

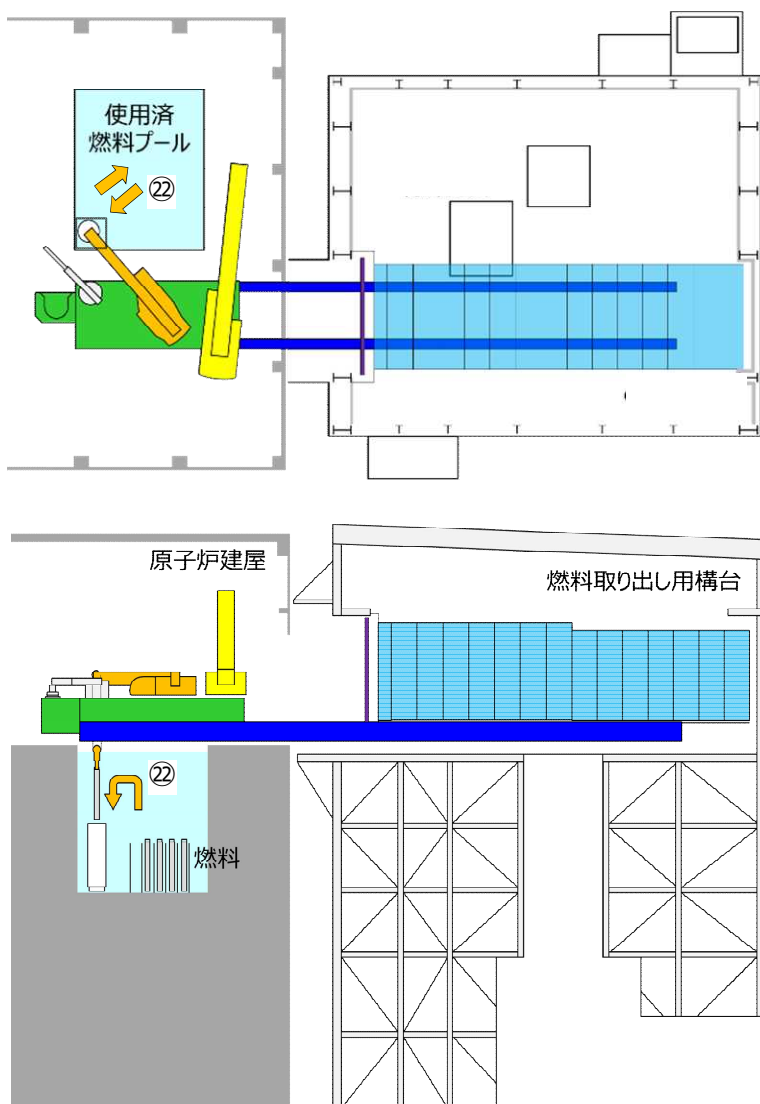
2号機燃料取扱設備及び燃料取り出し用構台 の設置について

2021年4月14日（第12回）



東京電力ホールディングス株式会社

燃料取り出し手順 (6/12)



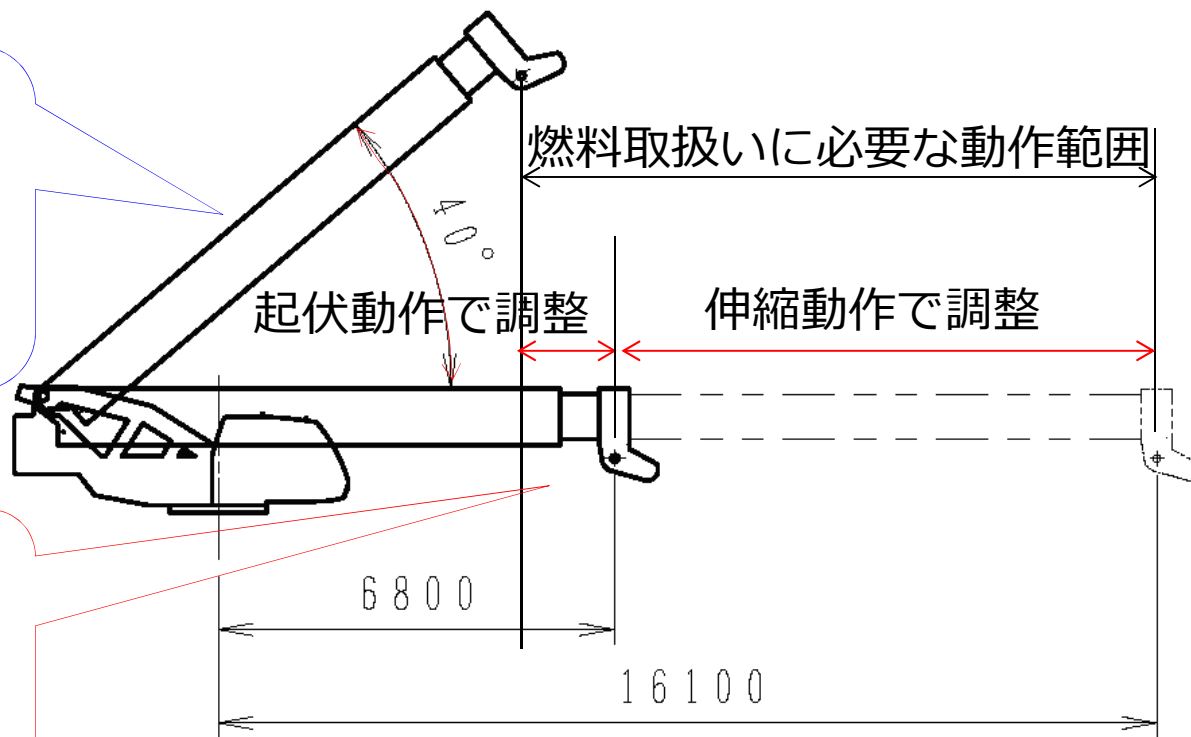
② 燃料把握機を介し燃料取扱機にて燃料7体を1体ずつ使用済燃料貯蔵ラックから輸送容器に移動する。

- クレーン
作業半径12600m/起伏角度24°(無負荷)
- 燃料取扱機
ブーム長さ9800~19100mm
(ブーム長さ変更時は起伏角0°)
起伏角度0°~40°
(起伏角変更時はブーム長さ9800mm)

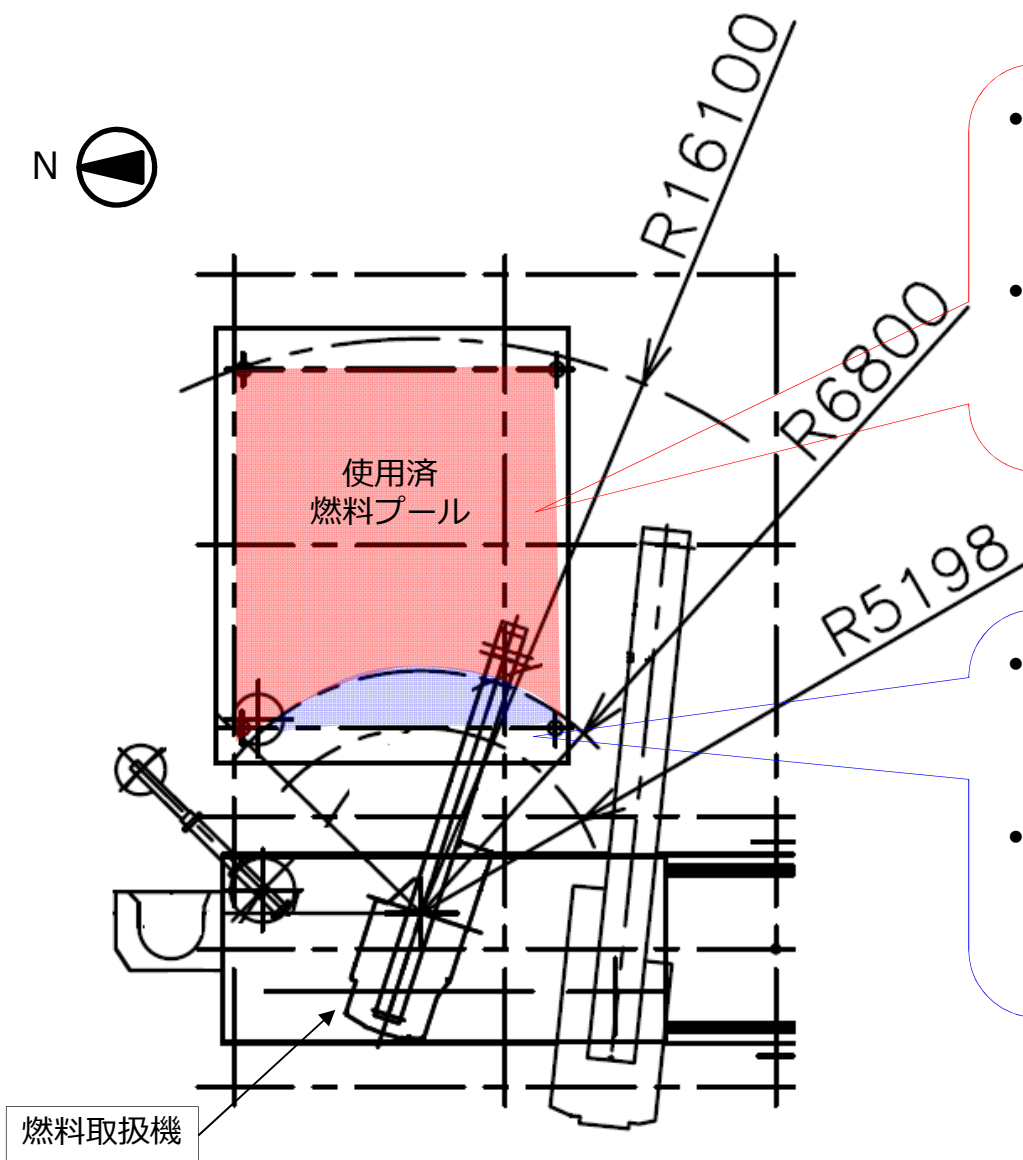
- 燃料取扱機は，クレーン，ジブクレーン，走行台車との同時運転を不可とし，クレーン，ジブクレーンが退避位置でのみ動作可能とするインターロックを設定。
- 燃料の座標及び燃料把握機的位置を直交座標で表示。
- 各操作レバーは誤操作防止の観点から2アクションとする（押して倒す等）。
- 既設の燃料取扱機と同様の直交座標での操作を可能とする。
 - ブームの起伏，伸縮時の昇降位置（Z）制御方法は下図の通り。
 - ブーム伸縮長さ（r），旋回角度（ θ ）をXYに変換。

- 起伏操作は伸縮長最短時（6800mm）のみ
- 起伏時に昇降位置（Z）が変化しないようワイヤ長さを制御

- 伸縮操作は起伏0°時のみ
- 伸縮時に昇降位置（Z）が変化しないようワイヤ長さを制御



燃料取扱機の運転姿勢



- 起伏角度0°のままブーム長さを調整することで目的位置にアクセスする範囲
- 燃料取扱時の昇降レベルが一定となるよう、ブーム伸縮速度とウィンチ昇降速度を調整する。

- ブーム長さ6800mmのまま起伏角度を調整することで目的位置にアクセスする範囲
- 燃料取扱時の昇降レベルが一定となるよう、ブーム起伏速度とウィンチ昇降速度を調整する。

燃料取扱機の運転範囲

■ 安全に設備を運用するための多重化・多様化

計器・センサの精度逸脱により、オペレータの誤操作又は制御装置による誤制御を防止するため、燃料取扱設備の動作及び運転に必要な計器・センサを二重化し、その出力結果の突合せで異常を検出できる構成とする。

➤例：位置検知用センサ，ロードセル（多重化）

■ 故障時の復旧を考慮した多重化・多様化

燃料取扱設備が原子炉建屋オペレーティングフロアにある状態での監視・制御装置の故障を想定し、燃料取り出し用構台までの退避に必要な構成機器は多重化・多様化を図る。（前項の計器・センサ故障時にはセンサ指示値，警報ログ及びITVカメラにて正常と判断される計器・センサにて燃料取り出し用構台に退避し，保守・点検を実施する。）

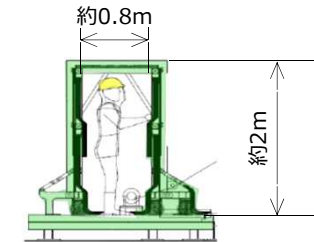
➤例：走行台車内制御装置（多様化）

■ 除染計画

- 燃料取り出し作業中のダスト飛散抑制のため遮蔽体設置前に除染を実施

■ 遮蔽計画

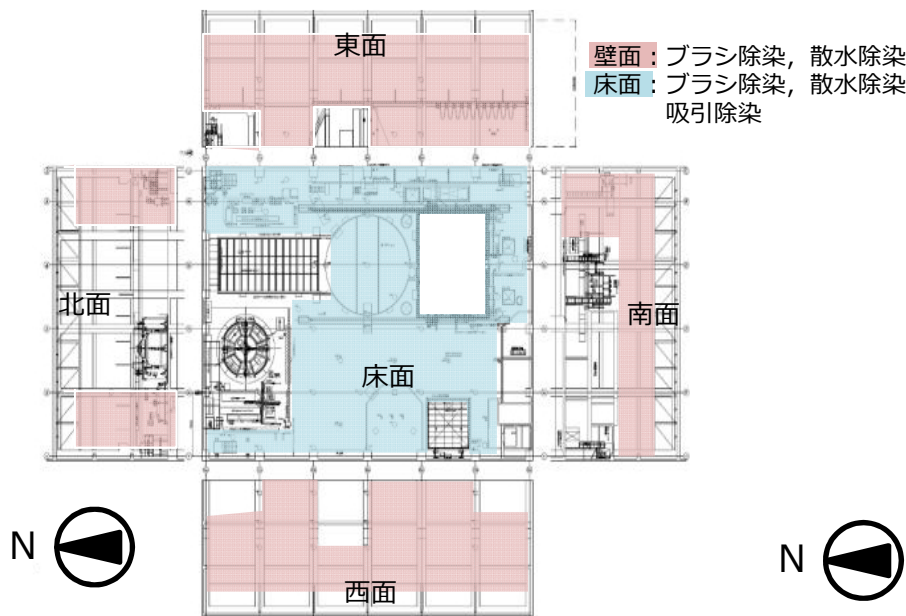
- メンテナンスエリアに影響の大きい箇所に遮蔽体を設置し、アクセス通路にも遮蔽機能を持たせることで作業環境を整備
- 遮蔽体設置後の雰囲気線量
 - 有人作業を想定しているエリア：約1.8～2.3mSv/h
 - アクセス通路内部：約0.2mSv/h



← アクセス通路イメージ

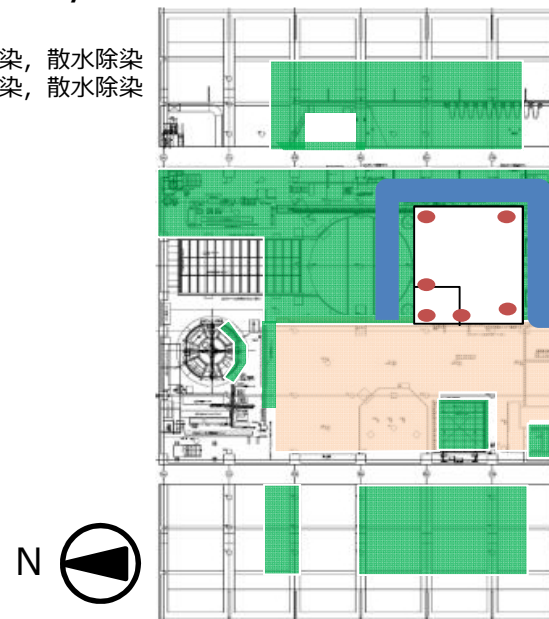
【凡例】(括弧内は遮蔽効果)

- : 鉄板遮蔽厚さ
 ウェル上：250mm(1/1000)
 床面：80mm(1/100)
 壁面：40～60mm(1/5～1/10)
 アクセス通路：鉛20mm(1/5)
 (側面, 天版)
- : コンクリート遮蔽厚さ
 床面：200mm(1/100)
- : ITV配置箇所
- : アクセス通路



除染範囲図 (床面, 壁面) ※

※アクセス可能な範囲で実施



遮蔽設置範囲図

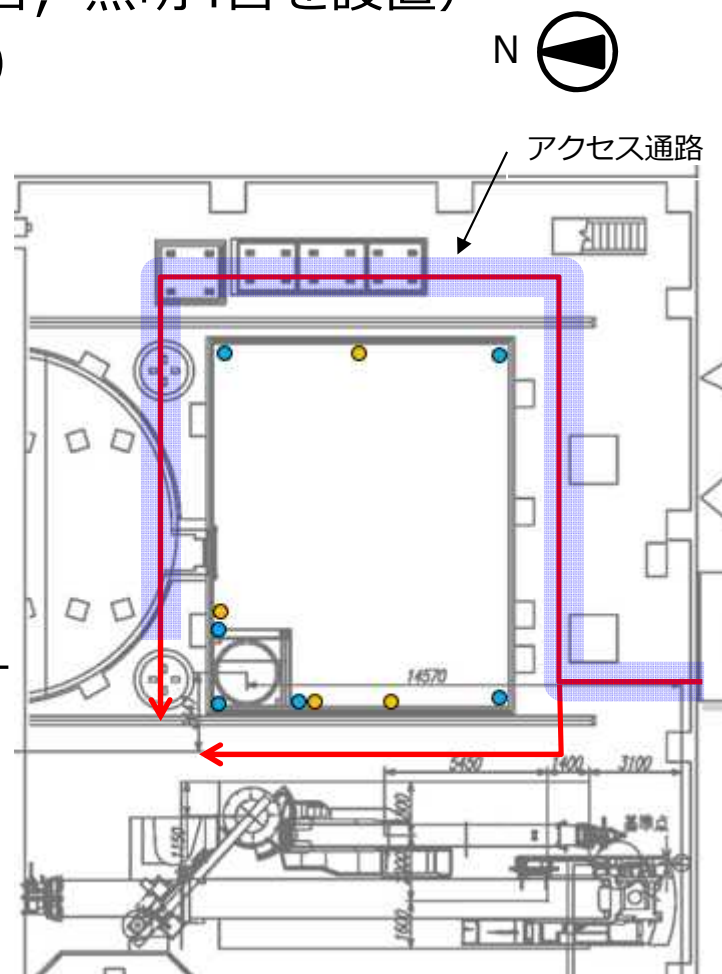
ITVカメラ設置時の被ばく線量概算

<追加> **TEPCO**

- 作業体制 2班 (数名/班)
- 作業時間 35分/人・日 (ITV6台, 照明4台を設置)
- 雰囲気線量 (2018年調査結果からの評価値)
 - アクセス通路内 0.2mSv/h(60min/台)
(機器搬入, 組立, ケーブル敷設)
 - アクセス通路外 2.2mSv/h(10min/台)
(カメラ設置, ケーブル接続)
- 想定被ばく線量 0.28mSv/人・日
 - メンテナンス時(ITVカメラ交換作業)も同程度と想定(カメラ寿命は1年以上のものを選定する)

短時間での作業実現が可能となるよう詳細設計及び施工計画に反映していく。

- (凡例)
- 使用済燃料プール内ITV
 - 使用済燃料プール内照明
 - ← 作業者動線



- 換気設備では燃料取り出し用構台前室から原子炉建屋オペレーティングフロア側へ気流の流れが生じるよう、排気設備から排気風量を変更する。
(換気設備の排気風量設定根拠については添付資料3参照)
- 各建屋の排気風量は各建屋からの排気ダクトに設置するボリュームダンパーの開度で調整する。(調整後は固定され、開度が正常であることを定期的に確認する。)

	排気設備	換気設備
排風機台数	2台	2台
排気風量	原子炉建屋: 10,000m ³ /h	原子炉建屋 : 20,000m ³ /h 燃料取り出し用構台 : 10,000m ³ /h
フィルタ効率	97%(粒子径0.3μm)以上	97%(粒子径0.3μm)以上
耐震クラス	ノンクラス	Cクラス相当

3号機 F H M・クレーン不具合から得た主な教訓 ～第75回特定原子力施設監視・評価検討会資料抜粋～

	主な問題点	教訓
1	プロジェクトでの管理の弱さ	プロジェクトのミッションを達成するために、必要な体制、責任と権限を明確にし、適切なリソースを確保すること。長期にわたるプロジェクトにおいても全体管理を行えるような仕組みとすること。 (システムエンジニア、機械、電気、計装、土木、建築、安全等、プロジェクト初期段階で必要な体制、責任と権限を明確にしておく必要がある)
2	設計管理における要求事項の不十分さ、変更管理の甘さ	プロジェクトのミッションを達成するために必要な設備の設計における規格・基準類に基づく設計要求の明確化および実施中の変更管理を確実に実行する仕組みを構築すること ① 仕様を要求するにあたり、適用する規格・基準類を明確にすること(設計、検査を確実に実施するために) ② 設計の前提条件となる原子力安全に係る要求を明らかにし、加えて環境条件や運用方法等も明確に要求とすること ③ コネクタケーブルという国内原子力で実績が少ない汎用品、クリティカル品目に対して技術レビューを行えること ④ プロジェクトの各ステージにおいてゲートを設定し、十分な設計活動、品質保証活動を実施していることを、責任者が承認し次工程へ進むプロセスとすること
3	リスクアセスメントの不十分さ	概念・基本・詳細の各設計段階、製造段階、設置工事段階、運用段階においてリスク管理を適用し、ステージゲート毎にレビュー、フィードバックさせる仕組みとすること
4	クリティカル品の設計、製造不良を見抜く力量の不足	クリティカル品の設計、製造不良を見抜く品質管理が必要 ① 製造者の品質保証体制に係る監査的手法活用による評価を行うこと。 ② 要求する製品の機能・性能を担保するために必要な検査を特定し実施すること。当該品質記録を残すこと。 ③ 海外品については、文書で明確に要求しない限り、国内プラントメーカーと同様な品質管理(品質記録の作成・提出)は行われなことを踏まえた対応が必要。 ④ 一般産業品であってもクリティカル品には①または②等の手法を用いて設計、製造品質を担保すること。
5	既存設備との取り合い設計の甘さ	現地調査を踏まえた情報をインプットとすること 検証方法(モックアップで確認できること、できないこと)を確実にレビューすること
6	変更管理の甘さ(検査等)	設計・製造・工事段階の変更管理を受注者(サブベンダ)に適切に実施させること(発注者へも報告) ① 受注者に変更管理を確実に実施させ、発注者が確認可能なように、文書や品質記録等に変更内容・変更に伴う影響評価、作業や検査の場合は、手順書での条件の明記およびその復旧記録を残すこと。 ② 検査条件は現地条件に合わせる。仮に変更する場合は機能・性能の観点から影響を評価させ発注者の了承を得ること。
7	トラブル発生時のリカバリの困難さ	リカバリ対応を可能とするために適切な内容の設備図書を提出させること ① I B Dを提出させること。ブラックボックスとならないよう、E C W Dを提出させること ② 取扱説明書のトラブルシューティングの記載を充実させること リカバリ対応を行うに当たり、当社の対応能力(設備図書等の保有するトラブルシューティング情報)を見極め、元請・サブベンダとトラブル体制を構築すること

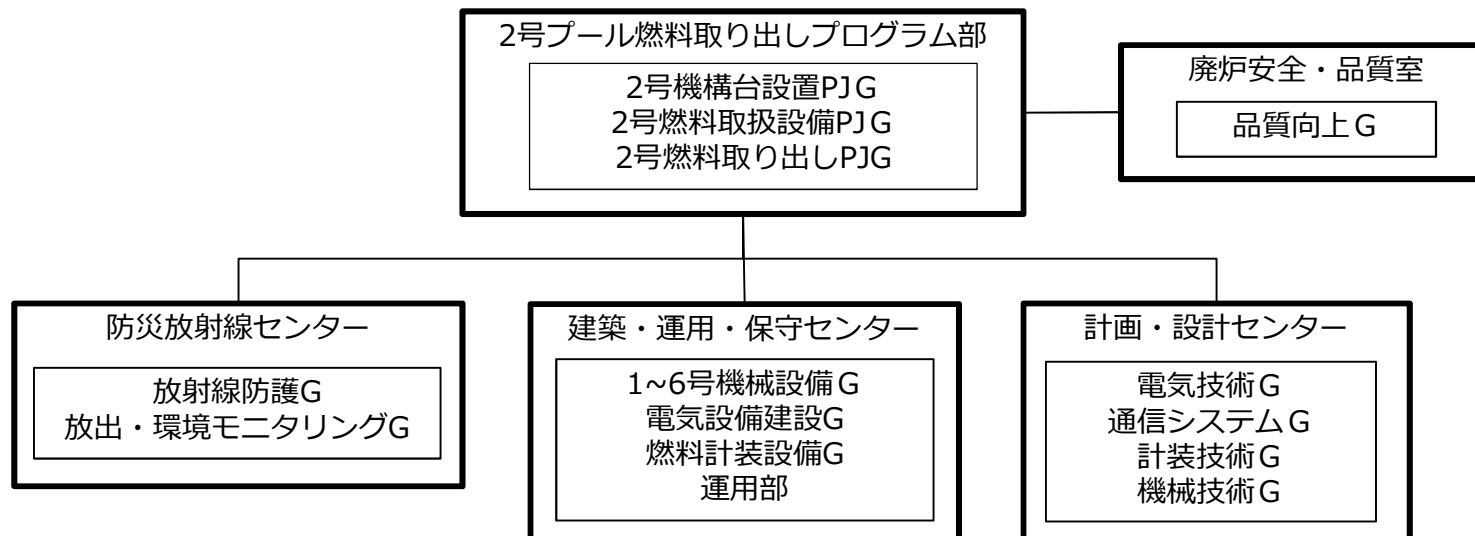
- 3号機燃料取扱設備の不具合事象の反省を踏まえ「重要調達品・設計管理ガイド」を制定。2号機燃料取扱設備は当ガイドに基づき品質管理強化を進めている。ガイド制定の元となった3号機燃料取り出しで得た教訓への対応を記載する。

■ 3号機燃料取扱設備不具合事象から得た教訓 1

プロジェクトのミッションを達成するために、①必要な体制、責任と権限を明確にし、適切なリソースを確保すること。 ②長期にわたるプロジェクトにおいても全体管理を行えるような仕組みとすること。

【2号機燃料取り出しにおける対応】

- ①基本設計段階から専門部門が協働関係を構築し、横断的に設計を実施している。
- ②2号機プール燃料取り出しプログラム部門が当該設備に関する全体管理を実施中。



2号機燃料取り出し体制表

■ 3号機燃料取扱設備不具合事象から得た教訓 2

プロジェクトのミッションを達成するために必要な設備の設計における規格・基準類に基づく設計要求の明確化および実施中の変更管理を確実に実行する仕組みを構築すること

- ① 仕様を要求するにあたり、適用する規格・基準類を明確にすること（設計、検査を確実に実施するために）
- ② 設計の前提条件となる原子力安全に係る要求を明らかにし、加えて環境条件や運用方法等も明確に要求とすること
- ③ コネクタケーブルという国内原子力で実績が少ない汎用品、クリティカル品目に対して技術レビューを行えること
- ④ プロジェクトの各ステージにおいてゲートを設定し、十分な設計活動、品質保証活動を実施していることを、責任者が承認し次工程へ進むプロセスとすること

■ 3号機燃料取扱設備不具合事象から得た教訓 3

概念・基本・詳細の各設計段階、製造段階、設置工事段階、運用段階においてリスク管理を適用し、⑤ステージゲート毎にレビュー、フィードバックさせる仕組みとすること

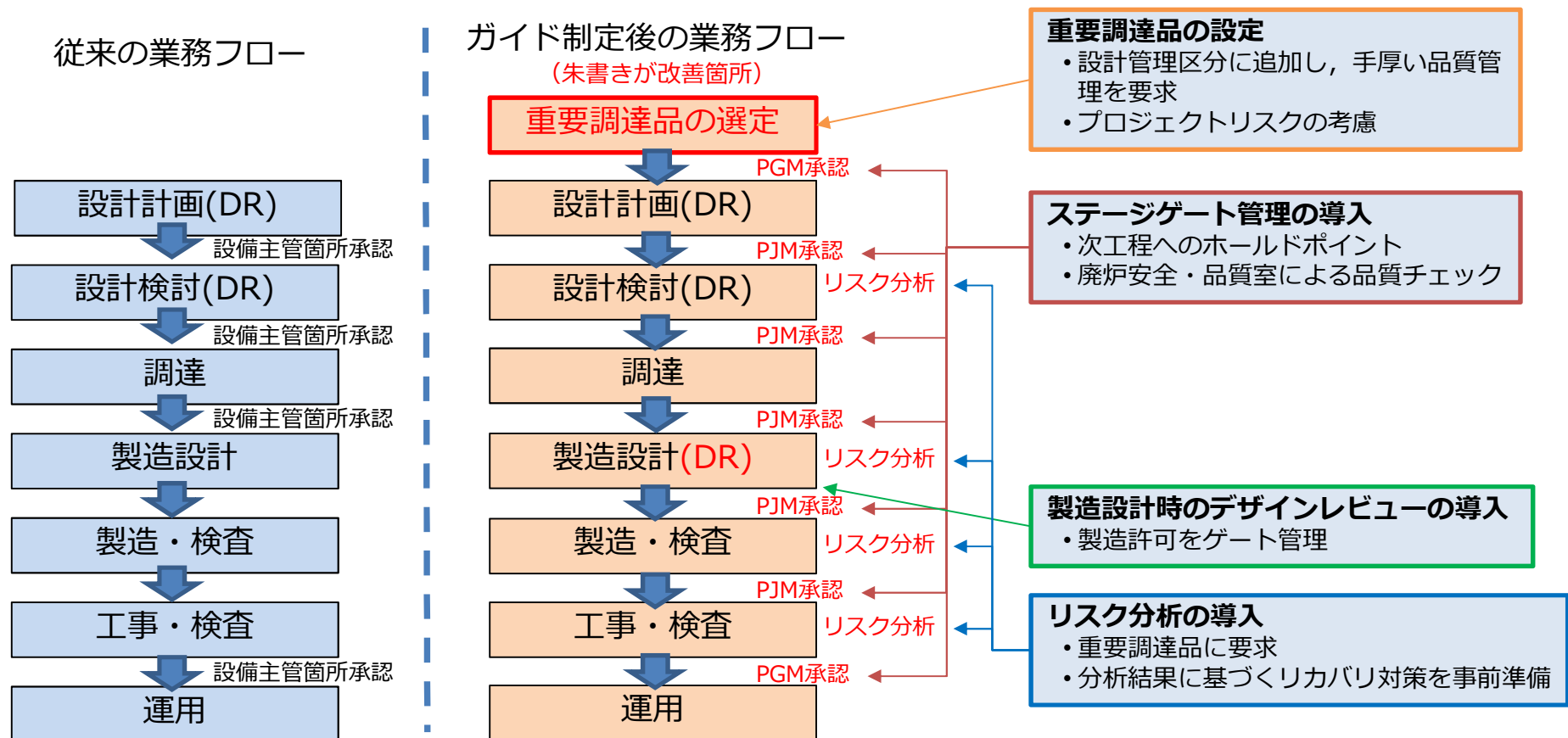
【2号機燃料取扱設備での対応】

- ① 各専門分野が基本設計段階から適用規格・基準類を確認済み。
- ② 基本設計開始時に原子力安全に係る要求、環境条件、運用方法等の設計条件を明確にし、計画設計DR／設計検討DRにて確認済み。
- ③ 電気・計装品は国内原子力適用実績のあるものを選定する。プロジェクト遂行上リスクの高い品目はクリティカル品として個別に対応を検討する。

2号機燃料取扱設備の品質管理強化策(3/7)

<追加> **TEPCO**

- ④ 下フローのように、各段階毎にゲートを設けて責任者の承認を得た上で次の工程へ進める改善後の業務フローを適用中。
- ⑤ 各ゲートでリスク分析を行い、設計への反映要否を確認する。



PGM : プログラムマネージャ PJM : プロジェクトマネージャ DR : デザインレビュー

■ 3号機燃料取扱設備不具合事象から得た教訓4

クリティカル品の設計，製造不良を見抜く品質管理が必要

- ① 製造者の品質保証体制に係る監査的手法活用による評価を行うこと。
- ② 要求する製品の機能・性能を担保するために必要な検査を特定し実施すること。当該品質記録を残すこと。
- ③ 海外品については、文書で明確に要求しない限り、国内プラントメーカーと同様な品質管理（品質記録の作成・提出）は行われないことを踏まえた対応が必要。
- ④ 一般産業品であってもクリティカル品には①または②等の手法を用いて設計，製造品質を担保すること。

【2号機燃料取扱設備での対応】

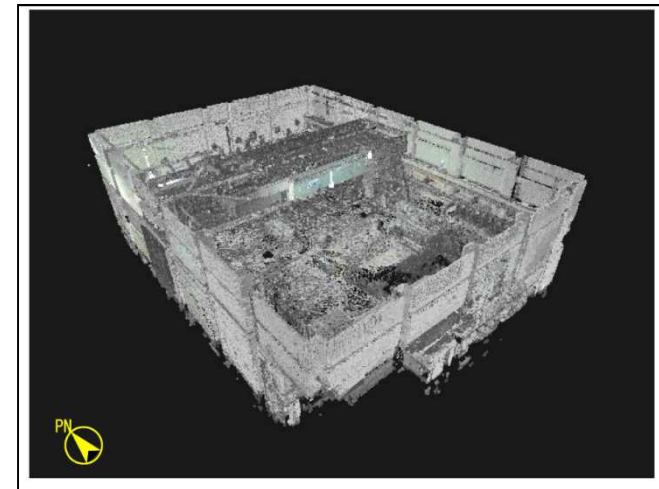
- ① サブベンダ含む受注者施設へのアクセスを要求しており，必要に応じて設計検証や品質審査資料等の確認を行う。
- ② 当社（各専門部門含む）と受注者間で検討した検査項目に基づいて検査を行い品質記録として管理する。
- ③ 国内メーカーを選定する。
- ④ クリティカル品に対しては製品品質の担保，もしくは予備品の確保にてプロジェクトリスクの低減を図る。

■ 3号機燃料取扱設備不具合事象から得た教訓5

- ① 現地調査を踏まえた情報をインプットとすること。
- ② 検証方法（モックアップで確認できること、できないこと）を確実にレビューすること。

【2号機燃料取扱設備での対応】

- ① 2018年12月～2019年2月に取得した2号機原子炉建屋オペフロの3Dレーザースキャンデータを活用し、燃料取扱設備の動作範囲と既存設備／躯体との干渉を確認済み。
- ② 要求追跡表（次頁参照）を用いて、要求仕様ごとに適用性確認方法を確認する。



3Dスキャンデータ

■ 3号機燃料取扱設備不具合事象から得た教訓6

設計・製造・工事段階の変更管理を受注者（サブベンダ）に適切に実施させること（発注者へも報告）

- ① 受注者に変更管理を確実に実施させ、発注者が確認可能なように、文書や品質記録等に変更内容・変更に伴う影響評価、作業や検査の場合は、手順書での条件の明記およびその復旧記録を残すこと。
- ② 検査条件は現地条件に合わせる。仮に変更する場合は機能・性能の観点から影響を評価させ発注者の了承を得ること。

【2号機燃料取扱設備での対応】

- ① 変更管理に加え、要求追跡表を整備し、設計変更時の影響範囲を明確とし、検査漏れを防止する。
- ② 検査条件を現地と合わせる。検査条件に差異がある場合は現地据付後の検査にて確認する。

～要求追跡表（例）～

機器名称	① 実施計画	② 東電購入仕様書	③ メーカー発行図書 (系統/機器/購入仕様書)	④ ベンダー発行図書	設計検証 ①～④間で 要求仕様の 反映されていることを 確認	適合性 確認方法	適合性 確認結果
燃料取扱機	燃料取扱機は二重のワイヤなどにより落下防止を図る。	燃料取扱機のワイヤは二重化すること。	系統仕様 … 機器仕様 … 購入仕様	外形図 … 強度計算書 …	各図書発行時に結果を追記	工場検査 ・材料 ・外観	適合性確認完了時に結果を追記
…	…	…	…	…	…	…	…

■ 3号機燃料取扱設備不具合事象から得た教訓7

- リカバリ対応を可能とするために適切な内容の設備図書を提出させること
- ① I B Dを提出させること。ブラックボックスとならないよう、E C W Dを提出させること
- ② 取扱説明書のトラブルシューティングの記載を充実させること
- リカバリ対応を行うに当たり、当社の対応能力(設備図書等の保有するトラブルシューティング情報)を見極め、元請・サブベンダとトラブル体制を構築すること

【2号機燃料取扱設備での対応】

- ① 図書要求に不足がないか専門部門を含めた確認を実施した。
- ② 警報発生時の対応・復旧手順を含んだ取扱説明書の提出を要求する。
- ③ 工場試験時に当社社員が駐在し、当社の対応能力の向上を図る。また、元請・サブベンダを国内メーカーとすることで、トラブル時の体制構築が可能。

説明スケジュール

- 本申請内容は、下記スケジュールに沿って説明する。

2号機燃料取扱設備及び燃料取り出し用構台 実施計画変更申請の説明スケジュール(案)												
※説明進捗に合わせて適宜変更												
No.	説明内容 (実施計画の構成に基づいて説明)	2020年度										
		12月	1月			2月			3月			
全体スケジュール		申請(12/25) ▼	監視評価検討会(1/25) ▼							コメント回答期間		
1	申請, 申請範囲と措置を講ずべき事項への適合性に関する説明	第1回(12/25) ▼										
2	燃料取扱設備概要と燃料取扱いに関する説明 【記載箇所】 2.11.1 基本設計 2.11.2 基本仕様 2.11 添付資料-1-1 燃料の落下防止, 臨界防止に関する説明書 2.11 添付資料-5 使用済燃料プールからの燃料取り出し工程表			第2回(1/13) ▼							第10回(3/25) ▼	
3	燃料取り出し用構台の構造強度及び耐震性に関する説明 【記載箇所】 2.11.1 基本設計 2.11 添付資料-4-2 燃料取り出し用カバーの構造強度及び耐震性に関する説明書				第3回(1/21) ▼					第8回(3/9) ▼		
4	燃料取扱設備の構造強度及び耐震性に関する説明 【記載箇所】 2.11.1 基本設計 2.11.2 基本仕様 2.11 添付資料-4-1 燃料取扱設備の構造強度及び耐震性に関する説明書					第4回(1/28) ▼					第9回(3/17) ▼	
5	換気設備の設備概要, 構造強度と耐震性に関する説明 【記載箇所】 2.11.1 基本設計 2.11.2 基本仕様 2.11 添付資料-3-1 放射性物質の飛散・拡散を防止するための機能に関する説明書 2.11 添付資料-4-3 燃料取り出し用カバー換気設備の構造強度及び耐震性に関する説明書						第5回(2/4) ▼				第10回(3/25) ▼	
6	原子炉建屋オペレーティングフロアに設置する遮蔽体に関する説明 【記載箇所】 2.11 添付資料-4-2 別添8 2号機原子炉建屋 オペレーティングフロア床面に設置する遮蔽体の落下防止について							第6回(2/10) ▼			第10回(3/25) ▼	
7	放射線管理関係設備, 保安措置に関する説明 【記載箇所】 2.11 添付資料-1-2 放射線モニタリングに関する説明書 2.15.1 基本設計 2.15.2 基本仕様 2.15 添付資料-1 ダスト放射線モニタ系統概略図 Ⅲ 第1編 第42条 気体廃棄物の管理 Ⅲ 第1編 第60条 外部放射線に係る線量当量率等の測定 Ⅲ 第1編 第61条 放射線計測器類の管理 Ⅲ 第3編 2.1.3 放射性気体廃棄物等の管理 Ⅲ 第3編 3.1.2 放射線管理								第7回(2/18) ▼			
8	燃料の健全性及び移送操作中の燃料集合体の落下に係る説明 【記載箇所】 2.11 添付資料-1-3 燃料の健全性確認及び取扱いに関する説明書 2.11 添付資料-3-3 移送操作中の燃料集合体の落下											

説明スケジュール



2号機燃料取扱設備及び燃料取り出し用構台 実施計画変更申請の説明スケジュール(案)														
※説明進捗に合わせて適宜変更														
No.	説明内容(実施計画の構成に基づいて説明)	2021年度												
		4月		5月		6月		7月		8月		9月	10月	11月
全体スケジュール		コメント回答期間										補正申請予定	規制庁取り組み期間	認可希望
1	申請、申請範囲と措置を講ずべき事項への適合性に関する説明													
2	燃料取扱設備概要と燃料取扱いに関する説明 【記載箇所】 2.11.1 基本設計 2.11.2 基本仕様 2.11 添付資料 - 1 - 1 燃料の落下防止、臨界防止に関する説明書 2.11 添付資料 - 5 使用済燃料プールからの燃料取り出し工程表	第12回(4/14)	第14回(4/26週)											
3	燃料取り出し用構台の構造強度及び耐震性に関する説明 【記載箇所】 2.11.1 基本設計 2.11 添付資料 - 4 - 2 燃料取り出し用カバーの構造強度及び耐震性に関する説明書		第13回(4/19週)											
4	燃料取扱設備の構造強度及び耐震性に関する説明 【記載箇所】 2.11.1 基本設計 2.11.2 基本仕様 2.11 添付資料 - 4 - 1 燃料取扱設備の構造強度及び耐震性に関する説明書		第13回(4/19週)											
5	換気設備の設備概要、構造強度と耐震性に関する説明 【記載箇所】 2.11.1 基本設計 2.11.2 基本仕様 2.11 添付資料 - 3 - 1 放射性物質の飛散・拡散を防止するための機能に関する説明書 2.11 添付資料 - 4 - 3 燃料取り出し用カバー換気設備の構造強度及び耐震性に関する説明書		第12回(4/14)											
6	原子炉建屋オペレーティングフロアに設置する遮蔽体に関する説明 【記載箇所】 2.11 添付資料 - 4 - 2 別添8 2号機原子炉建屋 オペレーティングフロア床面に設置する遮蔽体の落下防止について		第12回(4/14)											
7	放射線管理関係設備、保安措置に関する説明 【記載箇所】 2.11 添付資料 - 1 - 2 放射線モニタリングに関する説明書 2.15.1 基本設計 2.15.2 基本仕様 2.15 添付資料 - 1 ダスト放射線モニタ系統概略図 Ⅲ 第1編 第42条 気体廃棄物の管理 Ⅲ 第1編 第60条 外部放射線に係る線量当量率等の測定 Ⅲ 第1編 第61条 放射線計測器類の管理 Ⅲ 第3編 2.1.3 放射性気体廃棄物等の管理 Ⅲ 第3編 3.1.2 放射線管理	第11回(4/1)												
8	燃料の健全性及び移送操作中の燃料集合体の落下に係る説明 【記載箇所】 2.11 添付資料 - 1 - 3 燃料の健全性確認及び取り扱いに関する説明書 2.11 添付資料 - 3 - 3 移送操作中の燃料集合体の落下			第14回(4/26週)										
9	使用前検査に関する説明 【記載箇所】 2.11 添付資料 - 1 - 1 燃料の落下防止、臨界防止に関する説明書 2.11 添付資料 - 1 - 2 放射線モニタリングに関する説明書 2.11 添付資料 - 3 - 1 放射性物質の飛散・拡散を防止するための機能に関する説明書 2.11 添付資料 - 4 - 1 燃料取扱設備の構造強度及び耐震性に関する説明書 2.11 添付資料 - 4 - 2 燃料取り出し用カバーの構造強度及び耐震性に関する説明書				第15回(5/10週)									

■ 補足説明資料

- 添付資料1 燃料取り出し用構台 補足説明資料
- 添付資料2 燃料取扱設備の耐震性についての計算書
- 添付資料3 換気設備 換気風量について
- 添付資料4 原子炉建屋オペレーティングフロア床面に設置する遮蔽体の耐震性についての計算書
- 添付資料5 使用前検査時の確認事項について

換気設備 換気風量について

1. 必要換気風量の設定

燃料取扱設備等の電気品保護のため、原子炉建屋オペレーティングフロア及び燃料取り出し用構台前室内の環境を 40℃以下(設計値)となるよう換気設備の換気風量を設定する。また、各エリアの放射性物質濃度が上がらないよう換気回数 0.5 回/h 以上を確保することを目安とする。これらの要求を満足する換気風量として、原子炉建屋オペレーティングフロアの換気風量を 20000(m³/h)、燃料取り出し用構台の換気風量を 10000(m³/h)に設定した。具体的な算定結果を以下に示す。

1.1 原子炉建屋オペレーティングフロアの環境維持に必要な換気風量

(1) 設計用熱負荷の除熱に必要な換気風量

$$Q_1 = q_1 / (C_p \cdot \rho \cdot (t_{1a} - t_2) \cdot 1/3600) = 15580 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

Q_1 :設計用熱負荷の除熱に必要な換気風量(m³/h)

q_1 :設計用熱負荷, 約 60 (kW)(機器発熱(照明), 使用済燃料プールからの熱)

C_p :定圧比熱, 1.004652(kJ/kg・℃)

ρ :密度, 1.2(kg/m³)

t_{1a} :原子炉建屋オペレーティングフロア温度, 40(℃)

t_2 :設計用外気温度, 28.5(℃)

(2) 換気回数の確保に必要な換気風量

$$Q'_1 = Vol_1 \cdot 0.5 = 13000 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

Q'_1 :換気回数 0.5 回/h に必要な換気風量(m³/h)

Vol_1 :原子炉建屋オペレーティングフロア内容積, 約 26000(m³)

1.2 燃料取り出し用構台の環境維持に必要な換気風量

(1) 設計用熱負荷の除熱に必要な換気風量(m³/h)

$$Q_2 = q_2 / (C_p \cdot \rho \cdot (t_{1b} - t_2) \cdot 1/3600) = 5193 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

Q_2 :設計用熱負荷の除熱に必要な換気風量(m³/h)

q_2 :設計用熱負荷, 約 20 (kW)(機器発熱(照明))

C_p :定圧比熱, 1.004652(kJ/kg・℃)

ρ :密度, 1.2(kg/m³)

t_{1b} :燃料取り出し用構台前室内温度, 40(℃)

t_2 :設計用外気温度, 28.5(℃)

(2) 換気回数の確保に必要な換気風量

$$Q'_2 = Vol_2 \cdot 0.5 = 8000 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

Q'_2 :換気回数 0.5 回/h に必要な換気風量(m³/h)

Vol_2 :燃料取り出し用構台前室内内容積, 約 16000(m³)

2. 原子炉建屋オペレーティングフロア及び燃料取り出し用構台における気流の流れ

1 章に基づき, 原子炉建屋オペレーティングフロアの換気風量を 20000(m³/h), 燃料取り出し用構台の換気風量を 10000(m³/h)に設定した場合の気流の流れを評価する。

2.1 評価モデル

評価モデルを図 1 に, 評価で考慮する隙間を表 1 に示す。

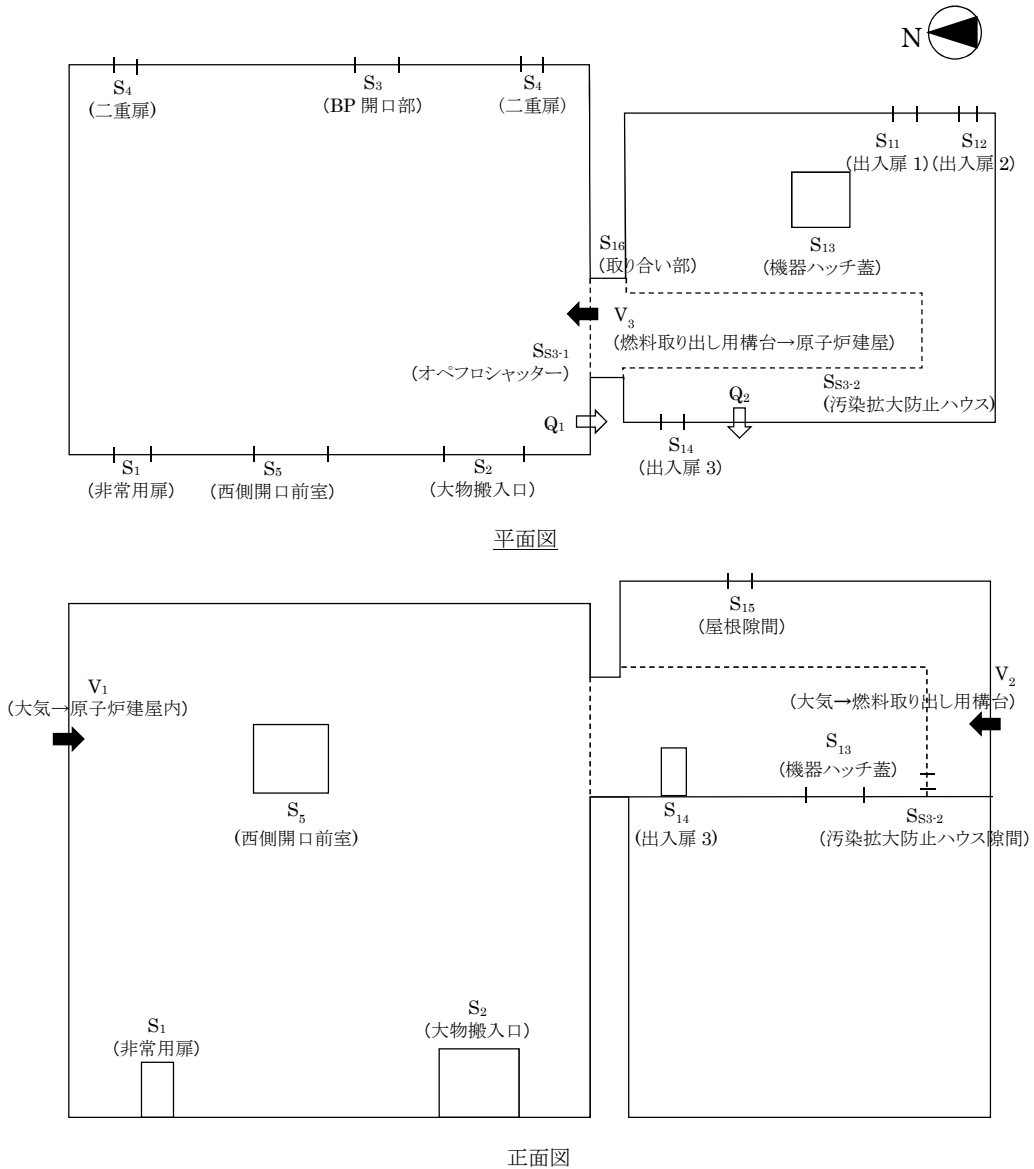


図 1 評価モデル

表 1 評価で考慮する隙間面積

記号	名称	単位	数値(*)	備考
S _{S1}	原子炉建屋隙間 合計面積	m ²	—	
S ₁	非常用扉 開口面積(*)	m ²	0	津波対策のため閉止済
S ₂	大物搬入口 開口面積(*)	m ²	0	津波対策のため閉止済
S ₃	ブローアウトパネル(BP)開口部 隙間面積(*)	m ²	0.34	
S ₄	原子炉建屋二重扉(南北)開口面積(*)	m ²	0	津波対策のため閉止済
S ₅	西側開口前室 開口面積	m ²	0.464	西側開口前室隙間合計
S _{S2}	燃料取り出し用構台隙間合計面積	m ²	—	
S ₁₁	出入扉 1 隙間	m ²	0.06	
S ₁₂	出入扉 2 隙間	m ²	0.08	
S ₁₃	機器ハッチ蓋隙間	m ²	0.2	
S ₁₄	出入扉 3 隙間	m ²	0.06	
S ₁₅	燃料取り出し用構台屋根隙間	m ²	0.98	
S ₁₆	燃料取り出し用構台取り合い部隙間	m ²	0.42	オペプロシャッター開時は S _{S1} に加算 オペプロシャッター閉時は S _{S2} に加算
S _{S3-1}	オペプロシャッター隙間	m ²	2.33	オペプロシャッター閉時に 適用
S _{S3-2}	汚染拡大防止ハウス隙間	m ²	2.34	オペプロシャッター開時に 適用

(*)原子炉建屋からの放出量評価適用値。

2.2 評価ケース

燃料取り出し作業時に、大気から原子炉建屋へ、大気から燃料取り出し用構台へ、燃料取り出し用構台から原子炉建屋へ流入する気流を確認する。評価ケースは以下の 2 ケースとする。

(1) オペフロシャッター閉時 (作業手順③～⑧, ⑮～⑲, ⑳～㉓)

オペフロシャッター閉, 汚染拡大防止ハウスは収納状態とした場合の評価モデルを図 2 に示す。

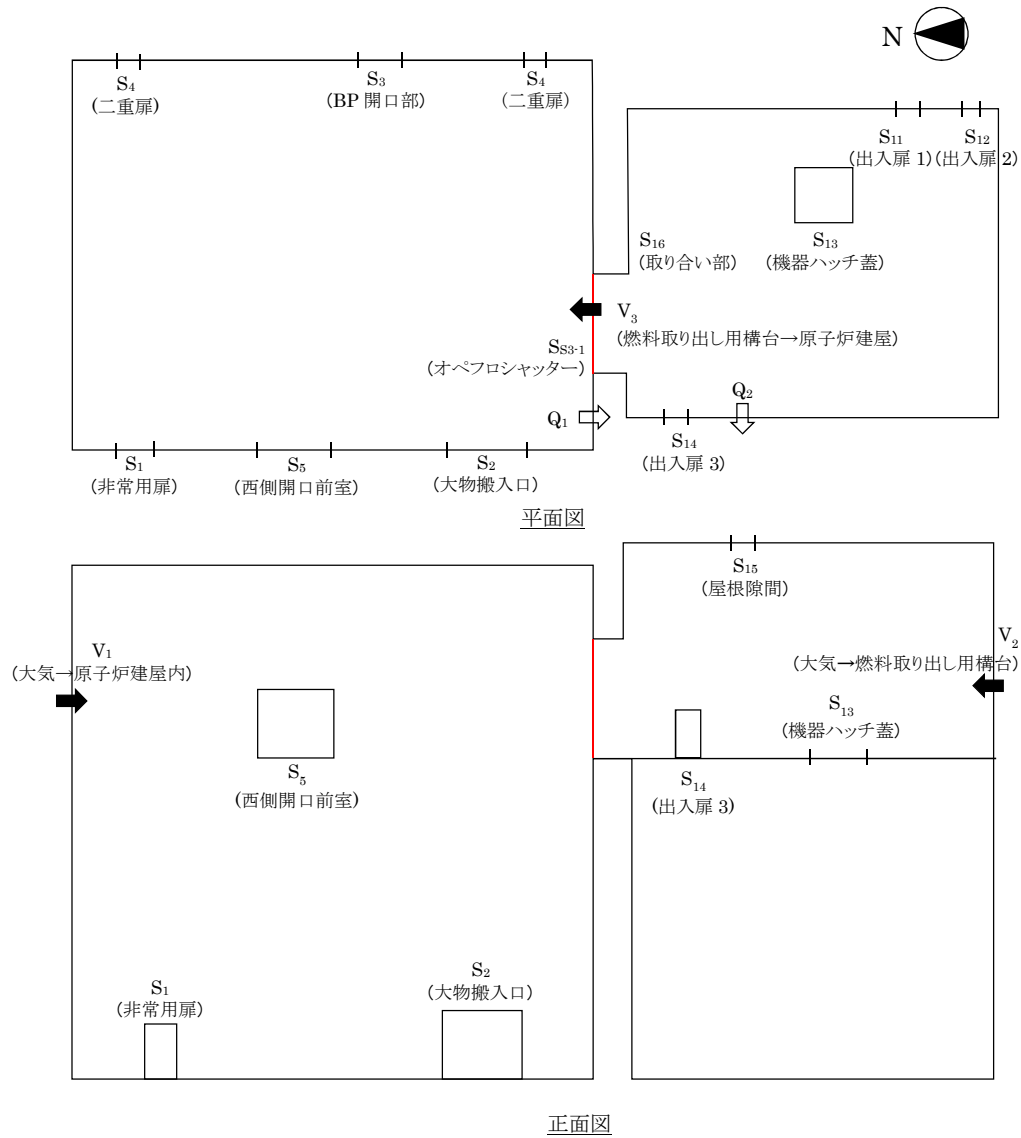


図 2 オペフロシャッター閉時 評価モデル

(2) オペフロシャッター開時(作業手順⑨～⑭, ③⑩～③⑮)

オペフロシャッター開, 汚染拡大防止ハウスは展開状態とした場合の評価モデルを図 3 に示す。

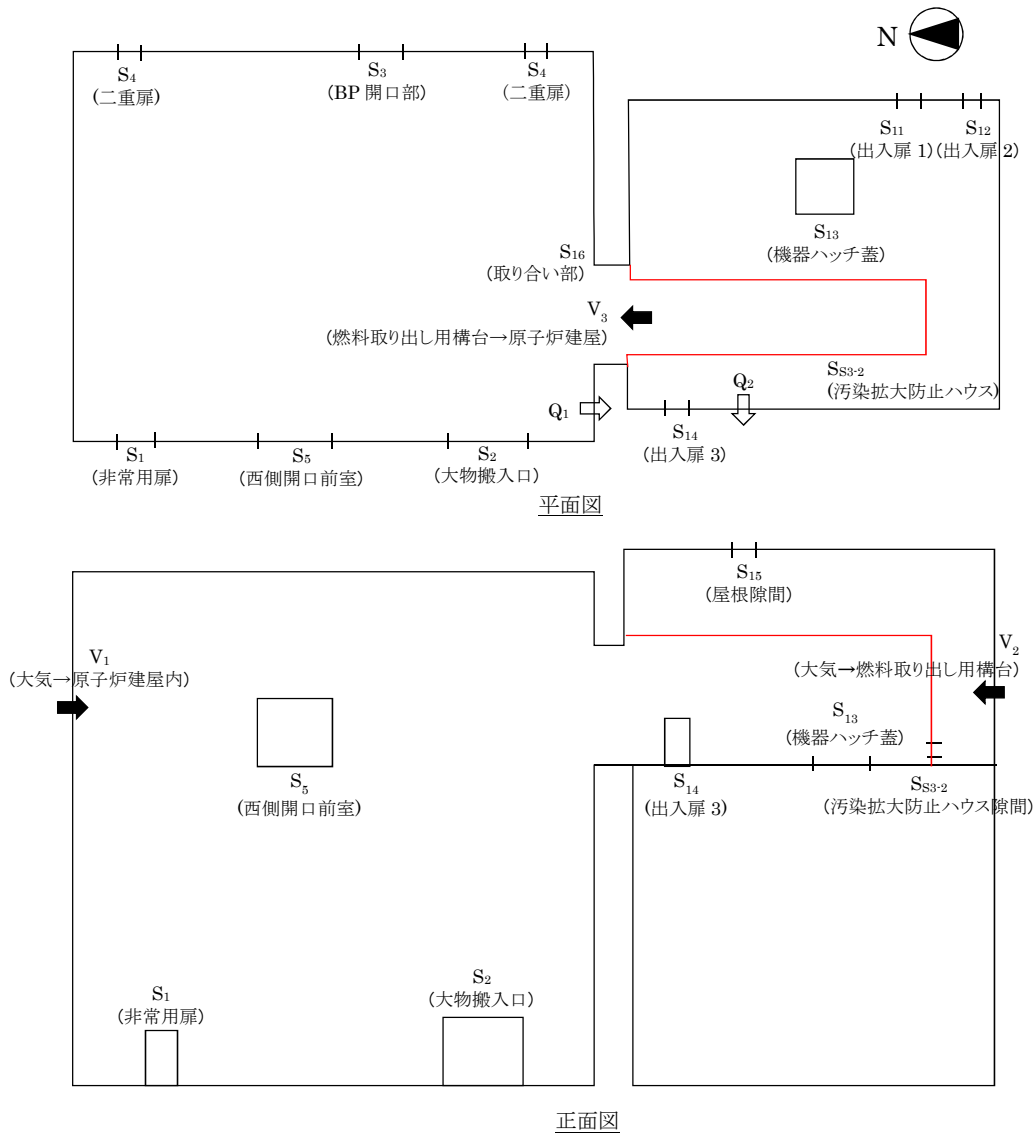


図 3 オペフロシャッター開時 評価モデル

2.3 評価方法

燃料取り出し用構台から原子炉建屋オペレーティングフロアへ気流の流れが生じている状態では原子炉建屋、燃料取り出し用構台でのマスバランスは以下の通りとなる。

$$Q_1 = (V_1 \times S_{S1} + V_3 \times S_{S3}) \times 3600 \quad (1)$$

$$Q_2 = (V_2 \times S_{S2} - V_3 \times S_{S3}) \times 3600 \quad (2)$$

Q_1 : 原子炉建屋換気風量 20000(m³/h)

Q_2 : 燃料取り出し用構台換気風量 10000(m³/h)

S_{S1} : 原子炉建屋隙間合計面積 表 1 参照

S_{S2} : 燃料取り出し用構台隙間合計面積 表 1 参照

S_{S3} : 原子炉建屋／燃料取り出し用構台間隙間 表 1 参照

V_1 : 大気から原子炉建屋への流入風速(m/s)

V_2 : 大気から燃料取り出し用構台への流入風速(m/s)

V_3 : 燃料取り出し用構台から原子炉建屋への流入風速(m/s)

各流入風速は以下の式より求める。

$$P_0 - P_1 = \zeta \times \rho \times V_1^2 / 2g \quad (3)$$

$$P_0 - P_2 = \zeta \times \rho \times V_2^2 / 2g \quad (4)$$

$$P_2 - P_1 = \zeta \times \rho \times V_3^2 / 2g \quad (5)$$

P_0 : 大気圧 0(Pa)

P_1 : 原子炉建屋内圧(Pa)

P_2 : 燃料取り出し用構台内圧(Pa)

ζ : 形状抵抗係数 2.00(-)

ρ : 空気密度 1.2(kg/m³)

g : 重力加速度 9.81(m/s²)

大気圧を 0(Pa)とし、(3)～(5)式を変形する。

$$V_1 = \sqrt{-P_1 \times 2g / (\zeta \times \rho)} \quad (6)$$

$$V_2 = \sqrt{-P_2 \times 2g / (\zeta \times \rho)} \quad (7)$$

$$V_3 = \sqrt{(P_2 - P_1) \times 2g / (\zeta \times \rho)} \quad (8)$$

(6)～(8)式を(1)、(2)式に代入し、マスバランスを満たす P_1 、 P_2 を求める。

2.4 算定結果

2.3 項に記載の方法に従い、原子炉建屋内圧、燃料取り出し用構台内圧を算定し、各流入風速を算定した。

記号	名称	単位	オペフロ シャッター閉時	オペフロ シャッター開時
P ₁	原子炉建屋内圧	Pa	-1.28	-1.38
P ₂	燃料取り出し用構台内圧	Pa	-1.23	-1.20
V ₁	大気から原子炉建屋への 流入風速	m/s	3.2	3.4
V ₂	大気から燃料取り出し用構台へ の流入風速	m/s	3.2	3.1
V ₃	燃料取り出し用構台から 原子炉建屋への流入風速	m/s	0.68	1.2

2.5 評価

2.4 項に示す通り、オペフロシャッターの開閉状態に関わらず、大気から原子炉建屋へ、大気から燃料取り出し用構台へ、燃料取り出し用構台から原子炉建屋へ流入する気流が生じる。

以上より、ダスト飛散抑制の観点で適切に換気風量が設定されていることを確認した。

3. まとめ

1 章及び 2 章に示す通り、原子炉建屋オペレーティングフロアの換気風量を 20000(m³/h)、燃料取り出し用構台の換気風量を 10000(m³/h)と設定することで、原子炉建屋及び燃料取り出し構台内の温度維持、換気回数確保、ダスト飛散抑制のための気流の確保が可能となることを確認した。

原子炉建屋オペレーティングフロア床面に設置する
遮蔽体の耐震性についての計算書

I. 遮蔽体に係る耐震設計の基本方針

1. 設備の重要度による耐震クラス別分類

備名	耐震 クラス別	確認用 地震動
遮蔽体	ノンクラス	Ss

2号機原子炉建屋内の作業環境改善のため、原子炉建屋内のオペレーティングフロア床面及び壁側に遮蔽体を設置する計画としている。

遮蔽体の耐震クラス別分類は原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG4601・補-1984)に規定される放射性物質にかかわる設備には該当しないため、ノンクラスとなる。但し、オペレーティングフロアに設置する遮蔽体のうち使用済燃料プール周りに設置するものが、地震による破損などの事象により、使用済燃料プール及び使用済燃料ラックに波及的影響を及ぼさないことを確認する。

本資料では、使用済燃料プール周りに設置する下記遮蔽体の支持部材の構造強度の結果を示す。各遮蔽体の配置を図 1 に示す。なお、本書に示す形状は現場の状況に合わせて変更する可能性がある。

- (1) 使用済燃料プール(SFP)北側遮蔽
- (2) 使用済燃料プール(SFP)南側遮蔽
- (3) 使用済燃料プール(SFP)東側遮蔽
- (4) 使用済燃料プール(SFP)西側遮蔽

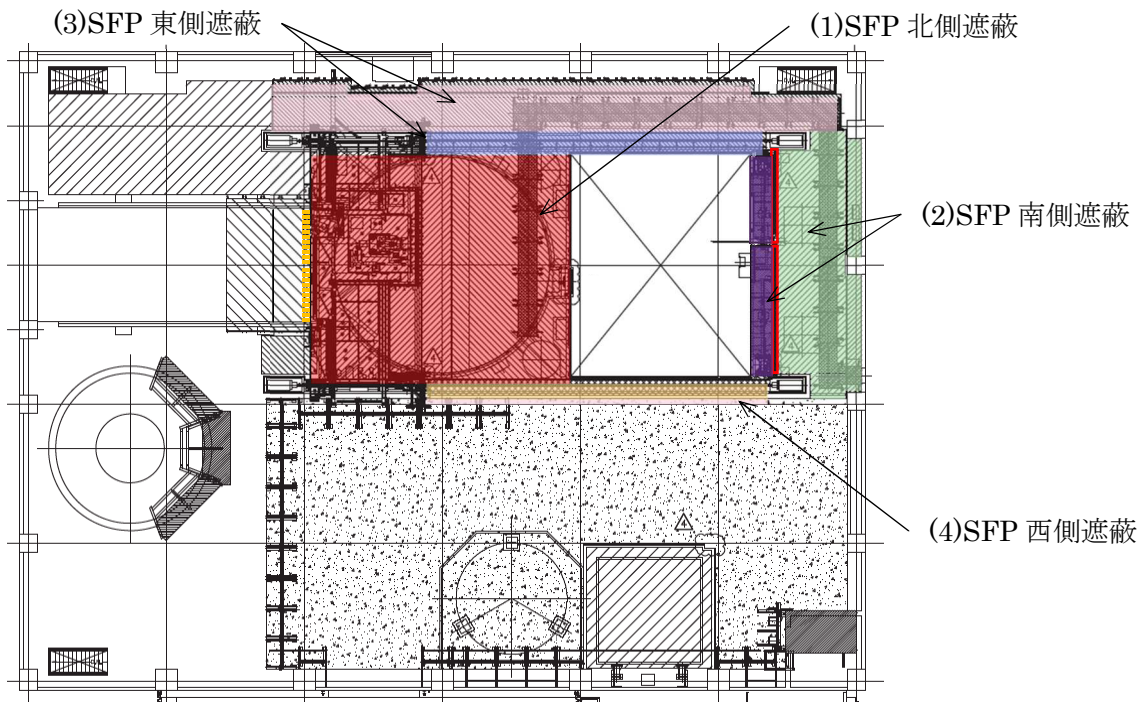


図 1 使用済燃料プール周りに設置する遮蔽体

2. 設計用地震力

遮蔽体の耐震評価には、原子炉建屋オペレーティングフロアの層せん断係数より 1.2 倍の裕度を考慮した静的地震力(水平震度 0.99G, 鉛直震度 0.29), 地震応答解析結果に 1.2 倍の裕度を考慮した動的地震力(水平震度 0.94G, 鉛直震度 0.54)のうち、保守的となる地震力を選定する。

遮蔽体に負荷される水平力 F は以下のようにあらわされる。

$$F = mgC_H - \mu(1 - C_V)mg = (C_H - \mu(1 - C_V))mg$$

m : 遮蔽体質量

g : 重力加速度

C_H : 水平方向地震力

C_V : 鉛直方向地震力

μ : 摩擦係数(=0.25)

上式において静的地震力により遮蔽体に負荷される水平力 F は、

$$F = 0.8125mg$$

動的地震力による遮蔽体に負荷される水平力 F は、

$$F = 0.825mg$$

となり、動的地震力の方が大きくなる。以降の評価では、遮蔽体の設計用地震力として動的地震力を適用する。

3. 荷重の組合せ, 応力算定及び許容応力

記号の説明

D : 死荷重

Ss : Ss 地震動により求まる地震力

1.5f_s: 許容せん断応力

設計・建設規格 SSB-3121.3 により規定される値

1.5f_c: 許容圧縮応力

同上

1.5f_b: 許容曲げ応力

同上

荷重の組合せ	許容限界		
	1 次応力		
	せん断	圧縮	曲げ
D+Ss	1.5f _s	1.5f _c	1.5f _b

注) 組合せ応力についても評価する。

II. 遮蔽体の耐震性についての計算書

1. 概要

1.1. 一般事項

本計算書は遮蔽体の耐震性についての計算書である。

2. 計算条件

- (1) 遮蔽体は原子炉建屋のオペレーティングフロア上に設置されるため、摩擦係数($\mu=0.25$)*を考慮する。

(*電中研報告書「使用済燃料キャスク貯蔵技術の確立-地震時のキャスク転倒評価-」(研究報告:U92037)より、コンクリート及び鋼材表面の塗装条件を様々に変化させた試験結果のうち、最も不利な摩擦係数を適用する。

3. 評価方法

3.1. 応力算定方法

各遮蔽体の支持部に発生する曲げ応力, せん断応力, 支圧応力を工学算定式により算出し, それぞれ許容応力以下となることを確認する。また, 曲げ応力とせん断応力が同時に負荷される場合には, 組合せ応力が許容応力以下となることを確認する。

3.2. 応力の評価方法

材料及び許容応力を表 1 に示す。

表 1 材料及び許容応力

部位		材質	許容応力 (MPa)	
SFP 北側遮蔽	ブラケット	SS400	曲げ	280
			せん断	161
			組合せ	280
	D/S プールカバー 支持ビーム(既設)	A6061T6	支圧	252
SFP 南側遮蔽	荷重受け部材①	SS400	曲げ	280
			せん断	161
			組合せ	280
	荷重受け部材②	SS400	曲げ	280
			せん断	161
			組合せ	280
	引っ掛け部材	SS400	曲げ	280
			せん断	161
			組合せ	280
SFP 東側遮蔽	荷重受け部材	SS400	曲げ	280
			せん断	161
			組合せ	280
	引っ掛け部材	SS400	曲げ	323
			せん断	161
			組合せ	280
SFP 西側遮蔽	荷重受け部材	SS400	曲げ	323
			せん断	161
			組合せ	280

4. 設計条件

4.1. 耐震上の重要度分類 ランク(Ss)

4.2. 据付場所及び床面高さ 原子炉建屋オペレーティングフロア T.P.38484

4.3. 設計震度

水平震度 0.94G, 鉛直震度 0.54G

4.4. 荷重条件

自重+地震荷重

5. 結論

強度評価の結果を表 2 に示す。使用済燃料プール周りに設置する遮蔽体について、地震時水平荷重負荷時に支持部材に生じる応力は許容応力を下回るため、遮蔽体が使用済燃料プールへ落下することはない。

表 2 遮蔽体支持部材の構造強度評価結果

部位	材質	許容応力 (MPa)		算出応力 (MPa)
		曲げ	せん断	組合せ
SFP 北側遮蔽	ブラケット	曲げ	280	146
		せん断	161	46
		組合せ	280	167
	D/S プールカバー 支持ビーム(既設)	A6061T6	支圧	252
SFP 南側遮蔽	荷重受け部材①	曲げ	280	244
		せん断	161	17
		組合せ	280	246
	荷重受け部材②	曲げ	280	270
		せん断	161	20
		組合せ	280	273
	引っ掛け部材	曲げ	280	52
		せん断	161	3
		組合せ	280	53
SFP 東側遮蔽	荷重受け部材	曲げ	280	23
		せん断	161	6
		組合せ	280	26
	引っ掛け部材	曲げ	323	201
		せん断	161	13
		組合せ	280	203
SFP 西側遮蔽	荷重受け部材	曲げ	323	69
		せん断	161	2
		組合せ	280	70

6. 数値計算

6.1. SFP 北側遮蔽

6.1.1 形状・寸法

SFP 北側遮蔽は図 2 に示す通り、SFP 北側のオペレーティングフロア上に並べられた各遮蔽体支持部材間を、かぎ型のフックで接続し、SFP 北側遮蔽全体の地震時水平方向荷重を、北側端部の遮蔽体支持部材のブラケットで支持する構造を有する。そのため、地震時水平方向荷重がブラケットに負荷された場合の強度評価を行う。また、ブラケットと取合い地震時荷重が負荷される D/S プールカバー支持ビームの強度評価を行う。

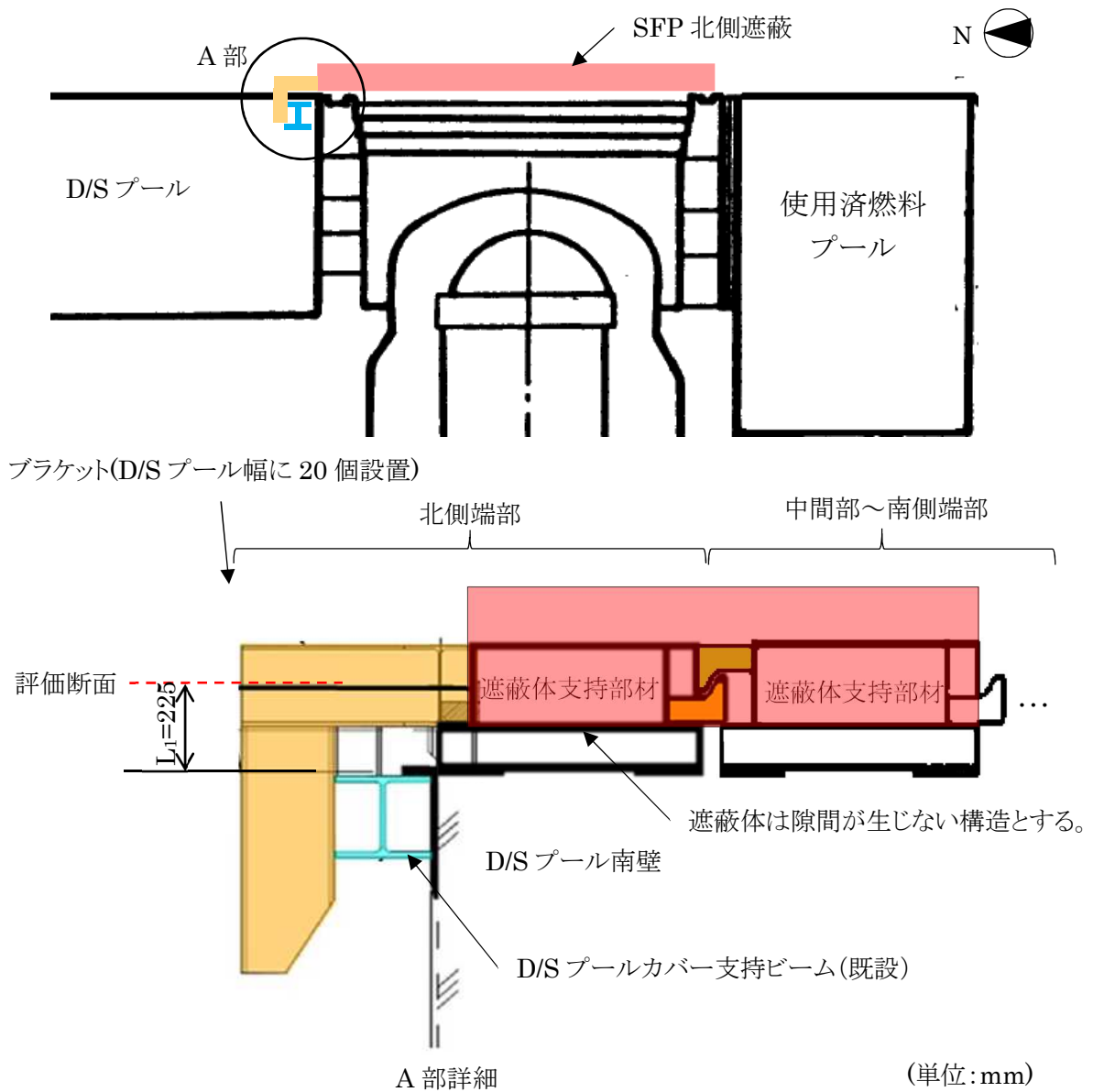


図 2 SFP 北側遮蔽 評価対象部

6.1.2 ブラケットの強度

(1) 曲げ応力

$$P_1 = W_1 \cdot g \cdot (C_H - \mu(1 - C_V))/N_1$$

P_1 :地震時にブラケット 1 個あたりに生じる荷重(N)

W_1 :SFP 北側遮蔽質量 432000(kg)

g :重力加速度 9.80665(m/s²)

C_H :水平方向設計震度 0.94

C_V :鉛直方向設計震度 0.54

μ :摩擦係数 0.25

N_1 :ブラケット数量 20

$$M_1 = P_1 \cdot L_1$$

$$\sigma_1 = M_1/Z_1 = 146(\text{MPa})$$

σ_1 :ブラケット 1 個あたりに生じる曲げ応力(MPa)

M_1 :ブラケット 1 個あたりに生じる曲げモーメント(N・mm)

L_1 :評価断面から荷重点の距離 225(mm)

Z_1 :ブラケットの断面係数 271000(mm³)

(2) せん断応力

$$\tau_1 = P_1/A_1 = 46(\text{MPa})$$

τ_1 :ブラケット 1 個あたりに生じるせん断力(N)

A_1 :ブラケットの断面積 3811(mm²)

(3) 組合せ応力

$$\sigma_{fa1} = \sqrt{\sigma_1^2 + 3 \cdot \tau_1^2} = 167(\text{MPa})$$

σ_{fa1} :ブラケット 1 個あたりに生じる組合せ応力(MPa)

6.1.3 D/S プールカバー支持ビームの強度

(1) 支圧応力

$$\sigma_{p1} = P_1/A_2 = 73(\text{MPa})$$

σ_{p1} :D/S プールカバー支持ビームに生じる支圧応力(MPa)

A_2 :D/S プールカバー支持ビームの支圧断面積 2400(mm²)

6.2. SFP 南側遮蔽

6.2.1 形状・寸法

SFP 南側遮蔽は図 3 に示す通り、SFP 南側のオペレーティングフロア上に並べられた遮蔽体の地震時水平方向荷重をジブクレーン及びチャンネル取扱いブーム間に設置する荷重受け部材で支持する構造を有する。ジブクレーン及びチャンネル取扱いブームはケミカルアンカーにて十分な強度で原子炉建屋オペレーティングフロア床面に固定されているため、地震時水平方向荷重を支持する荷重受け部材の強度評価を行う。また、SFP 南側遮蔽のうち、荷重受け部材より使用済燃料プール側に設置する遮蔽体の地震時水平荷重が、同遮蔽体の引っ掛け部材に負荷された場合の強度評価を行う。

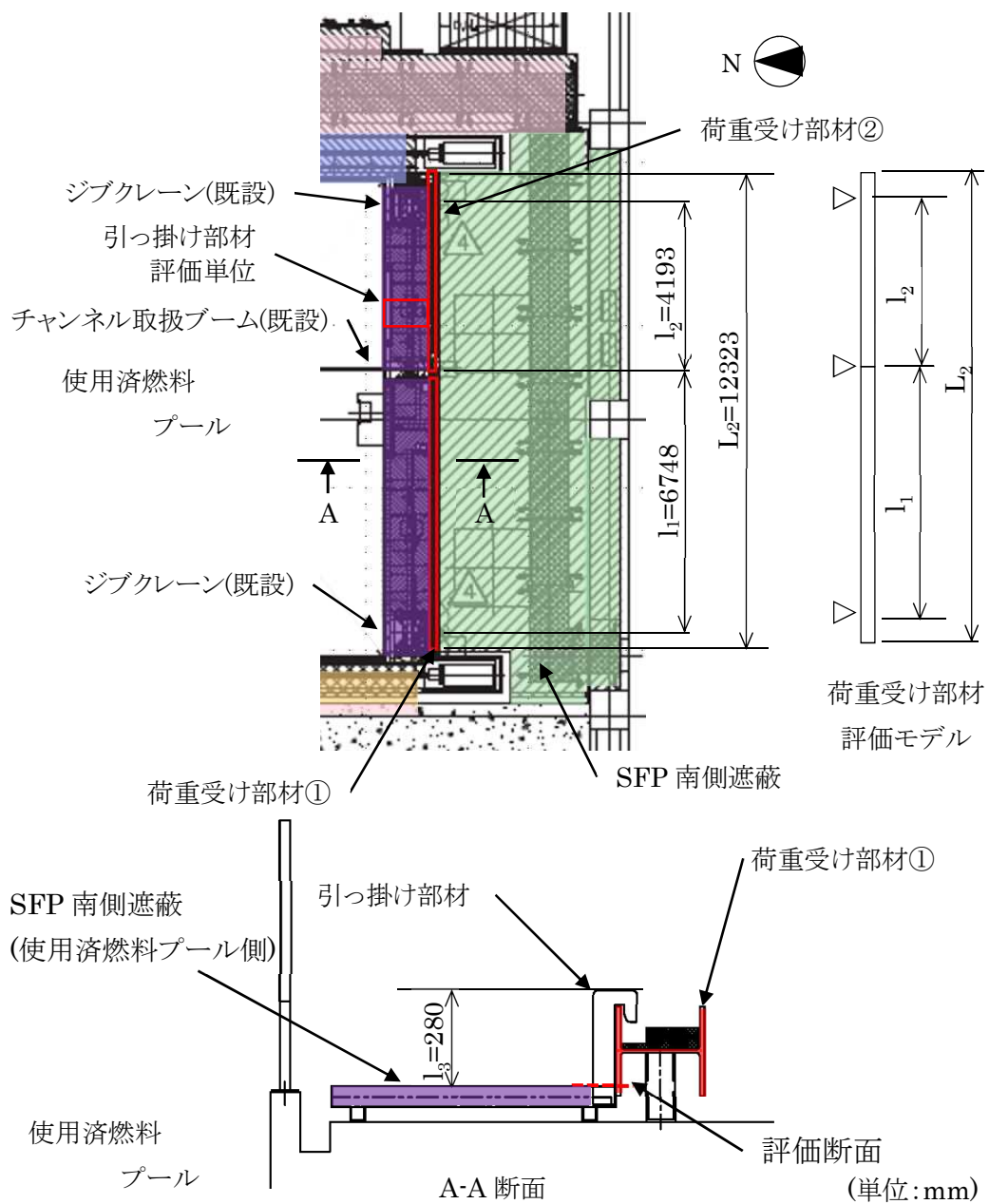


図 3 SFP 南側遮蔽体 評価対象部

6.2.2 荷重受け部材①の強度

(1) 曲げ応力

$$P_2 = W_2 \cdot g \cdot (C_H - \mu(1 - C_V))/L_2$$

P_2 :地震時に荷重受け部材に生じる単位長さ当たりの荷重(N/mm)

W_2 :SFP 南側遮蔽質量 88000(kg)

L_2 :荷重受け部材が荷重を受ける長さ 12323(mm)

$$M_2 = P_2 \cdot l_1^2/8$$

$$\sigma_2 = M_2/Z_2 = 244(\text{MPa})$$

σ_2 :荷重受け部材①に生じる曲げ応力 (MPa)

M_2 :荷重受け部材①に生じる曲げモーメント(N・mm)

l_1 :荷重受け部材①の支持点間距離 6748(mm)

Z_2 :荷重受け部材①の断面係数 1350000(mm³)

(2) せん断応力

$$\tau_2 = P_2 \cdot l_1/(2 \cdot A_1) = 17(\text{MPa})$$

τ_2 :荷重受け部材①に生じるせん断応力(MPa)

A_3 :荷重受け部材①の断面積 11850(mm²)

(3) 組合せ応力

$$\sigma_{fa2} = \sqrt{\sigma_2^2 + 3 \cdot \tau_2^2} = 246(\text{MPa})$$

σ_{fa2} :荷重受け部材①に生じる組合せ応力(MPa)

6.2.3 荷重受け部材②の強度

(1) 曲げ応力

$$M_3 = P_2 \cdot l_2^2/8$$

$$\sigma_3 = M_3/Z_3 = 270(\text{MPa})$$

σ_3 :荷重受け部材②に生じる曲げ応力 (MPa)

M_3 :荷重受け部材②に生じる曲げモーメント(N・mm)

l_2 :荷重受け部材②の支持点間距離 4193 (mm)

Z_3 :荷重受け部材②の断面係数 472000(mm³)

(2) せん断応力

$$\tau_3 = P_2 \cdot l_2/(2 \cdot A_4) = 20(\text{MPa})$$

τ_3 :荷重受け部材②に生じるせん断応力(MPa)

A_4 :荷重受け部材②の断面積 6353(mm²)

(3) 組合せ応力

$$\sigma_{fa3} = \sqrt{\sigma_3^2 + 3 \cdot \tau_3^2} = 273(\text{MPa})$$

σ_{fa3} : 荷重受け部材②に生じる組合せ応力(MPa)

6.2.4 引っ掛け部材の強度

最も大きな曲げ応力が生じる引っ掛け部材脚部を評価断面とする。

(1) 曲げ応力

$$P_3 = W_3 \cdot g \cdot (C_H - \mu(1 - C_V)) / N_2$$

P_3 : 地震時に引っ掛け部材 1 個当たりに生じる荷重(N)

W_3 : SFP 南側遮蔽(使用済燃料プール側のみ)質量 380 (kg)

N_2 : 遮蔽体 1 個当たりの引っ掛け部材数 2

$$M_4 = P_3 \cdot l_3$$

$$\sigma_4 = M_4 / Z_4 = 52(\text{MPa})$$

σ_4 : 引っ掛け部材 1 個当たりに生じる曲げ応力 (MPa)

M_4 : 引っ掛け部材 1 個当たりに生じる曲げモーメント(N・mm)

l_3 : 引っ掛け部材高さ 280(mm)

Z_4 : 引っ掛け部材の断面係数 8438(mm³)

(2) せん断応力

$$\tau_4 = P_3 / A_5 = 3(\text{MPa})$$

τ_4 : 引っ掛け部材 1 個当たりに生じるせん断応力(MPa)

A_5 : 引っ掛け部材の断面積 675 (mm²)

(3) 組合せ応力

$$\sigma_{fa4} = \sqrt{\sigma_4^2 + 3 \cdot \tau_4^2} = 53(\text{MPa})$$

σ_{fa4} : 引っ掛け部材 1 個当たりに生じる組合せ応力(MPa)

6.3. SFP 東側遮蔽

6.3.1 形状・寸法

SFP 東側遮蔽は図 4 に示す通り、SFP 東側のオペレーティングフロア上に並べられた遮蔽体の地震時水平方向荷重を燃料取替機レールで支持し、同レールより使用済燃料プール側に設置する遮蔽体の地震時水平方向荷重は引っ掛け部材、荷重受け部材で支持する構造を有する。燃料取替機レールはケミカルアンカーにて十分な強度で原子炉建屋オペレーティングフロア床面に固定されているため、燃料取替機レールより使用済燃料プール側に設置する遮蔽体の地震時水平方向荷重が引っ掛け部材及び荷重受け部材に負荷された場合の強度評価を行う。

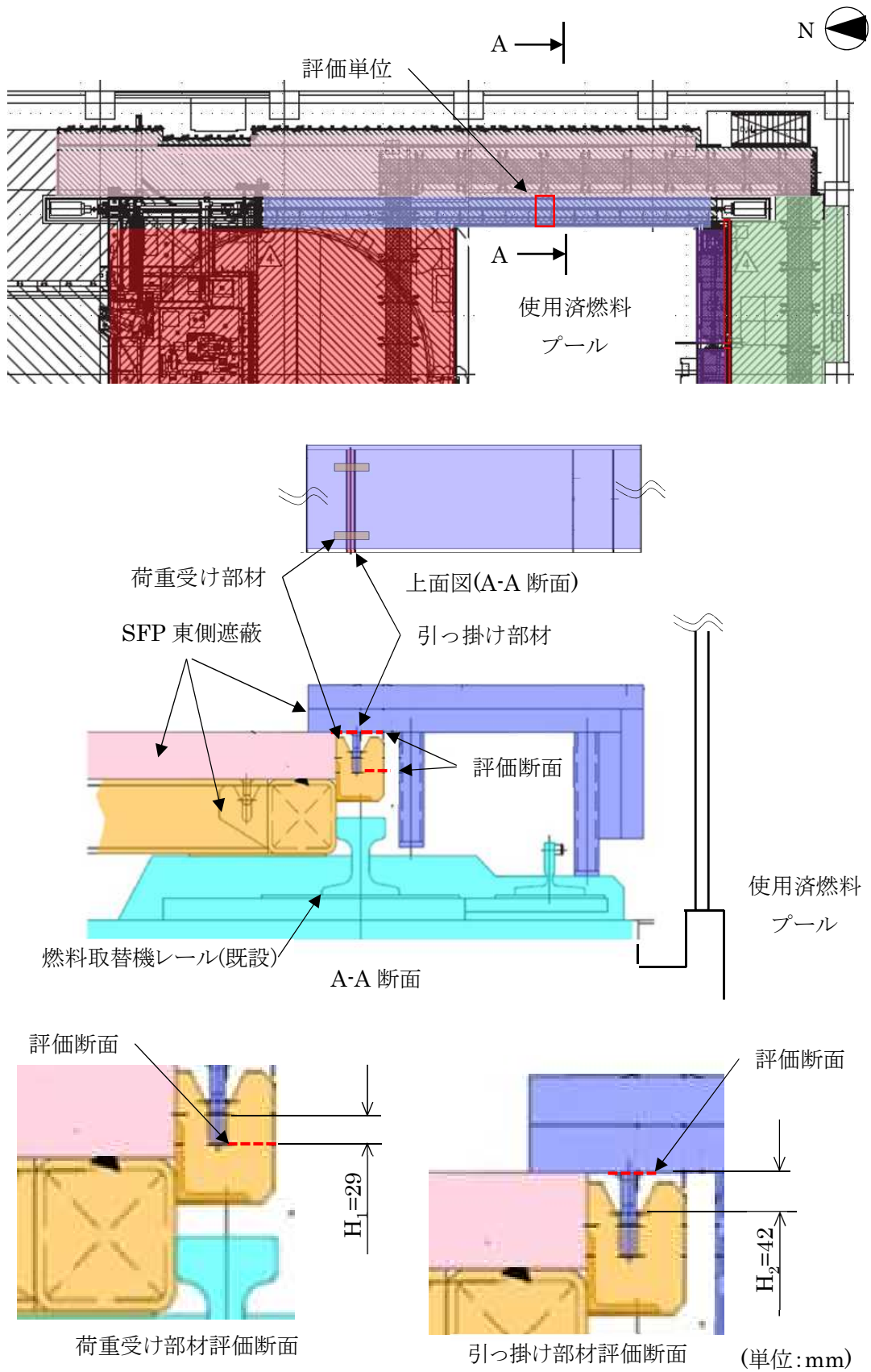


図 4 SFP 東側遮蔽体 評価対象部

6.3.2 荷重受け部材の強度

最も大きな曲げ応力が生じる荷重受け部材脚部を評価断面とする。

(1) 曲げ応力

$$P_4 = W_4 \cdot g \cdot (C_H - \mu(1 - C_V)) / N_3$$

P_4 : 地震時に荷重受け部材 1 個あたりに生じる荷重(N/mm)

W_4 : SFP 東側遮蔽(使用済燃料プール側のみ)質量 570(kg)

N_3 : W_4 を支持する荷重受け部材数 2

$$M_5 = P_4 \cdot H_1$$

$$\sigma_5 = M_5 / Z_5 = 23(\text{MPa})$$

σ_5 : 荷重受け部材 1 個あたりに生じる曲げ応力 (MPa)

M_5 : 荷重受け部材 1 個あたりに生じる曲げモーメント(N・mm)

H_1 : 荷重受け部材部材高さ 29(mm)

Z_5 : 荷重受け部材 1 個あたりの断面係数 2888(mm³)

(2) せん断応力

$$\tau_5 = P_4 / A_6 = 6(\text{MPa})$$

τ_5 : 荷重受け部材 1 個あたりに生じるせん断応力(MPa)

A_6 : 荷重受け部材の断面積 456(mm²)

(3) 組合せ応力

$$\sigma_{fa5} = \sqrt{\sigma_5^2 + 3 \cdot \tau_5^2} = 26(\text{MPa})$$

σ_{fa5} : 荷重受け部材 1 個あたりに生じる組合せ応力(MPa)

6.3.3 引っ掛け部材の強度

最も大きな曲げ応力が生じる引っ掛け部材脚部を評価断面とする。

(1) 曲げ応力

$$P_5 = W_4 \cdot g \cdot (C_H - \mu(1 - C_V)) / N_4$$

P_5 : 地震時に引っ掛け部材 1 個あたりに生じる荷重(N/mm)

N_4 : W_4 を支持する引っ掛け部材数 2

$$M_6 = P_5 \cdot H_2$$

$$\sigma_6 = M_6 / Z_6 = 201(\text{MPa})$$

σ_6 : 引っ掛け部材 1 個あたりに生じる曲げ応力 (MPa)

M_6 : 引っ掛け部材 1 個あたりに生じる曲げモーメント(N・mm)

H_2 : 引っ掛け部材高さ 42(mm)

Z_6 : 引っ掛け部材の断面係数 512(mm³)

(2) せん断応力

$$\tau_6 = P_5/A_7 = 13(\text{MPa})$$

τ_6 : 引っ掛け部材 1 個あたりに生じるせん断応力(MPa)

A_7 : 引っ掛け部材の断面積 192 (mm²)

(3) 組合せ応力

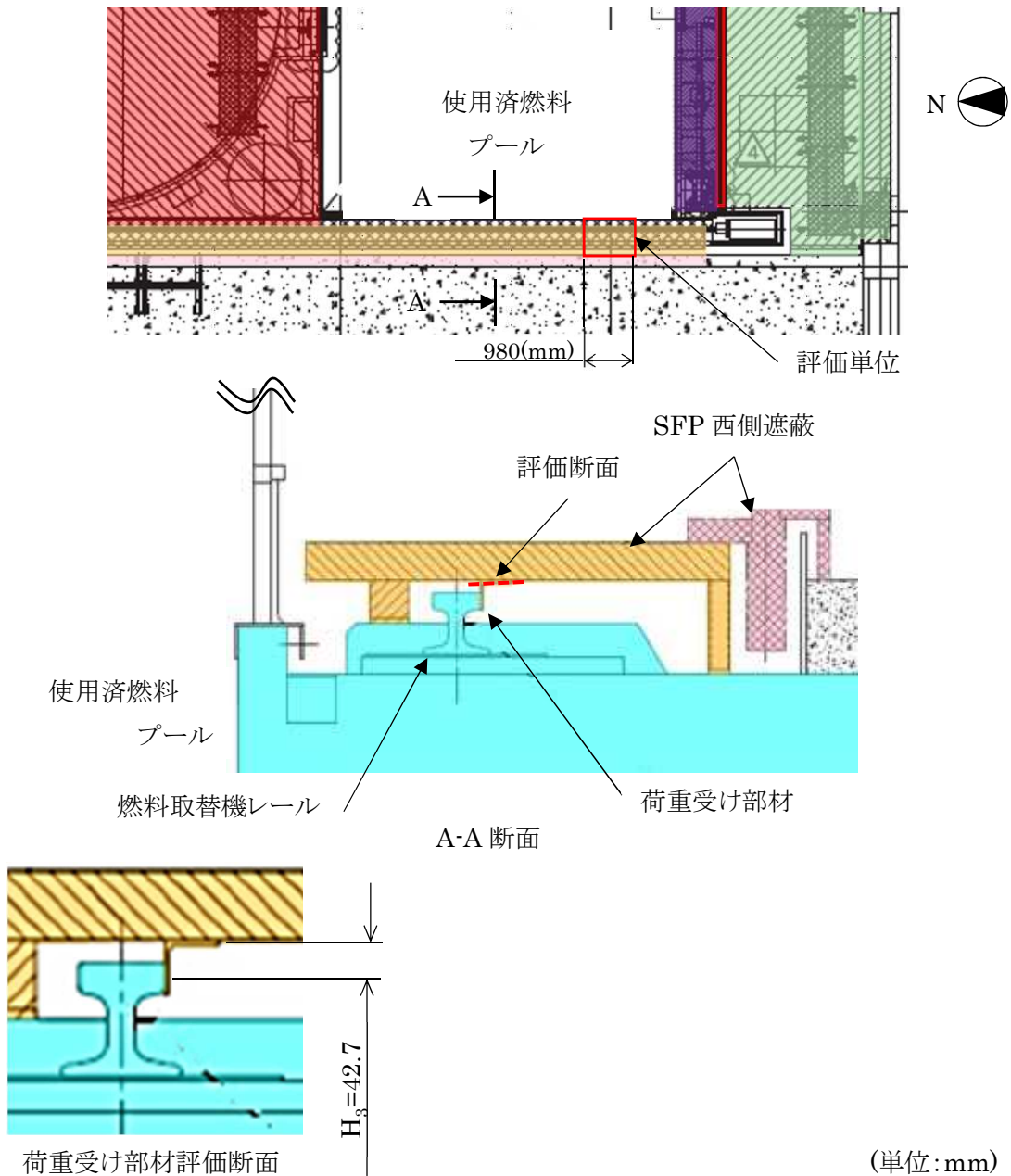
$$\sigma_{fa6} = \sqrt{\sigma_6^2 + 3 \cdot \tau_6^2} = 203(\text{MPa})$$

σ_{fa6} : 引っ掛け部材 1 個あたりに生じる組合せ応力(MPa)

6.4. SFP 西側遮蔽

6.4.1 形状・寸法

SFP 西側遮蔽は図 5 に示す通り, SFP 西側のオペレーティングフロア上に並べられた遮蔽体の地震時水平方向荷重を既設燃料取替機レールで支持する構造を有する。既設燃料取替機レールはケミカルアンカーにて十分な強度で原子炉建屋オペレーティングフロア床面に固定されているため, SFP 西側遮蔽体の地震時水平方向荷重が荷重受け部材に負荷された場合の強度評価を行う。



(単位:mm)

図 5 SFP 西側遮蔽 評価対象部

6.4.2 荷重受け部材の強度

最も大きな曲げ応力が生じる引っ掛け部材脚部を評価断面とする。

(1) 曲げ応力

$$P_6 = W_6 \cdot g \cdot (C_H - \mu(1 - C_V)) \cdot l_4 / L_5$$

P_6 : 地震時に荷重受け部材 1 個当たりに生じる荷重(N)

W_6 : SFP 西側遮蔽質量 22000(kg)

l_4 : 荷重受け部材 1 個当たりの長さ 980(mm)

L_5 : 荷重受け部材の全長 18625(mm)

$$M_7 = P_6 \cdot H_3$$

$$\sigma_7 = M_7 / Z_7 = 69(\text{MPa})$$

σ_7 : 荷重受け部材 1 個当たりに生じる曲げ応力 (MPa)

M_7 : 荷重受け部材 1 個当たりに生じる曲げモーメント(N・mm)

H_3 : 荷重受け部材部材高さ 42.7(mm)

Z_7 : 荷重受け部材断面係数 5880 (mm³)

(2) せん断応力

$$\tau_7 = P_6 / A_8 = 2(\text{MPa})$$

τ_7 : 荷重受け部材 1 個当たりに生じるせん断応力(MPa)

A_8 : 引っ掛け部材の断面積 5880(mm²)

(3) 組合せ応力

$$\sigma_{fa7} = \sqrt{\sigma_7^2 + 3 \cdot \tau_7^2} = 70(\text{MPa})$$

σ_{fa7} : 引っ掛け部材 1 個当たりに生じる組合せ応力(MPa)