

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

2021年6月1日
東北電力株式会社

本日のご説明内容

1. はじめに
2. メカニカルスナツバの構造
3. メカニカルスナツバの耐震設計に係る規格要求
4. 既工認における評価手順
5. 今回工認における評価手順
 - 5.1 全体概要
 - 5.2 構造部材の強度評価
 - 5.3 機能部品を含む機能確認
6. 今回工認の詳細評価に係る基準適合性
7. 今回工認の詳細評価に係る妥当性確認
8. まとめ

別紙1 定格荷重について

別紙2 電共研での知見について

別紙3 今回工認の詳細評価にて追加した評価部位, 評価項目

別紙4 試験条件と女川2号機における設計仕様との整合確認

別紙5 JNESの耐力評価手法に係る研究について

別紙6 今回工認の詳細評価結果

別紙7 メカニカルスナツバの設置状況例

1. はじめに(1/2)

- 本資料は、今回工認において、一部のメカニカルスナツバに対して既工認と異なる評価手法を適用すること、他プラントにおいて当該評価手法の適用実績がないことから、その適用にあたっての妥当性を説明するものである。
- 既工認及び今回工認の一次評価では、評価作業を合理的に行うため、配管を支持する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(定格荷重及び定格荷重×1.5)を満足することを確認する。
- 基準地震動の増大に伴い、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超える箇所*については、当該の基準値に余裕があることを考慮し、JEAG4601の規定等を踏まえ、今回工認では詳細評価として強度評価及び機能確認を実施する。

* : 工認主配管に設置されたメカニカルスナツバ約500台のうち44台の評価が、今回工認の基準地震動及び弾性設計用地震動に対するあらかじめ設定した設計上の基準値を超えたため、それらの箇所に対して詳細評価を実施した。

1. はじめに(2/2)

表1 メカニカルスナツバ評価方法の比較

許容 応力 状態	既工認 (今回工認の一次評価)		今回工認の詳細評価		
	発生値	許容値	発生値		許容値
Ⅲ _A S	Sd地震荷重	定格 荷重*	強度評価	Sd地震荷重による 構造部材の応力	許容限界Ⅲ _A S
			機能確認	Sd地震荷重	機能確認され た耐力値
Ⅳ _A S	Ss地震荷重	定格 荷重 × 1.5*	強度評価	Ss地震荷重による 構造部材の応力	許容限界Ⅳ _A S
			機能確認	Ss地震荷重	機能確認され た耐力値

* : 許容値に相当する荷重にて, あらかじめ構造部材の発生応力が許容限界を満足すること及び
確性試験にて許容値に相当する荷重負荷時の機能を確認済み。

2. メカニカルスナツバの構造

- 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。

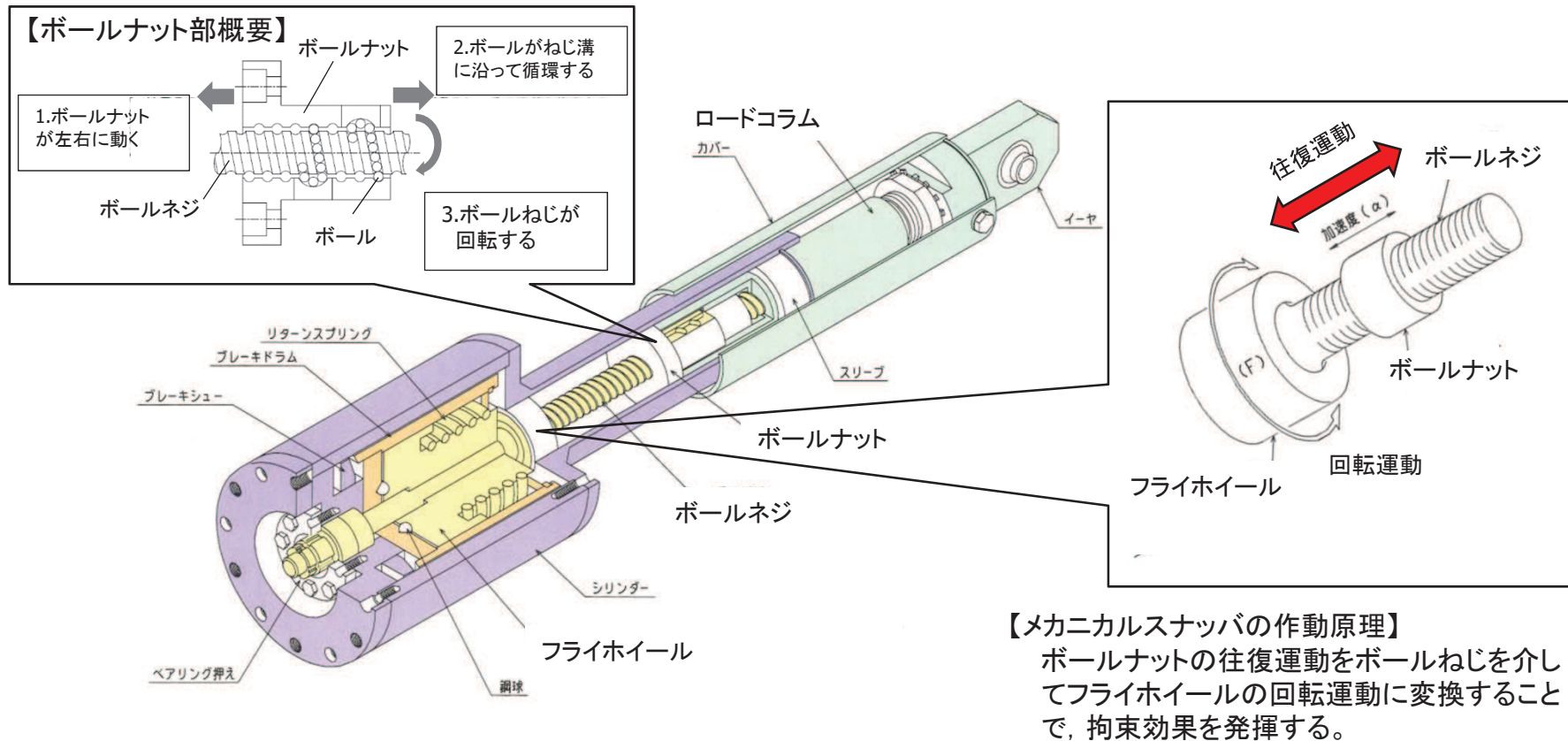


図1 メカニカルスナツバの構造概要及び作動原理

3. メカニカルスナツバの耐震設計に係る規格要求

➤ 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。

4. 既工認における評価手順

- 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。

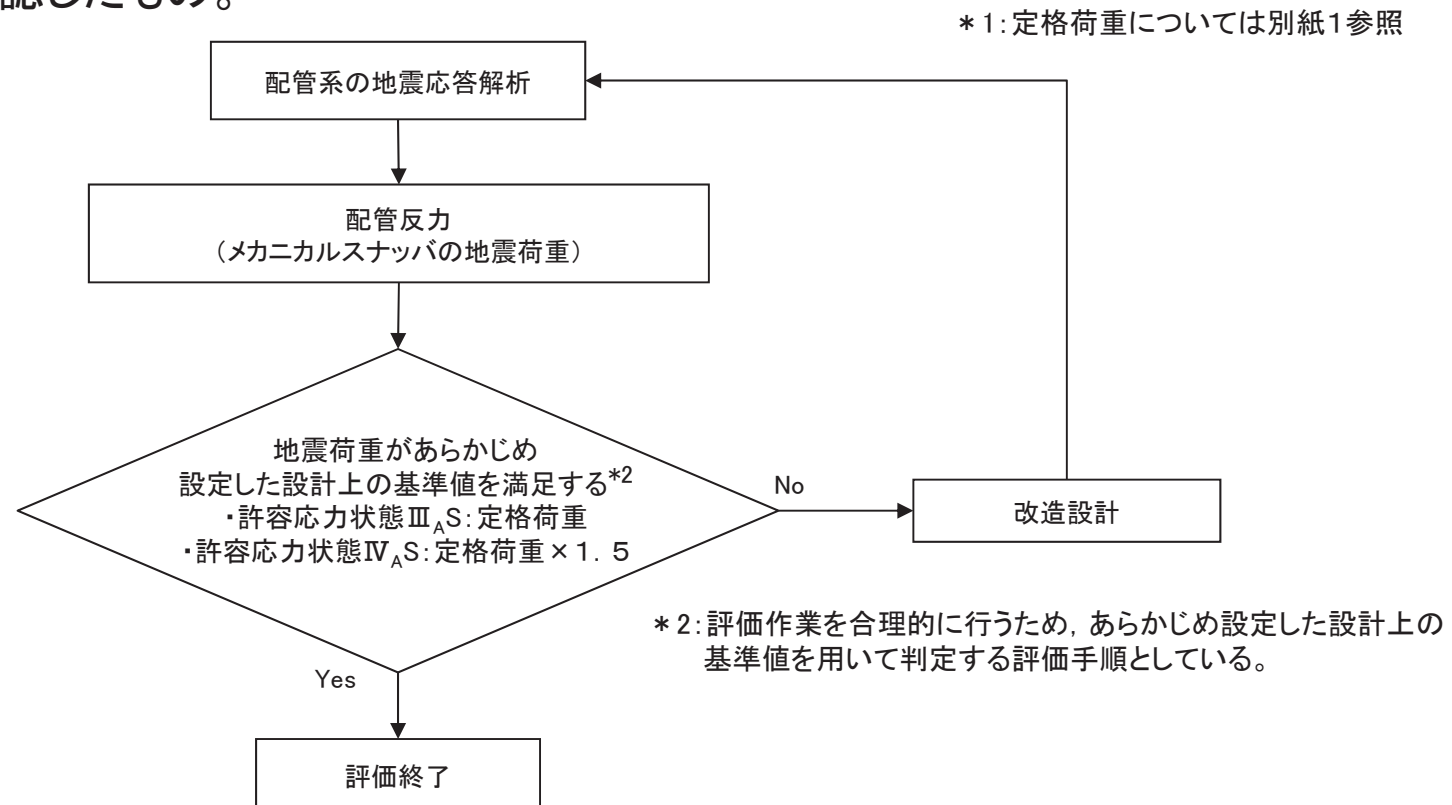


図2 既工認における評価手順

5. 今回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。

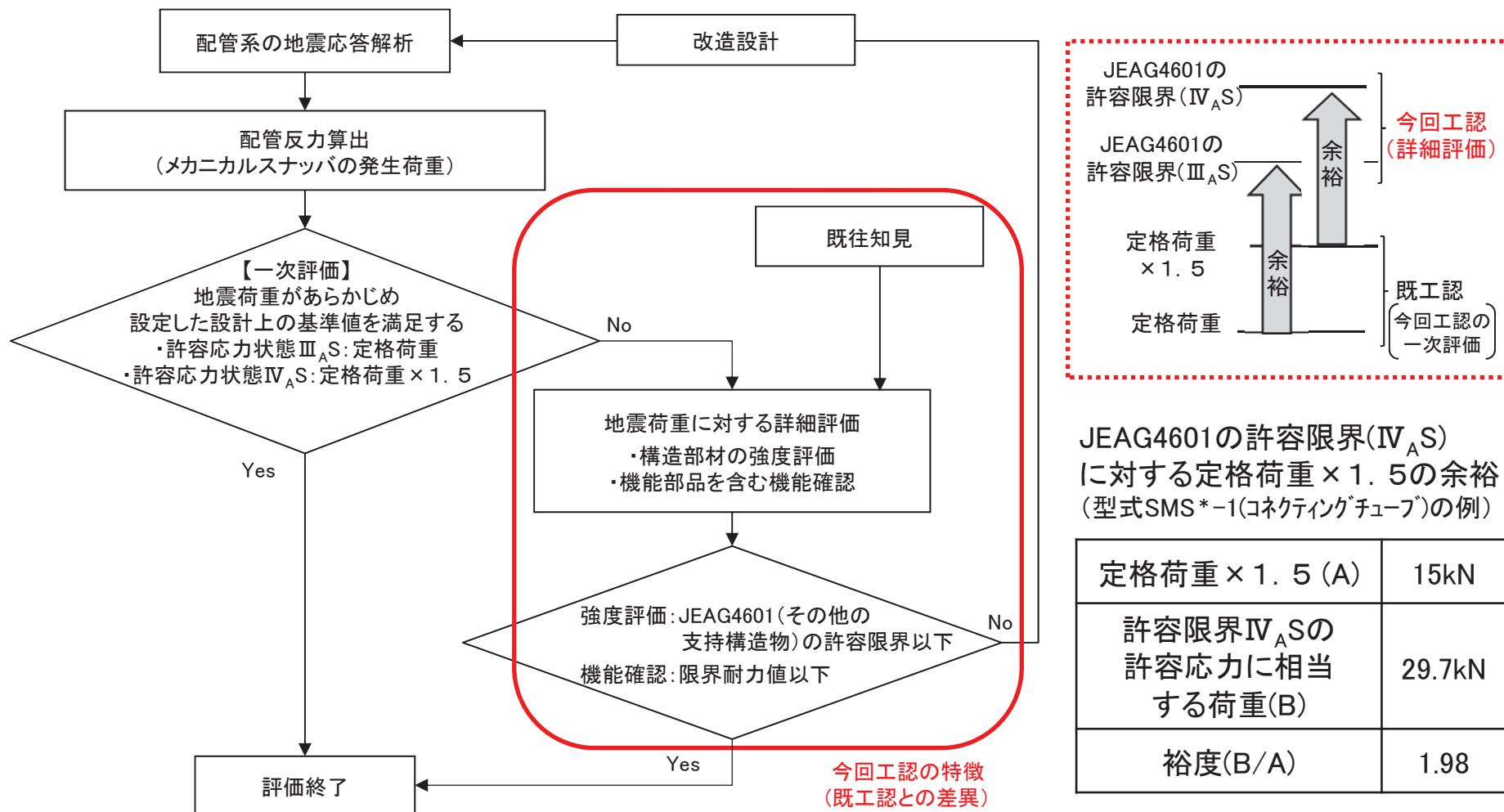


図3 今回工認における評価手順

* : SMSはメーカーの型式名称を示す。

5.1 全体概要

- 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($\text{III}_A S$, $\text{IV}_A S$)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。

5.2 構造部材の強度評価

- 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。



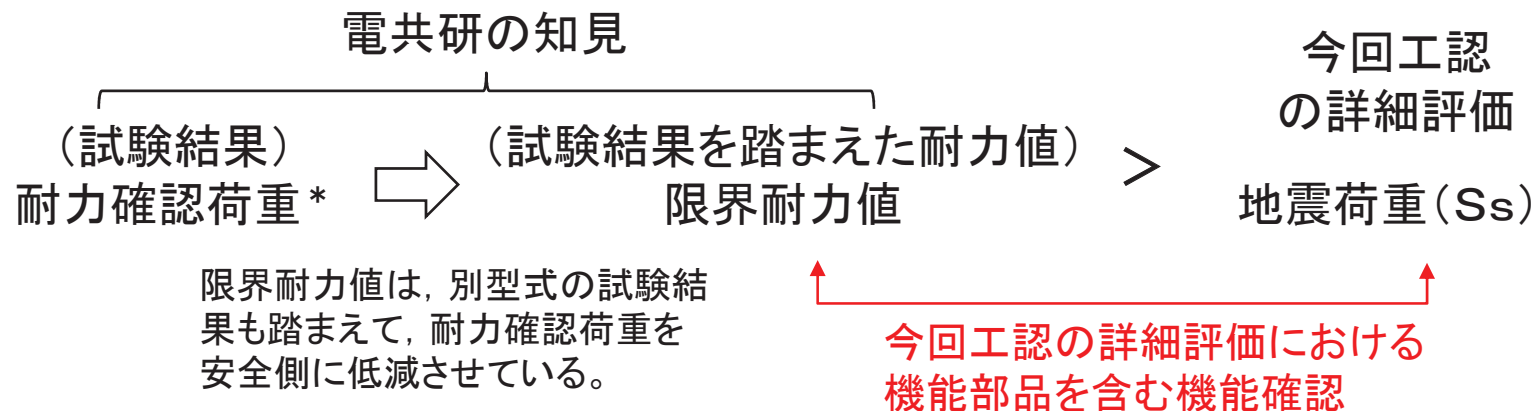
注: 枠内の部位, メカニカルスナツバ全体の座屈評価が追加項目

図4 メカニカルスナツバの荷重伝達経路

5. 今回工認における評価手順

5.3 機能部品を含む機能確認

- 今回工認の詳細評価におけるメカニカルスナツバの機能部品を含む機能確認は、メカニカルスナツバの地震荷重が電共研での知見である限界耐力値を下回っていることを確認する。
- 限界耐力値は、メカニカルスナツバに対する振動応答試験及び低速走行試験の試験結果を踏まえて、型式ごとに策定された荷重値であり、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ものである。



評価例

94.2 [kN] ➡ 75.3 [kN] > 67.3 [kN]

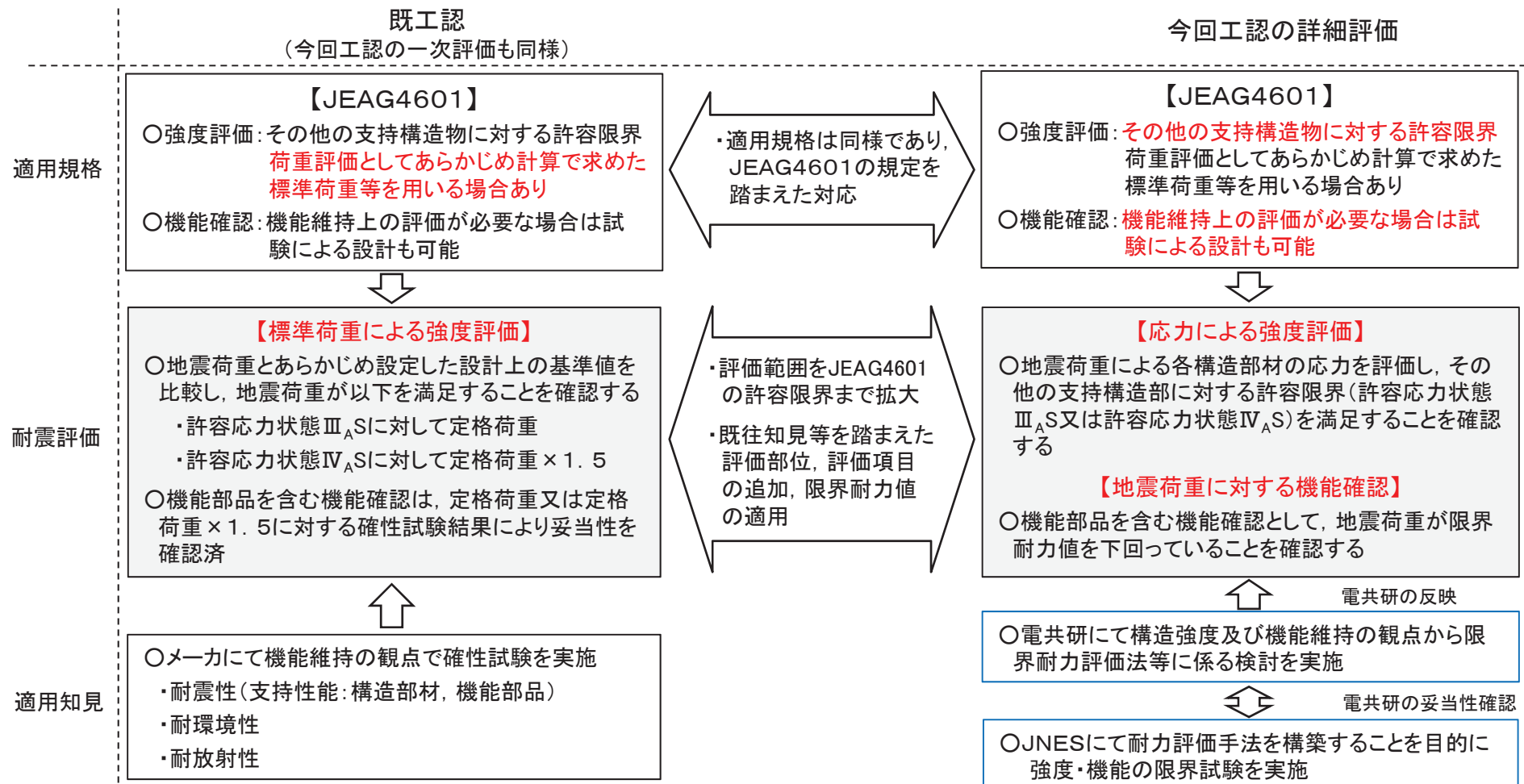
支持点番号: PLR-002-406SB

型式: SMS-3 (最小裕度部位: アンギュラー玉軸受)

* : 耐力確認荷重とは、破損又は機能喪失が確認される前の試験条件 (機能維持されている状態) における最大荷重である。

6. 今回工認の詳細評価に係る基準適合性

- 今回工認の詳細評価では、メカニカルスナツバ(機器・配管系の支持構造物)がJEAG 4601の「その他の支持構造物」に該当するため、以下の対応を実施するもの。
 - ・応力による強度評価: JEAG4601に基づく許容限界を設定
 - ・地震荷重に対する機能確認: JEAG4601で認められた試験による設計に該当



7. 今回工認の詳細評価に係る妥当性確認

- 電共研での知見については、限界耐力値の策定に関連する振動試験及び低速走行試験の試験条件がメカニカルスナツバ確性試験と同等であるとともに、女川2号機の設計仕様と整合する*1ため、今回工認の詳細評価に適用することは妥当であることを確認した。

*1: 試験条件の適用性確認結果(例)に記載する。詳細は別紙4に示す。

- JNESが実施したメカニカルスナツバの耐力評価手法に係る研究*2は、電共研での知見が妥当であることの検証として、一連の検討プロセスが電共研と同様であること、試験条件及び試験結果として得られた限界耐力値も同等のものであることを確認した。

*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。)

試験条件の適用性確認結果(例)

- ・加振波が正弦波であること
 - ⇒ 実際の地震荷重は不規則な入力であるが、正弦波は最大荷重が一定間隔で加わり続けるため、より過酷な条件である。
 - ⇒ 確性試験の加振波は正弦波である。
- ・加振振動数は9Hzであること
 - ⇒ 配管系の固有振動数は概ね10Hz前後である。JSME文献*3においても試験の加振振動数が9Hzとしている。
 - ⇒ 確性試験の加振振動数は9Hzである。

電共研とJNES研究との限界耐力値比較*4(例)

型式	電共研	JNES研究	JNES研究 ／電共研
SMS-1	53.9		
SMS-25	490.3		

*3: 日本機械学会規格「JSME S 014-1999原子力発電用動的機器の検証規格」

*4: JNES研究と電共研との詳細比較については別紙5参照

8. まとめ

- 今回工認におけるメカニカルスナツバの耐震評価は、あらかじめ設定した設計上の基準値(定格荷重及び定格荷重×1.5)を超える場合、JEAG4601の規定等を踏まえ、詳細評価を適用する。
- 詳細評価では、構造部材の強度評価として、地震荷重による構造部材の応力がJEAG4601の許容限界を満足すること、また、機能部品を含む機能確認として、地震荷重が電共研での知見である限界耐力値を下回っていることを確認する。
- 機能確認に用いる電共研の知見については、JNES研究の知見と比較しても同等の結果が得られており、妥当性があることを確認した。
- 詳細評価対象となったメカニカルスナツバ(44台)に対する構造部材の強度評価及び機能確認に対する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。詳細評価の結果は別紙6に示す。

別紙1 定格荷重について

- メカニカルスナツバは、製造者による構成部材の市場調達性、製作性などを考慮して標準化された製品であり、製造設計にあたって設定する定格荷重及び定格荷重×1.5に対して十分な余裕のある設計となっている。
- メカニカルスナツバ製造者は、定格荷重等に対する振動試験や定格荷重×1.5に対する過負荷振動試験等の確性試験を行い、性能を確認している。
- 既工認では、強度評価を実施した上で、あらかじめ設定した設計上の基準値として定格荷重及び定格荷重×1.5を適用してきた。

表 確性試験の概要

要求機能	試験項目	試験内容
耐震性	振動応答試験 (定格荷重)	定格荷重, 定格荷重×1.5が発生する変位で加振し, 地震荷重に対して想定される動剛性を発揮できることを確認する。
	過負荷振動試験 (定格荷重×1.5)	
	低速走行試験	熱膨張による変位時に想定される速度で加振し, 配管の熱変位に対して追従できることを確認する。
	レリーズ試験*1	熱移動を想定した速度での移動時に, 地震荷重を与え, ブレーキ機構が作動した後も, スティックせずに熱移動に追従することを確認する。
耐震性 以外	その他環境試験*2	高温, 高湿度雰囲気, 放射線を照射時などの状態で性能が維持されることを確認する。

*1:レリーズ試験は、熱変位を想定したゆっくりとした変位を与えているところに、地震を想定した素早い変位を与えることで、地震によりブレーキ機構が作動した後の熱移動への追従を確認するものである。

*2:各環境試験後に振動試験及び低速走行試験を実施する。

別紙2 電共研での知見について:(1)限界耐力評価手法の策定手順

- 電共研では、耐震設計評価手法高度化の検討結果として、メカニカルスナツバ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)。

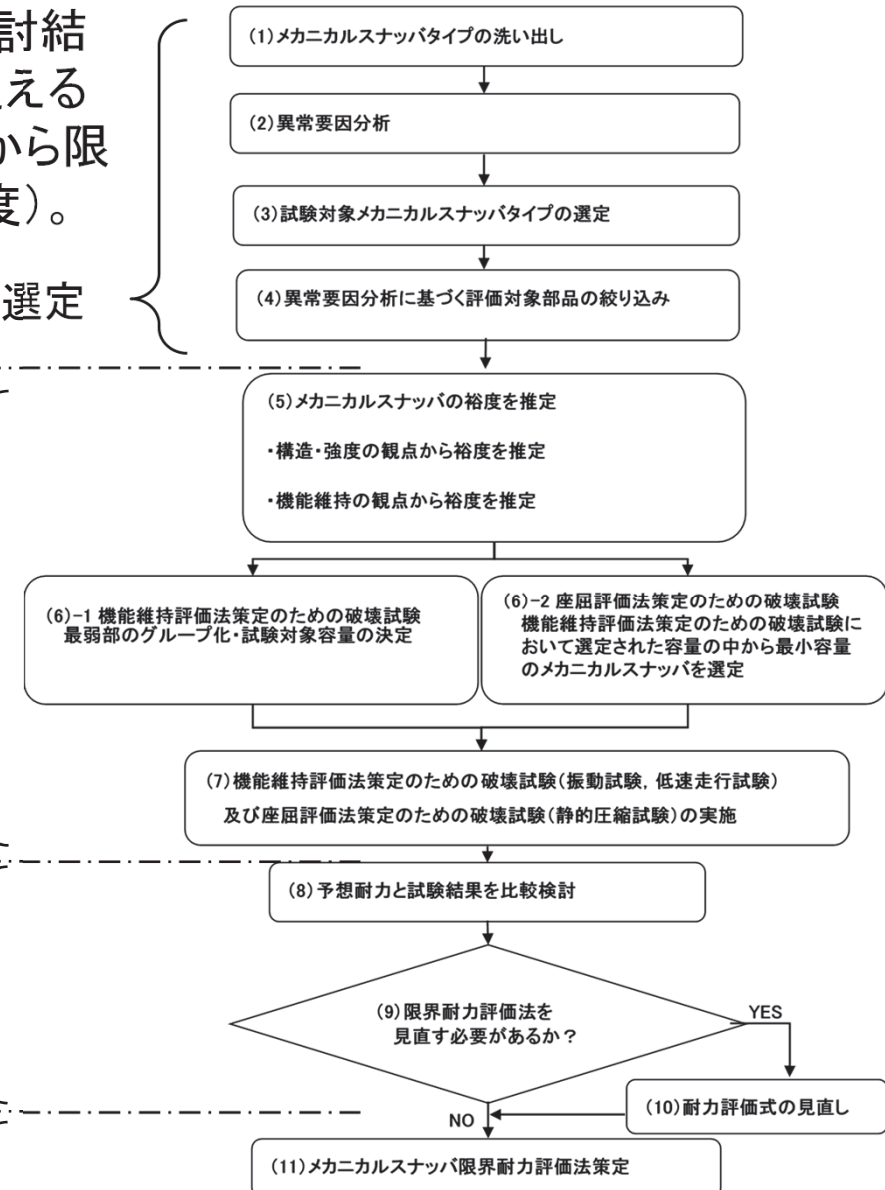
a. 異常要因分析による評価対象部品の選定

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

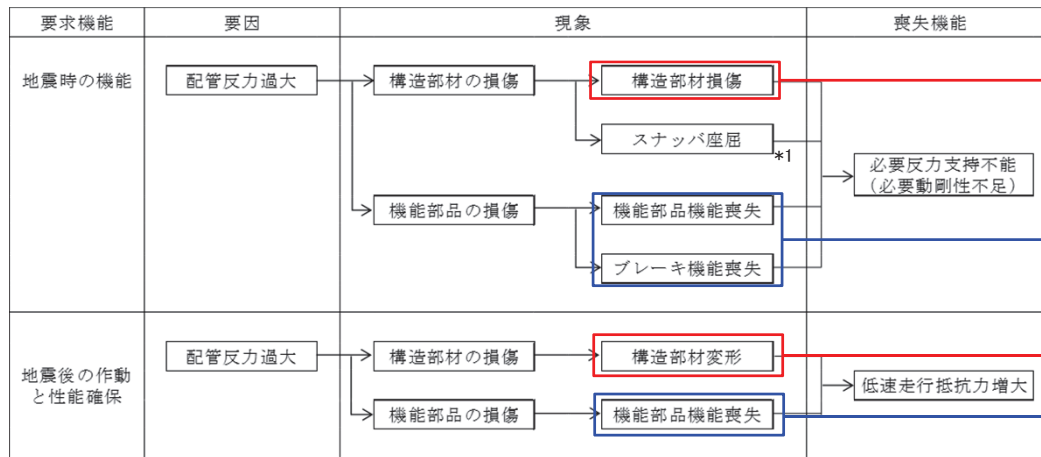
d. 限界耐力評価手法の策定



限界耐力評価手法の策定手順

別紙2 電共研での知見について:(3)評価対象部品の選定

- 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)

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	-	○

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

*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。

別紙2 電共研での知見について:(4)試験内容

- 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)

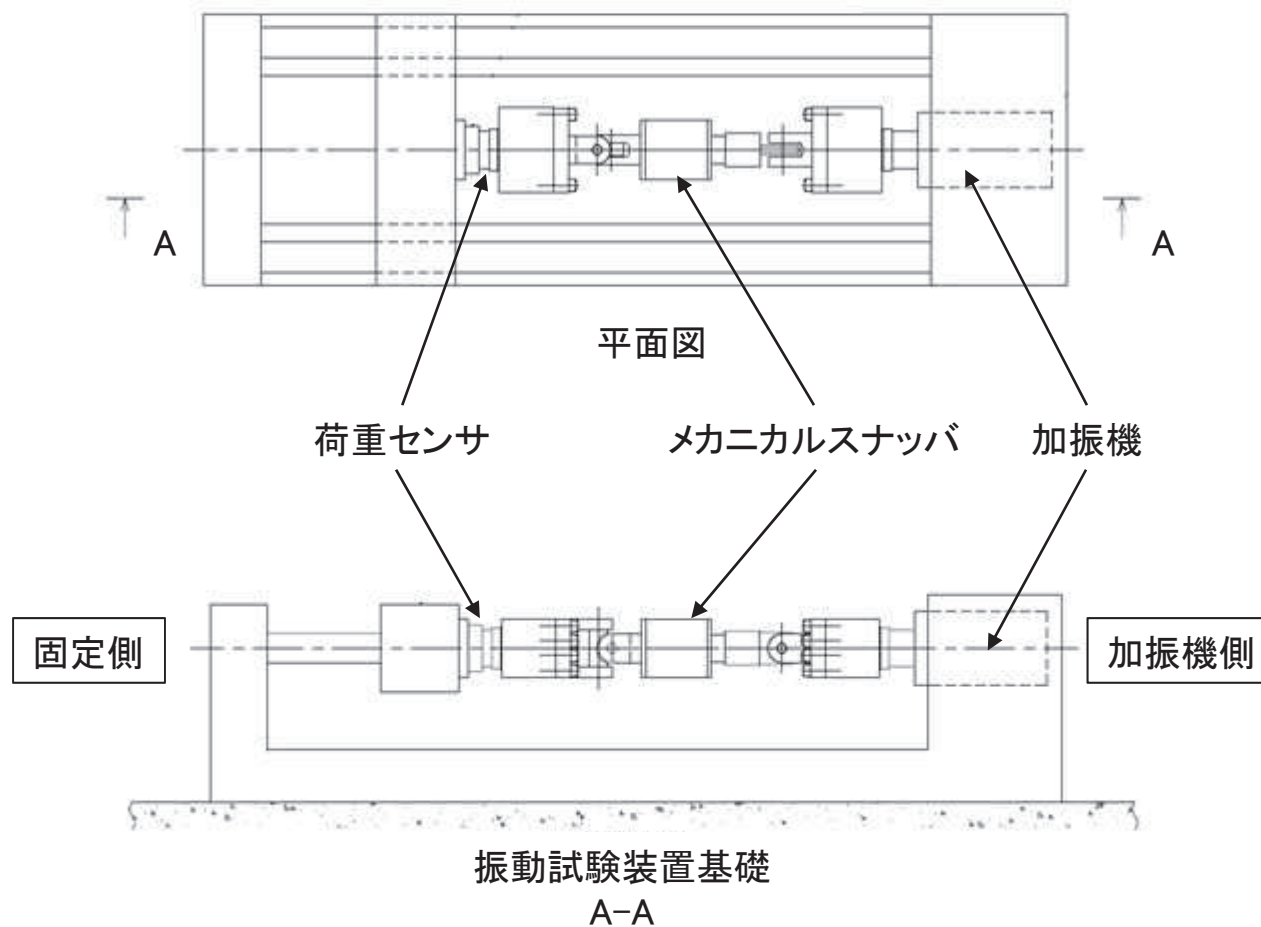
分類	型式	最小裕度部品
A	SMS-01, SMS-03	六角ボルト
B	SMS-06, SMS-3* , SMS-16	ボールネジ
C	SMS-1	コネクティングチューブ
D	SMS-6	ベアリングナット
E	SMS-10 SMS-25, SMS-40, SMS-60	ダイレクトアタッチブラケット(ピン), ユニバーサルブラケット(ピン)

* :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。

別紙2 電共研での知見について:(5)試験方法(1/2)

➤ 振動試験装置の概要

加振機からメカニカルスナツバの軸方向の加振力を付加し、荷重センサで荷重・変位を記録する。

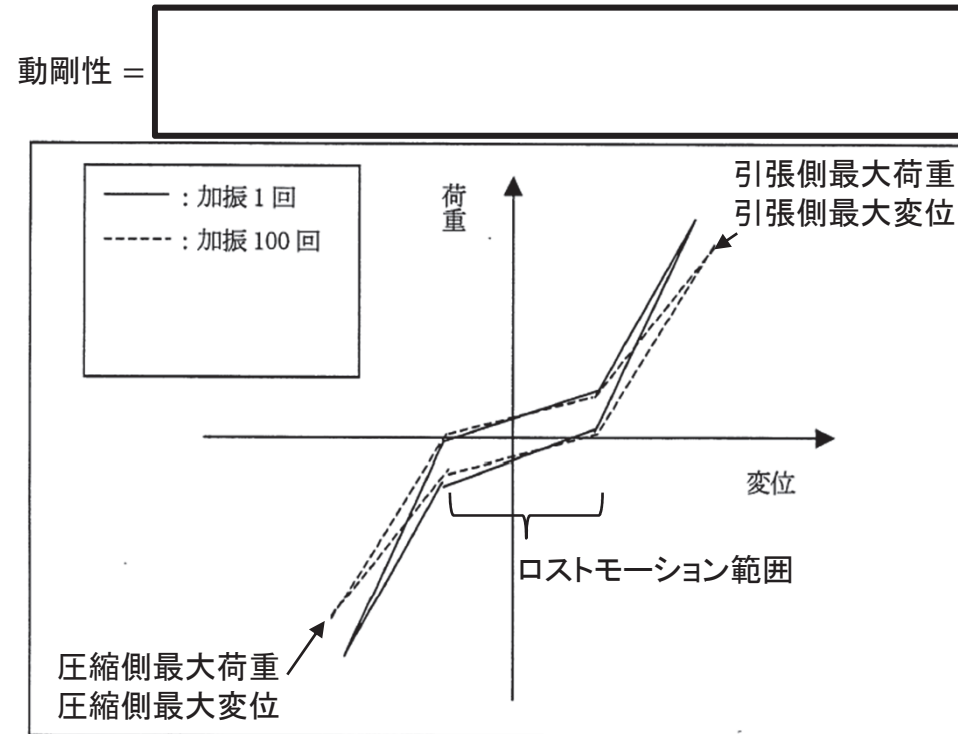


振動試験装置の概要

別紙2 電共研での知見について:(5)試験方法(2/2)

➤ 動剛性の確認方法

振動試験から得られた荷重・変位特性(下図参照)から動剛性を算出し, 必要動剛性が確保されているかを確認した。



メカニカルスナッパの荷重・変位特性イメージ

別紙2 電共研での知見について:(6)試験結果

- 機能維持評価及び座屈評価に係る試験前の予想耐力に対して、試験結果から確認された耐力確認荷重は、以下のとおり。
- 耐力確認荷重とは、破損又は機能喪失が確認される前の試験条件(機能維持されている状態)における最大荷重である。

試験結果のまとめ表

試験項目	分類	試験体	試験前の評価			試験結果		
			予想耐力(kN)	最小裕度部品	破損応力	耐力確認荷重(kN)*1	破損又は機能喪失箇所	破損形態*2
機能維持	A	SMS-03	17.6	六角ボルト	引張	29.9	アンギュラー玉軸受	(ガタ発生)
	C	SMS-1	53.9	コネクティングチューブ	せん断	56.2	アンギュラー玉軸受	(回転不良)
	B	SMS-3*3	88.2	ユニバーサルブラケット	せん断	101.1	イーヤ側球面軸受	割れ
						113.5	イーヤ側球面軸受	割れ
							ベアリング押え等	(変形)
			94.2	イーヤ側球面軸受	割れ			
D	SMS-6	182.4	ベアリングナット	せん断	190.5	ベアリング押え	(変形)	
E	SMS-10	274.5	ユニバーサルブラケット ダイレクトアタッチブラケット	せん断	244.7	アンギュラー玉軸受	(亀裂)	
座屈	A	SMS-03	51.4	メカニカルスナッパの全長		57.8	コネクティングチューブ	曲がり

*1 引張方向及び圧縮方向の振動試験における最大荷重。

*2 括弧書きは、分解結果により破損形態を確認したものの。

*3 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。

別紙2 電共研での知見について:(7)限界耐力評価法の見直し要否検討

- 評価対象部品の予想耐力(試験前)は、「JEAG4601に基づく許容限界, 各部材の構造から選定した応力算出式及び部材の断面積を用いて机上計算により算出した各部材の耐力値」, 「部品供給メーカーの推奨値」により見積もっていた。
- 評価対象部品の耐力確認荷重(試験結果)と予想耐力の大小関係を踏まえ, 限界耐力評価法の見直し要否を検討し, 試験結果を踏まえた限界耐力評価法とした。

限界耐力評価法を見直した構成部品

構成部品	予想耐力と耐力確認荷重の関係	予想耐力の評価方法	試験結果を踏まえ耐力評価法を見直し
六角ボルト	予想耐力 < 耐力確認荷重	$0.7 \times (\text{許容引張応力}) \times (\text{有効断面積})$	試験結果に基づく係数 $0.8 \times (\text{引張強さ}) \times (\text{有効断面積})$
ボールネジ	予想耐力 < 耐力確認荷重	$0.7 \times (\text{許容引張応力}) \times (\text{キー溝内接円断面積})$	試験結果に基づく係数 $0.7 \times (\text{引張強さ}) \times \min.[(\text{シャフト断面積} - \text{キー溝面積}), (\text{谷径断面積})]$
ピン	予想耐力 < 耐力確認荷重	$(\text{許容せん断応力}) \times (\text{せん断断面積})$	試験結果に基づく係数 $0.7 \times (\text{引張強さ} / \sqrt{3}) \times (\text{断面積})$
ベアリング押え	予想耐力 > 耐力確認荷重	$(\text{許容曲げ応力}) \times (\text{断面係数})$	試験結果に基づく係数 $0.9 \times$ 周辺固定の円板モデルで計算される実耐力(材料試験結果による引張強さ)
球面軸受	予想耐力 > 耐力確認荷重	軸受メーカー推奨値	試験結果に基づく係数 $0.8 \times$ 球面軸受に差し込むピンの耐力
座屈	予想耐力 > 耐力確認結果	理論計算値	試験結果に基づく 0.7 倍 \times 座屈限界耐力
アンギュラー玉軸受	機能部品のため, 試験前予測なし	—	試験結果に基づく係数 $16 \times$ 軸受メーカーが定める標準スラスト荷重(参考: 定格荷重に対しても係数は最大約 7 を設定)

別紙2 電共研での知見について：(8)限界耐力評価法による限界耐力値

- 電共研における試験結果を踏まえて策定された限界耐力評価法に基づく、機能部品を含むメカニカルスナツバの機能維持が確認できる限界耐力値は、以下のとおり。
- なお、限界耐力値は、耐力確認荷重(試験結果)に対して余裕がある。

限界耐力値(SMS型の例)

型式	定格荷重 (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	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	56.2	53.9	コネクティングチューブ	5.39
SMS-3	30	94.2	75.3	アンギュラー玉軸受	2.51
SMS-6	60	190.5	170.6	ベアリング押え	2.84
SMS-10	100	244.7	224.5	ベアリング押え	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

別紙3 今回工認の詳細評価にて追加した評価部位, 評価項目(1/2)

➤ 今回工認の詳細評価において追加した評価部位, 評価項目を以下に示す。

SMS型の評価部位・評価項目

品番	部品	評価	詳細評価	既工認 (今回工認の 一次評価)
①	ダイレクトアタッチブラケット	引張	○	○
		せん断	○	○
		支圧	○	○
		溶接部せん断	○	—
②	ジャンクションコラムアダプタ	ボルト引張	○	○
		溶接部引張	○	○
		コラム引張	○	—
③	ロードコラム	引張	○	○
		ねじ部せん断 (部品全体)	○	—
		ねじ部せん断 (ねじ山)	○	—
④	クランプ ^{*1}	引張	—	—
		せん断	—	—
		支圧	—	—
⑤	ピン	ピンせん断	○	○
⑥	コネクティングチューブ	チューブ圧縮	○	○
		チューブ引張	○	—
		溶接部引張	○	—
		溶接部せん断	○	—
⑦-1	ベアリングケース	引張	○	○
		せん断	○	○
		支圧	○	○
⑦-2	ベアリング押え	せん断	○	○
		支圧	○	○
		曲げ	○	—
⑦-3	六角ボルト	引張	○	○
⑧	イーヤ	引張	○	○
		せん断	○	○
		支圧	○	○
		ねじ部引張	○	—
		ねじ部せん断 (部品全体)	○	—
		ねじ部せん断 (ねじ山)	○	—
		—	—	—
⑨	ユニバーサルボックス	引張	○	○
		せん断	○	○
		支圧	○	○
⑩	コネクティングチューブイーヤ部 ^{*2}	引張	—	—
		せん断	—	—
		支圧	—	—
		溶接部せん断	—	—
⑪	ユニバーサルブラケット	引張	○	○
		せん断	○	○
		支圧	○	○
⑫	ベアリングナット	ねじ部せん断①	○	—
		ねじ部せん断②	○	—
⑬	ボールネジ	引張	○	—
—	全長	座屈	○	—

*1: メカニカルスナツパ本体の部品ではないため, 評価対象外。
付属部品として個別に応力評価を実施している。

*2: ①ダイレクトアタッチブラケットと形状, 評価式が同じため, 評価を省略。

別紙3 今回工認の詳細評価にて追加した評価部位, 評価項目(2/2)

NMB*1型の評価部位・評価項目

品番	部品	評価	詳細評価	既工認 (今回工認の 一次評価)
①-1	リアブラケット(イヤ)	穴部引張	○	○
		穴部せん断	○	○
		穴部支圧	○	○
①-2	リアブラケット(溶接部)	せん断	○	○
①-3	リアブラケット(フランジ)	曲げ	○	○
②	セットボルト	ボルトの引張	○	○
③-1	ケース	引張	○	○
③-2	ケース溶接部	せん断	○	○
④	ベアリングシート	引張	○	○
		せん断	○	○
		支圧	○	○
⑤	ベアリングボックス	引張	○	○
		せん断	○	○
		支圧	○	○
⑥	スリーブ	せん断	○	○
		支圧	○	○
⑦	カラー	せん断	○	○
		支圧	○	○
⑧	ロードシリンダ	引張	○	○
		座屈(圧縮)	○	—
⑨	ターンバックル	ロッドの引張	○	○
⑩	エンドプラグ	引張	○	○
		せん断	○	○
		支圧	○	○

品番	部品	評価	詳細評価	既工認 (今回工認の 一次評価)
⑪	延長パイプキット及び溶接部	引張	○	—
		せん断	○	—
⑫-1	延長パイプブラケット(イヤ穴部)	引張	○	—
		せん断	○	—
		支圧	○	—
⑫-2	延長パイプブラケット(溶接部)	せん断	○	—
⑫-3	延長パイプ	引張	○	—
⑬	クレビス(アイ) *2	引張	—	—
		せん断	—	—
		支圧	—	—
⑭	クレビス(本体) *2	曲げ	—	—
		引張	—	—
⑮	ピン	せん断	○	—
		曲げ	○	○
⑯	ボールねじ	引張	○	○
—	全長1(ストローク125mm考慮)	座屈	○	—
—	全長2(ストローク250mm考慮)	座屈	○	—

*1: NMBはメーカーの型式名称を示す。

*2: メカニカルスナッチ本体の部品ではないため、評価対象外。
付属部品として個別に応力評価を実施している。

別紙4 試験条件と女川2号機における設計仕様との整合確認

メカニカルスナッパの試験結果より得られた知見を女川2号機の評価に適用するに当たり、試験条件が女川2号の設計仕様と比較して妥当であることを確認した。

項目	電共研試験条件	女川2号機 設計仕様	比較結果									
加振波	正弦波	ランダム波	ランダム波では最大振幅の負荷は限定的だが、正弦波では最大振幅が繰返し負荷されるため、試験側が保守的な設定である。									
加振振動数	9Hz	10Hz前後	同様									
加振時間	10秒程度	数十秒から 数百秒	継続時間は試験側が短い、正弦波入力により試験側の負荷が保守的な設定である。									
振動試験の判定基準	動剛性	動剛性	相違なし(具体的には以下基準を満足すること)									
			<table border="1"> <tr> <td>定格容量</td> <td>3kN</td> <td>10kN</td> <td>30kN</td> <td>60kN</td> <td>100kN</td> </tr> <tr> <td>動ばね定数</td> <td colspan="5" style="border: 2px solid black;"></td> </tr> </table>	定格容量	3kN	10kN	30kN	60kN	100kN	動ばね定数		
定格容量	3kN	10kN	30kN	60kN	100kN							
動ばね定数												
加振開始位置	ストローク 1/2 (中央)	ストローク 1/2 (中央)	相違なし。加振はストローク1/2の位置で開始する。									
低速走行試験の試験速度	2.1(+0,-0.5) mm/sec	10 ⁻³ から10 ⁻² mm/sec程度	試験側の速度が大きく、保守的な設定である。									
低速走行試験の判定基準	抵抗値	抵抗値	相違なし(具体的には以下条件を満足すること)									
			<table border="1"> <tr> <td>定格容量</td> <td>3kN</td> <td>10kN</td> <td>30kN</td> <td>60kN</td> <td>100kN</td> </tr> <tr> <td>抵抗力</td> <td colspan="5" style="border: 2px solid black;"></td> </tr> </table>	定格容量	3kN	10kN	30kN	60kN	100kN	抵抗力		
定格容量	3kN	10kN	30kN	60kN	100kN							
抵抗力												

別紙5 JNESの耐力評価手法に係る研究について:(1)電共研との対比

- JNESでは、平成21～22年度にメカニカルスナッパの耐力評価手法構築を目的とした研究が実施されている。
- 基本的な検討の手順は、電共研と同等であり、結果として得られた耐力値も同等のものであることから、電共研による知見が妥当性であると判断した。

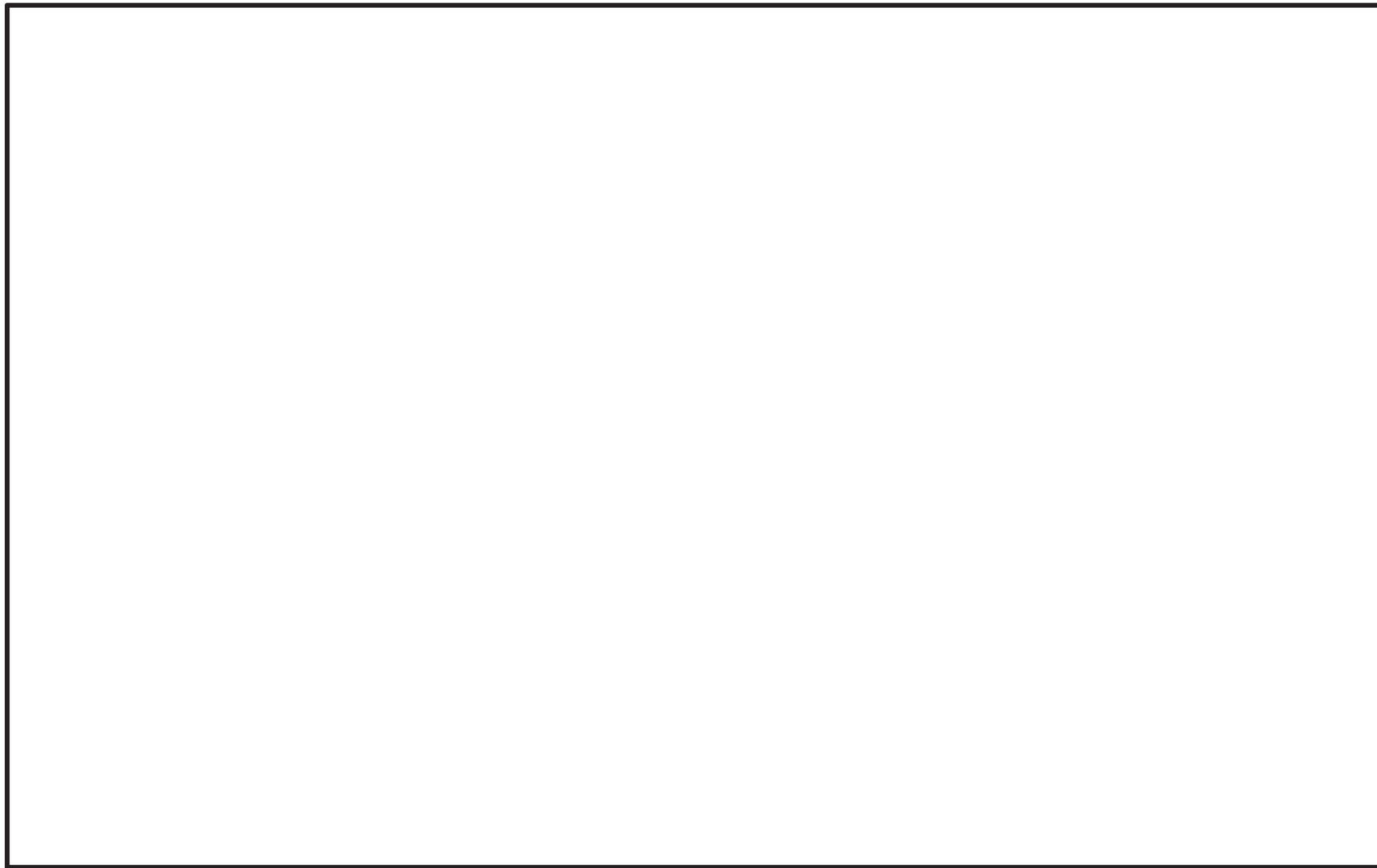
電共研とJNES研究との対比結果 (SMS型の例)

型式	定格容量 [kN]	電共研				JNES研究				JNES耐力確認荷重／電共研限界耐力値	JNES耐力値／電共研限界耐力値
		耐力確認荷重 [kN]	限界耐力値 [kN]	最小裕度部品	最小裕度部品の分類	耐力確認荷重 [kN]	耐力値 [kN]	最小裕度部品	最小裕度部品の分類		
SMS-01	1	—	19.0	六角ボルト	構造部材						
SMS-03	3	29.9	18.8	六角ボルト	構造部材						
SMS-06	6	—	16.8	ベアリング押え	構造部材						
SMS-1	10	56.2	53.9	コネクティングチューブ	構造部材						
SMS-3	30	94.2	75.3*2	アンギュラー玉軸受	機能部品						
SMS-6	60	190.5	170.6	ベアリング押え	構造部材						
SMS-7.5	75	—	—	—	—						
SMS-10	100	244.7	224.5	ベアリング押え	構造部材						
SMS-16	160	—	344.2	ベアリング押え	構造部材						
SMS-25	250	—	490.3	ベアリング押え	構造部材						
SMS-40	400	—	941.4	コネクティングチューブ	構造部材						

別紙5 JNESの耐力評価手法に係る研究について:(2)電共研との相違

- JNES研究の耐力値が電共研の限界耐力値を下回った要因を整理した結果、以下のとおり、電共研の限界耐力値を否定するものではないことを確認した。

型式	定格荷重(kN)	電共研		JNES研究		JNES/ 電共研	差異理由
		限界耐力値(kN)	最小裕度部品	耐力値(kN)	最小裕度部品		
SMS-01	1	19.0	六角ボルト				
SMS-03	3	18.8	六角ボルト				
SMS-1	10	53.9	コネクティングチューブ				
SMS-3	30	75.3	アンギュラー玉軸受				



別紙6 今回工認の詳細評価結果(1) 構造部材の強度評価(1/4)

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Sd			基準地震動Ss		
				地震荷重 [kN]	発生応力 [MPa]	許容応力 $\text{III}_A\text{S}[\text{MPa}]$	地震荷重 [kN]	発生応力 [MPa]	許容応力 $\text{IV}_A\text{S}[\text{MPa}]$
MS-001	MS-001-026S	NMB-075	リアブラケット(フランジ)	76.6	144		125.5	235	
MS-001	MS-001-109S	SMS-10	ベアリング押え	103.2	194		136.6	257	
MS-001	MS-001-426S	NMB-075	リアブラケット(フランジ)	76.6	144		112.1	210	
MS-001	MS-001-919S	SMS-6	コネクティングチューブ	56.9	38		96.5	64	
MS-002	MS-002-921S	SMS-10	ベアリング押え	100.3	189		158.9	298	
MS-003	MS-003-026S	SMS-10	ベアリング押え	107.1	201		165.5	311	
MS-003	MS-003-921SB	SMS-10	ベアリング押え	133.7	251		197	370	
MS-004	MS-004-336S	SMS-10	ベアリング押え	135.1	254		186.7	351	
MS-004	MS-004-430S	SMS-10	ベアリング押え	109.6	206		137.9	259	
MS-004	MS-004-935S	SMS-6	コネクティングチューブ	61.3	41		85.4	57	
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	

別紙6 今回工認の詳細評価結果(1) 構造部材の強度評価(2/4)

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Sd			基準地震動Ss		
				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-001-316S	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	
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-001-912S	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	
PLR-002	PLR-002-215S	SMS-10	ベアリング押え	109.4	206		186.7	351	

別紙6 今回工認の詳細評価結果(1) 構造部材の強度評価(3/4)

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Sd			基準地震動Ss		
				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-002-307S	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	60.8	40		96.3	64	
RHR-003	RHR-003-901SB	SMS-10	ベアリング押え	84.9	160		153.4	288	
RHR-009	RHR-009-087SA	SMS-1	コネクティングチューブ	9.7	17		17.9	31	
RHR-009	RHR-009-087SB	SMS-1	コネクティングチューブ	9.7	17		18.0	31	
RHR-010	RHR-010-910S	SMS-6	コネクティングチューブ	60.2	40		104.3	69	
RHR-010	RHR-010-911S	SMS-1	コネクティングチューブ	11.7	21		13.2	23	
RHR-011	RHR-011-009S	SMS-10	ベアリング押え	94.8	178		158.4	297	
RHR-011	RHR-011-047S	SMS-6	コネクティングチューブ	60.2	40		110.4	73	
RHR-011	RHR-011-088S	SMS-6	コネクティングチューブ	50.0	33		93.4	62	

別紙6 今回工認の詳細評価結果(1) 構造部材の強度評価(4/4)

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Sd			基準地震動Ss		
				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-011	RHR-011-089S	NMB-030	リアブラケット(フランジ)	28.6	135		50.0	236	
HPCS-001	HPCS-001-035S	SMS-10	ベアリング押え	87.1	164		159.6	300	
HPCS-003	HPCS-003-102S	SMS-6	コネクティングチューブ	58.1	39		91.8	61	
HPCS-003	HPCS-003-907S	SMS-7.5	コネクティングチューブ	77.8	52		119.3	79	
RCIC-004	RCIC-004-045S	SMS-06	ベアリング押え	5.6	140		10.5	263	

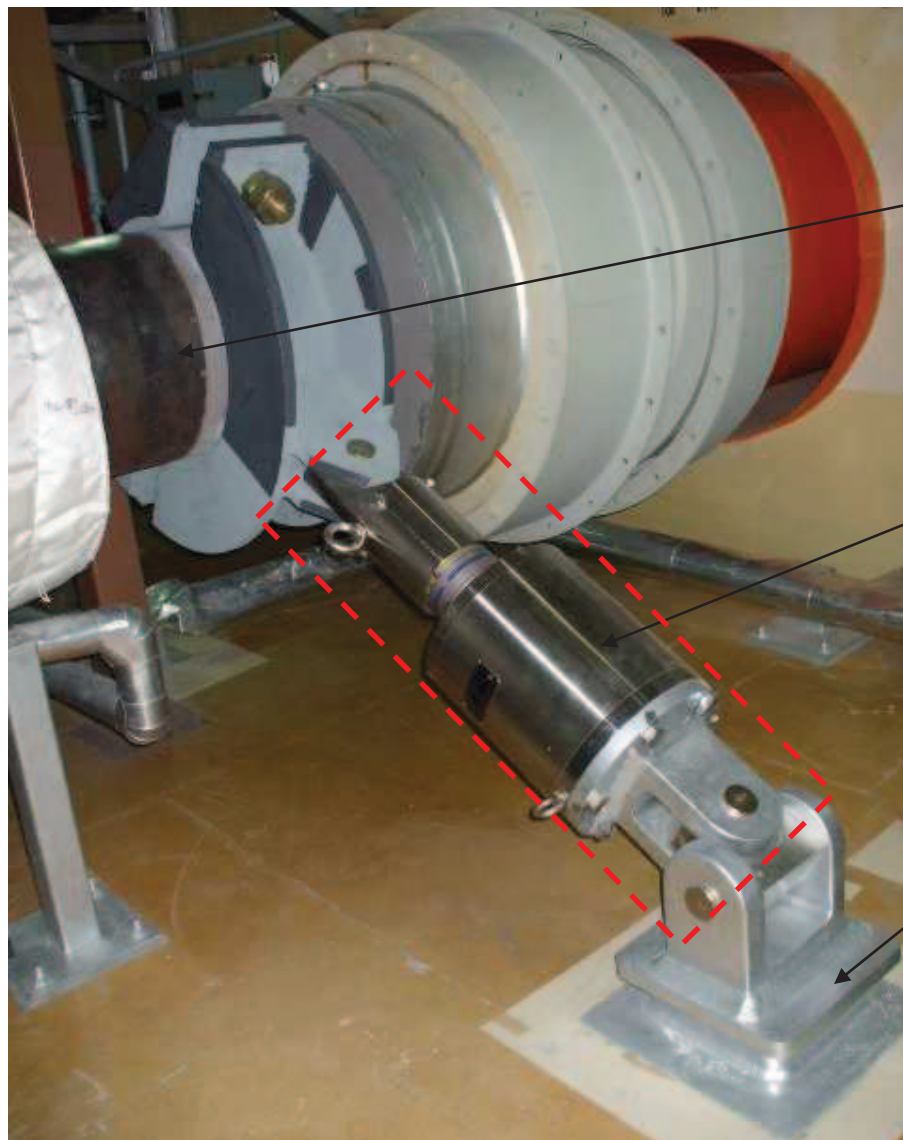
別紙6 今回工認の詳細評価結果(2) 機能部品を含む機能確認(1/2)

配管モデル名	支持点番号	型式	地震荷重[kN]		電共研 限界耐力値 [kN]
			弾性設計用地震 動Sd	基準地震動 Ss	
MS-001	MS-001-026S	NMB-075	76.6	125.5	169.7
MS-001	MS-001-109S	SMS-10	103.2	136.6	224.5
MS-001	MS-001-426S	NMB-075	76.6	112.1	169.7
MS-001	MS-001-919S	SMS-6	56.9	96.5	170.6
MS-002	MS-002-921S	SMS-10	100.3	158.9	224.5
MS-003	MS-003-026S	SMS-10	107.1	165.5	224.5
MS-003	MS-003-921SB	SMS-10	133.7	197.0	224.5
MS-004	MS-004-336S	SMS-10	135.1	186.7	224.5
MS-004	MS-004-430S	SMS-10	109.6	137.9	224.5
MS-004	MS-004-935S	SMS-6	61.3	85.4	170.6
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
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	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	224.5
PLR-001	PLR-001-912S	SMS-6	54.2	95.1	170.6
PLR-002	PLR-002-008S	SMS-10	117.4	187.1	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

別紙6 今回工認の詳細評価結果(2) 機能部品を含む機能確認(2/2)

配管モデル名	支持点番号	型式	地震荷重[kN]		電共研 限界耐力値 [kN]
			弾性設計用 地震動Sd	基準地震動 Ss	
PLR-002	PLR-002-111S	NMB-030	30.7	49.0	67.4
PLR-002	PLR-002-215S	SMS-10	109.4	186.7	224.5
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	75.3
PLR-002	PLR-002-406SB	SMS-3	37.8	67.3	75.3
RHR-001	RHR-001-903S	SMS-6	60.8	96.3	170.6
RHR-003	RHR-003-901SB	SMS-10	84.9	153.4	224.5
RHR-009	RHR-009-087SA	SMS-1	9.7	17.9	53.9
RHR-009	RHR-009-087SB	SMS-1	9.7	18.0	53.9
RHR-010	RHR-010-910S	SMS-6	60.2	104.3	170.6
RHR-010	RHR-010-911S	SMS-1	11.7	13.2	53.9
RHR-011	RHR-011-009S	SMS-10	94.8	158.4	224.5
RHR-011	RHR-011-047S	SMS-6	60.2	110.4	170.6
RHR-011	RHR-011-088S	SMS-6	50.0	93.4	170.6
RHR-011	RHR-011-089S	NMB-030	28.6	50.0	67.4
HPCS-001	HPCS-001-035S	SMS-10	87.1	159.6	224.5
HPCS-003	HPCS-003-102S	SMS-6	58.1	91.8	170.6
HPCS-003	HPCS-003-907S	SMS-7.5	77.8	119.3	170.6
RCIC-004	RCIC-004-045S	SMS-06	5.6	10.5	16.8

別紙7 メカニカルスナツバの設置状況例



支持対象配管

メカニカルスナツバ

躯体側受台