

# 島根原子力発電所 2号炉 地震による損傷の防止 (コメント回答)

---

[規格適用範囲外の動的機能維持評価の実施]

令和 2 年 7 月  
中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません

No.	審査会合日	コメント要旨	回答頁
論点[Ⅱ]既工認と今回工認の手法の相違点の整理に基づく論点			
＜機器・配管系＞			
64	R1.12.17	<p>[論点Ⅱ－8：規格適用範囲外の動的機能維持評価の実施]</p> <p>・J E A G 4 6 0 1 適用範囲外の機器の動的機能維持評価法の選択について、解析と試験の選択の考え方及び選択理由を説明すること。</p>	3
66	R1.12.17	<p>[論点Ⅱ－8：規格適用範囲外の動的機能維持評価の実施]</p> <p>・ガスタービン発電機の異常要因分析のうち燃料制御ユニット等について、異常要因として回路の電気的特性に異変が生じ制御信号に乱れが生じる可能性があるとしているが、異常要因分析図との関係を説明すること。また、制御信号の乱れは机上評価では難しい面があるので、評価方法について併せて説明すること。</p>	4～5
67	R1.12.17	<p>[論点Ⅱ－8：規格適用範囲外の動的機能維持評価の実施]</p> <p>・評価用加速度が機能確認済加速度を超える見通しの機器の一覧で弁類は抽出されていないが、弁類の確認は詳細設計段階で明らかにするということであれば、その旨を説明すること。</p>	6～7

No.	審査会合日	コメント要旨	回答頁
論点[Ⅱ]既工認と今回工認の手法の相違点の整理に基づく論点			
＜機器・配管系＞			
68	R1.12.17	<p>[論点Ⅱ－8：規格適用範囲外の動的機能維持評価の実施]</p> <p>・ガスタービンと非常用ディーゼル機関の類似性として「機関全体が高い剛性を有していること」をあげているが，ガスタービンが剛である根拠を説明すること。別途行われている加振試験で共振振動数を確認している場合は，その結果に基づき説明すること。</p>	8～9
69	R1.12.17	<p>[論点Ⅱ－8：規格適用範囲外の動的機能維持評価の実施]</p> <p>・高圧原子炉代替注水ポンプ及びガスタービンの加振試験について，入力波の波形，計測センサー取り付け位置，共振振動数の確認結果（ガスタービン），計測結果の例（応答倍率等がわかるもの）を説明すること。</p>	8～12
70	R1.12.17	<p>[論点Ⅱ－8：規格適用範囲外の動的機能維持評価の実施]</p> <p>・ガスタービン発電機の動的機能維持評価で参考とする非常用ディーゼル発電機とポンプ駆動用タービン（A F W P ポンプ用）の類似性について，構造上の類似性を挙げている部位に関しては当該部位の構造図と併せて説明すること。</p>	13
71	R1.12.17	<p>[論点Ⅱ－8：規格適用範囲外の動的機能維持評価の実施]</p> <p>・ガスタービン発電機の異常要因分析図について，当該部の構造図と併せて説明すること。</p>	14

# 審査会合における指摘事項に対する回答【No.64】

## ■ 指摘事項（令和元年12月17日 第814回審査会合）

### 【No. 64（論点Ⅱ－8）規格適用範囲外の動的機能維持評価の実施】

- J E A G 4 6 0 1 適用範囲外の機器の動的機能維持評価法の選択について、解析と試験の選択の考え方及び選択理由を説明すること。

## ■ 回答

- 動的機能維持評価法は、対象物の複雑さ、加振試験の可否等により、解析又は試験から選択する。
- 島根2号炉における J E A G 4 6 0 1 適用範囲外の機器について、解析又は試験の選択理由を以下に示す。

#### 解析又は試験の選択理由

評価手法	設備名	機種／形式	選択理由
解析	<ul style="list-style-type: none"> <li>非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ</li> <li>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</li> <li>ガスタービン発電機用燃料移送ポンプ</li> </ul>	横形ポンプ／スクルー式	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 作動原理・構造から異常要因分析や基本評価項目の抽出が可能。</li> <li>▶ 分析や項目の抽出において参考とする類似ポンプの検討事例がある。</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>ガスタービン発電機</li> </ul>	ガスタービン発電機／機関本体	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 作動原理・構造から異常要因分析や基本評価項目の抽出が可能。</li> <li>▶ 分析や項目の抽出において参考とする類似機器の検討事例がある。</li> </ul>
試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>高圧原子炉代替注水ポンプ</li> </ul>	横形ポンプ／タービン駆動水潤滑式	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 海外メーカー製であり、異常要因分析や基本評価項目の抽出が容易ではない。</li> </ul>

# 審査会合における指摘事項に対する回答【No.66】

## ■ 指摘事項（令和元年12月17日 第814回審査会合）

### 【No. 66（論点Ⅱ－8）規格適用範囲外の動的機能維持評価の実施】

○ガスタービン発電機の異常要因分析のうち燃料制御ユニット等について、異常要因として回路の電気的特性に異変が生じ制御信号に乱れが生じる可能性があるとしているが、異常要因分析図との関係を説明すること。また、制御信号の乱れは机上評価では難しい面があるので、評価方法について併せて説明すること。

## ■ 回答

- 燃料制御ユニット及び燃料制御ユニットドライバにおける異常要因分析図と異常要因の記載を見直し、関係を明確にした。（P5）
- 燃料制御装置は解析による評価が困難であるため、実機の加振試験による評価を行う。（P5）

# 審査会合における指摘事項に対する回答【No.66】

## 論点Ⅱ－8 規格適用範囲外の動的機能維持評価の実施

### <燃料制御装置の異常要因分析>

- 燃料制御ユニット及び燃料制御ユニットドライバにおける異常要因分析図と異常要因を以下に示す。
- 燃料制御装置は解析による評価が困難であるため、実機に加振試験による評価を行う。

対象	要求機能	要因	現象	喪失機能 <sup>注1注2</sup>	
Ⅱ 出力制御系 (機関回転速度の制御)		燃料制御ユニット 応答過大	ケージング転倒モーメント過大 燃料制御弁応答過大	取付ボルト応力過大 取付ボルト折損 弁体損傷	機関運転不能 機関運転不能
		燃料制御ユニット ドライバ 応答過大	ケージング転倒モーメント過大 電气的特性異変 弁開度乱調	取付ボルト応力過大 取付ボルト折損 機関回転数乱調 過速度トリップ	機関運転不能 機関停止 機関停止

注1 機関運転不能：構成機器の損傷や動作不良により運転が不能となる。

注2 機関停止：誤信号によるトリップにより運転が停止する（損傷に至らない）。

燃料制御ユニット等の異常要因分析図

#### 燃料制御ユニット等の異常要因

燃料制御ユニットドライバの地震応答が過大となると、回路の電气的特性に異変が生じ、制御信号に乱れが生じる可能性がある。制御信号の乱れ又は燃料制御ユニットの燃料制御弁の過大応答により弁開度が乱調し、適切な燃料投入量が得られなくなることで、機関回転数の乱調に伴う過速度トリップによりガスタービンが停止する。

#### 燃料制御装置の機能維持評価用加速度及び機能確認済加速度

方向	機能維持 評価用加速度 <sup>注1</sup> [G]	試験により確認された 機能確認済加速度 [G]

注1 機能維持評価用加速度は、暫定値であり今後設計進捗により変更の可能性がある。

燃料制御ユニット及び燃料制御ユニットドライバ試験装置

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません

# 審査会合における指摘事項に対する回答【No.67】

## ■ 指摘事項（令和元年12月17日 第814回審査会合）

### 【No. 67（論点Ⅱ－8）規格適用範囲外の動的機能維持評価の実施】

- 評価用加速度が機能確認済加速度を超える見通しの機器の一覧で弁類は抽出されていないが、弁類の確認は詳細設計段階で明らかにすることであれば、その旨を説明すること。

## ■ 回答

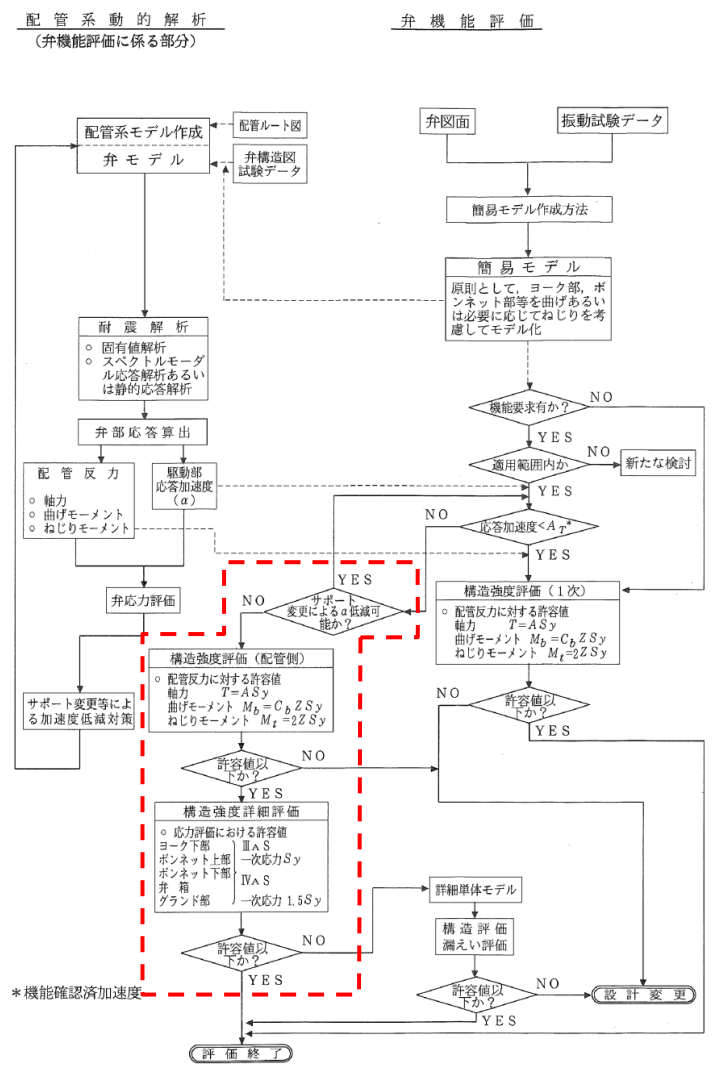
詳細設計段階において、弁の応答加速度（機能維持評価用加速度）が機能確認済加速度を超える場合、J E A G 4 6 0 1に基づき詳細検討を実施する。（P7）

# 審査会合における指摘事項に対する回答【No.67】

## 論点Ⅱ－8 規格適用範囲外の動的機能維持評価の実施

### <弁の動的機能維持評価>

- 弁については J E A G 4 6 0 1 にて機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えた場合の詳細検討の具体的手順が定められているため、詳細評価法検討の対象外とする。
- 詳細設計段階において、弁の応答加速度（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、J E A G 4 6 0 1 に基づき詳細検討を実施する。



弁の動的機能維持評価フロー  
 (原子力発電所耐震設計技術指針  
 J E A G 4 6 0 1 -1991追補版)



# 審査会合における指摘事項に対する回答【No.68,69】

## ■ 指摘事項（令和元年12月17日 第814回審査会合）

### 【No. 68（論点Ⅱ－8）規格適用範囲外の動的機能維持評価の実施】

- ガスタービンと非常用ディーゼル機関の類似性として「機関全体が高い剛性を有していること」をあげているが、ガスタービンが剛である根拠を説明すること。別途行われている加振試験で共振振動数を確認している場合は、その結果に基づき説明すること。

### 【No. 69（論点Ⅱ－8）規格適用範囲外の動的機能維持評価の実施】

- 高圧原子炉代替注水ポンプ及びガスタービンの加振試験について、入力波の波形、計測センサー取り付け位置、共振振動数の確認結果（ガスタービン）、計測結果の例（応答倍率等がわかるもの）を説明すること。

## ■ 回答

- 島根2号炉のガスタービンと類似の仕様のガスタービン（US-APWRガスタービン）において、振動特性把握試験により剛構造であることが確認されており、島根2号炉のガスタービンについても高い剛性を有しているといえる。（P9）
- 高圧原子炉代替注水ポンプ及びガスタービンの加振試験の概要を示す。（P9～12）

# 審査会合における指摘事項に対する回答【No.68,69】

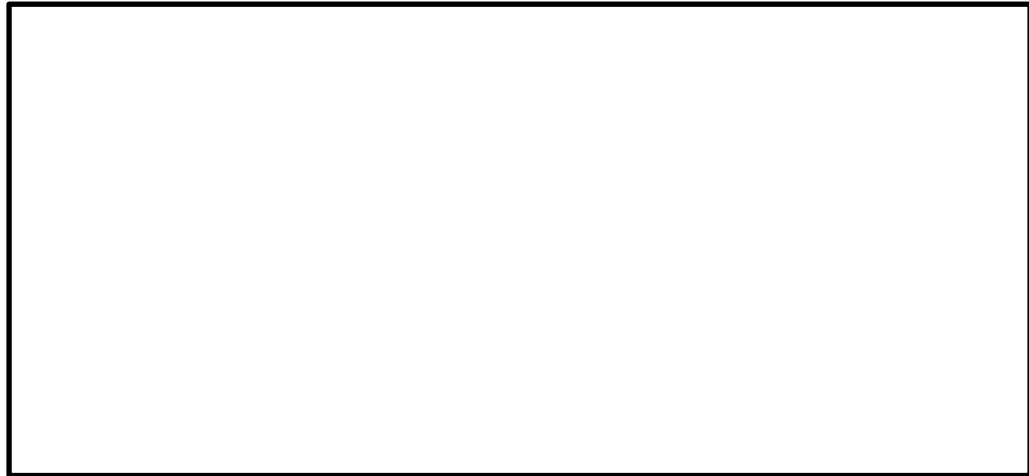
## 論点Ⅱ－8 規格適用範囲外の動的機能維持評価の実施（1）

### <US-APWRガスタービン加振試験 1 / 2>

島根2号炉と類似の仕様であるUS-APWRガスタービンに対する加振試験の概要を示す。

#### a. 振動特性把握試験

US-APWRガスタービンが剛構造であることを確認した。



計測センサー取付位置



周波数応答関数（水平軸方向）

各軸方向の固有振動数



# 審査会合における指摘事項に対する回答【No.69】

## 論点Ⅱ－8 規格適用範囲外の動的機能維持評価の実施（2）

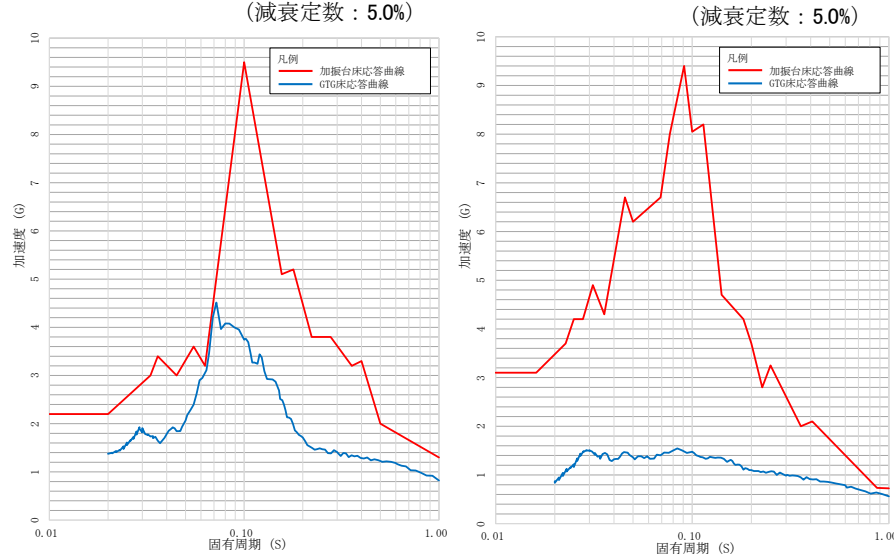
### <US-APWRガスタービン加振試験 2 / 2>

#### b. 加振試験

ランダム波による加振試験により、機能確認済加速度が得られた。

加振試験条件

項目	試験条件
試験体	US-APWRガスタービン（発電機部分を除く）
加振地震波	ランダム波
加振方向	水平 1 方向 + 鉛直方向の 2 軸同時加振試験
運転状態	<ul style="list-style-type: none"> <li>・停止中加振</li> <li>・運転中加振</li> <li>・加振中起動</li> </ul>
取付条件	振動台上に設置された台板にボルトにて取り付け



水平方向 鉛直方向  
加振台床応答曲線とGTG床応答曲線の比較

加振試験結果

方向	機能確認済加速度 [G]
水平	2.2
鉛直	3.1

# 審査会合における指摘事項に対する回答【No.69】

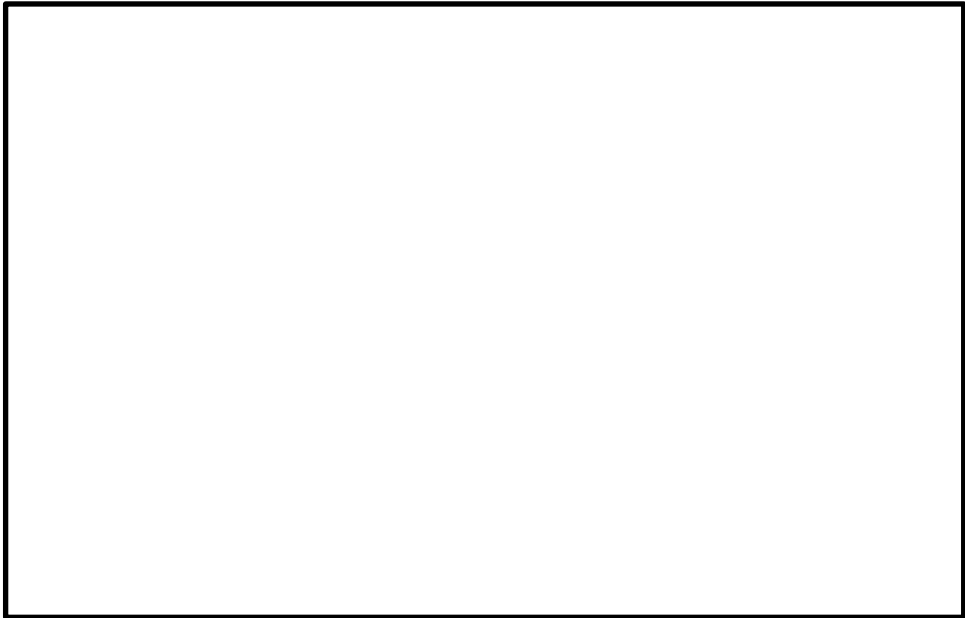
## 論点Ⅱ－8 規格適用範囲外の動的機能維持評価の実施（3）

### <高圧原子炉代替注水ポンプ 1 / 2 >

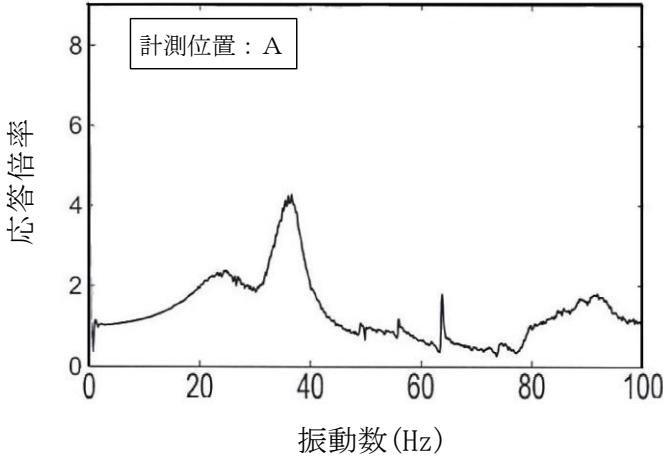
高圧原子炉代替注水ポンプに対する加振試験の概要を示す。

#### a. 振動特性把握試験

高圧原子炉代替注水ポンプが剛構造であることを確認した。



計測センサー取付位置



周波数応答関数（水平軸方向）

各軸方向の固有振動数

方向		固有振動数 [Hz]
水平	軸	
	軸直	
鉛直		

# 審査会合における指摘事項に対する回答【No.69】

## 論点Ⅱ－8 規格適用範囲外の動的機能維持評価の実施（4）

<高圧原子炉代替注水ポンプ 2 / 2 >

### b. 加振試験

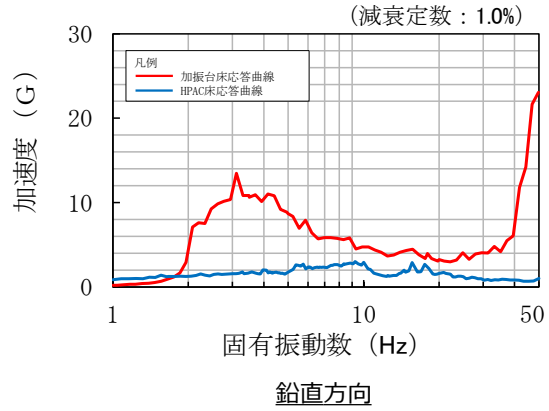
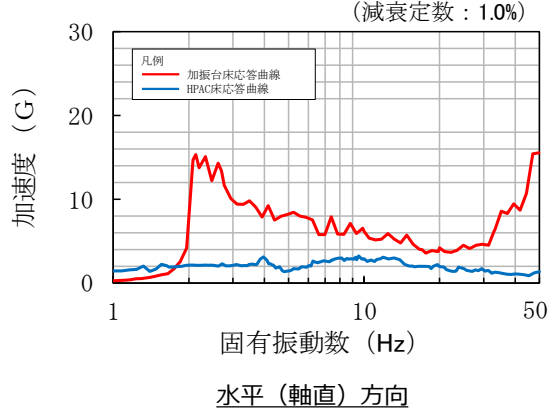
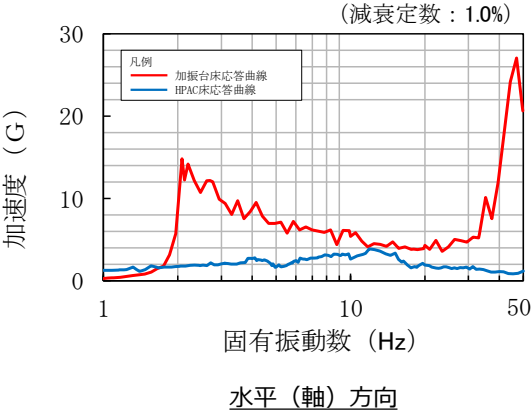
ランダム波による加振試験により，機能確認済加速度が得られた。

加振試験条件

項目	試験条件
加振地震波	ランダム波
加振方向	水平2方向+鉛直方向の3軸同時加振試験
運転状態	停止中加振（満水状態）
取付条件	振動台上に設置された台板にボルトにて取り付け

加振試験結果

方向		機能確認済加速度 [G]
水平	軸	
	軸直	
鉛直		



加振台床応答曲線とHPAC床応答曲線の比較<sup>注1</sup>

注1：加振台床応答曲線は，振動台の [ ] の影響により，50Hz近傍にピークが生じている。

# 審査会合における指摘事項に対する回答【No.70】

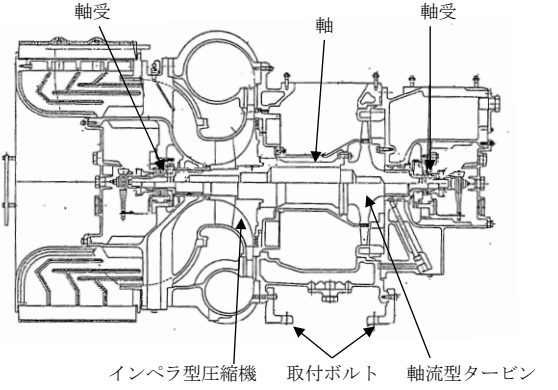
## ■ 指摘事項（令和元年12月17日 第814回審査会合）

### 【No. 70（論点Ⅱ－8）規格適用範囲外の動的機能維持評価の実施】

○ガスタービン発電機の動的機能維持評価で参考とする非常用ディーゼル発電機とポンプ駆動用タービン（A F W Pポンプ用）の類似性について、構造上の類似性を挙げている部位に関しては当該部位の構造図と併せて説明すること。

## ■ 回答

島根2号炉のガスタービンと動的機能維持評価で参考とする非常用ディーゼル発電機とポンプ駆動用タービンについて、構造上の類似性を挙げている部位の比較を示す。

非常用ディーゼル発電機の過給機	ガスタービン（機関）
	
類似点	<ul style="list-style-type: none"> <li>・燃焼用空気を機関に送気する機能を有したターボ機械である。</li> <li>・圧縮機とタービンを一軸上の回転軸に配置し両端の軸受で支持した構造である。</li> <li>・回転軸がケーシング内に内包されており、ケーシングがボルト結合されている。</li> <li>・機関全体が高い剛性を有している。</li> </ul>

非常用ディーゼル発電機の過給機とガスタービン（機関）の構造比較（例）

# 審査会合における指摘事項に対する回答【No.71】

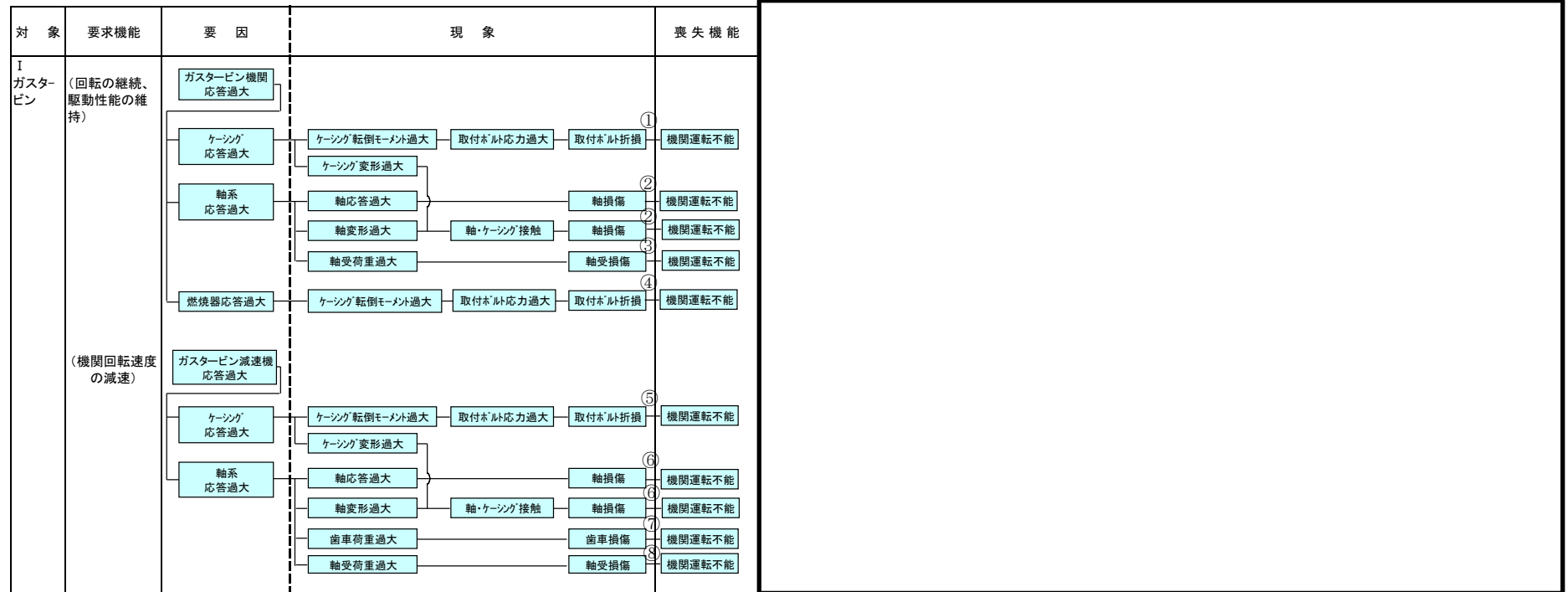
## ■ 指摘事項（令和元年12月17日 第814回審査会合）

【No. 71（論点Ⅱ－8）規格適用範囲外の動的機能維持評価の実施】

○ガスタービン発電機の異常要因分析図について、当該部の構造図と併せて説明すること。

## ■ 回答

島根2号炉のガスタービンにおける異常要因分析図と構造との対応を示す。



ガスタービンの異常要因分析図と構造図（例）

## 參考資料

---



# (参考) 論点[Ⅱ]既工認と今回工認の手法の相違点の整理に基づく 論点のうち機器・配管系に係る論点一覧表 (1)

分類	項目	内容	適用実績・ 審査実績	論点整理 結果※	今回 説明	備考
機器 配管系	[論点Ⅱ-5] サブプレッション・チェンバ内部 水質量の考え方の変更	・既工認では内部水全体を剛体と見なし、 水の全質量を用いていたが、今回工認 ではタンクの耐震設計に一般的に用いら れている有効質量の考え方を適用する。	—	A	—	第845回審査会合 (R2年3月10日)に て説明
	[論点Ⅱ-6] 機器・配管系への制震装 置の適用	・取水槽ガントリクレーン及びSクラス以外 の配管系に制震装置を設置するため、 地震応答解析において制震装置の特性 を適切にモデル化し、時刻歴応答解析 を適用する。	BWR (柏崎6,7号 既工認他) <sup>注1</sup>	A	○	
	[論点Ⅱ-7] 地震時の燃料被覆管の 閉じ込め機能の維持	・燃料被覆管の閉じ込め機能維持の観 点で、地震時の荷重を考慮した一次+ 二次応力の評価を実施する。	—	A	—	第759回審査会合 (R元年8月27日) にて説明
	[論点Ⅱ-8] 規格適用範囲外の動的 機能維持評価の実施	・燃料移送ポンプ等の動的機能維持評 価について、JEAG4601の考え方及び 既往研究の知見を用いて詳細評価(異 常要因分析や構造強度評価)を実施 する。	BWR (東海第二)	B1	○	
	[論点Ⅱ-9] 一定の余裕を考慮した弁 の動的機能維持評価	・弁等の機器の動的機能維持評価にあ たって、応答加速度が当該機器を支持 する配管の地震応答により増加すると考 えられるときは、配管の地震応答の影響 を考慮し、一定の余裕を見込んだ評価 を行う。	PWR BWR (東海第二他)	B2	—	第845回審査会合 (R2年3月10日)に て説明

※(論点整理結果の定義)

A : 過去に適用実績がないもの(新規性:高)

B1 : 新規制審査実績はあるが、個別の確認を要するもの(新規性:中), B2 : 新規制審査実績が十分にあるもの(新規性:低), B3 : 過去の工認実績はあるが、一部差異があるもの(新規性:低)

C : 過去の工認実績と相違がなく、個別審査が不要なもの

D1 : 過去に十分な工認実績があり、工認段階の審査とするもの

注1 : 排気筒への制震装置の適用例がある。

# (参考) 論点[Ⅱ]既工認と今回工認の手法の相違点の整理に基づく 論点のうち機器・配管系に係る論点一覧表 (2)

分類	項目	内容	適用実績・ 審査実績	論点整理 結果※	今回 説明	備考
機器 配管系	[論点Ⅱ-10] 取水槽ガントリクレーンへの 非線形時刻歴応答解析 の適用	・取水槽ガントリクレーンの耐震性評価において、浮き上がりやすべりを考慮した解析モデルによる非線形時刻歴応答解析を適用する。	BWR (大間1号 既工認他)	B3	○	
	[論点Ⅱ-11] 原子炉格納容器スタビライ ザばね定数の変更	・既工認では、1対のトラス（パイプ2本）の荷重-変位関係によりばね定数を算定していたが、今回工認では、取り付け部であるガセットプレート及びシヤラグもモデル化対象に含め、全体系モデルによるFEM解析により、実現象に即したばね定数を算定する。	BWR (大間1号 既工認他)	B3	—	第845回審査会合 (R2年3月10日)に て説明
	[論点Ⅱ-12] 容器等の応力解析へのF EMモデルの適用	・既工認において公式等による評価にて耐震計算を実施していた設備について、3次元FEMモデルを適用した耐震評価を実施する。	BWR (大間1号 既工認他)	D1	—	第781回審査会合 (R元年10月8日) にて説明
	[論点Ⅱ-13] 水平方向の原子炉建物 -大型機器連成モデルの 変更（原子炉圧力容器 スタビライザのばね定数変 更を含む）	・水平方向の応答解析モデルについて、既工認ではPCV-RPVモデルとRPV-Rinモデルの2種類のモデルを用いていたが、今回工認ではPCV-RPV-Rinモデルを用いている。 ・RPVスタビライザのばね定数算出方法を変更する。	BWR (大間1号 既工認他)	D1	—	第845回審査会合 (R2年3月10日)に て説明

※（論点整理結果の定義）

- A : 過去に適用実績がないもの（新規性：高）
- B 1 : 新規制審査実績はあるが、個別の確認を要するもの（新規性：中）、B 2 : 新規制審査実績が十分にあるもの（新規性：低）、B 3 : 過去の工認実績はあるが、一部差異があるもの（新規性：低）
- C : 過去の工認実績と相違がなく、個別審査が不要なもの
- D 1 : 過去に十分な工認実績があり、工認段階の審査とするもの

# (参考) 論点[Ⅱ]既工認と今回工認の手法の相違点の整理に基づく 論点のうち機器・配管系に係る論点一覧表 (3)

分類	項目	内容	適用実績・ 審査実績	論点整理 結果※	今回 説明	備考
機器 配管系	[論点Ⅱ-14] 鉛直方向応答解析モデル の追加	・鉛直方向の動的地震力に対する考慮 が必要となったことから、鉛直方向につい ても動的地震力の算定を行うための解析 モデルを作成する。	PWR BWR (大間1号 既工認他)	D1	—	第781回審査会合 (R元年10月8日) にて説明
	[論点Ⅱ-15] 鉛直方向の減衰定数の 考慮	・鉛直方向の動的地震力を適用するこ とに伴い、鉛直方向の設計用減衰定数を 新たに設定する。	PWR BWR (大間1号 既工認他)	D1	—	第781回審査会合 (R元年10月8日) にて説明
	[論点Ⅱ-16] 最新知見として得られた減 衰定数の採用	・今回工認では最新知見として得られた 減衰定数を採用する。	PWR BWR (大間1号 既工認他)	D1	—	第781回審査会合 (R元年10月8日) にて説明
	[論点Ⅱ-17] 水平方向と鉛直方向の二 乗和平方根 (SRSS) 法 による組合せ	・水平方向及び鉛直方向ともに動的な 地震力での評価となったことから、方向ご との最大加速度の生起時刻に差があるとい う実挙動を踏まえて、二乗和平方根 (SRSS) 法による組合せ法を適用する。	PWR BWR (大間1号 既工認他)	D1	—	第781回審査会合 (R元年10月8日) にて説明

※ (論点整理結果の定義)

- A : 過去に適用実績がないもの (新規性: 高)
- B 1 : 新規制審査実績はあるが、個別の確認を要するもの (新規性: 中), B 2 : 新規制審査実績が十分にあるもの (新規性: 低), B 3 : 過去の工認実績はあるが、一部差異があるもの (新規性: 低)
- C : 過去の工認実績と相違がなく、個別審査が不要なもの
- D 1 : 過去に十分な工認実績があり、工認段階の審査とするもの

# (参考) 論点[Ⅱ]既工認と今回工認の手法の相違点の整理に基づく 論点のうち機器・配管系に係る論点一覧表 (4)

分類	項目	内容	適用実績・ 審査実績	論点整理 結果※	今回 説明	備考
機器 配管系	[論点Ⅱ-18] 原子炉建物天井クレーンの非線形時刻歴応答解析の適用	・浮き上がりやすさを考慮した解析モデルによる非線形時刻歴応答解析を適用する。	BWR (大間1号 既工認他)	D1	—	第796回審査会合 (R元年11月12日) にて説明
	[論点Ⅱ-19] 立形ポンプの応答解析モデルの精緻化	・既工認モデルに対してJEAG4601-1991追補版に基づくモデルの精緻化を行う。	PWR BWR (大間1号 既工認他)	D1	—	第781回審査会合 (R元年10月8日) にて説明
	[論点Ⅱ-20] 動的機能維持評価の実施	・地震時又は地震後に動的機能が要求される機器等については、基準地震動 $S_s$ による応答に対して、実証試験等により確認されている機能確認済加速度等を許容限界とした評価を行う。	PWR BWR (大間1号 既工認他)	D1	—	第814回審査会合 (R元年12月17日) にて説明
	[論点Ⅱ-21] 等価繰返し回数の設定	・基準地震動の変更に伴い、機器・配管系の耐震評価における疲労評価に用いる等価繰返し回数の見直しを行う。 (第701回審査会合(平成31年4月9日)における指摘事項「機器・配管系の地震等価繰返し回数の設定については、論点として抽出した上で、既工認、他プラントとの比較の観点から重み付けを行い、その結果を説明すること。」の回答)	PWR BWR (大間1号 既工認他)	D1	—	第781回審査会合 (R元年10月8日) にて説明

※ (論点整理結果の定義)  
A : 過去に適用実績がないもの (新規性: 高)  
B 1 : 新規制審査実績はあるが、個別の確認を要するもの (新規性: 中), B 2 : 新規制審査実績が十分にあるもの (新規性: 低), B 3 : 過去の工認実績はあるが、一部差異があるもの (新規性: 低)  
C : 過去の工認実績と相違がなく、個別審査が不要なもの  
D 1 : 過去に十分な工認実績があり、工認段階の審査とするもの