

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-027-10-76 改01
提出年月日	2022年9月27日

弁の応答加速度と駆動部の動作機能確認済加速度の比較の
考え方について

2022年9月

中国電力株式会社

目 次

1. はじめに.....	1
2. 弁の A_T 及び A_{T1} の設定.....	1
3. A_T 超過弁の機能維持評価用加速度の考え方（発生加速度の設定）について.....	3
4. A_T 超過弁の動作機能確認済加速度 A_{T1} の考え方（許容加速度の設定）について.....	5
5. 島根 2 号機における動作機能確認済加速度 A_{T1} を用いた詳細評価手法について.....	5
6. まとめ.....	6

1. はじめに

島根 2 号機では、機能確認済加速度 A_T との比較による動的機能維持評価の結果、機能維持評価用加速度が機能確認済加速度 A_T を超える弁（以下「 A_T 超過弁」という。）について、弁駆動部の動作機能確認済加速度 A_{T1} を用いた詳細評価を実施する。

A_T 超過弁の詳細評価においては、水平及び鉛直方向それぞれに対して弁駆動部の動作機能確認済加速度 A_{T1} を設定し、水平及び鉛直方向それぞれの機能維持評価用加速度と比較することを基本とすることから、その考え方を本資料にて示す。

なお、本資料が関連する工認図書は以下のとおり。

- ・「VI-2-1-14 機器・配管系の計算書作成の方法」

2. 弁の A_T 及び A_{T1} の設定

原子力発電所耐震設計技術指針（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）における弁の地震時機能維持評価では、機能維持評価用加速度と機能確認済加速度 A_T との比較による機能維持評価及び A_T 超過弁における動作機能確認済加速度 A_{T1} との比較及び構造強度評価による詳細評価が示されている。

弁を含む原子力発電所における安全上重要な系統に属する動的機器は、想定される地震動に対する構造健全性に加えて、動的機能維持が要求されることから、既往の動的機能維持確認試験によって、機能確認済加速度 A_T や動作機能確認済加速度 A_{T1} が設定されている。

弁の A_T 及び A_{T1} の設定方法を以下に示す。

(1) 機能確認済加速度 A_T の設定

「動的機器の地震時機能維持に関する研究」（昭和 55 年度上期～昭和 57 年度下期）において、動的機器を対象に試験又は解析による地震時の動的機能維持確認を実施し、本結果に基づく一般的解析手法の開発及び評価基準の確立を図った。

弁においては加振試験から得られた弁最弱部の発生応力の余裕度評価により、水平地震動に対する機能確認済加速度 A_T を設定し、J E A G 4 6 0 1 に本成果が反映された。

その後、鉛直方向地震力についても水平地震動と同様に動的地震力を導入した場合の検討が進められ、「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 11 月～平成 13 年 9 月）において、動的機器の鉛直地震動に対する機能維持確認試験を実施し、鉛直方向に関する機器・配管系の耐震設計手法を確立するための検討を実施した。

弁においては鉛直方向、水平＋鉛直方向の加振試験を実施することで、水平・鉛直地震動に対する機能確認済加速度 A_T を設定し、「原子力発電所耐震設計技術規程」(以下「J E A C 4 6 0 1」という。)に本成果が反映された。

<原子力発電所耐震設計技術規程(J E A C 4 6 0 1 -2015) A_Tの記載抜粋>

- ・一般弁 : 水平 6.0×9.8m/s², 鉛直 6.0×9.8m/s²
(グローブ弁, ゲート弁, バタフライ弁, 逆止弁)
- ・主蒸気隔離弁 : 水平 10.0×9.8m/s², 鉛直 6.2×9.8m/s²
- ・主蒸気逃がし安全弁 : 水平 9.6×9.8m/s², 鉛直 6.1×9.8m/s²

(2) 動作機能確認済加速度 A_{T1} の設定

動作機能確認済加速度 A_{T1} は, 既往試験等により駆動部の動作機能維持が確認されている弁駆動部の応答加速度と定義する。

A_{T1} は J E A C 4 6 0 1 に規定されていないため, 電力共通研究*1~*4(以下「電共研」という。)の加振試験の知見を適用する(詳細については, NS2-補-027-04「動的機能維持の詳細評価について」を参照)。

電共研の加振試験では, 水平 2 方向及び鉛直方向に対してそれぞれ 1 方向加振を行い, 動作機能確認済加速度を設定した。

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)

3. A_T 超過弁の機能維持評価用加速度の考え方（発生加速度の設定）について

島根 2 号機では、 A_T 超過弁に対して、水平 2 方向及び鉛直方向それぞれの動作機能確認済加速度 A_{T1} と機能維持評価用加速度を比較することを基本とする。

機能維持評価用加速度の設定の妥当性について、各方向の加速度の非同時性及び弁の取付方向の観点から説明する。

(1) 各方向の加速度の非同時性の考慮

① 組合せ係数法

水平 2 方向及び鉛直方向の加速度の合成について、水平 2 方向及び鉛直方向の加速度の非同時性を考慮して、米国 Regulatory Guide 1.92*の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考に、組合せ係数法 (1.0 : 0.4 : 0.4) を適用する場合、合成加速度 α は以下となる。

$$\begin{aligned} \cdot \text{合成加速度} : \quad \alpha &= \sqrt{\alpha_x^2 + 0.4^2 \times \alpha_y^2 + 0.4^2 \times \alpha_z^2} \quad (\text{組合せ係数法}) \quad \dots \textcircled{1} \\ & \quad (\text{係数は } \alpha_x : 1.0, \alpha_y, \alpha_z : 0.4 \text{ とする。}) \end{aligned}$$

② 3 方向の絶対値和

組合せ係数法に対して、水平 2 方向及び鉛直方向の加速度の非同時性を考慮せず、3 方向の絶対値和を適用した場合、合成加速度 α は以下となる。

$$\cdot \text{合成加速度} : \quad \alpha = \sqrt{\alpha_x^2 + \alpha_y^2 + \alpha_z^2} \quad (\text{絶対値和}) \quad \dots \textcircled{2}$$

③ 水平 2 方向の絶対値和（島根 2 号機における手法）

機能維持評価用加速度の設定において、水平方向加速度は従来から 2 方向の絶対値和で算出しており、合成加速度 α は以下となる。

$$\cdot \text{合成加速度} : \quad \alpha = \sqrt{\alpha_x^2 + \alpha_y^2} \quad (\text{水平 2 方向の絶対値和}) \quad \dots \textcircled{3}$$

①～③の手法を比較した結果を表 1 に示す。合成加速度 α が最大となる条件 ($\alpha_x = \alpha_y = \alpha_z$) を仮定すると、各軸方向の加速度 ($\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z$) に対して、①は約 1.15 倍 ($=\sqrt{1.32}$)、②は約 1.74 倍 ($=\sqrt{3}$) の加速度となり、水平 2 方向及び鉛直方向の加速度の合成として最大値の非同時性を考慮した組合せ係数法 (①) と比べて、絶対値和 (②) の適用は、過度に安全側な設定であることがわかる。同様に、合成加速度 α が最大となる条件 ($\alpha_x = \alpha_y = \alpha_z$) を仮定すると、各軸方向の加速度 ($\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z$) に対して、水平 2 方向の絶対値和 (③) は最大 1.42 ($=\sqrt{2}$) 倍の加速度となり、組合せ係数法 (①) と比べて、安全側の設定となっている。

注記* : Regulatory Guide 1.92 “Combining modal responses and spatial components in seismic response analysis”

(2) 弁の取付方向

島根2号機では、 A_T 超過弁は全て直立する向きに設置されていること及び弁は構造上、質量の大きい駆動部が厚肉の弁箱やボンネットの上部に、ヨークを介して設置（図1の一般弁の構造図例参照）されている。ヨーク部はその形状から、鉛直方向の荷重に対する軸剛性より水平方向の荷重に対する曲げ剛性が低いことから、弁箱部の応答加速度に対して駆動部への応答増幅が生じることにより、水平方向の駆動部の応答加速度は鉛直方向の応答加速度よりも高くなる傾向にある。

(1), (2) より、組合せ係数法による合成加速度 (①) よりも、水平2方向加速度の絶対値和した合成加速度 (③) の方が大きく、また、 A_T 超過弁は全て直立する向きに設置されていることから、水平方向の駆動部の応答加速度は鉛直方向の駆動部の応答加速度よりも高くなり、機能維持評価用加速度は安全側に設定されていることがわかる。

表1 合成加速度算出に係る組合せ手法の比較

	組合せ手法	合成加速度 α	合成加速度 α が最大となる条件 ($\alpha_x = \alpha_y = \alpha_z$) における算出値
①	組合せ係数法	$\sqrt{\alpha_x^2 + (0.4 \times \alpha_y)^2 + (0.4 \times \alpha_z)^2}$	$\sqrt{1^2 + 0.4^2 + 0.4^2} \alpha_x \cong 1.15 \alpha_x$
②	3方向の絶対値和	$\sqrt{\alpha_x^2 + \alpha_y^2 + \alpha_z^2}$	$\sqrt{1^2 + 1^2 + 1^2} \alpha_x \cong 1.74 \alpha_x$
③	水平2方向の絶対値和	$\sqrt{\alpha_x^2 + \alpha_y^2}, (\alpha_z)$	$\sqrt{1^2 + 1^2} \alpha_x \cong 1.42 \alpha_x$

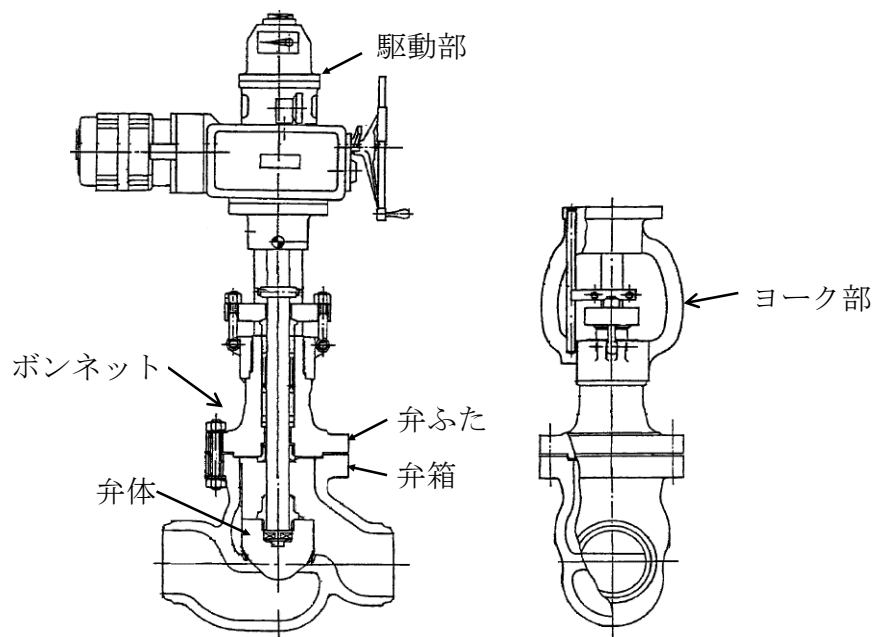


図1 一般弁の構造図 (電動グローブ弁の例)

4. A_T 超過弁の動作機能確認済加速度 A_{T1} の考え方（許容加速度の設定）について

電共研の加振試験では、試験体の形状や駆動方向等を考慮した主要な3軸方向に加振し、駆動部の動作機能維持確認を行っている。

加振方向の設定にあたっては、評価断面の剛性を考慮して弱軸方向を設定し、弱軸方向への加振による構造強度及び動作機能の確認を行っていることから、他の方向への加振に対して安全側の評価となっている。

以上のことから、加振試験に基づき機能維持が確認された領域は、図2に示すとおり、水平方向の動作機能確認済加速度 A_{TH} 及び鉛直方向の動作機能確認済加速度 A_{TV} を半径とした球形状の範囲を有すると考えられる。

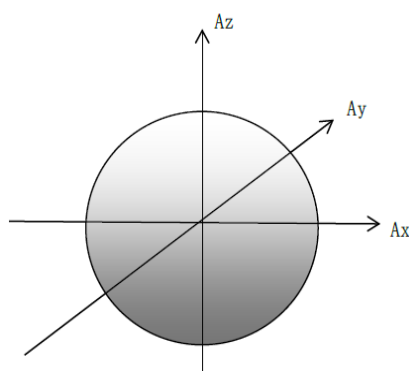


図2 動作機能確認済加速度 A_{T1} の範囲

(水平方向と鉛直方向の動作機能確認済加速度が同値の場合)

5. 島根2号機における動作機能確認済加速度 A_{T1} を用いた詳細評価手法について

3項より、機能維持評価用加速度は、非同時性を考慮して組合せ係数法を適用した合成加速度 α よりも、従来の水平方向加速度 α_H の方が大きく、安全側に設定されている。

また、4項より、電共研の加振試験では、評価断面の剛性を考慮して弱軸方向を設定し、弱軸方向への加振による構造強度及び動作機能の確認を行っていることから、加振試験に基づき機能維持が確認された領域は、水平方向の動作機能確認済加速度 A_{TH} 及び鉛直方向の動作機能確認済加速度 A_{TV} を半径とした球状の範囲を有すると考えられ、発生加速度が本領域以内であれば動的機能は損なわれないものと考えられる。

上記を踏まえて、島根2号機では、 A_T 超過弁についても、水平及び鉛直方向それぞれに対して弁駆動部の動作機能確認済加速度 A_{T1} を設定し、機能維持評価用加速度も水平2方向及び鉛直方向それぞれ算出して比較することを基本とする。具体的な耐震計算書の記載方法を図3に示す。

・FORMAT 耐-12 :

弁の動的機能維持の評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下である。

弁 番号	形式	要求 機能*1	機能維持評価用 加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済 加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		詳細評価項目*2						
			水平	鉛直	水平	鉛直	動作機能確認済 加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)				
							水平	鉛直	評価 部位	応力 分類	計算 応力	許容 応力	

注：評価対象がない場合はすべての欄に「—」と記載する。

構造強度評価については裕度が最小となる部位の評価結果を記載する。

注記*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

α (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの

α (S d)：弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの

β (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

β (S d)：弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

*2：機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は詳細評価を実施し，機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下であることを確認する。なお，機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下の場合は「—」と記載する。

図3 機器・配管系の計算書作成の方法における AT 超過弁の記載方法

6. まとめ

以上のことから，機能維持評価用加速度の水平方向加速度及び鉛直方向加速度のそれぞれに対して比較を行う従来の評価手法は妥当であると考えられる。

ただし，弁駆動部の動作機能確認済加速度 A_{T1} として適用する加速度が 20G 等の大加振により取得されたものであり， A_T を大幅に上回ることを踏まえ，念のため，水平 2 方向及び鉛直地震動を合成した加速度による評価も実施し，評価において一定の余裕を有することを確認する。具体的な補足説明資料の記載例を表 2 に示す。

表 2 補足説明資料における AT 超過弁の記載例

No.	系統	弁名称	弁型式	方向	MAX(50Hz,1.2ZPA)			MAX(100Hz,1.2ZPA)			増加率 ((2)/①)	50Hz→100Hz での増 加値の機能確認済加 速度に対する比率 (((2)-①)/③)	備考
					機能維持評 価用加速度 (①)	機能確認 済加速度 (③)	裕度	機能維持評 価用加速度 (②)	機能確認 済加速度 (③)	裕度			
1	MS	A-主蒸気逃が し安全弁	安全弁	水平	12.34	20.00	1.62	12.56	20.00	1.59	1.02	1.10%	
					12.34			12.56					
					3.21			3.21					
				鉛直	11.11	20.00	1.80	11.44	20.00	1.75	1.03	1.65%	
					11.11			11.44					
					1.23			1.23					
				合成	16.60	20.00	1.20	16.99	20.00	1.18	1.02	1.92%	
					16.60			16.99					
					1.23			1.23					