

島根原子力発電所第2号機 審査資料

資料番号

NS2-他-067改05

提出年月日

2022年8月2日

島根原子力発電所第2号機

工事計画認可申請（補正）に係る論点整理について

2022年8月
中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

Energia

■ 説明内容

- 工事計画認可申請（補正）に係る論点について、第1018回審査会合（2021年12月7日）にて示した主な説明事項を含め、審査の中で論点として整理された項目について説明する。また、第1018回審査会合（2021年12月7日）での主な説明事項No.1-5に関する指摘事項に対する回答について説明する。
- 本日説明する建物・構築物関係の主な説明事項は以下のとおり。

【建物・構築物関係】

分類	No.	項目	回答頁
[1] 詳細設計申送り事項	1-2	建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価	別途説明
	1-5	漂流物衝突荷重の設定 （【指摘事項に対する回答】を含む）	別途説明
	1-8	設計地下水位の設定	別途説明
	1-9	防波壁（逆T擁壁の改良地盤の解析用物性値）	別途説明

【機器・配管関係】

分類	No.	項目	回答頁
[1] 詳細設計申送り事項	1-6	機器・配管系への制震装置の適用（三軸粘性ダンパ）	P.4～9
[4] その他の詳細設計に係る説明事項	4-1	配管系に用いる支持装置の許容荷重の設定	P.10～16

- なお、今後の審査にて論点として抽出されたものについても審査会合にて説明する。

工事計画認可申請（補正）に係る論点整理について

【詳細設計申送り事項に対する回答】

設置変更許可審査時において、「機器・配管系への制震装置の適用（三軸粘性ダンパ）」に関して以下の詳細設計へ申送りした事項（詳細設計申送り事項）があったことから、詳細設計申送り事項に対する回答について説明する。

No.	詳細設計申送り事項	分類	回答	回答頁
1	<ul style="list-style-type: none"> 制震装置と対象設備の地震時の構造成立性については、設置許可段階にて示す地震応答解析手法による耐震評価結果を詳細設計段階で示す。 （第796回審査会合（2019年11月12日）における当社の回答内容） 	B	<ul style="list-style-type: none"> 三軸粘性ダンパが取り付け管について、弾性設計用地震動の6波を考慮して地震応答解析を行い、計算値が許容応力以下となることを確認した。 三軸粘性ダンパを設置した配管系の地震応答解析によって得られた応答値が、減衰性能を取得した性能試験条件の範囲内であることを確認した。 	P.6,7
2	<ul style="list-style-type: none"> 三軸粘性ダンパを設置した配管系の地震応答解析手法について、非対角成分が存在するモード空間での運動方程式に対して時間積分を行う方法の詳細と手法の妥当性を詳細設計段階で説明すること。 （第876回審査会合（2020年7月14日）） 	B	<ul style="list-style-type: none"> 配管系に三軸粘性ダンパを設置した場合、減衰マトリクス $[C]$ が対角化出来ず $[M]$, $[C]$, $[K]$ の3つのマトリクスを解く複素固有解析により求める必要があるため、モード解析を用いてモード空間での連成した運動方程式を直接積分する手法を用いている。 本手法はモーダル座標を用いること以外、一般的な直接積分による時刻歴応答解析と同様の手法であり、三軸粘性ダンパを設置する配管系の解析手法として妥当である。 	P.5

No.	詳細設計申送り事項	分類	回答	回答頁
3	<ul style="list-style-type: none"> 単軸粘性ダンパ及び三軸粘性ダンパの保守管理について、詳細設計段階で説明すること。 (第339回ヒアリング(2020年7月1日)) 	B	<ul style="list-style-type: none"> 三軸粘性ダンパは、設置環境や動作頻度を踏まえた故障及び経年劣化事象を考慮した適切な周期による定期的な点検(時間基準保全)により、設備性能を維持する。 単軸粘性ダンパの保守管理について別途説明する。 	P.8
4	<ul style="list-style-type: none"> 三軸粘性ダンパを設置した配管系の耐震評価については、弾性設計用地震動の6波を考慮して実施し、その結果を説明する。 (まとめ資料での当社の記載) 	B	<ul style="list-style-type: none"> 三軸粘性ダンパが取り付く管について、弾性設計用地震動の6波を考慮して地震応答解析を行い、計算値が許容応力以下となることを確認した。 三軸粘性ダンパを設置した配管系の地震応答解析によって得られた応答値が、減衰性能を取得した性能試験条件の範囲内であることを確認した。 	P.6,7

1. はじめに

- 三軸粘性ダンパ及び三軸粘性ダンパが取り付く配管系の耐震評価手法及び評価結果並びに三軸粘性ダンパの点検・保守について説明する。
- 三軸粘性ダンパは外側主蒸気隔離弁から低圧タービン，復水器までの主蒸気系配管に設置する。
- 外側主蒸気隔離弁以降の主蒸気系配管の耐震重要度分類はBクラスであり，外側主蒸気隔離弁から主蒸気止め弁までの範囲はS d 機能維持設計とする。

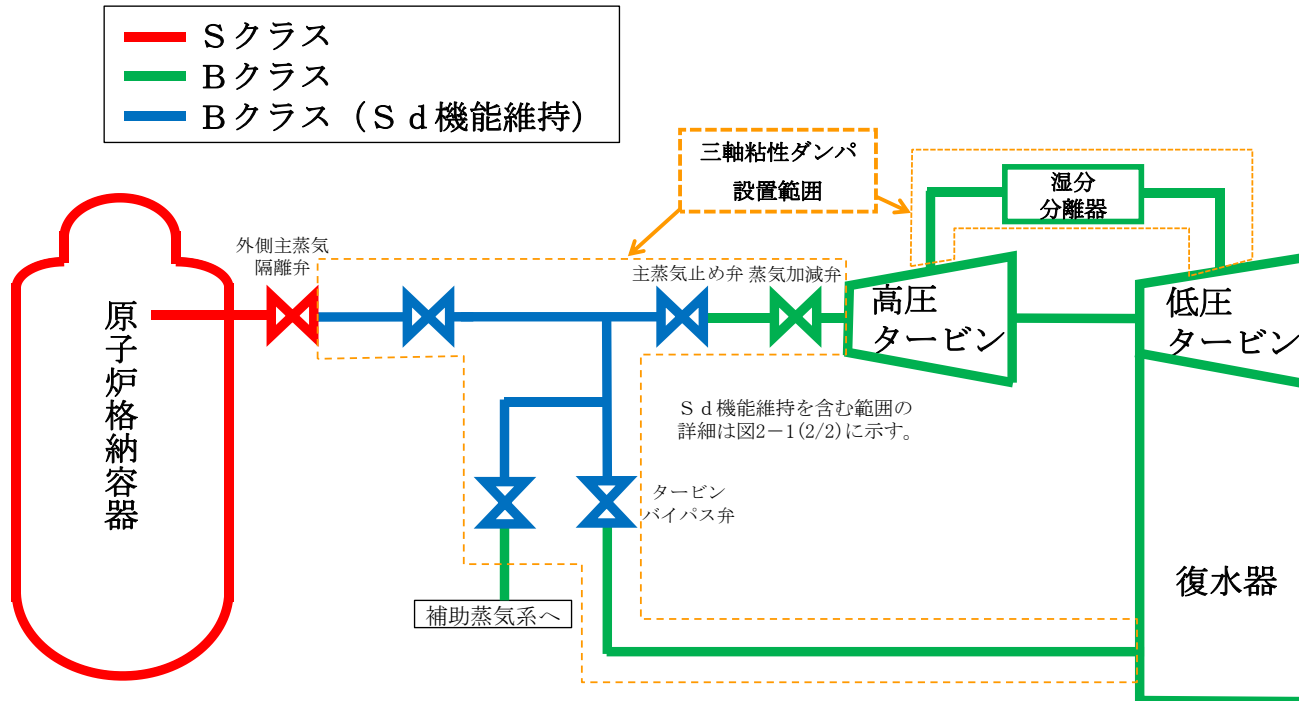


図1 三軸粘性ダンパの設置範囲及び耐震クラス

2. 地震応答解析手法

- 三軸粘性ダンパを設置した配管系の減衰定数は地震による慣性力を受ける配管系の運動方程式により求める。
- 配管系に三軸粘性ダンパを設置した場合，減衰マトリクス $[C]$ が対角化出来ず $[M]$ ， $[C]$ ， $[K]$ の3つのマトリクスを解く複素固有解析により求める必要があるため，モード解析を用いてモード空間での連成した運動方程式を直接積分することにより解を得る。
- モーダル座標を用いること以外，一般的な直接積分による時刻歴応答解析と同様の手法である。

【三軸粘性ダンパを設置した配管系の運動方程式】

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = -[M]\{I\}\ddot{y}$$

$[M]$ ， $[C]$ ， $[K]$ ：配管系の質量，剛性マトリクス

$\{\ddot{x}\}$ ， $\{\dot{x}\}$ ， $\{x\}$ ：配管系の加速度，速度，変位ベクトル

$\{I\}$ ：単位ベクトル

\ddot{y} ：地動加速度

但し， $[C] = [C_p] + [C_D]$

$[C_p]$ ：各モードに一律付与する配管系の設計用減衰定数に対応した減衰マトリクス

$[C_D]$ ：三軸粘性ダンパによって配管系に付与される減衰に対応した減衰マトリクス

3. 地震応答解析モデル

- 三軸粘性ダンパを設置した配管の地震応答解析を実施した。評価条件を表1，評価対象モデルを図2，三軸粘性ダンパの構造を図3に示す。なお，本資料ではダンパを多数設置し，条件の厳しいBクラス（Sd機能維持）範囲の配管の解析結果について示す。
- 入力地震動は，弾性設計用地震動 Sd - 1， Sd - D， Sd - F 1， Sd - F 2， Sd - N 1， Sd - N 2とした。

表1 評価条件

系統名称 (鳥瞰図番号)	耐震設計上の 重要度分類	建物・構築物	標高	減衰定数*1 (%)
主蒸気系 (MS-T-1)	B*2	原子炉建物		
		タービン建物		
		蒸気タービンの基礎		

注記*1：配管系の構造減衰について示す。

*2：弾性設計用地震動 Sd に対して破損しないことの検討を行う。

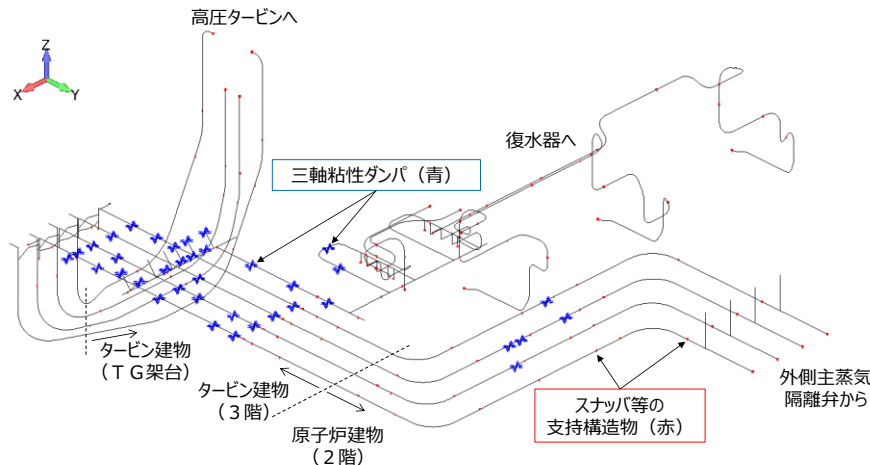


図2 評価対象配管モデル

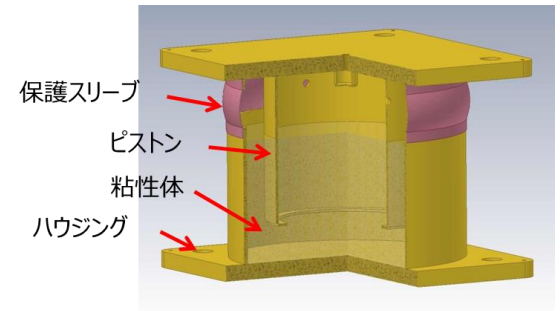


図3 三軸粘性ダンパの構造

4. 地震応答解析結果

- 三軸粘性ダンパが取り付く管について、計算値が許容応力以下となることを確認した。また、結果は十分な裕度があり、三軸粘性ダンパを設置することによる効果を表2のとおり確認した。
- 三軸粘性ダンパについて、三軸粘性ダンパを設置した配管系の地震応答解析によって得られた計算値が、減衰性能を取得した性能試験条件の範囲内であることを表3のとおり確認した。

表2 主蒸気管（MS-T-1）の配管応力評価結果*

許容応力 状態	最大応力区分 (許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価 疲労累積 係数
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	
IVAS	一次応力 ($0.9 \cdot S_u$)	MS-T-1	264	108	377	—
	一次+二次応力 ($2 \cdot S_y$)	MS-T-1	264	120	396	—

表3 主蒸気管（MS-T-1）に取付く三軸粘性ダンパの耐震評価結果*

許容応力 状態	支持構造物 番号	型式	材質	温度 (°C)	方向	構造強度評価結果		機能維持評価			
						荷重評価		地震変位振幅評価		累積消費エネルギー 評価	
						計算値 (kN)	許容値 (kN)	計算値 (mm)	許容値 (mm)	計算値 (kJ)	許容値 (kJ)
IVAS	DMP-MS-017	630/426	STKM13A	66	水平	191	350	4.3		18.5	
					鉛直	64	140	2.8		6.7	

注記*：評価上最も厳しい結果となるSd-1についての評価結果を示す

5. 三軸粘性ダンパの点検・保守

- 三軸粘性ダンパは，設置環境や動作頻度を踏まえた故障及び経年劣化事象を考慮した適切な周期による定期的な点検（時間基準保全）により，設備性能を維持する。
- 三軸粘性ダンパの部位毎（本体，粘性体，保護スリーブ及び取付ボルト）の想定劣化事象に対する点検項目及び点検内容等を表4に示す。

表4 三軸粘性ダンパの点検項目及び点検内容

点検部位	想定される経年劣化事象	点検項目	点検内容	点検周期
本体	腐食	外観点検	き裂，変形，腐食がないことを確認する	1回／ 定期事業者件検査
取付ボルト	腐食	外観点検	き裂，変形，腐食がないことを確認する	1回／ 定期事業者件検査
粘性体	劣化	外観点検	異物，変色，汚れがないことを確認する 粘性体の液量を確認する	1回／ 5 定期事業者件検査
		性状確認	粘性体の粘度を確認する	1回／ 5 定期事業者件検査
保護スリーブ	劣化	外観点検	き裂，損傷がないことを確認する	1回／ 定期事業者件検査

6. まとめ

- 三軸粘性ダンパに取付く配管系の地震応答解析として、モード解析を用いてモード空間での連成した運動方程式を直接積分することにより解を得る手法を用いる。本手法は、モーダル座標を用いること以外、一般的な直接積分による時刻歴応答解析と同様の手法であり、妥当と考える。
- 弾性設計用地震動（6波）の条件で地震応答解析を行い、三軸粘性ダンパが取り付く管の計算値が許容応力以下となることを確認した。また、三軸粘性ダンパの計算値が減衰性能を取得した性能試験条件の範囲内であることを確認した。
- 三軸粘性ダンパは、設置環境や動作頻度を踏まえた故障及び経年劣化事象を考慮した適切な周期による定期的な点検（時間基準保全）により、設備性能を維持する。

1. はじめに

- 今回工認において、一部の支持装置（メカニカルスナッパ、オイルスナッパ、ロッドレストレイント（以下「支持装置」という。））に対して二次評価として既工認と異なる許容荷重を適用することから、その許容荷重の設定手法を説明する。
- 既工認における支持装置の評価は、支持装置に負荷される地震時荷重が、定格荷重*¹に基づく許容荷重（以下「基準値」という。）を満足することを確認している。
- 今回工認においても、支持装置に負荷される地震時荷重が、基準値を満足することを確認することを基本とする。ただし、設計用地震力の増大に伴い、支持装置に負荷される地震時荷重が基準値を超える箇所については、J E A G 4 6 0 1 に規定の許容限界及び既往知見の限界耐力値を踏まえ、新たに設定した新規基準値*²を適用する。

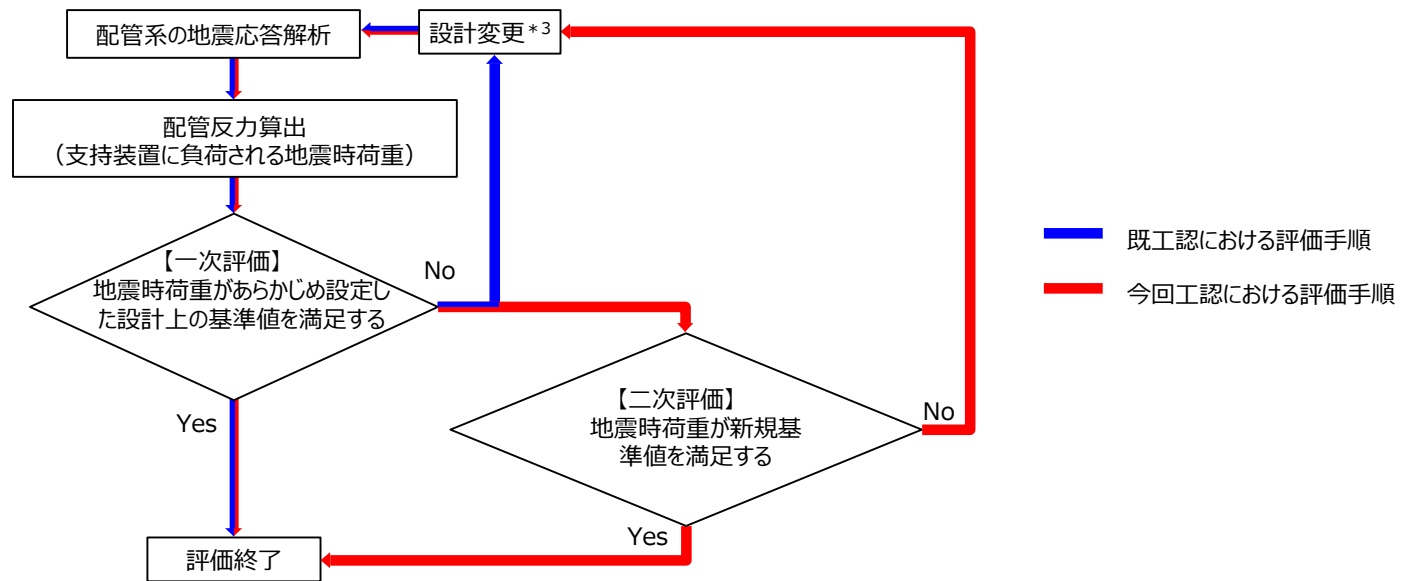


図 1 既工認及び今回工認における支持装置の評価手順

注記*1：各製品の設計強度に基づき支持装置メーカーが定めた型式別の許容荷重。

*2：定格荷重に新規耐力係数を乗じて設定した今回工認の二次評価において適用する評価基準値

*3：支持装置を含む支持構造物の追設、容量変更、位置変更等を実施する。

【4-1】配管系に用いる支持装置の許容荷重の設定（2/7）

2. 支持装置の構造

2.1 メカニカルスナップの構造

- ▶ プラント運転時に熱膨張が発生する高温配管の耐震用の支持装置として、地震時に発生する配管変位のような急速な配管移動は拘束するが、配管の熱膨張のような緩やかな配管移動は拘束しない機能を持った製品である。
- ▶ 配管の熱膨張のような緩やかな配管移動は、ボールナットの往復運動に対して、ボールナット内部でボールねじのねじ溝に沿ってボールが循環することで、ボールねじを介してフライホイールの回転運動に変換する。
- ▶ 地震時に発生する配管変位のような急速な配管移動は、フライホイールの慣性によって回転が阻止されるため、ボールナットは往復運動ができずに外力に抵抗する荷重が発生する。

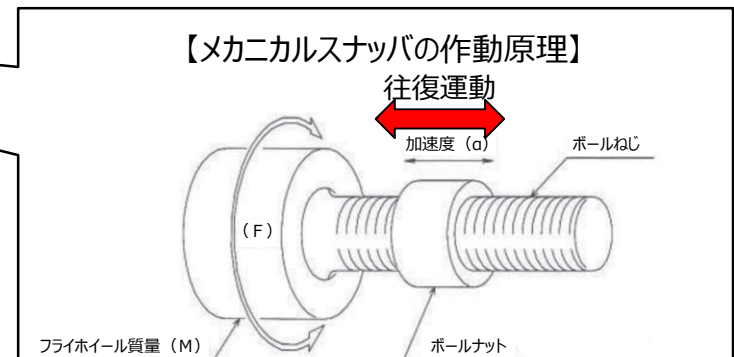
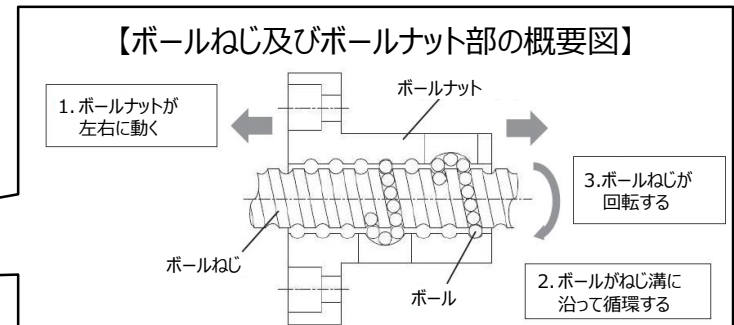
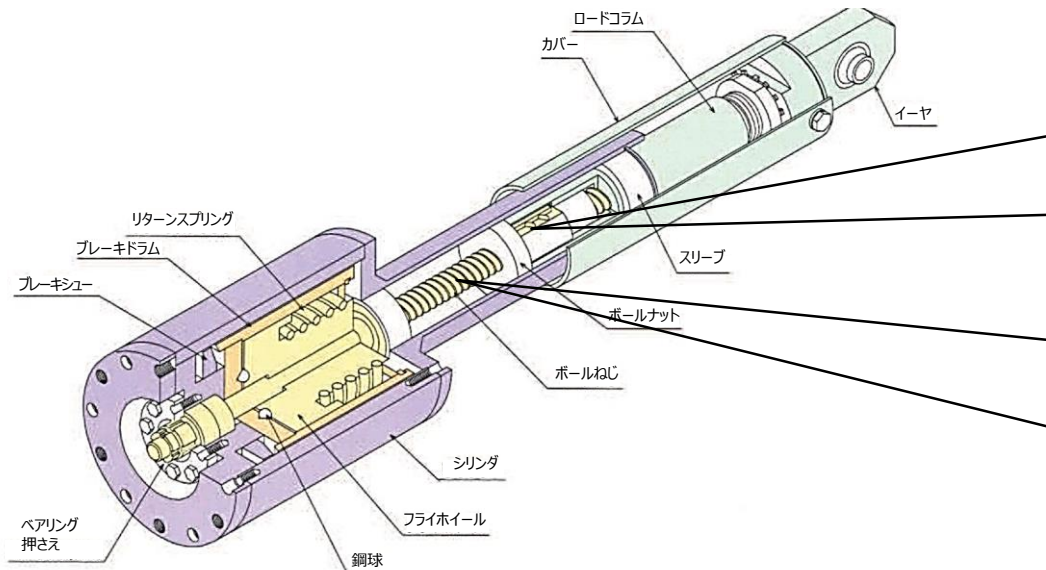


図2 メカニカルスナップの構造概要

2.2 オイルスナップの構造

- ▶ プラント運転時に熱膨張が発生する高温配管の耐震用の支持装置として、地震時に発生する配管変位のような急速な配管移動は拘束するが、配管の熱膨張のような緩やかな配管移動は拘束しない機能を持った製品である。
- ▶ 配管の熱膨張のような緩やかな配管移動は、弁体に生じる流体抗力が小さいことから、ポペット弁が開状態で維持されるため、ピストンロッドが移動可能な状態が維持される。
- ▶ 地震時にみられる急速な配管移動では、ポペット弁に生じる流体抗力がばね反力に打ち勝って、弁が閉じることで、ピストンロッドが往復運動をすることができず、外力に抵抗する荷重が発生する。

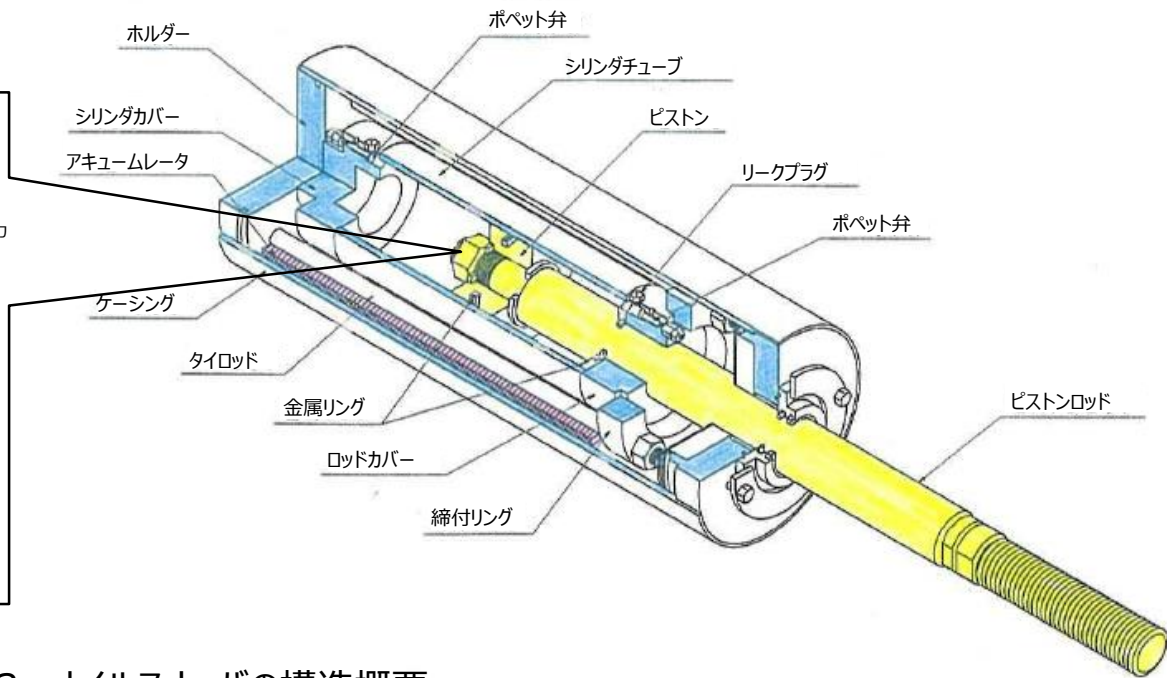
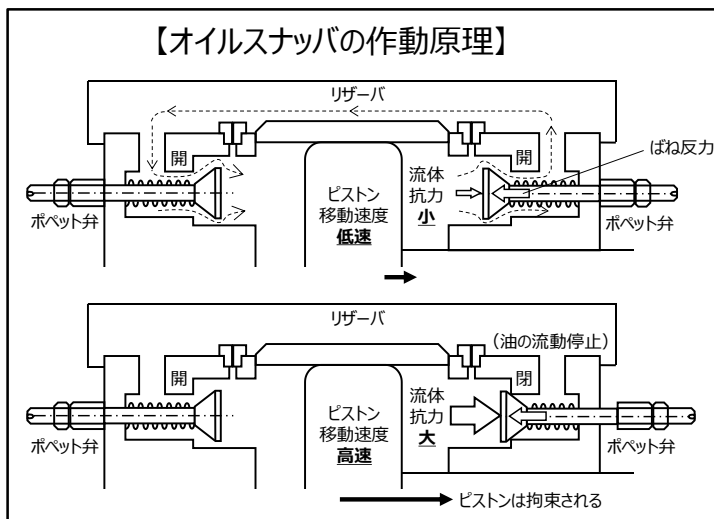


図3 オイルスナップの構造概要

2.3 ロッドレストレイントの構造

- ロッドレストレイントの構造を以下に示す。
- 配管の耐震用の支持装置として，配管変位を拘束する機能を持った製品である。
- メカニカルスナップやオイルスナップとは異なり，機能部品から構成される動的機構を有しておらず，地震時に発生する配管変位のような急速な配管移動に加え，配管の熱膨張のような緩やかな配管移動も拘束する。

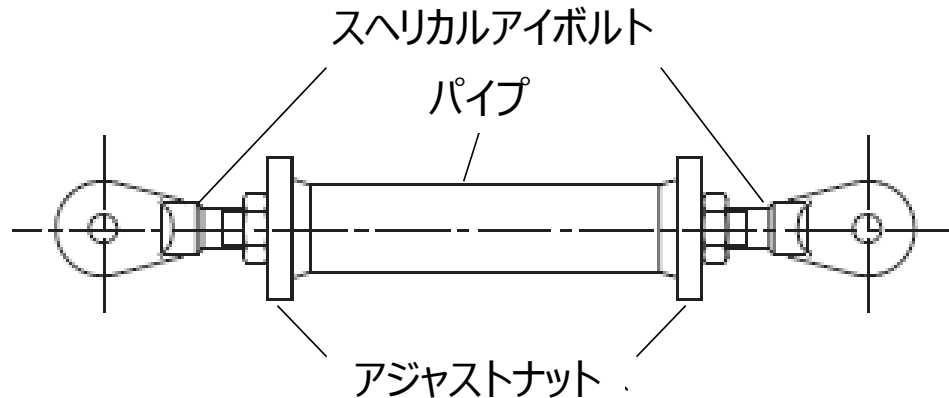


図4 ロッドレストレイントの構造概要

- 3. 既工認における支持装置の耐震設計方針（図の青線）
 - 配管系の地震応答解析から算出された支持装置に負荷される配管反力（地震時荷重）が、基準値を満足していることを確認している。
- 4. 今回工認における支持装置の耐震設計方針（図の赤線）
 - 既工認と同様の評価に加え（一次評価）、支持装置の地震時荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過する場合は、二次評価として、今回工認において新たに設定した新規基準値以下であることを確認する。

【新規基準値の設定方法】

- メカニカルスナップ及びオイルスナップ
 - JEAG4601に規定の許容限界及び既往知見（電共研，JNES）の限界耐力値を踏まえ、新規基準値を設定する。
- ロッドレストレイント
 - JEAG4601に規定の許容限界を踏まえ、新規基準値を設定する*2。

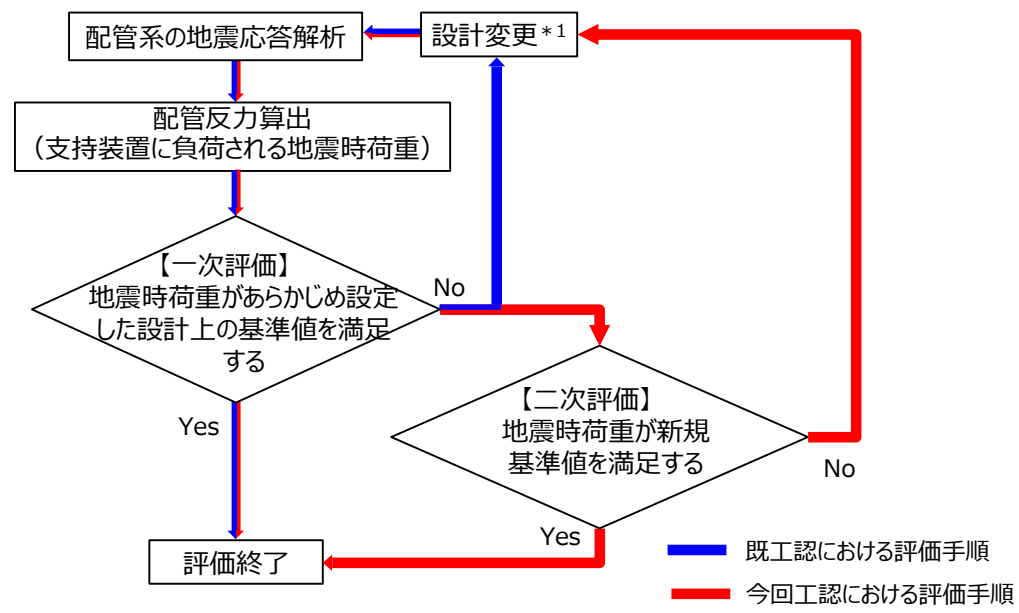


図5 既工認及び今回工認における支持装置の評価手順

注記*1：支持装置を含む支持構造物の追設，容量変更，位置変更等

*2：ロッドレストレイントはメカニカルスナップやオイルスナップとは異なり，機能部品から構成される動的機構を有しておらず，構造が単純であるため，JEAG4601に規定の許容限界を踏まえ，新規基準値を設定する。なお，新規基準値に対して十分な余裕を持った値であることを試験で確認する。

5. 今回工認において適用する新規基準値の設定手順
今回工認において適用する新規基準値の設定手順は以下のとおり。

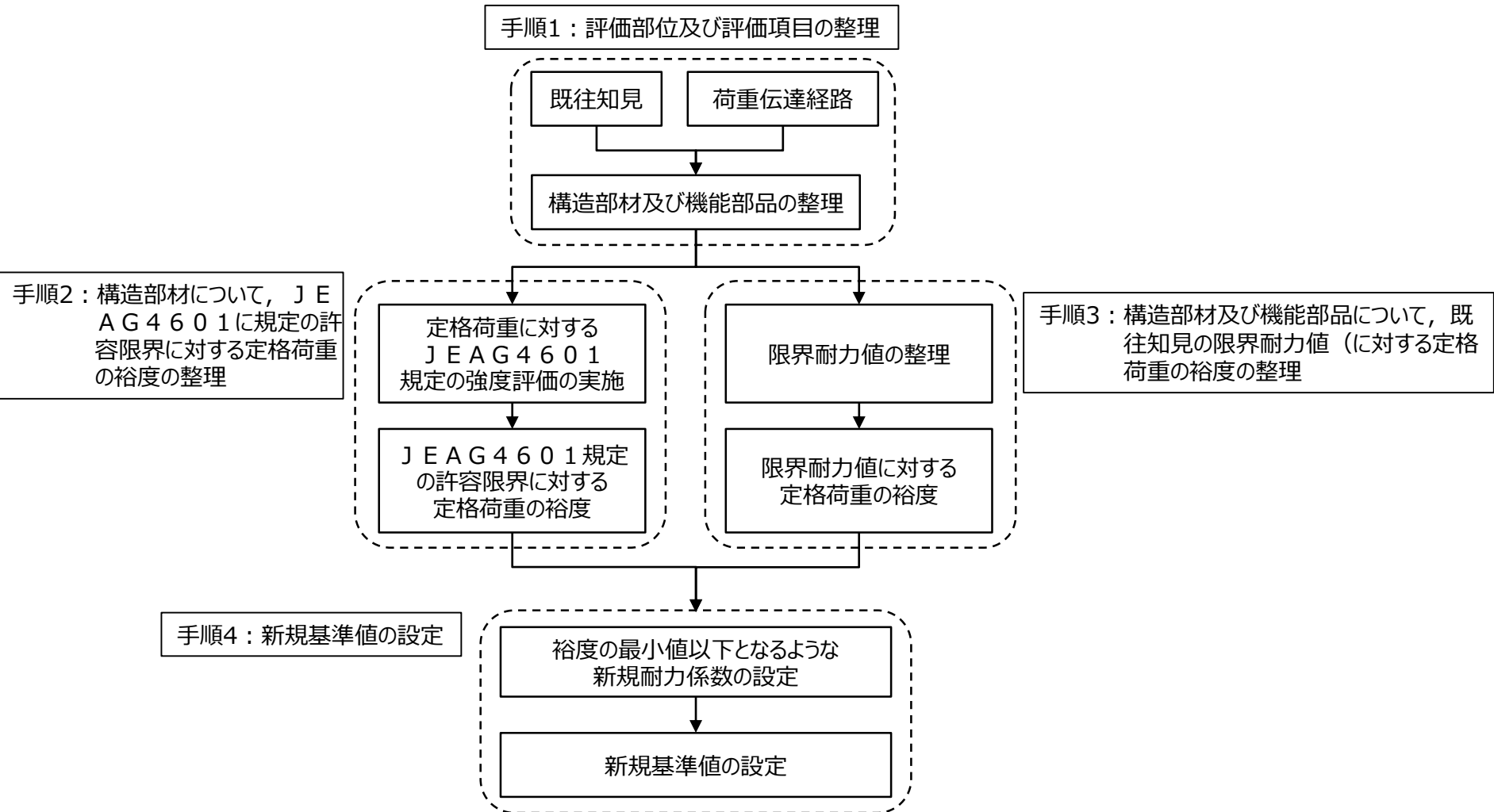


図6 新規基準値の設定手順

6. まとめ

- 島根 2 号機の機器・配管系の支持構造物のうち支持装置の設計では、既工認と同様、地震時における支持装置の発生荷重が J E A G 4 6 0 1 を踏まえて設定した基準値を満足することを一次評価として確認する。
- 設計上の基準値を超えた場合には、J E A G 4 6 0 1 に定める許容限界を満足する範囲内で新たに設定した新規基準値を設定し、その基準値を用いた二次評価を評価手順に追加した。
- 新規基準値は、支持装置の構造部材に対する強度評価及び機能部品を含む機能確認に対する荷重評価に基づいて、以下のとおり設定する。
 - ・構造部材に対する強度評価においては、J E A G 4 6 0 1 に基づく評価方法、既往知見*を踏まえて、評価部位及び評価項目を追加した評価を行い、許容応力状態Ⅲ A S 及びⅣ A S の許容限界を満足するように設定する。
 - ・機能部品を含む機能確認に対する荷重評価においては、地震時荷重と既往知見の限界耐力値との比較を行い、地震時荷重が限界耐力値を下回るように設定する。

注記*：ロッドレストレイントについては、J E A G 4 6 0 1 に基づく評価方法を踏まえて、新規基準値を設定

【4-1】配管系に用いる支持装置の許容荷重の設定（別紙 1/3）

今回工認において適用する新規基準値

○メカニカルスナツバ、オイルスナツバの新規基準値

- メカニカルスナツバ、オイルスナツバについて、J E A G 4 6 0 1 に規定の許容限界及び既往知見（電共研，JNES）の限界耐力値に対する定格荷重の裕度を比較し，それらの最小値以下の数値で新規耐力係数を設定し，定格荷重に乘じることにより，新規基準値を設定した。

表 1 メカニカルスナツバの新規耐力係数及び新規基準値

型式	定格荷重 (kN)	定格荷重の裕度				新規耐力係数		新規基準値 (二次評価荷重)	
		J E A G 4 6 0 1 に規定の許容限界		既往知見の限界耐力値		Ⅲ A S	Ⅳ A S	Ⅲ A S (kN)	Ⅳ A S (kN)
		Ⅲ A S	Ⅳ A S	電共研	J N E S 研究				
SMS-01	1			19.00					
SMS-03	3			6.26					
SMS-06	6			2.80					
SMS-1	10			5.39					
SMS-3	30			2.51					
SMS-6	60			2.84					
SMS-10	100			2.24					
SMS-16	160			2.15					
SMS-25	250			1.96					
SMS-40	400			2.35					
SMS-60	600			2.25					

【4-1】配管系に用いる支持装置の許容荷重の設定（別紙 2/3）

表2 オイルスナッパの新規耐力係数及び新規基準値

型式	定格荷重 (kN)	定格荷重の裕度				新規耐力係数		新規基準値 (二次評価荷重)	
		J E A G 4 6 0 1 に規定の許容限界		既往知見の 限界耐力値		Ⅲ A S	Ⅳ A S	Ⅲ A S	Ⅳ A S
		Ⅲ A S	Ⅳ A S	電共研	J N E S 研究				
SHP-03	3			1.76					
SHP-06	6			2.35					
SHP-1	10			2.27					
SHP-3	30			1.69					
SHP-6	60			2.36					
SHP-10	100			1.96					
SHP-16	160			1.99					
SHP-25	250			2.05					
SN-03	3			3.03					
SN-06	6			2.73					
SN-1	10			2.62					
SN-3	30			2.35					
SN-6	60			2.09					
SN-10	100			2.05					
SN-16	160			2.01					
SN-25	250			1.86					
SN-40	400			—					
SN-60	600			—					
SN-100	1000			—					

【4-1】配管系に用いる支持装置の許容荷重の設定（別紙 3/3）

○ロッドレストレイントの新規基準値

- ロッドレストレイントについて，J E A G 4 6 0 1 に規定の許容限界を踏まえて新規耐力係数を設定し，定格荷重に乗じることにより，新規基準値を設定した。

表3 ロッドレストレイントの新規耐力係数及び新規基準値

型式	定格荷重 (kN)	定格荷重の裕度				新規耐力係数		新規基準値 (二次評価荷重)	
		J E A G 4 6 0 1 に規定の許容限界		既往知見の 限界耐力値		Ⅲ A S	Ⅳ A S	Ⅲ A S	Ⅳ A S
		Ⅲ A S	Ⅳ A S	電共研	J N E S 研究				
RSA-06	9			—	—				
RSA-1	15			—	—				
RSA-3	45			—	—				
RSA-6	90			—	—				
RSA-10	150			—	—				
RSA-16	240			—	—				
RSA-25	375			—	—				
RTS-06	9			—	—				
RTS-1	15			—	—				
RTS-3	45			—	—				
RTS-6	90			—	—				
RTS-10	150			—	—				
RTS-16	240			—	—				
RTS-25	375			—	—				
RTS-60	900			—	—				

<参考> 審査会合における主な説明事項の説明状況

分類	No.	主な説明事項	説明状況
[1] 詳細設計申送り 事項	1-1	地震応答解析モデルにおける建物基礎底面の付着力	第1054回審査会合にて説明済
	1-2	建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価	今回説明
	1-3	横置円筒形容器の応力解析への F E Mモデル適用方針の変更	次回以降の審査会合にて説明 (一括説明)
	1-4	サプレッションチェンバの耐震評価	次回以降の審査会合にて説明
	1-5	漂流物衝突荷重の設定	今回説明
	1-6	機器・配管系への制震装置の適用	【三軸粘性ダンパ】今回説明 【単軸粘性ダンパ】次回以降の審査会合にて説明
	1-7	浸水防止設備のうち機器・配管系の基準地震動 S s に対する許容限界	次回以降の審査会合にて説明 (一括説明)
	1-8	設計地下水位の設定	今回説明
	1-9	防波壁	【逆 T 擁壁の改良地盤の解析用物性値】今回説明 【その他】次回以降の審査会合にて説明
	1-10	土石流影響評価	次回以降の審査会合にて説明 (一括説明)
	1-11	保管・アクセス (抑止杭)	第1054回審査会合にて説明済
	1-12	ブローアウトパネル閉止装置	第1036,1054回審査会合にて説明済
	1-13	非常用ガス処理系吸入口の位置変更による影響	第1036,1054回審査会合にて説明済
	1-14	原子炉ウェル排気ラインの閉止及び原子炉ウェル水張りラインにおけるドレン弁の閉運用による影響	第1036回審査会合にて説明済
[2] 新たな規制要求 (バックフィット) への 対応事項	2-1	安全系電源盤に対する高エネルギー アーク (HEAF) 火災対策	第1054回審査会合にて説明済
	2-2	火災感知器の配置	次回以降の審査会合にて説明 (一括説明)

<参考> 審査会合における主な説明事項の説明状況

分類	No.	主な説明事項	説明状況
[3] 設置変更許可 審査時からの設計変 更内容	3-1	ドライウエル水位計（原子炉格納容器床面+1.0m）設置高さ の変更	次回以降の会合にて説明（一括説明）
	3-2	格納容器酸素濃度（B系）及び格納容器水素濃度（B系）計 測範囲の変更	第1036回審査会合にて説明済
	3-3	第4 保管エリアの形状変更	次回以降の会合にて説明（一括説明）
	3-4	放射性物質吸着材の設置箇所の変更	次回以降の会合にて説明（一括説明）
[4] その他の詳細設 計に係る説明事項	4-1	配管系に用いる支持装置の許容荷重の設定	今回説明
	4-2	原子炉本体の基礎の応力評価に用いる解析モデルの変更	次回以降の会合にて説明（一括説明）
	4-3	復水器水室出入口弁への地震時復水器の影響	次回以降の会合にて説明（一括説明）
	4-4	制御棒・破損燃料貯蔵ラック等における排除水体積質量減算の 適用	次回以降の会合にて説明（一括説明）
	4-5	【新規追加】取水槽	次回以降の会合にて説明
	4-6	【新規追加】原子炉建物基礎スラブの応力解析モデルの変更	次回以降の会合にて説明（一括説明）