

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 工事計画審査資料	
資料番号	O2-他-F-19-0026_改2
提出年月日	2021年 5月 14日

女川原子力発電所第2号機 メカニカルスナツバの評価手法の精緻化について

2021年5月14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 JNESの耐力評価手法の研究について

別紙5 今回工認の詳細評価結果

1. はじめに

- 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。

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

注記* : 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. メカニカルスナッパの構造

- 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。
- 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。

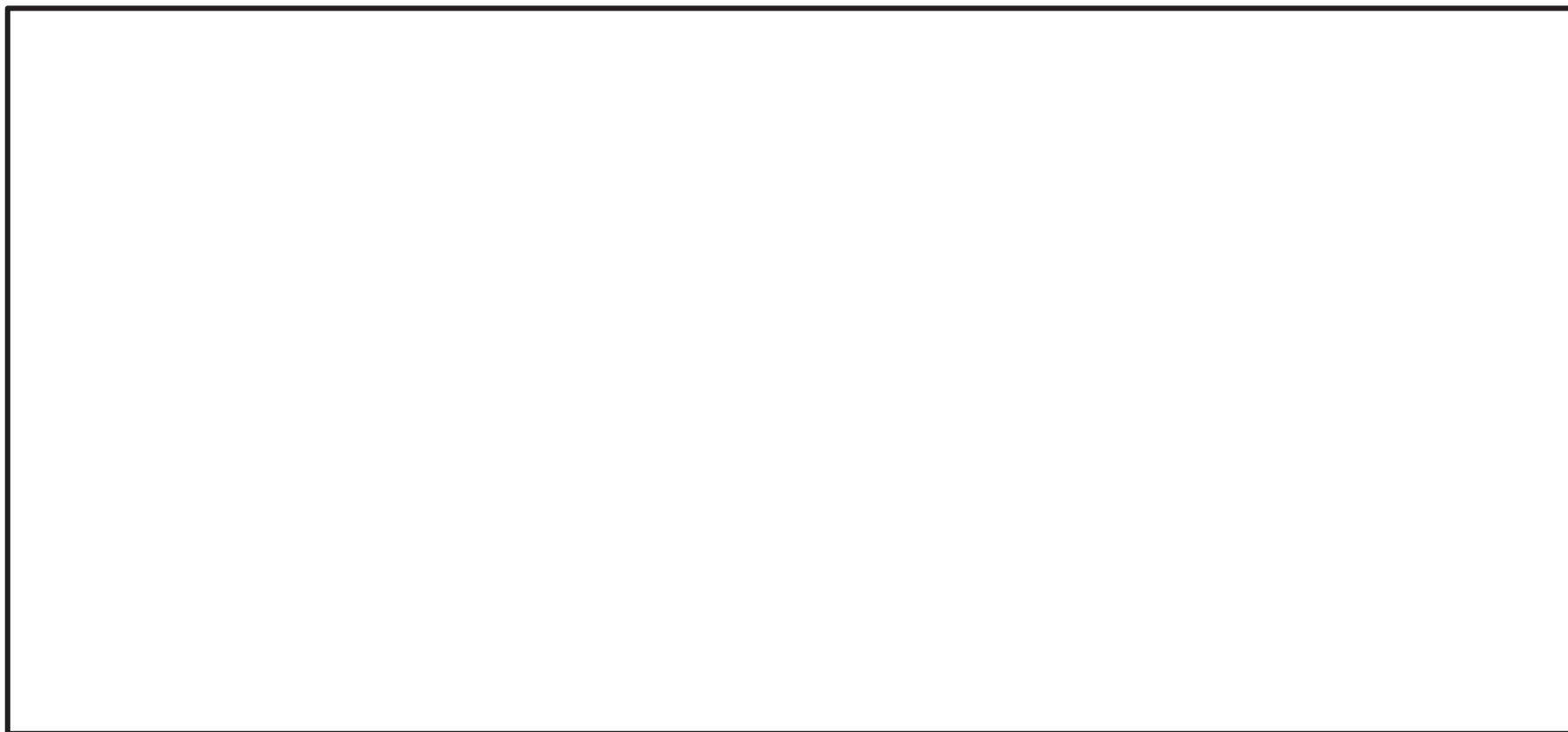


図1 メカニカルスナッパの構造概要及び作動原理

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他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*, 定格荷重の1.5倍)を満足することで耐震性が確認される。
- 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の1.5倍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及び地震時, 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。

注記*: 定格荷重については別紙1参照

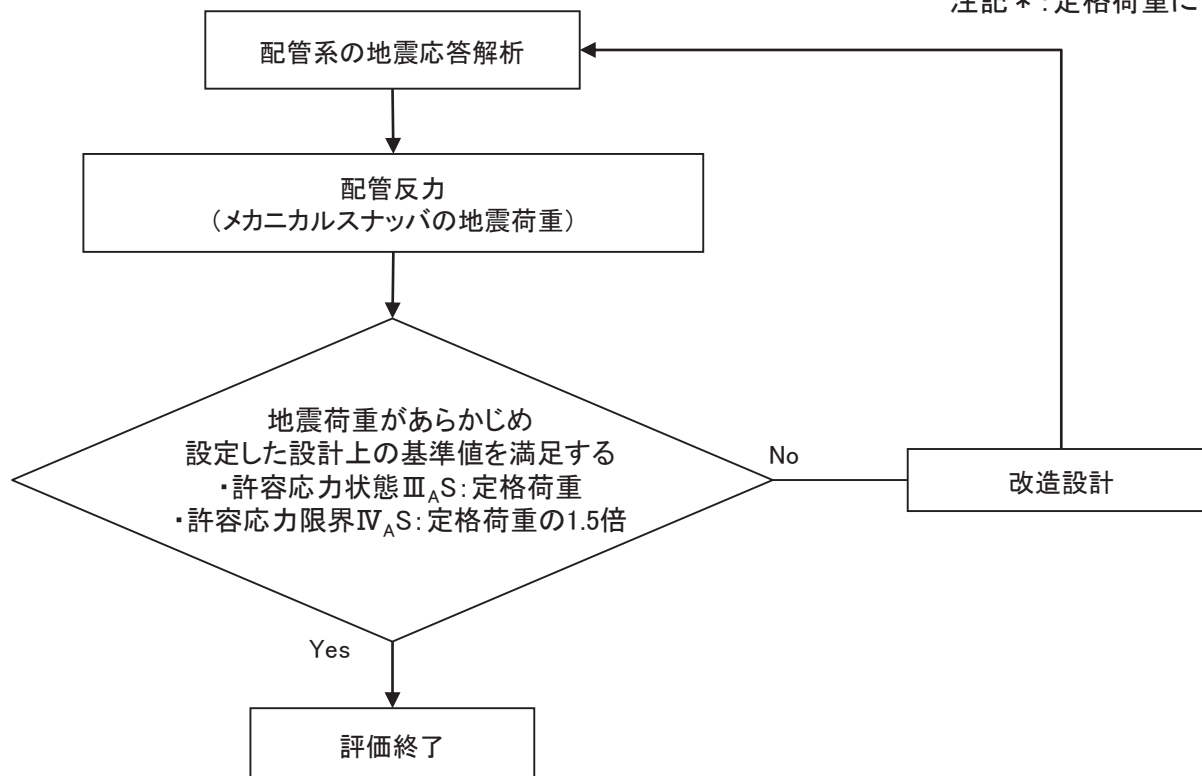
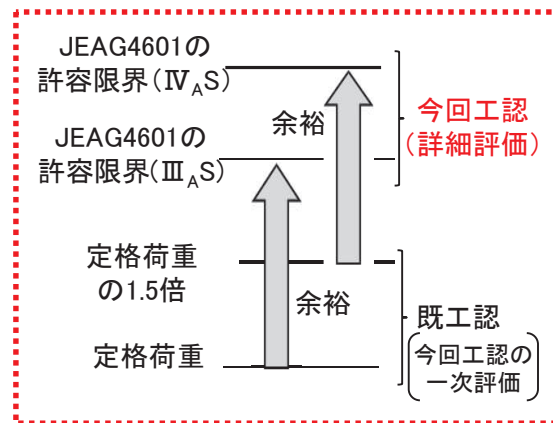
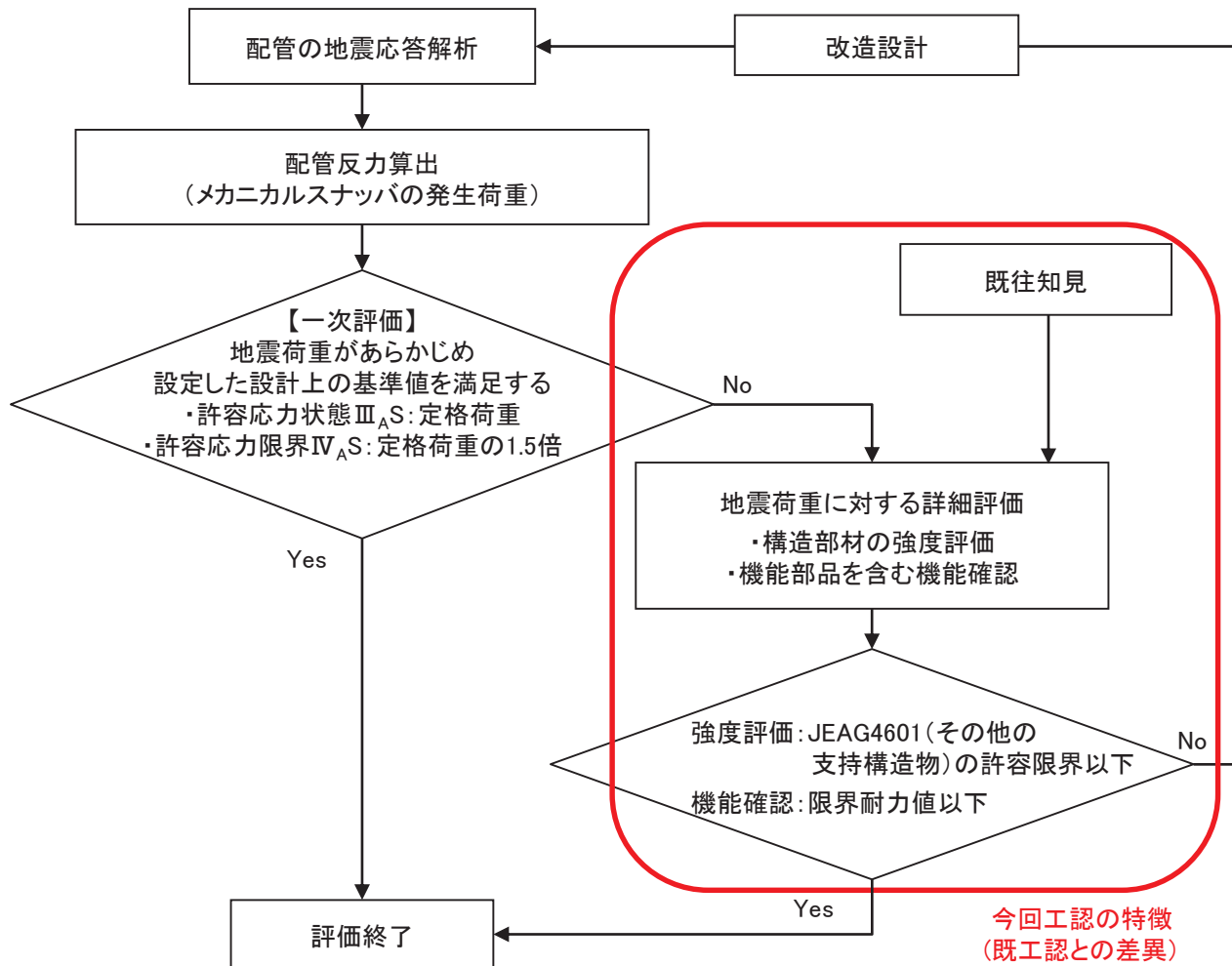


図2 既工認における評価手順

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。



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)

定格荷重の1.5倍 (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

図3 今回工認における評価手順

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。

注記*: 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」)

【構造部材の強度評価】

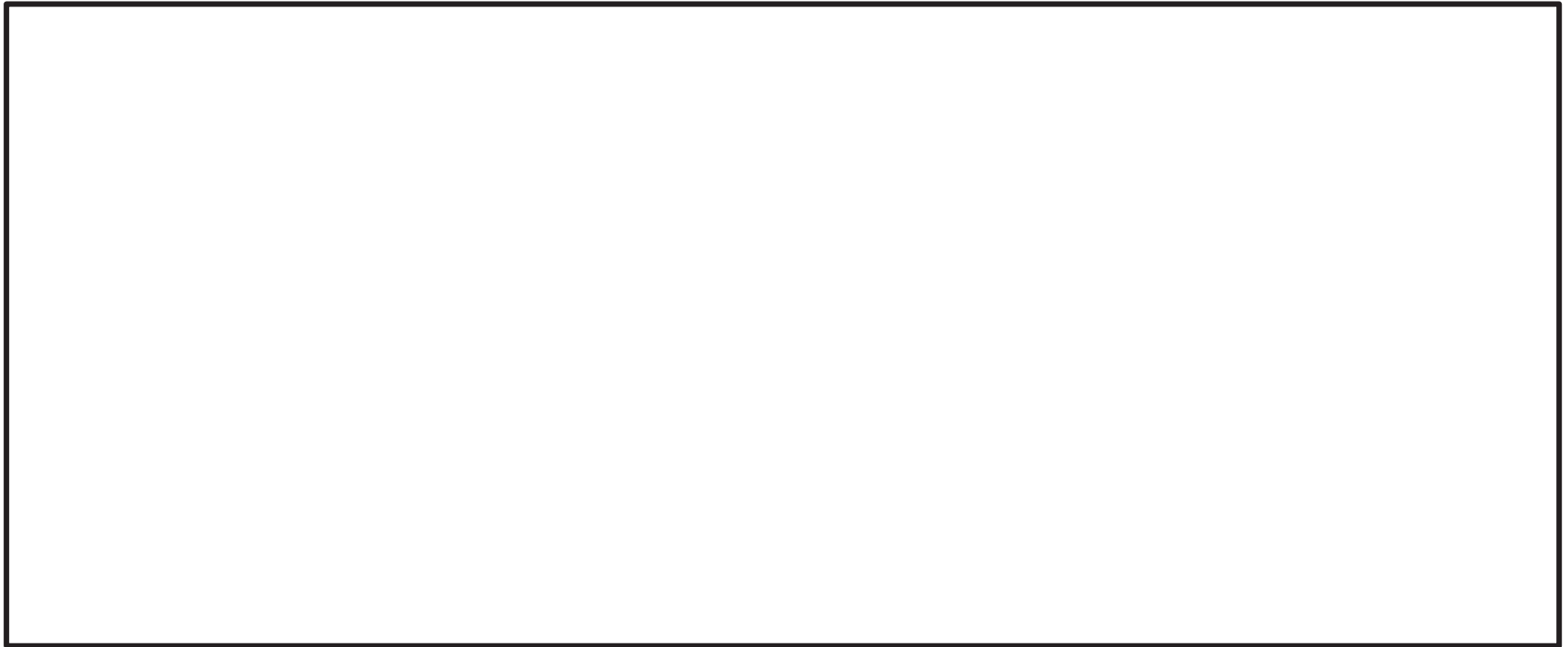
- ・メカニカルスナツバの地震荷重による各構造部材の発生応力を評価し、JEAG4601に規定の許容限界以下であることを確認する。
- ・メカニカルスナツバの地震荷重が定格荷重及び定格荷重の1.5倍を超える荷重範囲まで拡大することを踏まえ、電共研の知見に基づき荷重伝達経路を詳細に分析し、構造部材の評価部位、評価項目を追加した。

【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の1.5倍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。

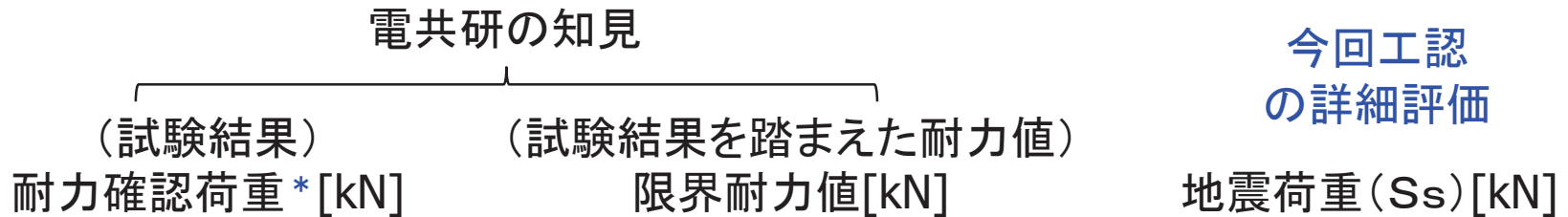


注: 枠内の部位, メカニカルスナツバ全体の座屈評価が追加項目

図4 メカニカルスナツバの荷重伝達経路

5.3 機能部品を含む機能確認

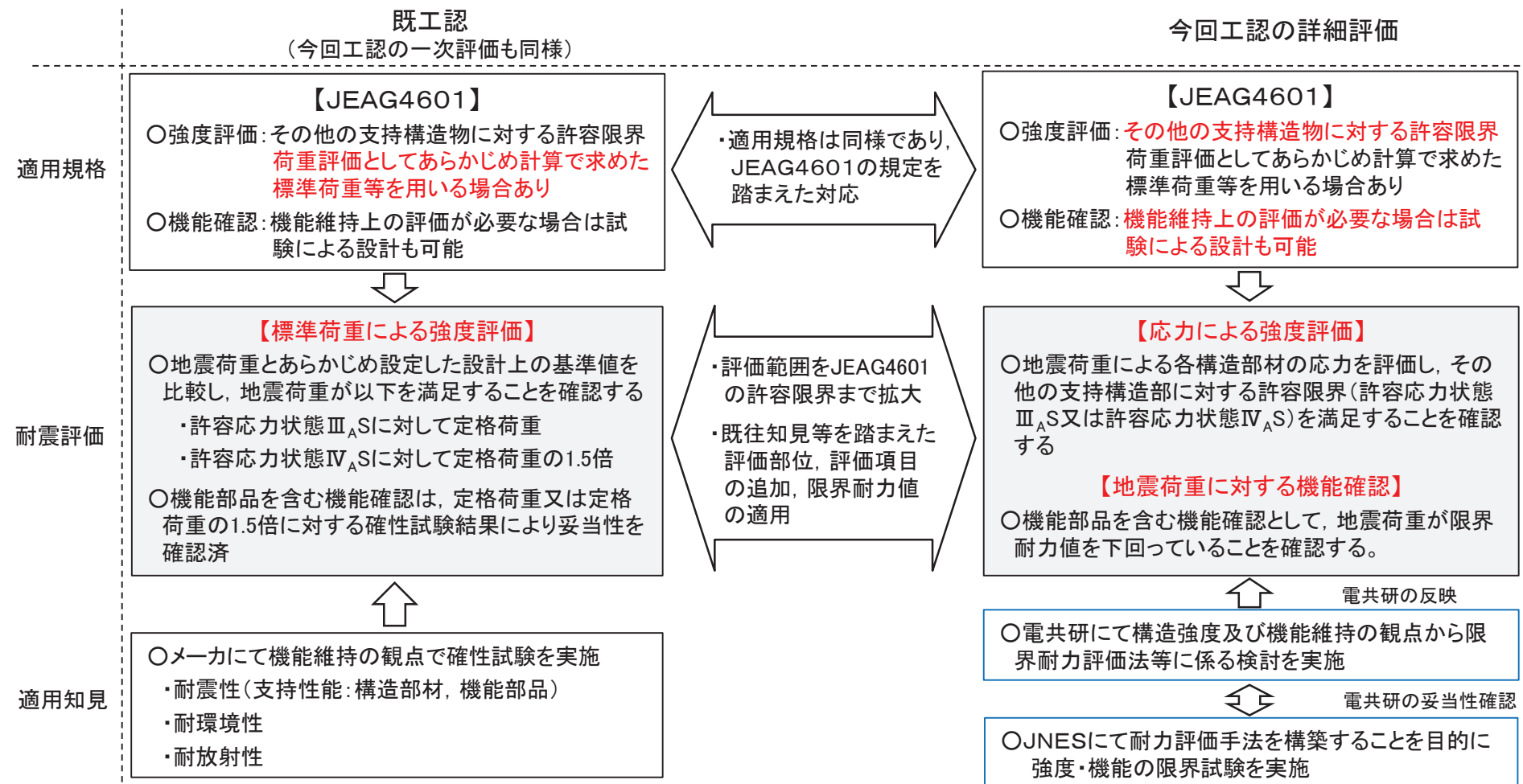
- 今回工認の詳細評価におけるメカニカルスナツバの機能部品を含む機能確認は、メカニカルスナツバの地震荷重が電共研での知見である限界耐力値を下回っていることを確認する。
- 限界耐力値とは、メカニカルスナツバに対する振動応答試験及び低速走行試験の試験結果を踏まえて、型式ごとに策定された荷重値であり、機能部品を含むメカニカルスナツバの機能が確認されたものである。



* 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

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号機の設計要求値と整合するため、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。
- 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*1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。

注記*1: [JNES 平成21～22年度 耐震機能限界試験\(スナバ\)に係る報告書\(以下、「JNES」\)](#)

試験条件の適用性確認結果(例)

--

電共研とJNESとの限界耐力値比較*2(例)

型式	電共研	JNES	JNES/ 電共研

注記*2: JNESの耐力評価手法に係る研究と電共研との詳細比較については別紙4参照

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の1.5倍)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5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の1.5倍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の1.5倍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の1.5倍を適用してきた。

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倍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場合でも, 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。

注記*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状態で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)。

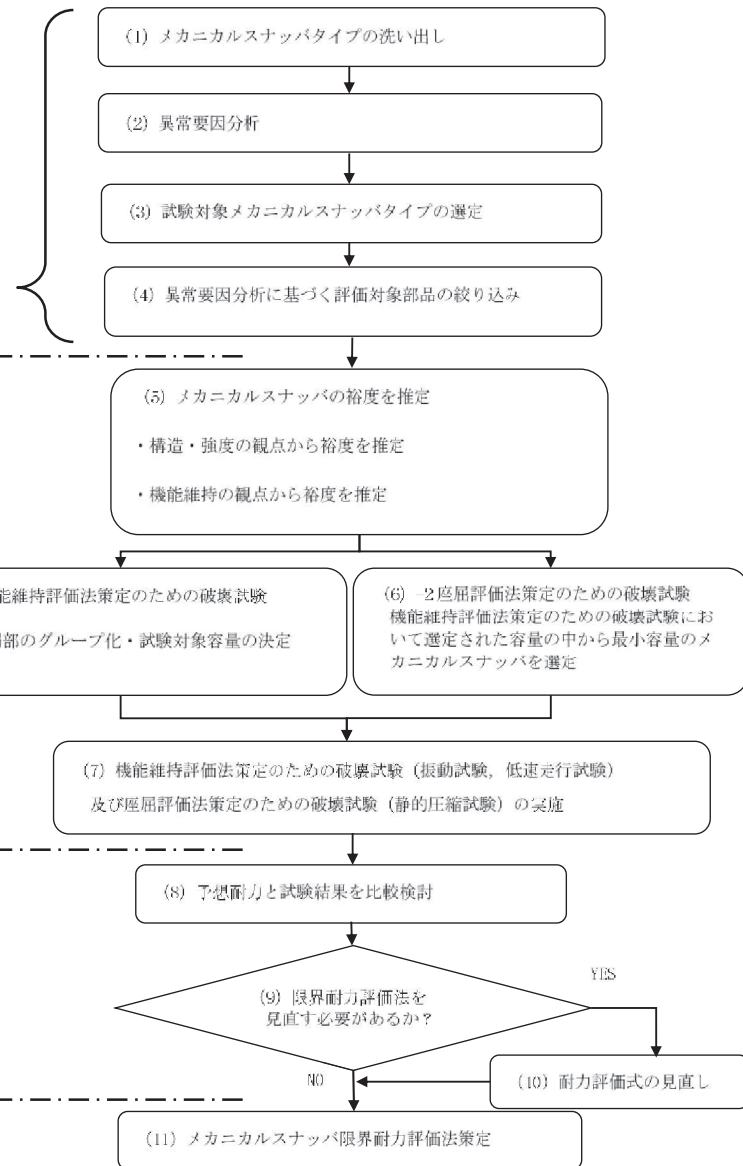
a. 異常要因分析による評価対象部品の選定

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

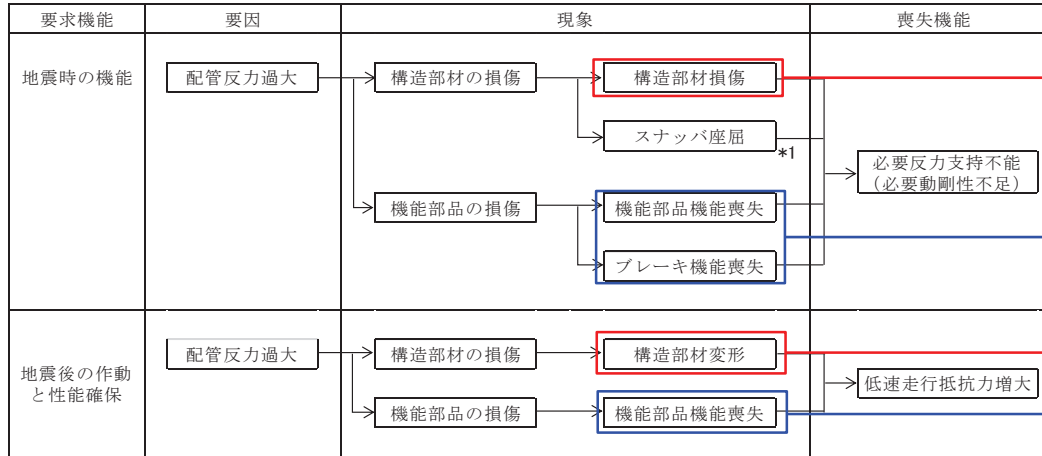
d. 限界耐力評価手法の策定



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。



注記 * 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

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어링ケース	○	-
⑦-2 ベ어링押え	○	-
⑦-3 六角ボルト	○	-
⑧イーヤ	○	-
⑨ユニバーサルボックス	○	-
⑩ユニバーサルブラケット	○	-
⑫ベ어링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	-	○

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。

注記 * 2: ボールネジは機能部品だが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		
B		
C		
D		
E		

別紙2 電共研での知見について:(5)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) ^{*3}	破損又は機能喪失箇所	破損形態 ^{*1}
機能維持	A							
	C							
	B							
	D							
	E							
座屈	A							

別紙2 電共研での知見について:(6)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、「設計許容応力×公称面積」,「部品供給メーカーの推奨値」等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	予測耐力と耐力確認荷重の関係	予測耐力の評価方法	試験結果を踏まえ耐力評価法を見直し

別紙2 電共研での知見について：(7)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				
SMS-03	3				
SMS-06	6				
SMS-1	10				
SMS-3	30				
SMS-6	60				
SMS-10	100				
SMS-16	160				
SMS-25	250				
SMS-40	400				

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)	○	—
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	○	○

品番	部品	評価	詳細評価	既工認 (今回工認の 一次評価)
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	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	○	—
⑭	全長	座屈	○	—

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	リアーブラケット(イヤ)	穴部引張	○	○
		穴部せん断	○	○
		穴部支圧	○	○
①-2	リアーブラケット(溶接部)	せん断	○	○
①-3	リアーブラケット(フランジ)	曲げ	○	○
②	セットボルト	ロッドの 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	延長パイプブラケット	引張	○	—
⑮	ピン	せん断	○	—
		曲げ	○	○
⑯	ボールネジ	引張	○	○
⑰	全長1(ストローク125mm考慮)	座屈	○	—
⑱	全長2(ストローク250mm考慮)	座屈	○	—

別紙4 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)

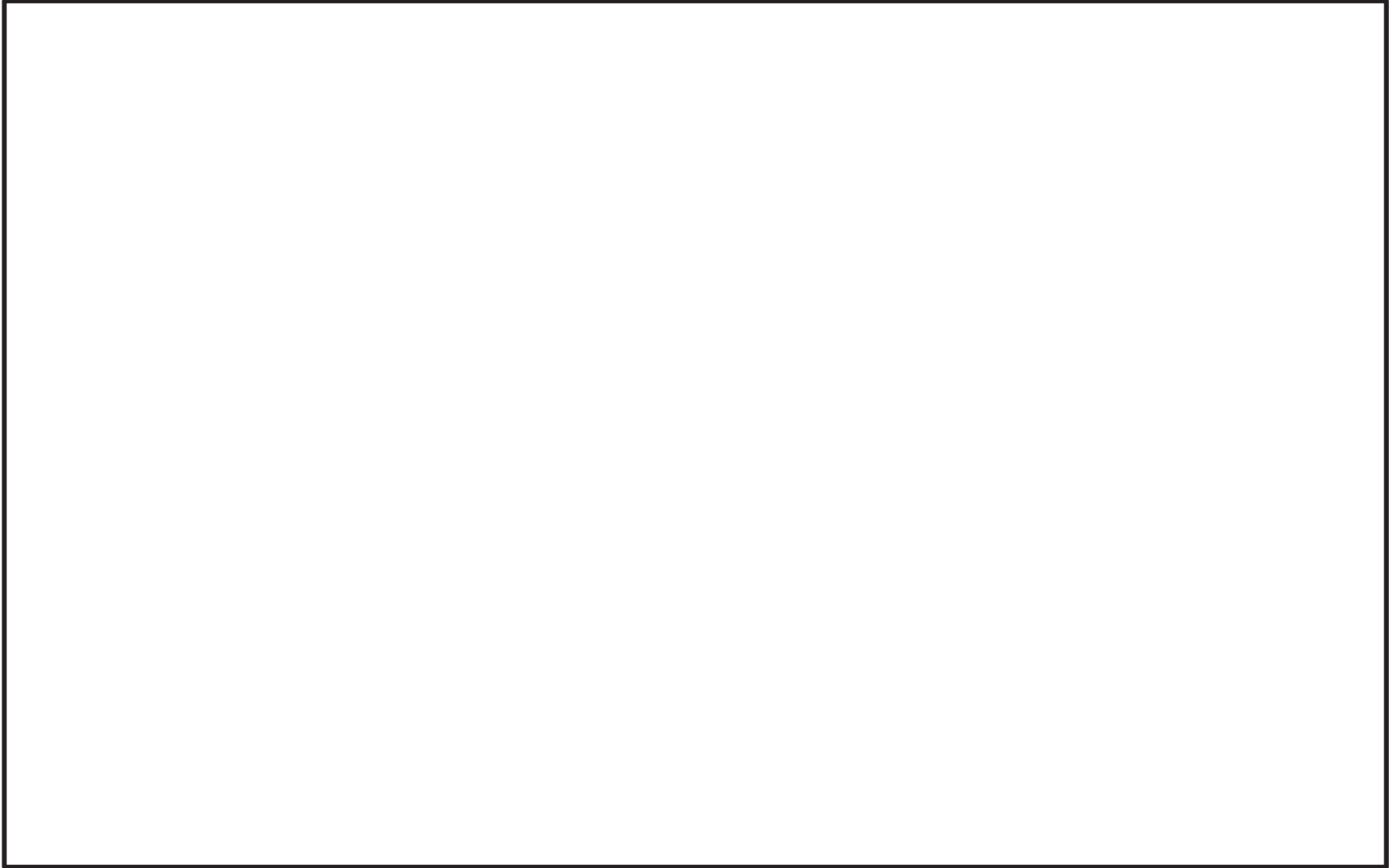
型式	定格容量 [kN]	電共研				JNES研究				JNES耐力確認荷重／電共研限界耐力値	JNES耐力値／電共研限界耐力値
		耐力確認荷重 [kN]	限界耐力値 [kN]	最小裕度部品	最小裕度部品の分類	耐力確認荷重 [kN]	耐力値 [kN]	最小裕度部品	最小裕度部品の分類		
SMS-01	1										
SMS-03	3										
SMS-06	6										
SMS-1	10										
SMS-3	30										
SMS-6	60										
SMS-7.5	75										
SMS-10	100										
SMS-16	160										
SMS-25	250										
SMS-40	400										

別紙4 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		

別紙4 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



別紙5 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 $III_A S$ [MPa]	地震荷重 [kN]	発生応力 [MPa]	許容応力 $IV_A S$ [MPa]

別紙5 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 $\text{III}_A S$ [MPa]	地震荷重 [kN]	発生応力 [MPa]	許容応力 $\text{IV}_A S$ [MPa]

別紙5 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]

別紙5 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 $\text{III}_A S$ [MPa]	地震荷重 [kN]	発生応力 [MPa]	許容応力 $\text{IV}_A S$ [MPa]

別紙5 今回工認の詳細評価結果(2) 機能確認を含む機能確認(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	

別紙5 今回工認の詳細評価結果(2) 機能確認を含む機能確認(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	