

標準応答スペクトルに係る後段規制への対応について

原子力エネルギー協議会
日本原燃株式会社
リサイクル燃料貯蔵株式会社

1. はじめに
2. 後段規制への対応に想定される期間
3. 各施設の後段規制への対応見通し
4. 経過措置期間の終期設定に係る事業者意見

【添付資料】

添付 1 : 設工認申請における耐震安全性評価の合理化案

添付 2 : 設工認申請方法について

添付 3 : 伊方発電所の詳細設計期間について

添付 4 : 川内・玄海原子力発電所 標準応答スペクトル策定の規制取入れに係る経過措置について

添付 5 : 川内・玄海原子力発電所 工事完了までの耐震安全性について（民間規格等を踏まえた耐震評価）

添付 6 : 日本原燃の詳細設計期間について

1. はじめに

- 2021年4月21日、「「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」 及び「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」等が改正され、「震源を特定せず策定する地震動（全国共通）」の策定に当たり標準応答スペクトルを用いた評価を実施することになった。
- 上記の標準応答スペクトルを用いた評価結果により、既往の基準地震動 S_s に新たな地震動を追加する施設については、**改正規則への早期適合、耐震安全性向上の観点から、許認可手続き及び耐震性向上工事を最大限、効率的に進めるとともに、これまでの審査実績を踏まえ確実に対応していく所存**である。
- 上記においては、基準地震動 1 波の追加であるものの、全施設の基準適合までには、現在進行中の許可審査を含め、**施設の詳細評価及び耐震性向上工事等に相応の対応期間が見込まれる**。
- 本日は、**各施設の設置許可審査の進捗状況、新たな基準地震動を踏まえた詳細設計期間及び工事の発生有無等の見通し、及び、経過措置期間の終期設定※に関する事業者意見を説明させていただく**。

※経過措置（令和3年4月21日規制委員会資料）

・設計及び工事の計画の認可及び使用前確認については、改正後の解釈に基づく設置変更許可の審査が進み、各施設への影響の詳細や工事の規模・見通し等が明らかになった時点で、全施設一律の経過措置の終期（確定日）を定める。

2. 後段規制への対応に想定される期間

- 事業者としては、改正規則への早期適合、耐震安全性向上の観点から、速やかかつ確実に設工認手続きおよび耐震性向上工事を実施していく所存であり、以下の対応期間が想定される。
- 対応期間の詳細については、次項「3. 各施設の後段規制への対応見通し」のとおり。

【設工認申請までの準備期間】

- ✓ 新規制工認対象施設に加え、新規制工認以降の様々な設工認申請対象施設の全てを並行して再評価する必要があり、特定せずSsによる設計用地震力等が既存のSsに包絡される場合には詳細評価を省略することにより効率化（添付1参照）に努めるが、プラント全施設に対する時刻歴解析等の評価が必要であり2～3年を要する施設がある。

【設工認認可までの審査期間】（申請方法は添付2参照）

- ✓ 各施設の審査については、これまでの経験等から1～1.5年程度が想定されるが、複数施設の審査時期が重複すること等から、事業者だけの判断で申請後の審査に要する期間を見積もることは難しい。

【使用前事業者検査完了までの工事期間】

- ✓ 各施設で工事発生有無、工事規模の見通しは異なる。なお、準備が整い次第、工事着手した場合でも、設置許可期限から5年経過後の最初の定事検までの期間を要する施設がある。

ただし、現時点では以下の不確定な要因に伴う対応期間が変動する可能性がある。

- ◆ 並行して審査・処分が進められる震源特定せずBF以外の設工認及びPLM等については、従前の基準地震動を前提として処分される場合、それらの変認・補正等を別の実施する必要がある。
- ◆ 電力需給ひっ迫時の対応等による運転計画の変更に伴う定事検時期の変更により、本工事期間等を変更する可能性がある。

3. 各施設の後段規制への対応見通し【伊方3】

- **伊方発電所**の対応見通しは、以下の通り。
 - ✓ 現在、設置変更許可を取得し、設工認申請に向けて**詳細設計を進めているところ**であり、着手から約36カ月後の2025年9月頃、詳細設計が完了する見込みである。（第3回 意見聴取会[令和4年12月5日]で示したとおり。**添付3参照**）
 - ✓ 特定せずSsは、水平方向においては、既存の基準地震動Ss-1に包絡されており、鉛直方向においては、既存の基準地震動を上回っている周期帯があるものの、その範囲は狭く、超過している割合は最大でも7%である。また、一般的な施設の耐震評価において、水平方向の地震力が支配的であること等を考慮すると、施設への影響は軽微であり、**現時点において、工事の発生はないと判断している。**
 - ✓ 仮に、耐震補強が必要となったとしても、既許可・既認可の範囲内で支持構造物の追設等が可能であると考えている。

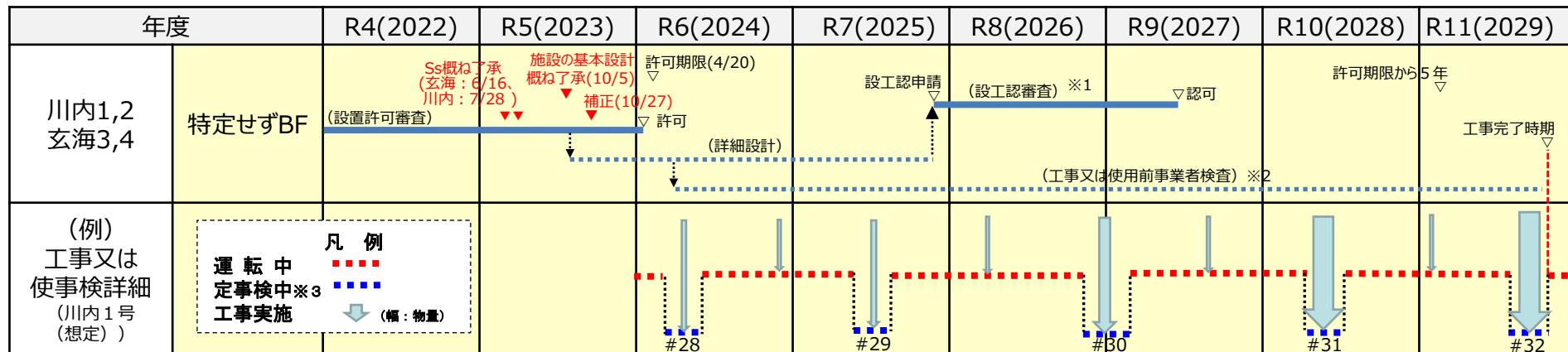
- **前回の意見聴取会（2022年12月5日）**からの進捗および対応見通しの変更点
 - ✓ 2023年5月24日に設置変更許可を取得した。
 - ✓ 設工認申請に向けた**詳細設計については、工程通り進めており対応の見通しに変更なし。**

年度		R4(2022)	R5(2023)	R6(2024)	R7(2025)	R8(2026)
伊方3	特定せずBF	▼地震動概ね了承 (4/15) ▼施設の基本設計方針概ね了承 (9/29) (設置許可審査)	▼補正 (2/20) ▼許可 (5/24)	(詳細設計)	▼設工認申請 (設工認審査)	▼認可

注：表中の▽（認可日等）は、仮設定した見通しである（次スライド以降も同様）。

3. 各施設の後段規制への対応見通し【川内1,2・玄海3,4】

- **川内及び玄海原子力発電所の対応の見通しは、以下の通り。**
 - ✓ 川内・玄海は、「特定せずSs」及び「施設の基本設計」が概ね了承され、耐震評価内容が確定したことから、可能なものから詳細設計を進めているところであり、着手から約27ヵ月後の2026年1月頃、詳細設計が完了する見込みである。
 - ✓ 詳細設計にあたっては、認可実績のある評価手法を適用する方針である。現行裕度の厳しい設備については、耐震工事が必要となる可能性があるが、許可段階における概略検討の結果、**許認可手続きを伴わない補強工事を行うことで耐震安全性を満足する見通し**である。
 - ✓ 川内は、水平方向において最大5割程度、鉛直方向において最大7割程度の増加となるものの、許認可手続きを伴わない補強工事により耐震安全性を満足する見通し。玄海は、水平方向において最大1割程度、鉛直方向において最大でも1割未満の増加であり、仮に補強工事があった場合でも許認可手続きを伴わない補強工事により耐震安全性を満足する見通し。なお、工事期間は川内に合わせて記載した。
 - ✓ **この補強工事については、NRA殿と事業者との合意が得られれば準備が整い次第着手するが、大部分の工事は、詳細設計終了後の定事検でなければ実施できず、それを踏まえると工事完了は設置許可期限から5年経過後の最初の定事検終了までとなる見込み。**なお、今後の詳細設計の結果、追加工事が発生した場合や安全性向上の観点から更なる耐震裕度向上工事を志向した場合には、上記工事期間内に対応する方針。**（添付4参照）**
- **前回の意見聴取会（2022年12月5日）からの進捗および対応見通しの変更点**
 - ✓ **玄海については、2023年6月16日に、川内については、2023年7月28日に特定せずSsが概ね了承された。**
 - ✓ **川内・玄海ともに、2023年10月5日、施設の基本設計が概ね了承され、2023年10月27日、補正申請を実施した。**
 - ✓ 詳細設計の完了時期については、設置許可審査状況を反映し、3ヵ月間前倒した。
- **工事完了までの期間における耐震安全性について**
 - ✓ 工事完了までの耐震安全性については、認可実績のある評価手法のみならず、民間規格で用いられる評価手法等も踏まえて概略検討を実施した結果、特定せずSsに対して耐震安全性を有する見通しであることを確認している。**（添付5参照）**



※1 川内・玄海について、それぞれ12ヵ月の審査期間を想定。ただし、並行審査を想定しており、先行プラントとの差異説明等により審査工程の短縮に努めることから、上図のような表記（約18ヵ月程度）としている。 ※2 設工認認可とは切り離して、準備が整い次第着手 ※3 燃料取出中（通常約1ヵ月）

3. 各施設の後段規制への対応見通し【日本原燃】

- **日本原燃（再処理施設、廃棄物管理施設、MOX燃料施設）**の対応の見通しは、以下の通り。
 - ✓ 2023年10月27日、事業変更許可を取得した。詳細設計は、安全性を確保するための新規制基準対応を優先することから、新規制基準対応終了後※1に着手することとし、その期間については2年以上とした。（添付6参照）
 - ✓ 特定せずSsは、許可済みのSsを一部周期で水平方向で最大6%、鉛直方向で最大20%超える程度であり、新規制基準対応の評価と対策工事を行うことによって、許可済みのSsでの評価結果に包絡されるか、または包絡されなくても耐震裕度内に収まるものと考えており、現時点では**耐震補強工事は発生しない見込み**である。

- **前回の意見聴取会（2022年12月5日）**からの進捗および対応見通しの変更点
 - ✓ 2023年10月27日、事業変更許可を取得した。
 - ✓ 新規制基準の設工認における地盤・地震の審査状況および耐震補強工事は発生しない見込みであることを踏まえ、**新規制基準対応終了後※1に詳細設計を開始するよう見直し。**
 - ✓ **また、新規制基準審査での対応結果を特定せずBFへ反映させる可能性を考慮し、詳細設計期間を2年以上へ変更した。**

※1 新規制基準における耐震評価を優先し、特定せずの詳細設計に着手できる目途が立ち次第、速やかに着手する。

年度		R4(2022)	R5(2023)	R6(2024)	R7(2025)	R8 (2026)	R9 (2027)	R10 (2028)	R11 (2029)
原燃 〔再処理施設 廃棄物管理施設 MOX燃料施設〕	特定せずBF	▼ Ss概ね了承(4/25) (事業許可審査)	▲ 補正 (6/29) ▼ 補正 (8/2) ▼ 許可 (10/27)	申請準備 (2年以上) (詳細設計期間)			▼ 設工認申請 (設工認審査) ▼ 認可		
	新規制BF			(※1)					

3. 各施設の後段規制への対応見通し【東海第二】

- 東海第二発電所の対応の見通しは、以下の通り。
 - ✓ 特定せずSsが審査会合にて概ね了承されたことを受けて、設工認申請に向けて**詳細設計に着手しており**、2024年2月頃に詳細設計が完了する見込みである。
 - ✓ 概ね了承されたSsは、鉛直方向は許可済のSsに包絡されており、水平方向においては許可済のSsを周期約1～2秒の範囲で上回り、超過している割合は25%未満である。現時点での耐震評価結果から特定せずSsに対して耐震性を確認している若しくは許可済のSsの耐震裕度と超過割合との関係から耐震性を確認しており、**現時点では工事発生はないと想定**している。
 - ✓ また、設工認申請手続きとしては、新規制BFの設工認の変更認可申請を行うことで考えている。

- 前回報告（2022年12月5日）からの進捗および対応見通しの変更点
 - ✓ 本申請以降に許可処分された特重施設の取り入れ及び地震動審査の結果を反映した補正を6月23日に実施した。
 - ✓ 更に6月23日以降の審査を反映した補正を10月20日に実施した。
 - ✓ 設工認申請に向けた**詳細設計については、対応見通しの変更なし**。

年度		R4(2022)	R5(2023)	R6(2024)	R7(2025)
東海第二	特定せずBF	▼Ss概ね了承(6/10) (設置許可審査)	▼補正 (6/23) ▼補正 (10/20)	▽許可	
	新規制BF		(詳細設計)	▼設工認変更申請 (設工認審査)	▽認可
		(工事、使用前事業者検査)			

3. 各施設の後段規制への対応見通し【RFS】

- RFSの対応の見通しは、以下の通り。
 - ✓ 設工認申請を新規制BFの変更認可申請で実施し、**2023年6月22日に認可を取得した。**
 - ✓ **耐震評価の結果から耐震補強工事は発生せず、“新規制BF”の工事、使用前確認の完了を以って“特定せずBF”を完了する見通し。**

- **前回の意見聴取会（2022年12月5日）**からの進捗および対応見通しの変更点
 - ✓ **2023年2月8日に事業許可を取得した。**
 - ✓ **2023年6月22日に設工認の認可を取得した。**
 - ✓ 今後の**対応の見通しに変更なし。**

年度		R4(2022)	R5(2023)
RFS	特定せずBF	▼Ss概ね了承 (4/25) (事業許可審査) ▼審議論点なし (7/22) ▼補正 (9/20) ▼補正 (10/28) ▼補正 (12/2) ▼許可 (2/8) (詳細設計)	
	新規制BF		設工認 ▼変更申請 (3/28) ▼審議論点なし (4/10) ▼補正 (6/8) (設工認審査) ▼認可 (6/22) (工事、使用前事業者検査)

3. 各施設の後段規制への対応見通し【全施設】

年度		R4(2022)	R5(2023)	R6(2024)	R7(2025)	R8(2026)	R9(2027)	R10(2028)	R11(2029)
伊方3	特定せずBF	(設置許可審査) ▼補正 ▼許可(5/24)	(詳細設計)		▽設工認申請 (設工認審査) ▼認可				許可期限 から5年
	特定せずBF	(設置許可審査)	補正(10/27) ▼ Ss概ね了承(玄海:6/16) ▼ Ss概ね了承(川内:7/28) ▼	▽許可 (詳細設計)	設工認申請 ▼	(設工認審査)	▽認可 (工事又は使用前事業者検査)		
原燃 (再処理施設、 廃棄物管理施設、 MOX燃料施設)	特定せずBF	▼ Ss概ね了承(4/25) (事業許可審査)	▼補正(6/29) ▼補正(8/2) ▼許可(10/27)		(詳細設計)		▽設工認申請 (設工認審査) ▼認可		
	新規制BF								
東海第二	特定せずBF	▼ Ss概ね了承(6/10) (設置許可審査)	▼補正(6/23) ▼補正(10/20) ▽許可 (詳細設計)	▽設工認申請					
	新規制BF		(工事、使用前事業者検査)	(設工認審査) ▼認可					
RFS	特定せずBF	Ss概ね了承(4/25) 補正 ▼▼▼ ▼許可(2/8) (事業許可審査)		許可取得期限 2024/4/20	許可取得期限から5年以降の最初の定期事業者検査の終了の日まで				
	新規制BF	(詳細設計)	▽設工認 変認申請(3/28) (設工認審査) ▼認可(6/22)						

- 各施設の後段規制への対応見通しを踏まえ、経過措置期間の終期設定に係る事業者意見は以下の通りである。
- (1) 全施設が設工認審査及び使用前事業者検査を確実に対応するためには、**許可取得期限日から5年以降の最初の定期事業者検査の終了日までの期間が必要との見込みである。**経過措置期間の終期については、上記を考慮し設定いただきたい。
 - (2) 並行して審査・処分が進められる震源特定せずBF以外の設工認及びPLMの変認・補正等、**現時点では不確定な要因があることから、それらの案件毎に効率的かつ合理的な審査の進め方等について、適時、ご相談させていただきたい。**

— 添付資料 —

- 技術基準規則で要求される基準地震動等に対する評価については、評価の目的は異なるものの、各施設に地震動もしくは地震力を入力するという点では同じであり、主に下表に示す5つの評価手法に集約される。
- 改正規則等への適合を早期にお示しする観点から、評価で用いる特定せず S_s による設計用地震力等が、既存の基準地震動 S_s に包絡される場合は、その旨を一覧表等で設工認に記載し、詳細評価を省略することで、評価期間の短縮を行う。

	評価手法	詳細評価移行判定基準※1		設工認申請内容※1
機器・配管系	スペクトルモーダル解析等	設計用地震力が 特定せず $S_s >$ 既存 S_s	Yes	特定せず S_s の詳細評価結果を記載
			No	設計用地震力が既存の S_s に包絡されることの確認結果を記載
	時刻歴解析※2	-		特定せず S_s の詳細評価結果を記載
	標準支持間隔法	-		特定せず S_s の支持間隔及び建屋間相対変位を記載
	建屋-ループ連成解析※3	応答荷重等が 特定せず $S_s >$ 既存 S_s	Yes	特定せず S_s の詳細評価結果を記載
			No	応答荷重が既存の S_s に包絡されることの確認結果を記載
建物・構築物	建屋応力解析※4	設計用地震力が 特定せず $S_s >$ 既存 S_s	Yes	特定せず S_s の詳細評価結果を記載
			No	設計用地震力が既存の S_s に包絡されることの確認結果を記載

※1 Sdに対する評価を実施している施設に対しては、 S_s をSdと読み替える。
 ※2 時刻歴解析設備のうち、時刻歴解析の応答荷重等を用いて評価する設備については、建屋-ループ連成解析と同様に応答荷重等により詳細評価の要否を判断する。
 ※3 特定せず S_s に対する建屋-ループ連成解析により算出された応答荷重については、設工認で申請する。
 ※4 建屋の地震応答解析は実施して設工認で申請する。地震応答解析の後の建屋応力解析について、設計用地震力により詳細評価の要否を判断する。

- 震源特定せずBFにおいて、基準地震動Ssの追加に際し設工認本文の要目表の変更がない場合であっても、基本設計方針の変更に該当すると考え、**基本設計方針に記載の基準地震動Ssを明確化（Ssに係る最新の許可日を記載）**することで設工認申請を行う。
- 設工認申請には、関連する添付書類（耐震計算書等）を含めることとする。なお、BF適合を早期にお示しする観点から、**合理的な耐震安全性評価※1を行うことを検討していきたい。**

※1：地震荷重値が従前の値以下となる設備について詳細計算を省略

【基本設計方針の記載例1】 第4条（設計基準対象施設の地盤）に基準地震動等の許可日を記載する場合※2

変更前	変更後
<p>第1章 共通項目 1. 地盤等 1.1 地盤 1.1.1設計基準対象施設及び重大事故等対処施設 耐震重要施設の建物・構築物、屋外重要土木構造物、津波防護施設、浸水防止設備、津波監視設備及び使用済燃料乾式貯蔵容器並びに浸水防止設備が設置された建物・構築物、又は、常設耐震重要重大事故防止設備若しくは常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設については、自重や運転時の荷重等に加え、その供用中に大きな影響を及ぼすおそれがある地震による加速度によって作用する地震力（以下「基準地震動による地震力」という。「基準地震動」とは設置（変更）許可を受けた基準地震動をいう。）が作用した場合においても、接地圧に対する十分な支持力を有する地盤に設置する。</p>	<p>第1章 共通項目 1. 地盤等 1.1 地盤 1.1.1設計基準対象施設及び重大事故等対処施設 耐震重要施設の建物・構築物、屋外重要土木構造物、津波防護施設、浸水防止設備、津波監視設備及び使用済燃料乾式貯蔵容器並びに浸水防止設備が設置された建物・構築物、又は、常設耐震重要重大事故防止設備若しくは常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設については、自重や運転時の荷重等に加え、その供用中に大きな影響を及ぼすおそれがある地震による加速度によって作用する地震力（以下「基準地震動による地震力」という。「基準地震動」とは令和〇年〇月〇日付け原規規発第〇〇号にて、設置（変更）許可を受けた基準地震動をいう。）が作用した場合においても、接地圧に対する十分な支持力を有する地盤に設置する。</p>

※2：本箇所以外にも地震動に関連して、「設置（変更）許可を受けた弾性設計用地震動」という記載があるため、弾性設計用地震動についても、上記と同様に最新の許可日を記載する。

【基本設計方針の記載例2】 第5条（地震による損傷の防止）に基準地震動等の許可日を記載する場合

変更前	変更後
<p>第1章共通項目 2. 自然現象 2.1 地震による損傷の防止 2.1.1 耐震設計 2.1.1.1 設計基準対象施設及び重大事故等対処施設 (1) 耐震設計の基本方針 耐震設計は、以下の項目に従って行う。 a. 設計基準対象施設のうち、地震により生ずるおそれがあるその安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度が特に大きいもの（以下「耐震重要施設」という。）は、その供用中に当該耐震重要施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震（設置（変更）許可（平成△年△月△日）を受けた基準地震動（以下「基準地震動」という。））による加速度によって作用する地震力に対して、その安全機能が損なわれるおそれがない設計とする。 <中略> d. Sクラスの施設（f.に記載のものを除く。）は、基準地震動による地震力に対してその安全機能が保持できる設計とする。建物・構築物については、構造物全体としての変形能力に対して十分な余裕を有するように、機器・配管系については、塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が微小なレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有し、その施設の機能を保持できるように設計する。 また、設置（変更）許可（平成△年△月△日）を受けた弾性設計用地震動（以下「弾性設計用地震動」という。）による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力に対しておおむね弾性状態に留まる範囲で耐えられる設計とする。</p>	<p>第1章共通項目 2. 自然現象 2.1 地震による損傷の防止 2.1.1 耐震設計 2.1.1.1 設計基準対象施設及び重大事故等対処施設 (1) 耐震設計の基本方針 耐震設計は、以下の項目に従って行う。 a. 設計基準対象施設のうち、地震により生ずるおそれがあるその安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度が特に大きいもの（以下「耐震重要施設」という。）は、その供用中に当該耐震重要施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震（設置（変更）許可（令和○年○月○日）を受けた基準地震動（以下「基準地震動」という。））による加速度によって作用する地震力に対して、その安全機能が損なわれるおそれがない設計とする。 <中略> d. Sクラスの施設（f.に記載のものを除く。）は、基準地震動による地震力に対してその安全機能が保持できる設計とする。建物・構築物については、構造物全体としての変形能力に対して十分な余裕を有するように、機器・配管系については、塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が微小なレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有し、その施設の機能を保持できるように設計する。 また、設置（変更）許可（令和○年○月○日）を受けた弾性設計用地震動（以下「弾性設計用地震動」という。）による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力に対しておおむね弾性状態に留まる範囲で耐えられる設計とする。</p>

➤ 詳細設計期間について

① 算定根拠

✓ 合計期間：**約36カ月**（建物・構築物側：約36カ月、機器側：約24カ月）

✓ このうち、**土木分野の解析**が作業物量の大多数を占めている。土木分野は、機器・建屋への応答連携という多段作業を有するところ、新規BF時と比較し、**膨大なリソース拠出を要する特重施設の解析を並列で追加する必要があり、クリティカル工程**となる。

- ① 伊方の特重施設の地震応答解析は、建屋形状であっても、簡易な1次元質点系モデル（建築手法）ではなく、地盤-構造物連成系の2次元FEM（**土木手法**）で認可を得ている。
- ② 特重施設は、他の土木構築物と比較して構造/解析規模が著しく大きい。（他の土木構築物：数十～百節点、特重施設：数千節点）
- ③ 特重工認の審査では「ばらつき・位相反転・Sd」の考慮が必要であり、最大で各「7倍・4倍・2倍」の解析を要し、1断面あたりの作業負荷が著しく大きい。（特重施設は、土木の施設数ベースで約2割（6/31施設）、断面数ベースで約3割（24/80断面）であるが、**リソースベースでは6割超**を負担予定）

✓ 上記期間は、調達の見通しが得られた相当数の外注業者（新規工認を上回る調達ができる見通し）の協力を前提とした工程である。過去の評価期間からの「推算」といった精度ではなく、外注業者と協議した週割り工程として「積み上げ」の精度を有している。

✓ さらに、品質保証を含む一連の解析作業における関係者間の連携・受領の最適化を図った上での工程である。

✓ なお、土木構築物以外の機器・建屋については、特定せずSs追加に伴う応答の変更有無を整理し、特定せずSsによる設計用地震力等が既存のSsに包絡される場合は、詳細評価を省略することで期間の短縮を図っている。（スライド12参照）

		主要施設数	特定せずBFでの評価工程		
			1年	2年	3年
建物・構築物	新規工認 & 非常用ガスタービン工認	原子炉建屋/原子炉補助建屋 他 (12施設)	[Blue bar]		
		屋外重要土木構築物 (10施設・27断面)	[Red bar]		
		緊急時対策所 (2施設[土木1/建築1]・2断面)	[Red bar]		
		SA保管場所/地盤等 (12施設・23断面)	[Red bar]		
		非常用ガスタービン建屋 (2施設[土木1/建築1]・2断面)	[Red bar]		
	特重工認 & 乾式貯蔵施設工認	特重施設 (8施設[土木6/建築2]・24断面)	[Red bar]		
		乾式貯蔵建屋 (2施設[土木1/建築1]・2断面)	[Red bar]		
機器・配管系		機器：約590、配管：(3次元) 約121モデル (定比貯) 約82,000セル	[Green bar]		

➤ 詳細設計期間について (続き)

② 過去の主な工認の評価期間との比較

- ✓ 新規制工認以降の建物・構築物等の評価を伴う主な過去の工認について、それぞれの「過去の評価期間」と「今回の特定せずBFでの評価期間」を比較した結果を以下に示す。
- ✓ 過去の工認では、新規制工認と非常用ガスタービン工認、特重工認と乾式貯蔵施設工認を概ね同時期に対応した。これら2つの評価期間を示すが、今回の特定せずBFにおいては、すべての施設について並行して再評価を実施することとなる。
- ✓ 下記比較表は、以下の前提による。
 - 「過去の評価期間」は、認可にあたって必要となったすべての解析を完遂させるために要した期間である。(解析モデル作成期間は除く)
 - 各施設に対して、複数断面(方角)、Ss+Sd、位相反転(最大4ケース)、ばらつきケース(最大7ケース)を適宜組み合わせる必要がある。
 - 過去の工認と比較して、波数は既存Ss12波(位相反転を考慮すれば最大18波)から特定せずSs1波(同4波)に減少する見込みであるが、プロジェクト数(例：土木分野においては2次元FEMの断面数と同義)は不変である。

	特定せずBF	新規制BF & 非常用ガスタービン施設	特重施設 & 乾式貯蔵施設
詳細設計期間	約36カ月	約35カ月	約30カ月
主要施設数 (建物・構築物)	土木：31施設 (80断面) 建築：17施設	土木：24施設 (54断面) 建築：14施設	土木：7施設 (26断面) 建築：3施設
施設数 (機器・配管系)	機器：約 590 配管： (3次元) 約 121モデル (定ピッチ) 約 82,000セル※1	機器：約 510 配管： (3次元) 約 120モデル (定ピッチ) 約 80,000セル※1	機器：約 80 配管： (3次元) 1モデル (定ピッチ) 約 2,000セル※1

※1：配管仕様数と建屋数等から求まる直管部標準支持間隔の算出数。

✓ 特定せずSs“1波”の追加でも評価期間が大幅に短縮されない理由

- 品質保証の流れの中で、波数の減少は「解析実施」「報告」といった一部工程に対しては、その減少率に応じて相応の短縮効果を発揮するが、「解析業務の計画」「入力根拠の明確化」「入力結果の確認」「解析結果の審査・検証」等の工程には短縮効果を発揮しない。
- これはプロジェクト(断面)毎に異なる作業が多く発生するためであり、工程の長短に直結するのはプロジェクト数(断面数)である。したがって、プロジェクト数(断面数)が変わらない限り、波数の減少による工程への寄与は限定的である。
- 例えば、「解析結果の審査・検証」においては、検証の観点には断面毎に異なるため、「① 同一断面に対してSs18波を相互かつ一斉に審査・検証できた過去の工認」と「② 波数こそ減少するものの、①と同数の膨大な断面数に対して、既往Ss18波の結果と再比較しつつ審査・検証する今回の工認」を比較した場合、後者の作業工程が4/18倍(波数比)になることはない。
- なお、「時刻歴解析」で地震応答解析を実施する土木分野においては、既存Ssからの超過程度の大小に依らず、1波でも波が追加された時点で全プロジェクト(全断面)をトレースする必要がある。

川内・玄海原子力発電所 標準応答スペクトル策定の規制取入れに係る 経過措置について

- 標準応答スペクトルの策定案件がバックフィット案件であることを考慮し、経過措置期間に関する検討にあたっては、以下を念頭におくことが肝要
 - ◆ 安全の追及に終わりはないとの認識の下、安全の確保に一義的責任を負う原子力事業者は、**新たな知見に対応し、継続的な安全性向上を図る。**
 - ◆ 継続的な安全性向上を達成するには、**合理的期間内に技術基準に適合**する。
 - ◆ **設計及び工事の計画の認可及び使用前確認**については、改正後の解釈に基づく設置変更許可等の審査が進み、**各施設への影響の詳細や工事の規模・見通し等が明らかになった時点で、全施設一律の経過措置の終期（確定日）を定める。**
- 「標準応答スペクトルの策定に係る工程」に関して、下記の各段階における必要な期間について、次ページ以降で説明
 - ① 詳細設計段階
 - ② 設工認審査段階
 - ③ 工事又は使用前事業者検査段階

① 詳細設計段階

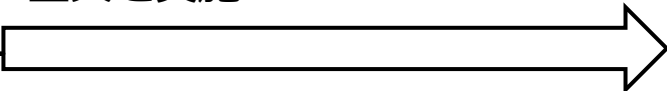
詳細設計期間を約 27 カ月と試算

詳細設計は、以下を実施

- **地震解放基盤面の地震動**による、玄海、川内両発電所における建物・構築物の**地震応答解析・床応答曲線算出**
 - ・地震応答解析 建物・構築物 102施設

- 建物・構築物の**床応答曲線**による、玄海、川内両発電所における機器・配管系の**耐震評価**
 - ・**支持構造物の改造等の設計**
 - ・機器 約1670施設
 - ・配管 3次元 約620モデル
定ピッチ 約130,500セル

合理的に詳細設計行うため、**床応答曲線算出の都度、順次、機器・配管系の評価側に引渡す工夫を実施**



詳細設計期間を約 27 カ月と試算

	特定せず B F	新規制 B F
期 間	約 27 カ月	約 30 カ月
建 物	土 木：57施設	土 木：45施設
・ 構築物	建 築：45施設	建 築：33施設
機 器	機器：約1,670	機器：約1,200
・ 配 管	配管； 3次元 約620モデル 定ピッチ 約130,500セル	配管； 3次元 約600モデル 定ピッチ 約120,000セル

② 設工認審査段階

設工認審査期間を約 1 8 カ月程度と試算

- 設工認審査の期間は、標準応答スペクトルの策定に係る最初の設工認審査でもあり、事業者だけで期間を想定することは困難だが、玄海 1 2 カ月、川内 1 2 カ月（合計 2 4 カ月）と想定
- ただし、事業者として、以下の工夫で合理的に対応
 - ◆ 新規制 B F 設工認でも実施、すなわち、評価手法ごとに設備を類型化し、代表設備の耐震性を説明する
 - ◆ 玄海、川内の共通内容を同時に説明する
- 以上を踏まえ、設工認審査期間として約 1 8 カ月程度と試算

	特定せず B F	新規制 B F
審査期間	玄海 約 1 2 カ月 川内 約 1 2 カ月	玄海 約 8 カ月 川内 約 2 2 カ月

③工事又は使用前事業者検査段階

○補強工事については、NRA殿と事業者との合意が得られれば準備が整い次第着手するが、大部分の工事は、詳細設計終了後の定事検でなければ実施できず、それを踏まえると工事完了は設置許可期限から5年経過後の最初の定事検終了までとなる見込み

➤ 各施設への影響の詳細

- ◆ 地震解放基盤面の地震動による簡易耐震評価実施
 - 建物・構築物は耐震性を満足できる見込み
 - 機器・配管系については、支持構造物の改造等により耐震性を満足できる見込み

➤ 工事の規模・見通し

- ◆ 地震解放基盤面の地震動による簡易耐震評価により現段階で、川内原子力発電所において支持構造物の改造等の可能性があるものは、以下の通り
 - 【 機 器 】 11 / 約800施設
 - 【配管・3次元】 約100 / 約300モデル
 - 【配管・定ピッチ】 約400 / 約65,000セル
- ◆ ただし、適切な耐震裕度を確保するための工事の物量を確度をもって把握するためには、詳細設計(床応答曲線に基づく耐震評価)の完了が必要
- ◆ 改造等の工事イメージを別紙1に示す

➤ 合理的な工事の実施

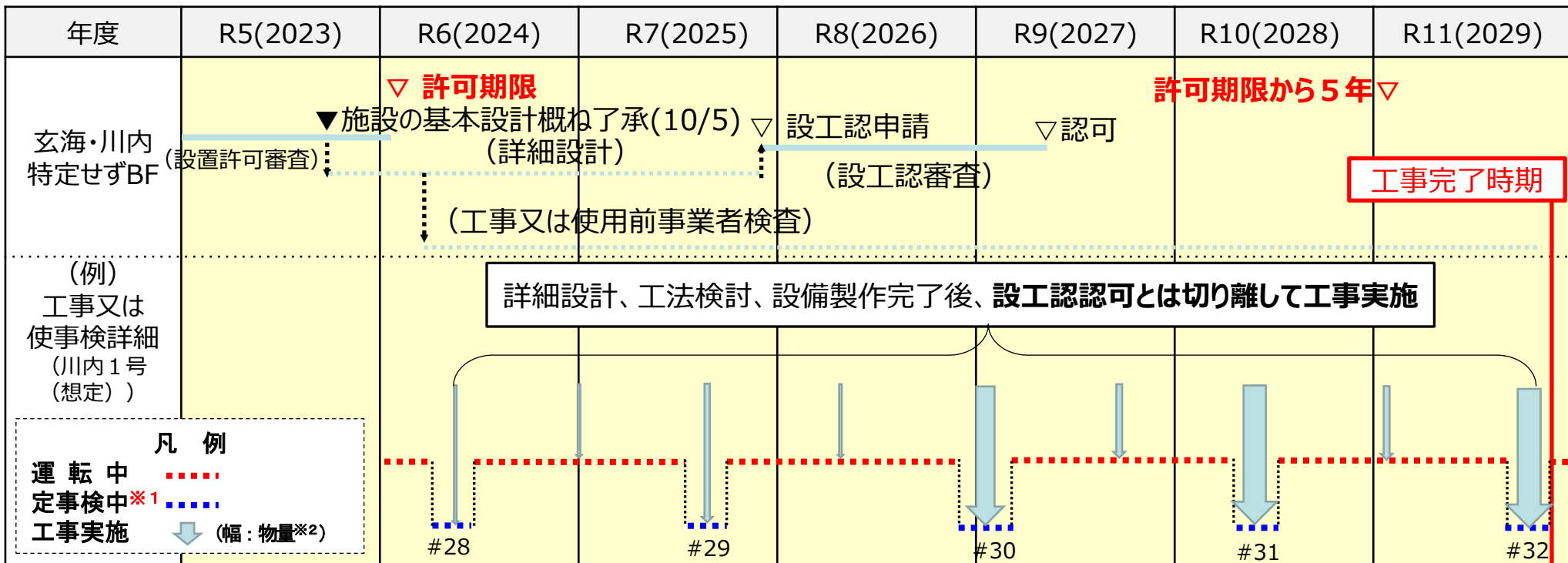
- ◆ 工事については、設工認認可とは切り離し、準備が整い次第、順次定事検にて着手することを検討
- ◆ ただし、詳細設計が終了するまでは、実施できる工事物量に制限があることから、大部分の工事は、詳細設計終了後の定事検(燃料取出中：通常約1カ月)の間でなければ実施できず、複数回の定検に渡る見込み
- ◆ 簡易耐震評価により、現段階で改造等の可能性のある設備の物量を想定した場合、設置許可期限から5年経過後の最初の定事検まで工事を実施することとなる見込み
- ◆ なお、詳細設計の結果、追加工事が発生した場合においても上記期間内に対応する方針

➤ 継続的な安全性向上への取組み

- ◆ 詳細設計を踏まえ、自然現象である地震動に対し、安全性向上の観点から事業者として更なる耐震裕度向上工事を志向*する場合においても、上記期間内に対応する方針

*更なる耐震裕度向上を志向する機器には、設工認対象設備が中心となる可能性が高く、その場合認可後工事となる

- 以上を踏まえ、工事又は使用前事業者検査の完了時期として、**設置許可期限から5年経過後の最初の定事検終了日まで**かかる見込み
- なお、**新設建屋の工事が主である特重BFが5年（60カ月）であったこと**に対して、**既設設備全般に関わる標準応答スペクトル策定に係るバックフィット工事は、大部分を定事検中（燃料取出中の約1カ月×複数定検）に実施せざるを得ない**ことも考慮。

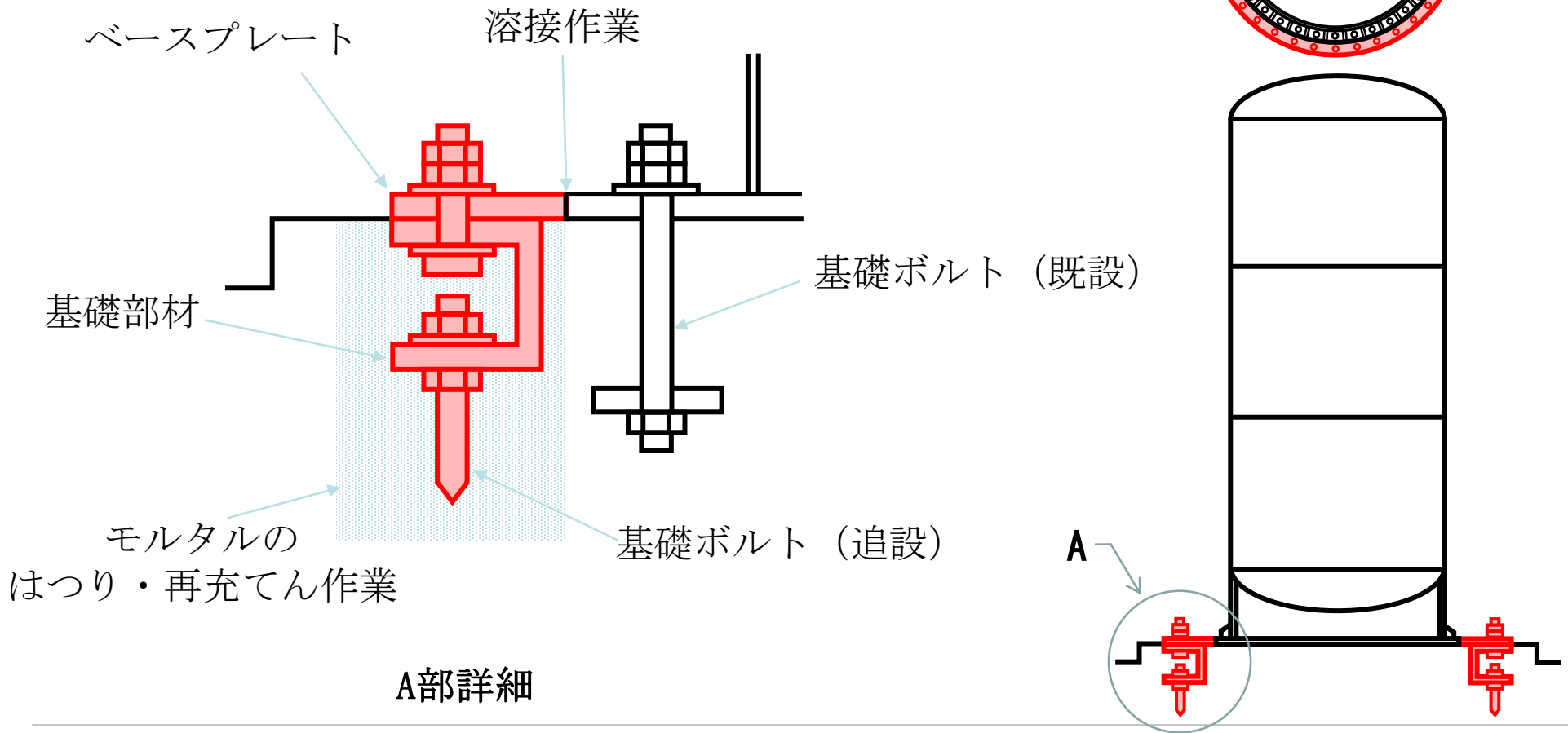


※1 燃料取出中（通常約1カ月）

※2 詳細設計が終了するまでの期間は、詳細設計・工法の確定箇所が少ないことから工事可能箇所は限られる

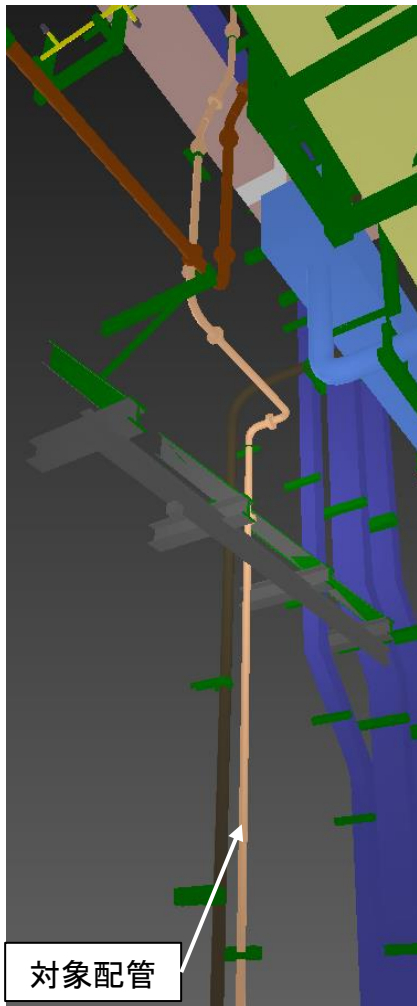
【工事概要（例）】

ベースプレートを拡張し、基礎部材及び基礎ボルトを設置



配管は高所設置が多く、工事にあたっては各所で多量の足場設置が必要

林°ト追設前



林°ト追設後





重量物である大型支持構造物の取替工事では、狭所での新支持構造物搬入や重量物の吊り作業が必要で、作業安全上の配慮も重要となる



格納容器スプレィ配管支持構造物改造工事では、格納容器内に多量の足場設置が必要

川内・玄海原子力発電所
工事完了までの耐震安全性について
(民間規格等を踏まえた耐震評価)

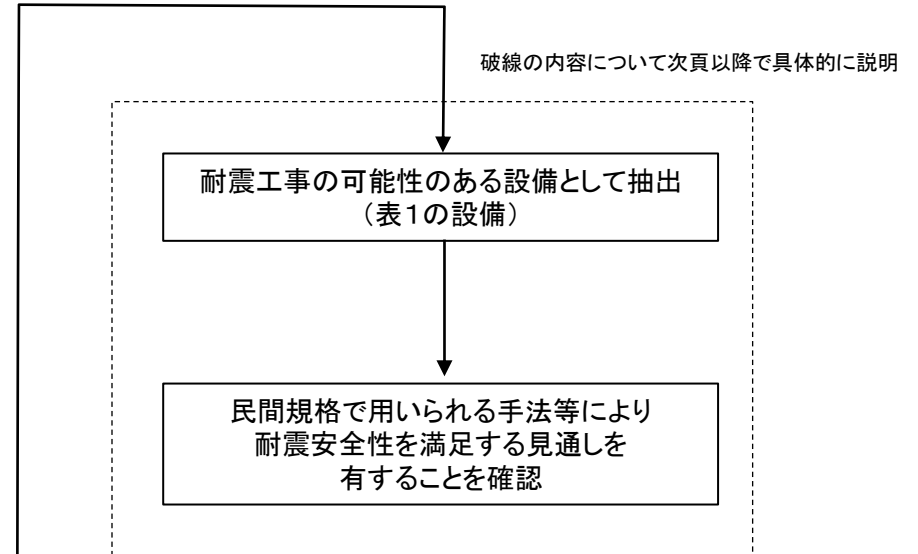
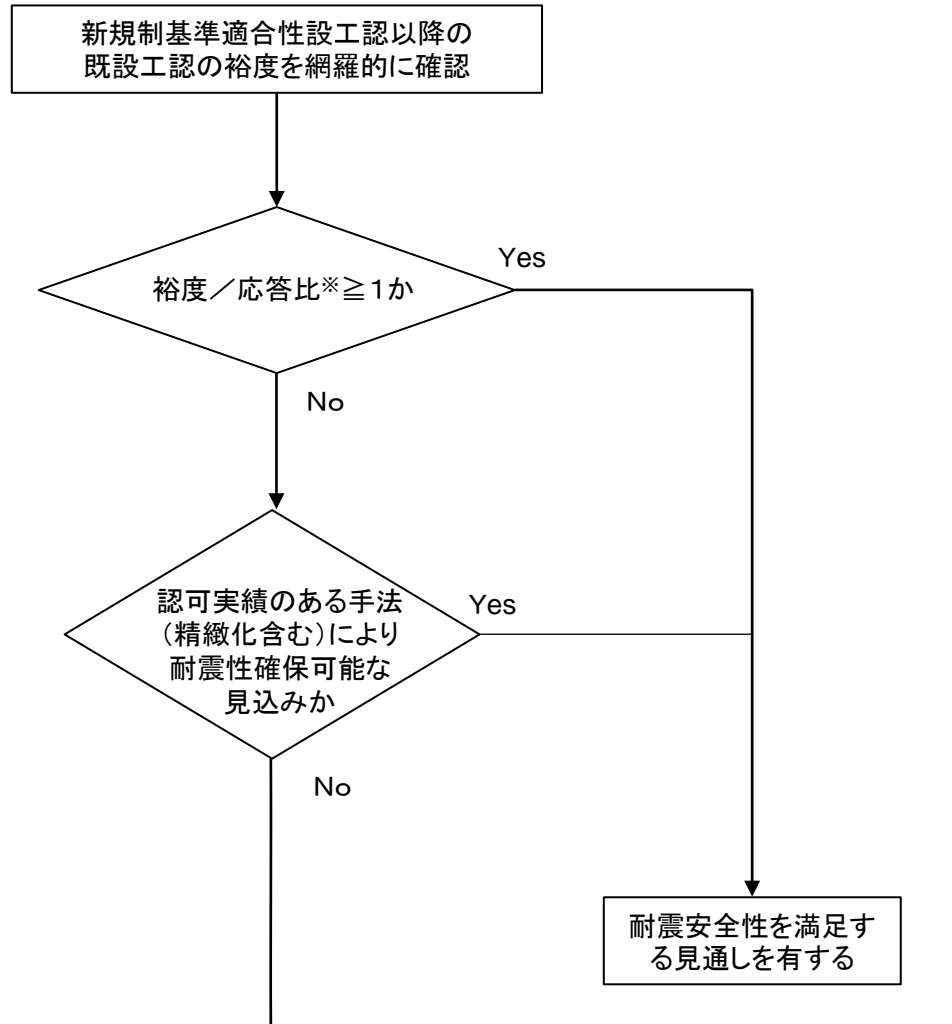
特定せず S_s 追加に伴う施設への影響については、認可実績のある評価手法の適用又は民間規格で用いられる評価手法の適用等により、耐震安全性を満足する見通しであることを確認した。

【検討内容要旨】

川内・玄海について、新規制基準適合性設工認以降の既設工認申請書に評価結果が記載された施設を網羅的に確認し、以下の内容を検討した。

- 既設工認申請書における裕度(許容値／発生値)と設備の固有周期における応答比(特定せず S_s ／既設工認の評価で用いた現行 S_s)を比較し、耐震安全性を満足する見通しを有すること
- 上記検討による見通しが得られない設備に対して、新規制基準適合性設工認以降の認可実績のある評価手法の適用により、耐震安全性を満足する見通しを有すること
- 更に、耐震工事の可能性のある設備については、民間規格で用いられる評価手法の適用等により耐震安全性を満足する見通しを有すること

○ 検討フロー



※ 応答比: 特定せずSsと既設工認の現行Ssの応答スペクトル比

表1 耐震工事の可能性のある設備※に対する耐震安全性の見通しの有無

プラント	設備	Ss評価区分	1次固有周期 (s)	既設工認の最小裕度	耐震安全性の見通し
川内1号機	復水タンク	Sクラス	水平：0.122 鉛直：剛	1.05 (胴板)	民間規格として制定されているJEAC4601-2021に記載の平底円筒形貯水タンクに対する胴板の座屈解析手法を適用し、評価を実施した結果、耐震安全性を満足する見通し。(詳細を4/13に示す。)
	燃料取替用水タンク	Sクラス	水平：0.134 鉛直：剛	1.00 (胴板)	
	冷却材混床式脱塩塔	溢水源 (注1)	水平：0.067 鉛直：剛	1.14 (支持脚)	評価基準値を算出するための材料物性について、JSME規格等に定められた規格値を用いる代わりに、設備毎のミルシート値等を用いることで、耐震安全性を満足する見通し。
	使用済燃料ピット脱塩塔	溢水源 (注1)	水平：0.070 鉛直：剛	1.04 (支持脚)	
	ほう酸蒸留水脱塩塔	溢水源 (注1)	水平：0.069 鉛直：剛	1.12 (支持脚)	
	ほう酸回収装置陽イオン脱塩塔	溢水源 (注1)	水平：0.069 鉛直：剛	1.08 (支持脚)	
	ほう酸回収装置混床式脱塩塔	溢水源 (注1)	水平：0.069 鉛直：剛	1.08 (支持脚)	
川内2号機	廃液蒸留水脱塩塔	溢水源 (注1)	水平：0.076 鉛直：剛	1.08 (支持脚)	
	廃液蒸留水モニタ脱塩塔	溢水源 (注1)	水平：0.076 鉛直：剛	1.08 (支持脚)	
	よう素除去薬品タンク	Sクラス	水平：剛 鉛直：剛	1.04 (基礎ボルト)	
	障壁	波及的影響 (注2)	水平：0.093 鉛直：0.060	1.01 (はり)	
川内1/2号機 玄海3/4号機	配管	Sクラス	— (注3)	— (注4)	特定せずSsに対する耐震成立性を検討した結果、耐震安全性を満足する見通し。(詳細を10/13に示す。)

※設備については、床応答曲線(FRS)を用いた詳細設計ではなく、解放基盤表面における基準地震動の応答スペクトルの超過割合を用いた概略検討のため、今後の詳細設計により変更となる可能性がある。
 注1 溢水源としない設備として、Ss評価を実施。 注2 外部火災対策として設置。波及的影響を与えない設備として、Ss評価を実施。 注3 固有周期が一定ではないため。 注4 標準支持間隔法を適用する低温配管については、支持構造物の追設等の可能性を否定できないため。

- 復水タンク及び燃料取替用水タンクについて、現設備の耐震性を確認するため、下記の検討を行った。

屋外タンク（復水タンク及び燃料取替用水タンク）に関する検討概要

検討方法	評価部位 (評価内容)	検討内容	備考
JEAC評価手法	胴板 (座屈)	既設工認で 実績はないものの、補強することなく 、民間規格として制定されている JEAC4601-2021に記載の平底円筒形貯水タンクに対する胴板の座屈解析手法 を適用した評価を実施。	次頁以降で説明

- JEAC4601-2021に記載の座屈評価式は、日本建築学会の容器構造設計指針（AIJ容器指針）を基に、「**原子力発電施設の平底円筒形貯水タンクへの適用妥当性**」を検討した上で規定されている。

○ 背景及び概要

- ・ 既設工認で適用されているJEAG4601の座屈評価は、**座屈を発生させないことを基本とし、NASAの実験式に安全係数（1.5）を考慮した評価であり、塑性エネルギー吸収による応答低減効果は考慮されていない。**
一方で、AIJ容器指針の座屈評価では、座屈後の**塑性エネルギー吸収による応答低減効果が考慮されている。**
そこで、JEAC4601-2021では以下について検討し、座屈評価式を規定している。
 - ① 原子力発電施設の平底円筒形貯水タンクに**塑性エネルギー吸収による応答低減効果が考慮可能なこと**
 - ② 応答低減効果を考慮した座屈評価式を適用するうえで**十分な裕度を確保すること**
 - ③ 平底円筒形貯水タンクへの適用にあたり考慮すべき事項等を整理

○ 検討内容

- ① 原子力発電施設の平底円筒形貯水タンクを模擬した試験体を用いて加振試験を実施し、**塑性エネルギー吸収による応答低減効果を考慮可能**であることを確認（更にタンクの機能が維持不可能な状態（**終局状態**）まで加振試験を行っている）。
- ② **終局状態**に至らない**設計許容限界**として、座屈部における残留面外変形量を**タンク半径の1%**を設定し、試験及び解析により、設計許容限界に相当する**応答低減係数 D_s** を算出（ **$D_s=0.39\sim0.45$** ）。
上記で得られた応答低減係数 D_s を踏まえ、保守的に**設計用応答低減係数 D_p を0.5**に設定することで、**設計許容限界に対し裕度1.5以上**を確保可能であることを確認。
- ③ 適用にあたり考慮すべき事項等
 - ・ 適用範囲として定められた構造、寸法範囲、適用温度、適用材料及び圧力の平底円筒形貯水タンクに適用すること。
 - ・ 設計応答加速度は、タンクの固有周期が設計応答スペクトルのピークの長周期側に存在する場合はスペクトル値を、短周期側に存在する場合はスペクトルピーク値を用いること。
 - ・ タンクに接続する配管の設計条件として、座屈による面外変位（タンク半径の1%）を考慮すること。
 - ・ タンク基礎との連成を考慮する場合には、基礎との連成を考慮しない場合と同等の評価が可能であることを確認すること。
 - ・ 平底円筒形貯水タンクの座屈評価及びタンク胴板の一次応力評価以外の耐震評価には、応答低減係数を用いないこと。

JEAC評価手法を用いた評価

- 評価条件
 - ・ 補強想定：補強なし
 - ・ 評価手法：既設工認にて実績のないJEAC4601-2021に記載のある評価手法を適用
- 評価の結果、いずれのタンクも裕度 1 以上を満足する結果が得られた（表 2）。
- なお、タンク接続配管についても、3次元はりモデルを適用することにより耐震性を有することを確認している。

表 2 JEAC評価手法を用いた評価結果

対象設備	JEAC評価手法による裕度※	評価結果 (左記裕度が1以上で○)	<参考> 現状 (Ss-1,2) の裕度
復水タンク	2.17	○	1.05
燃料取替用水タンク	1.38	○	1.00

※ 解放基盤表面における、Ss-1,2に対するSs-3の基準地震動の超過割合に基づき評価を実施。

○JEAC4601の座屈評価式

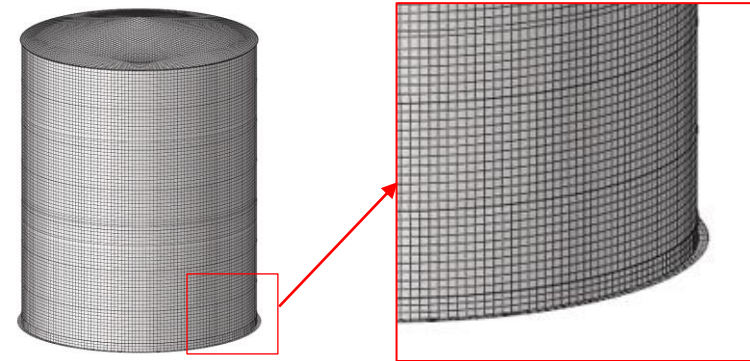
(軸圧縮荷重と曲げモーメントによる軸圧縮座屈)

$$\frac{\sigma_c}{\sigma_{c.cr}} + D_s \frac{\sigma_b}{\sigma_{b.cr}} \leq 1$$

(せん断荷重によるせん断座屈)

$$D_s \frac{\tau}{\tau_{cr}} \leq 1$$

D_s : 設計用応答低減係数 (Sd: $D_s=1.0$, Ss: $D_s=0.5$)
 σ_c : 作用軸圧縮応力
 $\sigma_{c.cr}$: 軸圧縮座屈応力
 σ_b : 作用曲げ応力
 $\sigma_{b.cr}$: 曲げ座屈応力
 τ : 作用せん断応力
 τ_{cr} : せん断座屈応力



解析モデル (FEMモデル)

拡大図

解析モデルによる算出応力を用いて
応答低減係数Dsを考慮し座屈評価

図 1 JEAC評価手法を用いた評価のイメージ

・川内1号復水タンクについて、JEAC4601-2021の座屈設計法の適用範囲に適合することを確認した。

表3 JEAC4601適用範囲との比較

項目	JEAC4601	復水タンク	判定
a.構造	底板をボルトにより基礎に固定した、たて置円筒形貯水タンク	←	適合
b.寸法範囲 (半径板厚比 R/t)	100以上、1100以下	R/t : 500から300 内半径 : 4500 mm 板厚 : 9から15 mm	適合
b.寸法範囲 (半径平均板厚比 R/t _m)	100以上、900以下	R/t _m : 409 内半径 : 4500 mm 平均板厚 : 11mm	適合
b.寸法範囲 (円筒高さ半径比 L/R)	1.4以上、4.0以下	L/R : 3.3 円筒高さ : 14710 mm 内半径 : 4500 mm	適合
c.適用温度	95℃以下	最高使用温度 : 85℃	適合
d.適用材料	設計・建設規格PVC-2000、PVD-2000で規定されるクラス2、3容器の材料	SS400	適合
e.圧力	大気開放タンク	最高使用圧力 : 大気圧	適合

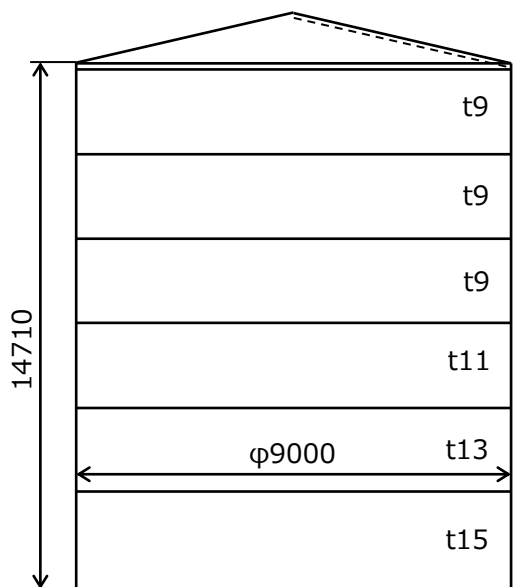


図2 復水タンク外形

・川内 1 号燃料取替用水タンクについて、JEAC4601-2021の座屈設計法の適用範囲に適合することを確認した。

表 4 JEAC4601適用範囲との比較

項目	JEAC4601	燃料取替用水タンク	判定
a.構造	底板をボルトにより基礎に固定した、たて置円筒形貯水タンク	←	適合
b.寸法範囲 (半径板厚比 R/t)	100以上、1100以下	R/t : 362から1084 内半径 : 6500 mm 板厚 : 6から18 mm	適合
b.寸法範囲 (半径平均板厚比 R/t _m)	100以上、900以下	R/t _m : 542 内半径 : 6500 mm 平均板厚 : 12 mm	適合
b.寸法範囲 (円筒高さ半径比 L/R)	1.4以上、4.0以下	L/R : 2.5 円筒高さ : 16065 mm 内半径 : 6500 mm	適合
c.適用温度	95℃以下	最高使用温度 : 95℃	適合
d.適用材料	設計・建設規格PVC-2000、PVD-2000で規定されるクラス 2、3容器の材料	SUS304	適合
e.圧力	大気開放タンク	最高使用圧力 : 大気圧	適合

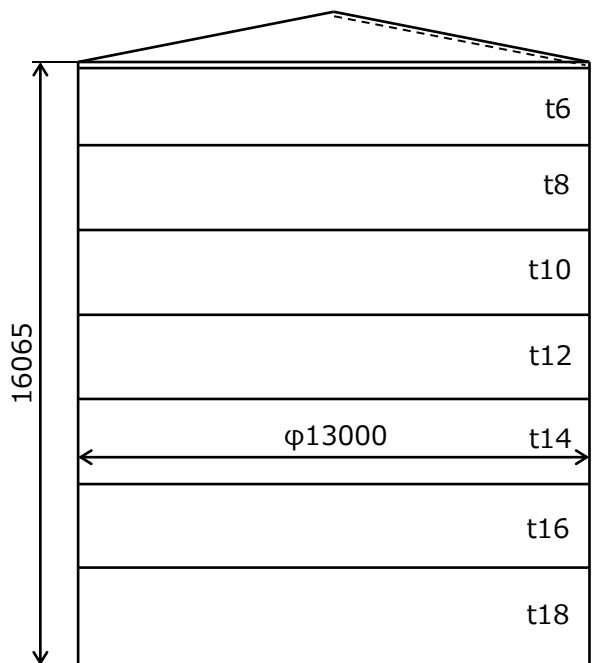


図 3 燃料取替用水タンク外形

●設計用応答低減係数の適用について

平底円筒形貯水タンクの座屈評価について、原子力発電所耐震設計技術規定 (JEAC4601-2021) においては、設計用応答低減係数として0.5 (=1/2) が記載されているが、海外規格における耐震設計についても応答低減効果を考慮した設計手法が用いられており^(注)、API (米国石油学会)、ASCE (米国土木学会)、AWWA (米国水道協会) 等においては、応答低減係数として1/3~1/4が考慮されている。

注 : Review of Seismic Codes on Liquid-Containing Tanks, Earthquake Spectra, Volume 23, No. 1, pages 239-260, February 2007;
© 2007, Earthquake Engineering Research Institute

川内原子力発電所1,2号機について、標準応答スペクトルに基づく地震動（Ss-3）を踏まえた、配管系に対する耐震成立性の概略検討を実施した。

1. 配管系の耐震設計の概要

- 配管系は、最高使用温度および口径を踏まえ、高温配管（3次元はりモデル）と低温配管（定ピッチスパン法）に分類したうえで、耐震設計を行っている。
- 配管系の耐震評価では、自重、内圧、機械的荷重、地震荷重を考慮している。

2. 耐震成立性の概略検討（高温配管）

- 高温配管は、新規制基準適合性工認において、評価が厳しい箇所を代表で記載している。そこで、当該配管を対象に、Ss-3追加による地震動の増分（以下「応答比」という。）を考慮するため、以下の流れで検討を実施した。
 - (1) 応答比と現行裕度を比較
 - (2) 地震荷重のみに着目し、個別検討を実施

3. 耐震成立性の概略検討（低温配管）

- 低温配管は、平成18年に実施した耐震バックチェックにおいて、定ピッチスパン法の許容値を満足しない系統を特定し、3次元はりモデルによる評価を実施し耐震安全性を確認していることから、それらのうち3次元はりモデルによる評価が最も厳しい箇所を代表として選定し、当該配管を対象に、高温配管と同様、Ss-3追加による応答比を用いて現行裕度との比較を実施した。

4. 概略検討結果

- 上記の検討の結果を次頁に示す。いずれの配管も応答比は現行裕度を下回ることから、川内1,2号機の配管系については、Ss-3に対して耐震性を有する見通しである。

川内1号機 Ss-3を踏まえた配管の概略検討結果※1

対象配管	評価部位	応答比	現行裕度※2	評価結果	備考	参照先
1次冷却設備※3	配管	1.38	4.83	○	個別検討（疲労評価）を実施した	JEAG4601-補1984 (P.94,102)
	サポート	1.28	1.41	○	個別検討（各部品の評価）を実施した	JEAG4601-補1984 (P.119)
余熱除去系設備※3	配管	1.26	1.90	○		
	サポート	(1.33)	—(注)	○	注：現行裕度が強度評価により決定されているため、地震による応答比を考慮しても現行の裕度に影響を与えない。	JEAG4601-補1984 (P.48)、 JSME2012(PI-5-4)
安全注入設備※3	配管	1.28	1.80	○		
	サポート	(1.43)	—(注)	○	注：現行裕度が強度評価により決定されているため、地震による応答比を考慮しても現行の裕度に影響を与えない。	JEAG4601-補1984 (P.48)、 JSME2012(PI-5-4)
主蒸気設備※3	配管	1.23	2.61	○	個別検討（疲労評価）を実施した	JEAG4601-補1984 (P.94,102)
	サポート	1.23	1.23	○	新規基準以降に実施した自主的な耐震裕度向上工事を反映	
主給水設備※3	配管	1.09	2.78	○		
	サポート	1.09	1.15	○		
格納容器 スプレイ設備※3	配管	1.36	66.6	○	個別検討（疲労評価）を実施した	JEAG4601-補1984 (P.94,102)
	サポート	1.28	1.62	○	個別検討（各部品の評価）を実施した	JEAG4601-補1984 (P.119)
原子炉補機冷却水 系統※4	配管	1.55	1.58	○	3次元はりモデルにより評価を実施	
	サポート	1.55	1.60	○	3次元はりモデルにより評価を実施	

※1 川内1/2号機及び玄海3/4号機のうち、建設時に考慮された地震動が最も小さい川内1号機を代表で記載。 ※2 個別検討により確認した裕度を含む。

※3 高温配管 ※4 低温配管

低温配管に適用する「定ピッチスパン法」は、発電所にある多数の配管に対して簡易的に支持構造を設計する手法であり、「3次元はりモデル」での設計結果より保守的な支持構造となる。本補足では、定ピッチスパン法の保守性に関し、発生応力の観点から考察した(12/13)。更に、配管設計の耐震上の裕度について、実証試験や許容値等の観点から考察を実施した(13/13)。

<定ピッチスパン法と3次元はりモデルの発生応力比較>

- 配管系の発生応力に関して、低温配管に適用する定ピッチスパン法の方が、高温配管に適用する3次元はりモデルよりも大きく算出されることについては、定ピッチ会合(※)において、全ての配管要素に対して網羅的に確認されている。
- また、同会合では、定ピッチスパン法の発生応力が、3次元はりモデルより同等若しくは大きく算出されること具体例として、PWR各電力の既設工認資料を引用し、右表*のとおり、両者の発生応力の比較を示している。

※ 第1回 原子力発電所における配管支持間隔の設定方法に関する会合(平成30年5月24日)

表2 3次元はりモデルと定ピッチスパン法による発生応力の比較結果

プラント	対象配管	3次元はりモデル 発生応力 [MPa]	定ピッチスパン法 発生応力 [MPa]	記載箇所
T34	CVスプレイライン配管	78	110	添付-1 P35
	安全補機室空気浄化系配管	169	296	添付-2 P104
	化学体積制御系配管	36	152	添付-2 P105
	外周建屋配管	34	101	添付-2 P136
T12	B低温側注入ライン配管	45	132	添付-3 P167
	CVスプレイライン配管	78	110	添付-4 P227
M3	C充てんライン配管	44	59	添付-5 P295 添付-6 P349
	SGブローダウン系統配管	47	350	添付-6 P356
	補給水系統配管	14	32	添付-6 P357
O34	原子炉補機冷却水系統配管	14	63	添付-7 P435
	原子炉補機冷却水系統配管	9	170	添付-7 P438
	抽出ライン配管	35	98	添付-8 P473
	1次系補給水系配管	29	196	添付-8 P526
	原水消火水系配管	43	177	添付-8 P527
	制御建屋配管	37	60	添付-8 P530
S12	充てんライン配管	48	107	添付-1 1 P648 添付-1 2 P714
	余熱除去ライン配管	78	138	添付-1 1 P651 添付-1 2 P717

伊方3号機及び玄海3・4号機については、補足説明資料中に3次元はりモデルと定ピッチスパン法による発生応力の比較に関する記載なし。

* 第1回 原子力発電所における配管支持間隔の設定方法に関する会合(平成30年5月24日)、資料2「定ピッチスパン法を適用するにあたっての事業者見解について(参考資料)」より抜粋

<その他配管設計の余裕>

● NUPEC実証試験

配管系の機能喪失に至るまでの安全裕度を定量的に把握するために、NUPECにて実規模配管系の加振試験が実施されており、加振試験の結果、JEAG4601により設計された一般的な配管系の耐震設計は6.0の安全余裕があることが確認されている。

● 配管系の減衰定数の設定

再稼働工認では、配管の減衰定数として既往研究を基に0.5～3.0%を適用しており、JEAC4601-2021でも同様の減衰定数が提案されている。一方、米国のREGULATORY GUIDE 1.61ではSSE (Ss地震相当) に対する減衰定数として4%が設定されている。なお、川内の定ピッチスパン法においては減衰定数として0.5～1.5%を適用している。

● 許容値の設定

配管系の設計においては許容値として $0.9S_u$ が採用されており、配管の機能維持は引張強さ S_u 以内であれば維持できるという観点に立てば、係数分(10%)の余裕がある。

➤ 詳細設計期間について

- ✓ 評価が必要な施設数は、以下のとおりであり、これらの設工認申請準備に要する期間として、2年以上を要する見通しである。

- ・ 主要施設数（建物・構築物）：**土木：20施設（70断面）、建築：40施設**
- ・ 施設数（機器・配管系）：**機器：約2,300、配管：(3次元) 約40モデル
(定ピッチ) 約57,000パターン※**

※ 配管仕様数と建屋数等から求まる直管部標準支持間隔の算出数。

- ✓ 詳細設計期間の内訳としては、上記数量の建物・構築物（洞道を含む）に対する地震応答解析及び耐震評価に約24ヶ月（機器・配管系の耐震評価：約20ヶ月を含む）を有する見込みであり、新規制基準審査での対応結果を特定せずBFへ反映させる可能性も考慮し、2年以上とした。
- ✓ 上記は、震源特定せずSsの設計用地震力が既存Ssの設計用地震力を超過する設備のみの詳細評価を行った場合の評価期間であり、震源特定せずSs追加に伴う応答の変更有無を整理し、震源特定せずによる設計用地震力等が既存のSsに包絡される場合は、詳細評価を省略することで期間の短縮を図っている。

— 以上 —