

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

女川原子力発電所第2号機 メカニカルスナツバの耐震評価について (指摘事項に対する回答)

2021年8月26日
東北電力株式会社

前回審査会合(6/1)における指摘事項及び回答概要

- 第979回審査会合において、審査の中で論点として新たに整理された「メカニカルスナツバの耐震評価」について説明し、以下の指摘があったことから、指摘事項に対する回答について説明する。

実施日	指摘事項
2021年6月1日 第979回審査会合	①. メカニカルスナツバにおける耐震評価手法として、個別に部品を評価する方法とは別に、一次評価と同様に標準荷重を新たに設定する方法も考えられるが、前者の方法を採用する理由について説明すること。 ②. メカニカルスナツバの破壊試験を踏まえた機能維持評価法及び座屈評価法について、試験結果のばらつきの考え方を整理して説明すること。

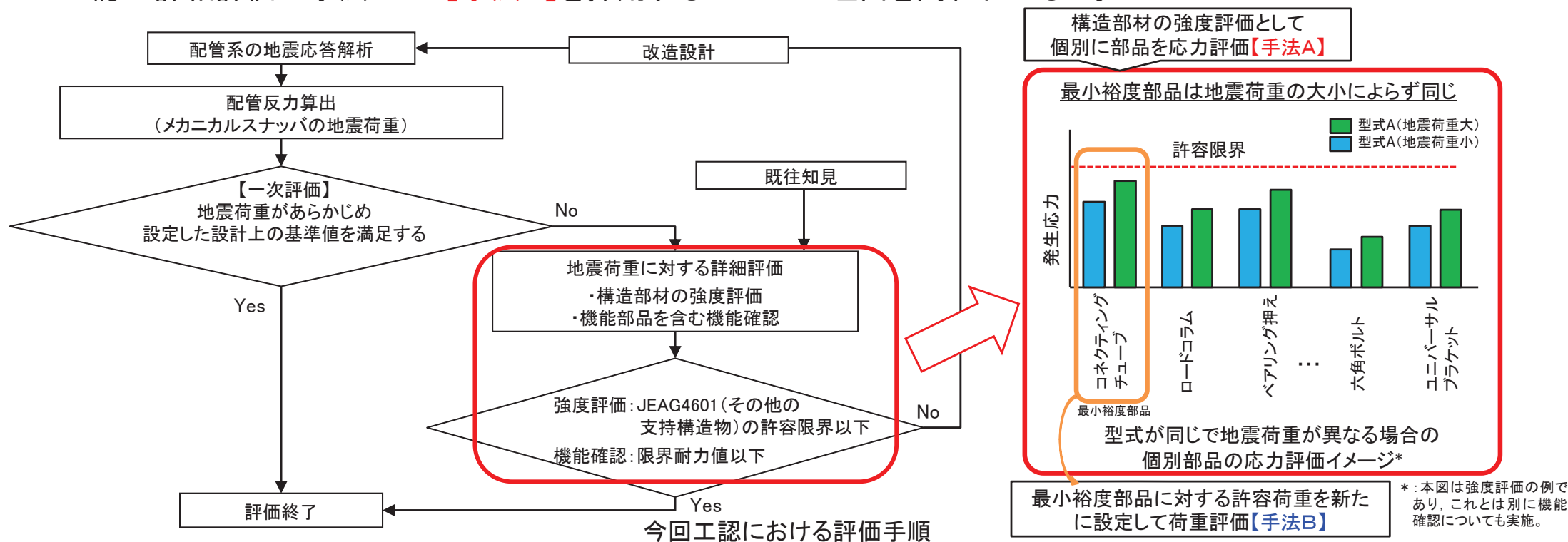
指摘事項	指摘事項に対する回答	記載箇所
①. メカニカルスナツバにおける耐震評価手法として、個別に部品を評価する方法とは別に、一次評価と同様に標準荷重を新たに設定する方法も考えられるが、前者の方法を採用する理由について説明すること。	<ul style="list-style-type: none"> 既工認では、評価作業の合理化の観点で、あらかじめ設定した設計上の基準値(定格荷重等)による荷重評価としていた。 一方、今回工認の詳細評価において、構造部材の強度評価(個別に部品を応力評価)を実施することにした理由は、詳細評価の対象数がメカニカルスナツバ全体(約500台)の一割程度(49台)であり、評価作業が膨大とならないためである。 	p2～3
②. メカニカルスナツバの破壊試験を踏まえた機能維持評価法及び座屈評価法について、試験結果のばらつきの考え方を整理して説明すること。	<ul style="list-style-type: none"> 電共研での知見(機能維持評価法及び座屈評価法に係る試験結果)におけるばらつきの考え方を以下の4項目について整理した。 <ol style="list-style-type: none"> ①メカニカルスナツバの個体差 ②構造部材の耐力評価式による限界耐力値の設定方法 ③機能部品(アンギュラ一玉軸受)の耐力評価式における補正係数 ④メカニカルスナツバ全体の座屈の耐力評価式における補正係数 ①, ②, ④については、電共研の検討の中で試験結果に対するばらつきが考慮されていることを確認した。一方③については、今回工認に対する信頼性向上の観点から改めて設定した補正係数により、メカニカルスナツバの詳細評価(機能部品を含む機能確認)に係る限界耐力値を低減させた。 メカニカルスナツバの詳細評価に係る限界耐力値を低減させた場合においても、今回工認で詳細評価対象となったメカニカルスナツバの耐震性が確保されることを改めて確認した。 	p4～22

1. 指摘事項①に対する回答

【構造部材の強度評価として個別に部品を応力評価することとした理由(1/2)】

(1) 指摘事項の内容

- 今回工認のメカニカルスナツバの耐震評価では、既工認同様の一次評価を実施し、地震荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超える場合、あらかじめ設定した設計上の基準値に余裕があることから、JEAG4601及び既往知見も踏まえ、詳細評価として構造部材の強度評価(個別に部品を応力評価)及び機能部品を含む機能確認を実施する方針である。
- 詳細評価の手法は、構造部材の線形応答に基づく強度評価であり、地震荷重がメカニカルスナツバの軸方向のみに入力される。このため、同一型式における各構造部材間の発生応力の割合は、地震荷重の大小によらず同じ比率となり、同一型式の最小裕度部品は同じである。
- これを踏まえると、構造部材の強度評価として個別に部品を応力評価する手法【手法A: 今回工認で採用】に加えて、最小裕度部品に対する許容荷重を新たに設定して荷重評価する手法【手法B】の採用も可能であるため、今回工認の詳細評価の手法として【手法A】を採用することとした理由を問われたもの。



1. 指摘事項①に対する回答

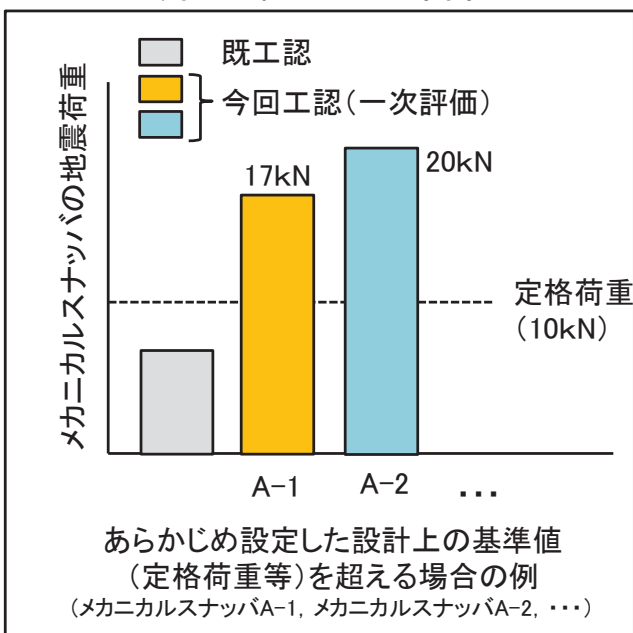
【構造部材の強度評価として個別に部品を応力評価することとした理由(2/2)】

(2) 指摘事項への回答

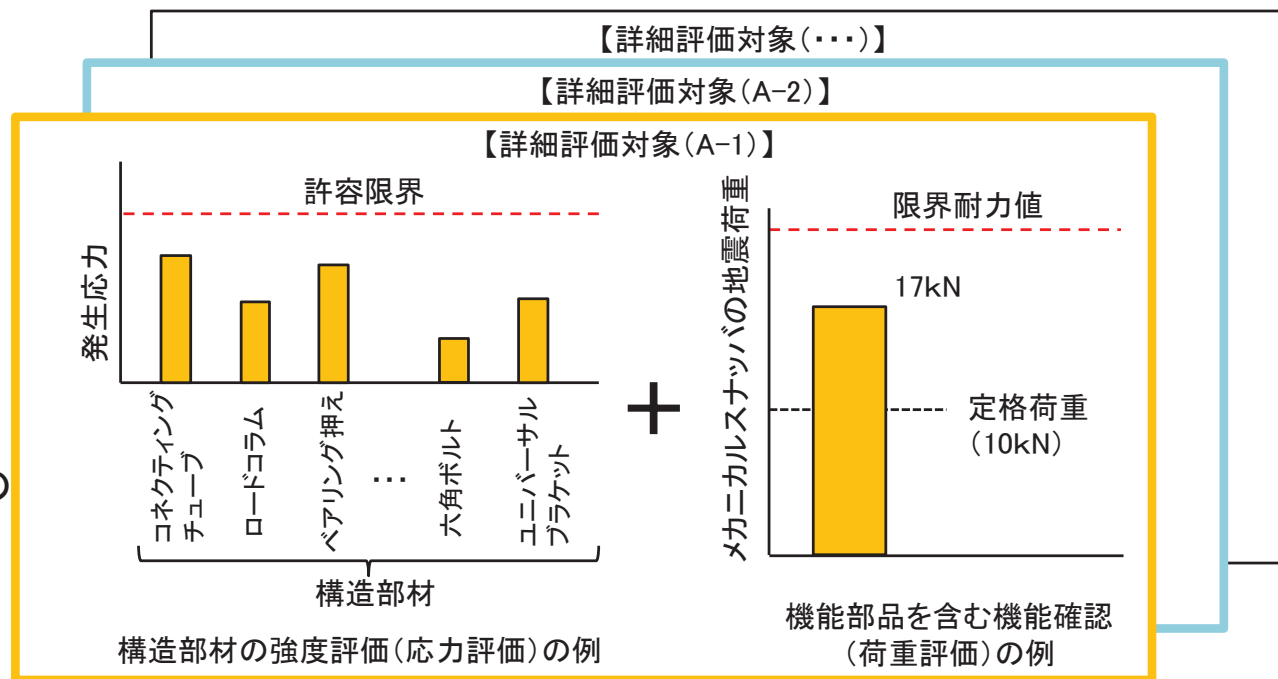
- 機器・配管系の耐震設計では、JEAG4601・補-1984「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編」に示された許容応力状態、応力分類及び許容限界を踏まえて、地震荷重による評価対象設備(容器、管、ポンプ等)の構造部材の発生応力が許容限界内であることを確認する評価を基本としている。
- 既工認のメカニカルスナツバの耐震設計では、メカニカルスナツバが標準化された製品で評価対象数も多いことから、評価作業の合理化のため、あらかじめ設定した設計上の基準値(定格荷重等)*による荷重評価としていたが、今回工認では一部のメカニカルスナツバの地震荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を上回ることから詳細評価が必要となった。
- これに対して今回工認で詳細評価対象となった全てのメカニカルスナツバの構造部材の強度評価として個別に部品を応力評価することとした理由は、**詳細評価の対象数がメカニカルスナツバ全体(約500台)の一割程度(49台)であり、評価作業が膨大とならないため**である。

* 地震荷重によるメカニカルスナツバの発生応力がJEAG4601の許容限界を満足することをあらかじめ確認した値

今回工認の一次評価



今回工認の詳細評価



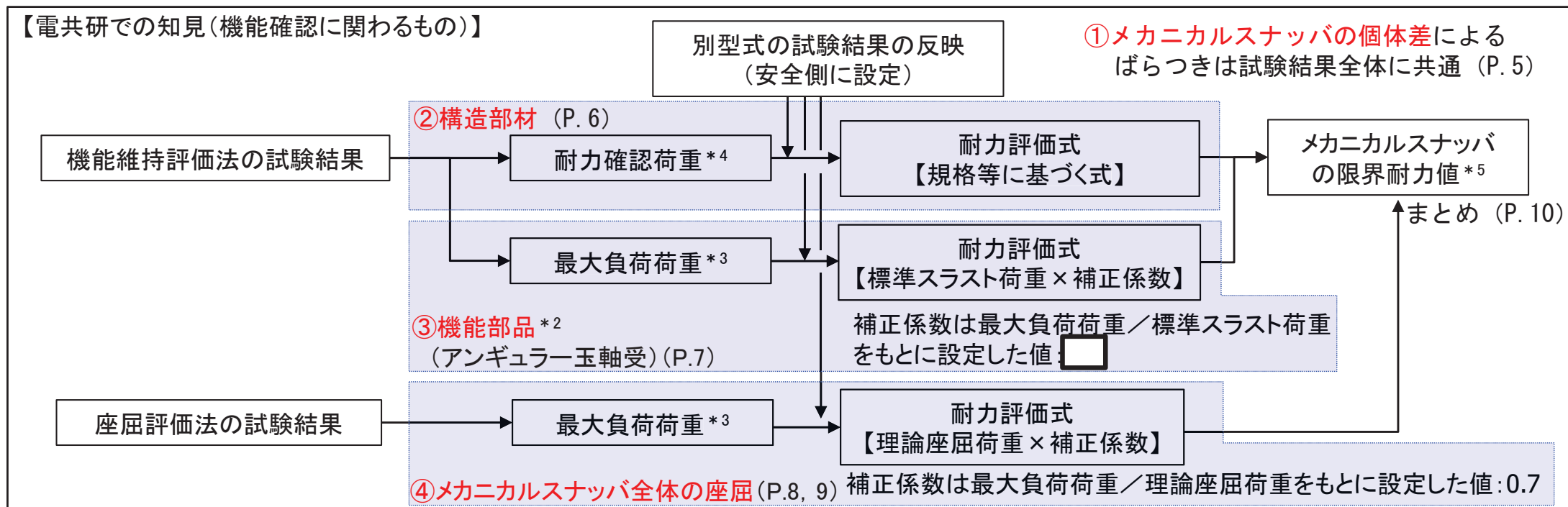
2. 指摘事項②に対する回答

【メカニカルスナツバの試験結果に対するばらつきの検討(1/7)】

(1)メカニカルスナツバの試験に対するばらつきの検討方針

- 今回工認のメカニカルスナツバの詳細評価における機能部品を含む機能確認(荷重評価)では、電共研*1での知見(試験結果)を踏まえて、メカニカルスナツバの限界耐力値を設定している。
- 電共研での知見は、試験結果を踏まえて、構造部材及び機能部品(アンギュラー玉軸受)の機能維持評価法に係る耐力評価式、メカニカルスナツバ全体の座屈評価法に係る耐力評価式を検討している。
- これに対して、以下に着目して試験結果に対するばらつきの考え方を整理する。

- ① メカニカルスナツバの個体差
- ② 構造部材の耐力評価式による限界耐力値の設定方法
- ③ 機能部品(アンギュラー玉軸受)の耐力評価式における補正係数
- ④ メカニカルスナツバ全体の座屈の耐力評価式における補正係数



*1:平成12年度共同研究報告書 耐震設計に関する新知見に対する機器耐震評価法の研究(Phase2)(以下「電共研」という。)

*2:機能部品のうち、ボールネジ及び球面軸受については、構造部材と同様に規格等に基づく式にて限界耐力値を設定

*3:メカニカルスナツバの破損又は機能喪失が確認された試験条件の荷重記録のうち、メカニカルスナツバの機能が維持された状態における最大荷重

*4:最大負荷荷重が得られた試験条件の直前の試験条件における荷重記録の最大荷重

*5:メカニカルスナツバの限界耐力値は②～④の最小値

2. 指摘事項②に対する回答

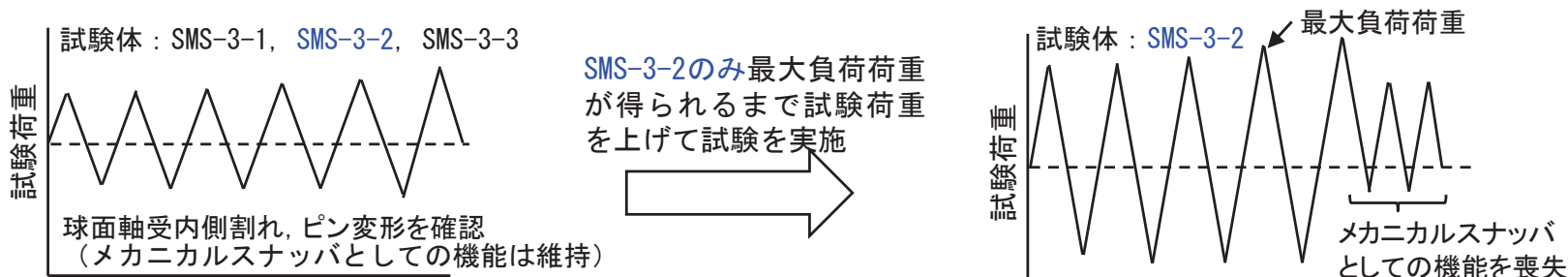
【メカニカルスナツバの試験結果に対するばらつきの検討(2/7)】

(2)メカニカルスナツバの試験に対するばらつきの検討

① メカニカルスナツバの個体差

- メカニカルスナツバは、精密部品で構成されており、製作時の品質管理(材料, 製作等)が十分実施されている工業製品であることから、メカニカルスナツバの個体差によるばらつき(構造部材, 機能部品)は、基本的に小さいと考えられるものの、限界耐力値の設定に当たっては、余裕を持たせている。
- なお、電共研での知見は、メカニカルスナツバ(SMS-3)の試験体3体に対する試験の結果、いずれも同じ部品(球面軸受)が最初に、同じ損傷モードにて損傷(メカニカルスナツバとしての機能は維持)していることが確認されている。ただし、最大負荷荷重*が得られるまで試験荷重を上げて試験を実施したのは1体(SMS-3-2)のみであるため、この試験結果から最大負荷荷重に係るばらつきについて分析することはできない。
* :メカニカルスナツバの破損又は機能喪失が確認された試験条件の荷重記録のうち、メカニカルスナツバの機能が維持された状態における最大荷重

試験体	損傷箇所及び損傷モード	最大負荷荷重が得られるまで試験実施
SMS-3-1	球面軸受内側割れ (メカニカルスナツバとしての機能は維持)	×
SMS-3-2	球面軸受内側割れ及びピン変形 (メカニカルスナツバとしての機能は維持)	○
SMS-3-3	球面軸受内側割れ (メカニカルスナツバとしての機能は維持)	×



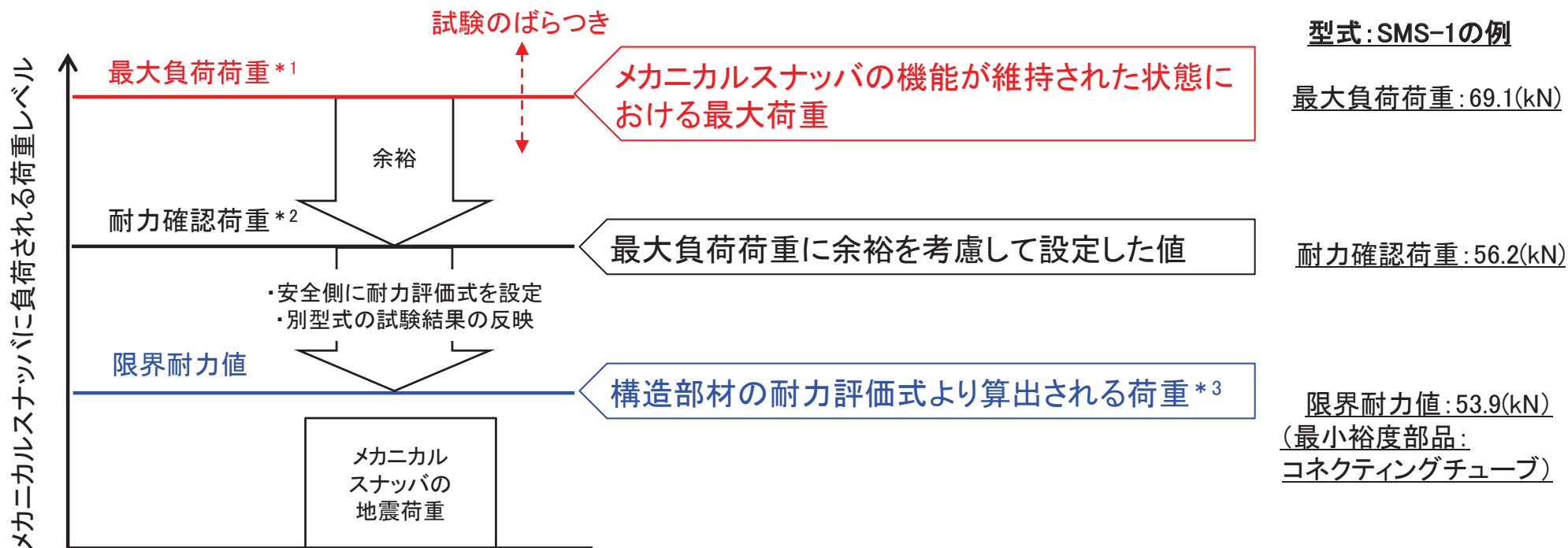
SMS-3の試験における荷重負荷イメージ

2. 指摘事項②に対する回答

【メカニカルスナツバの試験結果に対するばらつきの検討(3/7)】

② 構造部材の耐力評価式による限界耐力値の設定方法

- 構造部材の限界耐力値は、電共研での試験結果として得られた最大負荷荷重及びこれに余裕を考慮して設定した耐力確認荷重に対して安全側に耐力評価式を設定し、さらに別型式の試験結果も反映しているため、下図のとおり、試験結果として得られた最大負荷荷重に対するばらつきの影響は耐力評価式による限界耐力値に含まれる。



- * 1: メカニカルスナツバの破損又は機能喪失が確認された試験条件の荷重記録のうち、メカニカルスナツバの機能が維持された状態における最大荷重
- * 2: 最大負荷荷重が得られた試験条件の直前の試験条件における荷重記録の最大値
- * 3: 機能部品の耐力評価式より算出される荷重の方が小さい場合は、それを機能維持評価法に係る限界耐力値とする

2. 指摘事項②に対する回答

【メカニカルスナツバの試験結果に対するばらつきの検討(4/7)】

③ 機能部品(アンギュラー玉軸受)の耐力評価式における補正係数

- メカニカルスナツバの機能部品には、ボールネジ、球面軸受及びアンギュラー玉軸受があり、ボールネジと球面軸受は構造部材と同様に規格等に基づく式にて耐力評価式を設定するため、アンギュラー玉軸受に対してのみ試験のばらつきの影響を検討する。
- アンギュラー玉軸受の限界耐力値は、電共研での試験結果として得られた最大負荷荷重*1から直接的に耐力評価式における補正係数(最大負荷荷重/標準スラスト荷重)を設定し算出しているため、**試験結果に対するばらつきの影響を受ける。**
- 限界耐力値としては、電共研での試験体3体に対する機能部品(アンギュラー玉軸受)の補正係数の最小値(倍)を考慮(別型式の試験結果も反映)していたが、今回工認におけるばらつきの検討では、電共研の知見に加えて、類似の試験結果を有するJNES研究*2を適用し、信頼性向上の観点から試験データの拡充を図ることとした。
- 機能部品(アンギュラー玉軸受)に対する補正係数の整理の結果、**試験結果に対するばらつきとして、平均値に標準偏差値の2倍を考慮した補正係数は、 倍となるため、今回工認の機能部品(アンギュラー玉軸受)の耐力評価式における補正係数は電共研での知見である 倍から 倍に見直した。**

型式	試験	(A)標準スラスト荷重*3(kN)	(B)最大負荷荷重*1(kN)	補正係数(B)/(A)
SMS-03	電共研			
SMS-1	電共研			
SMS-10	電共研			
	JNES研究			
SMS-25	JNES研究			
		標準偏差値(σ)		
		平均値-2 σ		

*1:メカニカルスナツバの破損又は機能喪失が確認された試験条件の荷重記録のうち、メカニカルスナツバの機能が維持された状態における最大荷重

*2:JNES 平成21~22年度耐震機能限界試験(スナバ)に係る報告書(以下「JNES研究」という。)

*3:アンギュラー玉軸受単体の定格荷重

2. 指摘事項②に対する回答

【メカニカルスナツバの試験結果に対するばらつきの検討(5/7)】

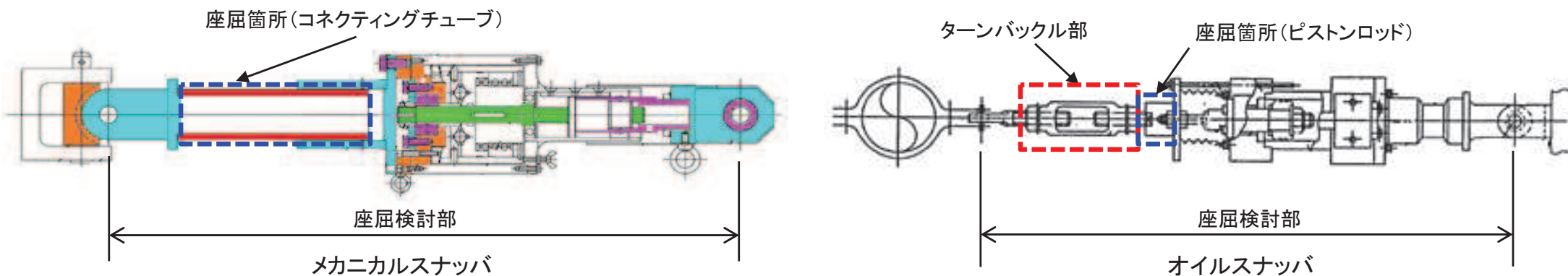
④ メカニカルスナツバ全体の座屈の耐力評価式における補正係数(1/2)

電共研において、メカニカルスナツバ全体の座屈に対する限界耐力値は、座屈評価法の試験結果として得られた最大負荷荷重*1から直接的に耐力評価式における補正係数*20.7を設定している。また、電共研では、この補正係数に対し、メカニカルスナツバ及びオイルスナツバの複数の座屈試験結果から、試験結果のばらつきの影響を検討している。

- メカニカルスナツバと外形が類似のオイルスナツバに対する座屈試験を実施している。オイルスナツバはターンバックル部を有しているものの、座屈荷重の計算の対象となる部位(座屈検討部)は、メカニカルスナツバ、オイルスナツバいずれも円柱状の部品等で構成されている(下図参照)。
- 座屈荷重の計算方法(座屈検討部のそれぞれの部品形状に対する断面二次モーメント及び長さに基づく)は、メカニカルスナツバとオイルスナツバで同じである。
- 以上を踏まえて、メカニカルスナツバとオイルスナツバの座屈試験結果を合わせて試験結果のばらつきの検討に用いている。

*1:メカニカルスナツバの破損又は機能喪失が確認された試験条件の荷重記録のうち、メカニカルスナツバの機能が維持された状態における最大荷重

*2:座屈に対する限界耐力値を算出する際に理論座屈荷重に乗ずる係数



メカニカルスナツバとオイルスナツバの概略構造

2. 指摘事項②に対する回答

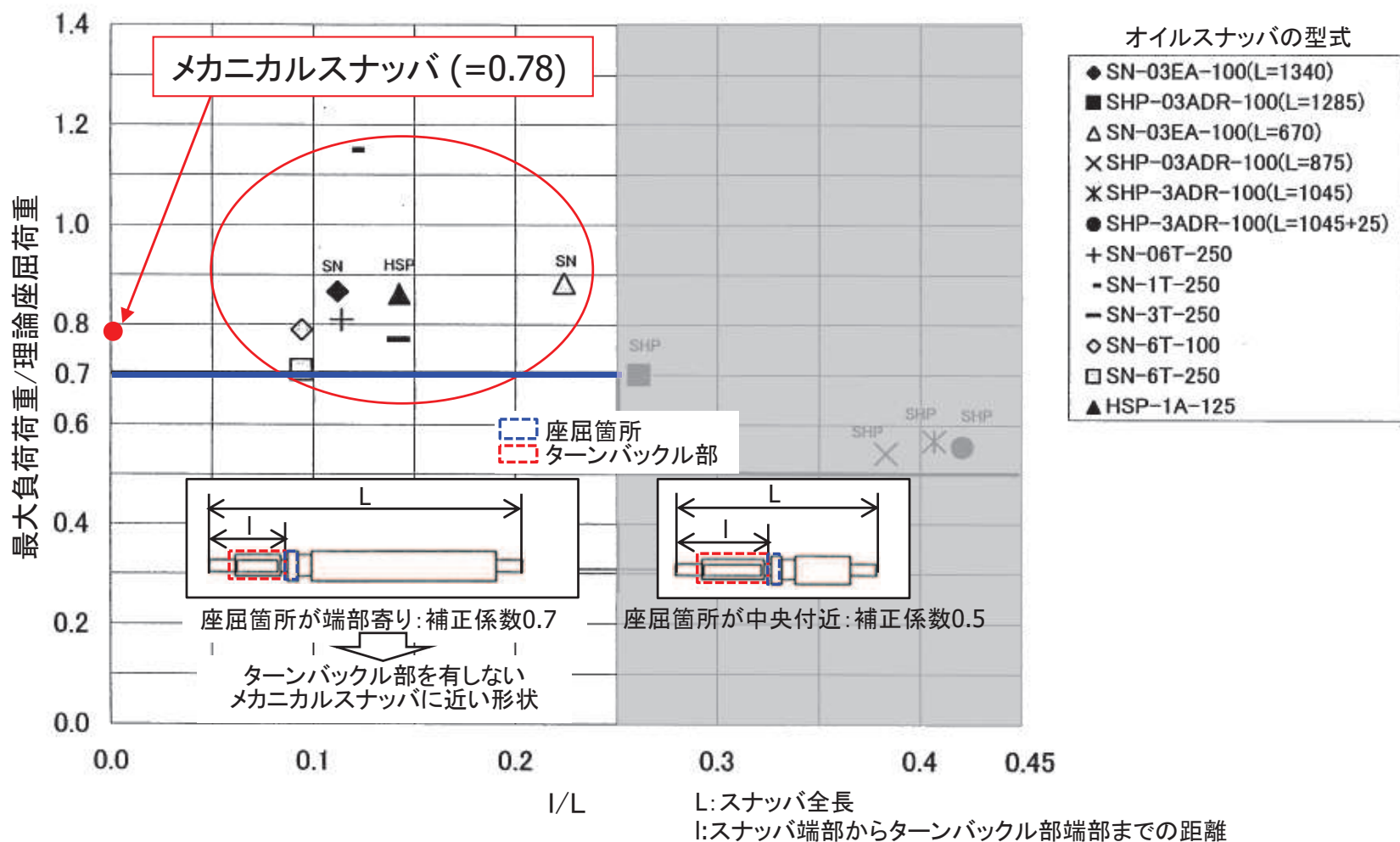
【メカニカルスナツバの試験結果に対するばらつきの検討(6/7)】

④ メカニカルスナツバ全体の座屈の耐力評価式における補正係数(2/2)

- メカニカルスナツバとオイルスナツバの座屈試験結果から、**最大負荷荷重^{*1} / 理論座屈荷重の比率は0.7以上であるため、メカニカルスナツバ全体の座屈の耐力評価式における補正係数^{*2} 0.7には試験結果に対するばらつきの影響が含まれる。**

*1:メカニカルスナツバの破損又は機能喪失が確認された試験条件の荷重記録のうち、メカニカルスナツバの機能が維持された状態における最大荷重

*2:座屈に対する限界耐力値を算出する際に理論座屈荷重に乗ずる係数



2. 指摘事項②に対する回答

【メカニカルスナツバの試験結果に対するばらつきの検討(7/7)】

(3)メカニカルスナツバの試験結果に対するばらつきの検討結果(まとめ)

- 今回工認のメカニカルスナツバの詳細評価における機能部品を含む機能確認(荷重評価)では、電共研での知見(試験結果)を踏まえて、メカニカルスナツバの限界耐力値を設定しているため、電共研の試験結果に対するばらつきの考え方を4つの項目について整理・検討した。
- その結果、今回工認の詳細評価に対する信頼性向上の観点から、機能部品(アンギュラー玉軸受)に対する補正係数については、試験データの拡充を図ってあらためて設定することとした。
- 上記に基づく機能部品(アンギュラー玉軸受)に対する補正係数を反映し、今回工認の詳細評価における機能部品を含む機能確認に適用する限界耐力値については、下表のとおり、2つの型式のメカニカルスナツバ(SMS-3及びSMS-10)の限界耐力値を低減させることとした。(これらを含む限界耐力値(SMS型)の一覧は別紙1参照)
- また、これらのメカニカルスナツバの限界耐力値を低減させた場合においても、今回工認で詳細評価対象としたメカニカルスナツバの耐震性が確保されることを改めて確認した。(別紙2参照)

今回工認の詳細評価(機能部品を含む機能確認)に適用する限界耐力値
(試験データの拡充に基づく補正係数を反映)

型式	定格荷重(kN)	試験データの拡充前の限界耐力値(kN)	最小裕度部品	試験データの拡充後の限界耐力値(kN)
SMS-3	30	75.3	アンギュラー玉軸受	70.1
SMS-10	100	224.5	アンギュラー玉軸受*	219.1

*:アンギュラー玉軸受に対する試験データの拡充に基づく補正係数の反映によって、SMS-10の最小裕度部品は、「ベアリング押え」から「アンギュラー玉軸受」に変更となった。

別紙1 今回工認の詳細評価における限界耐力値(SMS型)

- 今回工認の詳細評価(機能部品を含む機能確認)における限界耐力値(SMS型)は、下表のとおり。
- メカニカルスナツバSMS-3及びSMS-10(赤枠部)については、今回実施したメカニカルスナツバの試験に対するばらつきの検討結果を踏まえ、限界耐力値を低減させた。

限界耐力値(SMS型)

型式	定格荷重 (kN)	最大負荷 荷重(kN)	耐力確認 荷重(kN)	限界耐力値(kN)	最小裕度部品	限界耐力値 ／定格荷重
SMS-01	1	—	—	19.0	六角ボルト	19.0
SMS-03	3	30.1	29.9	18.8	六角ボルト	6.26
SMS-06	6	—	—	16.8	ベアリング押え	2.80
SMS-1	10	69.1	56.2	53.9	コネクティングチューブ	5.39
SMS-3	30	148.5	94.2	70.1 (75.3)	アンギュラー玉軸受	2.35 (2.51)
SMS-6	60	198.9	190.5	170.6	ベアリング押え	2.84
SMS-10	100	272.5	244.7	219.1 (224.5)	アンギュラー玉軸受 (ベアリング押え)	2.19 (2.24)
SMS-16	160	—	—	344.2	ベアリング押え	2.15
SMS-25	250	—	—	490.3	ベアリング押え	1.96
SMS-40	400	—	—	941.4	コネクティングチューブ	2.35

注：括弧内は、前回審査会合時(第979回審査会合、2021年6月1日、資料1-4)の記載を示す。

別紙2 今回工認の詳細評価結果

- 詳細評価対象となったメカニカルスナツバ(49台)に対する構造部材の強度評価(応力評価)及び機能部品を含む機能確認(荷重評価)を実施した結果,耐震性が確保されることを確認した。
 - ・構造部材の強度評価結果(別紙2-1:P13~18)
 - ・機能部品を含む機能確認結果(別紙2-2:P19~22)

- なお,メカニカルスナツバSMS-3及びSMS-10に対する機能部品を含む機能確認においては,今回実施したメカニカルスナツバの試験結果に対するばらつきの検討結果を踏まえ,限界耐力値を低減させた。

別紙2-1 構造部材の強度評価結果(1/6)

配管 モデル名	支持点番号	型式	最小裕度部品	弾性設計用地震動 S _d			基準地震動 S _s			判定
				地震荷重 [kN]	発生応力 [MPa]	許容応力 Ⅲ _A S[MPa]	地震荷重 [kN]	発生応力 [MPa]	許容応力 Ⅳ _A S[MPa]	
MS-001	MS-001-026S	NMB-075	リアブラケット (フランジ)	73.7 (76.6)	138 (144)		120.9 (125.5)	227 (235)		○
MS-001	MS-001-109S	SMS-10	ベアリング押え	113.6 (103.2)	213 (194)		177.0 (136.6)	332 (257)		○
MS-001	MS-001-919S	SMS-6	コネクティング チューブ	56.4 (56.9)	38		95.6 (96.5)	63 (64)		○
MS-003	MS-003-026S	SMS-10	ベアリング押え	100.7 (107.1)	189 (201)		151.7 (165.5)	285 (311)		○
MS-003	MS-003-220S	SMS-10	ベアリング押え	103.1	194		134.5	253		○
MS-003	MS-003-921SB	SMS-10	ベアリング押え	125.6 (133.7)	236 (251)		184.7 (197)	347 (370)		○
MS-004	MS-004-311S	SMS-6	コネクティング チューブ	63.7	42		90.2	60		○
MS-004	MS-004-336S	SMS-10	ベアリング押え	118.9 (135.1)	223 (254)		164.2 (186.7)	308 (351)		○

注1：配管系の詳細設計の進捗（サポートの追設，撤去，設置位置の変更等）に伴い変更となった地震荷重及び発生応力並びに詳細評価対象として追加となったメカニカルスナッパ（10台）を青字で示す。（詳細評価対象のメカニカルスナッパは，44台から10台追加5台削除で49台）

注2：括弧内の数字は，前回審査会合時(第979回審査会合，2021年6月1日，資料1-4)の記載を示す。

別紙2-1 構造部材の強度評価結果(2/6)

配管 モデル名	支持点番号	型式	最小裕度部品	弾性設計用地震動 S _d			基準地震動 S _s			判定
				地震荷重 [kN]	発生応力 [MPa]	許容応力 Ⅲ _A S[MPa]	地震荷重 [kN]	発生応力 [MPa]	許容応力 Ⅳ _A S[MPa]	
MS-004	MS-004-935S	SMS-6	コネクティング チューブ	79.6 (61.3)	53 (41)		112.2 (85.4)	74 (57)		○
PLR-001	PLR-001-010S	SMS-16	ベアリング押え	149.8	184		240.5	295		○
PLR-001	PLR-001-027S	SMS-16	ベアリング押え	200.5	246		317.4	389		○
PLR-001	PLR-001-307S	SMS-25	ベアリング押え	241.9	208		435.3	375		○
PLR-001	PLR-001-316S	SMS-40	コネクティング チューブ	437.6	62		744.1	105		○
PLR-001	PLR-001-317S	SMS-40	コネクティング チューブ	440.8	63		745.5	106		○
PLR-001	PLR-001-318S	SMS-40	コネクティング チューブ	367.3	52		604.9	86		○
PLR-001	PLR-001-319S	SMS-40	コネクティング チューブ	428.3	61		699.5	99		○

注1：配管系の詳細設計の進捗（サポートの追設，撤去，設置位置の変更等）に伴い変更となった地震荷重及び発生応力並びに詳細評価対象として追加となったメカニカルスナッパ（10台）を青字で示す。（詳細評価対象のメカニカルスナッパは，44台から10台追加5台削除で49台）

注2：括弧内の数字は，前回審査会合時(第979回審査会合，2021年6月1日，資料1-4)の記載を示す。

別紙2-1 構造部材の強度評価結果(3/6)

配管 モデル名	支持点番号	型式	最小裕度部品	弾性設計用地震動 S _d			基準地震動 S _s			判定
				地震荷重 [kN]	発生応力 [MPa]	許容応力 Ⅲ _A S [MPa]	地震荷重 [kN]	発生応力 [MPa]	許容応力 Ⅳ _A S [MPa]	
PLR-001	PLR-001-901S	SMS-10	ベアリング押え	119.3	224		212.1	398		○
PLR-001	PLR-001-902SA	SMS-7.5	コネクティング チューブ	76.1	50		132.9	88		○
PLR-001	PLR-001-906S	SMS-10	ベアリング押え	107.1	201		175.1	329		○
PLR-001	PLR-001-908S	SMS-6	コネクティング チューブ	56.2	37		92.9	61		○
PLR-001	PLR-001-912S	SMS-6	コネクティング チューブ	54.2	36		95.1	63		○
PLR-002	PLR-002-008S	SMS-10	ベアリング押え	117.4	221		187.1	351		○
PLR-002	PLR-002-010S	SMS-16	ベアリング押え	193.2	237		330.7	405		○
PLR-002	PLR-002-027S	SMS-16	ベアリング押え	171.6	211		293.8	360		○
PLR-002	PLR-002-111S	NMB-030	リアブラケット (フランジ)	30.7	145		49.0	231		○

注1：配管系の詳細設計の進捗（サポートの追設，撤去，設置位置の変更等）に伴い変更となった地震荷重及び発生応力並びに詳細評価対象として追加となったメカニカルスナッパ（10台）を青字で示す。（詳細評価対象のメカニカルスナッパは，44台から10台追加5台削除で49台）

注2：括弧内の数字は，前回審査会合時(第979回審査会合，2021年6月1日，資料1-4)の記載を示す。

別紙2-1 構造部材の強度評価結果(4/6)

配管 モデル名	支持点番号	型式	最小裕度部品	弾性設計用地震動 S _d			基準地震動 S _s			判定
				地震荷重 [kN]	発生応力 [MPa]	許容応力 Ⅲ _A S [MPa]	地震荷重 [kN]	発生応力 [MPa]	許容応力 Ⅳ _A S [MPa]	
PLR-002	PLR-002-215S	SMS-10	ベアリング押え	109.4	206		186.7	351		○
PLR-002	PLR-002-307S	SMS-25	ベアリング押え	260.4	224		470.5	405		○
PLR-002	PLR-002-308S	SMS-25	ベアリング押え	251.8	217		452.1	389		○
PLR-002	PLR-002-315S	SMS-40	コネクティング チューブ	374.5	53		605.6	86		○
PLR-002	PLR-002-406SA	SMS-3	コネクティング チューブ	36.5	39		65.8	70		○
PLR-002	PLR-002-406SB	SMS-3	コネクティング チューブ	37.8	40		67.3	71		○
RHR-001	RHR-001-903S	SMS-6	コネクティング チューブ	58.2 (60.8)	39 (40)		92.0 (96.3)	61 (64)		○
RHR-002	RHR-002-901SA	SMS-6	コネクティング チューブ	55.5	37		93.0	62		○
RHR-003	RHR-003-901SB	SMS-10	ベアリング押え	85.1 (84.9)	160		155.3 (153.4)	292 (288)		○

注1：配管系の詳細設計の進捗（サポートの追設、撤去、設置位置の変更等）に伴い変更となった地震荷重及び発生応力並びに詳細評価対象として追加となったメカニカルスナッパ（10台）を青字で示す。（詳細評価対象のメカニカルスナッパは、44台から10台追加5台削除で49台）

注2：括弧内の数字は、前回審査会合時(第979回審査会合、2021年6月1日、資料1-4)の記載を示す。

別紙2-1 構造部材の強度評価結果(5/6)

配管 モデル名	支持点番号	型式	最小裕度部品	弾性設計用地震動 S _d			基準地震動 S _s			判定
				地震荷重 [kN]	発生応力 [MPa]	許容応力 Ⅲ _A S [MPa]	地震荷重 [kN]	発生応力 [MPa]	許容応力 Ⅳ _A S [MPa]	
RHR-006	RHR-006-084S	SMS-10	ベアリング押え	96.5	181		175.1	329		○
RHR-009	RHR-009-087SA	SMS-1	コネクティング チューブ	11.1 (9.7)	20 (17)		20.6 (17.9)	36 (31)		○
RHR-009	RHR-009-087SB	SMS-1	コネクティング チューブ	9.7	17		18.1 (18.0)	32 (31)		○
RHR-010	RHR-010-910S	SMS-6	コネクティング チューブ	58.4 (60.2)	39 (40)		103.5 (104.3)	68 (69)		○
RHR-011	RHR-011-009S	SMS-10	ベアリング押え	81.6 (94.8)	153 (178)		164.8 (158.4)	309 (297)		○
RHR-011	RHR-011-047S	SMS-6	コネクティング チューブ	60.0 (60.2)	40		110.2 (110.4)	73		○
RHR-011	RHR-011-088S	SMS-6	コネクティング チューブ	50.1 (50.0)	33		93.5 (93.4)	62		○
RHR-011	RHR-011-089S	NMB-030	リアブラケット (フランジ)	28.8 (28.6)	136 (135)		50.1 (50.0)	237 (236)		○

注1：配管系の詳細設計の進捗（サポートの追設，撤去，設置位置の変更等）に伴い変更となった地震荷重及び発生応力並びに詳細評価対象として追加となったメカニカルスナッパ（10台）を青字で示す。（詳細評価対象のメカニカルスナッパは，44台から10台追加5台削除で49台）

注2：括弧内の数字は，前回審査会合時(第979回審査会合，2021年6月1日，資料1-4)の記載を示す。

別紙2-1 構造部材の強度評価結果(6/6)

配管 モデル名	支持点番号	型式	最小裕度部品	弾性設計用地震動 S _d			基準地震動 S _s			判定
				地震荷重 [kN]	発生応力 [MPa]	許容応力 Ⅲ _A S [MPa]	地震荷重 [kN]	発生応力 [MPa]	許容応力 Ⅳ _A S [MPa]	
HPCS-001	HPCS-001-035S	SMS-10	ベアリング押え	86.5 (87.1)	163 (164)		158.8 (159.6)	298 (300)		○
HPCS-001	HPCS-001-037S	SMS-6	コネクティング チューブ	56	37		99.4	66		○
HPCS-002	HPCS-002-086S	SMS-10	ベアリング押え	110.3	207		195.5	367		○
HPCS-003	HPCS-003-102S	SMS-6	コネクティング チューブ	50.6 (58.1)	34 (39)		92.7 (91.8)	61		○
RCIC-004	RCIC-004-045S	SMS-06	ベアリング押え	5.6	140		10.5	263		○
RCIC-005	RCIC-005-047SB	SMS-1	コネクティング チューブ	8.2	15		15.7	27		○
SGTS-004	SGTS-004-033S	SMS-6	コネクティング チューブ	65	43		109.7	72		○

注1：配管系の詳細設計の進捗（サポートの追設，撤去，設置位置の変更等）に伴い変更となった地震荷重及び発生応力並びに詳細評価対象として追加となったメカニカルスナッパ（10台）を青字で示す。（詳細評価対象のメカニカルスナッパは，44台から10台追加5台削除で49台）

注2：括弧内の数字は，前回審査会合時(第979回審査会合，2021年6月1日，資料1-4)の記載を示す。

別紙2-2 機能部品を含む機能確認結果(1/4)

配管 モデル名	支持点番号	型式	地震荷重 [kN]		限界耐力値 [kN]	判定
			弾性設計用地震動 S _d	基準地震動 S _s		
MS-001	MS-001-026S	NMB-075	73.7 (76.6)	120.9 (125.5)	169.7	○
MS-001	MS-001-109S	SMS-10	113.6 (103.2)	177.0 (136.6)	219.1 (224.5)	○
MS-001	MS-001-919S	SMS-6	56.4 (56.9)	95.6 (96.5)	170.6	○
MS-003	MS-003-026S	SMS-10	100.7 (107.1)	151.7 (165.5)	219.1 (224.5)	○
MS-003	MS-003-220S	SMS-10	103.1	134.5	219.1	○
MS-003	MS-003-921SB	SMS-10	125.6 (133.7)	184.7 (197.0)	219.1 (224.5)	○
MS-004	MS-004-311S	SMS-6	63.7	90.2	170.6	○
MS-004	MS-004-336S	SMS-10	118.9 (135.1)	164.2 (186.7)	219.1 (224.5)	○
MS-004	MS-004-935S	SMS-6	79.6 (61.3)	112.2 (85.4)	170.6	○
PLR-001	PLR-001-010S	SMS-16	149.8	240.5	344.2	○
PLR-001	PLR-001-027S	SMS-16	200.5	317.4	344.2	○
PLR-001	PLR-001-307S	SMS-25	241.9	435.3	490.3	○

注1：メカニカルスナッパSMS-3及びSMS-10に対する機能部品を含む機能確認においては、今回実施したメカニカルスナッパの試験に対するばらつきを検討結果を踏まえ、限界耐力値を低減させた変更箇所(13箇所)を赤字で示す。

注2：配管系の詳細設計の進捗（サポートの追設、撤去、設置位置の変更等）に伴い変更となった地震荷重及び発生応力並びに詳細評価対象として追加となったメカニカルスナッパ（10台）を青字で示す。（詳細評価対象のメカニカルスナッパは、44台から10台追加5台削除で49台）

注3：括弧内の数字は、前回審査会合時(第979回審査会合、2021年6月1日、資料1-4)の記載を示す。

別紙2-2 機能部品を含む機能確認結果(2/4)

配管 モデル名	支持点番号	型式	地震荷重 [kN]		限界耐力値 [kN]	判定
			弾性設計用地震動 S _d	基準地震動 S _s		
PLR-001	PLR-001-316S	SMS-40	437.6	744.1	941.4	○
PLR-001	PLR-001-317S	SMS-40	440.8	745.5	941.4	○
PLR-001	PLR-001-318S	SMS-40	367.3	604.9	941.4	○
PLR-001	PLR-001-319S	SMS-40	428.3	699.5	941.4	○
PLR-001	PLR-001-901S	SMS-10	119.3	212.1	219.1 (224.5)	○
PLR-001	PLR-001-902SA	SMS-7.5	76.1	132.9	170.6	○
PLR-001	PLR-001-906S	SMS-10	107.1	175.1	219.1 (224.5)	○
PLR-001	PLR-001-908S	SMS-6	56.2	92.9	170.6	○
PLR-001	PLR-001-912S	SMS-6	54.2	95.1	170.6	○
PLR-002	PLR-002-008S	SMS-10	117.4	187.1	219.1 (224.5)	○
PLR-002	PLR-002-010S	SMS-16	193.2	330.7	344.2	○
PLR-002	PLR-002-027S	SMS-16	171.6	293.8	344.2	○
PLR-002	PLR-002-111S	NMB-030	30.7	49.0	67.4	○
PLR-002	PLR-002-215S	SMS-10	109.4	186.7	219.1 (224.5)	○

注1：メカニカルスナッパSMS-3及びSMS-10に対する機能部品を含む機能確認においては、今回実施したメカニカルスナッパの試験に対するばらつきを検討結果を踏まえ、限界耐力値を低減させた変更箇所(13箇所)を赤字で示す。

注2：配管系の詳細設計の進捗（サポートの追設、撤去、設置位置の変更等）に伴い変更となった地震荷重及び発生応力並びに詳細評価対象として追加となったメカニカルスナッパ（10台）を青字で示す。（詳細評価対象のメカニカルスナッパは、44台から10台追加5台削除で49台）

注3：括弧内の数字は、前回審査会合時(第979回審査会合、2021年6月1日、資料1-4)の記載を示す。

別紙2-2 機能部品を含む機能確認結果(3/4)

配管 モデル名	支持点番号	型式	地震荷重 [kN]		限界耐力値 [kN]	判定
			弾性設計用地震動 S _d	基準地震動 S _s		
PLR-002	PLR-002-307S	SMS-25	260.4	470.5	490.3	○
PLR-002	PLR-002-308S	SMS-25	251.8	452.1	490.3	○
PLR-002	PLR-002-315S	SMS-40	374.5	605.6	941.4	○
PLR-002	PLR-002-406SA	SMS-3	36.5	65.8	70.1 (75.3)	○
PLR-002	PLR-002-406SB	SMS-3	37.8	67.3	70.1 (75.3)	○
RHR-001	RHR-001-903S	SMS-6	58.2 (60.8)	92.0 (96.3)	170.6	○
RHR-002	RHR-002-901SA	SMS-6	55.5	93.0	170.6	○
RHR-003	RHR-003-901SB	SMS-10	85.1 (84.9)	155.3 (153.4)	219.1 (224.5)	○
RHR-006	RHR-006-084S	SMS-10	96.5	175.1	219.1	○
RHR-009	RHR-009-087SA	SMS-1	11.1 (9.7)	20.6 (17.9)	53.9	○
RHR-009	RHR-009-087SB	SMS-1	9.7	18.1 (18.0)	53.9	○
RHR-010	RHR-010-910S	SMS-6	58.4 (60.2)	103.5 (104.3)	170.6	○

注1：メカニカルスナッパSMS-3及びSMS-10に対する機能部品を含む機能確認においては、今回実施したメカニカルスナッパの試験に対するばらつきを検討結果を踏まえ、限界耐力値を低減させた変更箇所(13箇所)を赤字で示す。

注2：配管系の詳細設計の進捗（サポートの追設、撤去、設置位置の変更等）に伴い変更となった地震荷重及び発生応力並びに詳細評価対象として追加となったメカニカルスナッパ（10台）を青字で示す。（詳細評価対象のメカニカルスナッパは、44台から10台追加5台削除で49台）

注3：括弧内の数字は、前回審査会合時(第979回審査会合, 2021年6月1日, 資料1-4)の記載を示す。

別紙2-2 機能部品を含む機能確認結果(4/4)

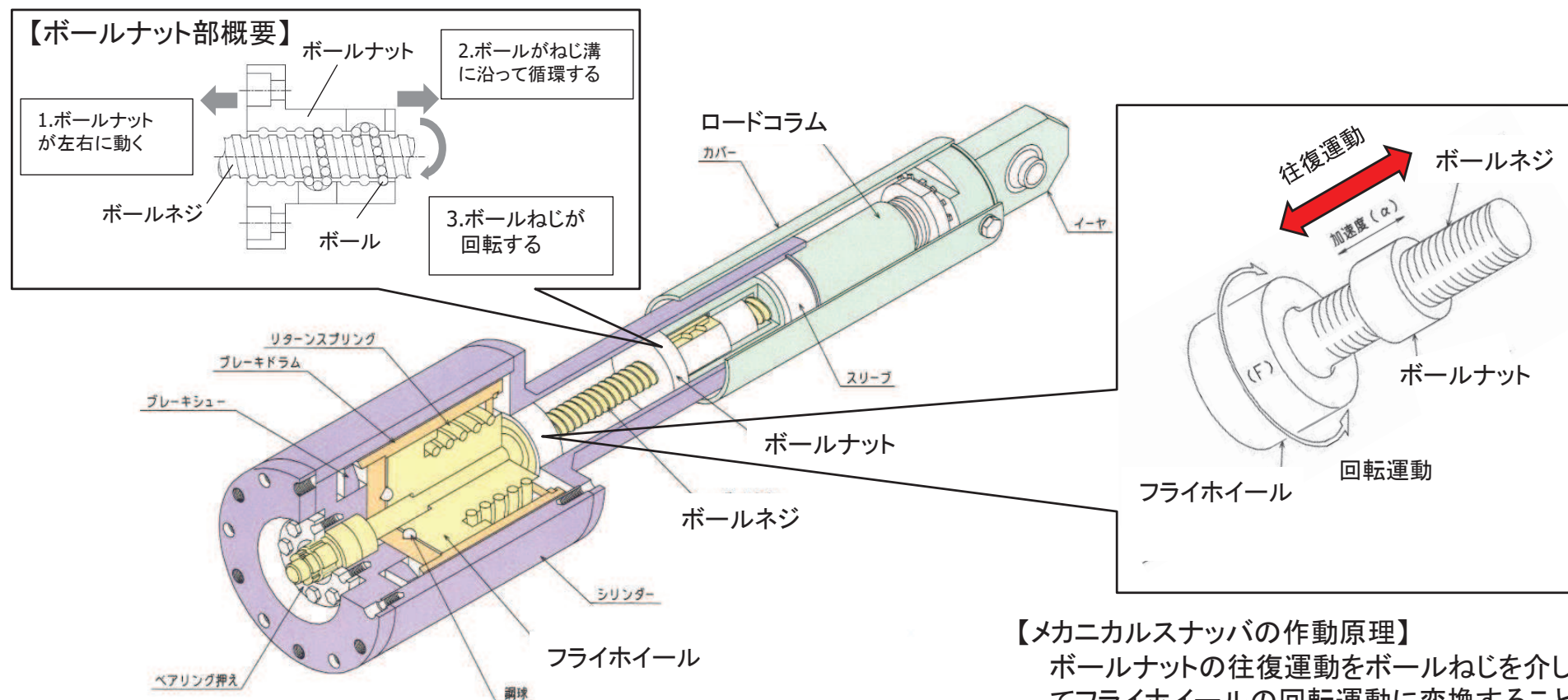
配管 モデル名	支持点番号	型式	地震荷重 [kN]		限界耐力値 [kN]	判定
			弾性設計用地震動 S _d	基準地震動 S _s		
RHR-011	RHR-011-009S	SMS-10	81.6 (94.8)	164.8 (158.4)	219.1 (224.5)	○
RHR-011	RHR-011-047S	SMS-6	60.0 (60.2)	110.2 (110.4)	170.6	○
RHR-011	RHR-011-088S	SMS-6	50.1 (50.0)	93.5 (93.4)	170.6	○
RHR-011	RHR-011-089S	NMB-030	28.8 (28.6)	50.1 (50.0)	67.4	○
HPCS-001	HPCS-001-035S	SMS-10	86.5 (87.1)	158.8 (159.6)	219.1 (224.5)	○
HPCS-001	HPCS-001-037S	SMS-6	56	99.4	170.6	○
HPCS-002	HPCS-002-086S	SMS-10	110.3	195.5	219.1	○
HPCS-003	HPCS-003-102S	SMS-6	50.6 (58.1)	92.7 (91.8)	170.6	○
RCIC-004	RCIC-004-045S	SMS-06	5.6	10.5	16.8	○
RCIC-005	RCIC-005-047SB	SMS-1	8.2	15.7	53.9	○
SGTS-004	SGTS-004-033S	SMS-6	65	109.7	170.6	○

注1：メカニカルスナッパSMS-3及びSMS-10に対する機能部品を含む機能確認においては、今回実施したメカニカルスナッパの試験に対するばらつきを検討結果を踏まえ、限界耐力値を低減させた変更箇所(13箇所)を赤字で示す。

注2：配管系の詳細設計の進捗（サポートの追設、撤去、設置位置の変更等）に伴い変更となった地震荷重及び発生応力並びに詳細評価対象として追加となったメカニカルスナッパ（10台）を青字で示す。（詳細評価対象のメカニカルスナッパは、44台から10台追加5台削除で49台）

注3：括弧内の数字は、前回審査会合時(第979回審査会合、2021年6月1日、資料1-4)の記載を示す。

- 熱膨張が発生する高温配管の耐震用支持装置として、地震荷重のような急激な配管移動は拘束し、熱膨張のような緩やかな配管移動は拘束しない機能をもつ製品。
(メカニカルスナツバの設置状況例は別紙7参照)
- 配管から伝達される荷重を支持するための構造部材(ロードコラム等)及び配管移動に追従するための機能部品(ボールねじ等)で構成されている。



【メカニカルスナツバの作動原理】
 ボールナットの往復運動を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ことで、拘束効果を発揮する。

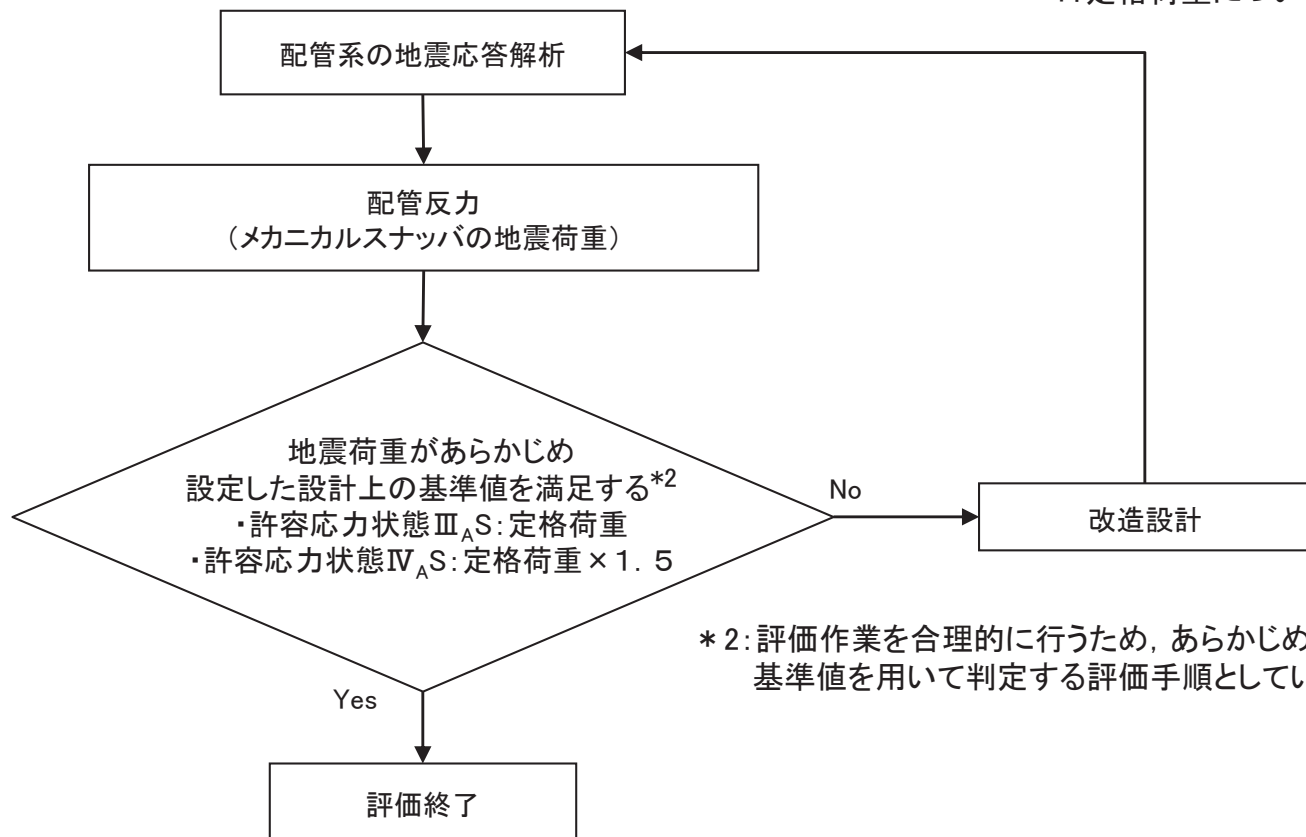
図1 メカニカルスナツバの構造概要及び作動原理

- 実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則
 - 機器・配管系の支持構造物であるメカニカルスナツバは、第5条及び第50条(地震による損傷の防止)に基づき、「施設の機能を維持していること又は構造強度を確保していること」が要求される。

- 原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG4601)
 - メカニカルスナツバは、JEAG4601の「その他の支持構造物」に該当するため、配管からの地震荷重に対するメカニカルスナツバの発生応力がその他の支持構造物に規定される許容限界を満足することが要求される。
 - 耐震評価は、解析による設計を基本として、機能維持上の評価が必要な場合は試験による設計も可能であること、許容限界内であることの確認では、荷重による評価としてあらかじめ計算により求めた標準荷重や試験で確認した許容荷重を用いる場合が認められている。

- 配管系の地震応答解析で得られた配管反力(メカニカルスナツバの地震荷重)が、あらかじめ設定した設計上の基準値(定格荷重*1, 定格荷重×1.5)を満足することで耐震性を確保する。
- あらかじめ設定した設計上の基準値は, JEAG4601におけるあらかじめ計算により求めた標準荷重に相当し, 定格荷重及び定格荷重×1.5に対する構造部材の発生応力が許容限界を満足すること, 地震時及び地震後に機能部品が機能することをあらかじめ確認したもの。

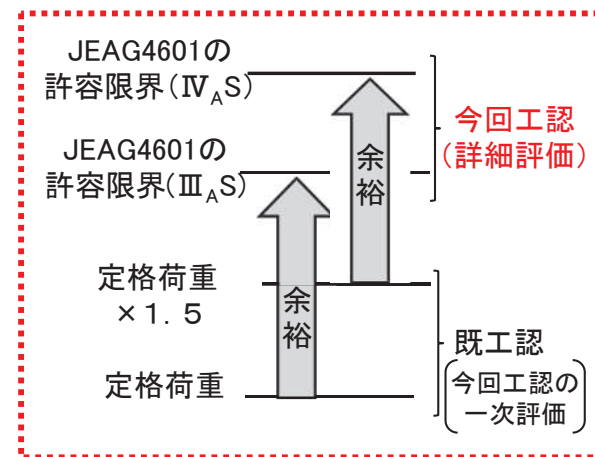
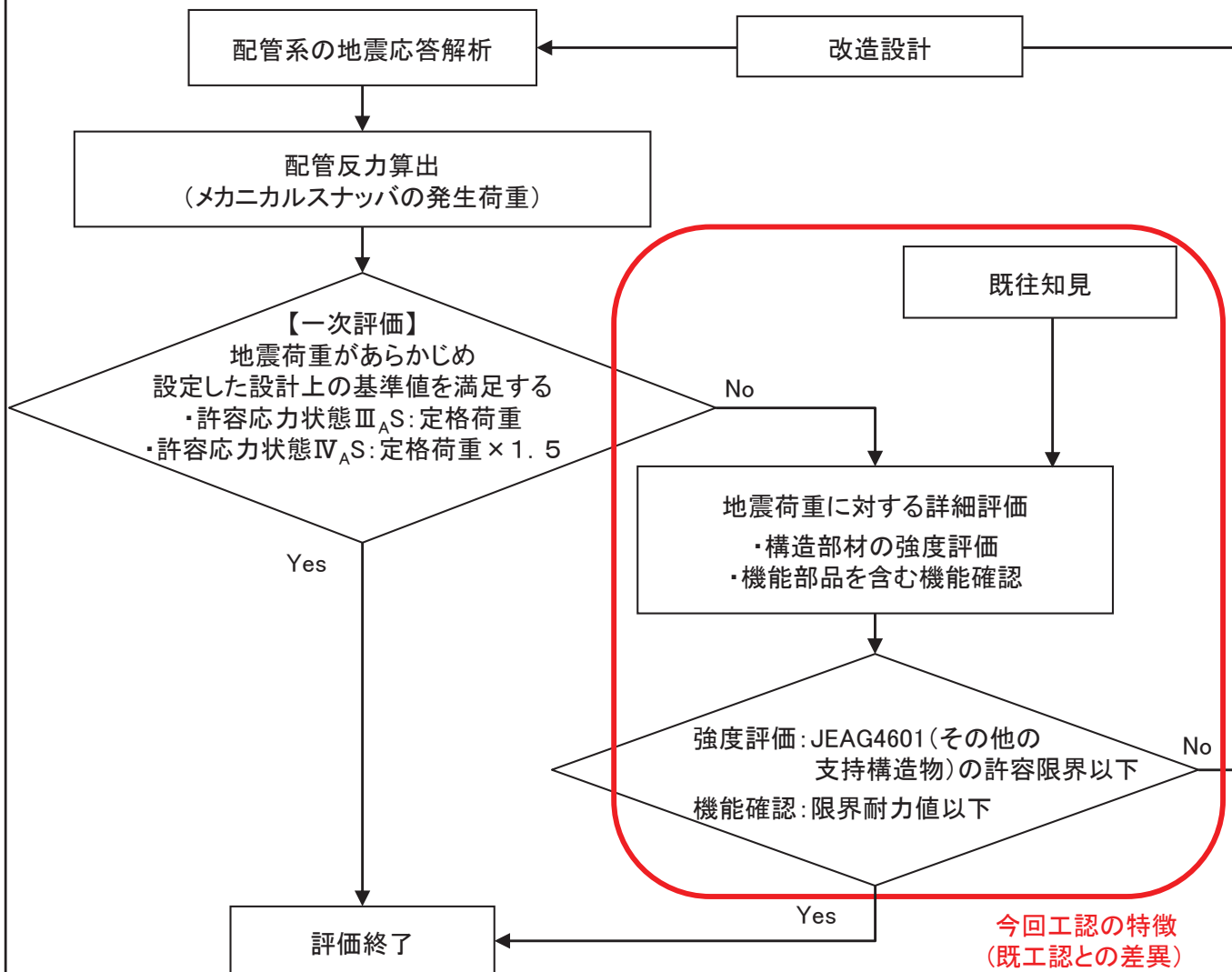
*1: 定格荷重については別紙1参照



*2: 評価作業を合理的に行うため, あらかじめ設定した設計上の基準値を用いて判定する評価手順としている。

図2 既工認における評価手順

- 今回工認では、既工認同様の一次評価を実施し、地震荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超える場合、あらかじめ設定した設計上の基準値に余裕があることから、JEAG4601及び既往知見も踏まえ、詳細評価として構造部材の強度評価及び機能部品を含む機能確認を実施する。



JEAG4601の許容限界(Ⅳ_AS) に対する定格荷重 × 1.5の余裕 (型式SMS*-1(コネクティングチューブ)の例)

定格荷重 × 1.5 (A)	15kN
許容限界Ⅳ _A Sの許容応力に相当する荷重(B)	29.7kN
裕度(B/A)	1.98

* : SMSはメーカーの型式名称を示す。

図3 今回工認における評価手順

- 今回工認の詳細評価では、あらかじめ設定した設計上の基準値を上回る荷重に対してメカニカルスナツバの機能を確認した電共研の成果*を踏まえ、以下の2項目について評価を実施し、メカニカルスナツバの耐震性を確認する。電共研の知見の詳細については、別紙2に示す。

*:平成12年度 共同研究報告書 耐震設計に関する新知見に対する機器耐震評価法の研究(Phase2)
(以下「電共研」という。)

【構造部材の強度評価】

- ・メカニカルスナツバの地震荷重による各構造部材の発生応力を評価し、JEAG4601に規定されるその他の支持構造物の許容限界($III_A S$, $IV_A S$)以下であることを確認する。
- ・メカニカルスナツバの地震荷重が定格荷重及び定格荷重×1.5を超える荷重範囲まで拡大することを踏まえ、電共研の知見に基づき荷重伝達経路を詳細に分析し、既工認の評価部位を基本として構造部材の評価部位、評価項目を追加した。

【機能部品を含む機能確認】

- ・メカニカルスナツバの地震荷重が定格荷重及び定格荷重×1.5を超える荷重範囲まで拡大することを踏まえ、電共研の知見において機能部品を含むメカニカルスナツバの機能が確認された限界耐力値と比較し、メカニカルスナツバの地震荷重が下回っていることを確認する。

- 今回工認の詳細評価における構造部材の強度評価では、電共研の知見及び荷重伝達経路を考慮して評価部位及び評価項目を追加した。今回工認の詳細評価において追加した評価部位、評価項目を別紙3に示す。
- 地震荷重に対する各構造部材の発生応力がJEAG4601の許容限界を満足することを確認する。



注: 枠内の部位, メカニカルスナツバ全体の座屈評価が追加項目

図4 メカニカルスナツバの荷重伝達経路

第979回審査会合(2021年6月1日)資料1-4抜粋

➤ 電共研では、耐震設計評価手法高度化の検討結果として、メカニカルスナップの定格荷重を超える荷重に対して、構造強度及び機能維持の面から限界耐力評価手法を策定している(平成12年度)。

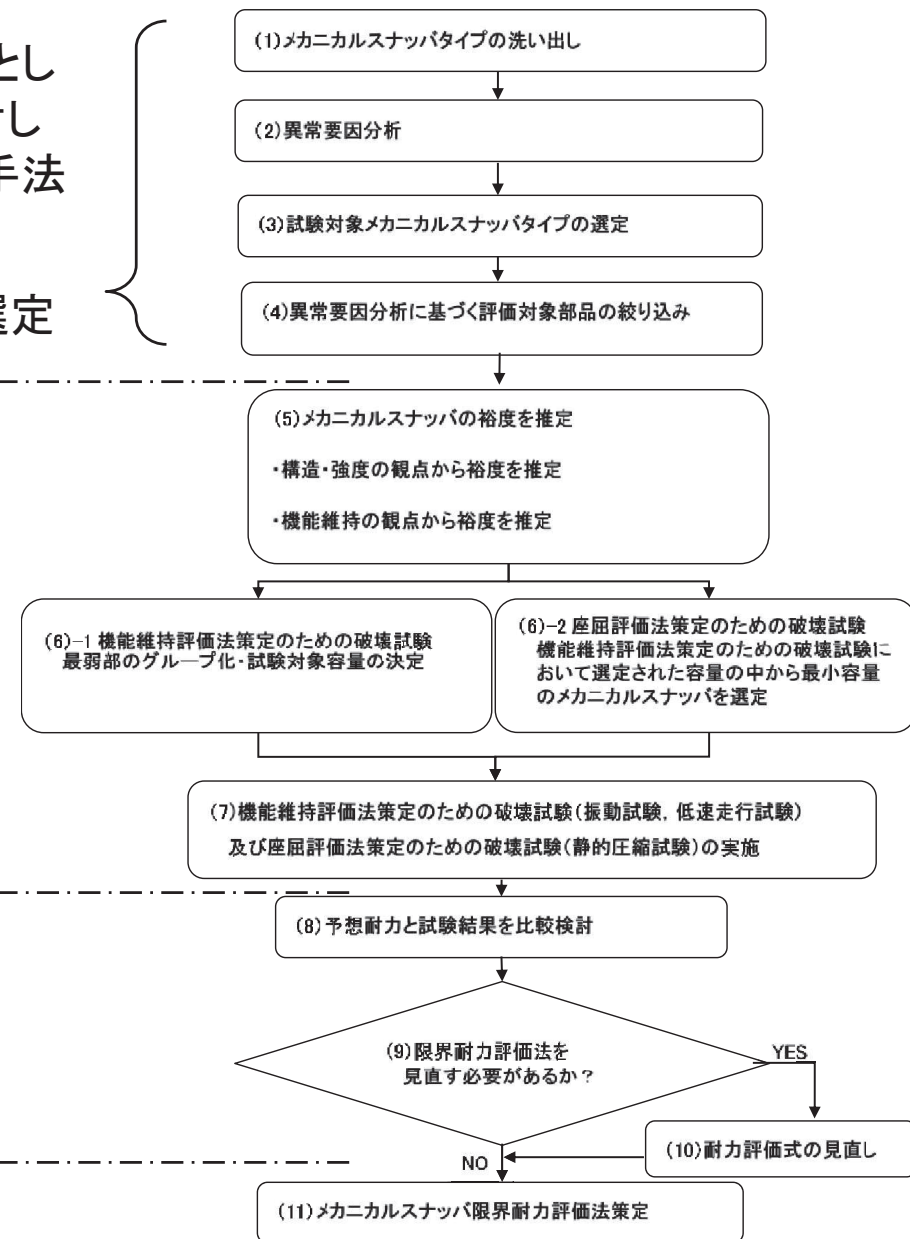
a. 異常要因分析による評価対象部品の選定

b. 機能を確認する耐力評価法を策定するための破壊試験

- ・振動試験及び低速走行試験
- ・静的圧縮試験

c. 公式計算等による試験前の予想耐力と試験結果による耐力確認荷重との比較を踏まえた限界耐力評価法の見直し検討

d. 限界耐力評価手法の策定



限界耐力評価手法の策定手順

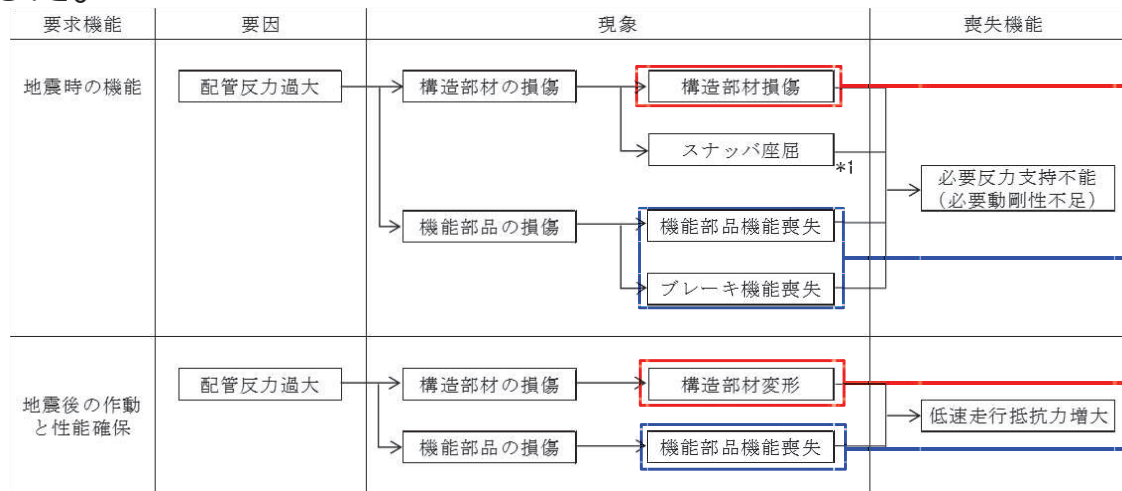
- メカニカルスナツバの要求機能として、地震時の機能及び地震後の作動と性能確保の観点で異常要因分析を行い、構造部材の強度評価及び機能部品の機能評価を実施することとした。
- また、メカニカルスナツバ全長に対する座屈評価を実施することとした。

メカニカルスナツバの異常要因分析*

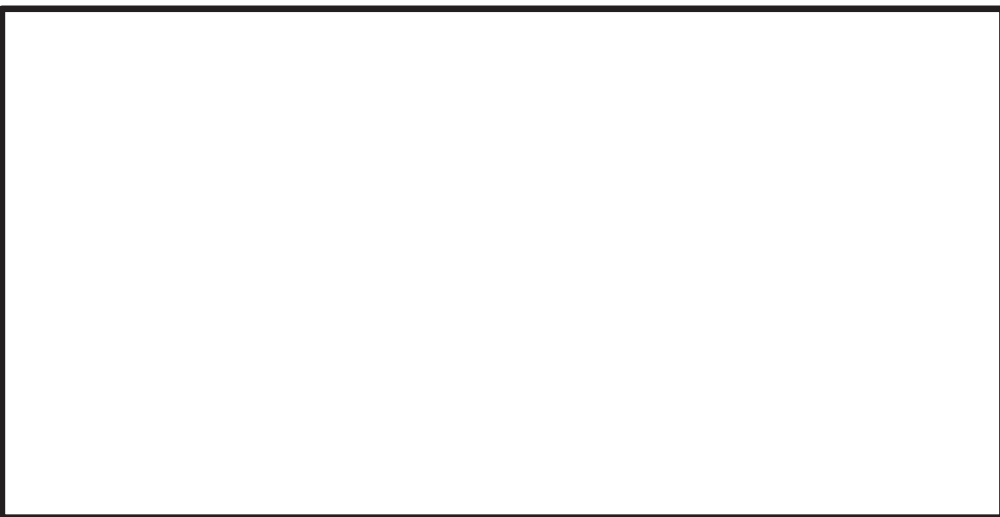
要求機能	要因	現象	喪失機能
地震時の機能	配管反力過大	構造部材の損傷 → 構造部材損傷 スナツバ座屈 機能部品の損傷 → 機能部品機能喪失 ブレーキ機能喪失	必要反力支持不能 (必要動剛性不足)
地震後の作動と性能確保	配管反力過大	構造部材の損傷 → 構造部材変形 機能部品の損傷 → 機能部品機能喪失	低速走行抵抗力増大

* : 電共研成果に対して一部記載を適正化したもの

➤ 異常要因分析を踏まえ、構造部材の強度評価及び機能部品の機能評価の評価対象となる部品を選定した。



*1:座屈評価は、メカニカルスナッパ全長に対して実施する



メカニカルスナッパ構造図(SMS型の例)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

部品名	構造部材	機能部品
①ダイレクトアタッチブラケット	○	-
②ジャンクションコラムアダプタ	○	-
③ロードコラム	○	-
⑤ピン	○	-
⑥コネクティングチューブ	○	-
⑦-1 ベアリングケース	○	-
⑦-2 ベアリング押え	○	-
⑦-3 六角ボルト	○	-
⑧イーヤ	○	-
⑨ユニバーサルボックス	○	-
⑪ユニバーサルブラケット	○	-
⑫ベアリングナット	○	-
⑬ボールネジ ^{*2}	-	○
⑭アンギュラー玉軸受	-	○
⑮球面軸受	-	○

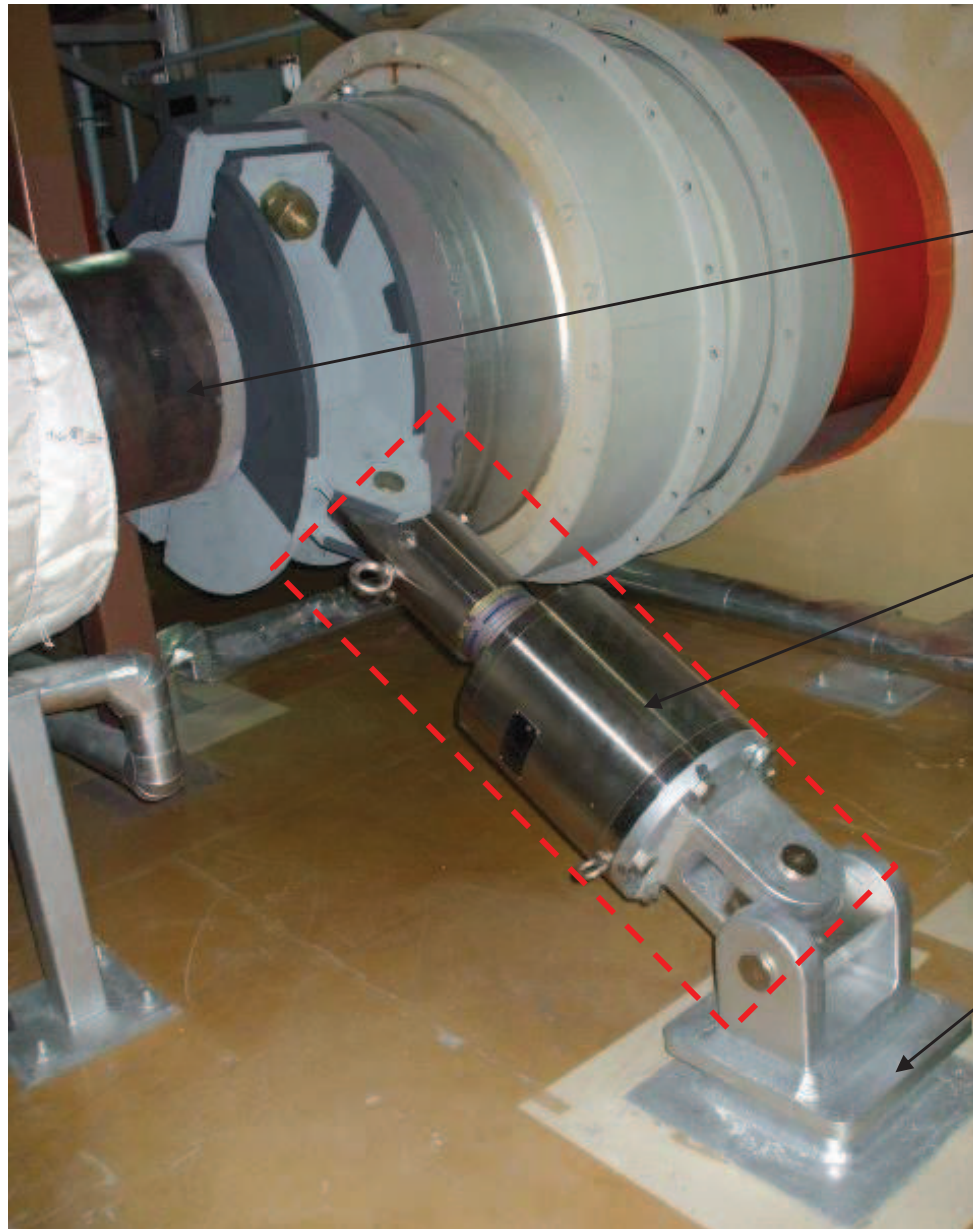
*2: 機能部品は試験に基づく機能確認を基本とするが、ボールネジは比較的単純な構造のため、機能評価(ブレーキ機能を含む)及び構造部材と同様の強度評価も実施する。

- 機能維持評価法策定のための破壊試験
 - 地震時の機能維持確認として振動試験を行い、動剛性が確保されていることを確認する。加振荷重を段階的に増加させ、機能が維持できなくなるまで実施する。
 - 地震後の機能維持確認として低速走行試験を行い、熱膨張に伴う配管移動を拘束しないことを確認する。試験は、振動試験後に実施する。
 - 試験対象は、事前予測した最小裕度部品が同じ型式を分類して選定した(赤枠)。
- 座屈評価法策定のための破壊試験
 - 静的圧縮試験を行い、メカニカルスナツバ本体が座屈するまで実施する。
 - 試験対象は、試験装置の制約から最小容量のものを選定した(青枠)。

最小裕度部品による型式分類と試験対象(SMS型)

分類	型式	最小裕度部品
A	SMS-01, SMS-03	六角ボルト
B	SMS-06, SMS-3* , SMS-16	ボールネジ
C	SMS-1	コネクティングチューブ
D	SMS-6	ベアリングナット
E	SMS-10 SMS-25, SMS-40, SMS-60	ダイレクトアタッチブラケット(ピン), ユニバーサルブラケット(ピン)

* :再現性の確認のため、SMS-3の試験体3体に対する試験を実施した。



支持対象配管

メカニカルスナツバ

躯体側受台