

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-19-0044_改4
提出年月日	2021年10月5日

女川原子力発電所第2号機 耐震評価に係る報告内容の整理について

2021年10月5日
東北電力株式会社

主な説明事項に係る対応状況(1/2)

■ 対応状況①

➤ 第876回審査会合(令和2年7月14日)にて示した主な説明事項に係る対応状況について以下に示す。

(1)設置変更許可審査時からの設計変更内容

No.	説明項目	説明状況
1-1	漂流物防護工の追加	第993, 1007回審査会合にて説明済

(2)詳細設計申送り事項

No.	説明項目	説明状況
2-1	地下水位の設定, 耐震評価における断面選定 ・地下水位低下設備の設計方針 ・地下水位の設定 ・耐震評価における断面選定の考え方	第952, 979, 988, 1003回審査会合にて説明済 (第988回審査会合にて説明済) (第952, 979, 1003回審査会合にて説明済) (第979, 1003回審査会合にて説明済)
2-2	竜巻防護ネットの構造評価	第993回審査会合にて説明済
2-3	サプレッションチェンバの耐震評価	第988回審査会合にて説明済
2-4	3.11地震等の影響を踏まえた建屋の耐震評価	第970, 997回審査会合にて説明, 資料●-2にて説明
2-5	津波漂流物の衝突荷重	第970, 988回審査会合にて説明済
2-6	建屋の地震影響を踏まえた機器・配管系の耐震評価	第979, 1003回審査会合にて説明済
2-7	後施工せん断補強筋(CCb工法)の適用性	第1003回審査会合にて説明済
2-8	防潮堤の詳細設計結果	第993回審査会合にて説明済
2-9	原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置	第993回審査会合にて説明済

(3)新たな規制要求(バックフィット)への対応事項

No.	説明項目	説明状況
3-1	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993回審査会合にて説明済

主な説明事項に係る対応状況(2/2)

■ 対応状況②

➤ 審査の中で論点として整理された項目に係る対応状況について以下に示す。

(4)設置変更許可審査時からの変更等があり、説明が必要な項目

No.	説明項目	説明状況
4-1	使用済燃料貯蔵ラックの設計用減衰定数	第988, 1007回審査会合にて説明。
4-2	制御棒挿入性評価	第993, 1003回審査会合にて説明済
4-3	メカニカルスナッパの耐震評価	第979, 997回審査会合にて説明済

■ 対応状況③

➤ 耐震評価に関し、詳細設計において一部方針を見直した内容及び既工認からの相違点として先行プラントでの実績も踏まえ、追加で説明が必要な項目に関する対応状況について説明する。

(5)耐震評価に関し、説明が必要な項目

No.	説明項目	概要	説明資料
5-1	原子炉建屋屋根トラスの耐震評価	原子炉建屋屋根トラスについて、3.11地震後に、接合部の補強を実施、さらに詳細設計において耐震裕度向上の観点から、サブトラスと母屋の補強を実施することとし、補強の結果、基準地震動Ssによる地震力に対して、短期許容応力度内となる設計とした。	3ページ参照
5-2	動的機能維持の詳細評価	動的機能維持評価において、JEAG4601に基づく評価方法を適用できない一部設備については、詳細検討、新たな検討又は加振試験によって評価を行う。	4～12ページ参照

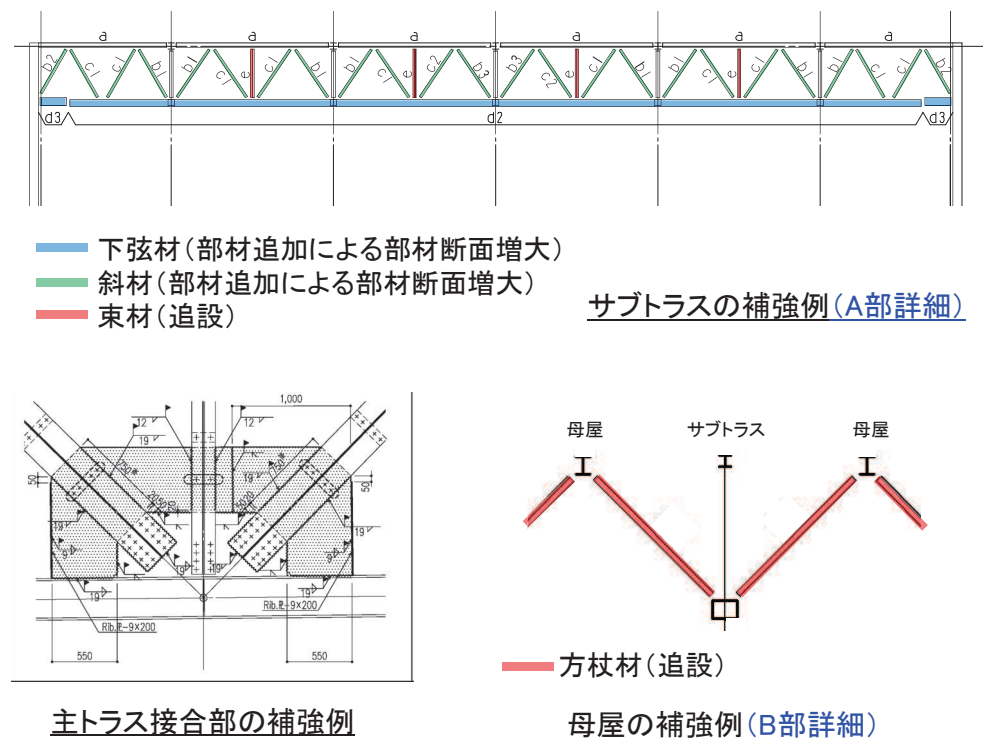
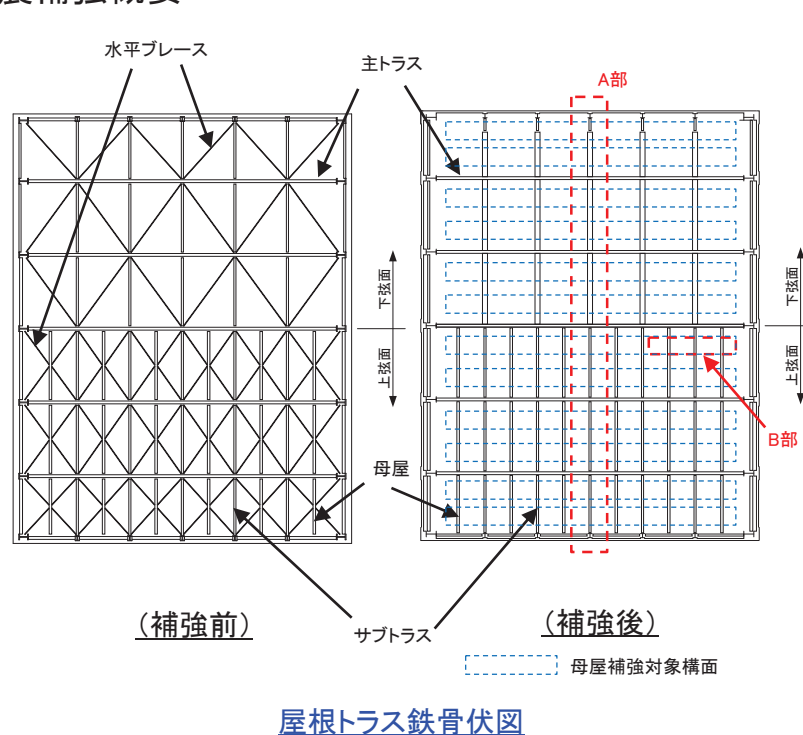
【5-1】原子炉建屋屋根トラスの耐震評価

1. 概要

- 原子炉建屋屋根トラスは、3.11地震後に、接合部の補強を実施しており、さらに詳細設計において耐震裕度向上の観点から、サブトラスと母屋の補強を実施することとした。
- 補強の結果、基準地震動 S_s による地震力に対して、短期許容応力度内となる設計とした。
- なお、補強に合わせて、建設時に仮設材として設置していた上下弦面の水平ブレースは撤去*することとした。

注記*：設置許可段階では、設置許可基準規則第十六条への適合の観点から建設時に仮設材として設置していた水平ブレースを本設材の扱いとし、屋根トラス評価の解析モデルにも反映することとしていたが、詳細設計時におけるサブトラスと母屋の補強に合わせて、撤去する方針とした。

2. 耐震補強概要



3. 説明図書

- 添付書類「VI-2-9-3-1 原子炉建屋原子炉棟(二次格納施設)の耐震性についての計算書」
- 補足説明資料「補足-610-4 原子炉建屋原子炉棟(二次格納施設)の耐震性についての計算書に関する補足説明資料」

【5-2】動的機能維持の詳細評価(1/3)

(1) 個別評価に係る全体概要

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

1. 概要

動的機能維持評価は、今回工認より新たに耐震計算書記載対象となる評価項目であり、JEAG4601*1及び既往知見*2に基づく機能確認済加速度と機能維持評価用加速度との比較による評価方法を適用するが、この評価方法で動的機能の健全性が確認できない一部の設備については、①「詳細検討」、②「新たな検討」、③加振試験のいずれかの個別検討を実施して動的機能維持評価を行う。なお、本手法は柏崎刈羽7号機や美浜3号機等、複数のプラントで新規規制基準対応工認において適用実績がある。

注記*1:原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG4601-1991 追補版)
*2:電力共通研究「鉛直地震動を受ける設備の耐震評価手法に関する研究(平成10年度~平成13年度)」

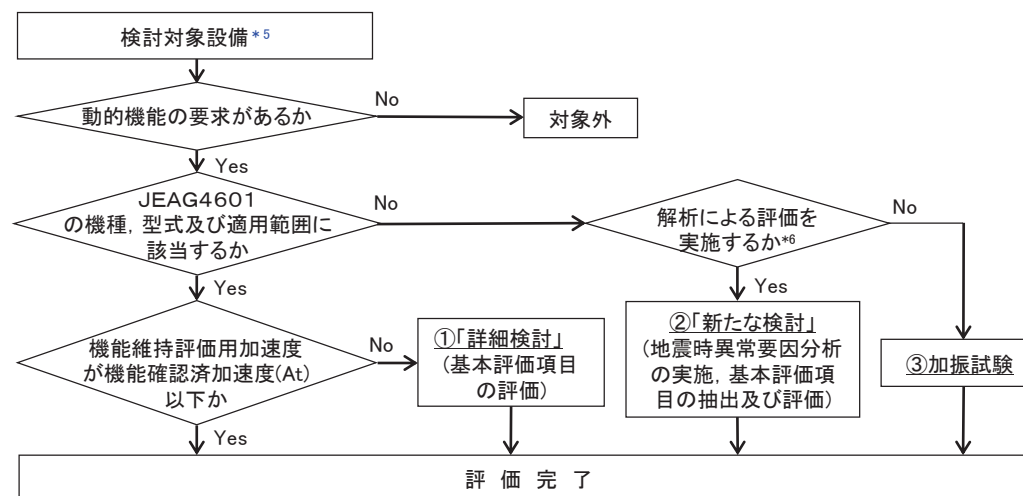
【既工認】JEAG4601に基づく機能確認済加速度による評価を実施(工認耐震計算書の記載対象外)。
【今回工認】一部の設備について、①「詳細検討」、②「新たな検討」、③加振試験のいずれかの動的機能維持評価を行う(工認耐震計算書記載対象)。

2. 実施内容

JEAG4601に基づく機能確認済加速度と機能維持評価用加速度との比較による評価方法が適用できない設備について、図5-2-1に示す動的機能維持評価検討フローに基づいて個別評価を行う。

- ①「詳細検討」では、機種ごとにJEAG4601に記載されている基本評価項目*3及び既往知見*4で検討された内容を踏まえて評価を実施した。
- ②「新たな検討」では、類似構造の既往研究を踏まえ、地震時異常要因分析に基づいて基本評価項目を抽出して評価を実施した。
- ③加振試験では、対象機器個別に実施した試験結果を評価に適用した。

注記*3:地震時に発生する可能性のある異常事象を抽出し、その要因分析を行い、機能維持の評価項目として選定したもの。
*4:原子力発電耐震設計特別調査委員会報告書「動的機器の地震時機能維持評価に関する調査報告書(昭和62年2月)」



注記*5:耐震Sクラス並びに常設耐震重要重大事故防止設備、常設重大事故緩和設備、常設重大事故防止設備(設計基準拡張)(当該設備が属する耐震重要度分類がSクラスのもの)及び常設重大事故緩和設備(設計基準拡張)のうち動的機能が必要な設備
*6:構造強度評価等の解析実施が困難な場合は「No」とする

図5-2-1 動的機能維持評価検討フロー

3. 耐震評価結果(個別評価を実施した機器一覧は別紙1参照)

本手法を適用して各設備の耐震評価を行い、耐震性が確保されることを確認した。表5-2-1,2に①「詳細検討」対象の燃料プール冷却浄化系ポンプ(横形ポンプ)の評価結果を例で示す。

表5-2-1 燃料プール冷却浄化系ポンプの基本評価項目

対象設備	基本評価項目
燃料プール冷却浄化系ポンプ	摺動部, 主軸, 冷却水配管, 電動機, 取付ボルト, 基礎ボルト

表5-2-2 燃料プール冷却浄化系ポンプの耐震評価結果*7

評価部位	評価項目	変位量(mm)	許容変位量(mm)
摺動部	軸のたわみ	0.42	

注記*7:基準地震動Ssに対して裕度(許容応力度/算出応力度)が最小となる評価結果を代表で記載。

4. 説明図書

- 添付書類「VI-2-10-1-2-1-4 非常用ディーゼル発電設備 燃料移送ポンプの耐震性についての計算書」他
- 補足説明資料「補足-600-14-1 動的機能維持の詳細評価について(新たな検討又は詳細検討が必要な設備の機能維持評価について)」

【5-2】動的機能維持の詳細評価(2/3)

(2) 詳細検討による弁の動的機能維持評価(1/2)

1. 概要

今回工認において動的機能維持評価を実施する弁のうち、JEAG4601に基づく評価において、機能維持評価用加速度が機能維持確認済加速度を超える弁については、前頁「動的機能維持評価検討フロー」に基づき、①「詳細検討」を行う。詳細検討にあたっては、既往の研究成果として、弁の駆動部に対して従来よりも大きな加速度に対する加振試験結果を適用している。

詳細検討による動的機能維持評価は、主蒸気隔離弁、主蒸気逃がし安全弁、一般弁(グローブ弁、ゲート弁、バラフライ弁、逆止弁)である。

2. 実施内容

今回工認では、当該弁の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を上回った場合に実施する①「詳細検討」において、JEAG4601に基づき、以下の評価を実施し、当該弁の動的機能が維持されることを確認する(JEAG4601の評価手順を別紙2に示す)。

図5-2-2に①「詳細検討」に係る評価手順として、一般弁(電動駆動弁)の例を示す。

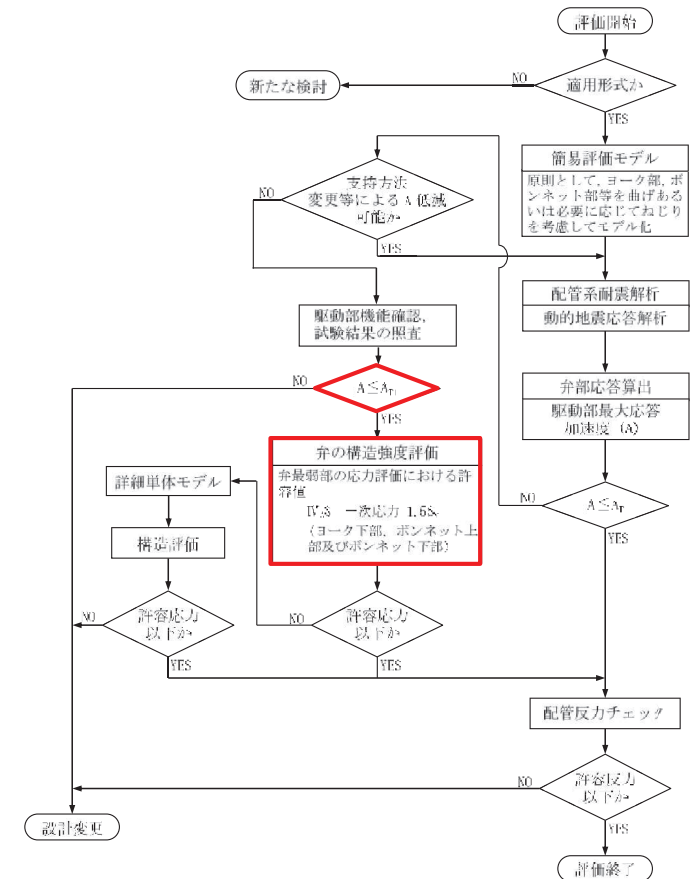
(1) 弁駆動部の動作機能確認済加速度を用いた加速度評価

- ①「詳細検討」の対象となる弁駆動部に対して既往の研究成果*1~4より得られている各弁型式の駆動部の動作機能確認済加速度(下表)を用いた評価を実施した。
- 既往の研究成果では、従来よりも大きな加速度に対する試験を実施するため、最大加速度 $20 \times 9.8\text{m/s}^2$ の加振性能を有する共振振動台を活用した加振試験を実施している(別紙3参照)。

表5-2-3 既往の研究成果(駆動部の動作機能確認済加速度)

弁型式	JEAG4601及び既往知見に基づく機能確認済加速度(A_T) ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		既往の研究成果による駆動部の動作機能確認済加速度(A_{T1}) ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	
	水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向
主蒸気隔離弁	10.0	6.2	15.0	15.0
主蒸気逃がし安全弁	9.6	6.1	20.0	20.0
一般弁(グローブ弁、ゲート弁、バラフライ弁)のうち電動弁	6.0	6.0	20.0	20.0
一般弁のうち空気作動グローブ弁	6.0	6.0	20.0	20.0
一般弁のうち空気作動バラフライ弁	6.0	6.0	15.0	20.0

注記*1: 電動弁駆動部の動作機能確認済加速度向上に関する研究(2013年2月~2016年12月)
 *2: 空気作動弁駆動部の動作機能確認済加速度向上に関する研究(2017年3月~2021年3月)
 *3: 主蒸気逃がし安全弁の機能維持確認済加速度向上に関する研究(2012年12月~2016年3月)
 *4: 主蒸気隔離弁の機能維持確認済加速度向上に関する研究(2017年2月~2021年3月)



A : 駆動部最大応答加速度
 A_T : 機能確認済加速度
 A_{T1} : 駆動部の動作機能確認済加速度

図5-2-2 ①「詳細検討」に係る評価手順(一般弁(電動駆動弁)の例)

【5-2】動的機能維持の詳細評価(3/3)

(2) 詳細検討による弁の動的機能維持評価(2/2)

(2) 構造強度評価

- ①「詳細検討」の対象となる弁について、JEAG4601に基づき設定した構造上の弱部に対する構造強度評価を実施し、構造健全性を確認する。各弁型式における弱部のうち、3項で結果を示す最弱部(構造強度評価部位)について図5-2-3に示す。

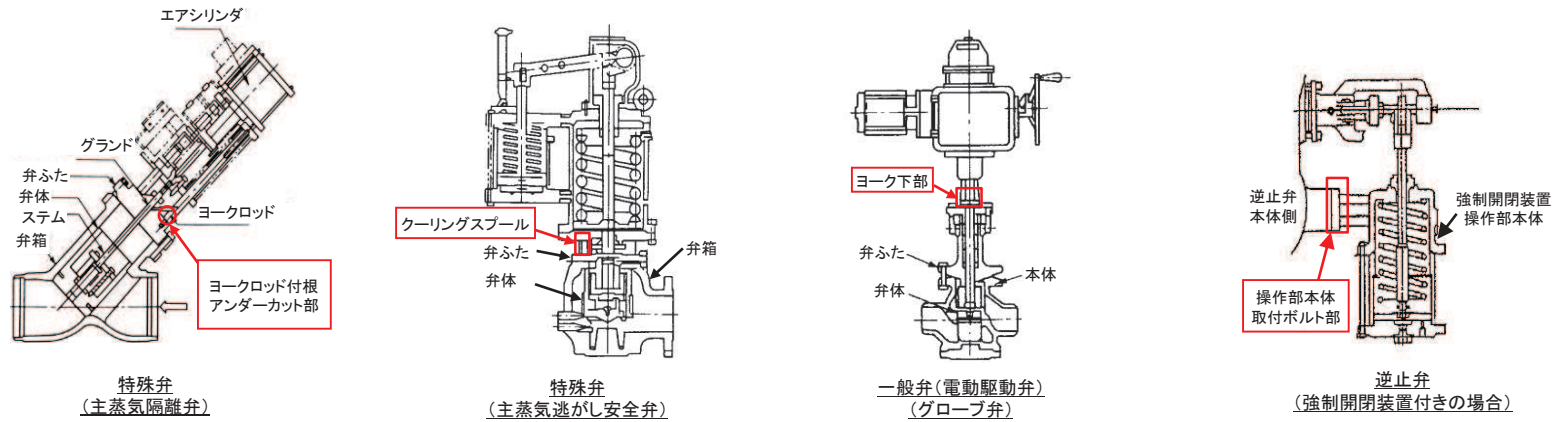


図5-2-3 各弁型式における構造強度評価部位

3. 耐震評価結果

- ①「詳細検討」の対象となった弁について、弁駆動部の動作機能確認済加速度を用いた加速度評価及び構造強度評価を行い、当該弁の動的機能が確保されていることを確認した。各弁型式における代表弁*5の評価結果を表5-2-4, 5に示す。

表5-2-4 弁駆動部の動作機能確認済加速度を用いた加速度評価結果*5

分類	弁型式	方向*6	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	駆動部の動作機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)
特殊弁	主蒸気隔離弁	合成	14.96	15.0
	主蒸気逃がし安全弁	合成	15.86	20.0
一般弁	グローブ弁	合成	10.95	20.0
	ゲート弁	合成	9.13	20.0
	逆止弁	合成	13.95	14.02*7

表5-2-5 構造強度評価結果*8

分類	弁型式	評価部位	構造強度評価(MPa)	
			算出応力	許容応力
特殊弁	主蒸気隔離弁	ヨーク付根 アンダーカット部	885	889
	主蒸気逃がし安全弁	クーリングスプール	229	304
一般弁	グローブ弁	ヨーク下部	204	354
	ゲート弁	ヨーク下部	178	280
	逆止弁	操作部本体取付ボルト	71	259

注記*5: 型式毎の裕度最小となる弁の評価結果を示す。 *6: 合成とは機能維持評価加速度として水平方向と鉛直方向の加速度を合成した値を用いて評価することを示す。
*7: 評価対象弁の開機能維持又は閉機能維持のための動作機能確認済加速度を示す。 *8: 表5-2-4の加速度評価で裕度最小となった弁の構造強度評価結果を示す。

4. 説明図書

- 添付書類「VI-2-5-3-1-2 管の耐震性についての計算書(主蒸気系)」他
- 補足説明資料「補足-600-14-1 動的機能維持の詳細評価について(新たな検討又は詳細検討が必要な設備の機能維持評価について)」

【5-2】動的機能維持の詳細評価(別紙1) (1/3)

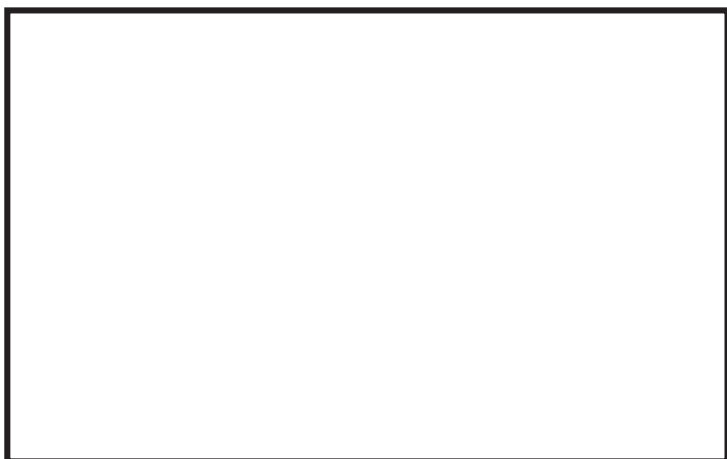
別紙1-1表 動的機能維持評価として個別評価を実施した設備(1/2)

個別評価	機種分類	対象機器	評価結果	
①「詳細検討」	立形ポンプ	原子炉補機冷却海水ポンプ	詳細検討の結果、いずれの対象機器においても、動的機能維持を確認するための基本評価項目に対する発生値が許容値以下であり、動的機能が維持されることを確認した。	
		高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ		
	横形ポンプ	燃料プール冷却浄化系ポンプ		
	電動機	高圧炉心スプレイ系ポンプ用電動機		
		低圧炉心スプレイ系ポンプ用電動機		
		原子炉補機冷却海水ポンプ用電動機		
		高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ用電動機		
		燃料プール冷却浄化系ポンプ用電動機		
		ほう酸水注入系ポンプ用電動機		
		非常用ガス処理系排風機用電動機		
		可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ用電動機		
	ファン	非常用ガス処理系排風機		
		可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ		
	非常用ディーゼル発電設備	非常用ディーゼル機関		
		非常用ディーゼル発電機		
		高圧炉心スプレイ系ディーゼル機関		
		高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機		
	往復動式ポンプ	ほう酸水注入系ポンプ		
	特殊弁	主蒸気隔離弁		詳細検討の結果、いずれの対象弁においても、機能維持評価用加速度が弁駆動部の動作機能確認済加速度以下であり、弁弱部での構造強度評価の発生応力が許容応力以下であることから、動的機能が維持されることを確認した。
		主蒸気逃がし安全弁		
一般弁	グローブ弁			
	ゲート弁			
	逆止弁			

【5-2】動的機能維持の詳細評価(別紙1) (2/3)

別紙1-1表 動的機能維持評価として個別評価を実施した設備(2/2)

個別評価	機種分類	対象機器	評価結果
②「新たな検討」	スクリー式ポンプ	非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ	構造が類似している遠心式ポンプ及びギヤ式ポンプを参考として、スクリー式ポンプの地震時異常要因分析を行い、動的機能維持を確認するための基本評価項目を抽出した。いずれの対象機器においても、評価部位の発生値が許容値を満足しており、動的機能が維持されることを確認した。
		高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ	
		ガスタービン発電設備燃料移送ポンプ	
③加振試験	タービン駆動の横形多段遠心式ポンプ(ポンプとタービンが一体となった構造)	高圧代替注水系タービンポンプ (別紙1-1,2図に構造図及び試験状況の外観を示す。)	機器個別に実施した加振試験結果により、動的機能が維持されることを確認した。
	車両型設備	ガスタービン発電設備 機関・発電機 (別紙1-3,4図に構造図及び試験状況の外観を示す。)	



別紙1-1図 高圧代替注水系タービンポンプ構造図



別紙1-3図 ガスタービン発電設備構造図



別紙1-2図 高圧代替注水系タービンポンプ試験状況外観

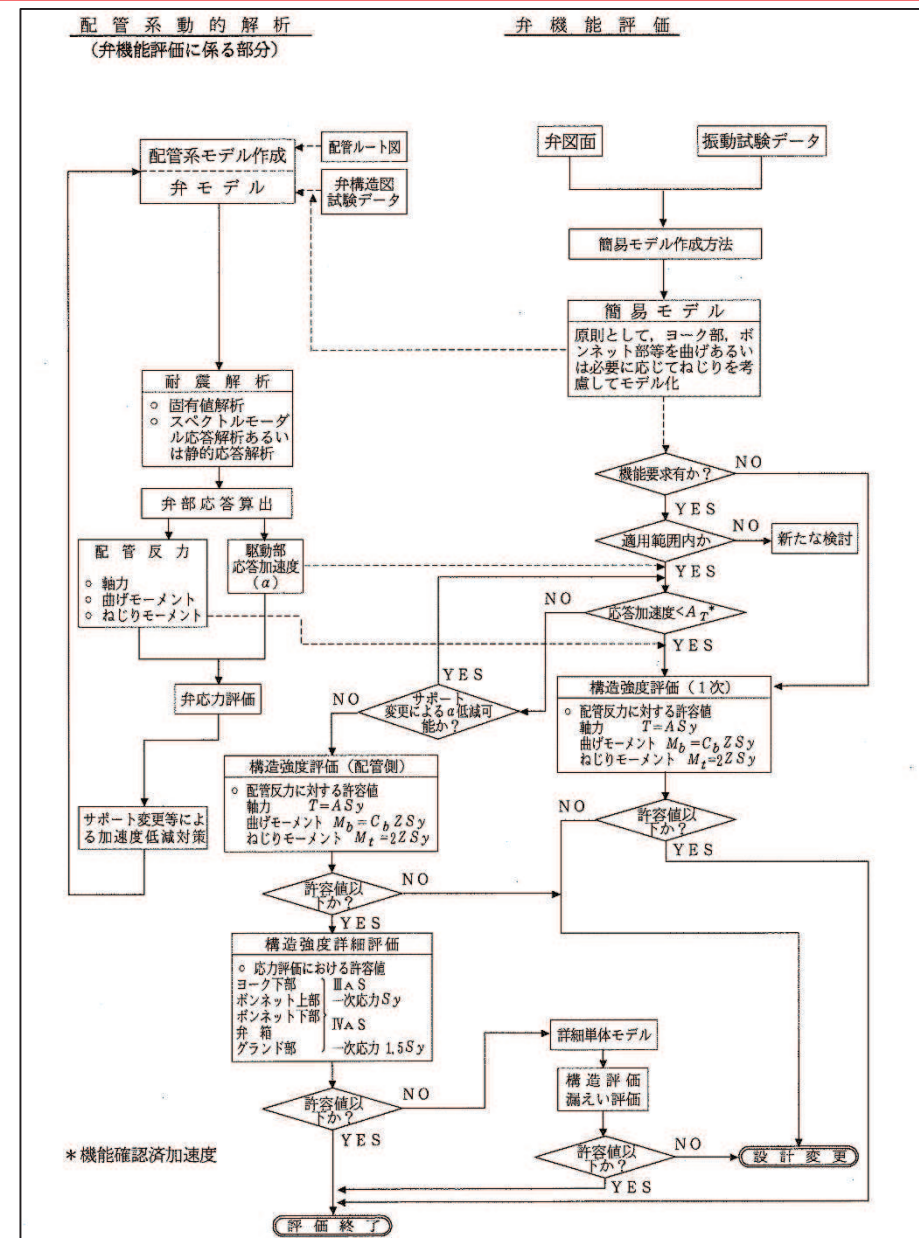


別紙1-4図 ガスタービン発電設備試験状況外観

【5-2】動的機能維持の詳細評価(別紙2)

【JEAG4601の評価手順】

- JEAG4601に示されている評価手順のうち、一般弁(グローブ弁, ゲート弁, バタフライ弁)の評価手順を例に別紙2図に示す。
- 弁の動的機能維持評価は、機能維持評価用加速度と機能確認済加速度との比較による評価が基本となることが示されている。
- 一方、機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超える場合の対処方法として、別紙2図及び以下の内容が示されている。
 - ① 作動機能に関し、弁駆動装置は解析的な評価が困難であるため、駆動装置単体の機能確認済加速度を許容値とする。
 - ② 弁の要求機能のうち構造強度評価、漏えいに関しては、弁最弱部の強度評価に含めて検討できる。
- 今回工認において、機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超える弁に対する詳細評価は、上記の内容に基づき、駆動部の動作機能確認済加速度を用いた加速度評価及び構造強度評価を行い、動的機能が確保されることを確認する。



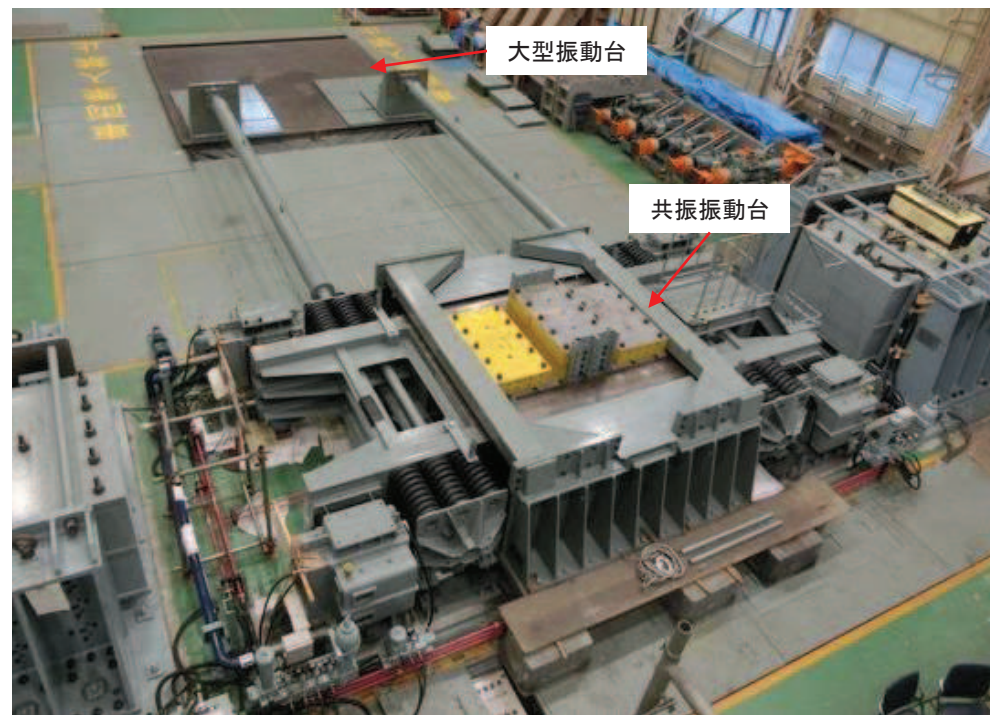
別紙2図 一般弁(グローブ弁, ゲート弁, バタフライ弁)の評価手順(JEAG4601より抜粋)

1. 共振振動台の概要*1

- 弁の動的機能維持評価に用いるJEAG4601の機能確認済加速度は、既往の加振試験の結果に基づいて策定されているが、機能確認済加速度の元となった加振試験は試験装置の加振能力により制約されたものである。
- このため、(一財)電力中央研究所において、原子力機器・建屋の耐震限界性能評価に資する $20 \times 9.8 \text{m/s}^2$ 共振振動台の開発が行われ、この共振振動台を活用し、電動弁駆動部、空気作動弁駆動部、主蒸気逃がし安全弁及び主蒸気隔離弁を対象として大加速度の加振試験を実施している。
- 共振振動台は、大型振動台と共振振動台で構成され、大型振動台に発生する振動を共振振動台に設置されたバネにより応答増幅し、共振振動数における正弦波加振において大加速度を実現する。以下に共振振動台の外観及び仕様を示す。

別紙3-1表 共振振動台の仕様

項目	大型振動台	共振振動台
振動テーブル	5m×5m	2m×2m
加振方向	水平1軸正弦波	水平1軸正弦波
駆動方式	電気・油圧サーボ方式	大型振動台直結
搭載質量	定格:60,000kg	定格:10,000kg
最大加速度	$2.0 \times 9.8 \text{m/s}^2$	$20 \times 9.8 \text{m/s}^2$
加振振動数	0.5~40Hz	10Hz



別紙3-1図 共振振動台の外観

注記*1: M. Sakai, et al., "Development of High Acceleration Shaking Table System Using Resonance Vibration", PVP2016-63752, American Society of Mechanical Engineers, 2016

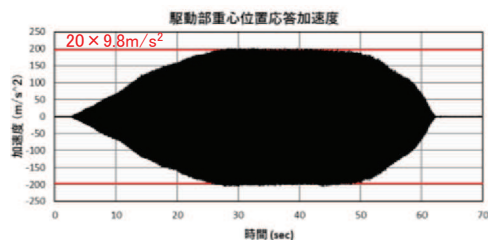
2. 既往の研究成果の概要(加振試験結果の例を次頁に示す。)

- 電動弁駆動部を試験体(型式等を考慮して複数の試験体を設定)として、水平2方向及び鉛直方向のそれぞれについて、駆動部重心の応答加速度が $20 \times 9.8 \text{m/s}^2$ 以上となる加振試験を実施し、電動弁の作動要求を考慮して加振中及び加振後の作動状態を確認した。
- 加振試験の結果、各試験体は、いずれも加振による有意な損傷はなく、加振中及び加振前後で弁作動時間に有意な変動はなく、良好な作動状態であることを確認した。

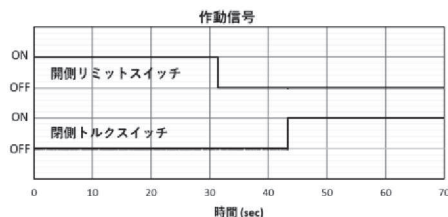
【電動弁】



別紙3-2図 電動弁駆動部試験体(型式:SMB-4)



別紙3-3図 駆動部応答加速度波形(X方向20×9.8m/s²加振時)



別紙3-4図 加振中の作動信号(X方向20×9.8m/s²加振時)

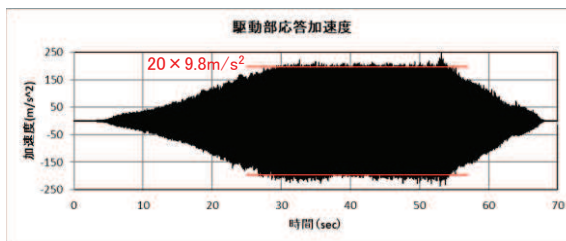
別紙3-2表 加振試験で計測された最大加速度

型式	最大応答加速度(×9.8m/s ²)		
	X方向	Y方向	Z方向
SB-00D	21.9	21.4	20.9
SMB-0	20.9	21.6	22.0
SMB-2	21.5	21.3	23.4
SMB-4	22.7	21.3	23.4
SMB-0/HB-3	23.9	23.4	22.7

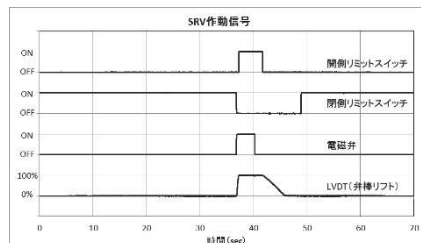
【主蒸気逃がし安全弁】



別紙3-5図 主蒸気逃がし安全弁試験体



別紙3-6図 駆動部応答加速度波形(Y方向20×9.8m/s²加振時)

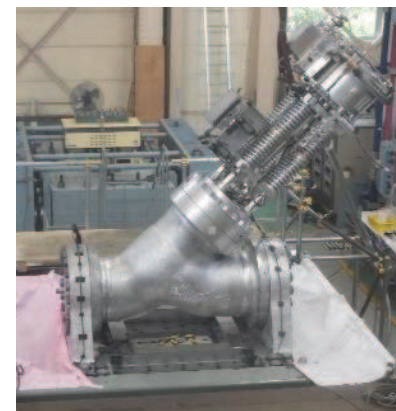


別紙3-7図 加振中の作動信号(Y方向20×9.8m/s²加振時)

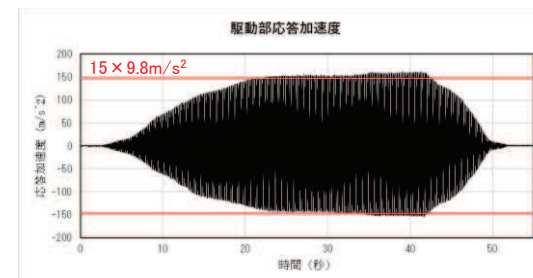
別紙3-3表 加振試験で計測された最大加速度

最大応答加速度(×9.8m/s ²)		
X方向	Y方向	Z方向
20.0	20.0	20.0

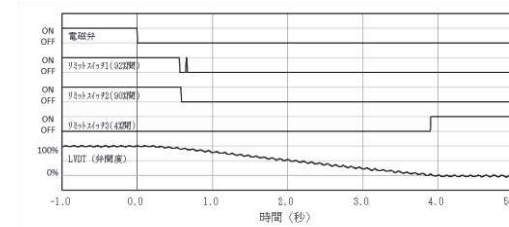
【主蒸気隔離弁】



別紙3-8図 主蒸気隔離弁試験体



別紙3-9図 駆動部応答加速度波形(Y方向15×9.8m/s²加振時)



別紙3-10図 加振中の作動信号(Y方向15×9.8m/s²加振時)

別紙3-4表 加振試験で計測された最大加速度

最大応答加速度(×9.8m/s ²)		
X方向	Y方向	Z方向
18.6	16.5	18.8