

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-19-0037_改0
提出年月日	2021年 7月 30日

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7月30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内容を説明する。

実施日	指摘事項
2021年6月1日 第979回審査会合	<ul style="list-style-type: none"> 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。



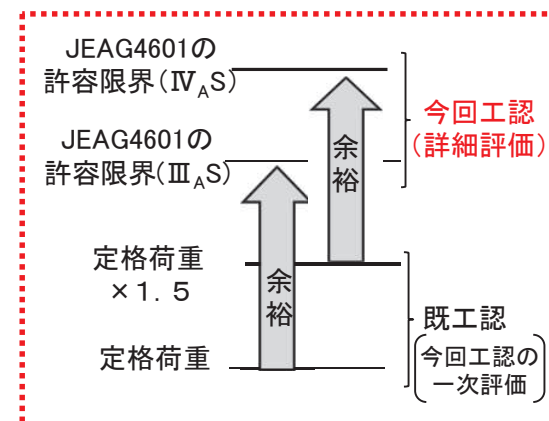
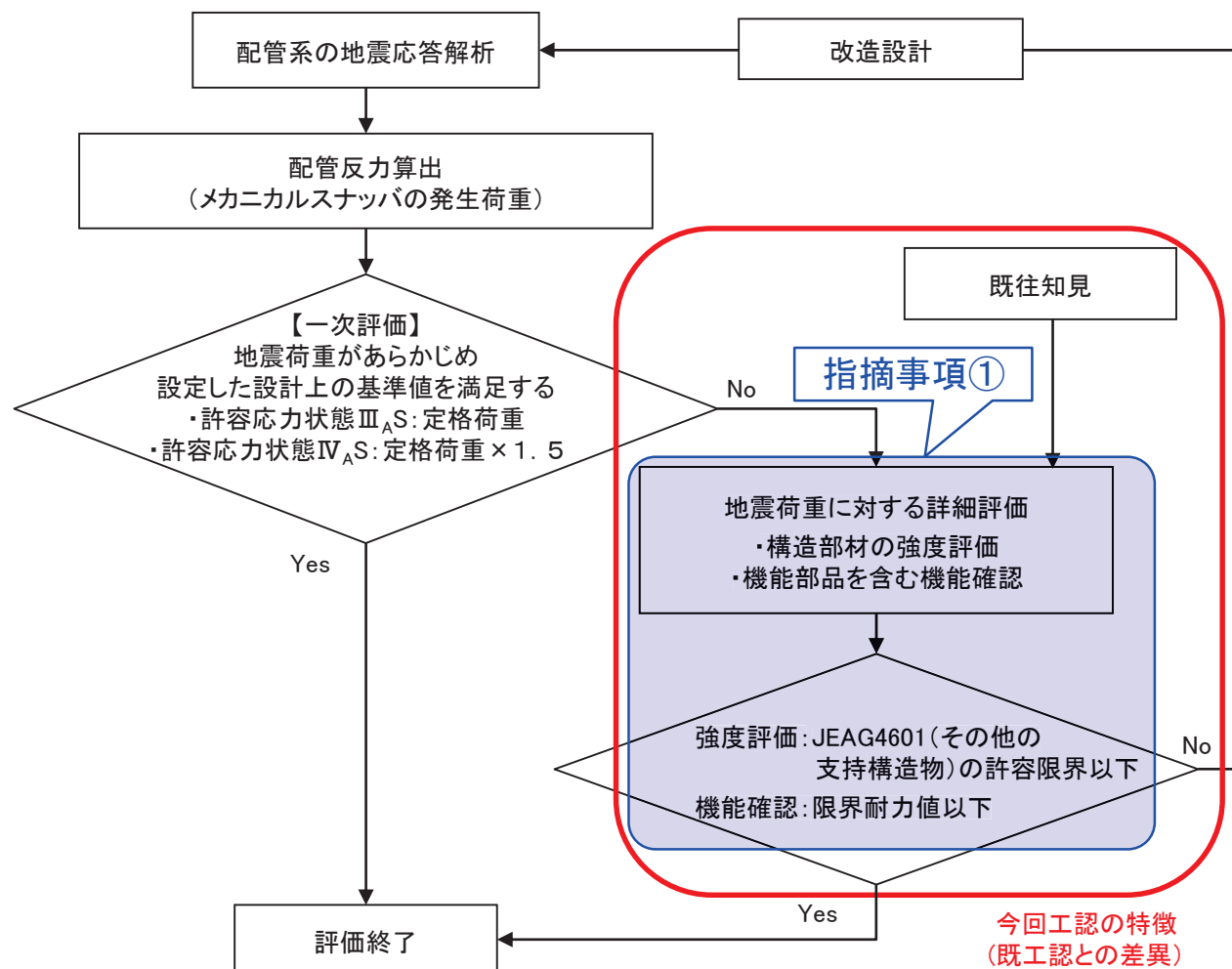
指摘事項	指摘事項に対する回答	記載箇所
①. メカニカルスナツバにおける耐震評価手法として、個別に部品を評価する方法とは別に、一次評価と同様に標準荷重を新たに設定する方法も考えられるが、前者の方法を採用する理由について説明すること。	今回工認のメカニカルスナツバの詳細評価として、構造部材の強度評価を個々の部品で評価することとした理由について、機器・配管系に対する耐震設計の実績等の関係から説明する。	p2～3
②. メカニカルスナツバの破壊試験を踏まえた機能維持評価法及び座屈評価法について、試験結果のばらつきの考え方を整理して説明すること。	メカニカルスナツバの詳細評価にあたり、電共研での知見等(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ことから、試験に対するばらつきの考え方を説明する。	p4～7

1. 指摘事項①に対する回答

【構造部材の強度評価を個々の部品で評価することとした理由(1/2)】

第979回審査会合(2021年6月1日)資料1-4抜粋

- 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。

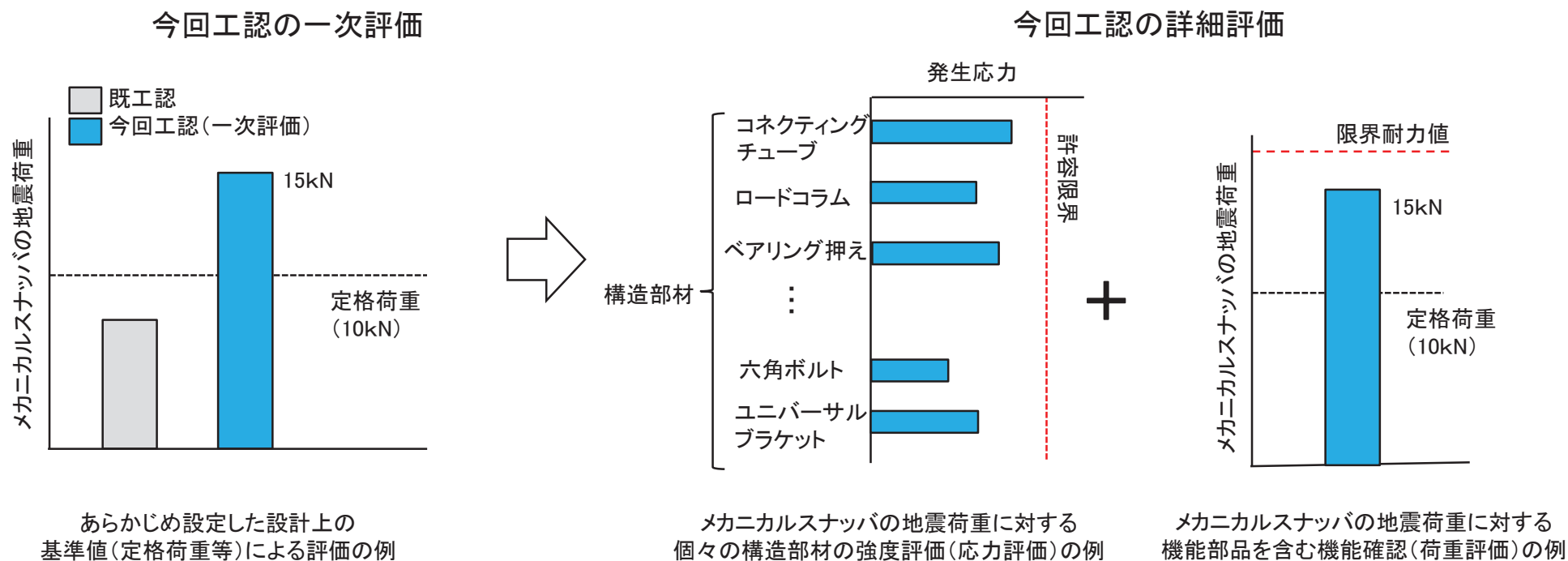
図3 今回工認における評価手順

今回工認の特徴
(既工認との差異)

1. 指摘事項①に対する回答

【構造部材の強度評価を個々の部品で評価することとした理由(2/2)】

- 機器・配管系の耐震設計においては、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、評価対象設備(容器、管、ポンプ等)に負荷される地震荷重による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。
- 今回工認のメカニカルスナツバの詳細評価においては、上記の考え方や詳細評価を実施する対象も一部であることを踏まえ、メカニカルスナツバの個々の構造部材に対する強度評価(応力評価)及び機能部品を含む機能確認(荷重評価)を実施することにした。



2. 指摘事項②に対する回答

【メカニカルスナツバの試験に対するばらつきの検討(1/4)】

➤ メカニカルスナツバの詳細評価にあたり、電共研での知見等(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ことから、試験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によるばらつき(構造部材及び機能部品)

- 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。
- また、電共研の知見では、メカニカルスナツバ(SMS-3)の試験体3体に対する試験結果、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おり、品質管理によってばらつきが小さいことを示している。

試験体	損傷箇所及び損傷モード
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)

(2) 構造部材

- 構造部材の限界耐力値は耐力評価式から定めるものであり、試験のばらつきの影響を受けない。また、耐力評価式においては規格の許容応力を適用することで材料の許容限界のばらつきを考慮する。

2. 指摘事項②に対する回答

【メカニカルスナツバの試験に対するばらつきの検討(2/4)】

(3) 機能部品

- 機能部品(アンギュラー玉軸受)は、電共研の知見(試験結果)に基づき限界耐力値を設定していることから、詳細評価におけるばらつきを検討する。
- 電共研の知見では、試験体3体に対する荷重比(最大負荷荷重/標準スラスト荷重)の最小値(倍)を考慮し、機能部品(アンギュラー玉軸受)の限界耐力値を設定していたが、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研究を適用し、説明性向上(試験データの拡充)を図った。
- 機能部品(アンギュラー玉軸受)に対する荷重比の整理結果として、平均値にばらつき(標準偏差値の2倍)を考慮した荷重比は、 倍となるため、今回工認においては電共研での知見である 倍から 倍に見直した。

機能部品(アンギュラー玉軸受)の試験結果

型式	試験	(A) 標準スラスト荷重(kN)	(B) 最大負荷荷重(kN)	荷重比 (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			
平均値				
標準偏差値(σ)				
平均値 -2σ				

2. 指摘事項②に対する回答

【メカニカルスナツバの試験に対するばらつきの検討(3/4)】

- メカニカルスナツバの詳細評価では、電共研での知見(試験結果)に基づき、メカニカルスナツバに対する座屈評価を実施することから、電共研で得られた試験に対するばらつき(試験結果に基づく補正係数*の設定)の考え方を整理する。
 - 電共研での知見では、メカニカルスナツバの座屈試験結果(試験値/理論値=0.78)が得られている。
 - また、メカニカルスナツバと類似した構造であるオイルスナツバに対する座屈試験を実施しており、オイルスナツバにはターンバックル部(最弱部となる部位)を有しているが、その他部位の構造はメカニカルスナツバと大きな違いはないため、試験のばらつきの検討に用いている(下図参照)。
 - メカニカルスナツバはターンバックル部を有しないため、オイルスナツバのターンバックル部の位置が端部に近い場合(メカニカルスナツバの形状により近い)の試験結果を検討対象としている。

注記* : 座屈耐力を算出する際の理論式に乗ずる係数



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に対するばらつきの検討(4/4)】

- メカニカルスナツバ及びオイルスナツバの座屈試験結果(試験値/理論値)は0.7以上であるため、メカニカルスナツバの座屈評価に用いる補正係数*として0.7倍を設定することは、試験に対するばらつきが考慮されている。

注記* : 座屈耐力を算出する際の理論式に乗ずる係数

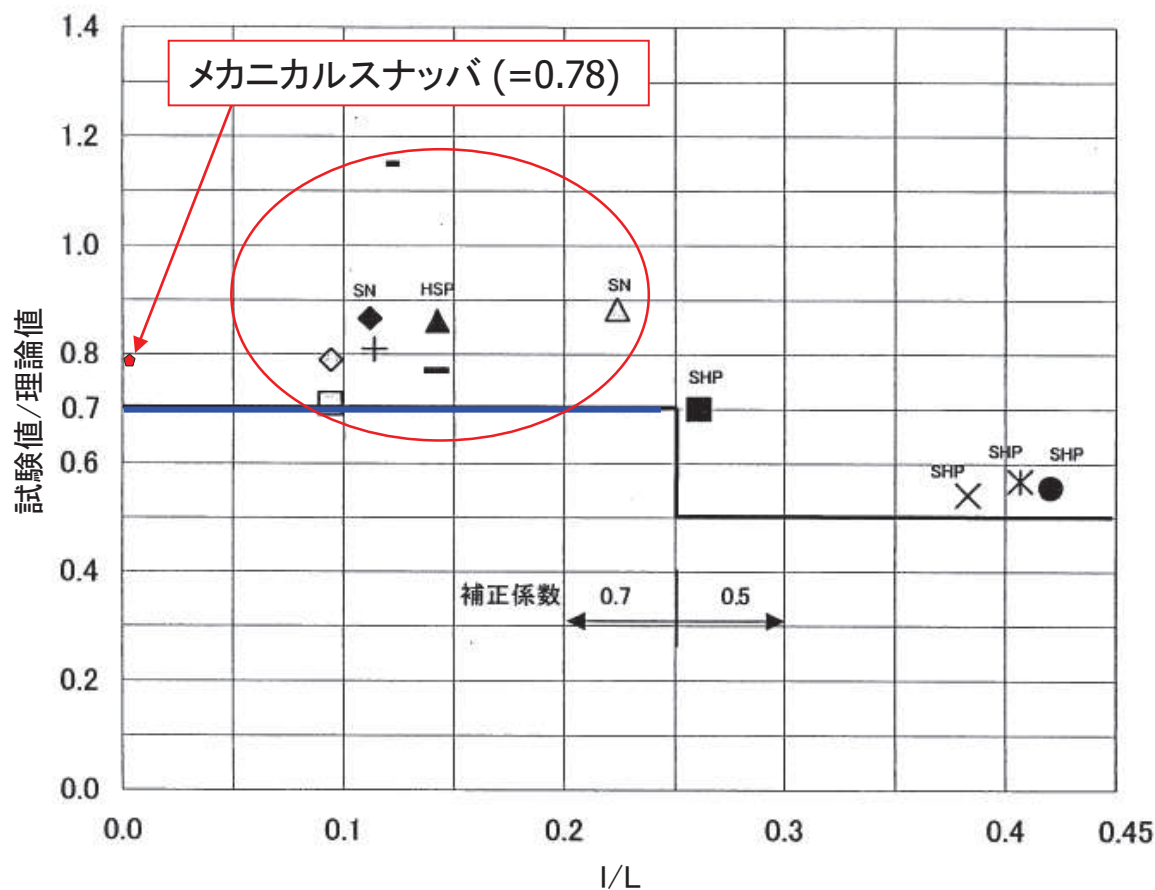


図 座屈試験結果

- 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。

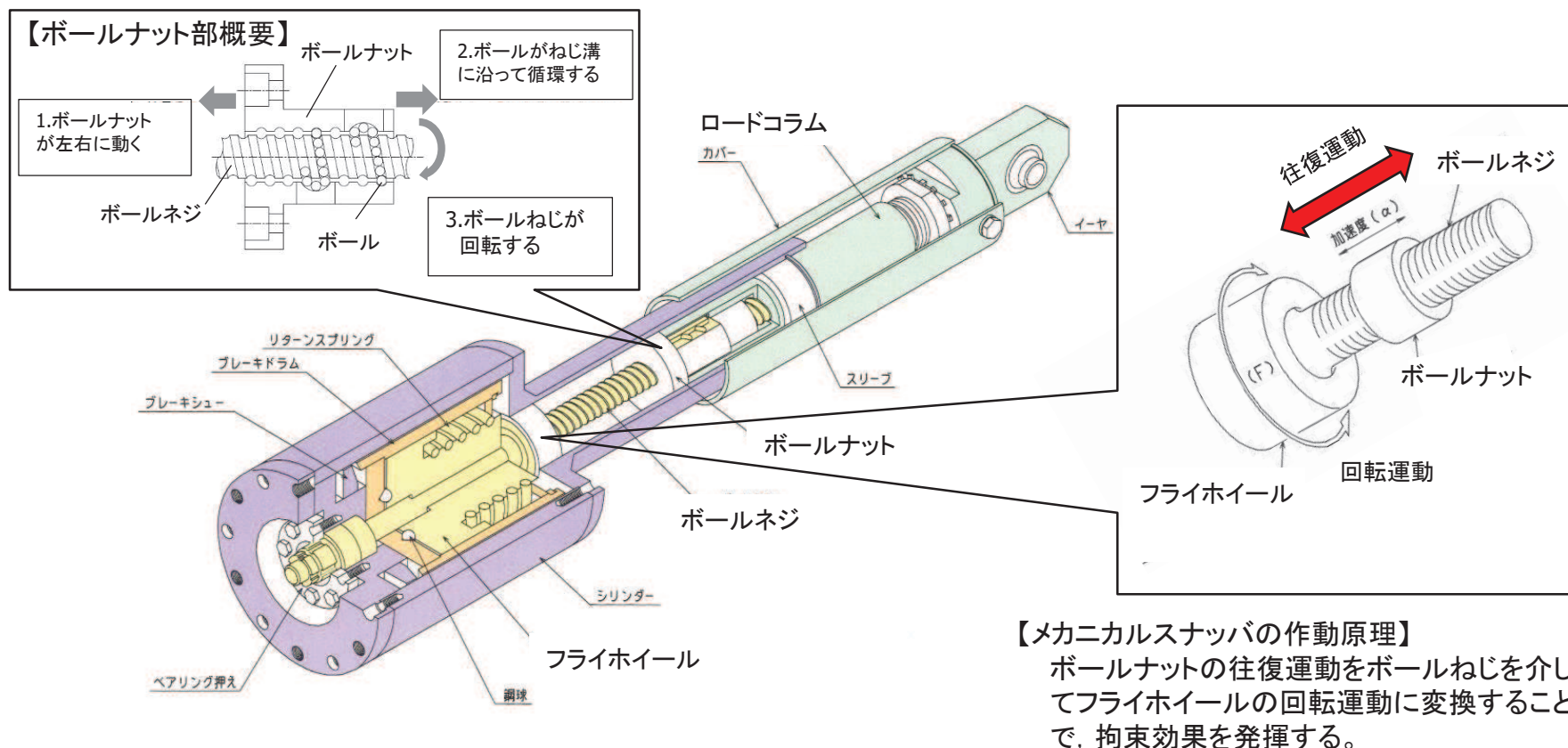
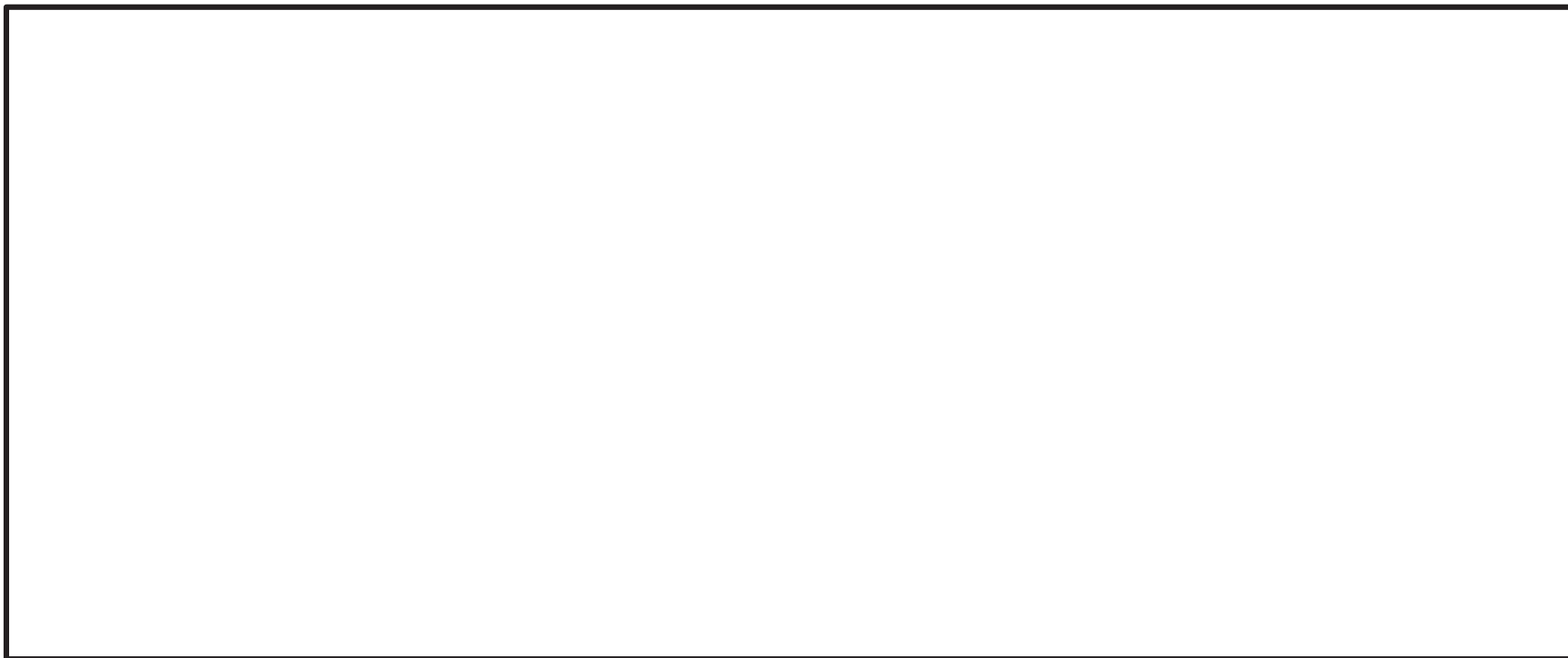


図1 メカニカルスナツバの構造概要及び作動原理

- 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。

- 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。

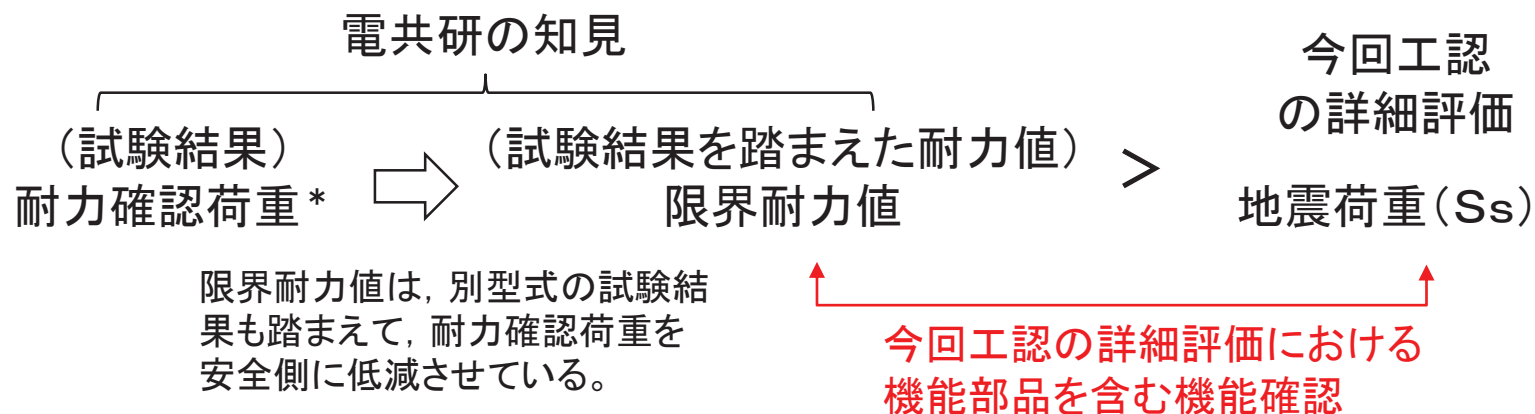


注: 枠内の部位, メカニカルスナツバ全体の座屈評価が追加項目

図4 メカニカルスナツバの荷重伝達経路

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

- 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。