

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 04
提出年月日	2023年4月7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

2023年4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. 機能確認済加速度 A_T 及び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.....	3
4. 弁の応答加速度の算出方法について	4
5. 島根 2 号機における弁の動的機能維持評価手法について	6
6. まとめ.....	7

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を合成した加速度と比較する方針としており、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 $6.0 \times 9.8 \text{m/s}^2$, 鉛直 $6.0 \times 9.8 \text{m/s}^2$
(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 $10.0 \times 9.8 \text{m/s}^2$, 鉛直 $6.2 \times 9.8 \text{m/s}^2$
- ・主蒸気逃がし安全弁 : 水平 $9.6 \times 9.8 \text{m/s}^2$, 鉛直 $6.1 \times 9.8 \text{m/s}^2$

(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. 機能確認済加速度 A_T 及び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

(1) 機能確認済加速度 A_T の設定

機能確認済加速度 A_T の設定の際に実施された「鉛直地震動を受ける設備の耐震評価手法に関する研究」では、水平・鉛直方向の同時加振試験、解析による水平・鉛直の機能確認済加速度における最弱部発生応力の余裕度評価及び解析による水平・鉛直の機能確認済加速度における弃体挙動評価を実施していることから、機能維持が確認された領域は、図1に示すような円柱状の範囲を有すると考えられる。よって、水平及び鉛直方向それぞれ方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度 A_T を下回っていることを確認することで、水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度についても、機能維持が確認できる。

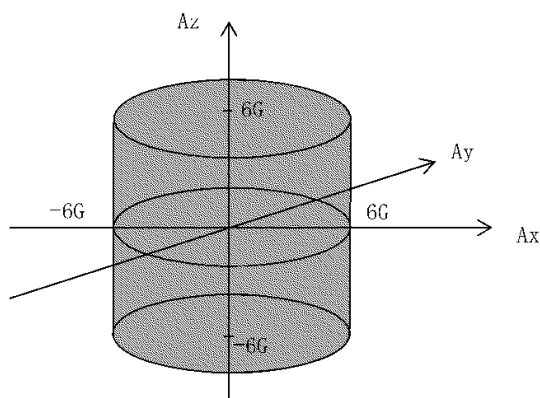


図1 機能確認済加速度 A_T の範囲

(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} の設定の際に実施された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_{T1H} 及び鉛直方向の動作機能確認済加速度 A_{T1V} を半径とした球形状の範囲を有すると考えられる。

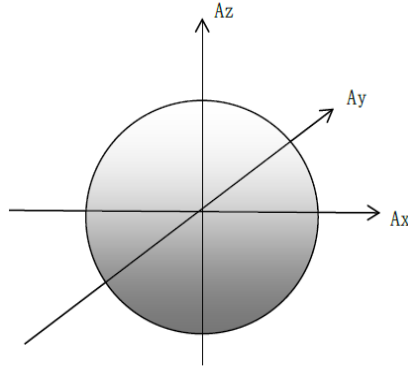


図2 動作機能確認済加速度 A_{T1} の範囲
(水平方向と鉛直方向の動作機能確認済加速度が同値の場合)

4. 弁の応答加速度の算出方法について

配管系は 3 次元の振動モードを有しており、建物等からの加振入力方向と異なる方向に対しても応答が生じるため、NS, EW, UD それぞれの入力方向に対し、x, y, z の各軸方向の応答加速度が得られる。i 次モードにおける各軸方向の弁駆動部の応答加速度の記号を表 1 のとおり定義すると、i 次モードにおける各軸方向の応答加速度は、NS, EW, UD それぞれの入力方向の非同時性を考慮して、以下の式で表される。

$$\alpha_{ix} = \sqrt{\alpha_{ix(NS)}^2 + \alpha_{ix(EW)}^2 + \alpha_{ix(UD)}^2}$$

$$\alpha_{iy} = \sqrt{\alpha_{iy(NS)}^2 + \alpha_{iy(EW)}^2 + \alpha_{iy(UD)}^2}$$

$$\alpha_{iz} = \sqrt{\alpha_{iz(NS)}^2 + \alpha_{iz(EW)}^2 + \alpha_{iz(UD)}^2}$$

上記にて求めた i 次モードにおける各軸方向の弁駆動部の応答加速度について、各モードの重ね合わせをすることで、各軸方向の弁駆動部の応答加速度が得られる。この時、各軸方向の弁駆動部の応答加速度は、各モードの非同時性を考慮して、以下の式で表される。

- x 方向応答加速度： $a_x = \sqrt{a_{1x}^2 + a_{2x}^2 + \dots + a_{ix}^2 + \dots}$
- y 方向応答加速度： $a_y = \sqrt{a_{1y}^2 + a_{2y}^2 + \dots + a_{iy}^2 + \dots}$
- z 方向応答加速度： $a_z = \sqrt{a_{1z}^2 + a_{2z}^2 + \dots + a_{iz}^2 + \dots}$

表 1 i 次モードにおける各軸方向の弁駆動部の応答加速度の記号

		入力地震動の方向		
		NS	EW	UD
応答 加速 度 方 向	x	$a_{ix(NS)}$	$a_{ix(EW)}$	$a_{ix(UD)}$
	y	$a_{iy(NS)}$	$a_{iy(EW)}$	$a_{iy(UD)}$
	z	$a_{iz(NS)}$	$a_{iz(EW)}$	$a_{iz(UD)}$

5. 島根 2 号機における弁の動的機能維持評価手法について

島根 2 号機における機能確認済加速度 A_T 及び動作機能確認済加速度 A_{T1} と比較する機能維持評価用加速度については、機能確認済加速度 A_T 及び動作機能確認済加速度 A_{T1} （許容加速度）の設定方法を踏まえて設定する。2 及び 3 項に示すとおり、機能確認済加速度 A_T は水平＋鉛直方向の加振試験及び解析により、動作機能確認済加速度 A_{T1} は水平 2 方向及び鉛直方向に対してそれぞれ 1 方向加振試験により設定している。機能確認済加速度 A_T 及び動作機能確認済加速度 A_{T1} の範囲のイメージを図 3 に示す。

機能確認済加速度 A_T は、水平＋鉛直方向の加振試験及び解析により設定していることから、図 3 の赤枠のように表すことができる。したがって、水平及び鉛直方向それぞれの機能維持評価用加速度が機能確認済加速度 A_T 以下であれば、加振試験及び解析により機能維持が確認された範囲内であり、弁の動的機能維持が確認できる。

動作機能確認済加速度 A_{T1} は、水平 2 方向及び鉛直方向に対してそれぞれ 1 方向加振試験により設定していることから、図 3 の青枠のように表すことができる。水平及び鉛直方向それぞれの機能維持評価用加速度のベクトル和した値が各方向の動作機能確認済加速度 A_{T1} 以下であれば、加振試験により機能維持が確認された範囲内であり、弁の動的機能維持が確認できる。

島根 2 号機における弁の動的機能維持評価手法を表 2 に示す。

表 2 島根 2 号機における弁の動的機能維持評価手法

評価項目	各軸方向の弁駆動部の 応答加速度の合成方法	機能維持評価用 加速度	比較方法
機能確認済加速度 A_T との比較	水平：水平 2 方向の応答加 速度をベクトル和 鉛直：鉛直方向の応答加 速度	$\sqrt{\alpha_x^2 + \alpha_y^2}, (\alpha_z)$	$\sqrt{\alpha_x^2 + \alpha_y^2} \leq A_{TH},$ $\alpha_z \leq A_{TV}$
動作機能確認済 加速度 A_{T1} との比 較	水平 2 方向及び鉛直方向の 応答加速度をベクトル和	$\sqrt{\alpha_x^2 + \alpha_y^2 + \alpha_z^2}$	$\sqrt{\alpha_x^2 + \alpha_y^2 + \alpha_z^2}$ $\leq \text{MIN}(A_{T1H}, A_{T1V})$

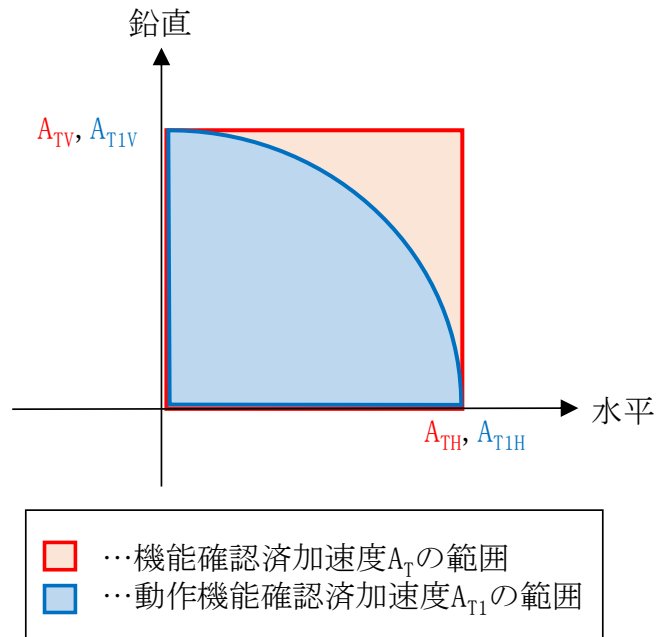


図3 機能確認済加速度 A_T 及び動作機能確認済加速度 A_{T1} の範囲のイメージ

6. まとめ

島根2号機においては、機能確認済加速度 A_T との比較では、機能維持評価用加速度として水平2方向をベクトル和した加速度及び鉛直方向の加速度を用いる。また、動作機能確認済加速度 A_{T1} との比較では、機能維持評価用加速度として水平2方向及び鉛直方向の加速度をベクトル和した加速度を用いる。具体的な耐震計算書の記載方法及び補足説明資料の記載例を図4に、補足説明資料の記載例を表3に示す。

・FORMAT 耐—12：

弁の動的機能維持の評価結果

下表に示すとおり水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は水平及び鉛直方向を合成した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*2, *3						
			水平	鉛直	合成*3, *4	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

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

*2：水平又は鉛直方向の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，水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度の最小値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。

*3：詳細評価を実施しない場合は「—」を記載する。

*4：水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度をベクトル和により合成した値であり，詳細評価を実施する場合に使用する。

図4 機器・配管系の計算書作成の方法における A_T 超過弁の記載方法

表 3 補足説明資料における A_T 超過弁の記載例*¹

No.	系統	弁番号	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* ⁴ ((②-①)/③)	判定 区分* ⁵
						機能維持 評価用加速 度* ² (①)	機能又 は動作 確認済 加速度* ³ (③)	裕度	機能維持 評価用加速 度* ² (②)	機能又 は動作 確認済 加速度* ³ (③)	裕度			
1	MS	RV202- 1A	A-主 蒸気逃 がし安 全弁	逃がし 安全弁	水平	12.05	20.00	1.65	12.05	20.00	1.65	1.00	—	A
						12.05			12.05					
						3.18			3.18					
					鉛直	5.52	20.00	3.62	5.62	20.00	3.55	1.02	—	
						5.52			5.62					
						1.44			1.44					
					合成	13.26	20.00	1.50	13.30	20.00	1.50	1.01	—	

注記*1：加速度の単位は[G]である。

*2：上段が動的解析結果（50Hz 又は 100Hz）と最大加速度（1. 2ZPA）における最大値，中段が動的解析結果（50Hz 又は 100Hz）の値，下段が最大加速度（1. 2ZPA）の値。配管系が剛構造の場合は中段の動的解析結果に「—」を記載する。

*3：機能確認済加速度以下となる弁については機能確認済加速度，機能確認済加速度を超過する弁については動作確認済加速度を記載する。

*4：機能確認済加速度を超過し詳細評価を実施する弁については，判断基準から除外する。

*5：機能確認済加速度を超過した評価値については「A」，振動数領域を 50Hz にした場合の応答加速度と振動数領域を 100Hz にした場合の応答加速度を比較して有意な応答増加が確認された評価値については「B」を記載する。