス相当と位置付けられることから、一般構造物と同等の耐震性を有する設計とする。

b. 主要設備の耐震構造

「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987」等を準用し、静的震度 (1.2Ci) に基づく主要機器の転倒等の評価を行い、Cクラス相当の耐震性を有するものと評価する。この他、フレキシビリティを有する材料を用いるなどして耐震性を確保する。

2.8.1.8 機器の故障への対応

2.8.1.8.1 機器の単一故障

(1) 排気ファン、フィルタユニット等の故障

排気ファン、フィルタユニット等の機器が故障した場合は、予備機への切替を行う。

(2) 電源喪失

原子炉格納容器ガス管理設備の電源は多重化されており、受電中の電源が喪失した場合には他系統の電源に切替えを行う。

(3) 配管類の損傷

配管類が損傷した場合については、排気ファンの上流は負圧であること及びフィルタユニットが排気ファンの上流側に設置されていることから、放射性物質の濃度の高いガスの系統外への漏えいの可能性は低い。

配管類の損傷が大きく復旧が困難な場合は、原子炉格納容器ガス管理設備を停止し、速やかに配管類の取替を行う。

2.8.1.8.2 複数の設備が同時に機能喪失した場合

地震、津波により、万が一、原子炉格納容器ガス管理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、速やかに機器等の復旧を行う。原子炉格納容器ガス管理設備は、設備停止後は速やかに対応し運転を再開させる。

2.8.2 基本仕様

2.8.2.1 1号機 主要仕様

(1) 排気ファン (完成品)

種 類	遠心式
容 量	250 m ³ /h (1台あたり)
台 数	2
負荷容量	3.7 kW (1台あたり)

(2) フィルタユニット

種 類	高性能粒子フィルタ
効 率	単体 99.97% (粒径 0.3 μm) 以上 総合 99.9% (粒径 0.3 μm) 以上
基 数	4

(3) 凝縮配管室空調機

冷却能力	28 kW (1台あたり)
台 数	4
負荷容量	A系 (A号機, C号機) 15.5 kW (1台あたり) B系 (B号機, D号機) 15.8 kW (1台あたり)

(4) 電気ヒータ

種 類	電気式
容 量	約 4 kW (1台あたり)
台 数	2
負荷容量	4 kW (1台あたり)

(5) 流量計

種 類	オリフィス式
計測範囲	0~40 m ³ /h
台 数	1

表 2. 8 - 1 1号機 主要配管仕様

名 称	仕 様	
【1号機 原子炉格納容器ガス管 理設備】 (鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	150A／Sch. 40 100A／Sch. 40 80A／Sch. 40 50A／Sch. 80 25A／Sch. 80 STPT370 0.35 MPa 100 °C
(鋼管)	呼び径／厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	150A／Sch. 40 STPT410 0.35 MPa 100 °C

2.8.2.2 2号機 主要仕様

(1) 排気ファン (完成品)

種 類	遠心式
容 量	1000 m ³ /h (1 台あたり)
台 数	2
負荷容量	5.5 kW (1 台あたり)

(2) フィルタユニット

種 類	高性能粒子フィルタ, 活性炭フィルタ
効 率	単体 (HEPA) 99.97% (粒径 0.3 μm) 以上, (活性炭) 99% (I ₂ ガス) 以上 総合 99% (粒径 0.3 μm) 以上
基 数	2

(3) 放熱器

種 類	空冷式
容 量	24.94 kW (1 基あたり)
材 料	銅チューブ (C1220T)、アルミフィン
基 数	4
負荷容量	0.4 kW (1 基あたり)

(4) 電気ヒータ

種 類	電気式
容 量	1.95 kW/h (1 台あたり)
台 数	2
負荷容量	2 kW (1 台あたり)

(5) 流量計

種 類	超音波式
計測範囲	2.5~150 m ³ /h
台 数	2
負荷容量	電池式

表 2. 8 - 2 2号機 主要配管仕様

名 称	仕 様	
【2号機 原子炉格納容器ガス管理設備】 (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	250A/Sch. 20S 250A/Sch. 10S 200A/Sch. 20S 125A/Sch. 20S 125A/Sch. 10S 50A/Sch. 20S SUS304TP 1.0 MPa 180 °C
(鋼管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	125Su SUS304TPD 1.0 MPa 180 °C
(鋼管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A, 20A SGP 1.0 MPa 180 °C
(ダクト)	外径 肉厚 材質 最高使用圧力 最高使用温度	260.0 mm 角 5.0 mm SUS304 5.8 kPa 180 °C
(ダクト)	外径 肉厚 材質 最高使用圧力 最高使用温度	257.8 mm 角 1.4 mm 合成ゴム 5.2 kPa 100 °C
(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	125A 相当 SUS304 1.0 MPa 95 °C
(ダクトホース)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	250A 相当 合成ゴム 5.2 kPa 100 °C
(ダクトホース)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	60A 相当 テフロン 5.2 kPa(100°Cにおいて) 100 °C

2.8.2.3 3号機 主要仕様

(1) 排気ファン (完成品)

種 類	遠心式
容 量	1000 m ³ /h (1 台あたり)
台 数	2
負荷容量	5.5 kW (1 台あたり)

(2) フィルタユニット

種 類	高性能粒子フィルタ, 活性炭フィルタ
効 率	単体 (HEPA) 99.97% (粒径 0.3 μm) 以上, (活性炭) 99% (I ₂ ガス) 以上 総合 99% (粒径 0.3 μm) 以上
基 数	2

(3) 放熱器

種 類	空冷式
容 量	24.94 kW (1 基あたり)
材 料	銅チューブ (C1220T)、アルミフィン
基 数	4
負荷容量	0.4 kW (1 基あたり)

(4) 電気ヒータ

種 類	電気式
容 量	1.95 kW/h (1 台あたり)
台 数	2
負荷容量	2 kW (1 台あたり)

(5) 流量計

種 類	超音波式
計測範囲	2.5~150 m ³ /h
台 数	2
負荷容量	電池式

表 2. 8 - 3 3号機 主要配管仕様

名 称	仕 様	
【3号機 原子炉格納容器ガス管理設備】 (鋼管)	呼び径/厚さ 材質 最高使用圧力 最高使用温度	250A/Sch. 20S 250A/Sch. 10S 200A/Sch. 20S 125A/Sch. 20S 125A/Sch. 10S 50A/Sch. 20S SUS304TP 1.0 MPa 180 °C
(鋼管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	125Su SUS304TPD 1.0 MPa 180 °C
(鋼管)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	50A, 20A SGP 1.0 MPa 180 °C
(ダクト)	外径 肉厚 材質 最高使用圧力 最高使用温度	260.0 mm 角 5.0 mm SUS304 5.8 kPa 180 °C
(ダクト)	外径 肉厚 材質 最高使用圧力 最高使用温度	257.8 mm 角 1.4 mm 合成ゴム 5.2 kPa 100 °C
(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	125A 相当 SUS304 1.0 MPa 95 °C
(ダクトホース)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	250A 相当 合成ゴム 5.2 kPa 100 °C
(ダクトホース)	呼び径 材質 最高使用圧力 最高使用温度	60A 相当 テフロン 5.2 kPa(100°Cにおいて) 100 °C

2.8.3 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 原子炉格納容器ガス管理設備からの放出放射エネルギーについて

添付資料—4 原子炉格納容器ガス管理設備に係る確認事項

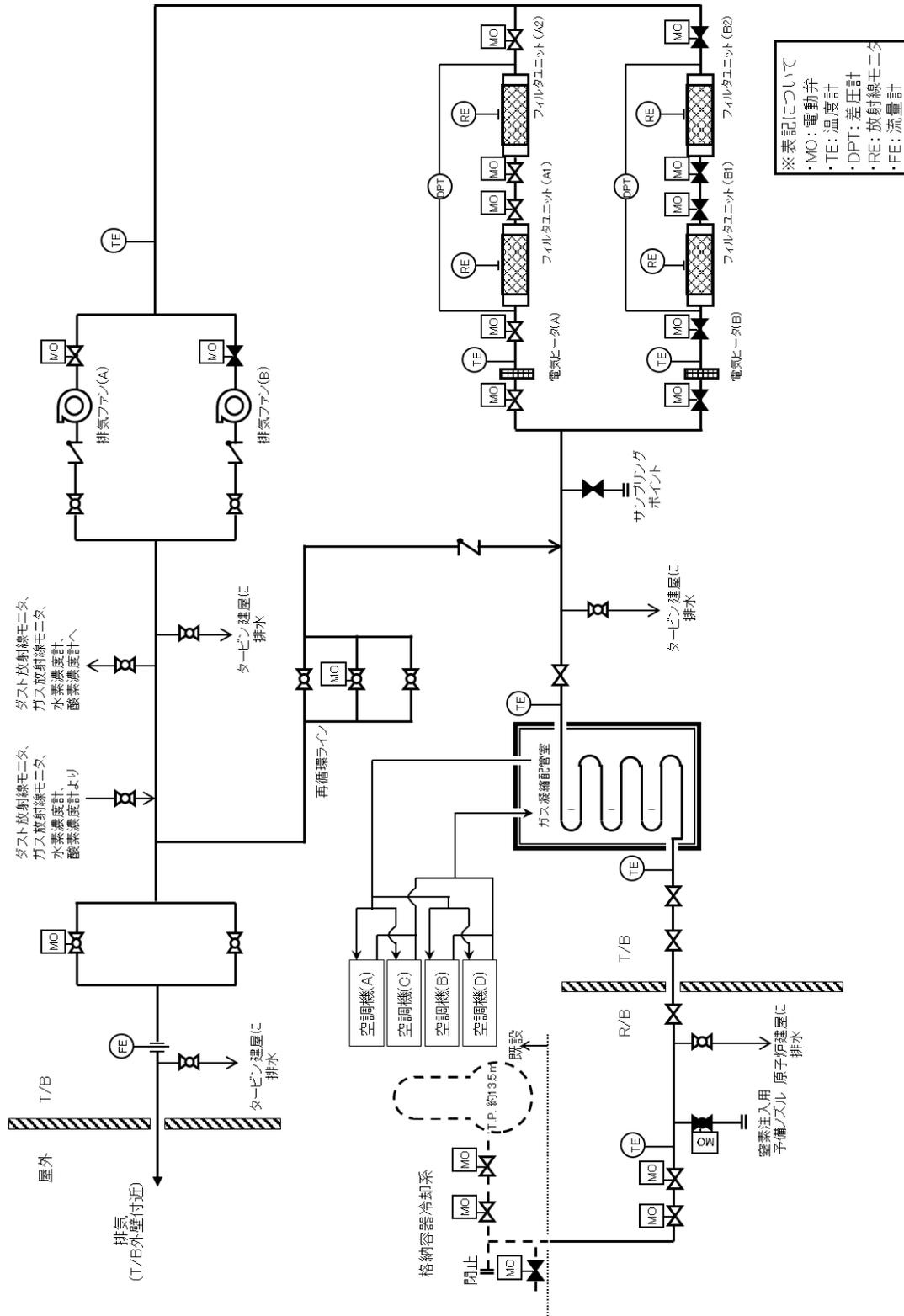


図-1 1号機原子炉格納容器ガス管理設備 系統概略図

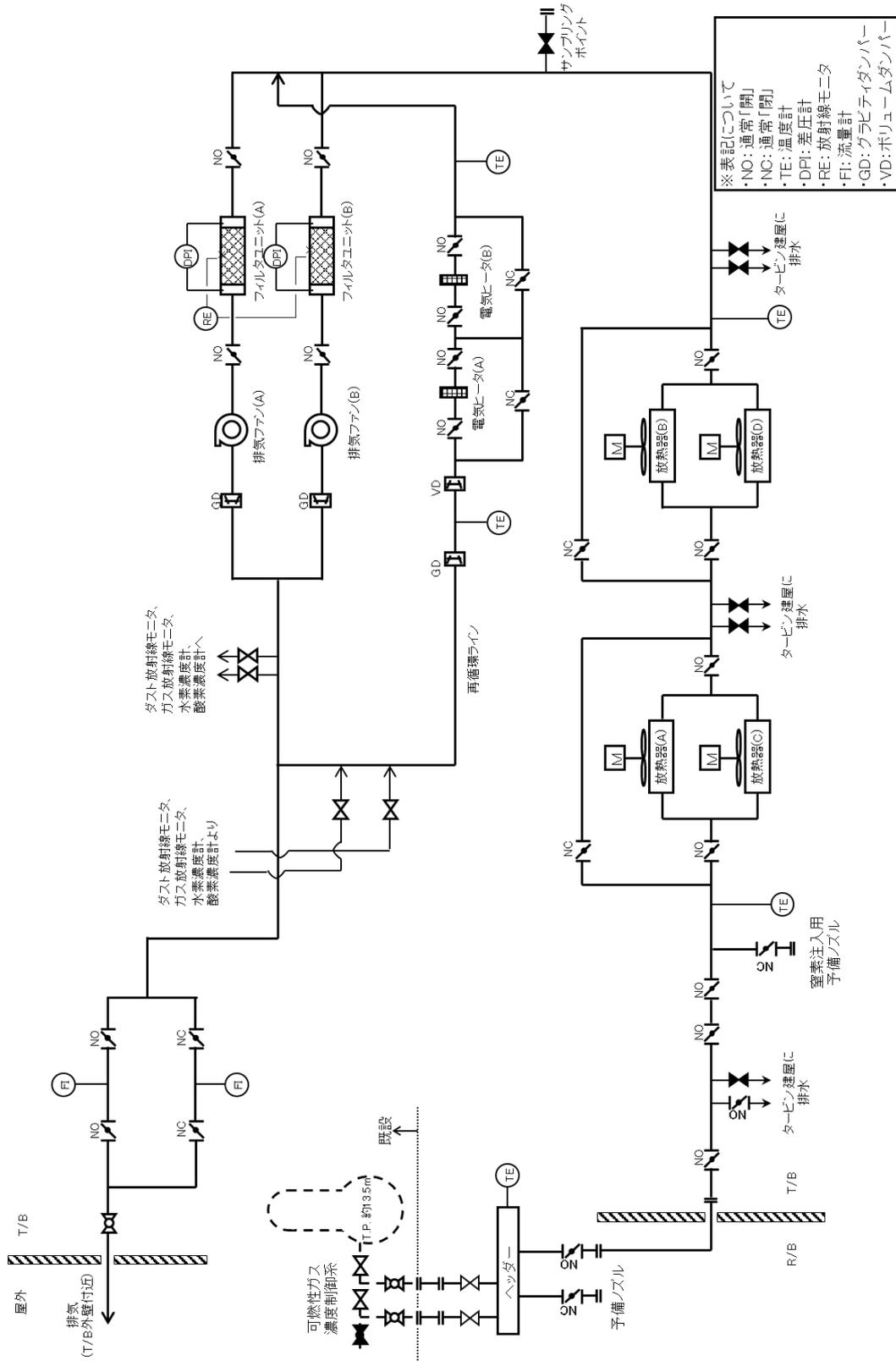


図-2 2号機原子炉格納容器ガス管理設備 系統概略図

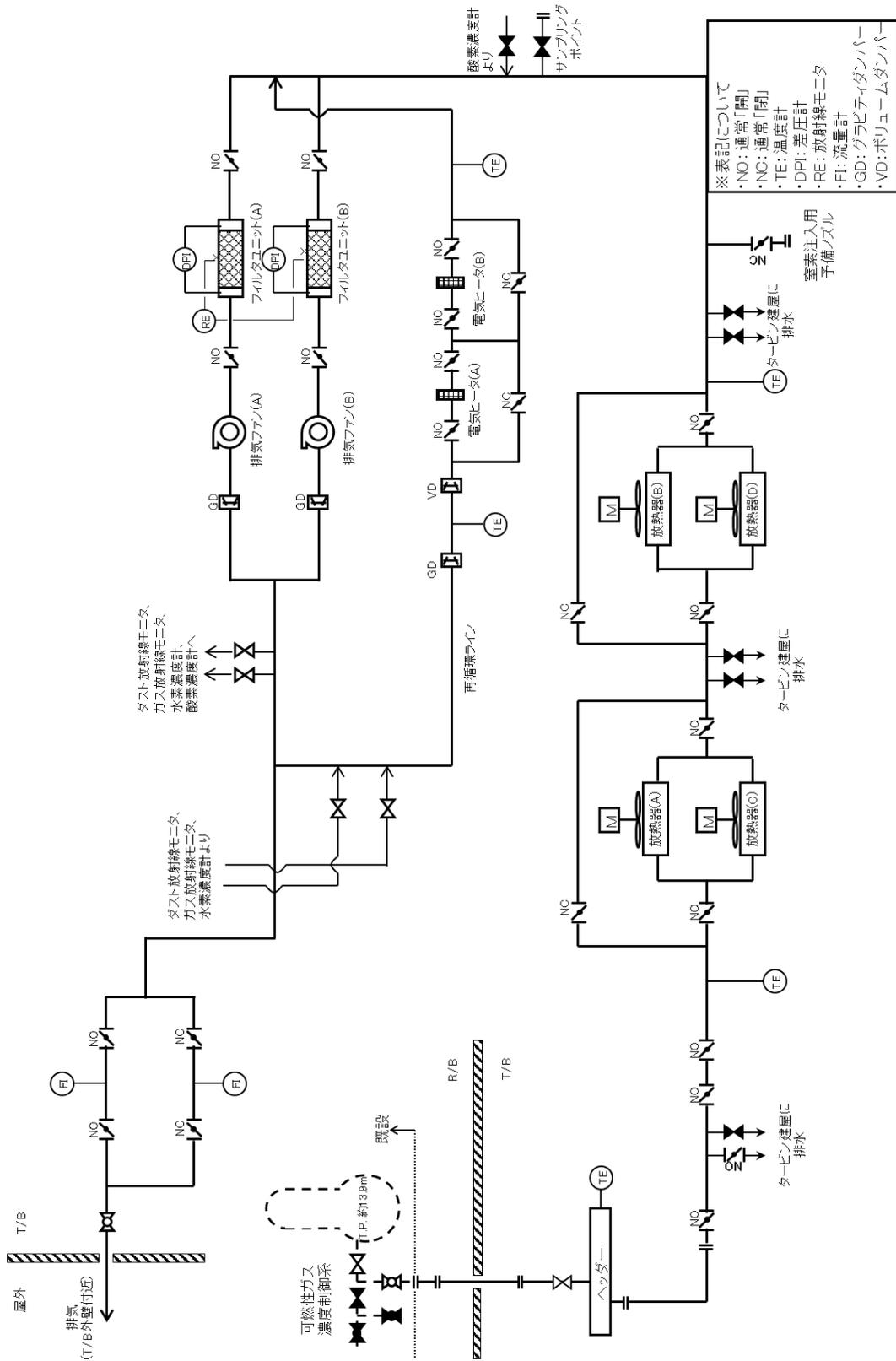


図-3 3号機原子炉格納容器ガス管理設備 系統概略図

構造強度及び耐震性について

1. 1号機

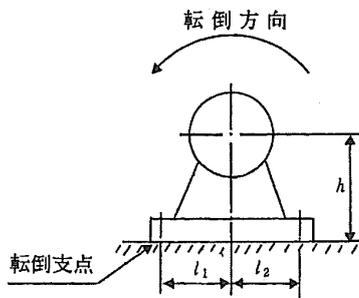
(1) 排気ファンの構造強度及び耐震性

(a) 構造強度

排気ファンについては、工場試験にて締切運転（約6kPa）を実施し、異常がないことを確認しており、排気ファンの運転にあたり十分な構造強度を有していると評価する。

(b) 耐震性

排気ファンの耐震性評価として、「JEAG4601(1987年度)」を準用し、ファン基礎ボルトの評価を行った。なお、震度については、耐震設計審査指針上の耐震Cクラス設備に適用される静的地震力（1号機：0.21G）を採用した。基礎ボルトの許容応力については、供用状態Dにおける許容応力を適用し、ボルトの評価温度は100℃とした。ボルト1本当りへの引張荷重及びせん断荷重を評価した結果、ボルトに生じる引張及びせん断荷重は許容荷重以下であり、ボルトの強度が確保されることを確認した（表-1参照）。



C_H : 水平方向設計震度

C_p : ファン振動による震度

M_P : ファン回転により働くモーメント

l_1 : 軸心と基礎ボルト間の距離

l_2 : 軸心と基礎ボルト間の距離($l_1 \leq l_2$)

d : 基礎ボルトの呼び径

n : 基礎ボルトの本数

n_f : 引張力の作用する基礎ボルトの評価本数

h : 据付面から重心までの距離

W : 据付面に作用する重量

A_b : 基礎ボルトの軸断面積

$$\text{ボルトに作用する引張力} : F_b = \frac{W(C_H + C_p) \cdot h + M_P - W(1 - C_p) \cdot l_1}{1/2 \cdot n_f \cdot (l_1 + l_2)}$$

$$\text{ボルトの引張応力} : \sigma_b = \frac{F_b}{A_b}$$

$$\text{ボルトに作用するせん断力} : Q_b = W(C_H + C_p)$$

$$\text{ボルトのせん断応力} : \tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b}$$

表-1 排気ファンの基礎ボルトの強度評価結果

号機	系統	応力種類	耐震Cクラス設備に適用される 静的地震力による評価	
			発生荷重[MPa]	許容荷重[MPa]
1	A, B	引張	5	174
		せん断	2	133

(2) フィルタユニットの構造強度及び耐震性

(a) 構造強度

フィルタユニットについては、最高使用圧力 0.35MPa に対し、工場にて 0.5MPa の耐圧試験を実施し、破損等の異常がないことを確認している。以上のことから、フィルタユニットについては、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。

(b) 耐震性

フィルタユニットの耐震性評価として、「JEAG4601(1987年度)」を準用し、1.(1)(b)と同様の方法で基礎ボルトの評価を行った。なお、震度については、耐震設計審査指針上の耐震Cクラス設備に適用される静的地震力(1号機:0.21G)を採用した。基礎ボルトの許容応力については、供用状態Dにおける許容応力を適用し、ボルトの評価温度は100℃とした。ボルト1本当たりの引張荷重及びせん断荷重を評価した結果、ボルトに生じる引張及びせん断荷重は許容荷重以下であり、ボルトの強度が確保されることを確認した(表-2参照)。

表-2 フィルタユニットの基礎ボルトの強度評価結果

号機	系統	応力種類	耐震Cクラス設備に適用される 静的地震力による評価	
			発生荷重[MPa]	許容荷重[MPa]
1	A, B	引張	作用しない	174
		せん断	10	133

(3) 凝縮配管室空調機ユニットの構造強度及び耐震性

(a) 構造強度

凝縮配管室空調機については、凝縮配管室内の空気を冷却するものであり原子炉格納容器から抽気したガスを通気するものではなく、一般的な汎用機器を使用している。

(b) 耐震性

凝縮配管室空調機ユニットの耐震性評価として、「JEAG4601(1987年度)」を準用し、1.(1)(b)と同様の方法で基礎ボルトの評価を行った。なお、震度については、耐震設計審査指針上の耐震Cクラス設備に適用される静的地震力(1号機:0.21G)を採用した。基礎ボルトの許容応力については、保守的に供用状態Dにおける許容応力を適用し、ボルトの評価温度は100℃とした。ボルト1本当たりの引張荷重及びせん断荷重を評価した結果、ボルトに生じる引張及びせん断荷重は許容荷重以下であり、ボルトの強度が確保されることを確認した(表-3参照)。

表-3 凝縮配管室空調機ユニットの基礎ボルトの強度評価結果

号機	系統	応力種類	耐震Cクラス設備に適用される 静的地震力による評価	
			発生荷重[MPa]	許容荷重[MPa]
1	A, B	引張	作用しない	174
		せん断	8	133

(4) 管の構造強度及び耐震性

(a) 構造強度

配管については、「設計・建設規格(2005年版)」に基づき、クラス4配管の必要最小厚さに対して十分な厚さを有していることを確認しており、十分な構造強度を有していると評価している(表-4参照)。

表-4 配管強度確認結果

型式	公称肉厚 [mm]	設計・建設規格上の 必要最小厚さ[mm]
円型	4.5	0.5
	5.5	0.5
	6.0	0.5
	7.1	0.5

(b) 耐震性

a. 評価条件

配管は、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

方向については地震により管軸方向は動かないものとし、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。水平方向震度は、0.21G とする。

b. 評価方法

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

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

S_s :地震による応力

α :水平方向震度

S_w :自重による応力

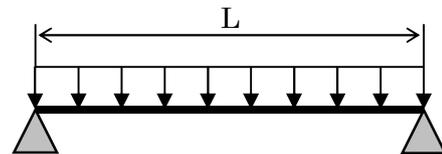
ここで、
$$S_w = \frac{wL^2}{8Z}$$

S_w :自重による応力

L :サポート支持間隔

Z :断面係数

w :等分布荷重



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

また、崩壊制限に「JEAG4601 (1984 年度)」を準用し、供用状態 D の場合の一次応力制限を用いるとすると、地震評価としては(2)式で表すことができる。

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

S_p :内圧による応力

S_w :自重による応力

S_s :地震による応力

S :内圧, 自重, 地震による応力

α :水平方向震度

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

c. 評価結果

両端単純支持はりで自重による応力 S_w が 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と評価した。

- ・内圧による応力 $S_p=10$ MPa, 許容応力を STPT370(100°C) の $0.9S_u=315$ MPa とし、(2)式に代入すると以下となる。

$$S = 59 \text{ MPa} \leq 0.9 S_u = 315 \text{ MPa} \quad (3)$$

- ・継手がある場合には、応力係数も存在する。応力係数を 3 とし、以下となる。

$$S = S_p + (1 + \alpha) S_w \times 3 = 156 \text{ MPa} \leq 0.9 S_u = 315 \text{ MPa} \quad (4)$$

2. 2 / 3号機

(1) ユニット架台の構造強度及び耐震性

排気ファン、フィルタ、放熱器、電気ヒータ、ヘッダ、流量計は、鋼材と共にユニット化している。

(a) 構造強度

排気ファンユニットについては、材料証明書及び耐圧試験記録がなく、設計・建設規格におけるクラス 3 機器の要求を満足するものではないが、系統最高使用圧力 5.2kPa まで耐えうる構造で設計していることを確認している。

放熱器ユニットについては、系統最高使用圧力 5.2kPa に対し、設計・建設規格におけるクラス 3 機器の要求に準じて、工場にて 6.5kPa の気密試験により、漏えい等の異常がないことを確認している。

電気ヒータユニット、ヘッダユニット、流量計ユニットについては、ユニット内が配管で構成されているため、「(2) - 1 鋼管及び鋼板ダクト」の構造強度に示すとおり、必要な構造強度を有していることを確認している。

以上のことから、フィルタユニット以外のユニット架台については、系統最高使用圧力 5.2kPa に耐えうる構造強度を有していると判断する。

フィルタユニットについては、排気ファンの吸込側に設置しているため、フィルタユニットは負圧になる。そのため、工場にて設計風量における排気ファン吸込圧力に配管圧損を考慮した試験圧力-4.7kPa の気密試験により、漏えい等の異常がないことを確認していることから、負圧に耐えうる構造強度を有していると判断する。

(b) 耐震性

各ユニット架台の支持鋼材は、基礎ボルトで固定している。各ユニット架台の耐震性の評価として JEAC4601-2008 を準用し、基礎ボルトの評価を行った。なお、震度については、耐震設計審査指針上の耐震 C クラス設備に適用される静的地震力 (2, 3号機 : 0.21G) を採用した。

評価の結果、ボルト 1 本あたりに生じる引張及びせん断荷重は許容荷重以下であり、ボルトの強度が確保されることを確認した (表-5, 6 参照)。

$$\text{ボルトに作用するせん断力} : Q = \frac{C_H \cdot m \cdot g}{n}$$

$$\text{ボルトに作用する引張力} : F = \frac{C_H \cdot m \cdot g \cdot h - m \cdot g \cdot L_1}{n_f \cdot (L_1 + L_2)}$$

C_H : 水平方向設計震度
 m : 機器の運転時質量
 h : 重心高さ
 $L1, L2$: 重心とボルト間の水平距離($L1 \leq L2$)
 nf : 評価上引張力を受けるボルト本数
 n : 評価上せん断力を受けるボルト本数
 g : 重力加速度

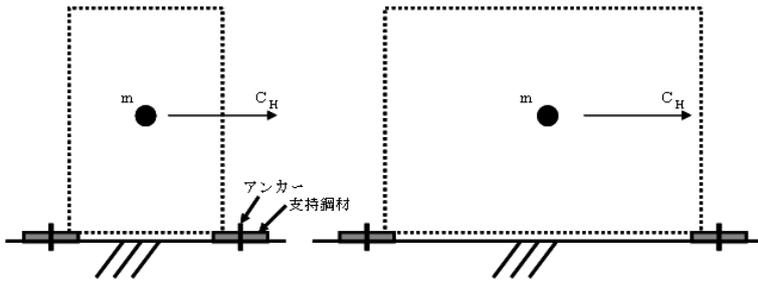


図-1 せん断評価

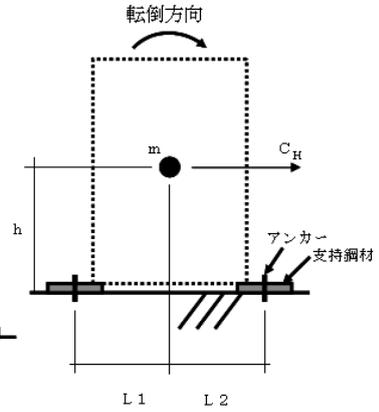


図-2 引張評価

表-5 ユニット架台の基礎ボルトの強度評価結果 (2号機)

ユニット名	系統	応力種類	耐震Cクラス設備に適用される 静的地震力による評価	
			発生荷重[N]	許容荷重[N]
排気ユニット	A	引張	0	2843
		せん断	327	1725
	B	引張	0	2843
		せん断	497	1725
フィルタ ユニット	-※	引張	0	2843
		せん断	411	1725
放熱器ユニット	A	引張	0	2843
		せん断	366	1725
	B	引張	0	2843
		せん断	389	1725
電気ヒータ ユニット	-※	引張	0	2843
		せん断	348	1725
ヘッダユニット	-	引張	0	2843
		せん断	399	1725
流量計ユニット	-※	引張	0	2843
		せん断	255	1725

※ : フィルタユニット, 電気ヒータユニット, 流量計ユニットは, 2つ (2系統) で1つのユニットとなっている。

表-6 ユニット架台の基礎ボルトの強度評価結果（3号機）

ユニット名	系統	応力種類	耐震Cクラス設備に適用される 静的地震力による評価	
			発生荷重[N]	許容荷重[N]
排気ユニット	A	引張	0	2843
		せん断	497	1725
	B	引張	0	2843
		せん断	327	1725
フィルタ ユニット	-※	引張	0	2843
		せん断	411	1725
放熱器ユニット	A	引張	0	2843
		せん断	366	1725
	B	引張	0	2843
		せん断	389	1725
電気ヒータ ユニット	-※	引張	0	2843
		せん断	348	1725
ヘッドユニット	-	引張	0	2843
		せん断	399	1725
流量計ユニット	-※	引張	0	2843
		せん断	255	1725

※：フィルタユニット，電気ヒータユニット，流量計ユニットは，2つ（2系統）で1つのユニットとなっている。

(2) 管の構造強度及び耐震性

(2) - 1 鋼管及び鋼板ダクト

(a) 構造強度

鋼管及び鋼板ダクトについては、「設計・建設規格(2005年版)」を準用し、クラス4配管の必要最小厚さに対して十分な厚さを有していることを確認しており、原子炉格納容器ガス管理設備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(表-7参照)。

表-7 配管強度確認結果

形式	公称肉厚 [mm]	設計・建設規格上の 必要最小厚さ[mm]
円形	2.0	0.5
	2.8	0.5
	3.4	0.5
	3.5	0.5
	3.8	0.5
	4.0	0.6
	5.0	0.5
	6.5	0.6
角形	5.0	0.8

(b) 耐震性

a. 評価条件

配管は、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地震により管軸方向は動かないものとし、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。水平方向震度は、0.21Gとする。

b. 評価方法

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

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

S_s :地震による応力

α :水平方向震度

S_w :自重による応力

ここで, $S_w = \frac{wgL^2}{8Z}$

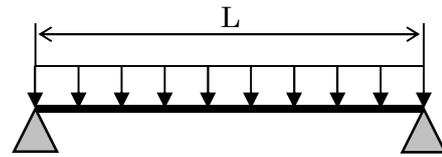
S_w : 自重による応力

L : サポート支持間隔

Z : 断面係数

w : 等分布質量

g : 重力加速度



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

また, 崩壊制限に「JEAC4601-2008」を準用し, 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(2)式で表すことができる。

$$S = S_p + S_w + S_s = S_p + S_w + \alpha S_w = S_p + (1 + \alpha) S_w \leq S_y \quad (2)$$

S_p : 内圧による応力

S_w : 自重による応力

S_s : 地震による応力

S : 内圧, 自重, 地震による応力

α : 水平方向震度

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

c. 評価結果

両端単純支持はりで自重による応力 S_w が 24 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と評価した。

- ・ 内圧による応力 $S_p=18$ MPa, 許容応力を SUS304TP(100°C)の $S_y=171$ MPa とし, (2)式に代入すると以下となる。

$$S = S_p + (1 + \alpha) S_w = 48 \text{ MPa} \leq S_y = 171 \text{ MPa} \quad (3)$$

- ・ 継手や曲管, 分岐管, レジューサがある場合には, 応力係数も存在する。これらの応力係数を求めた結果, より安全側の評価となるように応力係数を 5 とし, 以下となる。

$$S = S_p + (1 + \alpha) S_w \times 5 = 164 \text{ MPa} \leq S_y = 171 \text{ MPa} \quad (4)$$

(2) - 2 ダクトホース

(a) 構造強度

ダクトホースは設計・建設規格に記載がない機器であるが、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。

(b) 耐震性

ダクトホースは、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。

(2) - 3 フレキシブルホース

(a) 構造強度

フレキシブルホースは設計・建設規格に記載がない機器であるが、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。

(b) 耐震性

フレキシブルホースは、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。

原子炉格納容器ガス管理設備からの放出放射エネルギーについて

1. 概要

原子炉格納容器ガス管理設備は、原子炉格納容器内のガスを抽出し、放射性物質を除去してから放出することで、環境へ放出される放射エネルギーを低減させる設備である。ここでは、当該設備を用いた場合に放出される放射性物質の量及び濃度ならびに当該設備全体の効率^{※1}を評価^{※2}した。

その結果、1～3号機合計で、放出する放射性物質の量は抽出した放射性物質の量の3千分の一以下に低減する能力を有すると評価した。

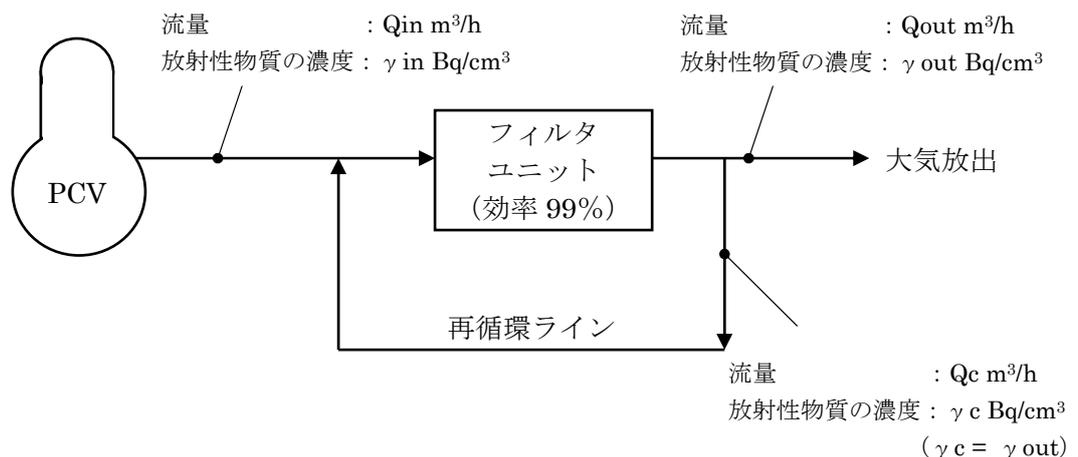
※1 フィルタユニット単体の除去効率に抽出したガスの再循環による放射性物質の除去を考慮したシステム全体としての放射性物質の除去効率

※2 検出されている粒子状放射性物質 Cs-134 及び Cs-137 について評価

2. 評価条件

(1) 評価モデル

原子炉格納容器ガス管理設備が運転し平衡状態に達すると、図—1 に示すモデルとなる。なお、原子炉格納容器より抽出したガスは、除湿機により、ガス中に含まれる水蒸気を凝縮・分離させるが、ここでは保守的に、放射性物質は水蒸気側に移行せず全量ガス中に残留しているものとした。



図—1 評価モデル

図—1 より、フィルタ前後の放射エネルギーの釣り合いは、下式となる。

$$(Q_{in} \cdot \gamma_{in} + Q_c \cdot \gamma_c) \cdot \frac{100 - 99}{100} = Q_{out} \cdot \gamma_{out} + Q_c \cdot \gamma_c \quad \dots \dots \dots \text{式 (1)}$$

図一 1 より $\gamma_c = \gamma_{out}$ とし、上式を大気放出側の放射性物質の濃度 γ_{out} についてまとめると、下記で示される。

$$\gamma_{out} = \frac{1}{100 \cdot Q_{out} + 99 \cdot Q_c} \cdot Q_{in} \cdot \gamma_{in} \quad \dots \dots \dots \text{式 (2)}$$

(2) 評価条件

評価条件を表一 1 に示す。抽出側のガス流量 Q_{in} は、流量が大きいほど、評価上厳しくなる。また、原子炉格納容器内の雰囲気温度に比例して、原子炉格納容器内の水蒸気量も増加することから、抽出側のガス流量 Q_{in} は、抽出ガス温度が高いほど増加する。したがって、流量 Q_{in} は、運転範囲を考慮し高温の 95℃とした。原子炉格納容器内ガスの放射性物質の濃度 γ_{in} については、高濃度の 100 Bq/cm³とした。放出側の流量 Q_{out} については、放出時のガス温度が低いほど気体の密度が高くなると、放出時の放射性物質の濃度も高くなることから、保守的な条件として、放出ガス温度は冬場に 5℃に低下するとした。

3. 評価結果

上述の評価条件に基づく評価結果を表一 2 に示す。原子炉格納容器ガス管理設備は、1～3号機合計で、抽出する放射能量 3.83×10¹⁰ Bq/h を、1.2×10⁷ Bq/h（3千分の一以下）に低減して放出すると評価した。放射性物質の濃度は、原子炉格納容器ガス管理設備全体の効率から、1号機で 1/200 程度、2・3号機で 1/750 程度になるものと評価した。この 1号機と 2・3号機の違いは、排気ファンの仕様の違いによるものであり、排気ファンの容量に比例して再循環量（流量 Q_c ）が増加することから、放射性物質が除去され放射性物質の濃度が低減した再循環ガスによる抽出ガス（流量 Q_{in} ）の希釈割合が大きくなるためである。

4. 参考（1～3号機原子炉格納容器ガス管理設備の運転実績）

1号機原子炉格納容器ガス管理設備の運転実績（平成 24 年 1 月 12 日）は、放出放射能量 4.0×10² Bq/h、当該設備全体の効率 99.998%以上であり、表一 2 の評価結果を十分に上回っている。（フィルタ入口側濃度 約 1.1 Bq/cm³^{※3}、フィルタ出口側濃度 約 1.3×10⁻⁵ Bq/cm³未満^{※3}）

2号機原子炉格納容器ガス管理設備の運転実績（平成 23 年 11 月 14 日）は、放出放射能量 1.2×10³ Bq/h、当該設備全体の効率 99.995%であり、表一 2 の評価結果を十分に上回っている。（フィルタ入口側濃度 約 1.2 Bq/cm³^{※3}、フィルタ出口側濃度 約 5.0×10⁻⁵ Bq/cm³^{※3}）

3号機原子炉格納容器ガス管理設備については、試運転中の実績（平成 24 年 2 月 24 日）として、放出放射能量 3.7×10³ Bq/h、当該設備全体の効率 99.98%以下であり、

表一2の評価結果を上回るものとする。(フィルタ入口側濃度 約 6.7×10^{-1} Bq/cm³ 未満^{*3}, フィルタ出口側濃度 約 1.2×10^{-4} Bq/cm^{3*})

※3 Cs-134 と Cs-137 の合計値。検出限界未満の場合は、検出限界値として考慮。なお、フィルタ入口側についてはバイアル瓶によるガス採取であり、フィルタ出口側については粒子フィルタ及びチャコールフィルタによる採取。

表一1 評価条件

	1号機	2号機	3号機	備考
流量 Q _{in}	123 m ³ /h (15m ³ /h (Normal))	130 m ³ /h (16 m ³ /h (Normal))	同左	抽出ガス温度 95℃条件
放射性物質の濃度 γ _{in}	100 Bq/cm ³	100 Bq/cm ³	同左	
流量 Q _{out}	15.3 m ³ /h (15 m ³ /h (Normal))	16.4 m ³ /h (16 m ³ /h (Normal))	同左	運用開始時における想定流量 (大気放出ガス温度は 5℃で換算)
流量 Q _c	234.7 m ³ /h	983.6 m ³ /h	同左	排気ファン流量による (1号機 250m ³ /h, 2, 3号機 1,000m ³ /h)
(参考) 抽出する放射性物質の量 Q _{in} × γ _{in}	1.23×10^{10} Bq/h	1.30×10^{10} Bq/h	同左	1～3号機合計 3.83×10^{10} Bq/h

表一2 評価結果

	1号機	2号機	3号機	備考
原子炉格納容器ガス管理設備から放出される放射性物質の濃度 γ _{out}	0.497 Bq/cm ³	0.132 Bq/cm ³	同左	—
原子炉格納容器ガス管理設備から放出される放射性物質の量 Q _{out} × γ _{out}	7.6×10^6 Bq/h	2.2×10^6 Bq/h	同左	1～3号機合計 1.2×10^7 Bq/h
原子炉格納容器ガス管理設備全体の効率 $\left\{ \left(1 - \frac{\gamma_{out}}{\gamma_{in}} \right) \cdot 100 \right\}$	99.503 %	99.868 %	同左	—

原子炉格納容器ガス管理設備に係る確認事項

今回（運総発官 26 第 198 号）の申請範囲における，原子炉格納容器ガス管理設備の構造強度に関する確認事項を以下に示す。

表－1 確認事項（原子炉格納容器ガス管理設備主配管（鋼管））

確認事項	確認項目	確認内容	判定
構造強度・耐震性	材料確認	実施計画に記載した主な材料について記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載した外径，厚さについて記録を確認する。	実施計画のとおりであること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	配管の据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	確認圧力で保持した後，その圧力に耐えていることを確認する。 耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいの有無を確認する。	圧力に耐え，かつ構造物の変形等がないこと。 また，耐圧部から漏えいがないこと。
機能	通気確認	通常運転状態にて連続運転を行い，実施計画に記載した箇所について通気されていることを確認する。	通常運転状態にて，通気されていること。

<構造強度・耐震性に係る準拠規格及び基準>

- ・ JEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規程
- ・ JEAG4601 原子力発電所耐震設計指針
- ・ JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格

表-2 確認事項（原子炉格納容器ガス管理設備主配管（鋼管））

確認事項	確認項目	確認内容	判定
溶接検査	材料検査	材料が、溶接規格に適合するものであり、溶接施工法の母材の区分に適合することを確認する。	材料が、溶接規格に適合するものであり、溶接施工法の母材の区分に適合するものであること。
	開先検査	開先形状が溶接規格に適合するものであることを確認する。	開先形状が溶接規格に適合するものであること。
	溶接作業検査	あらかじめ確認された溶接施工法又は実績のある溶接施工法又は管理されたプロセスを有する溶接施工法であることを確認する。あらかじめ確認された溶接士により溶接が行われていることを確認する。	あらかじめ確認された溶接施工法および溶接士により溶接施工をしていること。
	非破壊試験	溶接部（最終層）について非破壊検査（浸透探傷検査）を行い、その試験方法及び結果が溶接規格に適合するものであることを確認する。	溶接部（最終層）について非破壊検査（浸透探傷検査）を行い、その試験方法及び結果が溶接規格に適合するものであること。
	耐圧・外観検査	規定圧力で保持した後、規定圧力に耐えかつ漏えいが無いことを確認する。また、目視により溶接部の仕上がり状況を確認し、溶接規格に適合していることを確認する。	規定圧力で保持した後、規定圧力に耐えかつ漏えいが無いことを確認すること。また、溶接部に外観上、傷・へこみ・変形等の異常がなく、溶接規格に適合するものであること。

<溶接検査に係る準拠規格及び基準>

- ・ JSME S NB-1 発電用原子力設備規格 溶接規格
- ・ JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格
- ・ 実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則第17条15号等

以上

2.44 放射性固体廃棄物等の管理施設及び関連施設（増設雑固体廃棄物焼却設備）

2.44.1 基本設計

2.44.1.1 設置の目的

増設雑固体廃棄物焼却設備は、放射性固体廃棄物等（その他雑固体廃棄物、使用済樹脂、瓦礫類、伐採木、使用済保護衣等）で処理可能なものについて焼却処理することを目的とする。

2.44.1.2 要求される機能

放射性固体廃棄物等の処理にあたっては、その廃棄物の性状に応じて適切に処理し、遮へい等の適切な管理を行うことにより、敷地周辺の線量を達成できる限り低減すること。

2.44.1.3 設計方針

(1) 放射性固体廃棄物等の処理

増設雑固体廃棄物焼却設備は、放射性固体廃棄物等の処理過程において放射性物質の散逸等の防止を考慮した設計とする。具体的には、焼却処理により発生する焼却灰は専用の密閉できる保管容器に詰めて密閉し、固体廃棄物貯蔵庫などの遮へい機能を有する設備に貯蔵保管する。処理過程においては、系統を負圧にし、放射性物質が散逸しない設計とする。

(2) 放射性気体廃棄物の考慮

増設雑固体廃棄物焼却設備は、敷地周辺の線量を合理的に達成できる限り低減できるように、焼却処理に伴い発生する排ガス及び汚染区域の排気を、フィルタを通し放射性物質を十分低い濃度になるまで除去した後、本建屋専用の排気筒から放出する設計としており、放出された粒子状の放射性物質の濃度は、試料放射能測定装置により、法令に定める濃度限度を下回ることを確認する。

なお、モニタリング設備にて排気中の放射性物質の濃度を監視しており、定められた値を上回った場合は、焼却運転を自動停止させる設計とする。

(3) 構造強度

「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格」（以下、「設計・建設規格」という。）に従うことを基本方針とし、必要に応じて JIS や製品規格に従った設計とする。

(4) 耐震性

増設雑固体廃棄物焼却設備の耐震設計は、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」（平成 18 年 9 月 19 日）に従い設計するものとする。

(5) 火災防護

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

(6) 被ばく低減

増設雑固体廃棄物焼却設備は放射線業務従事者等の立入場所における線量を合理的に達成できる限り低減できるように、遮へい、機器の配置、放射性物質の漏えい防止、換気等の所要の放射線防護上の措置を講じた設計とする。

また、敷地周辺の線量を達成できる限り低減するため、遮へい等の所要の放射線防護上の措置を講じた設計とする。

2.44.1.4 供用期間中に確認する項目

増設雑固体廃棄物焼却設備は、焼却設備のフィルタとモニタリング設備の健全性を維持することにより排気筒から放出する排ガスについて、放射性物質の濃度を環境に放出可能な値まで低減できていること。

2.44.1.5 主要な機器

増設雑固体廃棄物焼却設備は、新たに設置する建屋内に設置され、焼却設備、換気空調設備、モニタリング設備等で構成され、放射性固体廃棄物等で処理可能なものを焼却する。

(1) 焼却設備

焼却設備はロータリーキルン・ストーカ・二次燃焼器（以下、焼却機器という。）、排ガス冷却器、バグフィルタ、プレフィルタ、一次排ガスフィルタ、二次排ガスフィルタ、排ガスブロワ、排ガス補助ブロワ、排気筒で構成される。

焼却機器は、ロータリーキルンを回転させることで攪拌させ、かつストーカ上で時間をかけて焼却処理を行い、二次燃焼器で排ガスを 800℃以上で2秒以上の滞留で完全燃焼させ、ダイオキシン類を完全に分解し安定した性状の排ガスを排ガス冷却器へ供給する。

排ガス冷却器では、水噴霧により排ガスを急冷しダイオキシン類の再合成を防止するとともに、高温に達した排ガスをフィルタ類で処理できる温度まで冷却する。

バグフィルタはケーシング内にろ布が装着され、排ガスを通すことによりろ布表面で集塵を行う。ダストが堆積した場合、逆洗により定期的にダストを払い落とし、回収を行う。なお、当該設備の除染係数（以下、DFとする。）は10以上を確保する。

一次排ガスフィルタ、二次排ガスフィルタは粒径 0.3 μm に対して 99.97%の粒子捕集率があるHEPAフィルタで構成され、バグフィルタで集塵しきれなかった排ガス中の微粒子を回収する。当該設備ではHEPAフィルタを一次排ガスフィルタ、二次排ガスフィルタの2段直列に配置することでDF=10⁵以上を確保する。なお、HEPAフィルタの目詰まり

抑制のため、その前段にプレフィルタを設ける。

排ガスブロワは、一連の系統を吸引しフィルタにて処理された排ガスを排気筒へ送り出す。また、系統を負圧にし、放射性物質の散逸等を防止する。

これらの焼却設備のDFは系統全体で 10^6 以上である。

なお、焼却処理にて発生する焼却灰は専用の密閉できる保管容器に保管する。

(2) 増設雑固体廃棄物焼却設備建屋

増設雑固体廃棄物焼却設備建屋（以下、増設焼却炉建屋という。）は、鉄筋コンクリート造（一部鉄骨鉄筋コンクリート造および一部鉄骨造）の地上5階で、平面が約80m（東西方向）×約51m（南北方向）の建物で、地上高さは約39mである。

(3) 換気空調設備

換気空調設備は、送風機、排風機、排気フィルタ等で構成する。

送風機、排風機は、それぞれ50%容量のもの3台で構成する。建屋内に供給された空気は、フィルタを通した後、排風機により排気筒から大気に放出する。

(4) モニタリング設備

排気筒において排ガス中の放射性物質濃度をガス放射線モニタ及びダスト放射線モニタにより監視する。

(5) 遮へい壁

焼却設備、雑固体廃棄物、焼却灰からの放射線に対し、放射線業務従事者等を保護する目的として、主に機器まわりのコンクリート壁・天井による遮へいを行う。

また、敷地周辺の線量を達成できる限り低減するために、雑固体廃棄物及び焼却灰からの放射線について、建屋のコンクリート壁・天井により遮へいを行う。

2.44.1.6 自然災害対策等

(1) 津波

増設焼却炉建屋は、アウターライズ津波が到達しないと考えられるT.P.約32mの場所に設置する。このため、津波の影響は受けない。

(2) 火災

増設焼却炉建屋内では、可燃性の雑固体廃棄物を一時保管し、燃料を使用するため、火災報知設備、消火栓設備、消火設備、消火器等を消防法及び関係法令に基づいて適切に設置し、火災の早期検知、消火活動の円滑化を図る。

(3) その他の自然災害（台風、竜巻、積雪等）

台風・竜巻など暴風時に係る建屋の設計は、建築基準法及び関係法令に基づく風圧力に対して耐えられるように設計する。なお、その風圧力は、その地方における観測記録に基づくものとする。豪雨に対しては、構造設計上考慮することはないが、屋根面の排水等、適切な排水を行うものとする。

その他自然現象としては、積雪時に係る建屋の設計は、建築基準法及び関係法令、福島県建築基準法施行細則第 19 条に基づく積雪荷重に耐えられるように設計する。なお、その積雪荷重は、その地方における垂直積雪量を考慮したものとする。

2.44.1.7 構造強度及び耐震性

(1) 強度評価の基本方針

増設雑固体廃棄物焼却設備を構成する機器は、「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令」において、廃棄物処理設備に該当することから、クラス 3 に位置付けられる機器を含む。「設計・建設規格」のクラス 3 に該当するものについては、同規格に準拠した設計・製作・検査を行う。

(2) 耐震性評価の基本方針

増設雑固体廃棄物焼却設備の耐震設計は、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」（平成 18 年 9 月 19 日）に従い設計するものとする。また、耐震性を評価するにあたっては、「JEA4601 原子力発電所耐震設計技術指針」を準用する。

2.44.1.8 機器の故障への対応

2.44.1.8.1 機器の単一故障

(1) 負圧維持機能を有する動的機器の故障

増設雑固体廃棄物焼却設備の負圧維持機能を有する動的機器に関しては予備機を設置する。負圧維持機能を有する排ガスブロワと排ガス補助ブロワは同時に運転することはないことから、いずれか一方が故障した場合には、もう一方の運転継続により負圧維持が可能となる。

(2) モニタリング設備の故障

ガス放射線モニタ及びダスト放射線モニタは、2チャンネルを有し、1チャンネル故障時でも他の 1チャンネルで排気筒における放射性物質濃度を監視可能とする。

(3) その他の主要な機器の故障

その他の主要な機器が故障した場合、速やかに焼却運転を停止させる。

(4) 電源喪失

増設雑固体廃棄物焼却設備の電源は2系統より受電する設計とし、1系統からの受電が停止した場合でも全ての負荷に給電できる構成とする。

2.44.1.8.2 複数の設備が同時に機能喪失した場合

増設雑固体廃棄物焼却設備の複数の設備が同時に機能喪失した場合、速やかに焼却処理を停止する。外部電源喪失した場合、廃棄物の供給は停止するため、焼却は自然に停止に向かう。

2.44.2 基本仕様

2.44.2.1 主要仕様

(1) 焼却設備

a. ロータリーキルン・ストーカ・二次燃焼器

名 称			ロータリーキルン・ストーカ ・二次燃焼器	
容 量			kcal/h/基	約 13400000 (廃棄物 3960kg/h 相当)
ロータリーキルン	主要寸法	長 さ	mm	8000
		胴 外 径	mm	3750
		外 殻 厚 さ	mm	25
	材料	外 殻	—	SS400
ストーカ	主要寸法	た て	mm	9262
		横	mm	3158
		高 さ	mm	7304
		外 殻 厚 さ	mm	9
	材料	外 殻	—	SS400
二次燃焼器	主要寸法	た て	mm	3718
		横	mm	3718
		高 さ	mm	12219
		外 殻 厚 さ	mm	9
	材料	外 殻	—	SS400
基 数			基	1

b. 排ガス冷却器

名 称			排ガス冷却器	
主要寸法	高 さ	mm	26023	
	胴 外 径	mm	4468	
	外 殻 厚 さ	mm	9	
材料	外 殻	—	SS400	
基 数			基	1

c. バグフィルタ

名 称		バグフィルタ	
容 量		Nm ³ /h/基	62000
主要寸法	た て	mm	10720
	横	mm	3060
	高 さ	mm	12000
材料	ケーシング	—	SS400
基 数		基	1

d. プレフィルタ

名 称		プレフィルタ	
容 量		Nm ³ /h/基	31000
主要寸法	胴 外 径	mm	2924
	長 さ	mm	4600
材料	ケーシング	—	SS400
基 数		基	2

e. 一次排ガスフィルタ

名 称		一次排ガスフィルタ	
容 量		Nm ³ /h/基	31000
主要寸法	胴 外 径	mm	2924
	長 さ	mm	6150
材料	ケーシング	—	SS400
基 数		基	2

f. 二次排ガスフィルタ

名 称		二次排ガスフィルタ	
容 量		Nm ³ /h/基	31000
主要寸法	胴 外 径	mm	2924
	長 さ	mm	6150
材料	ケーシング	—	SS400
基 数		基	2

g. 排気筒

名 称			排気筒
主要 寸法	洞 外 径	mm	2518
	高 さ	mm	16000
材 料	洞 板	—	SUS304
基 数		基	1

h. 煙道

名 称			煙道
主要 寸法	外 径 / 厚 さ	mm	1524.0 / 12.0
			1117.6 / 12.0
材 料	本 体	—	SS400

i. 排ガスブロワ

容 量 62000Nm³/h/基
基 数 1

j. 排ガス補助ブロワ

容 量 6800Nm³/h/基
基 数 1

(2) 廃液処理設備

a. 建屋ドレンサンプタンク

名 称		建屋ドレンサンプタンク	
容 量	m ³ /基	4.5	
最高使用圧力	MPa	静水頭	
最高使用温度	℃	66	
主 要 寸 法	胴 内 径	mm	2000
	胴 板 厚 さ	mm	6
	鏡 板 厚 さ	mm	6
	平 板 厚 さ	mm	12
	高 さ	mm	1944
材 料	胴 板	—	SUS304
	鏡 板	—	SUS304
基 数	基	1	
制 御 方 法	—	液位高による警報発報回路	

b. サンプルタンク

名 称		サンプルタンク	
容 量	m ³ /基	4.5	
最高使用圧力	MPa	静水頭	
最高使用温度	℃	66	
主 要 寸 法	胴 内 径	mm	2000
	胴 板 厚 さ	mm	6
	鏡 板 厚 さ	mm	6
	平 板 厚 さ	mm	12
	高 さ	mm	1944
材 料	胴 板	—	SUS304
	鏡 板	—	SUS304
基 数	基	1	
制 御 方 法	—	液位高による受入停止回路 液位高高による警報発報回路	

c. 建屋ドレンポンプ

容 量	2.4m ³ /h 基
基 数	1

d. サンプルポンプ

容 量	2.4m ³ /h/基
基 数	1

e. 主配管

名 称	仕 様	
建屋ドレンポンプから サンプルタンクまで (鋼管)	外径／厚さ	48.6mm／3.7mm 27.2mm／2.9mm
	材質	SUS304TP
	最高使用圧力	0.78MPa
	最高使用温度	66℃
サンプルポンプから 移送容器接続口まで (鋼管)	外径／厚さ	48.6mm／3.7mm 27.2mm／2.9mm
	材質	SUS304TP
	最高使用圧力	0.78MPa
	最高使用温度	66℃

f. 施設外への漏えいの拡大を防止するための堰その他の設備

名 称		ドレンタンク室 (F-1)
主要寸法	堰の高さ	30cm 以上
	床・壁の塗装	床面及び床面から堰の高さ以上までの壁面
材 料	堰	鉄筋コンクリート
	床・壁の塗装	エポキシ樹脂
取 付 箇 所		増設焼却炉建屋 地上 1 階

名 称		増設焼却炉建屋 1 階の施設外との境界壁面 (F-2) 及びこれに囲まれた床面 (F-3)
主要寸法	堰の高さ	—
	床・壁の塗装	床面及び床面から 5cm 以上までの壁面
材 料	堰	—
	床・壁の塗装	エポキシ樹脂
取 付 箇 所		増設焼却炉建屋 地上 1 階

名 称	搬出入室トラックヤード出入口	(F-4)
	送風機室前室出入口	(F-5)
	焼却炉室通路出入口	(F-6)
	出入管理エリア出入口	(F-7)
主要寸法	堰の高さ	5cm 以上
	床・壁の塗装	床面及び床面から堰の高さ以上までの壁面
材 料	堰	鉄筋コンクリート
	床・壁の塗装	エポキシ樹脂
取 付 箇 所	増設焼却炉建屋 地上 1 階	

名 称	増設焼却炉建屋 4 階の施設外との境界壁面 (F-8)	
	及びこれに囲まれた床面	
主要寸法	堰の高さ	—
	床・壁の塗装	床面及び床面から 5cm 以上までの壁面
材 料	堰	—
	床・壁の塗装	エポキシ樹脂
取 付 箇 所	増設焼却炉建屋 地上 4 階	

名 称	排気室出入口	(F-9)
	排気室出入口	(F-10)
主要寸法	堰の高さ	5cm 以上
	床・壁の塗装	床面及び床面から堰の高さ以上までの壁面
材 料	堰	鉄筋コンクリート
	床・壁の塗装	エポキシ樹脂
取 付 箇 所	増設焼却炉建屋 地上 4 階	

g. 漏えいの検出装置及び自動警報装置

	建屋ドレンサンプタンク, サンプルタンク (G-1)	
名 称	漏えい検出装置	警報装置
検出器の種類	電極式	—
動作範囲	ドレンタンク室集水ます底面 +20mm ～ドレンタンク室 1 階床面	ドレンタンク室集水ます底面 +20mm ～ドレンタンク室 1 階床面
取付箇所	ドレンタンク室	制御室表示

(3) 換気空調設備

a. 送風機

容 量 52500m³/h/基
基 数 3

b. 排風機

容 量 105000m³/h/基
基 数 3

c. 排気フィルタ

名 称		排気フィルタ	
容 量		m ³ /h/基	70000
主 要 寸 法	た て	mm	3070
	横	mm	4890
	高 さ	mm	3030
基 数		基	4

(4) モニタリング設備

名 称	検出器の種類	計測範囲	取付箇所
ダスト放射線モニタ	シンチレーション	10 ⁻¹ ~10 ⁵ s ⁻¹	増設雑固体廃棄物焼却設備排気筒出口 合計 2 チャンネル (監視・記録は制御室)
ガス放射線モニタ	シンチレーション	10 ⁻¹ ~10 ⁵ s ⁻¹	増設雑固体廃棄物焼却設備排気筒出口 合計 2 チャンネル (監視・記録は制御室)

(5) 補助遮へい

種類		主要寸法 (mm)	冷却方法	材料	
補助遮へい	増設焼却炉建屋	送風機室	南壁 (1階)	500	自然冷却 普通コンクリート (密度 2.15g/cm ³ 以上)
			南壁 (2階)	500	
			南壁 (3階)	500	
			天井 (3階)	300	
		送風機室前室	北壁 (1階)	500	
			東壁 (1階)	500	
		搬出入室	西壁 (1階)	500	
			西壁 (2階)	500	
			西壁 (3階)	500	
		搬出入室 トラックヤード	西壁 (1階)	500	
			南壁 (1階)	500	
			西壁 (2階)	500	
			南壁 (2階)	500	
			西壁 (3階)	500	
			南壁 (3階)	500	
		灰充填室通路	南壁 (1階)	500	

種類			主要寸法 (mm)	冷却方法	材料	
補助遮へい	増設焼却炉建屋	焼却炉室	東壁 (2階)	650	自然冷却	普通コンクリート (密度 2.15g/cm ³ 以上)
			南壁 (2階)	500		
			東壁 (3階)	500		
			南壁 (3階)	500		
			東壁 (4階)	350		
			南壁 (4階)	500		
			西壁 (5階)	300		
			南壁 (5階)	300		
			天井 (5階)	200		
		焼却炉室通路	南壁 (1階)	500		
		廃棄物貯留ピット	北壁 (1階)	500		
			東壁 (1階)	650		
			北壁 (2階)	500		
			東壁 (2階)	650		
			東壁 (3階)	500		
			東壁 (4階)	350		
		灰ホッパ室	南壁 (2階)	500		
			南壁 (3階)	500		
		給気フィルタ室	天井 (2階)	300		

種類		主要寸法 (mm)	冷却方法	材料		
補助 遮へい	増設 焼却 炉建屋	廃棄物受入室	北壁 (3階)	350	自然冷却	普通コンクリート (密度 2.15g/cm ³ 以上)
			西壁 (3階)	500		
			東壁 (3階)	500		
			北壁 (4階)	350		
			東壁 (4階)	350		
		クレーン操作室	北壁 (3階)	200		
			東壁 (3階)	200		
			南壁 (3階)	200		
			天井 (3階)	200		
		排気室	北壁 (4階)	350		
			西壁 (4階)	350		
			天井 (4階)	300		
		廃油タンク室	西壁 (4階)	350		
			南壁 (4階)	500		
			天井 (4階)	300		
		排水タンク室	南壁 (4階)	500		
			天井 (4階)	300		
		冷却水タンク室	南壁 (4階)	500		
			天井 (4階)	300		

種類			主要寸法 (mm)	冷却方法	材料	
補助遮へい	増設焼却炉建屋	排ガスモニタ室	北壁 (4階)	350	自然冷却	普通コンクリート (密度 2.15g/cm ³ 以上)
		排ガス処理室	北壁 (5階)	300		
			西壁 (5階)	300		
			天井 (5階)	200		
		クレーン保守エリア	北壁 (5階)	300		
			東壁 (5階)	300		
			天井 (5階)	300		
		廃棄物供給室	東壁 (5階)	300		
			天井 (5階)	300		
		廃棄物供給室前室	南壁 (5階)	300		
			天井 (5階)	300		

2.44.3 添付資料

- 添付資料-1 焼却設備概略系統図
- 添付資料-2 増設雑固体廃棄物焼却設備の全体概要図
- 添付資料-3 増設焼却炉建屋平面図
- 添付資料-4 換気空調設備概略系統図
- 添付資料-5 排気中の放射性物質濃度に係る説明書
- 添付資料-6 設定根拠に関する説明書
- 添付資料-7 廃棄設備に係る機器の配置を明示した図面
- 添付資料-8 増設焼却炉建屋の構造強度に関する検討結果
- 添付資料-9 安全避難通路に関する説明書及び安全避難通路を明示した図面
- 添付資料-10 非常用照明に関する説明書及び取付箇所を明示した図面
- 添付資料-11 火災防護に関する説明書並びに消火設備の取付箇所を明示した図面
- 添付資料-12 生体遮へい装置の放射線の遮へい及び熱除去についての計算書
- 添付資料-13 補助遮へいに関する構造図
- 添付資料-14 放射性物質の散逸防止に関する説明書
- 添付資料-15 増設雑固体廃棄物焼却設備の設置について
- 添付資料-16 増設雑固体廃棄物焼却設備に係る確認事項
- 添付資料-17 増設雑固体廃棄物焼却設備の耐震性に関する説明書
- 添付資料-18 増設雑固体廃棄物焼却設備の強度に関する説明書
- 添付資料-19 増設雑固体廃棄物焼却設備に関する構造図
- 添付資料-20 流体状の放射性廃棄物の施設外への漏えい防止能力についての計算書
- 添付資料-21 流体状の放射性廃棄物の漏えいの検出装置及び自動警報装置の構成に関する説明書

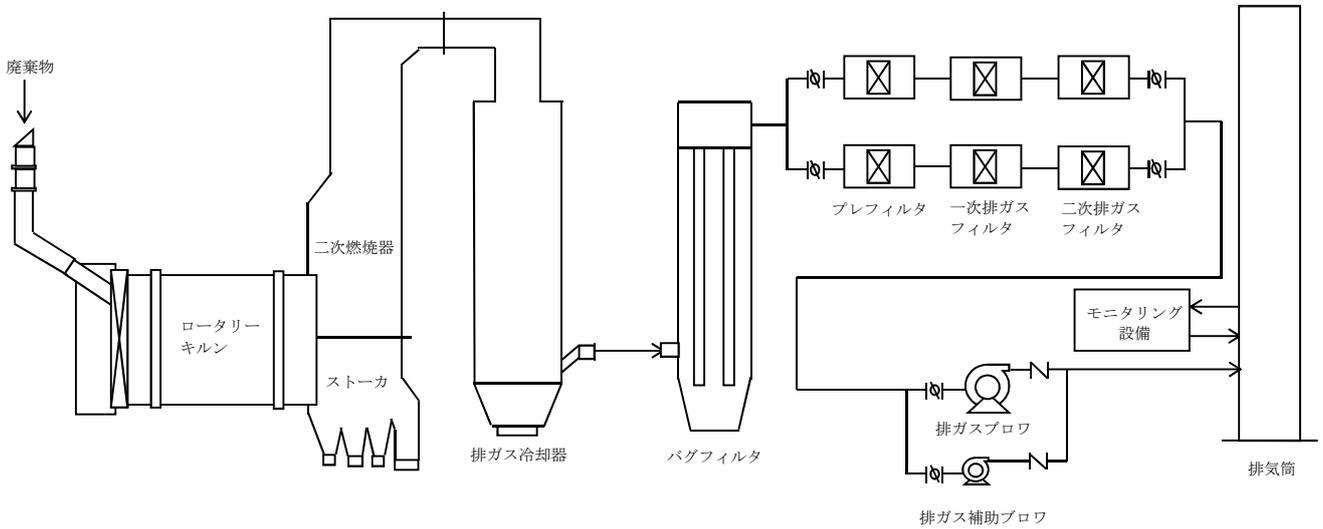


図-1 焼却設備概略系統図

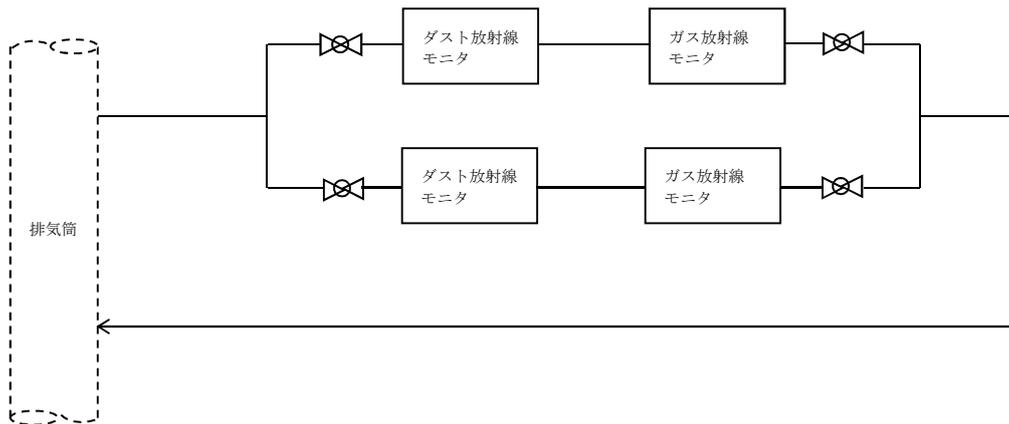


図-2 モニタリング設備概略系統図

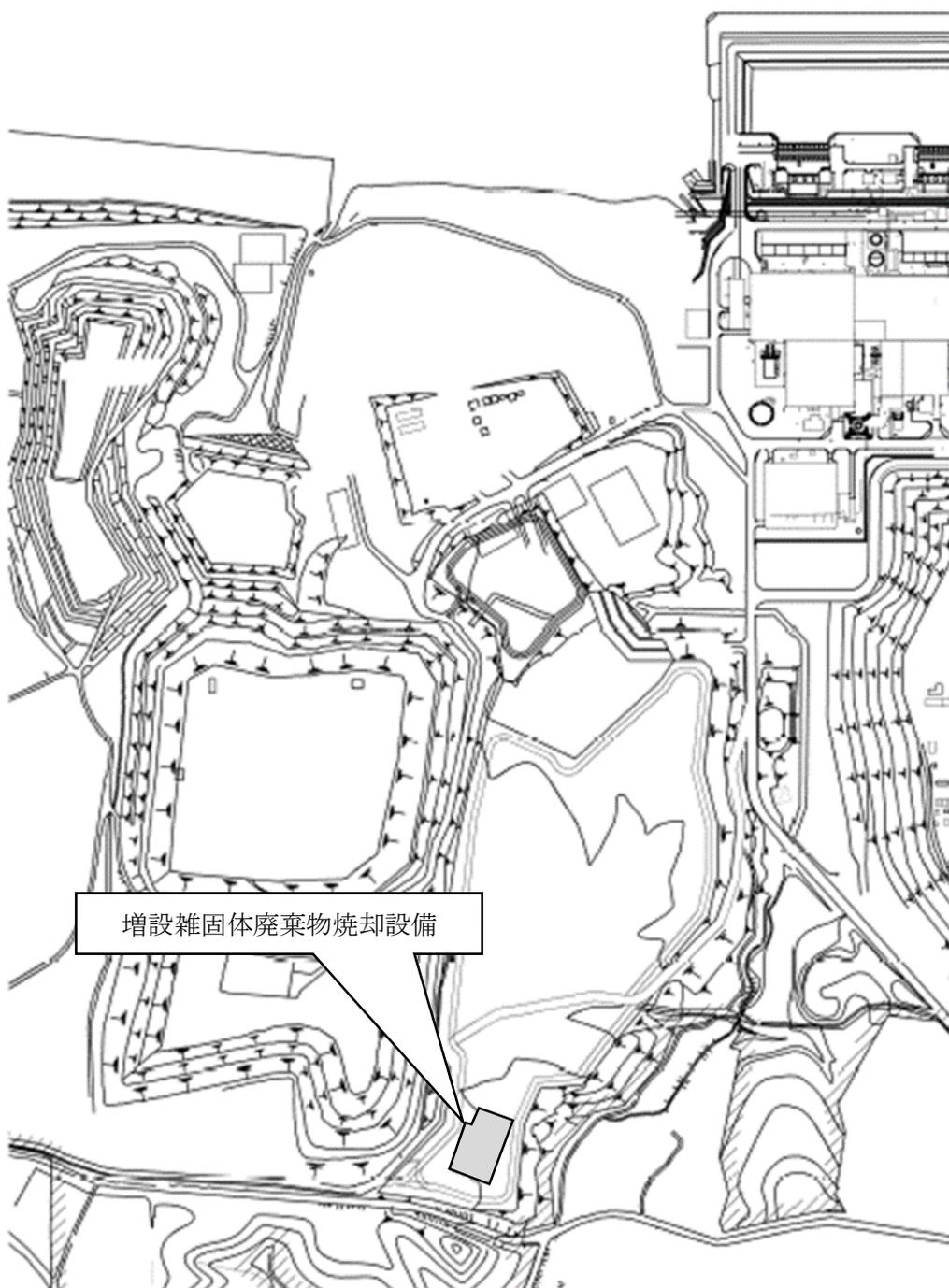


図-1 増設雑固体廃棄物焼却設備の全体概要図

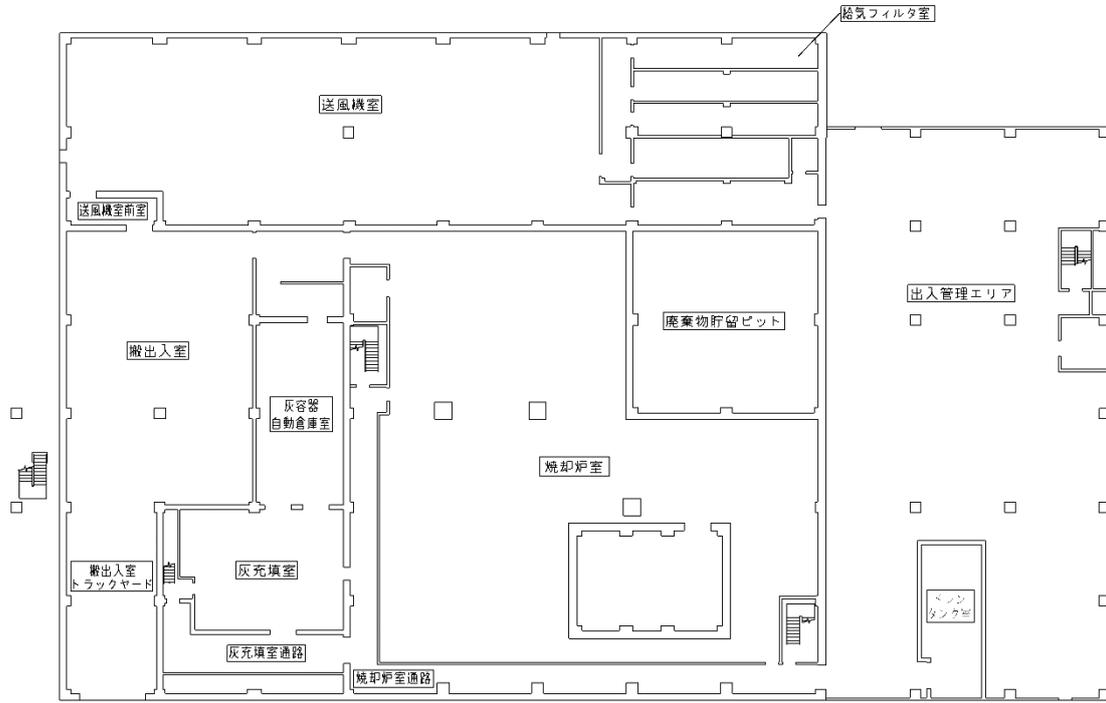


図-1 増設焼却炉建屋平面図 (1/6)

増設焼却炉建屋 1階

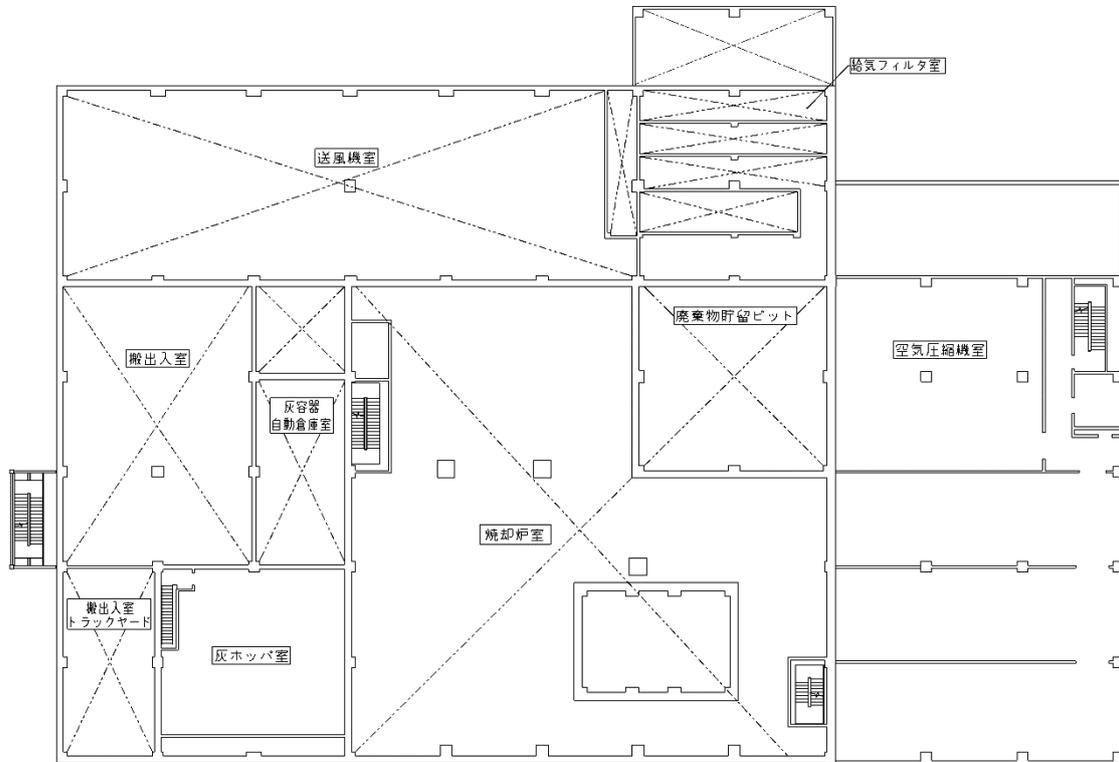


図-1 増設焼却炉建屋平面図 (2/6)

増設焼却炉建屋 2階

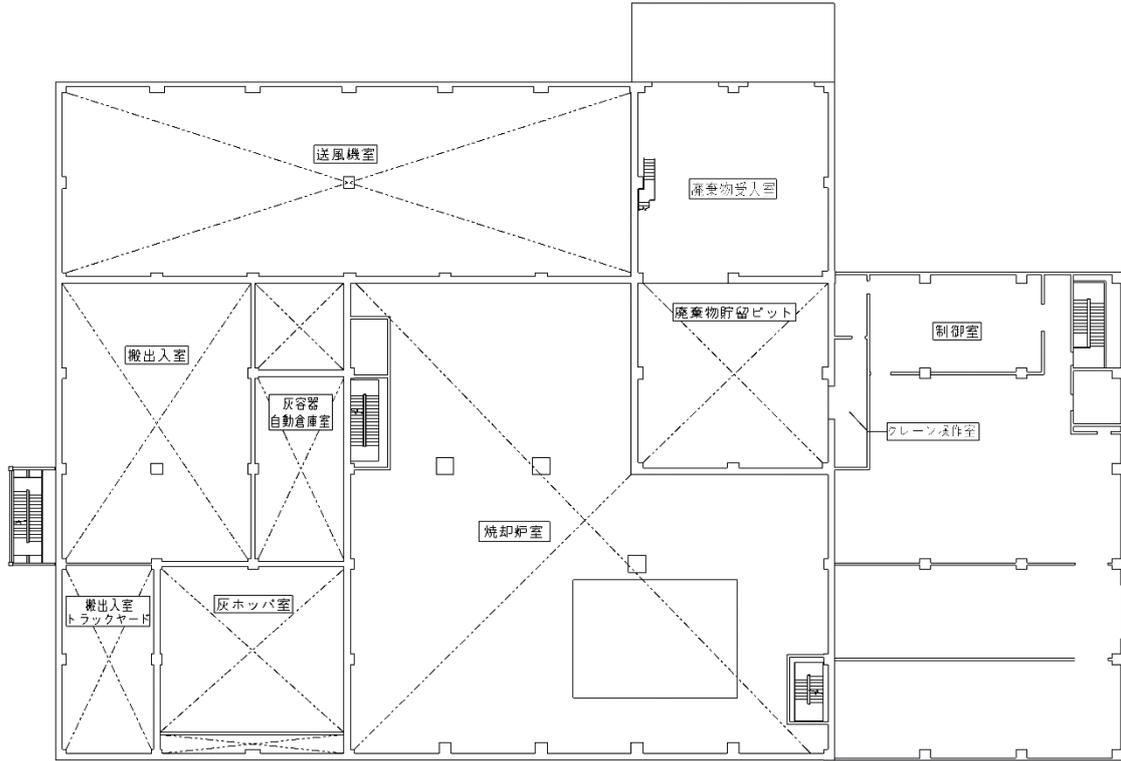


図-1 増設焼却炉建屋平面図 (3 / 6)

増設焼却炉建屋 3階

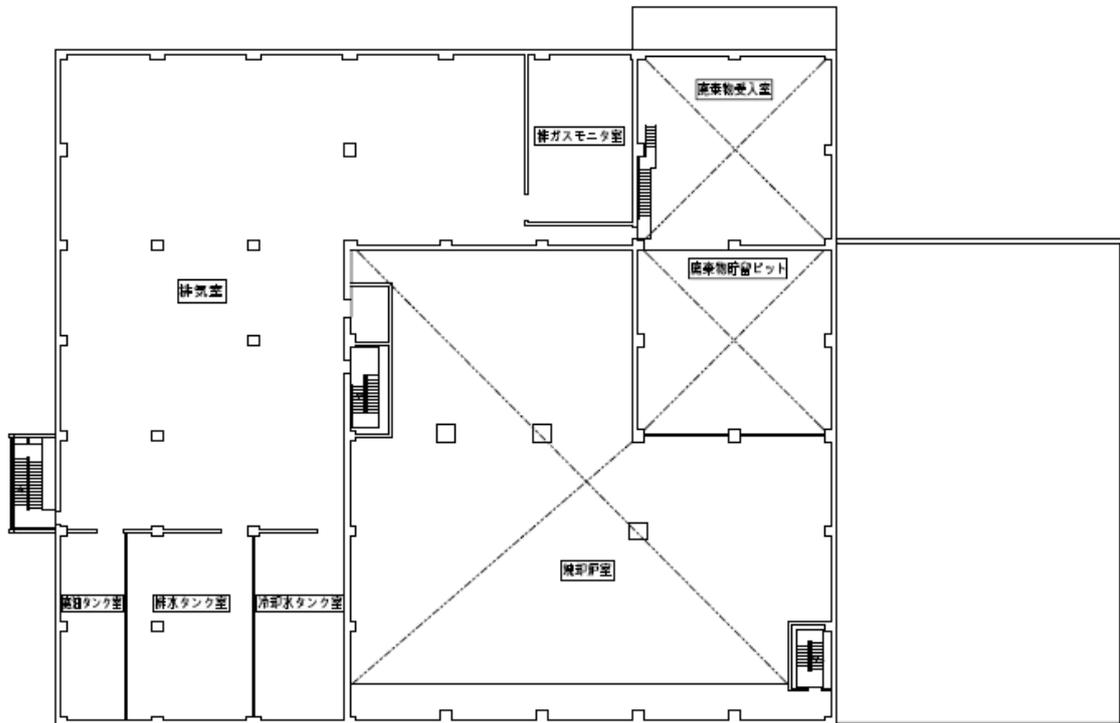


図-1 増設焼却炉建屋平面図 (4 / 6)

増設焼却炉建屋 4階

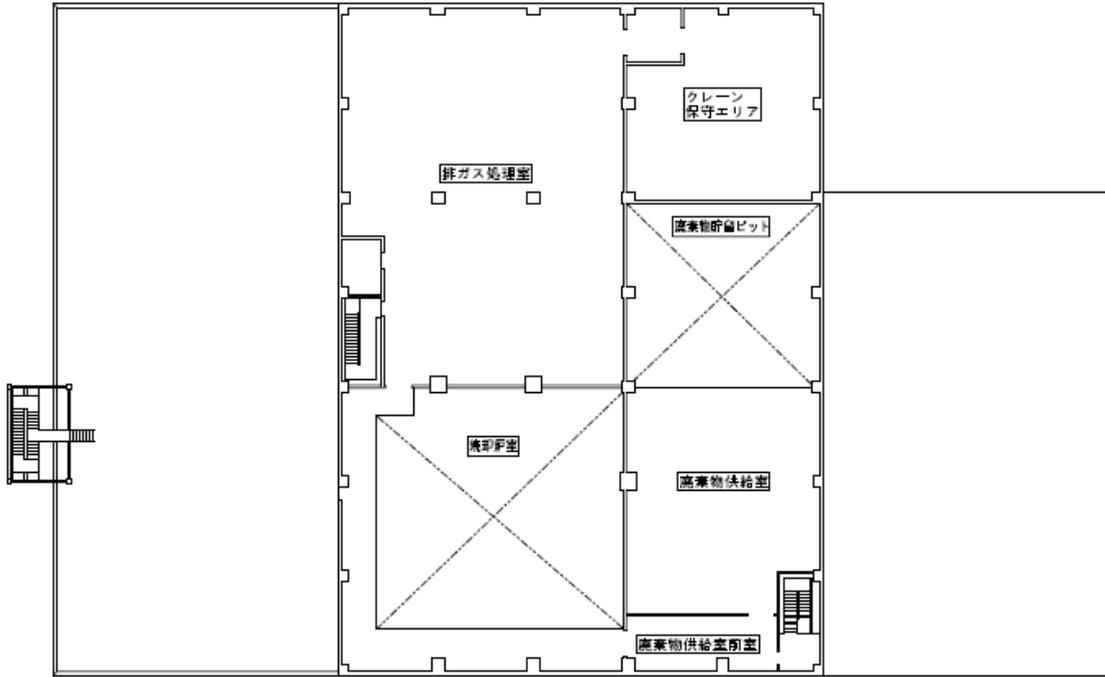


図-1 増設焼却炉建屋平面図 (5 / 6)

増設焼却炉建屋 5階

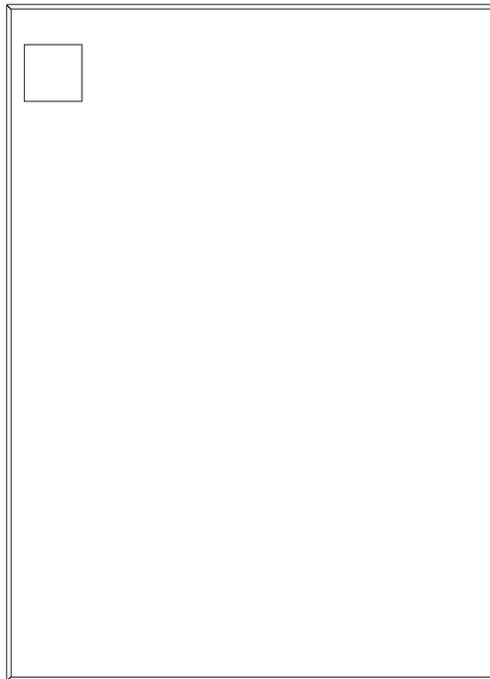


図-1 増設焼却炉建屋平面図 (6 / 6)

増設焼却炉建屋 屋上階

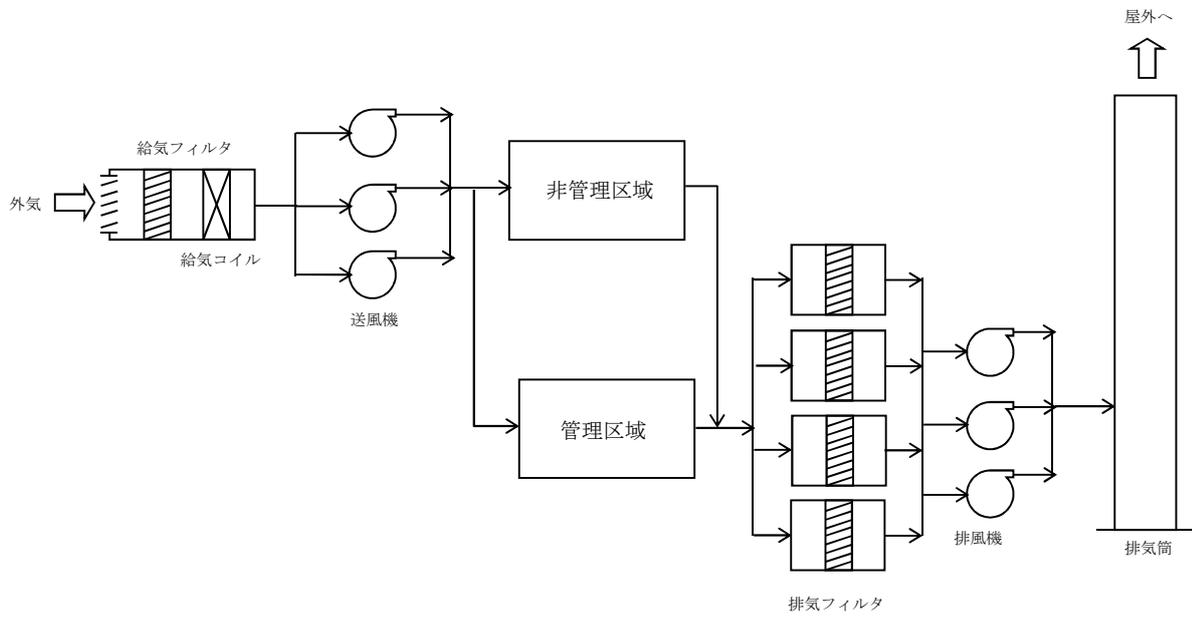


図-1 換気空調設備概略系統図

排気中の放射性物質濃度に係る説明書

1. 廃棄物の放射能濃度

雑固体廃棄物の放射能濃度を表-1に示す。

表-1 雑固体廃棄物の放射能濃度

核種	放射能濃度 (Bq/kg)
Mn-54	3.4E+03
Co-58	1.6E+01
Co-60	9.6E+03
Sr-89	1.3E+02
Sr-90	8.4E+05
Ru-103	1.2E-01
Ru-106	3.2E+04
Sb-124	1.7E+01
Sb-125	3.0E+04
I-131	3.2E-22
Cs-134	2.9E+05
Cs-136	2.1E-14
Cs-137	7.9E+05
Ba-140	1.4E-12
α	2.2E+01
合計	2.0E+06

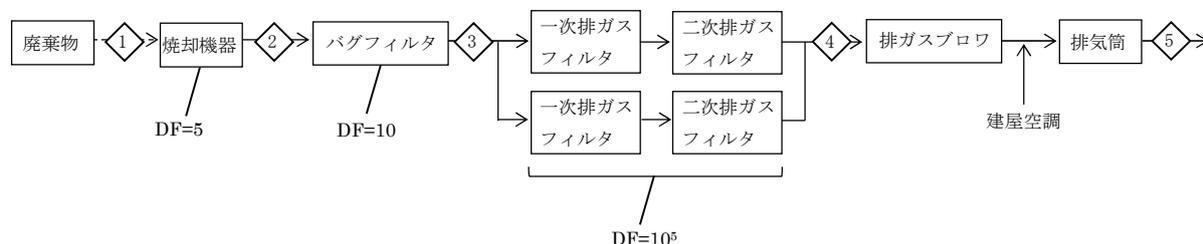
2. 排気中の放射性物質濃度

焼却機器の処理能力 3960kg/h, 系統全体の除染係数 10^6 以上 (焼却機器で 5, バグフィルタで 10, 一次排ガスフィルタと二次排ガスフィルタで 10^5), 系統の流量を考慮すると, 排気中の放射性物質濃度は図-1 のようになり, 排気筒出口の各核種の放射性物質濃度は, 告示に定める周辺監視区域外の空気中の濃度限度を下回り, 各核種の告示濃度限度に対する割合の和が 1 未満となっている。

さらに, 排気筒からの大気拡散効果を考慮すると, 周辺監視区域外においては, この濃度はさらに低下することから告示に定める濃度限度を十分に下回る。

なお, 排気中の放射性物質の濃度を確認するために粒子状物質 (主要ガンマ線放出核種, 全ベータ放射能, 全アルファ放射能, ストロンチウム 89 濃度, ストロンチウム 90 濃度),

トリチウム、よう素131濃度の測定を実施する。



流体 番号	◇1 (Bq/kg)	◇2 (Bq/cm ³)	◇3 (Bq/cm ³)	◇4 (Bq/cm ³)	◇5 (Bq/cm ³)	告示濃度 限度 (Bq/cm ³)	告示濃度 限度に 対する割合
流量 (m ³ /h)	—	106284	110679	113841	371169	—	—
Mn-54	3.4E+03	2.5E-05	2.4E-06	2.4E-11	7.3E-12	8.0E-05	9.1E-08 < 1
Co-58	1.6E+01	1.2E-07	1.1E-08	1.1E-13	3.4E-14	6.0E-05	5.7E-10 < 1
Co-60	9.6E+03	7.2E-05	6.9E-06	6.7E-11	2.0E-11	4.0E-06	5.1E-06 < 1
Sr-89	1.3E+02	9.7E-07	9.3E-08	9.0E-13	2.8E-13	2.0E-05	1.4E-08 < 1
Sr-90	8.4E+05	6.3E-03	6.0E-04	5.8E-09	1.8E-09	8.0E-07	2.2E-03 < 1
Ru-103	1.2E-01	8.9E-10	8.6E-11	8.3E-16	2.6E-16	4.0E-05	6.4E-12 < 1
Ru-106	3.2E+04	2.4E-04	2.3E-05	2.2E-10	6.8E-11	2.0E-06	3.4E-05 < 1
Sb-124	1.7E+01	1.3E-07	1.2E-08	1.2E-13	3.6E-14	2.0E-05	1.8E-09 < 1
Sb-125	3.0E+04	2.2E-04	2.1E-05	2.1E-10	6.4E-11	3.0E-05	2.1E-06 < 1
I-131	3.2E-22	1.2E-29	1.1E-29	1.1E-29	3.4E-30	5.0E-06	6.8E-25 < 1
Cs-134	2.9E+05	2.2E-03	2.1E-04	2.0E-09	6.2E-10	2.0E-05	3.1E-05 < 1
Cs-136	2.1E-14	1.6E-22	1.5E-23	1.5E-28	4.5E-29	1.0E-04	4.5E-25 < 1
Cs-137	7.9E+05	5.9E-03	5.7E-04	5.5E-09	1.7E-09	3.0E-05	5.6E-05 < 1
Ba-140	1.4E-12	1.0E-20	1.0E-21	9.7E-27	3.0E-27	1.0E-04	3.0E-23 < 1
α	2.2E+01	1.6E-07	1.6E-08	1.5E-13	4.7E-14	3.0E-09	1.6E-05 < 1
合計	2.0E+06	1.5E-02	1.4E-03	1.4E-08	4.3E-09	—	2.4E-03 < 1

図-1 増設雑固体廃棄物焼却設備 排気中の放射性物質濃度

増設雑固体廃棄物焼却設備自動停止時の放出評価

1. 自動停止時の放出評価方法の考え方

増設雑固体廃棄物焼却設備は、モニタリング設備にて排気中の放射性物質の濃度を監視しており、定められた値を上回った場合は自動停止する設計としているが、焼却設備が停止する際には、炉内に残存している未燃物（通常運転1時間分）の焼却が完了するまで、排ガスは発生し続ける。

本評価では自動停止に至る事象として、一次排ガスフィルタと二次排ガスフィルタのいずれか4台中の1台が何らかの不具合により破損した場合で、増設雑固体廃棄物焼却設備が自動停止するものの、未燃物の焼却が完了するまでの期間に、破損した一次排ガスフィルタまたは二次排ガスフィルタから漏出し続けたケースで評価する。なお、運用開始後に当該事象が発生した場合は、異常のある排ガスフィルタの前後ダンパを閉じる措置を講じて、異常のないフィルタを介して放出する状態に復帰させる。

2. 廃棄物の放射能濃度

雑固体廃棄物の放射能濃度は、添付資料-5 表-1を参照。

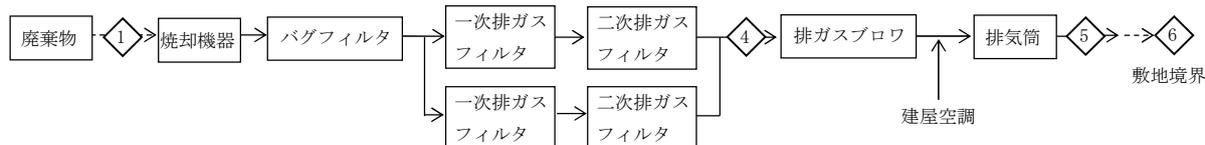
3. 排気中の放射性物質濃度

焼却機器の処理能力、除染係数の考え方は添付資料-5と同様とするが、一次排ガスフィルタと二次排ガスフィルタのいずれか4台中の1台が何らかの不具合により破損しており、除染性能が全く発揮できないとする。また、自動停止後の炉内に残存している未燃物は1時間で焼却完了するものとし、排ガス流量は不具合前後で変わらないと仮定する。

なお、周辺監視区域外の空気中の放射性物質濃度の評価においては、告示に定める濃度限度と比較するため、排ガスフィルタから漏出した状態で連続放出した場合を想定する。

計算地点は、1・2号機共用排気筒を中心として16方位に分割した陸側9方位の敷地境界外について行う。

上記条件で計算した結果、周辺監視区域外における空気中の放射性物質濃度は、告示に定める濃度限度を下回り、各核種の告示濃度限度に対する割合の和が1未満となっている。



* 一次排ガスフィルタと二次排ガスフィルタのいずれか4台中の1台が何らかの不具合により破損している。

流体番号	◇1 (Bq/kg)	◇4 (Bq/cm ³)	◇5 (Bq/cm ³)	◇6 (Bq/cm ³)	告示濃度 限度 (Bq/cm ³)	告示濃度 限度に 対する割合
流量 (m ³ /h)	—	113841	371169	—	—	—
Mn-54	3.4E+03	2.4E-08	7.3E-09	7.6E-13	8.0E-05	9.5E-09 < 1
Co-58	1.6E+01	1.1E-10	3.4E-11	3.6E-15	6.0E-05	5.9E-11 < 1
Co-60	9.6E+03	6.7E-08	2.0E-08	2.1E-12	4.0E-06	5.3E-07 < 1
Sr-89	1.3E+02	9.0E-10	2.8E-10	2.9E-14	2.0E-05	1.4E-09 < 1
Sr-90	8.4E+05	5.8E-06	1.8E-06	1.9E-10	8.0E-07	2.3E-04 < 1
Ru-103	1.2E-01	8.3E-13	2.6E-13	2.7E-17	4.0E-05	6.7E-13 < 1
Ru-106	3.2E+04	2.2E-07	6.8E-08	7.1E-12	2.0E-06	3.6E-06 < 1
Sb-124	1.7E+01	1.2E-10	3.6E-11	3.8E-15	2.0E-05	1.9E-10 < 1
Sb-125	3.0E+04	2.1E-07	6.4E-08	6.7E-12	3.0E-05	2.2E-07 < 1
I-131	3.2E-22	1.1E-29	3.4E-30	3.6E-34	5.0E-06	7.1E-29 < 1
Cs-134	2.9E+05	2.0E-06	6.2E-07	6.5E-11	2.0E-05	3.2E-06 < 1
Cs-136	2.1E-14	1.5E-25	4.5E-26	4.7E-30	1.0E-04	4.7E-26 < 1
Cs-137	7.9E+05	5.5E-06	1.7E-06	1.8E-10	3.0E-05	5.9E-06 < 1
Ba-140	1.4E-12	9.7E-24	3.0E-24	3.1E-28	1.0E-04	3.1E-24 < 1
α	2.2E+01	1.5E-10	4.7E-11	4.9E-15	3.0E-09	1.6E-06 < 1
合計	2.0E+06	1.4E-05	4.3E-06	4.4E-10	—	2.5E-04 < 1

評価点◇2, ◇3については, 添付資料-5 図1と同様なので省略する。

図-1 自動停止時における排気中の放射性物質濃度

設定根拠に関する説明書

1. 焼却設備に関する設定根拠

(1) ロータリーキルン・ストーカ・二次燃焼器

基 数	—	1
容 量	kcal/h/基	約 13400000 (廃棄物 3960kg/h 相当)
<p>1. 容量の設定根拠</p> <p>○福島第一原子力発電所では、至近の実績から約4.5万tの伐採木が発生する見込みである。 発生した伐採木は、2年で処理する計画としていることから</p> <ul style="list-style-type: none"> ・1900t/月 = 2640kg/h <li style="padding-left: 2em;">< 3960kg/h <p>発生量<容量 であることから、容量は妥当である。</p> <p>○廃棄物の発熱量を約3383kcal/kgとすると、$3383 \times 3960 = 13397000$より、 約13400000kcal/h/基とした。</p>		

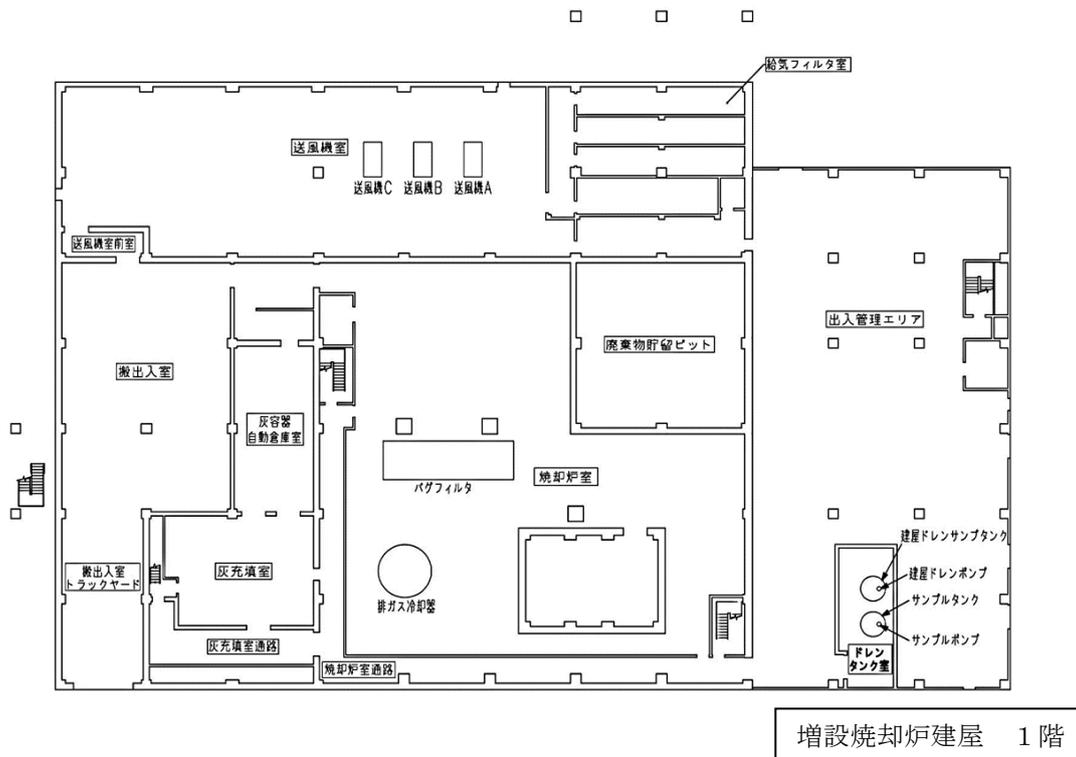


図-1 廃棄設備に係る機器の配置を明示した図面 (1 / 6)

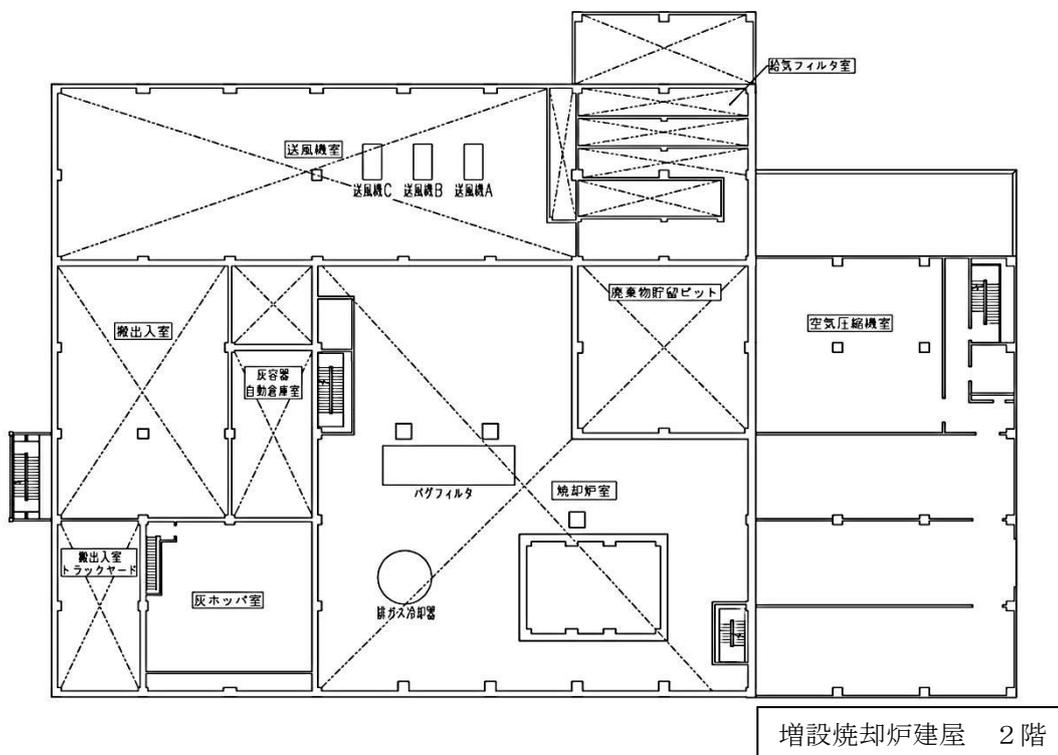
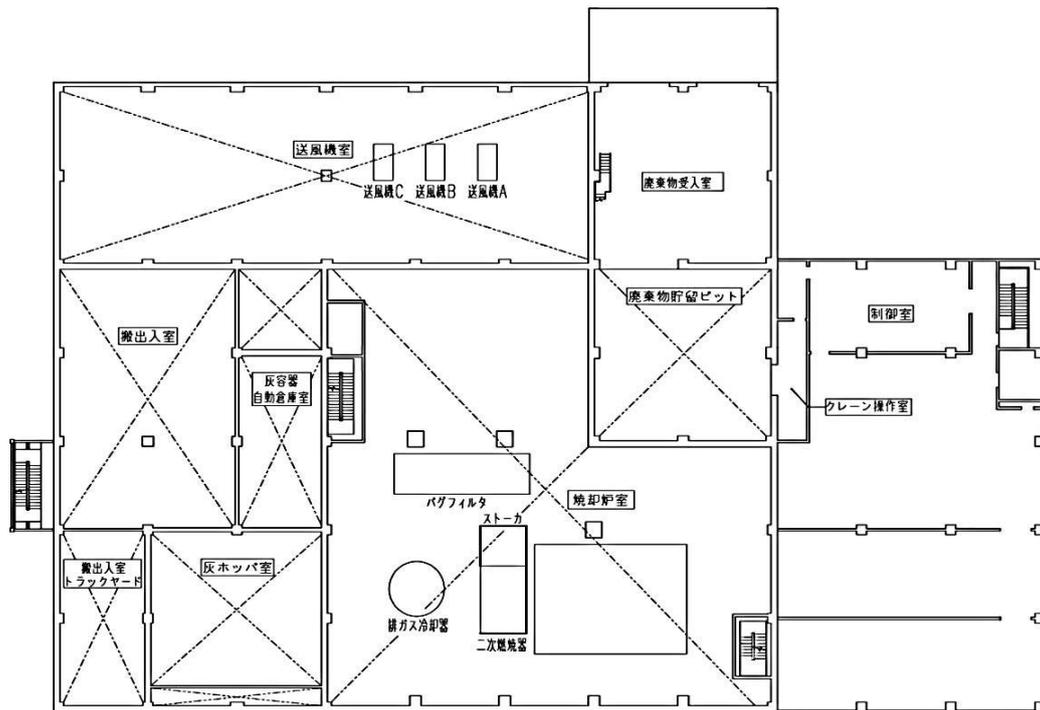
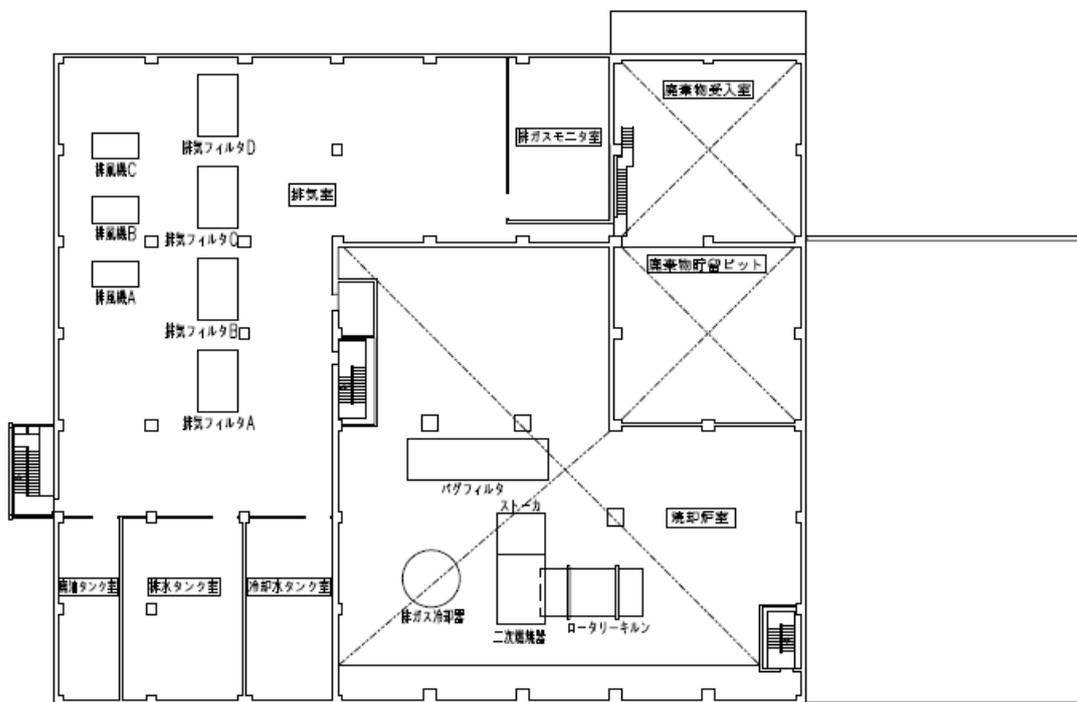


図-1 廃棄設備に係る機器の配置を明示した図面 (2 / 6)



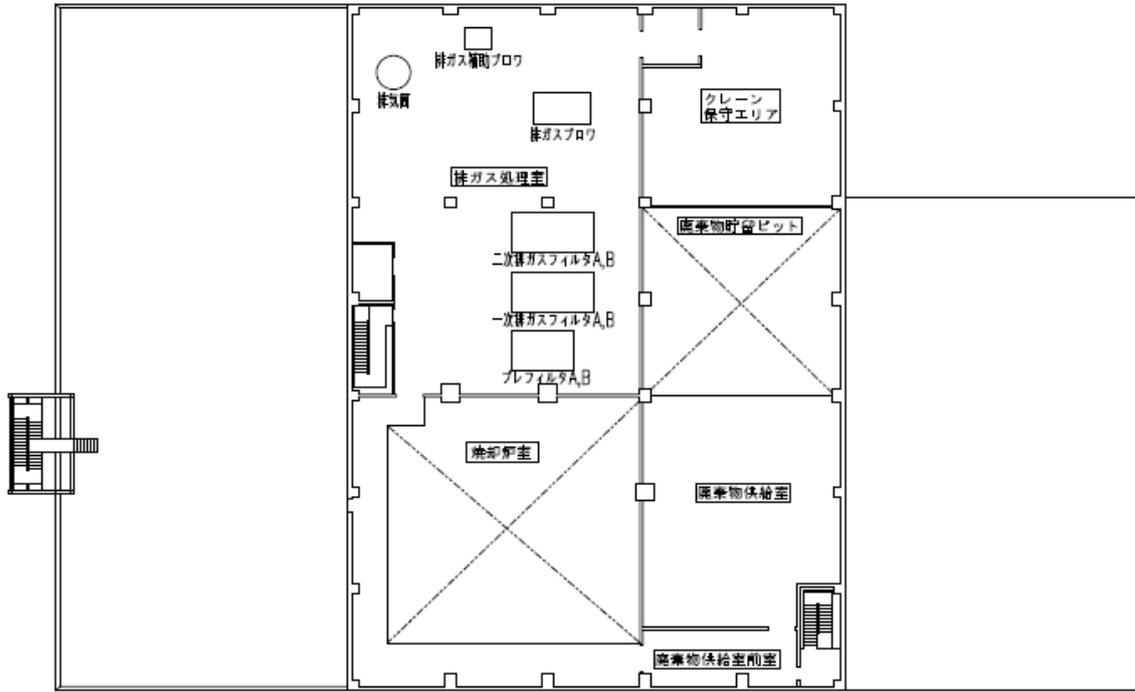
増設焼却炉建屋 3階

図-1 廃棄設備に係る機器の配置を明示した図面 (3 / 6)



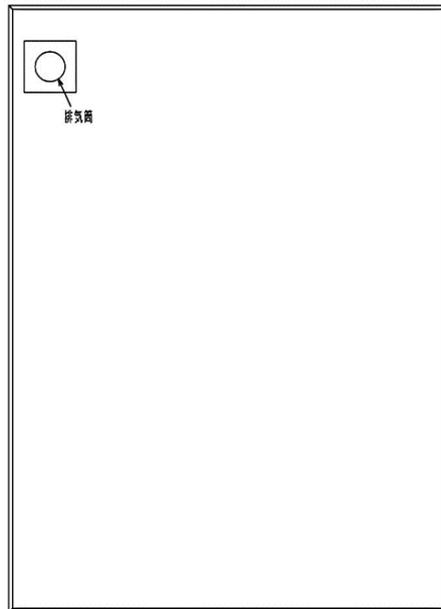
増設焼却炉建屋 4階

図-1 廃棄設備に係る機器の配置を明示した図面 (4 / 6)



増設焼却炉建屋 5階

図-1 廃棄設備に係る機器の配置を明示した図面 (5 / 6)



増設焼却炉建屋 屋上階

図-1 廃棄設備に係る機器の配置を明示した図面 (6 / 6)

増設焼却炉建屋の構造強度に関する検討結果

1. 評価方針

増設焼却炉建屋は、発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針上のBクラスの建物と位置づけられるため、耐震Bクラスとしての評価を実施する。なお、設計は建築基準法に準拠し、積雪荷重および風荷重についても評価する。

増設焼却炉建屋は、鉄筋コンクリート造(一部鉄骨鉄筋コンクリート造および一部鉄骨造)の地上5階で、平面が79.2m(EW方向)×50.4m(NS方向)の建物で、地上高さは36.7mである。

基礎は独立基礎フーチングとべた基礎で、改良地盤を介して設置する。増設焼却炉建屋の平面図および断面図を図-1から図-8に示す。

増設焼却炉建屋に加わる地震時の水平力は、耐震壁および柱と梁からなるラーメン構造で負担する。耐震性の評価は、地震層せん断力係数として $1.5 \cdot C_i$ を採用した場合の当該部位の応力に対して行う。増設焼却炉建屋の評価手順を図-9に示す。

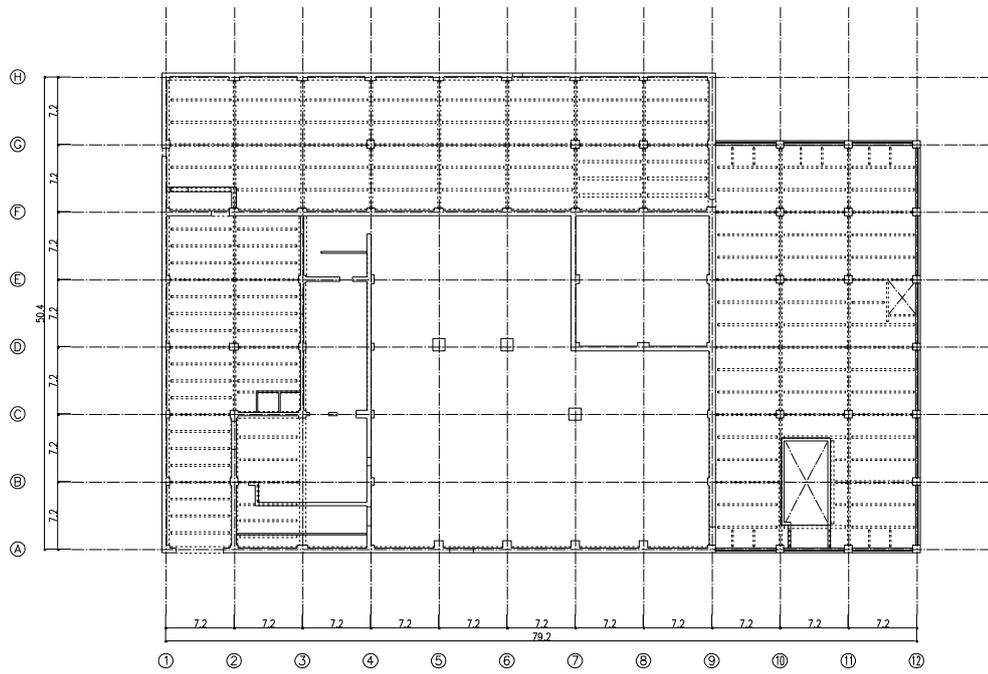


図-1 1階平面図(G.L. +0.2) (単位:m)

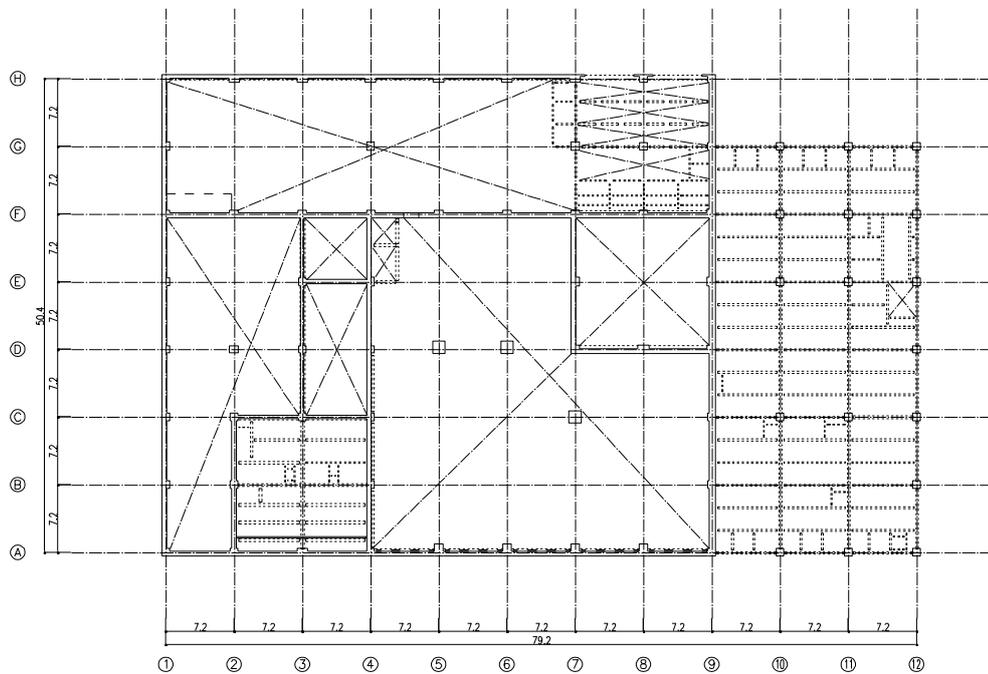


図-2 2階平面図(G.L. +4.2) (単位:m)

添付資料-8では、G.L. ±0m = T.P.32.2m^(※)とする。
 (※) 構内基準点(2014.3 測量)からの測量値とする。

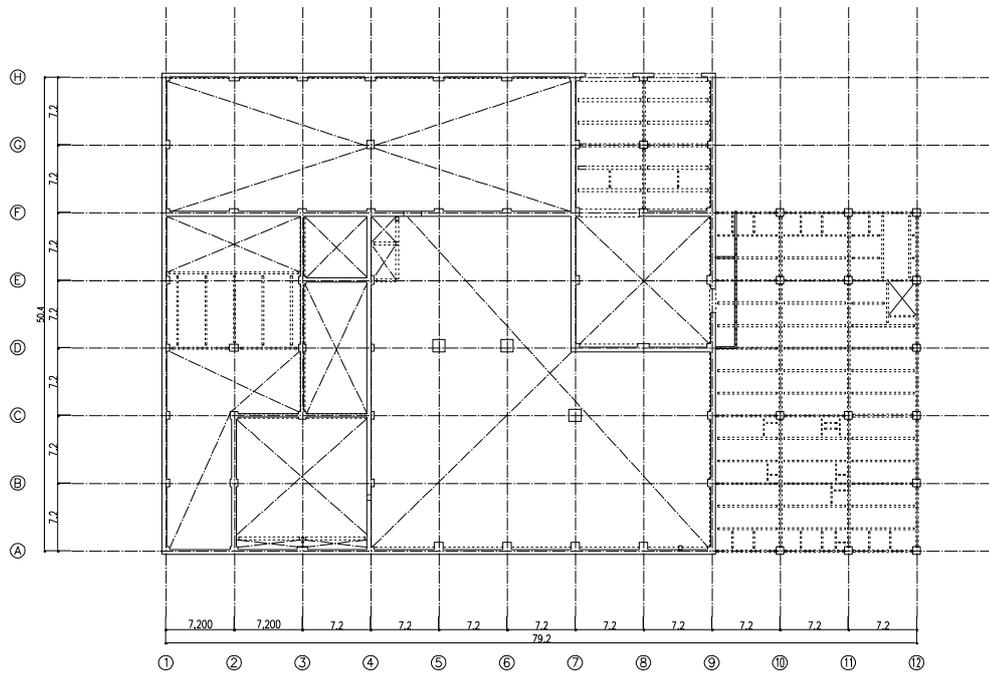


图-3 3階平面図(G.L. +9.2) (单位:m)

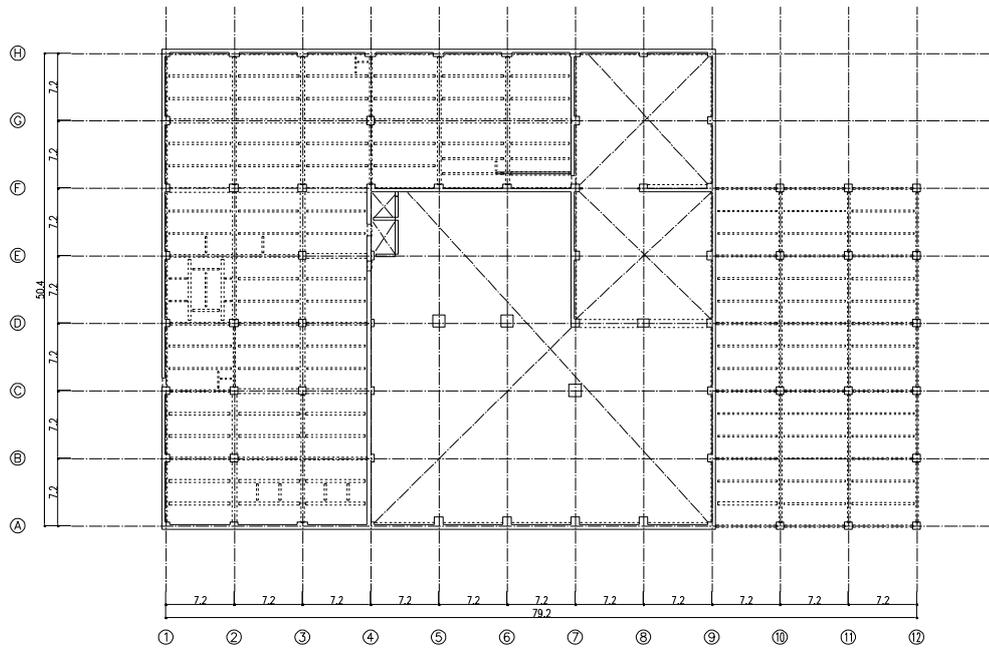
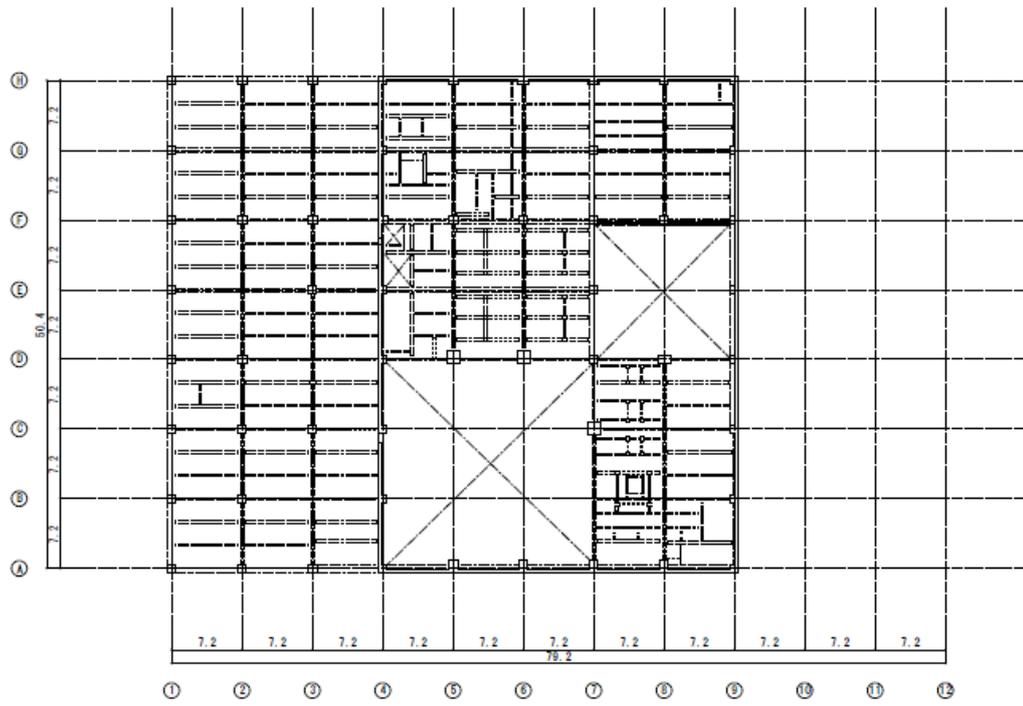
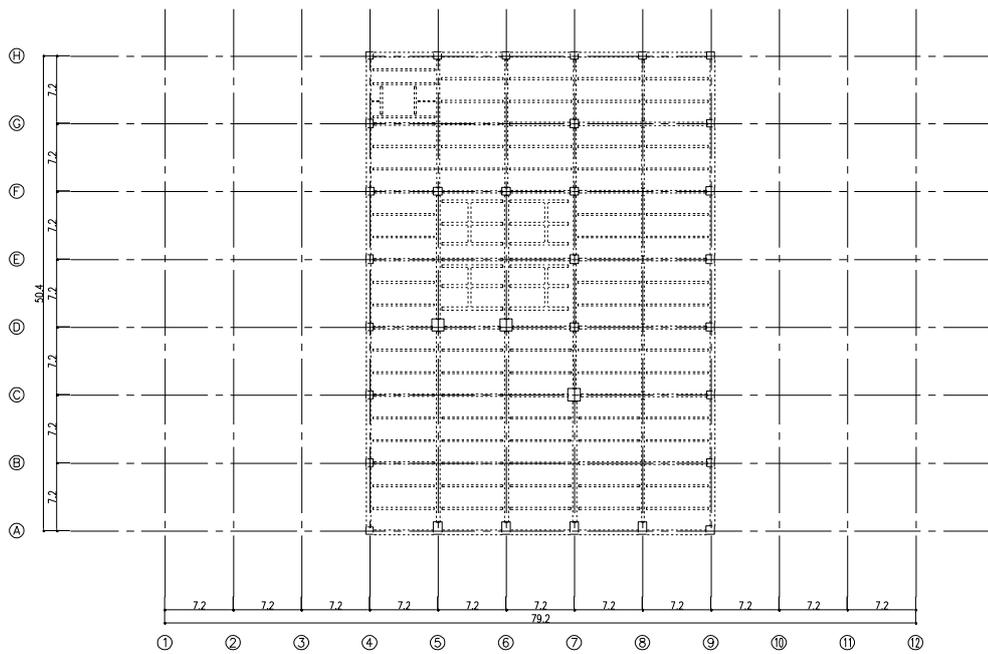


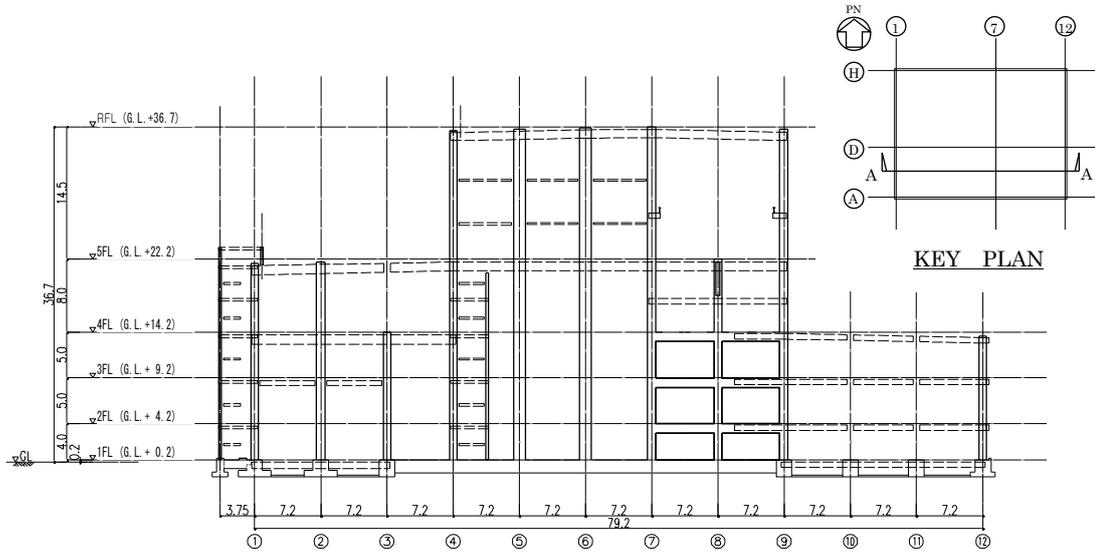
图-4 4階平面図(G.L. +14.2) (单位:m)



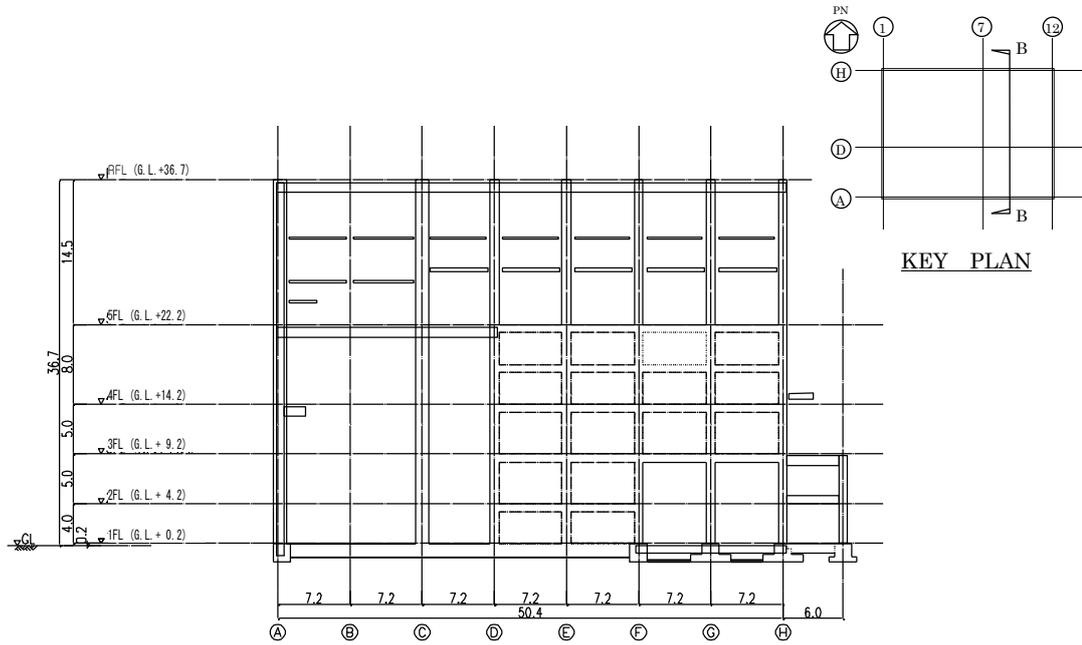
图一5 5 階平面図 (G. L. +22. 2) (单位:m)



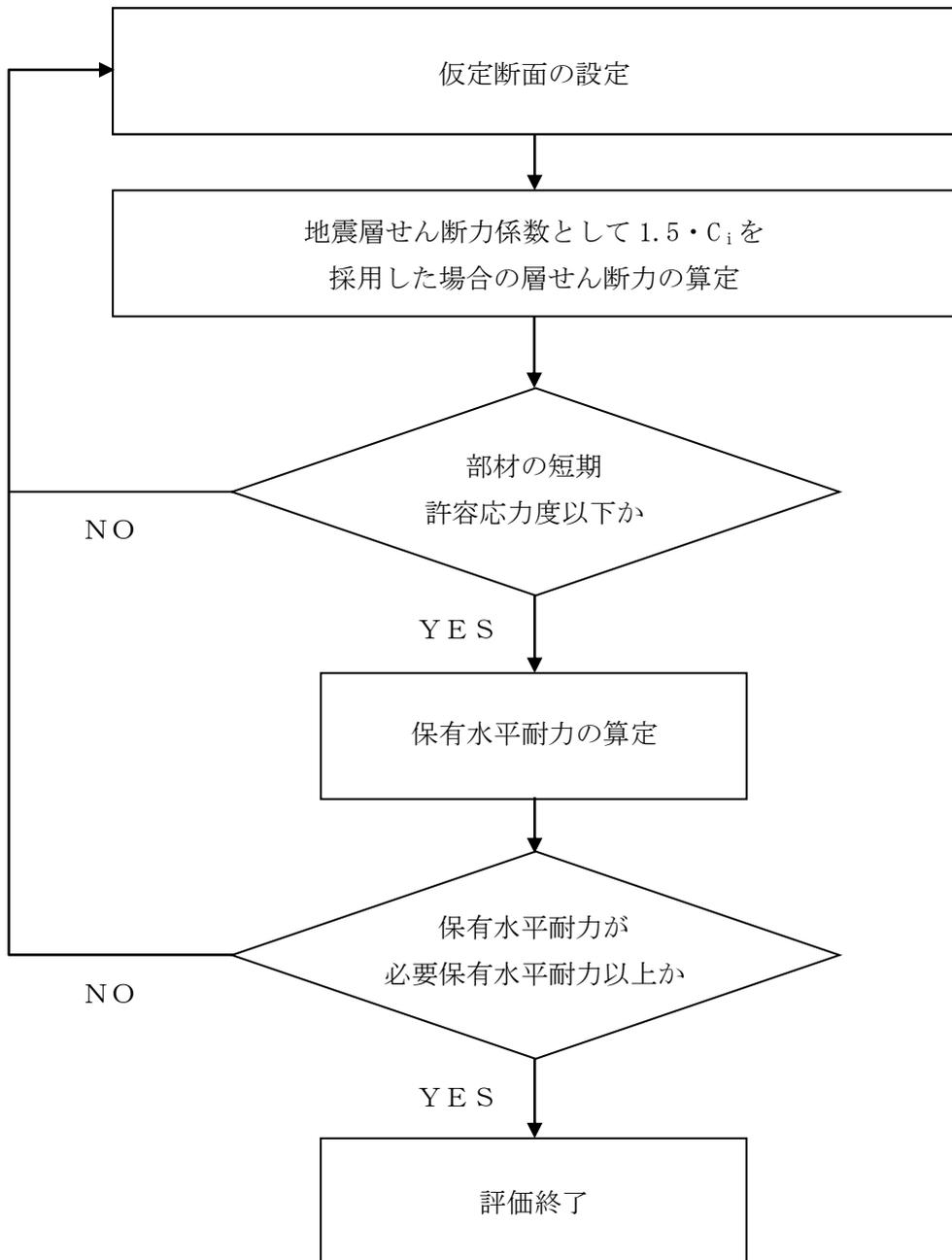
图一6 屋根平面図 (G. L. +36. 7) (单位:m)



图一 7 A - A 断面图(EW 方向) (单位:m)



图一 8 B - B 断面图(NS 方向) (单位:m)



図－9 Bクラス施設としての増設焼却炉建屋の耐震安全性評価手順

2. 評価条件

2.1 使用材料並びに材料の許容応力度および材料強度

増設焼却炉建屋の上部構造および基礎スラブに用いる材料のうち、コンクリートは普通コンクリートとし、コンクリートの設計基準強度 F_c は基礎スラブが 30N/mm^2 、その他が 36N/mm^2 とする。鉄筋はSD295A, SD345, SD390およびSD490とする。各使用材料の許容応力度および材料強度を表-1および表-2に示す。

表-1 コンクリートの許容応力度

(単位： N/mm^2)

	長期		短期	
	圧縮	せん断	圧縮	せん断
$F_c=30$	10	0.79	20	1.19
$F_c=36$	12	0.85	24	1.28

注：日本建築学会「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説」による。

表-2 鉄筋の許容応力度

(単位： N/mm^2)

		長期		短期	
		引張および圧縮	せん断補強	引張および圧縮	せん断補強
SD295A	D25 以下	195	195	295	295
SD345	D25 以下	215	195	345	345
SD390	D29 以上	195	195	390	390
SD490	D29 以上	195	195	490	490

注：日本建築学会「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説」による。

2.2 荷重および荷重の組合せ

(1) 荷重

設計で考慮する荷重を以下に示す。

1) 鉛直荷重(VL)

鉛直荷重は、固定荷重、機器荷重、配管荷重および積載荷重とする。

2) 積雪荷重(SNL)

積雪荷重は建築基準法施行令第86条、福島県建築基準法施行規則細則第19条に準拠し以下の条件とする。

- ・積雪量 : 30 cm
- ・単位荷重 : 20 N/m²/cm

3) 風荷重(WL)

風荷重は建築基準法施行令第87条、建設省告示第1454号に基づく速度圧および風力係数を用いて算定する。

- ・基準風速 : 30m/s
- ・地表面粗度区分 : II

4) 地震荷重(SEL)

地震力を算定する際の基準面は、基礎スラブ上端として、建屋の高さに応じた当該部分に作用する全体の地震力を算定する。水平地震力は下式により算定し、算定結果を表-3に示す。

$$Q_i = n \cdot C_i \cdot W_i$$

$$C_i = Z \cdot R_t \cdot A_i \cdot C_0$$

ここで、

- Q_i : 水平地震力(kN)
- n : 施設の重要度分類に応じた係数($n=1.5$)
- C_i : 地震層せん断力係数
- W_i : 当該層以上の重量(kN)
- Z : 地震地域係数($Z=1.0$)

R_t : 振動特性係数 ($R_t=1.0$)

A_i : 地震層せん断力係数の高さ方向の分布係数

C_0 : 標準せん断力係数 ($C_0 = 0.2$)

表-3 水平地震力の算定結果

G. L. (m)	階	当該層以上の重量 W_i (kN)	地震層せん断力係数 $1.5 \cdot C_i$	設計用地震力 (kN)
36.7	5	23,100	0.705	16,300
		34,600	0.623	21,600
		44,600	0.577	25,800
22.2	4	90,300	0.463	41,900
		110,000	0.434	47,800
14.2	3	160,000	0.375	60,000
9.2	2	203,000	0.334	67,900
4.2	1	244,000	0.300	73,200
0.2				

(2) 荷重の組合せ

荷重の組合せについて表-4に示す。図-10に暴風時と地震時の層せん断力の比較結果を示す。

表-4 荷重の組合せ

荷重状態	荷重ケース	荷重の組合せ	許容応力度
常時	A	VL*1	長期
積雪時	B	VL+SNL	短期
地震時	C1	VL+SEL (W→E 方向)	
	C2	VL+SEL (E→W 方向)	
	C3	VL+SEL (S→N 方向)	
	C4	VL+SEL (N→S 方向)	

*1: 鉛直荷重(VL)は固定荷重(DL), 配管荷重(PL), 機器荷重(EL)および積載荷重(LL)を加え合わせたものである。

*2: 暴風時の風荷重(WL)は地震荷重(設計用地震力 $1.5 \cdot C_i$)に比べて小さいため、荷重の組合せにおいては地震荷重によって代表させる。

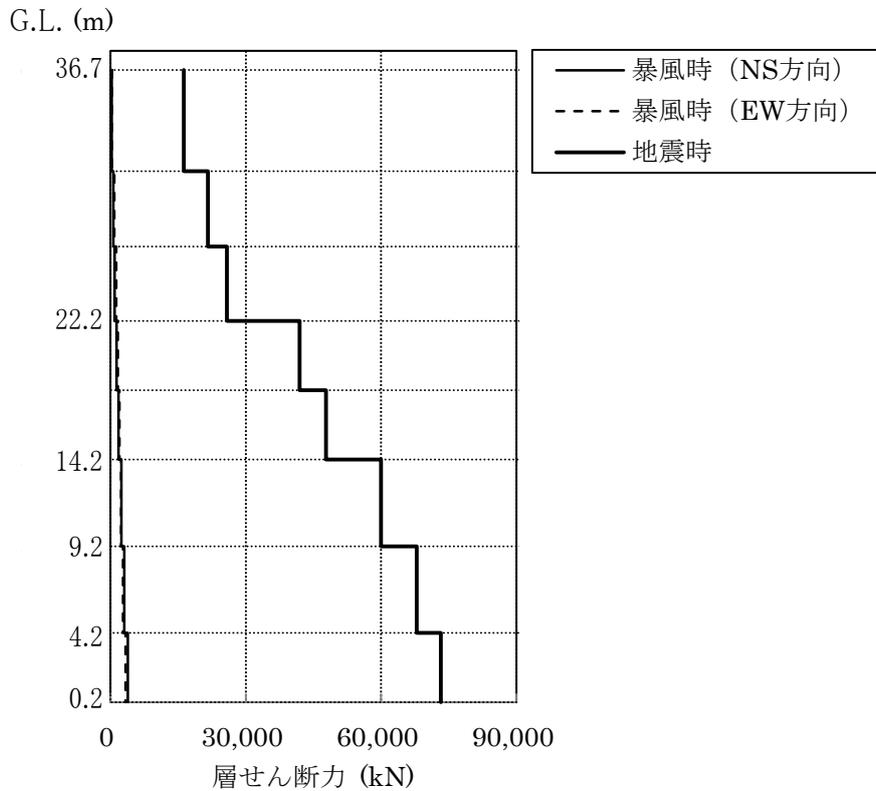


図-10 暴風時と地震時の層せん断力の比較結果*2

3. 評価結果

上部構造の応力解析は、耐震壁は壁エレメント置換した立体モデル、大梁および柱を線材置換したフレームモデルにより行う。

3.1 耐震壁の評価結果

検討により求められた耐震壁の作用応力を許容応力と比較し、検定比が最大となる部位について表-5に示す。配筋図を図-11に示す。

これより、耐震壁の作用応力は許容応力以下であることを確認した。

表-5 耐震壁の検討結果

部位	断面	荷重 ケース	作用応力 (kN)	許容応力 (kN)	検定比
3階9通り B~C通り間	壁厚 500 mm タテ 2-D29@200 ヨコ 2-D22@200	地震時 C4	4332	8358	$0.52 \leq 1.0$

注：日本建築学会「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説」による。

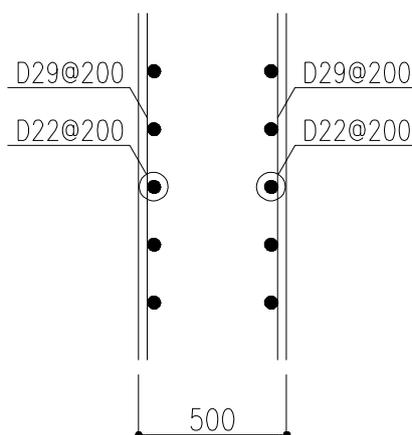


図-11 耐震壁の配筋図 (3階9通り B~C通り間)

3.2 ラーメン構造部の評価結果

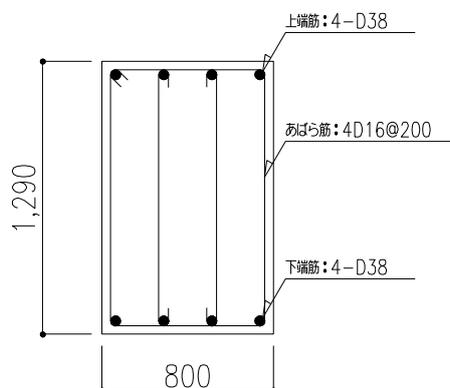
検討により求められたフレーム部材の応力を許容応力と比較して、検定比が最大となる部位について表－6 および表－7 に示す。配筋図を図－1 2 から図－1 4 に示す。

これより、各部材の応力は、許容応力以下となっていることを確認した。

表－6 大梁断面算定表（鉄筋コンクリート）

検討箇所	断面	荷重ケース	応力	作用応力	許容応力	検定比
3階 H通り 8～9 通り間	B×D =800×1290 主筋 8-D38 あばら筋 4-D16@200	常時 A	曲げモーメント	487 kN・m	926 kN・m	0.53 ≤ 1.0
			せん断力	291 kN	1329 kN	0.22 ≤ 1.0
3階 H通り 8～9 通り間	B×D =800×1290 主筋 8-D38 あばら筋 4-D16@200	地震時 C1	曲げモーメント	1269 kN・m	2327 kN・m	0.55 ≤ 1.0
			せん断力	739 kN	1085 kN	0.69 ≤ 1.0

注：日本建築学会「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説」による。



図－1 2 大梁の配筋図（3階H通り8～9通り間）

表-7 柱断面算定表 (鉄筋コンクリート)

検討箇所	断面	荷重ケース	応力	作用応力	許容応力	検定比
4階 1 / G 通り	B×D =800×900 主筋 12-D32 帯筋 2-2-D13@100	常時 A	曲げモーメント	743 kN・m	807 kN・m (軸力 918 kN 作用時*)	0.93 ≤ 1.0
			せん断力	188 kN	453 kN	0.42 ≤ 1.0
2階 9 / H 通り	B×D =800×800 主筋 20-D32 帯筋 4-4-D16@100	地震時 C1	曲げモーメント	1421 kN・m	1770 kN・m (軸力 5348 kN 作用時*)	0.81 ≤ 1.0
			せん断力	786 kN	969 kN	0.82 ≤ 1.0

注：日本建築学会「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説」による。

注記*：圧縮を正とする。

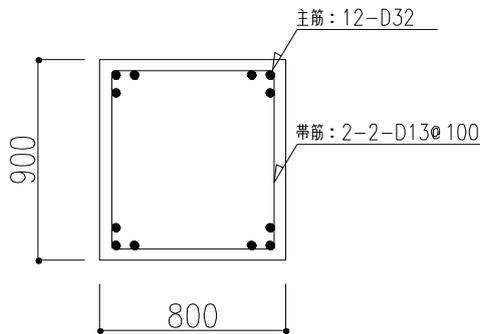


図-13 柱の配筋図 (4階 1 / G 通り)

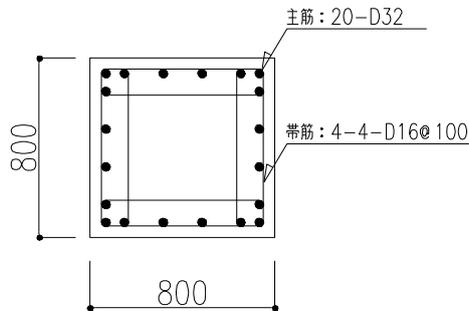


図-14 柱の配筋図 (2階 9 / H 通り)

3.3 基礎スラブの評価結果

基礎スラブの応力解析は、弾性地盤上に支持された版として有限要素法を用いて行う。解析モデルは、四辺形の均質等方な板要素により構成し、支持地盤は等価な弾性ばねとしてモデル化する。

必要鉄筋比および面外せん断力について、検定比が最大となる要素の断面検討結果を表-8および表-9に示す。基礎スラブ配筋図を図-15に示す。

これより、設計鉄筋比は必要鉄筋比を上回り、また面外せん断力は短期許容せん断力以下となっていることを確認した。

表-8 軸力および曲げモーメントに対する検討結果

荷重 ケース	応力		必要鉄筋比 (%)	設計鉄筋比 (%)	検定比
	軸力* (kN/m)	曲げモーメント (kN・m/m)			
常時 A	0	813	0.26	0.41	$0.64 \leq 1.0$
地震時 C3	8	1378	0.25	0.41	$0.61 \leq 1.0$

注記*：圧縮を正とする。

表-9 面外せん断に対する検討結果

荷重 ケース	応力 面外せん断力 (kN/m)	短期許容 せん断力 (kN/m)	検定比
常時 A	496	863	$0.58 \leq 1.0$
地震時 C2	1098	1294	$0.85 \leq 1.0$

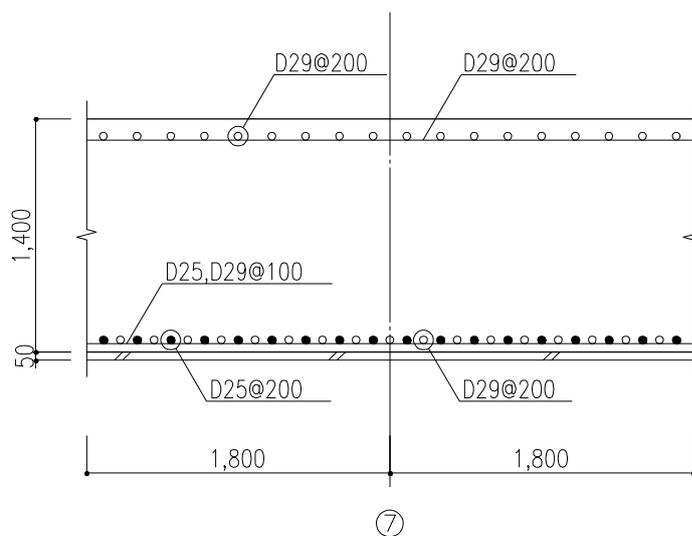


図-15 基礎スラブの配筋図 (7通り)

3.4 改良地盤の評価結果

(1) 設計方針

増設焼却炉建屋を支持する改良地盤は、基礎直下の地盤を南北方向に約56m、東西方向に約84m、改良体厚さ約2.5mとし、G.L.-4.1mの泥岩に支持する。

検討は「改定版 建築物のための改良地盤設計および品質管理指針 日本建築センター」に準拠し、改良地盤の支持力に対して、常時および地震時の改良地盤に生じる最大接地圧が許容支持力度以下であることを確認する。

(2) 常時における改良地盤の検討

常時における改良地盤に生じる最大応力と許容支持力度の比較を、検定比が最大となる位置について表-10に示す。

これより、改良地盤に生じる最大応力が許容支持力度以下であることを確認した。

表-10 改良地盤の許容支持力度と接地圧の比較

検討位置	接地圧 (kN/m ²)	許容支持力度* (kN/m ²)	検定比
F/9 通り	435	500	0.87 ≤ 1.0

* : G.L.-4.1mの地盤支持力とG.L.-1.6mの改良地盤を含んだ地盤支持力の小さい値を記載

(3) 地震時における改良地盤の検討

地震時における改良地盤に生じる最大応力と許容支持力度の比較を、検定比が最大となる位置について表-11に示す。

これより、改良地盤に生じる最大応力が許容支持力度以下であることを確認した。

表-11 改良地盤の許容支持力度と接地圧の比較

検討位置	接地圧 (kN/m ²)	許容支持力度* (kN/m ²)	検定比
F/9 通り	718	1000	0.72 ≤ 1.0

* : G.L.-4.1mの地盤支持力とG.L.-1.6mの改良地盤を含んだ地盤支持力の小さい値を記載

4. 保有水平耐力の検討

必要保有水平耐力(Q_{un}) に対して、保有水平耐力(Q_u)が上回っていることを確認する。

各層の保有水平耐力は、建築基準法・同施行令および平成19年国土交通省告示第594号に基づき算出する。各層の必要保有水平耐力と保有水平耐力の算定結果を表-12に示す。

これより、増設焼却炉建屋は必要保有水平耐力の1.29倍以上の保有水平耐力を有していることを確認した。

表-12 必要保有水平耐力と保有水平耐力の比較

(1)EW 方向 (長辺)

G. L. (m)	階	必要保有水平耐力 Q_{un} (kN)	保有水平耐力 Q_u (kN)	$\frac{Q_u}{Q_{un}}*$
36.7	5	30,000	59,000	1.96
		40,000	78,000	1.95
		48,000	93,000	1.93
22.2	4	77,000	152,000	1.97
		87,000	172,000	1.97
14.2	3	110,000	216,000	1.96
9.2	2	125,000	246,000	1.96
4.2	1	134,000	267,000	1.99
0.2				

注記*：安全余裕

(2)NS 方向 (短辺)

G. L. (m)	階	必要保有水平耐力 Q_{un} (kN)	保有水平耐力 Q_u (kN)	$\frac{Q_u}{Q_{un}} *$
36.7	5	30,000	54,000	1.80
		40,000	71,000	1.77
		48,000	85,000	1.77
22.2	4	85,000	139,000	1.63
		87,000	157,000	1.80
14.2	3	141,000	198,000	1.40
9.2	2	148,000	225,000	1.52
4.2	1	188,000	243,000	1.29
0.2				

注記* : 安全余裕

以上のことから、増設焼却炉建屋の耐震安全性は確保されているものと評価した。

安全避難通路に関する説明書及び安全避難通路を明示した図面

1. 安全避難通路の設置方針

増設焼却炉建屋には、廃棄物の分別、焼却炉運転及び定期的な放射線測定、建物及び建物内の巡視点検のための出入りを行うことから、建築基準法及び関係法令並びに消防法及び関係法令に基づく安全避難通路を設定する。

避難経路を、図-1に示す。

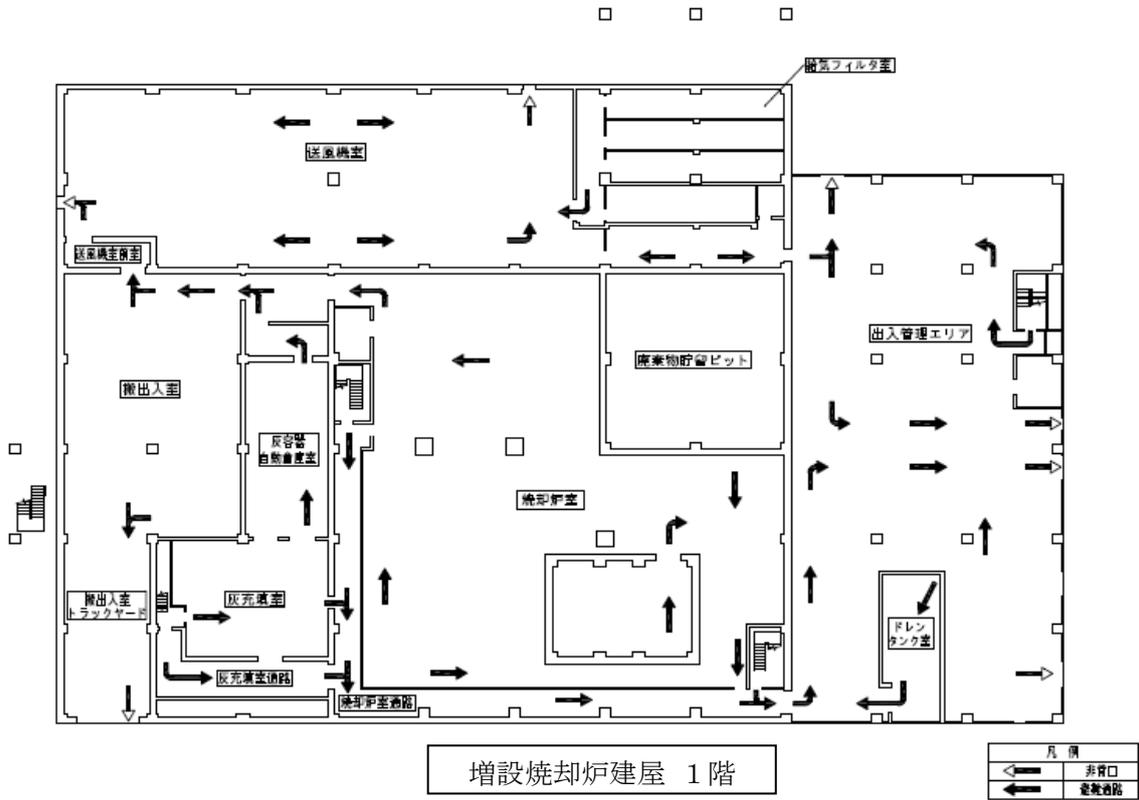


図-1 安全避難通路を明示した図面 (1 / 6)

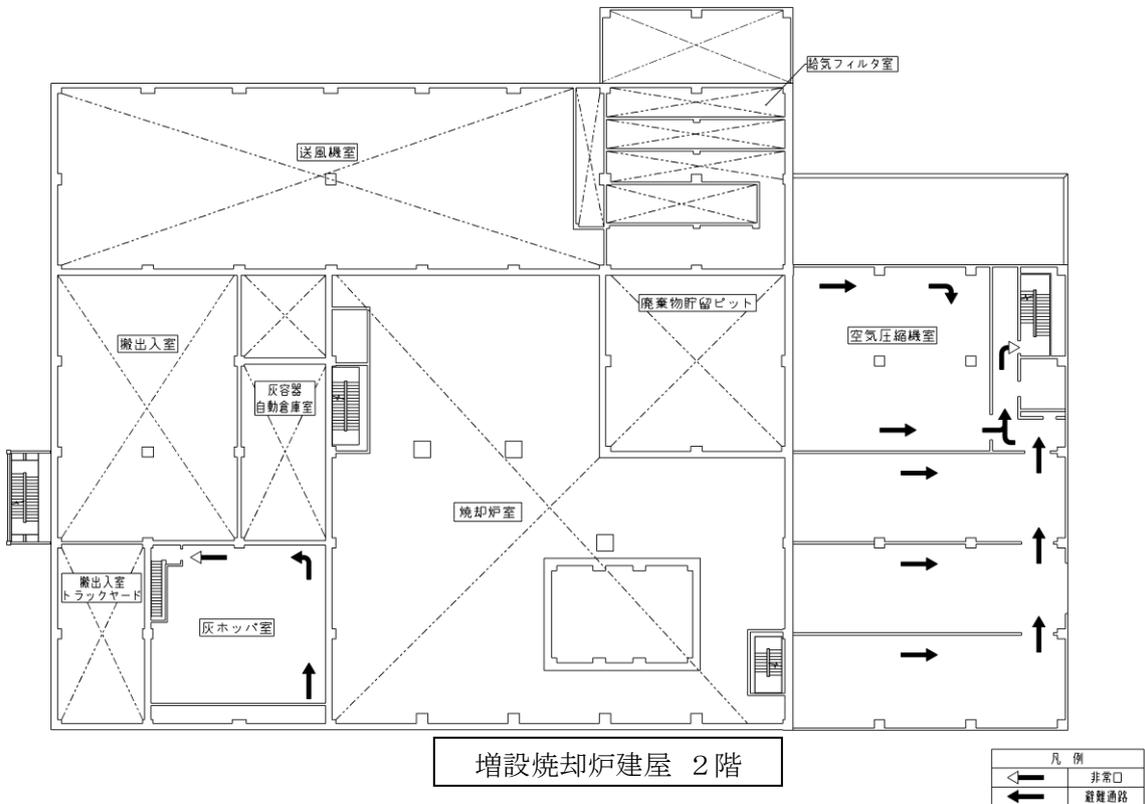


図-1 安全避難通路を明示した図面 (2 / 6)

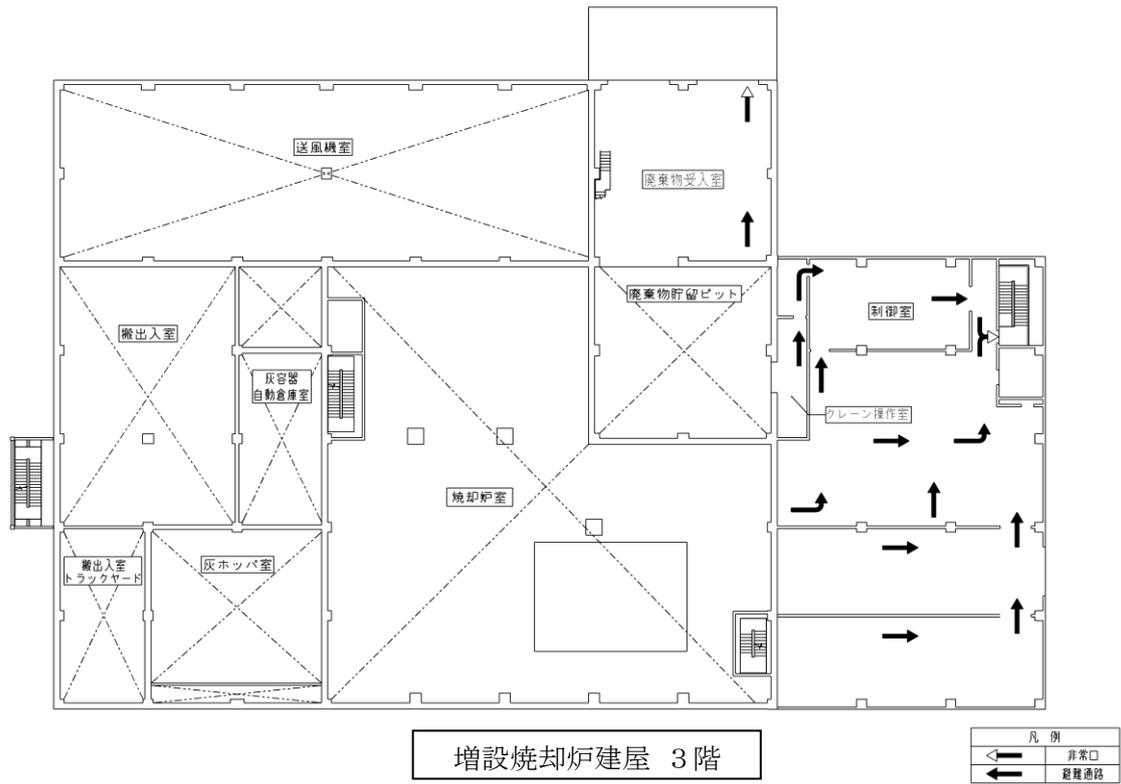


図-1 安全避難通路を明示した図面 (3 / 6)

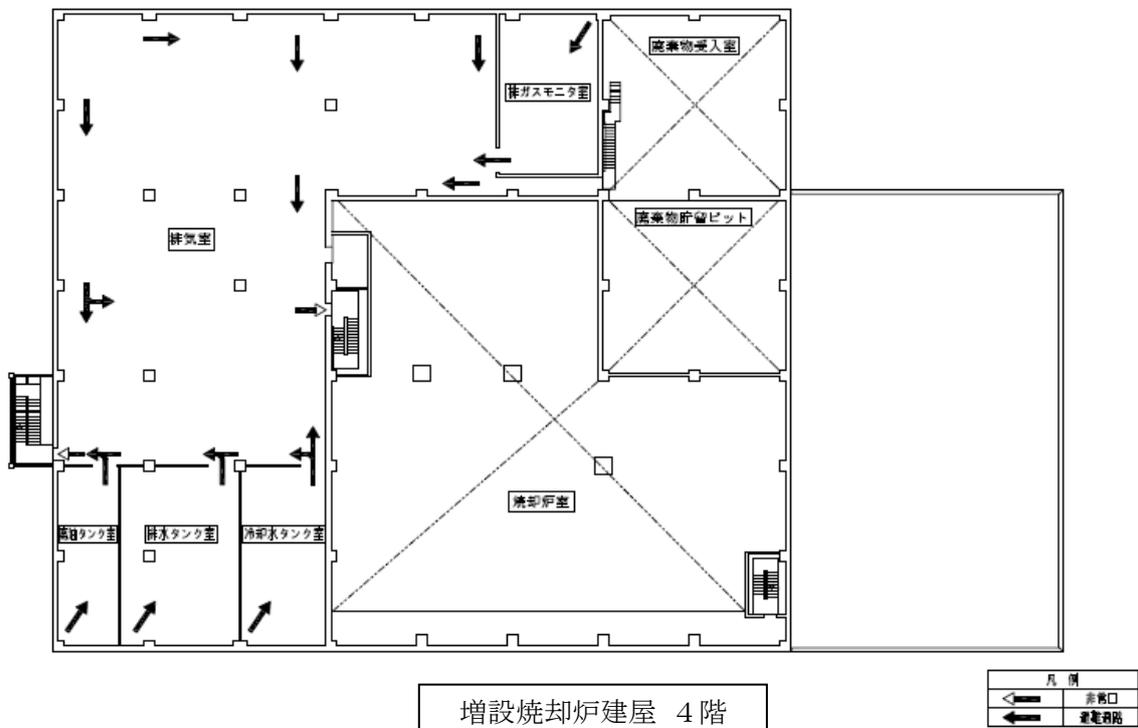


図-1 安全避難通路を明示した図面 (4 / 6)

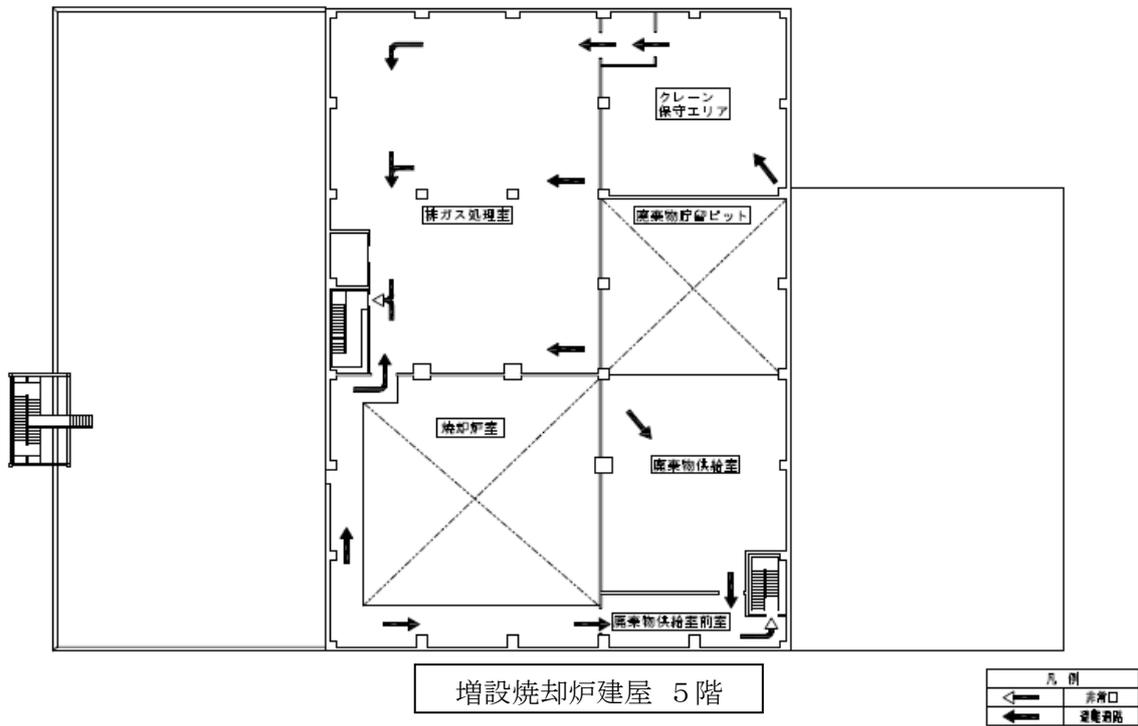


図-1 安全避難通路を明示した図面 (5 / 6)

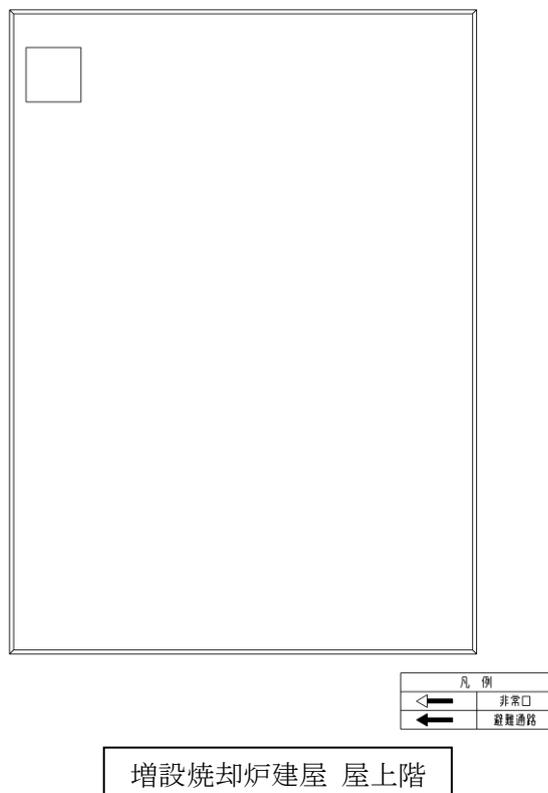


図-1 安全避難通路を明示した図面 (6 / 6)

非常用照明に関する説明書及び取付箇所を明示した図面

1. 非常用照明の設置方針

増設焼却炉建屋には，廃棄物の分別，焼却炉運転及び定期的な放射線測定，建物及び建物内の巡視点検のための出入りを行うことから，建築基準法及び関係法令に基づく非常用の照明装置，並びに消防法及び関係法令に基づく誘導灯を設置する。

非常用照明の取付箇所について，図－1に示す。

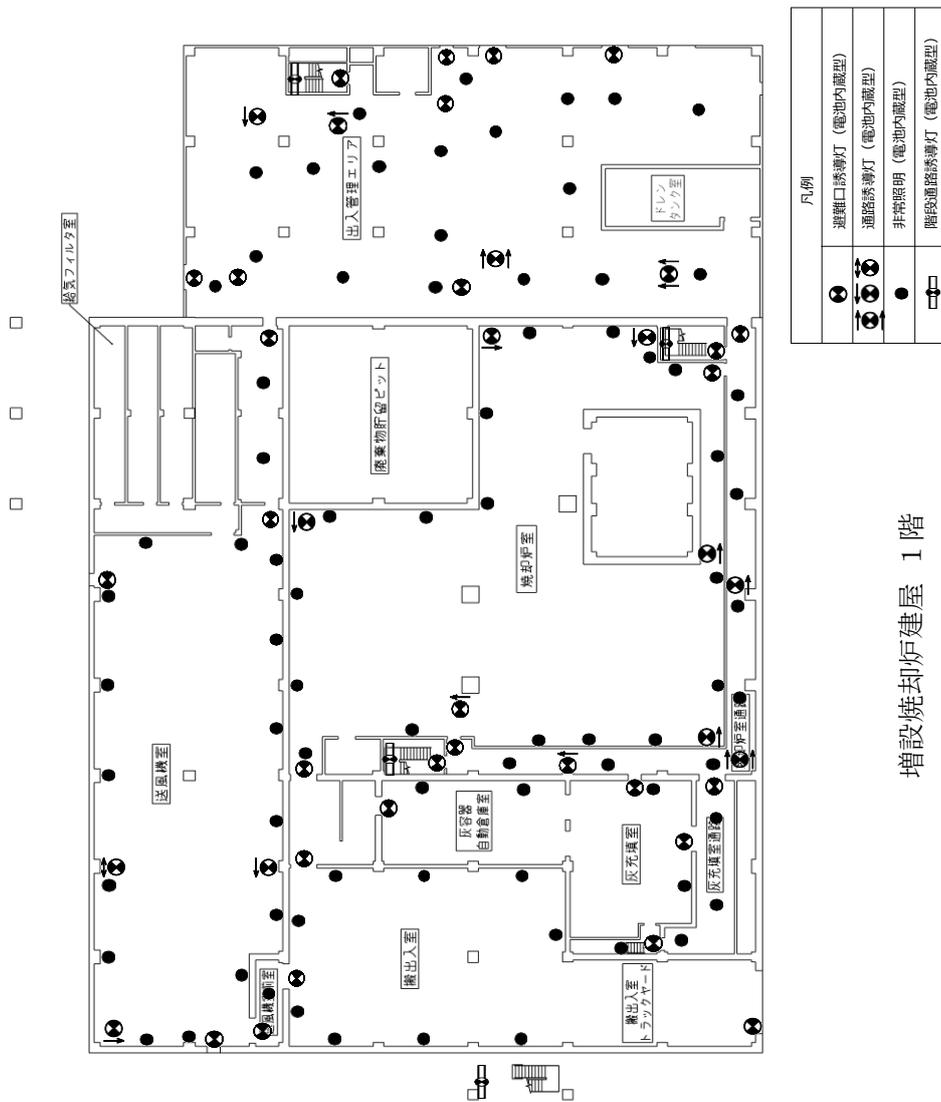
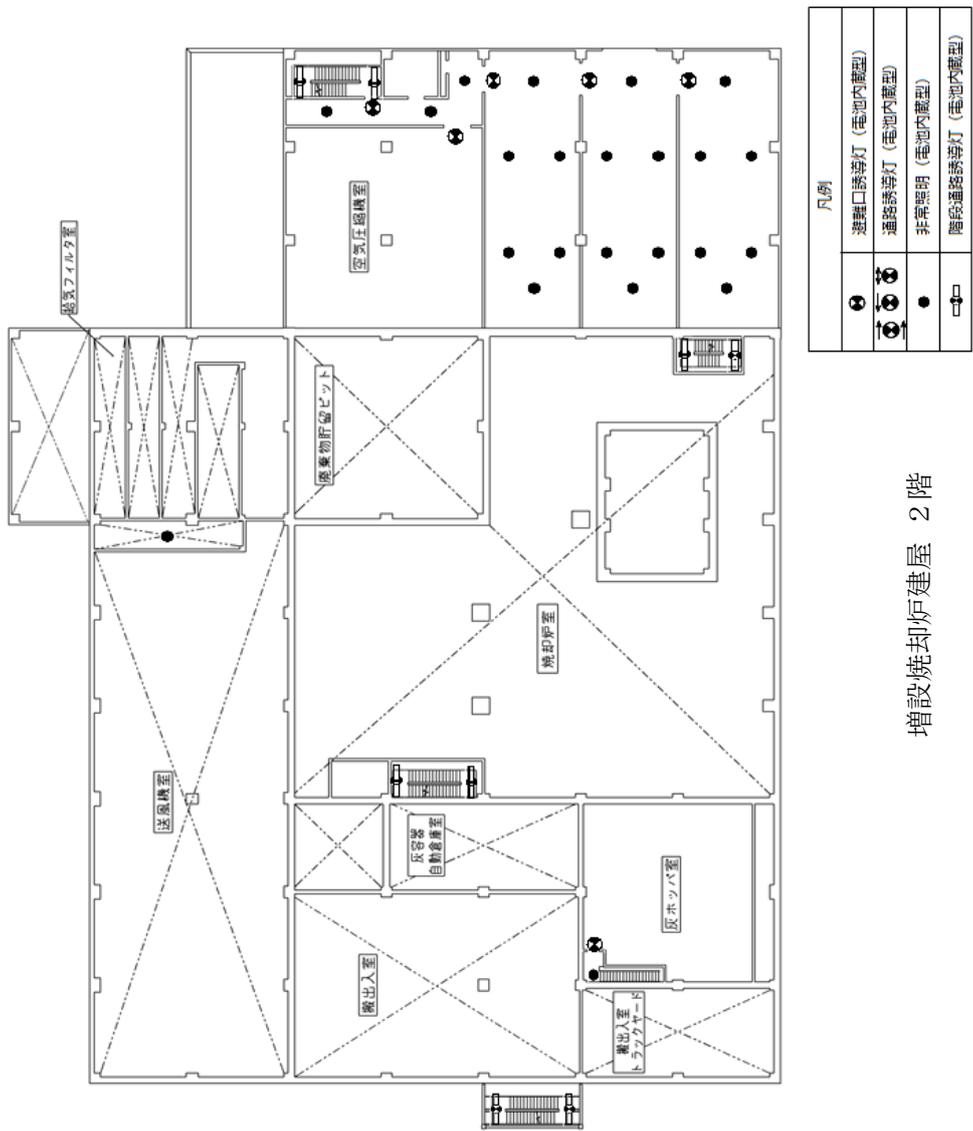
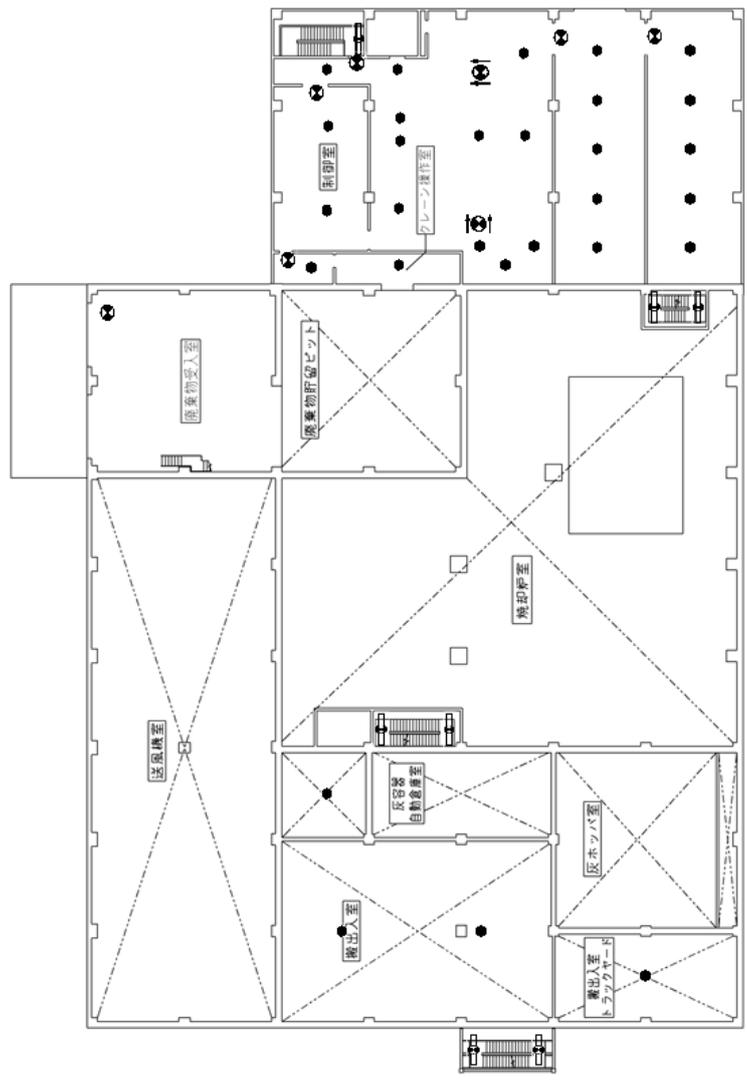


図-1 非常用照明の取付箇所を明示した図面 (1/6)



増設焼却炉建屋 2 階

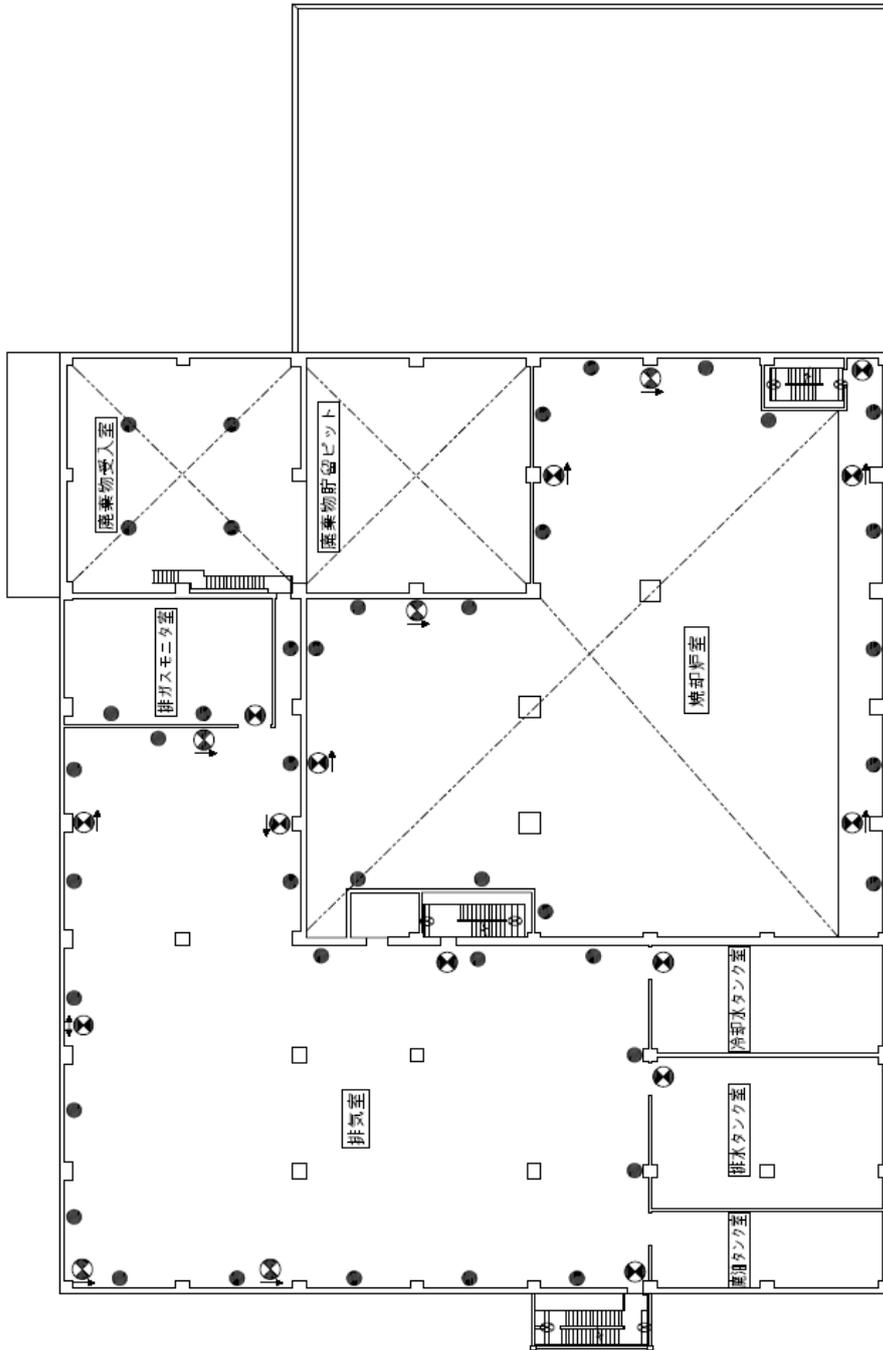
図-1 非常用照明の取付箇所を明示した図面 (2 / 6)



凡例	
	避難出口誘導灯 (電池内蔵型)
	通路誘導灯 (電池内蔵型)
	非常照明 (電池内蔵型)
	階段通路誘導灯 (電池内蔵型)

増設焼却炉建屋 3階

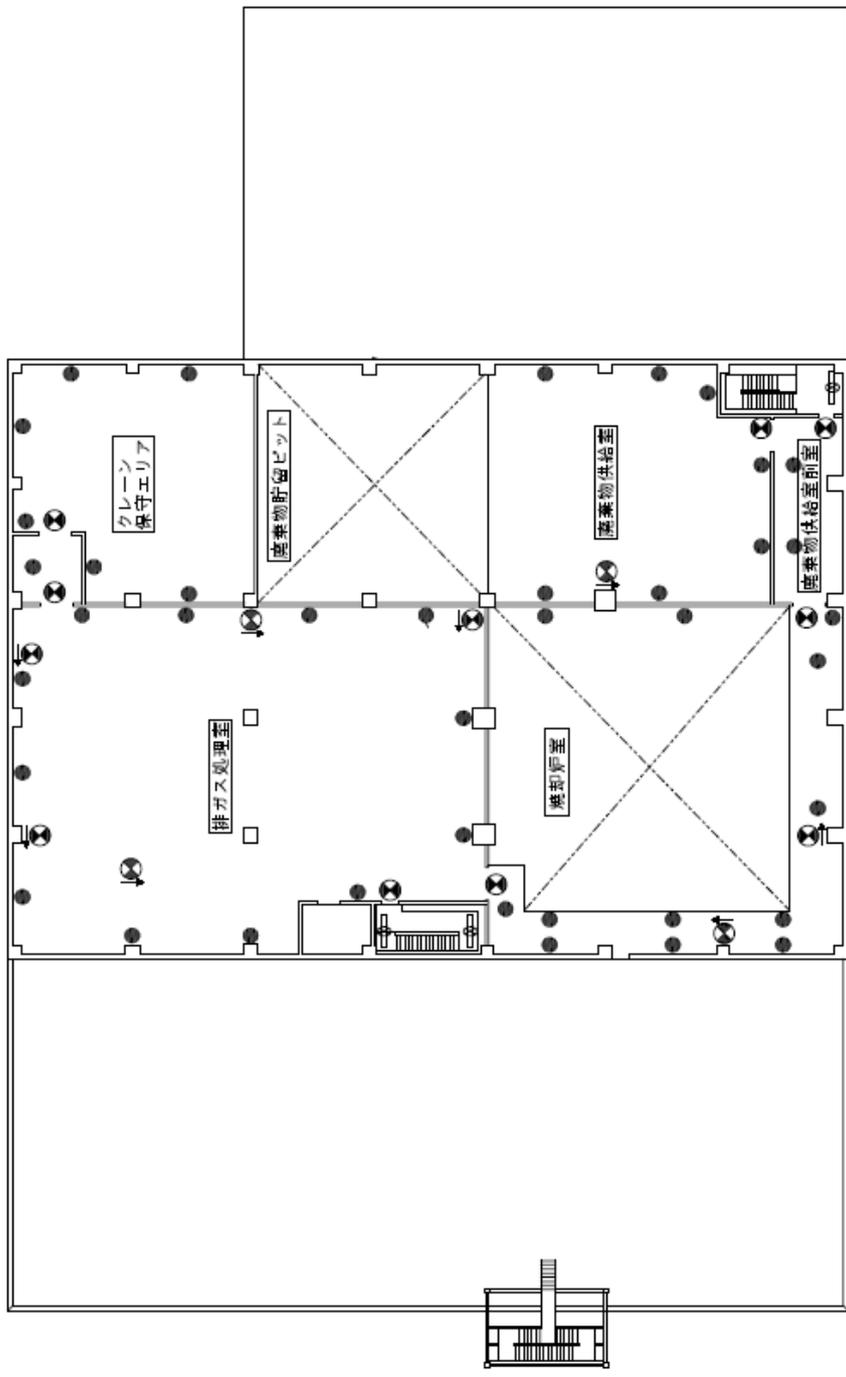
図-1 非常用照明の取付箇所を明示した図面 (3 / 6)



凡例	
	避難口誘導灯 (蓄池内蔵型)
	通路誘導灯 (蓄池内蔵型)
	非常照明 (蓄池内蔵型)
	階段通路誘導灯 (蓄池内蔵型)

増設焼却炉建屋 4階

図-1 非常用照明の取付箇所を明示した図面 (4 / 6)



凡例	
	避難口誘導灯 (電池内蔵型)
	通路誘導灯 (電池内蔵型)
	非常照明 (電池内蔵型)
	階段通路誘導灯 (電池内蔵型)

増設焼却炉建屋 5階

図-1 非常用照明の取付箇所を明示した図面 (5/6)



凡例	
	避難口誘導灯 (電池内蔵型)
	通路誘導灯 (電池内蔵型)
	非常照明 (電池内蔵型)
	階段通路誘導灯 (電池内蔵型)

増設焼却炉建屋 屋上階

図-1 非常用照明の取付箇所を明示した図面 (6 / 6)

火災防護に関する説明書並びに消火設備の取付箇所を明示した図面

1. 火災防護に関する基本方針

増設雑固体廃棄物焼却設備（以下、本設備という。）は、火災により安全性が損なわれることを防止するために、火災の発生防止対策、火災の検知及び消火対策、火災の影響の軽減対策の3方策を適切に組み合わせた措置を講じる。

2. 火災の発生防止

2.1 不燃性材料、難燃性材料の使用

増設焼却炉建屋の主要構造部である壁、柱、床、梁、屋根は、実用上可能な限り不燃性又は難燃性材料を使用する。また、間仕切り壁及び天井材についても、建築基準法及び関係法令に基づき、実用上可能な限り不燃性又は難燃性材料を使用する。

更に、建屋内の機器、配管、ダクト、トレイ、電線路、盤の筐体、及びこれらの支持構造物についても、実用上可能な限り不燃性又は難燃性材料を使用し、幹線ケーブル及び動力ケーブルは難燃ケーブルを使用する他、消防設備用のケーブルは消防法に基づき、耐火ケーブルや耐熱ケーブルを使用する。

2.2 発火性、引火性材料の予防措置

通常運転時のもとより、異常状態においても火災の発生を防止するための予防措置を講じる。

発火性又は引火性液体を内包する設備については、溶接構造、シール構造とし、液面監視により、漏えいの早期発見を図る。また、その内蔵量を運転上の要求に見合う最低量に抑える設計とする。

2.3 自然現象による火災発生防止

本設備の構築物、系統及び機器は、落雷、地震等の自然現象により火災が生じることがないように防護した設計とし、建築基準法及び関係法令に基づき避雷設備を設置する。

本設備は「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」（平成18年9月19日）に従い設計を行い、破壊又は倒壊を防ぐことにより、火災発生を防止する設計とする。

3. 火災の検知及び消火

3.1 火災検出設備及び消火設備

火災検出設備及び消火設備は、本設備に対する火災の悪影響を限定し、早期消火を行える消防法及び関係法令に基づいた設計とする。

(1) 火災検出設備

放射線，取付面高さ，温度，湿度，空気流等の環境条件や予想される火災の性質を考慮して感知器の型式（熱・煙）を選定する。また，火災検出設備は外部電源喪失時に機能を失わないよう電池を内蔵した設計とする。

(2) 消火設備

消火設備は，屋内消火栓設備及び二酸化炭素消火設備及び連結送水口並びに消火器で構成する。

消防法に基づき，屋内消火栓設備の消火水槽（容量：約 5.2m³）及び，各階に屋内消火栓設備を設置し早期消火が行える設計とする。また，福島第一原子力発電所内の消防水利に消防車を連結することにより，本設備の消火が可能である。

3.2 自然現象に対する消火装置の性能維持

火災検出設備及び消火設備は地震等の自然現象によっても，その性能が著しく阻害されることがないように措置を講じる。消火設備は，消防法に基づいた設計とし，耐震設計は耐震設計審査指針に基づいて適切に行う。

4. 火災の影響の軽減

本設備は，建築基準法及び関係法令に基づき防火区画を設置し，消防設備と組み合わせることにより，火災の影響を軽減する設計とする。なお，主要構造部の外壁は，建築基準法及び関係法令に基づき，必要な耐火性能を有する設計とする。

5. 消火設備の取付箇所を明示した図面

消火設備の取付箇所について，図－1 に示す。

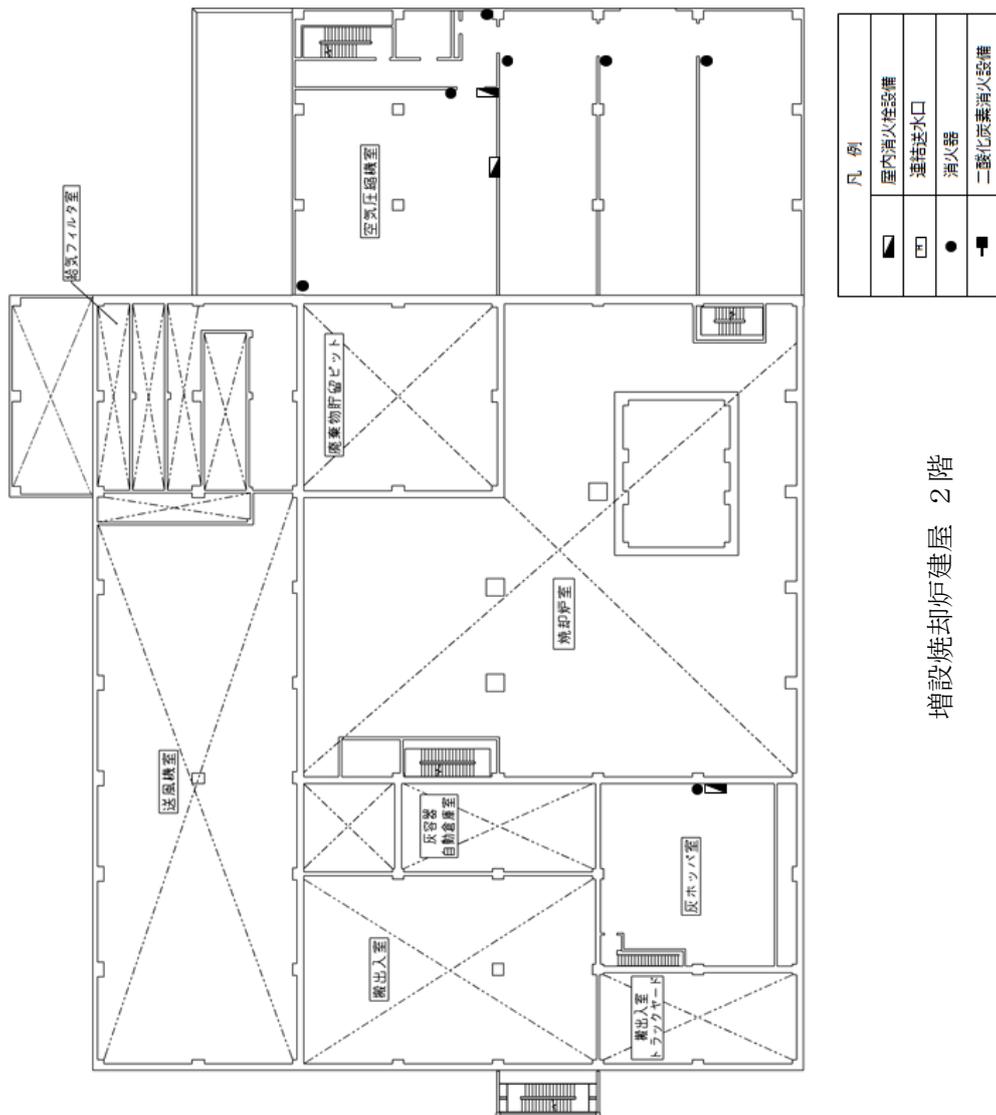
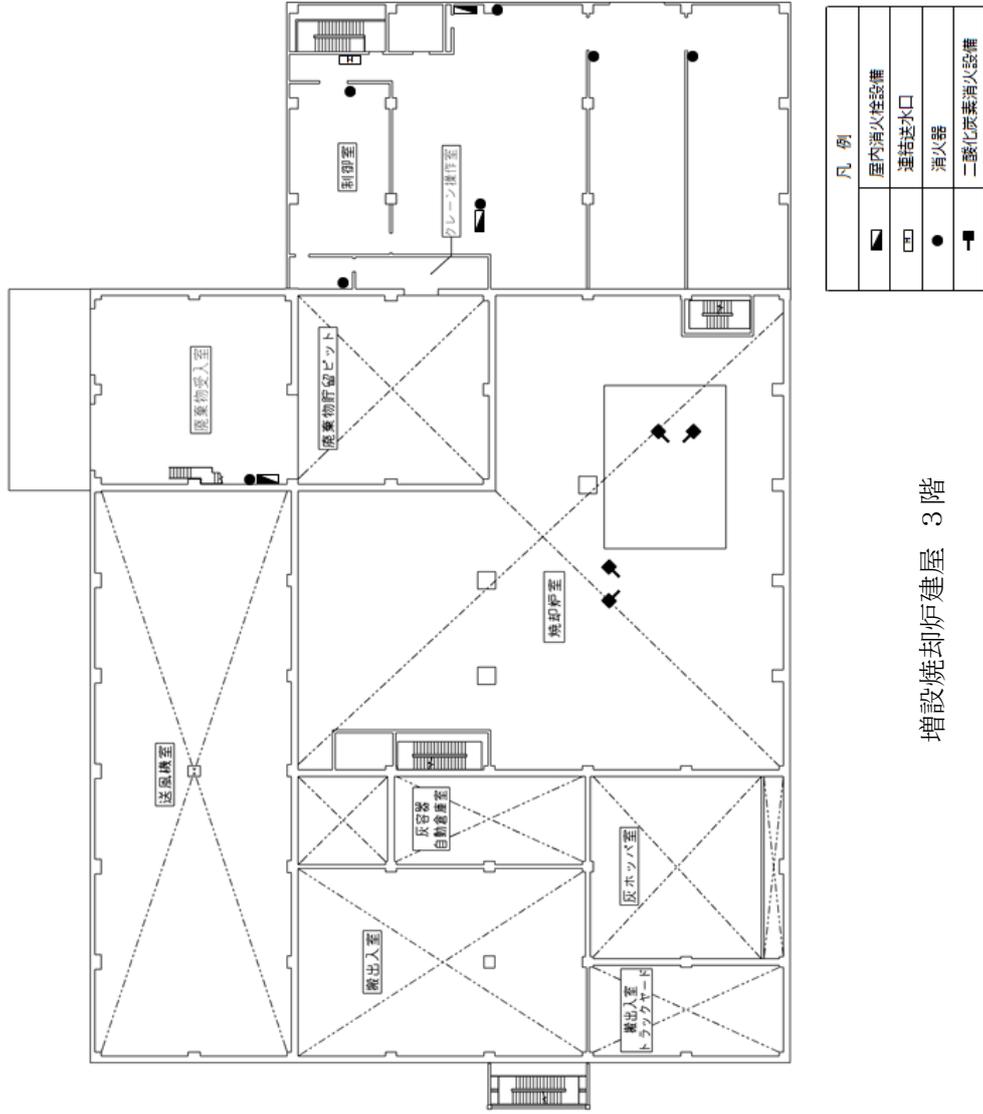


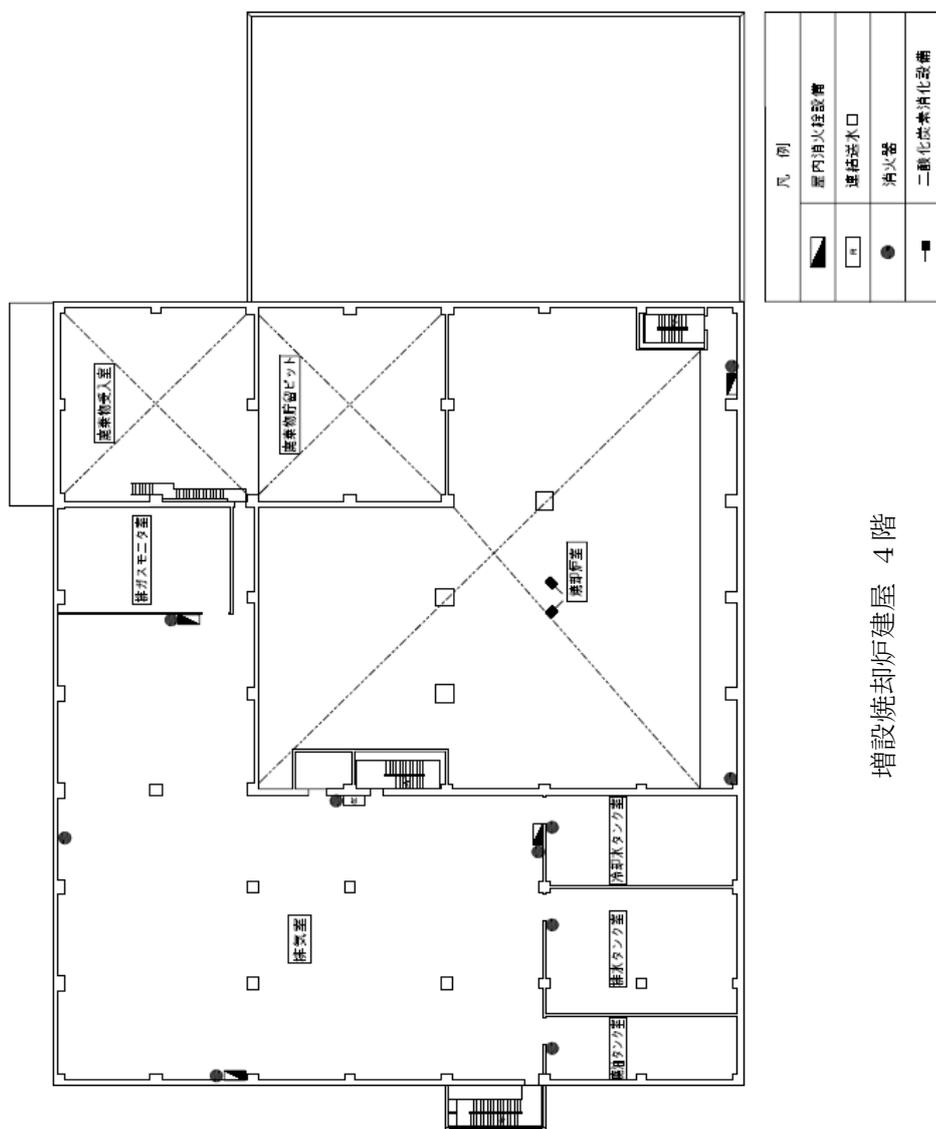
図-1 消火設備の取付箇所を明示した図面 (2/6)



凡例	
■	屋内消火栓設備
□	連結放水口
●	消火器
■	二酸化炭素消火設備

増設焼却炉建屋 3階

図-1 消火設備の取付箇所を明示した図面 (3/6)



増設焼却炉建屋 4階

図-1 消火設備の取付箇所を明示した図面 (4/6)

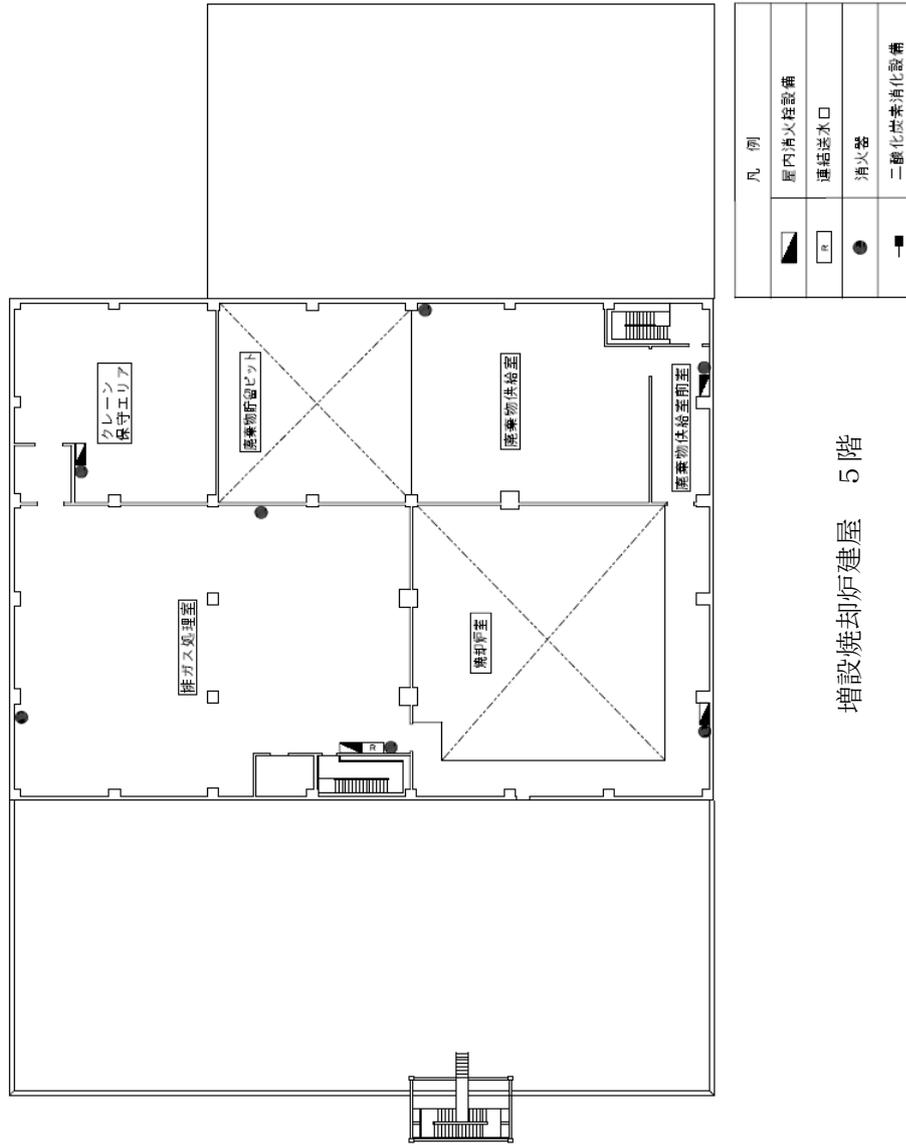


図-1 消火設備の取付箇所を明示した図面 (5/6)



増設焼却炉建屋 屋上階

凡 例	
	屋内消火栓設備
	連絡送水口
	消火器
	二酸化炭素消火設備

図-1 消火設備の取付箇所を明示した図面 (6 / 6)

生体遮へい装置の放射線の遮へい及び熱除去についての計算書

1. 一般事項

本計算書は、増設焼却炉建屋における生体遮へい装置（以下、補助遮へいという。）の放射線の遮へい及び熱除去に関する評価について説明するものである。

1.1 遮へい設計評価の基本方針

増設雑固体廃棄物焼却設備は、建屋躯体を用いた補助遮へいで区画し、その補助遮へいの厚さに対し、増設雑固体廃棄物焼却設備の各線源からの線量率計算結果が、外部放射線に係る設計基準線量率 $2.6 \times 10^{-3} \text{mSv/h}$ 以下を満足していることを確認することにより、遮へい設計が十分であることを評価する。

1.2 遮へい設計の設計基準線量率

通常運転時、放射線業務従事者の受ける線量が「東京電力株式会社福島第一原子力発電所原子炉施設の保安及び特定核燃料物質の防護に関して必要な事項を定める告示」（平成25年4月12日原子力規制委員会告示第3号）に定めた線量限度を超えないようにするとともに、放射線業務従事者の立入場所における線量を合理的に達成できる限り低減するように、放射線防護上の措置を講じた設計とする。遮へい設計に際しては、焼却設備の各線源からの外部放射線に係る線量率が、設計基準線量率 $2.6 \times 10^{-3} \text{mSv/h}$ 以下を満足する設計とする。

1.3 遮へい設計の方法

増設焼却炉建屋の補助遮へいの設計方法は、以下のとおりである。

- (1) 線源となる雑固体廃棄物、焼却灰は、原則としてコンクリートの遮へい壁で囲まれた区画に収容する。
- (2) 増設焼却炉建屋の通常運転時に予想される実効線量率が最大となる時の線源強度を計算する。
- (3) 遮へい計算は、対象となる線源の線源強度および幾何学的形状を勘案して適切な計算機コードを選択し、機器配置を考慮して補助遮へい外側表面の線量率を計算する。

1.4 遮へい設計の前提条件

補助遮へいの遮へい設計に用いる前提条件は、以下のとおりである。

- (1) コンクリートの密度は 2.15g/cm^3 とする。
- (2) 計算モデルは、保守的な評価となるようにする。

1.5 熱除去に関する設計

増設焼却炉建屋の補助遮へいは、取り扱われるものが雑固体廃棄物、焼却灰であることから、コンクリート壁に入射するガンマ線エネルギー束が低いので、コンクリート壁での発熱量は小さく、また建屋内は換気空調設備で熱除去される。

2. 補助遮へいの計算に用いる線源強度

増設焼却炉建屋における補助遮へいの対象となる線源は、雑固体廃棄物、焼却灰である。各線源は滞留水を汚染起源と仮定し、表-1に示す核種、放射能濃度を内包しているとす。なお、各線源のガンマ線源強度の計算はORIGEN2コードにより行う。

表-1 遮へい計算に用いる各線源の放射能濃度

核種	放射能濃度 (Bq/cm ³)	
	雑固体廃棄物	焼却灰
Mn-54	1.0E+00	1.7E+01
Co-58	4.8E-03	8.0E-02
Co-60	2.9E+00	4.8E+01
Sr-89	3.9E-02	6.5E-01
Sr-90	2.5E+02	4.2E+03
Ru-103	3.6E-05	6.0E-04
Ru-106	9.6E+00	1.6E+02
Sb-124	5.1E-03	8.5E-02
Sb-125	9.0E+00	1.5E+02
I-131	9.6E-26	1.6E-24
Cs-134	8.7E+01	1.5E+03
Cs-136	6.3E-18	1.1E-16
Cs-137	2.4E+02	4.0E+03
Ba-140	4.2E-16	7.0E-15
合計	6.0E+02	1.0E+04

3. 補助遮へい計算方法

3.1 計算方法

増設焼却炉建屋の遮へい計算には、計算機コード「MCNP」を用いる。計算機コードの主な入力条件は以下の項目である。

- ・線源の放射能濃度
- ・線源のエネルギースペクトル
- ・線源形状
- ・遮へい厚さ
- ・線源からの距離
- ・遮へい体の物質の指定

3.2 線量率計算

補助遮へい外側表面の線量率計算は、3.1 に示した入力条件を計算機コードに入力して行う。

3.2.1 線量率計算モデル

線量率の評価位置は、線源強度および遮へい厚さが異なる代表的な壁および天井スラブの外側表面において線量率が最大になる箇所とする。

図-1～6の計算配置図に増設焼却炉建屋の線源配置および評価点位置を示す。

(1) 廃棄物貯留ピットの計算モデル

廃棄物貯留ピットで取り扱う雑固体廃棄物は、容量をピット内に充填されている状態とした直方体線源とする。線源の放射能濃度は、表-1に示した放射能濃度とする。

a. 廃棄物貯留ピット1階の北壁（壁厚 500 mm）

廃棄物貯留ピット1階の北壁外側表面（評価点①）の線量率の計算に用いる線源の形状・寸法、壁の厚さ、評価点の位置を図-1及び図-7に示す。

b. 廃棄物貯留ピット2階の東壁（壁厚 650 mm）

廃棄物貯留ピット2階の東壁外側表面（評価点②）の線量率の計算に用いる線源の形状・寸法、壁の厚さ、評価点の位置を図-2及び図-8に示す。

c. 廃棄物貯留ピットの天井スラブ（スラブ厚 300 mm）

廃棄物貯留ピットの天井スラブ外側表面（評価点③）の線量率の計算に用いる線源の形状・寸法、天井の厚さ、評価点の位置を図-6及び図-9に示す。

(2) 灰容器自動倉庫の計算モデル

灰容器自動倉庫に保管する灰充填容器の数量は最大74個であるが、解析における線源形状・寸法は保守的に各灰充填容器間の空間も全て線源とした直方体線源とする。線源の放射能濃度は、表-1に示した放射能濃度とする。

- a. 搬出入室1階の西壁（灰容器自動倉庫室壁厚300mm，搬出入室壁厚500mm）
搬出入室1階の西壁外側表面（評価点④）の線量率の計算に用いる線源の形状・寸法，壁の厚さ，評価点の位置を図-1及び図-10に示す。

(3) 主灰ホップ及び飛灰ホップの計算モデル

主灰ホップ及び飛灰ホップの解析における線源形状・寸法は、焼却灰が内包される範囲として主灰ホップ，飛灰ホップを直方体線源とする。線源の放射能濃度は、表-1に示した放射能濃度とする。

- a. 灰充填室通路1階の南壁（灰ホップ室壁厚180mm，灰充填室通路壁厚500mm）
灰充填室通路1階の南壁外側表面（評価点⑤）の線量率の計算に用いる線源の形状・寸法，壁の厚さ，評価点の位置を図-1及び図-11に示す。
- b. 冷却水タンク室の天井スラブ（4階床スラブ厚300mm，天井スラブ厚300mm）
冷却水タンク室の4階天井スラブ外側表面（評価点⑥）の線量率の計算に用いる線源の形状・寸法，天井の厚さ，評価点の位置を図-5及び図-12に示す。

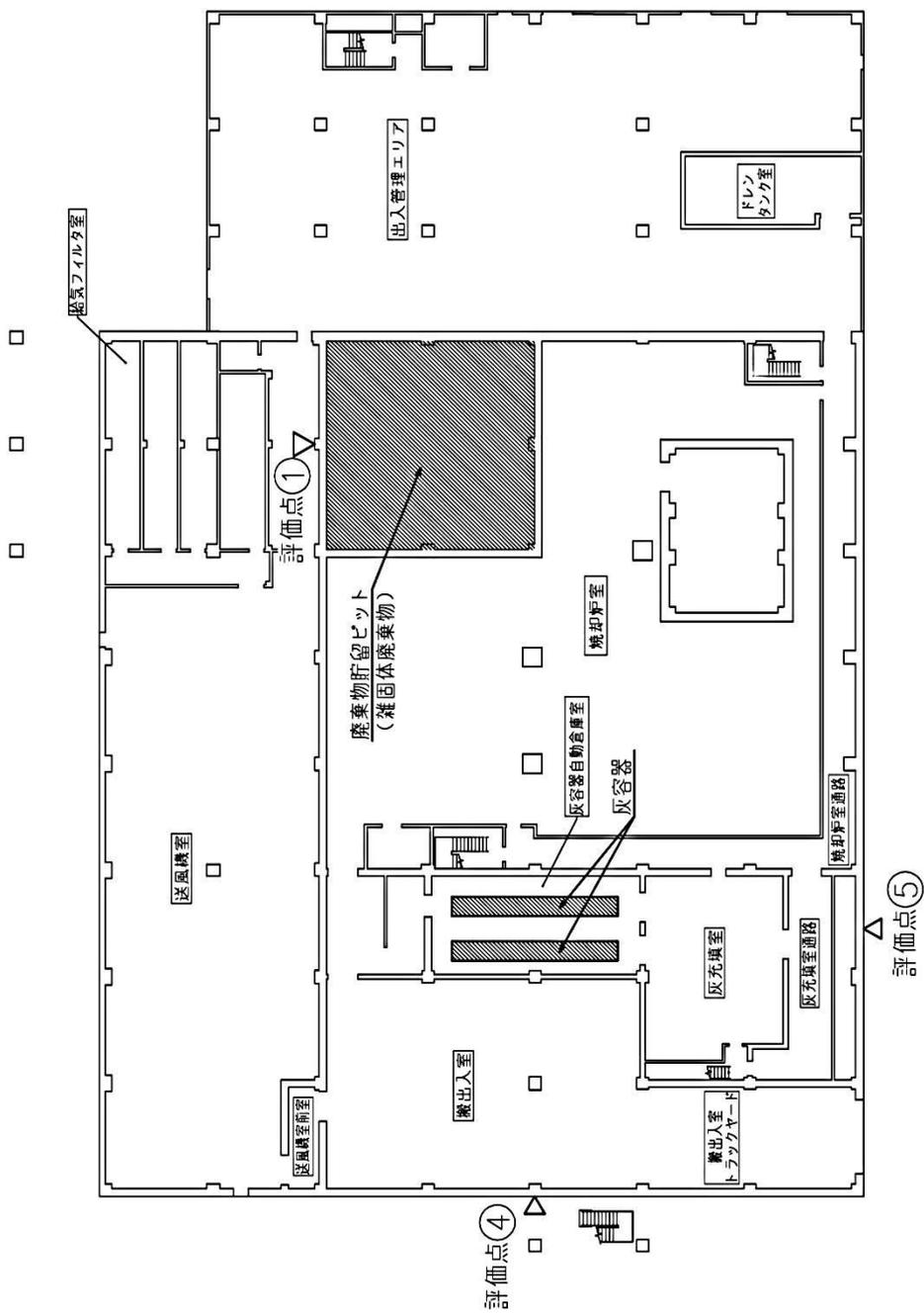
3.2.2 線量率計算結果

線量率の計算結果を表-2に示す。

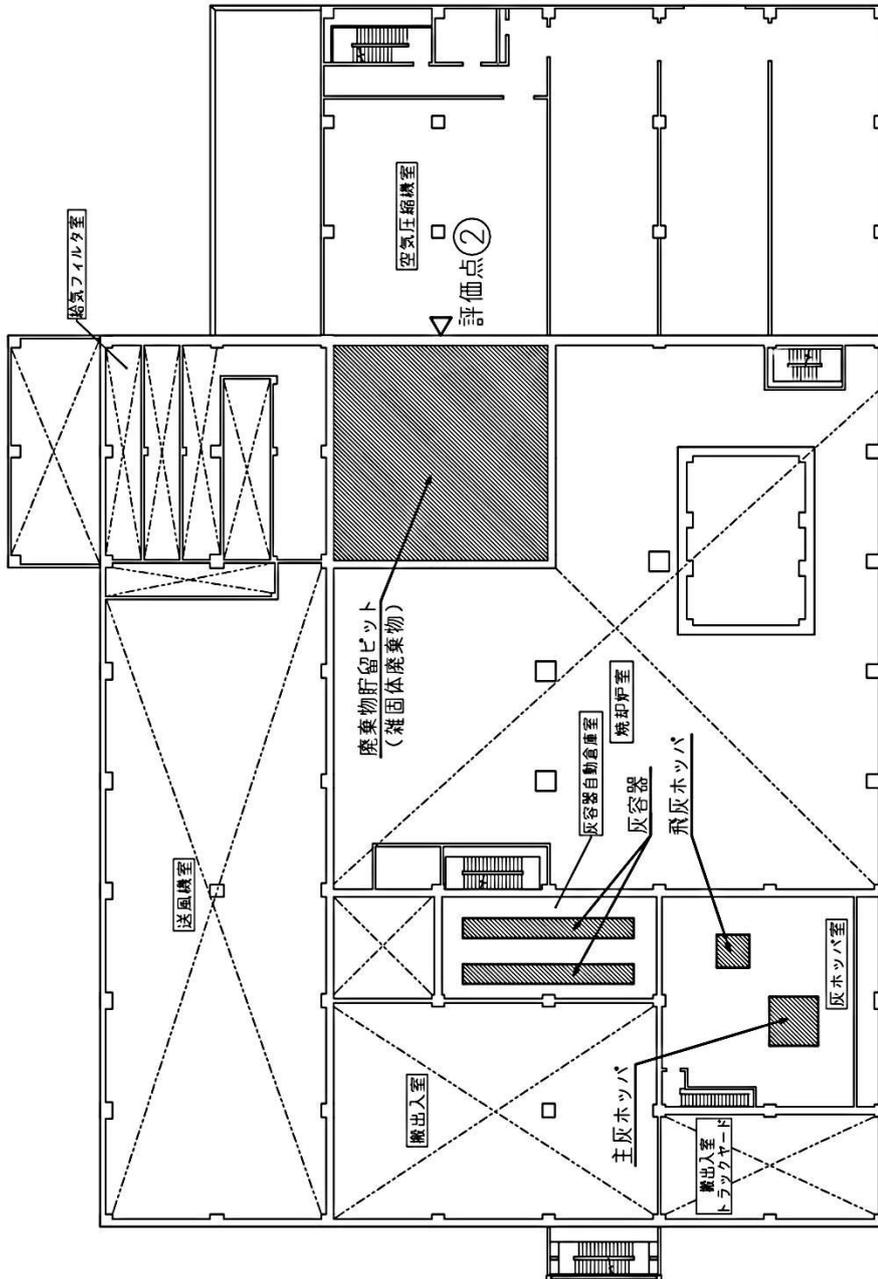
補助遮へい外側表面の線量率は、いずれのエリアも設計基準線量率 $2.6 \times 10^{-3} \text{mSv/h}$ 以下を満足することを確認した。

表-2 線量率の計算結果

評価点	評価箇所	線量率計算結果	設計基準線量率
①	廃棄物貯留ピット1階の北壁	$9.1 \times 10^{-5} \text{mSv/h}$	$2.6 \times 10^{-3} \text{mSv/h}$ 以下
②	廃棄物貯留ピット2階の東壁	$4.0 \times 10^{-5} \text{mSv/h}$	
③	廃棄物貯留ピットの天井スラブ	$1.9 \times 10^{-4} \text{mSv/h}$	
④	搬出入室1階の西壁	$8.6 \times 10^{-6} \text{mSv/h}$	
⑤	灰充填室通路1階の南壁	$2.5 \times 10^{-6} \text{mSv/h}$	
⑥	冷却水タンク室の天井スラブ	$5.5 \times 10^{-5} \text{mSv/h}$	



図一 1 増設雑固体廃棄物焼却設備の計算配置図（1階）



図一 2 増設雑固体廃棄物焼却設備の計算配置図 (2階)

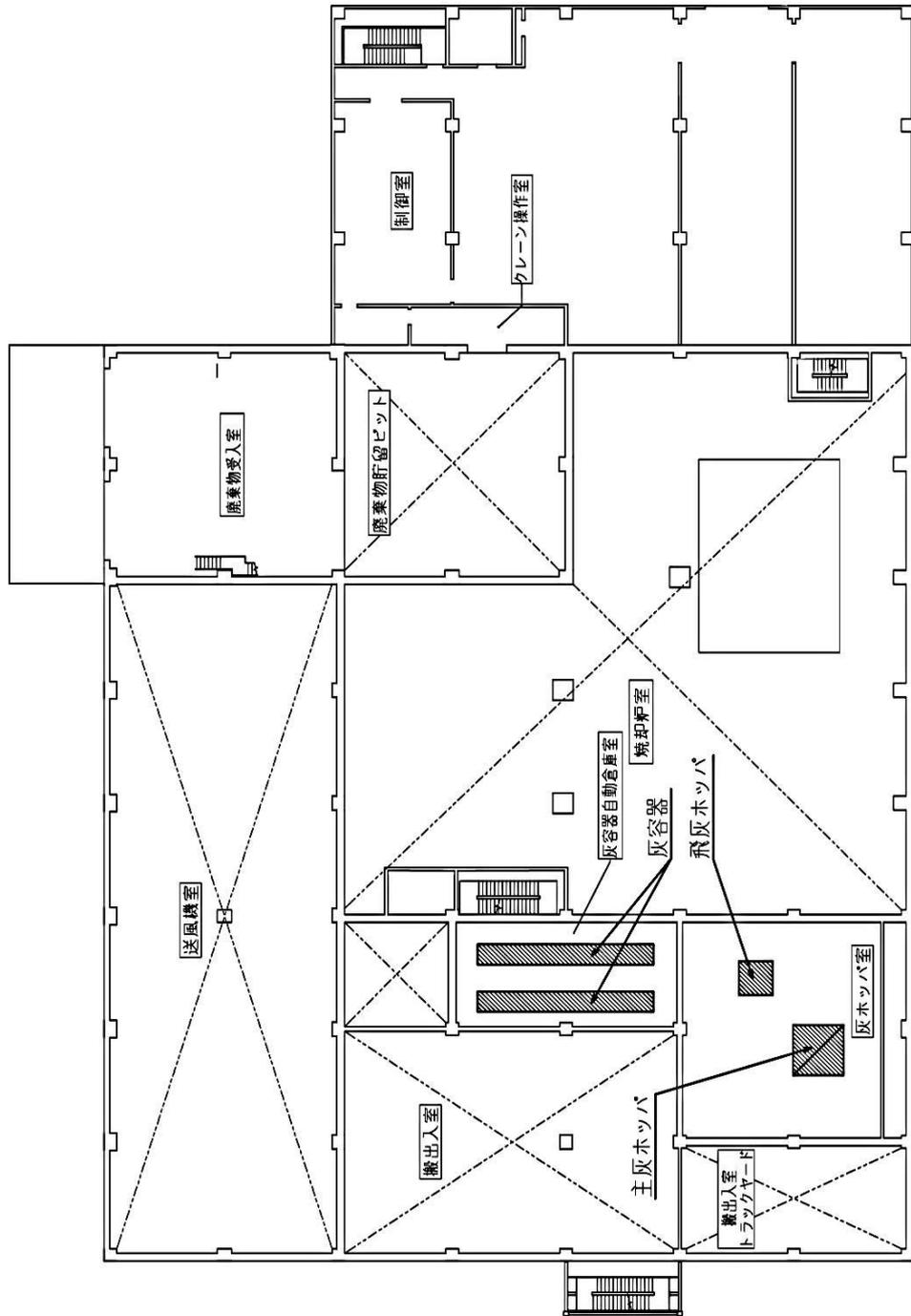
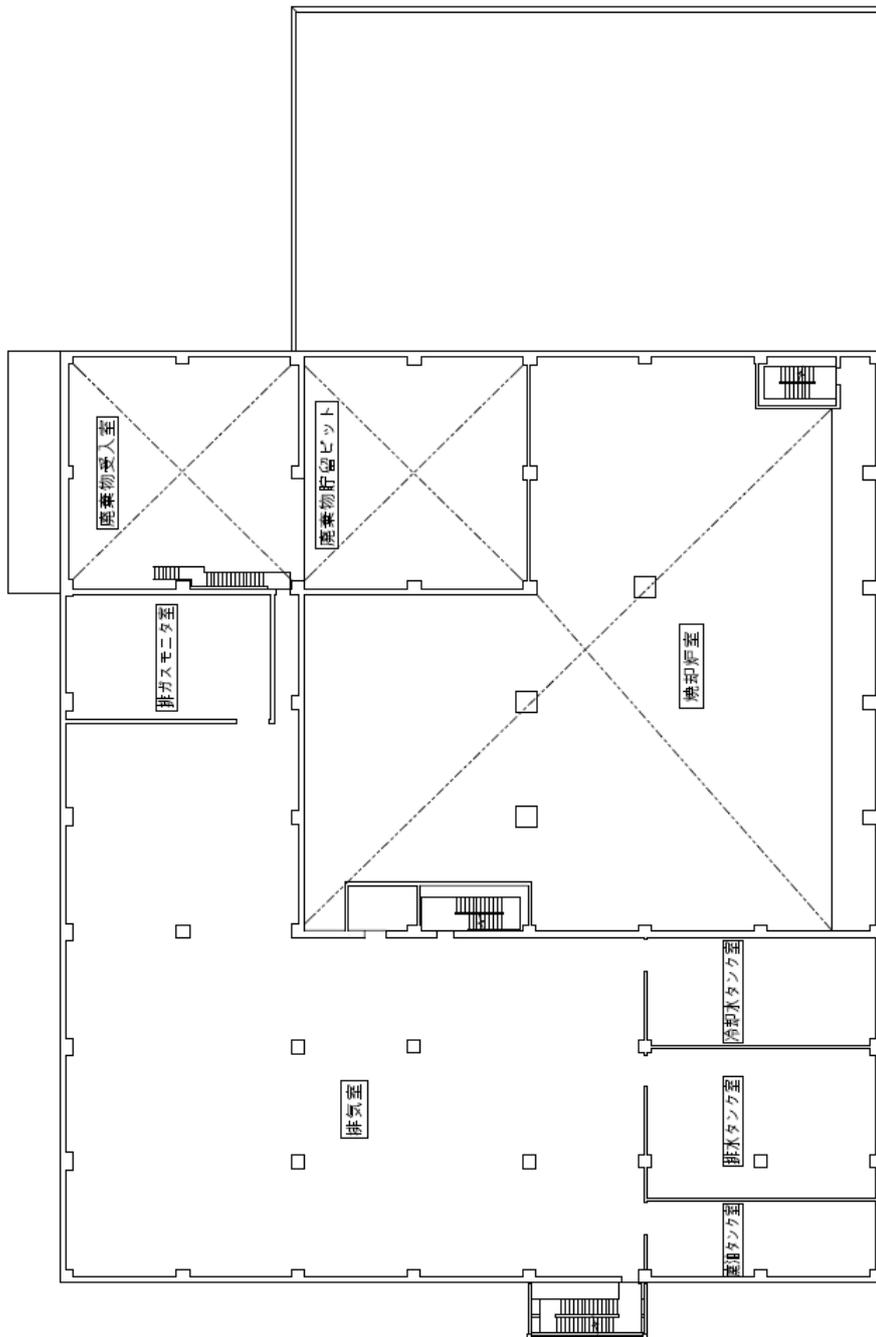
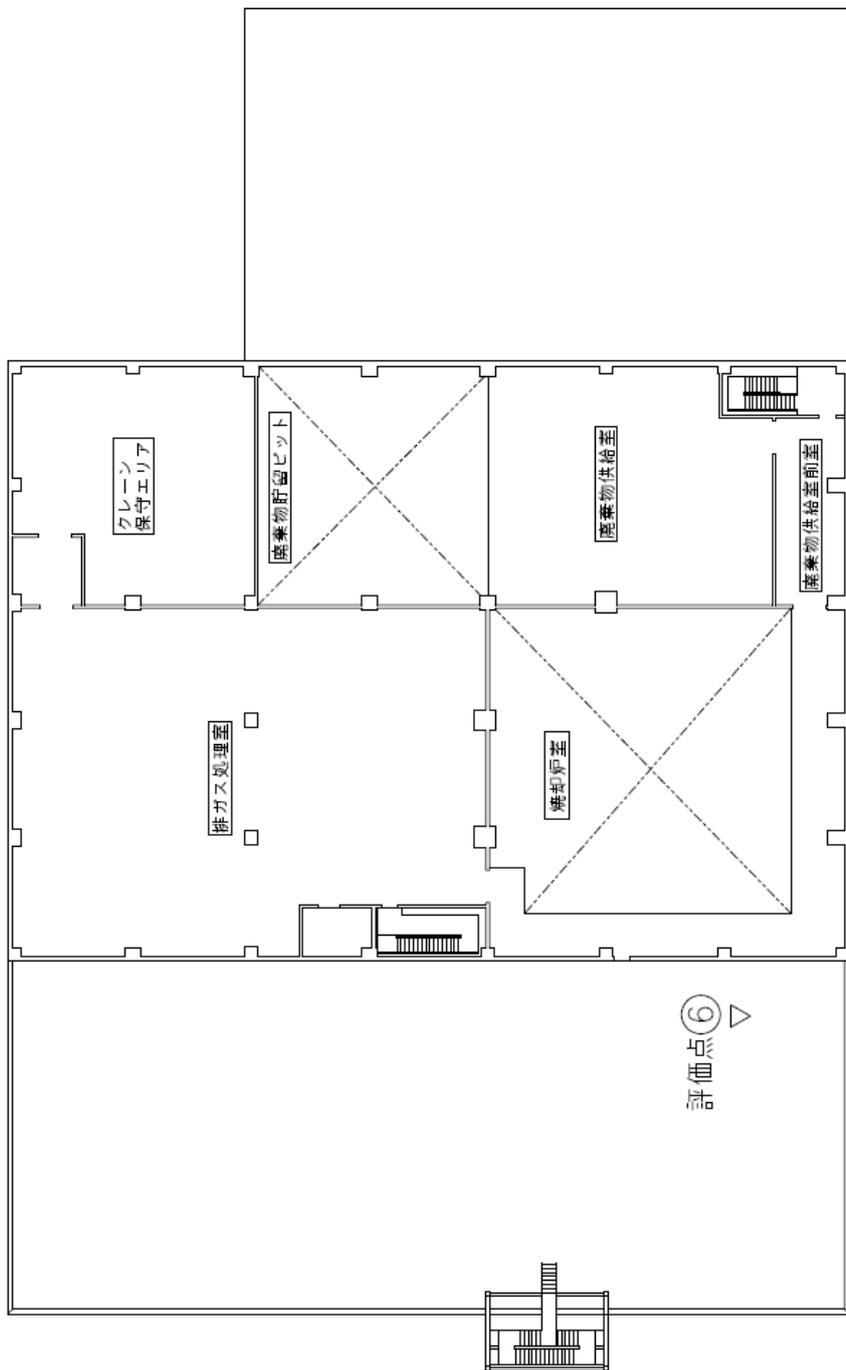


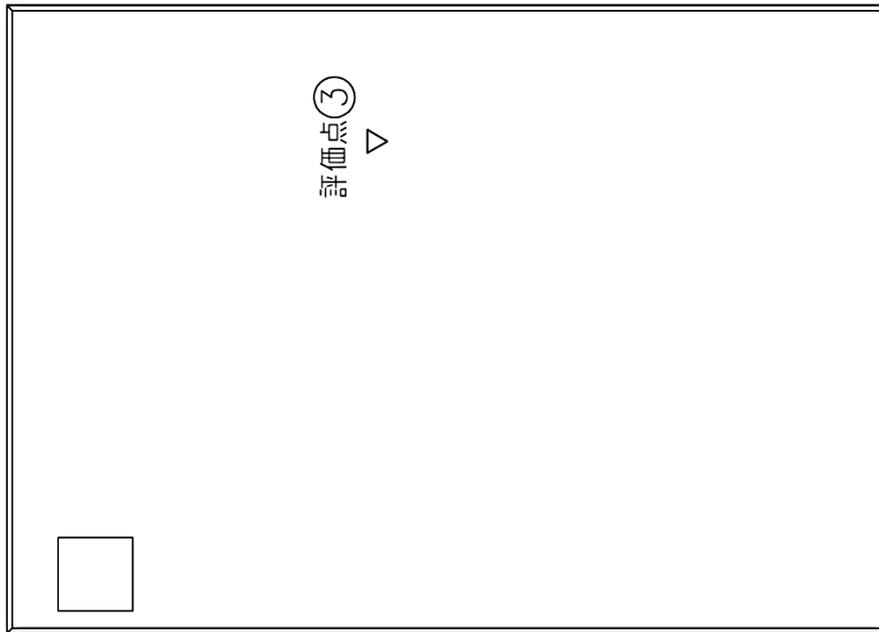
図-3 増設雑固体廃棄物焼却設備の計算配置図(3階)



図一4 増設雑固体廃棄物焼却設備の計算配置図（4階）



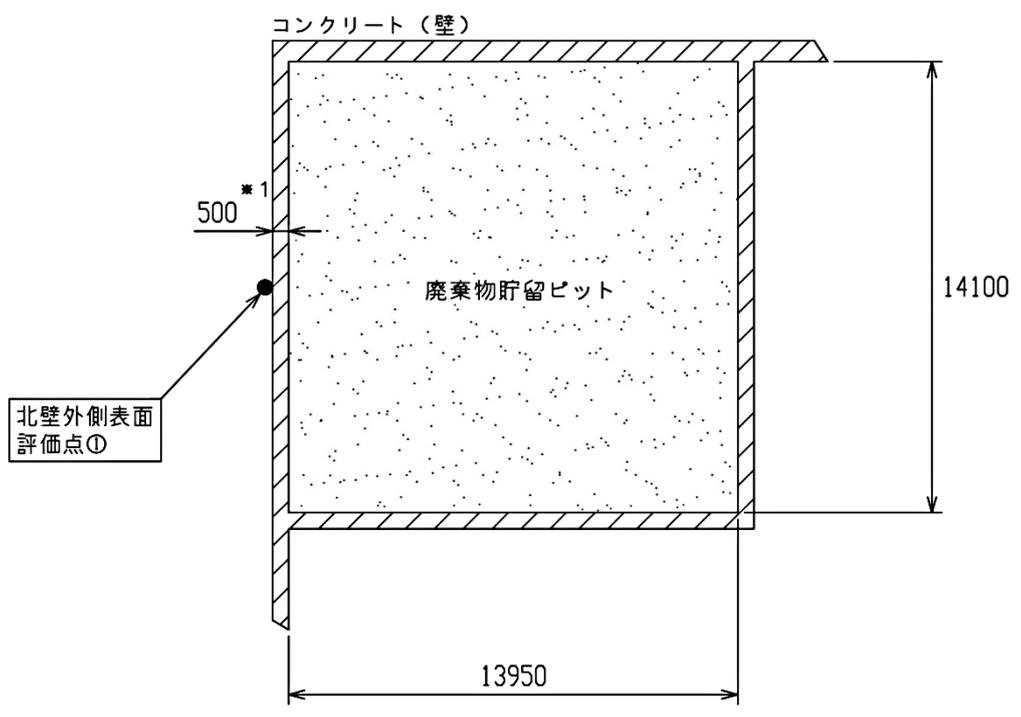
図一5 増設雑固体廃棄物焼却設備の計算配置図(5階)



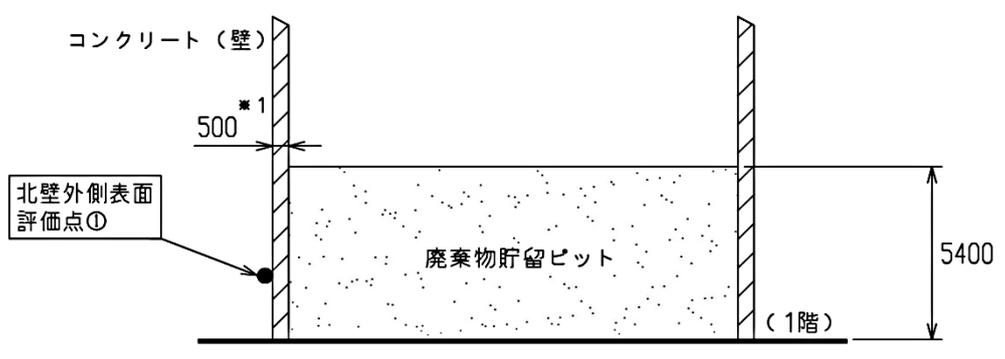
図一6 増設雑固体廃棄物焼却設備の計算配置図（5階天井）



[平面図]



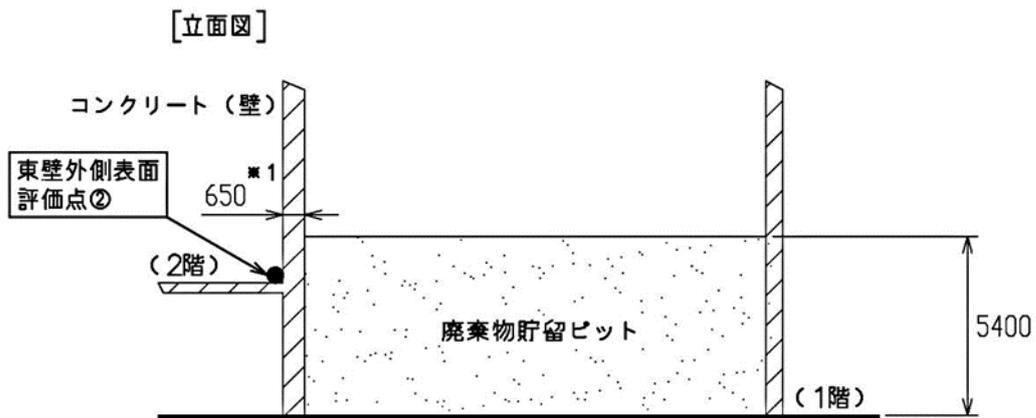
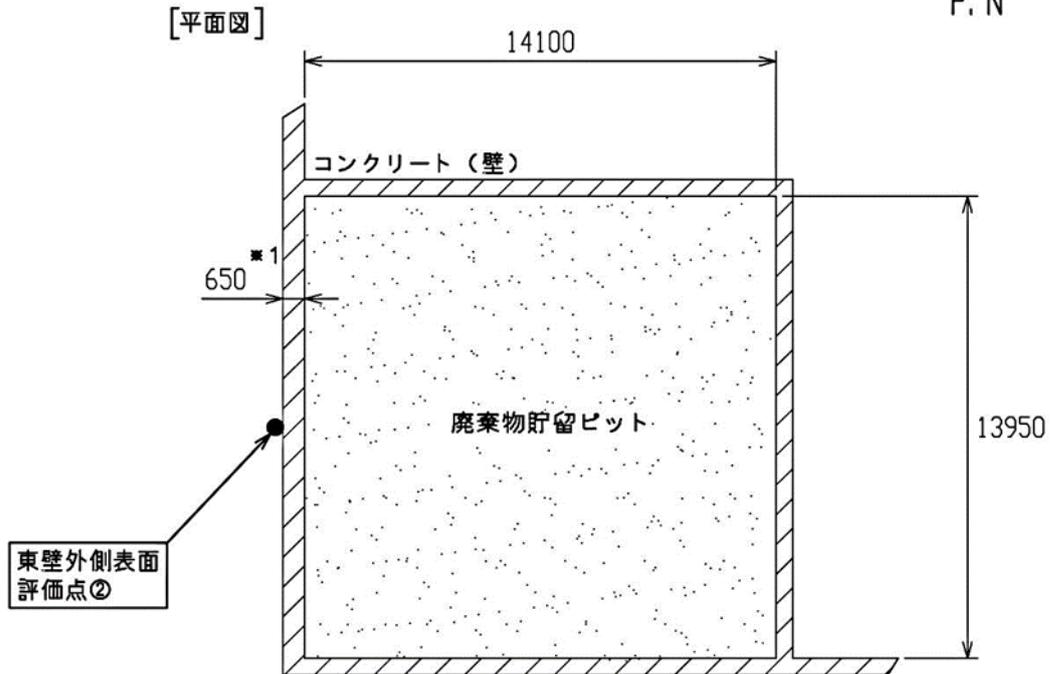
[立面図]



注記 ※ 1: 公称値を示す

(単位: mm)

図-7 廃棄物貯留ピット1階の北壁外側表面の計算モデル



注記 ※1：公称値を示す

(単位：mm)

図-8 廃棄物貯留ピット2階の東壁外側表面の計算モデル

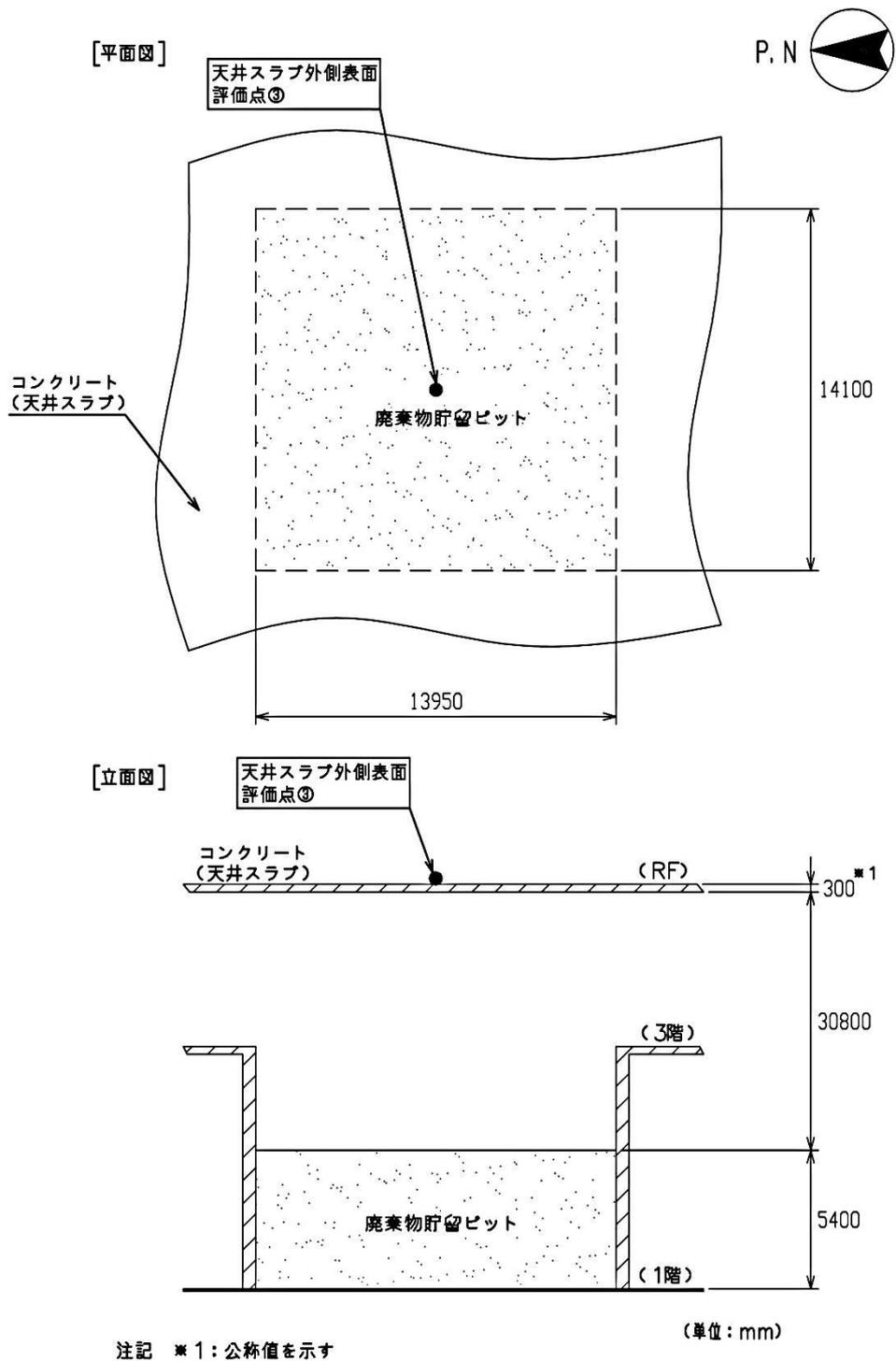
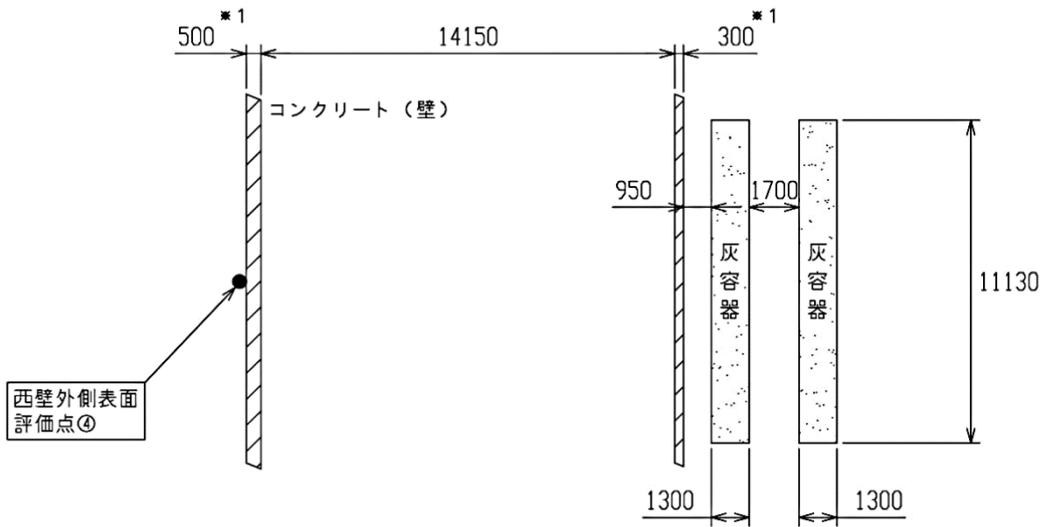


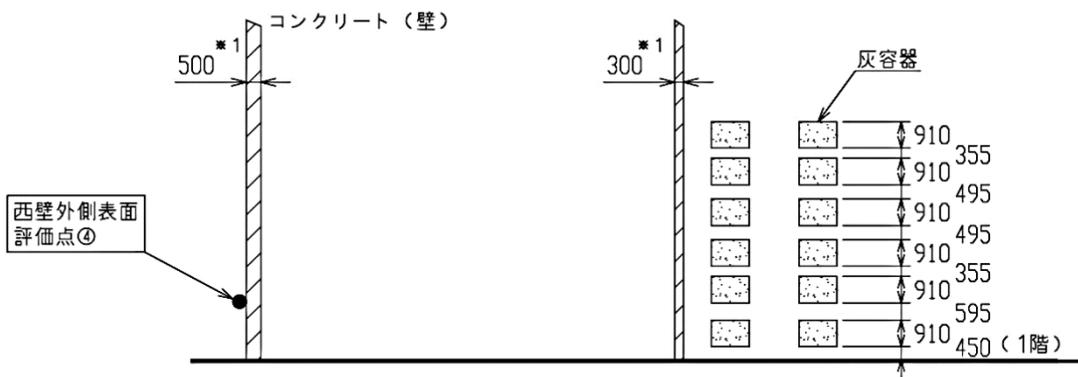
図-9 廃棄物貯留ピットの天井スラブ外側表面の計算モデル



[平面図]



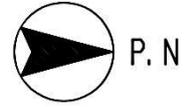
[立面図]



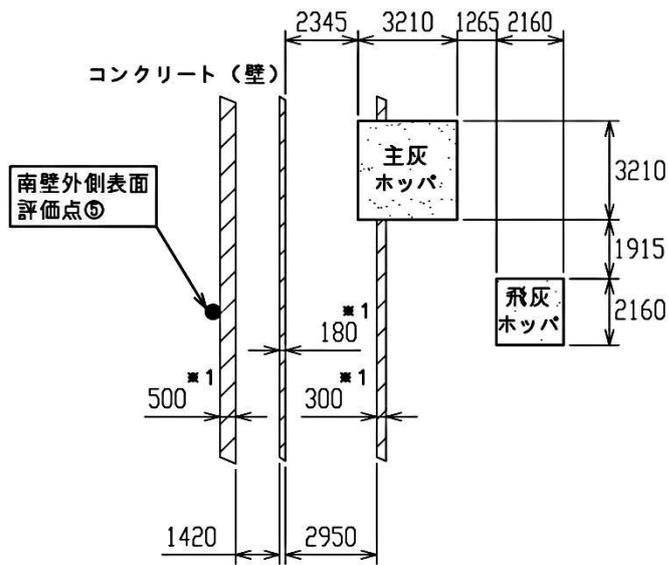
注記 *1: 公称値を示す

(単位: mm)

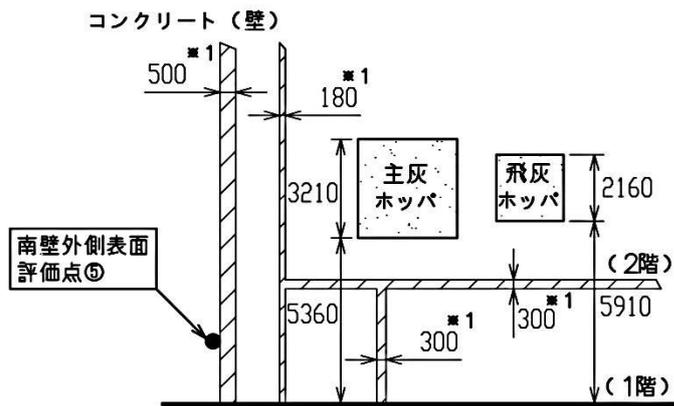
図-10 搬出入室1階の西壁外側表面の計算モデル



[平面図]



[立面図]



注記 ※1: 公称値を示す

(単位: mm)

図-11 灰充填室通路1階の南壁外側表面の計算モデル

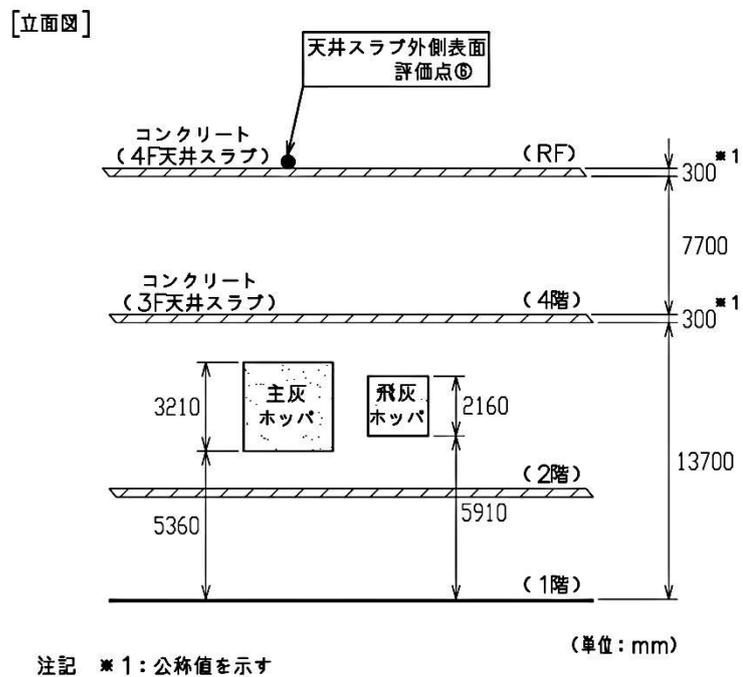
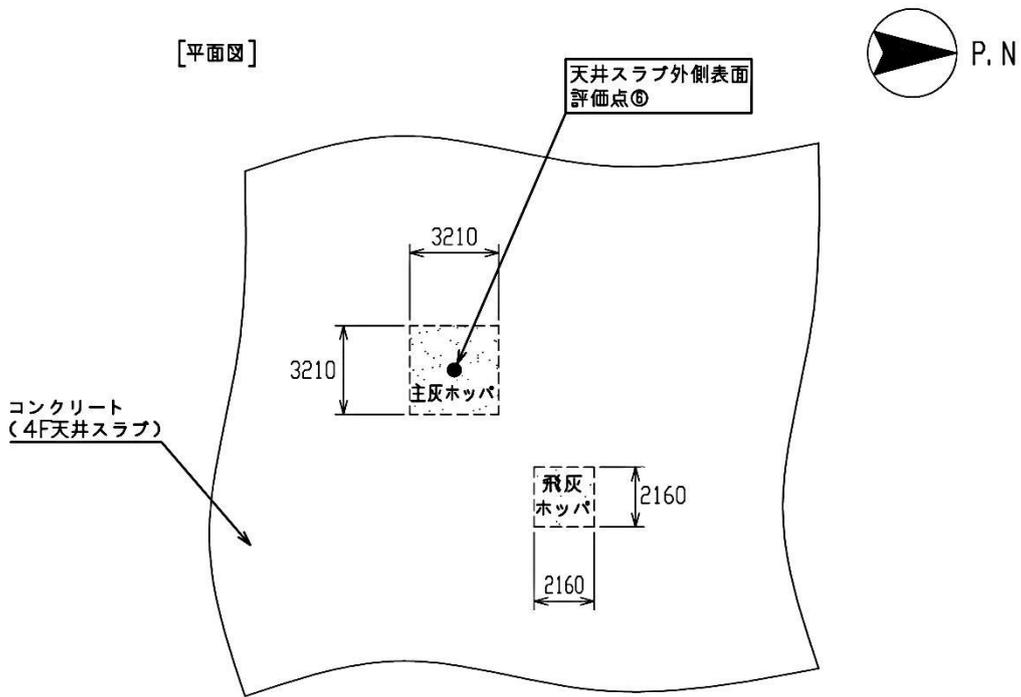


図-12 冷却水タンク室の天井スラブ外側表面の計算モデル

4. 補助遮への貫通部に対する考慮

増設焼却炉建屋の高線量率区域と低線量率区域の間の補助遮への貫通部は、原則として放射線の通過が問題とならないようにその位置を決める。

ただし、放射線の通過が問題となる位置に設置せざるを得ない場合は、配管等の貫通部に遮へい補償材（鉛毛またはモルタル）を詰め、放射線の通過を防止する措置を講じることとする。

貫通部に対する放射線の通過防止措置の例を図-13、14に示す。

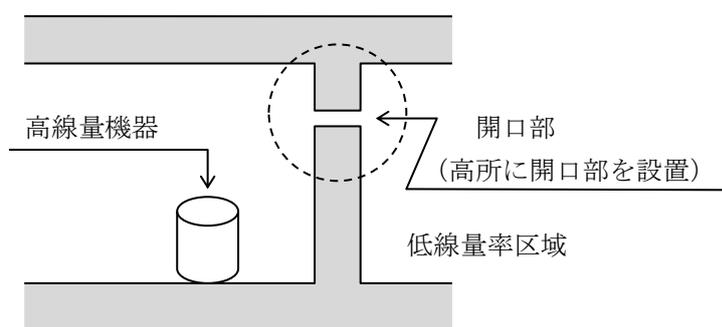


図-13 開口部の高所設置 (例)

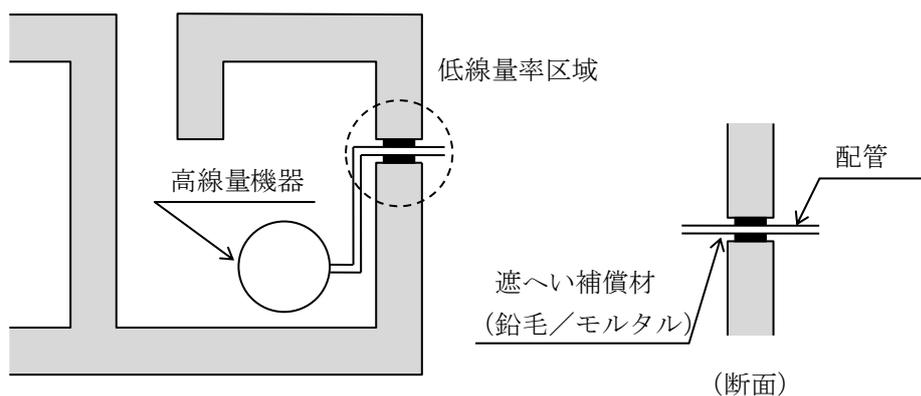


図-14 貫通孔の補償遮へい (例)

5. 補助遮へいの熱除去計算

5.1 補助遮へいの熱除去計算方法

補助遮へいであるコンクリート中のガンマ発熱密度はコンクリート中のガンマ線フラックスの減衰に応じて減少する。しかし、安全側にガンマ線の減衰を無視して入射面の最大のガンマ発熱密度でコンクリート全体が均一に発熱するものと仮定すると、コンクリート中の温度と表面温度の差の最大値 ΔT_{\max} は、内部発熱が均一とした平板の温度分布の計算式 (6. 引用文献(1)参照) を引用した下式により求められる。

$$\Delta T_{\max} = T_{\max} - T_s = Q' \cdot L^2 / 2\lambda$$

ここで、

- T_{\max} : コンクリート厚さ中心での最高温度 (°C)
- T_s : コンクリート表面温度 (°C)
- Q' : コンクリートの発熱密度 (W/m³)
- L : コンクリートの厚さの1/2 (m)
- λ : コンクリートの熱伝導率 (W/m・°C)

また、上記のコンクリートの発熱密度は、下式により求められる。

$$Q' = 10^6 \cdot \rho \cdot Q$$

ここで、

- ρ : コンクリート密度 (g/cm³)
- Q : ガンマ発熱密度 (W/g)
 $= K \cdot \phi$
- K : ガンマ発熱密度換算係数 (W・s・cm²/g)
 $= C \cdot E \cdot (\mu_{en}/\rho)$
- C : 換算係数 (W・s/MeV) (1.602×10⁻¹³)
- E : ガンマ線エネルギー (MeV)
- (μ_{en}/ρ) : コンクリートの質量エネルギー吸収係数 (cm²/g)
- ϕ : ガンマ線フラックス (photons/cm²・s)

上記において、ガンマ発熱密度は補助遮へいの灰容器自動倉庫室西壁内側の最大となる点について計算機コード「MCNP」にて計算を行う。

5.2 補助遮へいの熱除去計算結果

補助遮へい中のガンマ発熱による発熱密度は約 4×10^{-2} W/m³ となり, 温度上昇は 0.1℃ 未満であり, 自然冷却で十分である。

6. 引用文献

- (1) 日本機械学会「伝熱工学資料 改訂第5版」(2009)

人が常時勤務し、又は頻繁に出入する原子力発電所内の場所における
線量率に関する説明書

1. 遮へい設計上の基準線量率

本説明書は、通常運転時に人が常時勤務し、又は頻繁に出入する原子力発電所内の場所における外部放射線に係る線量率による区域区分を示すものである。各区域区分の外部放射線に係る設計基準線量率は、次の通り設定する。

区分		外部放射線に係る設計基準線量率
管理区域外	A	0.0026mSv/h 以下
管理区域内	B	0.01mSv/h 未満
	C	0.05mSv/h 未満
	D	0.25mSv/h 未満
	E	1 mSv/h 未満
	F	1 mSv/h 以上

上記の設計基準線量率を基にした増設焼却炉建屋の遮へい設計上の区域区分を次頁以降に示す。区域区分のうち、C-E、C-F、D-E、E-Fは、雑固体廃棄物等の線源の収納又は取扱い状態により、その範囲内で区域区分が変動することを示す。

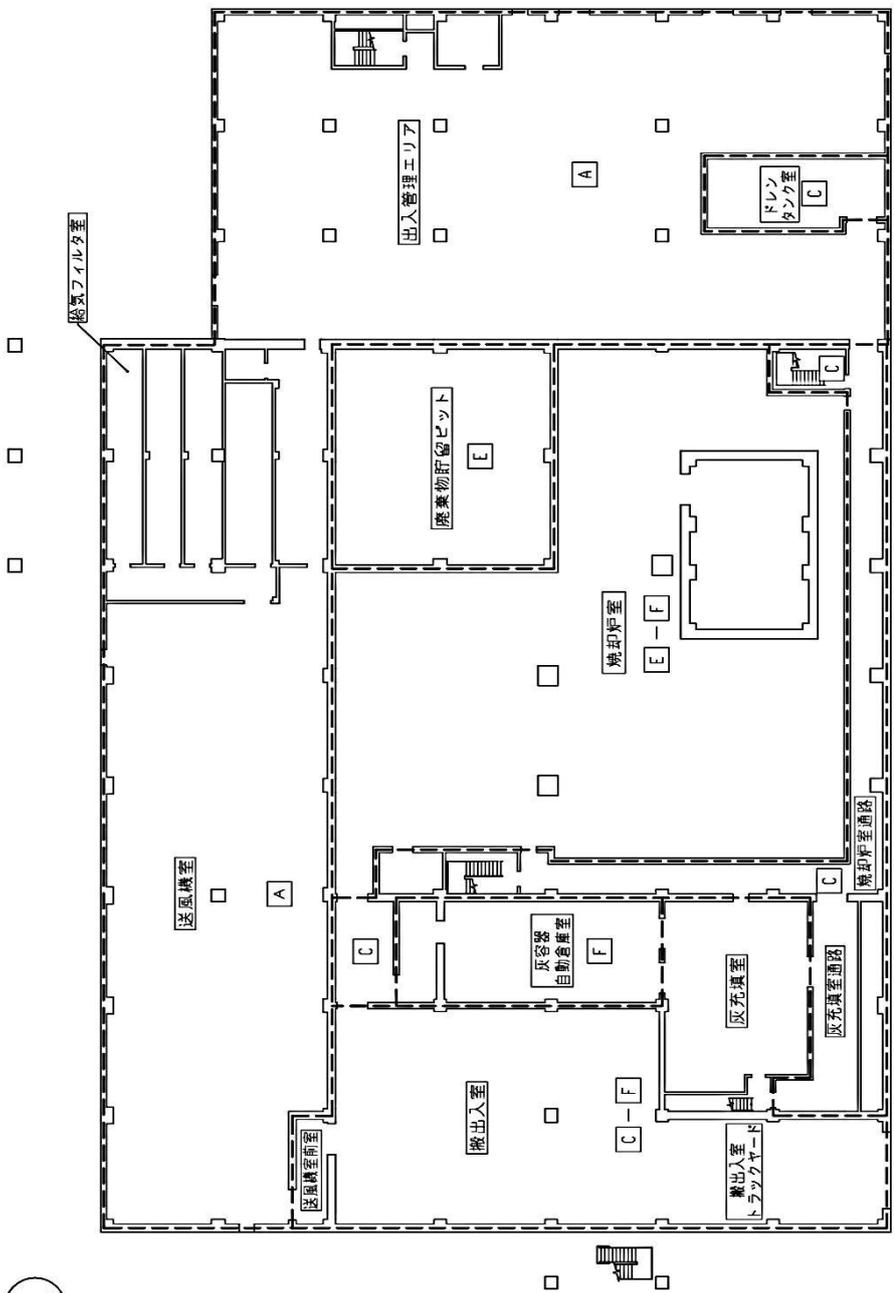


図-1 区域区分図 (増設焼却炉建屋 1 階)

区分	基準値
管理区域外	A 0.0026mSv/h以下
	B 0.01mSv/h未満
管理区域内	C 0.05 mSv/h未満
	D 0.25 mSv/h未満
	E 1 mSv/h未満
	F 1 mSv/h以上

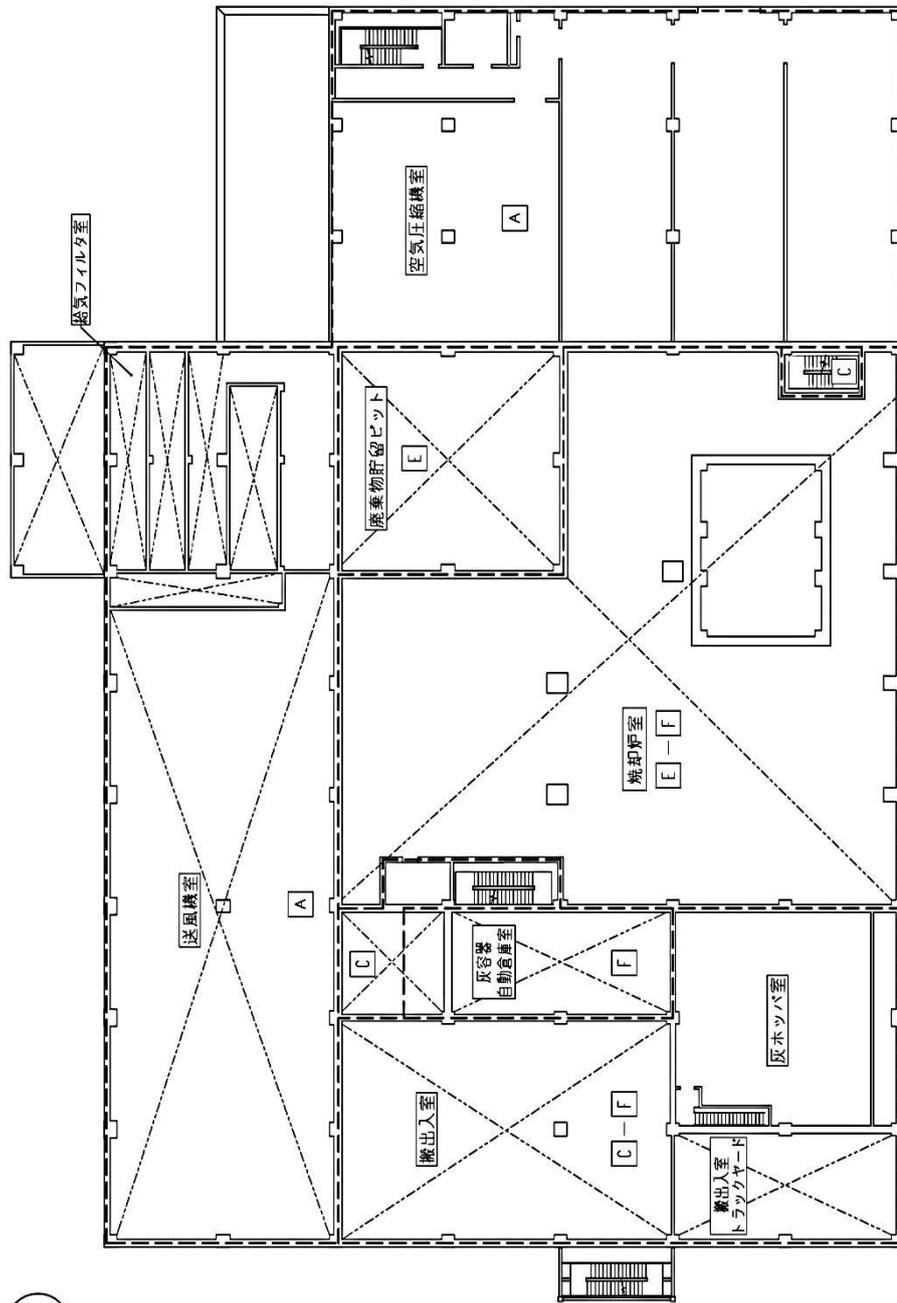


図-2 区域区分図 (増設焼却炉建屋2階)

区分	基準値
管理区域外	
A	0.0026mSv/h以下
B	0.01mSv/h未満
C	0.05 mSv/h未満
管理区域内	
D	0.25 mSv/h未満
E	1 mSv/h未満
F	1 mSv/h以上

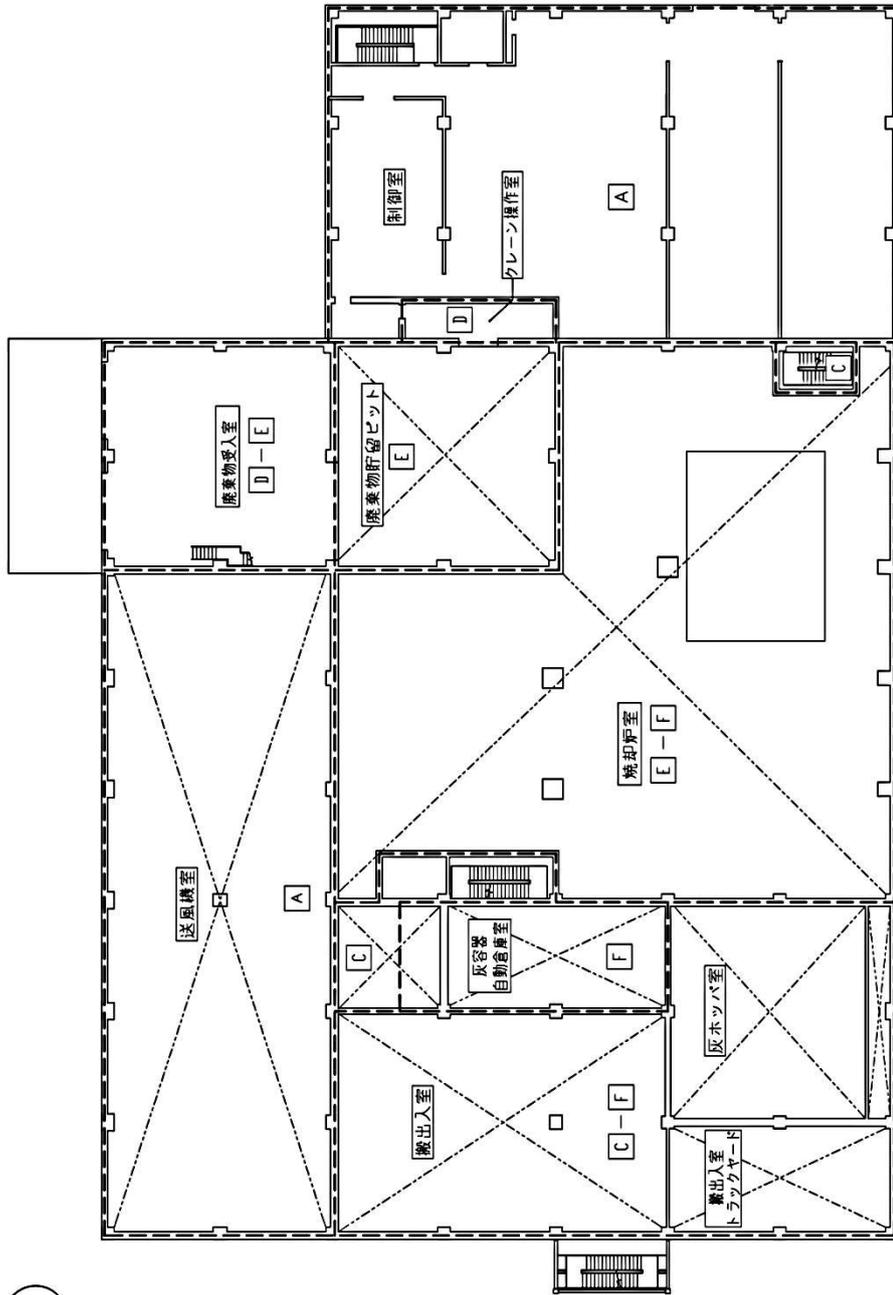


図-3 区域区分図 (増設焼却炉建屋3階)

区分		基準値
管理区域外	A	0.0026mSv/h以下
	B	0.01 mSv/h未満
	C	0.05 mSv/h未満
管理区域内	D	0.25 mSv/h未満
	E	1 mSv/h未満
	F	1 mSv/h以上

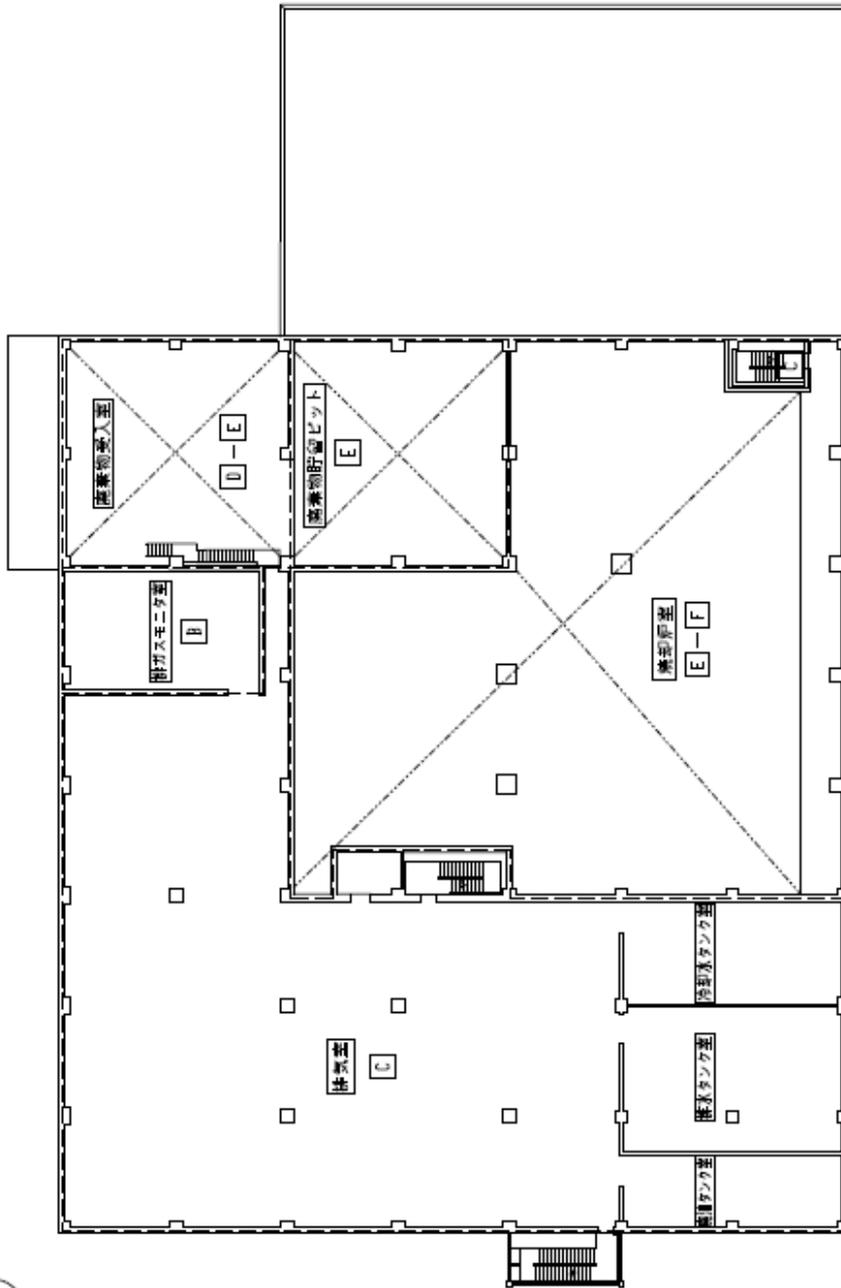
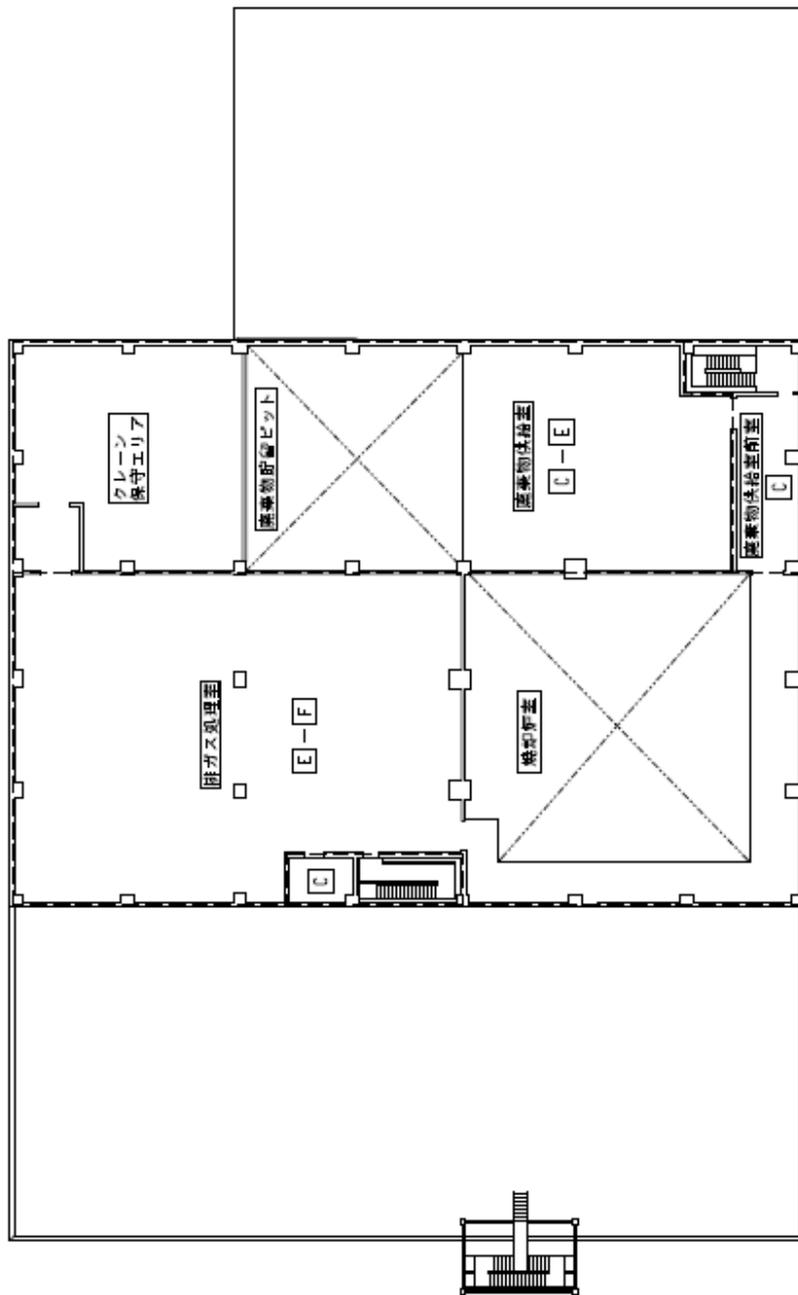


図-4 区域区分図（増設焼却炉建屋4階）

区分	基準値
管理区域外	A 0.0026mSv/h以下
	B 0.01mSv/h未満
管理区域内	C 0.05 mSv/h未満
	D 0.25 mSv/h未満
	E 1 mSv/h未満
	F 1 mSv/h以上



区分	基準値
管理区域外	A 0.0026mSv/h以下
	B 0.01mSv/h未満
	C 0.05 mSv/h未満
管理区域内	D 0.25 mSv/h未満
	E 1 mSv/h未満
	F 1 mSv/h以上

図-5 区域区分図 (増設焼却炉建屋5階)

2. 作業エリアの区域区分

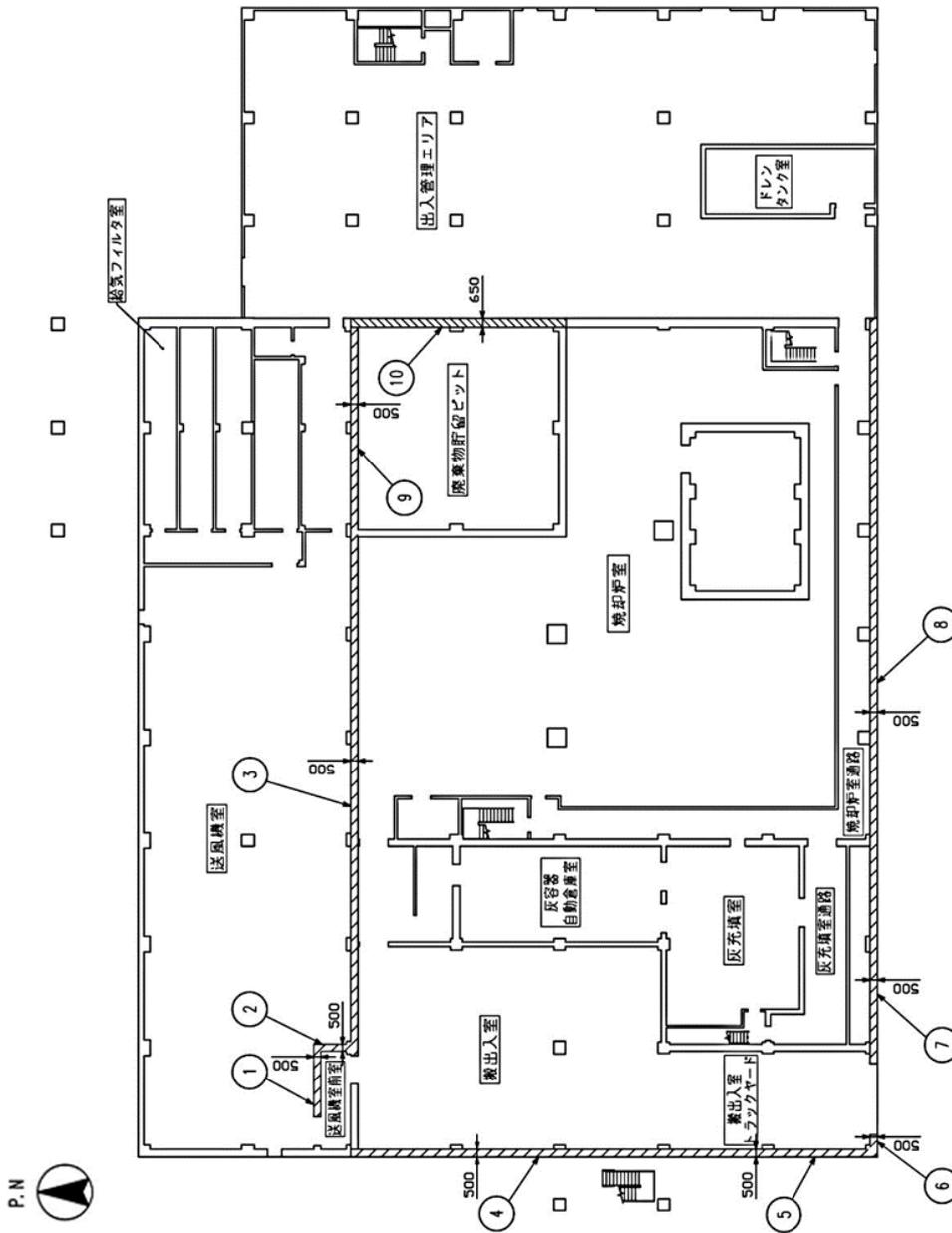
増設焼却炉建屋内で、設計上想定される作業エリアの区域区分を以下に示す。

エリア名称	区分	区分の設定根拠
廃棄物受入室	D-E	通常時はD区分となるが、廃棄物を取扱う時に限りE区分となる。
灰充填室	C-F	灰充填時は高線量の焼却灰を取扱うため作業時間の管理を行う。 作業員が滞在する灰容器蓋ボルト締め外しエリアは、高線量の焼却灰に対して機器遮へいを設置することでC区分となる。
搬出入室	C-F	灰容器搬出時は高線量の焼却灰を取扱うため作業時間の管理を行う。 搬出入室は、灰容器搬出時以外は機器遮へいを設置することでC区分となる。
クレーン操作室	D	廃棄物貯留ピットの廃棄物によりD区分となる。
制御室	A	焼却設備の運転は、焼却炉建屋の制御室より行うため、非管理区域に設定する。

上記エリアにおける作業では作業員の被ばくを低減させる目的として、作業の自動・遠隔化、機器遮へい、装置の密閉化等の対策を実施する。

3. 実効線量の管理方針

運用開始後の実効線量の管理は、必要に応じ、外部放射線に係る線量当量率及び空気中の放射性物質の濃度を測定し、作業時間の制限等を実施することで、法令に定める線量限度を遵守することはもとより、作業員の線量を合理的に達成出来る限り低減する。

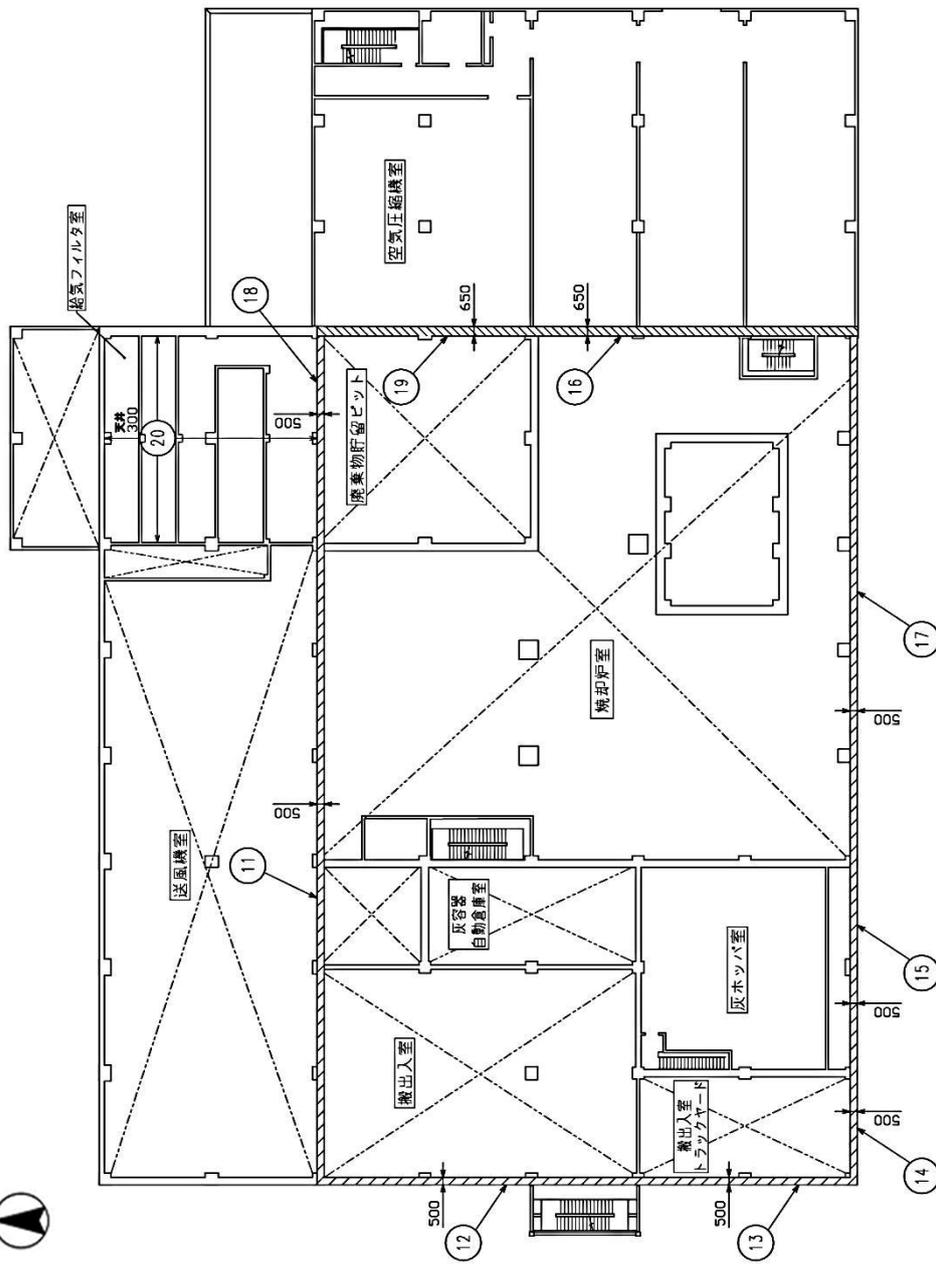


No.	種類	北壁	東壁	南壁	西壁	西壁	南壁	南壁	南壁	北壁	東壁
①	送風機室前室										
②											
③	送風機室										
④	搬出入室										
⑤	搬出入室トラックヤード										
⑥											
⑦	灰充填室通路										
⑧	焼却炉室通路										
⑨	廃棄物貯留ピット										
⑩											

注1：寸法は、mmを示す。

増設焼却炉建屋 1階

図一1 補助遮へいに関する構造図 (1/5)

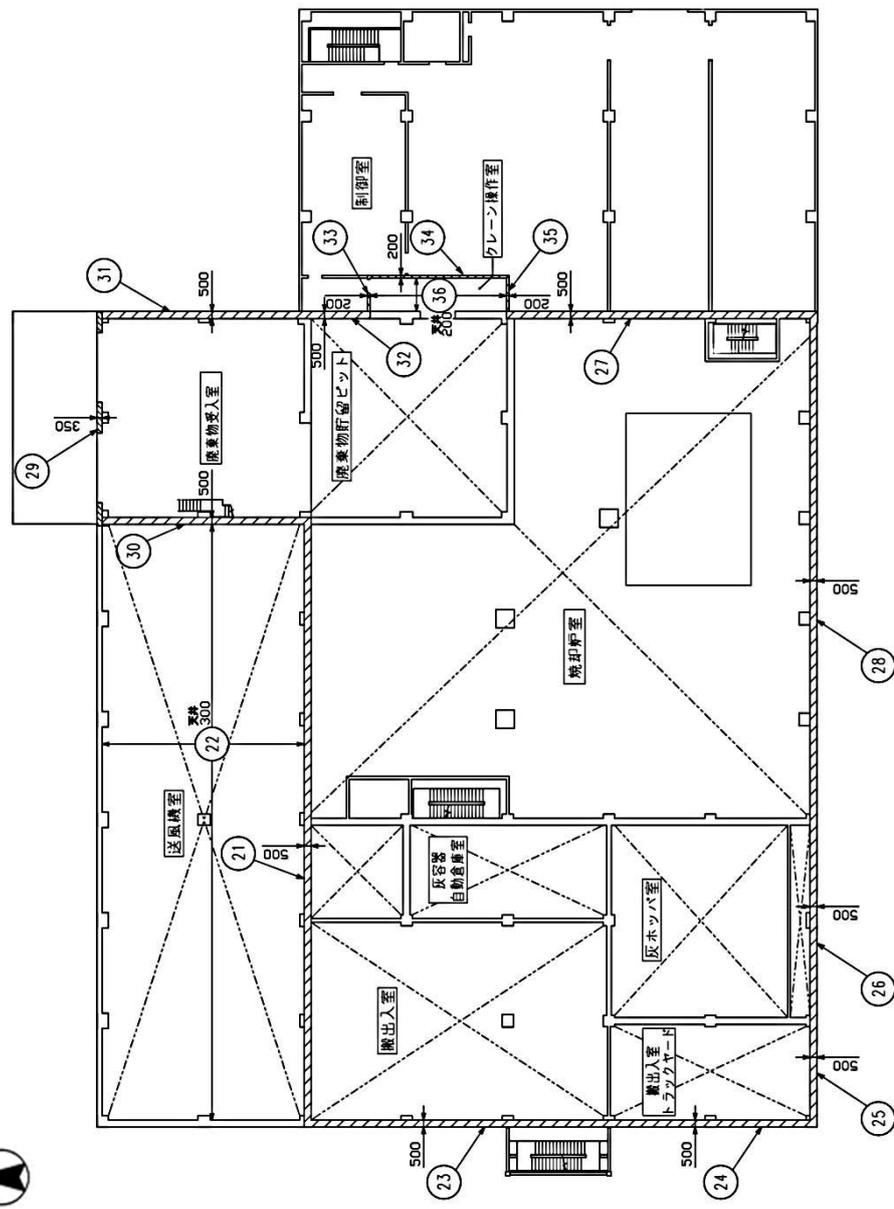


No.	種類	種類
(11)	送風機室	南壁
(12)	搬入室	西壁
(13)	搬入室トラックヤード	西壁
(14)		南壁
(15)	灰ホッパ室	南壁
(16)	焼却炉室	東壁
(17)		南壁
(18)	廃棄物貯留ピット	北壁
(19)		東壁
(20)	給気フィルタ室	天井

注1：寸法は、mmを示す。

増設焼却炉建屋 2階

図一1 補助遮へいに関する構造図 (2/5)

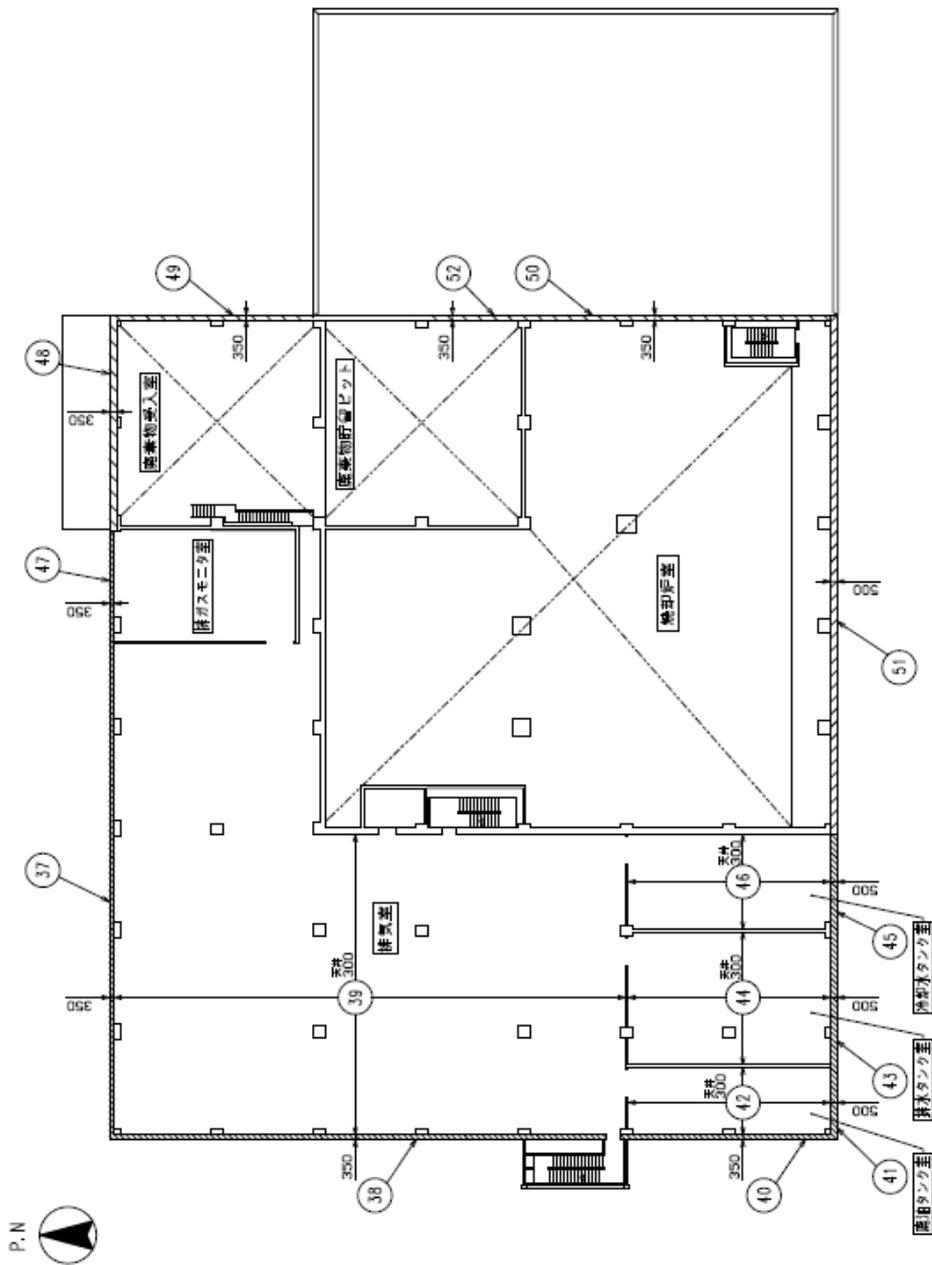


増設焼却炉建屋 3階

図一1 補助遮へいに関する構造図 (3 / 5)

No.	種類	
21	送風機室	南壁
22	搬出室	天井
23	搬出入室トトラックヤード	西壁
24	灰ホツパ室	西壁
25	焼却炉室	南壁
26	廃棄物貯留ピット	南壁
27	新御室	東壁
28	クレーン操作室	南壁
29	灰ホツパ室	北壁
30	焼却炉室	西壁
31	搬出室	東壁
32	搬入室トトラックヤード	東壁
33	灰ホツパ室	北壁
34	焼却炉室	東壁
35	搬出室	南壁
36	クレーン操作室	天井

注1:寸法は、mmを示す。

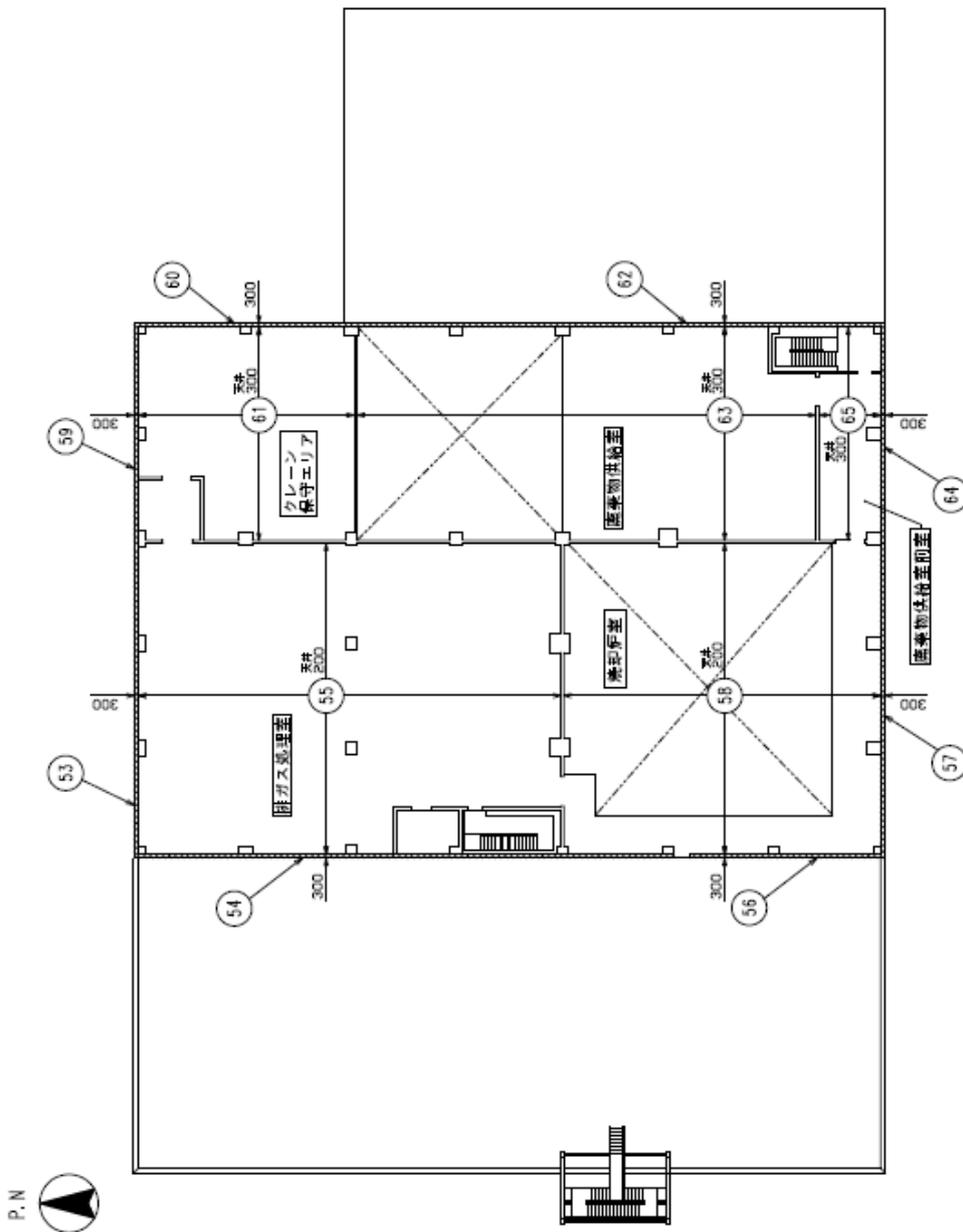


増設焼却炉建屋 4階

図一I 補助遮へいに関する構造図(4/5)

No.	種 類	壁 類
37	排気室	北壁
38		西壁
39		天井
40	廃油タンク室	西壁
41		南壁
42	排水タンク室	天井
43		南壁
44	冷却水タンク室	天井
45		南壁
46	排ガスモニタ室	天井
47		北壁
48	廃棄物受入室	北壁
49		東壁
50	焼却炉室	東壁
51		南壁
52	廃棄物貯留ピット	東壁

注1:寸法は、mmを示す。



増設焼却炉建屋 5階

図一1 補助遮へいに関する構造図 (5 / 5)

No.	種 類	
(53)	排ガス処理室	北壁
(54)		西壁
(55)		天井
(56)	焼却炉室	西壁
(57)		南壁
(58)		天井
(59)	クレーン保守エリア	北壁
(60)		東壁
(61)		天井
(62)	廃棄物供給室	東壁
(63)		天井
(64)		南壁
(65)	廃棄物供給室前室	天井

注1：寸法は、mmを示す。

放射性物質の散逸防止に関する説明書

1. 焼却灰の取扱方法

増設雑固体廃棄物焼却設備では、放射性固体廃棄物等の焼却処理を行う。

焼却灰は専用の密閉できる保管容器に詰めて密閉し保管する。

焼却灰を取扱う機器の概要は以下のとおりである。なお、焼却灰取扱機器の概要を図-1に示す。

(1) ロータリーキルン・ストーカ・二次燃焼器

焼却処理により発生する焼却灰は、ストーカ下部から排出され、主灰搬送コンベヤにて主灰ホッパに搬送される。

(2) 排ガス冷却器

排ガスに随伴し排ガス冷却器へ持ち込まれた焼却灰の一部は、排ガス冷却器下部から排出され、飛灰搬送コンベヤにて飛灰ホッパに搬送される。

(3) バグフィルタ

排ガス冷却器を通過した排ガス中の焼却灰は、バグフィルタで捕捉される。

フィルタ逆洗に伴い、焼却灰はバグフィルタ底部から排出され、排ガス冷却器からの焼却灰と合わせ、飛灰搬送コンベヤにて飛灰ホッパに搬送される。

(4) 灰搬送コンベヤ及び灰ホッパ

灰搬送コンベヤにて搬送された焼却灰は、灰ホッパに一時貯留後、保管容器へ充填される。

2. 焼却灰の散逸防止

焼却灰取扱機器で取扱う焼却灰は固体状であり、流体状ではないため、万一散逸した場合でも拡大する恐れはない。

ただし、焼却灰は放射性物質の濃度が比較的高いことから、放射線業務従事者等の被ばくを合理的に達成できる限り低減する観点に立ち、以下のとおり、焼却灰の散逸防止を図る。

また、万一の焼却灰散逸時の対応に十分配慮するとともに、インターロックにより、異常時にも対応できるよう配慮する。

2.1 安全性を確保した設計

(1) 適用材料

焼却灰取扱機器は、運転状態における最高使用圧力及び最高使用温度を考慮し適正な材料を使用する。

灰ホッパは炭素鋼とし、接続部は溶接またはフランジ構造とし散逸を防止する。

(2) 焼却灰の散逸防止

ロータリーキルンは、炉が回転するため、前後で接続される固定設備（廃棄物投入側と二次燃焼器）との取り合い部における焼却灰の散逸防止を図るため、廃棄物投入側とストーカ・二次燃焼器側へ本体が差し込まれた構造となっている。この境界部の隙間は十分小さくなっているが、可能な限り隙間を閉止することを目的に摺動式シールプレートにしている。この摺動式シールプレートは、熱伸びが吸収できるようスプリング構造とし、円周に沿うように構成される（図-2）。境界部で漏れ難い構造としている他、排ガスブロワおよび排ガス補助ブロワにより系統内を負圧に維持し焼却灰の散逸を防止する。

灰搬送コンベヤは、ストーカ、排ガス冷却器及びバグフィルタから排出される焼却灰を搬送し、カバーで囲むことにより焼却灰が散逸し難いものとする。

また、焼却灰の保管容器への充填作業は、焼却灰が散逸し難いように灰充填機のチャンバ内で行う。

(3) インターロックによる管理

灰ホッパには灰レベル高を検出するレベル計を設け、警報を発して運転員に知らせるとともに、インターロックにより灰の受入れを停止することで灰ホッパからの焼却灰の散逸を防止する。

焼却灰を充填する保管容器には、灰レベル高を検出するレベル計を設け、灰ホッパからの灰の排出を停止し焼却灰の散逸を防止する。また、排ガスブロワ停止の異常時には警報を発して運転員に異常を知らせるとともに、負圧を維持する排ガス補助ブロワによりバックアップし、焼却炉の運転を自動停止する。

なお、系統内の温度、圧力、放射線モニタの指示値の異常時や機器の故障時においても、インターロックにより焼却炉の運転を自動停止する。

(4) 腐食を考慮した設計

排ガスを扱う設備については腐食の原因となる腐食性物質を含む結露水を発生させないように運転温度の管理や保温材取付を行うとともに、局所的に温度が低下する可能性のある部位についてはヒータを設置することで温度低下を防止する。

(5) 運転員操作に対する設計上の考慮

運転員の誤操作を防止するため設備の動作に関する操作（起動、停止、操作選択）はダブルアクションとし、運転パラメータの監視画面の独立表示を行い操作性に留意する。また、操作器具、弁に対しては意図しない操作の防止のために保護カバー、ハンドルロックを設ける。

2.2 異常時への対応

(1) 放射能閉じ込め

ロータリーキルン・ストーカ・二次燃焼器、排ガス冷却器、バグフィルタ他の焼却灰取扱機器内は、排ガスブロワおよび排ガス補助ブロワにより負圧に維持し、万一損傷が生じた場合でも、焼却灰が飛散しないようにする。

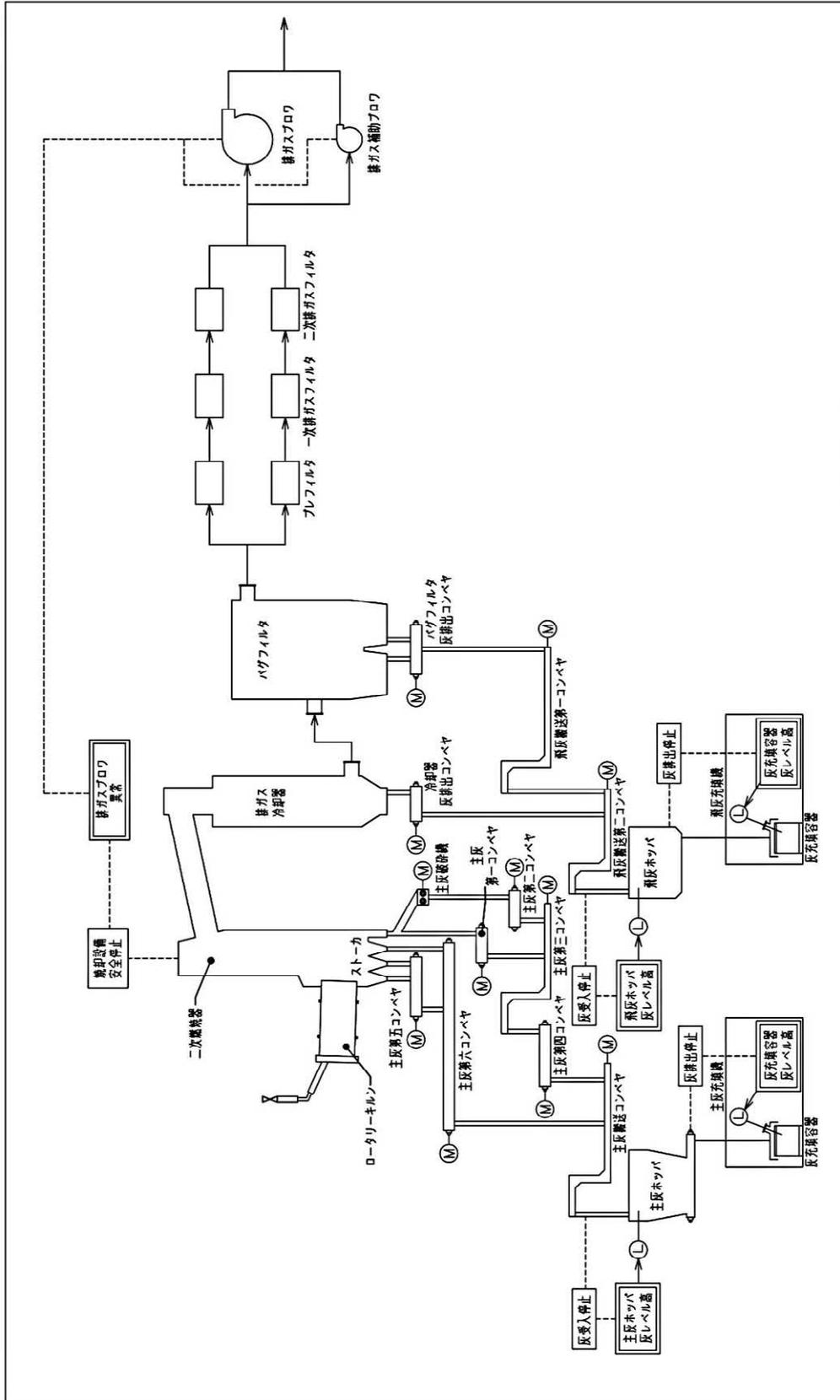
(2) 焼却灰散逸時の対応

焼却灰の保管容器への充填作業は、吸引されている灰充填機のチャンバ内で行うため、焼却灰が保管容器への充填時に散逸したとしても、焼却灰がチャンバ外へ散逸する可能性は少ない。

また、焼却灰取扱機器が破損し焼却灰が飛散しても、補助遮へい壁で囲まれた区画内に保持されているため、周辺公衆へ焼却灰が飛散することはほとんどない。

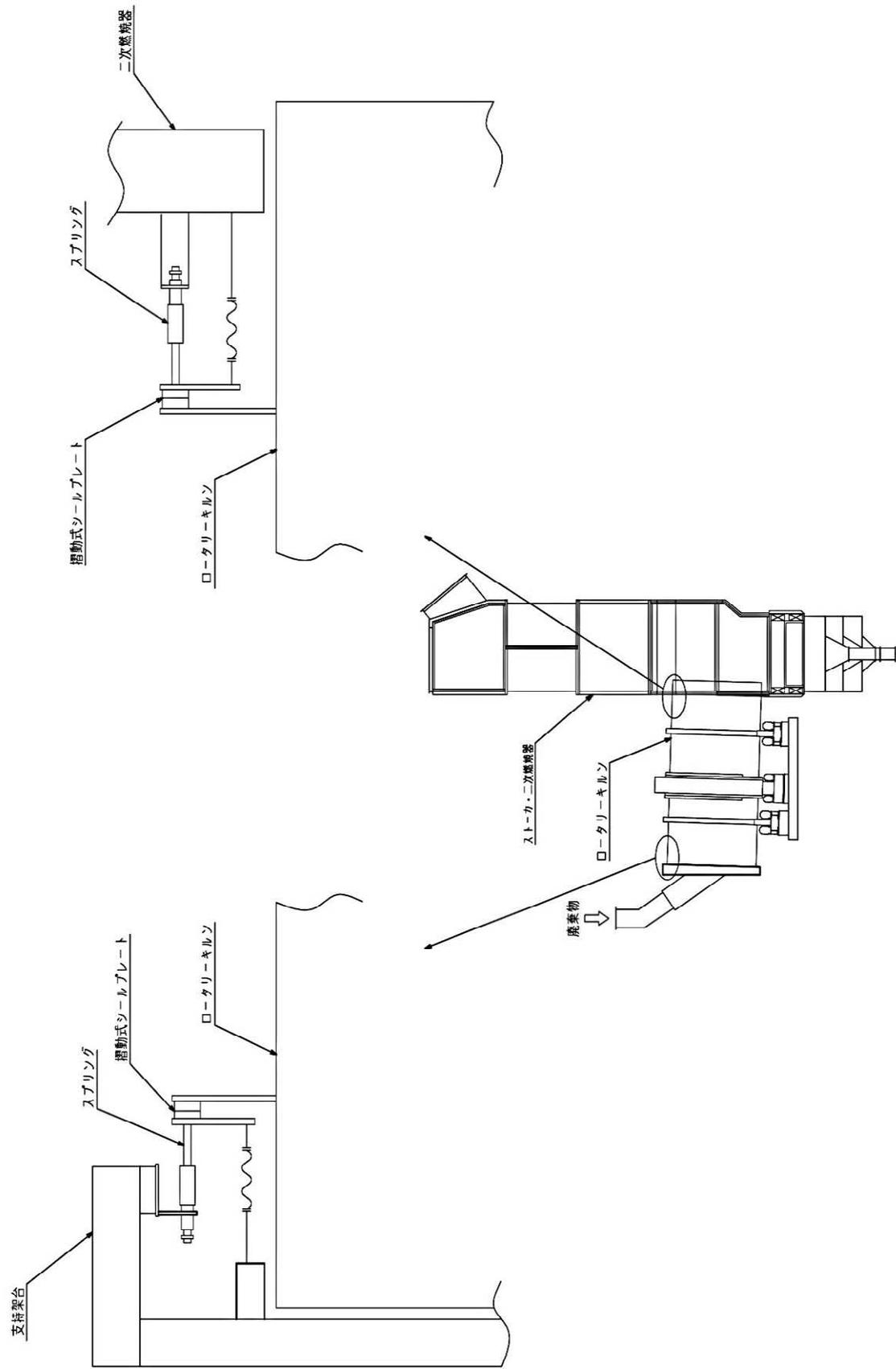
3. 焼却灰の発生量について

伐採木を焼却減容した場合、年間約 4000m³ の焼却灰が発生する見込みである。本設備からの廃棄物発生量については、今後適切な時期に実施計画における廃棄物の想定発生量に反映を行う。



: 検出信号
 : インターロック

図一 1 焼却灰取扱機器の概要



図一2 焼却炉境界部の構造

増設雑固体廃棄物焼却設備の設置について

1. 工事の概要

放射性固体廃棄物等の焼却処理を目的として、増設雑固体廃棄物焼却設備を設置する。

2. 工程

年 月	平成29年												平成30年												平成31年												平成32年																																																					
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12																																												
工場製作																																																																																										
建屋工事																																																																																										
現地据付																																																																																										
試運転																																																																																										

運用開始

増設雑固体廃棄物焼却設備に係る確認事項

増設焼却炉建屋の工事に係る主要な確認事項を表-1に示す。

表-1 増設焼却炉建屋の工事に係る確認事項

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
遮へい機能	材料確認	コンクリートの乾燥単位容積質量を確認する。	2.15g/cm ³ 以上であること。
	寸法確認	遮へい部材の断面寸法を確認する。	遮へい部材の断面寸法が、実施計画に記載されている寸法以上であること。
構造強度	材料確認	コンクリートの圧縮強度を確認する。	コンクリートの強度が、実施計画に記載されている設計基準強度に対して、JASS 5Nの基準を満足すること。
		鉄筋の材質、強度、化学成分を確認する。	JIS G 3112に適合すること。
	寸法確認	コンクリート部材の断面寸法を確認する。	コンクリート部材の断面寸法が、JASS 5Nの基準を満足すること。
	据付確認	鉄筋の径、間隔を確認する。	鉄筋の径、間隔が JASS 5N の基準を満足すること。

増設雑固体廃棄物焼却設備の工事に係る主要な確認事項を表－２～１６に示す。

表－２ 確認事項（ロータリーキルン・ストーカ・二次燃焼器，排ガス冷却器）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度 ・耐震性	材料確認	実施計画に記載されている 主な材料について確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載されている 主要寸法を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器の据付位置，据付状態に ついて確認する。	実施計画のとおり施工・据付され ていること。
性能	運転性能 確認	焼却運転を行い，定格容量の 廃棄物を焼却できるか確認 する。	実施計画に記載されている容量の 廃棄物を焼却できること。 また，著しい漏えいがないこと。

表－３ 確認事項（バグフィルタ，プレフィルタ，一次／二次排ガスフィルタ）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度 ・耐震性	材料確認	実施計画に記載されている 主な材料について確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載されている 主要寸法を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器の据付位置，据付状態に ついて確認する。	実施計画のとおり施工・据付され ていること。
性能	運転性能 確認	ブロワを運転し，定格容量で の装置の状態を確認する。	実施計画に記載されている容量に て著しい漏えいがないこと。

表－４ 確認事項（排気筒）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度 ・耐震性	材料確認	実施計画に記載されている 主な材料について確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載されている 主要寸法を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器の据付位置, 据付状態に ついて確認する。	実施計画のとおり施工・据付され ていること。

表－５ 確認事項（煙道）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度 ・耐震性	材料確認	実施計画に記載されている 主な材料について確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載されている 外径・厚さを確認する。	寸法が許容範囲内であること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器の据付位置, 据付状態に ついて確認する。	実施計画のとおり施工・据付され ていること。

表－6 確認事項（排ガスブロワ，排ガス補助ブロワ）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度 ・耐震性	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器の据付位置，据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
性能	運転性能確認	運転状態にて風量を確認する。	実施計画に記載されている容量を満足すること。 また，異音，異臭，振動の異常がないこと。

表－7 確認事項（建屋ドレンサンプタンク）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度 ・耐震性	材料確認	実施計画に記載されている主な材料について確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載されている主要寸法を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器の据付位置，据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
	耐圧・漏えい確認	試験圧力で保持した後，試験圧力に耐えていることを確認する。 耐圧確認終了後，耐圧部分からの漏えいの有無も確認する。	試験圧力に耐え，かつ構造物の変形がないこと。 また，耐圧部から著しい漏えいがないこと。
機能	警報確認	液位高の信号により警報が発生することを確認する。	液位高の信号により警報が発生すること。

表－8 確認事項 (サンプルタンク)

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度 ・耐震性	材料確認	実施計画に記載されている 主な材料について確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載されている 主要寸法を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器の据付位置, 据付状態に ついて確認する。	実施計画のとおり施工・据付され ていること。
	耐圧・ 漏えい確認	試験圧力で保持した後, 試験 圧力に耐えていることを確 認する。 耐圧確認終了後, 耐圧部分か らの漏えいの有無も確認す る。	試験圧力に耐え, かつ構造物の変 形がないこと。 また, 耐圧部から著しい漏えいが ないこと。
機能	受入停止 確認	液位高の信号によりポンプ 停止信号が発生することを 確認する。	液位高の信号によりポンプ停止信 号が発生すること。
	警報確認	液位高高の信号により警報 が発生することを確認する。	液位高高の信号により警報が発生 すること。

表－9 確認事項 (建屋ドレンポンプ, サンプルポンプ)

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度 ・耐震性	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器の据付位置, 据付状態に ついて確認する。	実施計画のとおり施工・据付され ていること。
性能	運転性能 確認	ポンプの運転確認を行う。	実施計画に記載の容量を満足する こと。また, 異音, 異臭, 振動の異 常がないこと。

表－１０ 確認事項（主配管）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度 ・耐震性	材料確認	実施計画に記載されている 主な材料について確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載されている 外径・厚さを確認する。	寸法が許容範囲内であること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器の据付位置, 据付状態に ついて確認する。	実施計画のとおり施工・据付され ていること。
	耐圧・ 漏えい確認	試験圧力で保持した後, 試験 圧力に耐えていることを確 認する。 耐圧確認終了後, 耐圧部分か らの漏えいの有無も確認す る。	試験圧力に耐え, かつ構造物の変 形がないこと。 また, 耐圧部から著しい漏えいが ないこと。 また, 廃液処理設備の主配管のう ち現地で施工するフランジ部, ポ ンプ類については, 運転状態にお ける通水で漏えいがないこと。

表－１１ 確認事項（堰その他の設備）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度 ・耐震性	材料確認	実施計画に記載されている 主な材料について確認する。	実施計画のとおりであること。
	寸法確認	実施計画に記載されている 主要寸法を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	堰その他の設備の据付位置, 据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付され ていること。

表－１２ 確認事項（漏えい検出装置及び自動警報装置）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	装置の据付位置, 据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
機能	漏えい警報確認	漏えいの信号により警報が発生することを確認する。	漏えいの信号により警報が発生すること。

表－１３ 確認事項（送風機, 排風機）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度 ・耐震性	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器の据付位置, 据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
性能	運転性能確認	送風機, 排風機の運転確認を行う。	実施計画に記載されている容量を満足すること。また, 異音, 異臭, 振動の異常がないこと。

表－１４ 確認事項（排気フィルタ）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度 ・耐震性	寸法確認	実施計画に記載されている主要寸法を確認する。	寸法が許容範囲内であること。
	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	機器の据付位置, 据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
性能	運転性能確認	定格容量での装置の状態を確認する。	実施計画に記載されている容量にて変形の異常がないこと。

表－１５ 確認事項（ダスト放射線モニタ）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	装置の据付位置, 据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
機能	警報確認	設定値通りに警報が作動することを確認する。	許容範囲以内で警報が作動すること。
性能確認	線源校正確認	標準線源を用いて基準計数率を測定する。	基準計数率に対する測定値が許容範囲以内であること。
	校正確認	校正点の基準入力を与え, 指示値を確認する。	指示値が許容範囲以内であること。

表－１６ 確認事項（ガス放射線モニタ）

確認事項	確認項目	確認内容	判定基準
構造強度	外観確認	各部の外観を確認する。	有意な欠陥がないこと。
	据付確認	装置の据付位置, 据付状態について確認する。	実施計画のとおり施工・据付されていること。
機能	警報確認	設定値通りに警報が作動することを確認する。	許容範囲以内で警報が作動すること。
性能確認	線源校正確認	標準線源を用いて基準計数率を測定する。	基準計数率に対する測定値が許容範囲以内であること。
	校正確認	校正点の基準入力を与え, 指示値を確認する。	指示値が許容範囲以内であること。

増設雑固体廃棄物焼却設備の耐震性に関する説明書

1. 基本方針

1.1 耐震性評価の基本方針

増設雑固体廃棄物焼却設備に係る耐震設計は、「JEAG4601 原子力発電所耐震設計技術指針」に準用し、耐震性評価を行う。

1.1.1 設備の重要度による耐震クラス分類

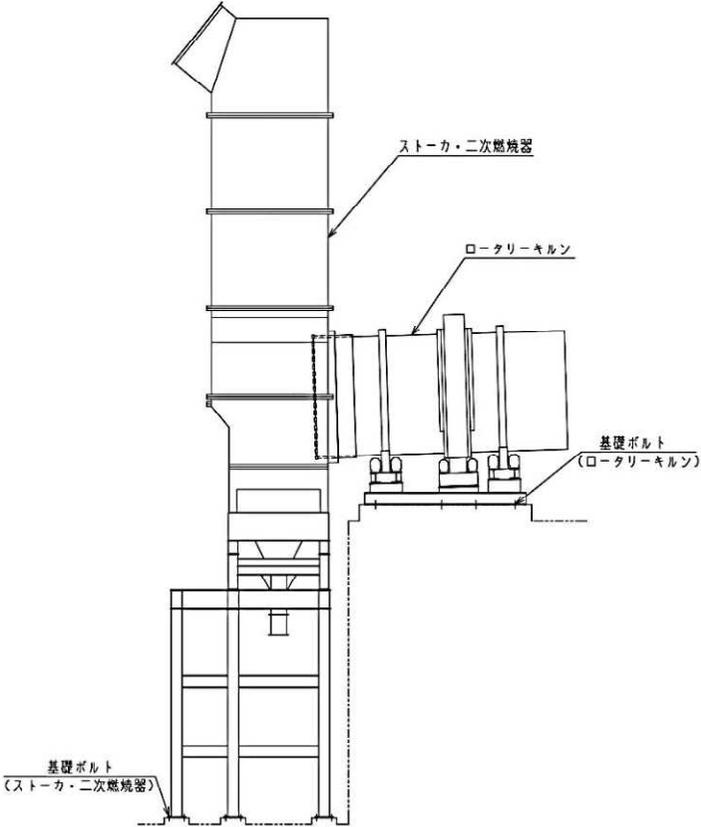
設備	耐震クラス別	B	C
(1) 焼却設備		<input type="checkbox"/> ロータリーキルン・ ストーカ・二次燃焼器 <input type="checkbox"/> 排ガス冷却器 <input type="checkbox"/> バグフィルタ <input type="checkbox"/> プレフィルタ <input type="checkbox"/> 一次排ガスフィルタ <input type="checkbox"/> 二次排ガスフィルタ <input type="checkbox"/> 煙道*1	排ガスブロワ 排ガス補助ブロワ 煙道*2 排気筒
(2) 廃液処理設備		—	建屋ドレンサンプタンク サンプルタンク 建屋ドレンポンプ サンプルポンプ 主配管
(3) 換気空調設備		—	送風機 排風機 排気フィルタ
備考		○印は評価結果を本資料にて示すもの	

*1 焼却設備の煙道のうち、排ガス冷却器から二次排ガスフィルタの間にあるものを指す。

*2 焼却設備の煙道のうち、二次排ガスフィルタから排気筒の間にあるものを指す。

1.1.2 構造計画

(1) 機器

主要区分	構造計画の概要	概略構造図
<p>a. ロータリーキルン・ ストーカ・二次燃焼器</p>	<p>ロータリーキルンは横置きで、基礎ボルトで基礎に据え付ける。 ストーカ・二次燃焼器はたて置きで、基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	 <p>The diagram illustrates the structural layout of the boiler components. On the left, a vertical stack of components is shown, including the stoker and secondary burner, which are secured to the foundation by vertical foundation bolts. On the right, a horizontal rotary kiln is shown, also secured to the foundation by vertical foundation bolts. Labels in Japanese identify the 'ストーカ・二次燃焼器' (stoker and secondary burner), 'ロータリーキルン' (rotary kiln), and '基礎ボルト' (foundation bolts) for both the stoker and the rotary kiln.</p>

主要区分	構造計画の概要	概略構造図
<p>b. 排ガス冷却器</p>	<p>排ガス冷却器はたて置きで、胴を共通架台で支持し、共通架台を基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	

主要区分	構造計画の概要	概略構造図
<p>c. バグフィルタ</p>	<p>バグフィルタはたて置きで、胴を共通架台で支持し、共通架台を基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>The diagram illustrates the structural components of a bag filter system. It features a vertical frame supported by foundation bolts. A common frame (共通架台) is used to support the filter body. Mounting bolts (取付ボルト) are shown connecting the frame to the common frame. The filter body consists of a hopper at the bottom and a top section with a circular filter. The entire structure is mounted on a foundation using foundation bolts (基礎ボルト).</p>

主要区分	構造計画の概要	概略構造図
<p>d. プレフィルタ、一次排ガスフィルタ及び二次排ガスフィルタ</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・プレフィルタ A、一次排ガスフィルタ A 及び二次排ガスフィルタ A は横置きで、基礎ボルトで基礎に据え付ける。 ・プレフィルタ B、一次排ガスフィルタ B 及び二次排ガスフィルタ B は横置きで、胴を共通架台で支持し、共通架台を取付ボルトで建屋内の構造物に据え付ける。 	<p>取付ボルト (プレフィルタ B) (一次排ガスフィルタ B) (二次排ガスフィルタ B)</p> <p>プレフィルタ B</p> <p>一次排ガスフィルタ B</p> <p>二次排ガスフィルタ B</p> <p>共通架台</p> <p>取付ボルト (共通架台)</p> <p>注) 本図はプレフィルタを示す。</p> <p>基礎ボルト (プレフィルタ A) (一次排ガスフィルタ A) (二次排ガスフィルタ A)</p> <p>プレフィルタ A</p> <p>一次排ガスフィルタ A</p> <p>二次排ガスフィルタ A</p>

主要区分	構造計画の概要
e. 煙道	<ul style="list-style-type: none"> ・煙道は、サポートにより建屋内の構造物に支持する。 ・主要な煙道の構成を概略系統図*1に示す。

注記 *1：主要な煙道の構成を示す概略系統図を以下に示す。

2.9 煙道 (図-44, 45)

1.1.3 設計用地震力

(1) 静的地震力

静的地震力は、以下の表に基づき算定する。

耐震クラス	機器・配管系	
	水平震度*	鉛直震度
B	$1.8 \cdot C_i$	—
C	$1.2 \cdot C_i$	—

注記 *：機器・配管系の C_i は、標準せん断応力係数を 0.2 とし、建物・構築物の振動特性、地盤の種類等を考慮して求められる値とする。

(2) 動的地震力

Bクラス設計で建物・構築物と共振のおそれがあるものについては、弾性設計用地震動 S_d を 1/2 倍した地震波による動的地震力を考慮する。

項目	機器・配管系	備考
設計用地振動	$1/2 S_d - 1$: (水平)最大加速度振幅 112.5gal, 約 81 秒間 (鉛直)最大加速度振幅 75gal, 約 81 秒間 $1/2 S_d - 2$: (水平)最大加速度振幅 150gal, 約 61 秒間 (鉛直)最大加速度振幅 100gal, 約 61 秒間 $1/2 S_d - 3$: (水平)最大加速度振幅 112.5gal, 約 26 秒間 (鉛直)最大加速度振幅 75gal, 約 26 秒間	T.P. 約-197mの基盤 ($V_s = \text{約 } 750\text{m/s}$) を解放基盤表面として定義する。

1.1.4 荷重の組合せと許容限界

荷重の組合せと許容限界は、以下の通りとする。

記号の説明

D	: 死荷重
P_d	: 当該設備に設計上定められた最高使用圧力による荷重
M_d	: 当該設備に設計上定められた機械的荷重
S_B	: Bクラスの設備に適用される地震動より求まる地震力又は静的地震力
C_S	: Bクラスの設備の地震時の供用状態
S_y	: 設計降伏点 設計・建設規格 付録材料図表 Part3 表 6 に規定される値
S_u	: 設計引張強さ 設計・建設規格 付録材料図表 Part3 表 7 に規定される値
S	: 許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part3 表 3 に規定される値
f_t	: 許容引張応力 支持構造物（ボルト等を除く。）に対して設計・建設規格 SSB-3121.1 により規定される値。ボルト等に対して設計・建設規格 SSB-3131 により規定される値
f_s	: 許容せん断応力 同上
f_c	: 許容圧縮応力 支持構造物（ボルト等を除く。）に対して設計・建設規格 SSB-3121.1 により規定される値。
f_b	: 許容曲げ応力 同上
f_p	: 許容支圧応力 同上
τ_b	: ボルトに生じるせん断応力

(1) 機器

耐震 クラス	荷重の組合せ	供用状態	許容限界	
			一次一般膜応力	一次応力
B	$D + P_d + M_d + S_B$	C_s	$\min [S_y, 0.6 \cdot S_u]$ ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、 $1.2 \cdot S$ とすることができる。	S_y ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、 $1.2 \cdot S$ とすることができる。

(2) 支持構造物（ボルト等以外）

応力分類 / 供用状態	許容限界（ボルト等以外） ⁽⁴⁾									
	一次応力					一次＋二次応力範囲				
	引張	せん断	圧縮	曲げ	支圧	引張 ⁽¹⁾ 圧縮	せん断 ⁽¹⁾	曲げ ⁽¹⁾	支圧	座屈
C_s	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_p$	$3 \cdot f_t$	$3 \cdot f_s^{(2)}$	$3 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_p^{(3)}$	$1.5 \cdot f_b^{(3)},$ $1.5 \cdot f_s$ 又は $1.5 \cdot f_c$

注(1)：地震荷重のみによる応力範囲について評価する。

注(2)：すみ肉溶接部にあつては、最大応力を $1.5f_s$ 以下に制限する。

注(3)：自重により常時作用する荷重に、地震による荷重を重ね合わせて得られる応力の圧縮最大値について評価する。

注(4)：上記応力の組合せについては、設計・建設規格 SSB-3121.1(6)、SSB-3121.2 を準用し、組合せ応力に対しても評価する。

(3) 支持構造物（ボルト等）

応力分類	許容限界（ボルト等）		
	一次応力		
供用状態	引張	せん断	組合せ
C_s	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$\min[1.5 \cdot f_t, 2.1 \cdot f_t - 1.6 \cdot \tau_b]$

1.1.5 設計用床応答スペクトル

増設焼却炉建屋の機器の耐震計算に使用する設計用床応答スペクトルは、下記に示す条件に基づき設定した地震応答解析モデルによる応答解析から得られる加速度の時刻歴応答に基づき作成する。

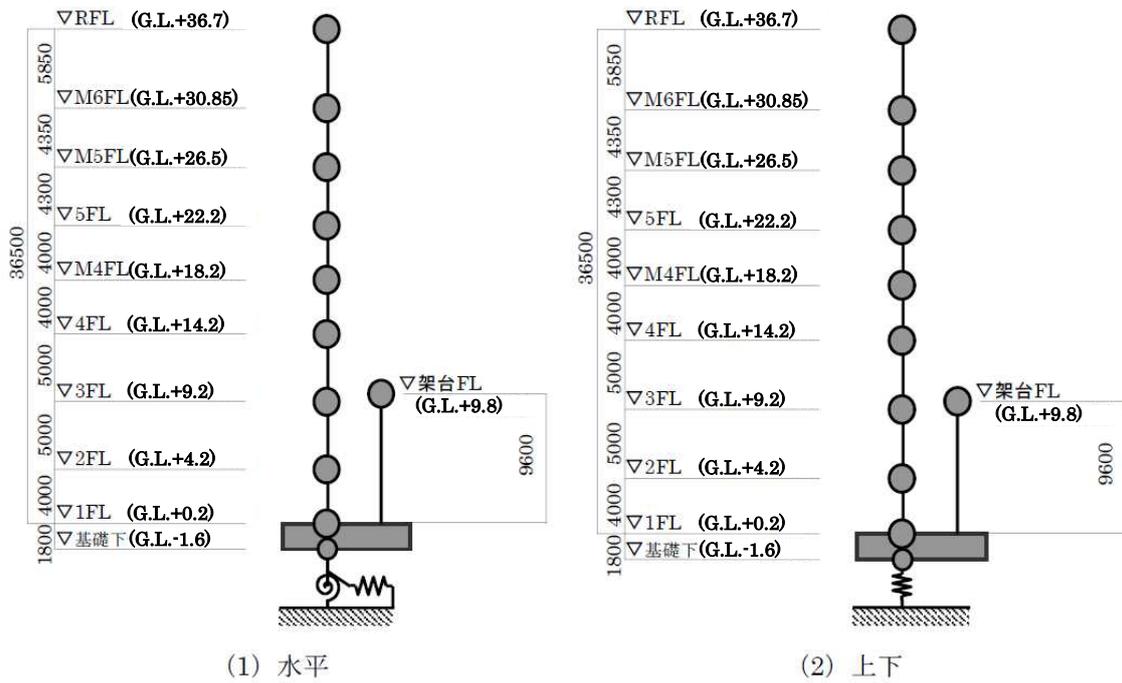
増設焼却炉建屋の地震応答解析モデルは、地盤を等価な地盤ばねに置換したモデルとする。建屋は、その形状及び構造特性等を十分考慮して評価し、水平モデルは質点とはり要素からなる集中質点系に置換し、鉛直モデルは軸断面積を考慮した解析モデルを設定する。地盤は、その動的相互作用効果を考慮して評価し、基礎底面ばねによって表現する。また、入力地振動は、自由地盤の一次元波動論による解析より求められる建屋底面位置での応答波とする。

1.1.5.1 設計用床応答スペクトル作成位置

増設焼却炉建屋については、図-1に示す解析モデルに基づき各質点について設計用床応答スペクトルを作成する。

1.1.5.2 建物・構築物の設計用床応答スペクトル

増設焼却炉建屋の設計用床応答スペクトルは建屋の動解析結果より得られる3つの機器設計用地震動を包絡する波形とし、スペクトルの一覧表を表-1に、設計用床応答スペクトルを図2～31にそれぞれ示す。



記号	内容
●	質点
	はり要素
⌞	上下ばね
⌞	水平ばね
⊙	回転ばね

図-1 増設焼却炉建屋地震応対解析モデル

添付資料-17 では、G.L. ±0m= T.P. 32.2m^(※)とする。
 (※) 構内基準点(2014.3 測量)からの実測値に基づき設定している。

表-1 設計用床応答スペクトル一覧表

構造物	質点番号	G. L. + (m)	減衰定数 (%)	地震方向	図番
増設 焼却炉 建屋	1 (RFL)	36.7	1.0	鉛直方向	図-2
				NS方向	図-3
				EW方向	図-4
			1.5	鉛直方向	図-5
				NS方向	図-6
				EW方向	図-7
	4 (5FL)	22.2	1.0	鉛直方向	図-8
				NS方向	図-9
				EW方向	図-10
			1.5	鉛直方向	図-11
				NS方向	図-12
				EW方向	図-13
	6 (4FL)	14.2	1.5	鉛直方向	図-14
				NS方向	図-15
				EW方向	図-16
	7 (3FL)	9.2	1.0	鉛直方向	図-17
				NS方向	図-18
				EW方向	図-19
			1.5	鉛直方向	図-20
				NS方向	図-21
				EW方向	図-22
8 (2FL)	4.2	1.5	鉛直方向	図-23	
			NS方向	図-24	
			EW方向	図-25	
9 (1FL)	0.2	1.0	鉛直方向	図-26	
			NS方向	図-27	
			EW方向	図-28	
10 (架台FL)	9.8	1.0	鉛直方向	図-29	
			NS方向	図-30	
			EW方向	図-31	

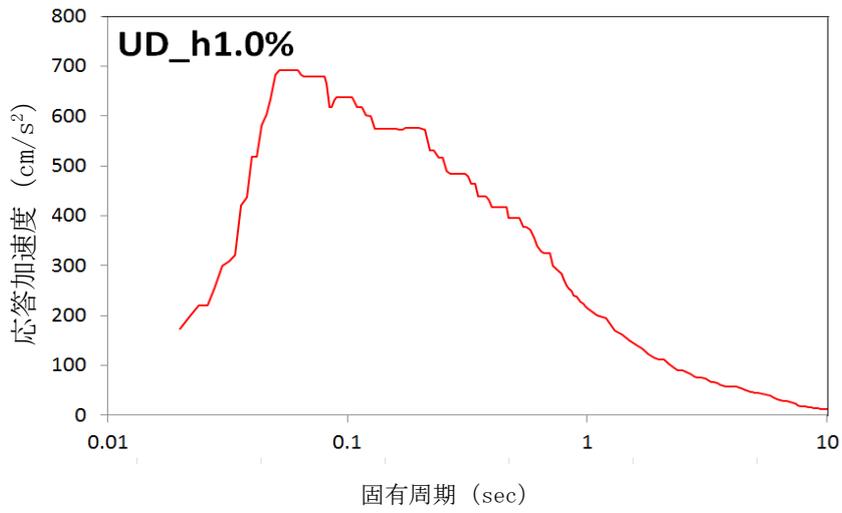


図-2 RFL (G. L. +36.7) の設計用応答スペクトル (鉛直方向, 1.0%減衰)

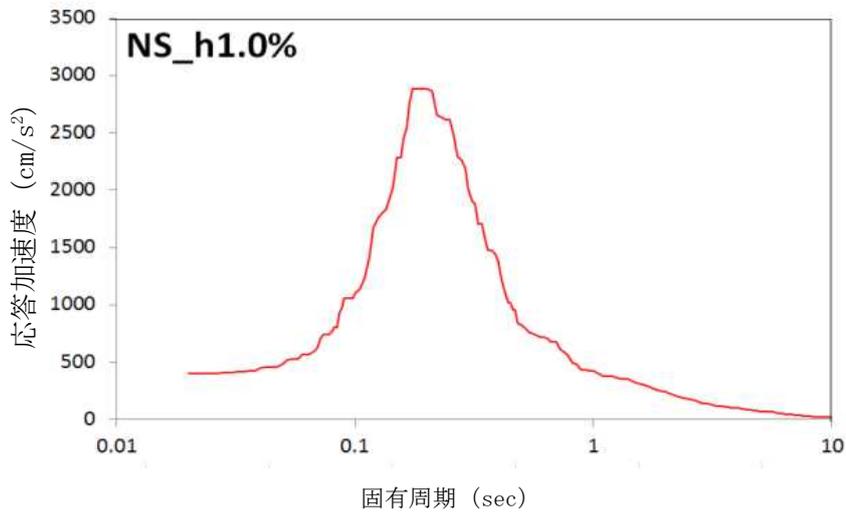


図-3 RFL (G. L. +36.7) の設計用応答スペクトル (NS方向, 1.0%減衰)

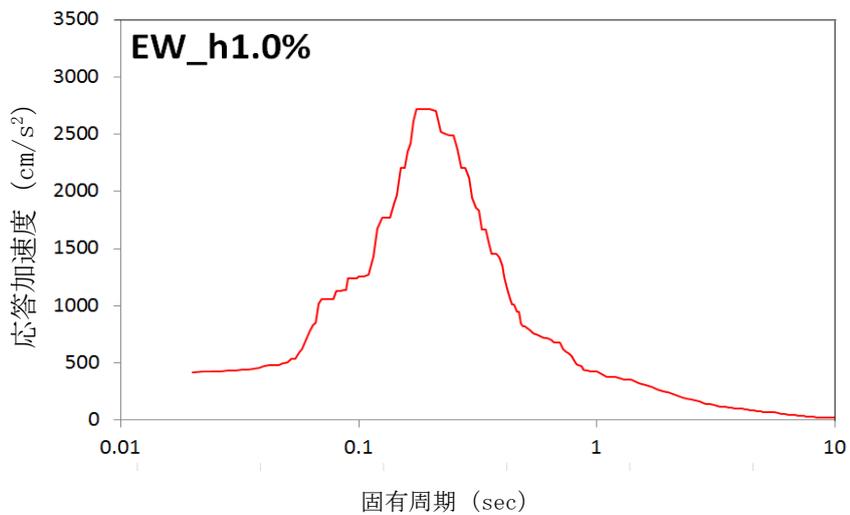
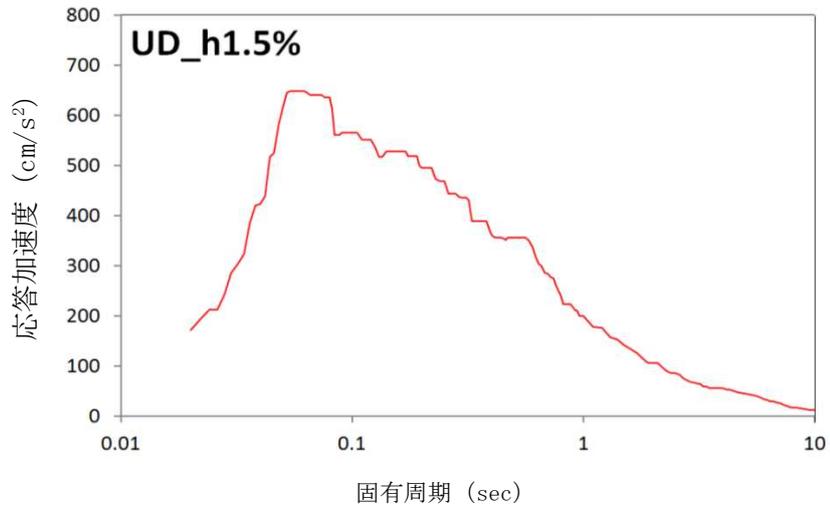
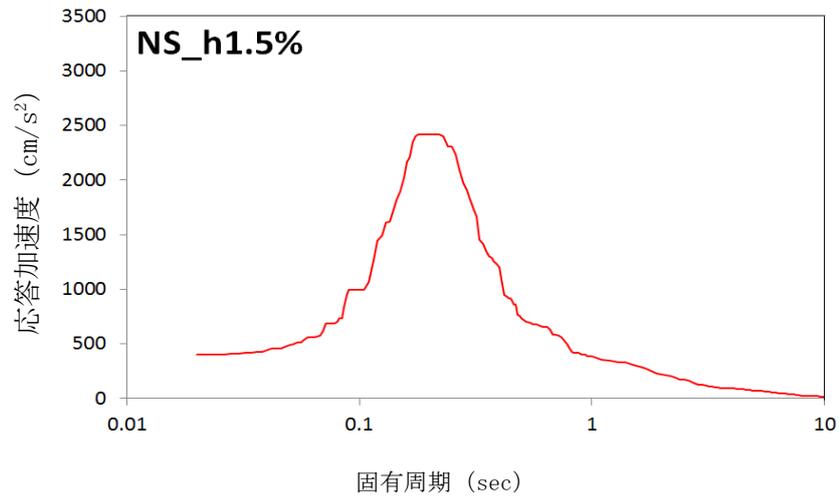


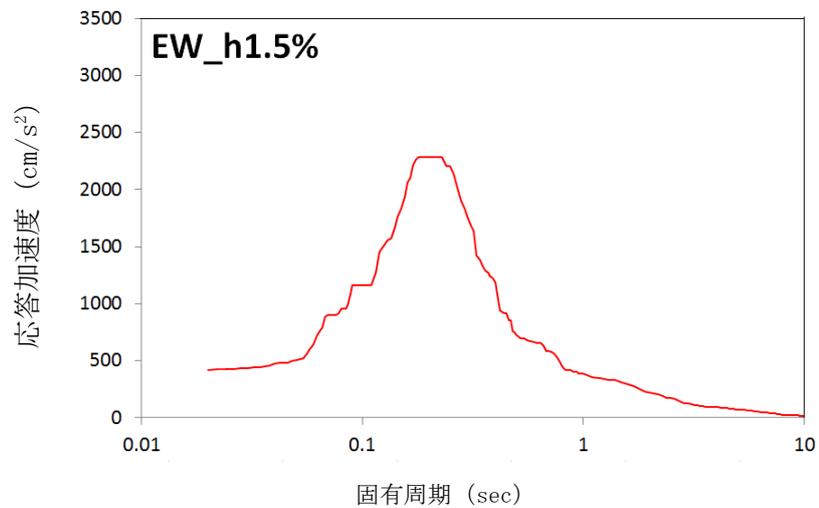
図-4 RFL (G. L. +36.7) の設計用応答スペクトル (EW方向, 1.0%減衰)



図一五 RFL (G. L. +36.7) の設計用応答スペクトル (鉛直方向, 1.5%減衰)



図一六 RFL (G. L. +36.7) の設計用応答スペクトル (N S方向, 1.5%減衰)



図一七 RFL (G. L. +36.7) の設計用応答スペクトル (E W方向, 1.5%減衰)

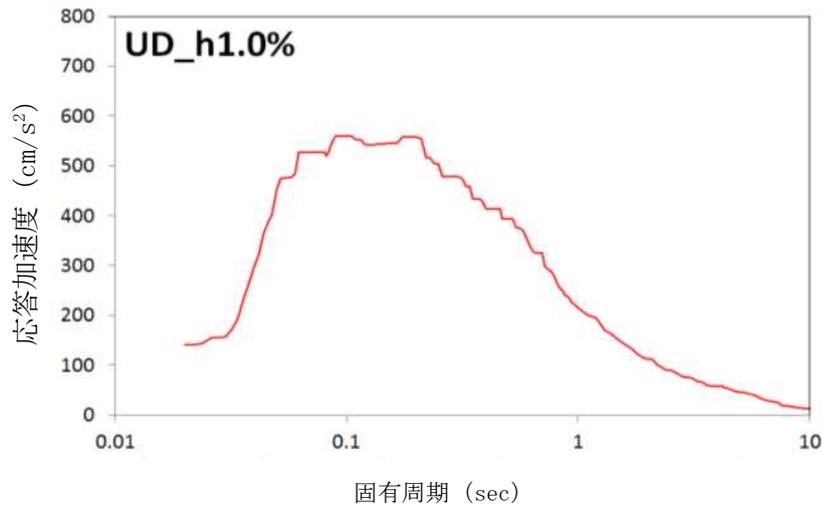


図-8 5FL (G.L. +22.2) の設計用応答スペクトル (鉛直方向, 1.0%減衰)

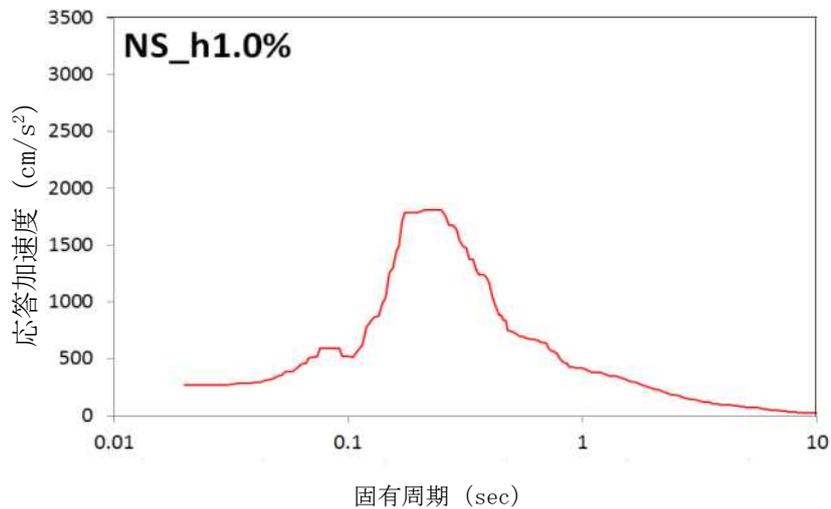


図-9 5FL (G.L. +22.2) の設計用応答スペクトル (NS方向, 1.0%減衰)

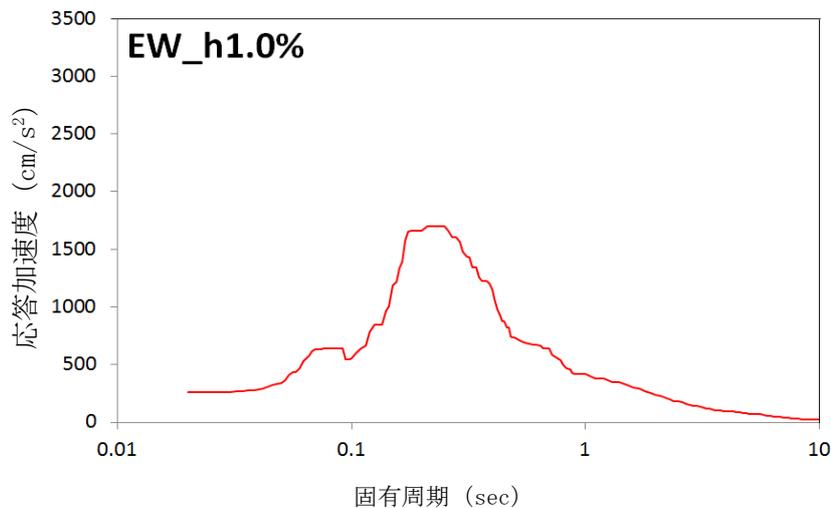


図-10 5FL (G.L. +22.2) の設計用応答スペクトル (EW方向, 1.0%減衰)

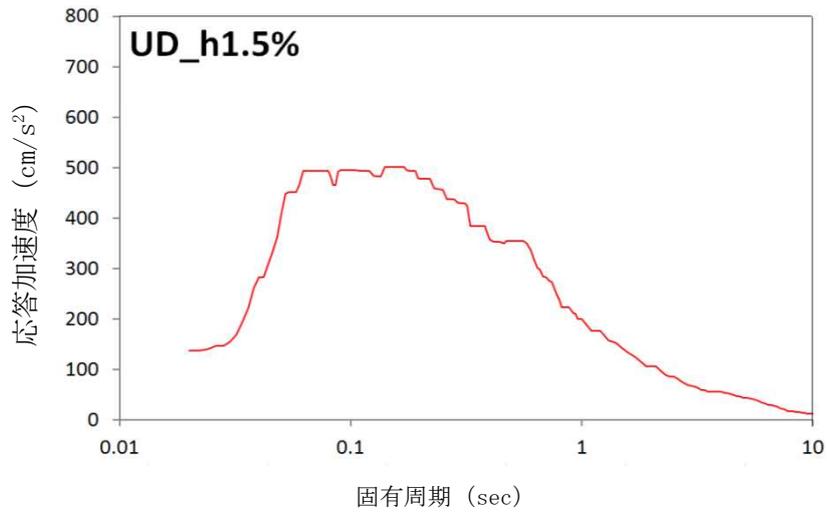


図-1-1 5FL (G.L. +22.2) の設計用応答スペクトル (鉛直方向, 1.5%減衰)

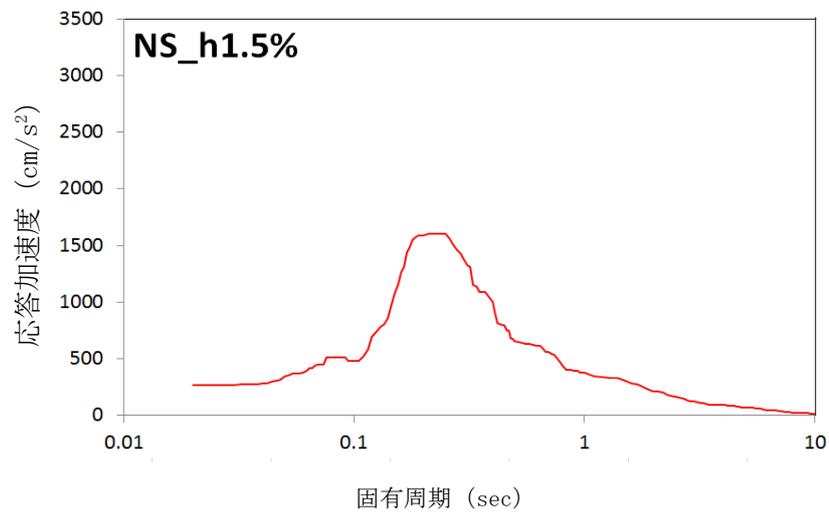


図-1-2 5FL (G.L. +22.2) の設計用応答スペクトル (NS方向, 1.5%減衰)

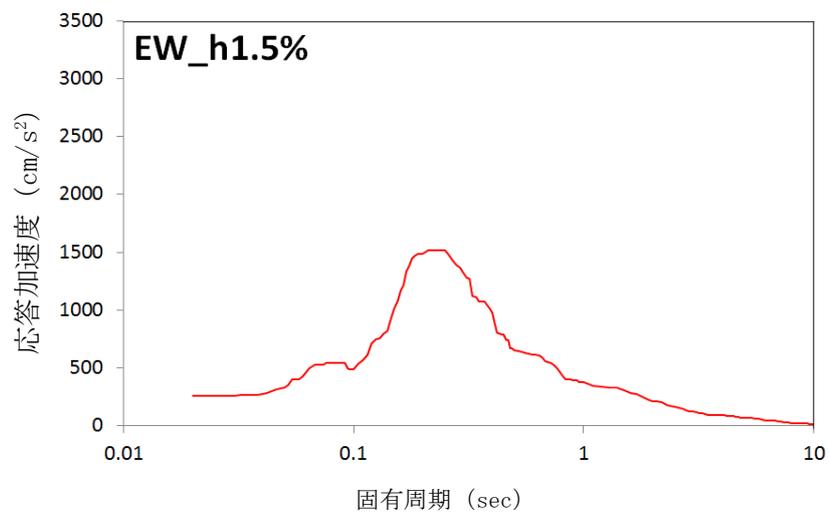


図-1-3 5FL (G.L. +22.2) の設計用応答スペクトル (EW方向, 1.5%減衰)

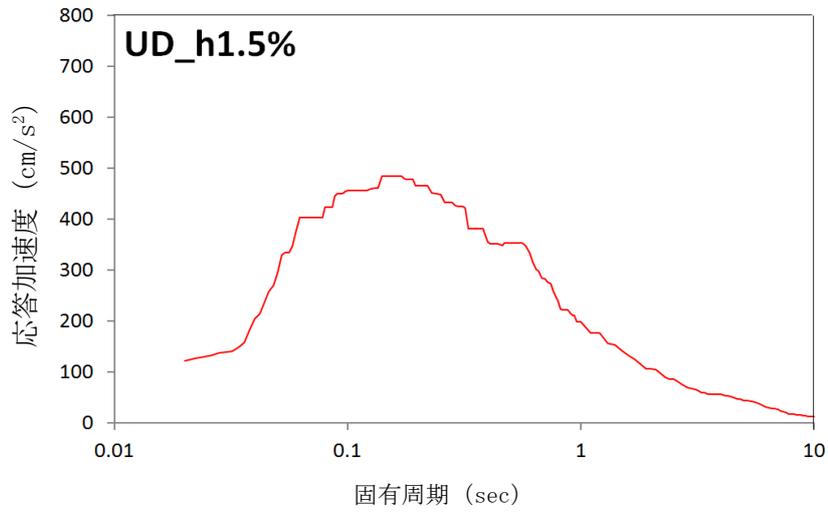


図-1 4 4FL (G.L. +14.2) の設計用応答スペクトル (鉛直方向, 1.5%減衰)

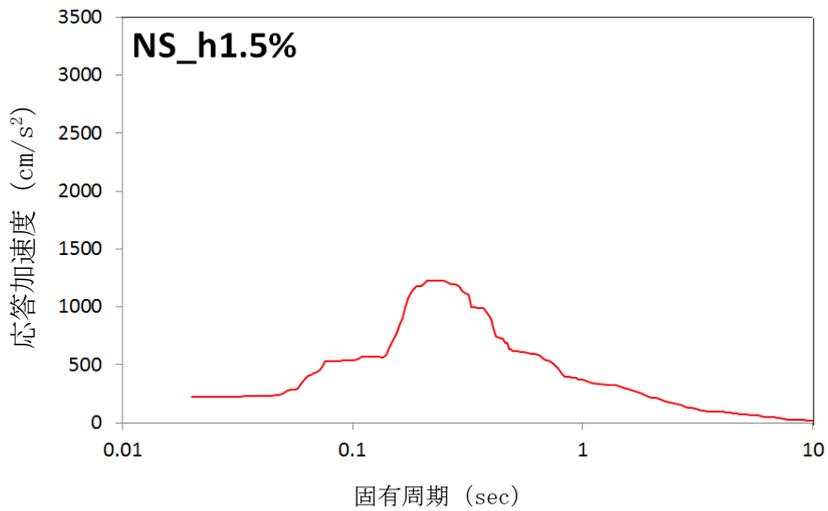


図-1 5 4FL (G.L. +14.2) の設計用応答スペクトル (N S方向, 1.5%減衰)

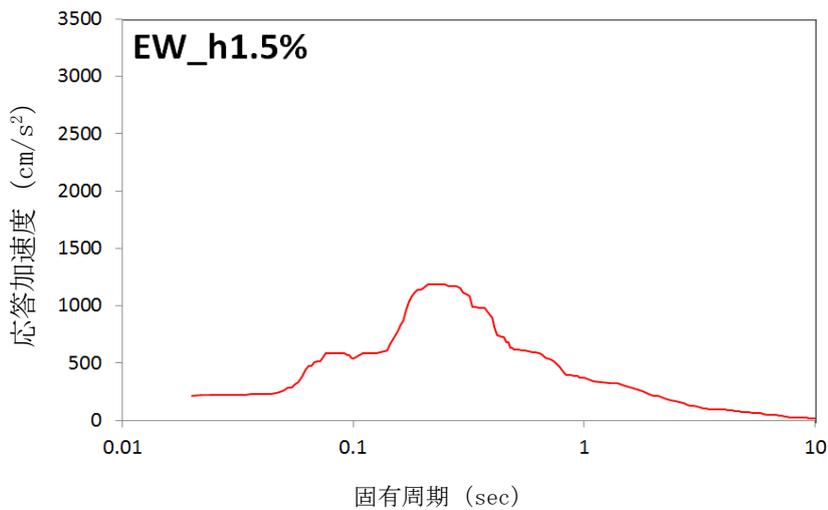


図-1 6 4FL (G.L. +14.2) の設計用応答スペクトル (E W方向, 1.5%減衰)

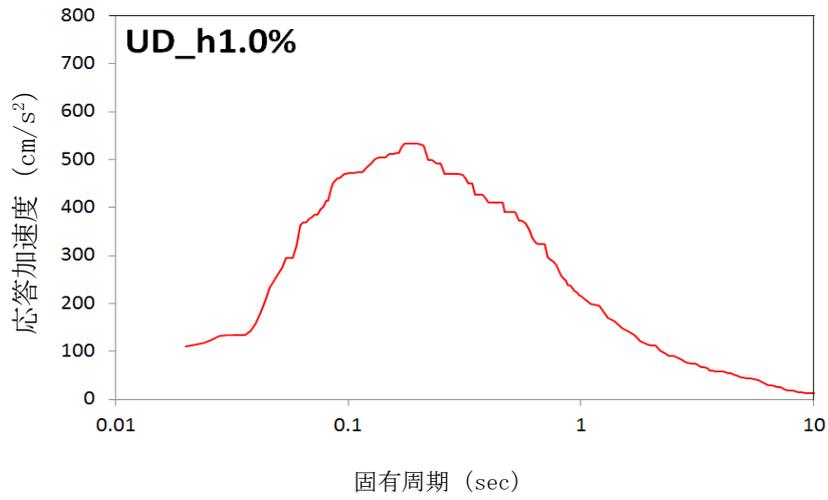


図-17 3FL (G.L. +9.2) の設計用応答スペクトル (鉛直方向, 1.0%減衰)

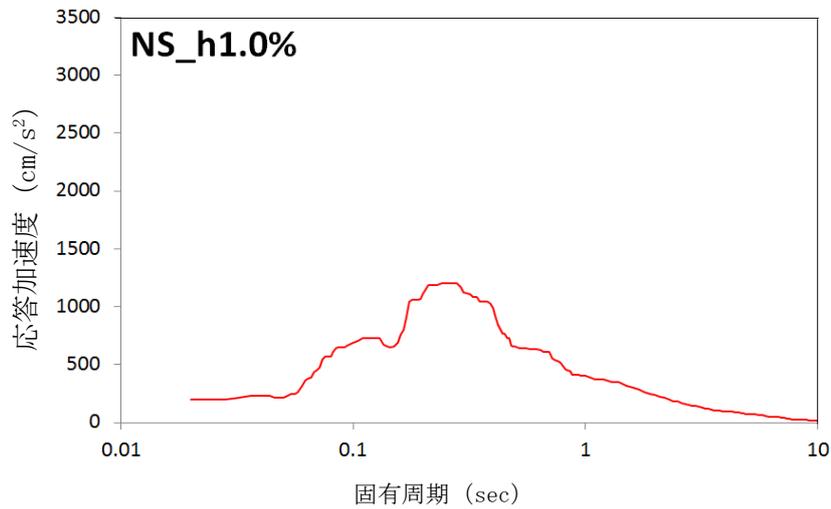


図-18 3FL (G.L. +9.2) の設計用応答スペクトル (NS方向, 1.0%減衰)

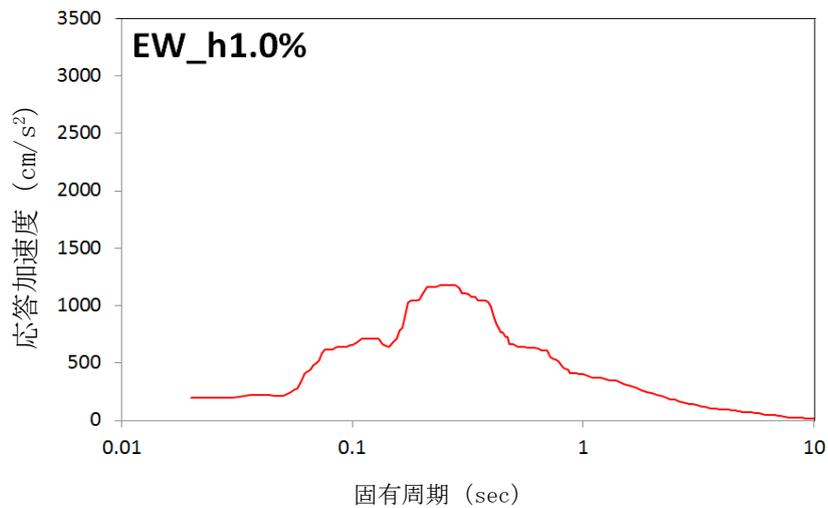


図-19 3FL (G.L. +9.2) の設計用応答スペクトル (EW方向, 1.0%減衰)

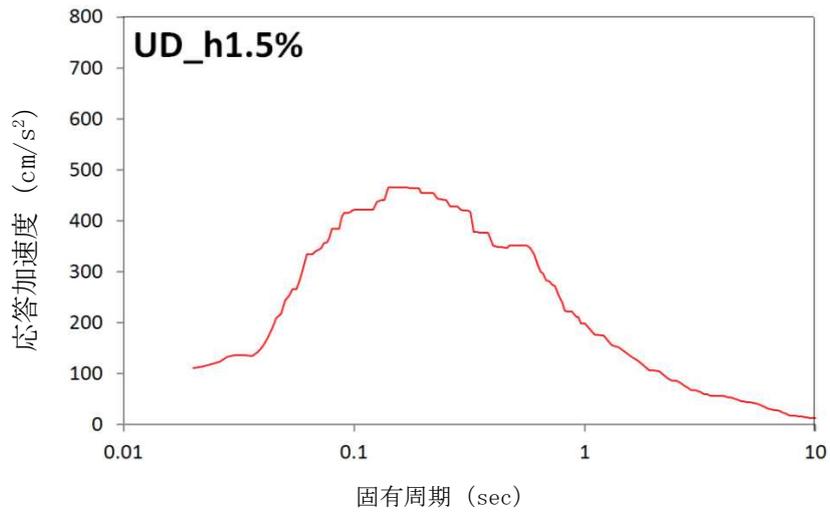


図-20 3FL (G.L. +9.2) の設計用応答スペクトル (鉛直方向, 1.5%減衰)

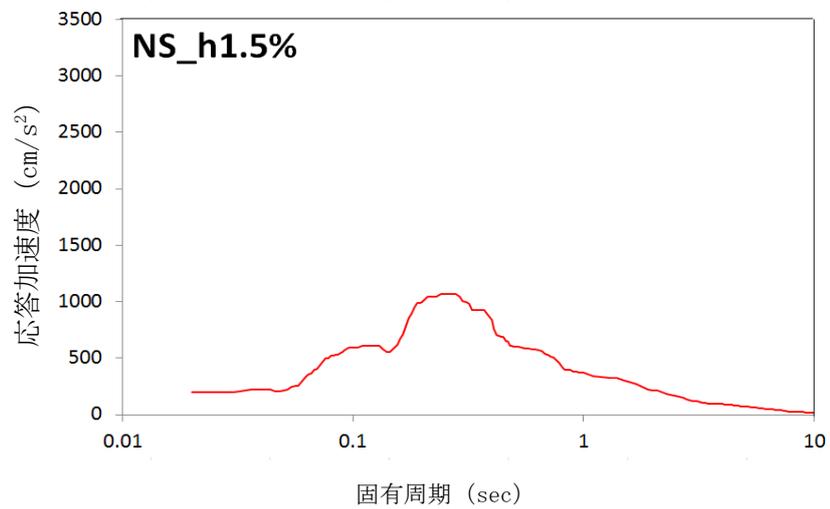


図-21 3FL (G.L. +9.2) の設計用応答スペクトル (NS方向, 1.5%減衰)

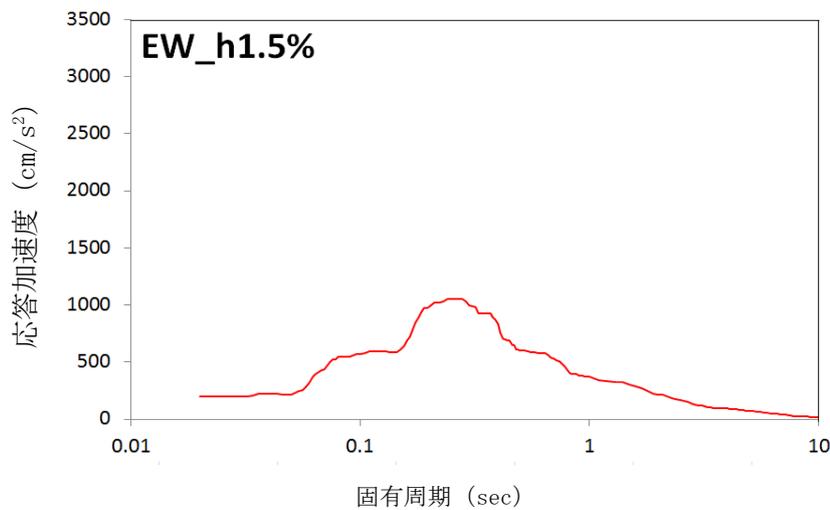


図-22 3FL (G.L. +9.2) の設計用応答スペクトル (EW方向, 1.5%減衰)

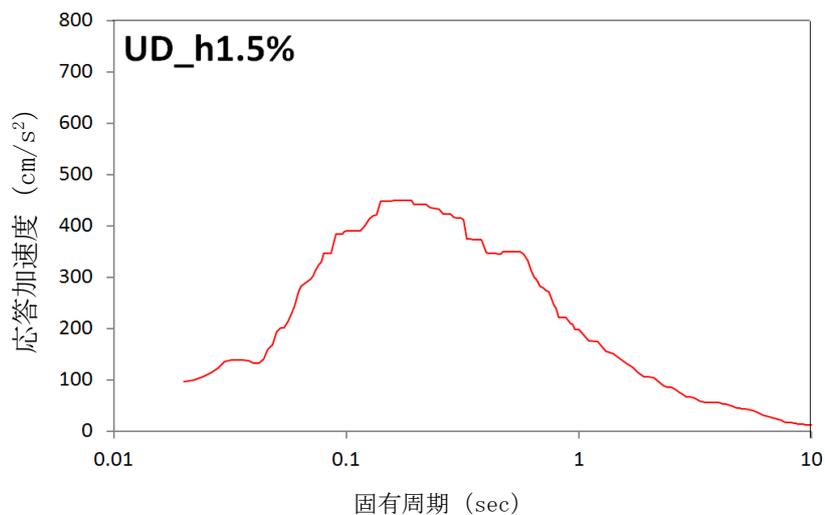


図-2-3 2FL (G.L. +4.2) の設計用応答スペクトル (鉛直方向, 1.5%減衰)

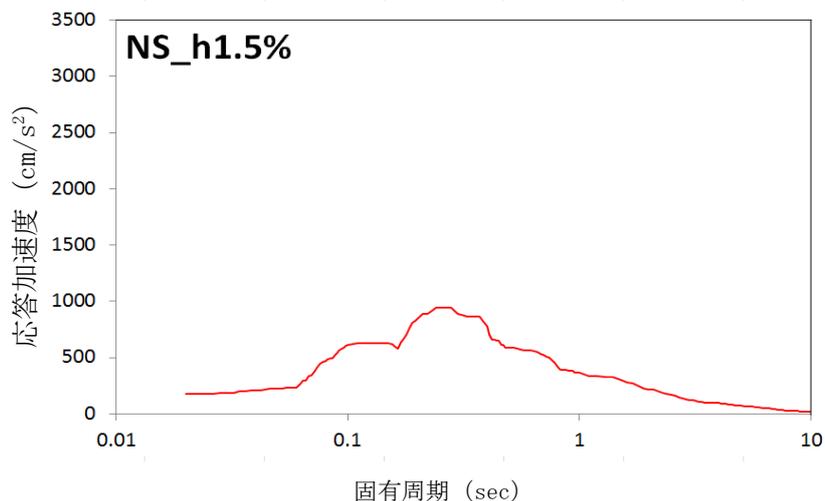


図-2-4 2FL (G.L. +4.2) の設計用応答スペクトル (NS方向, 1.5%減衰)

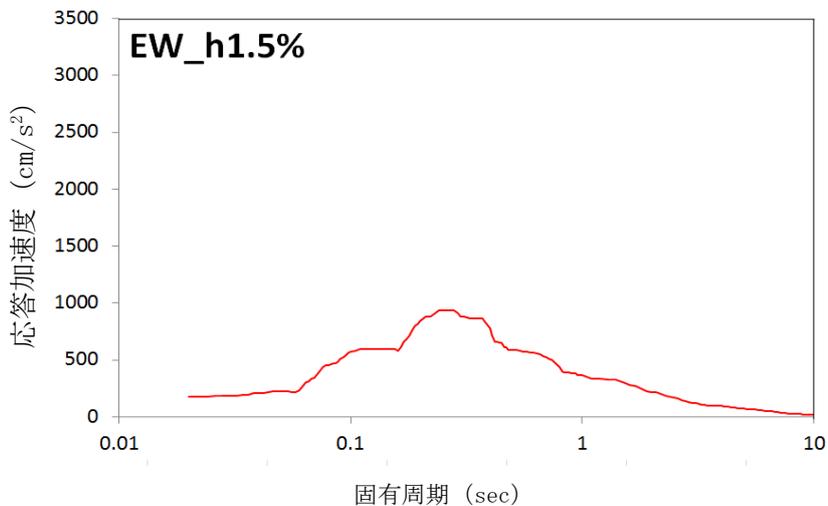


図-2-5 2FL (G.L. +4.2) の設計用応答スペクトル (EW方向, 1.5%減衰)

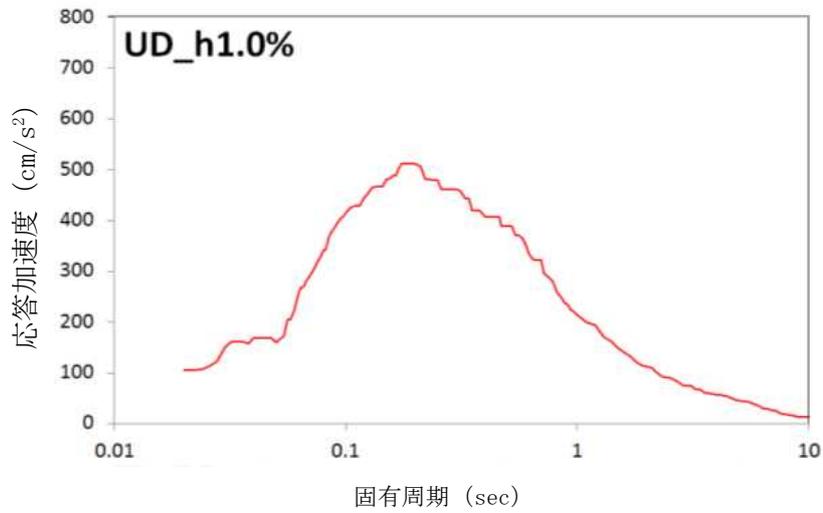


図-2 6 1FL (G.L. +0.2) の設計用応答スペクトル (鉛直方向, 1.0%減衰)

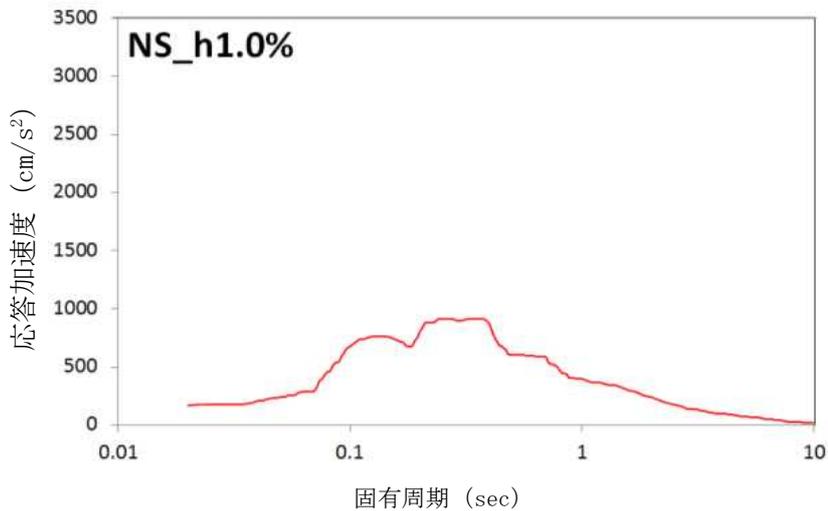


図-2 7 1FL (G.L. +0.2) の設計用応答スペクトル (NS方向, 1.0%減衰)

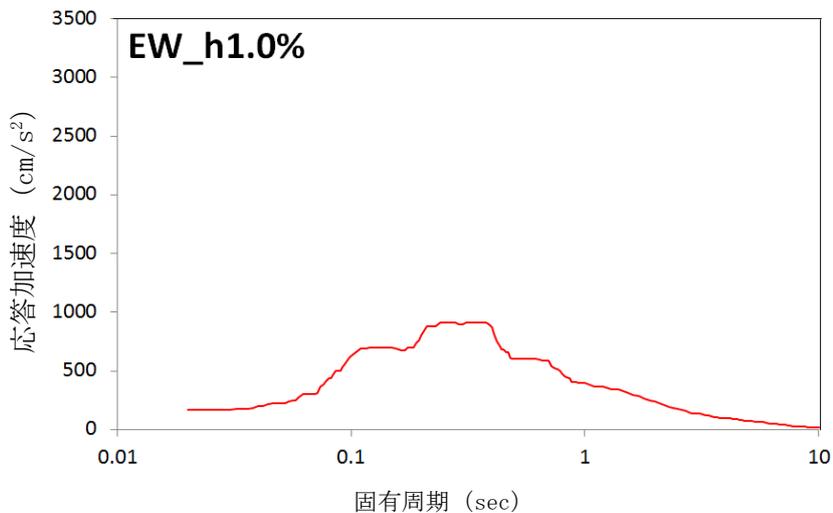


図-2 8 1FL (G.L. +0.2) の設計用応答スペクトル (EW方向, 1.0%減衰)

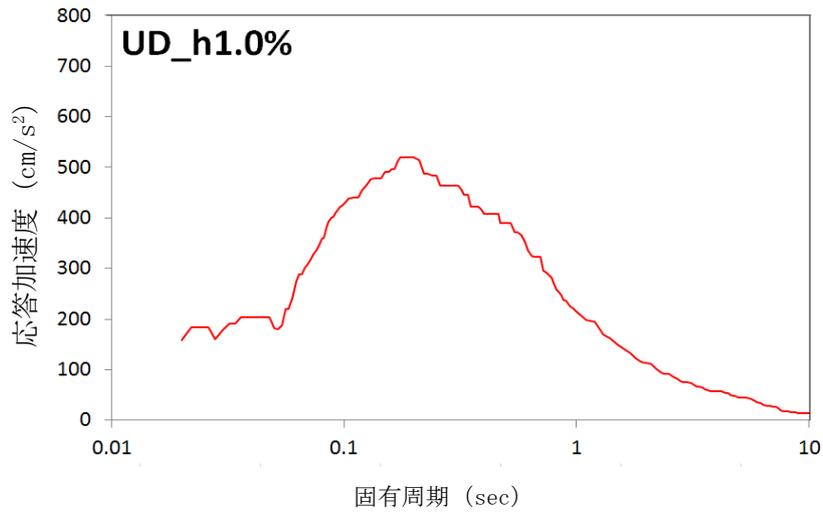


図-29 架台FL (G.L. +9.8) の設計用応答スペクトル (鉛直方向, 1.0%減衰)

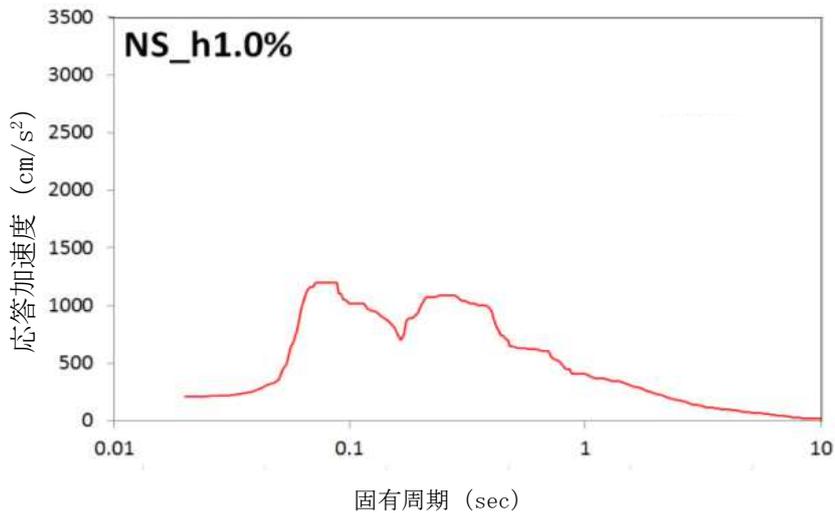


図-30 架台FL (G.L. +9.8) の設計用応答スペクトル (NS方向, 1.0%減衰)

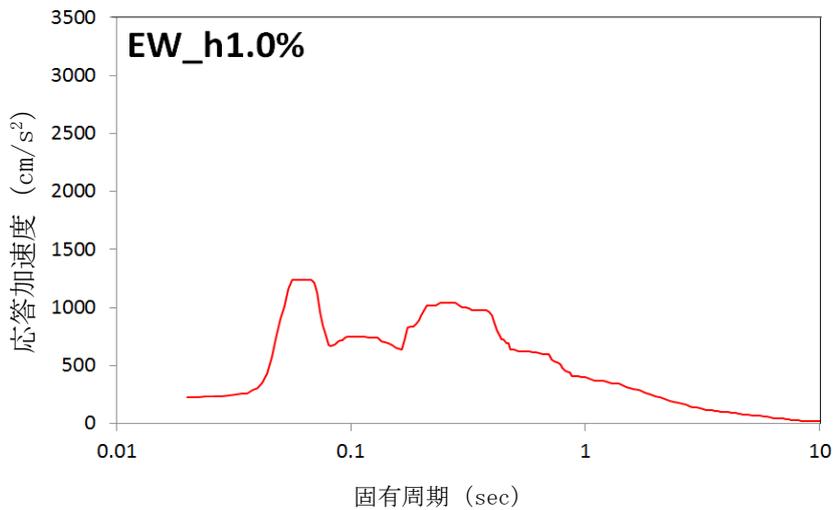


図-31 架台FL (G.L. +9.8) の設計用応答スペクトル (EW方向, 1.0%減衰)

2. 耐震性評価

2.1 ロータリーキルン

2.1.1 計算条件

- (1) ロータリーキルン（本体部）は，基礎ボルトで基礎に固定する。
- (2) 固有振動解析した結果，1次固有振動数が20Hz未満の場合，共振のおそれのあるものとして，弾性設計用地震動 S_d の1/2倍を用いた地震力を考慮する。

2.1.2 記号の説明

記号	記号の説明	単位
C_{Hx}	水平x方向設計震度	—
C_{Hy}	水平y方向設計震度	—
C_v	鉛直方向設計震度	—
σ_b	ボルト1本あたりに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルト1本あたりに生じるせん断応力	MPa
F_b	ボルト1本あたりに生じる引張力	N
Q_b	ボルト1本あたりに生じるせん断力	N
A	ボルトの断面積	mm ²

2.1.3 計算方法

固有周期及び地震力による応力計算には，汎用構造解析プログラムABAQUSを用いる。
主な構造部材の応力評価箇所を図-32に示す。

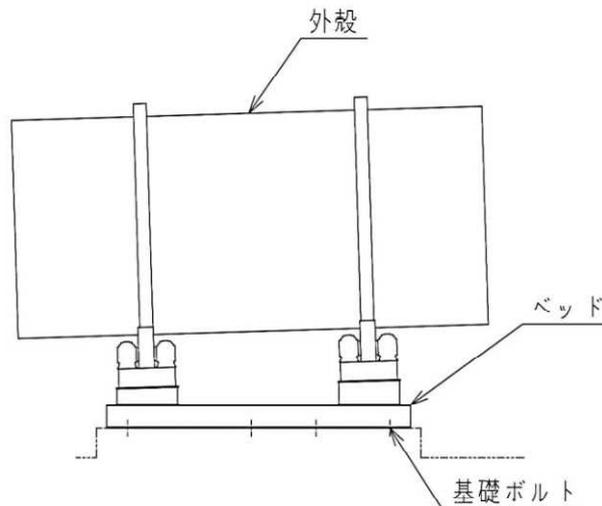


図-32 ロータリーキルンの応力評価箇所

2.1.4 設計条件

据付場所 (m)	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	最高使用圧力 (kPa)
焼却炉室 (G. L. +9.8)	$C_{Hx}=1.26$ $C_{Hy}=1.23$	$C_v=0.19$	-6.3

2.1.5 評価結果

解析で求めた各部材に生じる応力が許容応力以下であることを確認した。(表-2)

表-2 ロータリーキルンの応力評価結果

部材	材料	応力の種類	算出結果 (MPa)	許容応力 (MPa)
外殻	SS400	一次一般膜	135	185
		一次	143	185
ベッド	SS400	組合せ	153	170
基礎ボルト	SNB7	引張	154	562
		せん断	163	324

なお、ボルトに生じる応力については、解析により求められた引張力 F_b 、せん断力 Q_b より、以下の算出式によって求められる。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A} \quad , \quad \tau_b = \frac{Q_b}{A}$$

2.2 ストーカ・二次燃焼器

2.2.1 計算条件

- (1) ストーカ・二次燃焼器は，基礎ボルトで基礎に固定する。
- (2) 固有振動解析した結果，1次固有振動数が20Hz未満の場合，共振のおそれのあるものとして，弾性設計用地震動 S_d の1/2倍を用いた地震力を考慮する。

2.2.2 記号の説明

記号	記号の説明	単位
C_{Hx}	水平 x 方向設計震度	—
C_{Hy}	水平 y 方向設計震度	—
C_v	鉛直方向設計震度	—
σ_b	ボルト1本あたりに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルト1本あたりに生じるせん断応力	MPa
F_b	ボルト1本あたりに生じる引張力	N
Q_b	ボルト1本あたりに生じるせん断力	N
A	ボルトの断面積	mm ²
σ_c	平均圧縮応力	MPa
${}_c\sigma_b$	圧縮側曲げ応力	MPa
${}_t\sigma_b$	引張側曲げ応力	MPa
f_c	圧縮力のみを受ける架台の許容圧縮応力	MPa
f_b	曲げ力のみを受ける架台の許容曲げ応力	MPa
f_t	引張力のみを受ける架台の許容引張応力	MPa

2.2.3 計算方法

固有周期及び地震力による応力計算には、汎用構造解析プログラム ABAQUS を用いる。
 主な構造部材の応力評価箇所を図-33に示す。

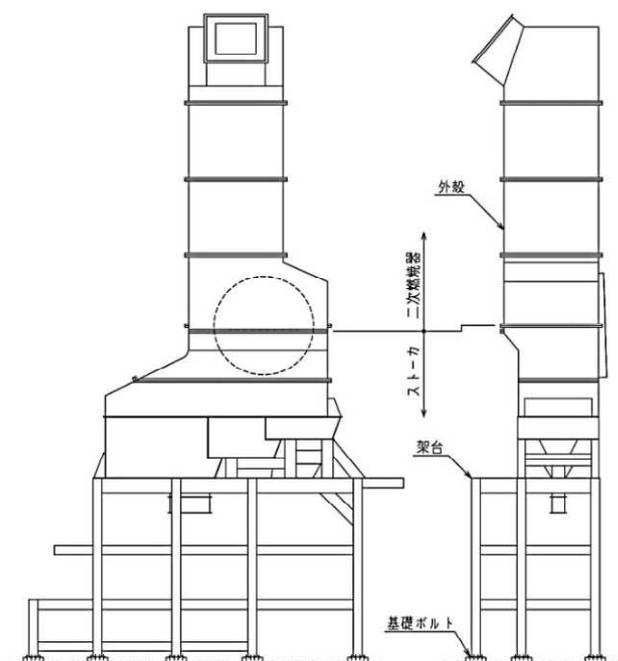


図-33 ストーカ・二次燃焼器の応力評価箇所

2.2.4 設計条件

据付場所 (m)	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	最高使用圧力 (kPa)
焼却炉室 (G. L. +0.2)	$C_{Hx}=0.72$ $C_{Hy}=0.77$	$C_v=0.40$	-6.3

2.2.5 評価結果

解析で求めた各部材に生じる応力が許容応力以下であることを確認した。(表-3)

表-3 ストーカ・二次燃焼器の応力評価結果

部材	材料	応力の種類	算出結果 (MPa)	許容応力 (MPa)
外殻	SS400	一次一般膜	196	221
		一次	201	221
架台	SS400	組合せ	119	212
		圧縮と曲げの 組合せ	$\frac{ \sigma_c }{1.5f_c} + \frac{ c\sigma_b }{1.5f_b} \leq 1, \quad \frac{ t\sigma_b - \sigma_c }{1.5f_t} \leq 1$	
			0.55 (無次元)	
基礎ボルト	SS400	引張	106	225
		せん断	17	130

なお、ボルトに生じる応力については、解析により求められた引張力 F_b 、せん断力 Q_b より、以下の算出式によって求められる。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A}, \quad \tau_b = \frac{Q_b}{A}$$

2.3 排ガス冷却器（本体部）

2.3.1 計算条件

- (1) 排ガス冷却器（本体部）は，取付ボルトで共通架台に固定する。
- (2) 共通架台は，単体で個別に評価を行う。
- (3) 固有振動解析した結果，1次固有振動数が20Hz未満の場合，共振のおそれのあるものとして，弾性設計用地震動 S_d の1/2倍を用いた地震力を考慮する。

2.3.2 記号の説明

記号	記号の説明	単位
C_{Hx}	水平 x 方向設計震度	—
C_{Hy}	水平 y 方向設計震度	—
C_v	鉛直方向設計震度	—
σ_b	ボルト 1 本あたりに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルト 1 本あたりに生じるせん断応力	MPa
F_b	ボルト 1 本あたりに生じる引張力	N
Q_b	ボルト 1 本あたりに生じるせん断力	N
A	ボルトの断面積	mm ²

2.3.3 計算方法

固有周期及び地震力による応力計算には，汎用構造解析プログラム ABAQUS を用いる。
 主な構造部材の応力評価箇所を図-34に示す。

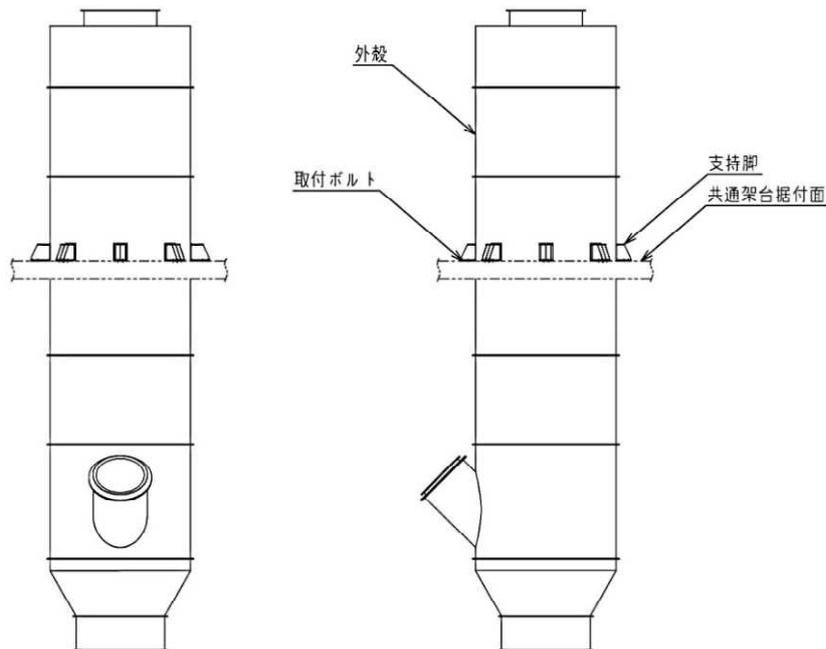


図-34 排ガス冷却器（本体部）の応力評価箇所

2.3.4 設計条件

据付場所 (m)	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	最高使用圧力 (kPa)
焼却炉室機器共通架台 (据付レベル G. L. +15.98)	$C_{Hx}=0.56$ $C_{Hy}=0.47$	$C_v=0.48$	-6.3

2.3.5 評価結果

解析で求めた各部材に生じる応力が許容応力以下であることを確認した。(表-4)

表-4 排ガス冷却器(本体部)の応力評価結果

部材	材料	応力の種類	算出結果 (MPa)	許容応力 (MPa)
外殻	SS400	一次一般膜	111	181
		一次	164	181
支持脚	SS400	組合せ	97	160
取付ボルト	SNB7	引張	196	531
		せん断	185	306

なお、ボルトに生じる応力については、解析により求められた引張力 F_b 、せん断力 Q_b より、以下の算出式によって求められる。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A} \quad , \quad \tau_b = \frac{Q_b}{A}$$

2.4 排ガス冷却器（入口部）

2.4.1 計算条件

- (1) 排ガス冷却器（入口部）は，取付ボルトで共通架台に固定する。
- (2) 共通架台は，単体で個別に評価を行う。
- (3) 固有振動解析した結果，1次固有振動数が20Hz未満の場合，共振のおそれのあるものとして，弾性設計用地震動 S_d の1/2倍を用いた地震力を考慮する。

2.4.2 記号の説明

記号	記号の説明	単位
C_{Hx}	水平 x 方向設計震度	—
C_{Hy}	水平 y 方向設計震度	—
C_v	鉛直方向設計震度	—
σ_b	ボルト 1 本あたりに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルト 1 本あたりに生じるせん断応力	MPa
F_b	ボルト 1 本あたりに生じる引張力	N
Q_b	ボルト 1 本あたりに生じるせん断力	N
A	ボルトの断面積	mm^2

2.4.3 計算方法

固有周期及び地震力による応力計算には，汎用構造解析プログラム ABAQUS を用いる。主な構造部材の応力評価箇所を図-35に示す。

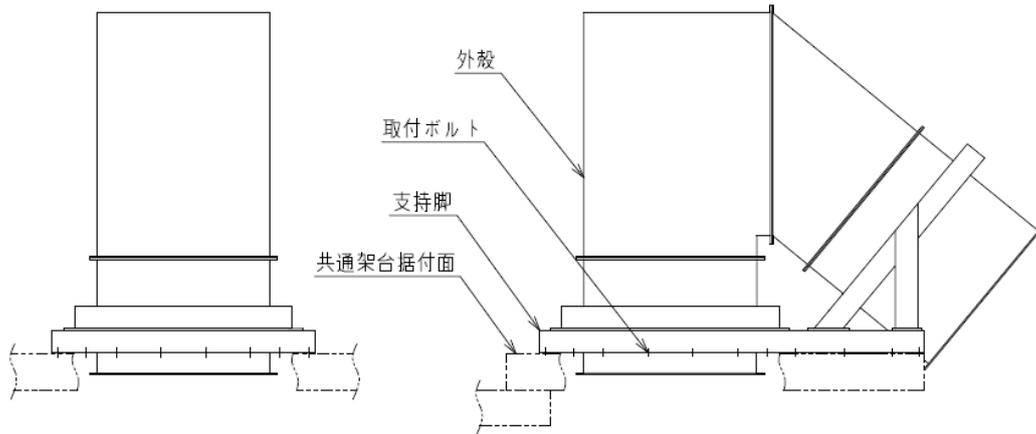


図-35 排ガス冷却器（入口部）の応力評価箇所

2.4.4 設計条件

据付場所 (m)	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	最高使用圧力 (kPa)
焼却炉室機器共通架台 (据付レベル G. L. +24.85)	$C_{Hx}=0.49$ $C_{Hy}=0.44$	$C_v=0.23$	-6.3

2.4.5 評価結果

解析で求めた各部材に生じる応力が許容応力以下であることを確認した。(表-5)

表-5 排ガス冷却器(入口部)の応力評価結果

部材	材料	応力の種類	算出結果 (MPa)	許容応力 (MPa)
外殻	SS400	一次一般膜	99	207
		一次	100	207
支持脚	SS400	組合せ	148	198
取付ボルト	SNB7	引張	22	531
		せん断	118	306

なお、ボルトに生じる応力については、解析により求められた引張力 F_b 、せん断力 Q_b より、以下の算出式によって求められる。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A} \quad , \quad \tau_b = \frac{Q_b}{A}$$

2.5 バグフィルタ

2.5.1 計算条件

- (1) バグフィルタは，取付ボルトで共通架台に固定する。
- (2) 共通架台は，単体で個別に評価を行う。
- (3) 固有振動解析した結果，1次固有振動数が20Hz未満の場合，共振のおそれのあるものとして，弾性設計用地震動 S_d の1/2倍を用いた地震力を考慮する。

2.5.2 記号の説明

記号	記号の説明	単位
C_{Hx}	水平 x 方向設計震度	—
C_{Hy}	水平 y 方向設計震度	—
C_v	鉛直方向設計震度	—
σ_b	ボルト1本あたりに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルト1本あたりに生じるせん断応力	MPa
F_b	ボルト1本あたりに生じる引張力	N
Q_b	ボルト1本あたりに生じるせん断力	N
A	ボルトの断面積	mm ²

2.5.3 計算方法

固有周期及び地震力による応力計算には，汎用構造解析プログラム ABAQUS を用いる。主な構造部材の応力評価箇所を図-36に示す。

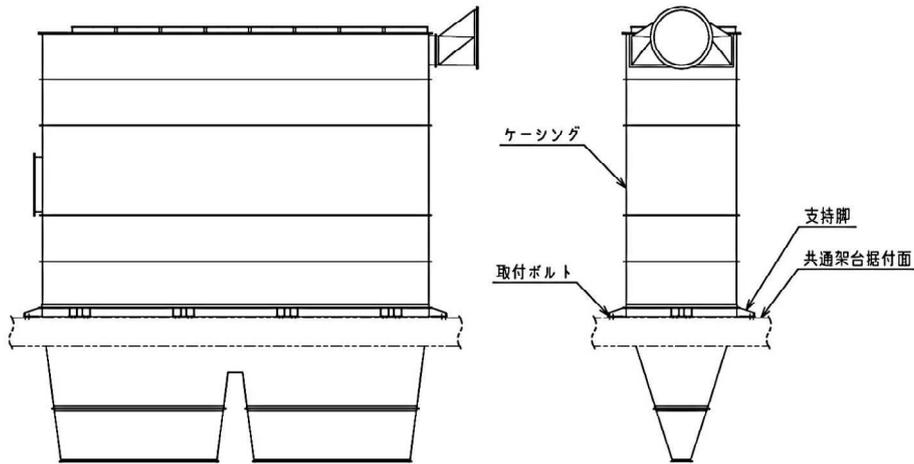


図-36 バグフィルタの応力評価箇所

2.5.4 設計条件

据付場所 (m)	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	最高使用圧力 (kPa)
焼却炉室機器共通架台 (据付レベル G.L. +7.6)	$C_{Hx}=0.28$ $C_{Hy}=1.22$	$C_v=0.24$	-6.3

2.5.5 評価結果

解析で求めた各部材に生じる応力が許容応力以下であることを確認した。(表-6)

表-6 バグフィルタの応力評価結果

部材	材料	応力の種類	算出結果 (MPa)	許容応力 (MPa)
ケーシング	SS400	一次一般膜	142	181
		一次	165	173
支持脚	SS400	組合せ	142	160
取付ボルト	SNB7	引張	121	531
		せん断	172	306

なお、ボルトに生じる応力については、解析により求められた引張力 F_b 、せん断力 Q_b より、以下の算出式によって求められる。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A}, \quad \tau_b = \frac{Q_b}{A}$$

2.6 プレフィルタ、一次排ガスフィルタ及び二次排ガスフィルタ

2.6.1 計算条件

- (1) 容器及び内容物により作用する荷重は、胴の中心軸に集中したものとする。
- (2) 容器は、胴を2個の脚で支持され、脚はそれぞれ基礎ボルト※で基礎に据付けられているものとする。ただし2個の脚のうち1個は胴の長手方向に基礎に対してスライドできるものとする。(※以下、機器が架台に据付けられる構造の場合は、基礎ボルトを取付ボルトと読み替える。)
- (3) 共通架台は、単体で個別に評価を行う。
- (4) 地震力は、容器に対して水平方向から作用するものとする。鉛直方向の設計震度は考慮しないものとする。
- (5) 容器の胴は剛とし、脚の曲げ及びせん断変形を考慮するものとする。
- (6) 第2脚は、長手方向にスライドできるのでその方向の力はすべて1脚で受けるものとする。

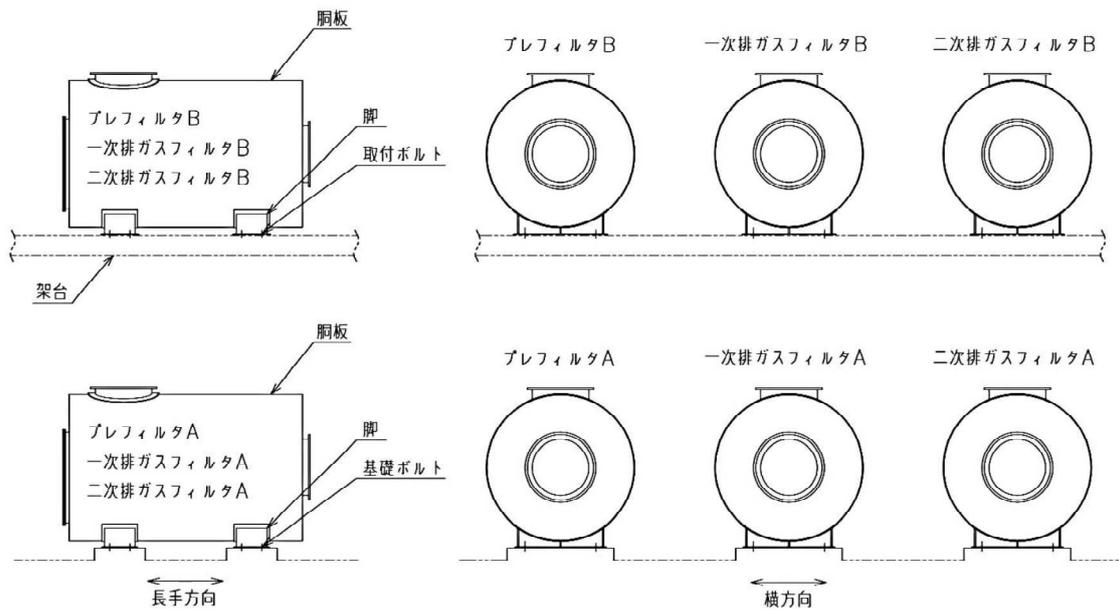


図-37 プレフィルタ，一次排ガスフィルタ及び二次排ガスフィルタ概要図

2.6.2 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
A_s	脚の断面積	mm^2
A_{s1}	脚の長手方向に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{s2}	脚の横方向に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{s3}	脚の長手方向に対するせん断断面積	mm^2
A_{s4}	脚の横方向に対するせん断断面積	mm^2
a	脚底板の長手方向幅	mm
b	脚底板の横方向幅	mm
C_H	水平方向設計震度	—
C_c	参考文献(1)より得られる値	—
C_θ	参考文献(1)より得られる値	—
C_1	脚の胴体つけ根部のアタッチメントの幅の2分の1 (胴の横方向)	mm
C_2	脚の胴体つけ根部のアタッチメントの幅の2分の1 (胴の長手方向)	mm
D_i	胴の内径	mm
d_1	脚底板端面から基礎ボルト中心までの長手方向の距離	mm
d_2	脚底板端面から基礎ボルト中心までの横方向の距離	mm

記号	記号の説明	単位
E_s	脚の縦弾性係数	MPa
e	脚中心から偏心荷重作用点までの距離	mm
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F_b	基礎ボルトに作用する引張力	N
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_t	脚の許容引張応力	MPa
f_{t0}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
G_s	脚のせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度($g=9806.65$)	mm/s ²
h_1	基礎から脚の胴つけ根部までの高さ	mm
h_2	基礎から胴の中心までの高さ	mm
I_x	脚の長手方向軸に対する断面2次モーメント	mm ⁴
I_y	脚の横方向軸に対する断面2次モーメント	mm ⁴
j_1	荷重分布で分けられた静荷重の数	—
j_2	第1脚より第2脚と反対の方向に作用する静荷重の数 (第1脚上の荷重は含まない)	—
j_3	第2脚より第1脚と反対の方向に作用する静荷重の数 (第2脚上の荷重は含まない)	—
K_1	参考文献(1)よりの定数	—
K_c	脚のばね定数 (胴の横方向に水平力が作用する場合)	N/mm
K_ℓ	脚のばね定数 (胴の長手方向に水平力が作用する場合)	N/mm
ℓ_i	第1脚より各質量までの距離 (ここで第2脚側の距離は正, その反対側は負とする)	mm
ℓ_0	脚中心間距離	mm
M	脚底板に作用するモーメント	N・mm
M_c	横方向地震による胴の脚つけ根部のモーメント	N・mm
M_{c1}	横方向地震により脚底面に働くモーメント	N・mm
M_ℓ	長手方向地震による胴の脚つけ根部のモーメント	N・mm
$M_{\ell1}$	長手方向地震により脚底面に働くモーメント	N・mm
M_1, M_2	第1脚, 第2脚部における胴の運転時質量によるモーメント	N・mm

記号	記号の説明	単位
N_x	胴に生じる軸方向の膜力	N/mm
N_ϕ	胴に生じる周方向の膜力	N/mm
n	脚 1 個当たりの基礎ボルト本数	本
n_1	脚 1 個あたりの長手方向地震によって引張を受ける基礎ボルトの本数	本
n_2	脚 1 個あたりの横方向地震によって引張を受ける基礎ボルトの本数	本
P	胴の脚つけ根部に作用する反力	N
P_r	最高使用圧力	MPa
P_ℓ	長手方向地震により胴の脚つけ根部に働く鉛直荷重	N
P_s	長手方向地震により脚底部に働く鉛直荷重	N
P_{s1}	横方向地震により脚底部に働く鉛直荷重	N
R_1, R_2	第 1, 第 2 脚の受ける荷重	N
r_m	脚つけ根部における胴の平均半径	mm
r_o	脚つけ根部における胴の外半径	mm
s	基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比	—
S_a	胴の許容応力	MPa
S_u	設計引張強さ 設計・建設規格 付録材料図表 Part3 表 7 に規定される値	MPa
S_y	設計降伏点 設計・建設規格 付録材料図表 Part3 表 6 に規定される値	MPa
T_1	長手方向の固有周期	s
T_2	横方向の固有周期	s
t	胴の板厚	mm
t_e	脚つけ根部における胴の有効板厚	mm
W_o	容器の有効運転質量	kg
W_i	各部の質量	kg
W_s	脚の質量	kg
X_n	基礎が圧縮力を受ける幅	mm
Z	参考文献(2)による胴の断面係数	mm ³
Z_{sx}	脚の長手方向軸に対する断面係数	mm ³
Z_{sy}	脚の横方向軸に対する断面係数	mm ³
β, β_1, β_2	参考文献(1)によるアタッチメントパラメータ	—
γ	参考文献(1)によるシェルパラメータ	—
θ	参考文献(2)による胴の有効範囲角の 2 分の 1	rad
θ_o	胴体脚端部より鉛直軸までの角度	rad
σ_o	胴の一次一般膜応力あるいは組合せ応力の最大値	MPa

記号	記号の説明	単位
σ_{0c}	横方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次一般膜応力	MPa
σ_{0cx}	横方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次一般膜応力の和	MPa
$\sigma_{0c\phi}$	横方向地震が作用した場合の胴の周方向一次一般膜応力の和	MPa
$\sigma_{0\ell}$	長手方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次一般膜応力	MPa
$\sigma_{0\ell x}$	長手方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次一般膜応力の和	MPa
$\sigma_{0\ell\phi}$	長手方向地震が作用した場合の胴の周方向一次一般膜応力の和	MPa
σ_1	胴の一次応力の最大値	MPa
σ_{1c}	横方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
σ_{1cx}	横方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{1c\phi}$	横方向地震が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{1\ell}$	長手方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
$\sigma_{1\ell x}$	長手方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{1\ell\phi}$	長手方向地震が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa
σ_{b1}	長手方向地震により基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{b2}	横方向地震により基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_s	脚の組合せ応力の最大値	MPa
σ_{s1}	脚の運転時質量による圧縮応力	MPa
σ_{s2}	長手方向地震により脚に生じる圧縮及び曲げ応力の和	MPa
σ_{s3}	横方向地震により脚に生じる曲げ応力	MPa
σ_{sc}	横方向地震が作用した場合の脚の組合せ応力	MPa
$\sigma_{s\ell}$	長手方向地震が作用した場合の脚の組合せ応力	MPa
σ_{x1}	内圧により胴に生じる軸方向応力	MPa
σ_{x2}	胴の長手方向曲げモーメントにより胴に生じる軸方向応力	MPa
σ_{x3}	運転時質量により胴の脚つけ根部に生じる軸方向応力	MPa
σ_{x4}	長手方向地震により胴の脚つけ根部に生じる軸方向応力の和	MPa
$\sigma_{x4.1}$	長手方向地震による胴の脚つけ根部のモーメントにより生じる軸方向応力	MPa
$\sigma_{x4.2}$	長手方向地震による胴の脚つけ根部の鉛直荷重により生じる軸方向応力	MPa
$\sigma_{x4.3}$	長手方向地震により生じる水平方向荷重による胴の応力	MPa
σ_{x5}	横方向地震による胴の脚つけ根部のモーメントにより生じる軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 1}$	内圧により胴に生じる周方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 3}$	運転時質量により胴の脚つけ根部に生じる周方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 4}$	長手方向地震により胴の脚つけ根部に生じる周方向応力の和	MPa
$\sigma_{\phi 4.1}$	長手方向地震による胴の脚つけ根部のモーメントにより生じる周方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 4.2}$	長手方向地震による胴の脚つけ根部の鉛直荷重により生じる周方向応力	MPa

記号	記号の説明	単位
$\sigma_{\phi 5}$	横方向地震による胴の脚つけ根部のモーメントにより生じる周方向応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
τ_{b1}	長手方向地震により基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_{b2}	横方向地震により基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_c	横方向地震により胴の脚つけ根部に生じるせん断応力	MPa
τ_θ	長手方向地震により胴の脚つけ根部に生じるせん断応力	MPa
τ_{s2}	長手方向地震により脚に生じるせん断応力	MPa
τ_{s3}	横方向地震により脚に生じるせん断応力	MPa

2.6.3 固有周期の計算方法

(1) 長手方向の固有周期

長手方向のばね定数は、

$$K_\ell = \frac{1}{\frac{h_1^3}{12E_s I_y} + \frac{h_1}{G_s A_{s1}}}$$

固有周期は、

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{W_0}{K_\ell g}}$$

(2) 横方向の固有周期

横方向のばね定数は、

$$K_c = \frac{1}{\frac{h_1^2(3h_2-h_1)}{6E_s I_x} + \frac{(h_2-h_1)h_1(h_2-h_1/2)}{E_s I_x} + \frac{h_1}{G_s A_{s2}}}$$

固有周期は、

$$T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{R_1 + W_s}{K_c g}}$$

ただし、脚の受ける荷重が $R_2 > R_1$ となる場合は R_1 を R_2 に置き換える。

2.6.4 胴の応力の計算方法

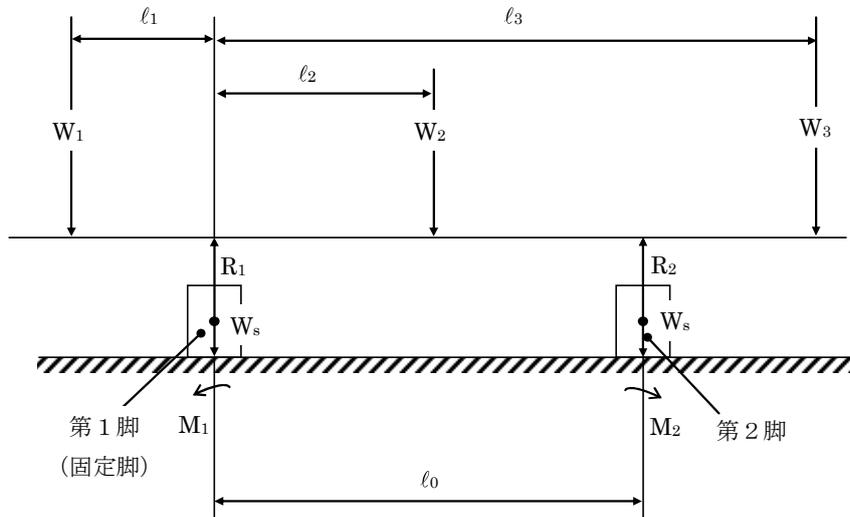


図-38 荷重状態

(1) 脚の受ける荷重

脚に作用する荷重は、モーメントの釣合より求める。図-38において第1脚まわりのモーメントの釣合より次式が与えられる。

第1脚に作用する荷重

$$R_1 = \sum_{i=1}^{j1} W_i - R_2$$

第2脚に作用する荷重

$$R_2 = \frac{\sum_{i=1}^{j1} W_i l_i}{l_0}$$

(2) 曲げモーメント

第1脚つけ根の部分における曲げモーメント

$$M_1 = \sum_{i=1}^{j2} W_i |l_i|$$

第2脚つけ根の部分における曲げモーメント

$$M_2 = \sum_{i=j1-j3+1}^{j1} W_i |l_i - l_0|$$

(3) 内圧による応力

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{P_r(D_i + 1.2t)}{200t}$$

$$\sigma_{x1} = \frac{P_r(D_i + 1.2t)}{400t}$$

ここで、機器の最高使用圧力が大気圧以下の場合、内圧は作用しないため、応力評価は不要とする。

(4) 運転時質量により生じる長手方向曲げモーメントによる応力（第1脚つけ根部）

(2)で求めた曲げモーメントにより胴の脚つけ根部に生じる応力は、次のようにして求められる。

参考文献(2)によれば、この曲げモーメントは胴の断面に対して一様に作用するものではなく、脚取付部において円周方向の曲げモーメントに置換され、胴の局部変形を生じさせようとする。

今、長手方向の曲げモーメントによる胴の応力の影響範囲を脚上 $\theta_0/6$ の点とすると、長手方向曲げモーメントに対する胴の有効断面積は、図-39に 2θ で示される円殻である。したがって、応力は次式で表わされる。

$$\sigma_{x2} = \frac{M_1}{Z}$$

ここで、

$$r_m = \frac{D_i + t_e}{2}$$

$$Z = r_m^2 t_e \left(\frac{\theta + \sin \theta \cos \theta - 2 \sin^2 \theta / \theta}{\sin \theta / \theta - \cos \theta} \right)$$

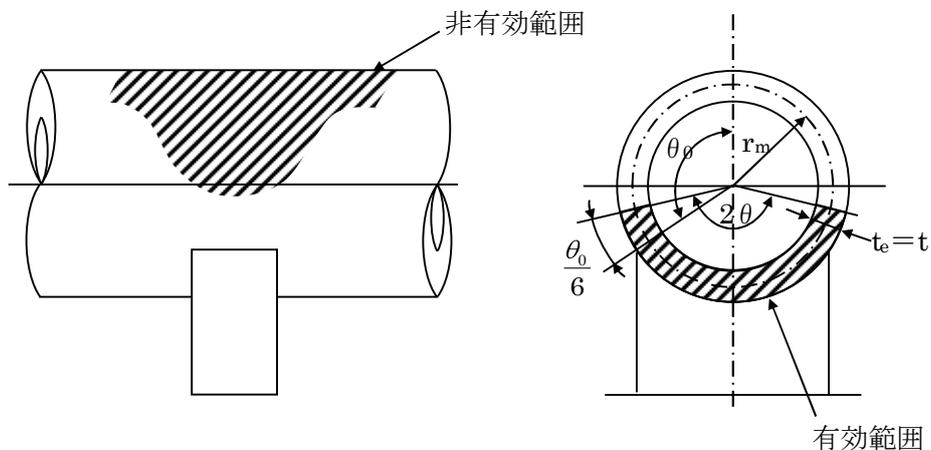


図-39 脚付け根部の有効範囲

(5) 運転時質量による脚つけ根部の応力

胴の脚つけ根部には，脚反力による局部応力が生じる。

胴の第1脚つけ根部に作用する反力は次式で表わされる。

$$P = R_1$$

この反力Pにより生じる胴の局部応力は，参考文献(1)によると次のようにして求めることができる。(以下，*が付記された記号は参考文献(1)より求める値を示す。)

$$\gamma = r_m / t_e$$

$$\beta_1 = C_1 / r_m$$

$$\beta_2 = C_2 / r_m$$

$\beta_1 / \beta_2 \geq 1$ のとき

$$\beta = \left\{ 1 - \frac{1}{3} (\beta_1 / \beta_2 - 1) (1 - K_1^*) \right\} \sqrt{\beta_1 \beta_2}$$

シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β によって，参考文献(1)より値を求めることにより応力は次式で表わされる。

$$\sigma_{\phi 3} = \left(\frac{N_{\phi}}{P / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P}{r_m t_e} \right)$$

$$\sigma_{x 3} = \left(\frac{N_x}{P / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P}{r_m t_e} \right)$$

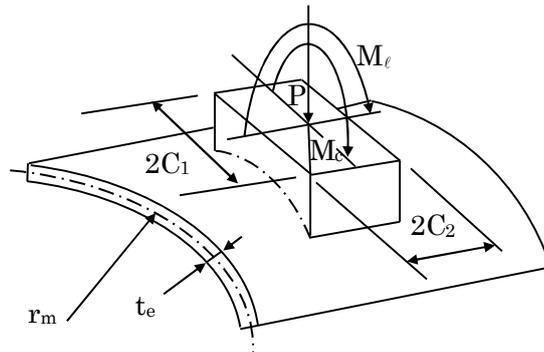


図-40 脚が胴に及ぼす力の関係図

(6) 長手方向地震による脚つけ根部の応力

第2脚は，長手方向に自由にスライドできるので固定脚である第1脚が変形し，脚つけ根部に生じる曲げモーメント及び鉛直荷重（偶力）は次式により与えられる。

$$M_l = \frac{1}{2} C_H (W_0 - W_s) h_1$$

$$P_\ell = C_H (W_0 - W_s) \frac{h_2 - \frac{1}{2}h_1}{\ell_0}$$

曲げモーメント M_ℓ と鉛直荷重 P_ℓ により生じる胴の局部応力は(5)と同様な方法で参考文献(1)により求められる。

曲げモーメント M_ℓ により生じる応力は、

$$\sigma_{\phi 41} = \left(\frac{N_\phi}{M_\ell / (r_m^2 \beta)} \right)^* \cdot \left(\frac{M_\ell}{r_m^2 t_e \beta} \right) C_\ell^*$$

$$\sigma_{x 41} = \left(\frac{N_x}{M_\ell / (r_m^2 \beta)} \right)^* \cdot \left(\frac{M_\ell}{r_m^2 t_e \beta} \right) C_\ell^*$$

ここで、アタッチメントパラメータ β は次式で表わされる。

$$\beta = \sqrt[3]{\beta_1 \beta_2^2}$$

鉛直荷重 P_ℓ により生じる応力は、

$$\sigma_{\phi 42} = \left(\frac{N_\phi}{P_\ell / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P_\ell}{r_m t_e} \right)$$

$$\sigma_{x 42} = \left(\frac{N_x}{P_\ell / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P_\ell}{r_m t_e} \right)$$

また、水平方向荷重により胴には下記式で表わされる引張応力が生じる。

$$\sigma_{x 43} = \frac{C_H (W_0 - W_s)}{\pi (D_i + t) t}$$

したがって、曲げモーメント M_ℓ 、鉛直力 P_ℓ 及び水平方向荷重により生じる胴の応力は、

$$\sigma_{\phi 4} = \sigma_{\phi 41} + \sigma_{\phi 42}$$

$$\sigma_{x 4} = \sigma_{x 41} + \sigma_{x 42} + \sigma_{x 43}$$

また、長手方向の地震が作用した場合、第1脚つけ根部に生じるせん断応力は次式で表わされる。

$$\tau_\ell = \frac{C_H (W_0 - W_s)}{4C_2 t}$$

(7) 横方向地震による脚つけ根部の応力

横方向の地震が作用した場合、第1脚のつけ根部に生じる曲げモーメント M_c は、

$$M_c = C_H R_1 r_0$$

$$r_0 = \frac{D_i}{2} + t_e$$

曲げモーメント M_c により生じる胴の局部応力は、(5)、(6)と同様な方法で参考文献(1)より求められる。

シェルパラメータ γ は(5)と同じであるが、アタッチメントパラメータ β は次式にて表わされる。

$$\beta = \sqrt[3]{\beta_1^2 \beta_2}$$

したがって、応力は、

$$\sigma_{\phi s} = \left(\frac{N_\phi}{M_c / (r_m^2 \beta)} \right)^* \cdot \left(\frac{M_c}{r_m^2 \beta t_e} \right) C_c^*$$

$$\sigma_{x s} = \left(\frac{N_x}{M_c / (r_m^2 \beta)} \right)^* \cdot \left(\frac{M_c}{r_m^2 \beta t_e} \right) C_c^*$$

で表わすことができる。

また、横方向に地震が作用した場合第1脚つけ根部に生じるせん断応力は次式で表わされる。

$$\tau_c = \frac{C_H R_1}{4 C_1 t}$$

(8) 組合せ応力

(3)～(7)によって算出される第1脚つけ根部に生じる胴の応力は、以下により組み合わせられる。

a. 一次一般膜応力

長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{0\ell} = \text{Max}(\sigma_{0\ell\phi}, \sigma_{0\ell x})$$

ここで、

$$\sigma_{0\ell\phi} = \sigma_{\phi 1}$$

$$\sigma_{0\ell x} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x43}$$

横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{0c} = \text{Max}(\sigma_{0c\phi}, \sigma_{0cx})$$

ここで、

$$\sigma_{0c\phi} = \sigma_{\phi 1}$$

$$\sigma_{0cx} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2}$$

したがって、胴に生じる一次一般膜応力の最大値は、

$$\sigma_0 = \text{Max}(\sigma_{0\ell}, \sigma_{0c})$$

で表わされる。

b. 一次応力

長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{1\ell} = \frac{1}{2} \left\{ (\sigma_{1\ell\phi} + \sigma_{1\ell x}) + \sqrt{(\sigma_{1\ell\phi} - \sigma_{1\ell x})^2 + 4\tau_{\ell}^2} \right\}$$

ここで、

$$\sigma_{1\ell\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 4}$$

$$\sigma_{1\ell x} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x3} + \sigma_{x4}$$

横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{1c} = \frac{1}{2} \left\{ (\sigma_{1c\phi} + \sigma_{1cx}) + \sqrt{(\sigma_{1c\phi} - \sigma_{1cx})^2 + 4\tau_c^2} \right\}$$

ここで、

$$\sigma_{1c\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 5}$$

$$\sigma_{1cx} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x3} + \sigma_{x5}$$

したがって、胴に生じる一次応力の最大値は、

$$\sigma_1 = \text{Max}(\sigma_{1\ell}, \sigma_{1c})$$

で表わされる。

2.6.5 脚の応力の計算方法

脚の受ける荷重が $R_2 > R_1$ となる場合は R_1 を R_2 に置き換える。

- (1) 運転時質量における圧縮応力

$$\sigma_{s1} = \frac{R_1 + W_s}{A_s}$$

- (2) 長手方向地震による応力

曲げ応力, 圧縮応力は

$$\sigma_{s2} = \frac{M_{\ell 1}}{Z_{sy}} + \frac{P_{\ell}}{A_s}$$

ここで,

$$M_{\ell 1} = \frac{1}{2} C_H W_0 h_1$$

せん断応力は

$$\tau_{s2} = \frac{C_H W_0}{A_{s3}}$$

- (3) 横方向地震による応力

曲げ応力は

$$\sigma_{s3} = \frac{C_H (R_1 + W_s) h_2}{Z_{sx}}$$

せん断応力は

$$\tau_{s3} = \frac{C_H (R_1 + W_s)}{A_{s4}}$$

- (4) 組合せ応力

長手方向地震が作用する場合

$$\sigma_{s\ell} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2})^2 + 3\tau_{s2}^2}$$

横方向地震が作用する場合

$$\sigma_{sc} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s3})^2 + 3\tau_{s3}^2}$$

したがって, 脚に生じる最大応力は

$$\sigma_s = \text{Max}(\sigma_{s\ell}, \sigma_{sc})$$

で表わされる。

2.6.6 基礎ボルトの応力の計算方法

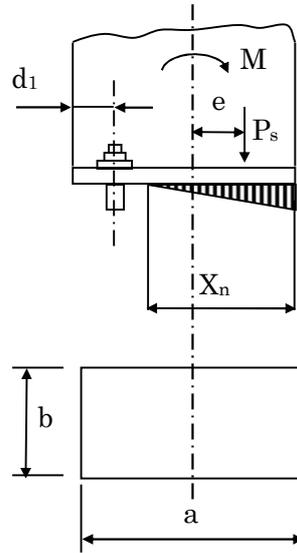


図-4 1 基礎部に作用する外荷重より生じる荷重の関係

(1) 長手方向の地震が作用した場合

a. せん断応力

$$\tau_{bl} = \frac{C_H W_o}{n A_b}$$

b. 引張応力

長手方向の地震が作用した場合に脚底面に働くモーメントは

$$M = M_{\ell 1}$$

鉛直荷重は,

$$P_s = R_1 + W_s - P_\ell$$

である。

今, モーメントと圧縮荷重の比を

$$e = M_{\ell 1} / P_s$$

とすると, e が負の場合及び

$$e > \frac{a}{6} + \frac{d_1}{3}$$

の時, 基礎ボルトに引張力が生じこの引張力は次のようにして求められる。

今, 中立軸の位置 X_n を

$$X_n^3 + 3\left(e - \frac{a}{2}\right)X_n^2 - \frac{6sA_b n_1}{b}\left(e + \frac{a}{2} - d_1\right)(a - d_1 - X_n) = 0$$

より求めると, 基礎ボルトに生じる引張力は

$$F_b = \frac{P_s \left(e - \frac{a}{2} + \frac{X_n}{3} \right)}{a - d_1 - \frac{X_n}{3}}$$

となる。

したがって、基礎ボルトに生じる引張応力は次のようになる。

$$\sigma_{b1} = \frac{F_b}{n_1 \cdot A_b}$$

(2) 横方向の地震が作用した場合

脚の受ける荷重 R_2 が R_1 よりも大きいときは、 R_1 を R_2 と読み替えて計算する。

a. せん断応力

$$\tau_{b2} = \frac{C_H (R_1 + W_s)}{n A_b}$$

b. 引張応力

横方向の地震が作用した場合に脚底面に働くモーメントは

$$M_{c1} = C_H (R_1 + W_s) h_2$$

鉛直力は、

$$P_{s1} = R_1 + W_s$$

で表わされる。

モーメントと圧縮荷重の比を

$$e = M_{c1} / P_{s1}$$

とすると、 e が負の場合及び

$$e > \frac{b}{6} + \frac{d_2}{3}$$

の時、基礎ボルトに引張力が生じ、この引張力は次のようにして求められる。

今、中立軸の位置 X_n を

$$X_n^3 + 3 \left(e - \frac{b}{2} \right) X_n^2 - \frac{6sA_b n_2}{a} \left(e + \frac{b}{2} - d_2 \right) (b - d_2 - X_n) = 0$$

より求めると、基礎ボルトに生じる引張力は、

$$F_b = \frac{P_{s1} \left(e - \frac{b}{2} + \frac{X_n}{3} \right)}{b - d_2 - \frac{X_n}{3}}$$

となる。

したがって、基礎ボルトに生じる引張応力は次のようになる。

$$\sigma_{b2} = \frac{F_b}{n_2 \cdot A_b}$$

2.6.7 固有周期の評価方法

2.6.3 項で求めた固有周期より、固有振動数が 20Hz 以上であれば、剛構造として建屋との共振の恐れが無いものと判断する。

2.6.8 応力の評価方法

(1) 胴の応力評価

2.6.4 項で求めた組合せ応力が、胴の許容応力 S_a 以下であること。

応力の種類	許容応力 S_a
一次一般膜応力	設計降伏点 S_y と設計引張強さ S_u の 0.6 倍の いずれか小さいほうの値
一次応力	設計降伏点 S_y

(2) 脚の応力評価

2.6.5 項で求めた脚の組合せ応力が、脚の許容応力 f_t 以下であること。

$$f_t = \left(\frac{F}{1.5} \right) 1.5$$

(3) 基礎ボルトの応力評価

長手方向、横方向とも、2.6.6 項で求めた基礎ボルトの引張応力が、下記 2 式より求めた基礎ボルトの許容引張力 f_{ts} 以下であること。

長手方向、横方向とも、2.6.6 項で求めた基礎ボルトのせん断応力が、せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。

$$f_{ts} = 1.4f_{t0} - 1.6\tau_b$$

$$f_{ts} \leq f_{t0}$$

ただし、 f_{t0} 、 f_{sb} は下表による。

	許容引張応力 f_{t0}	許容せん断応力 f_{sb}
計算式	$\left(\frac{F}{2} \right) 1.5$	$\left(\frac{F}{1.5\sqrt{3}} \right) 1.5$

参考文献(1)

Wichman, K.R. et al. : Local Stress in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings, Welding Research Council bulletin, March 1979 revision of WRC bulletin 107/August 1965.

参考文献(2)

Stresses in Large Horizontal Cylindrical Pressure Vessels on Two Saddle Supports, Welding Research Supplement, Sep. 1951.

2.6.9 設計条件

(1) プレフィルタ A

据付場所 (m)	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	最高使用圧力 (kPa)
排ガス処理室 (5F G.L. +22.2)	$C_H=0.68$	—	-10.7

(2) プレフィルタ B

据付場所 (m)	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	最高使用圧力 (kPa)
排ガス処理室 (5F G.L. +28.7)	$C_H=0.85$	—	-10.7

(3) 一次排ガスフィルタ A, 二次排ガスフィルタ A

据付場所 (m)	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	最高使用圧力 (kPa)
排ガス処理室 (5F G.L. +22.2)	$C_H=0.68$	—	-10.7

(4) 一次排ガスフィルタ B, 二次排ガスフィルタ B

据付場所 (m)	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	最高使用圧力 (kPa)
排ガス処理室 (5F G.L. +28.7)	$C_H=0.85$	—	-10.7

2.6.10 評価結果

地震力による応力計算結果より,各部材に生じる応力が許容応力以下であることを確認した。(表-7)

表-7 プレフィルタ,一次排ガスフィルタ及び二次排ガスフィルタの応力評価結果

機器名称	部材	材料	応力の種類		算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
プレフィルタ A	胴板	SS400	一次一般膜		$\sigma_0=7$	$S_a=181$
			一次		$\sigma_1=69$	
	脚	SS400	組合せ		$\sigma_s=7$	$f_t=173$
	基礎ボルト	SS400	引張	長手方向	$\sigma_{b1}=17$	$f_{ts}=123$
				横方向	$\sigma_{b2}=13$	
			せん断	長手方向	$\tau_{b1}=37$	$f_{sb}=99$
横方向				$\tau_{b2}=20$		
プレフィルタ B	胴板	SS400	一次一般膜		$\sigma_0=8$	$S_a=181$
			一次		$\sigma_1=81$	
	脚	SS400	組合せ		$\sigma_s=9$	$f_t=173$
	取付ボルト	SS400	引張	長手方向	$\sigma_{b1}=28$	$f_{ts}=109$
				横方向	$\sigma_{b2}=19$	
			せん断	長手方向	$\tau_{b1}=46$	$f_{sb}=99$
横方向				$\tau_{b2}=25$		
一次排ガスフィルタ A	胴板	SS400	一次一般膜		$\sigma_0=9$	$S_a=181$
			一次		$\sigma_1=66$	
	脚	SS400	組合せ		$\sigma_s=9$	$f_t=173$
	基礎ボルト	SS400	引張	長手方向	$\sigma_{b1}=27$	$f_{ts}=111$
				横方向	$\sigma_{b2}=17$	
			せん断	長手方向	$\tau_{b1}=45$	$f_{sb}=99$
横方向				$\tau_{b2}=27$		
一次排ガスフィルタ B	胴板	SS400	一次一般膜		$\sigma_0=9$	$S_a=181$
			一次		$\sigma_1=76$	
	脚	SS400	組合せ		$\sigma_s=11$	$f_t=173$
	取付ボルト	SS400	引張	長手方向	$\sigma_{b1}=39$	$f_{ts}=94$
				横方向	$\sigma_{b2}=25$	
			せん断	長手方向	$\tau_{b1}=55$	$f_{sb}=99$
横方向				$\tau_{b2}=33$		

2.7 焼却炉室機器共通架台

2.7.1 計算条件

- (1) 焼却炉室機器共通架台は，基礎ボルトで基礎に固定する。
- (2) 固有振動解析した結果，1次固有振動数が20Hz未満の場合，共振のおそれのあるものとして，弾性設計用地震動 S_d の1/2倍を用いた地震力を考慮する。

2.7.2 記号の説明

記号	記号の説明	単位
C_{Hx}	水平 x 方向設計震度	—
C_{Hy}	水平 y 方向設計震度	—
C_v	鉛直方向設計震度	—
σ_b	ボルト1本あたりに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルト1本あたりに生じるせん断応力	MPa
F_b	ボルト1本あたりに生じる引張力	N
Q_b	ボルト1本あたりに生じるせん断力	N
A	ボルトの断面積	mm ²
σ_c	平均圧縮応力	MPa
${}_c\sigma_b$	圧縮側曲げ応力	MPa
${}_t\sigma_b$	引張側曲げ応力	MPa
f_c	圧縮力のみを受ける架台の許容圧縮応力	MPa
f_b	曲げ力のみを受ける架台の許容曲げ応力	MPa
f_t	引張力のみを受ける架台の許容引張応力	MPa

2.7.3 計算方法

固有周期及び地震力による応力計算には、汎用構造解析プログラム ABAQUS を用いる。
 主な構造部材の応力評価箇所を図-42に示す。

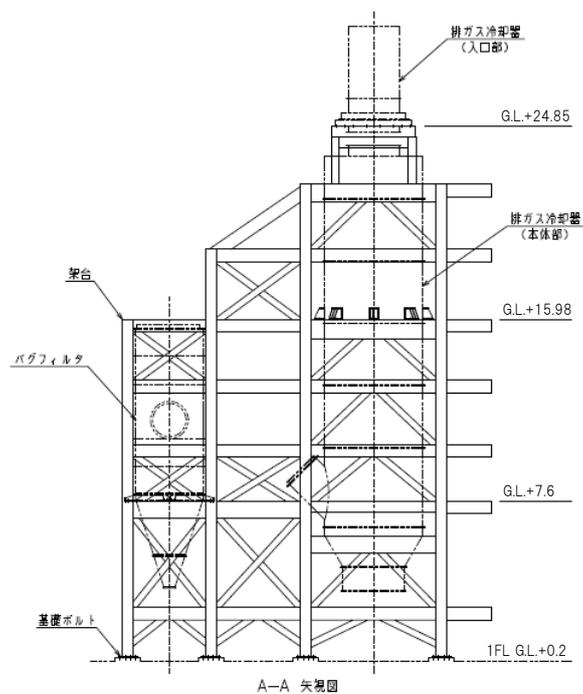
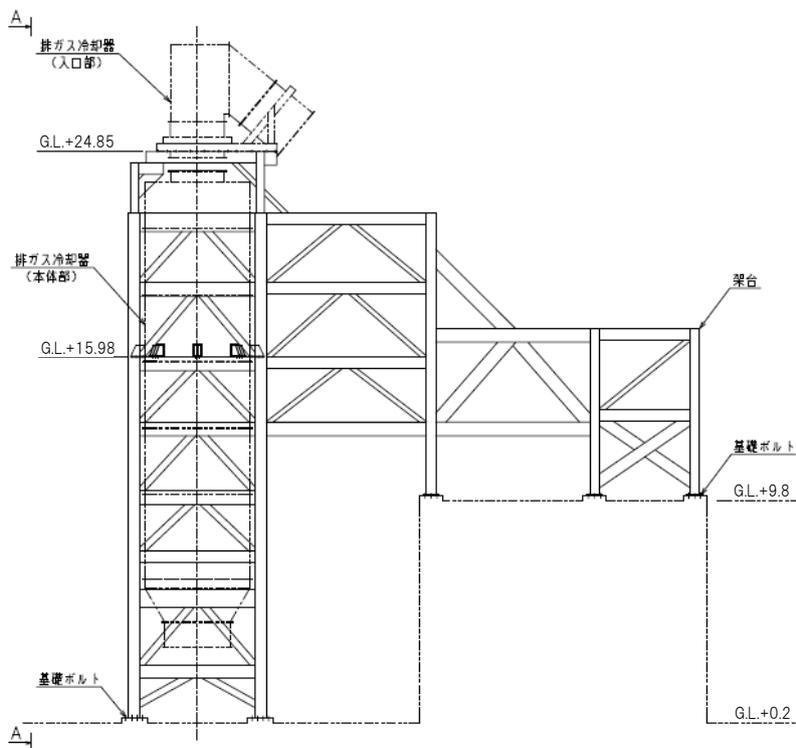


図-42 焼却炉室機器共通架台の応力評価箇所

2.7.4 設計条件

据付場所 (m)	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	最高使用圧力 (kPa)
焼却炉室 (G. L. +0.2, G. L. +9.8)	$C_{Hx}=1.26$ $C_{Hy}=1.23$	$C_v=0.41$	—

2.7.5 評価結果

解析で求めた各部材に生じる応力が許容応力以下であることを確認した。(表-8)

表-8 焼却炉室機器共通架台の応力評価結果

部材	材料	応力の種類	算出結果 (MPa)	許容応力 (MPa)
架台	SS400	組合せ	169	173
		圧縮と曲げの 組合せ	$\frac{ \sigma_c }{1.5f_c} + \frac{ c\sigma_b }{1.5f_b} \leq 1, \frac{ t\sigma_b - \sigma_c }{1.5f_t} \leq 1$	
			0.97 (無次元)	
基礎ボルト	SNB7	引張	420	562
		せん断	86	324

なお、ボルトに生じる応力については、解析により求められた引張力 F_b 、せん断力 Q_b より、以下の算出式によって求められる。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A}, \quad \tau_b = \frac{Q_b}{A}$$

2.8 排ガス処理室機器共通架台

2.8.1 計算条件

- (1) 排ガス処理室機器共通架台は，取付ボルトで建屋内の構造物に固定する。
- (2) 固有振動解析した結果，1次固有振動数が20Hz未満の場合，共振のおそれのあるものとして，弾性設計用地震動 S_d の1/2倍を用いた地震力を考慮する。

2.8.2 記号の説明

記号	記号の説明	単位
C_{Hx}	水平 x 方向設計震度	—
C_{Hy}	水平 y 方向設計震度	—
C_v	鉛直方向設計震度	—
σ_b	ボルト1本あたりに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルト1本あたりに生じるせん断応力	MPa
F_b	ボルト1本あたりに生じる引張力	N
Q_b	ボルト1本あたりに生じるせん断力	N
A	ボルトの断面積	mm ²
σ_c	平均圧縮応力	MPa
${}_c\sigma_b$	圧縮側曲げ応力	MPa
${}_t\sigma_b$	引張側曲げ応力	MPa
f_c	圧縮力のみを受ける架台の許容圧縮応力	MPa
f_b	曲げ力のみを受ける架台の許容曲げ応力	MPa
f_t	引張力のみを受ける架台の許容引張応力	MPa

2.8.3 計算方法

固有周期及び地震力による応力計算には、汎用構造解析プログラム ABAQUS を用いる。
 主な構造部材の応力評価箇所を図-43に示す。

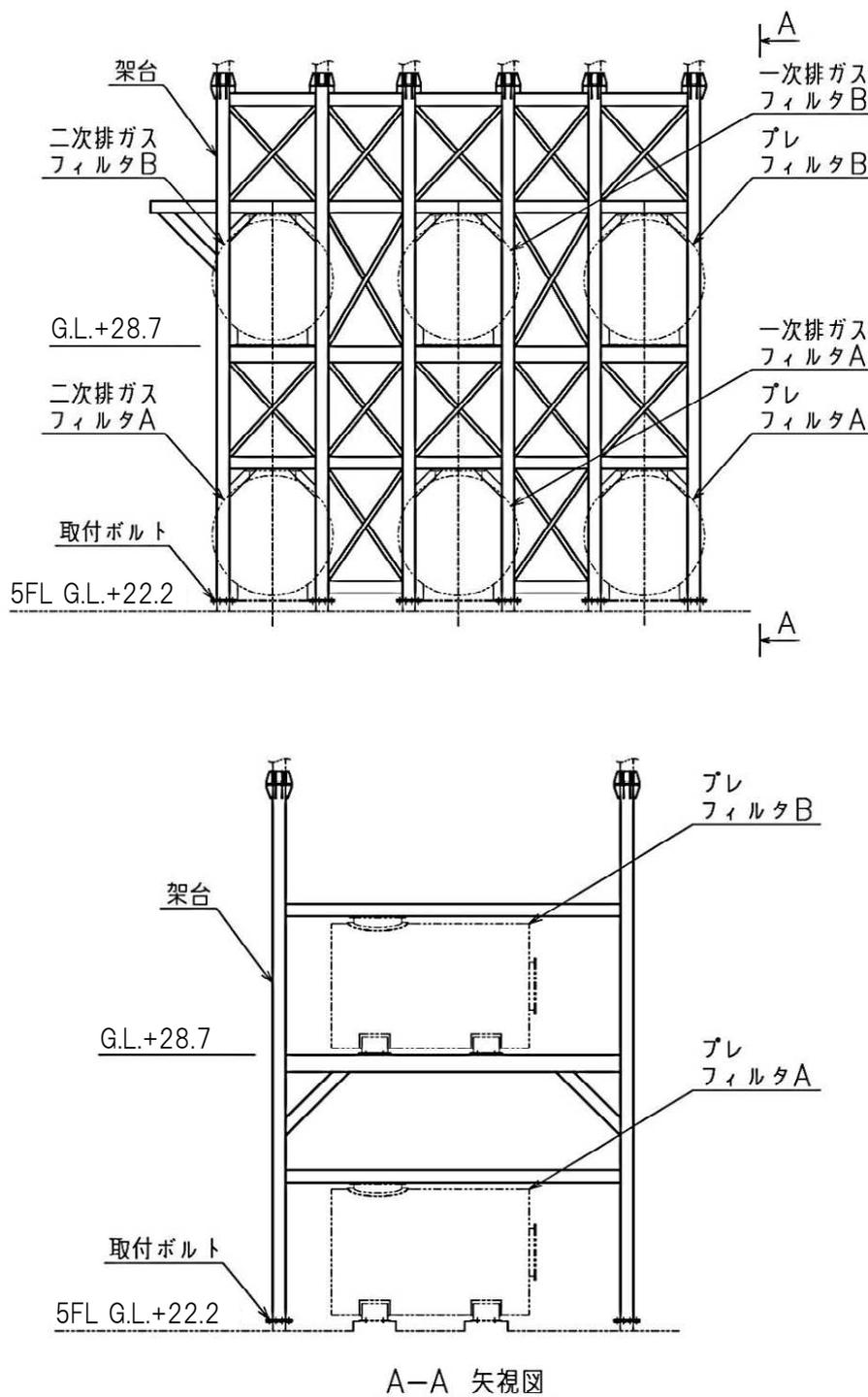


図-43 排ガス処理室機器共通架台の応力評価箇所

2.8.4 設計条件

据付場所 (m)	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	最高使用圧力 (kPa)
排ガス処理室 (G. L. +22. 2)	$C_{Hx}=1.74$ $C_{Hy}=0.88$	$C_v=0.54$	—

2.8.5 評価結果

解析で求めた各部材に生じる応力が許容応力以下であることを確認した。(表-9)

表-9 排ガス処理室機器共通架台の応力評価結果

部材	材料	応力の種類	算出結果 (MPa)	許容応力 (MPa)
架台	SS400	組合せ	170	173
		圧縮と曲げの 組合せ	$\frac{ \sigma_c }{1.5f_c} + \frac{ \sigma_b }{1.5f_b} \leq 1, \frac{ \sigma_b - \sigma_c }{1.5f_t} \leq 1$	
			0.98 (無次元)	
取付ボルト	SNB7	引張	233	562
		せん断	20	324

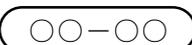
なお、ボルトに生じる応力については、解析により求められた引張力 F_b 、せん断力 Q_b より、以下の算出式によって求められる。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A}, \quad \tau_b = \frac{Q_b}{A}$$

2.9 煙道

煙道における解析範囲は、排ガス冷却器から二次排ガスフィルタまでの煙道である。解析範囲の概略系統図を図-44、45に示す。

概略系統図記号凡例

記号	内容
 (太線)	評価対象範囲
 (点線)	評価対象範囲外
	鳥瞰図記号
	アンカ

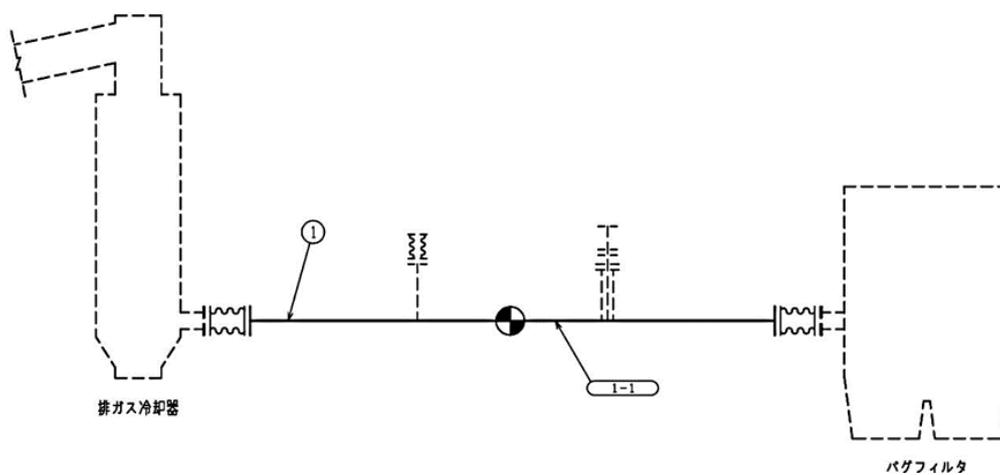


図-44 概略系統図 (排ガス冷却器からバグフィルタまでの煙道)

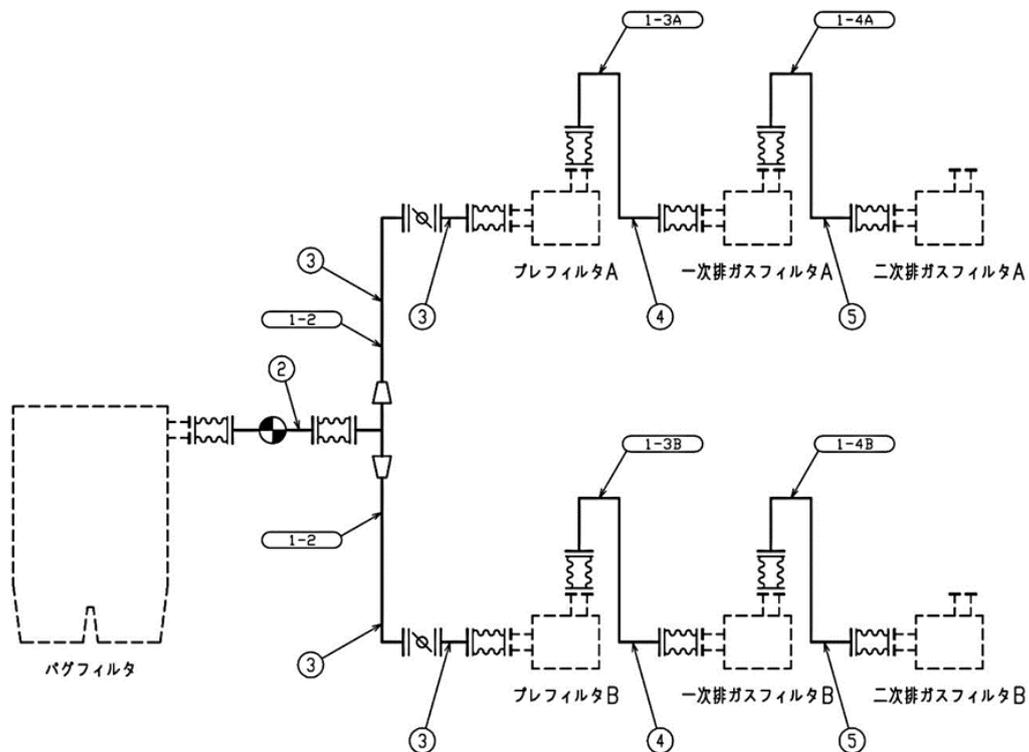


図-45 概略系統図 (バグフィルタから二次排ガスフィルタまでの煙道)

2.9.1 計算条件

- (1) 煙道は、アンカ及びレストレイントにより支持される。
- (2) 固有振動解析した結果、1次固有振動数が20Hz未満の場合、共振のおそれのあるものとして、弾性設計用地震動 S_d の1/2倍を用いた地震力を考慮する。

2.9.2 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$S_{pr m}$	一次応力	MPa
$S P_m$	内圧応力	MPa
$S M_a$	自重応力	MPa
$S M_b$	地震応力	MPa

2.9.3 計算方法

固有周期及び地震力による応力計算には、計算機コード AutoPIPE を用いる。解析範囲における設計条件を表-10に示す。

表-10 設計条件

解析範囲	排ガス冷却器から 二次排ガスフィルタまでの煙道			
	No.	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料
	①	1524.0	12.0	SS400
	②	1524.0	12.0	SS400
	③	1117.6	12.0	SS400
	④	1117.6	12.0	SS400
	⑤	1117.6	12.0	SS400

2.9.4 設計震度

鳥瞰図 方向	水 平		鉛 直
	X	Z	Y
1-1	0.75	0.75	0.50
1-2	0.76	0.98	0.60
1-3A	1.65	1.60	0.53
1-3B	1.65	1.60	0.53
1-4A	1.66	1.61	0.53
1-4B	1.66	1.61	0.53

2.9.5 評価結果

解析により応力成分を算出し、次式より求めた応力が許容応力以下であることを確認した。

(表-11)

$$S_{p r m} = S P_m + S M_a + S M_b$$

表-11 煙道の応力評価結果

鳥瞰図	最大応力 評価点	一次応力 (MPa)	
		算出応力	許容応力
1-1	10	24	181
1-2	5	33	181
1-3A	16	40	181
1-3B	16	40	181
1-4A	16	41	181
1-4B	16	41	181

増設雑固体廃棄物焼却設備の強度に関する説明書

1. 基本方針

1.1 強度評価の基本方針

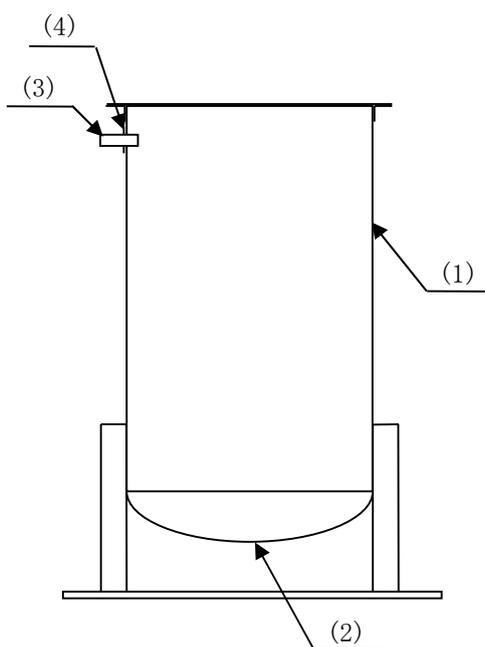
増設雑固体廃棄物焼却設備を構成する機器のうち、「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令」において、クラス3に位置付けられる機器は、「設計・建設規格」に準拠した評価を行う。

2. 強度評価

2.1 建屋ドレンサンプタンク

2.1.1 評価箇所

強度評価箇所を図-1に示す。



図中の番号は、2.1.2の番号に対応する。

図-1 建屋ドレンサンプタンク概要図

2.1.2 評価方法

(1) 胴の厚さの評価

胴に必要な厚さは、次に掲げる値のうち、いずれか大きい値とする。

a. 胴の規格上必要な最小厚さ： t_1

炭素鋼鋼板または低合金鋼鋼板で作られたもの場合は3mm, その他の材料で作られたもの場合は1.5mmとする。

b. 胴の計算上必要な厚さ： t_2

$$t_2 = \frac{D_i \cdot H \cdot \rho}{0.204 \cdot S \cdot \eta}$$

D_i	: 胴の内径 (m)
H	: 水頭 (m)
ρ	: 液体の比重 (—)
S	: 許容引張応力 (MPa)
η	: 継手効率 (—)

(2) 底板の厚さの評価

底板に必要な厚さは、次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

a. 鏡板の計算上必要な厚さ： t_1

$$t_1 = \frac{P \cdot R \cdot W}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P}$$

P	: 最高使用圧力 (MPa)
R	: 鏡板の中央部における内面の半径 (mm)
W	: さら形鏡板の形状による係数 (—)
r	: 鏡板のすみの丸みの内半径 (mm)

$$\text{ただし, } W = \frac{1}{4} \cdot \left(3 + \sqrt{\frac{R}{r}} \right)$$

b. 鏡板のフランジ部の計算上必要な厚さ： t_2

$$t_2 = \frac{P \cdot D_i}{2 \cdot S \cdot \eta - 1.2 \cdot P}$$

D_i	: 胴の内径 (mm)
S	: 許容引張応力 (MPa)
η	: 継手効率 (—)

(3) 管台の厚さの評価

管台に必要な厚さは、次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

- a. 管台の計算上必要な厚さ： t_1

$$t_1 = \frac{D_i \cdot H \cdot \rho}{0.204 \cdot S \cdot \eta}$$

D_i	: 管台の内径 (m)
H	: 水頭 (m)
ρ	: 液体の比重 (—)
S	: 許容引張応力 (MPa)
η	: 継手効率 (—)

- b. 管台の規格上必要な最小厚さ： t_2

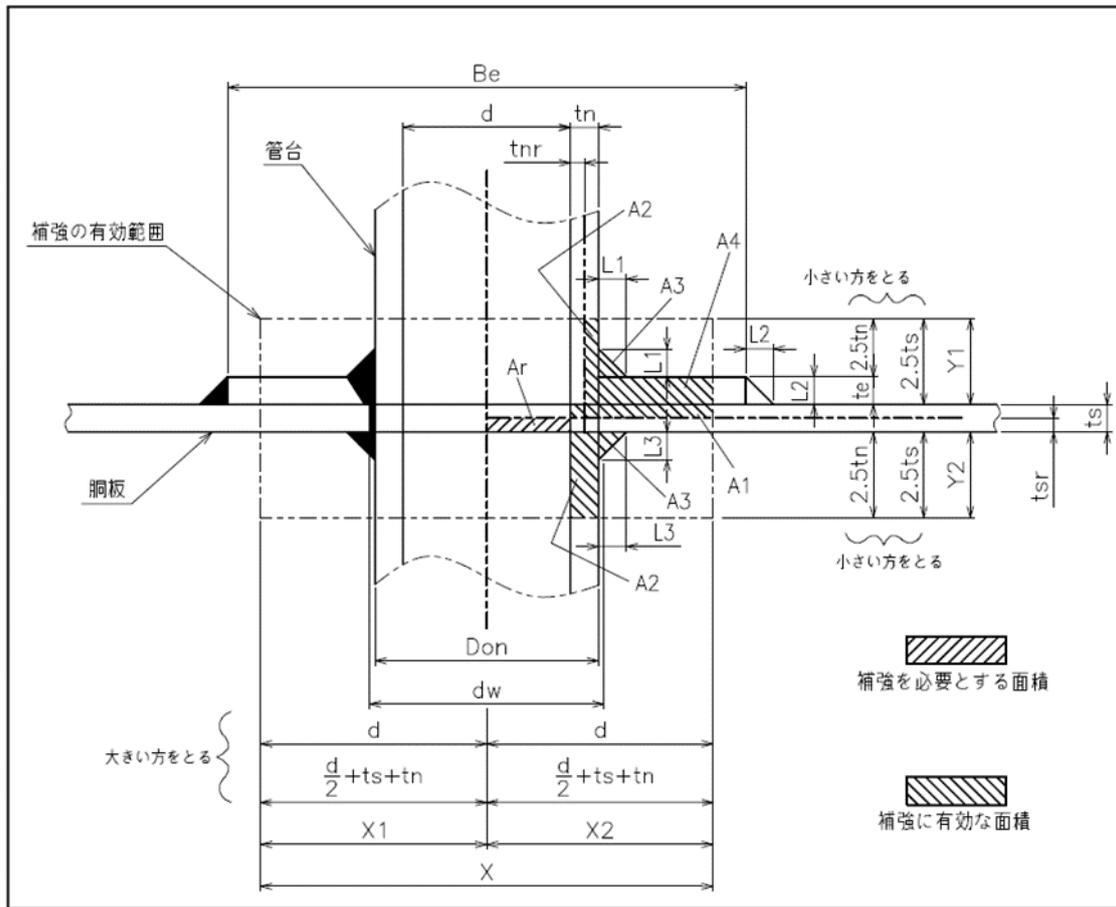
管台の外径に応じ、設計・建設規格 表 PVC-3980-1 より求めた管台の厚さとする。

(4) 開放タンクの穴の補強計算

開放タンクの胴板の穴が 85mm を超えるので、穴の補強計算を実施する。

- a. 補強に有効な範囲内にある補強に有効な総面積が、補強に必要な面積より大きくなるようにすること。(図-2 参照)
- b. 内径が 1500mm 以下の胴に設ける穴の径が胴の内径の 2 分の 1 (500mm を超える場合は、500mm) 以下及び内径が 1500mm を超える胴に設ける穴の径が胴の内径の 3 分の 1 (1000mm を超える場合は、1000mm) 以下の場合は、大きい穴の補強計算は必要ない。
- c. 溶接部の強度として、予想される破断箇所の強さが、溶接部の負うべき荷重以上であること。

補強の有効範囲



- | | |
|------------------------------|--|
| d : 胴の断面に現れる穴の径 (mm) | t_{nr} : 管台の計算上必要な厚さ (mm) |
| d_w : 管台が取り付く穴の径 (mm) | t_e : 強め板の最小厚さ (mm) |
| D_{on} : 管台の外径 (mm) | X, X_1, X_2, Y_1, Y_2 : 補強の有効範囲 (mm) |
| t_s : 胴の最小厚さ (mm) | L_1, L_2, L_3 : 溶接の脚長 (mm) |
| t_{sr} : 胴の計算上必要な最小厚さ (mm) | A_r : 穴の補強に必要な面積 (mm ²) |
| t_n : 管台の最小厚さ (mm) | A_1, A_2, A_3, A_4 : 補強に有効な面積 (mm ²) |
| B_e : 強め板の外径 (mm) | |

図-2 補強計算概念図

2.1.3 評価結果

評価結果を表-1, 2に示す。必要厚さ等を満足しており、十分な構造強度を有することを確認した。

表-1 建屋ドレンサンプタンクの評価結果 (板厚)

機器名称	評価部位	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
建屋ドレンサンプタンク	胴の厚さ	1.50	4.10
	底板の厚さ	0.23	4.60
	管台の厚さ	3.50	4.81

表-2 建屋ドレンサンプタンクの評価結果 (穴の補強)

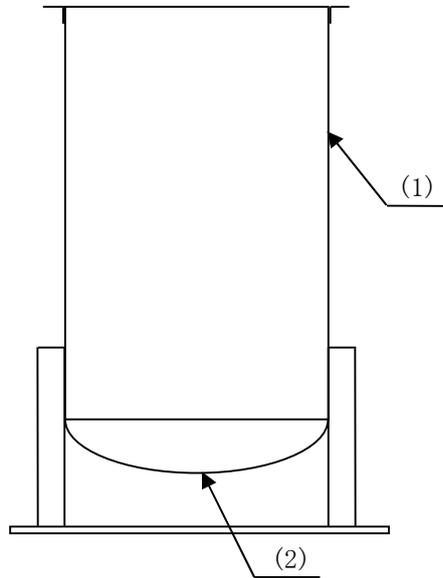
機器名称	評価部位	評価結果	
建屋ドレンサンプタンク	胴板の穴	穴の補強に必要な面積 (mm ²)	補強に有効な総面積 (mm ²)
		9.6	906.6
		補強を要する穴の限界径 (mm)	胴の断面に現れる穴の径 (mm)
		666.66	79.48
		溶接部の負うべき荷重 (N)	予想される破断箇所の強さ (N)
-41802.5	—※		

※ 溶接部の負うべき荷重が負であり溶接部の強度計算は不要

2.2 サンプルタンク

2.2.1 評価箇所

強度評価箇所を図-3に示す。



図中の番号は、2.2.2の番号に対応する。

図-3 サンプルタンク概要図

2.2.2 評価方法

(1) 胴の厚さの評価

胴に必要な厚さは、次に掲げる値のうち、いずれか大きい値とする。

a. 胴の規格上必要な最小厚さ： t_1

炭素鋼鋼板または低合金鋼鋼板で作られたもの場合は3mm，その他の材料で作られたもの場合は1.5mmとする。

b. 胴の計算上必要な厚さ： t_2

$$t_2 = \frac{D_i \cdot H \cdot \rho}{0.204 \cdot S \cdot \eta}$$

D_i	: 胴の内径 (m)
H	: 水頭 (m)
ρ	: 液体の比重 (—)
S	: 許容引張応力 (MPa)
η	: 継手効率 (—)

(2) 底板の厚さの評価

底板に必要な厚さは、次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

a. 鏡板の計算上必要な厚さ： t_1

$$t_1 = \frac{P \cdot R \cdot W}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P}$$

P : 最高使用圧力 (MPa)
 R : 鏡板の中央部における内面の半径 (mm)
 W : さら形鏡板の形状による係数 (-)
 r : 鏡板のすみの丸みの内半径 (mm)

ただし、 $W = \frac{1}{4} \cdot \left(3 + \sqrt{\frac{R}{r}} \right)$

b. 鏡板のフランジ部の計算上必要な厚さ： t_2

$$t_2 = \frac{P \cdot D_i}{2 \cdot S \cdot \eta - 1.2 \cdot P}$$

D_i : 胴の内径 (mm)
 S : 許容引張応力 (MPa)
 η : 継手効率 (-)

2.2.3 評価結果

評価結果を表-3に示す。必要厚さを満足しており、十分な構造強度を有することを確認した。

表-3 サンプルタンクの評価結果

機器名称	評価部位	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
サンプルタンク	胴の厚さ	1.50	4.10
	底板の厚さ	0.23	4.60

2.3 主配管

2.3.1 評価箇所

強度評価箇所を図-4に示す。

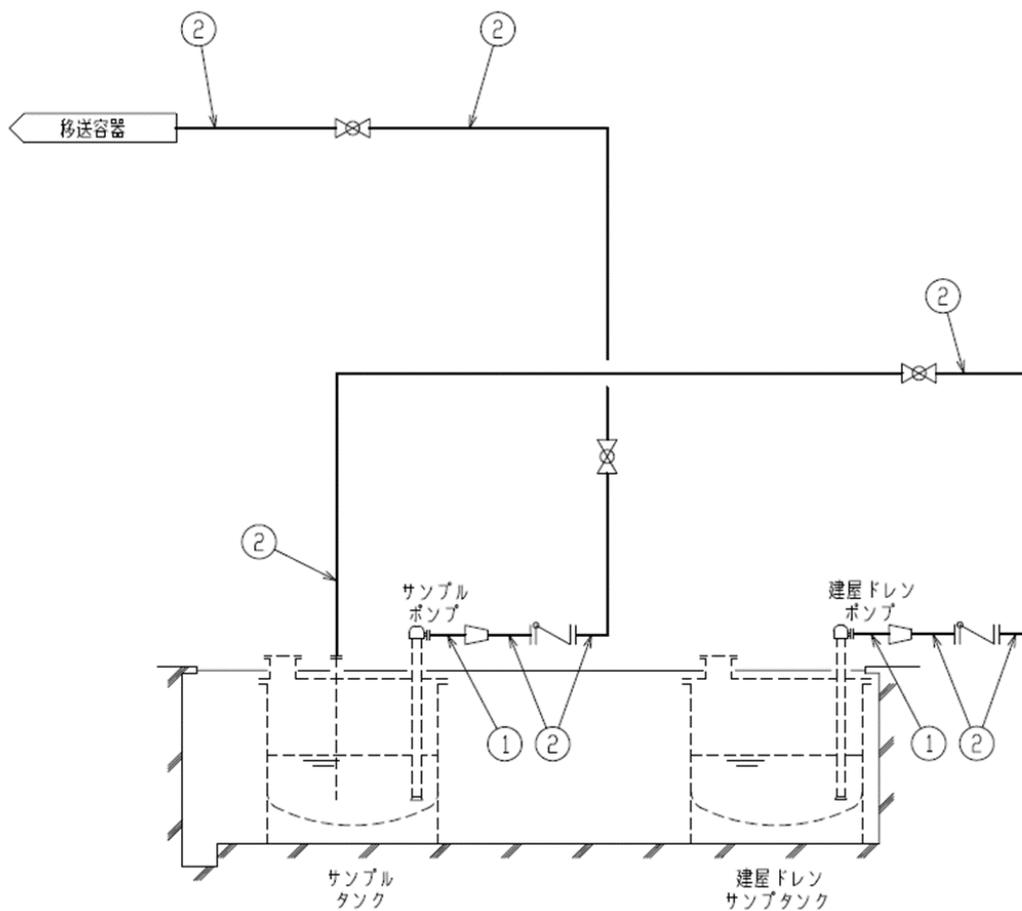


図-4 廃液処理設備 系統図

2.3.2 評価方法

(1) 管の厚さの評価

管の必要な厚さは、次に掲げる値以上とする。

a. 内面に圧力を受ける管の計算上必要な厚さ：t

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

P : 最高使用圧力 (MPa)
D_o : 管の外径 (mm)
S : 許容引張応力 (MPa)
η : 継手効率 (-)

2.3.3 評価結果

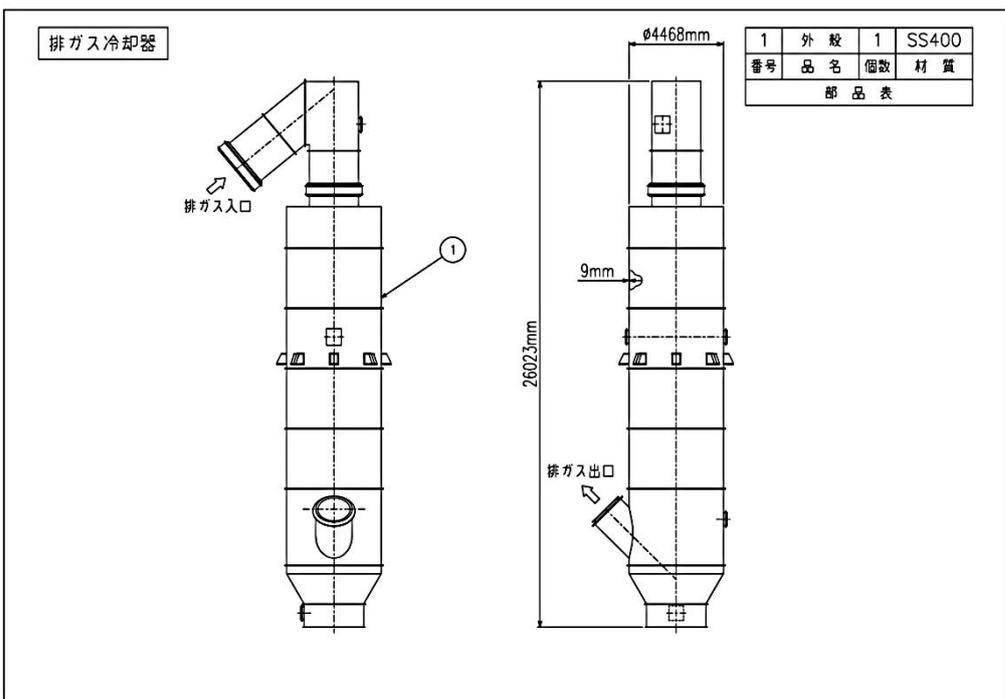
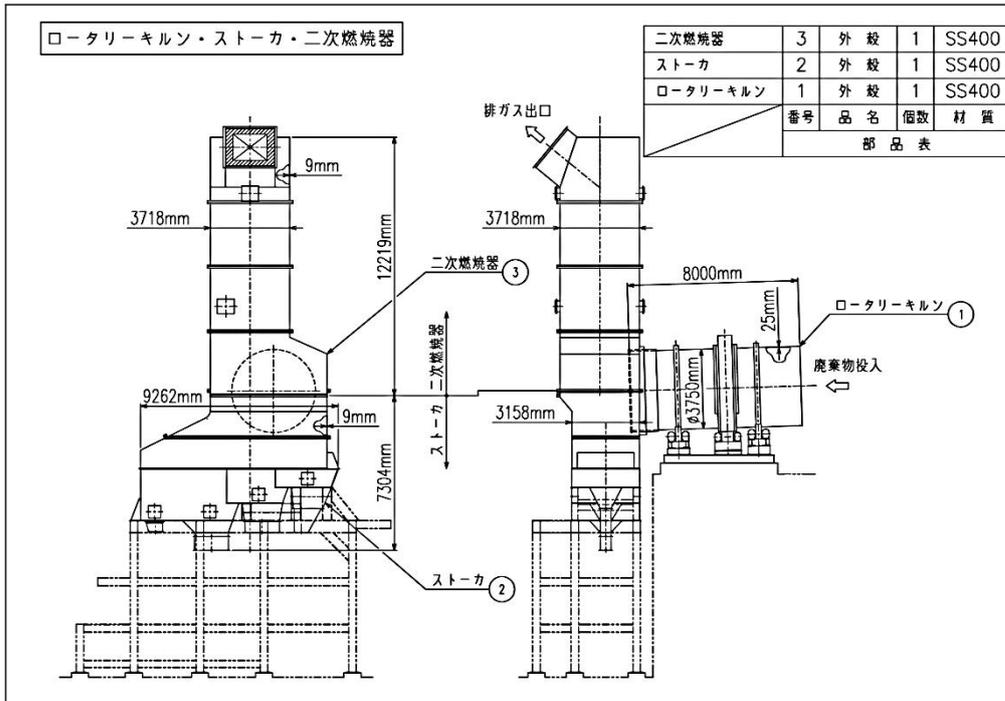
評価結果を表-4に示す。必要厚さを満足しており、十分な構造強度を有していることを確認した。

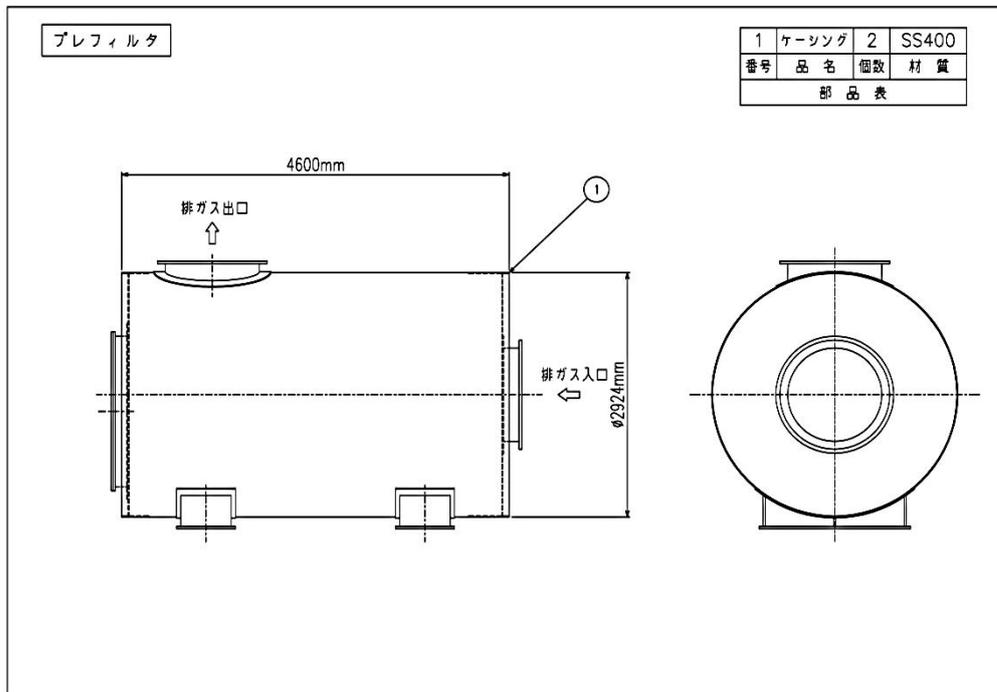
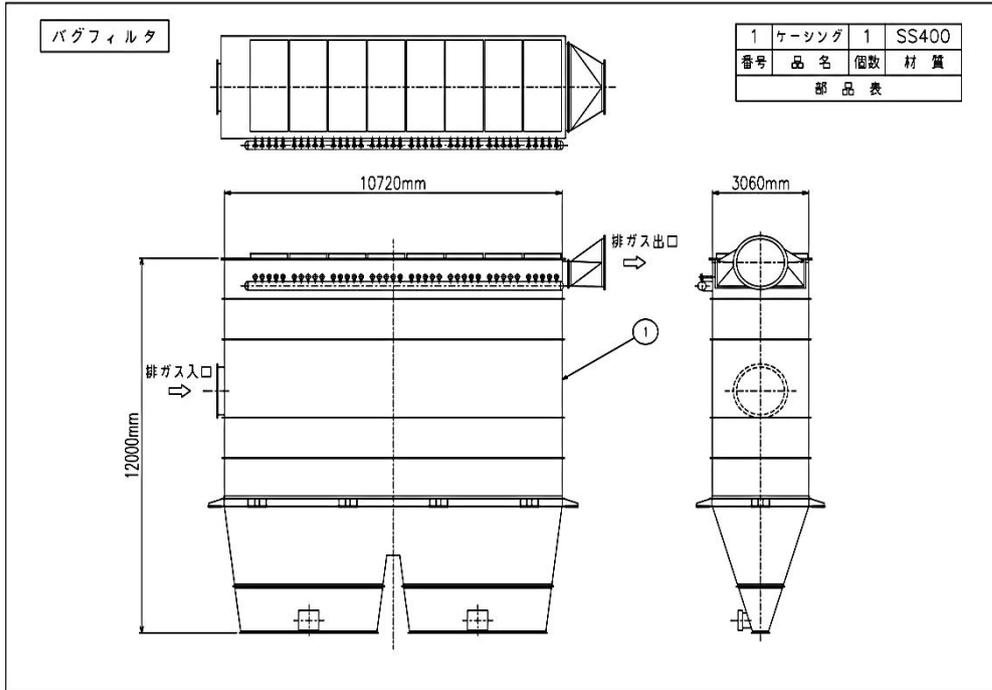
表-4 主配管の評価結果

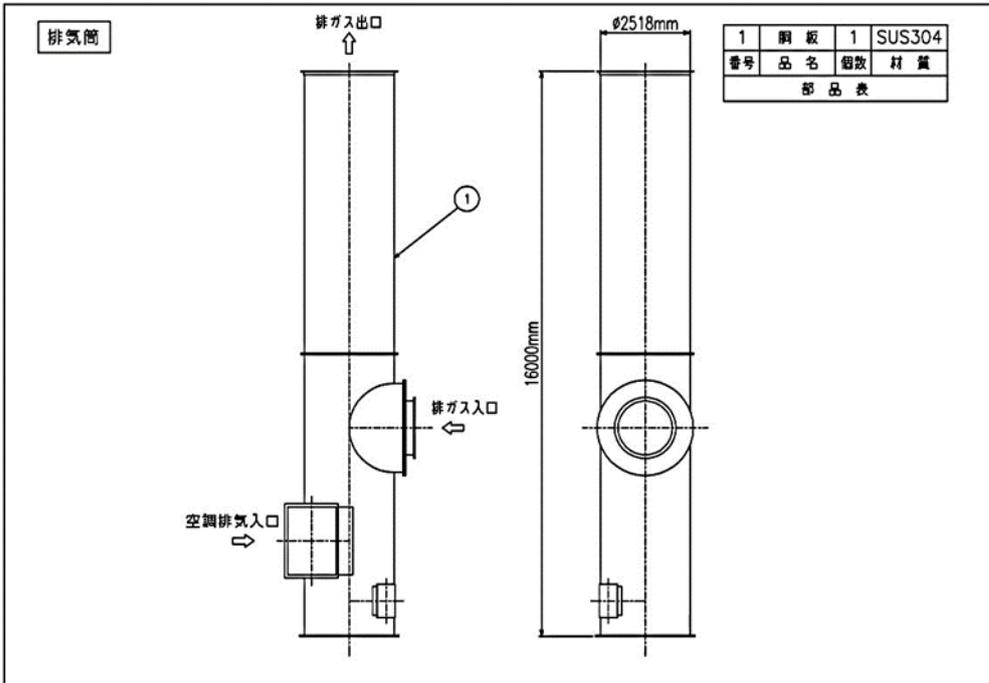
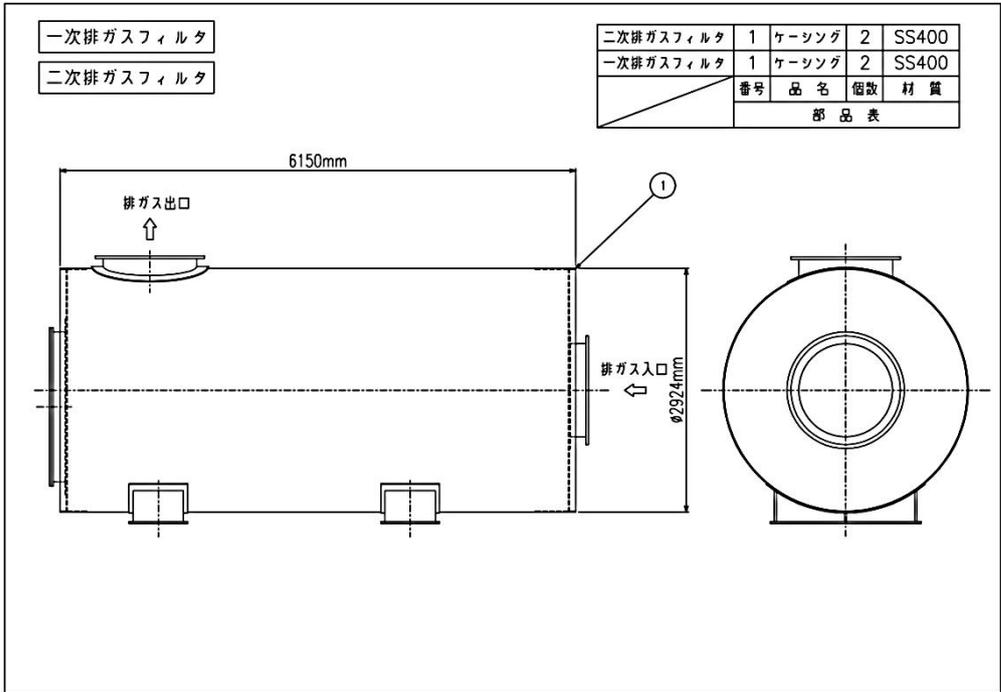
No.	外径 D _o (mm)	公称 厚さ (mm)	材 料	最高使用圧力 P (MPa)	最高使用 温 度 (°C)	必要厚さ (mm)	最小厚さ (mm)
①	48.6	3.7	SUS304TP	0.78	66	0.31	3.2
②	27.2	2.9	SUS304TP	0.78	66	0.18	2.4

増設雑固体廃棄物焼却設備に関する構造図

増設雑固体廃棄物焼却設備に関する構造図を以下に示す。

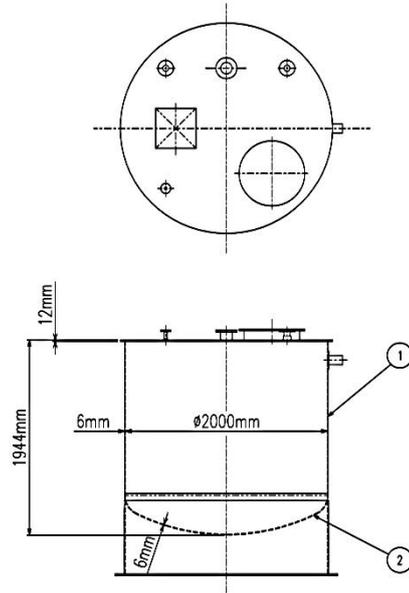






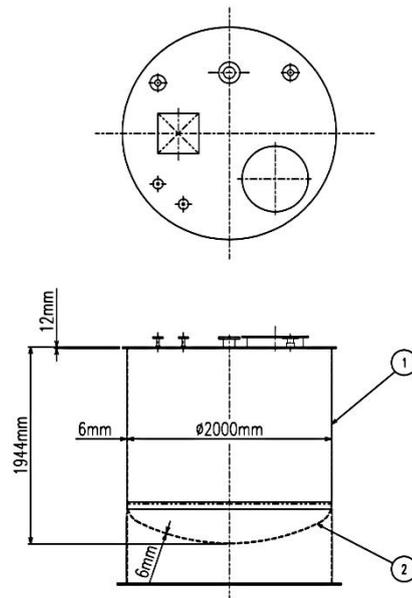
建屋ドレンサンプタンク

2	鏡板	1	SUS304
1	胴板	1	SUS304
番号	品名	個数	材質
部品表			

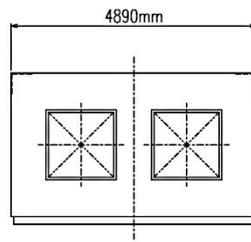
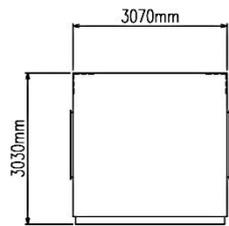
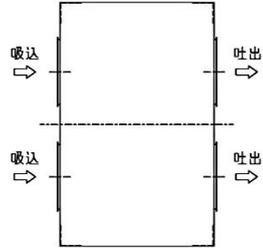


サンプルタンク

2	鏡板	1	SUS304
1	胴板	1	SUS304
番号	品名	個数	材質
部品表			



排気フィルタ



流体状の放射性廃棄物の施設外への漏えい防止能力についての計算書

1. 流体状の放射性廃棄物の施設外への漏えい防止能力の評価

放射性廃液を内包する容器からの漏えい事故が起きた場合、漏えい廃液は床ドレン受口より建屋ドレンサンプタンクに回収される。

廃液漏えい時には建屋ドレンサンプタンクの水位高の警報等により廃液の異常な漏えいが検知され、対処が可能である。

ここでは、放射性廃液を内包する容器に対し、廃液全量の漏えいを想定しても、施設内に留めることが可能であることを確認した。

容器設置区画に廃液が全量流出した場合の評価を表-1に示し、容器設置区画以外の箇所における当該容器のポンプ移送配管から廃液が全量流出した場合の評価を表-2に示す。

表-1 流体状の放射性廃棄物の施設外への漏えい防止能力の評価 (容器設置区画における漏えい)

容器名称	設置場所		容器容量 (m ³)	漏えい想定区 画内床面積*1 (m ²)	基礎・機器 断面積*2 (m ²)	漏えい廃液全量を 貯留するために 必要な堰の高さ (cm)	拡大防止 堰の高さ (cm)	評 価
	建屋名	据付床レベル (m)	①	②	③	④=①/ (②-③) ×100	⑤	
建屋ドレンタンク	増設焼却炉 建屋	G. L. -3.9	4.5	(ドレンタンク室) 40.1	10.0	15.0	30 以上	容器設置区画の拡大 防止堰の高さは、漏え い廃液全量を貯留す るために必要な堰の 高さを満足しており、 漏えいの拡大を防止 できる。
サンプルタンク		同上	G. L. -3.9			4.5	15.0	

注記*1 : 漏えい想定区画内の内のり面積

*2 : 当該容器設置区画内に設置される基礎及び機器断面積を減じて、床面積を補正する。

添付資料-20 では、G. L. ±0m= T. P. 32.2m^(※)とする。
 (※) 構内基準点(2014.3 測量)からの実測値に基づき設定している。

表-2 流体状の放射性廃棄物の施設外への漏えい防止能力の評価（容器設置区画以外の箇所における漏えい）

容器名称	設置場所		容器容量 (m ³)	漏えい想定区 画内床面積 ^{*1} (m ²)	基礎・機器 断面積 ^{*2} (m ²)	漏えい廃液全量を 貯留するために 必要な堰の高さ (cm)	拡大防止 堰の高さ (cm)	評 価
	建屋名	据付床レベル (m)	①	②	③	④=①/ (②-③) ×100	⑤	
建屋トレンサップタンク ^{*3}	増設焼却炉 建屋	G. L. -3.9	4.5	(トレンサップ室等) 100.0	10.0	5.0	5以上	漏えい想定区画の拡大防止堰の高さは、漏えい廃液全量を貯留するために必要な堰の高さを満足しており、漏えいの拡大を防止できる。
サンプルタンク ^{*3}	同上	G. L. -3.9	4.5			5.0	5以上	
スプレー水タンク ^{*3}	同上	G. L. +0.2	36	(焼却炉室等) 1577.6	41.9	2.4	5以上	同上
排水タンク ^{*3}	同上	G. L. +14.2	30	(排気室等) 1358.1	129.8	2.5	5以上	同上
冷却水タンク ^{*3}	同上	G. L. +14.2	20			1.7	5以上	同上

注記*1 : 漏えい想定区画内の内り面積

*2 : 漏えい想定区画内に設置される基礎及び機器断面積を減じて、床面積を補正する。

*3 : ここでは当該容器のポンプ移送配管からの漏えいを想定。

2. 床及び壁の塗装

2.1 塗装の耐水性

床、壁及びドレンタンク室は耐水性エポキシ樹脂を使用して塗装することにより耐水性を確保する。

2.2 塗装の範囲

本施設内に設置する放射性廃液を内包する容器は図-1に示すように設置される区画の堰内に設置し、容器からの漏えい廃液を堰内に留めることを可能にする。塗装範囲は、当該容器設置区画の床、堰及び床面から堰の高さ以上までの壁面とする。

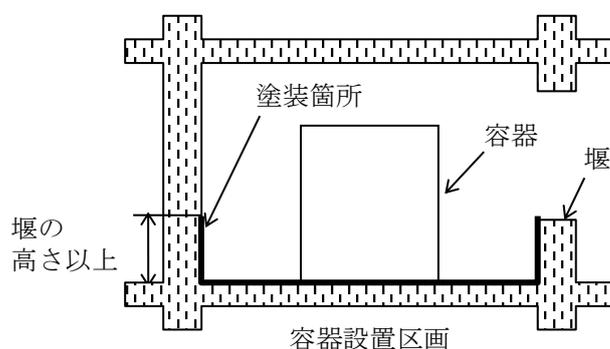


図-1 放射性廃液を内包する容器の配置の概念図

また、容器設置区画外における配管からの漏えいを考慮し、本施設の施設外への漏えいを防止するための堰の配置及び塗装を実施する。本施設の施設外への漏えいを防止するための堰の配置及び建屋内の塗装範囲を図-2～3に示す。

3. 配管、電気配線及び空調ダクトの貫通部

3.1 配管

放射性廃液を内包する容器が設置される区画の貫通部は原則として、壁については堰の高さ以上に設け、床については堰の高さ以上までスリーブを立ち上げる。やむを得ず堰の高さ未満となる場合には図-4に示すように防水処置を施す。

上記以外の管理区域内の貫通部についても原則として、壁については基準床面より10cm以上の高さに設け、床については基準床面より10cm以上の高さまでスリーブを立ち上げる。やむを得ずこれ未満となる場合には防水処置を施す。

3.2 電気配線

(1) ケーブルトレイ

放射性廃液を内包する容器が設置される区画の貫通部は原則として図-5に示すように、壁については堰の高さ以上に設け、床については貫通部を設けない。

上記以外の管理区域内の貫通部についても、壁については基準床面より 10cm 以上の高さに設け、床については貫通部の廻りに基準床面より 10cm 以上の高さのカーブを設ける。

(2) 電線管

放射性廃液を内包する容器が設置される区画の貫通部は原則として図-5 に示すように、壁については堰の高さ以上に設け、床については貫通部を設けない。

上記以外の管理区域内の貫通部についても、壁については基準床面より 10cm 以上の高さに設け、床については電線管の接続部が基準床面より 10cm 以上の高さにする。

3.3 空調ダクト

放射性廃液を内包する容器が設置される区画の貫通部は原則として、壁については堰の高さ以上に設け、床については貫通部の廻りに堰の高さ以上のカーブを設ける。やむを得ず堰の高さ未満となる場合には図-6 に示すように防水処置を施す。

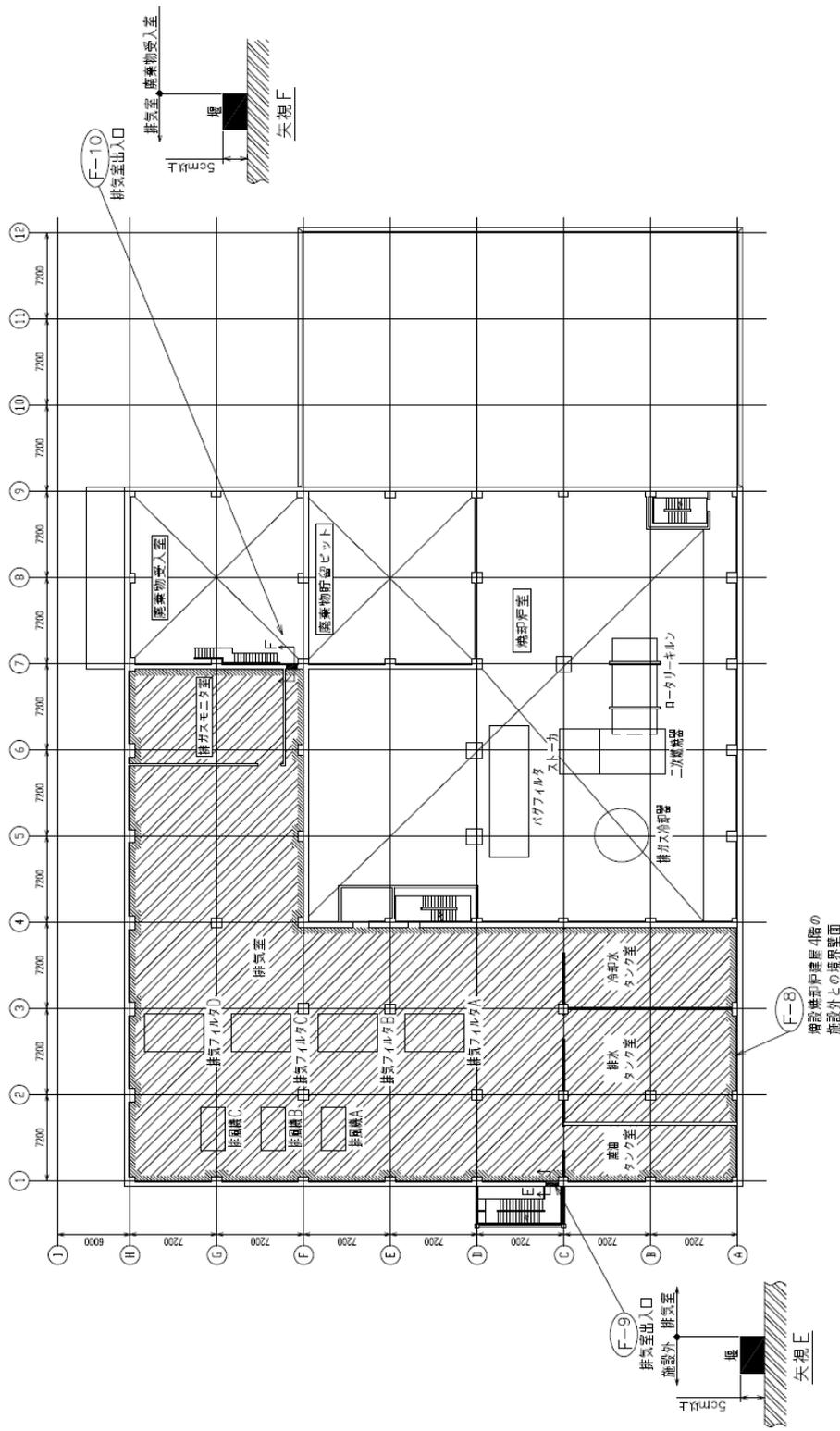
上記以外の管理区域内の貫通部についても原則として、壁については基準床面より 10cm 以上の高さに設け、床については基準床面より 10cm 以上の高さのカーブを設ける。やむを得ず基準床面より 10cm 未満の高さとなる場合には防水処置を施す。

4. 建屋ドレンサンプタンク、サンプルタンク及び配管

4.1 漏えい防止を考慮した材料

液体廃棄物を内包する建屋ドレンサンプタンク、サンプルタンク及び配管は、万一腐食性物質が混入する可能性を考慮して、耐食性のあるステンレス鋼とする。

P.N



凡例

- : 堰の位置を示す。
- ▨: 床面塗装を示す。
- ▩: 壁面塗装を示す。

注1: 寸法は, mmを示す。

図-3 堰その他設備の構造の概要を明示した図面 (4階)

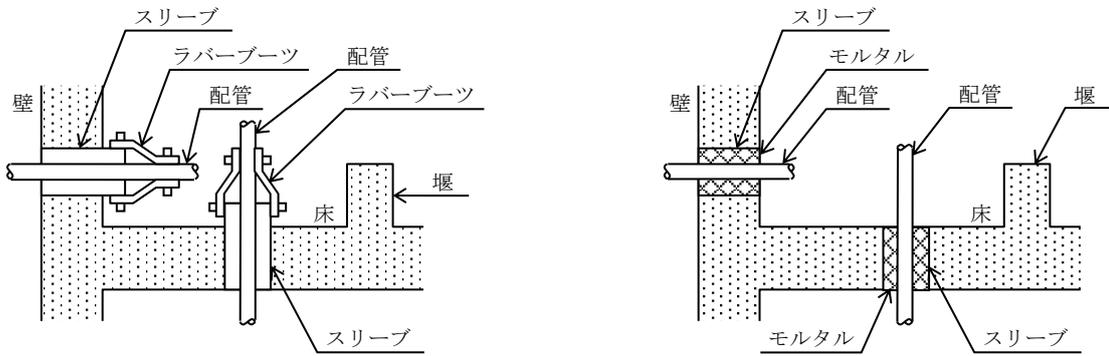


図-4 配管貫通部構造図例（堰の高さ未満の場合）

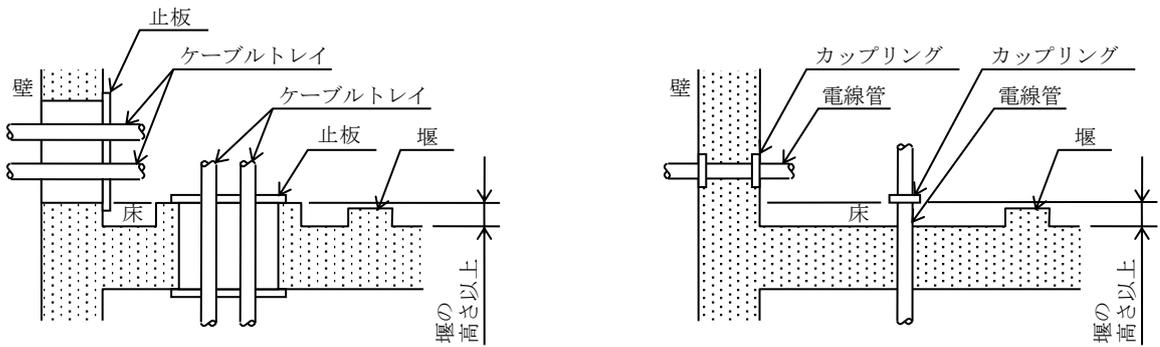


図-5 電気配線貫通部構造図例（ケーブルトレイ及び電線管）

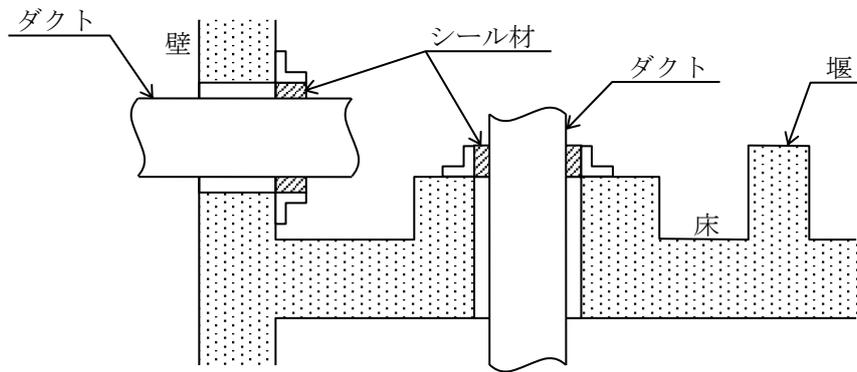


図-6 空調ダクト貫通部構造図例（堰の高さ未満の場合）

流体状の放射性廃棄物の漏えいの検出装置及び自動警報装置の構成に関する説明書

1. 流体状の放射性廃棄物の漏えい検出について

放射性廃液を内包する容器からの漏えい事故が起きた場合、漏えい廃液は漏えい防止堰内に留められ、床ドレン受口より建屋ドレンサンプタンクに回収される。

このため、以下に示す漏えい検出器によって放射性廃液が著しく漏えいする恐れを確実に検出する。

1.1 ドレンタンク室の漏えい検出器について

ドレンタンク室の漏えいを検出するために、ドレンタンク室内に電極式レベルスイッチを設置する。

電極式レベルスイッチは、導電性の液体が電極に接触すると電流が流れることにより、水位を検知するものである。ドレンタンク室の液位が上昇すると検出用電極間に電流が流れ、これをリレーで検出し、警報表示を行う。

漏えい検出器はドレンタンク室の集水ます底面より 20mm 以上で作動する。なお、作動液位以上の液位においては警報状態を継続する。

警報設定値をドレンタンク室の集水ます底面より 20mm に設定した場合には約 0.002m³ の漏えいで検出可能である。ドレンタンク室の漏えい検出器の概念を図-1 に示す。

1.2 建屋ドレンサンプタンク及びサンプルタンクの液位検出について

放射性廃液を内包する容器から漏えいが生じた場合、漏えい廃液は床ドレン受口より建屋ドレンサンプタンクへ導かれる。

また、建屋ドレンサンプタンクよりドレンを移送する場合はサンプルタンクに移送する。

建屋ドレンサンプタンク及びサンプルタンクには液位検出器を設置し、増設焼却炉建屋の制御室で監視可能である。

建屋ドレンサンプタンク及びサンプルタンクの液位が、設定液位を超えて異常上昇する場合は警報表示を行う。なお、作動液位以上の液位では動作状態を継続する。

建屋ドレンサンプタンク及びサンプルタンク液位検出器の概念を図-2 に示す。

2. 警報について

ドレンタンク室の漏えい検出及び建屋ドレンサンプタンク及びサンプルタンクの液位検出による警報表示は、増設焼却炉建屋の制御室に警報表示を行う。

なお、警報表示は点滅表示及び音によって行い、原因解除後の警報リセット操作にて復帰を行う。警報表示内容及び警報表示場所を表-1 に示す。

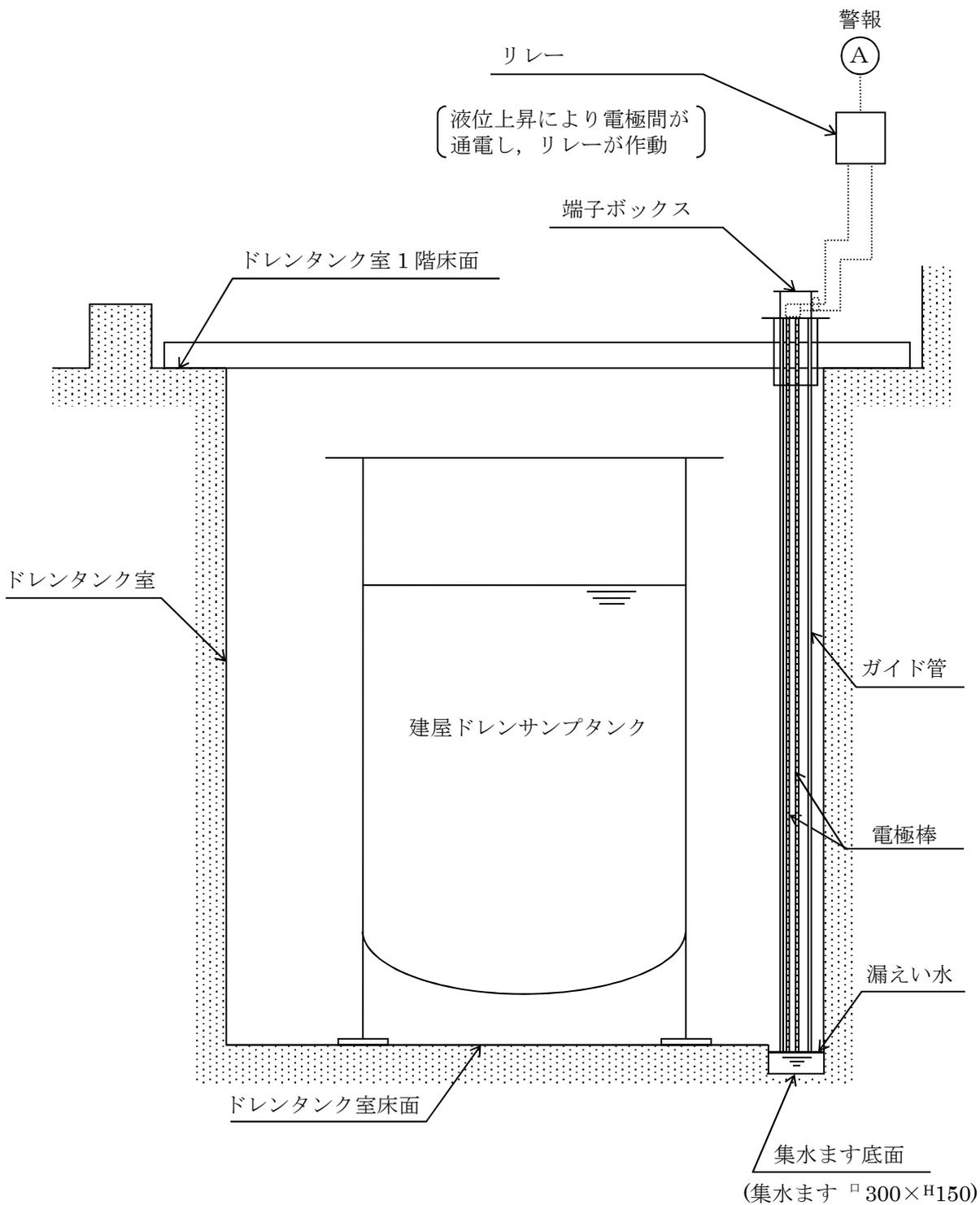


図-1 ドレンタンク室の漏えい検出器の概念図
(電極式レベルスイッチ)

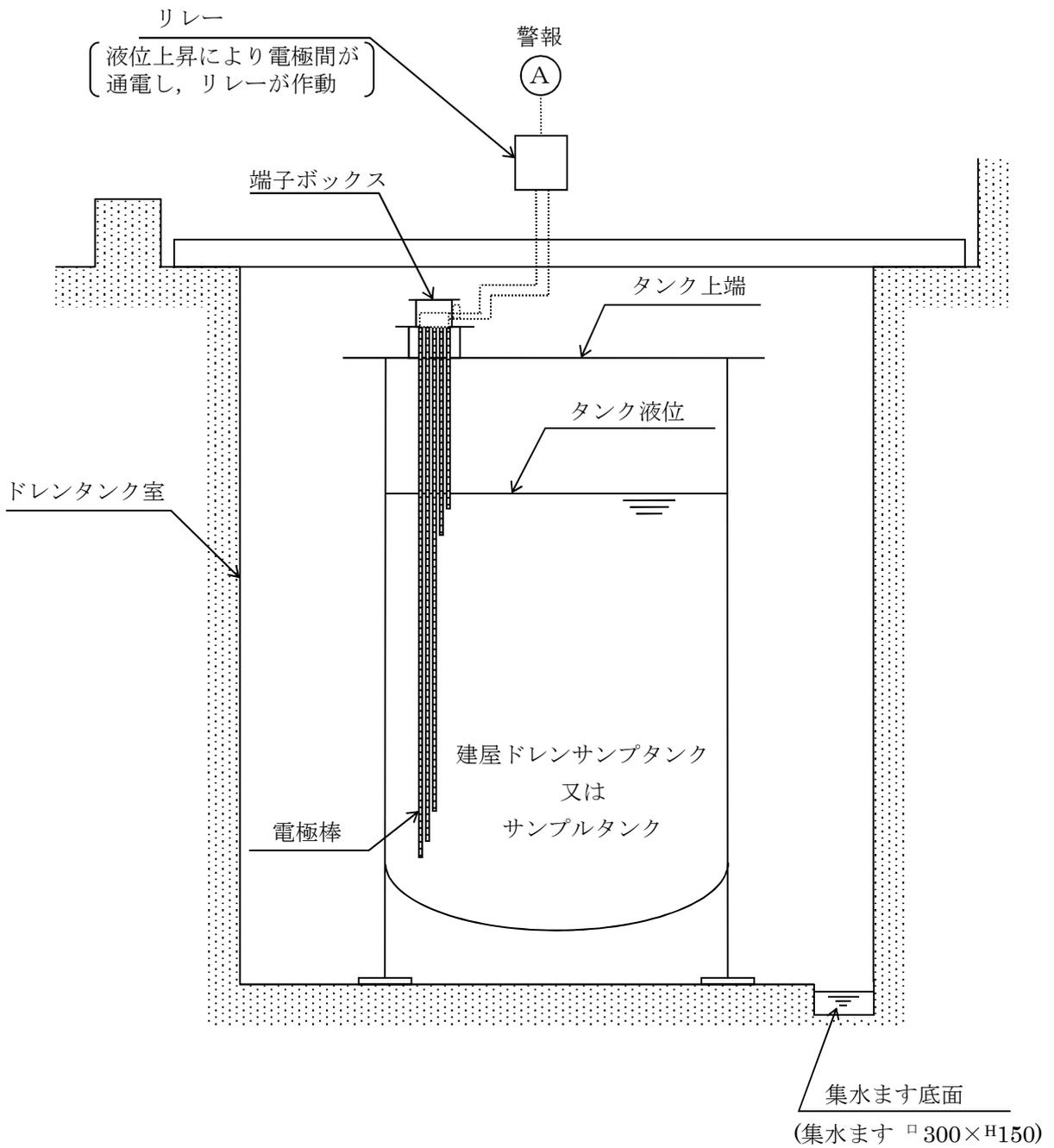


図-2 建屋ドレンサンプタンク、サンプルタンクの液位検出器の概念図
(電極式レベルスイッチ)

表－1 警報表示内容及び警報表示箇所

警報表示内容	警報表示場所
ドレンタンク室漏えい	制御室
建屋ドレンサンプルタンク液位高	
サンプルタンク液位高	

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

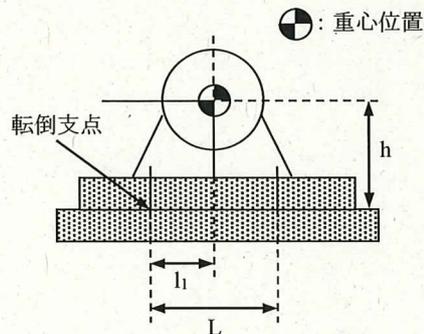
原子力発電所耐震設計技術規程(JEAC4601-2008)の横型ポンプの強度評価方法に準拠して評価を行った。

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

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 $: 1.5f_t = \min(f_{t_0}, f_{t_s})$

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。

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

$S_y : 165\text{MPa}$

$S_u : 330\text{MPa}$

従って、

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

基礎ボルトの許容引張応力 $: 1.5f_t = \min(f_{t_0}, f_{t_s}) = (123, 162)$
= 123 MPa

$f_{t_0} = F/2 \times 1.5 = 123.75\text{MPa} \rightarrow 123\text{MPa}$

$f_{t_s} = 1.4 \times f_{t_0} - 1.6 \times \tau_b = 1.4 \times 123 - 1.6 \times 6 = 162.6\text{MPa}$
 $\rightarrow 162\text{MPa}$

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

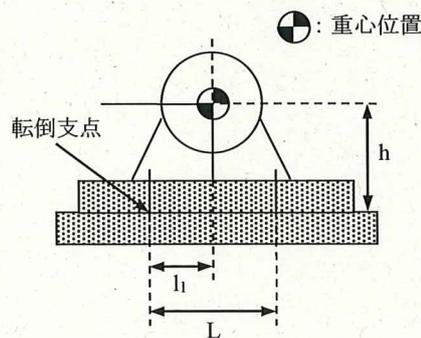
原子力発電所耐震設計技術規程(JEAC4601-2008)の横型ポンプの強度評価方法に準拠して評価を行った。また、ボルトの許容応力については、供用状態Csにおける許容応力を適用し、ボルトの評価温度は100℃とみなして、許容応力を求めた。

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

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

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

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、

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

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

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

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

→ 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

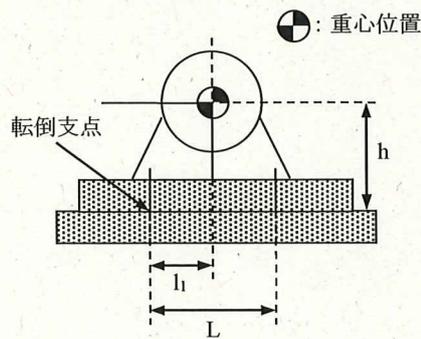
原子力発電所耐震設計技術規程(JEAC4601-2008)の横型ポンプの強度評価方法に準拠して評価を行った。また、ボルトの許容応力については、供用状態 Cs における許容応力を適用し、ボルトの評価温度は 100℃とみなして、許容応力を求めた。

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

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

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

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。

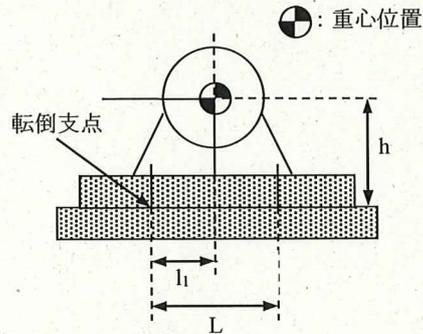
a. ボルトの強度評価

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℃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

$$\text{基礎ボルトの許容引張応力} : 1.5f_t = \min(f_{t_0}, f_{t_s})$$

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

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。

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

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

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

従って、

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

$$\begin{aligned} \text{基礎ボルトの許容引張応力} : 1.5f_t = \min(f_{t_0}, f_{t_s}) &= (145, 195) \\ &= 145\text{MPa} \end{aligned}$$

$$f_{t_0} = F/2 \times 1.5 = 145.5\text{MPa} \rightarrow 145\text{MPa}$$

$$\begin{aligned} f_{t_s} = 1.4 \times f_{t_0} - 1.6 \times \tau_b &= 1.4 \times 145 - 1.6 \times 5 = 195\text{MPa} \\ &\rightarrow 195\text{MPa} \end{aligned}$$

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

→ 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

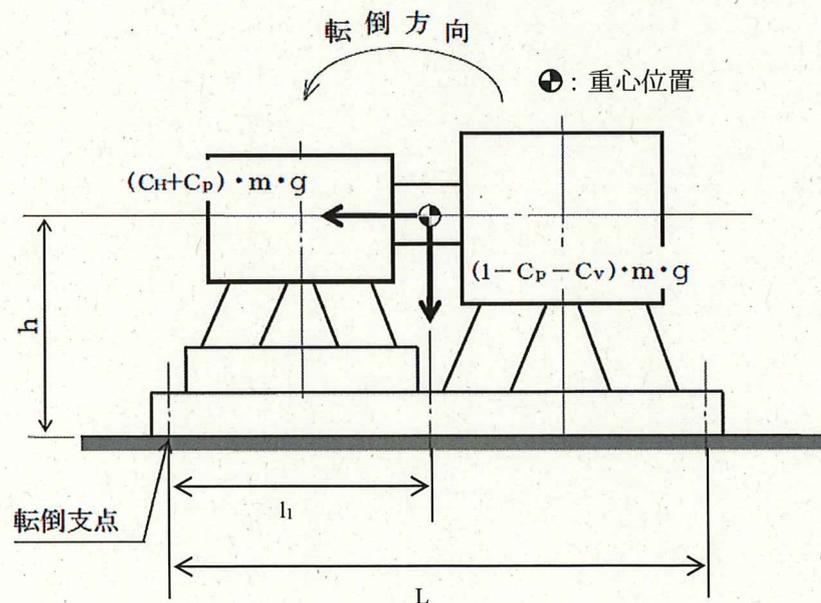
原子力発電所耐震設計技術規程(JEAC4601-2008)の横型ポンプの強度評価方法に準じて、ポンプ基礎ボルトの評価を行った。基礎ボルトの許容応力については、供用状態 C_s における許容応力を適用し、ボルトの評価温度は 50°C とみなして、許容応力を求めた。

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。

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

S_y : 表 8 より 50℃ : 241 MPa

S_u : 表 9 より 50℃ : 394 MPa

従って、

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

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。

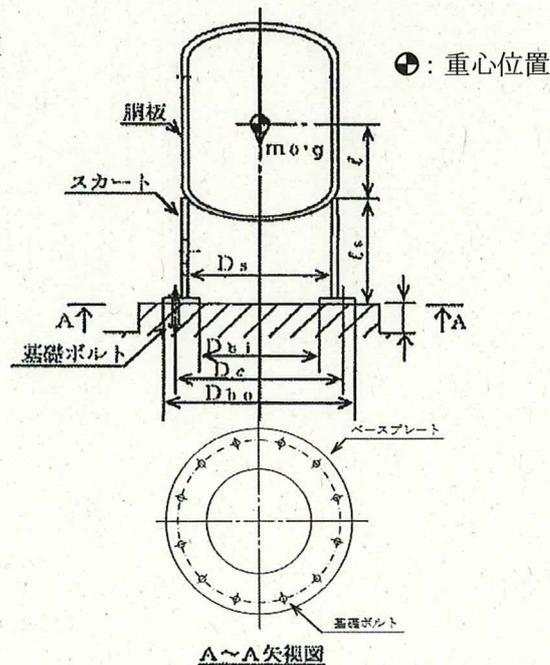
評価結果を以下に示す。算出応力は全て許容応力以下となっている。

(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

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

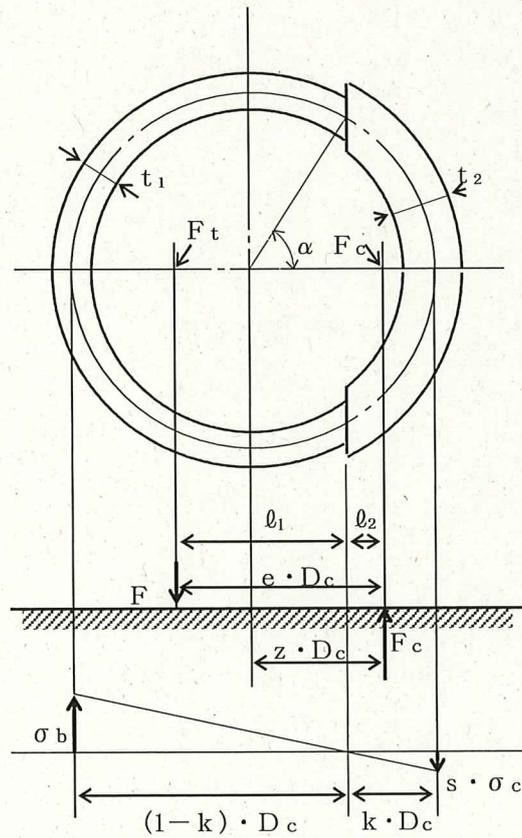
$$F_c = F_t + (1 - C_v) \cdot m_0 \cdot g$$

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。

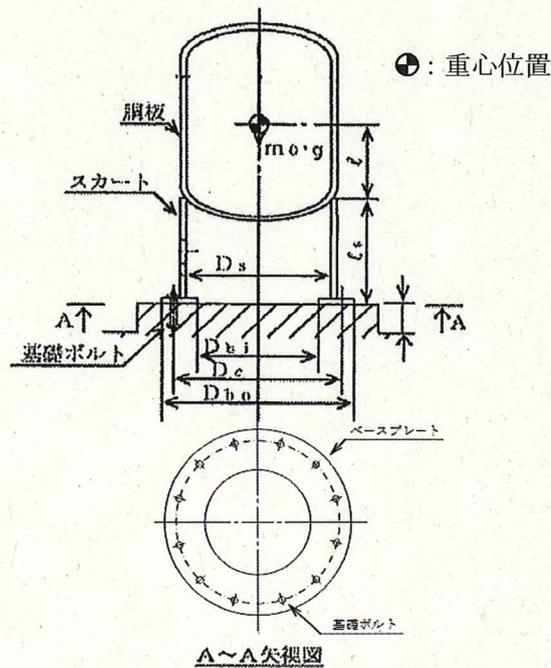
評価結果を以下に示す。算出値は全て許容値以下となっている。

(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。）

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

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

$$\sigma_{x1} = 0$$

内圧による場合

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

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

$$\sigma_{x1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{4 \cdot t}$$

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

$$\sigma_{x2} = \frac{(m_o - m_e) \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t}$$

$$\sigma_{x5} = \frac{(m_o - m_e) \cdot g \cdot C_v}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t}$$

上部の胴について

$$\sigma_{x3} = \frac{m_e \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t}$$

$$\sigma_{x6} = \frac{m_e \cdot g \cdot C_v}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t}$$

水平方向地震による胴の応力

下端固定の場合

$$\sigma_{x4} = \frac{4 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \ell}{\pi \cdot (D_i + t)^2 \cdot t}$$

$$\tau = \frac{2 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t}$$

下端固定上端支持の場合

$$\sigma_{x4} = \frac{4 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \ell \cdot \left| 1 - \frac{Q'}{Q} \cdot (\ell + \ell_r) \right|}{\pi \cdot (D_i + t)^2 \cdot t}$$

$$\tau = \frac{2 \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \left(1 - \frac{Q'}{Q}\right)}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t}$$

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

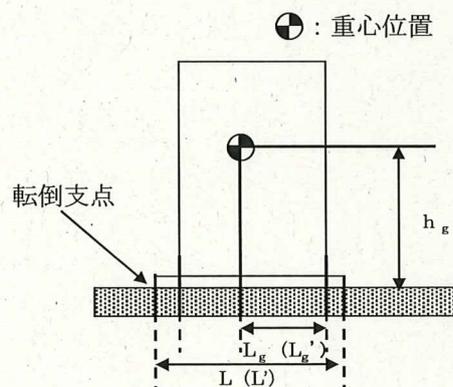
(1) 耐震性

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。

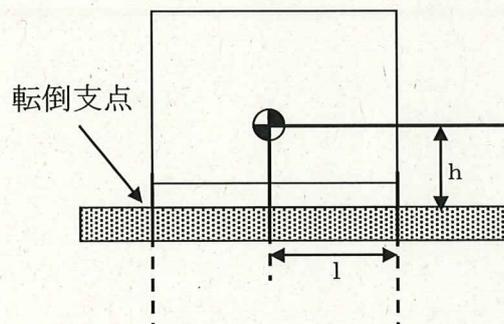
3.2 2号機熱交換器ユニット

(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。

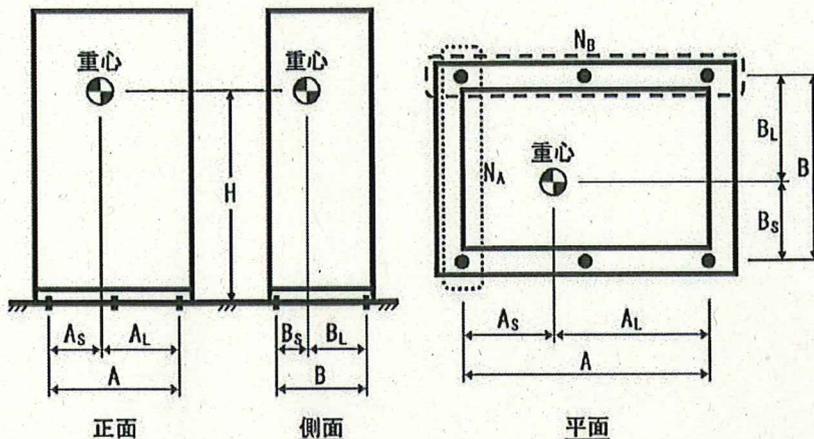
評価結果

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 >



・ 機器名称	アンカボルト健全性評価	
・ 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	<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 (ブラット)	IF-2	(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= 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)

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

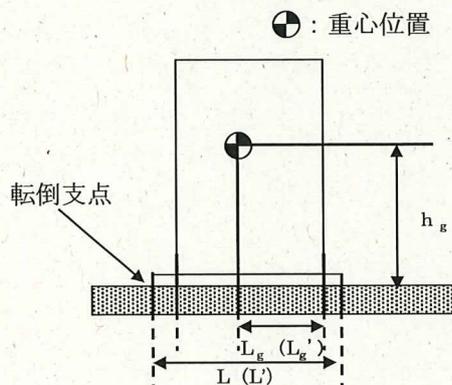
(1) 耐震性

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。

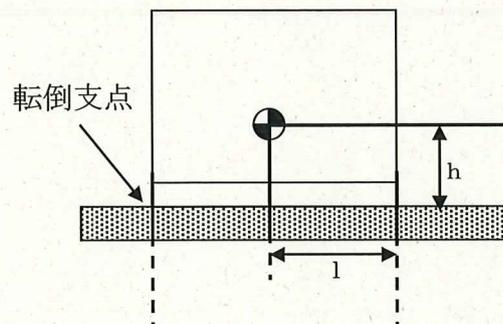
3.4 3号機熱交換器ユニット

(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。

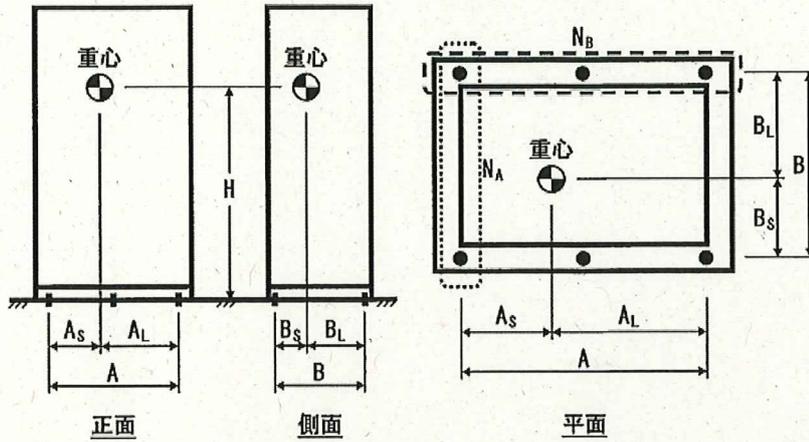
評価結果

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 >



1F-3 SFP代替冷却ユニット検討 転倒限界加速度	
・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			
						引張 (N)	圧縮 (N)
1	0	40180591	23782	0	115989	29100	-

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

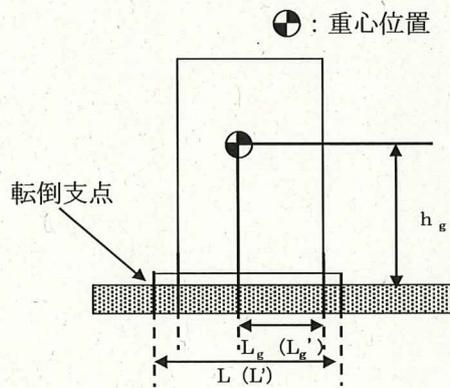
(1) 耐震性

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

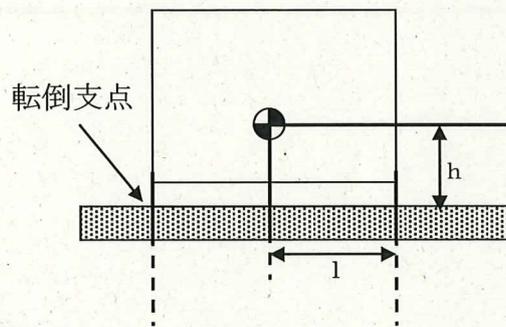
(1) 耐震性

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。

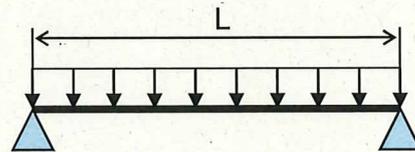
$$\cdot S_w = \frac{wL^2}{8Z}$$

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

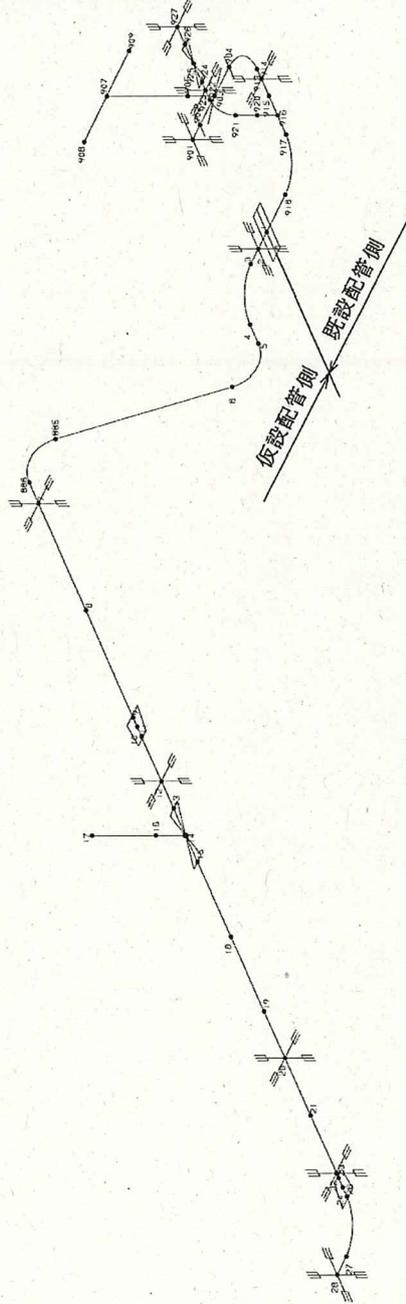
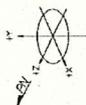
下表に示すごとく最大応力はすべて許容応力以下である。

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 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) 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

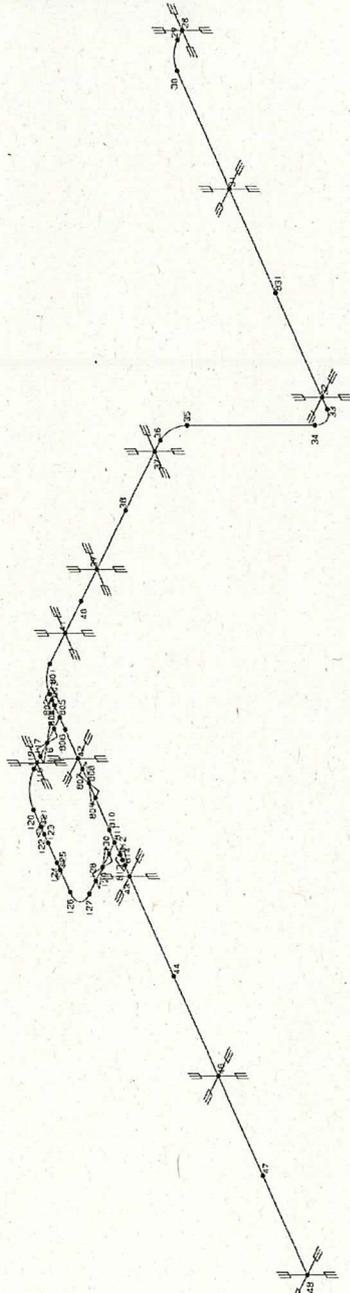
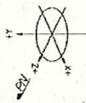


添付図
IF-2 KFC-901
部分図 1/3

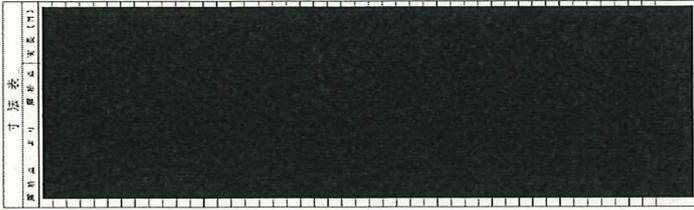


干法系

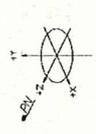
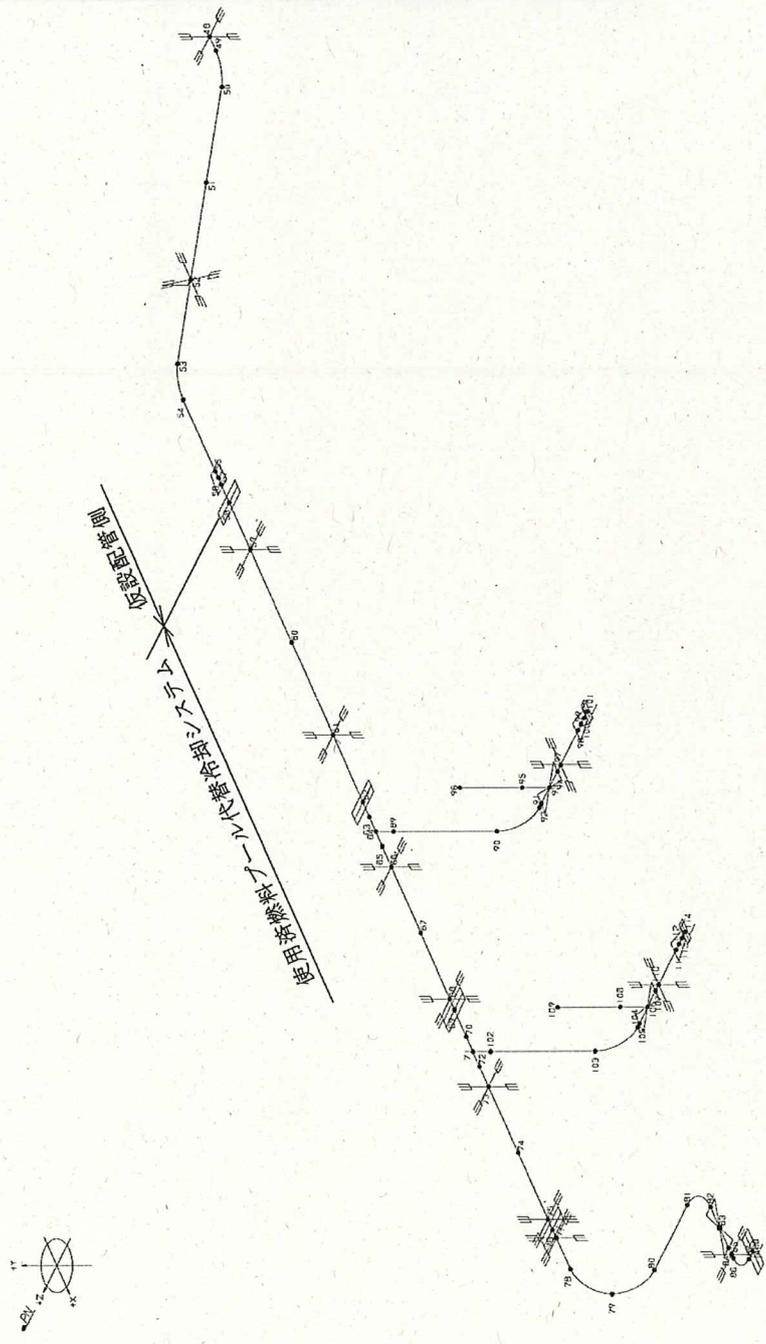
建設省 土木 建設局 建設 (19)



添付図
IF-2 KFFC-901
部分図 2/3



可研表
 图例
 比例尺 1:50000



图例
 IF-2 KFC-901
 图例 373

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

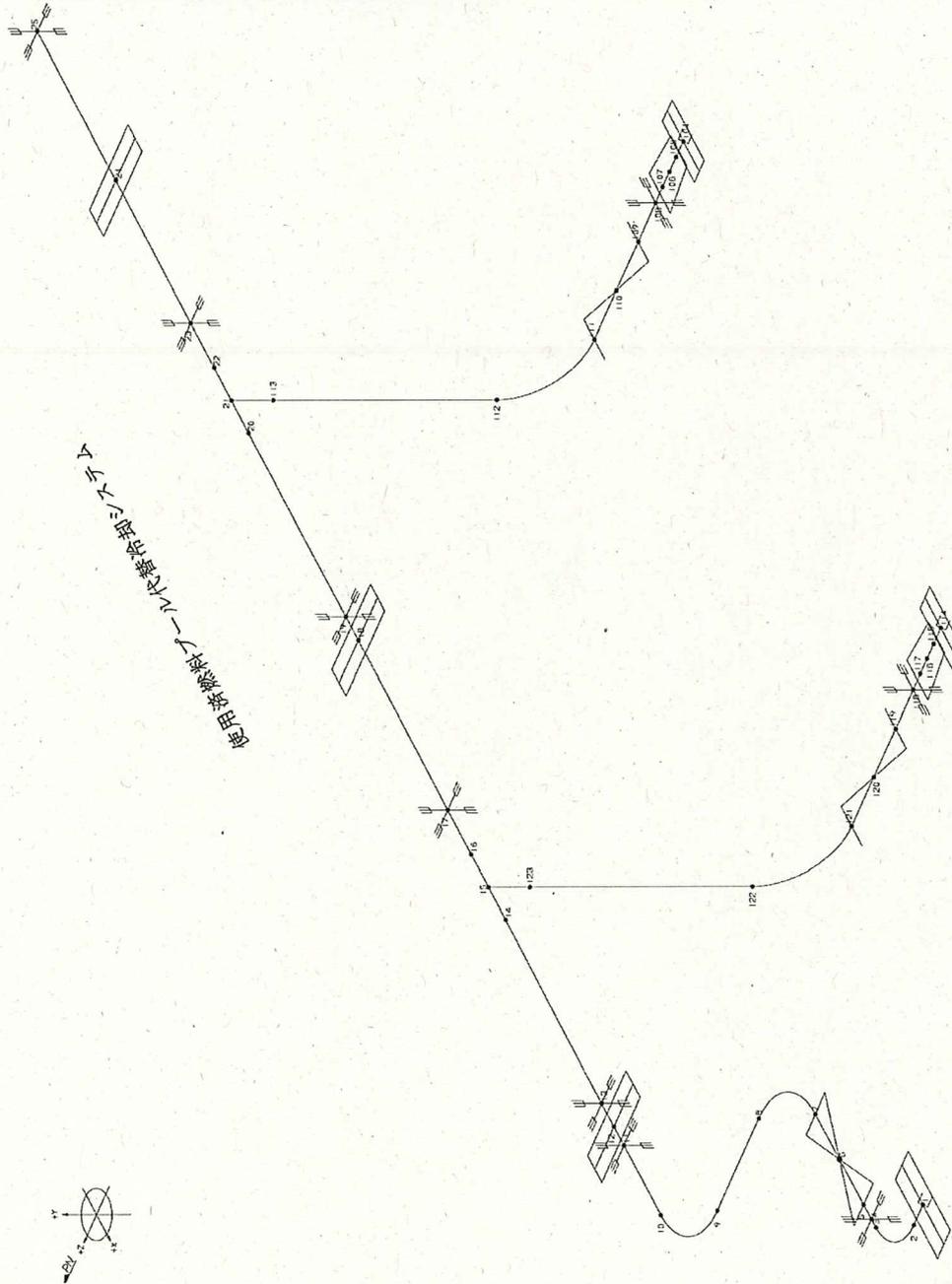
鳥瞰図	供用状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次 + 二次応力評価 (MPa)		疲労評価 疲れ累積係数
				計算応力 ①+② ①+②+③	許容応力 1.5・Sh 1.8・Sh Sy* 0.9・Su	計算応力 ①+②+④ ①+②+③+④	許容応力 Sa(c) Sa(d) 2・Sy 2・Sy	
KFPC-902	(A, B)	2	①+②	25	139	20	232	—
	(A, B)	104	①+②+③	23	139	107	232	—
	(A, B)	2	①+②+④	25	167	20	251	—
	(A, B)	104	①+②+③+④	24	167	108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

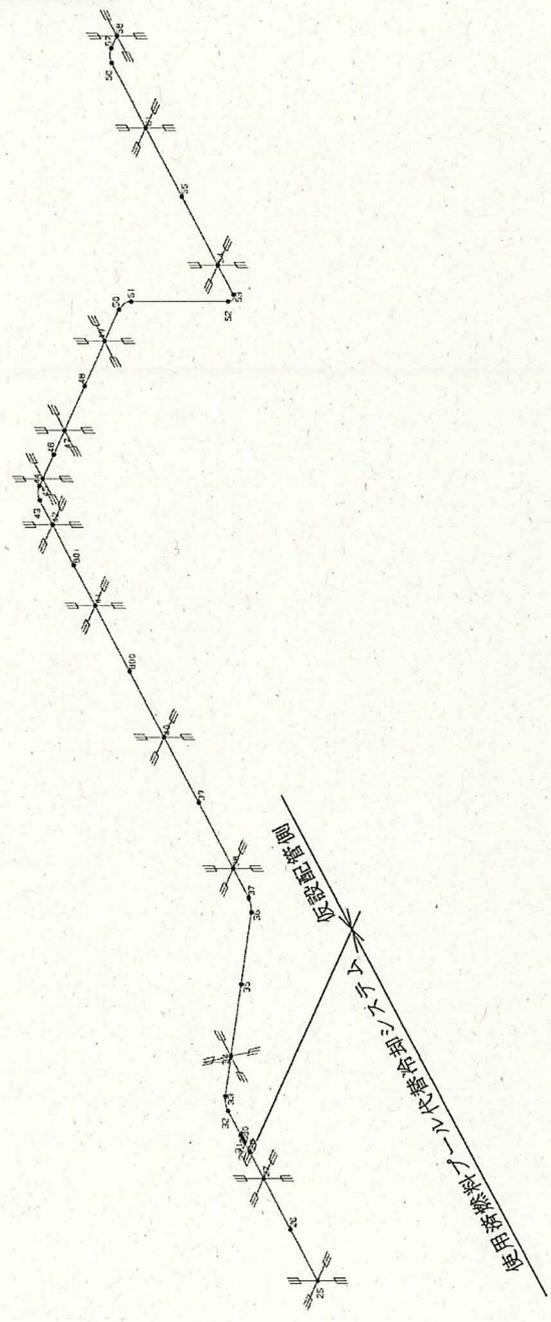
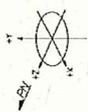
丁字架
原形图 大小 规格图 位置图 (1/1)

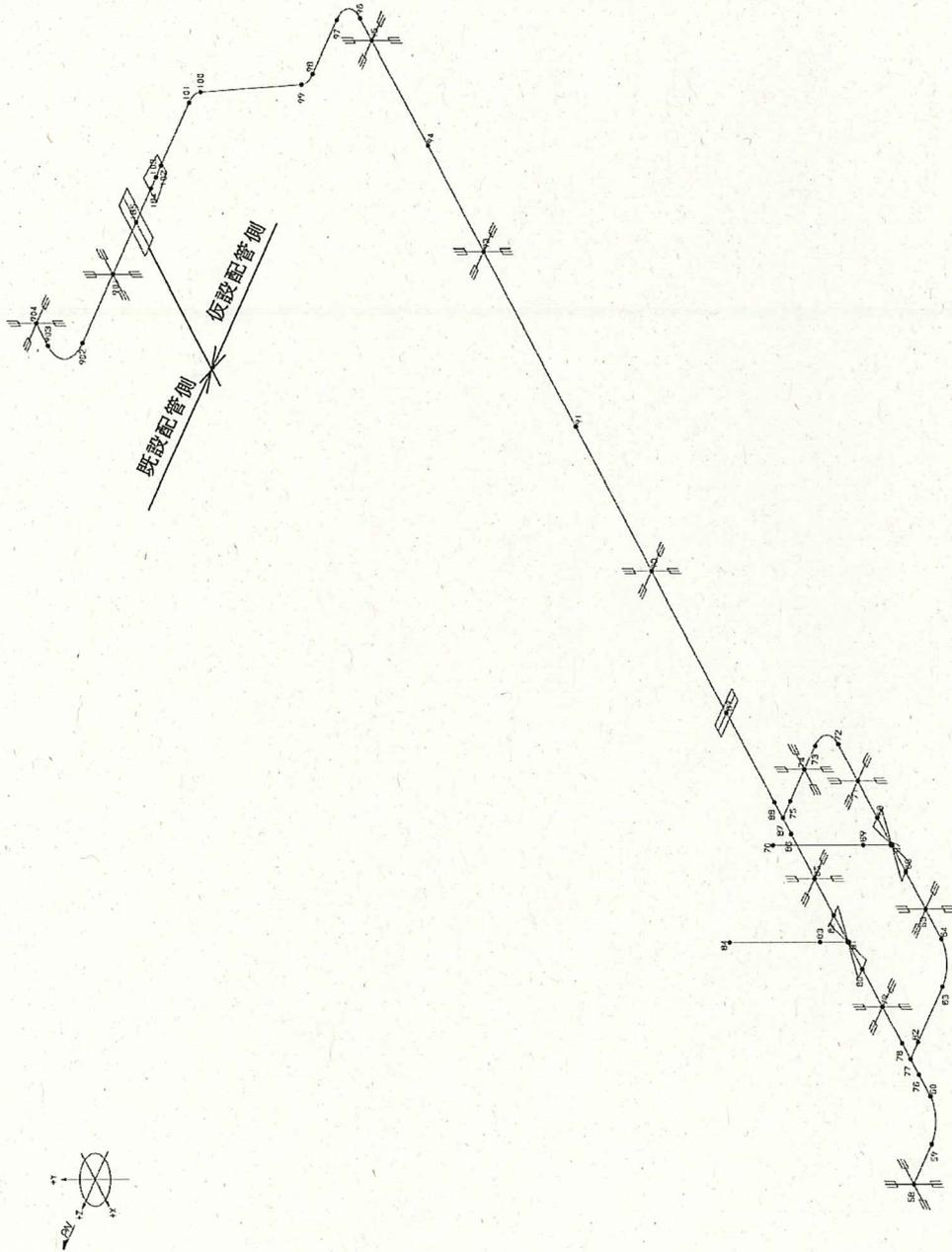
添付図
IF-2 KFC-902
部分図 1/3



守 法 規
建設省 国土庁 建設省 建設省 (11)
[Redacted]

添 付 図
IF-2 KFC-902
部 分 図 2/3





梁柱节点配筋示意图(1/1)
 IF-2 KFC-902
 册分图 3/3

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

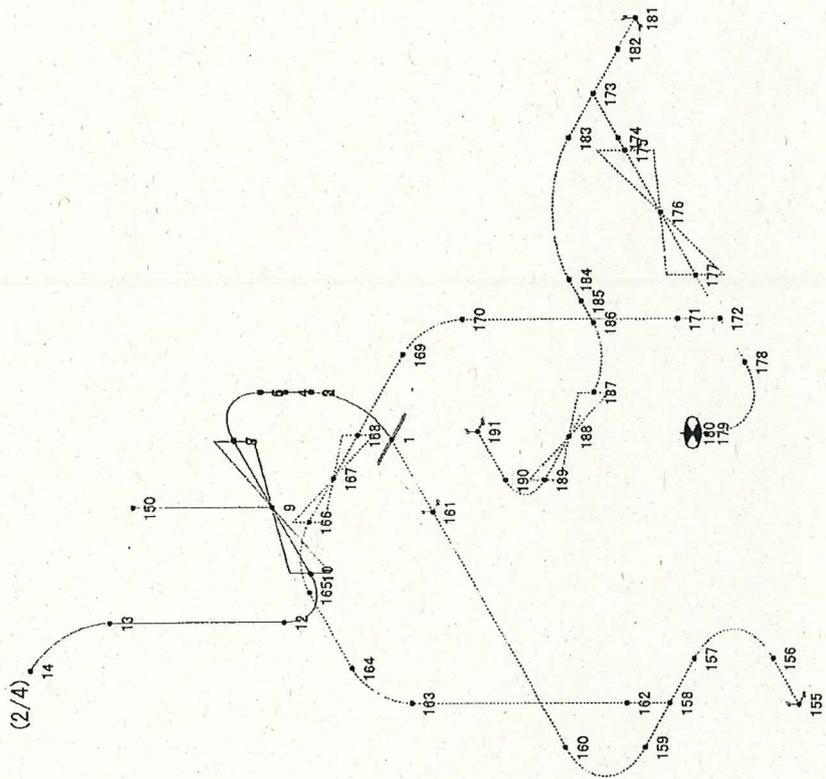
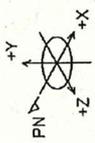
結論

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。

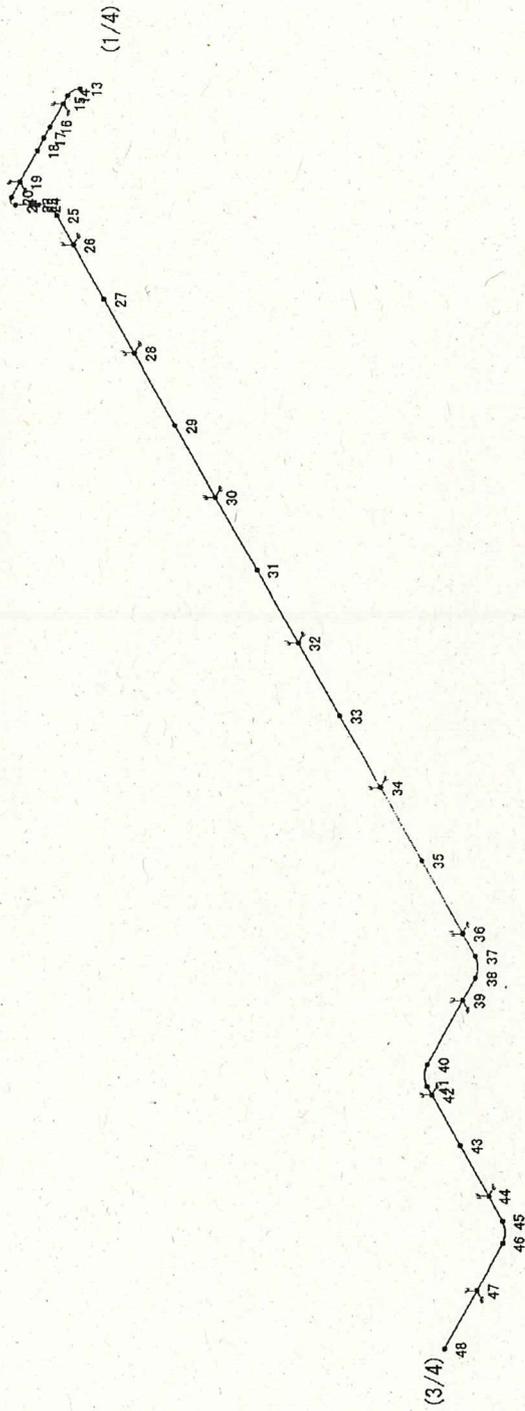
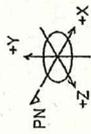
クラス3配管

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

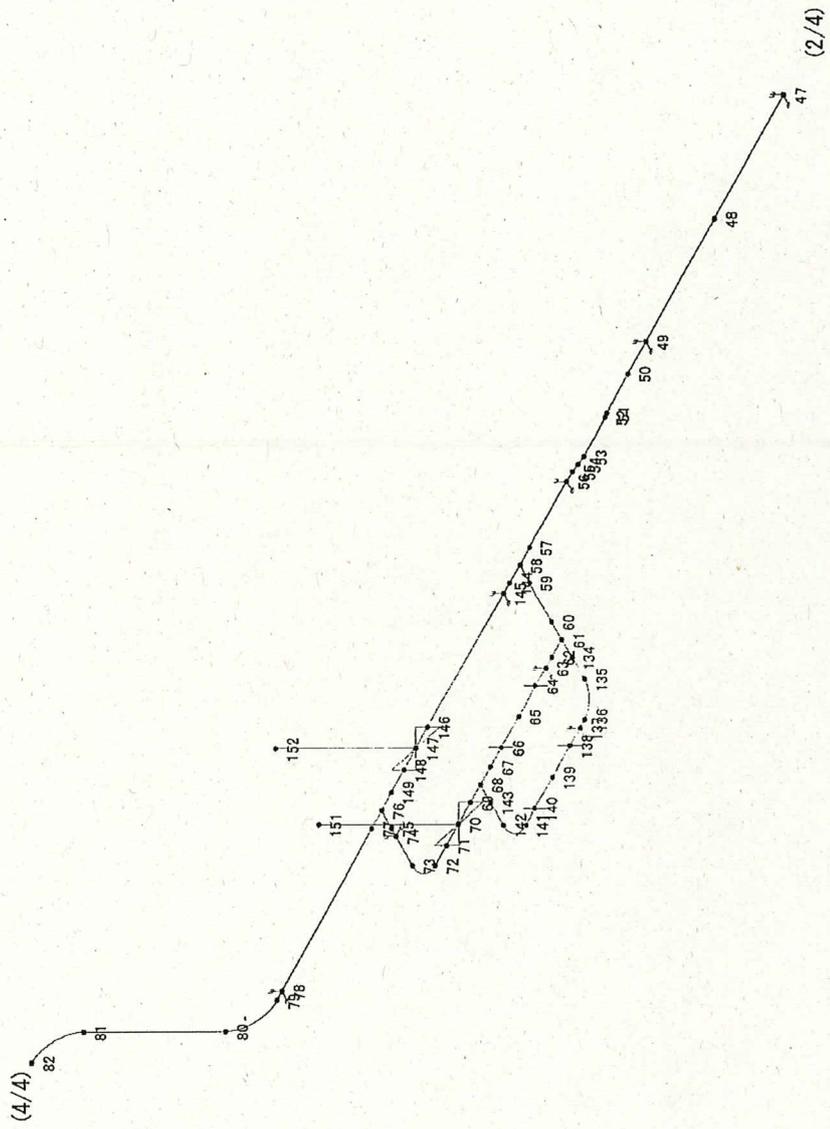
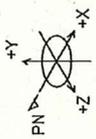
注記 *: オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については S_y と 1.2·S_h のうち大きいほうの値とする。
注: ①は内圧応力(S_{Pm}) ②は自重応力(S_{Ma}) ③は地震応力(他の短期的機械的荷重による応力を含む)(S_{Mb})を示す。



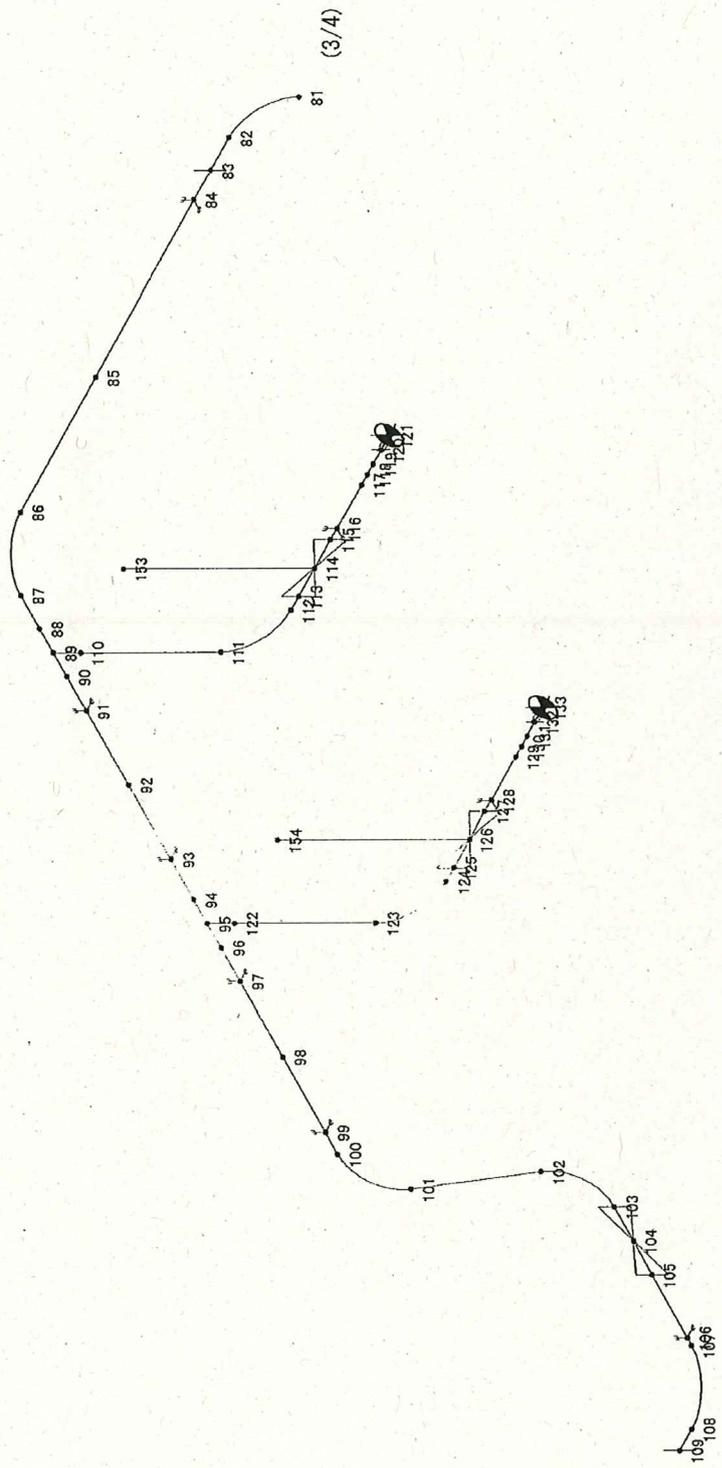
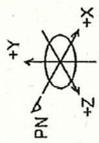
鳥瞰図 KFFC-901 (1/4)



点线图 KFP0-901 (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

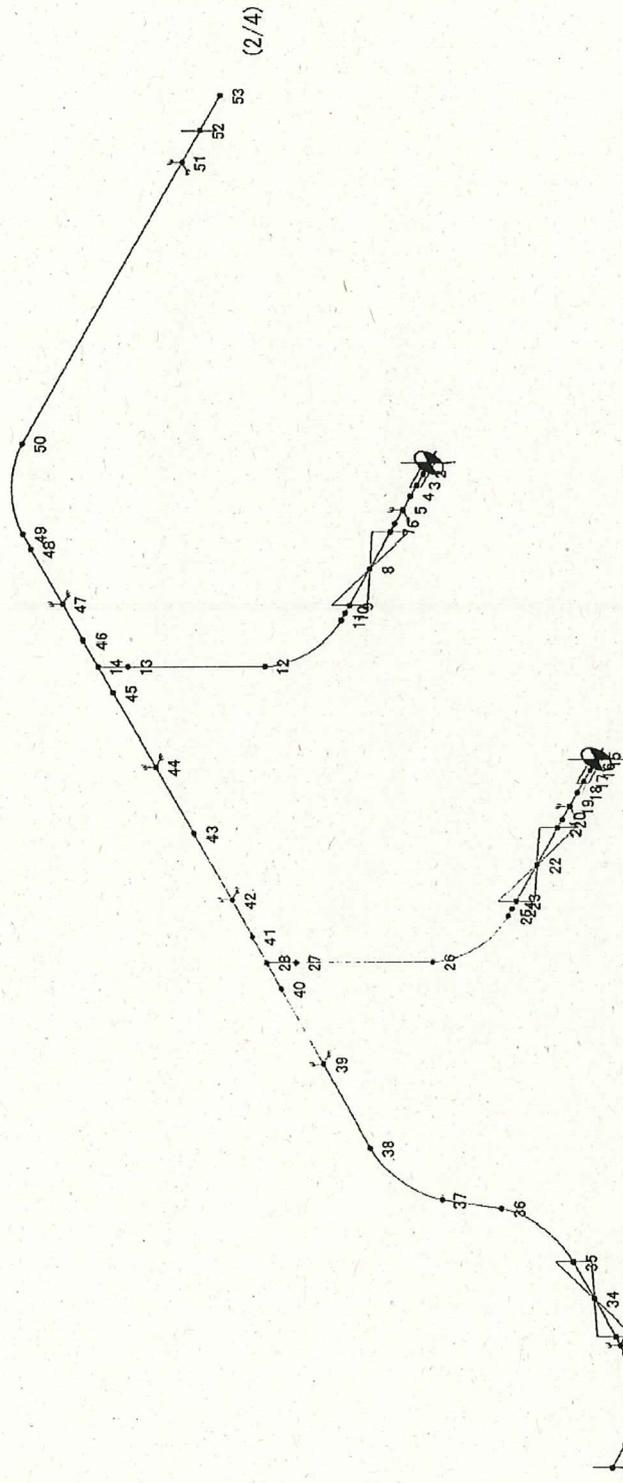
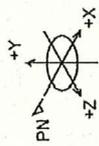
結 論

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

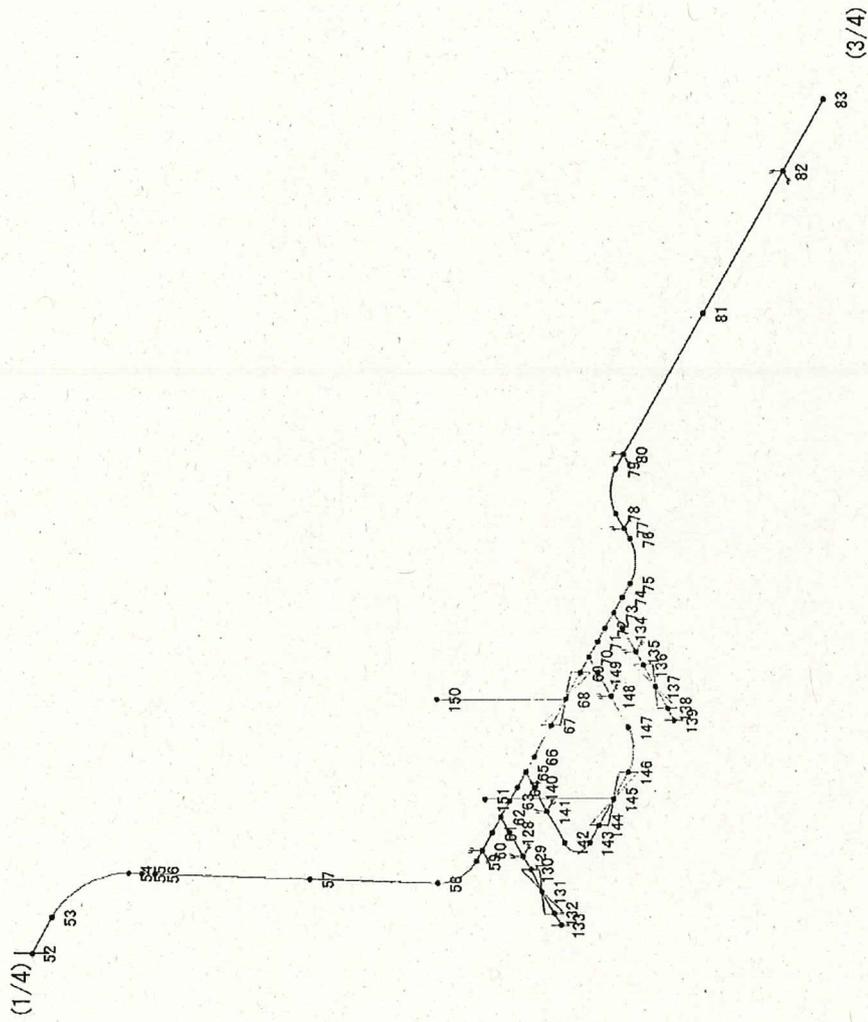
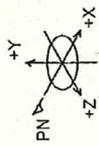
鳥 瞰 図	供 用 状 態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一 次 応 力 評 価 (MPa)		一 次 + 二 次 応 力 評 価 (MPa)	
				計算応力 ①+② ①+②+③	許容応力 1.5·S _h 1.8·S _h S _y *	計算応力 ①+②+④ ①+②+③+④ S _s (S _B)	許容応力 S _a (c) S _a (d) 2·S _y
KFPC-902	(A, B)	1	①+②	30	139	115	232
	(A, B)	15	①+②+④	29	139	126	232
	(A, B)	1	①+②+③	31	167	116	251
	(A, B)	15	①+②+③+④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

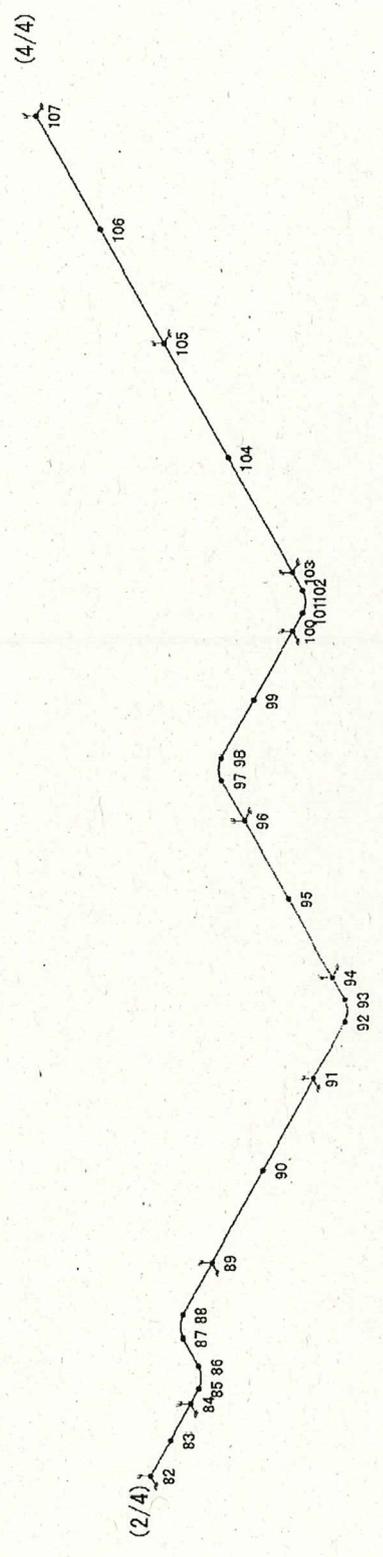
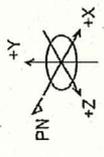


(2/4)

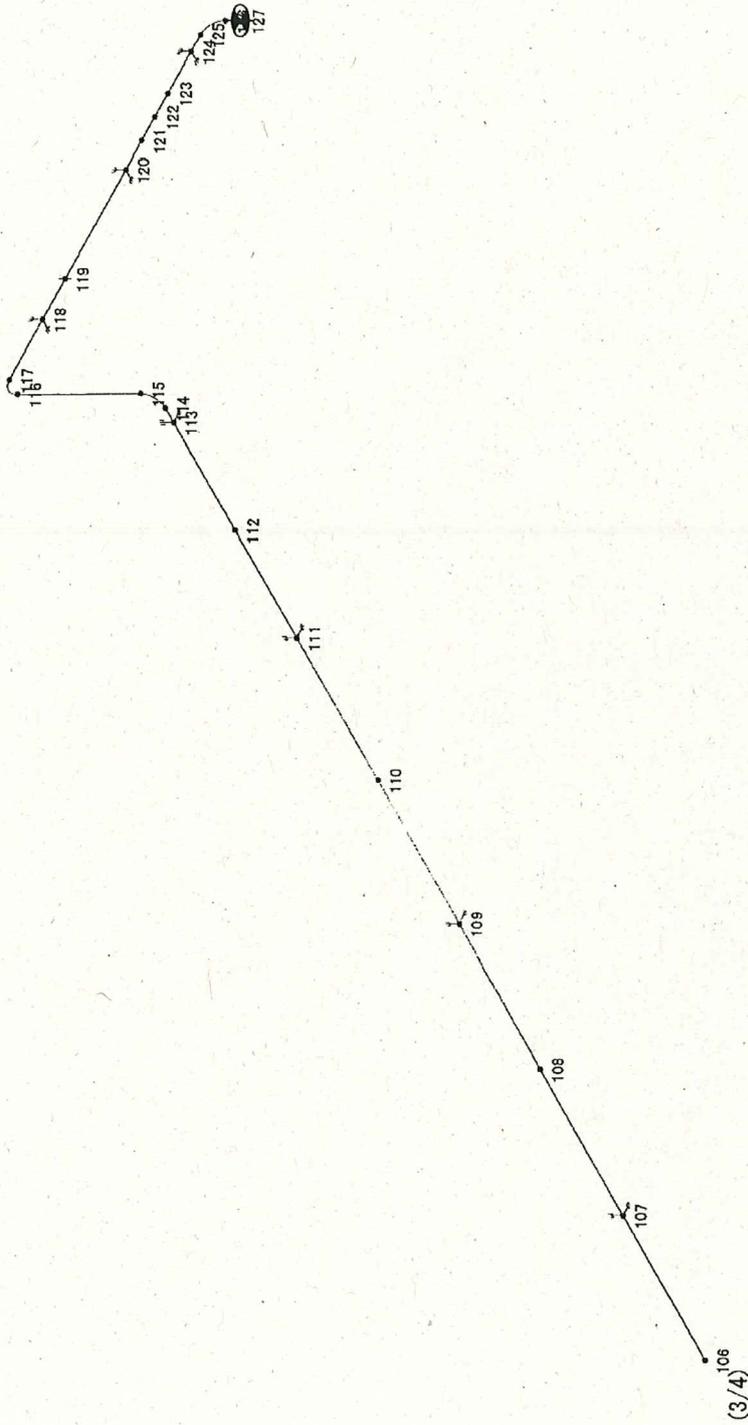
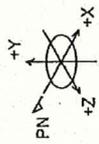
鳥瞰図 KFPO-902 (1/4)



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。

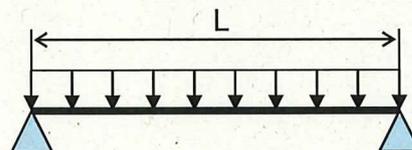
$$\bullet S_w = \frac{wL^2}{8Z}$$

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。

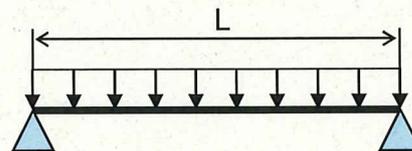
$$S_w = \frac{wL^2}{8Z}$$

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。

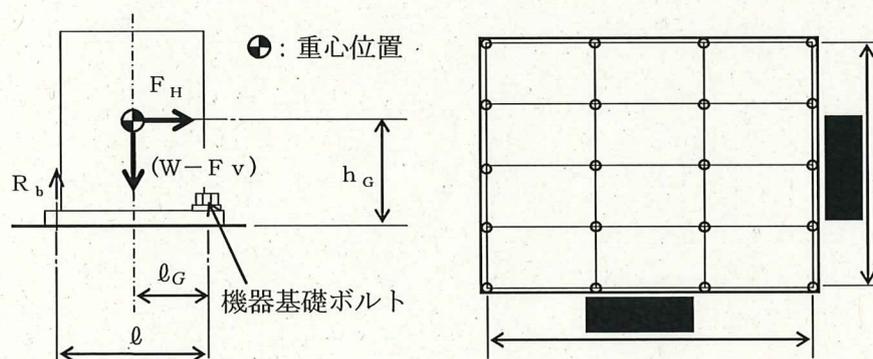
なお、評価においては水平方向震度を耐震Bクラス相当の評価である0.36Gとし、耐震設計審査指針上の耐震Bクラス相当の評価を行った。

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を想定し、管軸方向については、サポート設置フロアの水平方向震度を鉄と鉄の静止摩擦係数0.52^{注)}よりも小さいものとし、地震により管軸方向は動かないものと仮定する。

水平方向震度は、耐震Bクラス相当の評価である0.36Gとする。

注) 日本機械学会編 機械工学便覧 α. 基礎編 表4-1, α2-27

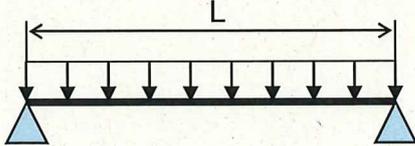
(ii) 評価方法

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)

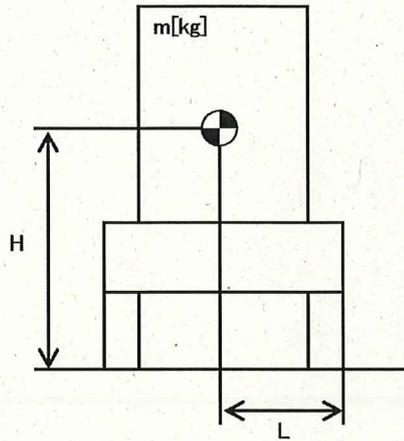
口径	材質	サポート支持間隔 (mm)	断面係数 (mm ³)	配管自重 (N/mm)	配管自重による応力 (MPa)
150A/Sch40	SUS316LTP	■	■	■	■

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 : $M_2 [N \cdot m] = m \times g \times L = 198717 \text{ N} \cdot \text{m} \rightarrow 199 \text{ kN} \cdot \text{m}$

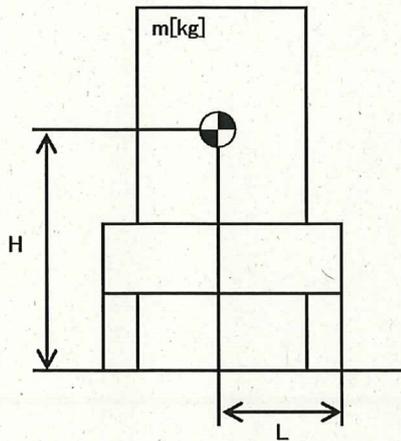
RO膜装置耐震評価結果

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

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

1. 1号機

(1) 排気ファンの耐震性に関わる数値根拠

$$\text{ボルトの許容引張応力} : 1.5f_t^* = 1.5 \times \frac{F^*}{2}, \quad F^* = \min[1.2S_y, 0.7S_u]$$

$$\text{ボルトの許容せん断応力} : 1.5f_s^* = 1.5 \times \frac{F^*}{1.5\sqrt{3}}$$

C_H : 水平方向設計震度 (0.21)

C_p : ファン振動による震度 ()

M_P : ファン回転により働くモーメント (N・mm)

l_1 : 軸心と基礎ボルト間の距離 (mm)

l_2 : 軸心と基礎ボルト間の距離($l_1 \leq l_2$) (mm)

d : 基礎ボルトの呼び径 (mm)

n : 基礎ボルトの本数 ()

n_f : 引張力の作用する基礎ボルトの評価本数 ()

h : 据付面から重心までの距離 (mm)

W : 据付面に作用する重量 (N)

A_b : 基礎ボルトの軸断面積 (mm²)

S_y : 設計降伏応力 (MPa,)

S_u : 設計引張強さ (MPa,)

(2) フィルタユニットの耐震性に関わる数値根拠

C_H : 水平方向設計震度 (0.21)

C_p : ファン振動による震度 ()

M_P : ファン回転により働くモーメント (N・mm)

l_1 : 軸心と基礎ボルト間の距離 (mm)

l_2 : 軸心と基礎ボルト間の距離($l_1 \leq l_2$) (mm)

d : 基礎ボルトの呼び径 (mm)

n : 基礎ボルトの本数 ()

n_f : 引張力の作用する基礎ボルトの評価本数 ()

h : 据付面から重心までの距離 (mm)

W : 据付面に作用する重量 (N)

A_b : 基礎ボルトの軸断面積 (mm²)

S_y : 設計降伏応力 (MPa,)

S_u : 設計引張強さ (MPa,)

(3) 凝縮配管室空調機ユニットの耐震性に関わる数値根拠

- C_H : 水平方向設計震度 (0.21)
 C_p : ファン振動による震度 ()
 M_P : ファン回転により働くモーメント (N・mm)
 l_1 : 軸心と基礎ボルト間の距離 (mm)
 l_2 : 軸心と基礎ボルト間の距離 ($l_1 \leq l_2$) (mm)
 d : 基礎ボルトの呼び径 (mm)
 n : 基礎ボルトの本数 ()
 n_f : 引張力の作用する基礎ボルトの評価本数 ()
 h : 据付面から重心までの距離 (mm)
 W : 据付面に作用する重量 (N)
 A_b : 基礎ボルトの軸断面積 (mm²)
 S_y : 設計降伏応力 (MPa,)
 S_u : 設計引張強さ (MPa,)

(4) 管の構造強度及び耐震性

(a) 構造強度

表-1 必要最小厚さに関わる数値根拠

外径[mm]	型式	設計・建設規格上の 必要最小厚さ[mm]
34.0	円型	0.5
60.5	円型	0.5
89.1	円型	0.5
114.3	円型	0.5
165.2	円型	0.5

(b) 耐震性の評価結果 (サポート間隔)

両端単純支持はりで自重による応力 S_w が 40 MPa 程度の場合, 150A (Sch. 40)
 配管のサポート間隔 L は約 9.7m となる。なお, 評価には以下の値を用いた。

- Z : 断面係数 (mm³)
 w : 等分布荷重 (N/mm)

2. 2 / 3号機

(1) ユニット架台の耐震性に関わる数値根拠

- C_H : 水平方向設計震度 (0.21)
 m : 機器の運転時質量 (表-2, 3 参照)
 h : 重心高さ (表-2, 3 参照)
 $L1, L2$: 重心とボルト間の水平距離 ($L1 \leq L2$) (表-2, 3 参照)
 nf : 評価上引張力を受けるボルト本数
 2号機 (A系 : ■, B系 : ■), 3号機 (A系 : ■, B系 : ■)
 n : 評価上せん断力を受けるボルト本数
 2号機 (A系 : ■, B系 : ■), 3号機 (A系 : ■, B系 : ■)
 g : 重力加速度 ($9.80665m/s^2$)

表-2 機器の運転質量, 重心高さ, 重心とボルト間の水平距離 (2号機)

ユニット名	系統	機器の運転	重心	重心とボルト間の水平距離	
		時質量	高さ	($L1 \leq L2$)	
		m [kg]	h [mm]	$L1$ [mm]	$L2$ [mm]
排気ユニット	A	■	■	■	■
	B	■	■	■	■
フィルタ ユニット	-※	■	■	■	■
放熱器ユニット	A	■	■	■	■
	B	■	■	■	■
電気ヒータ ユニット	-※	■	■	■	■
ヘッダユニット	-	■	■	■	■
流量計ユニット	-※	■	■	■	■

※ : フィルタユニット, 電気ヒータユニット, 流量計ユニットは, 2つ (2系統) で1つのユニットとなっている。

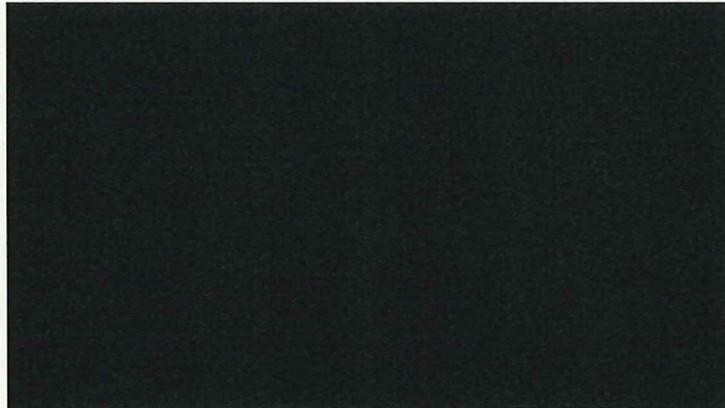
表-3 機器の運転質量, 重心高さ, 重心とボルト間の水平距離 (3号機)

ユニット名	系統	機器の運転 時質量	重心 高さ	重心とボルト間の水平距離 (L1 ≤ L2)	
		m[kg]	h[mm]	L1[mm]	L2[mm]
排気ユニット	A	■	■	■	■
	B	■	■	■	■
フィルタ ユニット	-※	■	■	■	■
放熱器ユニット	A	■	■	■	■
	B	■	■	■	■
電気ヒータ ユニット	-※	■	■	■	■
ヘッダユニット	-	■	■	■	■
流量計ユニット	-※	■	■	■	■

※: フィルタユニット, 電気ヒータユニット, 流量計ユニットは, 2つ (2系統) で1つのユニットとなっている。

ここで, メカニカルアンカの許容荷重の設定については以下の通り。

- ・ 柏崎刈羽原子力発電所6号機建設時の後打ちアンカ使用基準に基づき, ■相当のメカニカルアンカの許容荷重を採用



(2) 鋼管及び鋼板ダクトの構造強度及び耐震性

(a) 構造強度

表-4 必要最小厚さに関わる数値根拠

外径[mm]	形式	設計・建設規格上の 必要最小厚さ[mm]
27.2	円形	0.5
60.5	円形	0.5
60.5	円形	0.5
139.8	円形	0.5
139.8	円形	0.5
139.8	円形	0.5
216.3	円形	0.6
260.0	長方形	0.8
267.4	円形	0.6
267.4	円形	0.6

(b) 片持ちはりの先端荷重モデルを用いた耐震性評価

a. 評価条件

タービン建屋1階から2階へ立ち上がる縦管(125A (Sch. 10S))については、縦管に最も近いサポートの位置を固定点とした片持ちはり(先端荷重)とする。また、管軸方向については地震により管軸方向は動かないものとして配管応力評価を考える。なお、縦管と水平管の質量が片持ちはりの先端荷重として作用するものとし、縦管に最も近い2つのサポートで2等分することとする。

b. 評価方法

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

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

S_s :地震による応力

α :水平方向震度

S_w :自重による応力

ここで,

$$S_w = \frac{M}{Z} = \frac{wgL_2}{Z}$$

S_w :自重による応力

M :曲げモーメント

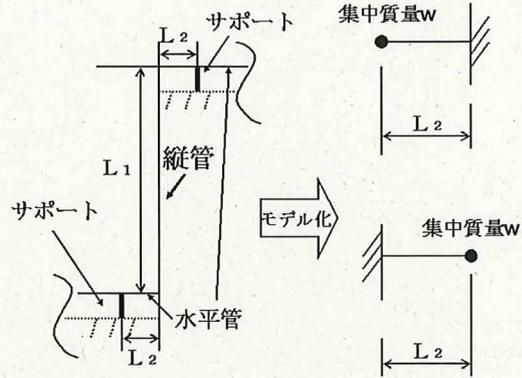
Z :断面係数

L :サポート支持間隔

(片持ちはり長さ)

w :集中質量

g :重力加速度



片持ちはりの先端荷重より求まる
自重による応力

また、崩壊制限に「JEAC4601-2008」を準用し、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(2)式で表すことができる。

$$S = S_p + S_w + S_s = S_p + S_w + \alpha S_w = S_p + (1 + \alpha) S_w \leq S_y \quad (2)$$

S_p :内圧による応力

S_w :自重による応力

S_s :地震による応力

S :内圧, 自重, 地震による応力

α :水平方向震度

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

c. 評価結果

片持ちはりの集中質量 w は、縦管長の半分と水平管長の合計の長さ分を見込むと、下式のように算出される。

$$w = m \times (L_1/2 + L_2) = 52.2 \text{ kg}$$

L_1 :縦管長さ () m

L_2 :水平管長さ () m

m :単位質量 () kg/m

自重による応力 S_w は、曲げモーメント M より下式で算出される。

$$S_w = \frac{M}{Z} = \frac{wgL^2}{Z} = 6 \text{ MPa}$$

Z : 断面係数 (mm^3)

g : 重力加速度 (9.80665 m/s^2)

内圧による応力 $S_p=18\text{MPa}$, 許容応力を SUS304TP(100°C) の $S_y=171 \text{ MPa}$ とし, (2) 式に代入すると以下となる。

$$S = S_p + (1 + \alpha) S_w = 26 \text{ MPa} < S_y = 171 \text{ MPa} \quad (3)$$

よって、縦管から 0.5m 以内の位置にサポートを配置した場合、発生応力は許容応力に対して十分な裕度を有すると評価した。