

再処理施設 廃棄物管理施設 MOX燃料加工施設

使用前事業者検査の状況及び 設工認申請に係る対応状況

令和3年6月28日



日本原燃株式会社

目次

1. 論点に対する説明状況
2. 使用前事業者検査の状況について
(検査の成立性)
3. 設工認申請に係る対応状況
(全般事項)
4. 技術的内容に係る説明
(地震による損傷の防止)
5. 技術的内容に係る説明
(外部衝撃による損傷の防止)

1. 論点に対する説明状況

1. 1 論点に対する説明状況：共通事項

【共通事項】

主な説明項目		進捗状況	
		説明すべき事項	対応状況
①	申請対象設備の明確化	<p>系統、設備の重要度、系統、設備の安全機能を踏まえて、申請対象設備の明確化を行う。明確化にあたっては、安全機能を達成するために必要な機器を設計図面の色塗り等により確実に抽出し、仕様表対象設備を分類する。具体的な抽出方法等については、設工認作成要領、設備選定ガイドに反映し、実施内容の統一化を図る。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 申請対象設備を設計図面を用いて具体的に抽出するガイドを改訂。（6月1日制定済）。 要求される機能、性能（基本設計方針での要求種別）を踏まえた設計図書等の色塗りにより設備抽出した設備について、基本設計方針との関連を整理する作業を実施中。
②	共通 分割申請計画の考え方	<p>法律上の申請区分、事業許可との整合性説明、技術基準への適合性説明ができるよう、申請書の記載事項を明確にする。設工認記載事項は、先行の発電炉の内容も参照しながら検討する。 また、分割申請において複数の申請書に跨って技術基準適合を説明する事項等について分割申請でのパッケージ構成の考え方を明確にする。 設工認の申請にあたっては、類型化により申請書の合理化及び効率化を図る。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 法令上の申請区分、事業変更許可申請での変更事項などの前提条件を明確化した。 上記に基づき、施設のしゅん工時期、工事工程、設計進捗等を踏まえた、再処理、廃棄物管理、MOX燃料加工施設に係る設工認申請の分割申請計画を具体的に整理しているところ。（7月中）
③	使用前事業者検査	<ul style="list-style-type: none"> アクティブ試験等の影響によってアクセス性の観点から検査実施に支障が生じる設備の検査成立性を示す。 ガラス溶融炉の機能・性能検査に伴う試験使用の対象となる範囲等を示す。 既設設備に対する腐食を考慮する容器等の検査の判定基準を示す。 	<ul style="list-style-type: none"> アクティブ試験等の影響によってアクセス困難な設備に対する検査の成立性について、セル内に設置される全機器の調査を完了し、検査記録が全てあることを確認。（本日説明） アクセス困難なセル外の機器並びに配管、建物構築物に対する各種記録確認。（7月中） ガラス溶融炉の機能・性能検査内容及び試験使用範囲（本日説明） 既設設備に対する腐食を考慮する容器等の検査の判定基準（本日説明）

1. 2 論点に対する説明状況：地震による損傷の防止(1/4)

【個別事項：耐震（建物・構築物）】

主な説明項目		進捗状況	
		説明すべき事項	対応状況
①	耐震（建物・構築物） 地震応答解析に用いる地盤モデルの設定	<p>設計用地盤モデルについて以下の確認を実施する。</p> <p>a. 設計用地盤モデルの設定の考え方が適切であることについて、設計用地盤モデルの設定に用いるデータの選定や物性値の算定方法の考え方の妥当性を示すことにより確認する。</p> <p>b. 設計用地盤モデルによる地震波の伝播特性が適切に設定されていることについて、地震観測記録を用いたシミュレーション解析により確認する。</p> <p>c. 建物・構築物の直下PS検層データにおいて、その速度構造が設計用地盤モデルにおいて考慮している地盤物性のばらつき幅を超えるデータが得られていることについて、建物・構築物の直下PS検層データを用いた耐震評価を行い、施設の耐震性に影響が無いことの確認を行う。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 左記 a. ～ c. の各確認事項に係る対応方針及び対応方針を踏まえた整理・確認結果について今回審査会合にて示す。 説明すべき事項に関連する以下の整理・評価を実施 <ul style="list-style-type: none"> a. 敷地を3エリアに区分し、エリア単位で共通のモデルを用いていること、PS検層結果に基づく平均的な地盤物性値を設定していることの妥当性についてその考え方及びデータを整理した。（補足説明資料にて整理済み） b. 事業許可にて示している、各エリアにおける地震観測記録の深さ方向の伝達関数を再現することが可能な地盤モデル（事業変更許可申請書における「はざとり地盤モデル」）を用いたシミュレーション解析を行い、設計用地盤モデル（支持地盤及び表層地盤）とはざとり地盤モデル双方の解放基盤表面位置に地震観測記録を入力した場合の地盤応答解析により、建屋底面位置相当における応答スペクトルが整合していることを確認した。（補足説明資料にて整理済み） c. 建物・構築物の直下PS検層データを用いた施設の耐震評価により、これらのPS検層データを考慮しても、施設の耐震評価における検定値または応力比が1.0を超えず、耐震性に影響が無いことを確認した。 なお、直下PS検層データに基づく影響評価については、評価方針について今回設工認の添付書類における基本方針に記載するとともに、評価結果に対して各施設の耐震性に影響が無いことを確認し、今回設工認における添付書類として、影響評価結果を記載する方針とする。（本日説明）

1. 2 論点に対する説明状況：地震による損傷の防止(2/4)

【個別事項：耐震（建物・構築物）】

主な説明項目		進捗状況		
		説明すべき事項	対応状況	
②	耐震 (建物・構築物)	埋込み効果の考慮	<ul style="list-style-type: none"> 既設工認からのモデルの変更点として埋め込み効果を考慮することとし、側面地盤ばねの設定に関する考え方について整理 	<ul style="list-style-type: none"> 3/15審査会合にて説明済
③		隣接建屋の影響	<p>隣接建屋の影響を考慮せず、各建物・構築物毎に独立して構築した解析モデルを用いても耐震安全性評価において安全上支障がないこと</p> <ul style="list-style-type: none"> 3次元地盤FEMモデルを用いて、建屋の配置状況を反映した地震応答解析の結果、建屋単独モデルの応答に対し増幅が見られるなど、隣接建屋の影響がみられる場合は、耐震評価に与える影響を確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> 既往の知見や先行発電炉の実績を参考に、燃料加工建屋及び安全冷却水B冷却塔（基礎）について、3次元FEMモデルを用いた確認を実施し、各建物・構築物毎に独立して構築した解析モデルを用いても耐震安全性評価において安全上支障がないことを確認した。（本日説明） FEMを用いた詳細検討については、評価方針を添付書類の基本方針に記載するとともに、評価結果についても、隣接建屋の影響を考慮した応答比率（隣接/単独）が1を超える場合には、その結果を添付書類に記載する方針で考えている。（本日説明）

1. 2 論点に対する説明状況：地震による損傷の防止(3/4)

【個別事項：耐震（建物・構築物）】

主な説明項目		進捗状況	
		説明すべき事項	対応状況
④	耐震（建物・構築物）	<p>建物・構築物の耐震評価において、設定している設計用地下水位が適切であること。</p> <p>a. 地下水排水設備に囲まれている建物・構築物、囲まれていない建物・構築物、それぞれに対する設計用地下水位の設定の考え方</p> <p>b. 地下水排水設備に囲まれている建物・構築物において、設計用地下水位を基礎スラブ上端以下に維持することを前提として、建物・構築物の耐震評価を行うことから、以下の事項について説明を行う。</p> <ul style="list-style-type: none"> 地下水排水設備の設工認における位置づけ 地下水排水設備の要求機能の維持に係る設計（耐震・電源他）の考え方 <p>c. 地下水排水設備の外側に設置される建物・構築物に対する液状化の施設への影響を網羅的に整理し、その影響に対して施設の周辺状況に応じて体系的な評価フロー・方針を示す。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 説明すべき事項に関連する以下の整理・評価を実施 <ul style="list-style-type: none"> a. 設計用地下水位は、地下水排水設備に囲まれている建物・構築物の地下水位の低下を考慮し基礎スラブ上端以下の設定とし、外側に配置する建物・構築物は保守的に地表面に設定とした ⇒説明済（4/13会合） b. 地下水排水設備について、以下の通り位置づけを明確にした。（本日説明） <ul style="list-style-type: none"> 地下水排水設備の要求事項に基づき、基本設計方針、設工認申請上の取扱いについて整理した。 地震時及び地震後において設計用地下水位を維持することを前提とする建物に設置する地下水排水設備（集水管、ポンプ等）について基準地震動Ssに対して機能維持する設計とする。 外部電源喪失時への考慮として、非常用電源設備または基準地震動Ssに対し機能維持が可能な発電機に接続する。 c. 地下水排水設備の外側に設置される建物・構築物については、液状化の施設への影響を網羅的に整理し、施設種別（杭基礎を有する構築物・屋外重要土木構造物（河道）・建物）や周辺状況（施設近傍の建物・構築物、地盤状況、地盤改良体の分布・種別）に応じた液状化による影響評価フロー・方針を作成した。（本日説明） 上記a.～c.について補足説明資料に反映した。 第1回設工認では、本文及び添付書類において、建物・構築物の耐震評価で地下水排水設備により設計用地下水位を維持することを前提としていることを記載する。
	水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ	<ul style="list-style-type: none"> 設備の形状等に基づく水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の可能性のある部位の抽出及び評価方針 	<ul style="list-style-type: none"> 3/15審査会合にて説明済

1. 2 論点に対する説明状況：地震による損傷の防止(4/4)

【個別事項：耐震（機器・配管系）】

主な説明項目		進捗状況		
		説明すべき事項	対応状況	
①	耐震 (機器・配管系)	「S sの床応答曲線の加速度を係数倍した評価用床応答曲線 S d」と「弾性設計用地震動 S dから作成した床応答曲線 S d」について	<ul style="list-style-type: none"> 弾性設計用地震動Sdの評価に用いる床応答曲線は、許可との整合性の観点から先行発電プラント同様に弾性設計用地震動Sdにより評価 	<ul style="list-style-type: none"> 3/15審査会合にて説明済
②		耐震評価対象の網羅性、既設工認との手法の相違点の整理について	<ul style="list-style-type: none"> 網羅性に対して抜けが無いことの確認として、以下4つの観点から、説明する評価項目に抜けが無いことを確認 (1) 事業許可との整合性 (2) 既設工認からの変更点 (3) 新規基準における追加要求事項 (4) その他先行発電プラントの審査実績 	<ul style="list-style-type: none"> 3/15審査会合にて説明済
③		機器・配管系の類型化に対する分類の考え方について	<ul style="list-style-type: none"> 評価方法、説明方法の類型化について設備の特徴、評価手法により分類し、さらに説明の効率化として類似した分類ごとに説明を行い、分類ごとの代表設備の考え方を説明 	<ul style="list-style-type: none"> 4/13審査会合にて説明済 (ただし、全体の類型化及び代表設備の考え方については、共通側で今後対応する)
④		水平2方向の組合せに関する設備の抽出及び考え方について	<ul style="list-style-type: none"> ○水平2方向影響確認の考え方について <ul style="list-style-type: none"> 水平2方向影響に対する影響確認実施内容及び設備形状に応じた影響有無に対する考え方 ○水平2方向の設備分類と類型化分類との関係について <ul style="list-style-type: none"> 類型化における分類と水平2方向の設備分類との関係性の整理結果 	<ul style="list-style-type: none"> 影響確認として、従来の水平1方向と鉛直地震力の組合せによる評価に対し、水平2方向による地震力と鉛直地震力の組み合わせによる影響評価の考え方について示す。 設備形状の違いにより、物理的な振動を受ける方向（以下、「応答軸」という。）が異なるため、設備ごとに形状に応じた水平2方向地震力に対する影響有無の確認に対する考え方を示す。 類型化の分類に対する水平2方向影響の関係性について、類型化分類を影響が類似する形状ごとに整理した結果を示す。

1. 3 論点に対する説明状況：外部衝撃による損傷の防止

【個別事項：外部衝撃による損傷の防止】

主な説明項目			進捗状況	
			説明すべき事項	対応状況
①	竜巻	飛来物防護ネットの健全性について	<ul style="list-style-type: none"> 防護ネットの構造及び評価の考え方 	<ul style="list-style-type: none"> 飛来物防護ネットの基本的な構造と評価方針について説明(4/27) 防護板や補助防護板を中心とした詳細構造が不足していたため、詳細構造を示すとともに防護ネット、防護板及び補助防護板それぞれの設計の考え方、構造、評価について説明する(本日説明)
			<ul style="list-style-type: none"> 防護板の必要板厚を設定するBRL式の直径Dの設定の妥当性 	<ul style="list-style-type: none"> 防護板が飛来物の貫通を防止するための貫通限界厚さの算出にBRL式を用い、等価直径の設定に最新知見の結果ができることを説明(4/27) 最新知見の結果が135kgの設計飛来物にも適用できることの説明が不足していたため、適用可能であることを説明する(本日説明)
②	竜巻・火山	荷重影響評価について	<ul style="list-style-type: none"> 許容限界の設定に関する妥当性 空気密度の設定の妥当性(竜巻のみ) 	<ul style="list-style-type: none"> 3/15審査会合にて説明済
③	外部火災	航空機墜落火災対策について	<ul style="list-style-type: none"> 航空機墜落火災対策としての耐火被覆の妥当性 	<ul style="list-style-type: none"> 航空機が施設の至近に落下する特性を踏まえ、航空機墜落火災に対する設計の基本ロジックについて説明(5/25) 防護対策の設計方針、施工管理および復旧の考え方の説明が不足していたことから、基本ロジックを受けた詳細として説明する(本日説明)

1. 4 論点に対する説明状況：各条文への展開

【個別事項：各条文】

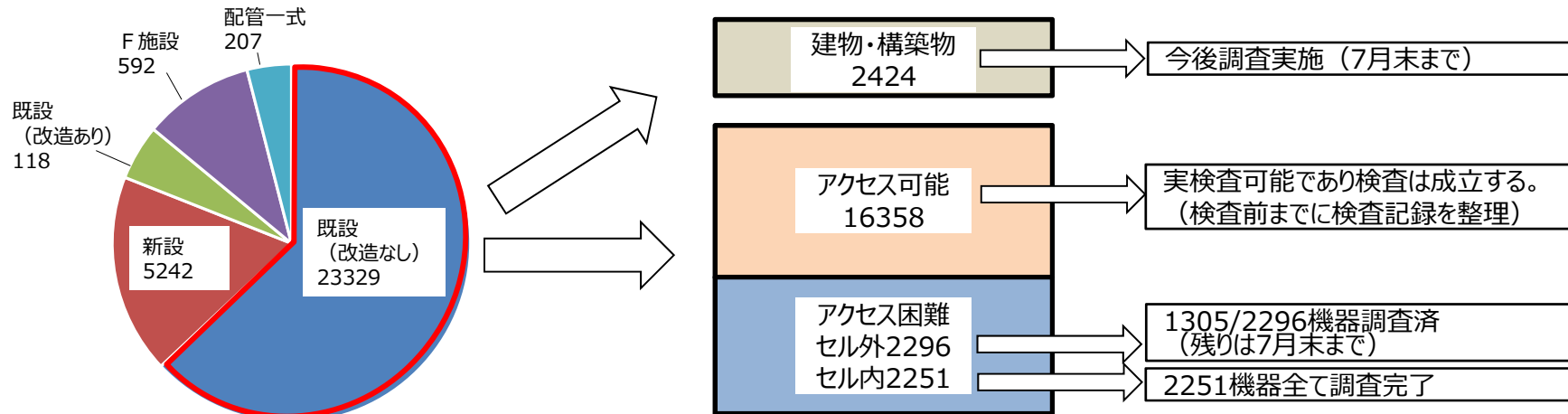
主な説明項目			進捗状況	
			説明すべき事項	対応状況
①	各条文	共通事項の説明を踏まえた対応	<ul style="list-style-type: none"> 「分割申請計画の考え方」に基づき、基本設計方針の記載と添付書類及び補足説明資料への展開 	<ul style="list-style-type: none"> 本文、添付書類で記載すべき事項（共通06）で明確にした対応事項を踏まえ、各条文に展開する。分割申請計画(共通05)に基づき各申請における基本設計方針の記載内容を明確にする。また、その結果から第1回の設工認申請範囲（共通08）を示し、第1回申請範囲の申請書を作成する。（策定済み）

2. 使用前事業者検査の状況について（検査の成立性）

2. 使用前事業者検査の状況について（検査の成立性）（1/2）

＜基本的考え方＞

- 新設はアクセス可能であり、実検査を実施可能。
- 既設（改造なし／改造あり）は、原燃、協力会社の設計、製作、施工に係るQMS体制を確認するとともに、設計、製作、施工、検査に係る記録を組み合わせて検査を行う。必要に応じて維持管理記録を確認するとともにアクセス可能な設備は目視、実測を行う。



使用前事業者検査対象の分類イメージ

＜現状：6月末＞

- セル内の機器全てについて、原燃・協力会社が保有する上記の各種記録があることを確認した。
- 記録が一部不足しているものが51機器（参考1参照）あったが、記録の再調査、検証等を行った結果、全て検査記録により検査が成立することを確認した（参考2参照）。
- アクセス困難なセル外の機器1305/2296についても、記録があることを確認した。（不足なし）
- 埋込金物・支持構造物について、セル内の機器全てに関連する対象が健全であることを記録により確認した。

＜今後の作業：7月末＞

- アクセス困難なセル外の機器991/2296、建物・構築物（2424）、F施設(592)、配管（207式）について、同様の確認を行う。
- 埋込金物および支持構造物について、アクセス困難なセル外の機器（2296）、F施設(592)、配管（207式）に関連する対象が健全であることを確認する。

2. 使用前事業者検査の状況について（検査の成立性）（2/2）

<ガラス溶融炉の機能・性能検査について>

- ・ガラス溶融炉の機能・性能検査は、設工認仕様表に記載する「処理容量」並びに「ガラス流下を開始できること」及び「ガラス流下が所定の重量内で停止できること」を確認する。
- ・設工認（工事の方法）には、当該検査を実施するにあたり「高レベル廃液ガラス固化建屋内設備、並びにガラス溶融炉の運転及び検査に必要な設備の使用前事業者検査終了後に実施する」として記載する。
また、使用前確認申請書では上記の設備を試験使用範囲として明示する。

<腐食を考慮する容器等の使用前事業者検査の判定基準（既設設備）について>

- ・既設の腐食を考慮する容器等は、設計腐食代を確保していること及び試験運転による腐食の進行を考慮しても技術基準を満足していることが必要となる。
- ・当該容器等の使用前事業者検査（寸法検査）では、
 - ①新設時の板厚が「公称値の許容範囲内（素材の公差および加工公差）」
 - ②現状の板厚が「最小厚さ以上」
 - ③「初回の定期事業者検査までの期間以上*板厚が確保できること」を判定基準とする。

当該の判定基準について、第1回設工認申請書 工事の方法の「2. 使用前事業者検査の方法」に記載（補正）する。

- *：「運用開始から初回の定期事業者検査までの期間に、使用前事業者検査から運用開始までの期間を加えた期間」とし、使用前事業者検査要領書において具体的数値を記載する。

<参考 1 : 記録が不足していた機器> (1/2)

No.	名称	数量	使用前事業者検査項目	調査結果				検査成立性
				材料	寸法	漏えい・耐圧	据付・外観	
1	計量補助槽スチームジェットポンプ漏えい検知ポット (非安重、耐震 Cクラス)	1	材料検査：使用材料の化学成分、機械的強度等が設工認のとおりであること。	×	×	×	○	<ul style="list-style-type: none"> 据付・外観検査記録以外の検査記録不足。 → 記録の再調査（元請会社から施工会社へ調査する範囲を拡大）により、各検査記録を入手できた。 ◆ 検査は、入手した検査記録を用いることで記録確認検査として成立する。
2	リサイクル槽サンプリングエアリフトポンプ分離ポット (非安重、耐震 Bクラス)	1		○	×	○	○	
3	アルファモニタセル漏えい液受皿漏えい検知ポット (非安重、耐震 Bクラス)	1		○	×	○	○	<ul style="list-style-type: none"> 材料判定記録の不足。 → 記録類の再調査によって、各設備の材料証明書を保有していることを確認した。 ◆ 検査は、材料証明書をを用いることで、検査として成立する。
4	プルトニウム濃縮液計量槽サンプリングエアリフトポンプ2分離ポット (非安重、耐震 Bクラス)	1		○	×	○	○	
5	溶媒蒸発缶セル漏えい検知ポット (非安重、耐震 Bクラス)	1	×	○	○	○		
6	混合廃ガス凝縮液受槽(非安重、耐震 Bクラス)	1	×	○	○	○		
7	極低レベル廃ガス洗浄塔(非安重、耐震 Bクラス)	1	×	○	○	○		
8	廃ガスリーフポット(非安重、耐震 Bクラス)	1	×	○	○	○		
9	低レベル無塩廃液受槽デミスタ (非安重、耐震 Bクラス)	1	×	○	○	○		
10	排ガスポット(非安重、耐震 Bクラス)	1	×	○	○	○		
11	溶解槽セル排気前置フィルタ(安重、耐震 Aクラス)	10	×	○	○	○		
12	せん断機・溶解槽保守セル排気前置フィルタ (安重、耐震 Aクラス)	10	×	○	○	○		
13	凝縮液分配器(非安重、耐震 Bクラス)	1	×	○	○	○		
14	凝縮液シールポット(非安重、耐震 Bクラス)	1	×	○	○	○		

<参考 1 : 記録が不足していた機器> (2/2)

No.	名称	数量	新検査項目	調査結果				対応
				材料	寸法	耐圧・漏えい	据付・外観	
15	中間ポット堰付サイホンデミスタ (非安重、耐震 B クラス)	2	<p>材料検査：使用材料の化学成分、機械的強度等が設工認のとおりであること。</p> <p>寸法検査：寸法（高さ、幅、奥行、板厚）が設工認のとおりであること。</p> <p>耐圧・漏えい検査：検査圧力に耐え漏えいがないこと。</p> <p>据付・外観：設工認どおり据付けられ、外観に有害な欠陥がないこと。</p>	×	○	○	○	<p>• 材料判定記録の不足。 → 記録類の再調査によって、各設備の材料証明書を保有していることを確認した。 ◆ 検査は、材料証明書をを用いることで、検査として成立する。</p>
16	中間ポット堰付サイホン真空フィルタ (非安重、耐震 B クラス)	2		×	○	○	○	
17	第1廃ガス洗浄塔洗浄液ポンプ (非安重、耐震 B クラス)	2		×	○	○	○	
18	溶解槽サンプリングエアリフト分離ポット (非安重、耐震 B クラス)	2		×	○	○	○	
19	サンプリングエアリフトデミスタ (非安重、耐震 B クラス)	2		×	○	○	○	
20	サンプリングエアリフト真空フィルタ (非安重、耐震 B クラス)	2		×	○	○	○	
21	第3一時貯留処理槽サンプリングエアリフトポンプ 分離ポット(非安重、耐震 B クラス)	1		×	○	○	○	
22	プルトニウム溶液受槽サンプリングエアリフトポンプ 分離ポット(非安重、耐震 B クラス)	1		×	○	○	○	
23	油分分離槽サンプリングエアリフトポンプ分離ポット (非安重、耐震 B クラス)	1		×	○	○	○	
24	プルトニウム濃縮缶供給槽サンプリングエアリフト ポンプ分離ポット(非安重、耐震 B クラス)	1		×	○	○	○	
25	希釈槽サンプリングエアリフト分離ポット (非安重、耐震 B クラス)	1		×	○	○	○	
26	第1一時貯留処理槽サンプリングエアリフトポンプ 分離ポット(非安重、耐震 B クラス)	1		×	○	○	○	
27	第2一時貯留処理槽サンプリングエアリフトポンプ 分離ポット(非安重、耐震 B クラス)	1		×	○	○	○	
		51						

<参考 2 : 記録が不足していた機器の検証方法 (代表例) >

○計量補助槽スチームジェットポンプ漏えい検知ポット (No. 1)

再調査によって入手した施工会社の検査記録を用いて材料検査、寸法検査、耐圧・漏えい検査が可能であることを確認。

(材料検査)

設工認記載予定の主要部材の材質 (胴板、鏡板 : ステンレス鋼) の化学成分、機械的強度等がJISを満足していることを証明している材料検査記録により確認

(寸法記録)

設工認記載予定の主要寸法 (全高、外形、板厚) が測定され、判定基準 (公称値、許容値) を満足していることを寸法検査成績書により確認

(耐圧・漏えい検査)

設工認記載予定の最高使用圧力 (静水頭) により、30分以上、検査圧力 (水頭圧) に耐え、かつ漏えいがないことを耐圧・漏えい試験成績書により確認

○リサイクル槽サンプリングエアリフトポンプ分離ポット (No.2)

検証によって不足していた寸法が検査対象部位ではないことを確認し、寸法検査が可能であることを確認。

(寸法検査)

設工認記載予定の主要寸法 (全高、外形、板厚) が測定され、判定基準 (公称値、許容値) を満足していることを寸法検査成績書により確認

○溶媒蒸発缶セル漏えい検知ポット (No.5)

記録の再調査によって、材料証明書等を保有していることを確認し、材料検査が可能であることを確認。

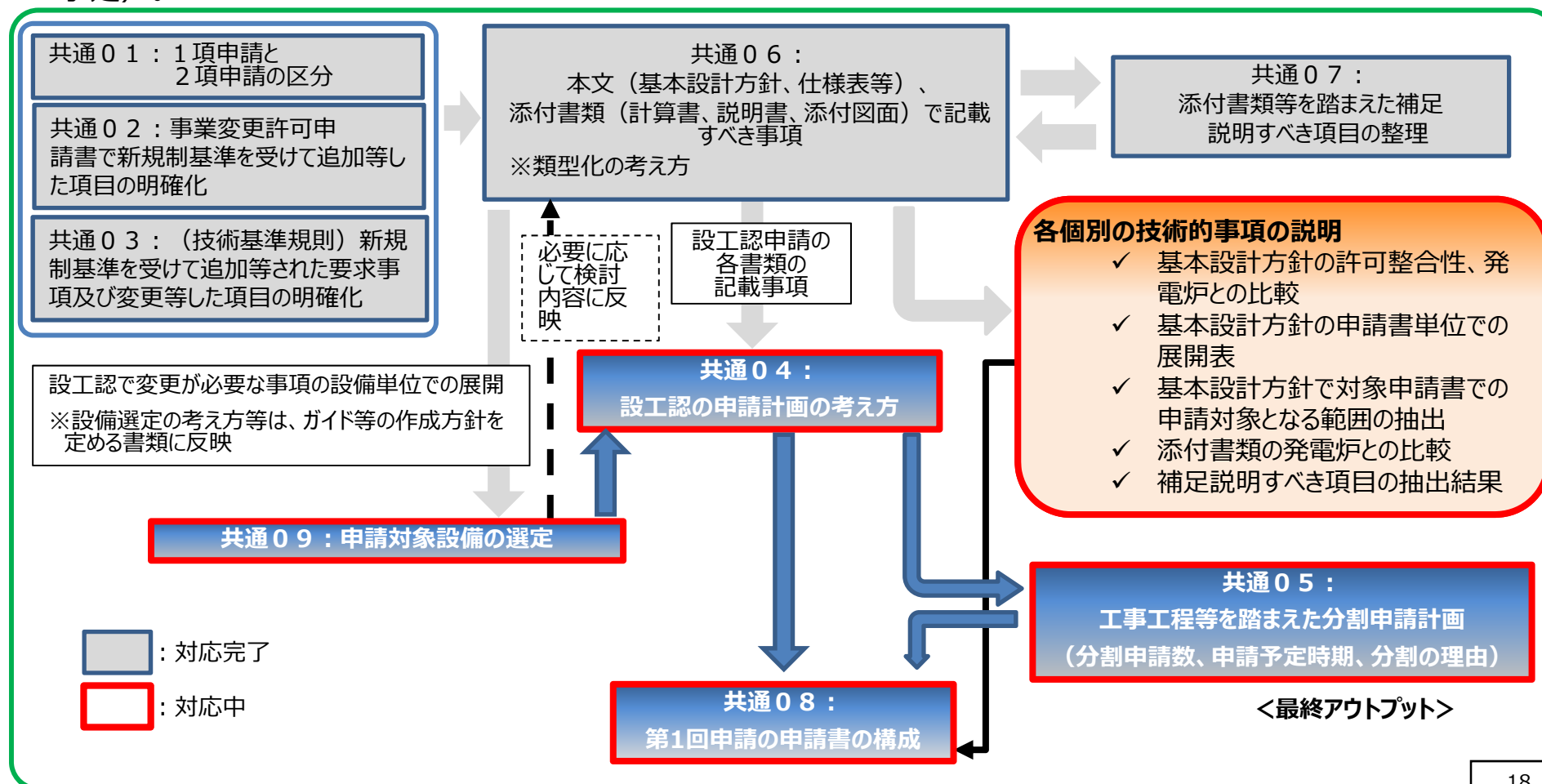
(材料検査)

設工認記載予定の主要部材の材質 (胴板、鏡板 : ステンレス鋼) の化学成分、機械的強度等がJISを満足していることを材料証明書等により確認

3. 設工認申請に係る対応状況 (全般事項)

3. 1 設工認申請にあたって整理すべき事項 共通的な補足説明資料において説明する事項

- 法令上の申請区分、事業変更許可申請での変更事項などの前提条件の明確化が完了（下図共通04等にまとめた）。
- 申請書に記載すべき事項（基本設計方針、添付書類）、申請対象設備、効率的な申請等を考慮した分割申請の計画などについて明確化。これを踏まえ、「各個別の技術的事項の説明」に展開を実施中(下図共通08へ反映予定)。
- ✓ これまで整理した事項に基づき、施設のしゅん工時期、工事工程、設計進捗等を踏まえた、再処理、廃棄物管理、MOX燃料加工施設に係る設工認申請の分割申請の全体像を整理する（下図共通05としてまとめる予定）。
- ✓ 申請対象設備の選定については、基本設計方針の要求事項との関係を踏まえた整理を実施中（下図共通09等にまとめる予定）。



4. 技術的内容に係る説明（地震による損傷の防止）

（建物・構築物）

- ① 地震応答解析に用いる地盤モデルの設定
- ② 設計用地下水位の設定
- ③ 隣接建屋の影響

（機器・配管系）

- ④ 水平2方向の組合せに関する設備の抽出及び考え方について

① 地震応答解析に用いる地盤モデルの設定

4. 技術的内容に係る説明 ① 地震応答解析に用いる地盤モデルの設定 (1) 本日の説明内容及び審査会合における指摘事項

■ 本日の説明内容

これまでの指摘事項を踏まえ、各建物・構築物の直下PS検層データを用いた耐震評価方針及び第1回申請施設の評価結果について説明する。(4.①(1))

- 直下PS検層データを用いた耐震評価方針を整理した。また、評価方針に基づき、第1回申請対象施設である燃料加工建屋について、本資料にて、耐震評価結果を整理した。(4.①(2))
- 燃料加工建屋の各部位について、直下地盤モデルを用いた場合であっても、施設の耐震評価における検定値または応力比が1.0を超えず、耐震性に影響が無いことを確認した。なお、燃料加工建屋については、直下地盤モデルによる応答値が、設計用地盤モデルによる応答値を上回る傾向となっていることから、その要因の分析を行った。(4.①(4)), (4.①(5))
- 直下PS検層データに基づく影響評価については、評価方針について今回設工認の添付書類における基本方針に記載するとともに、評価結果に対して各施設の耐震性に影響が無いことを確認し、今回設工認における添付書類として、影響評価結果を記載することとする。(4.①(6))

4. 技術的内容に係る説明 ① 地震応答解析に用いる地盤モデルの設定 (1) 本日の説明内容及び審査会合における指摘事項

■ 本日の説明内容

- 建物・構築物の入力地震動の算定に用いる設計用地盤モデルの設定に関する内容について、これまでの審査会合での指摘を踏まえた対応方針について示す。

No.	審査会合日	指摘事項	対応方針
1	2021.3.15	エリアごとの平均的な地盤物性値に基づく地盤モデルを用いる場合は、その妥当性の説明ロジックとして、その地盤モデルを入力地震動の評価に用いても安全上支障がないこと、設計用地震力の設定において施設への影響評価も含めて地盤のばらつきが適切に考慮されていることの観点で整理すること。	エリアごとの平均的な物性値に基づく地盤モデルに加え、各建物・構築物の直下PS検層データを用いた耐震評価を実施する方針とする。⇒p23
2	2021.3.15	データの拡充にあたっては、各エリア内で得られた調査結果を詳細に示したうえで、地下構造が同様な速度構造であること、PS検層結果と地盤モデルのばらつき範囲の関係性、地表付近でPS検層結果のデータが得られていない部分の扱いについて説明すること。	各エリア内において速度構造が建屋位置ごとに相違していることから、各建物・構築物の直下PS検層データを用いた耐震評価を実施する方針とする。⇒p23
3	2021.4.13	第1回申請対象施設である安全冷却水B冷却塔についても近傍データに基づき整理すること。また、他の建物・構築物に対しても第1回申請において示す基本的な方針との関係を踏まえて必要な説明をすること。	安全冷却水B冷却塔について、近傍のPS検層データを用いた耐震評価を実施する方針とする。⇒p23
4	2021.4.13	直下もしくは近傍の直下PS検層データが複数得られている場合について、直下地盤モデルとしてばらつきを考慮するのか、ロジックを整理し根拠を明確にして説明すること。	直下PS検層データが複数得られている建物・構築物については、そのデータのばらつきを考慮した耐震評価を実施する方針とする。⇒p23
5	2021.4.13	表層地盤を敷地全体のモデルとして扱い、そのデータのばらつきの影響評価について、地盤ばねの剛性を変化させた場合の検討として行うのであれば、 $\pm 1\sigma$ を超えるデータがあることに留意すること。	各建物・構築物の直下PS検層データによれば、速度構造設計用地盤モデルに考慮しているばらつき幅を超えるものがあることから、各建物・構築物の直下PS検層データを用いた耐震評価を実施する方針とする。⇒p23
6	2021.4.13	Ssや1.2Ssの入力では支持地盤や建物・構築物の非線形が進む可能性を考慮し、その場合の影響も踏まえて施設への影響を確認すること。	直下PS検層データを用いた耐震評価にあたっては、支持地盤の非線形が進む場合を考慮する方針とする。⇒p23
7	2021.5.25	直下PS検層データを用いた耐震評価を行う対象施設の選定方針について明確にすること。	地盤モデルを用いた地震応答解析を行う建物・構築物に対し、直下PS検層データの速度構造との比較を行った上で評価対象施設の選定を行う方針とする。⇒p23
8	2021.5.25	直下地盤モデルを用いた評価方針については、今回設工認の基本方針に記載することで検討すること。	今回設工認への反映事項として、左記の方針の対応とすることで本資料に記載。⇒p27
9	2021.5.25	直下地盤モデルを用いた評価結果の記載場所については、今後申請建屋の影響の大きさに応じて、耐震計算書の別添に限定せず、適切に記載箇所を検討すること。	

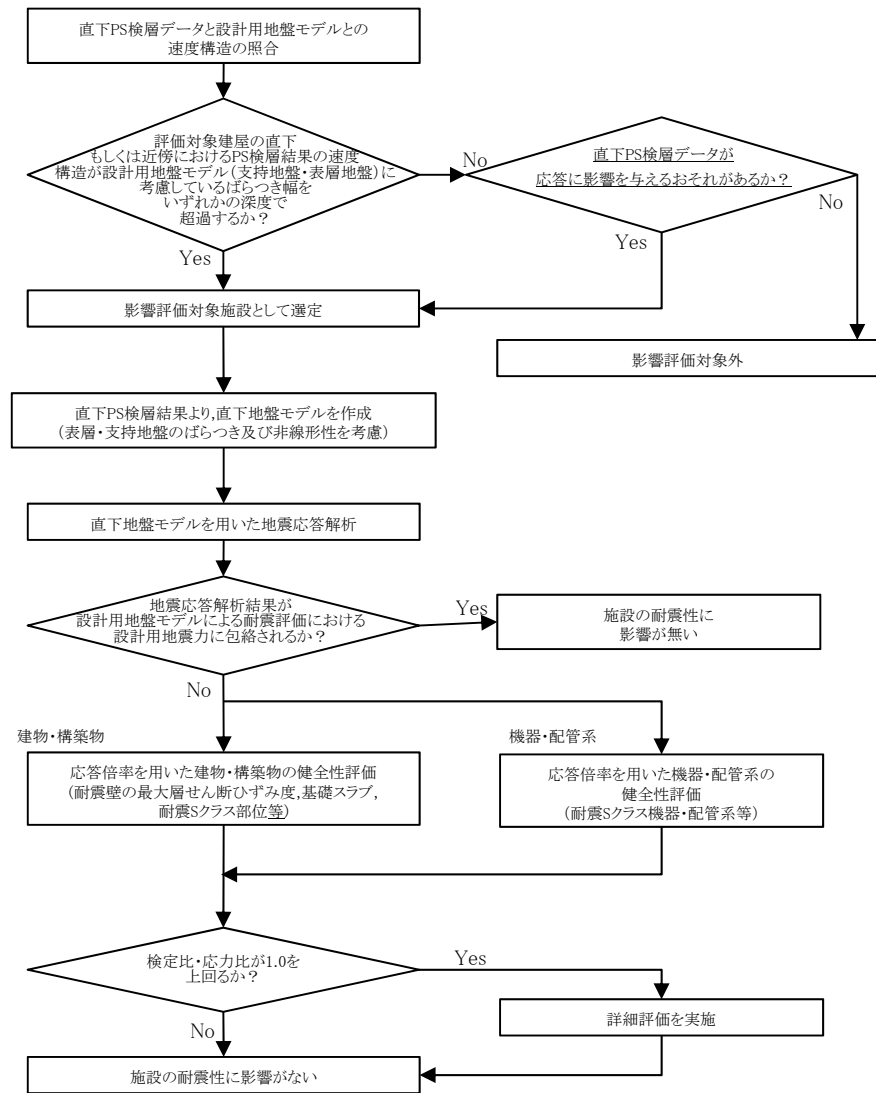
4. 技術的内容に係る説明 ① 地震応答解析に用いる地盤モデルの設定 (2) 直下PS検層データを用いた耐震評価対象施設の選定方針

■ 影響評価対象施設の選定方針

- 影響評価対象施設は、設工認申請対象施設である建物・構築物のうち、地盤モデルを用いた地震応答解析を実施する建物・構築物（耐震Sクラス施設の間接支持構造物、重大事故等対処施設、上位クラス施設への波及的影響を考慮する施設）から、以下の方針にて選定する。
- 直下PS検層データのS波速度またはP波速度が、設計用地盤モデルに考慮しているばらつき幅（ $\pm 1\sigma$ ）を支持地盤及び表層地盤におけるいずれかの深度で超える建物・構築物について、影響評価対象施設として選定する。
- なお、設計用地盤モデルに考慮しているばらつき幅（ $\pm 1\sigma$ ）をいずれの深度においても超えない建物・構築物についても、速度構造のインピーダンス比等に着目した検討により、応答に与える影響への配慮を行った上で、影響評価対象施設として選定するか検討を行う方針とする。
- 後次回申請対象施設についても、上記の方針にて影響評価対象施設を選定することとし、その選定の経緯及び結果については各申請回次にて示す。

■ 直下地盤モデルの作成方針

- 直下PS検層データを考慮した直下地盤モデルは、以下の方針で作成する。
 - ・ 直下地盤モデルは、建物・構築物直下もしくは近傍の支持地盤の物性値に加え、近傍の表層地盤の物性値を用いることとする。
 - ・ 影響評価対象施設の建物・構築物について、直下PS検層データが1孔のみの場合は、支持地盤及び表層地盤ともに、そのPS検層データの速度構造を基本ケースとして設定する。また、地盤物性のばらつきとして、設計用地盤モデルに考慮しているS波速度及びP波速度それぞれの変動係数（ $[\text{変動係数}] = [\text{標準偏差}] \div [\text{平均値}]$ ）を設定する。
 - ・ 影響評価対象施設の建物・構築物について、直下PS検層データが複数孔ある場合は、設計用地盤モデルの物性値の設定方法と同じ手法により、複数の直下PS検層データに基づき、S波速度及びP波速度の層境界を設定し、基本ケース及びばらつきケースの物性値を設定する。表層地盤についても、複数の近傍PS検層データに基づき、S波速度及びP波速度について、同じ手法により基本ケース及びばらつきケースの物性値を設定する。
 - ・ S_s や $1.2S_s$ の入力では支持地盤の非線形が進む可能性について考慮し、支持地盤のひずみ依存特性を考慮する。
 - ・ 直下地盤モデルを用いた地震応答解析は、全地震動に対して実施することを基本とし、各施設の応答性状を踏まえて保守的な地震波が確認できる場合には、その地震波に対して実施する方針とする。



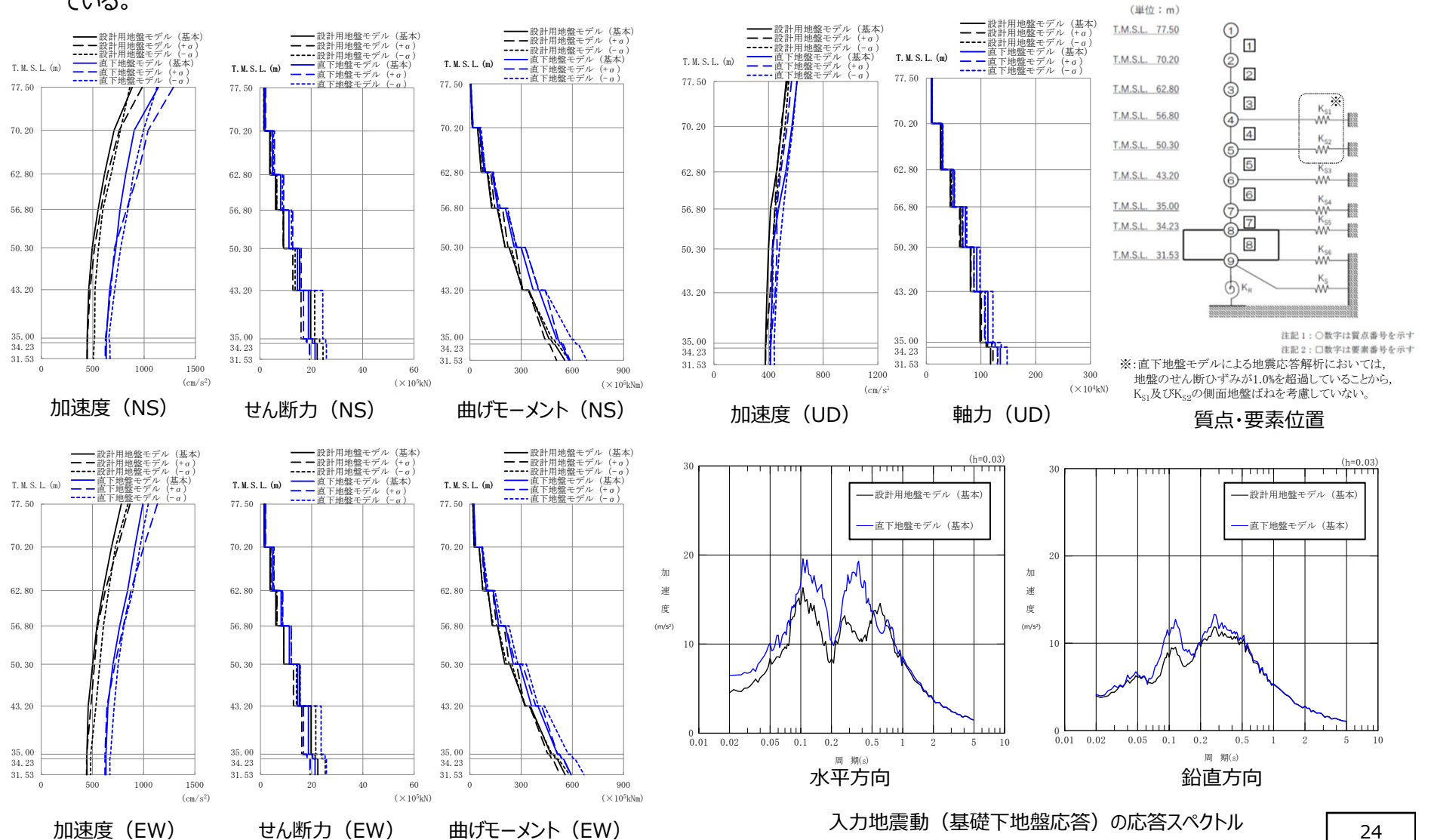
直下PS検層データを考慮した耐震影響評価フロー

4. 技術的内容に係る説明 ① 地震応答解析に用いる地盤モデルの設定

(3) 直下PS検層データを用いた地震応答解析結果 (燃料加工建屋)

■ 直下PS検層データを用いた地震応答解析結果の分析

➤ 燃料加工建屋について、設計用地盤モデルによる解析結果と直下地盤モデルによる解析結果の比較を下図に示す。(本資料では代表として基準地震動Ss-Aによる結果を示す。) 直下地盤モデルによる応答値が、設計用地盤モデルによる応答値を上回る傾向となっている。



注記1: ○数字は質点番号を示す
 注記2: □数字は要素番号を示す
 ※: 直下地盤モデルによる地震応答解析においては、地盤のせん断ひずみ率が1.0%を超過していることから、K_{S1}及びK_{S2}の側面地盤ばねを考慮していない。

4. 技術的内容に係る説明 ① 地震応答解析に用いる地盤モデルの設定 (4) 直下PS検層データを用いた耐震評価結果 (燃料加工建屋)

■ 直下PS検層データを用いた耐震評価結果 (概要)

- ▶ 下表に、燃料加工建屋における直下地盤PS検層データを用いた耐震評価結果の概要を示す。
- ▶ 耐震壁については「直下地盤モデル」の応答値の最大せん断ひずみを直接参照し、許容限界 (2.0×10^{-3}) 以内であることを確認した。
- ▶ その他評価部位 (Sクラス部位、基礎スラブ) については、「直下地盤モデル」による応答値を「設計用地盤モデル」による応答値で除して算出した応答比率を、「設計用地盤モデル」による最大の検定値 (発生値/許容値) に乗じ、その際の検定値が1.0以下であることを確認した。
- ▶ 燃料加工建屋の各部位について、直下地盤モデルを用いた場合であっても、耐震評価上、安全上支障は無いことを確認した。

燃料加工建屋に対する耐震評価結果のまとめ (層に対する評価)

施設名称	検討対象部位	評価内容	検討対象地震動	評価に用いる指標	最大せん断ひずみ度	評価結果
燃料加工建屋	耐震壁	層に対する評価	Ss	直下地盤を用いた地震応答解析結果における最大せん断ひずみ度	1.08×10^{-3}	建物・構築物全体の变形能力が終局耐力時の変形に対して十分な余裕を有していることを確認 (許容限界 2.0×10^{-3})
			1.2Ss*		0.658×10^{-3}	建物・構築物全体の变形能力が終局耐力時の変形に対して十分な余裕を有していることを確認 (許容限界 2.0×10^{-3})

* : 1.2Ssに対する評価については、直下地盤モデルによる基本ケースに対する評価結果を示す。

燃料加工建屋に対する耐震評価結果のまとめ (個々の部位に対する評価)

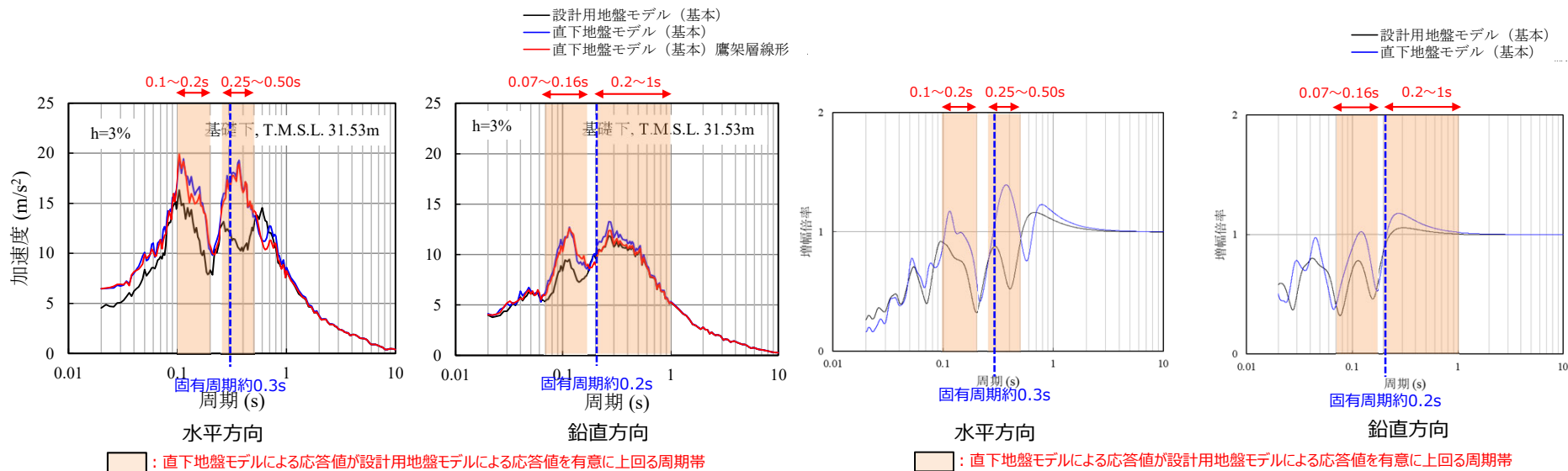
施設	検討対象部位	評価内容	検討対象地震動	評価に用いる指標	応答比率に基づく割増係数	割増係数を考慮した検定比	評価結果
燃料加工建屋	地盤 (接地圧)	個々の部位に対する評価	Ss	曲げモーメント及び軸力の応答比率	1.130	0.037	検定比が1.0を超えないことを確認
	基礎スラブ	個々の部位に対する評価	Ss	せん断力、曲げモーメント及び軸力に対する応答比率	1.130	0.955	検定比が1.0を超えないことを確認
	重要区域の壁	個々の部位に対する評価	Ss	上記耐震壁の評価で代表	-	-	耐震壁のSsに対する評価で代表
			Sd	せん断力による応答比率、曲げモーメント及び軸力に対する応答比率	1.428	0.962	検定比が1.0を超えないことを確認
	重要区域の床	個々の部位に対する評価	Ss	鉛直方向の最大応答加速度の応答比率	1.107	0.872	検定比が1.0を超えないことを確認
			Sd	上記Ssによる評価で代表	-	-	重要区域の床のSsによる評価で代表

4. 技術的内容に係る説明 ① 地震応答解析に用いる地盤モデルの設定

(5) 燃料加工建屋に対する影響の考察

■ 直下PS検層データを用いた地震応答解析結果の分析

- 前頁に示したとおり、燃料加工建屋については、直下地盤モデルによる応答値が、設計用地盤モデルによる応答値を上回る傾向となっていることから、その要因の分析を行った。
- 直下地盤モデルを用いた評価にあたっては、支持地盤に非線形性を考慮しており、その影響の感度解析として、支持地盤を線形条件とした場合の評価を実施した。その結果、非線形性の考慮の有無によって応答に有意な差は無いことから、支持地盤の非線形性の考慮は応答増の要因ではないと考えられる。
- 次に、直下地盤モデルによる解放基盤表面～燃料加工建屋基礎底面レベル(E+F波)の伝達関数を確認した。伝達関数において、設計用地盤モデルの増幅率を上回る周期帯は、入力地震動の応答スペクトルが卓越している周期帯と整合していることから、直下地盤モデルによる応答値の増大は、直下地盤モデルと設計用地盤モデルの速度構造の差が要因になっていると考えられる。
- 水平方向について、燃料加工建屋の1次固有周期は約0.3sであることから、入力地震動の卓越が固有周期と合致したことにより、前頁に示したとおり、特に水平方向の建屋応答として、設計用地盤モデルによる応答値を上回る傾向となったと考えられる。



支持地盤の非線形性の影響 (燃料加工建屋基礎底面レベル (E+F))

伝達関数の比較 (燃料加工建屋基礎底面レベル(E+F)/解放基盤表面)

4. 技術的内容に係る説明 ① 地震応答解析に用いる地盤モデルの設定 (6) 今回設工認への反映の考え方

R3.5.25
資料1
P28 加除修正

- 以下の確認結果をもって、「設計用地盤モデル」を、今回設工認の添付書類における各施設の地震応答計算書に記載する入力地震動の算定に用いる地盤モデルとする。
 - 設計用地盤モデルの設定に用いるデータの選定や物性値の算定方法の考え方について妥当性を示すことにより、設計用地盤モデルの設定の考え方が適切であることを確認している。
 - 地震観測記録を用いたシミュレーション解析により、設計用地盤モデルによる地震波の伝播特性が適切に設定されていることを確認している。
 - 建物・構築物の直下PS検層データにおいて、その速度構造が設計用地盤モデルにおいて考慮している地盤物性のばらつき幅を超えるデータが得られていることについて、建物・構築物の直下PS検層データを用いた耐震評価により、施設の耐震評価における検定値または応力比が1.0を超えず、耐震性に影響が無いことを確認した。
- また、直下PS検層データに基づく影響評価については、評価方針について今回設工認の添付書類における基本方針に記載するとともに、評価結果に対して各施設の耐震性に影響が無いことを確認し、今回設工認における添付書類※として、影響評価結果を記載する方針とする。
- 2020年12月24日に第1回申請を実施した燃料加工建屋、安全冷却水B冷却塔及び安全冷却水B冷却塔飛来物防護ネットについては、上記方針に従い、第1回申請において直下地盤モデルを用いた影響評価結果を添付書類※に記載する。
- 後次回申請対象施設については、各施設の申請回次にて、第1回申請における影響評価対象施設の選定方針及び影響評価方針を踏まえ、直下PS検層データに基づく耐震評価を実施する。

※「再処理施設の耐震性に関する計算書」及び「加工施設の耐震性に関する計算書」の別添を基本とするが、影響評価結果が設計に与える影響度合いに応じて、施設ごとに記載箇所について検討する。

② 設計用地下水位の設定

4. 技術的内容に係る説明 ②建物・構築物の設計用地下水位の設定 (1) 本日の説明内容及び審査会合における指摘事項

■ 本日の説明内容

これまでの指摘事項を踏まえ、設計用地下水位の設定について説明する。(4.①(1))

- 地下水排水設備の要求事項に基づき、基本設計方針、設工認申請上の取扱いについて以下の通り整理した。(4.②(4))
- 地下水排水設備は、安全機能を有する施設として整理し、安全機能を有する施設として適用される要求事項を満足するよう設計する。(4.②(4))
- 地下水排水設備の耐震重要度分類については、耐震Cクラスとして整理するが、耐震重要施設等に作用する揚圧力を低減するための設備であることから、耐震重要施設等の重要度を考慮して基準地震動 S_s に対して機能維持する設計とする。(4.②(4))
- 今回設工認では、本文及び添付書類において、建物・構築物の耐震評価で地下水排水設備により設計用地下水位を維持することを前提としていることを記載する。(4.②(4))
- 対象施設が地下水排水設備に囲まれていない場合は、液状化に伴う影響因子を整理し、各因子に対する液状化影響方針を体系的に整理した結果について説明する。(4.②(5),(6))

4. 技術的内容に係る説明 ②建物・構築物の設計用地下水位の設定 (1) 本日の説明内容及び審査会合における指摘事項

■本日の説明内容

- 建物・構築物の設計用地下水位の設定に関する内容について、これまでの審査会合での指摘を踏まえた対応方針について示す。

No.	審査会合日	指摘事項	対応方針
1	2021.3.15	地下水排水設備に要求する機能，申請対象施設としての取り扱い，耐震設計上の位置づけなどについて明確に整理すること。	地下水排水設備の要求機能，耐震設計上の位置づけ，申請対象施設としての取り扱いについて整理した。⇒p32
2	2021.4.13	地下水排水設備の設計方針については，先行炉の整理も踏まえて示すこと。	
3	2021.4.13	出入管理建屋の設計用地下水位について，耐震評価上の位置づけを整理すること。	出入管理建屋は，地下水排水設備の外側に配置されていることから，設計用地下水位を地表面に設定する。 出入管理建屋の耐震評価方針等については，当該施設の申請回次において示す。⇒p31
4	2021.3.15	液状化の影響を受ける可能性のある施設については，今回申請だけでなく今後の申請対象施設も含めて，施設の網羅的な抽出をまず行った上で，液状化の影響を考慮した設計の考え方を体系的に整理して説明すること。	第1回申請対象施設である杭基礎である安全冷却水系冷却塔 B 飛来防護ネットの液状化影響評価の考え方を整理した。 液状化に伴う影響因子，液状化対象層，施設周辺の地盤の整理し，各因子に対して各対象施設が液状化影響がないか体系的に整理した。⇒p34
5	2021.4.13	杭基礎の竜巻ネットと洞道で検討内容が異なっていることから，双方の評価が有効であることを示すこと。	
6	2021.4.13	液状化の影響検討において，周辺建屋や支持地盤の傾斜の影響等を踏まえていることを示し，体系的に整理すること。	

4. 技術的内容に係る説明 ②建物・構築物の設計用地下水位の設定 (2) 設計用地下水位の設定方針

■ 建物・構築物の設計用地下水位の設定に関する基本方針

- 基準地震動 S_s または基準地震動 S_s を1.2倍した地震力による評価を行う建物・構築物※（上位クラスへの波及的影響を評価する施設を含む）について、設計用地下水位を設定し、耐震評価を行う。
- 建物・構築物の耐震設計に用いる設計用地下水位は、右記フロー図に基づき、以下の通り設定する。

【地下水排水設備に囲まれている建物】

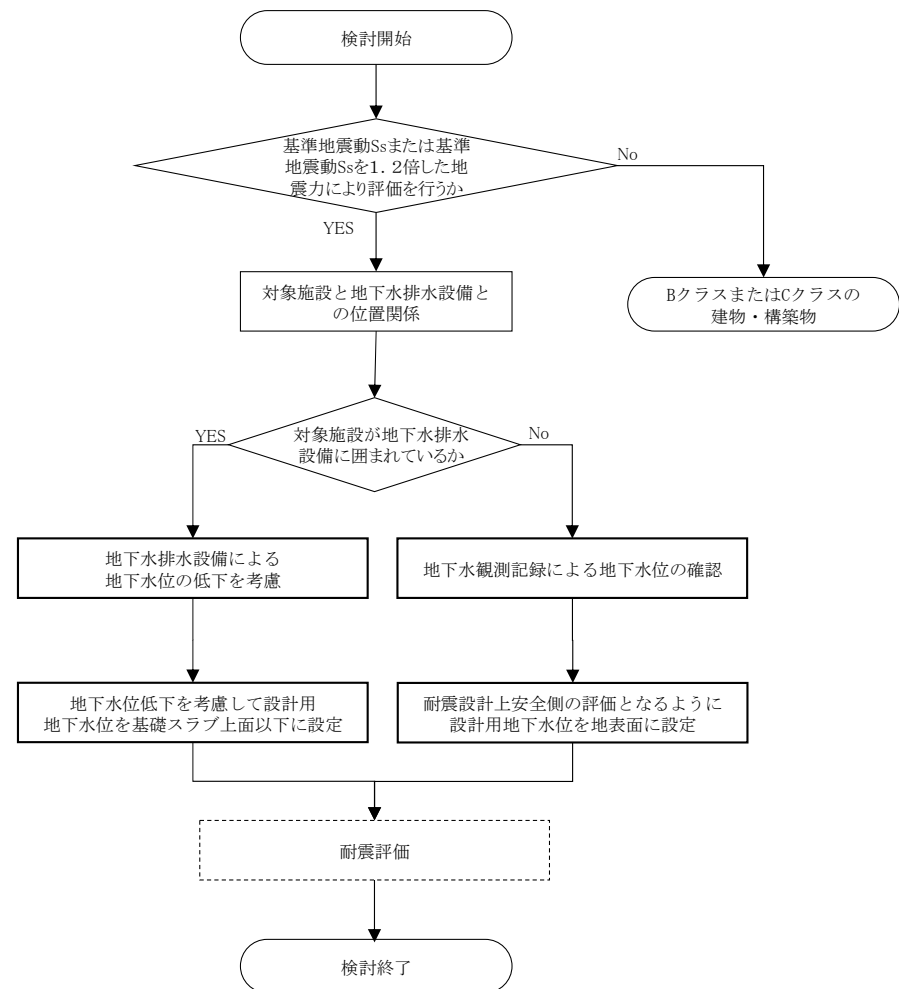
対象施設が地下水排水設備に囲まれている建物については、地下水排水設備による地下水低下を考慮して設計用地下水位を基礎スラブ上端以下に設定する。

【地下水排水設備の外側に配置される建物・構築物】

対象施設が地下水排水設備に囲まれていない場合は、地下水位観測記録等に基づく敷地内の地下水位の状況を踏まえ設定することが考えられるが、耐震設計上安全側となるように設計用地下水位を地表面に設定する。

- 地下水排水設備について、既設工認（当初設計）においては、地下躯体を有し、基準地震動 S_1 または S_2 による耐震評価を行うかBクラス以上の建屋及び屋外機械基礎に対して、地下水による影響を低減させることを目的として、当該施設の周囲に地下水排水設備を設置することを原則としていた。
- なお、一部の建屋については、地下水排水設備に囲まれているものの、設計用地下水位を地表面に設定していた建屋や地下水排水設備の外側に配置されているものの、設計用地下水位を基礎スラブ上端以下に設定していた建屋があったが、今回設工認においては、地下水排水設備の設置状況に応じて、設計用地下水位の見直しを行った。

※ 建物・構築物：建屋、屋外機械基礎、屋外重要土木構造物（洞道）、竜巻防護対策設備、排気筒及び換気筒の総称

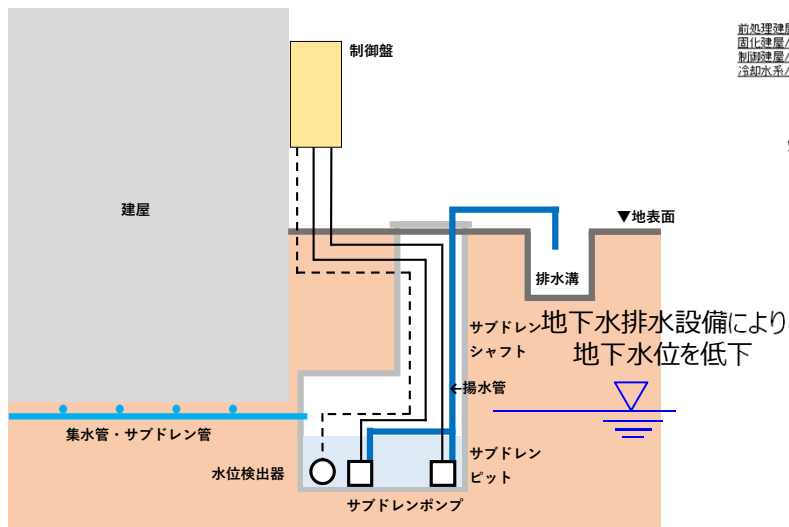


設計用地下水位の設定フロー

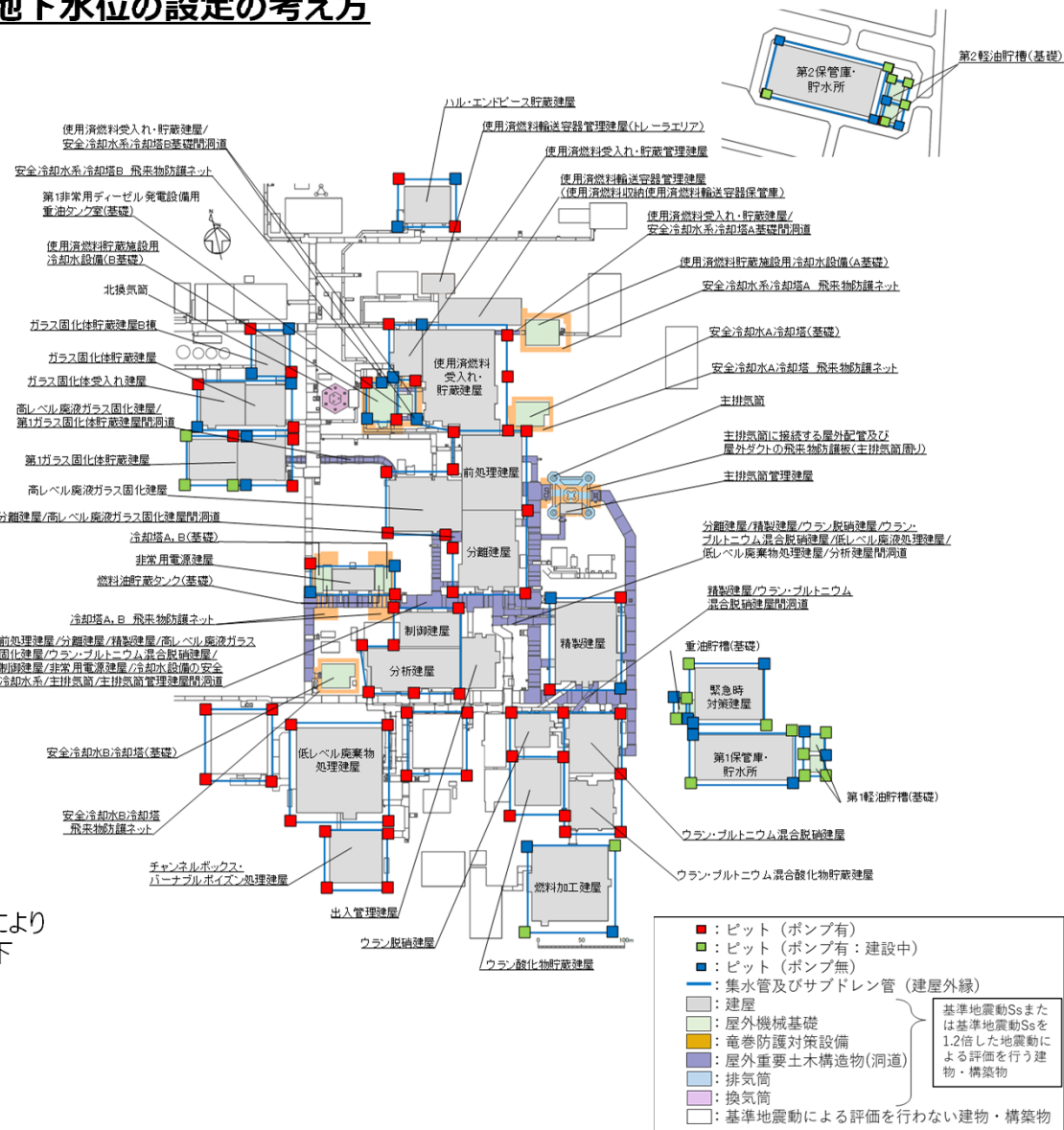
4. 技術的内容に係る説明 ②建物・構築物の設計用地下水位の設定 (3) 地下水排水設備に囲まれている建物 (設計用地下水位の設定)

■地下水排水設備に囲まれている建物の設計用地下水位の設定の考え方

- 再処理事業所における地下部に基礎以外の躯体を有する建屋及び屋外機械基礎の底面及び周囲には、地下水位を低下させ、建屋に作用する揚圧力を低減するための地下水排水設備を設置している。
- 下図に示した地下水排水設備に囲まれた内側は、地下水位を低下させている。
- 建物の耐震設計における設計用地下水位については、地下水排水設備による地下水位の低下を考慮し、基礎スラブ上端以下に設定することにより、耐震設計に用いる揚圧力及び地下水圧を低減させる設計とする。



地下水排水設備の概要図



敷地における地下水排水設備の配置図

4. 技術的内容に係る説明 ②建物・構築物の設計用地下水水位の設定 (4) 地下水排水設備に囲まれている建物 (地下水排水設備の設計方針)

■ 地下水排水設備の設計方針

【設計基準：再処理施設，廃棄物管理施設及びMOX燃料加工施設共通】

- 地下水排水設備は，地下水水位を抑制して一定レベルに維持し，建物・構築物に作用する揚圧力を低減するための設備であることから，建物・構築物の付随設備として位置づける。(事業許可基準規則第6条に関連※)
- 地下水排水設備は，安全機能を有する施設として整理する。なお，当該設備は，放射性物質を内蔵しておらず，工場等外へ放出されることを抑制し又は防止する要求はないため，安全上重要な施設には該当しない。従って，安全機能を有する施設として適用される要求事項を満足するよう設計する。
- 地下水排水設備の耐震重要度分類については，放射性物質を内蔵しておらず一般産業施設又は公共施設と同等の施設であり，耐震Cクラスとなる(事業許可基準規則第6条に関連※)が，耐震重要施設等に作用する揚圧力を低減するための設備であることから，耐震重要施設等の重要度を考慮して基準地震動 S_s に対して機能維持する設計とする。
- 地下水排水設備は，基準地震動 S_s に対して機能維持する設計とすることから，外部電源が喪失する状態を考慮し，非常用電源設備または基準地震動 S_s に対し機能維持が可能な発電機に接続する。非常用電源に接続する場合は，非常用電源設備に接続される安全上重要な施設に対して波及的影響を及ぼさない設計とする。なお，MOX燃料加工施設に設置する地下水排水設備は，非常用電源設備に接続する。
- 地下水排水設備の排水能力の設定にあたっては，事業変更許可申請書に示している降水量を条件として算定する湧水量に基づき保守的な想定湧水量を設定し，本想定湧水量を上回る排水能力を有するサブドレンポンプを設置する。

【設計基準を超える地震への考慮：MOX燃料加工施設】

- 基準地震動 S_s を超える地震が発生し，地下水排水設備の機能が停止した場合には，地下水水位が基礎スラブ上端まで達する水位上昇時間(2日程度)内に，代替ポンプ等の資機材によりサブドレンピットからの地下水のくみ上げ等を行う運用・手順を保安規定に基づき規定する。なお，代替対応ができないサブドレン管，集水管，サブドレンピット及びサブドレンシャフトについて基準地震動 S_s の1.2倍の地震力を考慮した設計とする。

※条文番号はMOX加工施設の事業許可基準規則を代表として記載

■ 地下水排水設備の申請上の取扱い

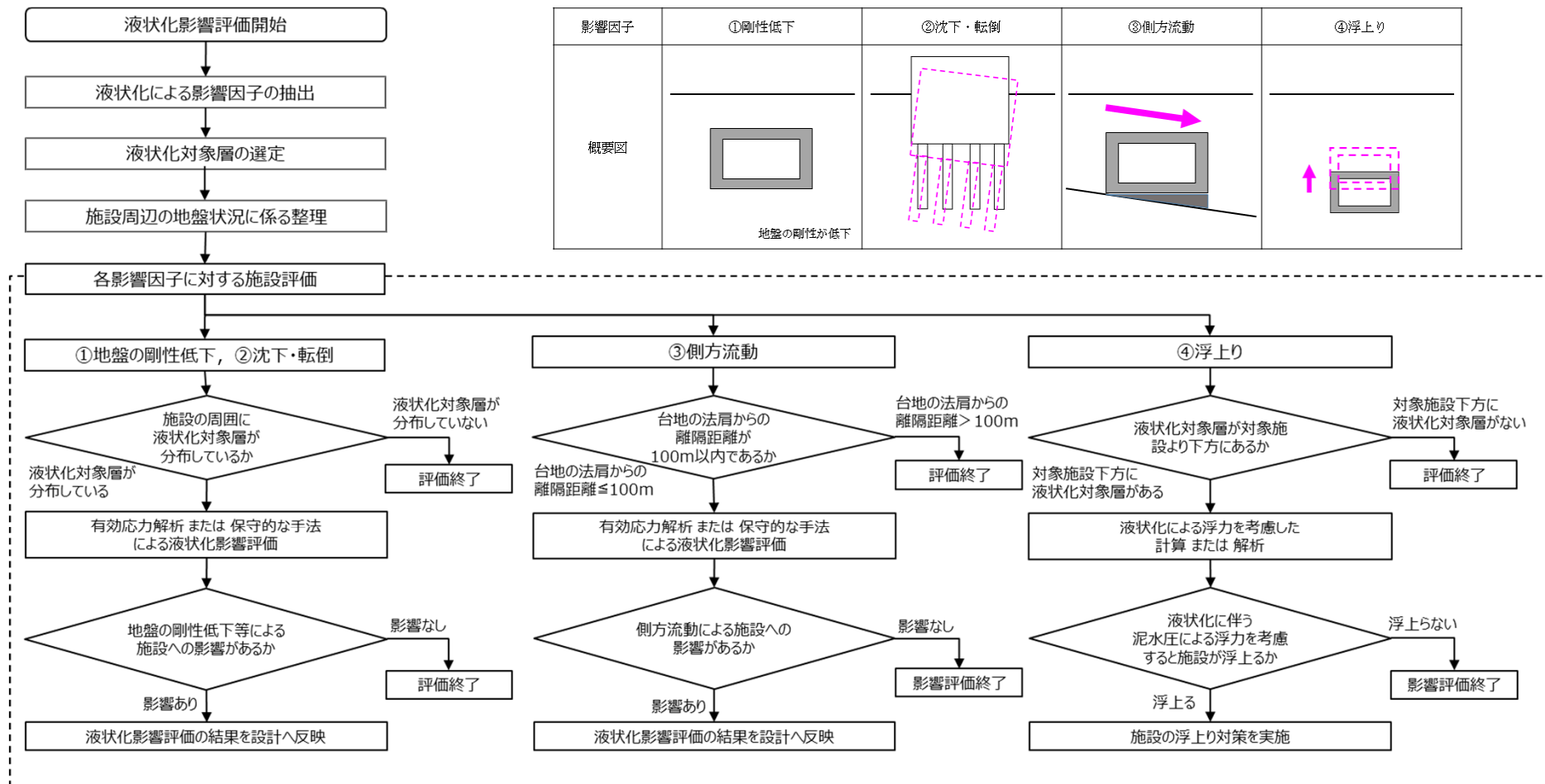
- 第1回設工認では，「基本設計方針」及び添付書類「耐震性に関する説明書」において，地下水水位の低下を期待する建物・構築物に地下水排水設備を設けること，建物・構築物の耐震評価で地下水排水設備により設計用地下水水位を維持することを前提としていることを記載する。併せて，添付書類で地下水排水設備を後次回で申請することを記載する。なお，設工認申請書の基本設計方針、添付書類での記載事項等については、共通06及び共通06を踏まえた各条文への展開として示す。

4. 技術的内容に係る説明 ②建物・構築物の設計用地下水水位の設定

(5) 地下水排水設備の外側に配置される建物・構築物（液状化による影響評価方針）

■ 液状化による影響評価方針

- 液状化影響評価については、以下に示すフローに基づき、液状化による影響因子の抽出、液状化対象層の選定及び施設側方の地盤状況に係る整理(改良地盤の液状化に対する有効性の確認含む)を行ったうえで、液状化による各影響因子（①剛性低下、②沈下・転倒、③側方流動、④浮上り）に対する施設評価を実施する。
- 液状化による影響因子のうち①～③に対する施設評価の結果、施設への影響がある場合は、設計への反映要否を確認する。また、④に対する施設評価の結果、施設の浮上りが否定できない場合は、浮き上がり対策を実施する。



影響因子	①剛性低下	②沈下・転倒	③側方流動	④浮上り
概要図	 地盤の剛性が低下	 沈下・転倒	 側方流動	 浮上り

図 液状化影響評価フロー

4. 技術的内容に係る説明 ②建物・構築物の設計用地下水位の設定

(6) 地下水排水設備の外側に配置される建物・構築物（液状化による影響評価方針）

■各施設の液状化影響評価

- 第1回申請対象施設における液状化影響評価対象施設である安全冷却水B冷却塔 飛来物防護ネットについて、具体的な液状化影響評価を以下に示す。
- その他の施設の具体的な評価手法については、各施設の申請回次にて示す。

■液状化影響評価方針（安全冷却水系冷却塔B 飛来防護ネット）

<構造概要及び耐震評価概要>

- 竜巻防護機能を持った防護ネット及び防護板を支持する鉄骨架構を上部構造とし、それらを鉄筋コンクリート造の基礎及び場所打ちコンクリート杭にて支持する構造である。杭周辺の表層地盤は基礎下レベルから支持地盤レベルまでの範囲を地盤改良し、杭は支持岩盤である鷹架層に支持する。
- 上位クラス施設である冷却塔を取り囲む配置となるため、Ss地震時に冷却塔へ波及影響を及ぼさない設計とする。
- 液状化影響評価としては、液状化対象層と直接接触する改良地盤の範囲及び健全性を確認することで、改良地盤に支持される杭設計の妥当性を確認する。

<各影響因子に対する施設評価>

① 地盤の剛性低下

改良地盤の側方に分布する液状化対象層の剛性低下を考慮し、液状化対象層の剛性に期待せずとも、現状の改良地盤範囲にて杭を支持できることを確認する。具体的には、地震時の杭の設計用水平力より改良地盤による支持力に相当する塑性水平地盤反力が大きいことを確認する。評価の結果、地盤改良範囲(幅)は妥当であり、杭設計に影響を与えないことを確認している。

② 沈下・転倒

飛来物防護ネットは杭基礎を介して改良地盤及び支持地盤（鷹架層）により支持されるため、それら地盤の健全性を確認することで、沈下・転倒の恐れのないことを確認する。具体的には、改良地盤の側方に分布する液状化対象層が当該層のもつ比重を有した液体と仮定した動水圧（ウェスタガード補正式）を考慮し、地震時の各種作用荷重に対する改良地盤の健全性を確認する。評価の結果、改良地盤は健全であり、沈下・転倒の恐れがないことを確認している。

③ 側方流動

飛来物防護ネットが設置される支持地盤は、高低がある台地の法肩から100m以上離れており、側方流動の恐れはない。

④ 浮上り

杭基礎と支持する改良地盤は杭の周面摩擦により引抜力作用時に抵抗できるため飛来物防護ネットと改良地盤は一体であると考えられ、液状化対象層は改良地盤の底部より下に存在しないため、液状化に伴う浮上りの可能性はない。

③ 隣接建屋の影響

4. 技術的内容に係る説明 ③ 隣接建屋の影響

(1) 本日の説明内容

■ 前回（2021年5月25日）の審査会合での説明事項

- 隣接建屋が、評価対象建屋の建屋応答に与える影響について検討を実施することで、構造毎に独立して構築した解析モデルを用いても安全上支障がないことを確認する。※
- 申請を実施した燃料加工建屋及び安全冷却水B冷却塔（基礎）については、上記影響検討として、先行発電炉に倣い、FEMモデルを用いた詳細検討を実施する。

※：本資料においては、建屋及び屋外機械基礎を対象とし、洞道、竜巻防護対策設備、排気筒及び換気筒、並びに機器・配管系については、各設備の申請回次において別途説明する。

■ 本日の説明内容

- 申請を実施した燃料加工建屋及び安全冷却水B冷却塔（基礎）について、FEMモデルを用いた詳細検討の内容及び結果を示し、構造毎に独立して構築した解析モデルを用いても安全上支障がないことを説明する。
- FEMを用いた詳細検討については、評価方針を添付書類の基本方針に記載するとともに、評価結果についても、隣接建屋の影響を考慮した応答比率（隣接/単独）が1を超える場合には、その結果を添付書類に記載することとする。

4. 技術的内容に係る説明 ③ 隣接建屋の影響 (2) 検討概要

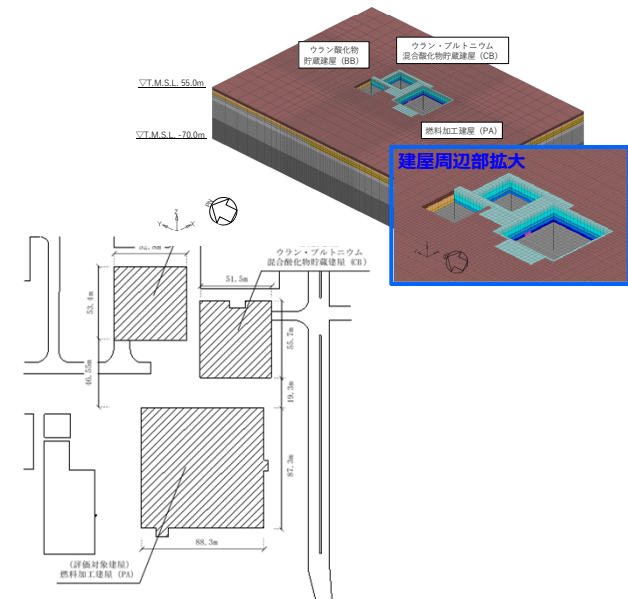
■ 検討概要

- FEMを用いた詳細検討は、先行発電炉に倣い、実際の建屋配置状況に則して各建屋を配置する場合（**隣接モデル**）と各建屋を単独でモデル化する場合（**単独モデル**）の地震応答解析を実施し、両者の建屋応答の比較を行う。
- 上記建屋応答の比較から得られる**応答比率（隣接モデル/単独モデル）が1を超える場合については、応答比率を用いた影響検討を行い、建物・構築物の耐震評価に与える影響を確認する。**
- 検討に用いる解析モデルは、建屋を質点系モデルとし、地盤を3次元FEMモデルとした**地盤3次元FEMモデル**を用いる。解析条件は、先行発電炉の実績を参考に設定した。
- 隣接モデルには、下表に示すとおり、評価対象建屋に隣接する隣接建屋をモデル化する。

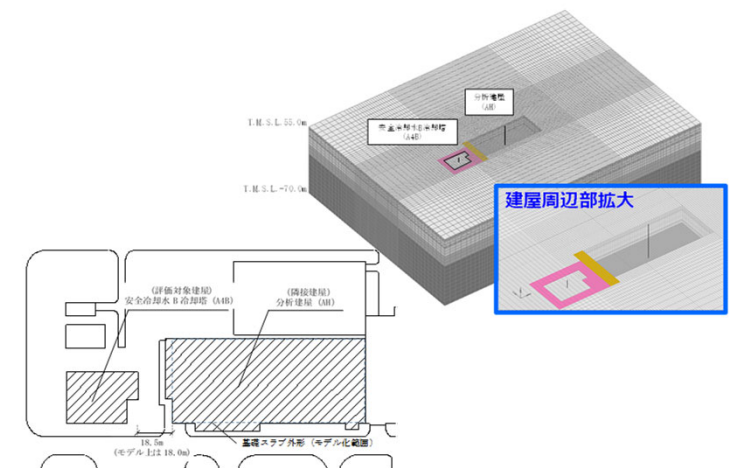
隣接モデルに考慮する隣接建屋※

評価対象建屋	隣接建屋
燃料加工建屋	ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋
	ウラン酸化物貯蔵建屋
安全冷却水B冷却塔（基礎）	分析建屋

※：評価対象建屋の基礎幅程度の範囲内に存在する建屋（評価対象建屋に比べて重量が非常に小さい建屋は除く）を考慮



燃料加工建屋の検討概要



安全冷却水B冷却塔の検討概要

4. 技術的内容に係る説明 ③ 隣接建屋の影響 (3) FEMを用いた詳細検討 (耐震評価への影響検討)

■ 検討方法 (燃料加工建屋, 安全冷却水B冷却塔 (基礎) 共通)

- 建物・構築物の耐震評価への影響確認では、**隣接モデルと単独モデルの建屋応答の比較から得られる応答比率 (隣接モデル/単独モデル) を考慮した検討**を行う。具体的には、以下(1)～(4)のとおりである。
 - (1) 検討対象部位の耐震評価において、地震力として考慮する応答成分を耐震要素毎に抽出し、応答比率を算定する。
 - (2) 各耐震要素毎に算定した応答比率の最大値を割増係数として設定する。
 - (3) 上記の割増係数を、各計算書の耐震評価結果の検定比^{※1}に乘じる。
 - (4) 割増係数を考慮した検定比が1.00を超えないことを確認^{※2}する。

- 上述の**応答比率は、Sd-Aによる線形解析の結果に基づき算定した値**であるが、**部材の非線形化の影響を考慮^{※3}した**うえで、「**Ss地震時に対する評価**」にも適用している。

※1：検定比 = 解析結果 (発生応力等) / 許容値。

各計算書に示す検定比は、**基準地震動Ss (又は弾性設計用地震動Sd) 全波を包絡した結果**であり、**地盤物性のばらつきについても考慮した結果**である。

※2：割増係数を考慮した検定比が1.00を超える場合は、別途詳細な評価を実施する。

※3：線形解析により算定した応答比率は、部材の非線形化による剛性低下を考慮して算定した応答比率よりも大きくなる。

また、各層の変形 (耐震壁のせん断ひずみ) の評価については、部材の非線形化による変形の進行を考慮し、エネルギー一定則に基づき評価する。

4. 技術的内容に係る説明 ③ 隣接建屋の影響 (3) FEMを用いた詳細検討 (耐震評価への影響検討)

■ 耐震評価への影響検討結果

- 申請を実施した燃料加工建屋及び安全冷却水B冷却塔（基礎）の影響検討結果を示す。
⇒ 割増係数を乗じた検定比が1.00を超えないことから、安全上支障がないことを確認した。

耐震評価への影響検討結果
(割増係数を乗じた検定比が最も厳しいケースを代表して記載)

評価対象 建屋	検討対象部位	①最大応答比率	割増係数を乗じた検定比が 最も厳しいケース			②耐震計算書 の結果※1 (検定比換算)	③割増係数を 乗じた検定比※1 (①×②)	判定	
			地震力	方向	項目				
燃料加工 建屋	耐震壁	1.017	Ss	NS	せん断ひずみ	0.312	0.319※2	OK	
	地盤 (接地圧)	0.993	—※3					OK	
	基礎スラブ	0.993	—※3					OK	
	スクラスの	壁	0.996	—※3					OK
		床		該当部位無し					
	屋根鉄骨 及び屋根トラス		該当部位無し						
安全冷却水B 冷却塔 (基礎)	耐震壁		該当部位無し						
	地盤 (接地圧)		—※3					OK	
	基礎スラブ		Ss	EW	軸力+曲げモーメント			OK	
	スクラスの	壁		該当部位無し					
		床		該当部位無し					
	屋根鉄骨 及び屋根トラス		該当部位無し						

※1：有効数字3桁表記（4桁目を保守的に切り上げ）， ※2：エネルギー一定則を考慮した値のため，単純に①×②の値とはならない，
※3：最大応答比率が1を超えないため，割増係数を考慮した検討は不要

4. 技術的内容に係る説明 ③ 隣接建屋の影響 (4) まとめ

■まとめ

- 当社事業所は、**再処理施設等の建物・構築物が互いに隣接して配置される構成となっているが、建物・構築物の地震応答解析においては、隣接建屋の影響は考慮しておらず、構造毎に独立して構築した解析モデルを用いている。**
- 上述の状況を踏まえ、申請を実施した燃料加工建屋及び安全冷却水B冷却塔（基礎）について、**FEMモデルを用いた詳細検討を実施した。**FEMを用いた詳細検討は、先行発電炉に倣い、実際の建屋配置状況に則して各建屋を配置する場合（隣接モデル）と各建屋を単独でモデル化する場合（単独モデル）の地震応答解析を実施し、両者の建屋応答の比較から得られる**応答比率を用いて建物・構築物の耐震評価に与える影響を確認した。**
- **申請を実施した燃料加工建屋及び安全冷却水B冷却塔（基礎）について、FEMモデルを用いた詳細検討の結果、隣接建屋の影響による割増係数を考慮した検定比が1.00を超えないことから、構造毎に独立して構築した解析モデルを用いても安全上支障がない。**
- なお、**FEMを用いた詳細検討**については、**評価方針を添付書類の基本方針に記載するとともに、評価結果についても、隣接建屋の影響を考慮した応答比率（隣接/単独）が1を超える場合には、その結果を添付書類に記載することとする。**
⇒申請を実施した燃料加工建屋及び安全冷却水B冷却塔（基礎）については、隣接建屋の影響を考慮した応答比率（隣接/単独）が1を超えることから、その結果を添付書類に記載する。

④ 水平2方向の組合せに関する設備の抽出及び考え方について

4. 技術的内容に係る説明 ④ 水平2方向の組合せに関する設備の抽出及び考え方について

④水平2方向の組合せに関する設備の抽出及び考え方について

- 従来の水平1方向と鉛直地震力の組合せによる評価に対し，新規制基準において新たに要求された水平2方向による地震力と鉛直地震力の組み合わせによる影響評価の考え方、類型化の分類と設工認申請書における示し方について説明する。

4. 技術的内容に係る説明 ④ 水平2方向の組合せに関する設備の抽出及び考え方について

(1) 影響検討方針

■ 水平2方向及び鉛直方向地震力の組み合わせに対する影響評価

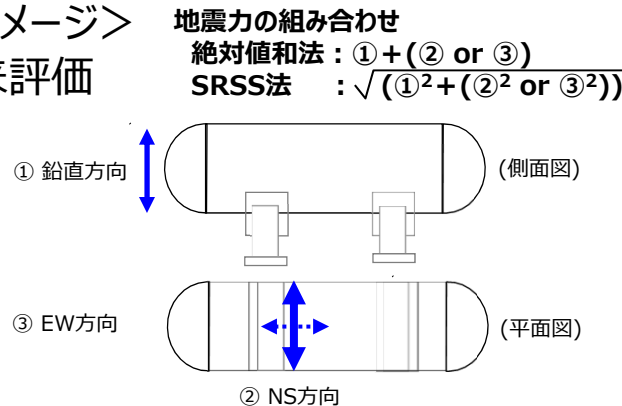
- ▶ 水平2方向及び鉛直方向地震力の組み合わせに対する影響については、新規基準において新たに要求されたものであり、実施内容としては「再処理施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈 別記2」に基づき、水平2方向及び鉛直方向地震力を組み合わせた場合の従来評価に対する影響（以下、「水平2方向影響」という。）評価を行う。

■ 影響検討方針

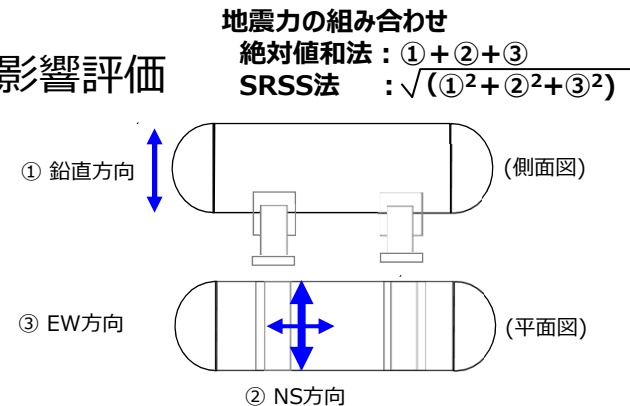
- ▶ 従来評価では、水平方向として2方向（NS方向及びEW方向）の地震力のうち大きい方又は包絡した地震力の1方向と鉛直方向地震力を組み合わせた評価（以下、「従来評価」という。）を行っていたが、水平2方向影響の評価では、水平2方向と鉛直方向地震力の3方向地震力の組み合わせによる評価を行う。

<評価イメージ>

✓ 従来評価



✓ 水平2方向影響評価



- ▶ 水平2方向に対する影響は、設備形状によって物理的な振動が生じる方向（応答軸）が異なることにより影響の有無に違いが生じるため、設備形状に応じた確認を行い、実施方法としては基本方針上の評価方針ごとに行う。その場合の分類数としては機器・配管系の57分類が対象となる。
- ▶ 水平2方向影響の有無の確認の結果、影響有の設備については従来評価に加え水平2方向影響の評価、影響無（影響軽微と見なせる）の設備については従来評価を行う。

4. 技術的内容に係る説明 ④ 水平2方向の組合せに関する設備の抽出及び考え方について (2) 影響検討実施内容

■ 影響検討実施内容

- ① 水平2方向影響の確認に当たっては、基本方針の計算式の分類を基に、分類内の設備、評価部位ごとに行った（分類数としては、類型化と同一）。
- ② 各設備に対する水平2方向影響の確認としては、応答軸及び応力が増加する形状か否かについて確認した。
- ③ これらの確認を行い、水平2方向影響評価要否の判断を行った。
- ④ 本確認結果については、設備の形状により物理的な挙動が同傾向となることから、影響が類似する形状ごとにグループ化を行った。

<影響有無に対する検討内容>

影響が類似する形状	設備		水平2方向の影響評価要否			
	類型化の分類	評価部位	地震力が重複する形状	振動モードによりねじれ振動が生じる形状	水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せにより応力が増加する形状	要否
矩形型設備	架構設備	支持架構	×	×	×	否
		基礎ボルト	○			否
	フィルタユニット	基礎ボルト	○	×	×	否
平底型設備	平底たて置円筒形容器	胴板	×	×	○	否
		基礎ボルト	○			要
	フランジ固定容器	胴板	×	×	○	否
		基礎ボルト	○			要

4. 技術的内容に係る説明 ④ 水平2方向の組合せに関する設備の抽出及び考え方について

(3) 影響検討結果

■ 影響検討結果

- 影響が類似する形状ごとのグループ数としては14形状となり、そのうち、水平2方向の影響有りの形状は6形状となる。
- 水平2方向の影響を受ける6形状の類型化分類の内訳は、57分類中、以下の11分類が該当し、その他の分類については影響軽微であることを確認した。
 - ✓ 機器（定型式）7分類：平底たて置き円筒型容器、スカート支持容器、たて軸ポンプ、他
 - ✓ 機器（FEM）3分類：フランジ固定容器、たて型回転容器、燃料ラック
 - ✓ 配管（多質点解析）
- 影響有となる11分類に該当する設備については、従来評価に加え水平2方向の影響評価に対する結果を示す。設工認における評価結果の示し方を以下に示す。

■ 水平2方向影響に対する設工認上の扱い

- 影響評価結果は類型化の各分類の代表設備に示し、代表設備の選定に当たっては応力比が大きい設備を選定する。
- 水平2方向の影響評価を実施する設備の結果は、従来評価結果と水平2方向影響に対する評価結果を設工認 添付書類に示す。

従来評価結果：設工認 添付書類 耐震性に関する計算書「再処理設備本体等に係る耐震性に関する計算書」※

水平2方向影響に対する評価結果：設工認 添付書類 耐震性に関する計算書「水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ評価対象設備の組合せに関する影響評価結果」

※水平2方向の影響が軽微な設備の結果は、従来評価結果にて示す。

5. 技術的内容に係る説明

(外部衝撃による損傷の防止)

5. 1 主な説明項目

- 外部衝撃による損傷の防止に係る主な説明項目について以下に示す。

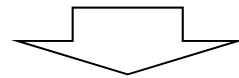
主な説明項目		説明内容	説明予定	
①	竜巻	飛来物防護ネットの健全性について	<ul style="list-style-type: none"> 防護ネットの構造及び評価の考え方を整理し、飛来物に対する防護設計について説明を実施。 防護板に関する設計の考え方について、説明が不足していたことから、説明する。 	本日説明 (4/27審査会 合コメント)
②				
		空気密度による強度評価への影響について	<ul style="list-style-type: none"> 設計竜巻荷重の設定において考慮する空気密度については、低温による密度増加の影響は小さく、現状の考慮している空気密度で問題ないことを確認した。 	3/15説明済
③	竜巻・火山	許容限界の考え方について	<ul style="list-style-type: none"> 許容限界の設定について機能維持の観点からⅢ_ASを採用することとした。 	3/15説明済
④	外部火災	航空機墜落火災に対する影響評価について	<ul style="list-style-type: none"> 航空機墜落火災に対する設計の基本的な考え方について説明を実施。 防護対策の詳細設計方針、施工要領等の説明が不足していたことから、説明する。 	本日説明 (5/25審査会 合コメント)

4. 3 飛来物防護ネットの健全性 (1/8)

■ 前回審査会合における説明状況

■ 防護板の必要板厚を設定するBRL式の直径Dの設定の妥当性

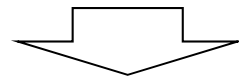
- 審査会合（令和3年4月27日）で、防護板が飛来物の貫通を防止するための、貫通限界厚さの算出にBRL式を用い、等価直径の設定に最新知見の結果が適用できることを説明したが、最新知見の結果が135kgの設計飛来物にも適用できることの説明が不足していた。



- 他の実験データの確認結果およびBRL式の適用実績から、最新知見が135kgの設計飛来物にも適用可能であることを確認した。(4.3 (2/8)～(3/8))

■ 飛来物防護ネットの構造と評価項目について

- 審査会合（令和3年4月27日）において飛来物防護ネットの基本的な構造と評価方針について説明したが、防護板や補助防護板等の詳細構造の説明が不足していた。



- 防護ネットや防護板等について、それぞれの構造の特徴等を踏まえた評価内容（考慮する荷重、評価対象部位等）を整理した。(4.3 (4/8)～(8/8))

5. 2 飛来物防護ネットの健全性 (2/8)

防護板の必要板厚を設定するBRL式の直径Dの設定の妥当性

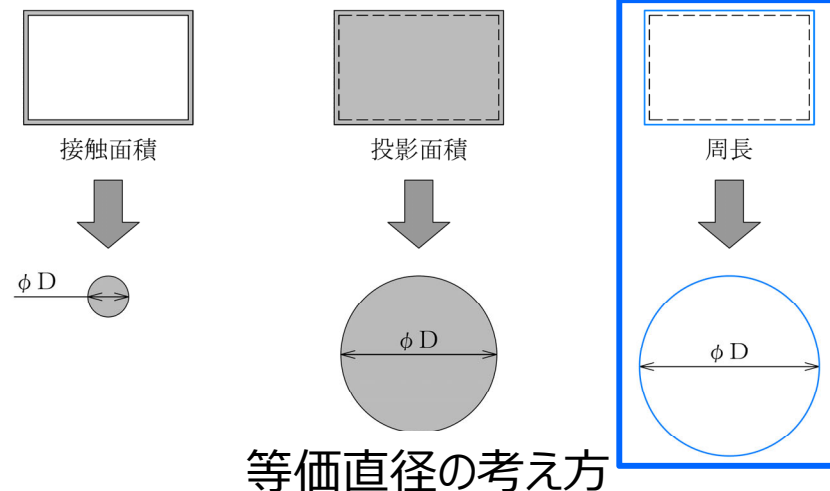
■ BRL式の等価直径Dの考え方

- 防護板は、設計飛来物の貫通を防止するため、貫通限界厚さを上回る板厚を確保する設計としている。
- 貫通限界厚さの算出には、先行電力でも採用実績があるBRL式を用いる。
- 最新知見（電中研報告O19003（2019年11月））で以下のことが確認されている。
 - 衝突部面積の相違が鋼板の貫通／非貫通に与える影響は小さい。
 - 飛来物の速度（30～70m/s）、質量（6～11.5kg）の範囲でBRL式は保守的な評価を与える。
 - 周長が等価な円の直径を入力したBRL式の評価結果は、多角形飛来物に対しても鋼板の対貫通性能を保守的に評価できる。
- 防護板の設計では最新知見の考え方を適用し、BRL式に入力する飛来物衝突部の等価直径を設計飛来物の断面の周長と等価となる直径としている。
- 最新知見の試験体は設計飛来物と質量が異なることから、最新知見の設計飛来物への適用性について次頁に示す。

<BRL式>

$$T^{\frac{3}{2}} = \frac{0.5mv^2}{1.4396 \times 10^9 \cdot K^2 \cdot D^{\frac{3}{2}}}$$

- T: 貫通限界厚さ (m)
 D: 飛来物が衝突する衝突断面の等価直径 (m)
 K: 鋼板の材質に関する係数
 m: 飛来物の質量 (kg)
 v: 飛来物の速度 (m/s)

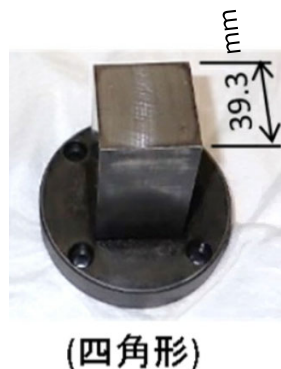
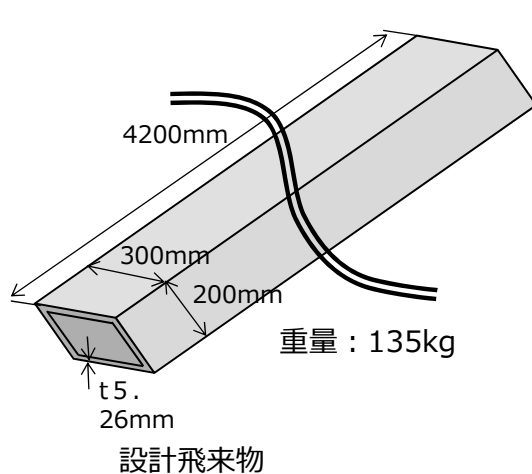


5. 2 飛来物防護ネットの健全性 (3/8)

防護板の必要板厚を設定するBRL式の直径Dの設定の妥当性

■ 最新知見を設計飛来物に適用することの考察

- 最新知見の等価直径の考え方は、以下のことから質量の異なる設計飛来物へ適用可能である。
 - 最新知見（電中研報告O19003）では、飛来物の質量を変化させた場合でも、試験結果に有意な差はなく、周長が等価な円の直径をBRL式に入力した場合でも貫通限界厚さを評価できることを確認している。
 - 設計飛来物と同等の寸法及び運動エネルギーを有する飛来物の衝突試験の実施結果（電中研報告N15004（2015年10月））やタービンミサイルの評価に使用されてきた実績があることから、BRL式は飛来物の質量の大きさに係わらず適用できることを確認している。
- 最新知見は多数の実験データから確認しており、最新知見を否定するような実験データが確認されていないことから、十分な信頼性があるといえる。一方で、四角形衝突部の貫通限界厚さ近辺の実験データが十分とはいえないことから、実験的に非貫通が確認された板厚との比率を考慮する。（BRL式による貫通限界厚さの算出結果7.9mmに対し、設計上設定する貫通限界厚さを8.2mmとする。）



実験で用いた飛来物
(電中研報告O19003)

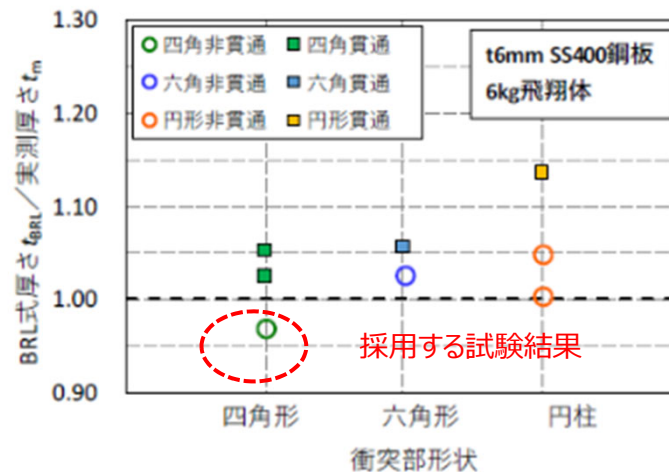


図 貫通試験の結果（電中研報告O19003）
(BRL式による貫通限界厚さと実測板厚の比率に対する結果の違い)

5. 2 飛来物防護ネットの健全性 (4/8)

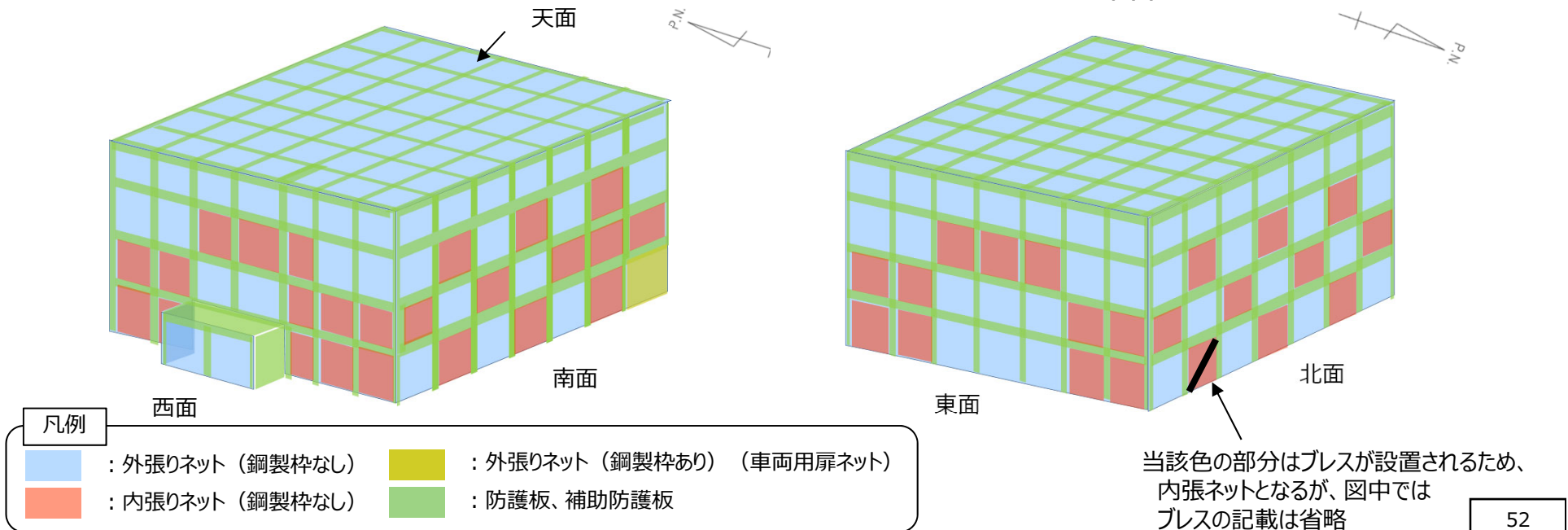
飛来物防護ネットの構造と評価項目について

■ 飛来物防護施設の構造概要

- 飛来物防護ネットは、竜巻に伴い発生する飛来物から竜巻防護対象施設を防護する施設である。防護対策の設計の考え方は下表のとおり。

防護対策	設計の考え方
防護ネット	<ul style="list-style-type: none"> ・冷却塔の冷却能力確保のため、冷却塔周りの飛来物防護対策の基本構造とする。 ・防護ネットは、電中研の報告書に記載されている評価式を用いて設計することから、鋼製枠ありの防護ネットが基本構造だが、耐震性向上のため、鋼製枠を無くし、軽量化を図った構造の防護ネットを採用している。 ・施工性の観点から、支持架構の外側に設置することが基本だが、ブレース等のネットの変形を阻害するものが存在する場合、その対策として、支持架構の内部に設置する防護ネット（内張りネット）も採用している。
防護板	<ul style="list-style-type: none"> ・離隔距離が確保できない等、防護ネットが設置できない箇所に設置する。
補助防護板	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼製枠なしの防護ネットについて、支持架構とネットの間に僅かながら隙間が生じる恐れがあるため、隙間からの小さな飛来物が侵入することを防止するために設置する

- 次ページ以降に防護ネット、防護板及び補助防護板の設置目的、構造、評価内容について示す。

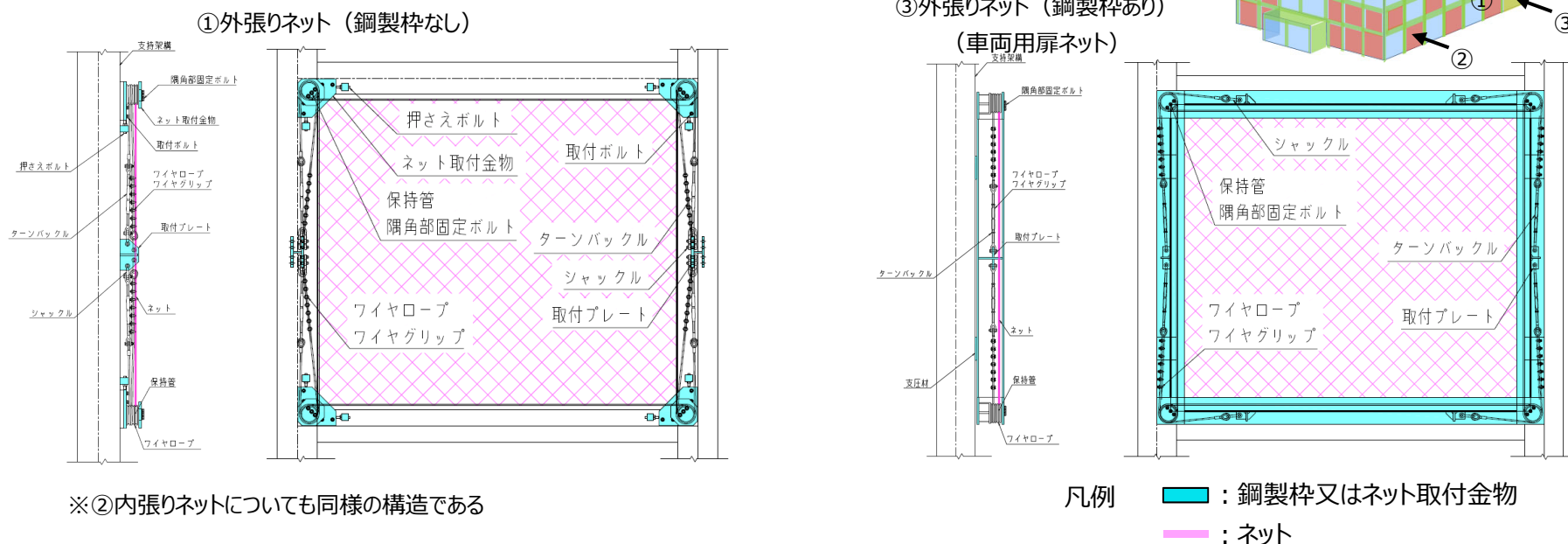


5. 2 飛来物防護ネットの健全性 (5/8)

飛来物防護ネットの構造と評価項目について

■ 防護ネットの構造

- 設置目的：冷却塔の冷却空気の流れを阻害しないために採用する。防護ネットは、設計飛来物の運動エネルギーを吸収し、防護対象施設に設計飛来物が衝突することを防止する。
- 構造：飛来物を補足するネット、ネットを支持するワイヤロープ、ワイヤロープを保持する保持管、取付けプレート等で構成する。再処理施設の防護ネットの特徴として、先行炉では鋼製の枠にネット等を取り付けているが、再処理施設では軽量化のためにネット取付金物を用いて支持架構へ直接ネット等を取り付けている。また、ブレース材との干渉が想定される個所では、支持架構内側に防護ネットを取り付けている。構造について、下図に示す。



※②内張りネットについても同様の構造である

5. 2 飛来物防護ネットの健全性 (6/8)

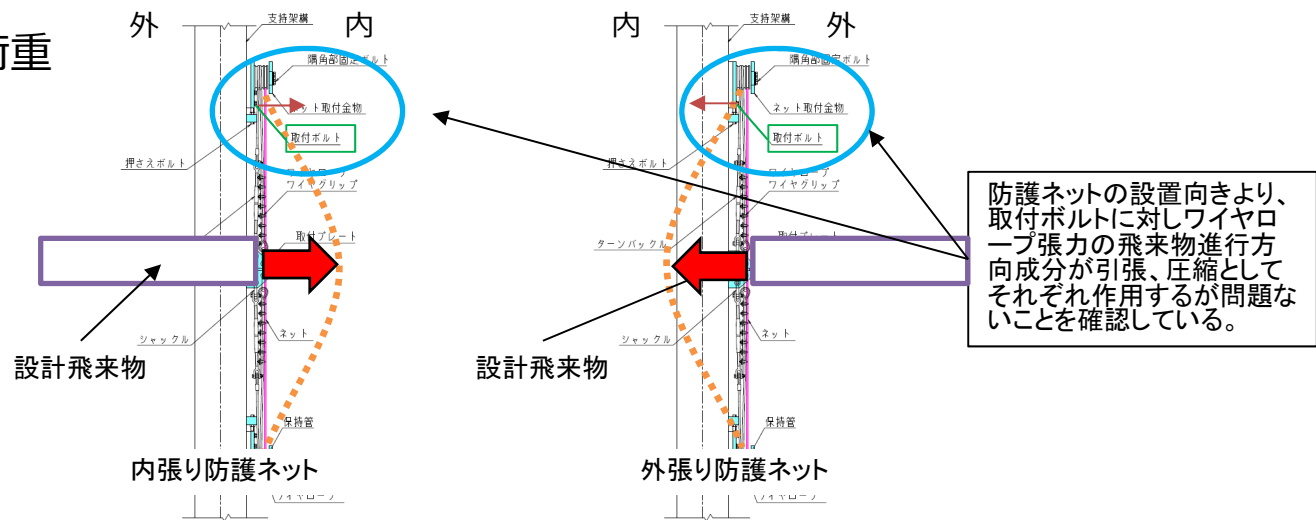
飛来物防護ネットの構造と評価項目について

■ 防護ネットの構造

- 評価対象部位及び評価内容：ネットに飛来物が衝突した際の荷重の伝播経路上の部位を評価し、問題ないことを確認した。

評価部位	評価の内容
ネット	電中研の評価式に基づき、吸収エネルギー、ネットの破断、たわみを評価
ワイヤーロープ	電中研の評価式に基づき算出されるワイヤーロープの張力にて、ワイヤーロープが破断しないことを評価
隅角部固定ボルト	ワイヤーロープ張力により隅角部固定ボルトに作用する荷重に対して、破断しないことを確認
押さえボルト (鋼製枠なしネットのみ)	ワイヤーロープ張力により押さえボルトに作用する荷重に対して、破断しないことを評価
取付けボルト (鋼製枠なしネットのみ)	ワイヤーロープ張力により、取付けボルトに作用する荷重に対して、破断しないことを評価
ターンバックル	ワイヤーロープの張力に対し、破断しないことを評価
シャックル	ワイヤーロープの張力に対し、破断しないことを評価
取付けプレート	ワイヤーロープの張力に対し、破断しないことを評価

- 内張り、外張り防護ネットの荷重伝搬の違い



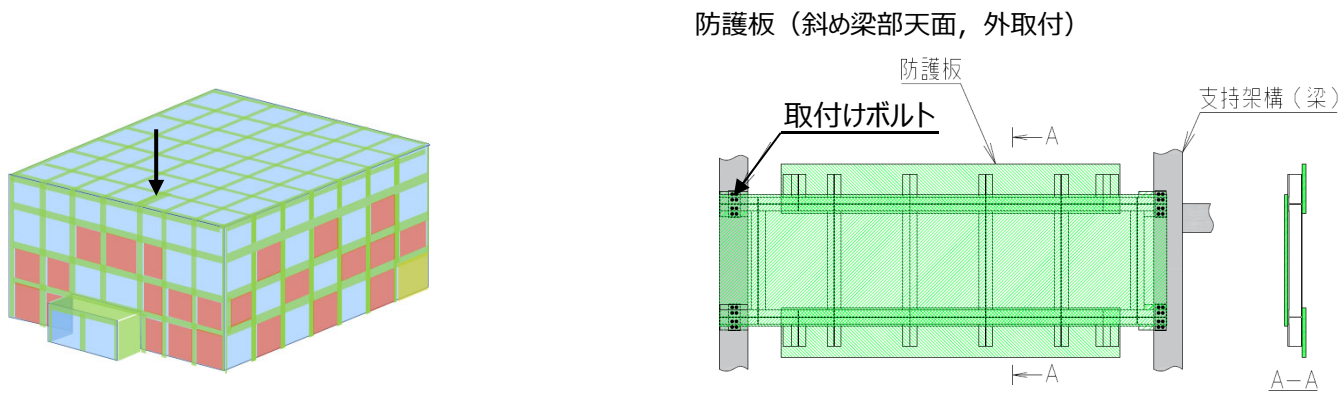
防護ネット設置向きによる伝達荷重の変化

5. 2 飛来物防護ネットの健全性（7/8）

飛来物防護ネットの構造と評価項目について

■ 防護板の構造

- 設置目的：防護ネットの飛来物衝突時の変形（たわみ）に対して必要となる離隔を確保できない箇所等の防護ネットを設置できない箇所に防護板を設置する。防護板は、設計飛来物を受け止め、防護対象施設に設計飛来物が衝突することを防止する。
- 構造：防護板本体と支持架構に取り付けるための取付ボルトで構成する。構造例について、下図に示す。



- 評価対象部位及び評価内容：防護板に飛来物が衝突した際の荷重の伝播経路を踏まえ、以下の部位を評価し、問題ないことを確認した。

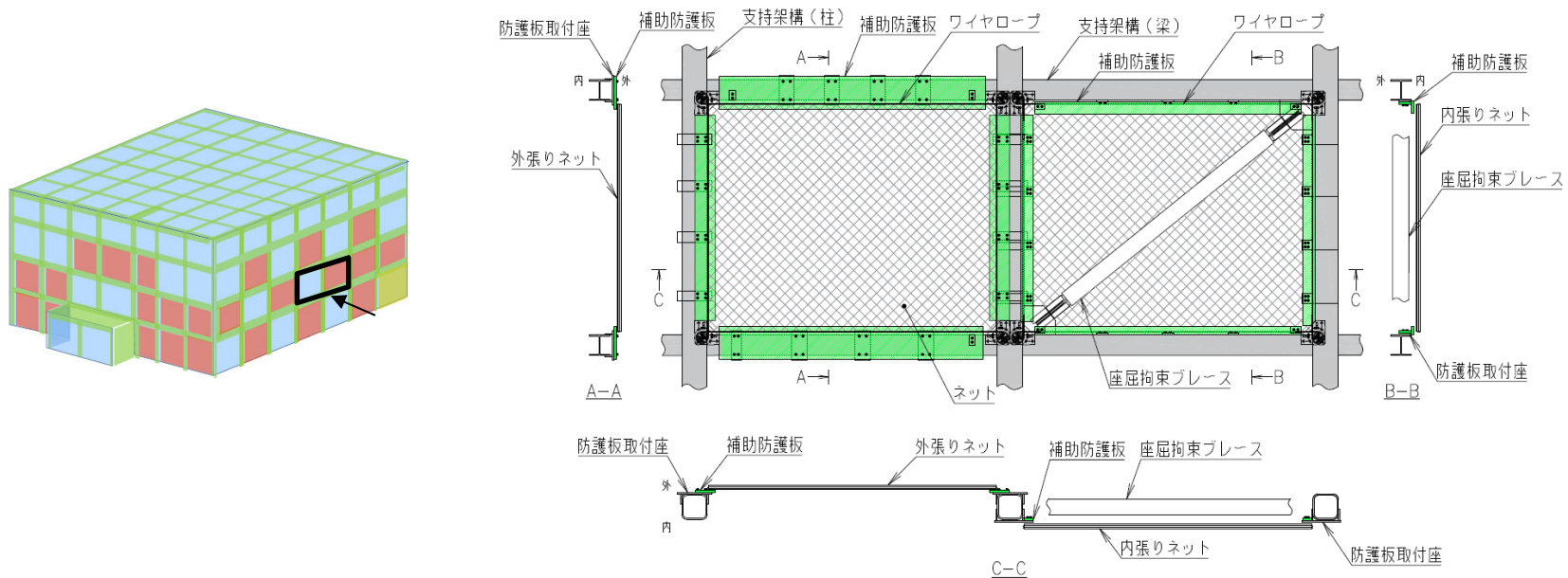
評価部位	評価の内容
鋼板	BRL式より、飛来物が貫通しない板厚を有していることを評価
取付けボルト	鋼板から受ける荷重に対し、全ての取付けボルトが破断しないことをLS-DYNAにて評価

5. 2 飛来物防護ネットの健全性 (8/8)

飛来物防護ネットの構造と評価項目について

■ 補助防護板の構造

- 設置目的：鋼製枠なし防護ネットは、支持架構と防護ネットの間に僅かな隙間が生じる恐れがあるため、隙間から設計飛来物より小さな飛来物の侵入を防止するため補助防護板を設置する。
- 構造：防護板本体と支持架構に取り付けるための取付座で構成する。構造例について、下図に示す。



- 評価対象部位及び評価内容：防護板に飛来物が衝突した際の荷重の伝播経路を踏まえ、以下の部位を評価し、問題ないことを確認した。

評価部位	評価の内容
鋼板	BRL式より、飛来物が貫通しない板厚を有していることを評価
取付けボルト	鋼板に飛来物が衝突した際、全ての取付けボルトが破断しないことをLS-DYNAにて評価

4. 4 航空機墜落火災に対する影響評価について (1 / 11)

■ 前回審査会合における説明状況

■ 航空機墜落火災に対する設計の考え方について

- 航空機が施設の至近に落下する特性を考慮し、航空機墜落火災に対する設計の基本ロジックについて説明したが、保守性を踏まえた合理的な塗装範囲の説明、施工管理、維持管理等の説明がそれぞれ不足していた。
- 保守性を踏まえた合理的な塗装範囲となるように塗装範囲を再検討し結果、離隔距離を満足しない部材はすべて塗装する。ただし、防護ネット等については塗装しない。(4.4 (4/11))
- 耐火被覆の仕様、施工管理や維持管理等について整理した。(4.4 (5/11)~(11/11))

	平面図	断面図	梁の塗装範囲
見直し前	<p>離隔距離</p> <p>矢視A-A</p>	<p>火炎柱</p> <p>矢視B-B</p>	<p>■ : 塗装対象(見直し前)の部材 ■ : 塗装対象(見直し後)の部材 □ : 塗装対象外の部材</p>
	水平輻射を受ける部位のみ塗装	水平方向の輻射のみ考慮	
見直し後	<p>離隔距離</p> <p>矢視A-A</p>	<p>火炎柱</p> <p>矢視B-B</p>	
	離隔距離を満足しない部位は全て塗装	斜め方向の輻射も考慮	

5. 3 航空機墜落火災に対する影響評価について (2/11)

■ 航空機墜落火災に対する設計の基本的な考え方(1/2)

①航空機墜落火災の影響を考慮する施設として(a)～(d)を選定し、以下の設計を行う。

(a)外部火災防護対象施設を収納する建屋

- ・外部火災防護対象施設を収納する建屋（燃料加工建屋等）は、内包する外部火災防護対象施設の安全機能を損なわない設計とする。
- ・建屋内に収納する外部火災防護対象施設の安全機能を損なわないこと及び建屋外壁が要求される機能を損なわないことを確認するため、建屋外壁を評価対象とする。

(b)屋外に設置する外部火災防護対象施設

- ・屋外に設置する外部火災防護対象施設（冷却塔等）は、それらの有する安全機能を損なわない設計とする。
- ・冷却機能を維持するために必要となる冷却水の温度、冷却に必要な部位及びそれらを支持する支持構造物を評価対象とする。

(c)屋外に設置する外部火災防護対象施設に波及的影響を及ぼしうる施設

- ・屋外に設置する外部火災防護対象施設に波及的影響を及ぼしうる施設（飛来物防護ネット等）は、外部火災防護対象施設に対して波及的影響を及ぼさない設計とする。
- ・火災による輻射の影響により倒壊しないことを確認するため、支持構造物を評価対象とする。

(d)建屋に収納する外部火災防護対象施設のうち、航空機墜落火災の熱影響を間接的に受ける施設

- ・第2非常用ディーゼル発電機は、建屋開口部に設置されている飛来物防護板からの熱影響を考慮しても、その安全機能を損なわない設計とする。

②航空機墜落火災に対する設計にあたっては、最も厳しい評価となるF-16を対象航空機とし、建屋外壁等の至近で火災が発生することを想定する。

5. 3 航空機墜落火災に対する影響評価について (3/11)

■ 航空機墜落火災に対する設計の基本的な考え方(2/2)

- ③外部火災防護対象施設を収納する建屋は、建屋外壁が火災からの輻射を受け温度が上昇した場合においても、建屋内の外部火災防護対象施設の安全機能及び建屋外壁が要求される機能を損なわない設計とする。
- ④屋外に設置する外部火災防護対象施設（冷却塔等）及び屋外に設置する外部火災防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設（飛来物防護ネット等）は、航空機墜落火災からの輻射を受け、部材の温度が上昇しても、許容温度以下とする設計とする。
- ・許容温度を満足するため、離隔距離の確保、もしくは温度の上昇しにくい厚さの部材採用を基本とするが、外部火災防護対象施設の設置環境を踏まえ、耐火被覆や遮熱板等の対策を組み合わせる。
 - ・火災の直近に位置する部材には耐火被覆を施工するとともに、火災から遠ざかるほど熱影響が低減することを踏まえて耐火被覆の施工範囲を設定する。
 - ・屋外に設置する外部火災防護対象施設は、航空機墜落火災が発生しても安全機能を損なわないため、鋼材の強度低下が起こらない温度を許容温度とし、屋外に設置する外部火災防護対象施設に波及的影響を及ぼし得る施設は、熱影響による一時的な強度低下を考慮しても、支持架構の倒壊及び脱落が起こらない温度を許容温度とする。
 - ・摺動部や耐火被覆が施工できない材質を有する部位は、耐火被覆の施工が困難であることから、輻射を遮るため、遮熱板を設置する。
 - ・冷却水の流路となる配管は、輻射の影響を考慮しても崩壊熱の除去に必要な冷却水の許容温度を超えないことを確認する。
- ⑤航空機墜落火災と組合せを考慮する自然現象は、事象の相関性、影響モード及び発生頻度を考慮した検討の結果から、風（台風）、積雪及び高温を選定する。

5. 3 航空機墜落火災に対する影響評価について (4/11)

■ 支持構造物に対する耐火被覆の設計 (耐火被覆の施工範囲)

- 図4-1に示すように、防護対象の至近の任意の地点で航空機墜落火災が発生することを想定する。
- 許容温度を満足するために必要な離隔距離を確保できない部材は、部材単位で耐火被覆を施工する。(図4-2参照)
- 離隔距離は火災の上方に向けても設定する。
- 竜巻との重畳は考慮しないことから、ネットには耐火被覆を施工しない。
- 耐火被覆の施工対象の部材は、火災からの受熱方向に関わらず施工を実施する。ただし、遮熱板の裏側等、火災からの輻射が完全に遮断している範囲は施工の対象外とする。
- 支持構造物の構造健全性を維持するために、必要な厚さを施工する。

■ 支持構造物に対する離隔距離の算出

- 航空機墜落火災の発生を想定しても、支持構造物が許容温度以下となる距離を設定する。
- 外部火災ガイドに基づく円筒火災モデルの設定及び輻射強度の算出を実施する。

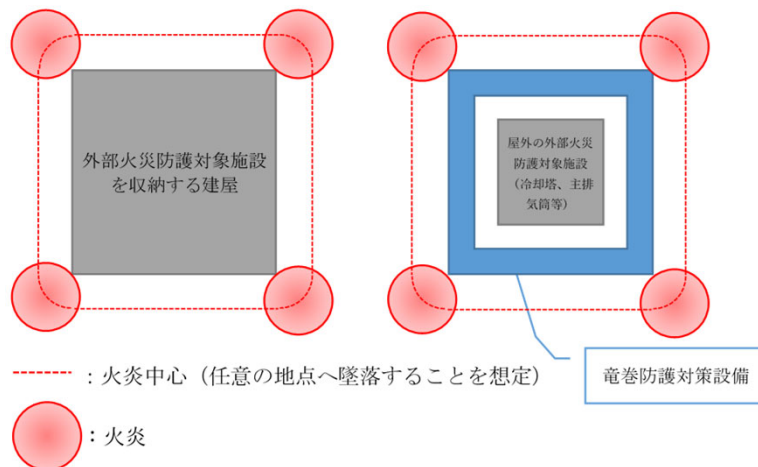


図4-1 防護対象に対する火災想定位置

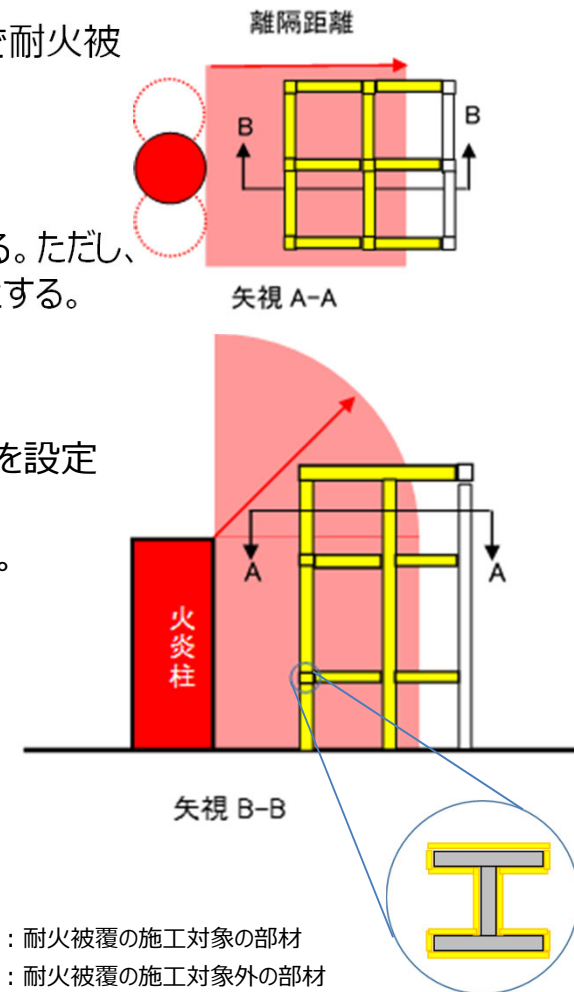


図4-2 塗装範囲の考え方

5. 3 航空機墜落火災に対する影響評価について (5/11)

■ 支持構造物に対する耐火被覆の設計 (使用する耐火塗料について)

- 耐火塗料は、鉄骨部材等を対象とした耐火被覆材の一つである。耐火被覆は、数mm厚の被覆が、火災時には20～30倍に発泡して熱伝導性の低い断熱層を形成し、鉄骨の温度上昇を緩和する。(発泡挙動を図4-3に示す。)
- 採用した耐火塗料は、建築基準法施行令第百七条に掲げる耐火性能に関する技術基準に適合することを試験により確認することにより、国土交通大臣の認定を受けた塗料であり、一般の施設でも使用実績のある製品である。(発泡前後の状況を図4-4に示す)

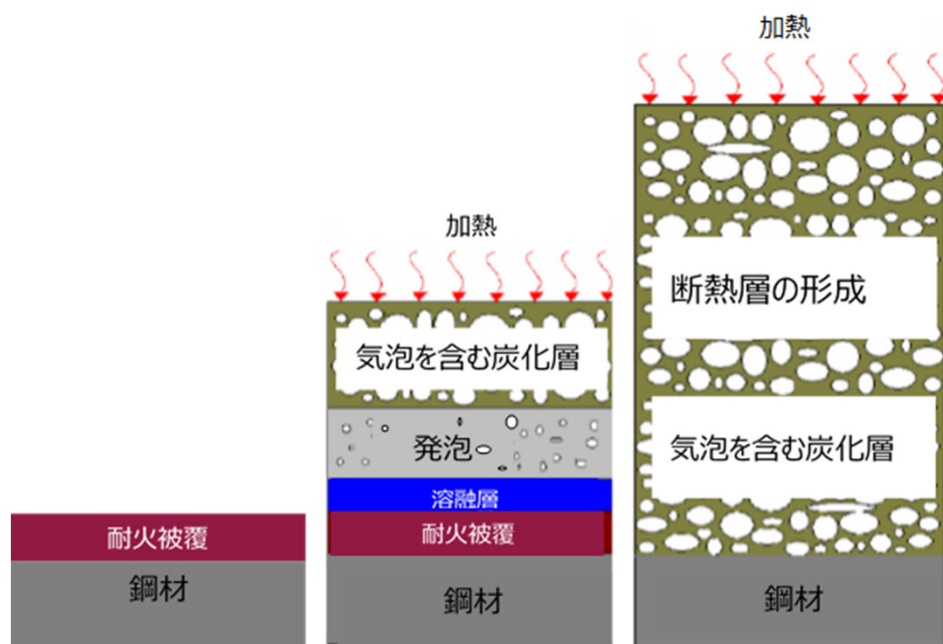


図4-3 発泡挙動



図4-4 発泡前後の状況

5. 3 航空機墜落火災に対する影響評価について（6／11）

■大臣認定の試験について

- 建築基準法では、建物の主要構造部（柱、梁、床、屋根、壁、階段等）が、利用者が退避するまでの間、倒壊することなく性能を維持すること、近隣への延焼を防げるものであることが要求されている。
- 建築基準法では、階段に対しては30分の耐火性能を、また、航空機墜落火災でも耐火被覆の施工対象としている支持架構を構成する柱及び梁に対し、建物の階数により1時間、または2時間の耐火性能を要求している。
- 上記の耐火性能に適合することを担保する大臣認定では構造種別（耐火構造、防火構造等）、耐火時間、部位（柱、壁、階段等）の区分毎に認定がなされている。

■航空機墜落火災の耐火試験と大臣認定の試験の関係について

- 航空機墜落火災への防護対策に用いる耐火塗料は、建築基準法の大員認定を取得した塗料を採用している。
- 大臣認定の試験（耐火性能試験）と航空機墜落火災対策の有効性を検証するための耐火試験は加熱時間、合格の判定基準及び火災の想定は異なるが、火災により構築物が倒壊させないために強度を担保するという目的は同じである。
- また、航空機墜落火災の入熱量と大臣認定試験の入熱量を比較した場合、30分耐火の大員認定試験の加熱条件に近い。
- すなわち、保守的に1時間耐火以上の大員認定を取得している耐火塗料であれば、航空機墜落火災対策に必要な断熱性能を有しているといえる。
- よって、1時間耐火以上の大員認定を取得している耐火塗料を用いて、次頁以降に示す航空機墜落火災の耐火被覆を設計するプロセスを経ることで、信頼性のある対策とすることができる。

5. 3 航空機墜落火災に対する影響評価について（7／11）

■ 耐火被覆の塗装厚さの設計について

- ・耐火被覆は、離隔距離を確保できない部材を許容温度以下とする機能が要求され、許容温度以下とするのに必要な耐火被覆厚さを設定する。
- ・耐火被覆厚さの設計にあたって、耐火被覆の熱伝導率や比熱などの熱物性値及び温度に応じた断熱性能の変化挙動が必要となる。そのため、耐火被覆の性能を判定するために規格化された大臣認定試験の結果を用い、熱物性値や断熱性能の変化挙動を取得し、耐火被覆厚さを設計する。
- ・耐火被覆厚さの設計にあたっては、評価対象からの放熱を考慮しないなど保守的な評価を行う。
- ・耐火被覆厚さは、設置位置が火災に最も近く、かつ薄い9mmの鋼材が至近で火災による輻射を受けた場合でも許容温度以下となる施設毎の厚さを設定し、以下の理由から設定した厚さを一様に施工する。
 - 現場塗装する部材も多数あるため、管理方法を統一することによる品質向上。
 - 耐火被覆厚さを統一することで、部位ごとの耐火被覆厚さの施工間違い等のヒューマンエラーを防止。

■ 耐火被覆厚さの設計（プロセス）

- ①大臣認定試験の結果から耐火被覆の熱物性値や断熱性能の変化挙動を取得する。
- ②取得したデータから熱伝導率と比熱を算出し、耐火塗装 1 mmあたりの断熱性能を既知の断熱材の相当厚さに置き換える（発泡前後で相当厚さを設定する）。
- ③許容温度以下となる既知の断熱材厚さを算定し、耐火被覆の必要厚さに換算する。
- ④耐火被覆厚さの妥当性を検証するため、航空機墜落火災と同じ条件で耐火試験を実施し、許容温度内であることを確認する。

5. 3 航空機墜落火災に対する影響評価について (8/11)

■ 被覆厚さの設計 (結果)

- ①～②大臣認定試験の結果を用いて、発泡前後の耐火塗料の熱伝導率等を取得し、評価モデルと試験結果が一致することを確認 (図4-5)
- ③～④許容温度以下とするために必要かつ保守的な耐火被覆の厚さを決定し、被覆厚さの妥当性の検証。(図4-6)

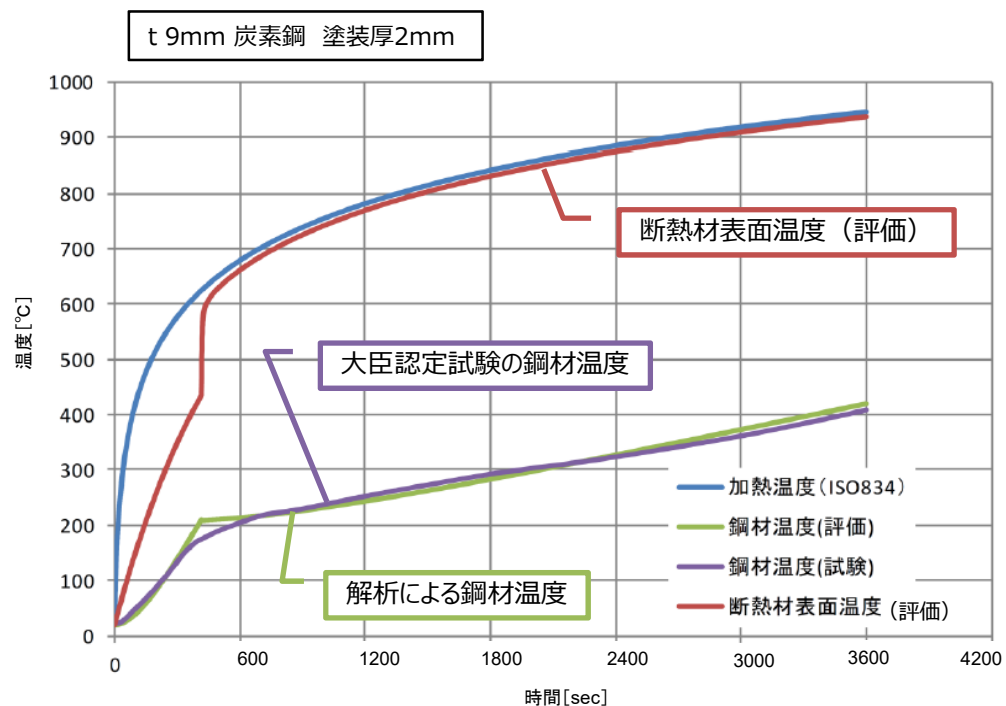


図4-5 耐火被覆2mmの大臣認定試験結果に相当する断熱材厚さを適用して評価した鋼材温度の比較結果

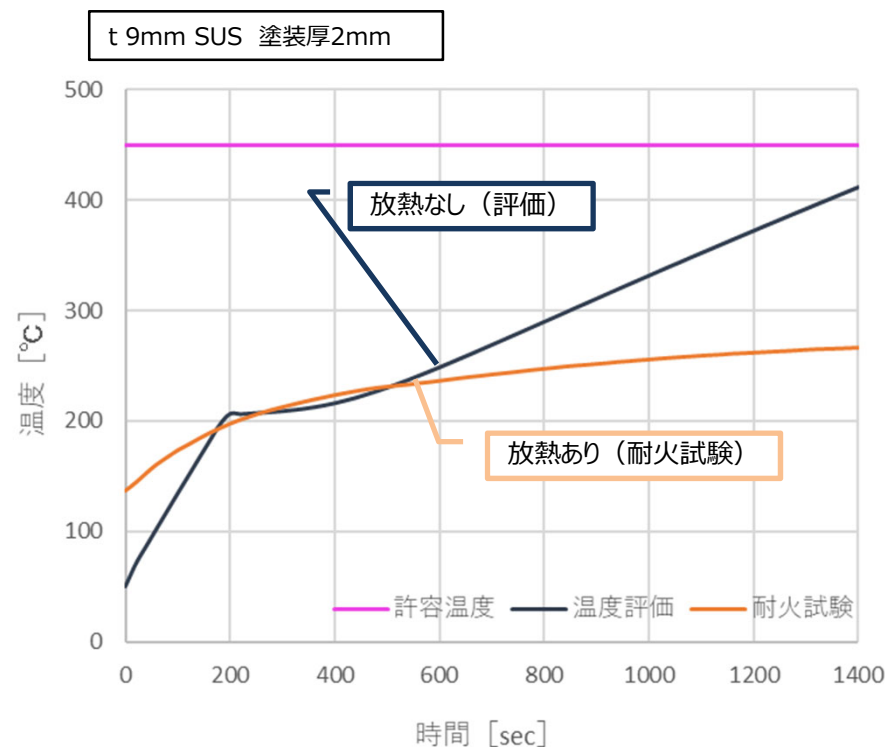


図4-6 許容温度450°C以下とするための耐火被覆2mmの評価結果と耐火試験による検証結果

5. 3 航空機墜落火災に対する影響評価について (9/11)

■ 耐火被覆の設計結果 (飛来物防護ネット)

・耐火被覆の設計に基づく飛来物防護ネットを例とした塗装範囲について図4-7に示す。

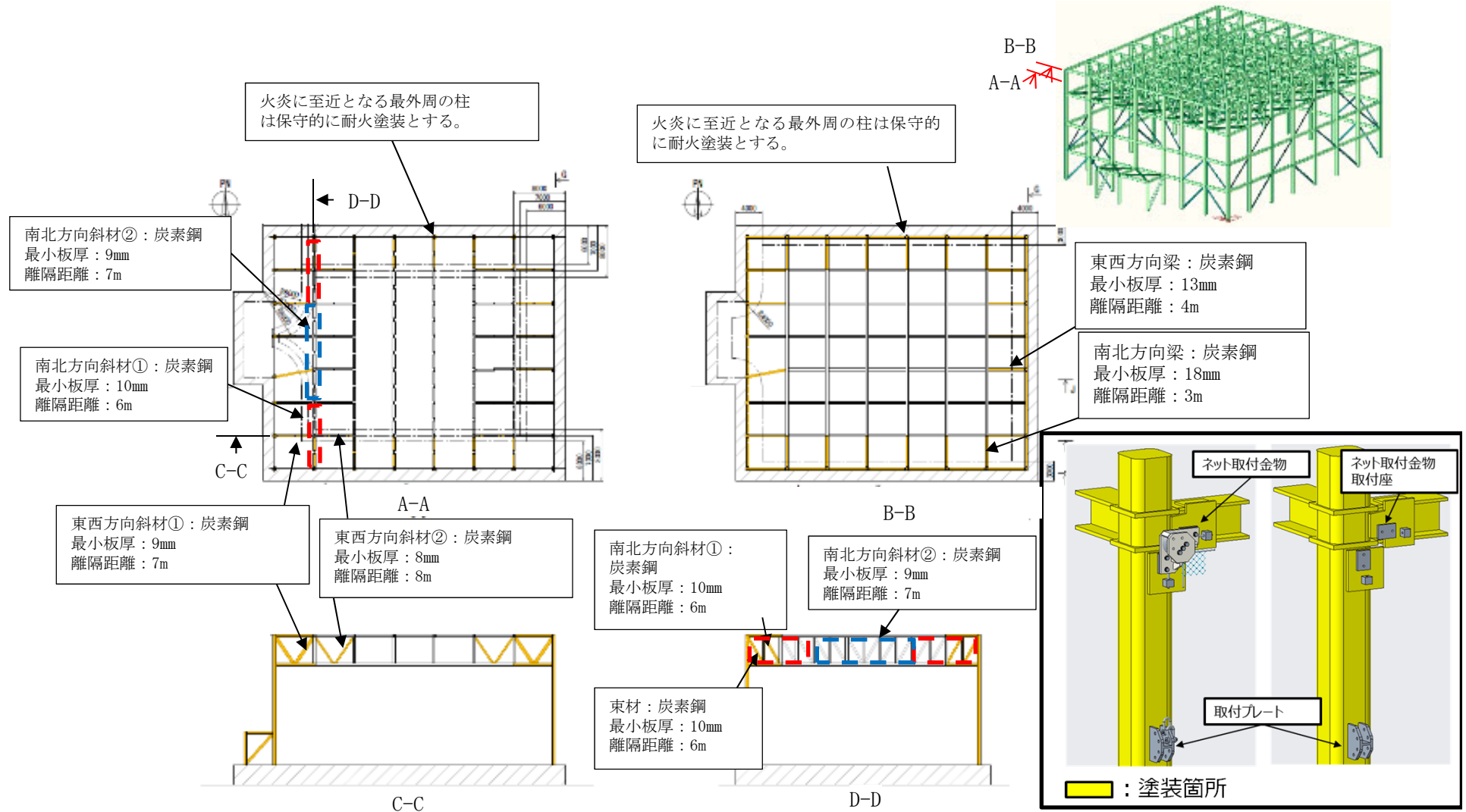


図4-7 飛来物防護ネットで耐火塗装の設計を行った結果

ネット取付部周辺の詳細

5. 3 航空機墜落火災に対する影響評価について (10/11)

■ 耐火被覆の施工管理

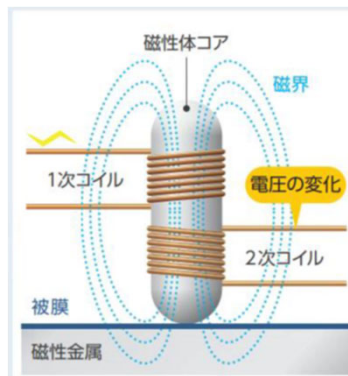
耐火被覆の断熱性能は塗装厚さに依存する。施工時の厚さ管理は以下のとおり。

- ・設計厚さを下回る場合は断熱性能が不足するため、マイナス誤差を許容しない。
- ・断熱性能が増加するプラス誤差は許容。(ただし耐震性へ影響を及ぼさない範囲)
- ・耐火塗装は、下塗り・主材・中塗り・上塗りの4層それぞれに役割がある。よって管理は各層で実施。
- ・膜厚管理は、主材施工前・後の塗装厚さを電磁膜厚計を用いて測定し、測定結果の差から主材の厚さを算出する。(測定原理は図4-9参照)

	材質	役割	管理方法
上塗り	ふっ素樹脂系	主材保護	・塗料の使用量 ・目視
中塗り	エポキシ樹脂系	主材保護、主材と上塗りの接着性	・塗料の使用量 ・目視
主材 (耐火被覆)	耐火被覆	断熱性能	・膜厚管理 (+ 0 mm以上) ・目視
下塗り	エポキシ樹脂系	鋼材と主材の接着性	・塗料の使用量 ・目視
鋼材			

作業環境
 温度：5～35℃
 湿度：30～85%
 その他：強風、塵埃、
 降雨、降
 雪の影響を
 受けないこと

図4-8 耐火被覆施工管理概要




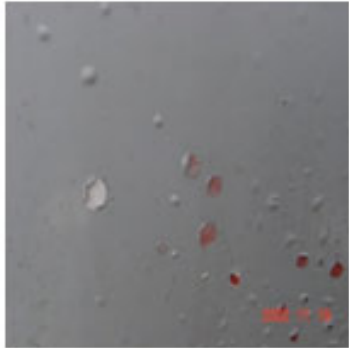

交流電磁石を鋼材（磁性金属）に接近させると、接近距離によってコイルの磁束数が増減し、コイル両端にかかる電圧が変化する。この電圧変化を電流値から読み取り被覆厚に換算する。

図4-9 電磁膜厚計測定原理

5. 3 航空機墜落火災に対する影響評価について (11/11)

■ 耐火被覆の維持管理

- 耐火被覆の損傷実績を調査した結果、耐火被覆特有の損傷事例は確認されなかったことから、一般的な塗装の損傷事例、原因およびそれらを踏まえた点検頻度を下表に示す。

損傷モード	割れ	膨れ	はがれ	傷
				
原因	経年劣化			衝突
点検内容	外観目視点検(1回/年)			
補修	損傷が確認された場合は、損傷した層の深さに応じた補修を実施する。			

- 基本的に耐火被覆は、その保護材である上塗り・中塗りが健全であれば損傷することはないため、定期的な上塗り材の塗り増しを行う。(メーカー推奨：8～10年ごとに塗り増し)

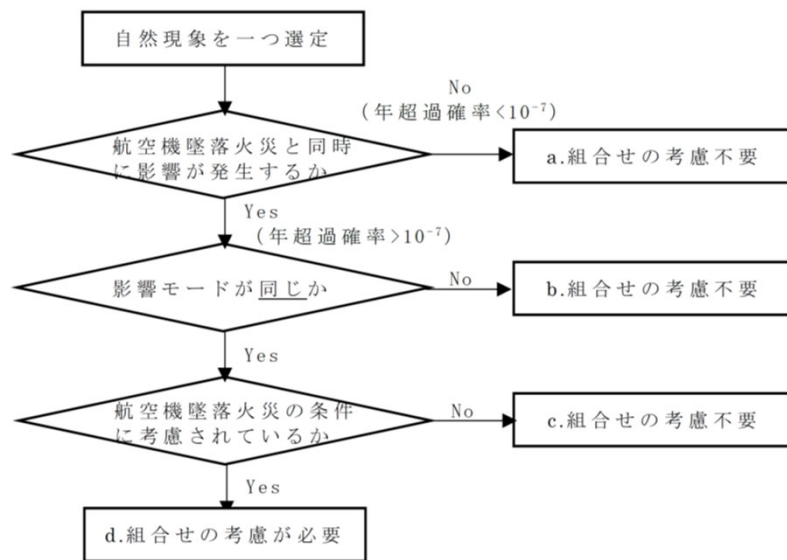
■ 航空機墜落火災が発生した際の復旧

- 航空機墜落火災の発生により損傷した耐火被覆、ネットの復旧は、調達実績から6カ月を目途に行う。
(損傷したネットおよび焼けた耐火被覆の撤去に1カ月、防護ネットの復旧および耐火被覆の再施工に2カ月、手配関係に3、4カ月程度)
- 年超過確率の評価結果から、航空機墜落火災発生後6カ月以内に竜巻の影響を受ける可能性は極めて低い。

参考：航空機墜落火災と自然現象の重畳（1 / 2）

- (1) 航空機墜落火災との組合せを検討する自然現象は、事業変更許可において再処理施設及びMOX燃料加工施設の設計において考慮するとした12事象とする。
- (2) 航空機墜落火災と上記の12事象には相関性はないことを確認した。
- (3) 航空機墜落火災と相関性のない自然現象であっても、自然現象が再処理施設等に影響を及ぼす年超過確率、影響モード等を考慮し、組合せの可否を検討した（参考図－1及び参考表－1参照）。その結果、航空機墜落火災との組合せを考慮する必要のある自然現象として風（台風）、積雪、高温が選定された。

参考表－1 航空機墜落火災との組合せ要否の検討フロー



参考図－1 航空機墜落火災との組合せ要否の検討フロー

自然現象	検討内容	組合せ要否
地震	航空機落下確率は 4.6×10^{-8} ※、地震の年超過確率は $10^{-4} \sim 10^{-6}$ 回/年より、これらが再処理施設等に同時に影響を及ぼす年超過確率は 4.6×10^{-14} ※とごく低頻度である。	否 (a.)
風（台風）	航空機落下確率は 4.6×10^{-8} ※であるが、長期荷重として風の影響を考慮する必要がある。	要 (d.)
竜巻	航空機落下確率は 4.6×10^{-8} ※、竜巻の年超過確率は 1.86×10^{-8} ※回/年より、これらが再処理施設等に同時に影響を及ぼす年超過確率は 8.6×10^{-16} ※とごく低頻度である。	否 (a.)
降水	航空機墜落火災と降水では影響モードが異なる（降水は航空機墜落火災による熱影響を緩和する方向に作用する）。	否 (b.)
落雷	航空機墜落火災と落雷では影響モードが異なる。 航空機墜落火災…熱影響、強度低下 落雷…電気的影響	否 (b.)
森林火災	森林火災は敷地外で発生する事象であり、敷地内で発生する航空機墜落火災と同時に起こり得ない。	否 (a.)
高温	熱影響評価における初期条件として考慮する必要がある。	要 (d.)
凍結	熱影響評価における初期条件（温度）として、高温にて考慮する。	否（高温を含む）
火山の影響	航空機落下確率は 4.6×10^{-8} ※、火山の年超過確率は 5.5×10^{-6} 回/年より、これらが再処理施設等に同時に影響を及ぼす年超過確率は 2.5×10^{-13} ※とごく低頻度である。	否 (a.)
積雪	航空機落下確率は 4.6×10^{-8} ※であるが、長期荷重として積雪の影響を考慮する必要がある。	要 (d.)
生物学的事象	航空機墜落火災と生物学的事象では影響モードが異なる。 航空機墜落火災…熱影響、強度低下 生物学的事象…電気的影響、閉塞	否 (b.)
塩害	航空機墜落火災と塩害では影響モードが異なる。 航空機墜落火災…熱影響、強度低下 塩害…電気的影響、腐食	否 (b.)

※ 再処理施設の場合の年超過確率を示している。MON 燃料加工施設の場合はさらに確率値が低くなる。

参考：航空機墜落火災と自然現象の重畳（2 / 2）

- (4) (3) において、発生頻度の観点から考慮不要とした地震、竜巻及び火山の影響については、航空機墜落火災の発生後、その影響が及ぶ期間においてそれらの事象の影響を受ける可能性について検討し、年超過確率が十分小さいことを確認した。
- (5) 万一、航空機墜落火災の影響により飛来物防護ネット等の復旧が必要となった場合には、復旧までの間、使用済燃料の再処理を停止する等の措置を講ずる。

<航空機墜落火災の影響が及ぶ期間に竜巻の影響を受ける年超過確率の計算例>

(航空機墜落火災の影響が及ぶ期間に竜巻の影響を受ける年超過確率)

= (航空機墜落確率) × (1年のうち航空機墜落火災の影響が及ぶ期間の比率) × (竜巻の影響を受ける年超過確率)

$$= 4.6 \times 10^{-8} \times \frac{6}{12} \times 1.86 \times 10^{-8} = 4.28 \times 10^{-16} \quad (\text{回}/\text{年})$$

<復旧までの想定スケジュール>

