

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-027-04 改 08
提出年月日	2022年11月29日

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)

2022年11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。

目 次

1. はじめに	1
2. 動的機能維持評価において個別検討が必要な設備の検討方針	2
3. 「詳細検討」, 「新たな検討」 又は加振試験が必要な設備の抽出	2
3.1 検討対象設備の整理	2
3.2 「詳細検討」, 「新たな検討」 又は加振試験が必要な設備の抽出	3
3.3 抽出結果	5
4. 「詳細検討」 又は 「新たな検討」 が必要な設備の検討内容詳細	9

別紙1 「新たな検討」が必要な設備の評価

別紙2 「詳細検討」が必要な設備の評価

別紙3 先行審査プラントとの申請設備の動的機能維持詳細評価方法比較表

今回提出範囲 :

「詳細検討」が必要な設備の評価

目 次

1. はじめに
2. 動的機能維持評価の「詳細検討」が必要な設備
3. 動的機能維持評価の「詳細検討」に係る対応方針
4. 動的機能維持評価に係る機種ごとの「詳細検討」

別紙 2-1 横形ポンプの「詳細検討」

別紙 2-2 電動機の「詳細検討」

別紙 2-3 ファンの「詳細検討」

別紙 2-4 往復動式ポンプの「詳細検討」

別紙 2-5 特殊弁及び一般弁の「詳細検討」

1. 詳細検討対象設備
2. 特殊弁及び一般弁の評価手順
3. 特殊弁及び一般弁の詳細検討方針
 - 3.1 主蒸気隔離弁、主蒸気逃がし安全弁及び一般弁（グローブ弁、ゲート弁、バタフライ弁）の詳細評価
 - 3.1.1 構造強度評価（弁最弱部）
 - 3.1.2 弁駆動部の動作機能確認済加速度を用いた加速度評価
 - 3.1.3 島根 2 号機の今回工認における弁の動的機能維持評価手順
 - 3.2 一般弁（逆止弁）の詳細評価
4. 特殊弁及び一般弁の詳細検討に適用する駆動部の動作機能確認済加速度の設定
5. 参考文献

参考資料 1 逆止弁の地震時機能維持評価における詳細評価の明確化について

参考資料 2 逆止弁の開機能維持又は閉機能維持のための加速度の算出方法

参考資料 3 弁の動的機能維持の「詳細検討」に適用する試験結果

今回提出範囲：

別添 2-5-1 弁の動的機能維持評価の「詳細検討」に適用する試験結果

1. はじめに

2. 弁の高加速度加振試験概要

2.1 加振装置

2.2 基本条件

2.3 加振波について

2.4 電動弁駆動部の加振試験

2.5 空気作動弁駆動部の加振試験

2.6 主蒸気逃がし安全弁の加振試験

2.7 主蒸気隔離弁の加振試験

3. 最新知見に基づく駆動部の動作機能確認済加速度

4. 参考文献

参考資料 電共研と既往研究における加振試験の基本条件の相違

今回提出範囲：

特殊弁及び一般弁の「詳細検討」

1. 詳細検討対象設備

本資料では、主蒸気隔離弁、主蒸気逃がし安全弁及び一般弁（グローブ弁、ゲート弁、バタフライ弁、逆止弁）のうち、機能確認済加速度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を超える設備についての詳細検討の方針を説明する。

2. 特殊弁及び一般弁の評価手順

J E A G 4 6 0 1 に示されている各弁の評価ポイントは、主蒸気隔離弁、主蒸気逃がし安全弁及び一般弁（グローブ弁、ゲート弁、バタフライ弁）においては構造強度、漏えい、作動であり、一般弁（逆止弁）においては開機能の維持又は閉機能の維持である。

J E A G 4 6 0 1 ではそれらの評価ポイントに基づいて、各弁に対して以下のとおり評価手順が策定されている。

(1) 主蒸気隔離弁の評価手順

J E A G 4 6 0 1 に記載されている主蒸気隔離弁の評価手順を別紙 2-5-1 図に示す。

(2) 主蒸気逃がし安全弁の評価手順

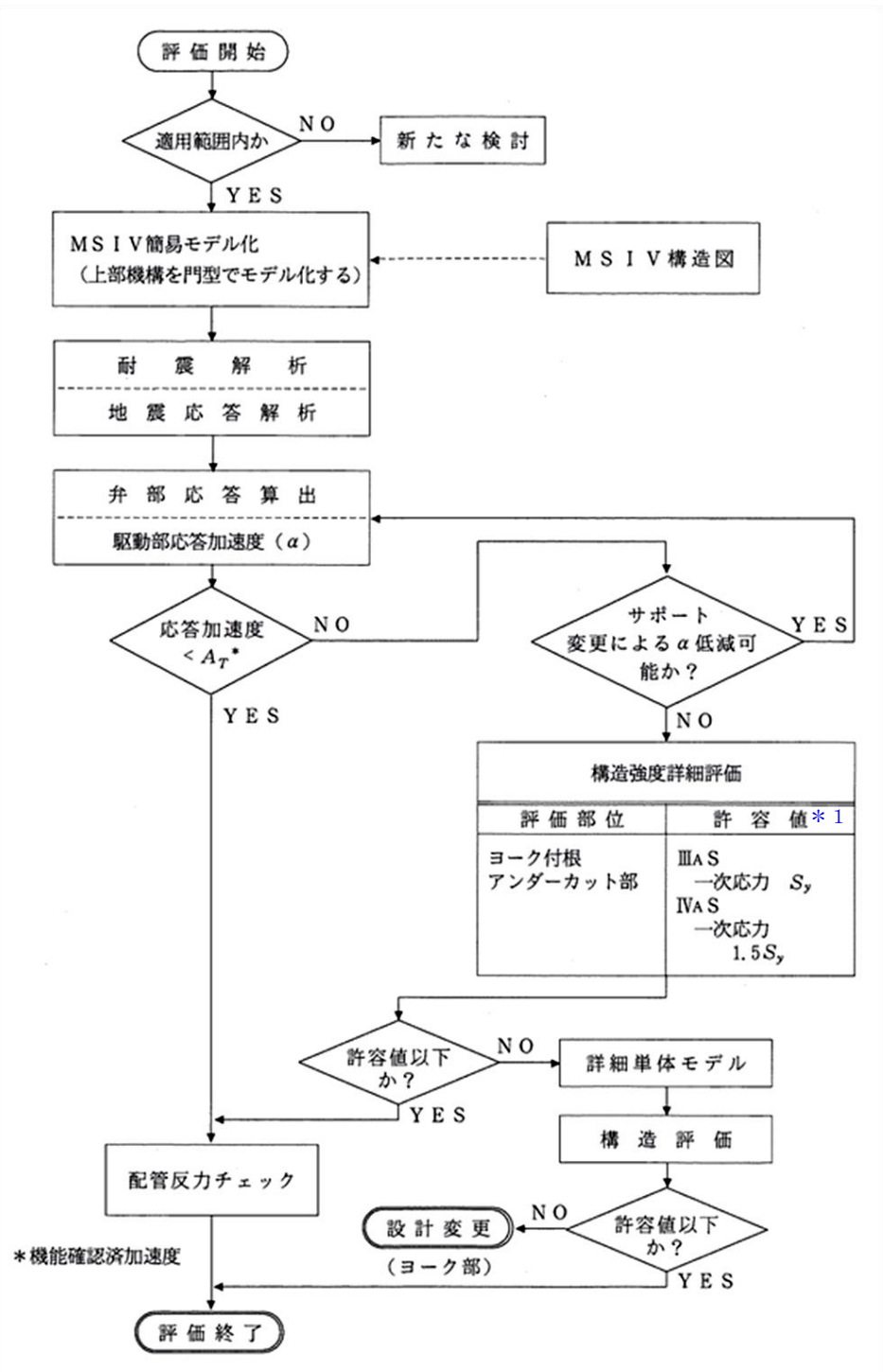
J E A G 4 6 0 1 に記載されている主蒸気逃がし安全弁の評価手順を別紙 2-5-2 図に示す。

(3) 一般弁（グローブ弁、ゲート弁、バタフライ弁）の評価手順

J E A G 4 6 0 1 に記載されている一般弁（グローブ弁、ゲート弁、バタフライ弁）の評価手順を別紙 2-5-3 図に示す。

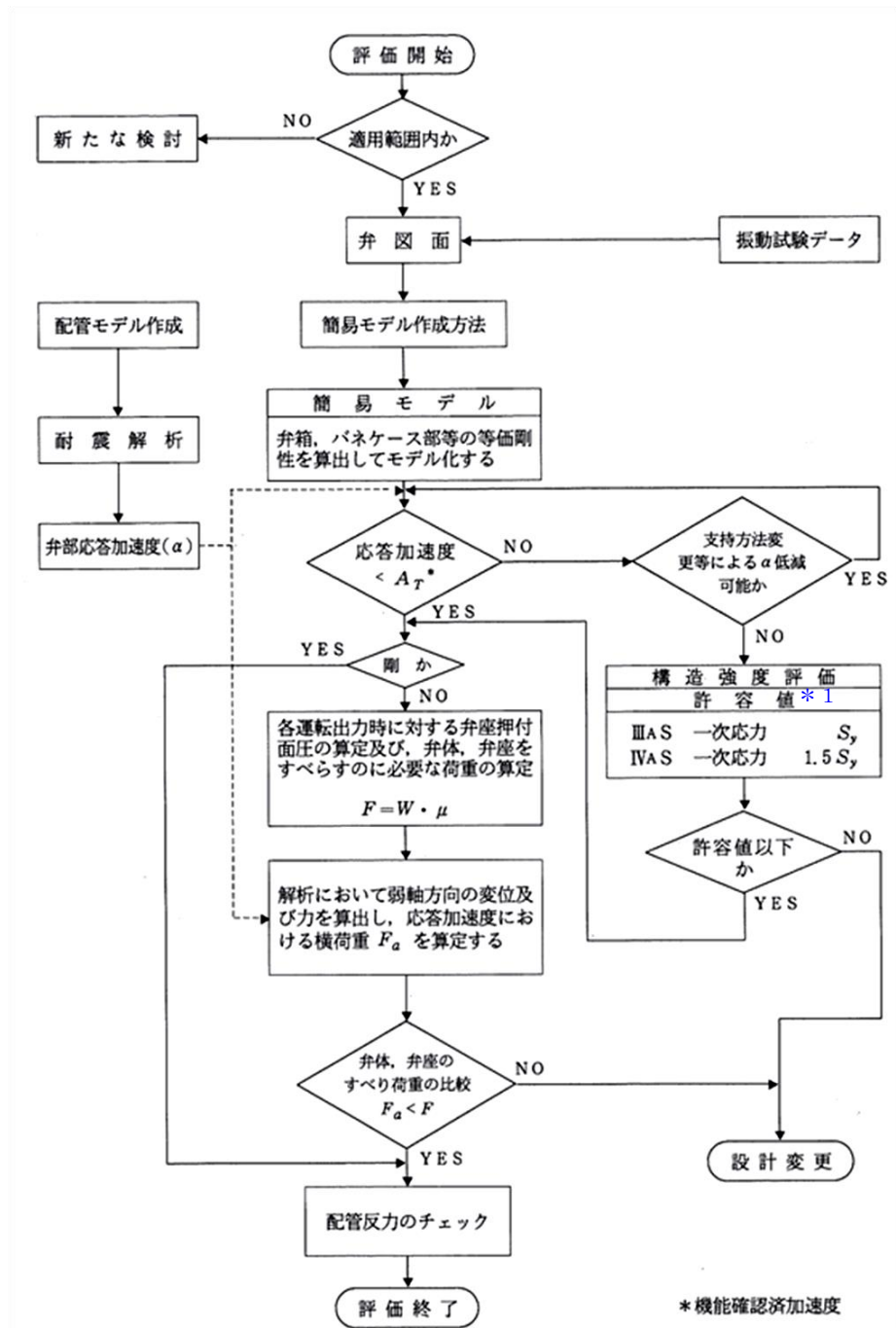
(4) 一般弁（逆止弁）の評価手順

J E A G 4 6 0 1 に記載されている一般弁（逆止弁）の評価手順を別紙 2-5-4 図に示す。



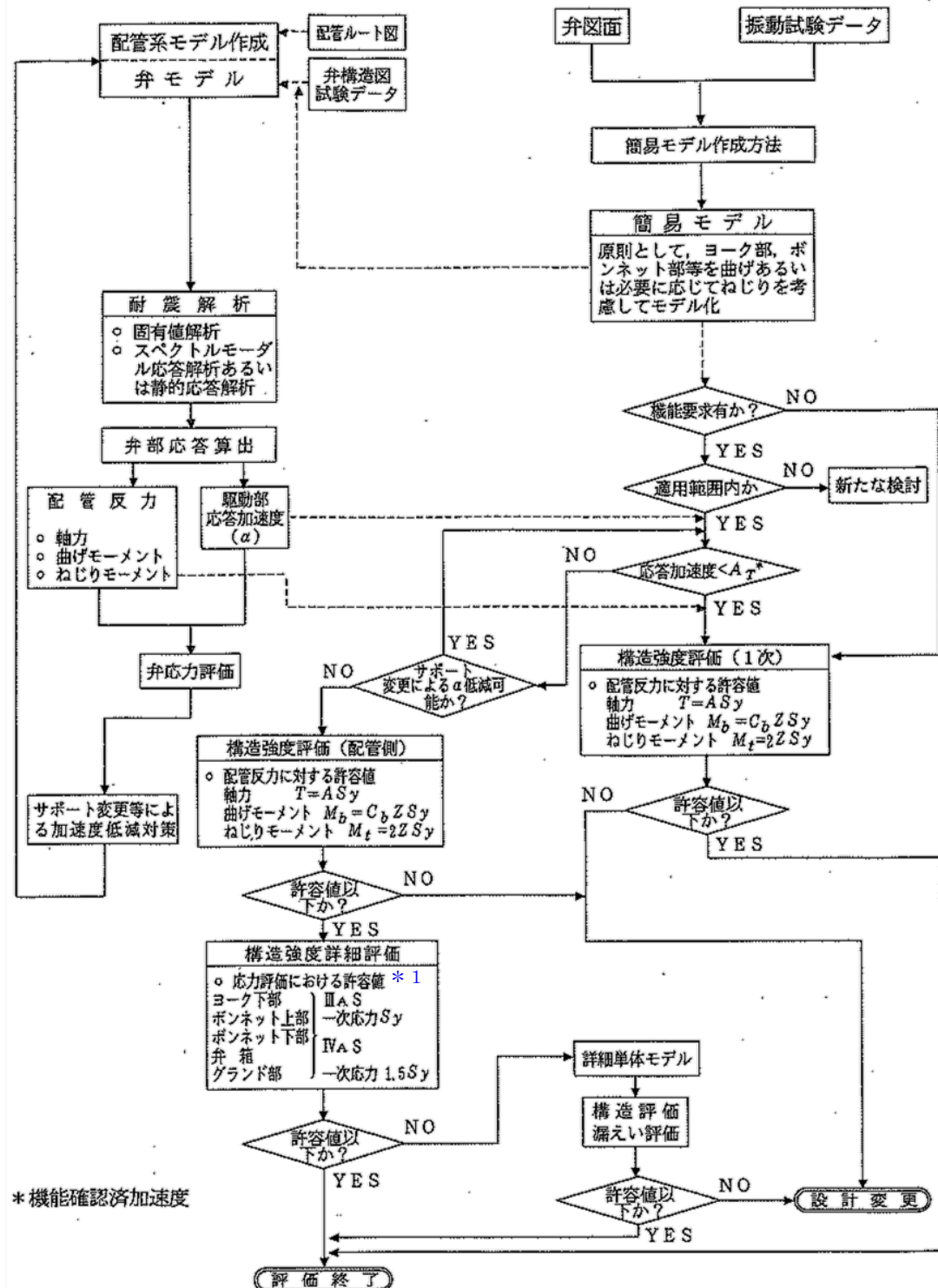
注記*1：基準地震動 S_1 に対しては許容応力状態Ⅲ A_S ，基準地震動 S_2 に対しては許容応力状態Ⅳ A_S を適用する。

別紙 2-5-1 図 JEAG 4601 に記載された主蒸気隔離弁の評価手順 (JEAG 4601 の記載に青字で追記)



注記*1: 基準地震動 S_1 に対しては許容応力状態ⅢAS, 基準地震動 S_2 に対しては許容応力状態ⅣASを適用する。

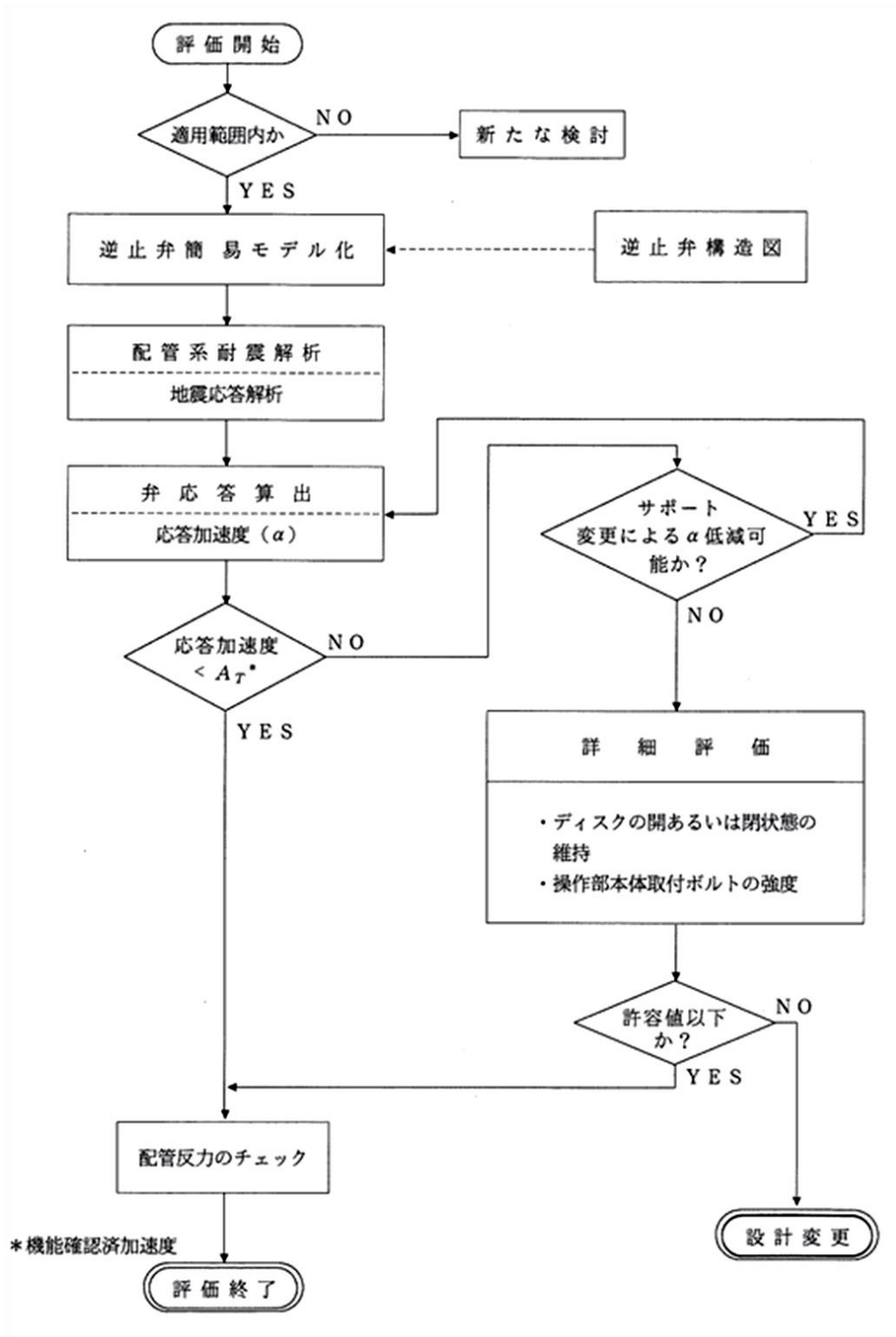
別紙 2-5-2 図 J E A G 4 6 0 1 に記載された主蒸気逃がし安全弁の評価手順
(J E A G 4 6 0 1 の記載に青字で追記)



*機能確認済加速度

注記*1：基準地震動 S_1 に対しては許容応力状態Ⅲ S 、基準地震動 S_2 に対しては許容応力状態Ⅳ S を適用する。

別紙2-5-3 図 J E A G 4 6 0 1 に記載された一般弁
(グローブ弁, ゲート弁, バタフライ弁)の評価手順
(J E A G 4 6 0 1 の記載に青字で追記)



別紙 2-5-4 図 JEAG 4601 に記載された一般弁（逆止弁）の評価手順

3. 特殊弁及び一般弁の詳細検討方針

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して詳細検討を行う。

J E A G 4 6 0 1において、駆動部応答加速度（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の対処方法として、以下の記載がある。

- ①弁の要求機能のうち構造強度及び漏えいに関しては、弁最弱部の強度評価に含めて検討できる。
- ②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。

これらの記載に基づき、機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えた弁に適用する詳細検討として、以下の項目について評価を実施する。

3.1 主蒸気隔離弁、主蒸気逃がし安全弁及び一般弁（グローブ弁、ゲート弁、バタフライ弁）の詳細評価

3.1.1 構造強度評価（弁最弱部）

弁の構造強度の詳細評価として、弁最弱部の強度評価を行う。

弁の最弱部として、主蒸気隔離弁においてはヨークロッド付根のアンダーカット部、主蒸気逃がし安全弁においてはクーリングスプール、一般弁（グローブ弁、ゲート弁、バタフライ弁）においてはヨーク下部、ボンネット上部及びボンネット下部のいずれかを評価部位とする。

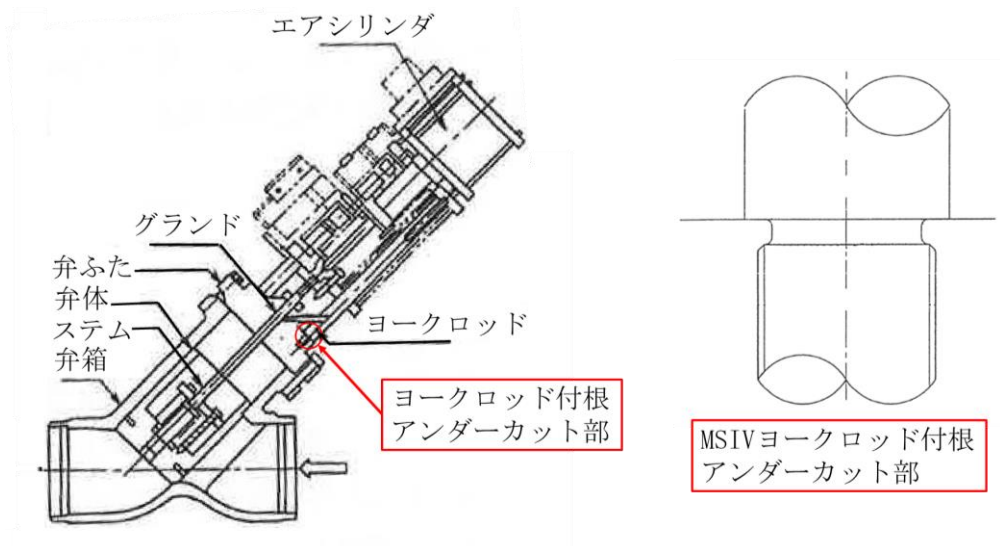
各評価部位を別紙 2-5-5 図、別紙 2-5-6 図及び別紙 2-5-7 図に示す。

また、弁最弱部の評価式の例を以下に示す。

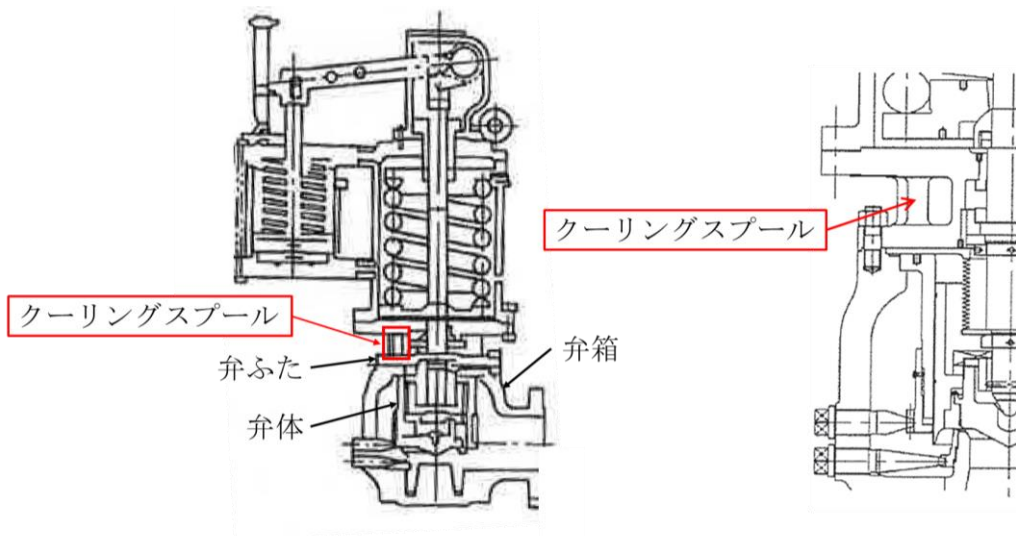
（弁最弱部の評価式の例）

$$\text{弁最弱部に発生する曲げ応力} : \sigma = (m_1 \cdot \alpha \cdot h) / Z$$

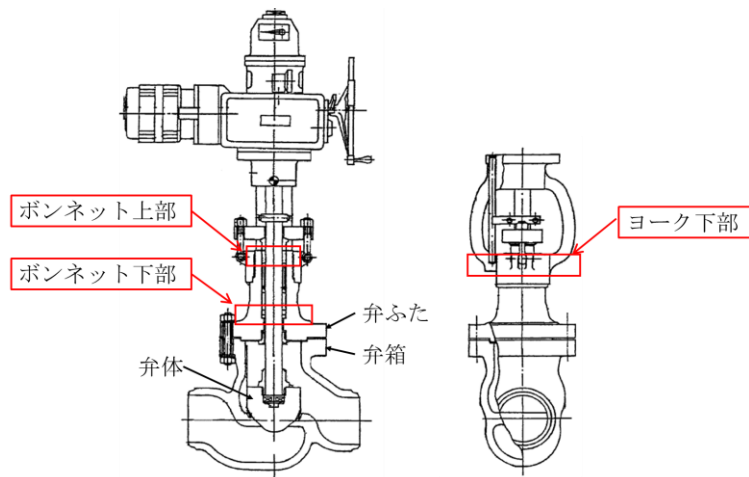
記号	記号の説明	単位
σ	最弱部に発生する一次応力	MPa
m_1	弁駆動部及びヨーク部の質量	kg
α	弁駆動部応答加速度	m/s ²
h	最弱部に作用するモーメント長さ	mm
Z	最弱部の断面係数	mm ³



別紙 2-5-5 図 主蒸気隔離弁の構造強度評価部位



別紙 2-5-6 図 主蒸気逃がし安全弁の構造強度評価部位



別紙 2-5-7 図 一般弁の構造強度評価部位（電動グローブ弁の例）

3.1.2 弁駆動部の動作機能確認済加速度を用いた加速度評価

弁の作動機能の評価として、弁駆動部の応答加速度に対して駆動部の動作機能確認済加速度を用いた評価を行う。

駆動部の動作機能確認済加速度とは、例えば電動弁のモータ部のような弁駆動部単体の動作を確認した加速度であり、弁全体の機能維持を担保する機能確認済加速度とは異なる。

駆動部の動作機能確認済加速度は、電力共通研究*1~*4(以下「電共研」という。)において実施された弁駆動部の加振試験の知見を適用する。

電共研の詳細については、別添-2-5-1 に示す。

また、電共研の成果を発表した公開文献を、5. 参考文献に示す。

3.1.1 の構造強度評価及び3.1.2 の弁駆動部の加速度評価の両方を満足することにより、当該弁が動的機能維持評価を満足することを確認する。

なお、逆止弁については、駆動部単体の応答加速度評価は不要のため、開機能の維持又は閉機能の維持の評価により、動的機能維持を確認する。

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)

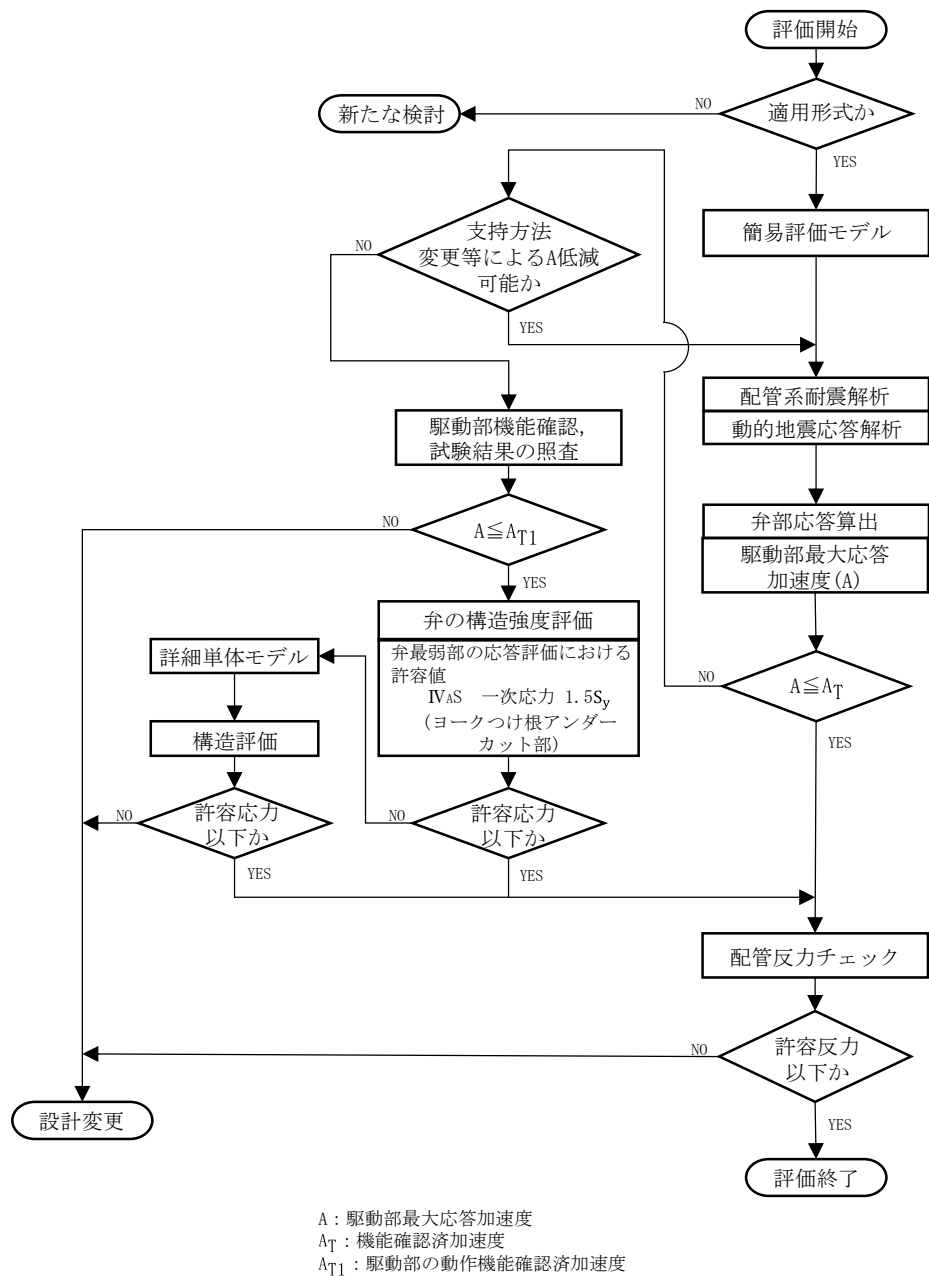
3.1.3 島根2号機の今回工認における弁の動的機能維持評価手順

島根2号機の今回工認における弁の動的機能維持評価については、J E A G 4 6 0 1 -1991 の評価手順を基本とし、その後の加振試験結果を照査し、その知見を反映した評価を行う。

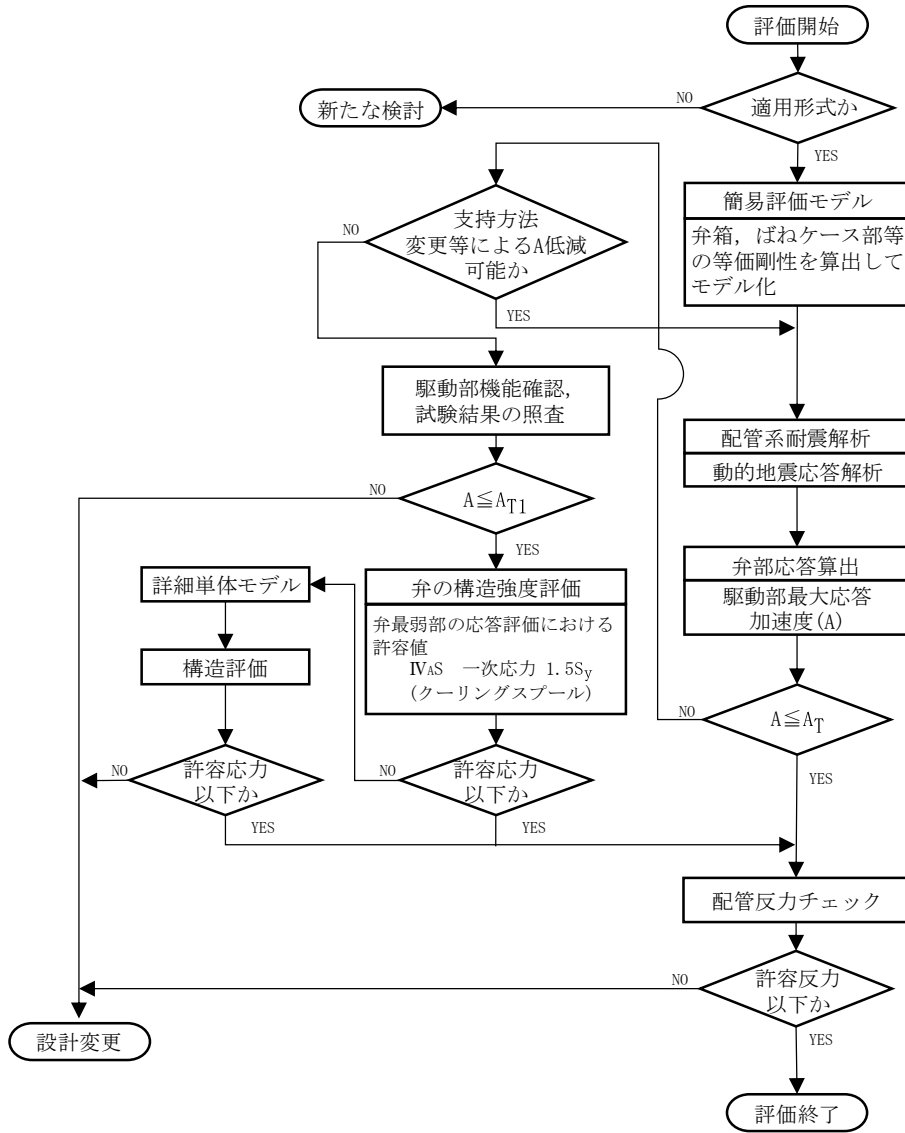
島根2号機の今回工認における主蒸気隔離弁、主蒸気逃がし安全弁、一般弁（グローブ弁、ゲート弁、バタフライ弁）及び一般弁（逆止弁）の動的機能維持評価の手順を、別紙2-5-8 図、別紙2-5-9 図及び別紙2-5-10 図に示す。

島根2号機の今回工認においては、J E A G 4 6 0 1 では基準地震動 S_1 にて動的機能維持評価を行う弁についても基準地震動 S_s により評価することから、弁の構造強度評価は基準地震動 S_s に対する許容応力状態 IV_{AS} の評価を行う。

また、主蒸気逃がし安全弁の評価においては、J E A G 4 6 0 1 では、弁体と弁座の摺動によってシート面に傷が発生し漏えいの原因となるため、弁体のすべりの有無を確認しているが、機能確認済加速度 A_T である水平方向 $9.6 \times 9.8 \text{m/s}^2$ 、鉛直方向 $6.1 \times 9.8 \text{m/s}^2$ による振動試験の結果、弁体のすべりに起因する漏えい量の増加が確認されなかったため、発生加速度が機能確認済加速度 A_T 以下の弁については、弁体のすべりの有無の確認は不要とした。発生加速度が機能確認済加速度 A_T を超える弁についても、主蒸気逃がし安全弁の最弱部はクーリングスプールであることを確認しているため、弁の構造強度評価において弁体のすべりの有無の確認は不要とした。

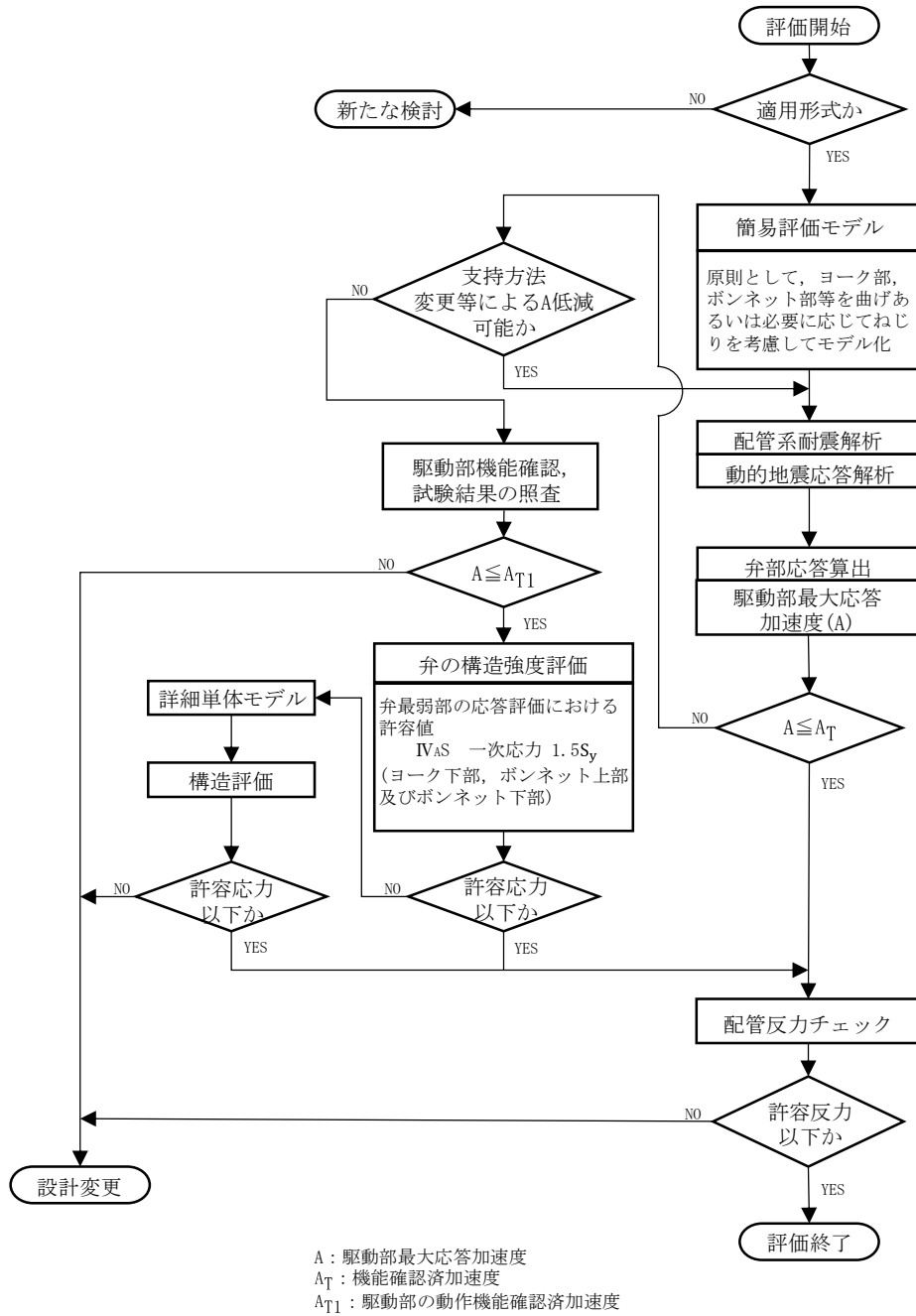


別紙 2-5-8 図 島根 2 号機の今回工認における主蒸気隔離弁の評価手順



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

別紙 2-5-9 図 島根 2 号機の今回工認における主蒸気逃がし安全弁の評価手順



別紙 2-5-10 図 島根 2 号機の今回工認における一般弁
 (グローブ弁, ゲート弁及びバタフライ弁) の評価手順

3.2 一般弁（逆止弁）の詳細評価

逆止弁については、駆動部単体の応答加速度評価は不要のため、開機能の維持又は閉機能の維持の評価により、動的機能維持を確認する。なお、島根2号機の今回工認における逆止弁の動的機能維持評価では、動的機能維持要求の分類に応じた評価として、地震時*に動的機能が要求される弁については、弁体挙動評価（「閉」⇒「開」動作後の開機能の維持又は「開」⇒「閉」動作後の閉機能の維持の評価）及び構造強度評価を実施し、地震後に動的機能が要求される弁については、弁体挙動評価の要求がないことから、構造強度評価を実施する（詳細は参考資料1に示す日本電気協会 原子力規格委員会 耐震設計分科会及び機器・配管系検討会資料参照）。なお、他の機器においては地震後に動的機能が要求されるものについても運転状態を考慮して動的機能維持評価を実施している場合もあるが、地震後に動的機能が要求される一般弁（逆止弁）については、地震時*は動的機能維持評価の対象となる開動作又は閉動作に寄与する荷重（系統圧力又は弁前後の差圧）がないため、動作方向の荷重と動作を妨げる方向の地震荷重との比較による弁体挙動評価は実施できない。参考として、機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する逆止弁を対象に、弁の動作方向に荷重が生じた状態で地震荷重が負荷される場合の弁体挙動評価結果を参考資料3に示す。

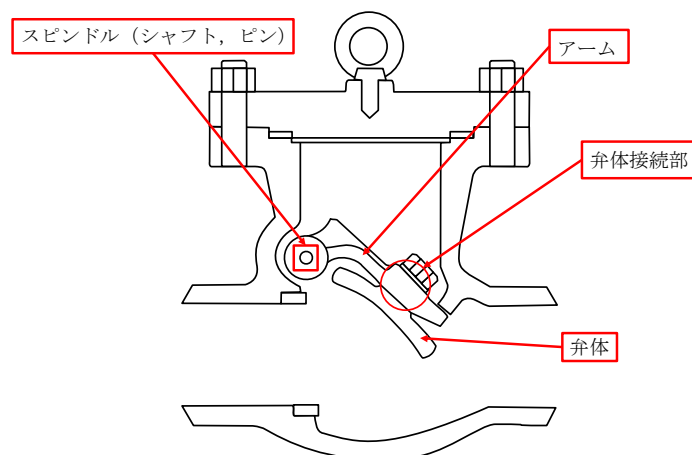
弁の構造強度評価における評価部位を以下に示す。なお、島根2号機の操作装置付逆止弁は構造上、操作部動力伝達機構が分離してあるため、操作部動力伝達機構の評価は不要である。

- ・スピンドル（シャフト、ピン）、アーム、弁体接続部、弁体
- ・操作部本体取付ボルト（操作装置付逆止弁の場合）

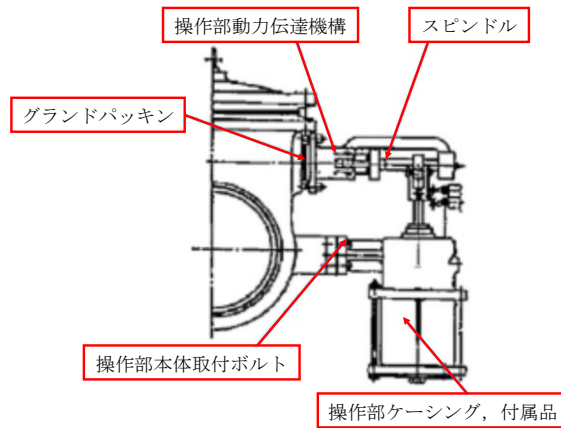
評価部位を別紙2-5-11図及び別紙2-5-12図に示す。

島根2号機の今回工認における一般弁（逆止弁）の詳細評価を含めた評価手順を別紙2-5-13図に示す。

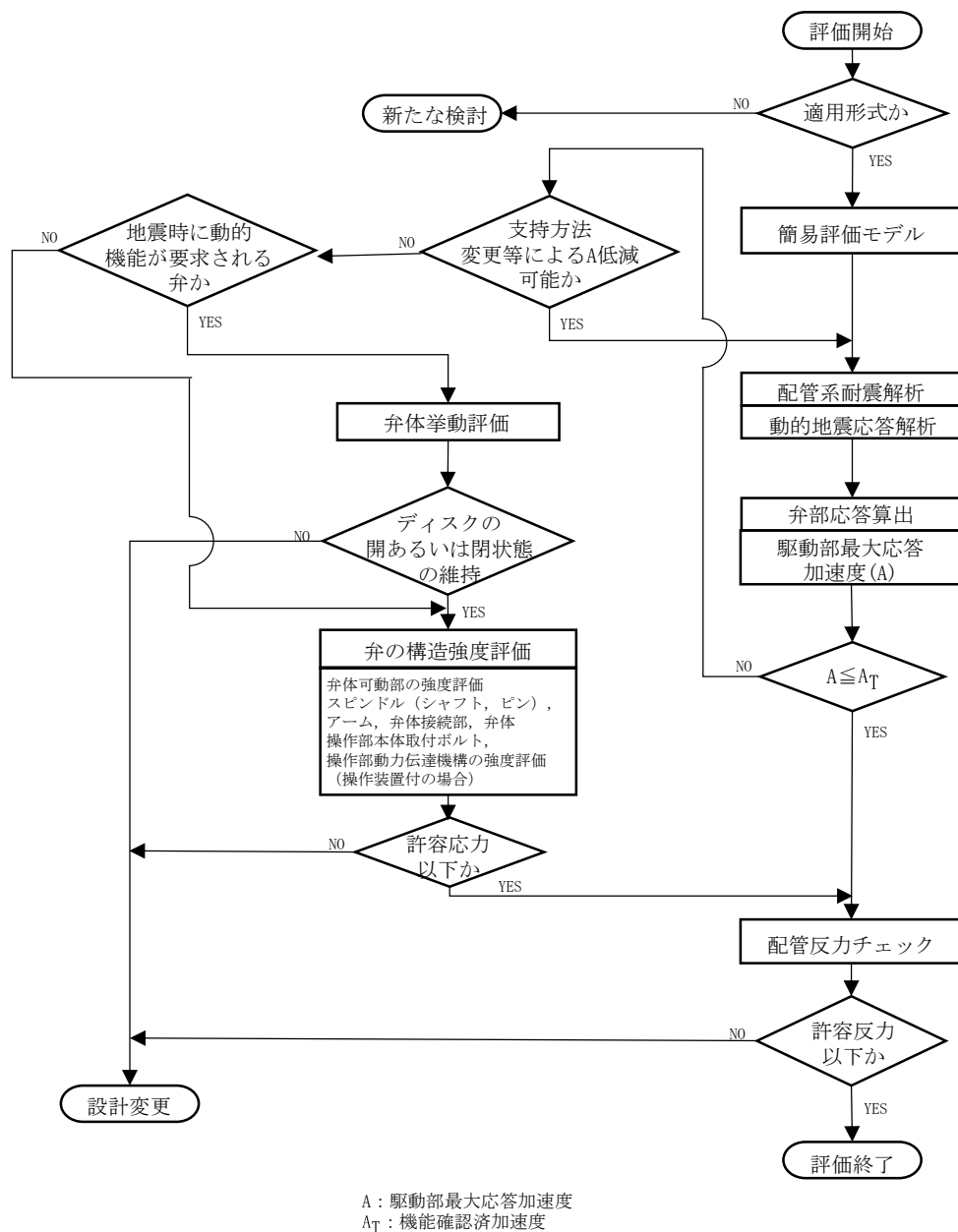
注記*：地震時機能維持 α が要求される状態



別紙2-5-11図 一般弁（逆止弁）の構造強度評価部位



別紙 2-5-12 図 一般弁（逆止弁）の構造強度評価部位（操作装置付きの場合）



別紙 2-5-13 図 島根 2 号機の今回工認における一般弁（逆止弁）の評価手順

4. 特殊弁及び一般弁の詳細検討に適用する駆動部の動作機能確認済加速度の設定
 特殊弁及び一般弁（逆止弁を除く）の動的機能維持評価の詳細検討に適用する駆動部の動作機能確認済加速度を別紙 2-5-1 表に示す。

これらの加速度は、別添-2-5-1 に示す電共研の成果により得られた値である。

詳細検討対象の特殊弁及び一般弁の機能維持評価用加速度が駆動部の動作機能確認済加速度以下となることで、駆動部の動的機能が維持されることを確認する。

別紙 2-5-1 表 特殊弁及び一般弁の詳細検討に適用する加速度

	型式	方向	駆動部の動作機能 確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)
一般弁	電動弁	水平	20.0
		鉛直	20.0
	空気作動グローブ弁シリンダ型	水平	20.0
		鉛直	20.0
	空気作動バタフライ弁シリンダ型	水平	15.0
		鉛直	20.0
特殊弁	主蒸気逃がし安全弁	水平	20.0
		鉛直	20.0
	主蒸気隔離弁	水平	15.0
		鉛直	15.0

5. 参考文献

- Nishino, K. et al., “Seismic Test Results of The Main Steam Safety Relief Valve for Japanese Boiling Water Reactor Nuclear Power Plants” ,PVP2017-65602, American Society of Mechanical Engineers, 2017
- Kojima, N. et al. , “Seismic Test Result of Motor-Operated Valve Actuators for Nuclear Power Plant” ,PVP2017-65600, American Society of Mechanical Engineers, 2017
- Kojima, N. et al., “Seismic Test Result of Motor-Operated Butterfly Valve Actuators for Nuclear Power Plant” , PVP2018-84219, American Society of Mechanical Engineers, 2018
- Kojima, N. et al., “Seismic Test Analysis Evaluation of Motor-Operated Valve Actuators for Nuclear Power Plant” ,PVP2018-84223, American Society of Mechanical Engineers, 2018
- Kojima, K et al., “Selection of The Test Specimens for Seismic Tests of Air-Operated Valve Actuators for Nuclear Power Plants” ,PVP2019-93168, American Society of Mechanical Engineers 2019
- Matsubara, Y. et al., “Seismic Test Results of Air-Operated Valve Actuators for Nuclear Power Plants (Air-Operated Butterfly Valve (Direct-Coupled Type))” ,PVP2019-93194, American Society of Mechanical Engineers, 2019
- Kubota, R. et ai., “Seismic Test Results of Air-Operated Valve Actuators for Nuclear Power Plants (Air-Operated Globe Valve (Cylinder Type))” ,PVP2019-93485, American Society of Mechanical Engineers, 2019
- Itabashi, H. et al., “Seismic Test Results of The Main Steam Isolation Valve for Japanese Boiling Water Reactor Nuclear Power Plants” ,PVP2020-21362, American Society of Mechanical Engineers, 2020
- Fuji, M. et ai., “Seismic Test Results ot Air-Operated Valve Actuators for Nuclear Power Plants (Air-Operated Globe Valve (Diaphragm Type) and Air Operated Butterfly Valve (Lever Type))” ,PVP2020-21125, American Society of Mechanical Engineers, 2020

逆止弁における詳細評価法の明確化 (No.19)

・資料 No.71-2-4(5)からの変更を下線青記で示す。

第 73 回機器・配管系検討会

2019 年 9 月 27 日

資料 No.73-3-11 (3)

(資料 No.71-2-4 (5) 改訂)

逆止弁の地震時機能維持評価における詳細評価の明確化について

1. はじめに

JEAC4601-2015 において、地震時機能維持要求がある逆止弁は、弁駆動部の応答加速度が機能維持確認済加速度を超える場合に、詳細評価を実施する手順となっている。

ここで、逆止弁は、動的機能が地震時に要求されるものと地震後に要求されるものとに区分され、詳細評価の内容は異なる。

そこで、地震時機能維持要求がある逆止弁の詳細評価の内容を整理し、改定案を提案する。

2. 逆止弁の詳細評価の内容

詳細評価の内容を整理するにあたり、地震時の異常要因分析を実施し、評価対象部位を整理した。異常要因モード図を添付資料-1 に示す。

詳細評価においては、地震時に機能維持が要求されるか否かにより、弁体(ディスク)の開状態あるいは閉状態の維持の確認(弁体挙動評価)の要否が決まる。

以降に、弁体挙動評価及び対象部位の強度評価について、検討内容を示す。

1) 弁体挙動の維持について (JEAC4601-2015 記載の評価手法)

JEAC4601-1991 補に記載の「評価ポイント」には、「ディスクの作動の確認は開状態あるいは閉状態の維持の確認で代表できる」とある。これは、地震応答による開/閉モーメントによって弁の開状態あるいは閉状態の維持または作動が阻害されないことを示すものである。よって、この開閉評価は地震時に機能維持が要求される弁を対象は絞られ、地震後に機能維持が要求される弁については、地震力によって弁体可動部の破損がないことにより評価できる。

また、対象となる逆止弁の出入口の差圧がない場合、ディスクは地震力によって自由に動くために閉状態は維持しない(図-1 参照)。

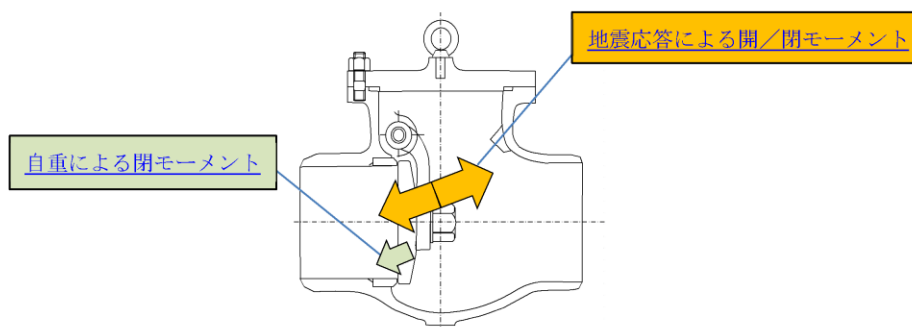


図-1: 逆止弁に作用する荷重

2) 操作部の強度評価について (JEAC4601-2015 記載の評価手法)

操作装置付逆止弁のうち PWR の主蒸気隔離弁は、通常運転中は操作装置に空気を供給し強制的に開操作をしており、地震時または地震後は操作装置内の空気を解放することで自重により閉操作をしている。このように操作装置で通常運転中に開作動を補助するものは、PWR の主蒸気隔離弁のみである。その他の操作装置付逆止弁は地震時又は地震後に操作部に対する作動の要求はないが、操作部の損傷によるディスクの作動を阻害しないことの確認を行うために、JEAC4601-2015 の規定は、操作部本体取付ボルトの評価を実施することとしている(図-2、図-7参照)。

PWR における主蒸気隔離弁の評価については、「平成 19 年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 機器耐力その 4(弁)に係る報告書」(原子力安全基盤機構)を基にする。その他の操作装置付逆止弁は、構造上操作部動力伝達機構が分離してあるため、評価は操作部本体取付ボルトのみを評価すればよい。

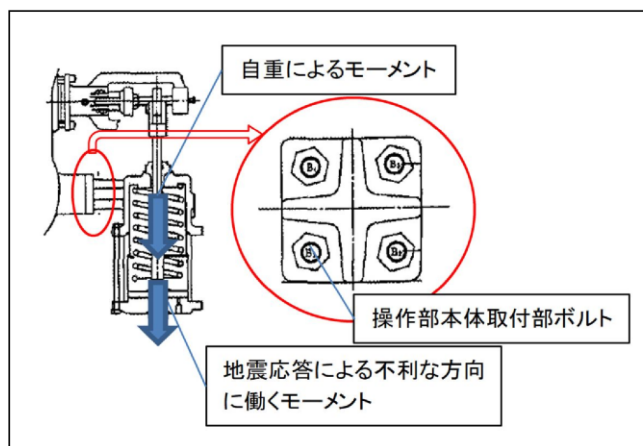


図-2: 操作装置付逆止弁
操作部本体取付ボルトの評価

3) 弁体可動部の強度評価について

逆止弁の弁体可動部は、受動的に作動する(配管内部流体の流れがあれば「開」し、流れが無ければ「閉」する)構造であるため、評価加速度に対して弁体可動部の強度が健全であれば動的機能が維持されると考えられる(弁体可動部:スピンドル*, アーム, 弁体接続部, 弁体など)。

逆止弁の型式は、リフト式、スイング式と2種類あり、それぞれの構造により、以下に示す手法にて、弁体可動部の健全性確認を実施する(図-3～図-6を参照)。

また、弁体の衝突による弁座の変形からの弁座漏えい及び弁ふたの変形については、加振試験により十分小さく無視できると考えられる。

*:スピンドルは、弁メーカーによりロッド、シャフト、ピンと称する場合がある。

- ① 口径50A以下に採用されているリフト式の場合は可動部を固定していないことから、ディスクの強度評価を実施する。
- ② 口径65A以上に採用されているスイング式の場合はスピンドルを軸にスイングするため、可動部(弁体)を吊下げる構成部品である、弁体可動部(スピンドル、アーム、弁体接続部、ディスク)の強度評価を実施する。

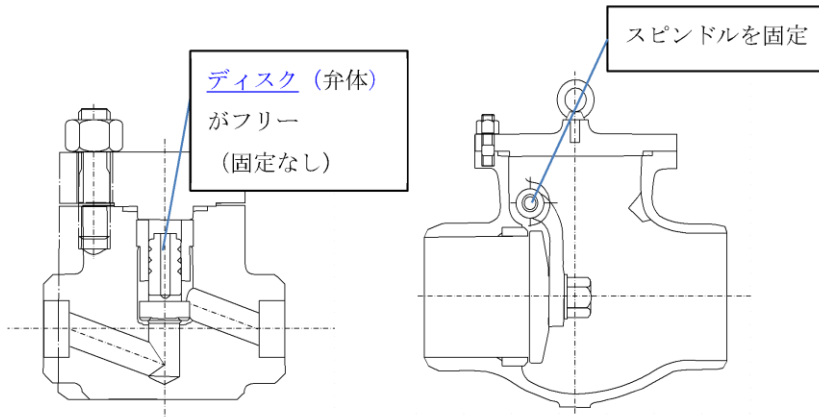


図-3: リフト式逆止弁

図-4: スイング式逆止弁

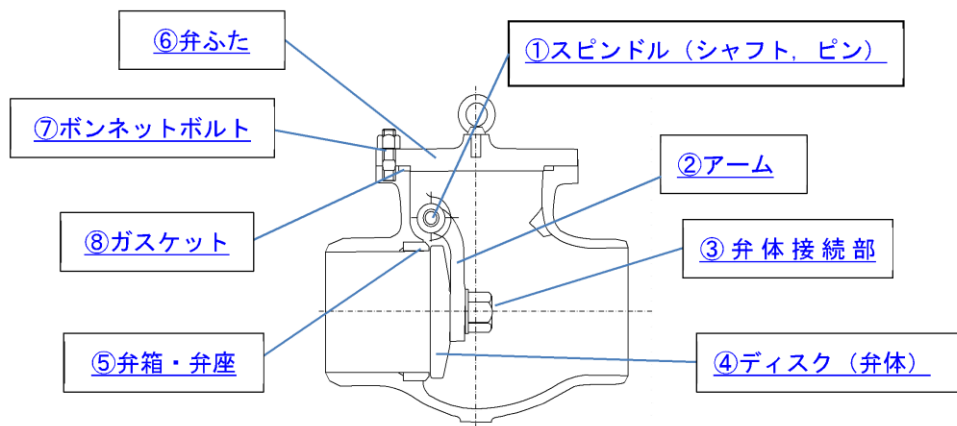


図-5: スイング逆止弁の可動部の評価部位

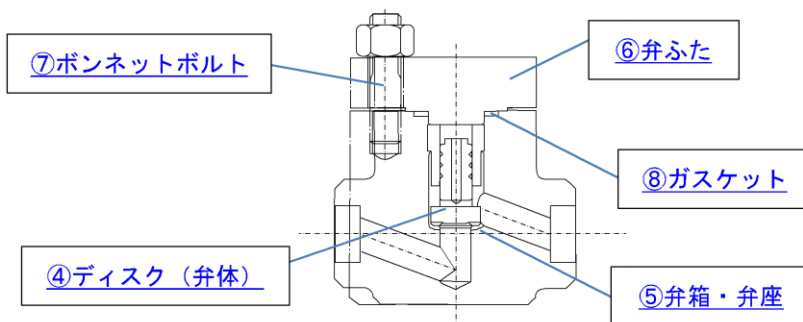


図-6: リフト逆止弁の可動部の評価部位

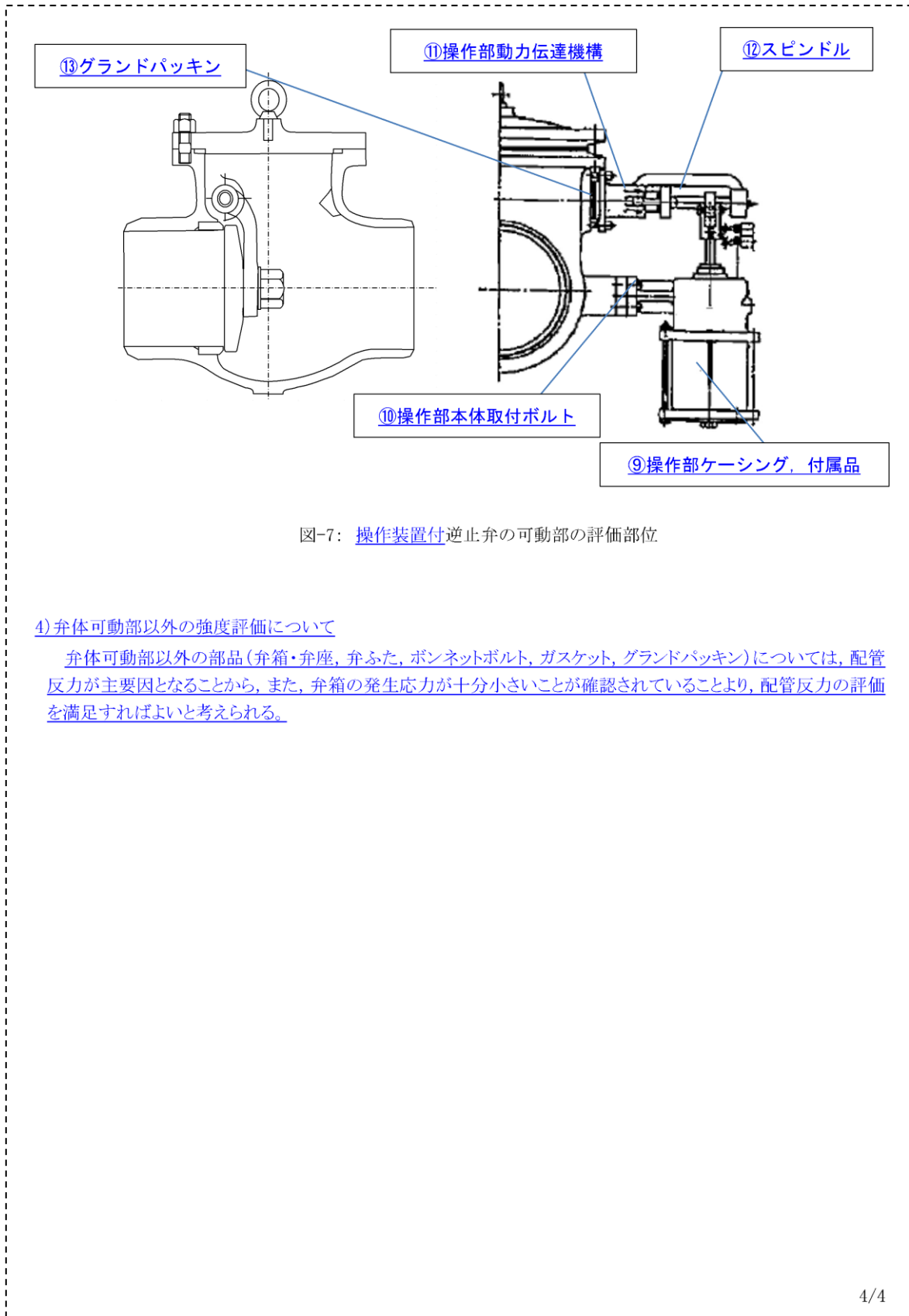
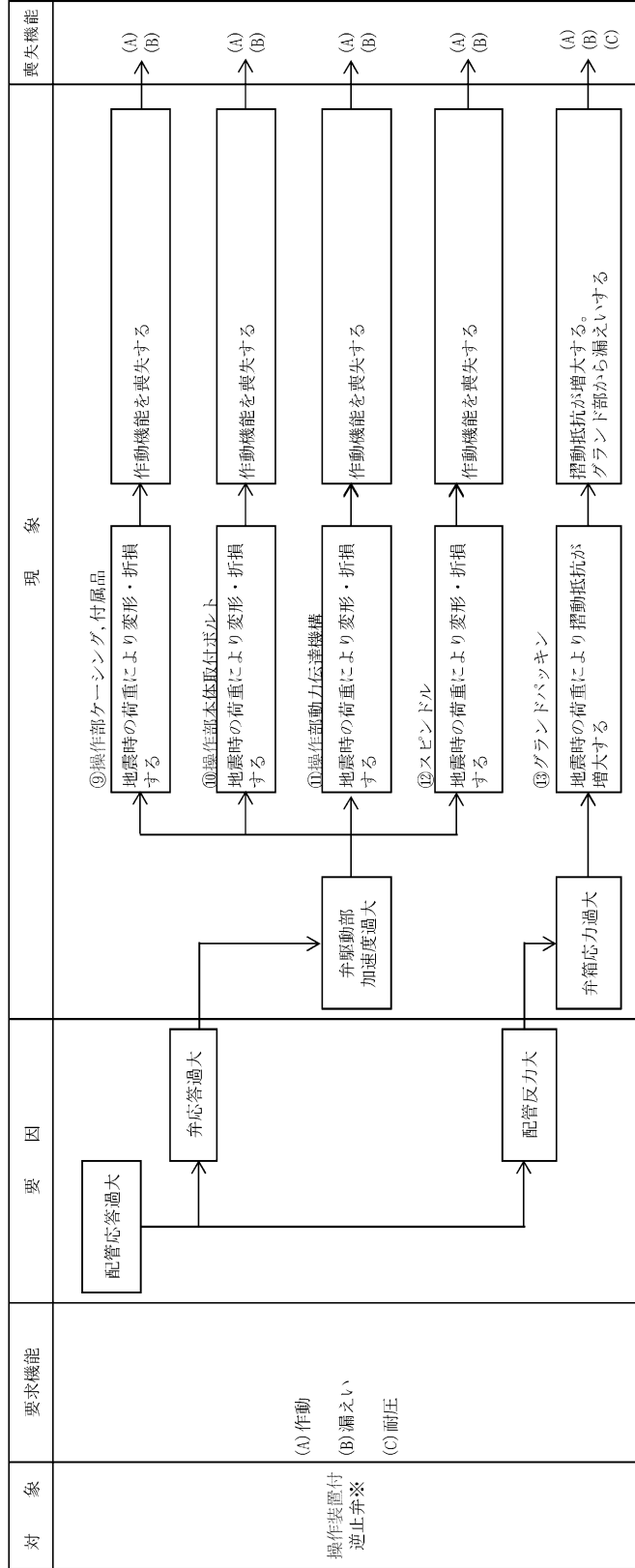


図-7: 操作装置付逆止弁の可動部の評価部位

4) 弁体可動部以外の強度評価について

弁体可動部以外の部品(弁箱・弁座, 弁ふた, ボンネットボルト, ガasket, グランドパッキン)については, 配管反力が主要因となることから, また, 弁箱の発生応力が十分小さいことが確認されていることより, 配管反力の評価を満足すればよいと考えられる。

対象	要求機能	要因	現象	機失機能
逆止弁 (A) 作動 (B) 漏えい (C) 耐圧		配管応答過大 弁体応答過大 配管反力大 弁体可動部 加速度過大 弁箱応力過大	① スピンドル (シャフト・ピン) 地震時の荷重により変形・折損する ② アーム 地震時の荷重により変形・折損する ③ 弁体接続部 地震時の荷重により変形・折損する ④ ディスク (弁体) 地震時の荷重により変形・折損する ⑤ 弁箱・弁座 地震時の荷重により変形する ⑥ 弁ふた 地震時の荷重により変形する ⑦ ボンネットボルト 地震時の荷重によりゆりみ、折損する ⑧ ガスケット 地震時の荷重により圧壊する	(A) 正常に作動しなくなる (B) 正常に作動しなくなる (A) 正常に作動しなくなる (B) 正常に作動しなくなる (A) 弁座と弁体のずれが起こる (B) 弁ふた、サイドフランジから漏えいする (C) 弁ふた (サイドフランジ) から漏えいする (C) 弁ふた (サイドフランジ) から漏えいする (C) 弁ふた (サイドフランジ) から漏えいする (C) 弁ふた (サイドフランジ) から漏えいする



※弁本体部はグラウンドバッキング以外は逆止弁と同様。

・前回資料からの変更を下線赤字で示す。*

c. 一般弁（逆止弁）

a) 代表評価項目

駆動部における応答加速度が機能維持確認済加速度以下の場合，地震時機能維持の評価項目は以下とする。

① 配管反力

b) 評価手順

評価手順は，附図 4.4.10-3 に示すとおりである。

(a) 配管系モデルに逆止弁の簡易モデルを組み込み，地震応答解析を実施する。

(b) (a)項の解析結果より得られる弁部応答加速度が機能維持確認済加速度以下であることを確認する。

(c) 弁駆動部の応答加速度が機能維持確認済加速度を超える場合，配管系のサポート変更等により応答の低減を図るか，又は，動的機能要求（閉維持，開維持を含む）の分類に応じて以下の詳細評価を実施する。

i) 地震時に動的機能が要求される弁

① 弁体挙動評価

・ディスクの開あるいは閉状態の維持が可能か評価する。

② 弁の構造強度評価

・弁体可動部（スピンドル(シャフト，ピン)，アーム，弁体接続部，弁体)

・操作装置付逆止弁は操作部本体取付ボルト，操作部動力伝達機構

ii) 地震後に動的機能が要求される弁

① 弁の構造強度評価

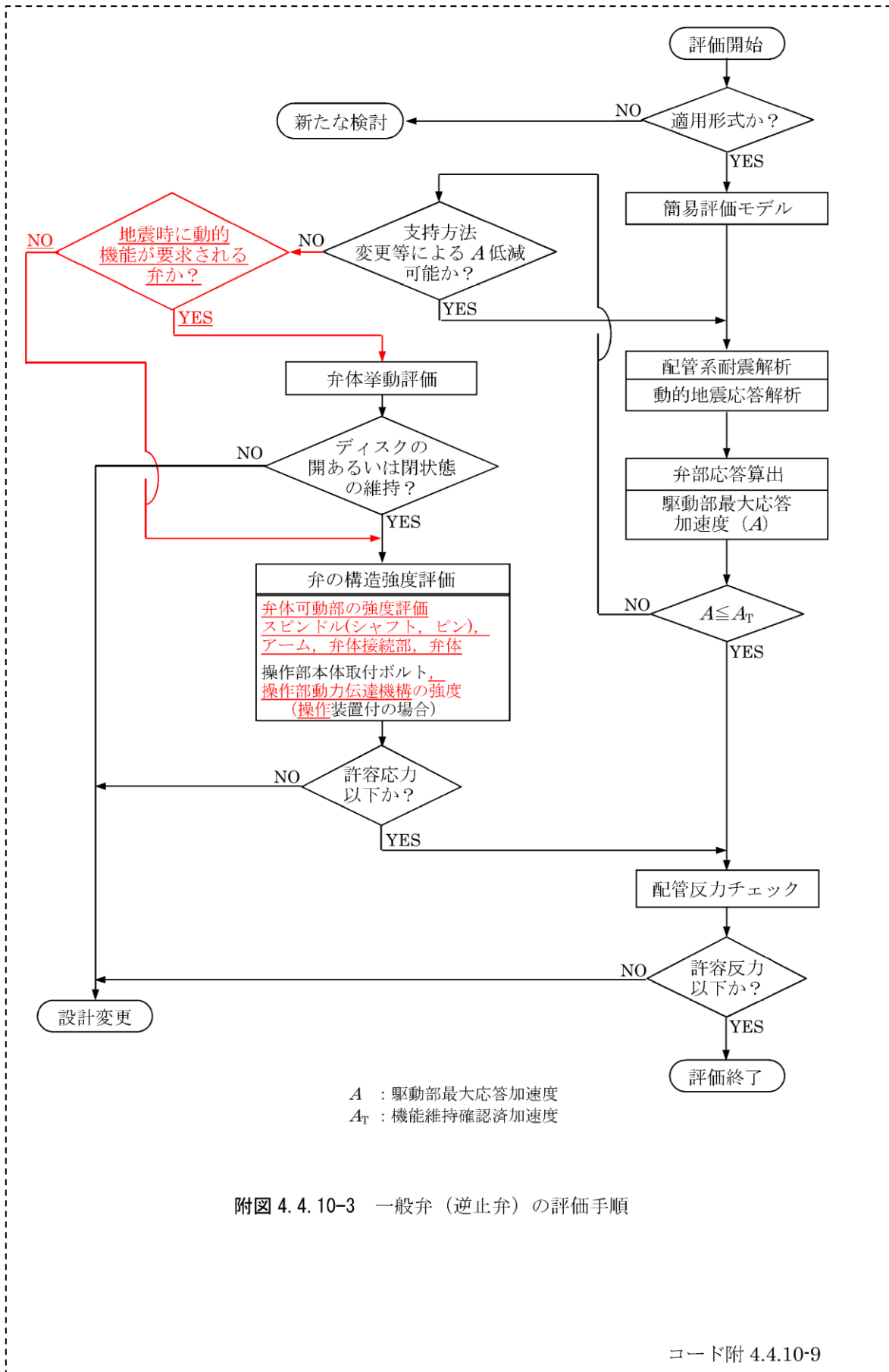
・弁体可動部（スピンドル(シャフト，ピン)，アーム，弁体接続部，弁体)

・操作装置付逆止弁は操作部本体取付ボルト，操作部動力伝達機構

(d) 配管反力に関しては，配管反力が許容値以下であることを確認する。

コード附 4.4.10-8

* 第 79 回耐震設計分科会の資料に追記



附図 4.4.10-3 一般弁（逆止弁）の評価手順

コード附 4.4.10-9

逆止弁の開機能維持又は閉機能維持のための加速度の算出方法

1. 開機能維持評価

逆止弁の地震時の開機能維持評価に用いる加速度は以下の式により算出される。

配管系の地震応答解析により算出される逆止弁の応答加速度が、以下の式により算出される加速度を下回ることを確認し、開機能維持を評価する。

開機能維持評価に考慮する荷重を図-1 に示す。

流体による開方向荷重

$$W_u = \frac{\pi}{4} \times d_m^2 \times P_b$$

弁体自重による閉方向荷重

$$W_d = W \times g \times \sin \theta$$

地震加速度によって生じる閉方向荷重

$$W_s = W \times g \times \sqrt{\alpha_h^2 + \alpha_v^2}$$

流体による開方向の荷重との関係から、以下の式を満足することで開機能が維持される。

$$W_u > W_s + W_d$$

開機能が維持される地震加速度を α_a とすると、

$$W_u = W \times g \times \alpha_a + W_d$$

以上より、 α_a は以下の式にて表される。

$$\alpha_a = \frac{W_u - W_d}{W \times g}$$

なお、式中の記号は以下を示す。

W_u : 流体による開方向荷重 (N)

W_d : 弁体自重による閉方向荷重 (N)

W_s : 地震加速度による閉方向荷重 (N)

W : 弁体質量 (kg)

g : 重力加速度 (m/s^2)

θ : 弁開度 ($^\circ$)

α_h : 水平方向地震加速度 (配管系の地震応答解析により算出)

α_v : 鉛直方向地震加速度 (配管系の地震応答解析により算出)

d_m : シート平均径 (mm)

P_b : 流体による圧力 (MPa)

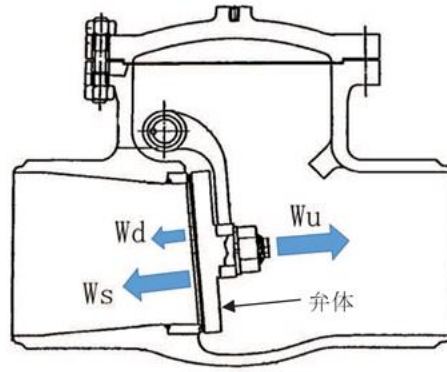


図-1 逆止弁の開機能維持評価に考慮する荷重

2. 閉機能維持評価

逆止弁の地震時の閉機能維持評価に用いる加速度は以下の式により算出される。

配管系の地震応答解析により算出される逆止弁の応答加速度が、以下の式により算出される加速度を下回ることを確認し、閉機能維持を評価する。

閉機能維持評価に考慮する荷重を図-2 に示す。

背圧による閉止力

$$W_s = \frac{\pi}{4} \times d_m^2 \times P_b$$

地震応答加速度により弁体を開く方向の力と弁体自重による閉方向の関係は以下のとおり。

$$W_o = W \times g \times \sqrt{\alpha_h^2 + \alpha_v^2} - W \times g \times \sin \theta_o$$

弁の閉機能が維持される条件は、以下の式で表される。

$$\frac{W_s - W_o}{A_s} > P_s$$

閉機能が維持される地震加速度を α_a とすると、

$$\frac{W_s - W \times g \times (\alpha_a - \sin \theta_o)}{A_s} = P_s$$

以上より、 α_a は以下の式にて表される。

$$\alpha_a = \frac{\left(\frac{\pi}{4} \times d_m^2 \times P_b\right) - P_s \times A_s}{W \times g} + \sin \theta_o$$

なお、式中の記号は以下を示す。

W_s : 背圧による閉止力 (N)

W_o : 地震加速度により弁体を開く方向の力 (自重による閉方向の力を含む) (N)

d_m : シート平均径 (mm)

P_b : 背圧 (MPa)

A_s : シート面積 (m^2)

P_s : シールに必要な最小面圧 (MPa)

W : 弁体質量 (kg)

g : 重力加速度 (m/s^2)

θ_o : 弁閉時における弁体とアームの重心とロッドを結ぶ線分が鉛直軸となす角度 ($^\circ$)

α_h : 水平方向地震加速度 (配管系の地震応答解析により算出)

α_v : 鉛直方向地震加速度 (配管系の地震応答解析により算出)

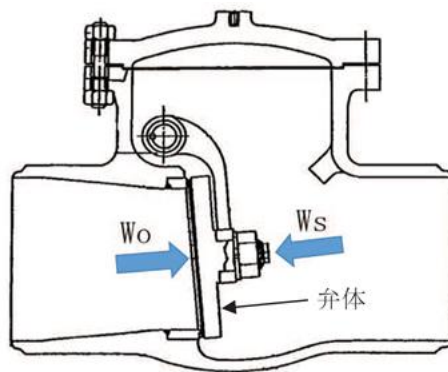


図-2 逆止弁の閉機能維持評価に考慮する荷重

地震後に動的機能が要求される逆止弁の弁体挙動評価

1. 島根 2 号機における地震後に動的機能が要求される逆止弁

島根 2 号機における地震後に動的機能が要求される逆止弁のうち、機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する弁は、残留熱除去系の逆止弁である。この逆止弁は、定格出力運転中（以下「通常運転中」という。）は閉状態で、原子炉停止後又は原子炉冷却材圧力バウンダリ破損後、炉心から崩壊熱を除去するための冷却水の流路となるため、地震後に「閉」⇒「開」動作が可能であることが要求される。残留熱除去系の系統図を図 1, 2 に示す。

残留熱除去系は、通常運転中は残留熱除去ポンプが停止しており、逆止弁の上流側の隔離弁が「閉」状態であるため、下流側の逆止弁に系統圧力が生じることはない。冷却材喪失事故時又は原子炉停止時に残留熱除去ポンプを起動する場合、逆止弁の上流側の隔離弁を「開」状態とすることにより、逆止弁にポンプ運転による圧力が作用し「開」状態となる。

以上より、地震後に「開」動作が可能であることが要求される逆止弁に対して、地震中はポンプ運転による圧力が作用しないため「閉」状態であることから、流体による開方向荷重と地震による閉方向荷重を比較する開機能の維持評価は実施できないが、ポンプ運転中に地震が発生したと仮定した弁体挙動評価を実施する。

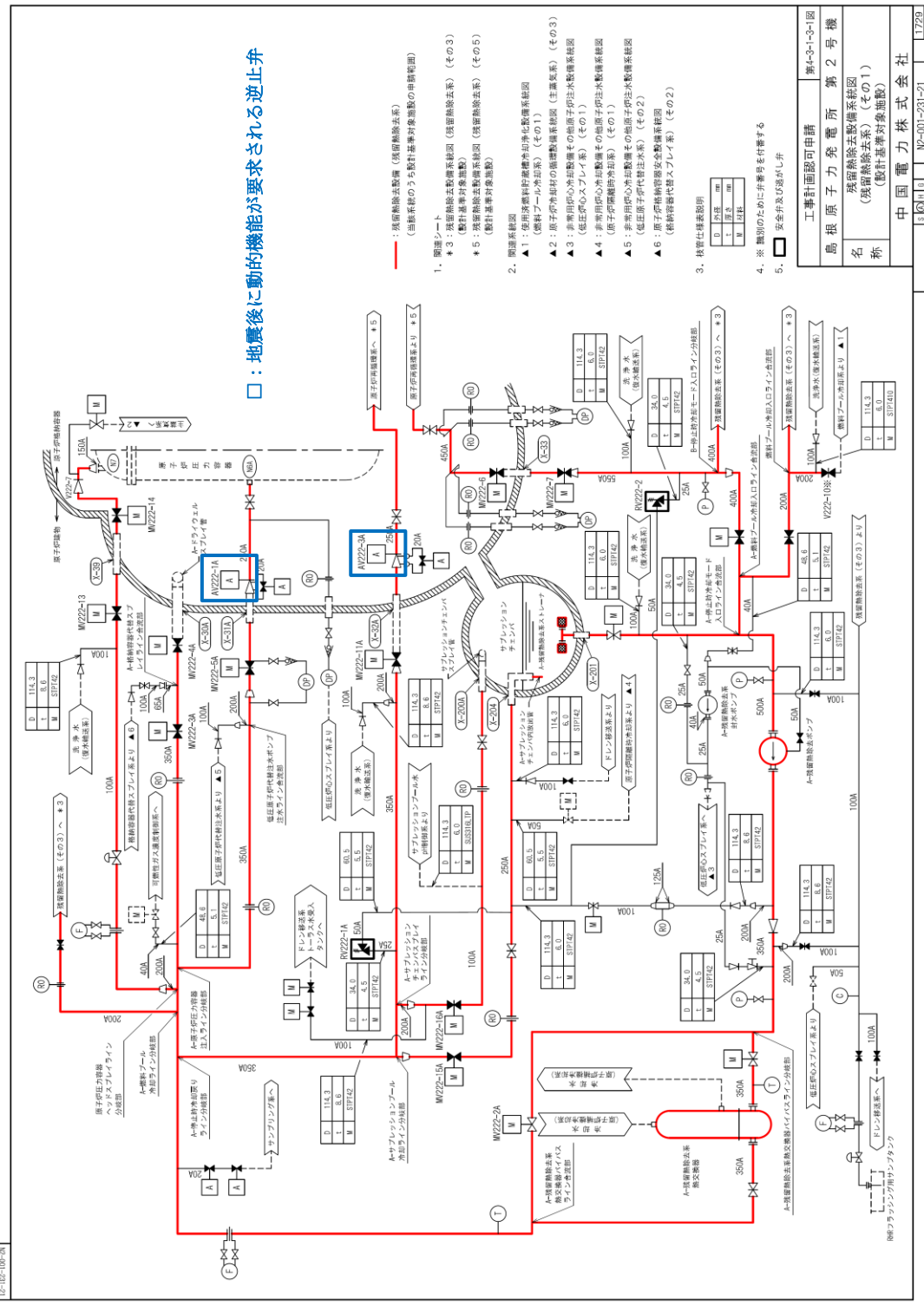
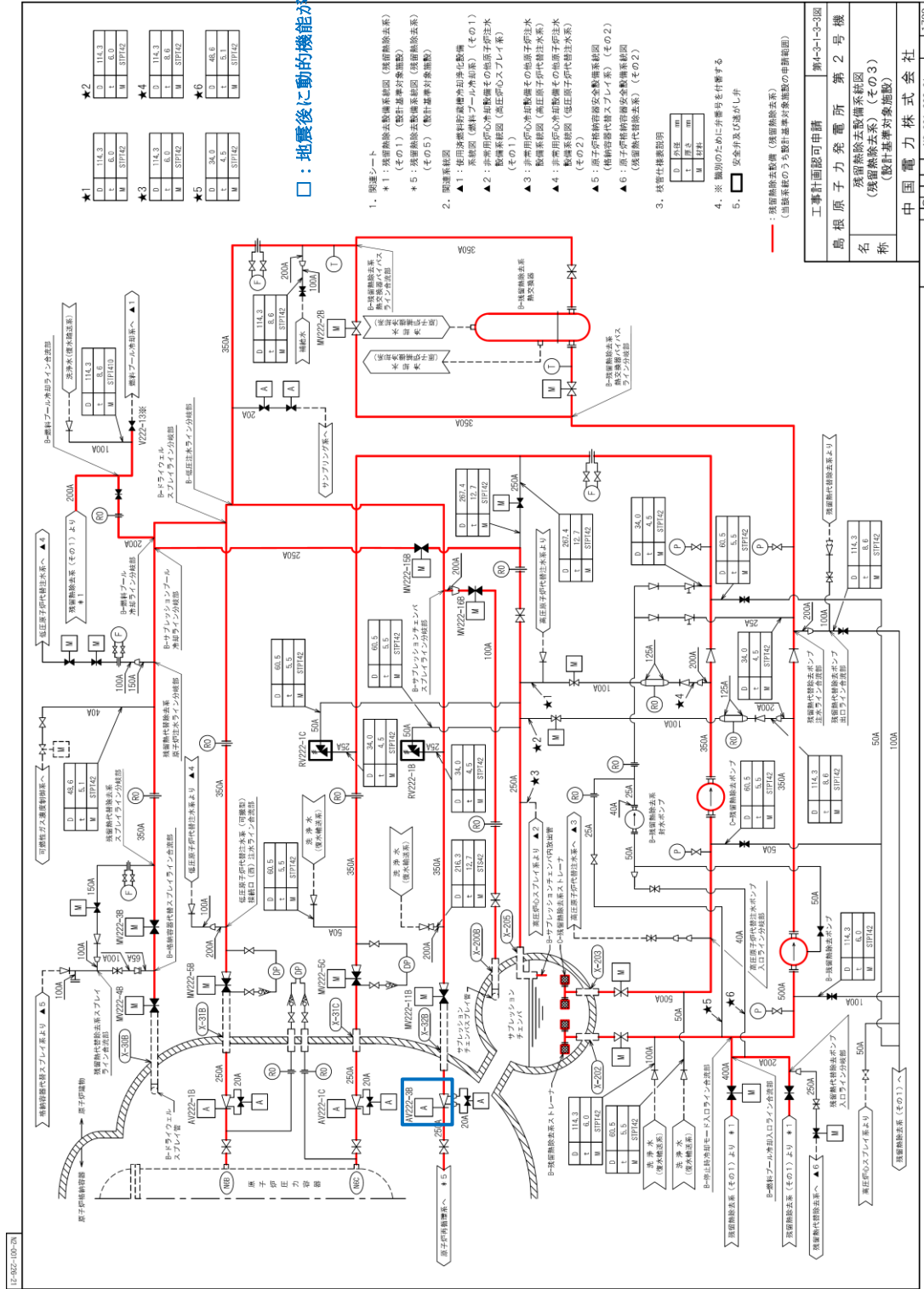


図1 残留熱除去系系統図 (1 / 2)

工事計画認可申請	第4-01-3-1図
島根原子力発電所	第2号機
名	残留熱除去設備系統図
称	(残留熱除去系) (その1) (設計図書対象設備)
中国電力株式会社	
N2-001-231-21	
1729	



□ : 地震後に動的機能が要求される逆止弁

★1

D	114.3
T	8.6
M	SPT42

★2

D	114.3
T	8.6
M	SPT42

★3

D	114.3
T	8.6
M	SPT42

★4

D	114.3
T	8.6
M	SPT42

★5

D	34.0
T	4.5
M	SPT42

★6

D	48.6
T	5.1
M	SPT42

1. 附随シート
- ★1: 残留熱除去設備系統図 (残留熱除去系) (その他)
 - ★2: 残留熱除去設備系統図 (残留熱除去系) (その他)
 - ★3: 残留熱除去設備系統図 (残留熱除去系) (その他)
 - ★4: 残留熱除去設備系統図 (残留熱除去系) (その他)
 - ★5: 残留熱除去設備系統図 (残留熱除去系) (その他)
 - ★6: 残留熱除去設備系統図 (残留熱除去系) (その他)
2. 関連系統図
- ▲1: 使用済燃料貯蔵庫汚染浄化設備 汚染水 (燃料プール) の排出系 (その他)
 - ▲2: 非常用炉心冷却設備その他の汚染水 処理系統図 (高圧炉心スプレッド)
 - ▲3: 非常用炉心冷却設備その他の汚染水 処理系統図 (高圧炉心スプレッド)
 - ▲4: 非常用炉心冷却設備その他の汚染水 処理系統図 (高圧炉心スプレッド)
 - ▲5: 炉子停炉後安全設備系統図 (燃料容器格納庫スプレッド) (その他)
 - ▲6: 炉子停炉後安全設備系統図 (燃料容器格納庫スプレッド) (その他)
3. 設置仕様書説明
- | | |
|---|----|
| D | 外径 |
| T | 寸法 |
| M | 材料 |
4. ※ 圖例のために弁番号を付番する
5. □ 安全弁及び逆止弁
- 残留熱除去設備 (残留熱除去系)
(当該系統のうち設計基準対象設備の申請範囲)

工事計画認可申請 第4-3-1-3図

島根原子力発電所 第2号機

名称 残留熱除去設備系統図 (残留熱除去系) (その他) (設計基準対象設備)

中国電力株式会社

1729

図1 残留熱除去系系統図 (2 / 2)

2. 弁体挙動評価結果

逆止弁について、地震中にポンプ運転による圧力が作用すると仮定し、参考資料2「逆止弁の開機能維持又は閉機能維持のための加速度の算出方法」に示す評価方法に基づき、弁体挙動評価（開機能の維持）を実施した。逆止弁の諸元を表1に、評価結果を表2に示す。弁体自重による閉方向荷重 W_d と流体による開方向荷重 W_u より算出した開機能が維持される地震加速度 α_a が水平方向地震加速度 α_h と鉛直方向地震加速度 α_v を組み合わせた加速度を上回っており、逆止弁の開機能は維持される。

表1 逆止弁の諸元

No.	弁番号	要求機能	地震後の開閉状態	弁体質量 W (kg)	弁開度 θ (°)	シート平均径 d (mm)
1	AV222-1A	β (Ss)	開			
2	AV222-3A	β (Ss)	開			
3	AV222-3B	β (Ss)	開			

表2 逆止弁の弁体挙動評価結果

No.	弁番号	弁体自重による閉方向荷重 W_d (N)	流体による系統圧力 P_b (MPa)	流体による開方向荷重 W_u (N)	開機能が維持される地震加速度 α_a (G)	水平方向地震加速度 α_h (G)	鉛直方向地震加速度 α_v (G)	$\sqrt{\alpha_h^2 + \alpha_v^2}$ (G)	評価結果 ($\alpha_a > \sqrt{\alpha_h^2 + \alpha_v^2}$: OK)
1	AV222-1A	263.5	0.30	16359.6	43.2	6.28	4.80	7.90	OK
2	AV222-3A	263.5	0.30	16359.6	43.2	6.23	2.35	6.66	OK
3	AV222-3B	263.5	0.30	16359.6	43.2	8.60	3.90	9.44	OK

弁の動的機能維持評価の「詳細検討」に適用する試験結果

1. はじめに

弁の動的機能維持評価に用いる機能確認済加速度は、複数の実機弁を用いた既往の加振試験の結果に基づいて策定されているが、近年の基準地震動の増大により弁の応答加速度も増大していることから、応答加速度が従来評価手法の機能確認済加速度を超過した場合の評価手法について検討が行われていた。

現状の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り、実機の機能維持限界はさらに高い実力を有していると考えられる。

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 20×9.8m/s² 共振振動台の開発が行われ、2014 年度に重要機器の動的機能確認試験が実施できるレベルにまで整備された。

この共振振動台を活用し、電共研により以下の弁を対象として高加速度の加振試験を実施してきている。

- ・電動弁駆動部（一般弁：グローブ弁，ゲート弁，バタフライ弁）
- ・空気作動弁駆動部（一般弁：グローブ弁，バタフライ弁）
- ・主蒸気逃がし安全弁（BWR）
- ・主蒸気隔離弁（BWR）

これら研究成果で得られた知見を、新たに一般弁，主蒸気逃がし安全弁及び主蒸気隔離弁の駆動部の動作機能確認済加速度として反映するものである。

なお、本資料には、電共研の内容に加え、島根 2 号機の当該弁の電共研との同等性に係る情報も併せて記載する。

2. 弁の高加速度加振試験概要

電動弁駆動部，空気作動弁駆動部，主蒸気隔離弁（BWR）及び主蒸気逃がし安全弁（BWR）の高加速度加振試験の概要を以下に示す。

2.1 加振装置

加振に使用した共振振動台は、大型振動台と共振振動台で構成され、加振機によって大型振動台に発生する加速度と共振振動台に設置されたばねによる応答増幅により高加速度を実現するものである。

加振装置の仕様を表 2.1-1 に、概要図及び外観を図 2.1-1 及び図 2.1-2 に示す。

また、共振振動台に関する公開文献を 4. 参考文献に示す。

表 2.1-1 加振装置の仕様

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	2.0×9.8m/s ²	20×9.8m/s ²
加振振動数	0.5～40Hz	10Hz

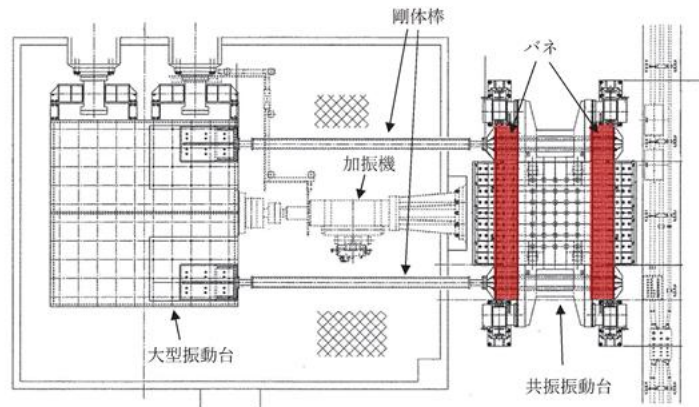


図 2.1-1 加振装置概要図（平面図）

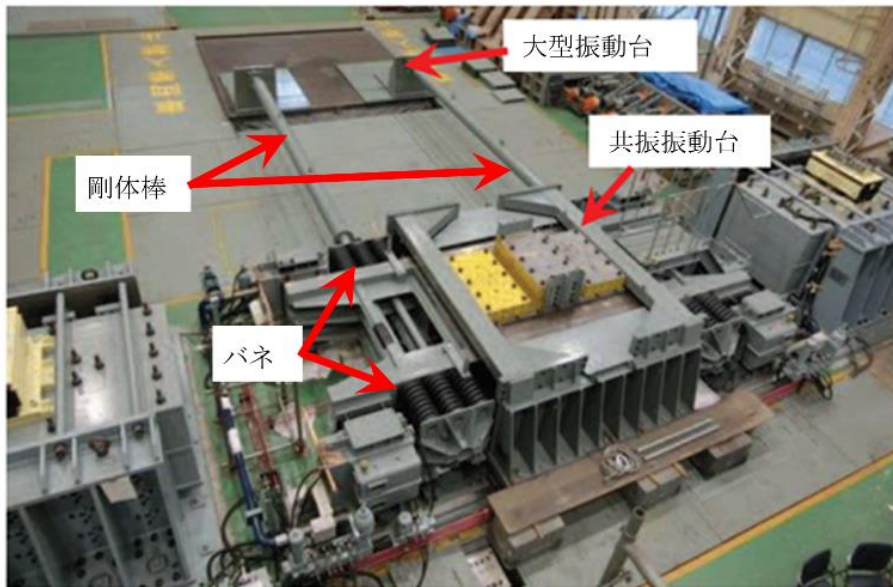


図 2.1-2 加振装置外観

2.2 基本条件

加振試験の基本条件を以下に示す。

なお、J E A G 4 6 0 1-1991 及び先行プラントの評価にて適用されている機能確認済加速度の根拠となった既往研究の加振試験における基本条件との比較を、参考資料に記載した。

入力波の種類	正弦波
加振振動数	約 10Hz
加振継続時間	15 秒以上
加振方向	水平 (2 方向), 鉛直の 3 方向単軸
目標加速度	電動弁駆動部, 空気作動弁駆動部及び主蒸気逃がし安全弁 (BWR) は各方向 $20 \times 9.8\text{m/s}^2$ 以上 主蒸気隔離弁 (BWR) は各方向 $15 \times 9.8\text{m/s}^2$ 以上

2.3 加振波について

使用する共振振動台の特性上, 加振波は正弦波となるが, 連続正弦波の場合は最大加速度が繰り返し発生するため, 地震波に比べ試験体にとっては厳しい条件である。

また, 加振振動数は, 試験体の固有振動数と弁が設置される配管系の固有振動数及び共振振動台の仕様を考慮して設定した。

弁が設置される配管系の固有振動数は約 10Hz~20Hz であり, これらの振動数成分が弁駆動部に作用する。

加振入力波の振動数が試験体の固有振動数に比べ小さい場合には, 全体に慣性力が加わることになり, 機能喪失モードに対して慣性力の影響が支配的と考えられる弁駆動部に対しては適切である。以上を勘案して, 加振振動数は約 10Hz とした。

また, 加振時間については, 実機プラントの設計用地震波においては, 最大加速度の 0.8 倍以上となる加速度の発生回数は 40 回以下であることに対し, 10Hz の連続正弦波で 15 秒加振した場合における最大加速度の発生回数は 300 回であることから, 実機条件を上回る試験条件である。

2.4 電動弁駆動部の加振試験

(1) 電動弁駆動部の試験体選定の考え方

電動弁駆動部はモータ出力を各種ギアを介して弁棒に伝達し, 弁を開閉させるものである。

国内原子力発電所で使用される電動弁駆動部はメーカー 2 社があり, 要求されるトルクに応じた型式が使用されているが, 動作機構の基本構造は同じである。

電動弁の概要図を図 2.4-1, 電動弁駆動機構の構造例を図 2.4-2 に示す。

動的機能維持要求のある電動弁駆動部として使用されている型式を調査し, 最終的に IEEE382* に規定される主要パラメータに従ってグルーピングする手法を用いて全体を網羅するような選定を行い, メーカー 2 社, 計 7 体を試験体とした。

島根2号機の電動弁で使用している駆動部は全て[]製であり、基本仕様のSMB型と、基本構造は同じであるが着座時の衝撃緩和等の目的で緩衝用皿ばねを組み込んだSB-D型がある。

また、電源種が交流モータと直流モータ、さらにバタフライ弁等は二次減速機を組み合わせたものがあり、これら全体を網羅するように試験体を選定している。

[]製の場合、IEEE382に基づくパラメータによるグルーピングを行うと4グループに分類され、各グループより選定した代表4体に緩衝用皿ばね有無、電源種を振り分け、さらに二次減速機付きの1体を加えた5体の試験体が算定されている。

[]製の駆動部に係る試験体を表2.4-1に示す。

注記*：IEEE382” Standard for Qualification of Safety-Related Actuators for Nuclear Power Generating Stations”は米国の原子力発電所向け弁駆動部の型式認定試験を定めた規格であり、耐震試験などの要求が規定されている。また、試験体の選定については本規格に基づき許容トルク、許容スラスト、許容ステム径、質量の観点で分類し、各分類から代表機種を選定した。

また、JEAG4601に規定されている機能確認済加速度の設定根拠となった加振試験（耐特委*¹）で用いた試験体との比較について、表2.4-2に示す。

今回試験は駆動部単体に対する試験であるが、実機プラントの型式全体を網羅するような試験体を選定しており、島根2号機の駆動部についても含まれているため、駆動部の試験体選定の考え方はJEAG4601（耐特委）と同等である。

なお、電動弁駆動部の機能維持評価については（社）日本電気協会 原子力発電耐震設計専門部会（以下「耐専」という。）においても検討されており、鉛直方向の機能確認済加速度の設定に係る報告書*²がまとめられている。

耐専の報告書では、電動弁の駆動部について水平及び鉛直方向で10Gに対して機能維持が確認された駆動部メーカーによる加振試験の知見を引用している。

このメーカー試験における試験体は、IEEE382に基づいて駆動部の型式をグルーピングしグループごとに代表弁を選定しており、今回試験と試験体選定の考え方は同等である。

注記*1：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）」

*2：（社）日本電気協会 原子力発電耐震設計専門部会「水平・上下地震動に対する機器の機能維持評価法の検討に関する調査報告書（平成13年3月）」



図 2.4-1 電動弁概要図

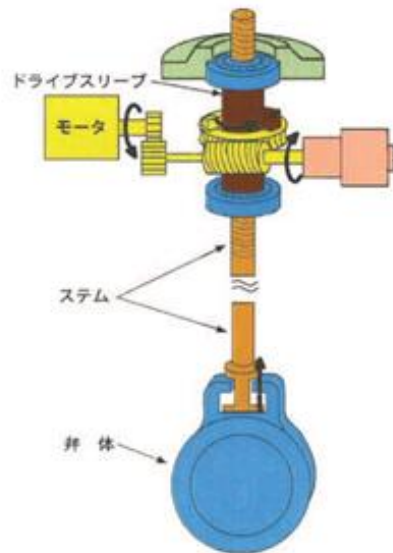


図 2.4-2 電動弁駆動機構の構造例

表 2. 4-1 製の電動弁駆動部の加振試験体

試験体 No.	型式番号	出力 (N-m)	総質量 (kg)	外観	標準的な口径*
1	SB-00D	360	210		50A～250A
2	SMB-0	1,000	245		80A～550A
3	SMB-2	2,700	457		250A～550A
4	SMB-4	11,500	1,292		450A
5	SMB-0/HB- 3	1,000	372	 二次減速機付き	300A～600A

注記*：電動弁駆動部の型式は、主に弁体重量・弁体に作用する圧力によって定まる駆動トルクと弁開閉時間の要求によって定まるが、参考として、各型式における標準的な口径を示す。

表 2.4-2 試験体の比較（電動弁）

項目	島根 2 号機	今回試験	動的機器の地震時機能維持に関する研究				同等性
駆動方法・弁種	電気弁 グローブ弁, ゲート弁, バタフライ弁	電動弁 駆動部単位	電動 グローブ 弁	電動 ゲート弁	電動 ゲート弁	電動 バタフラ イ弁	今回試験及び耐特委での試験体 (駆動部)は実機プラントに適用 している形式全体を網羅するよう に選定しており考え方は同等
呼び径	表2.4-1参照	—*	350A	75A	600A	500A	

注記*：駆動部のみを対象として試験を実施。適用した駆動部の型式は表 2.4-1 参照。

(2) 電動弁駆動部の試験方法

前項で選定したそれぞれの試験体について水平 2 方向，鉛直方向の 3 方向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た。

試験は，試験体に設置した加速度センサーの応答加速度を監視しながら加振力を上げていき，応答加速度が目標加速度に到達したところで加振力を 15 秒以上保持し，その間に電動弁駆動部を作動させて状態確認を実施した。

試験時の確認項目を表 2.4-3 に示す。

電動弁の作動要求は地震中，地震後の両方があることから，加振中及び加振後ともに作動状態の確認を行った。

また，J E A G 4 6 0 1（耐特委）との試験方法の比較を表 2.4-4 に示す。

今回の試験方法が J E A G 4 6 0 1 と同等であることを確認した。

なお，耐専の報告書*では，電動弁の駆動部について水平及び鉛直方向で 10G に対して機能維持が確認された駆動部メーカーによる加振試験の知見を引用し，水平・鉛直ともに機能確認済加速度として 6G の設定が可能であると結論付けている。

注記*：(社) 日本電気協会 原子力発電耐震設計専門部会「水平・上下地震動に対する機器の機能維持評価法の検討に関する調査報告書（平成 13 年 3 月）」

表 2.4-3 電動弁駆動部加振試験時の確認項目

状態	確認項目
加振前	据付状態目視点検 作動状態確認（作動信号計測）
加振中	作動状態確認（作動信号計測）
加振後	作動状態確認（作動信号計測） 各部目視点検

表 2.4-4 試験方法の比較（電動弁）

項目	今回試験	動的機器の地震時機能維持に関する研究				同等性	
		電動グローブ弁	電動ゲート弁 (75A)	電動ゲート弁 (600A)	電動バタフライ弁		
加振前試験	作動試験	作動状態に問題なし	同左				同等
	弁座漏えい試験	—	規定値以下				—(今回試験は駆動部のみのため対象外の項目)
加振試験	加振方法	連続正弦波	連続正弦波				今回試験では動的機器の地震時機能維持に関する研究より高い加速度で加振
	加振加速度 (駆動部応答)	20G	約5G*	約5G*	約5G*	約3G*	
	作動試験	作動状態に問題なし	同左				同等
加振後試験	作動試験	作動状態に問題なし	同左				同等
	弁座漏えい試験	—	規定値以下				—(今回試験は駆動部のみのため対象外の項目)

注記*：耐特委の検討では、PWRプラントの電動弁に対する試験も実施しており、駆動部について7.3Gの試験結果が得られている。弁駆動部については各供試体ともに同種のものが使われているため、本結果を弁全体に適用することとしている。これに加えて、弁の構造最弱部の机上検討結果で6Gに対して健全性が確認できたことから、弁全体として機能確認済加速度6Gを設定している。

(3) 電動弁駆動部の試験結果

駆動部単体の試験体 No. 1~4 については、いずれも加振による有意な損傷はみられず、加振中及び加振前後で開閉信号から計測した作動時間に有意な変動はなく、良好な作動状態であった。

動作機能維持を確認できた加振試験で計測された最大応答加速度を表 2.4-5 に示す。

また、試験体 No. 2 (SMB-0) の試験体据付状況を図 2.4-3 に、加振時の駆動部応答加速度波形を図 2.4-4 に作動信号の計測結果の例を図 2.4-5 に示す。

表 2.4-5 電動弁駆動部加振試験で計測された最大応答加速度（試験体 No. 1~4）

試験体 No.	型式	最大応答加速度 (×9.8m/s ²)		
		X 方向	Y 方向	Z 方向
1	SB-00D	21.9	21.4	20.9
2	SMB-0	20.9	21.6	22.0
3	SMB-2	21.5	21.3	23.4
4	SMB-4	22.7	21.3	23.4

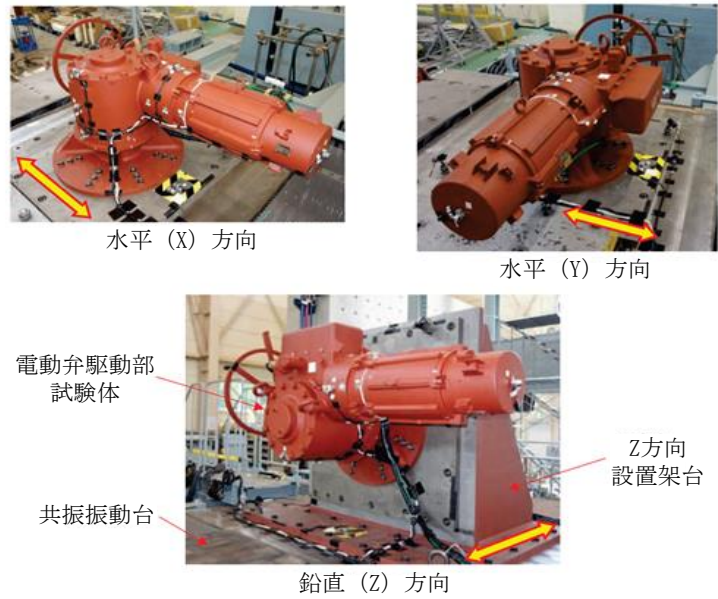


図 2.4-3 電動弁駆動部試験体据付状況

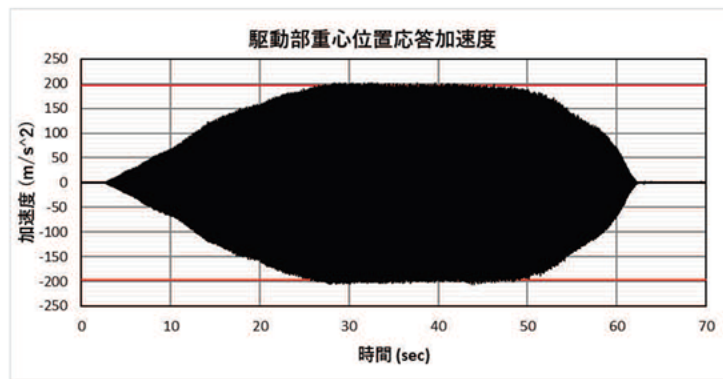


図 2.4-4 X 方向 $20 \times 9.8 \text{m/s}^2$ 加振時の駆動部応答加速度波形

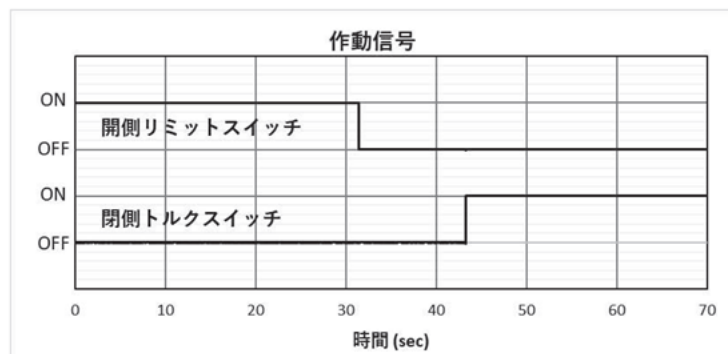


図 2.4-5 X 方向 $20 \times 9.8 \text{m/s}^2$ 加振中の作動信号

また、バタフライ弁等で使用される二次減速機*を持つ駆動部である試験体 No.5 についても加振試験を実施した。

駆動部単体の試験体と同様に電動機の軸方向を水平 X 方向とし、直交する Y 方向、鉛直 Z 方向を含む 3 方向それぞれで実施した。

3×9.8m/s²加振では、3 方向とも良好な結果であり、その後 Y 方向では 20×9.8m/s²加振まで良好な結果であったが、続けて実施した X 方向 15×9.8m/s²加振において、駆動部本体と二次減速機を連結するマウンティングアダプタと呼ばれる部品の二次減速機との締結フランジ部で締結ボルトが折損し、駆動部本体が脱落する事象を確認した。

試験体の構造及び折損箇所を図 2.4-6 に示す。

注記*：電動弁駆動部は、電動機が発生する回転トルクを内部のギア等を介して弁棒に伝達する。ゲート弁やグローブ弁の場合は、弁棒に設けられた台形ねじを介して回転トルクを弁棒の直線運動に変換することで弁の開閉を行う型式であり、駆動部本体を直接搭載する形が一般的である。一方でバタフライ弁やボール弁のような弁棒を約 90 度回転させて弁の開閉を行う型式の弁は、必要な回転速度は低いが必要トルクは大きくなるため、駆動部出力そのままでは適さない場合が多い。そこで駆動部出力トルクを、ギアを介して適切な速度、トルクに変換する機構を持つ二次減速機を組み合わせる形が一般的である。

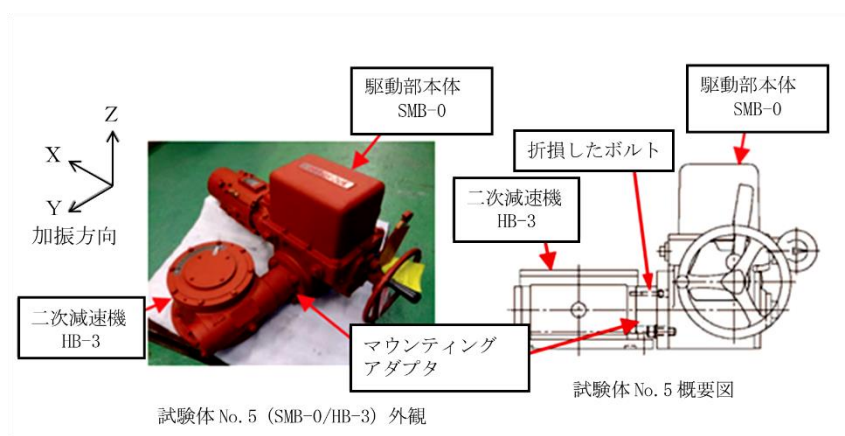


図 2.4-6 二次減速機付き試験体構造

駆動部本体のねじりを抑えるため駆動部本体と二次減速機を補強固定する耐震ブラケットと呼ばれる追加部品があり、本事象の対策として有効と考えられたことから、試験結果を基に 20×9.8m/s²加振に耐えうる耐震ブラケットの設計を行った。

耐震ブラケットのイメージ図を図 2.4-7 に示す。

また、設計した耐震ブラケットを装備した試験体外観を図 2.4-8 に示す。

耐震ブラケットを装備した試験体について水平 2 方向、鉛直方向の 3 方向について駆動部重心の応答加速度が 20×9.8m/s²以上となる加振試験を実施した結果、加振中及び加振前後で開閉信号から計測した作動時間に有意な変動はなく、良好な作動状態であり、動作機能維持を確認した。

二次減速機付きの電動弁駆動部について、試験で確認した最大応答加速度を表 2.4-6 に示す。

なお、耐震ブラケットを装備した二次減速機付き電動弁駆動部に対して、加振試験を実施した試験体は 1 種類のみであるが、試験結果を踏まえて異なるサイズの駆動部ごとに耐震ブラケットの設計を行っていることから、駆動部サイズに合わせて設計した耐震ブラケットを装備することにより、試験を実施していない型式の二次減速機付き電動弁駆動部についても、 $20 \times 9.8 \text{m/s}^2$ 以上の加速度に対して動作機能は維持される。

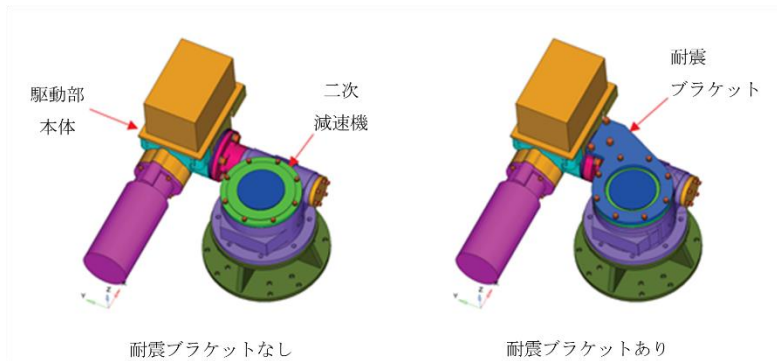


図 2.4-7 耐震ブラケットイメージ図



図 2.4-8 二次減速機付き電動弁駆動部（補強後）

表 2.4-6 電動弁駆動部加振試験で計測された最大応答加速度（試験体 No. 5）

試験体 No.	型式	最大応答加速度 ($\times 9.8 \text{m/s}^2$)		
		X 方向	Y 方向	Z 方向
5	SMB-0/HB-3 耐震ブラケット無	8.7	22.6	8.1
5	SMB-0/HB-3 耐震ブラケット付	23.9	23.4	22.7

2.5 空気作動弁駆動部の加振試験

(1) 空気作動弁駆動部の試験体選定の考え方

国内原子力発電所で使用される空気作動弁のうち動的機能維持が求められる弁を調査した結果、表 2.5-1 に示す型式に分類される。

表 2.5-1 空気作動弁の分類

分類	弁型式	駆動部型式	弁棒への 伝達方式	弁メーカー	使用口径
1	グローブ弁	シリンダ	直結式		15A～50A
					25A～50A
					20A～25A
2	グローブ弁	ダイヤフラム	直結式		75A～150A
					65A～150A
					80A～125A
3	バタフライ弁	シリンダ	直結式		250A～600A
4	バタフライ弁	シリンダ	レバー式		200A～700A
					700A
					550A, 600A
					200A～700A
					450A
5	バタフライ弁	ダイヤフラム	レバー式	75A～500A	

分類ごとの基本構造は同じであることから、分類ごとにヨーク部等の耐震上最弱と考えられる部位について、弁メーカーと使用口径の範囲について裕度評価を行い、裕度の少ないものに加え、プラントでの使用状況、試験装置の制約を考慮し、表 2.5-2 に示す 4 体を試験体を選定した。

表 2.5-2 試験体概要

試験体 No.	弁型式	駆動部型式	弁棒への伝達方式	弁メーカー	口径
1	グローブ弁	シリンダ	直結式		50A
2	グローブ弁	ダイヤフラム	直結式		150A
3	バタフライ弁	シリンダ	直結式		400A
4	バタフライ弁	シリンダ	レバー式		300A

なお、今回島根 2 号機の動的機能維持評価において試験成果を適用する弁種は以下の 2 種類である。

それぞれの構造を図 2.5-1、及び図 2.5-2 に示す。今回試験は、駆動部単体の動作機能確認済加速度の確認が目的であるものの、空気作動弁については、電動弁のように駆動部と弁型式の組合せが多数存在するわけではなく、駆動部と弁型式の組合せが決まっていることから、弁本体も含めた試験体を準備し試験に適用している。

ただし、試験では漏えい試験等の弁本体側に関する確認は実施しておらず、駆動部の機能維持及び最弱部の強度の健全性に着目した試験を実施している。

また、J E A G 4 6 0 1 に規定されている機能確認済加速度の設定根拠となった加振試験（耐特委）で用いた試験体との比較について、表 2.5-3 に示す。

島根 2 号機、今回試験及び J E A G 4 6 0 1 で使用している駆動部型式が同等であることを確認した。

弁型式	駆動部型式	製造メーカー	呼び径
グローブ弁	シリンダ		20A～50A
バタフライ弁	シリンダ		250A～600A

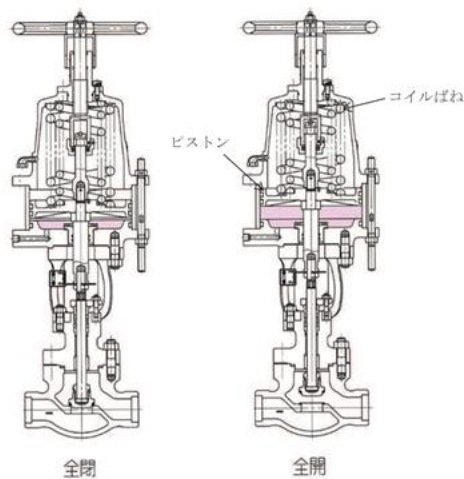


図 2.5-1 空気作動グローブ弁シリンダ型試験体 (50A)

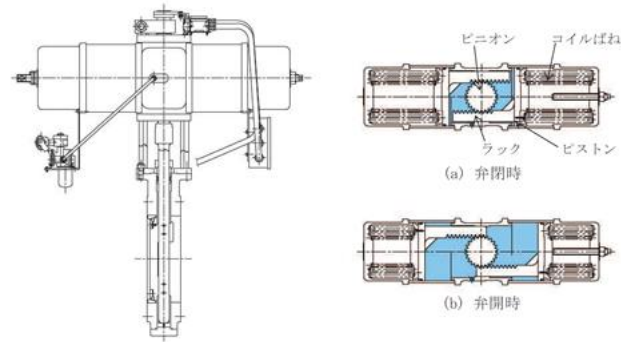


図 2.5-2 空気作動バタフライ弁シリンダ型試験体 (400A)

表 2.5-3 試験体の比較

項目	島根 2 号機		今回試験		動的機器の地震時機能維持 に関する研究		同等性
	空気作動 グローブ弁	空気作動 バタフライ 弁	空気作動 グローブ弁	空気作動 バタフライ 弁	空気作動 グローブ弁	空気作動 バタフライ 弁	
呼び径	20A~50A	250A~600A	50A	400A	75A, 150A	600A	口径に差異 はあるが、 作動原理、 基本構造は 全て同等。

(2) 空気作動弁駆動部の試験方法

4 体の試験体それぞれについて水平 2 方向、鉛直方向の 3 方向について加振試験を実施した。

島根 2 号機で使用している空気作動グローブ弁シリンダ型直結式、バタフライ弁シリンダ型直結式の試験結果を以降に示す。

試験は、試験体の駆動部に設置した加速度センサーの応答加速度を監視しながら加振力を上げていき、応答加速度が目標加速度に到達したところで 15 秒以上保持した。

空気作動弁の作動要求は全て地震後の作動となることから、加振後に作動試験を実施し、機能を確認した。

また、試験目的は駆動部の動作機能確認であるため、事前の机上評価にて目標加速度に耐えることが困難と評価された駆動部外の部位であるヨークや、駆動部内の付属品取付板等については、あらかじめ補強した試験体にて加振試験を実施した。

なお、弁の動的機能維持評価の詳細評価においては、ヨーク及び付属部品取付板等の駆動部外の部位の健全性は構造強度評価にて担保できることから、これらの部位については補強型を用いて試験を行うことで問題はない。

参考として、加振中に作動を行う加振中作動試験、駆動空気源喪失によるフェイルセーフ動作を確認するための加振中エアレス閉試験を実施した。

試験時の確認項目を表 2.5-4 に示す。

また、J E A G 4 6 0 1 (耐特委) との試験方法の比較を表 2.5-5 に示す。

今回の試験方法が J E A G 4 6 0 1 と同等であることを確認した。

表 2.5-4 空気作動弁駆動部加振試験時の確認項目

状態	確認項目
加振前	据付状態目視点検 作動状態確認（作動信号計測）
加振中	作動状態確認（作動信号計測）*
加振後	作動状態確認（作動信号計測） 各部目視点検

注記*：加振中の作動状態確認は参考として実施

表 2.5-5 試験方法の比較（空気作動弁）

項目	今回試験		動的機器の地震時機能維持に関する研究		同等性	
	グローブ弁	バタフライ弁	グローブ弁	バタフライ弁		
加振前 試験	作動試験	作業状態に問題なし		同左		同等
	弁座漏えい試験	—		規定値以下		—（今回試験は駆動部のみのため対象外の項目）
加振 試験	加振方法	連続正弦波		連続正弦波		今回試験では動的機器の地震時機能維持に関する研究よりも高い加速度で加振
	加振加速度 （駆動部応答）	20G	水平 15G 鉛直 20G	約6G, 約8G	約5G	
加振後 試験	作動試験	作業状態に問題なし		同左		同等
	弁座漏えい試験	—		規定値以下		—（今回試験は駆動部のみのため対象外の項目）

(3) 空気作動弁駆動部の試験結果

a. 空気作動グローブ弁シリンダ型直結式の試験結果

試験体 No. 1～4 について、いずれも加振による有意な損傷はみられず、加振前後の作動時間に有意な変動はなく、良好な作動状態であり、それぞれ $20 \times 9.8 \text{ m/s}^2$ 以上で動作機能に問題ないことが確認できた。

試験体外観及び試験体据付状況を図 2.5-3 及び図 2.5-4 に、加振時の駆動部応答加速度波形を図 2.5-5 に、作動信号の計測結果の例を図 2.5-6 に示す。

また試験結果まとめを表 2.5-6 に示す。

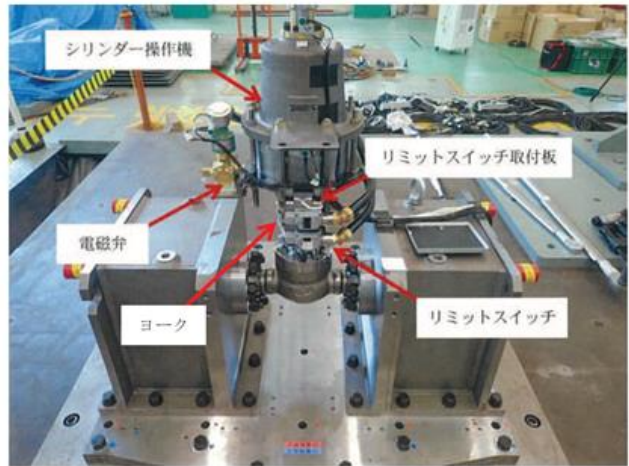


図 2.5-3 空気作動グローブ弁シリンダ型直結式試験体外観

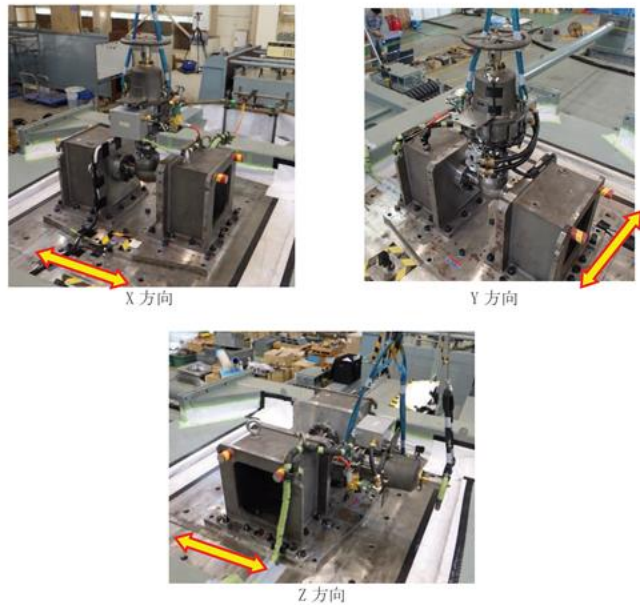


図 2.5-4 空気作動グローブ弁シリンダ型直結式試験体据付状況

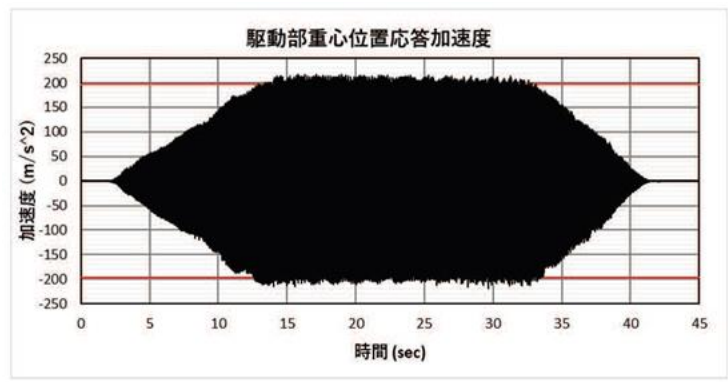


図 2.5-5 X方向 $20 \times 9.8 \text{ m/s}^2$ 加振時の駆動部応答加速度波形

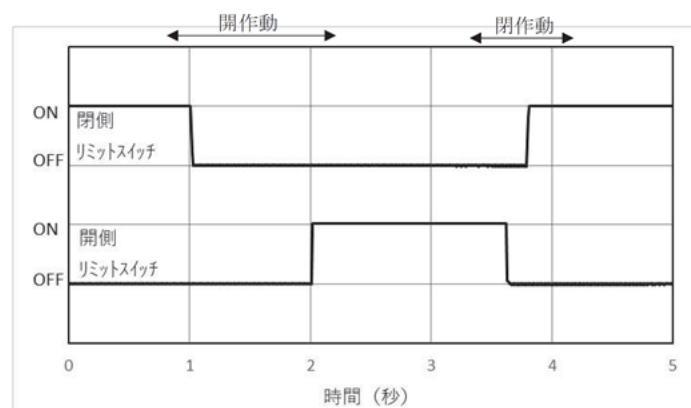


図 2.5-6 X 方向 $20 \times 9.8\text{m/s}^2$ 加振後の作動信号

表 2.5-6 空気作動グローブ弁シリンダ型直結式試験結果まとめ

試験項目	加振方向	駆動部の最大応答加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	作動状態
加振試験	X	22.2	良好
	Y	22.2	良好
	Z	23.6	良好
加振中作動試験*	Y	22.8	良好
加振中エアレス閉試験*	Y	22.9	良好

注記* : 加振中の試験は参考として実施

b. 空気作動バタフライ弁シリンダ型直結式の試験結果

空気作動バタフライ弁も空気作動グローブ弁と同様に補強型ヨークを用いて試験を行った。

また、電磁弁取付板についても折損が想定されたことから補強型取付板を用いて試験を行った。

その結果、水平方向 (X, Y 方向) は $15 \times 9.8\text{m/s}^2$ 以上、鉛直方向 (Z 方向) は $20 \times 9.8\text{m/s}^2$ 以上で動作機能に問題ないことを確認した。

試験体外観を図 2.5-7 に、電磁弁取付板の取付位置及び構造を図 2.5-8 に、試験体据付状態を図 2.5-9 に、加振時の駆動部応答加速度波形を図 2.5-10 に、作動信号の計測結果の例を図 2.5-11 に示す。

また、試験結果まとめを表 2.5-7 に示す。

島根 2 号機において、動的機能維持要求のある空気作動バタフライ弁を表 2.5-8 に示す。

これらのうち、耐震評価の結果、弁駆動部の応答加速度が $6.0 \times 9.8\text{m/s}^2$ を超過する弁に対しては、電磁弁取付板を補強し、本試験結果を適用する。

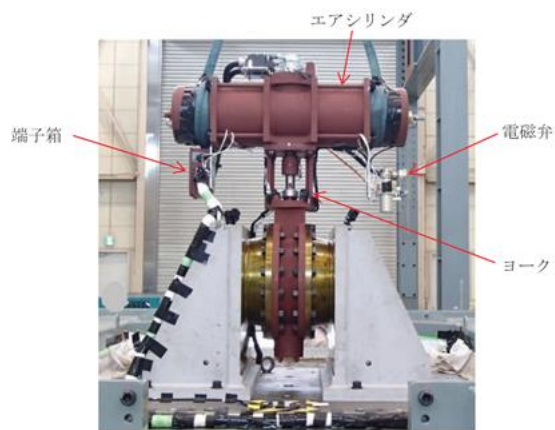


図 2.5-7 空気作動バタフライ弁シリンダ型直結式試験体外観

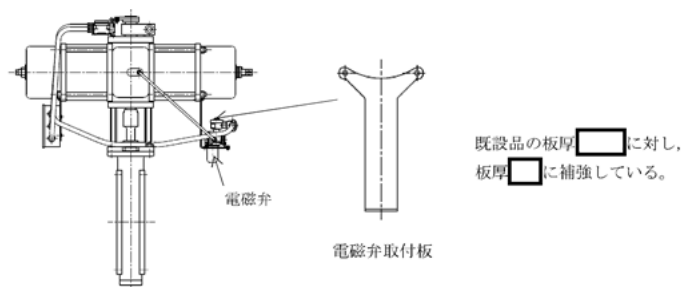


図 2.5-8 空気作動バタフライ弁シリンダ型直結式 電磁弁取付板の取付位置及び構造

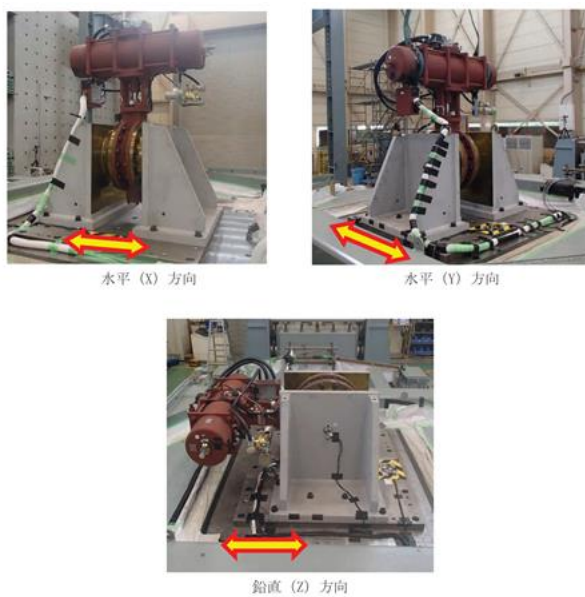


図 2.5-9 空気作動バタフライ弁シリンダ型直結式試験体据付状態

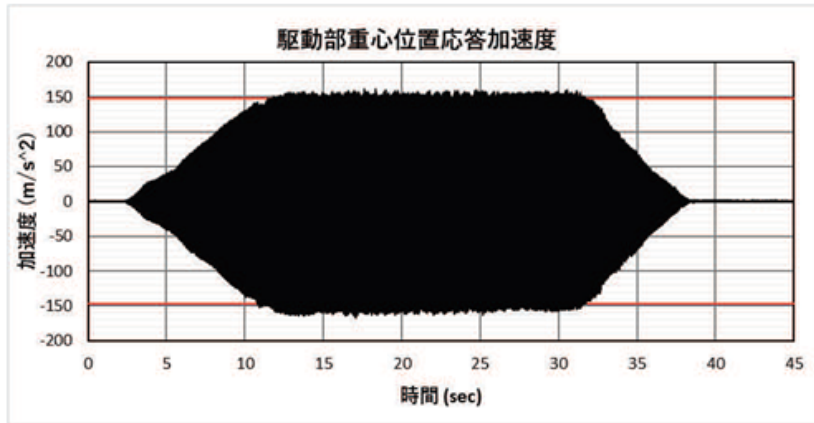


図 2.5-10 X 方向 $15 \times 9.8 \text{m/s}^2$ 加振時の駆動部応答加速度波形

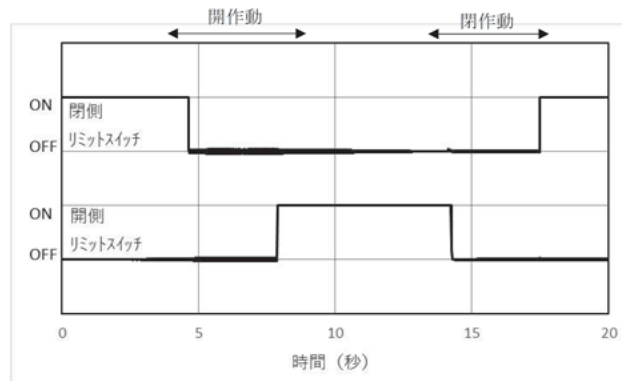


図 2.5-11 X 方向 $15 \times 9.8 \text{m/s}^2$ 加振後の作動信号

表 2.5-7 空気作動バタフライ弁シリンダ型直結式試験結果まとめ

試験項目	加振方向	最大応答 加速度 ($\times 9.8 \text{m/s}^2$)	作動状態
加振後作動試験	X	17.6	良好
	Y	18.8	良好
	Z	22.1	良好
加振中作動試験*	X	17.2	良好
加振中エアレス* 閉試験	X	16.6	良好

注記* : 加振中の試験は参考として実施

表 2.5-8 島根 2 号機における動的機能維持要求のある空気作動バタフライ弁

系統	弁番号	呼び径
窒素ガス制御系	AV217-10A	600A
	AV217-10B	600A
非常用ガス処理系	AV226-1A	400A
	AV226-1B	400A

(4) 空気作動弁駆動部の試験結果まとめ

前述の 2 機種以外も含めて、空気作動弁駆動部において加振試験により動作機能を確認した最大応答加速度に基づく駆動部の動作機能確認済加速度を表 2.5-9 に示す。

表 2.5-9 空気作動弁駆動部加振試験結果まとめ

試験体 No.	弁型式	駆動部型式	弁棒への伝達方式	加振試験の最大応答加速度に基づく駆動部の動作機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		
				X 方向	Y 方向	Z 方向
1	グローブ弁	シリンダ	直結式	20.0	20.0	20.0
2	グローブ弁	ダイヤフラム	直結式	20.0	20.0	20.0
3	バタフライ弁	シリンダ	直結式	15.0	15.0	20.0
4	バタフライ弁	シリンダ	レバー式	20.0	20.0	20.0

2.6 主蒸気逃がし安全弁の加振試験

(1) 主蒸気逃がし安全弁の試験体選定の考え方

国内 BWR 原子力発電所で使用される主蒸気逃がし安全弁は、同一メーカー製であり製作年代及び吹出容量により 3 型式が使用されているが、強制作動装置を有するばね安全弁としての基本構造は同じである。

机上評価による耐震裕度も同等であったことから、最も使用台数が多く、小型で共振振動台の積載質量制限を満足する型式（改良小型）を試験体とした。

試験体型式は、島根 2 号機で使用しているものと同一であり、概略仕様を表 2.6-1 に、構造を図 2.6-1 に示す。主蒸気逃がし安全弁については、弁全体の機能確認済加速度の確認を目的として試験を実施しているため、駆動部単体のみではなく弁全体まで含めた試験体を用いて加振試験を実施している。

試験で得られた加速度は、弁全体の機能確認済加速度として適用可能だが、島根 2 号機の評価においては駆動部の動作機能確認済加速度として適用している。

また、J E A G 4 6 0 1 に規定されている機能確認済加速度の設定根拠となった加振試験（耐特委）で用いた試験体との比較についても、表 2.6-1 に示す。

島根 2 号機、今回試験及び J E A G 4 6 0 1 で使用している主蒸気逃がし安全弁が同等であることを確認した。

表 2.6-1 主蒸気逃がし安全弁試験体（改良小型）概略仕様

	島根 2 号機	今回試験	動的機器の地震時機能維持に関する研究	同等性
駆動方式	強制作動装置付き ばね安全弁	同左	同左	今回試験の試験体仕様は動的機器の地震時機能維持に関する研究及び島根 2 号機と同等
呼び径	150A/250A	同左	同左	
材質（弁箱）	SCPH2	同左	同左	
全高	約 1,750mm	同左	同左	
質量	約 1,600kg	同左	同左	
定格吹出し量	約 370,000kg/h	同左	同左	

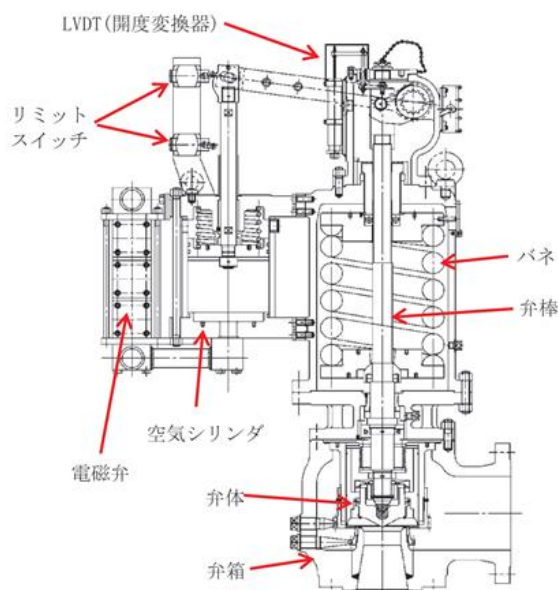


図 2.6-1 主蒸気逃がし安全弁試験体（改良小型）

(2) 主蒸気逃がし安全弁の試験方法

試験体について、水平 2 方向、鉛直方向の 3 方向で駆動部（エアシリンダ）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た。

主蒸気逃がし安全弁は、駆動部（エアシリンダ）により強制作動させる逃がし弁機能と、本体側ばね安全弁として所定の入口圧力に達した場合に受動的に作動する安全弁機能の 2 種類の機能を有しており、それぞれ加振中に作動させて機能維持を確認した。

試験設備として、逃がし弁作動用に駆動部付属電磁弁に接続する窒素ガス供給ラインと、ライン途中に実機の自動減圧機能用アキュムレータと同じ容量である 200L のアキュムレ

ータ、安全弁機能作動用に弁本体入口側に接続する窒素ガス供給ラインを設け、それぞれに供給可能な窒素ガスポンペを設置した。

逃がし弁機能、安全弁機能それぞれの試験手順を以下に示す。

<加振時逃がし弁機能試験>

- ・アキュムレータを実機の窒素ガス最低供給圧力である 1.13MPa[gage]まで加圧し、アキュムレータ上流の止め弁を閉止する（アキュムレータ圧力のみで作動させる）。
- ・弁本体入口側は大気開放状態とする（弁入口側は加圧せず、シリンダのみで全開させる）。
- ・加振を開始し、駆動部応答が目標加速度に到達した状態で電磁弁を作動させ、逃がし弁機能による開閉作動を行う。
- ・目標加速度到達から加振継続時間（15 秒）経過、若しくは弁全閉を確認し、加振を終了する。

<加振時安全弁機能試験>

- ・弁入口側を窒素ガスにて 7MPa[gage]*以上に加圧し、窒素ガス供給を停止し、圧力保持状態とする。
- ・加振を開始し、駆動部応答が目標加速度に到達した状態で窒素ガスをさらに供給し、吹出し圧力まで昇圧させ、安全弁機能による開閉作動を行う。
- ・目標加速度到達から加振継続時間（15 秒）経過を確認し、加振を終了する。

注記*：加振時の安全弁作動までの時間短縮の目的と、通常運転状態模擬の観点で、吹出し圧力より低い圧力にてあらかじめ加圧した。

試験時の確認項目を表 2.6-2 に、試験体の外観及び据付状態を図 2.6-2 及び図 2.6-3 に示す。

また、J E A G 4 6 0 1（耐特委）との試験方法の比較を表 2.6-3 に示す。

今回の試験方法が J E A G 4 6 0 1 と同等であることを確認した。

表 2.6-2 主蒸気逃がし安全弁加振試験時の確認項目

状態	確認項目
加振前	弁座漏えい試験 安全弁作動試験（入口圧力計測） 逃がし弁作動試験（作動信号計測） 据付状態目視点検
加振中（試験 1）	加振中安全弁作動（入口圧力計測）
加振中（試験 2）	加振中逃がし弁作動（作動信号計測）
加振後	各部目視点検 逃がし弁作動試験（作動信号計測） 安全弁作動試験（入口圧力計測）

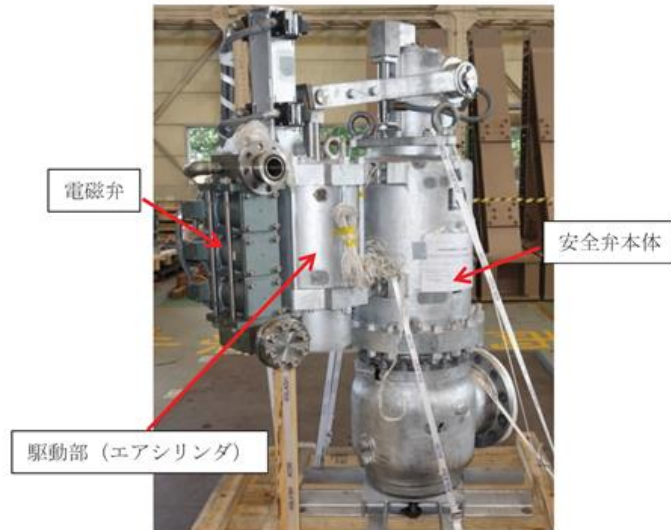


図 2.6-2 主蒸気逃がし安全弁試験体外観

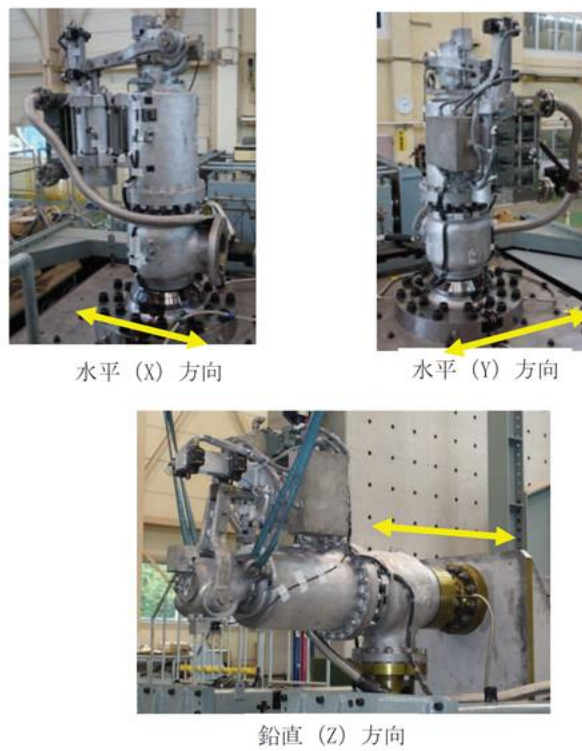


図 2.6-3 主蒸気逃がし安全弁の据付状況

表 2.6-3 試験方法の比較（主蒸気逃がし安全弁）

項目		今回試験	動的機器の地震時機能維持に関する研究	同等性
加振前 試験	弁座漏えい試験	規定値以下	同左	同等
	作動試験	作動状態に問題なし	同左	
加振 試験	加振方法	連続正弦波	連続正弦波	今回試験では動的機器の地震時機能維持に関する研究よりも高い加速度で加振
	加振加速度 (駆動部応答)	20G	水平9.6G, 鉛直6.1G	
	作動試験	逃し弁作動は異常なし 安全弁作動は実施できず	作動状態に問題なし	
加振後 試験	作動試験	作動状態に問題なし	同左	同等
	弁座漏えい試験	規定値以下	同左	同等

(3) 主蒸気逃がし安全弁の試験結果

a. 逃がし弁機能試験結果

いずれも加振による有意な損傷はみられず、加振中及び加振後で作動時間に有意な変動はなく、良好な作動状態であり、動作機能維持を確認した。

加振試験（逃がし弁機能試験）で確認した最大応答加速度を表 2.6-4、駆動部の応答加速度の例を図 2.6-4 に示す。

また作動信号の計測結果の例を図 2.6-5 に示す。

表 2.6-4 加振試験（逃がし弁機能試験）で計測された最大応答加速度

最大応答加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$) *			作動状態
X 方向	Y 方向	Z 方向	
20.0	20.0	20.0	良好

注記*：最大応答加速度の値は目標応答に達した期間中における振幅の上下頂点の平均的で妥当と考えられる値を、応答波形を見て判断した結果とする。

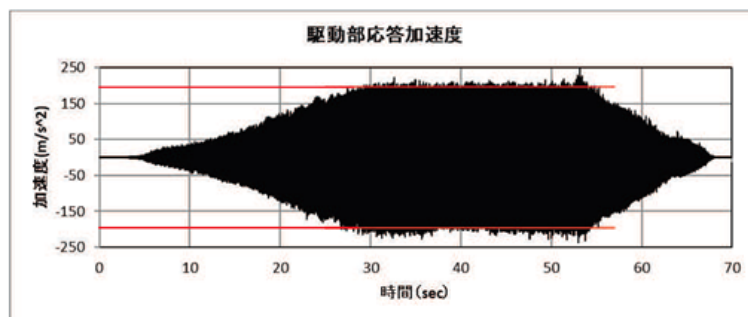


図 2.6-4 Y 方向 $20 \times 9.8\text{m/s}^2$ 加振時の駆動部応答加速度波形

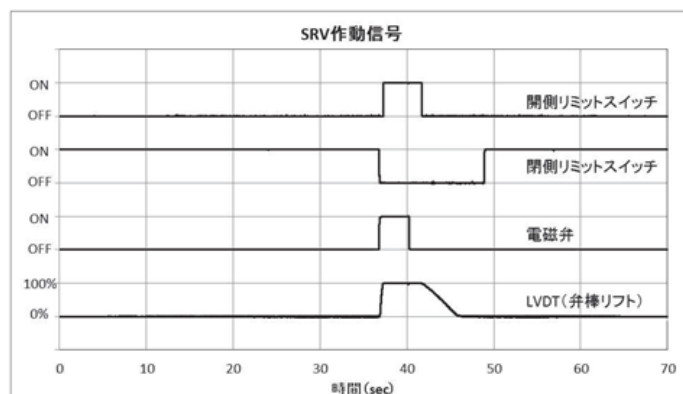


図 2.6-5 Y 方向 $20 \times 9.8\text{m/s}^2$ 加振時の作動信号

b. 安全弁機能試験結果

ばね安全弁として、加振中に窒素ガス（47L ボンベ 1 本）からの加圧による模擬作動を実施したが、高加振状態で発生した弁座漏えいにより入口側圧力が昇圧できず、吹出し作動自体は確認できなかった。加振時の駆動部応答加速度波形及び弁入口圧力状況を図 2.6-7、図 2.6-8 に示す。

安全弁機能による吹出し作動を確認するには、安全弁を全開させるために必要な容量を確保する必要がある。図 2.6-8 より、駆動部の加速度が約 12G に到達した時点から、弁座漏えいによる入口圧力の低下がみられた（図中Ⓐ）。駆動部の加速度が 15G に到達後に昇圧を開始したが（図中Ⓑ）、7.7MPa 付近で漏えい量が增大し（図中Ⓒ）、試験設備における窒素ボンベからの供給量（約 $0.032\text{m}^3/\text{s}$ ）と漏えい量が均衡状態になったことから、約 7.8MPa までしか昇圧できず（図中Ⓓ）、吹き出し作動に至らなかった。試験では吹出し作動を確認できなかったが、弁座漏えいは高加振中の一時的なものであり加振終了後に漏えいは停止していること、加振試験後の安全弁作動試験にて吹出し作動を確認しており、安全弁機能が維持されていること、前述の逃がし弁機能の確認試験において、加振試験中、加振試験後も弁が問題なく全開することを確認していること、試験後の分解点検において弁自体に有意な損傷は確認されていないことから、実機のような十分な蒸気量（原子炉定格出力運転時蒸気流量（参考）： $8.95\text{m}^3/\text{s}$ ）が供給される条件であれば所定の圧力で動作していたと判断できるため、弁の機能維持に問題はないことを確認した。

安全弁機能試験で確認した最大応答加速度を表 2.6-5、駆動部の応答加速度の例を図 2.6-6 に示す。

また、安全弁作動試験で確認した吹出し圧力を表 2.6-6 に示す。

表 2.6-6 に示すとおり、加振後の安全弁機能は確認されているため、加振中も安全弁機能は維持されていたと判断した。

高加速度による加振時には弁座漏えいが発生したが、安全弁機能が維持されていたと判断した根拠について、表 2.6-7 に整理した。

表 2.6-5 加振試験（安全弁作動）で計測された最大応答加速度

最大応答加速度（ $\times 9.8\text{m/s}^2$ ）*			作動状態
X 方向	Y 方向	Z 方向	
20.0	20.0	20.0	良好

注記*：最大応答加速度の値は目標応答に達した期間中における振幅の上下頂点の平均的で妥当と考えられる値を、応答波形を見て判断した結果とする。

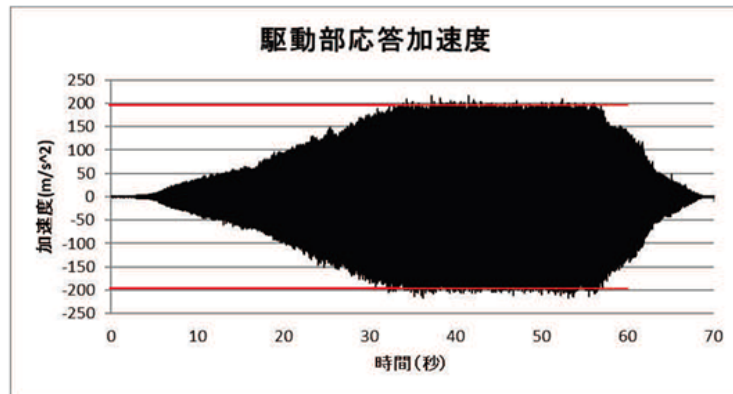


図 2.6-6 Y 方向 $20 \times 9.8\text{m/s}^2$ 加振時の駆動部応答加速度波形

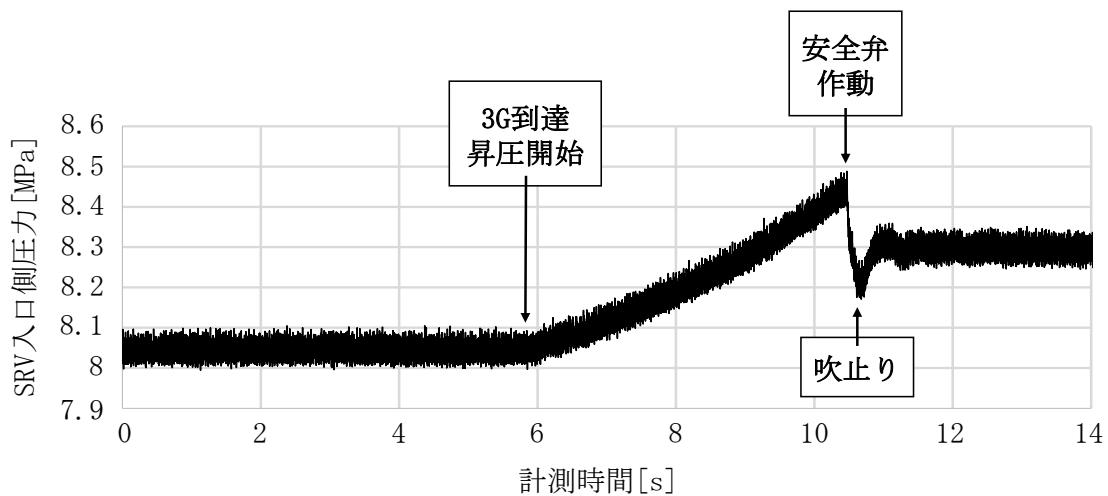
表 2.6-6 安全弁吹出し圧力

加振方向及び加速度	加振中 吹出し圧力 (MPa[gage])	加振後 吹出し圧力 (MPa[gage])
X 方向 $3 \times 9.8\text{m/s}^2$	8.45	8.62
X 方向 $15 \times 9.8\text{m/s}^2$	—*	8.20
X 方向 $20 \times 9.8\text{m/s}^2$	—*	8.52
Y 方向 $3 \times 9.8\text{m/s}^2$	8.35	8.55
Y 方向 $15 \times 9.8\text{m/s}^2$	—*	8.18
Y 方向 $20 \times 9.8\text{m/s}^2$	—*	8.30
Z 方向 $3 \times 9.8\text{m/s}^2$	7.85	8.31
Z 方向 $10 \times 9.8\text{m/s}^2$	—*	8.29
Z 方向 $20 \times 9.8\text{m/s}^2$	—*	8.30

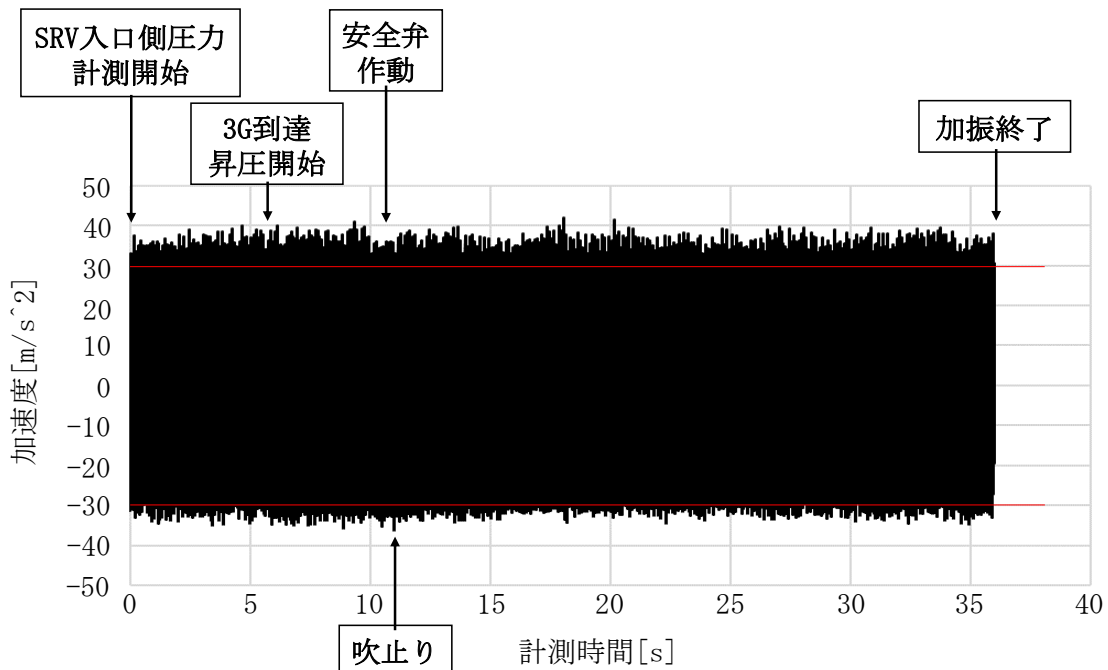
注記*：弁座漏えいにより入口側圧力が昇圧できず、試験設備の窒素ガス供給量の限界から、吹出し作動自体は確認できなかった。加振時の弁入口圧力の状況を図 2.6-7 に示す。

表 2.6-7 高加速度加振時（弁座漏えい発生時）における安全弁機能維持の判断根拠

確認事項	要求事項	機能維持の根拠
安全弁としての機能が維持されていること	規定圧力 8.56MP にて吹き出すこと	加振後の安全弁作動試験にて吹き出し作動を確認しており、安全弁機能は維持されている。
弁の開作動が可能なこと（逃がし機能維持）	弁開作動が問題なく可能なこと	逃し弁機能の確認試験において、高加速度加振中、加振後も弁が問題なく全開可能であることを確認している。
損傷の有無	高加速度加振時に有意な損傷を受けていないこと	目視点検において有意な損傷は確認されていない。

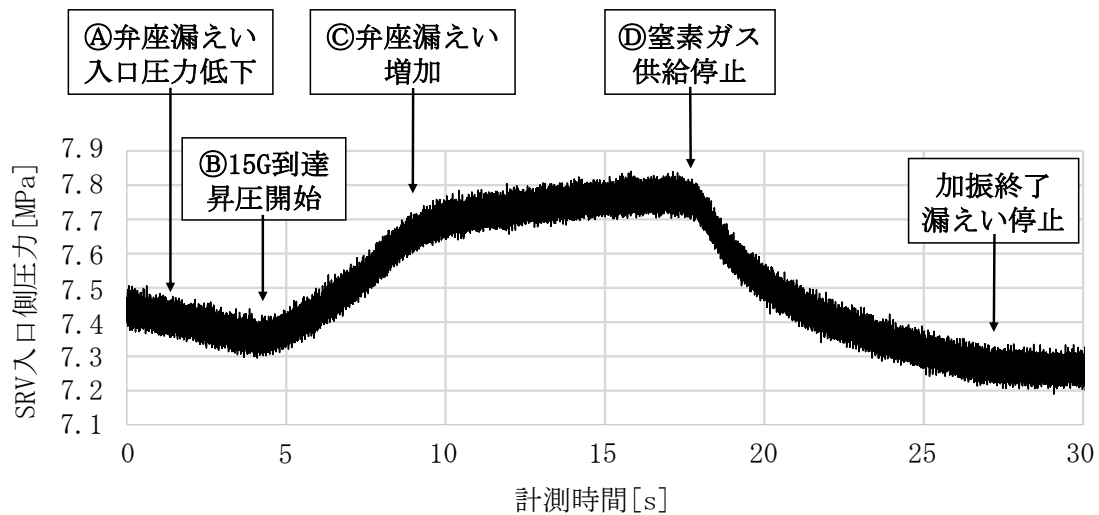


安全弁作動に至った場合：X方向 $3 \times 9.8 \text{ m/s}^2$ 加振時のSRV入口圧力

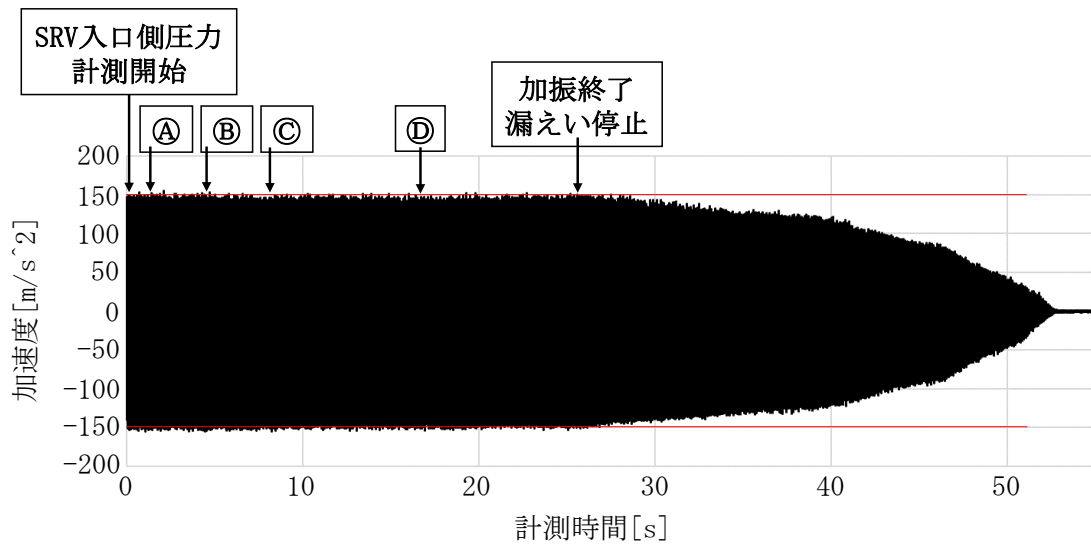


安全弁作動に至った場合：X方向 $3 \times 9.8 \text{ m/s}^2$ 加振時の応答加速度

図 2.6-7 3G 加振時の弁入口圧力状況



安全弁作動に至らなかった場合：X方向 $15 \times 9.8 \text{ m/s}^2$ 加振時のSRV入口圧力



安全弁作動に至らなかった場合：X方向 $15 \times 9.8 \text{ m/s}^2$ 加振時の応答加速度

図 2.6-8 15G 加振時の弁入口圧力状況

2.7 主蒸気隔離弁の加振試験

(1) 主蒸気隔離弁の試験体選定の考え方

国内 BWR 原子力発電所で使用される主蒸気隔離弁は、プラント出力に応じて呼び径が異なり、400A～700A まで使用されているが、基本構造は全て空気シリンダとスプリング駆動による Y 型グローブ弁であり同一である。

机上評価による耐震裕度も同等であったことから、小型で共振振動台の積載質量制限を満足する 500A を試験体とした。

試験体の概略仕様を表 2.7-1 に、概略構造を図 2.7-1 に示す。

島根 2 号機で使用している主蒸気隔離弁は呼び径 600A であるが、駆動部には弁本体の呼び径によって相違はなく、試験結果より得られた駆動部の動作機能確認済加速度は共通で適用可能である。

弁本体の呼び径の違いについては、弁本体の構造強度評価側にて影響を考慮する。

主蒸気隔離弁については、弁全体の機能確認済加速度の確認を目的として試験を実施しているため、駆動部単体のみではなく弁全体まで含めた試験体を用いて加振試験を実施している。

試験で得られた加速度は、弁全体の機能確認済加速度として適用可能だが、島根2号機の評価においては駆動部の動作機能確認済加速度として適用している。

表 2.7-1 に、J E A G 4 6 0 1 に規定されている機能確認済加速度の設定根拠となった加振試験（耐特委）で用いた試験体との比較を示す。

島根2号機、今回試験及びJ E A G 4 6 0 1 に使用している主蒸気隔離弁が同等であることを確認した。

表 2.7-1 主蒸気隔離弁試験体概略仕様

項目	島根2号機	今回試験	動的機器の地震時機能維持に関する研究	同等性
駆動方式	空気及びスプリング駆動	同左	同左	作動原理、基本構造は同等。 今回試験では、加振台の制限により、実機、動的機器の地震時機能維持に関する研究及び島根2号機よりも小さい径を使用したが、構造最弱部の強度は同等。
弁型式	Y型グローブ弁	同左	同左	
呼び径	600A	500A	650A	
最高使用圧力	8.62MPa[gage]	同左	同左	
材質（弁箱）	JIS SCPH2	同左	ASME SA216 Gr. WCB (JIS SCPH2 相当)	
弁高さ	約 3,090mm	約 2,810mm	約 3,400mm	
質量	約 5,400kg	約 4,100kg	約 6,000kg	

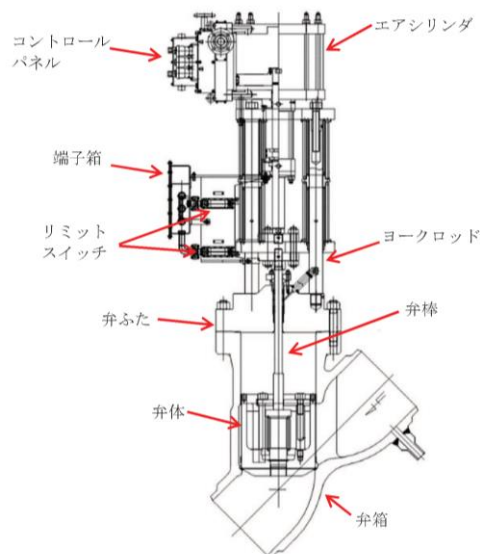


図 2.7-1 主蒸気隔離弁試験体 (500A)

(2) 主蒸気隔離弁の試験方法

製作した試験体について、水平2方向、鉛直方向の3方向について駆動部（エアシリンダ）の応答加速度が $15 \times 9.8 \text{m/s}^2$ 以上となる加振試験を実施した。

加振中及び加振後に急速閉作動を実施し、作動状態に問題はなく、作動時間も安定していることを確認した。

また、加振前及び加振後に弁座漏えい試験を実施し、いずれも無漏えいであることを確認した。

以上より各方向とも $15 \times 9.8 \text{m/s}^2$ 以上で良好な作動性能と、シール性を確認した。

試験時の確認項目を表 2.7-2 に、試験体の外観及び据付状態を図 2.7-2 及び図 2.7-3 に示す。

また、J E A G 4 6 0 1（耐特委）との試験方法の比較を表 2.7-3 に示す。

今回の試験方法が J E A G 4 6 0 1 と同等であることを確認した。

表 2.7-2 主蒸気隔離弁加振試験時の確認項目

状態	確認項目
加振前	弁座漏えい試験 据付状態目視点検 作動試験（作動信号計測）
加振中	作動試験（作動信号計測）
加振後	各部目視点検 弁座漏えい試験

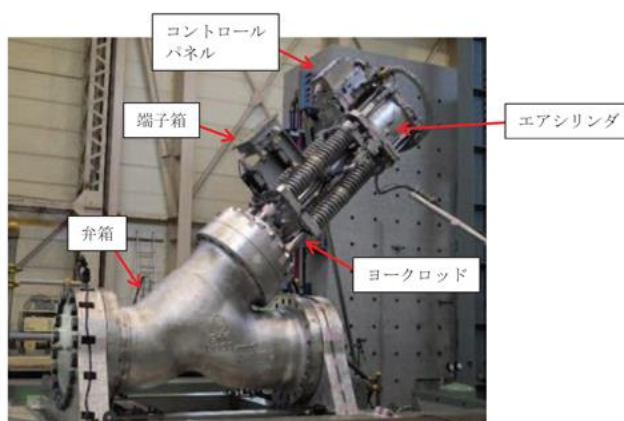


図 2.7-2 主蒸気隔離弁試験体外観

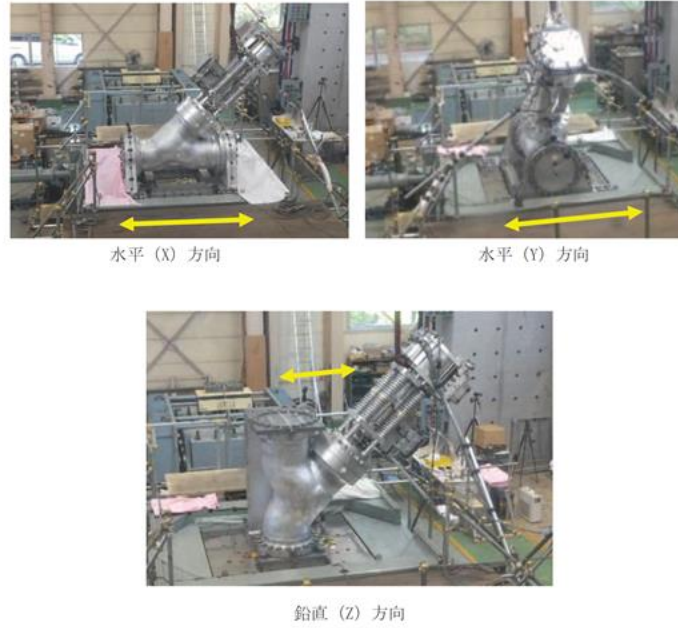


図 2.7-3 主蒸気隔離弁試験体据付状況

表 2.7-3 試験方法の比較（主蒸気隔離弁）

項目		今回試験	動的機器の地震時機能維持に関する研究	同等性
加振前 試験	弁座漏えい試験	漏えいなし	同左	同等
	作動試験	規定時間を満足	同左	
加振 試験	加振方法	連続正弦波	連続正弦波, 地震波	今回試験では動的機器の地震時機能維持に関する研究 より大きい加速度で加振
	加振加速度（駆動部応答）	15G	最大約7G	
	加振中作動時間	規定時間を満足	作動状態に問題なし	同等
加振後 試験	弁座漏えい試験	漏えいなし	同左	同等

(3) 主蒸気隔離弁の試験結果

いずれの加振方向でも加振による有意な損傷はみられず、良好な作動状態であり、目標加速度での動作機能維持を確認した。

試験で確認した最大応答加速度を表 2.7-4 に、加振時の駆動部応答加速度波形を図 2.7-4 に、作動信号の計測結果の例を図 2.7-5 に示す。

表 2.7-4 主蒸気隔離弁加振試験で計測された駆動部の最大応答加速度

最大応答加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)			作動状態
X 方向	Y 方向	Z 方向	
18.6	16.5	18.8	良好

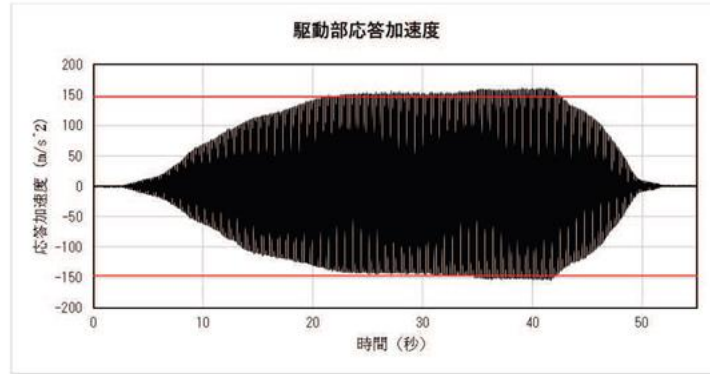


図 2.7-4 Y 方向目標加速度 $15 \times 9.8 \text{ m/s}^2$ 加振時の駆動部応答加速度波形

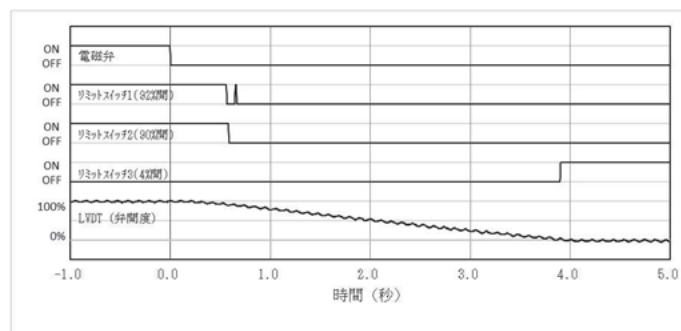


図 2.7-5 Y 方向目標 $15 \times 9.8 \text{ m/s}^2$ 加振時の作動信号*

注記*：リミットスイッチ 1 (92%開) の信号にノイズが確認されているが、以下 (4) にて説明を記載しているレバー折損時の事象と推定されており、弁作動上の問題はない。

(4) 試験時に確認された有意な事象

水平 Y 方向の目標加速度 $15 \times 9.8 \text{ m/s}^2$ 加振において、開側リミットスイッチのレバーが折損する事象が確認された。

主蒸気隔離弁のリミットスイッチは開側 2 個 (90%開度, 92%開度)、閉側 1 個 (4%開度) 設置されており、開閉状態の検出のほか、開側は弁の閉動作時にスクラム信号を発する機能を有している。

一方地震時は、今回の試験のような高加速度に到達する前にスクラム信号が出ることから、高加速度加振時にレバーが折損しても影響はない。

従って、応答加速度 $15 \times 9.8 \text{ m/s}^2$ において主蒸気隔離弁の機能維持に問題はないと評価した。

3. 最新知見に基づく駆動部の動作機能確認済加速度

加振試験結果に基づく最新知見を踏まえ、以下の加速度を駆動部の動作機能確認済加速度として採用する。

なお、機能確認済加速度は従来どおりの値とし、駆動部の応答加速度がこれを超えた場合の詳細評価として、弁最弱部の構造強度評価及び駆動部の動作機能確認済加速度による評価を行う。

表 3-1 機能確認済加速度（従来評価値）及び駆動部の動作機能確認済加速度

	型式	方向	機能確認済加速度 (従来評価値) ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	駆動部の動作機能 確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)
一般弁	電動弁*1	水平	6.0	20.0
		鉛直	6.0	20.0
	空気作動グローブ弁シリンダ型	水平	6.0	20.0
		鉛直	6.0	20.0
	空気作動バタフライ弁シリンダ型*2	水平	6.0	15.0
		鉛直	6.0	20.0
特殊弁	主蒸気逃がし安全弁	水平	9.6	20.0
		鉛直	6.1	20.0
	主蒸気隔離弁	水平	10.0	15.0
		鉛直	6.2	15.0

注記*1：二次減速機との組合せの型式においては、耐震ブラケットにより補強した場合に限る。

*2：電磁弁取付板を補強した場合に限る。

4. 参考文献

- ・M. Sakai, et al., “ Development of High Acceleration Shaking Table System Using Resonance Vibration ” ,PVP2016-63752, American Society of Mechanical Engineers, 2016

電共研と既往研究における加振試験の基本条件の相違

島根 2 号機の今回工認の弁の動的機能維持評価に適用する電共研の知見における加振試験と、既往研究における加振試験の基本条件の相違について、本資料に整理した。

比較対象とする既往研究は、J E A G 4 6 0 1-1991 に取り込まれた「動的機器の地震時機能維持に関する研究（昭和 55 年度～昭和 57 年度）」と、その後実施された「鉛直地震動を受ける設備の耐震評価手法に関する研究（平成 6 年度～平成 13 年度）」とした。

島根 2 号機の今回工認に適用する電共研と既往研究の加振試験における試験方法、条件等の相違について、表-1 に整理した。

一部条件に若干の相違はあるが、今回工認に適用する電共研の知見における試験条件の妥当性は、本資料の 2.3 “加振波について” に記載のとおりであり、電共研の知見より得られた駆動部の動作機能確認済加速度の適用に問題はないと考えられる。

表-1 過去の研究と島根2号機の今回工認に適用する電共研の加振試験における試験条件等の比較

	J E A G 4 6 0 1 -1991 策定時 「動的機器の地震時機能維持に関する研究 (昭和55年度～昭和57年度)」	「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6年度～平成13年 度)」	島根2号機の今回工認に適用する電 共研の加振試験(平成24年度～令和 2年度)
入力波の種類	正弦波(一部、模擬地震波でも実施)	正弦波	正弦波
加振振動数	20 Hz 若しくは弁の固有振動数	20 Hz 若しくは弁の固有振動数	約10 Hz
加振継続時間	40秒～90秒	20～30秒*, 30～60秒*	15秒以上
加振方向	水平2方向の単軸毎	水平2方向, 鉛直方向の3方向の単軸毎の 加振に加え, 水平・鉛直同時加振模擬条件 も実施	水平2方向, 鉛直方向の3方向の単 軸毎

注記*: 異なる試験設備を用いており, 試験設備によって条件が異なる。

先行審査プラントとの申請設備の動的機能維持詳細評価方法比較表

動的機能維持 評価方法	対象機種	設備分類	島根2号										
「詳細検討」*1 (AT 値超過)	立形ポンプ	立形斜流式	—										
		横形ポンプ	・燃料プール冷却ポンプ										
		ポンプ駆動用タービン	—										
	電動機	立形すべり軸受	—										
		横形ころがり軸受	・燃料プール冷却ポンプ用原動機 ・ほう酸水注入ポンプ用原動機 ・非常用ガス処理系排風機用原動機 ・可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロウ用原動機 ・非常用ディーゼル発電設備 B-ディーゼル燃料移送ポンプ用原動機										
	ファン	遠心直結型	・非常用ガス処理系排風機										
		遠心直動型	・可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロウ										
		軸流式	—										
	非常用ディーゼル発電設備	中速形	—										
		高速形	—										
		往復動式ポンプ	・ほう酸水注入ポンプ										
	一般弁	グローブ弁	・グローブ弁*4										
		ゲート弁	・ゲート弁*4										
		バタフライ弁	・バタフライ弁*4										
逆止弁		・逆止弁											
特殊弁		・主蒸気隔離弁*4 ・主蒸気逃がし安全弁*4											
「新たな検討」*2	横形スクリー式ポンプ		・非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料移送ポンプ ・非常用ディーゼル発電設備 B-ディーゼル燃料移送ポンプ ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプ ・ガスタービン発電機用燃料移送ポンプ										
	ギヤ式ポンプ	—											
	ガスタービン発電機	機関本体	・ガスタービン機関										
		燃料制御ユニット(調速装置)	・ガスタービン機関										
加振試験*3	—	・高圧原子炉代替注水ポンプ											

注記*1: JEAG4601及び原子力発電耐震設計特別調査委員会の検討内容を踏まえた基本評価項目の評価

*2: JEAG4601の適用範囲外の機器に係る地震時要因分析に基づいた基本評価項目の評価

*3: JEAG4601の適用範囲外の機器において、解析による構造健全性の確認を実施しない場合、加振試験により動的機能の健全性を確認

*4: JEAG4601に基づく弱部の構造強度評価及び弁駆動部の加振試験(電力共通研究)による機能維持評価

*5: 弁駆動部の動作確認済み加速度は、(社)日本電気協会 原子力発電耐震設計特別調査委員会(耐特委)、原子力発電耐震設計専門部会(耐専)で確認された加速度を設定

*6: 加圧水型原子炉においては、主蒸気隔離弁を一般弁(逆止弁)、主蒸気隔離弁の開閉に必要な主蒸気隔離弁操作用電磁弁を特殊弁と整理し、それぞれ動的機能の評価している(ただし、主蒸気隔離弁操作用電磁弁は工認の要目表対象外)。