

補足-600-14 動的機能維持評価に係る補足説明資料

工事計画添付書類に係る補足説明資料

添付書類の記載内容を補足するための資料を以下に示す。

工認添付書類	補足説明資料
<p>VI-2 耐震性に関する説明書</p>	<p>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）</p>
<p>VI-2-5-3-1-2 管の耐震性についての計算書（主蒸気系） VI-2-5-3-2-1 管の耐震性についての計算書（復水給水系） VI-2-5-4-1-4 管の耐震性についての計算書（残留熱除去系） VI-2-5-5-1-3 管の耐震性についての計算書（高圧炉心スプレイ系） VI-2-5-5-2-3 管の耐震性についての計算書（低圧炉心スプレイ系） VI-2-5-6-1-3 管の耐震性についての計算書（原子炉隔離時冷却系） VI-2-5-8-1-1 管の耐震性についての計算書（原子炉冷却材浄化系） VI-2-9-4-4-1-2 管の耐震性についての計算書（非常用ガス処理系） VI-2-9-4-4-2-1 管の耐震性についての計算書（可燃性ガス濃度制御系） VI-2-9-4-5-1-1 管の耐震性についての計算書（原子炉格納容器調気系）</p>	<p>補足-600-14-2 弁の応答加速度の算出について</p>

（次頁へ続く）

(前頁からの続き)

工認添付書類	補足説明資料
VI-2-5-3-1-2 管の耐震性についての計算書 (主蒸気系) VI-2-5-3-2-1 管の耐震性についての計算書 (復水給水系) VI-2-5-4-1-4 管の耐震性についての計算書 (残留熱除去系) VI-2-5-5-1-3 管の耐震性についての計算書 (高圧炉心スプレイ系) VI-2-5-5-2-3 管の耐震性についての計算書 (低圧炉心スプレイ系) VI-2-5-6-1-3 管の耐震性についての計算書 (原子炉隔離時冷却系) VI-2-5-8-1-1 管の耐震性についての計算書 (原子炉冷却材浄化系) VI-2-9-4-4-1-2 管の耐震性についての計算書 (非常用ガス処理系) VI-2-9-4-4-2-1 管の耐震性についての計算書 (可燃性ガス濃度制御系) VI-2-9-4-5-1-1 管の耐震性についての計算書 (原子炉格納容器調気系)	補足-600-14-3 動的機能維持評価対象弁の選定

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)

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	2
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	12

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

1. はじめに

本資料では、実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈等における動的機能保持に関する評価に係る一部改正（以下「技術基準規則解釈等の改正」という。）を踏まえて、動的機能維持についての検討方針、新たな検討又は詳細検討が必要な設備の抽出及び検討結果を示す。

実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈（P18）

第5条（地震による損傷の防止）

3 動的機器に対する「施設の機能を維持していること」とは、基準地震動による応答に対して、当該機器に要求される機能を保持することをいう。具体的には、当該機器の構造、動作原理等を考慮した評価を行うこと、既往研究で機能維持の確認がなされた機能確認済加速度等を超えていないことを確認することをいう。

耐震設計に係る工認審査ガイド（P28, 29）

4.6.2 動的機能

【審査における確認事項】

Sクラスの施設を構成する主要設備又は補助設備に属する機器のうち、地震時又は地震後に機能保持が要求される動的機器については、基準地震動 S_s を用いた地震応答解析結果の応答値が動的機能保持に関する評価基準値を超えていないことを確認する。

【確認内容】

動的機能については以下を確認する。

- (1) 水平方向の動的機能保持に関する評価については、規制基準の要求事項に留意して、機器の地震応答解析結果の応答値が JEAG4601 の規定を参考に設定された機能確認済加速度、構造強度等の評価基準値を超えていないこと。（中略）また、適用条件、適用範囲に留意して、既往の研究等において試験等により妥当性が確認されている設定等を用いること。
- (2) 鉛直方向の動的機能保持に関する評価については、規制基準の要求事項に留意して、機器の地震応答解析結果の応答値が水平方向の動的機能保持に関する評価に係る JEAG4601 の規定を参考に設定された機能確認済加速度、構造強度等の評価基準値を超えていないこと。（中略）また、適用条件、適用範囲に留意して、既往の研究等において試験等により妥当性が確認されている設定等を用いること。
- (3) 上記(1)及び(2)の評価に当たっては、当該機器が JEAG4601 に規定されている機種、形式、適用範囲等と大きく異なる場合又は機器の地震応答解析結果の応答値が JEAG4601 の規定を参考にして設定された機能確認済加速度を超える場合（評価方法が JEAG4601 に規定されている場合を除く。）については、既往の研究等を参考に異常要因分析を実施し、当該分析に基づき抽出した評価項目毎に評価を行い、評価基準値を超えていないこと。

また、当該分析結果に基づき抽出した評価部位について、構造強度評価等の解析のみにより行うことが困難な場合には、当該評価部位の地震応答解析結果の応答値が、加振試験（既往の研究等において実施されたものを含む。）により動的機能保持を確認した加速度を超えないこと。

なお、本資料が関連する工認図書は、「VI-2 耐震性に関する説明書」である。

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

動的機能維持評価は、原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）に従い実施するものとするが、J E A G 4 6 0 1 で定める機能確認済加速度（J E A G 4 6 0 1 に定められた既往研究で機能維持の確認がなされた入力又は応答レベル）と機能維持評価用加速度との比較による評価法には、適用できる機種、型式及び適用範囲（流量，出力）が定められている。

J E A G 4 6 0 1 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は、以下に示す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。本資料では以下の評価方法の詳細も含めて、女川原子力発電所 2 号機における動的機能維持評価方法をまとめるものである。

- ①「詳細検討」（基本評価項目の評価）
- ②「新たな検討」（地震時異常要因分析の実施，基本評価項目の抽出及び評価）
- ③加振試験

ここで、基本評価項目とは、地震時に発生する可能性のある異常現象を抽出し、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である。基本評価項目のうち、既往研究等により十分な耐震性が確認されている項目については評価を省略し、代表評価項目のみを評価することで動的機能維持を確認する。

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

3.1 検討対象設備の整理

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）より，動的機器を整理し，動的機能が必要な設備を検討対象設備とする。

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

図 1 に設備の抽出及び検討のフローを示す。

3.1 項に示す検討対象設備について，J E A G 4 6 0 1 の機種，型式及び適用範囲に該当する設備かを確認し，該当する設備については，機能維持評価用加速度が J E A G 4 6 0 1 及び既往の研究等*¹により妥当性が確認されている機能確認済

加速度 (A_T) 以内であることの確認を行う。この評価方法で動的機能の健全性が確認できない設備については、検討フローに従い以下 3 種類の評価方法のいずれかによって評価を実施する。

①「詳細検討」(基本評価項目の評価)

J E A G 4 6 0 1 の適用範囲内の機器において、機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合、J E A G 4 6 0 1 に記載されている基本評価項目(地震時の異常要因分析を踏まえ、設備に要求される機能を保持するために健全性の確認が必要な項目)及び原子力発電耐震設計特別調査委員会*2(以下「耐特委」という。)で検討された内容を踏まえた項目の評価を行い動的機能の健全性を確認する。

②「新たな検討」(地震時異常要因分析の実施、基本評価項目の抽出及び評価)

J E A G 4 6 0 1 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する場合、既往の研究等を参考に地震時異常要因分析を実施し、当該分析に基づき抽出した評価項目の評価を行い動的機能の健全性を確認する。

③加振試験

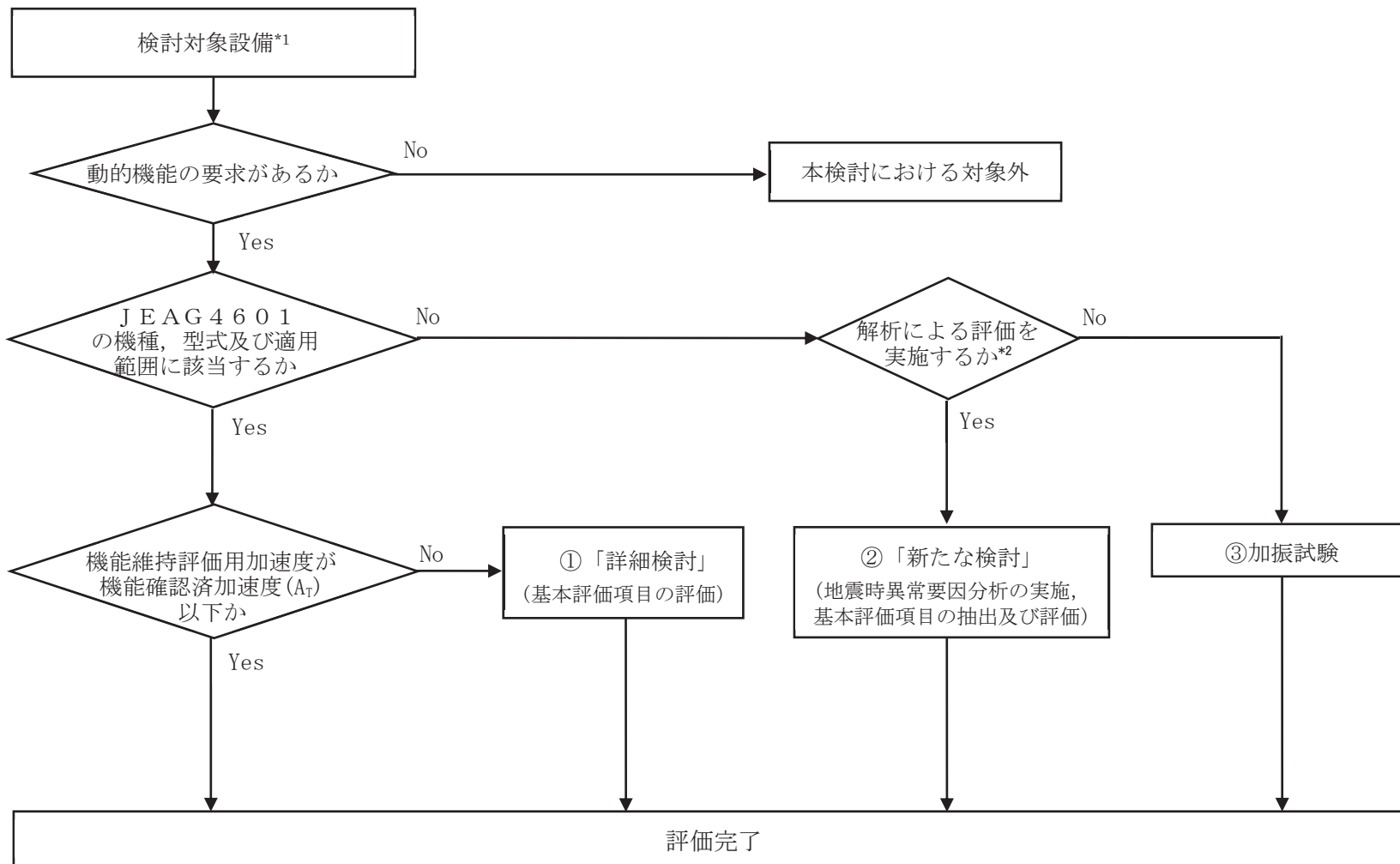
J E A G 4 6 0 1 の適用範囲外の機器において、解析による構造健全性の確認を実施しない場合、加振試験を実施し動的機能の健全性を確認する。

なお、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おり、基本評価項目の評価を行う①「詳細検討」とは異なるものの、設備の抽出作業は①「詳細検討」に含めて整理を行う。

上記を整理するために検討対象設備について、J E A G 4 6 0 1 に該当する機種名等を別表 1 に整理した。

注記*1: 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)」

*2: 耐特委報告書「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*1：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

*2：構造強度評価等の解析実施が困難な場合はNo

図1 動的機能維持評価の検討フロー

3.3 抽出結果

別表 1 をもとに、図 1 にて①「詳細検討」、②「新たな検討」及び③加振試験を実施する設備を抽出した結果を表 1 に示す。

①「詳細検討」(基本評価項目の評価)

機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超え、「詳細検討」が必要となる設備として、以下の設備が該当する。これらの設備は、J E A G 4 6 0 1 に定められた機種、型式及び適用範囲であることを確認していることから、「詳細検討」(基本評価項目の評価)を実施する。

[立形ポンプ]

- ・原子炉補機冷却海水ポンプ
- ・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及び発電機
- ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル機関及び発電機

[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
- ・主蒸気逃がし安全弁

[一般弁]

- ・弁 (グローブ弁, ゲート弁, 逆止弁)

②「新たな検討」（地震時異常要因分析の実施，基本評価項目の抽出及び評価）

「新たな検討」が必要な設備としては，以下の設備が該当し，全て横形スクリー式ポンプ（以下「スクリー式ポンプ」という。）である。

- ・非常用ディーゼル発電設備 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 燃料移送ポンプ
- ・ガスタービン発電設備 燃料移送ポンプ

スクリー式ポンプは，遠心式横形ポンプやギヤ式ポンプと類似であることから，原子力発電耐震設計特別調査委員会（以下「耐特委」という。）での地震時機能維持評価についての検討*¹や電力共通研究*²（以下「電共研」という。）での検討結果を参考とする。また，同電共研においてスクリー式ポンプの地震時異常要因分析及び評価項目の抽出を行っており，それらの検討を用いることが可能である。

そのため，スクリー式ポンプは，「新たな検討」として，上記検討を参考に地震時異常要因分析，基本評価項目の抽出及び評価を実施する。

注記*1：耐特委報告書「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：電力共通研究「動的機器の地震時機能維持の耐震余裕に関する研究（平成25年3月）」

③加振試験

加振試験を実施する設備として以下の設備を抽出した。

- ・高圧代替注水系タービンポンプ

ポンプ型式はタービン駆動の横形多段遠心式だが，ポンプとタービンが一体となった構造であり（図2参照），J E A G 4 6 0 1に記載の横形ポンプの構造例とは大きく構造が異なる。また，J E A G 4 6 0 1に構造例が示されている補助給水ポンプ用タービンはポンプとタービンが一体となった構造であるものの，補助給水ポンプ用タービンとも構造の相違点が多数ある。以上より，本設備はJ E A G 4 6 0 1の適用範囲外と判断し加振試験を実施。詳細は下記資料参照。

補足-600-22 高圧代替注水系タービンポンプの耐震性についての計算書に関する補足説明資料

- ・ガスタービン発電設備 機関・発電機

車両型設備であり（図3参照），解析による評価が困難なことから加振試験を

実施。詳細は下記資料参照。

補足-600-21 ガスタービン発電設備の耐震性についての計算書に関する
補足説明資料

表1 「新たな検討」又は「詳細検討」が必要な設備の抽出結果 (1/3)

機種名	設備名称	J E A G 4 6 0 1 の機種, 型式, 適用範囲に該当する か ○:該当 ×:否(「新たな検討」又は加 振試験による確認が必 要)	機能確認済加速度 (A _T) 以下か ○:Yes ×:No(「詳細検 討」が必要) —:対象外
立形ポンプ	残留熱除去系ポンプ	○	○
	高圧炉心スプレイ系ポンプ	○	○
	低圧炉心スプレイ系ポンプ	○	○
	原子炉補機冷却海水ポンプ	○	× (別紙2参照)
	高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ	○	× (別紙2参照)
横形ポンプ	高圧代替注水系タービンポンプ	× (加振試験による確認)	—
	原子炉隔離時冷却系ポンプ	○	○
	原子炉補機冷却水ポンプ	○	○
	高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプ	○	○
	復水移送ポンプ	○	○
	代替循環冷却ポンプ	○	○
	燃料プール冷却浄化系ポンプ	○	× (別紙2参照)
	直流駆動低圧注水ポンプ	○	○
	非常用ディーゼル発電設備 燃料移送 ポンプ	× (別紙1参照)	—
	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	× (別紙1参照)	—
ガスタービン発電設備 燃料移送ポン プ	× (別紙1参照)	—	
ポンプ駆動 用タービン	原子炉隔離時冷却系ポンプ駆動用ター ビン	○	○
電動機	残留熱除去系ポンプ用電動機	○	○
	高圧炉心スプレイ系ポンプ用電動機	○	× (別紙2参照)
	低圧炉心スプレイ系ポンプ用電動機	○	× (別紙2参照)
	原子炉補機冷却海水ポンプ用電動機	○	× (別紙2参照)
	高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ 用電動機	○	× (別紙2参照)
	原子炉補機冷却水ポンプ用電動機	○	○
	高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプ用 電動機	○	○

表1 「新たな検討」又は「詳細検討」が必要な設備の抽出結果(2/3)

機種名	設備名称	J E A G 4 6 0 1 の機種, 型式, 適用範囲に該当する か ○:該当 ×:否(「新たな検討」又は加 振試験による確認が必 要)	機能確認済加速度 (Ar) 以下か ○:Yes ×:No(「詳細検 討」が必要) -:対象外
電動機	復水移送ポンプ用電動機	○	○
	代替循環冷却ポンプ用電動機	○	○
	燃料プール冷却浄化系ポンプ用電動機	○	× (別紙2参照)
	ほう酸水注入系ポンプ用電動機	○	× (別紙2参照)
	中央制御室送風機用電動機	○	○
	中央制御室排風機用電動機	○	○
	中央制御室再循環送風機用電動機	○	○
	非常用ガス処理系排風機用電動機	○	× (別紙2参照)
	可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロ ワ用電動機	○	× (別紙2参照)
	緊急時対策所非常用送風機用電動機	○	○
	ガスタービン発電設備 燃料移送ポン プ用電動機	○	○
	非常用ディーゼル発電設備 燃料移送 ポンプ用電動機	○	○
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設 備 燃料移送ポンプ用電動機	○	○
ファン	中央制御室送風機	○	○
	中央制御室排風機	○	○
	中央制御室再循環送風機	○	○
	非常用ガス処理系排風機	○	× (別紙2参照)
	可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロ ワ	○	× (別紙2参照)
	緊急時対策所非常用送風機	○	○
非常用 ディーゼル 発電設備	非常用ディーゼル機関	○	× (別紙2参照)
	非常用ディーゼル発電機	○	× (別紙2参照)
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル機関	○	× (別紙2参照)
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機	○	× (別紙2参照)
往復動式 ポンプ	ほう酸水注入系ポンプ	○	× (別紙2参照)

表1 「新たな検討」又は「詳細検討」が必要な設備の抽出結果 (3/3)

機種名	設備名称	J E A G 4 6 0 1 の機種、 型式、適用範囲に該当する か ○:該当 ×:否 (「新たな検討」又は加 振試験による確認が必要)	機能確認済加速度 (A _T) 以下か ○:Yes ×:No (「詳細検 討」が必要) —:対象外
制御棒	制御棒挿入性	○	○*1
特殊弁	主蒸気隔離弁	○	×*2 (別紙2参照)
	主蒸気逃がし安全弁	○	× (別紙2参照)
	制御棒駆動系スクラム弁	○	○
一般弁	弁 (グローブ弁, ゲート弁, 逆止弁)	○	×*2 (別紙2参照)
ガスタービン 発電設備	ガスタービン発電設備 機関・発電機	× (加振試験による確認)	—

注記 *1: 地震応答解析結果から求めた燃料集合体相対変位が、新たな加振試験により確認された制御棒挿入機能に支障を与えない変位以下となることを確認 (詳細については、補足-600-16 参照)。

*2: 機能維持評価用加速度が J E A G 4 6 0 1 及び既往の研究等により妥当性が確認されている機能確認済加速度 (A_T) を超過する一部の弁について「詳細検討」を実施する。

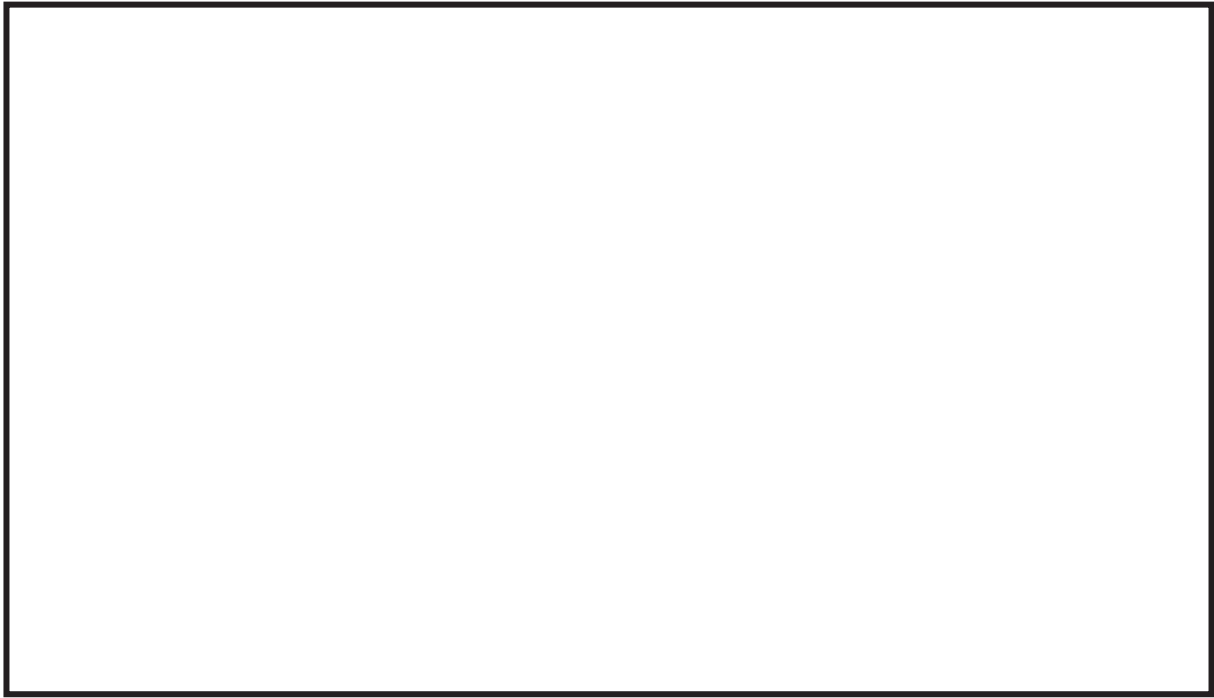


図 2 高圧代替注水系タービンポンプ構造図

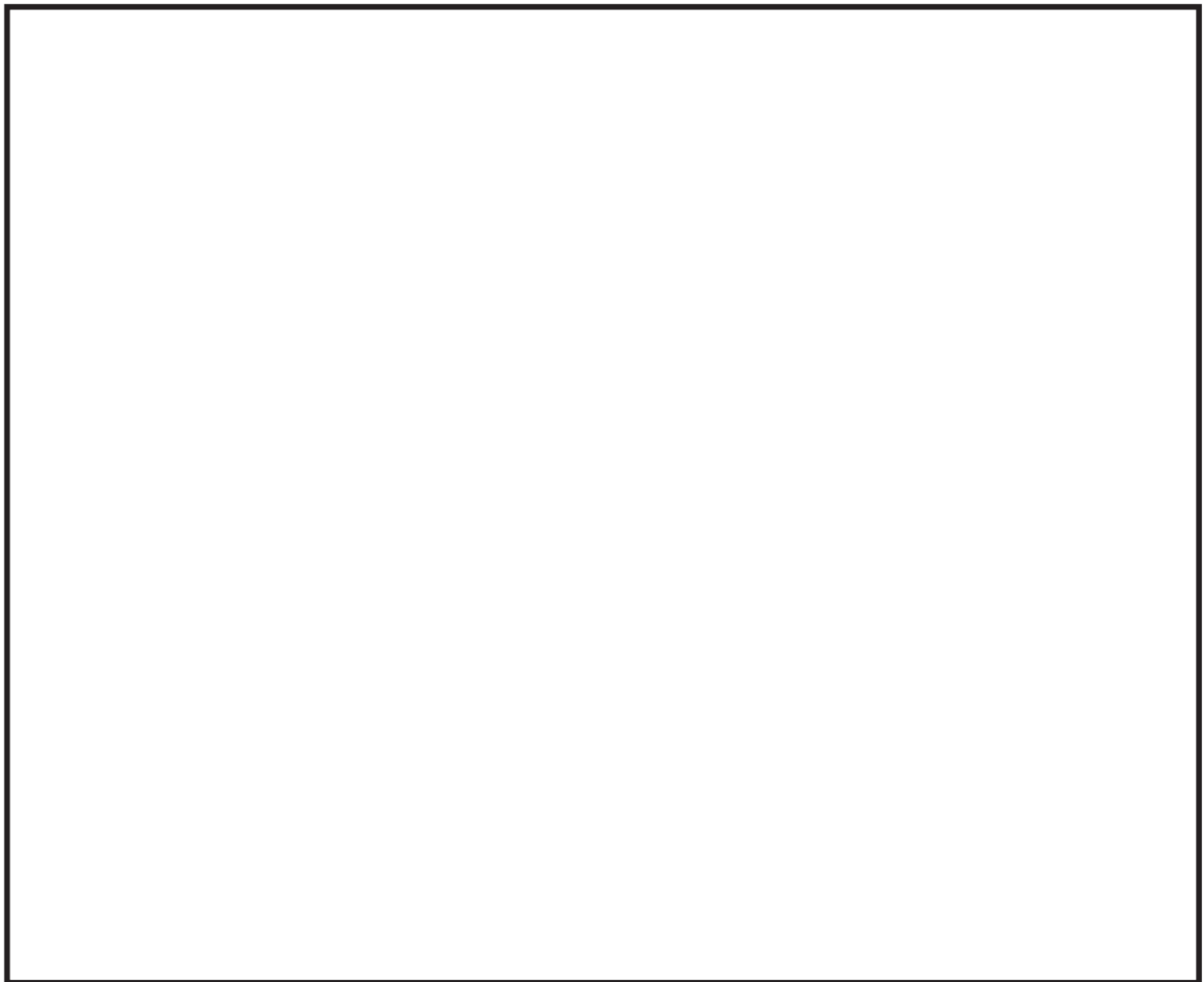


図 3 ガスタービン発電設備構造図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

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

J E A G 4 6 0 1 に定められた機能確認済加速度との比較による評価方法が適用できる機種範囲から外れ新たに評価項目の検討が必要として3項で抽出した設備の検討内容詳細については別紙1に示す。また、「詳細検討」が必要として3項で抽出した設備の検討内容詳細については別紙2に示す。

別表 1 検討対象設備における動的機能維持評価の整理結果 (1/6)

施設区分/設備名称	動的機能維持要求の有無	動的機能維持の確認方法	J E A G 4 6 0 1 機種/型式			機能確認済加速度 (A _T) 確認 (× 9.8m/s ²)			機能維持評価用加速度がA _T 以下か ○: A _T 以下 ×: A _T 超過 -: 対象外	備考	
			機種	型式	容量 ()内は当該設備の 容量	方向	機能維持評価用 加速度*1	機能確認済加速度 (A _T)			
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設											
使用済燃料貯蔵槽冷却浄化設備											
燃料プール冷却浄化系											
燃料プール冷却浄化系ポンプ	有	J E A G 4 6 0 1 による確認	横形ポンプ	単段遠心式	~2400m ³ /h (160m ³ /h)	水平	1.65	3.2(軸直角方向) 1.4(軸方向)	×	機能維持評価用加速度がA _T 超過のため、「詳細検討」を実施する。	
						鉛直	1.15	1.0			
			電動機	横形ころがり軸受	~950kW (75kW)	水平	1.65	4.7	×		機能維持評価用加速度がA _T 超過のため、「詳細検討」を実施する。
						鉛直	1.15	1.0			
原子炉冷却系統施設											
原子炉冷却材再循環設備											
原子炉再循環系											
原子炉再循環ポンプ	無	-	-	-	-	-	-	-	-	動的機能維持の要求はないが、地震により軸固着を生じないことを確認する。	
残留熱除去設備											
残留熱除去系											
残留熱除去系ポンプ	有	J E A G 4 6 0 1 による確認	立形ポンプ	ビットバレル形	~1800m ³ /h (1160m ³ /h)	水平	0.82	10.0	○		
						鉛直	0.57	1.0			
			電動機	立形ころがり軸受	~1300kW (540kW)	水平	0.82	2.5	○		
						鉛直	0.57	1.0			
非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備											
高圧炉心スプレイ系											
高圧炉心スプレイ系ポンプ	有	J E A G 4 6 0 1 による確認	立形ポンプ	ビットバレル形	~1800m ³ /h (1074m ³ /h)	水平	0.82	10.0	○		
						鉛直	0.57	1.0			
			電動機	立形すべり軸受	~2700kW (1900kW)	水平	4.7	2.5	×		機能維持評価用加速度がA _T 超過のため、「詳細検討」を実施する。
						鉛直	0.57	1.0			
低圧炉心スプレイ系											
低圧炉心スプレイ系ポンプ	有	J E A G 4 6 0 1 による確認	立形ポンプ	ビットバレル形	~1800m ³ /h (1074m ³ /h)	水平	0.82	10.0	○		
						鉛直	0.57	1.0			
			電動機	立形ころがり軸受	~1300kW (1000kW)	水平	4.2	2.5	×		機能維持評価用加速度がA _T 超過のため、「詳細検討」を実施する。
						鉛直	0.57	1.0			
高圧代替注水系											
高圧代替注水系タービンポンプ	有	加振試験による 確認	-	-	-	水平	1.13		-	J E A G 4 6 0 1 の適用範囲外の構造であるため、今回工認の評価のために新たに加振試験を実施した。	
						鉛直	0.75				

別表1 検討対象設備における動的機能維持評価の整理結果 (2/6)

施設区分/設備名称	動的機能維持要求の有無	動的機能維持の確認方法	JEAG4601 機種/型式			機能確認済加速度 (A _T) 確認 (×9.8m/s ²)			機能維持評価用加速度がA _T 以下か ○: A _T 以下 ×: A _T 超過 -: 対象外	備考
			機種	型式	容量 ()内は当該設備の 容量	方向	機能維持評価用 加速度*1	機能確認済加速度 (A _T)		
低圧代替注水系										
直流駆動低圧注水ポンプ	有	JEAG4601 による確認	横形ポンプ	単段遠心式	～2400m ³ /h (82m ³ /h)	水平	0.84	3.2(軸直角方向) 1.4(軸方向)	○	
						鉛直	0.58	1.0		
			電動機	横形ころがり軸受	～950kW (37kW)	水平	0.84	4.7	○	
						鉛直	0.58	1.0		
原子炉冷却材補給設備										
原子炉隔離時冷却系										
原子炉隔離時冷却系ポンプ	有	JEAG4601 による確認	横形ポンプ	多段遠心式	～700m ³ /h (96.5m ³ /h)	水平	0.87	3.2(軸直角方向) 1.4(軸方向)	○	
						鉛直	0.6	1.0		
			ポンプ駆動用 タービン	RCICポンプ用	プラント出力等による構造、寸法の違いはほとんどない。	水平	0.86	2.4	○	
						鉛直	0.59	1.0		
補給水系										
復水移送ポンプ	有	JEAG4601 による確認	横形ポンプ	単段遠心式	～2400m ³ /h (100m ³ /h)	水平	1.11	3.2(軸直角方向) 1.4(軸方向)	○	
						鉛直	0.73	1.0		
			電動機	横形ころがり軸受	～950kW (45kW)	水平	1.11	4.7	○	
						鉛直	0.73	1.0		
原子炉補機冷却設備										
原子炉補機冷却水系及び原子炉補機冷却海水系										
原子炉補機冷却水ポンプ	有	JEAG4601 による確認	横形ポンプ	単段遠心式	～2400m ³ /h (1400m ³ /h)	水平	0.82	3.2(軸直角方向) 1.4(軸方向)	○	
						鉛直	0.57	1.0		
			電動機	横形ころがり軸受	～950kW (235kW)	水平	0.82	4.7	○	
						鉛直	0.57	1.0		
原子炉補機冷却海水ポンプ	有	JEAG4601 による確認	立形ポンプ	立形斜流式	～7600m ³ /h (1900m ³ /h)	水平	11.93	10.0	×	機能維持評価用加速度がA _T 超過のため、「詳細検討」を実施する。
						鉛直	1.61	1.0		
			電動機	立形ころがり軸受	～1300kW (420kW)	水平	17.35	2.5	×	
						鉛直	1.61	1.0		

別表 1 検討対象設備における動的機能維持評価の整理結果 (3/6)

施設区分/設備名称	動的機能維持要求の有無	動的機能維持の確認方法	JEAG4601 機種/型式			機能確認済加速度 (A _T) 確認 (×9.8m/s ²)			機能維持評価用加速度がA _T 以下か ○: A _T 以下 ×: A _T 超過 -: 対象外	備考	
			機種	型式	容量 ()内は当該設備の 容量	方向	機能維持評価用 加速度*1	機能確認済加速度 (A _T)			
高圧炉心スプレィ補機冷却水系及び高圧炉心スプレィ補機冷却海水系											
高圧炉心スプレィ補機冷却水ポンプ	有	JEAG4601 による確認	横形ポンプ	単段遠心式	~2400m ³ /h (240m ³ /h)	水平	0.82	3.2(軸直角方向) 1.4(軸方向)	○		
						鉛直	0.57				1.0
			電動機	横形ころがり軸受	~950kW (40kW)	水平	0.82	4.7			○
						鉛直	0.57	1.0			
高圧炉心スプレィ補機冷却海水ポンプ	有	JEAG4601 による確認	立形ポンプ	立形斜流式	~7600m ³ /h (250m ³ /h)	水平	3.37	10.0	×	機能維持評価用加速度がA _T 超過のため、「詳細検討」を実施する。	
						鉛直	1.61	1.0			
			電動機	立形ころがり軸受	~1300kW (60kW)	水平	1.53	2.5	×	機能維持評価用加速度がA _T 超過のため、「詳細検討」を実施する。	
						鉛直	1.61	1.0			
計測制御系統施設											
制御材											
制御棒	有	地震応答解析結果の相対変位量と制御棒の挿入性試験結果の比較による確認									
ほう酸水注入設備											
ほう酸水注入系											
ほう酸水注入系ポンプ	有	JEAG4601 による確認	往復動式ポンプ	横形3連往復動式	流量、吐出圧力等ほぼ同一 (9.78m ³ /h)	水平	1.77	1.6	×	機能維持評価用加速度がA _T 超過のため、「詳細検討」を実施する。	
						鉛直	1.30	1.0			
			電動機	横形ころがり軸受	~950kW (37kW)	水平	1.77	4.7	×	機能維持評価用加速度がA _T 超過のため、「詳細検討」を実施する。	
						鉛直	1.30	1.0			
放射線管理施設											
換気設備											
中央制御室換気空調系											
中央制御室送風機	有	JEAG4601 による確認	ファン	遠心直結型ファン	~2900m ³ /min (1333m ³ /min)	水平	1.13	2.3	○		
						鉛直	0.66	1.0			
			電動機	横形ころがり軸受	~950kW (110kW)	水平	1.13	4.7			○
						鉛直	0.66	1.0			
中央制御室再循環送風機	有	JEAG4601 による確認	ファン	遠心直結型ファン	~2900m ³ /min (133m ³ /min)	水平	1.13	2.3	○		
						鉛直	0.66	1.0			
			電動機	横形ころがり軸受	~950kW (15kW)	水平	1.13	4.7			○
						鉛直	0.66	1.0			
中央制御室排風機	有	JEAG4601 による確認	ファン	遠心直動型ファン	~2500m ³ /min (83m ³ /min)	水平	1.13	2.6	○		
						鉛直	0.66	1.0			
			電動機	横形ころがり軸受	~950kW (3.7kW)	水平	1.13	4.7			○
						鉛直	0.66	1.0			

別表 1 検討対象設備における動的機能維持評価の整理結果 (4/6)

施設区分/設備名称	動的機能維持要求の有無	動的機能維持の確認方法	JEAG4601 機種/型式			機能確認加速度 (A _T) 確認 (×9.8m/s ²)			機能維持評価用加速度がA _T 以下か ○: A _T 以下 ×: A _T 超過 -: 対象外	備考
			機種	型式	容量 ()内は当該設備の 容量	方向	機能維持評価用 加速度*1	機能確認済加速度 (A _T)		
緊急時対策所換気空調系										
緊急時対策所非常用送風機	有	JEAG4601 による確認	ファン	遠心直動型ファン	~2500m ³ /min (16.7m ³ /min)	水平	1.4	2.6	○	
						鉛直	0.93	1.0		
			電動機	横形ころがり軸受	~950kW (3.7kW)	水平	1.40	4.7	○	
						鉛直	0.93	1.0		
原子炉格納施設										
圧力低減設備その他の安全設備										
原子炉格納容器安全設備										
代替循環冷却系										
代替循環冷却ポンプ	有	JEAG4601 による確認	横形ポンプ	単段遠心式	~2400m ³ /h (150m ³ /h)	水平	0.82	3.2(軸直角方向) 1.4(軸方向)	○	
						鉛直	0.57	1.0		
			電動機	横形ころがり軸受	~950kW (90kW)	水平	0.82	4.7	○	
						鉛直	0.57	1.0		
放射性物質濃度制御設備及び可燃性ガス濃度制御設備並びに格納容器再循環設備										
非常用ガス処理系										
非常用ガス処理系排風機	有	JEAG4601 による確認	ファン	遠心直結型ファン	~2900m ³ /min (41.7m ³ /min)	水平	1.81	2.3	×	機能維持評価用加速度がA _T 超過のため、「詳細検討」を実施する。
						鉛直	1.32	1.0		
			電動機	横形ころがり軸受	~950kW (22kW)	水平	1.81	4.7	×	
						鉛直	1.32	1.0		
可燃性ガス濃度制御系										
可燃性ガス濃度制御系再結合装置 ブロワ	有	JEAG4601 による確認	ファン	遠心直動型ファン	~2500m ³ /min (4.3m ³ /min)	水平	1.77	2.6	×	機能維持評価用加速度がA _T 超過のため、「詳細検討」を実施する。
						鉛直	1.30	1.0		
			電動機	横形ころがり軸受	~950kW (11kW)	水平	1.77	4.7	×	
						鉛直	1.30	1.0		

別表 1 検討対象設備における動的機能維持評価の整理結果 (5/6)

施設区分/設備名称	動的機能維持要求の有無	動的機能維持の確認方法	J E A G 4 6 0 1 機種/型式			機能確認済加速度 (A _T) 確認 (×9.8m/s ²)			機能維持評価用加速度がA _T 以下か ○: A _T 以下 ×: A _T 超過 -: 対象外	備考
			機種	型式	容量 ()内は当該設備の 容量	方向	機能維持評価用 加速度*1	機能確認済加速度 (A _T)		
その他発電用原子炉の附属施設										
非常用電源設備										
非常用発電装置										
非常用ディーゼル発電設備										
非常用ディーゼル機関	有	J E A G 4 6 0 1 による確認	非常用ディー ゼル機関 (中速形)	機関本体	~15500kW (6100kW)	水平	1.67	1.1	×	機能維持評価用加速度がA _T 超過のため、「詳細検討」を実施する。
						鉛直	1.17	1.0		
				ガバナ	U G 形	水平	1.67	1.8		
						鉛直	1.17	1.0		
非常用ディーゼル発電機	有	J E A G 4 6 0 1 による確認	電動機	横形すべり軸受	~1400kW (-)	水平	1.67	2.6	×	機能維持評価用加速度がA _T 超過のため、「詳細検討」を実施する。
						鉛直	1.17	1.0		
非常用ディーゼル発電設備 燃料 移送ポンプ	有	「新たな検討」に よる確認	横形ポンプ	スクリー式	(4m ³ /h)	水平	1.12	-	-	設備の型式がJ E A G 4 6 0 1の適用外であるため、「新たな検討」を実施する。
						鉛直	0.77	-		
		J E A G 4 6 0 1 による確認	電動機	横形ころがり軸受	~950kW (2.2kW)	水平	1.12	4.7	○	
						鉛直	0.77	1.0		
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備										
高圧炉心スプレイ系ディーゼル機 関	有	J E A G 4 6 0 1 による確認	非常用ディー ゼル機関 (高速形)	機関本体	~15500kW (3000kW)	水平	1.67	1.1	×	機能維持評価用加速度がA _T 超過のため、「詳細検討」を実施する。
						鉛直	1.17	1.0		
				ガバナ	U G 形	水平	1.67	1.8		
						鉛直	1.17	1.0		
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発 電機	有	J E A G 4 6 0 1 による確認	電動機	横形すべり軸受	~1400kW (-)	水平	1.67	2.6	×	機能維持評価用加速度がA _T 超過のため、「詳細検討」を実施する。
						鉛直	1.18	1.0		
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	有	「新たな検討」に よる確認	横形ポンプ	スクリー式	(4m ³ /h)	水平	1.12	-	-	設備の型式がJ E A G 4 6 0 1の適用外であるため、「新たな検討」を実施する。
						鉛直	0.77	-		
		J E A G 4 6 0 1 による確認	電動機	横形ころがり軸受	~950kW (2.2kW)	水平	1.12	4.7	○	
						鉛直	0.77	1.0		
ガスタービン発電機設備										
ガスタービン発電設備 機関・発 電機	有	加振試験による 確認	-	-	-	水平	1.19	1.88	-	車両設備であり解析による評価が困難なことから今回工認の評価のために新たに加振試験を実施した。
						鉛直	0.65	1.14		
ガスタービン発電設備 燃料移送 ポンプ	有	「新たな検討」に よる確認	横形ポンプ	スクリー式	(3m ³ /h)	水平	1.27	-	-	設備の型式がJ E A G 4 6 0 1の適用外であるため、「新たな検討」を実施する。
						鉛直	0.80	-		
		J E A G 4 6 0 1 による確認	電動機	横形ころがり軸受	~950kW (1.5kW)	水平	1.27	4.7	○	
						鉛直	0.80	1.0		

別表 1 検討対象設備における動的機能維持評価の整理結果 (6/6)

施設区分/設備名称	動的機能維持要求の有無	動的機能維持の確認方法	JEAG4601 機種/型式			機能確認済加速度 (A _T) 確認 ($\times 9.8m/s^2$)			機能維持評価用加速度がA _T 以下か ○: A _T 以下 ×: A _T 超過 -: 対象外	備考
			機種	型式	容量 ()内は当該設備の 容量	方向	機能維持評価用 加速度*1	機能確認済加速度 (A _T)		
弁										
特殊弁										
主蒸気隔離弁*2	有	JEAG4601 による確認	弁	主蒸気隔離弁	~850A	水平	13.86	10.0	×	機能維持評価用加速度がA _T を超過する弁について「詳細検討」を実施する。(A _T 以下の弁については、詳細評価不要とする。)
						鉛直	5.65	6.2		
主蒸気逃がし安全弁*2	有	JEAG4601 による確認	弁	主蒸気逃がし 安全弁	~200A	水平	14.30	9.6	×	対象弁全てにおいて機能維持評価用加速度がA _T を超過するため「詳細検討」を実施する。
						鉛直	5.26	6.1		
制御棒駆動系スクラム弁*2	有	JEAG4601 による確認	弁	CRDスクラム弁	~50A	水平	1.68	6.0	○	
						鉛直	1.17	6.0		
一般弁										
グローブ弁*2	有	JEAG4601 による確認	弁	グローブ弁	~500A	水平	10.68	6.0	×	機能維持評価用加速度がA _T を超過する弁について「詳細検討」を実施する。(A _T 以下の弁については、詳細評価不要とする。)
						鉛直	2.40	6.0		
ゲート弁*2	有	JEAG4601 による確認	弁	ゲート弁	~650A	水平	7.45	6.0	×	機能維持評価用加速度がA _T を超過する弁について「詳細検討」を実施する。(A _T 以下の弁については、詳細評価不要とする。)
						鉛直	3.38	6.0		
バタフライ弁*2	有	JEAG4601 による確認	弁	バタフライ弁	~1800A	水平	5.85	6.0	○	
						鉛直	2.10	6.0		
逆止弁*2	有	JEAG4601 による確認	弁	逆止弁	~850A	水平	10.80	6.0	×	機能維持評価用加速度がA _T を超過する弁について「詳細検討」を実施する。(A _T 以下の弁については、詳細評価不要とする。)
						鉛直	4.17	6.0		

注記*1: 機能維持評価用加速度は各設備の耐震性についての計算書より引用している。

*2: 同型式の弁のうち、水平方向の機能維持評価用加速度が最大となった弁の評価結果を記載している。

「新たな検討」が必要な設備の評価

目 次

1. はじめに	別紙 1-1
2. 評価項目の抽出方針	別紙 1-1
3. 動的機能維持評価の評価項目の抽出	別紙 1-6
3.1 スクリュー式ポンプの地震時異常要因分析による基本評価項目の抽出	別紙 1-8
3.2 耐特委で検討された遠心式ポンプの地震時異常要因分析による基本評価項目 .	別紙 1-11
3.3 電共研で検討されたギヤ式ポンプの地震時異常要因分析による基本評価項目 .	別紙 1-13
3.4 スクリュー式ポンプの基本評価項目の検討	別紙 1-15
4. まとめ	別紙 1-19

別紙 1-1 逃がし弁を動的機能維持評価対象外とする考え方について

1. はじめに

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ及びガスタービン発電設備燃料移送ポンプ（以下、3設備をまとめて「燃料移送ポンプ」という。）の動的機能維持評価については、J E A G 4 6 0 1に定められた機能確認済加速度との比較による評価方法が適用できる機種範囲から外れることから、新たに評価項目の検討が必要となる。本資料では、燃料移送ポンプの動的機能維持の評価内容詳細を示す。

2. 評価項目の抽出方針

燃料移送ポンプはスクリー式ポンプであり、J E A G 4 6 0 1に定められた適用範囲から外れ機能確認済加速度との比較による評価方法が適用できないことから、「新たな検討」（新たに評価項目の検討）が必要となる設備である。

J E A G 4 6 0 1に定められた機能確認済加速度との比較による評価方法が適用できる機種範囲から外れた設備における動的機能維持の検討方針は、技術基準規則解釈等の改正を踏まえて、公知化された検討として原子力発電耐震設計特別調査委員会（以下「耐特委」という。）での地震時機能維持評価についての検討^{*1}により取り纏められた類似機器における検討及び電力共通研究^{*2}（以下「電共研」という。）にて取り纏められた類似機器の検討をもとに実施する。

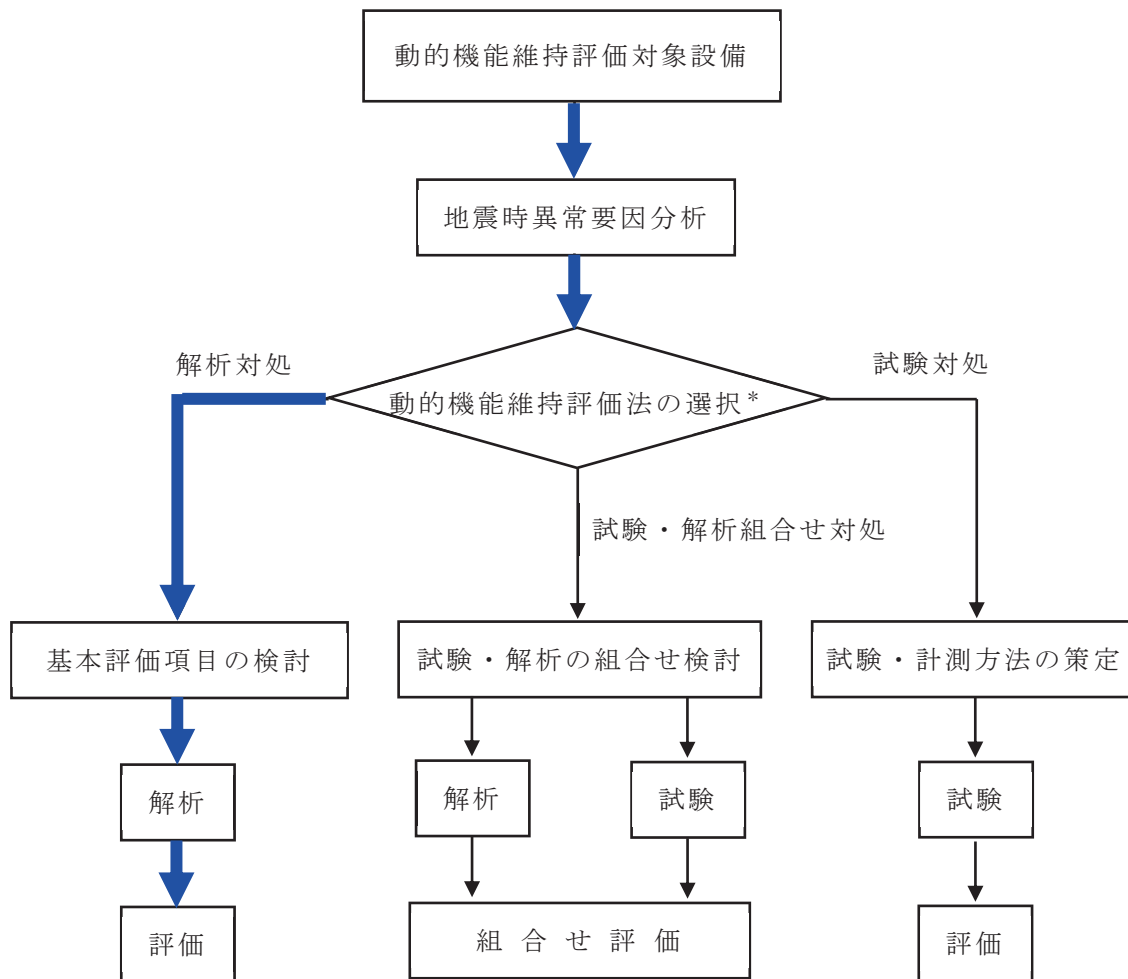
具体的には、耐特委では動的機能の評価においては、対象機種ごとに現実的な地震応答レベルでの異常のみならず、破壊に至るような過剰な状態を念頭に地震時に考え得る異常状態を抽出し、その分析により動的機能上の評価点を検討し、動的機能維持を評価する際に確認すべき事項として、評価項目を選定している。また、電共研の検討では、耐特委及び原子力発電技術機構（以下「NUPEC」という。）での検討を踏まえて、動的機能維持の評価項目を選定している。

今回 J E A G 4 6 0 1 に定められた適用機種範囲から外れた設備については、基本的な構造が類似している機種／型式に対する耐特委及び電共研での検討を参考に、型式による構造の違いを踏まえた上で地震時異常要因分析を実施し、基本評価項目を選定し動的機能維持評価を実施する。動的機能維持評価のフローを別紙 1-1 図に示す。

なお、J E A G 4 6 0 1 においても、機能維持評価の基本方針として、地震時の異常要因分析を考慮し、動的機能の維持に必要な評価のポイントを明確にすることとなっている。

注記*1: 耐特委報告書「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: 電力共通研究「動的機器の地震時機能維持の耐震余裕に関する研究（平成 25 年 3 月）」



注記* : 対象物の複雑さ等で選択

— 本評価でのフロー

別紙 1-1 図 動的機能維持評価のフロー

地震時異常要因分析を検討するに当たり、別紙 1-1 表に「新たな検討」が必要な設備及び参考とする機種／型式を示すとともに、別紙 1-2 図に今回工認において、「新たな検討」が必要な設備として抽出されたスクリー式ポンプを、別紙 1-3 図に参考とする耐特委で検討された遠心式ポンプ及び電共研で検討されたギヤ式ポンプの構造概要図を示す。また、主要仕様を別紙 1-2 表に示す。

スクリー式ポンプは、容積式の横形ポンプであり、一定容積の液をスクリーにて押し出す構造のポンプである。参考とするギヤ式ポンプは、スクリー式ポンプと同様の容積式であり、ギヤで一定容積を押し出す構造である。

一方、遠心式ポンプはインペラの高速回転により液を吸込み・吐出するポンプであり、スクリー式と内部流体の吐出構造が異なるが、ケーシング内にて軸系が回転し内部流体を吐出する機構を有している。

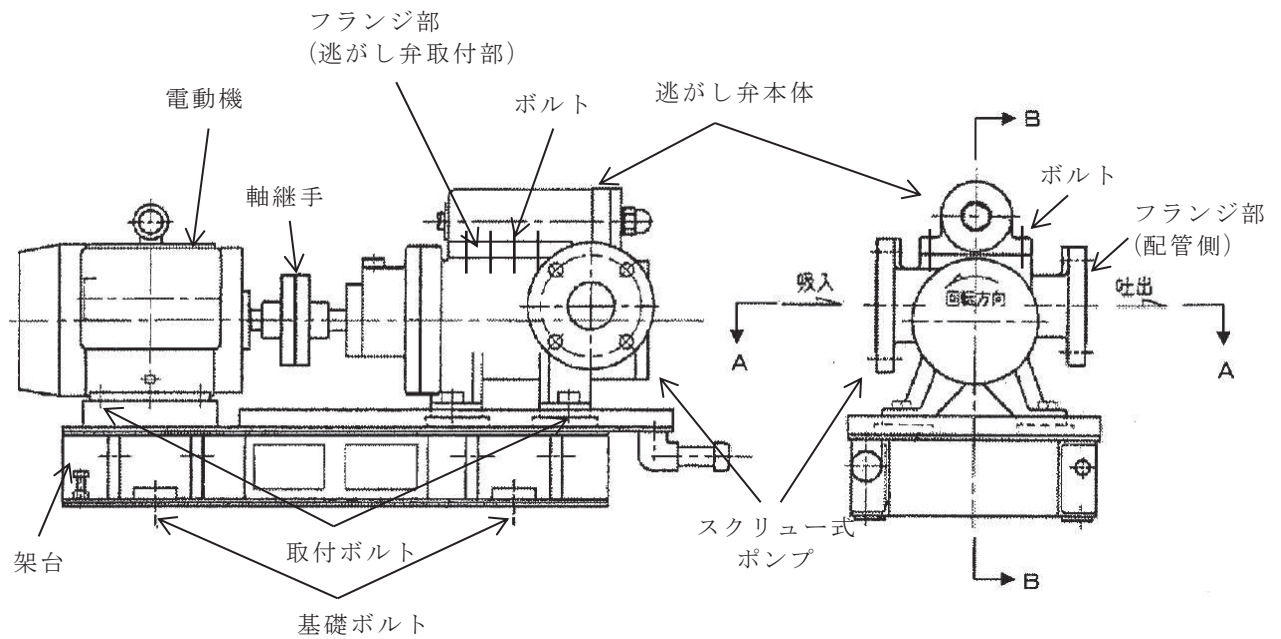
また、スクリー式ポンプの固定方法については、基礎ボルトで固定した共通の架台の上に、駆動機器である横形ころがり軸受の電動機とスクリー式ポンプが取付ボルトにより設置され、地震荷重は主ねじ（主軸）、軸受（電動機側、負荷側）を通してケーシングに伝達される。参考とするギヤ式及び遠心式ポンプについても、基礎ボルトで固定した共通の架台の上に取付ボルトで設置し主軸及び軸受を介して荷重伝達する構造であることから、ポンプの基本構造は同じと言える。さらに、電動機からの動力は軸継手を介してポンプ側に伝達する方式であることから、作動原理についても同じと言える。

そのため、スクリー式ポンプについては、遠心式ポンプ及びギヤ式ポンプを参考として、地震時異常要因分析を実施する。

なお、燃料移送ポンプは新規制基準により新たに動的機能要求が必要となり、評価する設備となる。

別紙 1-1 表 「新たな検討」が必要な設備において参考とする機種／型式

「新たな検討」が必要な設備		参考とする 機種／型式
設備名	機種／型式	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 非常用ディーゼル発電設備 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 燃料移送ポンプ ・ ガスタービン発電設備 燃料移送ポンプ 	横形ポンプ／ スクリー式	横形ポンプ／ 単段遠心式
		横形ポンプ／ ギヤ式

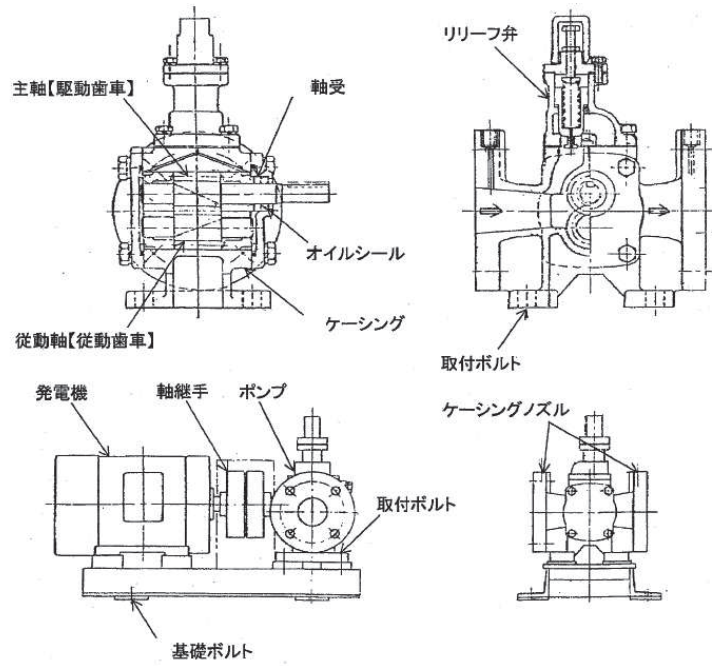


■ : 接液部

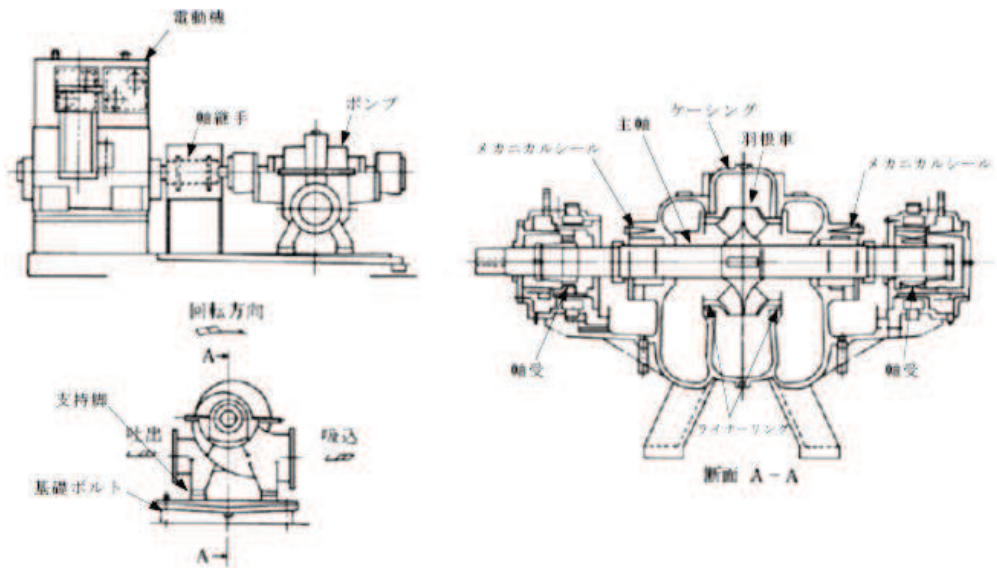
注記：スリーブ内に納められた主ねじ（主軸）と従ねじはかみ合って回転しており、ねじの1リードごとに作られる密閉される空間に入った流体は、ねじ面に沿って吐出側へ移動する。

別紙 1-2 図 燃料移送ポンプ構造概要図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



(a) ギヤ式ポンプ



(b) 遠心式ポンプ

別紙 1-3 図 ギヤ式ポンプ及び遠心式ポンプの構造概要図

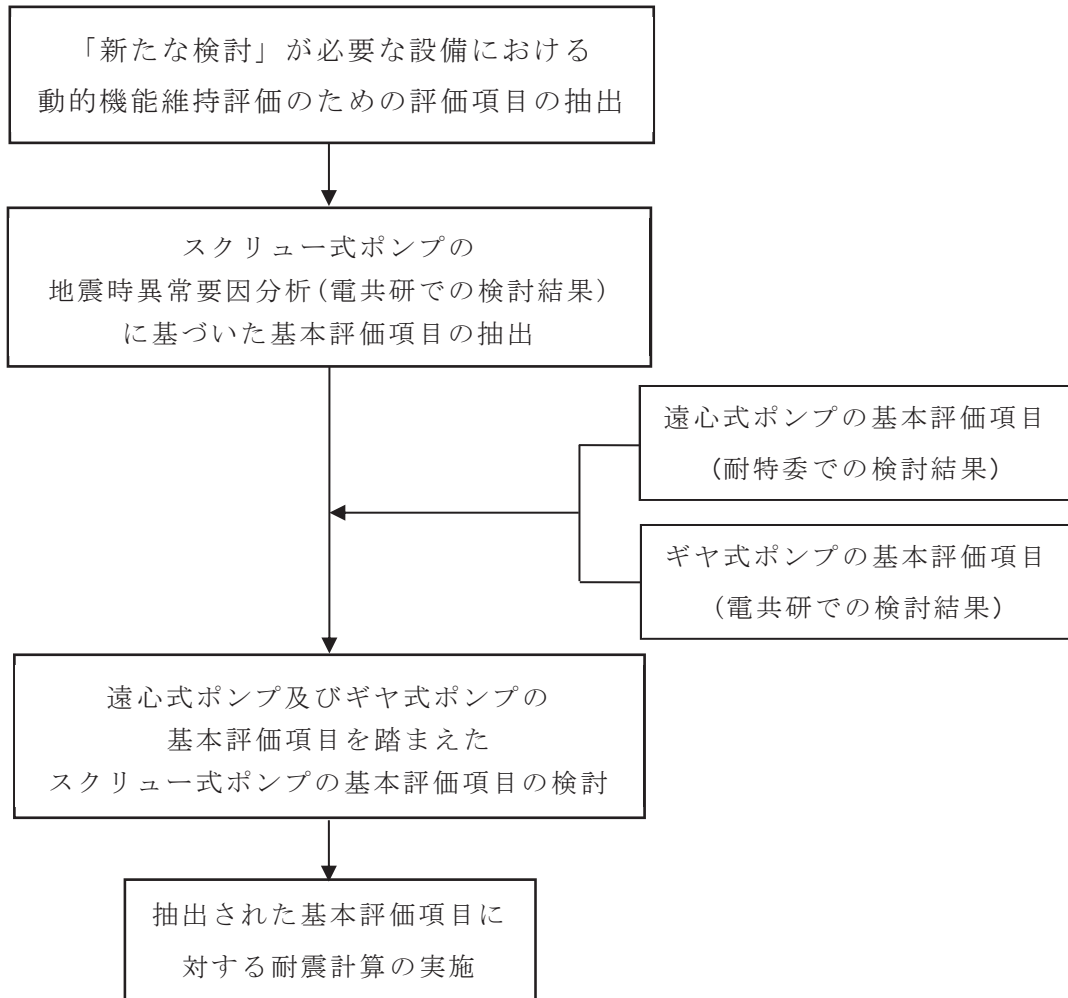
別紙 1-2 表 スクリュー式ポンプの主要仕様

		非常用ディーゼル 発電設備 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 燃料移送ポンプ	ガスタービン 発電設備 燃料移送ポンプ
容量	m ³ /h/個	4.0	4.0	3.0
吐出圧力	MPa	0.49	0.49	0.5
揚程	m	60	60	61
最高使用 圧力	MPa	0.98	0.98	0.95
最高使用 温度	℃	66	66	50
原動機 出力	kW/個	2.2	2.2	1.5

3. 動的機能維持評価の評価項目の抽出

「新たな検討」が必要な設備であるスクリー式ポンプの動的機能維持評価の評価項目については、電共研で検討されたスクリー式ポンプに対する地震時異常要因分析を踏まえて基本評価項目を検討する。また、当該検討においては、基本的な構造及びその動作原理が類似である横形ポンプの地震時異常要因分析を参考にするため、耐特委で検討された遠心式ポンプ及び電共研で検討されたギヤ式ポンプに対する地震時異常要因分析による評価項目も踏まえて検討を行う。

スクリー式ポンプにおける動的機能維持評価のための基本評価項目の抽出フローを別紙 1-4 図に示す。

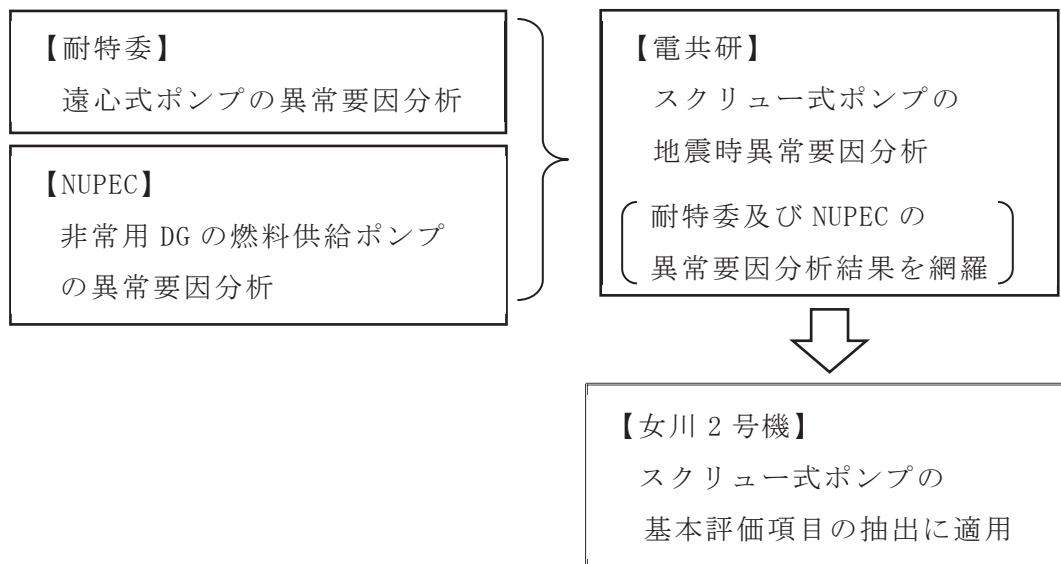


別紙 1-4 図 動的機能維持評価のための基本評価項目の抽出フロー

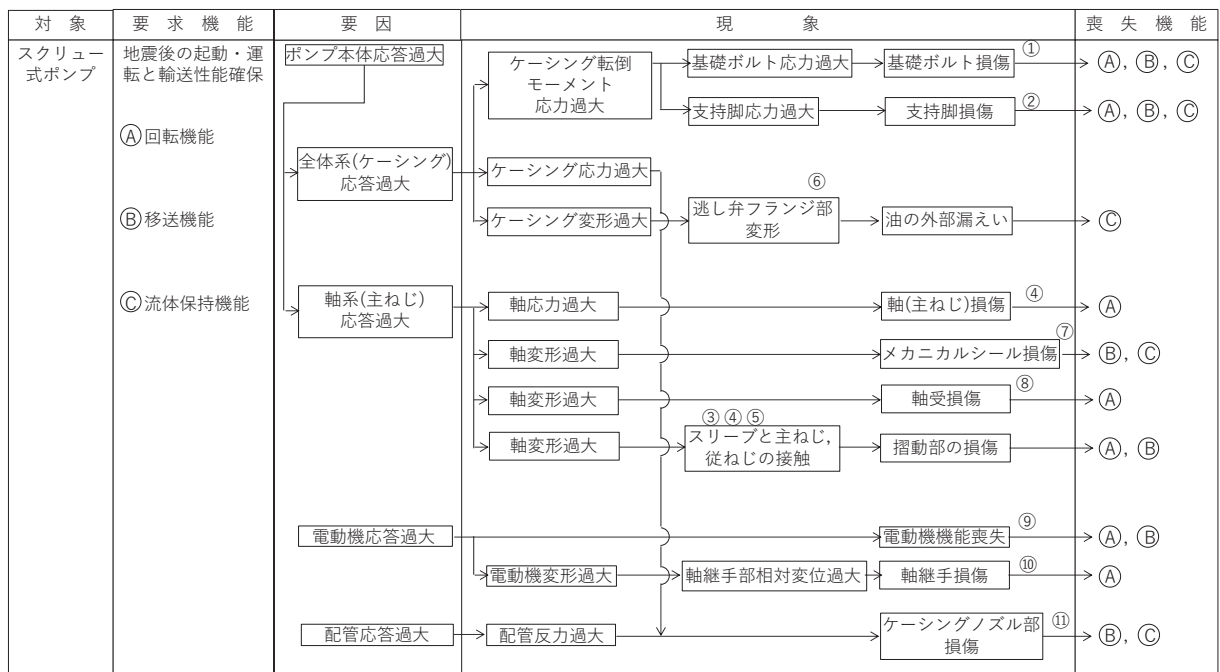
3.1 スクリュー式ポンプの地震時異常要因分析による基本評価項目の抽出

スクリュー式ポンプの地震時異常要因分析図及び基本評価項目は、電共研での検討内容を用いる。電共研では別紙 1-5 図に示すとおり、耐特委における遠心式ポンプ及び NUPEC における非常用 DG の燃料供給ポンプに対する異常要因分析結果（非常用ディーゼル発電機システム耐震実証試験（1992 年 3 月））を網羅するように、スクリュー式ポンプに対する地震時異常要因分析を行い、基本評価項目を抽出している。

電共研で検討されたスクリュー式ポンプの地震時異常要因分析図を別紙 1-6 図に示す。同様に、電共研で抽出されたスクリュー式ポンプの基本評価項目及び各基本評価項目について動作機能の喪失に至る異常要因を検討した結果を別紙 1-3 表に示す。



別紙 1-5 図 地震時異常要因分析の適用（スクリュー式ポンプ）



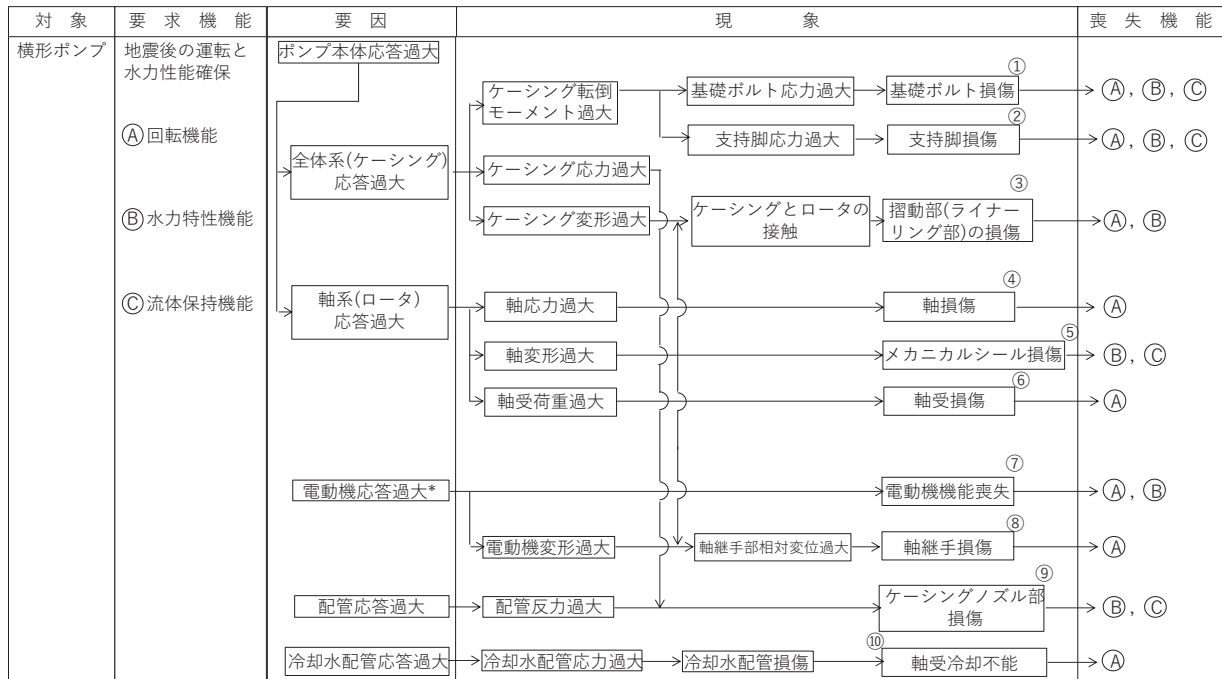
別紙 1-6 図 スクリュー式ポンプの地震時異常要因分析図

別紙 1-3 表 スクリュー式ポンプの地震時異常要因分析図から抽出した基本評価項目

No	基本評価項目	異常要因の検討結果
①	基礎ボルト (取付ボルト含む)	ポンプ全体系の応答が過大となることで、転倒モーメントにより基礎ボルト(取付ボルトを含む)の応力が過大となり損傷に至り、全体系が転倒することで機能喪失する。
②	支持脚	ポンプ全体系の応答が過大となることで、転倒モーメントにより支持脚の応力が過大となり損傷に至り、全体系が転倒することで機能喪失する。
③ ④ ⑤	摺動部 (③スリーブ, ④主ねじ, ⑤従ねじのクリアランス)	ポンプ全体系の応答が過大となることで、軸変形が過大となることによりスリーブと主ねじ又は従ねじが接触し、摺動部が損傷に至り回転機能及び移送機能が喪失する。
④	軸系	軸応力が過大となり軸が損傷することにより、回転機能及び移送機能が喪失する。
⑥	逃がし弁フランジ部 (漏えい防止)	ケーシングの応答が過大となり逃がし弁フランジ部が変形し、油の外部漏えいに至る。—
⑦	メカニカルシール	軸系ねじの応答過大により軸変形に至り、メカニカルシールが損傷することにより、移送機能及び流体保持機能が喪失する。
⑧	軸受	軸変形が過大となり軸受が損傷することで、回転機能及び移送機能が喪失する。
⑨	電動機	電動機の応答が過大になり電動機の機能が喪失することで、回転機能及び移送機能が喪失する。
⑩	軸継手	電動機の変形過大により軸受部の相対変位が過大となり、軸継手が損傷することで回転機能が喪失する。
⑪	ケーシングノズル	接続配管の応答が過大となり、ケーシングノズルが損傷することで移送機能及び流体保持機能が喪失する。

3.2 耐特委で検討された遠心式ポンプの地震時異常要因分析による基本評価項目

「新たな検討」が必要な設備として抽出されたスクリー式ポンプの基本評価項目の検討において、公知化された検討として、参考とする耐特委での遠心式ポンプの地震時異常要因分析図を別紙 1-7 図に、地震時異常要因分析図から抽出される遠心式ポンプの基本評価項目を別紙 1-4 表に示す。



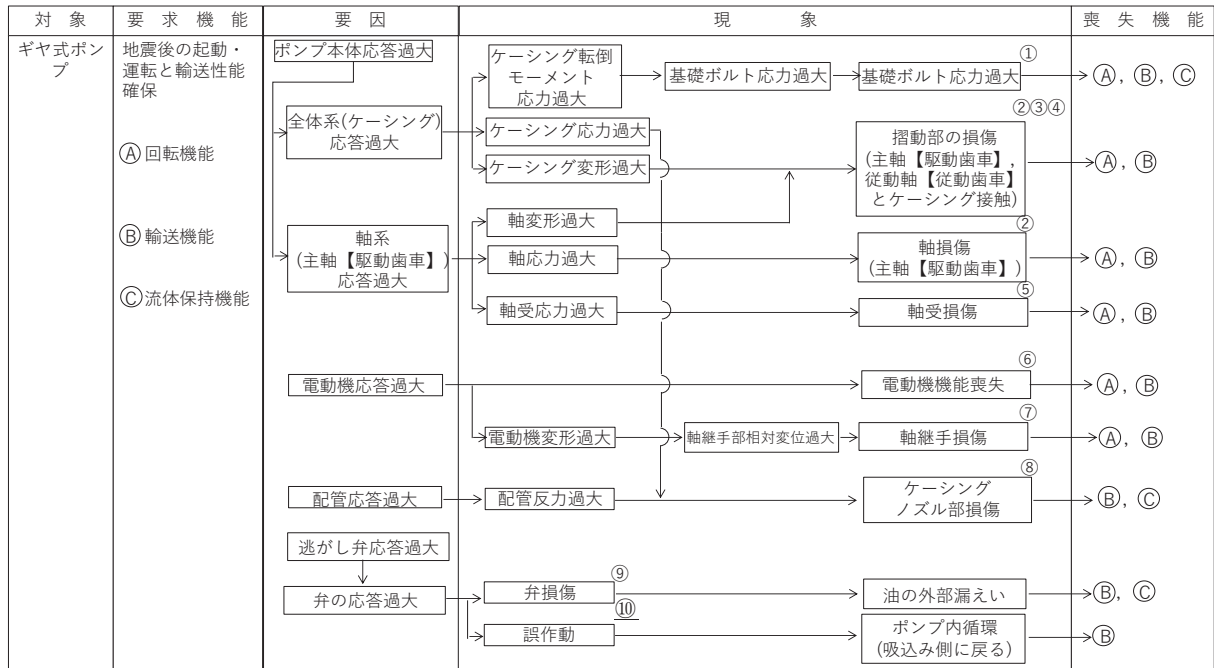
別紙 1-7 図 遠心式ポンプの地震時異常要因分析図

別紙 1-4 表 遠心式ポンプの地震時異常要因分析図から抽出された基本評価項目

No	基本評価項目	異常要因の検討結果
①	基礎ボルト (取付ボルト含む)	ポンプ全体系の応答が過大となることで、転倒モーメントにより基礎ボルト(取付ボルト含む)の応力が過大となり損傷に至り、全体系が転倒することにより機能喪失する。また、ポンプ全体系の応答が過大となることで、支持脚の応力が過大となり損傷に至り、ポンプが転倒することにより機能喪失する。
②	支持脚	
③	摺動部 (インペラとライナーリングのクリアランス)	軸変形が過大となり、インペラがライナーリングと接触することで損傷に至り、回転機能及び移送機能が喪失する。
④	軸	軸応力が過大となり、軸が損傷することにより回転機能及び移送機能が喪失する。
⑤	メカニカルシール	軸変形が過大となり、メカニカルシールが損傷することにより流体保持機能が喪失する。
⑥	軸受	軸受荷重が過大となり、軸受が損傷することで回転機能及び移送機能が喪失する。
⑦	電動機	電動機の応答が過大になり電動機の機能が喪失することで、回転機能及び移送機能が喪失する。
⑧	軸継手	被駆動器軸と電動機軸の相対変位が過大となり、軸継手が損傷することで回転機能及び移送機能が喪失する。
⑨	ケーシングノズル	接続配管の応答が過大となり、ケーシングノズルが損傷することで移送機能及び流体保持機能が喪失する。
⑩	軸冷却水配管	冷却水配管の応答が過大となり、損傷することで軸冷却不能に至り、回転機能が喪失する。

3.3 電共研で検討されたギヤ式ポンプの地震時異常要因分析による基本評価項目

「新たな検討」が必要な設備として抽出されたスクリー式ポンプの基本評価項目の検討において、公知化された検討として、参考とする電共研でのギヤ式ポンプの地震時異常要因分析図を別紙 1-8 図に、地震時異常要因分析図から抽出されるギヤ式ポンプの基本評価項目を別紙 1-5 表に示す。



(電共研の検討結果に下線部を一部加筆)

別紙 1-8 図 ギヤ式ポンプの地震時異常要因分析図

別紙 1-5 表 ギヤ式ポンプ地震時異常要因分析図から抽出された基本評価項目

No	基本評価項目	異常要因の検討結果
①	基礎ボルト (取付ボルト含む)	ポンプ全体系の応答が過大となることで、転倒モーメントにより基礎ボルト(取付ボルトを含む)の応力が過大となり損傷に至り、全体系が転倒することにより機能喪失する。
② ③ ④	摺動部 (②主軸又は③従動軸と ④ケーシングのクリアランス)	ポンプ全体系の応答が過大となることで、主軸(主動歯車)及び従動軸(従動歯車)の応答が過大となり軸部の変形により、ギヤがケーシングと接触することで損傷に至り、回転機能及び移送機能が喪失する。
②	軸系	軸応力が過大となり、軸が損傷することにより回転機能及び移送機能が喪失する。
⑤	軸受	軸受荷重が過大となり、軸受が損傷することで回転機能及び移送機能が喪失する。
⑥	電動機	電動機の応答が過大になり電動機の機能が喪失することで、回転機能及び移送機能が喪失する。
⑦	軸継手	被駆動機軸と電動機軸の相対変位が過大となり、軸継手が損傷することで回転機能及び移送機能が喪失する。
⑧	ケーシングノズル	接続配管の応答が過大となり、ケーシングノズルが損傷することで移送機能及び流体保持機能が喪失する。
⑨	逃がし弁フランジ部 (漏えい防止)	弁の応答が過大となり、弁が損傷することで外部漏えいが発生し、移送機能及び流体保持機能が喪失する。
⑩	逃がし弁本体 (移送機能)	弁の応答が過大となり、弁が誤作動することでポンプ内循環が発生し、移送機能が喪失する。(電共研では、地震慣性力による弁への影響は軽微であり、誤作動は殆ど起こらないとして、検討対象外としている。)

3.4 スクリュー式ポンプの基本評価項目の検討

(1) 既往知見で検討された遠心式ポンプ，ギヤ式ポンプ及びスクリュー式ポンプの基本評価項目の整理

スクリュー式ポンプの要因分析結果について，参考とする遠心式ポンプ及びギヤ式ポンプの要因分析結果と同様に整理した結果，スクリュー式ポンプの基本評価項目は別紙 1-6 表に示すとおり一部構造の差異による違いはあるものの，参考とする遠心式ポンプ及びギヤ式ポンプとほぼ同様となった。

別紙 1-6 表 スクリュー式ポンプにおける基本評価項目の整理結果

○：既往知見における評価項目，－：対象外

No	基本評価項目	検討対象 (参照知見)		参考とする機種 (参照知見)		備考
		スクリュー式 ポンプ (電共研)	ギヤ式 ポンプ (電共研)	遠心式 ポンプ (耐特委)		
I	基礎ボルト (取付ボルト含む)	○	○	○		
II	支持脚	○		○		ギヤ式ポンプには 構造上，存在しない
III	摺動部	○	○	○		
IV	軸系	○	○	○		
V	逃がし弁フランジ部 (漏えい防止)	○	○			遠心式ポンプには 構造上，存在しない
VI	逃がし弁本体 (移送機能)	－	－*			遠心式ポンプには 構造上，存在しない
VII	メカニカルシール	○		○		ギヤ式ポンプは ブッシングを使用
VIII	軸受	○	○	○		
IX	電動機	○	○	○		
X	軸継手	○	○	○		
XI	ケーシングノズル	○	○	○		
XII	冷却水配管			○		試験体が大型ポンプ のため設置

注記*：電共研では地震時異常要因分析で抽出したものの，地震慣性力による弁への影響は軽微であり，誤作動は殆ど起こらないとして検討対象外としている。

(2) 女川原子力発電所第2号機のスクリー式ポンプにおける動的機能維持評価の基本評価項目の検討

女川原子力発電所第2号機のスクリー式ポンプにおける動的機能維持評価の基本評価項目の選定に当たっては、別紙1-6表のとおり、既往知見により抽出されたスクリー式ポンプの基本評価項目に、参考とする遠心式ポンプ及びギヤ式ポンプの基本評価項目を踏まえた全12項目について検討を行う。

No. I：基礎ボルト（取付ボルトを含む）

スクリー式ポンプは参考とする遠心式ポンプ及びギヤ式ポンプと同様に、基礎ボルトで固定された架台の上に、駆動機器及び被駆動機器が取付ボルトで設置されており、地震時に有意な荷重がかかる構造となっていることから、基礎ボルトを動的機能維持評価の基本評価項目として選定する。

No. II：支持脚

支持脚については、スクリー式ポンプと遠心式ポンプとで構造に大きな違いはなく、高い剛性を有するためにケーシング定着部に荷重がかかる構造となっている。

そのため、取付ボルト及び基礎ボルトが評価上厳しい部位となることから、取付ボルト及び基礎ボルトを支持脚の評価として代替する。

No. III：摺動部

摺動部の損傷の観点から、遠心式ポンプの検討において、ケーシングがローターと接触して損傷するライナーリング部（摺動部）の評価を行うのと同様に、スクリー式ポンプにおいても摺動部の検討を行い、動的機能維持評価の基本評価項目として以下のとおり選定する。

スクリー式ポンプの摺動部であるスクリー部は構造が非常に剛であり、地震応答増幅が小さく、動的機能評価上重要な部分の地震荷重は通常運転荷重に比べて十分小さいと考えられる。また、スリーブ部については、剛性の高いケーシング部に設置されており、有意な変形が生じることはない。

スクリー部を構成する主ねじ又は従ねじについては、損傷によってスリーブと接触することで、回転機能及び移送機能が喪失に至ることが考えられるため、摺動部を動的機能維持評価の基本評価項目として選定する。

No. IV：軸系

スクリー式ポンプは主ねじ及び従ねじを有する構造であり、遠心式ポンプは一軸構造、ギヤ式ポンプは主軸及び従動軸からなる二軸構造となっている。各ポ

ンプによって軸構造は異なるが、軸系の損傷によってポンプとしての機能を喪失することは同様である。

そのため、軸損傷が発生しないことを確認するために、軸系を動的機能維持評価の基本評価項目として選定する。

No. V, VI：逃がし弁フランジ部（漏えい防止）、逃がし弁本体（移送機能）

逃がし弁フランジ部は取付ボルトによりポンプと結合されており、剛構造であることから地震時においてもフランジ部に変形は生じないため漏洩は生じない。また、逃がし弁本体については過度な地震慣性力によって弁が開くような誤作動及び弁が開かない誤動作が起こった場合でも、地震慣性力は交番荷重であるため、ばね力によってすぐに元の閉状態に戻ることから移送機能に影響を与えない。

以上の考え方から、この2項目については動的機能維持評価において評価対象外とする。なお、評価対象外とする考え方の詳細は別紙 1-1 に示す。

No. VII：メカニカルシール

ポンプにおいてメカニカルシールの役割は流体の保持であり、その役割はスクリー式ポンプも遠心式ポンプも同じである。当該メカニカルシールが損傷することにより、ポンプの流体保持機能喪失につながるため、動的機能維持の評価項目として選定する。

No. VIII：軸受

ポンプにおける軸受の役割は回転機能の保持であり、その役割はスクリー式ポンプも参考とする遠心式及びギヤ式ポンプも同じである。軸受が損傷すると、ポンプの機能喪失につながることから、軸受は動的機能維持評価の基本評価項目として選定する。また、評価においては発生する荷重として、スラスト方向及びラジアル方向の荷重を考慮して評価を行う。

No. IX：電動機

スクリー式ポンプの電動機は、横向きに設置されるころがり軸受を使用する電動機であり、その構造は耐特委（J E A G 4 6 0 1）で検討されている横型ころがり軸受電動機の適用範囲内である。

そのため、電動機を動的機能維持評価の基本評価項目として選定し、機能確認済加速度との比較により評価を行う。

No. X：軸継手

スクリー式ポンプは遠心式及びギヤ式ポンプと同様に、軸受でスラスト荷重

を受け持つこと及びフレキシブルカップリングを採用しており、軸継手にはスラスト荷重による有意な応力が発生しない構造となっている。

よって、軸継手は動的機能維持評価の対象外とする。

No. XI：ケーシングノズル

スクリー式ポンプのケーシングノズル部は、遠心式及びギヤ式ポンプと同様に、ポンプケーシングと配管の接続部であるが、ノズル出入口配管のサポートについて適切に配管設計することで、ノズル部に過大な配管荷重が伝わらないようにすることが可能である。

よって、ケーシングノズルは動的機能維持評価の対象外とする。

No. XII：軸冷却水配管

耐特委で検討された遠心式ポンプは大型のポンプであり、軸受としてすべり軸受を採用していることから、軸受の冷却が必要となる。このため、地震により軸冷却水配管の損傷に至ればポンプの機能維持に影響を及ぼすため、基本評価項目としている。

一方、スクリー式ポンプの軸受は内部流体で冷却が可能であるため、軸冷却水配管は有していないことから、軸冷却水配管は動的機能維持評価の対象外とする。

4. まとめ

女川原子力発電所第2号機における規格適用外の動的機能維持が必要な設備のうち、「新たな検討」が必要な設備であるスクリー式ポンプについて、基本的な構造が類似している耐特委での遠心式ポンプ及び電共研でのギヤ式ポンプにおける検討結果を参考に、型式による構造の違いを踏まえた上で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の抽出を行った。

その結果、スクリー式ポンプの基本評価項目は、参考とした遠心式ポンプ及びギヤ式ポンプとの構造の違いにより一部の評価項目は異なるが、ほぼ同様となった。また、参考とするポンプとの構造及び評価項目の差異を踏まえ、基本評価項目について、女川原子力発電所第2号機のスクリー式ポンプにおける動的機能維持評価の基本評価項目について検討した結果、評価項目が異なる部位に対する評価方法は同様であり、既往の評価手法を踏まえた詳細評価が可能であると考えられる。

以上の検討結果から、女川原子力発電所第2号機のスクリー式ポンプにおける動的機能維持評価の基本評価項目については、別紙1-7表のとおり整理し、抽出された基本評価項目に対して、耐震計算を実施する。また、抽出された基本評価項目における許容値の設定を別紙1-8表に、具体的な評価結果について別紙1-9, 10, 11表に示す。

なお、燃料移送ポンプの評価の詳細は、個別の耐震計算書「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」、「VI-2-10-1-2-2-4 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 燃料移送ポンプの耐震性についての計算書」及び「VI-2-10-1-2-3-2 ガスタービン発電設備 燃料移送ポンプの耐震性についての計算書」にて示す。

別紙 1-7 表 女川原子力発電所第 2 号機のスクリー式ポンプにおける
動的機能維持評価の基本評価項目の検討結果

○：評価対象，－：対象外

No	既往知見における 基本評価項目	スクリー式ポンプ における動的機能維持 評価の基本評価項目	主な理由
I	基礎ボルト (取付ボルト含む)	○	損傷によりポンプ機能喪失
II	支持脚	－	基礎ボルトにて代替評価
III	摺動部	○	損傷によりポンプ機能喪失
IV	軸系	○	損傷によりポンプ機能喪失
V	逃がし弁フランジ部 (漏えい防止)	－	地震により損傷しないため 対象外 (別紙 1-1 参照)
VI	逃がし弁本体 (移送機能)	－	地震により誤動作してもすぐ に復旧可能なため対象外 (別 紙 1-1 参照)
VII	メカニカルシール	○	損傷によりポンプ機能喪失
VIII	軸受	○	損傷によりポンプ機能喪失
IX	電動機	○	損傷によりポンプ機能喪失
X	軸継手	－	地震により損傷しないため 対象外
XI	ケーシングノズル	－	配管設計により対応可能なた め対象外
XII	軸冷却水配管		構造上，存在しないため 評価不要

別紙 1-8 表 許容値の設定

評価項目	許容値の設定
I 基礎ボルト (取付ボルト含む)	支持機能の確保の観点から、回転機能又は機器全体の振動特性に影響を与えるような有意な変形を伴わない（局所的に塑性化しても、全体としては弾性挙動となるような）IV _A Sを許容値とした。
III 摺動部	主ねじとスリーブの接触による回転機能、移送機能が阻害されるという観点から、主ねじとスリーブの隙間を許容値とした。
IV 軸系	回転機能の確保の観点から、軸（主ねじ）の変形を弾性範囲内に留めるようIII _A Sを許容値とした。
VII メカニカルシール	液体保持機能の確保の観点から、シール回転環の変位可能寸法を許容値とした。
VIII 軸受	回転機能の確保の観点から、メーカーが推奨する許容面圧を許容値とした。
IX 原動機	回転機能、移送機能の確保の観点から、J E A G 4 6 0 1に記載の電動機（横形ころがり軸受）の機能確認済加速度である水平 4.7 [G]，鉛直 1.0 [G] を許容値とした。

別紙 1-9 表 非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ評価結果 (1/3)

評価部位	項目	応力分類	算出式*3	発生値	許容値	評価
I-1 基礎ボルト	応力	引張 (MPa)	$\sigma_{b1} = \frac{F_{b1}}{A_{b1}}$ F _{b1} : 基礎ボルトに作用する引張力 (1本 当たり) [N] A _{b1} : 基礎ボルトの断面積 [mm ²]			○
		せん断 (MPa)	$\tau_{b1} = \frac{Q_{b1}}{n_1 \cdot A_{b1}}$ Q _{b1} : 基礎ボルトに作用するせん断力 [N] n ₁ : 基礎ボルトの本数 [-] A _{b1} : 基礎ボルトの断面積 [mm ²]			○
I-2 ポンプ 取付ボルト	応力	引張 (MPa)	$\sigma_{b2} = \frac{F_{b2}}{A_{b2}}$ F _{b2} : 基礎ボルトに作用する引張力 (1本 当たり) [N] A _{b2} : 基礎ボルトの断面積 [mm ²]			○
		せん断 (MPa)	$\tau_{b2} = \frac{Q_{b2}}{n_2 \cdot A_{b2}}$ Q _{b2} : 基礎ボルトに作用するせん断力 [N] n ₂ : 基礎ボルトの本数 [-] A _{b2} : 基礎ボルトの断面積 [mm ²]			○
I-3 原動機 取付ボルト	応力	引張 (MPa)	$\sigma_{b3} = \frac{F_{b3}}{A_{b3}}$ F _{b3} : 基礎ボルトに作用する引張力 (1本 当たり) [N] A _{b3} : 基礎ボルトの断面積 [mm ²]			○
		せん断 (MPa)	$\tau_{b3} = \frac{Q_{b3}}{n_3 \cdot A_{b3}}$ Q _{b3} : 基礎ボルトに作用するせん断力 [N] n ₃ : 基礎ボルトの本数 [-] A _{b3} : 基礎ボルトの断面積 [mm ²]			○

注：I-1～3は、構造強度評価の対象部位でもあることから、構造強度評価結果を動的機能維持の評価にも適用するため基準地震動 S_s により定まる設計用最大応答加速度 (1.2ZPA) [水平：1.34 (×9.8m/s²), 鉛直 0.92 (×9.8m/s²)] で評価。III～IXは、動的機能維持評価のみの対象であることから基準地震動 S_s により定まる設計用最大応答加速度 (1.0ZPA) [水平：1.12 (×9.8m/s²), 鉛直 0.77 (×9.8m/s²)] で評価。設計用最大応答加速度は「VI-2-1-7 設計用応答曲線の作成方針」に基づき定めたもの。

注記*1：軸受が受ける荷重のうちラジアル荷重は原動機側及び負荷側の各軸質量，スラスト荷重は軸系総質量を用いて算出。

*2：ポンプの回転により作用するトルクと地震により発生するモーメントを組み合わせた，相当ねじりモーメントによる最大せん断応力として評価。

*3：算出式・発生値・許容値については，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」に記載。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別紙 1-9 表 非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ評価結果 (2/3)

評価部位	項目	応力分類	算出式*3	発生値*3	許容値*3	評価
Ⅲ 主ねじ	変位	— (mm)	$\delta_1 = \frac{5 \cdot w \cdot \ell_1^4}{384 \cdot E \cdot I_1} - \frac{(M_A + M_B) \cdot \ell_1^2}{16 \cdot E \cdot I_1}$ w : 地震力を考慮した軸等分布荷重 [N] ℓ ₁ : 支点間距離 [mm] E : 縦弾性係数 [MPa] I ₁ : 軸最小径での断面二次モーメント [mm ⁴] M _A : 支点 A の曲げモーメント [N・mm] M _B : 支点 B の曲げモーメント [N・mm]			○
Ⅳ 軸系	応力	せん断 (MPa) *2	$\tau_{max} = \left(\frac{16}{\pi \cdot d^3} \right) \cdot \sqrt{M^2 + T^2}$ d : 曲げモーメントが最大となる箇所の軸径 [mm] M : 最大曲げモーメント (M _A , M _B の大なる方) [N・mm] T : 軸に作用するねじりモーメント [N・mm]			○
Ⅶ メカニカルシール	変位	— (mm)	$\delta_2 = \frac{W_1 \cdot \ell_2^3}{6 \cdot E \cdot I_2} \cdot \left[\frac{x^3}{\ell_2^3} - \frac{3 \cdot (\ell_1 + \ell_2)}{\ell_2^2} \cdot x + \frac{3 \cdot \ell_1}{\ell_2} + 2 \right]$ W ₁ : 地震力を考慮した軸端部荷重 [N] ℓ ₁ : 支点間距離 [mm] ℓ ₂ : 軸端から支点 A までの距離 (= a) [mm] E : 縦弾性係数 [MPa] I ₂ : シール面軸径での断面二次モーメント [mm ⁴] x : 軸端からメカニカルシールシール面までの距離 [mm]			○

注：Ⅰ-1～3 は、構造強度評価の対象部位でもあることから、構造強度評価結果を動的機能維持の評価にも適用するため基準地震動 S_s により定まる設計用最大応答加速度 (1.2ZPA) [水平：1.34 (×9.8m/s²), 鉛直 0.92 (×9.8m/s²)] で評価。Ⅲ～Ⅸは、動的機能維持評価のみの対象であることから基準地震動 S_s により定まる設計用最大応答加速度 (1.0ZPA) [水平：1.12 (×9.8m/s²), 鉛直 0.77 (×9.8m/s²)] で評価。設計用最大応答加速度は「Ⅵ-2-1-7 設計用応答曲線の作成方針」に基づき定めたもの。

注記*1：軸受が受ける荷重のうちラジアル荷重は原動機側及び負荷側の各軸質量，スラスト荷重は軸系総質量を用いて算出。

*2：ポンプの回転により作用するトルクと地震により発生するモーメントを組み合わせた，相当ねじりモーメントによる最大せん断応力として評価。

*3：算出式・発生値・許容値については，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」に記載

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別紙 1-9 表 非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ評価結果 (3/3)

評価部位	項目	応力分類	算出式*3	発生値*3	許容値*3	評価
VIII 軸受*1	面圧	⑦-1 ラジアル (原動機側) (MPa)	$P_{R1} = \frac{W_{R1}}{A_{R1}}$ W_{R1} : 軸受 A にかかる地震時のラジアル荷重 [N] A_{R1} : ラジアル荷重を受ける軸受 A の投影面積 [mm ²]			○
		⑦-1 ラジアル (負荷側) (MPa)	$P_{R2} = \frac{W_{R2}}{A_{R2}}$ W_{R2} : 軸受 B にかかる地震時のラジアル荷重 [N] A_{R2} : ラジアル荷重を受ける軸受 B の投影面積 [mm ²]			○
		⑦-2 スラスト (MPa)	$P_S = \frac{W_S}{A_S}$ W_S : 軸受にかかる地震時のスラスト荷重 [N] A_S : スラスト荷重を受ける軸受の投影面積 [mm ²]			○
IX 原動機	加速度	水平 (×9.8m/s ²)	—	1.12	4.7	○
		鉛直 (×9.8m/s ²)	—	0.77	1.0	○

注：I-1～3 は、構造強度評価の対象部位でもあることから、構造強度評価結果を動的機能維持の評価にも適用するため基準地震動 S_s により定まる設計用最大応答加速度 (1.2ZPA) [水平：1.34 (×9.8m/s²), 鉛直 0.92 (×9.8m/s²)] で評価。III～IX は、動的機能維持評価のみの対象であることから基準地震動 S_s により定まる設計用最大応答加速度 (1.0ZPA) [水平：1.12 (×9.8m/s²), 鉛直 0.77 (×9.8m/s²)] で評価。設計用最大応答加速度は「VI-2-1-7 設計用応答曲線の作成方針」に基づき定めたもの。

注記*1：軸受が受ける荷重のうちラジアル荷重は原動機側及び負荷側の各軸質量，スラスト荷重は軸系総質量を用いて算出。

*2：ポンプの回転により作用するトルクと地震により発生するモーメントを組み合わせた，相当ねじりモーメントによる最大せん断応力として評価。

*3：算出式・発生値・許容値については，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」に記載

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別紙 1-10 表 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評価結果 (2/3)

評価部位	項目	応力分類	算出式*3	発生値*3	許容値*3	評価
Ⅲ 主ねじ	変位	— (mm)	$\delta_1 = \frac{5 \cdot w \cdot \ell_1^4}{384 \cdot E \cdot I_1} - \frac{(M_A + M_B) \cdot \ell_1^2}{16 \cdot E \cdot I_1}$ w : 地震力を考慮した軸等分布荷重 [N] ℓ ₁ : 支点間距離 [mm] E : 縦弾性係数 [MPa] I ₁ : 軸最小径での断面二次モーメント [mm ⁴] M _A : 支点 A の曲げモーメント [N・mm] M _B : 支点 B の曲げモーメント [N・mm]			○
Ⅳ 軸系	応力	せん断 (MPa) *2	$\tau_{max} = \left(\frac{16}{\pi \cdot d^3} \right) \cdot \sqrt{M^2 + T^2}$ d : 曲げモーメントが最大となる箇所の軸径 [mm] M : 最大曲げモーメント (M _A , M _B の大なる方) [N・mm] T : 軸に作用するねじりモーメント [N・mm]			○
Ⅶ メカニカルシール	変位	— (mm)	$\delta_2 = \frac{W_1 \cdot \ell_2^3}{6 \cdot E \cdot I_2} \cdot \left[\frac{x^3}{\ell_2^3} - \frac{3 \cdot (\ell_1 + \ell_2)}{\ell_2^2} \cdot x + \frac{3 \cdot \ell_1}{\ell_2} + 2 \right]$ W ₁ : 地震力を考慮した軸端部荷重 [N] ℓ ₁ : 支点間距離 [mm] ℓ ₂ : 軸端から支点 A までの距離 (= a) [mm] E : 縦弾性係数 [MPa] I ₂ : シール面軸径での断面二次モーメント [mm ⁴] x : 軸端からメカニカルシールシール面までの距離 [mm]			○

注：Ⅰ-1～3 は、構造強度評価の対象部位でもあることから、構造強度評価結果を動的機能維持の評価にも適用するため基準地震動 S_s により定まる設計用最大応答加速度 (1.2ZPA) [水平：1.34 (×9.8m/s²), 鉛直 0.92 (×9.8m/s²)] で評価。Ⅲ～Ⅸは、動的機能維持評価のみの対象であることから基準地震動 S_s により定まる設計用最大応答加速度 (1.0ZPA) [水平：1.12 (×9.8m/s²), 鉛直 0.77 (×9.8m/s²)] で評価。設計用最大応答加速度は「Ⅵ-2-1-7 設計用応答曲線の作成方針」に基づき定めたもの。

注記*1：軸受が受ける荷重のうちラジアル荷重は原動機側及び負荷側の各軸質量、スラスト荷重は軸系総質量を用いて算出。

*2：ポンプの回転により作用するトルクと地震により発生するモーメントを組み合わせ、相当ねじりモーメントによる最大せん断応力として評価。

*3：算出式・発生値・許容値については、添付書類「Ⅵ-2-10-1-2-2-4 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 燃料移送ポンプの耐震性についての計算書」に記載。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別紙 1-10 表 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評価結果 (3/3)

評価部位	項目	応力分類	算出式*3	発生値*3	許容値*3	評価
VIII 軸受*1	面圧	⑦-1 ラジアル (原動機側) (MPa)	$P_{R1} = \frac{W_{R1}}{A_{R1}}$ <small>W_{R1} : 軸受Aにかかる地震時のラジアル荷重 [N] A_{R1} : ラジアル荷重を受ける軸受Aの投影面積 [mm²]</small>	1.12	4.7	○
		⑦-1 ラジアル (負荷側) (MPa)	$P_{R2} = \frac{W_{R2}}{A_{R2}}$ <small>W_{R2} : 軸受Bにかかる地震時のラジアル荷重 [N] A_{R2} : ラジアル荷重を受ける軸受Bの投影面積 [mm²]</small>			
VIII 軸受*1	面圧	⑦-2 スラスト (MPa)	$P_S = \frac{W_S}{A_S}$ <small>W_S : 軸受にかかる地震時のスラスト荷重 [N] A_S : スラスト荷重を受ける軸受の投影面積 [mm²]</small>			
IX 原動機	加速度	水平 (×9.8m/s ²)	—	1.12	4.7	○
		鉛直 (×9.8m/s ²)	—	0.77	1.0	○

注：I-1～3は、構造強度評価の対象部位でもあることから、構造強度評価結果を動的機能維持の評価にも適用するため基準地震動S_sにより定まる設計用最大応答加速度（1.2ZPA）[水平：1.34（×9.8m/s²），鉛直0.92（×9.8m/s²）]で評価。III～IXは、動的機能維持評価のみの対象であることから基準地震動S_sにより定まる設計用最大応答加速度（1.0ZPA）[水平：1.12（×9.8m/s²），鉛直0.77（×9.8m/s²）]で評価。設計用最大応答加速度は「VI-2-1-7 設計用応答曲線の作成方針」に基づき定めたもの。

注記*1：軸受が受ける荷重のうちラジアル荷重は原動機側及び負荷側の各軸質量，スラスト荷重は軸系総質量を用いて算出。

*2：ポンプの回転により作用するトルクと地震により発生するモーメントを組み合わせた，相対ねじりモーメントによる最大せん断応力として評価。

*3：算出式・発生値・許容値については，添付書類「VI-2-10-1-2-2-4 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 燃料移送ポンプの耐震性についての計算書」に記載。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別紙 1-11 表 ガスタービン発電設備燃料移送ポンプ評価結果 (1/3)

評価部位	項目	応力分類	算出式*3	発生値*3	許容値*3	評価
I-1 基礎ボルト	応力	引張 (MPa)	$\sigma_{b1} = \frac{F_{b1}}{A_{b1}}$ F _{b1} : 基礎ボルトに作用する引張力 (1本 当たり) [N] A _{b1} : 基礎ボルトの断面積 [mm ²]			○
		せん断 (MPa)	$\tau_{b1} = \frac{Q_{b1}}{n_1 \cdot A_{b1}}$ Q _{b1} : 基礎ボルトに作用するせん断力 [N] n ₁ : 基礎ボルトの本数 [-] A _{b1} : 基礎ボルトの断面積 [mm ²]			○
I-2 ポンプ 取付ボルト	応力	引張 (MPa)	$\sigma_{b2} = \frac{F_{b2}}{A_{b2}}$ F _{b2} : 基礎ボルトに作用する引張力 (1本 当たり) [N] A _{b2} : 基礎ボルトの断面積 [mm ²]			○
		せん断 (MPa)	$\tau_{b2} = \frac{Q_{b2}}{n_2 \cdot A_{b2}}$ Q _{b2} : 基礎ボルトに作用するせん断力 [N] n ₂ : 基礎ボルトの本数 [-] A _{b2} : 基礎ボルトの断面積 [mm ²]			○
I-3 原動機 取付ボルト	応力	引張 (MPa)	$\sigma_{b3} = \frac{F_{b3}}{A_{b3}}$ F _{b3} : 基礎ボルトに作用する引張力 (1本 当たり) [N] A _{b3} : 基礎ボルトの断面積 [mm ²]			○
		せん断 (MPa)	$\tau_{b3} = \frac{Q_{b3}}{n_3 \cdot A_{b3}}$ Q _{b3} : 基礎ボルトに作用するせん断力 [N] n ₃ : 基礎ボルトの本数 [-] A _{b3} : 基礎ボルトの断面積 [mm ²]			○

注：I-1～3は、構造強度評価の対象部位でもあることから、構造強度評価結果を動的機能維持の評価にも適用するため基準地震動S_sにより定まる設計用最大応答加速度 (1.2ZPA) [水平：1.52 (×9.8m/s²), 鉛直 0.97 (×9.8m/s²)] で評価。III～IXは、動的機能維持評価のみの対象であることから基準地震動S_sにより定まる設計用最大応答加速度 (1.0ZPA) [水平：1.27 (×9.8m/s²), 鉛直 0.80 (×9.8m/s²)] で評価。設計用最大応答加速度は「VI-2-1-7 設計用応答曲線の作成方針」に基づき定めたもの。

注記*1：軸受が受ける荷重のうちラジアル荷重は原動機側及び負荷側の各軸質量，スラスト荷重は軸系総質量を用いて算出。

*2：ポンプの回転により作用するトルクと地震により発生するモーメントを組み合わせ、相対ねじりモーメントによる最大せん断応力として評価。

*3：算出式・発生値・許容値については、添付書類「VI-2-10-1-2-3-2 ガスタービン発電設備燃料移送ポンプの耐震性についての計算書」に記載。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別紙 1-11 表 ガスタービン発電設備燃料移送ポンプ評価結果 (2/3)

評価部位	項目	応力分類	算出式*3	発生値*3	許容値*3	評価
Ⅲ 主ねじ	変位	— (mm)	$\delta_1 = \frac{5 \cdot w \cdot \ell_1^4}{384 \cdot E \cdot I_1} - \frac{(M_A + M_B) \cdot \ell_1^2}{16 \cdot E \cdot I_1}$ w : 地震力を考慮した軸等分布荷重 [N] ℓ ₁ : 支点間距離 [mm] E : 縦弾性係数 [MPa] I ₁ : 軸最小径での断面二次モーメント [mm ⁴] M _A : 支点Aの曲げモーメント [N・mm] M _B : 支点Bの曲げモーメント [N・mm]			○
Ⅳ 軸系	応力	せん断 (MPa) *2	$\tau_{max} = \left(\frac{16}{\pi \cdot d^3} \right) \cdot \sqrt{M^2 + T^2}$ d : 曲げモーメントが最大となる箇所の軸径 [mm] M : 最大曲げモーメント (M _A , M _B の大なる方) [N・mm] T : 軸に作用するねじりモーメント [N・mm]			○
Ⅶ メカニカルシール	変位	— (mm)	$\delta_2 = \frac{W_1 \cdot \ell_2^3}{6 \cdot E \cdot I_2} \cdot \left[\frac{x^3}{\ell_2^3} - \frac{3 \cdot (\ell_1 + \ell_2)}{\ell_2^2} \cdot x + \frac{3 \cdot \ell_1}{\ell_2} + 2 \right]$ W ₁ : 地震力を考慮した軸端部荷重 [N] ℓ ₁ : 支点間距離 [mm] ℓ ₂ : 軸端から支点Aまでの距離 (= a) [mm] E : 縦弾性係数 [MPa] I ₂ : シール面軸径での断面二次モーメント [mm ⁴] x : 軸端からメカニカルシールシール面までの距離 [mm]			○

注：Ⅰ-1～3は、構造強度評価の対象部位でもあることから、構造強度評価結果を動的機能維持の評価にも適用するため基準地震動 S_s により定まる設計用最大応答加速度 (1.2ZPA) [水平：1.52 (×9.8m/s²), 鉛直 0.97 (×9.8m/s²)] で評価。Ⅲ～Ⅸは、動的機能維持評価のみの対象であることから基準地震動 S_s により定まる設計用最大応答加速度 (1.0ZPA) [水平：1.27 (×9.8m/s²), 鉛直 0.80 (×9.8m/s²)] で評価。設計用最大応答加速度は「Ⅵ-2-1-7 設計用応答曲線の作成方針」に基づき定めたもの。

注記*1：軸受が受ける荷重のうちラジアル荷重は原動機側及び負荷側の各軸質量、スラスト荷重は軸系総質量を用いて算出。

*2：ポンプの回転により作用するトルクと地震により発生するモーメントを組み合わせ、相当ねじりモーメントによる最大せん断応力として評価。

*3：算出式・発生値・許容値については、添付書類「Ⅵ-2-10-1-2-3-2 ガスタービン発電設備燃料移送ポンプの耐震性についての計算書」に記載。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別紙 1-11 表 ガスタービン発電設備燃料移送ポンプ評価結果 (3/3)

評価部位	項目	応力分類	算出式*3	発生値*3	許容値*3	評価	
VIII 軸受*1	面圧	⑦-1 ラジアル (原動機側) (MPa)	$P_{R1} = \frac{W_{R1}}{A_{R1}}$ W_{R1} : 軸受 A にかかる地震時のラジアル荷重 [N] A_{R1} : ラジアル荷重を受ける軸受 A の投影面積 [mm ²]			○	
		⑦-1 ラジアル (負荷側) (MPa)	$P_{R2} = \frac{W_{R2}}{A_{R2}}$ W_{R2} : 軸受 B にかかる地震時のラジアル荷重 [N] A_{R2} : ラジアル荷重を受ける軸受 B の投影面積 [mm ²]				○
		⑦-2 スラスト (MPa)	$P_S = \frac{W_S}{A_S}$ W_S : 軸受にかかる地震時のスラスト荷重 [N] A_S : スラスト荷重を受ける軸受の投影面積 [mm ²]				○
IX 原動機	加速度	水平 (×9.8m/s ²)	—	1.27	4.7	○	
		鉛直 (×9.8m/s ²)	—	0.80	1.0	○	

注：I-1～3 は、構造強度評価の対象部位でもあることから、構造強度評価結果を動的機能維持の評価にも適用するため基準地震動 S_s により定まる設計用最大応答加速度 (1.2ZPA) [水平：1.52 (×9.8m/s²), 鉛直 0.97 (×9.8m/s²)] で評価。III～IX は、動的機能維持評価のみの対象であることから基準地震動 S_s により定まる設計用最大応答加速度 (1.0ZPA) [水平：1.27 (×9.8m/s²), 鉛直 0.80 (×9.8m/s²)] で評価。設計用最大応答加速度は「VI-2-1-7 設計用応答曲線の作成方針」に基づき定めたもの。

注記*1：軸受が受ける荷重のうちラジアル荷重は原動機側及び負荷側の各軸質量，スラスト荷重は軸系総質量を用いて算出。

*2：ポンプの回転により作用するトルクと地震により発生するモーメントを組み合わせた，相対ねじりモーメントによる最大せん断応力として評価。

*3：算出式・発生値・許容値については，添付書類「VI-2-10-1-2-3-2 ガスタービン発電設備燃料移送ポンプの耐震性についての計算書」に記載。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

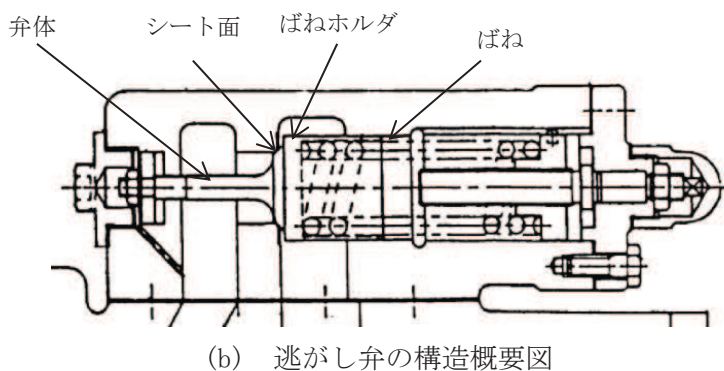
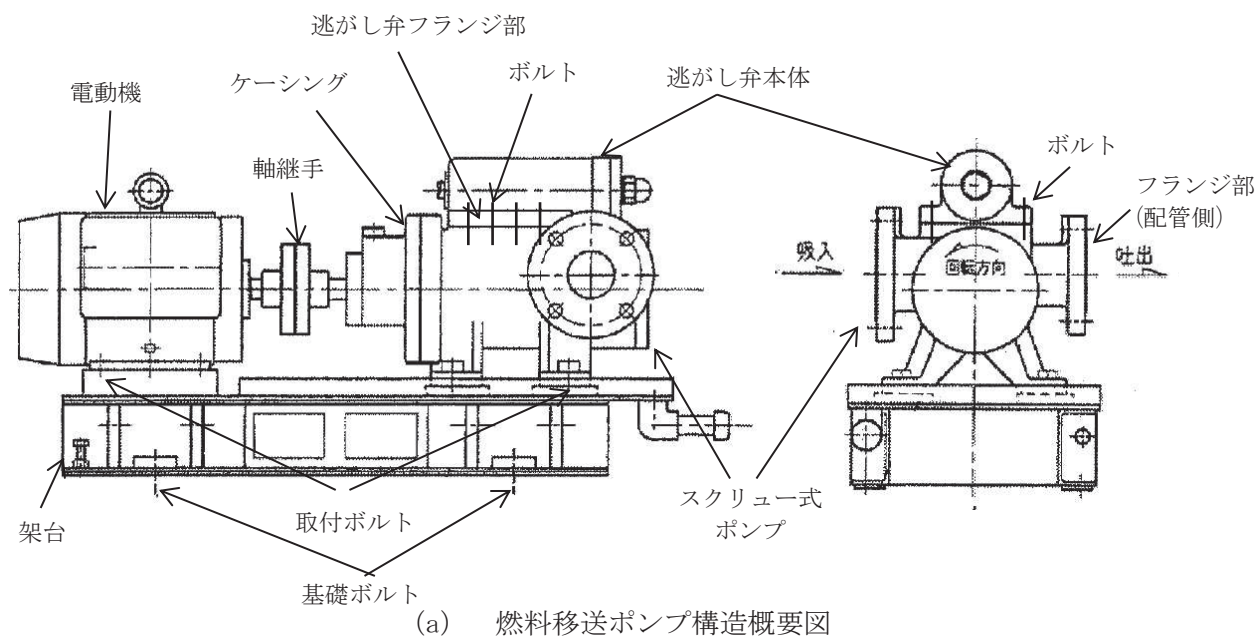
逃がし弁を動的機能維持評価対象外とする考え方について

1. 概要

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ及びガスタービン発電設備燃料移送ポンプの逃がし弁については、動的機能維持評価を不要としている。以下に、逃がし弁が評価不要な理由を示す。

2. 逃がし弁の構造

燃料移送ポンプおよび逃がし弁の構造概要を別紙 1-1-1 図に示す。逃がし弁は、ポンプの吐出側が閉鎖された場合に、ポンプ圧力によるポンプの破損、電動機の過負荷を防ぐために設けられ、燃料移送ポンプ本体上部に横向きで取付けられている。逃がし弁は、シート面に弁をばねで押付けており、ポンプの吐出圧力が逃がし弁のばね荷重を上回った際に開き、吐出圧力が一定以上上昇しない構造となっている。



別紙 1-1-1 図 燃料移送ポンプ及び逃がし弁の構造概要図

3. 動的機能維持評価項目

逃がし弁における動的機能維持評価項目は、地震時異常要因分析図から逃がし弁フランジ部の変形による油の外部漏えいが挙げられる。また、その他に地震慣性力により逃がし弁の誤作動が考えられるが、誤作動により弁が開いても油が漏れないこと、一時的に油が吐出側から吸込側へ流れるがポンプ内での循環であるためポンプの損傷はないこと、地震慣性力が無くなると弁が復旧し、通常運転状態へ戻ることから誤作動における動的機能維持の評価は不要と考える。加えて、吐出圧力が上昇した場合に地震慣性力により一時的に弁が開かない誤作動が考えられるが、地震慣性力が無くなると弁が正常に作動し吐出圧力は通常運転状態に戻ること、地震慣性力は交番荷重であるため吐出圧力は上昇と下降を繰返し、ポンプの損傷につながる吐出圧力まで上昇することはないと考えられることから、誤作動に対し個別の評価は不要である。ただし、念のため地震慣性力による誤作動が起り得るのか確認する。

上記から逃がし弁の動的機能維持評価項目として対応となる以下の項目について、評価対象外とする考え方を4項及び5項にて確認する。

- ・逃がし弁フランジ部の変形による油の外部漏えいについて
- ・逃がし弁の地震慣性力による誤作動について

4. 逃がし弁フランジ部の変形による油の外部漏えいについて

逃がし弁は、剛構造であるポンプのケーシングに一体となるようフランジで取り付けられているため燃料移送ポンプと同様に剛構造となり、フランジ部の変形は生じないことから逃がし弁フランジ部の変形による油の外部漏えいは発生しないと考えられる。

5. 逃がし弁の地震慣性力による誤作動について

弁の動的機能維持の評価においては、機能維持評価用加速度と機能確認済加速度との比較を行うが、J E A G 4 6 0 1に記載されている逃がし安全弁の構造例は縦向きに取付けられており、評価に使用する機能確認済加速度を、スクリー式ポンプのように横向きに取り付けられている逃がし弁には、そのまま適用することはできないと考える。

そのため、逃がし弁においては水平方向の地震慣性力により作用する力と逃がし弁のばね力との比較により構造強度に問題が無いこと及び誤作動の有無を確認する。また、逃がし弁は燃料移送ポンプと同様に剛構造と考えられることから燃料移送ポンプの機能維持評価用加速度を使用する。

5.1 逃がし弁の動的機能維持について（誤作動により弁が開かないことの確認）

逃がし弁が開くのに必要な力が、地震により逃がし弁に作用する水平方向の地震慣性力より大きいことを次式で確認する。式中の記号は別紙 1-1-1 表に示す。

$$K \delta_0 - P A > m g C_H$$

評価は、非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ及びびガスタービン発電設備燃料移送ポンプのうち、水平方向地震力が大きいガスタービン発電設備燃料移送ポンプについて確認する。逃がし弁の構造図を別紙 1-1-2 図に示す。

5.2 逃がし弁の動的機能維持について（誤作動により弁が閉塞しないことの確認）

吐出圧力が最高使用圧力まで上昇した時に作用する逃がし弁を開く力が、地震により逃がし弁に作用する水平方向の地震慣性力より大きいことを次式で確認する。式中の記号は別紙 1-1-1 表に示す。

$$P_{max} A - K \delta_0 > m g C_H$$

評価は、非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ及びびガスタービン発電設備燃料移送ポンプのうち、水平方向地震力が大きいガスタービン発電設備燃料移送ポンプについて確認する。逃がし弁の構造図を別紙 1-1-2 図に示す。

別紙 1-1-1 表 記号の説明

記号	記号の説明	値	単位
K	ばね定数		
δ_0	ばね変位（逃がし弁が開くために必要な変位量）		
P	運転時に逃がし弁の開方向に作用する圧力		
P_{max}	最高使用圧力（逃がし弁の開方向に作用）		
A	圧力 P の受圧部面積		
m	逃がし弁質量		
g	重力加速度	9.80665	m/s ²
C_H	水平方向震度*	1.27	—

注記* : 女川原子力発電所第 2 号機補正工認対応（工認設計用）基準地震動 S_s（7 波）により定まる燃料移送ポンプの動的機能維持評価用震度（1.0ZPA）
 [水平：1.27（×9.8m/s²），鉛直 0.80（×9.8m/s²）] のうち水平方向震度で評価

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

「詳細検討」が必要な設備の評価

目 次

1. はじめに 別紙 2-1
2. 動的機能維持評価の「詳細検討」が必要な設備 別紙 2-1
3. 動的機能維持評価の「詳細検討」に係る対応方針 別紙 2-4
4. 動的機能維持評価に係る機種ごとの「詳細検討」 別紙 2-5

別紙 2-1 立形ポンプの「詳細検討」

別紙 2-2 横形ポンプの「詳細検討」

別紙 2-3 電動機の「詳細検討」

別紙 2-4 ファンの「詳細検討」

別紙 2-5 非常用ディーゼル発電設備（機関）の「詳細検討」

別添-2-5-1 非常用ディーゼル発電設備（機関）の基本評価項目のうち既往知見より
評価対象外としている設備の確認結果

別添-2-5-2 動的機能維持の基本評価項目としない評価項目の耐震性について

別添-2-5-3 潤滑油サンプタンク及び潤滑油オイルパンのスロッシング評価について

別紙 2-6 非常用ディーゼル発電設備（発電機）の「詳細検討」

別紙 2-7 往復動式ポンプの「詳細検討」

別紙 2-8 特殊弁及び一般弁の「詳細検討」

別添-2-8-1 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

本資料は、地震時又は地震後に動的機能が要求される機器の動的機能維持評価において、機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えた設備に対する「詳細検討」についてまとめたものである。

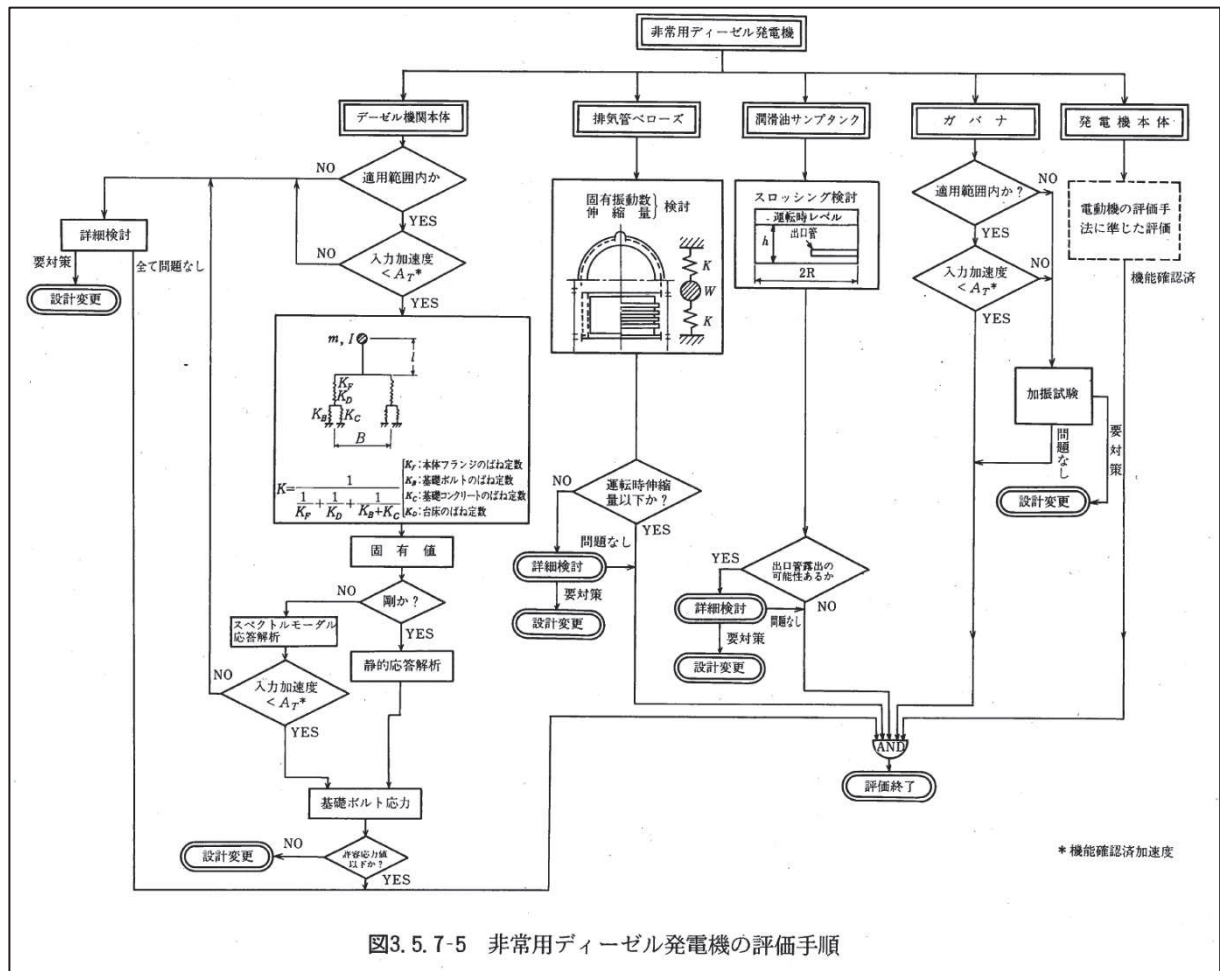
2. 動的機能維持評価の「詳細検討」が必要な設備

女川原子力発電所第2号機における動的機能維持評価として、「詳細検討」を実施する設備を別紙2-1表に示す。

別紙 2-1 表 動的機能維持評価における「詳細検討」対象設備

機種名	設備名称	型式	仕様 (流量, 出力等)	J E A G 適用範囲
立形ポンプ	原子炉補機冷却海水ポンプ	立形斜流式	1900m ³ /h	～7600m ³ /h
	高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ	立形斜流式	250m ³ /h	～7600m ³ /h
横形ポンプ	燃料プール冷却浄化系ポンプ	単段遠心式	160m ³ /h	～2400m ³ /h
電動機	高圧炉心スプレイ系ポンプ用電動機	立形すべり軸受	1900kW	～2700kW
	低圧炉心スプレイ系ポンプ用原動機	立形ころがり軸受	1000kW	～1300kW
	原子炉補機冷却海水ポンプ用電動機	立形ころがり軸受	420kW	～1300kW
	高圧炉心スプレイ補機冷却海水系ポンプ用電動機	立形ころがり軸受	60kW	～1300kW
	燃料プール冷却浄化系ポンプ用電動機	横形ころがり軸受	75kW	～950kW
	ほう酸水注入系ポンプ用電動機	横形ころがり軸受	37kW	～950kW
	非常用ガス処理系排風機用電動機	横形ころがり軸受	22kW	～950kW
	可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ用電動機	横形ころがり軸受	11kW	～950kW
ファン	非常用ガス処理系排風機	遠心直結型ファン	41.7m ³ /h	～2900m ³ /h
	可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ	遠心直動型ファン	4.3m ³ /h	～2500m ³ /h
非常用 ディーゼル 発電設備	非常用ディーゼル機関	機関本体	6100kW	～15500kW
	非常用ディーゼル発電機	(電動機の評価手法に準じる) *		
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル機関	機関本体	3000kW	～15500kW
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機	(電動機の評価手法に準じる) *		
往復動式 ポンプ	ほう酸水注入系ポンプ	横形3連往復動式	9.78m ³ /h	流量, 吐出圧力 等ほぼ同一
特殊弁	主蒸気隔離弁	主蒸気隔離弁	600A	～850A
	主蒸気逃がし安全弁	安全弁	150A	～200A
一般弁	グローブ弁	グローブ弁	～350A	～500A
	ゲート弁	ゲート弁	～400A	～650A
	バタフライ弁	バタフライ弁	～600A	～1800A
	逆止弁	逆止弁	～450A	～850A

注記* : 発電機の評価方法については以下に示す J E A G 4 6 0 1 の記載に従い電動機に準じて評価を実施する。なお, 電動機の機能確認済加速度 (A_T) を適用するものではないので J E A G 4 6 0 1 に記載の仕様範囲に依らず, 評価の考え方を準用するものである。



(※ J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版より抜粋)

3. 動的機能維持評価の「詳細検討」に係る対応方針

別紙 2-1 表に示した動的機能維持評価の「詳細検討」対象設備は、いずれも J E A G 4 6 0 1 記載の適用機種範囲に該当する設備であり、機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えたことから、J E A G 4 6 0 1 に基づいて「詳細検討」を実施する。

「詳細検討」における基本評価項目は、J E A G 4 6 0 1 に記載の項目に加えて、原子力発電耐震設計特別調査委員会*（以下「耐特委」という。）で検討された内容も踏まえて選定する。耐特委での検討では、対象機種ごとに、現実的地震応答レベルでの異常のみならず、破壊に至るような過剰な状態を念頭に地震時に考え得る異常要因を抽出し、その分析により動的機能上の評価点を検討し、機能維持を評価する際に確認すべき事項として、基本評価項目が選定されている。

なお、「詳細検討」を実施するに当たっては、J E A G 4 6 0 1 及び耐特委報告書以降における知見も確認した上で必要に応じて検討内容へ反映する。

注記*：耐特委報告書「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）」

4. 動的機能維持評価に係る機種ごとの「詳細検討」

機種ごとの「詳細検討」の内容については以下の別紙にそれぞれ示す。

- ・別紙 2-1 立形ポンプの「詳細検討」
- ・別紙 2-2 横形ポンプの「詳細検討」
- ・別紙 2-3 電動機の「詳細検討」
- ・別紙 2-4 ファンの「詳細検討」
- ・別紙 2-5 非常用ディーゼル発電設備（機関）の「詳細検討」
- ・別紙 2-6 非常用ディーゼル発電設備（発電機）の「詳細検討」
- ・別紙 2-7 往復動式ポンプの「詳細検討」
- ・別紙 2-8 特殊弁及び一般弁の「詳細検討」

立形ポンプの「詳細検討」

1. 「詳細検討」対象設備

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、立形ポンプの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は、別紙 2-1-1 表のとおり。

別紙 2-1-1 表 機能確認済加速度との比較による評価結果

設備名称	形式	方向	機能維持評価用 加速度*1	機能確認済 加速度*1	超過の 有無*2
原子炉補機冷却海水 ポンプ	立形斜流式*3	水平方向	11.93	10.0	×
		鉛直方向	1.61	1.0	×
高圧炉心スプレィ補機 冷却海水ポンプ		水平方向	3.37	10.0	○
		鉛直方向	1.61	1.0	×

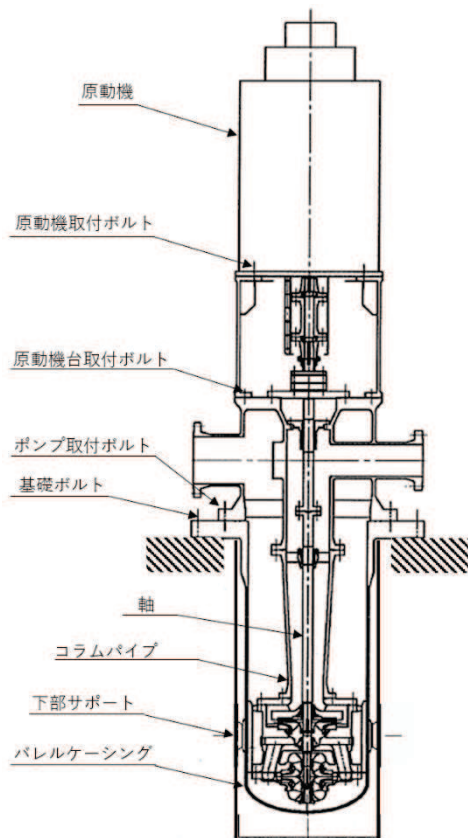
注記*1：加速度の単位：×9.8m/s²

*2：機能維持評価用加速度が機能維持確認済加速度を超過しない場合を「○」、超過した場合は「×」で示す。

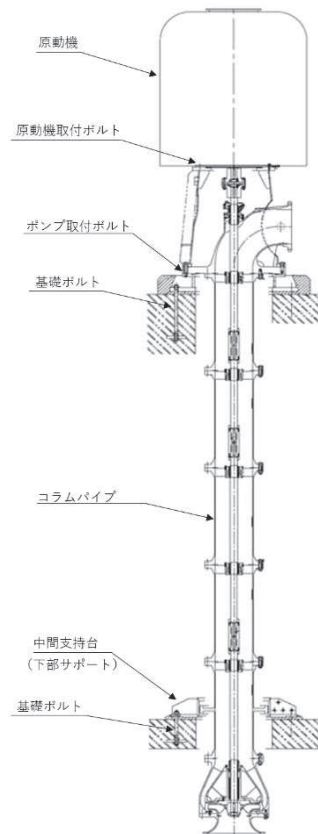
*3：立形斜流式ポンプは、ポンプスラストを電動機軸受にて支持する構造であり、原子炉補機冷却海水ポンプ、高圧炉心スプレィ補機冷却海水ポンプの電動機はころがり軸受を使用している。スラスト荷重は回転子を通じて電動機に伝わり、ガイドカラー、軸受カラーを介して軸受まで伝達される。ころがり軸受は電動機のフレームに拘束されており、また、主軸の回転方向以外を拘束しているため、主軸に加わる鉛直上向きの地震力が増大しても、モータ主軸に浮上りが生じることはなく、衝突荷重も生じない。立形ポンプの地震時浮上りの影響は、「補足-600-2 耐震評価対象の網羅性、既工認との手法の相違点の整理について」の「添付 2-2 機器・配管系設備における鉛直方向動的地震力の導入による影響検討について」にも同様に記載している。

2. 立形ポンプの構造概要

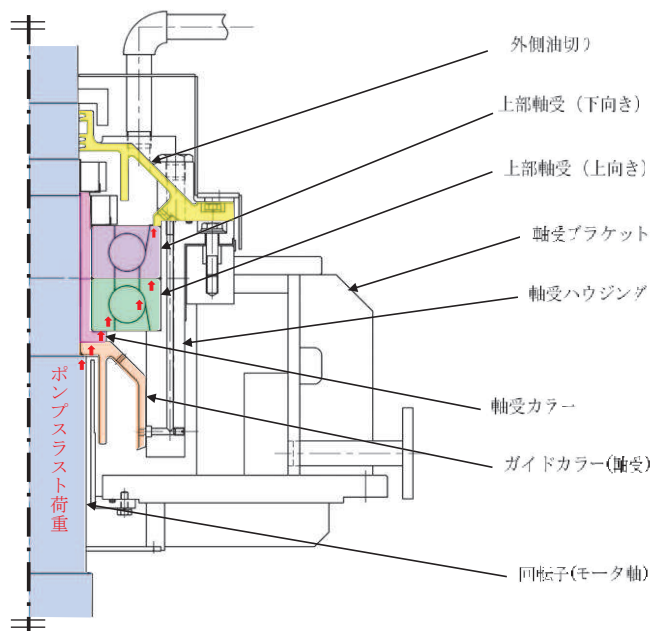
詳細評価が必要となった立形ポンプ及び電動機軸受の構造概要を別紙 2-1-1 図に示す。立形ポンプは、ポンプ軸が縦に配置される構造をしている。ピットバレル形ポンプは据付基礎上部にディスチャージケーシングと電動機、据付基礎下部はバレルケーシング、コラムパイプ及び軸から構成されている。軸は数か所の水中軸受けにより支持されている。ターボ形（立形斜流式）はバレルケーシングがないが、いずれも振動性状的、動的機能の評価の面からは類似のものであり、基本的な評価の考え方は全機種に共通なものとなる。



【ピットバレル形たて軸ポンプ】
【ピットバレル形】



【ターボ形たて軸ポンプ（海水ポンプ）】
【ターボ形（立形斜流式）】



【ポンプ原動機（電動機）】

別紙 2-1-1 図 立形ポンプの構造概要図

3. 立形ポンプの基本評価項目

3.1 J E A G 4 6 0 1に基づく代表評価項目

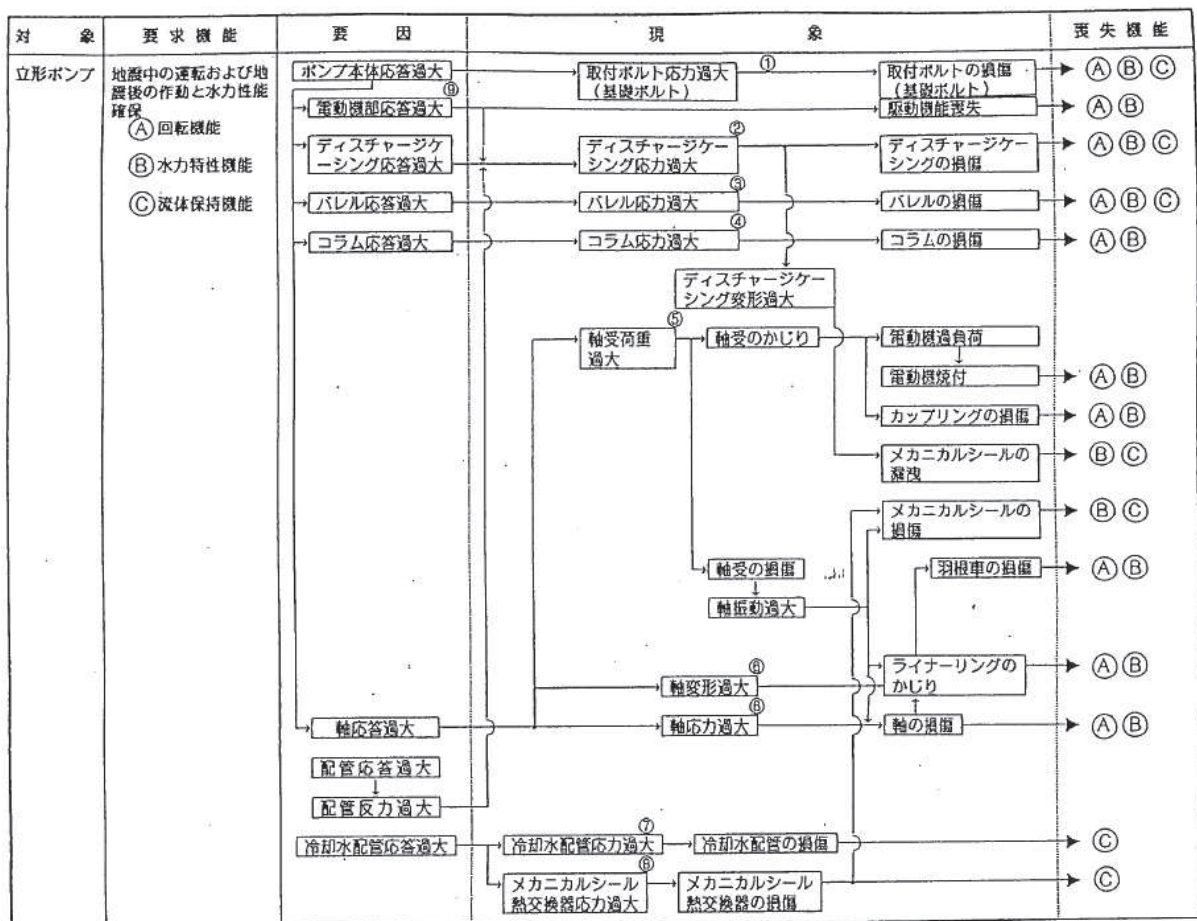
J E A G 4 6 0 1において代表評価項目として定義されている評価部位は以下のとおりである。

- ・基礎ボルト，取付ボルト
- ・バレルケーシング
- ・コラムパイプ
- ・ストップパ
- ・軸受
- ・電動機

3.2 耐特委で検討された基本評価項目

(1) 地震時異常要因分析

耐特委報告書における立形ポンプの地震時異常要因分析結果を別紙 2-1-2 図に示す。



別紙 2-1-2 図 立形ポンプの地震時異常要因分析図 (耐特委報告書)

(2) 基本評価項目の検討

耐特委報告書においては、地震時異常要因分析図に基づき、①～⑨の基本評価項目が抽出されており、これらの基本評価項目について評価することで、回転機能、水力特性機能及び流体保持機能が確認できるとされており、機能確認済加速度を超える地震加速度レベルにおいても、これら①～⑨の基本評価項目について、全て許容値以下に収まっていれば、動的機能は維持できると考えられる。

本項では、上記考え方に基づき、各基本評価項目における機能喪失に至る現象について記述する。

なお、全ての基本評価項目の中で、一つでも許容値を超えれば、当該機器は機能維持評価用加速度における動的機能が維持できないものとするが、各評価結果が概ね弾性域内に留まっていれば、各異常要因が複合し、新たな損傷モードが発生することはないと考えられる。

①基礎ボルト，取付ボルトの健全性

ポンプの応答が過大となって発生する転倒モーメントやせん断力により，ポンプを基礎に固定しているボルトや構造物を接合している取付ボルトに発生する応力が過大となり損傷に至り，全体系が転倒することにより回転機能，水力特性機能及び流体保持機能が喪失する。

②ディスチャージケーシングの健全性

全体系（ディスチャージケーシング）の応答が過大となることにより，揚水部構造部材であり軸及び軸受の支持構造物でもあるディスチャージケーシングの応力が過大となり損傷に至ることにより回転機能，水力特性機能及び流体保持機能が喪失する。

③バレルケーシングの健全性

全体系（バレルケーシング）の応答が過大となることにより，揚水部構造部材であるバレルケーシングの応力が過大となり損傷に至ることにより回転機能，水力特性機能及び流体保持機能が喪失する。

④コラムパイプの健全性

全体系（コラムパイプ）の応答が過大となることにより，揚水部構造部材であり軸及び軸受の支持構造物でもあるコラムパイプの応力が過大となり損傷に至ることにより回転機能及び水力特性機能が喪失する。

⑤軸受の健全性

軸系（回転子）の応答が過大となることで軸受荷重が過大となり，軸受が損傷することで軸の回転が阻害され，回転機能及び水力特性機能が喪失する。

⑥軸の健全性

軸系の応答が過大となることで軸応力が過大となり，軸が損傷することにより軸の回転が阻害され，回転機能及び水力特性機能が喪失する。

⑦冷却水配管の健全性

冷却水配管の応答が過大となり，損傷することにより流体保持機能が喪失する。

⑧メカニカルシール熱交換器の健全性

メカニカルシール熱交換器のの応答が過大となり損傷することで流体保持機能が喪失する。

⑨電動機の健全性

全体系（電動機）の応答が過大となることで，電動機の構成要素が損傷することにより駆動機能を喪失し，回転機能及び水力特性機能が喪失する。

4. 立形ポンプの「詳細検討」内容

J E A G 4 6 0 1 及び耐特委の内容を踏まえた、女川原子力発電所第 2 号機の立形ポンプの動的機能維持評価に係る「詳細検討」方針について別紙 2-1-2 表に示す。別紙 2-1-2 表に示すとおり、基本評価項目 No. 1~9 に対して耐震評価を実施し動的機能の健全性確認を実施する。

別紙 2-1-2 表 立形ポンプの動的機能維持評価に係る「詳細検討」方針

No.	基本評価項目	J E A G 4 6 0 1 の 代表評価項目	耐特委の 基本評価 項目	検討方針	本資料 に記載 *1
1	基礎ボルト 取付ボルト	○	○	本評価項目は、構造強度評価に従い設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認している為評価を省略する。*2	②
2	ディスチャージ ケーシング	—	○	設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認する。	①
3	バレルケーシング	○	○	本評価項目は、設備が対象となる立形斜流式には存在しないことから評価を省略する。	—
4	コラムパイプ	○	○	本評価項目は、構造強度評価に従い設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認している為評価を省略する。*2	②
5	ストッパ	○	—	本評価項目は、構造強度評価に従い設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認している為評価を省略する。*2	②
6	軸受	○	○	回転機能保持の観点から、軸受の発生荷重を評価する。軸受については、多質点はりモデルによる応答解析結果を用い、得られた軸受の発生荷重に係数 4.3 を乗じ評価する。*2	②
7	軸	—	○	回転機能保持の観点から、ポンプ軸の発生応力を評価する。	①
8	冷却水配管	—	○	本評価項目は、設備が対象となる立形斜流式には存在しないことから評価を省略する。	—
9	メカニカルシー ル熱交換器	○	○	本評価項目は、設備が対象となる立形斜流式には存在しないことから評価を省略する。	—
10	電動機	○	○	本評価項目の評価は、別項目で行うため省略する。	②

注記*1：本資料で詳述の場合「①」、添付書類に記載の場合「②」、省略の場合を「—」で示す。

*2：添付書類「VI-2-5-7-1-3 原子炉補機冷却海水ポンプの耐震性についての計算書」、
「VI-2-5-7-2-3 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの耐震性についての計算書」に記載。

5. 立形ポンプの許容値の設定

立形ポンプの動的機能維持評価の「詳細検討」内容に対する許容値を別紙 2-1-3 表に示す。

立形ポンプの「詳細検討」対象設備に対する基本評価項目が許容値以下となることを確認することで、「詳細検討」対象設備の動的機能維持が確保されると判断する。

別紙 2-1-3 表 立形ポンプの許容値

No.	基本評価項目	許容値の設定
①	ディスチャージケーシング	ポンプ本体の機能維持の観点から、ディスチャージケーシングの発生応力を弾性範囲内に留めるようⅢ _A Sを許容値とした。
②	軸	回転機能の確保の観点から、軸の発生応力を弾性範囲内に留めるようⅢ _A Sを許容値とした。
③	軸受	軸受の機能維持の観点から、メーカー規定の許容値もしくは、「平成 16 年度原子力発電施設耐震信頼性実証に関する報告書 機器耐力その 3 (大型立形ポンプ)」（(独)原子力安全基盤機構）のゴム軸受面圧 7.69MPa 及び樹脂軸受面圧 6.91MPa を許容値として設定した。

6. 立形ポンプの「詳細検討」結果

立形ポンプの動的機能維持評価の「詳細検討」対象設備に対する「詳細検討」結果を別紙2-1-4表、別紙2-1-5表に示す。

「詳細検討」対象設備である各立形ポンプに対する「詳細検討」結果は、いずれも、全ての評価部位の発生値が許容値を満足しており、「詳細検討」対象設備である各立形ポンプの動的機能維持が確保されることを確認した。

なお、各立形ポンプの動的機能維持評価の詳細については、個別の耐震計算書「VI-2-5-7-1-3 原子炉補機冷却海水ポンプの耐震性についての計算書」、「VI-2-5-7-2-3 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの耐震性についての計算書」に示す。

別紙2-1-4表 原子炉補機冷却海水ポンプ 「詳細検討」結果

評価部位	項目	応力分類	算出式	発生値	許容値	評価
①ディスチャージケーシング	応力	一次一般膜応力	$\sigma_d = \text{Max}(\sigma_{dCH} + \sigma_{dCV} + \sigma_{dZP}, \sigma_{d\theta P})^{*1}$ $\sigma_{dCH}: \text{水平方向地震によりディスチャージケーシングに生じる応力}$ $\sigma_{dCV}: \text{自重及び鉛直方向地震によりディスチャージケーシングに生じる応力}$ $\sigma_{dZP}: \text{ディスチャージケーシングの内圧による軸方向応力}$ $\sigma_{d\theta P}: \text{ディスチャージケーシングの内圧による周方向応力}$	92MPa	153MPa	○
②軸	応力	組合せ	$\sigma_{ps} = \frac{1}{2} \cdot (\sigma_{psb} + \sigma_{psz})$ $+ \frac{1}{2} \cdot \sqrt{(\sigma_{psb} + \sigma_{psz})^2 + 4(\tau_{pss} + \tau_{pst})^2}^{*1}$ $\sigma_{psb}: \text{軸に生じる曲げ応力}$ $\sigma_{psz}: \text{自重及び鉛直方向地震力により軸に生じる応力}$ $\tau_{pss}: \text{軸に生じるせん断力}$ $\tau_{pst}: \text{軸回転により作用するせん断応力}$	60MPa	169MPa	○
③軸受	荷重	(1段目)	多質点はりモデルによる原子炉補機冷却海水ポンプの応答解析結果を用い、得られた軸受の発生荷重に係数4.3を乗じ評価 ^{*2}	1.843×10 ⁵	5.536×10 ⁵ N	○
	荷重	(2段目)		5.780×10 ⁴	2.031×10 ⁵ N	○
	荷重	(3段目)		4.316×10 ⁴	2.031×10 ⁵ N	○
	荷重	(4段目)		7.421×10 ⁴	2.031×10 ⁵ N	○
	荷重	(5段目)		4.401×10 ⁴	2.031×10 ⁵ N	○
	荷重	(6段目)		3.581×10 ⁴	2.031×10 ⁵ N	○

注記*1: 算出過程については、「参考資料2-1-1 原子炉補機冷却海水ポンプの動的機能維持評価方法」に示す。

*2: 添付書類「VI-2-5-7-1-3 原子炉補機冷却海水ポンプの耐震性についての計算書」に記載。

別紙 2-1-5 表 高圧炉心スプレィ補機冷却海水ポンプ 「詳細検討」結果

評価部位	項目	応力分類	算出式	発生値	許容値	評価
① ディスチャージケーシング	応力	一次一般膜応力	$\sigma_d = \text{Max}(\sigma_{dCH} + \sigma_{dCV} + \sigma_{dZP}, \sigma_{d\theta P})^{*1}$ $\sigma_{dCH}: \text{水平方向地震によりディスチャージケーシングに生じる応力}$ $\sigma_{dCV}: \text{自重及び鉛直方向地震によりディスチャージケーシングに生じる応力}$ $\sigma_{dZP}: \text{ディスチャージケーシングの内圧による軸方向応力}$ $\sigma_{d\theta P}: \text{ディスチャージケーシングの内圧による周方向応力}$	67MPa	144MPa	○
②軸	応力	組合せ	$\sigma_{ps} = \frac{1}{2} \cdot (\sigma_{psb} + \sigma_{psz})$ $+ \frac{1}{2} \cdot \sqrt{(\sigma_{psb} + \sigma_{psz})^2 + 4(\tau_{pss} + \tau_{pst})^2}^{*1}$ $\sigma_{psb}: \text{軸に生じる曲げ応力}$ $\sigma_{psz}: \text{自重及び鉛直方向地震力により軸に生じる応力}$ $\tau_{pss}: \text{軸に生じるせん断力}$ $\tau_{pst}: \text{軸回転により作用するせん断応力}$	36MPa	169MPa	○
③軸受	荷重	(1 段目)	多質点はりモデルによる高圧炉心スプレィ補機冷却海水ポンプの応答解析結果を用い、得られた軸受の発生荷重に係数 4.3 を乗じ評価 ^{*2}	4.894×10^3	$7.060 \times 10^3 \text{ N}$	○
	荷重	(2 段目)		4.684×10^3	$2.118 \times 10^4 \text{ N}$	○
	荷重	(3 段目)		4.607×10^3	$2.118 \times 10^4 \text{ N}$	○
	荷重	(4 段目)		4.580×10^3	$2.118 \times 10^4 \text{ N}$	○
	荷重	(5 段目)		4.539×10^3	$2.118 \times 10^4 \text{ N}$	○
	荷重	(6 段目)		5.678×10^3	$2.118 \times 10^4 \text{ N}$	○
	荷重	(7 段目)		4.760×10^3	$2.118 \times 10^4 \text{ N}$	○
	荷重	(8 段目)		4.594×10^3	$2.118 \times 10^4 \text{ N}$	○
	荷重	(9 段目)		3.926×10^3	$2.118 \times 10^4 \text{ N}$	○

注記*1: 算出過程については、「参考資料 2-1-2 高圧炉心スプレィ補機冷却海水ポンプの動的機能維持評価方法」に示す。

*2: 添付書類「VI-2-5-7-2-3 高圧炉心スプレィ補機冷却海水ポンプの耐震性についての計算書」に記載。

立形ポンプ 詳細評価結果の算出過程

参考資料 2-1-1 原子炉補機冷却海水ポンプの動的機能維持評価方法

1. 原子炉補機冷却海水ポンプの動的機能維持評価

1.1 記号の説明

原子炉補機冷却海水ポンプの動的機能維持評価に使用する記号を参考 2-1-1 表に、機器要目を参考 2-1-2 表に示す。

参考2-1-1表 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{ps}	軸の断面積	mm^2
A_{ds}	ディスチャージケーシングの断面積	mm^2
C_P	ポンプ振動による震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
D_d	ディスチャージケーシングの内径	mm
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
M_d	ディスチャージケーシングに作用する曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_p	ポンプ回転により作用するモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_{ps}	軸に作用する曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
P_d	ディスチャージケーシングの内圧	MPa
Q_{ps}	軸に対するせん断力	N
t_d	ディスチャージケーシングの厚さ	mm
W_d	ディスチャージケーシングの質量	kg
W_{ps}	軸の評価部位にかかる質量	kg
Z_d	ディスチャージケーシングの断面係数	mm^3
Z_{ps}	軸の断面係数	mm^3
σ_d	ディスチャージケーシングに生じる一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{dCH}	水平方向地震によりディスチャージケーシングに生じる応力	MPa
σ_{dCV}	自重及び鉛直方向地震によりディスチャージケーシングに生じる応力	MPa
σ_{dZP}	ディスチャージケーシングの内圧による軸方向応力	MPa
$\sigma_{d\theta P}$	ディスチャージケーシングの内圧による周方向応力	MPa
σ_{ps}	軸に生じる組合せ応力の最大値	MPa
σ_{psb}	軸に生じる曲げ応力	MPa
σ_{psz}	自重及び鉛直方向地震力により軸に生じる応力	MPa
τ_{ps}	軸に生じるせん断力	MPa
τ_{pst}	軸回転により作用するせん断応力	MPa

参考2-1-2表 機器要目

(1) ディスチャージケーシング

部材	M_d (N・mm)	Z_d (mm ³)	W_d (Kg)	$A_{d s}$ (mm ²)	P_d (Mpa)
ディスチャージケーシング	5.672×10^8	6.677×10^6	2964	4.368×10^4	0.78

部材	D_d (mm)	t_d (mm)
ディスチャージケーシング	610	22

(2) 軸

部材	$M_{p s}$ (N・mm)	$Z_{p s}$ (mm ³)	$W_{p s}$ (Kg)	$A_{p s}$ (mm ²)	$Q_{p s}$ (N)
軸	8.182×10^6	1.613×10^5	818	1.094×10^4	6.321×10^3

部材	M_P (N・mm)
軸	5.348×10^6

1.2 評価方法

1.2.1 ディスチャージケーシングの計算方法

ディスチャージケーシングの応力は次式により求める。

(1) 水平方向地震力による応力

多質点モデルを用いて応答計算を行い，得られた各部に働くモーメントにより，曲げ応力は以下のようなになる。

$$\sigma_{dCH} = \frac{M_d}{Z_d} \dots \dots \dots (\text{参考 2-1-1-1})$$

(2) 鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{dCV} = \frac{(C_v + C_p - 1) \cdot W_d \cdot g}{A_{ds}} \dots \dots \dots (\text{参考 2-1-1-2})$$

(3) 内圧による周方向応力

$$\sigma_{d\theta P} = \frac{P_d \cdot D_d}{2 \cdot t_d} \dots \dots \dots (\text{参考 2-1-1-3})$$

(4) 内圧による軸方向応力

$$\sigma_{dZP} = \frac{P_d \cdot D_d}{4 \cdot t_d} \dots \dots \dots (\text{参考 2-1-1-4})$$

以上の(1)～(4)の各応力から，一次一般膜応力は以下の通り。

$$\sigma_d = \text{Max}(\sigma_{dCH} + \sigma_{dCV} + \sigma_{dZP}, \sigma_{d\theta P}) \dots \dots \dots (\text{参考 2-1-1-5})$$

一次応力は一次一般膜応力と同様のため省略する。

1.2.2 軸の計算方法

軸の応力は次式により求める。

a. 曲げ応力

多質点はりモデルを用いて応答計算を行い，得られたモーメントにより，曲げ応力は以下ようになる。

$$\sigma_{psb} = \frac{M_{ps}}{Z_{ps}} \dots \dots \dots (\text{参考 2-1-1-6})$$

b. 自重及び鉛直方向地震力による応力

$$\sigma_{psz} = \frac{(1 + C_v) \cdot W_{ps} \cdot g}{A_{ps}} \dots \dots \dots (\text{参考 2-1-1-7})$$

c. せん断応力

$$\tau_{pss} = \frac{4 \cdot Q_{ps}}{3 \cdot A_{ps}} \dots \dots \dots (\text{参考 2-1-1-8})$$

d. 軸回転により作用するせん断応力

$$\tau_{pst} = \frac{M_p}{2 \cdot Z_{ps}} \dots \dots \dots (\text{参考 2-1-1-9})$$

e. 組合せ応力

$$\sigma_{ps} = \frac{1}{2} \cdot (\sigma_{psb} + \sigma_{psz}) + \frac{1}{2} \cdot \sqrt{(\sigma_{psb} + \sigma_{psz})^2 + 4 \cdot (\tau_{pss} + \tau_{pst})^2} \dots \dots (\text{参考 2-1-1-10})$$

参考資料 2-1-2 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの動的機能維持評価方法

1. 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの動的機能維持評価

1.1 記号の説明

高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの動的機能維持評価に使用する記号を参考 2-1-3 表に、機器要目を参考 2-1-4 表に示す。

参考2-1-3表 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{ps}	軸の断面積	mm^2
A_{ds}	ディスチャージケーシングの断面積	mm^2
C_P	ポンプ振動による震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
D_d	ディスチャージケーシングの内径	mm
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
M_d	ディスチャージケーシングに作用する曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_p	ポンプ回転により作用するモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_{ps}	軸に作用する曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
P_d	ディスチャージケーシングの内圧	MPa
Q_{ps}	軸に対するせん断力	N
t_d	ディスチャージケーシングの厚さ	mm
W_d	ディスチャージケーシングの質量	kg
W_{ps}	軸の評価部位にかかる質量	kg
Z_d	ディスチャージケーシングの断面係数	mm^3
Z_{ps}	軸の断面係数	mm^3
σ_d	ディスチャージケーシングに生じる一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{dCH}	水平方向地震によりディスチャージケーシングに生じる応力	MPa
σ_{dCV}	自重及び鉛直方向地震によりディスチャージケーシングに生じる応力	MPa
σ_{dZP}	ディスチャージケーシングの内圧による軸方向応力	MPa
$\sigma_{d\theta P}$	ディスチャージケーシングの内圧による周方向応力	MPa
σ_{ps}	軸に生じる組合せ応力の最大値	MPa
σ_{psb}	軸に生じる曲げ応力	MPa
σ_{psz}	自重及び鉛直方向地震力により軸に生じる応力	MPa
τ_{ps}	軸に生じるせん断力	MPa
τ_{pst}	軸回転により作用するせん断応力	MPa

参考2-1-4表 機器要目

(1) ディスチャージケーシング

部材	M_d (N・mm)	Z_d (mm ³)	W_d (Kg)	$A_{d s}$ (mm ²)	P_d (Mpa)
ディスチャージケーシング	2.699×10^7	5.095×10^5	2765	8.972×10^3	0.78

部材	D_d (mm)	t_d (mm)
ディスチャージケーシング	226	12

(2) 軸

部材	$M_{p s}$ (N・mm)	$Z_{p s}$ (mm ³)	$W_{p s}$ (Kg)	$A_{p s}$ (mm ²)	$Q_{p s}$ (N)
軸	1.228×10^5	9.556×10^3	387	1.662×10^3	435.8

部材	M_P (N・mm)
軸	3.82×10^5

1.2 評価方法

1.2.1 ディスチャージケーシングの計算方法

ディスチャージケーシングの応力は次式により求める。

(1) 水平方向地震力による応力

多質点モデルを用いて応答計算を行い，得られた各部に働くモーメントにより，曲げ応力は以下のようになる。

$$\sigma_{dCH} = \frac{M_d}{Z_d} \dots \dots \dots \text{(参考 2-1-2-1)}$$

(2) 鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{dCV} = \frac{(C_v + C_p - 1) \cdot W_d \cdot g}{A_{ds}} \dots \dots \dots \text{(参考 2-1-2-2)}$$

(3) 内圧による周方向応力

$$\sigma_{d\theta P} = \frac{P_d \cdot D_d}{2 \cdot t_d} \dots \dots \dots \text{(参考 2-1-2-3)}$$

(4) 内圧による軸方向応力

$$\sigma_{dZP} = \frac{P_d \cdot D_d}{4 \cdot t_d} \dots \dots \dots \text{(参考 2-1-2-4)}$$

以上の(1)～(4)の各応力から，一次一般膜応力は以下の通り。

$$\sigma_d = \text{Max}(\sigma_{dCH} + \sigma_{dCV} + \sigma_{dZP}, \sigma_{d\theta P}) \dots \dots \dots \text{(参考 2-1-2-5)}$$

一次応力は一次一般膜応力と同様のため省略する。

1.2.2 軸の計算方法

軸の応力は次式により求める。

a. 曲げ応力

多質点はりモデルを用いて応答計算を行い，得られたモーメントにより，曲げ応力は以下ようになる。

$$\sigma_{psb} = \frac{M_{ps}}{Z_{ps}} \dots \dots \dots (\text{参考 2-1-2-6})$$

b. 自重及び鉛直方向地震力による応力

$$\sigma_{psz} = \frac{(1 + C_v) \cdot W_{ps} \cdot g}{A_{ps}} \dots \dots \dots (\text{参考 2-1-2-7})$$

c. せん断応力

$$\tau_{pss} = \frac{4 \cdot Q_{ps}}{3 \cdot A_{ps}} \dots \dots \dots (\text{参考 2-1-2-8})$$

d. 軸回転により作用するせん断応力

$$\tau_{pst} = \frac{M_p}{2 \cdot Z_{ps}} \dots \dots \dots (\text{参考 2-1-2-9})$$

e. 組合せ応力

$$\sigma_{ps} = \frac{1}{2} \cdot (\sigma_{psb} + \sigma_{psz}) + \frac{1}{2} \cdot \sqrt{(\sigma_{psb} + \sigma_{psz})^2 + 4(\tau_{pss} + \tau_{pst})^2} \dots \dots \dots (\text{参考 2-1-2-10})$$

横形ポンプの「詳細検討」

1. 詳細検討対象設備

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、横形ポンプの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は、別紙 2-2-1 表のとおり。

別紙 2-2-1 表 機能確認済加速度との比較による評価結果

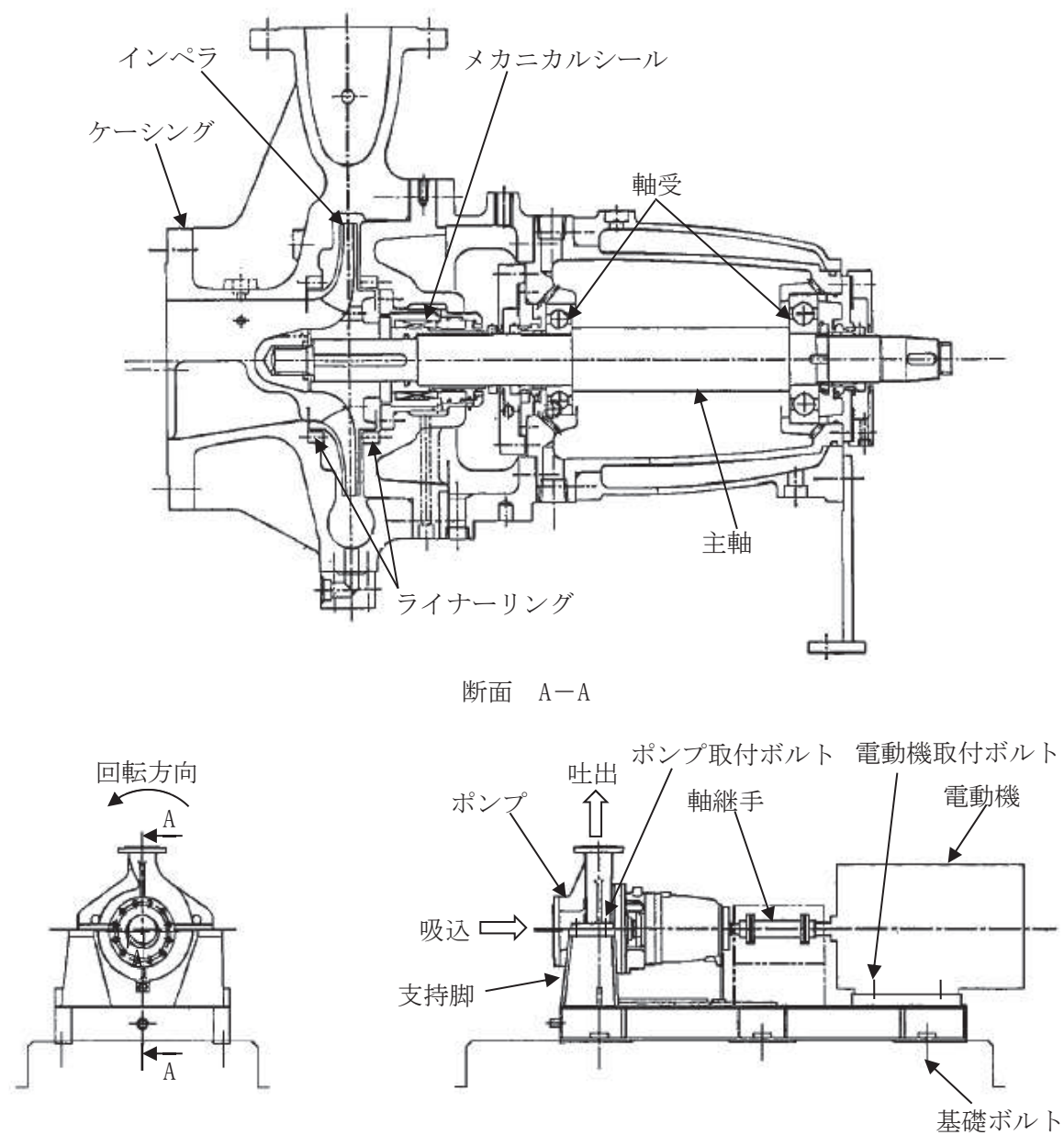
設備名称	形式	方向	機能維持 評価用加速度*1	機能確認済 加速度*1	超過の 有無*2
燃料プール 冷却浄化系 ポンプ	単段遠心式	水平方向	1.65	軸直角方向 3.2 軸方向 1.4	×
		鉛直方向	1.15	1.0	×

注記*1：加速度の単位： $\times 9.8\text{m/s}^2$

*2：機能維持評価用加速度が機能維持確認済加速度を超過しない場合を「○」、超過した場合は「×」で示す。

2. 横形ポンプの構造概要

詳細評価が必要となった横形ポンプの構造概要を別紙 2-2-1 図に示す。横形ポンプは、既往研究により、軸系及び構造系ともに剛な構造であることが確認されている。



別紙 2-2-1 図 横形ポンプの構造概要図

3. 横形ポンプの基本評価項目

3.1 J E A G 4 6 0 1に基づく基本評価項目

J E A G 4 6 0 1において基本評価項目として定義されている評価部位は以下のとおりである。

- ・軸の健全性
- ・軸受の健全性
- ・ロータとケーシングのクリアランスの確保
- ・ケーシングの健全性
- ・取付ボルトの健全性
- ・基礎ボルトの健全性
- ・メカニカルシールの健全性
- ・軸継手の健全性
- ・駆動用電動機の健全性

なお、上記の部位のうち、「軸受、ケーシング、メカニカルシールの健全性」については、「既往研究成果として十分な耐震性が確認されており、以下に述べる標準的な評価手順では評価項目から省略することができる。」とされている。

3.2 耐特委で検討された基本評価項目

(1) 地震時異常要因分析

耐特委報告書における横形ポンプの地震時異常要因分析結果を別紙 2-2-2 図に示す。

対象	要求機能	要因	現象	喪失機能	
横形ポンプ	地震後の運転と水力性能確保 (A) 回転機能 (B) 水力特性機能 (C) 流体保持機能	ポンプ本体応答過大	ケーシング転倒モーメント過大	基礎ボルト応力過大 → 基礎ボルト損傷 ^① 支持脚応力過大 → 支持脚損傷 ^②	(A), (B), (C) (A), (B), (C)
		全体系(ケーシング)応答過大	ケーシング応力過大	ケーシングとロータの接触 → 摺動部(ライナーリング部)の損傷 ^③	(A), (B)
		ケーシング変形過大	ケーシング変形過大		
		軸系(ロータ)応答過大	軸応力過大	軸損傷 ^④	(A)
		軸変形過大	軸変形過大	メカニカルシール損傷 ^⑤	(B), (C)
		軸受荷重過大	軸受荷重過大	軸受損傷 ^⑥	(A)
		電動機応答過大*	電動機変形過大	電動機機能喪失 ^⑦ 軸継手部相対変位過大 → 軸継手損傷 ^⑧	(A), (B) (A)
		配管応答過大	配管反力過大	ケーシングノズル部損傷 ^⑨	(B), (C)
		冷却水配管応答過大	冷却水配管応力過大	冷却水配管損傷 ^⑩ → 軸受冷却不能	(A)

別紙 2-2-2 図 横形ポンプの地震時異常要因分析図 (耐特委)

(2) 基本評価項目の検討

耐特委報告書においては、地震時異常要因分析図に基づき、①～⑩の基本評価項目が抽出されており、これらの基本評価項目について評価することで、回転機能及び水力特性機能、流体保持機能が確認できるとされており、機能確認済加速度を超える地震加速度レベルにおいても、これら①～⑩の基本評価項目について、全て許容値以下に収まっていれば、動的機能は維持できると考えられる。

本項では、上記考え方に基づき、各基本評価項目における機能喪失に至る現象について記述する。

なお、全ての基本評価項目の中で、一つでも許容値を超えれば、当該機器は機能維持評価用加速度における動的機能が維持できないものとするが、各評価結果が概ね弾性域内に留まっていれば、各異常要因が複合し、新たな損傷モードが発生することはないと考えられる。

①基礎ボルト（取付ボルトを含む）の健全性

ポンプ全体系の応答が過大となることで、転倒モーメントにより基礎ボルト（取付ボルト含む）の応力が過大となり損傷に至り、全体系が転倒することにより機能喪失する。

②支持脚の健全性

ポンプ全体系の応答が過大となることで、支持脚の応力が過大となり損傷に至り、ポンプが転倒することにより機能喪失する。

③摺動部（インペラとライナーリングのクリアランス）の健全性

軸変形が過大となり、インペラがライナーリングと接触することで損傷に至り、回転機能及び移送機能が喪失する。

④主軸の健全性

軸応力が過大となり、軸が損傷することにより回転機能及び移送機能が喪失する。

⑤メカニカルシールの健全性

軸変形が過大となり、メカニカルシールが損傷することにより移送機能及び流体保持機能が喪失する。

⑥軸受の健全性

軸受荷重が過大となり、軸受が損傷することで回転機能及び移送機能が喪失する。

⑦電動機の健全性

電動機の応答が過大になり電動機の機能が喪失することで、回転機能及び移送機能が喪失する。

⑧軸継手の健全性

被駆動器軸と電動機軸の相対変位が過大となり、軸継手が損傷することで回転機能及び移送機能が喪失する。

⑨ケーシングの健全性

接続配管の応答が過大となり、ケーシングノズルが損傷することで移送機能及び流体保持機能が喪失する。

⑩冷却水配管の健全性

冷却水配管の応答が過大となり、損傷することで冷却不能に至り、回転機能が喪失する。

4. 横形ポンプの詳細検討方針

J E A G 4 6 0 1 及び耐特委の内容を踏まえた、女川原子力発電所第 2 号機の横形ポンプの動的機能維持評価に係る詳細検討方針について別紙 2-2-2 表に示す。別紙 2-2-2 表に示すとおり、基本評価項目 No. 1～10 に対して耐震評価を実施し動的機能の健全性確認を実施する。

別紙 2-2-2 表 横形ポンプの動的機能維持評価に係る詳細検討方針

No	基本評価項目	J E A G 4 6 0 1 の基本評価項目	耐特委の基本評価項目	検討方針	記載箇所*1
1	摺動部（インペラとライナーリングのクリアランス）	○	○	主軸たわみ量の増大により、インペラとライナーリングの接触が発生し、回転機能及び移送機能喪失に関わるため、主軸のたわみを評価する。*2	②
2	主軸	○	○	回転機能及び移送機能保持の観点から、主軸の発生応力を評価する。*2	②
3	冷却水配管	—	○	冷却水配管の応答が過大となり、損傷することで冷却不能に至り、回転機能喪失に関わるため、冷却水配管の発生応力を評価する。	①
4	電動機	○	○	本評価項目の評価は、別項目で行うため省略する。	①
5	支持脚	—	○	支持脚については、高い剛性を有するためにケーシング定着部に荷重がかかる構造となっている。そのため、取付ボルト及び基礎ボルトが評価上厳しい部位となることから、取付ボルト及び基礎ボルトを支持脚の評価として代替する。	—
6	メカニカルシール	○	○	既往研究において、耐震性が十分確認されたため、評価は省略できる。	—
7	軸受	○	○	既往研究において、耐震性が十分確認されたため、評価は省略できる。	—
8	軸継手	○	○	地震荷重については軸受で負担するため軸継手には有意な応力が発生しないことから、軸継手の評価を省略する。	—
9	ケーシング	○	○	既往研究において、耐震性が十分確認されたため、評価は省略できる。	—
10	取付ボルト、基礎ボルト	○	○	取付ボルト及び基礎ボルトは構造強度評価対象として耐震計算書で健全性を確認していることから動的機能維持評価の計算書への記載を省略する。*2	—（構造強度評価対象）

注記*1：本資料で詳述の場合「①」、添付書類に記載の場合「②」、省略の場合を「—」で示す。

*2：添付書類「VI-2-4-3-1-2 燃料プール冷却浄化系ポンプの耐震性についての計算書」に記載。

5. 横形ポンプの許容値の設定

横形ポンプの動的機能維持評価の詳細検討内容に対する許容値を別紙 2-2-3 表に示す。

横形ポンプの詳細検討対象設備に対する基本評価項目が許容値以下となることを確認することで、詳細検討対象設備の動的機能維持が確保されると判断する。

別紙 2-2-3 表 横形ポンプの許容値

No	基本評価項目	許容値の設定
1	摺動部（インペラとライナーリングのクリアランス）	インペラとライナーリングの接触により回転機能が阻害されるという観点から、これらのクリアランスを許容値とした。
2	主軸	回転機能の確保の観点から、運転状態Ⅲを基本として、軸の発生応力を弾性範囲内に留めるようⅢ _A Sを許容値とした。
3	冷却水配管	配管損傷の観点から、運転状態Ⅳを基本として、通常材料の実降伏が設計値に対し余裕があることを考慮し、概ね降伏点以下と同等とした値として許容応力状態Ⅳ _A Sを許容値とした。

6. 横形ポンプの詳細検討結果

横形ポンプの動的機能維持評価の詳細検討対象設備に対する詳細検討結果を別紙 2-2-4 表に示す。

詳細検討結果は、全ての評価部位の発生値が許容値を満足しており、動的機能維持が確保されることを確認した。

なお、動的機能維持評価の詳細については、耐震計算書「VI-2-4-3-1-2 燃料プール冷却浄化系ポンプの耐震性についての計算書」にて示す。

別紙 2-2-4 表 燃料プール冷却浄化系ポンプ 詳細検討結果

評価部位	項目	応力分類	算出式	発生値	許容値	評価
摺動部 (インペラとライナーリングのクリアランス)	変位	—	$\delta = \delta_s + \delta_c^{*1}$ $\delta_s: \text{軸自重に地震力を考慮した等分布荷重により羽車側軸端部による軸のたわみ量 [mm]}$ $\delta_c: \text{地震時に羽車側軸端部にかかる荷重による軸のたわみ量 [mm]}$	0.42mm		○
主軸	応力	せん断	$\tau_{\max} = \frac{1}{2 \cdot Z} \cdot \sqrt{M^2 + T^2}^{*1}$ $Z: \text{軸の断面係数 [mm}^3\text{]}$ $M: \text{軸に作用する最大曲げモーメント [N} \cdot \text{mm]}$ $T: \text{軸に作用するねじりモーメント [N} \cdot \text{mm]}$	28MPa	429MPa	○
冷却水配管	応力	一次応力	解析による*2	98MPa	324MPa	○

注記*1：算出過程については、添付書類「VI-2-4-3-1-2 燃料プール冷却浄化系ポンプの耐震性についての計算書」に記載。

*2：算出過程については、「参考資料 2-2-1 燃料プール冷却浄化系ポンプの動的機能維持評価方法」に示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

横形ポンプ 詳細評価結果の算出過程

参考資料 2-2-1 燃料プール冷却浄化系ポンプの動的機能維持評価方法

1. 冷却水配管

1.1 冷却水配管の応力評価方法

冷却水配管は、応力解析を行い、発生応力を評価する。解析モデル（3次元はりモデル）を参考 2-2-1 図に示す。

配管、弁及び支持構造物については、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の耐震計算書作成の方法」により、配管、弁、及び支持構造物を評価部位とする。評価結果は、算出応力と許容応力を踏まえ、評価上厳しい箇所の結果について記載する。

解析コードは、「SOLVER」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。



参考 2-2-1 図 冷却水配管解析モデル

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

電動機の「詳細検討」

1. 「詳細検討」対象設備

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、電動機の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は、別紙 2-3-1 表のとおり。

別紙 2-3-1 表 機能確認済加速度との比較による評価結果

設備名称	形式	方向	機能維持 評価用加速度*1	機能確認済 加速度*1	超過の 有無*2
高圧炉心スプレイ系 ポンプ用電動機	立形すべり 軸受	水平方向	4.7	2.5	×
		鉛直方向	0.57	1.0	○
低圧炉心スプレイ系 ポンプ用電動機	立形ころがり 軸受	水平方向	4.2	2.5	×
		鉛直方向	0.57	1.0	○
原子炉補機冷却海水 ポンプ用電動機	立形ころがり 軸受	水平方向	17.35	2.5	×
		鉛直方向	1.61	1.0	×
高圧炉心スプレイ 補機冷却海水 ポンプ用電動機	立形ころがり 軸受	水平方向	1.53	2.5	○
		鉛直方向	1.61	1.0	×
燃料プール冷却浄化系 ポンプ用電動機	横形ころがり 軸受	水平方向	1.65	4.7	○
		鉛直方向	1.15	1.0	×
ほう酸水注入系 ポンプ用電動機	横形ころがり 軸受	水平方向	1.77	4.7	○
		鉛直方向	1.30	1.0	×
非常用ガス処理系 排風機用電動機	横形ころがり 軸受	水平方向	1.81	4.7	○
		鉛直方向	1.32	1.0	×
可燃性ガス濃度制御系 再結合装置ブロウ用 電動機	横形ころがり 軸受	水平方向	1.77	4.7	○
		鉛直方向	1.30	1.0	×

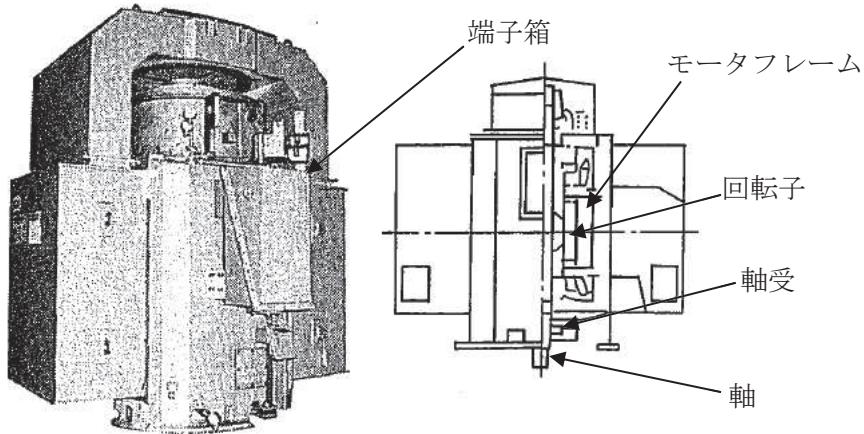
注記*1：加速度の単位：×9.8m/s²

*2：機能維持評価用加速度が機能維持確認済加速度を超過しない場合を「○」、超過した場合は「×」で示す。

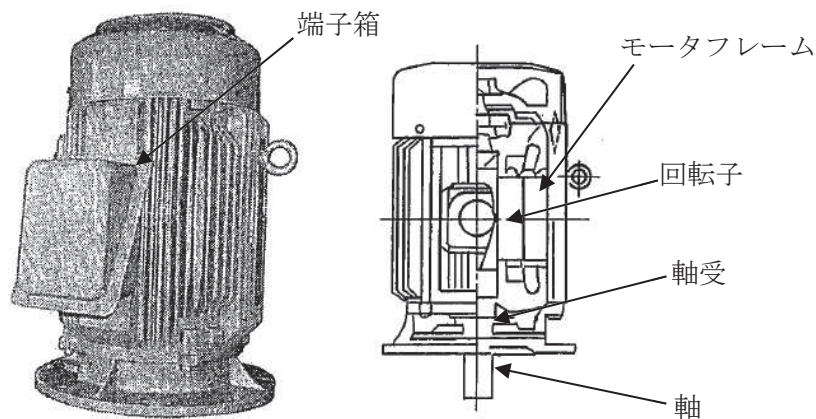
2. 電動機の構造概要

詳細評価が必要となった電動機の構造概要を別紙2-3-1図～別紙2-3-3図に示す。電動機は、機構的に単純であり、いずれも堅牢なモータフレームと回転子とから構成される。

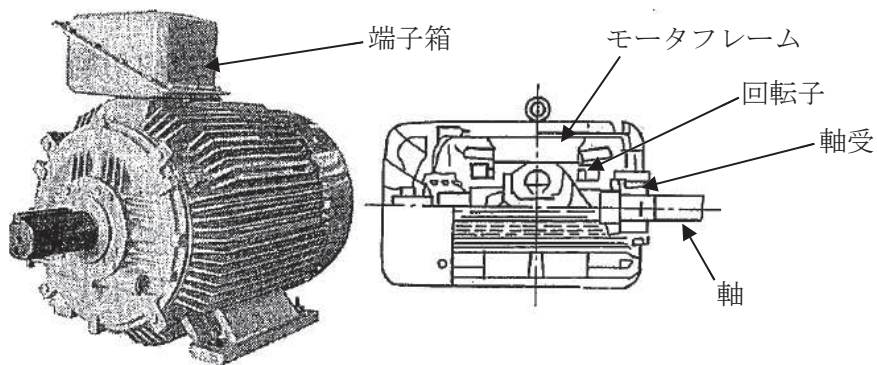
その型式は大別して軸受種類によってすべり軸受ところがり軸受とに分けられ、さらに設置方向により各々立形と横形に分類されるが、いずれも振動系としては類似のものであり、基本的な評価の考え方は全機種に共通なものとなる。



別紙 2-3-1 図 電動機（立形すべり軸受）の構造概要図



別紙 2-3-2 図 電動機（立形ころがり軸受）の構造概要図



別紙 2-3-3 図 電動機（横形ころがり軸受）の構造概要図

3. 電動機の基本評価項目

3.1 J E A G 4 6 0 1 に基づく基本評価項目

J E A G 4 6 0 1 において基本評価項目として定義されている評価部位は以下のとおりである。

○部品の健全性

- ・ 固定子
- ・ 回転子
- ・ 端子箱

○回転機能の健全性

- ・ 軸
- ・ 軸受
- ・ 固定子と回転子間のクリアランス

○各要素及び全体支持機能の健全性

- ・ モータフレーム
- ・ 台板への取付ボルト
- ・ 基礎ボルト

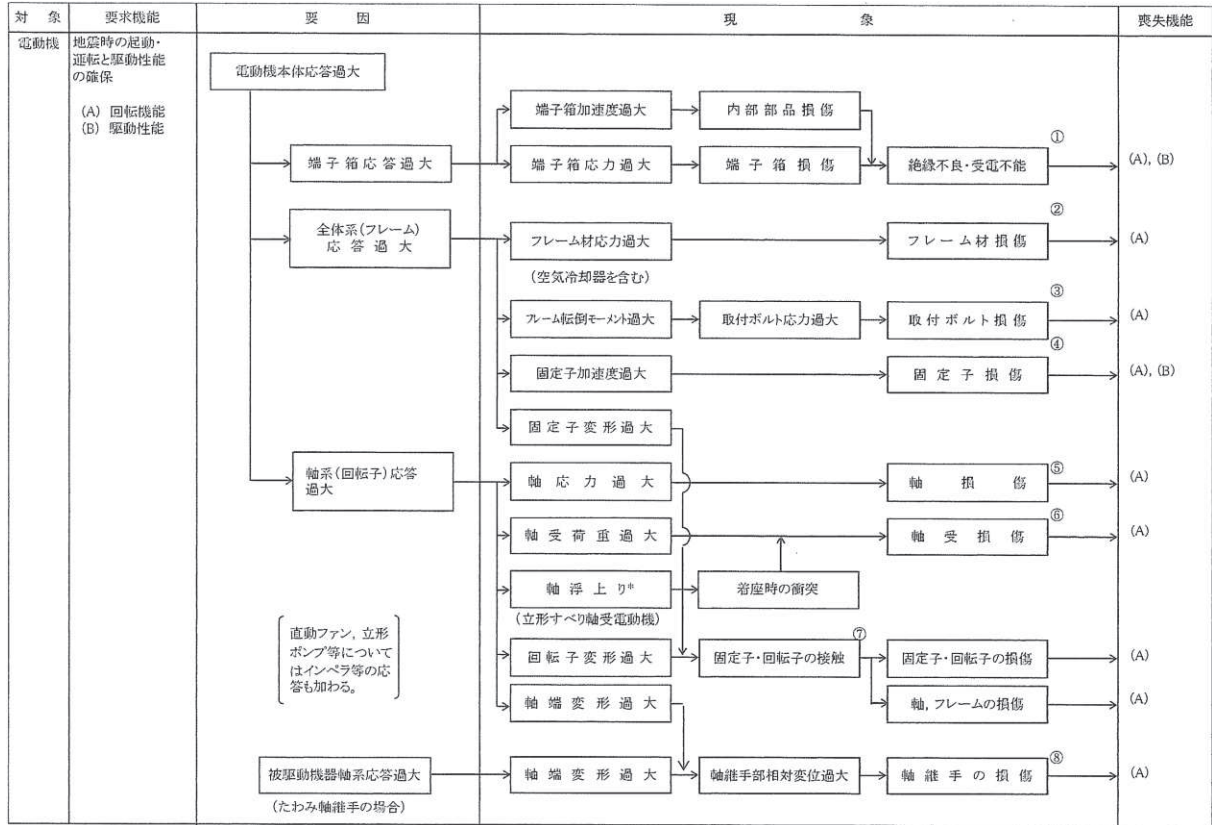
○冷却ファン，クーラユニットの健全性

なお，上記の部位のうち，「固定子，回転子，端子箱，固定子と回転子間のクリアランス，モータフレーム，冷却ファン，クーラユニットの健全性」については，「既往研究成果として十分な耐震性が確認されており，以下に述べる標準的な評価手順では評価項目から省略することができる。」とされている。

3.2 耐特委で検討された基本評価項目

(1) 地震時異常要因分析

耐特委報告書における電動機の地震時異常要因分析結果を別紙 2-3-4 図に示す。



別紙 2-3-4 図 電動機の地震時異常要因分析図 (耐特委報告書)

(2) 基本評価項目の検討

耐特委報告書においては、地震時異常要因分析図に基づき、①～⑧の基本評価項目が抽出されており、これらの基本評価項目について評価することで、回転機能及び駆動特性機能が確認できるとされており、機能確認済加速度を超える地震加速度レベルにおいても、これら①～⑧の基本評価項目について、全て許容値以下に収まっていれば、動的機能は維持できると考えられる。

本項では、上記考え方に基づき、各基本評価項目における機能喪失に至る現象について記述する。

なお、全ての基本評価項目の中で、一つでも許容値を超えれば、当該機器は機能維持評価用加速度における動的機能が維持できないものとするが、各評価結果が概ね弾性域内に留まっていれば、各異常要因が複合し、新たな損傷モードが発生することはないと考えられる。

① 端子箱の健全性

端子箱の応答が過大となることにより、端子箱もしくは内部部品^(注)が損傷し、絶縁不良や受電不能になることにより回転機能及び駆動特性機能が喪失する。

(注) 対象設備の端子箱は締結されたケーブルを囲う箱であり、内部部品はない。

② フレームの健全性

全体系（モータフレーム）の応答が過大となることにより、電動機構成部品の支持構造部材であるモータフレーム材の応力が過大となりモータフレームが損傷に至ることにより回転機能が喪失する。

③ 取付ボルトの健全性

電動機の応答が過大となって発生する転倒モーメントにより電動機を電動機支え台に固定している取付ボルトに発生する応力が過大となり損傷に至り、全体系が転倒することにより回転機能が喪失する。

④ 固定子の健全性

全体系の応答が過大となることにより、固定子自身に作用する加速度が過大となり固定子の損傷に至ることにより回転機能及び駆動特性機能が喪失する。

⑤ 軸の健全性

軸系（回転子）の応答が過大となることで軸応力が過大となり、軸が損傷することにより回転機能が喪失する。

⑥ 軸受の健全性

軸系（回転子）の応答が過大となることで軸受荷重が過大となり、軸受が損傷することで軸の回転が阻害され、回転機能が喪失する。

⑦ 固定子・回転子の健全性

全体系（モータフレーム）の応答が過大となることによる固定子変形量の増大に加え、軸系（回転子）の応答が過大となることによる回転子変形量の増大により、固定子・回転子の接触が発生し、固定子・回転子が損傷することで回転機能が喪失する。

⑧ 軸継手の健全性

被駆動機（ポンプ等）軸と電動機軸の相対変位が過大となり、軸継手が損傷することで被駆動器への回転運動の伝達機能が喪失する。

4. 電動機の「詳細検討」方針

J E A G 4 6 0 1 及び耐特委の内容を踏まえた、女川原子力発電所第 2 号機の電動機の動的機能維持評価に係る「詳細検討」方針について別紙 2-3-2 表に示す。別紙 2-3-2 表に示すとおり、基本評価項目 No. 1~6 に対して耐震評価を実施し動的機能の健全性確認を実施する。

別紙 2-3-2 表 電動機の動的機能維持評価に係る「詳細検討」方針

No	基本評価項目	J E A G 4 6 0 1 の 基本評価項目	耐特委の 基本評価 項目	検討方針	記載 箇所*1
1	端子箱（取付ボルト）	○	○	電動機の端子箱本体は、箱状の構造物で十分な剛性が確認されていることから、地震加速度の大きさに関わらず取付ボルトに最も荷重が作用する。また、端子箱は締結されたケーブルを囲う箱であり、内部部品はないことから、端子箱取付ボルトの発生応力を評価する。*2	②
2	モータフレーム	○	○	モータフレームは固定子、軸受を支持する構造物であり、地震時にはこれら構成部材に作用する地震荷重によりモータフレームに有意な荷重が作用することから、モータフレームの発生応力を評価する。*2	②
3	固定子	○	○	全体系の応答が過大となることにより、固定子自身に作用する加速度が過大となり固定子の損傷に至ることにより回転機能及び駆動特性機能喪失に関わるため、固定子の発生応力を評価する。*2	②
4	軸（回転子）	○	○	回転機能保持の観点から、軸（回転子）の発生応力を評価する。*2	②
5	軸受	○	○	回転機能保持の観点から、軸受の発生荷重を評価する。*2	②
6	固定子と回転子のクリアランス	○	○	全体系（モータフレーム）の応答が過大となることによる固定子変形量の増大に加え、軸系（回転子）の応答が過大となることによる回転子変形量の増大により、固定子・回転子の接触が発生し、回転機能喪失に関わるため、固定子のたわみを評価する。*2	②
7	軸継手	—	○	軸継手はポンプ軸とモータ軸をリジットに接続するタイプであり、相対変位が発生しないこと、及び地震荷重については軸受で負担するため軸継手部には有意な応力が発生しないことから、軸継手の評価を省略する。	—
8	取付ボルト、基礎ボルト	○	○	取付ボルト及び基礎ボルトは構造強度評価対象として耐震計算書で健全性を確認していることから動的機能維持評価の計算書への記載を省略する。*2	—（構造強度評価対象）
9	冷却ファン、クーラユニットの健全性	○	—	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、原子炉補機冷却水系等から冷却水が供給される。原子炉補機冷却水系配管等は別途耐震計算書で健全性を確認していることから動的機能維持評価の計算書への記載を省略する。	—（別設備の構造強度評価対象）

注記*1：本資料で詳述の場合「①」、添付書類に記載の場合「②」、省略の場合「—」で示す。

*2：添付書類「VI-2-5-5-1-1 高圧炉心スプレイ系ポンプの耐震性についての計算書」、「VI-2-5-5-2-1 低圧炉心スプレイ系ポンプの耐震性についての計算書」、「VI-2-5-7-1-3 原子炉補機冷却海水ポンプの耐震性についての計算書」、「VI-2-5-7-2-3 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの耐震性についての計算書」、「VI-2-4-3-1-2 燃料プール冷却浄化系ポンプの耐震性についての計算書」、「VI-2-6-4-1-1 ほう酸水注入系ポンプの耐震性についての計算書」、「VI-2-9-4-4-1-3 非常用ガス処理系排風機の耐震性についての計算書」、「VI-2-9-4-4-2-2 可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワの耐震性についての計算書」にそれぞれ記載。

5. 電動機の許容値の設定

電動機の動的機能維持評価の「詳細検討」内容に対する許容値を別紙 2-3-3 表、別紙 2-3-4 表に示す。

電動機の「詳細検討」対象設備に対する基本評価項目が許容値以下となることを確認することで、「詳細検討」対象設備の動的機能維持が確保されると判断する。

別紙 2-3-3 表 電動機（立形ころがり軸受，立形すべり軸受）の許容値

No	基本評価項目	許容値の設定
1	端子箱（取付ボルト）	絶縁，受電機能の確保の観点から，通常材料の実降伏点が設計値に対し余裕があることを考慮し，概ね降伏点以下と同等とした値として許容応力状態Ⅳ _A S を許容値とした。
2	モータフレーム	電動機本体の機能維持の観点から，フレームの発生応力を弾性範囲内に留めるようⅢ _A S を許容値とした。
3	固定子	固定子の機能維持の観点から，固定子の発生応力を弾性範囲内に留めるようⅢ _A S を許容値とした。
4	軸（回転子）	回転機能の確保の観点から，軸（回転子）の発生応力を弾性範囲内に留めるようⅢ _A S を許容値とした。
5	軸受	軸受の機能維持の観点から，メーカー規定の軸受許容荷重を許容値とした。
6	固定子と回転子のクリアランス	軸（回転子）と固定子の接触により回転機能が阻害されるという観点から，これらのクリアランスを許容値とした。

別紙 2-3-4 表 電動機（横形ころがり軸受）の許容値

No	基本評価項目	許容値の設定
1	端子箱（取付ボルト）	絶縁，受電機能の確保の観点から，通常材料の実降伏点が設計値に対し余裕があることを考慮し，概ね降伏点以下と同等とした値として許容応力状態Ⅳ _A S を許容値とした。
2	モータフレーム	支持機能の確保の観点から，通常材料の実降伏点が設計値に対し余裕があることを考慮し，概ね降伏点以下と同等とした値として許容応力状態Ⅳ _A S を許容値とした。
3	固定子	固定子の機能維持の観点から，固定子の発生応力を弾性範囲内に留めるようⅢ _A S を許容値とした。
4	軸（回転子）	回転機能の確保の観点から，軸（回転子）の発生応力を弾性範囲内に留めるようⅢ _A S を許容値とした。
5	軸受	軸受の機能維持の観点から，メーカー規定の軸受許容荷重を許容値とした。
6	固定子と回転子のクリアランス	軸（回転子）と固定子の接触により回転機能が阻害されるという観点から，これらのクリアランスを許容値とした。

6. 電動機の「詳細検討」結果

電動機の動的機能維持評価の「詳細検討」対象設備に対する「詳細検討」結果を別紙 2-3-5 表～別紙 2-3-12 表に示す。

「詳細検討」対象設備である各電動機に対する「詳細検討」結果は、いずれも、全ての評価部位の発生値が許容値を満足しており、「詳細検討」対象設備である各電動機の動的機能維持が確保されることを確認した。

なお、各電動機の動的機能維持評価の詳細については、耐震計算書「VI-2-5-5-1-1 高圧炉心スプレイ系ポンプの耐震性についての計算書」、
「VI-2-5-5-2-1 低圧炉心スプレイ系ポンプの耐震性についての計算書」、
「VI-2-5-7-1-3 原子炉補機冷却海水ポンプの耐震性についての計算書」、
「VI-2-5-7-2-3 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの耐震性についての計算書」、
「VI-2-4-3-1-2 燃料プール冷却浄化系ポンプの耐震性についての計算書」、
「VI-2-6-4-1-1 ほう酸水注入系ポンプの耐震性についての計算書」、
「VI-2-9-4-4-1-3 非常用ガス処理系排風機の耐震性についての計算書」、
「VI-2-9-4-4-2-2 可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワの耐震性についての計算書」に示す。

別紙 2-3-5 表 高圧炉心スプレイ系ポンプ用電動機 「詳細検討」 結果

評価部位	項目	応力分類	算出式*1	発生値	許容値	評価
端子箱（取付ボルト）	応力	引張り	$\sigma_{bt} = \frac{F_{bt}}{A_{bt}}$ <p>F_{bt} : 端子箱取付ボルトに作用する最大荷重[N] A_{bt} : 端子箱取付ボルトの断面積[mm²]</p>	11MPa	185MPa	○
	応力	せん断	$\tau_{bt} = \frac{Q_{bt}}{n_t \cdot A_{bt}}$ <p>Q_{bt} : 端子箱取付ボルトに作用するせん断力[N] n_t : 端子箱取付ボルトの本数[-] A_{bt} : 端子箱取付ボルトの断面積[mm²]</p>	3MPa	142MPa	○
モータフレーム	応力	組合せ	$\sigma_m = \sigma_{fm} + \sigma_{fw}$ <p>σ_{fm} : モータフレームに生じる曲げ応力[MPa] σ_{fw} : 自重及び鉛直方向地震力によりモータフレームに生じる応力[MPa]</p>	25MPa	309MPa	○
固定子	応力	せん断	$\tau_k = \frac{F_k}{(p+s) \cdot L \cdot n_p}$ <p>F_k : 固定子に生じる組合せ荷重[N] p : 固定子の溶接部の開先寸法[mm] s : 固定子のすみ肉脚長[mm] L : 固定子の溶接長さ[mm] n_p : 固定子の溶接数[-]</p>	5MPa	53MPa	○
軸（回転子）	応力	組合せ	$\sigma_s = \frac{1}{2} \cdot (\sigma_{sm} + \sigma_{sw})$ $+ \frac{1}{2} \cdot \sqrt{(\sigma_{sm} + \sigma_{sw})^2 + 4\tau_s^2}$ <p>σ_{sm} : 軸に生じる曲げ応力[MPa] σ_{sw} : 自重及び鉛直方向地震力により軸に生じる応力[MPa] τ_s : ポンプ運転によるねじり応力[MPa]</p>	151MPa	354MPa	○
軸受	荷重	（上部軸受）	解析による	5.715 ×10 ⁴ N		○
	荷重	（下部軸受）	解析による	5.360 ×10 ⁴ N		○
固定子と回転子のクリアランス	変位	—	解析による	0.83mm	3mm	○

注記*1：算出過程については、添付書類「VI-2-5-5-1-1 高圧炉心スプレイ系ポンプの耐震性についての計算書」に記載。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別紙 2-3-6 表 低圧炉心スプレイ系ポンプ用電動機 「詳細検討」 結果

評価部位	項目	応力分類	算出式*1	発生値	許容値	評価
端子箱（取付ボルト）	応力	引張り	$\sigma_{bt} = \frac{F_{bt}}{A_{bt}}$ F _{bt} :端子箱取付ボルトに作用する最大荷重 [N] A _{bt} :端子箱取付ボルトの断面積[mm ²]	10MPa	185MPa	○
	応力	せん断	$\tau_{bt} = \frac{Q_{bt}}{n_t \cdot A_{bt}}$ Q _{bt} :端子箱取付ボルトに作用するせん断力 [N] n _t :端子箱取付ボルトの本数[-] A _{bt} :端子箱取付ボルトの断面積[mm ²]	2MPa	142MPa	○
モータフレーム	応力	組合せ	$\sigma_m = \sigma_{fm} + \sigma_{fw}$ σ _{fm} :モータフレームに生じる曲げ応力 [MPa] σ _{fw} :自重及び鉛直方向地震力によりモータフレームに生じる応力[MPa]	24MPa	309MPa	○
固定子	応力	せん断	$\tau_k = \frac{F_k}{(p+s) \cdot L \cdot n_p}$ F _k :固定子に生じる組合せ荷重[N] p:固定子の溶接部の開先寸法[mm] s:固定子のすみ肉脚長[mm] L:固定子の溶接長さ[mm] n _p :固定子の溶接数[-]	4MPa	53MPa	○
軸（回転子）	応力	組合せ	$\sigma_s = \frac{1}{2} \cdot (\sigma_{sm} + \sigma_{sw})$ $+ \frac{1}{2} \cdot \sqrt{(\sigma_{sm} + \sigma_{sw})^2 + 4\tau_s^2}$ σ _{sm} :軸に生じる曲げ応力[MPa] σ _{sw} :自重及び鉛直方向地震力により軸に生じる応力[MPa] τ _s :ポンプ運転によるねじり応力[MPa]	75MPa	430MPa	○
軸受	荷重	(上部軸受)	解析による	2.449 × 10 ⁴ N		○
	荷重	(下部軸受)	解析による	2.983 × 10 ⁴ N		○
固定子と回転子のクリアランス	変位	—	解析による	0.99mm	2.4mm	○

注記*1:算出過程については、添付書類「VI-2-5-5-2-1 低圧炉心スプレイ系ポンプの耐震性についての計算書」に記載。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別紙 2-3-7 表 原子炉補機冷却海水ポンプ用電動機 「詳細検討」 結果

評価部位	項目	応力分類	算出式*1	発生値	許容値	評価
端子箱 (取付ボルト)	応力	引張り	$\sigma_{bt} = \frac{F_{bt}}{A_{bt}}$ F _{bt} : 端子箱取付ボルトに作用する最大荷重 [N] A _{bt} : 端子箱取付ボルトの断面積 [mm ²]	47MPa	189MPa	○
	応力	せん断	$\tau_{bt} = \frac{Q_{bt}}{n_t \cdot A_{bt}}$ Q _{bt} : 端子箱取付ボルトに作用するせん断力 [N] n _t : 端子箱取付ボルトの本数 [-] A _{bt} : 端子箱取付ボルトの断面積 [mm ²]	12MPa	146MPa	○
モータフレーム	応力	組合せ	$\sigma_m = \sigma_{fm} + \sigma_{fw}$ σ _{fm} : モータフレームに生じる曲げ応力 [MPa] σ _{fw} : 自重及び鉛直方向地震力によりモータフレームに生じる応力 [MPa]	150MPa	316MPa	○
固定子	応力	せん断	$\tau_k = \frac{F_k}{(p+s) \cdot L \cdot n_p}$ F _k : 固定子に生じる組合せ荷重 [N] p: 固定子の溶接部の開先寸法 [mm] s: 固定子のすみ肉脚長 [mm] L: 固定子の溶接長さ [mm] n _p : 固定子の溶接数 [-]	3MPa	54MPa	○
軸 (回転子)	応力	組合せ	$\sigma_s = \frac{1}{2} \cdot (\sigma_{sm} + \sigma_{sw}) + \frac{1}{2} \cdot \sqrt{(\sigma_{sm} + \sigma_{sw})^2 + 4\tau_s^2}$ σ _{sm} : 軸に生じる曲げ応力 [MPa] σ _{sw} : 自重及び鉛直方向地震力により軸に生じる応力 [MPa] τ _s : ポンプ運転によるねじり応力 [MPa]	177MPa	447MPa	○
軸受	荷重	(上部軸受)	解析による	1.023 × 10 ⁵ N		○
	荷重	(下部軸受)	解析による	8.278 × 10 ⁴ N		○
固定子と回転子のクリアランス	変位	—	解析による	1.31mm	1.6mm	○

注記*1: 算出過程については、添付書類「VI-2-5-7-1-3 原子炉補機冷却海水ポンプの耐震性についての計算書」に記載。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別紙 2-3-8 表 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ用電動機 「詳細検討」 結果

評価部位	項目	応力分類	算出式*1	発生値	許容値	評価
端子箱 (取付ボルト)	応力	引張り	$\sigma_{bt} = \frac{F_{bt}}{A_{bt}}$ F _{bt} : 端子箱取付ボルトに作用する最大荷重 [N] A _{bt} : 端子箱取付ボルトの断面積 [mm ²]	11MPa	184MPa	○
	応力	せん断	$\tau_{bt} = \frac{Q_{bt}}{n_t \cdot A_{bt}}$ Q _{bt} : 端子箱取付ボルトに作用するせん断力 [N] n _t : 端子箱取付ボルトの本数 [-] A _{bt} : 端子箱取付ボルトの断面積 [mm ²]	2MPa	142MPa	○
モータフレーム	応力	組合せ	$\sigma_m = \sigma_{fm} + \sigma_{fw}$ σ _{fm} : モータフレームに生じる曲げ応力 [MPa] σ _{fw} : 自重及び鉛直方向地震力によりモータフレームに生じる応力 [MPa]	3MPa	45MPa	○
固定子	応力	せん断	$\tau_k = \frac{F_k}{n_p \cdot A_p}$ F _k : 固定子に生じる組合せ荷重 [N] n _p : 固定子取付ピンの本数 [-] A _p : ピンの断面積 [mm ²]	5MPa	121MPa	○
軸 (回転子)	応力	組合せ	$\sigma_s = \frac{1}{2} \cdot (\sigma_{sm} + \sigma_{sw}) + \frac{1}{2} \cdot \sqrt{(\sigma_{sm} + \sigma_{sw})^2 + 4\tau_s^2}$ σ _{sm} : 軸に生じる曲げ応力 [MPa] σ _{sw} : 自重及び鉛直方向地震力により軸に生じる応力 [MPa] τ _s : ポンプ運転によるねじり応力 [MPa]	16MPa	474MPa	○
軸受	荷重	(上部軸受)	解析による	2.183 × 10 ² N		○
	荷重	(下部軸受)	解析による	3.242 × 10 ³ N		○
固定子と回転子のクリアランス	変位	—	解析による	0mm	0.8mm	○

注記*1: 算出過程については、添付書類「VI-2-5-7-2-3 高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの耐震性についての計算書」に記載。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別紙 2-3-9 表 燃料プール冷却浄化系ポンプ用電動機 「詳細検討」結果

評価部位	項目	応力分類	算出式*1	発生値	許容値	評価
端子箱 (取付ボルト)	応力	引張り	$\sigma_{tb} = \text{Max}[\sigma_{tb,x}, \sigma_{tb,y}]$ $\sigma_{tb,x} : \text{水平方向地震力が x 方向 (横方向) により}$ $\text{ボルト 1 本あたりにはたらく引張力 [N]}$ $\sigma_{tb,y} : \text{水平方向地震力が y 方向 (長手方向) により}$ $\text{ボルト 1 本あたりにはたらく引張力 [N]}$	5MPa	210MPa	○
	応力	せん断	$\tau_{tb} = \frac{Q_{tb}}{n_t \cdot A_{tb}}$ $Q_{tb} : \text{ボルトに作用するせん断力 [N]}$ $n_t : \text{端子箱取付ボルトの本数 [-]}$ $A_{tb} : \text{端子箱取付ボルトの断面積 [mm}^2\text{]}$	2MPa	161MPa	○
モータフレーム	応力	組合せ	$\sigma_s = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s4})^2 + 3 \cdot \tau_{s2}^2}$ $\sigma_{s1} : \text{電動機重量による応力 [MPa]}$ $\sigma_{s2} : \text{水平方向地震力 (横方向) による曲げ応力及び}$ 圧縮応力 [MPa] $\sigma_{s4} : \text{鉛直方向地震力による応力 [MPa]}$ $\tau_{s2} : \text{水平方向地震力 (横方向) によるせん断応力 [MPa]}$	33MPa	35MPa	○
固定子	応力	せん断	$\tau_p = \frac{F}{n_p \cdot A_p}$ $F : \text{ピンにはたらく合成荷重 [N]}$ $n_p : \text{ピンの本数 [-]}$ $A_p : \text{ピンの断面積 [mm}^2\text{]}$	15MPa	129MPa	○
軸 (回転子)	応力	組合せ	$\sigma_s = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau_t^2}$ $\sigma_b : \text{軸にはたらく最大曲げ応力 [MPa]}$ $\tau_t : \text{軸に生じるねじり応力 [MPa]}$	127MPa	373MPa	○
軸受	荷重	(軸継手側)	$P_{o,r,2} = \text{Max}[P_1, P_2]$ $P_1 : \text{静等価ラジアル荷重 [N]}$ $P_2 : \text{静等価ラジアル荷重 [N]}$	3.919 × 10 ³ N		○
	荷重	(反軸継手側)	$P_{o,r,1} = \text{Max}[P_1, P_2]$ $P_1 : \text{静等価ラジアル荷重 [N]}$ $P_2 : \text{静等価ラジアル荷重 [N]}$	4.126 × 10 ³ N		○
固定子と回転子のクリアランス	変位	—	$y_{max} = \frac{F_{R1} \cdot \ell_{r,c} \cdot (\ell_{b,L}^2 - \ell_{r,c}^2)^{3/2}}{9 \cdot \sqrt{3 \cdot E \cdot I} \cdot \ell_{b,L}}$ $F_{R1} : \text{地震力により軸に作用する荷重 [N]}$ $\ell_{r,c} : \text{軸 (回転子) の重心位置 [mm]}$ $\ell_{b,L} : \text{反軸継手側・軸継手側 (反負荷側・負荷側) 軸受間距離 [mm]}$ $E : \text{軸の縦弾性係数 [MPa]}$ $I : \text{軸の断面二次モーメント [mm}^4\text{]}$	1.44mm	2.00mm	○

注記*1：算出過程については、添付書類「VI-2-4-3-1-2 燃料プール冷却浄化系ポンプの耐震性についての計算書」に記載。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別紙 2-3-10 表 ほう酸水注入系ポンプ用電動機 「詳細検討」 結果

評価部位	項目	応力分類	算出式*1	発生値	許容値	評価
端子箱 (取付ボルト)	応力	引張り	$\sigma_{tb} = \frac{F_{tb}}{A_{tb}}$ <p>F_{tb}: ボルトに作用する引張力[N] A_{tb}: 端子箱取付ボルトの断面積[mm²]</p>	4MPa	201MPa	○
	応力	せん断	$\tau_{tb} = \frac{Q_{tb}}{n_t \cdot A_{tb}}$ <p>Q_{tb}: ボルトに作用するせん断力[N] n_t: 端子箱取付ボルトの本数[-] A_{tb}: 端子箱取付ボルトの断面積[mm²]</p>	1MPa	155MPa	○
モータフレーム	応力	組合せ	$\sigma_s = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s4})^2 + 3 \cdot \tau_{s2}^2}$ <p>σ_{s1}: 電動機重量による応力[MPa] σ_{s2}: 水平方向地震力(横方向)による曲げ応力及び圧縮応力[MPa] σ_{s4}: 鉛直方向地震力による応力[MPa] τ_{s2}: 水平方向地震力(横方向)によるせん断応力[MPa]</p>	21MPa	40MPa	○
固定子	応力	せん断	$\tau_p = \frac{F}{n_p \cdot A_p}$ <p>F: ピンにはたらく合成荷重[N] n_p: ピンの本数[-] A_p: ピンの断面積[mm²]</p>	14MPa	129MPa	○
軸(回転子)	応力	組合せ	$\sigma_s = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau_t^2}$ <p>σ_b: 軸にはたらく最大曲げ応力[MPa] τ_t: 軸に生じるねじり応力[MPa]</p>	23MPa	456MPa	○
軸受	荷重	(軸継手側)	$P_{or,2} = \text{Max}[P_1, P_2]$ <p>P_1: 静等価ラジアル荷重[N] P_2: 静等価ラジアル荷重[N]</p>	1.231 × 10 ³ N		○
	荷重	(反軸継手側)	$P_{or,1} = \text{Max}[P_1, P_2]$ <p>P_1: 静等価ラジアル荷重[N] P_2: 静等価ラジアル荷重[N]</p>	1.223 × 10 ³ N		○
固定子と回転子のクリアランス	変位	—	$y_{max} = \frac{F_{R1} \cdot \ell_{r,c} \cdot (\ell_{b,L}^2 - \ell_{r,c}^2)^{3/2}}{9 \cdot \sqrt{3 \cdot E \cdot I} \cdot \ell_{b,L}}$ <p>F_{R1}: 地震力により軸に作用する荷重[N] $\ell_{r,c}$: 軸(回転子)の重心位置[mm] $\ell_{b,L}$: 反軸継手側・軸継手側(反負荷側・負荷側)軸受間距離[mm] E: 軸の縦弾性係数[MPa] I: 軸の断面二次モーメント[mm⁴]</p>	0.06mm	0.65mm	○

注記*1: 算出過程については、添付書類「VI-2-6-4-1-1 ほう酸水注入系ポンプの耐震性についての計算書」に記載。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別紙 2-3-11 表 非常用ガス処理系排風機用電動機 「詳細検討」 結果

評価部位	項目	応力分類	算出式*1	発生値	許容値	評価
端子箱 (取付ボルト)	応力	引張り	$\sigma_{tb} = \frac{F_{tb}}{A_{tb}}$ <p>F_{tb}: ボルトに作用する引張力[N] A_{tb}: 端子箱取付ボルトの断面積[mm²]</p>	4MPa	201MPa	○
	応力	せん断	$\tau_{tb} = \frac{Q_{tb}}{n_t \cdot A_{tb}}$ <p>Q_{tb}: ボルトに作用するせん断力[N] n_t: 端子箱取付ボルトの本数[-] A_{tb}: 端子箱取付ボルトの断面積[mm²]</p>	2MPa	155MPa	○
モータフレーム	応力	組合せ	$\sigma_s = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s4})^2 + 3 \cdot \tau_{s2}^2}$ <p>σ_{s1}: 電動機重量による応力[MPa] σ_{s2}: 水平方向地震力(横方向)による曲げ応力及び圧縮応力[MPa] σ_{s4}: 鉛直方向地震力による応力[MPa] τ_{s2}: 水平方向地震力(横方向)によるせん断応力[MPa]</p>	25MPa	40MPa	○
固定子	応力	せん断	$\tau_p = \frac{F}{n_p \cdot A_p}$ <p>F: ピンにはたらく合成荷重[N] n_p: ピンの本数[-] A_p: ピンの断面積[mm²]</p>	11MPa	129MPa	○
軸(回転子)	応力	組合せ	$\sigma_s = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau_t^2}$ <p>σ_b: 軸にはたらく最大曲げ応力[MPa] τ_t: 軸に生じるねじり応力[MPa]</p>	16MPa	456MPa	○
軸受	荷重	(軸継手側)	$P_{or,2} = \text{Max}[P_1, P_2]$ <p>P_1: 静等価ラジアル荷重[N] P_2: 静等価ラジアル荷重[N]</p>	1.033 × 10 ³ N		○
	荷重	(反軸継手側)	$P_{or,1} = \text{Max}[P_1, P_2]$ <p>P_1: 静等価ラジアル荷重[N] P_2: 静等価ラジアル荷重[N]</p>	1.031 × 10 ³ N		○
固定子と回転子のクリアランス	変位	—	$y_{max} = \frac{F_{R1} \cdot (\ell_{b,L} - \ell_{r,c}) \cdot \{ \ell_{b,L}^2 - (\ell_{b,L} - \ell_{r,c})^2 \}^{3/2}}{9 \cdot \sqrt{3 \cdot E \cdot I \cdot \ell_{b,L}}}$ <p>F_{R1}: 地震力により軸に作用する荷重[N] $\ell_{r,c}$: 軸(回転子)の重心位置[mm] $\ell_{b,L}$: 反軸継手側・軸継手側(反負荷側・負荷側)軸受間距離[mm] E: 軸の縦弾性係数[MPa] I: 軸の断面二次モーメント[mm⁴]</p>	0.05mm	1.00mm	○

注記*1: 算出過程については、添付書類「VI-2-9-4-4-1-3 非常用ガス処理系排風機の耐震計算書」に記載。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別紙 2-3-12 表 可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ用電動機 「詳細検討」 結果

評価部位	項目	応力分類	算出式*1	発生値	許容値	評価
モータフレーム	応力	組合せ	$\sigma_s = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s4})^2 + 3 \cdot \tau_{s2}^2}$ <p> σ_{s1}: 電動機重量による応力 [MPa] σ_{s2}: 水平方向地震力 (横方向) による曲げ応力及び圧縮応力 [MPa] σ_{s4}: 鉛直方向地震力による応力 [MPa] τ_{s2}: 水平方向地震力 (横方向) によるせん断応力 [MPa] </p>	36MPa	40MPa	○
固定子	応力	せん断	$\tau_p = \frac{F}{n_p \cdot A_p}$ <p> F: ピンにはたらく合成荷重 [N] n_p: ピンの本数 [-] A_p: ピンの断面積 [mm²] </p>	10MPa	110MPa	○
軸 (回転子)	応力	組合せ	$\sigma_s = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau_t^2}$ <p> σ_b: 軸にはたらく最大曲げ応力 [MPa] τ_t: 軸に生じるねじり応力 [MPa] </p>	100MPa	412MPa	○
軸受	荷重	(軸継手側)	$P_{or, 2} = \text{Max} [P_1, P_2]$ <p> P_1: 静等価ラジアル荷重 [N] P_2: 静等価ラジアル荷重 [N] </p>	1.302 × 10 ³ N		○
	荷重	(反軸継手側)	$P_{or, 1} = \text{Max} [P_1, P_2]$ <p> P_1: 静等価ラジアル荷重 [N] P_2: 静等価ラジアル荷重 [N] </p>	1.120 × 10 ³ N		○
固定子と回転子のクリアランス	変位	—	$y_{max} = \frac{F_{R1} \cdot \ell_{r,c} \cdot (\ell_{b,L}^2 - \ell_{r,c}^2)^{3/2}}{9 \cdot \sqrt{3} \cdot E \cdot I \cdot \ell_{b,L}}$ <p> F_{R1}: 地震力により軸に作用する荷重 [N] $\ell_{r,c}$: 軸 (回転子) の重心位置 [mm] $\ell_{b,L}$: 反軸継手側・軸継手側 (反負荷側・負荷側) 軸受間距離 [mm] E: 軸の縦弾性係数 [MPa] I: 軸の断面二次モーメント [mm⁴] </p>	0.57mm	1.00mm	○

注記*1: 算出過程については、添付書類「VI-2-9-4-4-2-2 可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワの耐震性についての計算書」に記載。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

ファンの「詳細検討」

1. 「詳細検討」対象設備

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、ファンの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は、別紙 2-4-1 表のとおり。

別紙 2-4-1 表 機能確認済加速度との比較による評価結果

設備名称	形式	方向	機能維持 評価用加速度*1	機能確認済 加速度*1	超過の 有無*2
非常用ガス処理系 排風機	遠心直結 型	水平方向	1.81	2.3	○
		鉛直方向	1.32	1.0	×
可燃性ガス濃度制御系 再結合装置ブロワ	遠心直動 型	水平方向	1.77	2.6	○
		鉛直方向	1.30	1.0	×

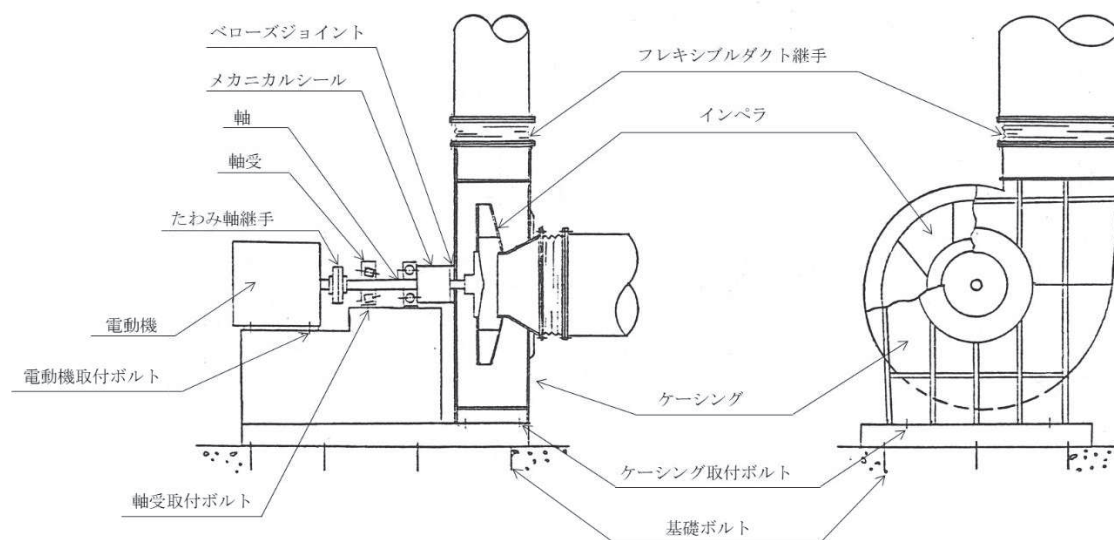
注記*1：加速度の単位：×9.8m/s²

*2：機能維持評価用加速度が機能維持確認済加速度を超過しない場合を「○」、超過した場合を「×」で示す。

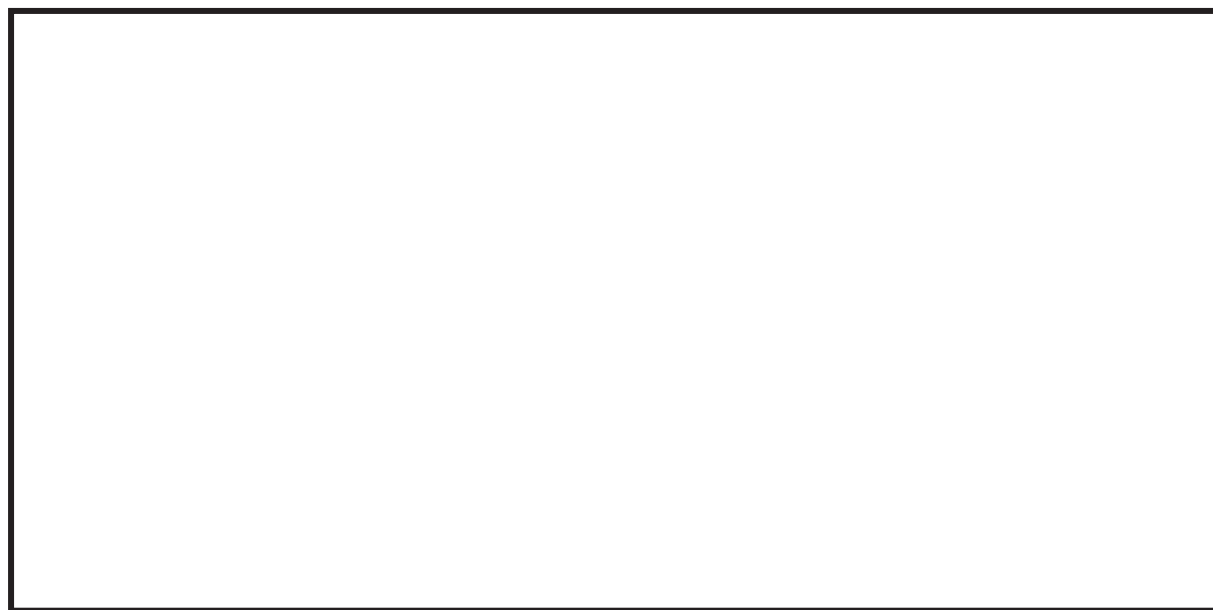
2. ファンの構造概要

原子力発電所で用いられているファンには、遠心式ファン及び軸流式ファンがあり、遠心式ファンは軸振動系の違いから直結型及び直動型に分類される。詳細評価が必要となった遠心式ファンの構造概要を別紙 2-4-1 図、別紙 2-4-2 図に示す。遠心直結型ファンは、電動機とインペラ（羽根車）が水平に伸びた軸により連結され、中間を 2 つの軸受で支持する構造となっている。遠心直動型ファンは、インペラが電動機回転軸端に直接取付けられており、電動機の軸受で荷重及びモーメントを支持する構造となっている。

以上のようにファンは分類されるが、いずれも振動性上大きく逸脱するものではないため、基本的な評価の考え方は共通なものとなる。



別紙 2-4-1 図 ファン（遠心直結型）の構造概要図



別紙 2-4-2 図 ファン（遠心直動型）の構造概要図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. ファンの基本評価項目

3.1 J E A G 4 6 0 1に基づく基本評価項目

J E A G 4 6 0 1において基本評価項目として定義されている評価部位は以下のとおりである。

○回転機能の健全性

- ・ 軸
- ・ 軸受
- ・ インペラとファンケーシング間のクリアランス

○静圧の確保及び密閉機能の健全性

- ・ ファンケーシング
- ・ 軸シール

○各要素及び全体支持機能の健全性

- ・ 軸系架台
- ・ ファンケーシング固定ボルト
- ・ 電動機固定ボルト
- ・ 基礎ボルト

○駆動用電動機の健全性

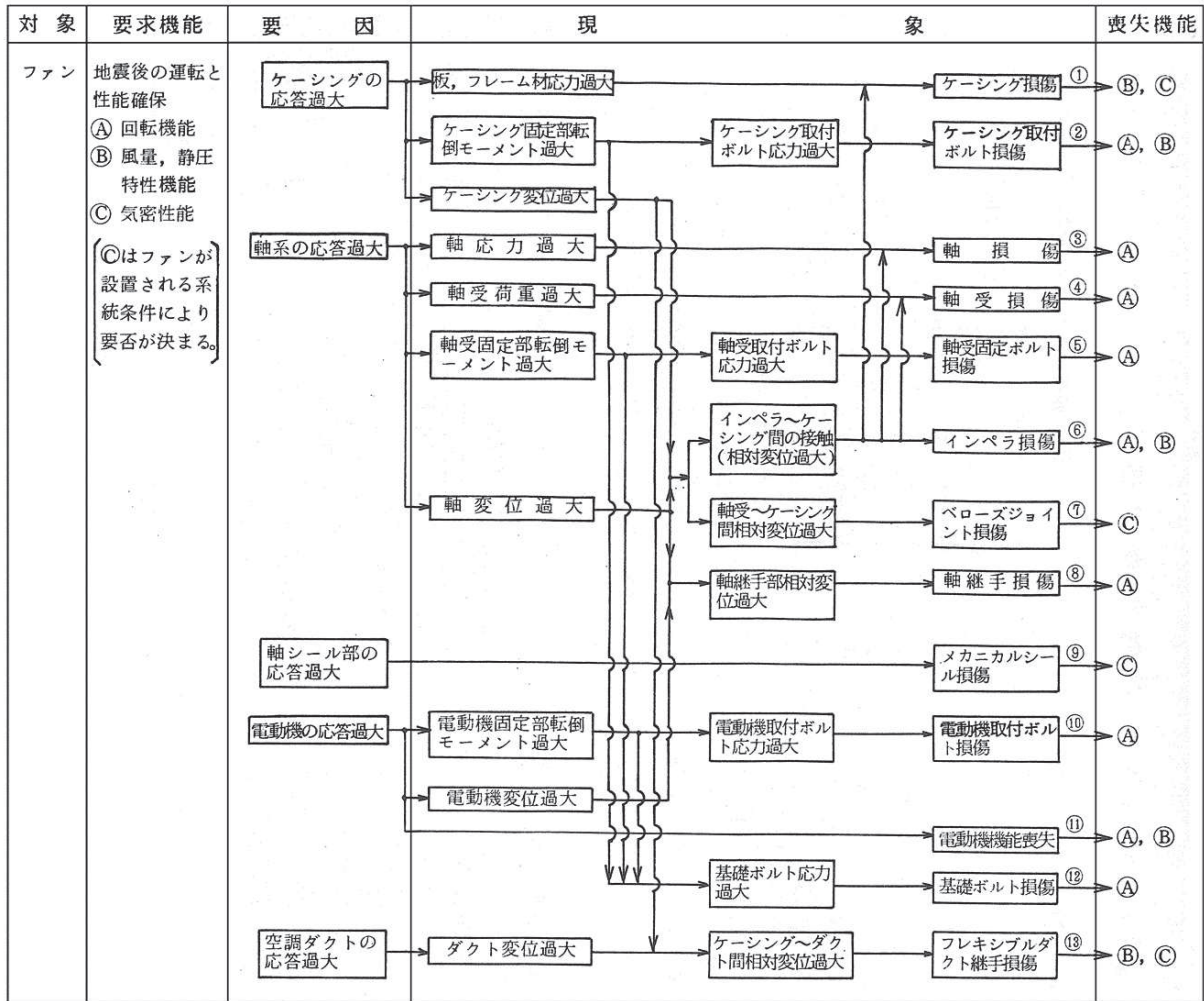
なお、上記の部位のうち、「解析等で剛であることが確認されたものや、軸流ファンのように形式的に剛であることが明白であるものについては適宜評価項目を省略することができる。」とされている。

3.2 耐特委で検討された基本評価項目

(1) 地震時異常要因分析

耐特委報告書におけるファンの地震時異常要因分析結果を別紙 2-4-3 図に示す。

なお、耐特委報告書では、ファンを構造面から遠心直結型、遠心直動型、及び軸流式の 3 タイプに分類した上で、各タイプの構成要素を全て含んだメカニカルシール付遠心直結型ファンを代表として分析し、基本評価項目を抽出している。



別紙 2-4-3 図 ファンの地震時異常要因分析図 (耐特委報告書)

(2) 基本評価項目の検討

耐特委報告書においては、地震時異常要因分析図に基づき、①~⑬の基本評価項目が抽出されており、これらの基本評価項目について評価することで、回転機能及び風量、静圧特性機能、気密性能が確認できるとされており、機能確認済加速度を超える地震加速度レベルにおいても、これら①~⑬の基本評価項目について、全て許容値以下に収まっていれば、動的機能は維持できると考えられる。

本項では、上記考え方に基づき、各基本評価項目における機能喪失に至る現象について(a)に遠心直結型ファンを、(b)に遠心直動型ファンを個別に記述する。

なお、全ての基本評価項目の中で、一つでも許容値を超えれば、当該機器は機能維持評価用加速度における動的機能が維持できないものとするが、各評価結果が概ね弾性域内に留まっていれば、各異常要因が複合し、新たな損傷モードが発生することはないと考えられる。

(a) 遠心直結型ファンの基本評価項目の検討

①ケーシングの健全性

ケーシングの応答が過大となることにより、ケーシング材の応力が過大となり損傷に至ることで、風量、静圧特性機能及び気密性能が喪失する。

②ケーシング取付ボルトの健全性

ケーシングの応答が過大となることにより、転倒モーメントにより取付ボルトの応力が過大となり損傷に至ることで、回転機能、風量及び静圧特性機能が喪失する。

③軸の健全性

軸系の応答が過大となることで軸応力が過大となり、軸が損傷することで回転機能が喪失する。

④軸受の健全性

軸系の応答が過大となることで軸受荷重が過大となり、軸受が損傷することで軸の回転が阻害され、回転機能が喪失する。

⑤軸受固定ボルトの健全性

軸系の応答が過大となることで軸受固定ボルトの応力が過大となり損傷に至ることで、回転機能が喪失する。

⑥インペラとケーシングとのクリアランスの健全性

ケーシングの応答が過大となることによりケーシング変位及び軸変位が過大になることによりインペラ・ケーシング間の接触が発生しインペラが損傷に至ることにより回転機能及び風量機能及び静圧特性機能、気密機能が喪失する。

⑦ベローズジョイントの健全性

ケーシング及び軸系の応答が過大となることにより、軸受－ケーシング間に過大な相対変位が生じることでベローズジョイントが損傷に至り、気密性能が喪失する。

⑧軸継手の健全性

被軸系と電動機の応答が過大となることにより、軸継手部に過大な相対変位が生じることで軸継手が損傷に至り、回転機能が喪失する。

⑨メカニカルシールの健全性

軸シール部の応答が過大となることにより、メカニカルシールが損傷に至ることで、気密性能が喪失する。

⑩電動機取付ボルトの健全性

電動機の応答が過大となって発生する転倒モーメントにより電動機を電動機固定部に接続する電動機取付ボルトに発生する応力が過大となり損傷に至り、電動機が転倒することにより回転機能が喪失する

⑪電動機の健全性

電動機の応答が過大となり電動機の機能が喪失し回転機能及び風量、静圧特性機能が喪失する。

⑫基礎ボルトの健全性

ケーシング、軸系及び電動機の応答が過大となることにより、ファンをベースに固定する基礎ボルトが損傷することにより回転機能が喪失する。

⑬フレキシブルダクト継手の健全性

ケーシング及び空調ダクトの応答が過大となることにより、ケーシングーダクト間に過大な相対変位が生じることでフレキシブルダクト継手が損傷に至り、風量、静圧特性機能及び気密性能が喪失する。

(b) 遠心直動型ファンの基本評価項目の検討

別紙 2-4-3 図の各基本評価項目における可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワが機能喪失に至る現象について以下に示す。

①ケーシングの健全性

ケーシングの応答が過大となることによるフレーム材の応力の増大、及びケーシング変位が過大となることにより、インペラ・ケーシング間の接触が発生することでケーシングが損傷に至ることにより風量機能及び静圧特性機能、気密機能が喪失する。

②ケーシング取付ボルトの健全性

ケーシングの応答が過大となることによりケーシング固定部のモーメントが過大となり、ケーシングと電動機を接続するケーシング取付ボルトが損傷にすることにより回転機能及び風量機能、静圧特性機能が喪失する。

③軸の健全性

軸系の応答が過大となることで軸応力が過大となり、軸が損傷することにより回転機能が喪失する。

④軸受の健全性

軸系の応答が過大となることで軸受荷重が過大となり、軸受が損傷することで軸の回転が阻害され、回転機能が喪失する。

⑤軸受固定ボルトの健全性

軸受固定ボルトは遠心直動型ファンの構成部材にはない為、評価対象外とする。

⑥インペラとケーシングとのクリアランスの健全性

ケーシングの応答が過大となることによりケーシング変位及び軸変位が過大になることによりインペラ・ケーシング間の接触が発生しインペラが損傷に至ることにより回転機能及び風量機能、静圧特性機能が喪失する。

⑦ベローズジョイントの健全性

ベローズジョイントは遠心直動型ファンの構成部材にはない為、評価対象外とする。

⑧軸継手の健全性

軸継手は遠心直動型ファンの構成部材にはない為、評価対象外とする。

⑨メカニカルシールの健全性

メカニカルシールは遠心直動型ファンの構成部材にはない為、評価対象外とする。

⑩電動機取付ボルトの健全性

電動機の応答が過大となって発生する転倒モーメントにより電動機を電動機固定部に接続する電動機取付ボルトに発生する応力が過大となり損傷に至り、電動機が転倒することにより回転機能が喪失する。

⑪電動機本体の健全性

電動機の応答が過大となり電動機の機能が喪失し回転機能及び風量、静圧特性機能が喪失する。

⑫基礎ボルトの健全性

ケーシング、軸系及び電動機の応答が過大となることにより、ファンをベースに固定する基礎ボルト^(注)が損傷にすることにより回転機能が喪失する。

(注)：可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワは、ブレース及びベース取付溶接部で固定されており、基礎ボルトはない。

⑬フレキシブルダクト継手の健全性

フレキシブルダクト継手は遠心直動型ファンの構成部材にはない為、評価対象外とする。

4. ファンの「詳細検討」方針

J E A G 4 6 0 1 及び耐特委の内容を踏まえた、女川原子力発電所第 2 号機の電動機の動的機能維持評価に係る「詳細検討」方針について別紙 2-4-2-1 表、別紙 2-4-2-2 表に示す。別紙 2-4-2-1 表、別紙 2-4-2-2 表に示す基本評価項目に対して耐震評価を実施し動的機能の健全性確認を実施する。

別紙 2-4-2-1 表 ファン（遠心直結型）の動的機能維持評価に係る「詳細検討」内容

No	基本評価項目	J E A G 4 6 0 1 の 基本評価項目	耐特委の 基本評価 項目	検討方針	記載箇所 *1
1	ケーシング	○	○	共通架台上にケーシング取付ボルトを用いて固定されており、地震時にファンケーシングの荷重はケーシング取付ボルトで受け持つことから、クリティカル部位である当該ボルトを代表とし、ファンケーシングの評価は対象外とする。	—
2	ケーシング取付ボルト	○	○	構造強度評価対象として耐震計算書で健全性を確認していることから動的機能維持評価の計算書への記載を省略する。*2	—（構造強度評価対象）
3	軸	○	○	材料力学等の公式により、主軸の発生応力（曲げ）の評価を実施。*2	②
4	軸受	○	○	材料力学等の公式により、軸受の発生荷重の評価を実施。*2	②
5	軸受固定ボルト	○	○	軸受固定ボルトは軸受の耐力を超える様に設計されており、軸受を代表として評価（計算書省略）。	—
6	インペラとケーシングとのクリアランス	○	○	軸変位量の増大によりインペラ・ケーシング間で接触が発生し、回転機能の喪失に関わるため、インペラとケーシングとのクリアランスを評価する。*2	②
7	ベローズ	—	○	ベローズは遠心直結型ファンに構造上存在しない為、評価対象外とする。	—
8	軸継手	○	○	軸継手は高い剛性を有しており、軸継手部では有意な変位は生じない設計としていることから評価対象外とする。	—
9	メカニカルシール	○	○	メカニカルシールは遠心直結型ファンに構造上存在しない為、評価対象外とする。	—
10	原動機取付ボルト	○	○	構造強度評価対象として耐震計算書で健全性を確認していることから動的機能維持評価の計算書への記載を省略する。*2	—（構造強度評価対象）
11	原動機	—	○	本評価項目の評価は、別項目で行うため省略する。	①
12	基礎ボルト	○	○	構造強度評価対象として耐震計算書で健全性を確認していることから動的機能維持評価の計算書への記載を省略する。*2	—（構造強度評価対象）
13	フレキシブルダクト継手	—	○	フレキシブルダクト継手は機器とダクトの接続部にあるが、フレキシブルダクト継手近傍のダクトにサポートを設置し、優位な変位が生じない設計であることを確認している（計算書省略）。	—

注記*1：本資料で詳述の場合「①」、添付書類に記載の場合「②」、省略の場合を「—」で示す。

*2：添付書類「VI-2-9-4-4-1-3 非常用ガス処理系排風機の耐震性についての計算書」に記載。

別紙 2-4-2-2 表 ファン（遠心直動型）の動的機能維持評価に係る「詳細検討」内容
（可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ）

No	基本評価項目	J E A G 4 6 0 1 の 基本評価項目	耐特委の 基本評価 項目	検討方針	記 載 箇 所*1
1	ケーシング	○	○	耐特委でケーシングに要求される機能維持の観点から、風量機能、静圧特性機能維持に関わる部品としてブロワケーシング、及び気密機能維に関わる部品としてキャンが該当する。上記部品は十分な剛性を有しており、地震時にはケーシング取付ボルトに最も荷重が作用することから、当該ボルトの発生応力を評価する。	—
2	ケーシング取付ボルト	○	○	上記の方針に従い、ケーシング取付ボルトに相当する部品としてキャン取付ボルト及びブロワケーシング取付ボルトの発生応力を評価する。*2	②
3	軸	○	○	別紙 2-3「電動機の「詳細検討」」で評価することから、軸の評価を省略する。	①
4	軸受	○	○	別紙 2-3「電動機の「詳細検討」」で評価することから、軸受の評価を省略する。	①
5	軸受固定ボルト	—	○	軸受固定ボルトは遠心直動型ファンの構成部材にはない為、評価対象外とする。	—
6	インペラとケーシングとのクリアランス	○	○	軸変位量の増大によりインペラ・ケーシング間で接触が発生し、回転機能の喪失に関わるため、インペラとケーシングとのクリアランス（隙間）を評価する。*2	②
7	ベローズ	—	○	ベローズは遠心直動型ファンの構成部材にはない為、評価対象外とする。	—
8	軸継手	○	○	軸継手は遠心直動型ファンの構成部材にはない為、評価対象外とする。	—
9	メカニカルシール	○	○	メカニカルシールは遠心直動型ファンの構成部材にはない為、評価対象外とする。	—
10	電動機取付ボルト	○	○	耐特委では電動機固定部のボルトが損傷することにより回転機能が喪失するとしており、電動機固定部として、ブラケットとの接続部であるブロワ電動機取付ボルト及びブラケット取付けボルトを評価対象部位とする。電動機のフレームは十分な剛性を有しており、地震時には当該ボルトに最も荷重が作用することから、当該ボルトに発生応力を評価する。*2	②
11	電動機本体	—	○	別紙 2-3「電動機の「詳細検討」」で評価することから、電動機本体の評価の記載を省略する。	①
12	基礎ボルト	○	○	耐特委における基礎ボルトに相当するブレース及びベース取付溶接部は構造強度評価対象として耐震計算書で健全性を確認していることから動的機能維持評価の計算書への記載を省略する。*2	—（構造強度評価対象）
13	フレキシブルダクト継手	—	○	フレキシブルダクト継手は遠心直動型ファンの構成部材にはない為、評価対象外とする。	—

注記*1：本資料で詳述の場合「①」、添付書類に記載の場合「②」、省略の場合を「—」で示す。

*2：添付書類「VI-2-9-4-4-2-2 可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワの耐震性についての計算書」に記載。

5. ファンの許容値の設定

ファンの動的機能維持評価の「詳細検討」内容に対する許容値を別紙 2-4-3-1 表，別紙 2-4-3-2 表に示す。

ファンの「詳細検討」対象設備に対する基本評価項目が許容値以下となることを確認することで、「詳細検討」対象設備の動的機能維持が確保されると判断する。

別紙 2-4-3-1 表 ファン（遠心直結型）の許容値
（非常用ガス処理系排風機）

No.	基本評価項目	許容値の設定
1	軸	回転機能の確保の観点から，軸の発生応力を弾性範囲内に留めるよう許容応力状態Ⅲ _A S を許容値とした。
2	軸受	軸受の機能維持の観点から，メーカー規定の軸受基本静定格荷重を許容値とした。
3	インペラとケーシングとのクリアランス	インペラとケーシングの接触により回転機能が阻害されるという観点から，これらの設計許容隙間を許容値とした。

別紙 2-4-3-2 表 ファン（遠心直動型）の許容値
（可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ）

No.	基本評価項目	許容値の設定
1	ケーシング取付ボルト	ブロワケーシング取付ボルト J E A G 4 6 0 1・補-1984 のその他の支持構造物の評価応力状態Ⅳ _A S を準用し設定した。
		キャン取付ボルト J E A G 4 6 0 1・補-1984 のその他の支持構造物の評価応力状態Ⅳ _A S を準用し設定した。
2	インペラとケーシングとのクリアランス	インペラとケーシングの接触により回転機能が阻害されるという観点から，これらの設計許容隙間を許容値とした。
3	電動機取付ボルト	ブロワ電動機取付ボルト J E A G 4 6 0 1・補-1984 のその他の支持構造物の評価応力状態Ⅳ _A S を準用し設定した。
		ブラケット取付ボルト J E A G 4 6 0 1・補-1984 のその他の支持構造物の評価応力状態Ⅳ _A S を準用し設定した。

6. ファンの「詳細検討」結果

ファンの動的機能維持評価の「詳細検討」対象設備に対する「詳細検討」結果を別紙 2-4-4 表、別紙 2-4-5 表に示す。

「詳細検討」対象設備であるファンに対する「詳細検討」結果は、いずれも、全ての評価部位の発生値が許容値を満足しており、「詳細検討」対象設備であるブロワの動的機能維持が確保されることを確認した。

なお、各ファンの動的機能維持評価の詳細については、個別の耐震計算書「VI-2-9-4-4-1-3 非常用ガス処理系排風機の耐震性についての計算書」、
「VI-2-9-4-4-2-2 可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワの耐震性についての計算書」に示す。

別紙 2-4-4 表 非常用ガス処理系排風機 「詳細検討」結果

評価部位	項目	応力分類	算出式*1	発生値	許容値	評価
軸	応力	曲げ	$\sigma_1 = M_{\max} / Z_2$ $\sigma_1 : \text{発生応力 [MPa]}$ $M_{\max} : \text{最大曲げモーメント [N} \cdot \text{mm]}$ $Z_2 : \text{軸断面係数 [mm}^3\text{]}$	76MPa	483MPa	○
軸受	荷重	—	$R = \frac{\ell_4 + L}{L} \cdot P$ $R = \frac{\ell_4}{L} \cdot P$ $R : \text{軸受荷重 [N]}$ $\ell_4 : \text{荷重位置 [mm]}$ $L : \text{軸受スパン長さ [mm]}$ $P : \text{合成荷重 [N]}$	15760N	60000N	○
インペラとケーシングとのクリアランス	変位	—	解析による			○

注記*1：算出過程については、添付書類「VI-2-9-4-4-1-3 非常用ガス処理系排風機の耐震性についての計算書」に記載。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別紙 2-4-5 表 可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロウ 「詳細検討」結果 (1/2)

評価部位	項目	応力分類	算出式*1	発生値	許容値	評価	
ケーシング 取付ボルト	ブロウケーシ ング取付ボル ト	応力	引張り	$\sigma_{b4} = \frac{F_{b4}}{n_{f14} \cdot A_{b4}}$ F _{b4} :ブロウケーシング取付ボルト に作用する引張力[N] n _{f14} :引張力を受けるとして期待す るブロウケーシング取付ボ ルトの本数[-] A _{b4} :ブロウケーシング取付ボルト の軸断面積[mm ²]	11MPa	152MPa	○
		応力	せん断	$\tau_{b4} = \frac{Q_{b4}}{n_4 \cdot A_{b4}}$ Q _{b4} :ブロウケーシング取付ボルト に作用するせん断力[N] n ₄ :ブロウケーシング取付ボルトの 本数[-] A _{b4} :ブロウケーシング取付ボルト の軸断面積[mm ²]	5MPa	117MPa	○
	キャン取付ボ ルト	応力	引張り	$\sigma_{b3} = \frac{F_{b3}}{n_{f13} \cdot A_{b3}}$ F _{b3} :キャン取付ボルトに作用する 引張力[N] n _{f13} :引張力を受けるとして期待す るキャン取付ボルトの本数 [-] A _{b3} :キャン取付ボルトの軸断面積 [mm ²]	18MPa	275MPa	○
		応力	せん断	$\tau_{b3} = \frac{Q_{b3}}{n_3 \cdot A_{b3}}$ Q _{b3} :キャン取付ボルトに作用する せん断力[N] n ₃ :キャン取付ボルトの本数[-] A _{b3} :キャン取付ボルトの軸断面積 [mm ²]	1MPa	211MPa	○
インペラとケーシングとの クリアランス	変位	—	解析による			○	

注記*1:算出過程については、添付書類「VI-2-9-4-4-2-2 可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロウの耐震性についての計算書」に記載。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別紙 2-4-5 表 可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ 「詳細検討」結果 (2/2)

評価部位	項目	応力分類	算出式*1	発生値	許容値	評価
電動機 取付ボルト	ブロワ電動機 取付ボルト	応力	引張り $\sigma_{b1} = \frac{F_{b1}}{A_{b1}}$ F _{b1} :ブロワ電動機取付ボルトに作用する引張力[N] A _{b1} :ブロワ電動機取付ボルトの軸断面積 [mm ²]	20MPa	158MPa	○
		応力	せん断 $\tau_{b1} = \frac{Q_{b1}}{n_1 \cdot A_{b1}}$ Q _{b1} :ブロワ電動機取付ボルトに作用するせん断力[N] n ₁ :ブロワ電動機取付ボルトの本数[-] A _{b1} :ブロワ電動機取付ボルトの軸断面積 [mm ²]	14MPa	122MPa	○
	ブラケット 取付ボルト	応力	引張り $\sigma_{b2} = \frac{F_{b2}}{A_{b2}}$ F _{b2} :ブラケット取付ボルトに作用する引張力[N] A _{b2} :ブラケット取付ボルトの軸断面積 [mm ²]	45MPa	158MPa	○
		応力	せん断 $\tau_{b2} = \frac{Q_{b2}}{n_2 \cdot A_{b2}}$ Q _{b2} :ブラケット取付ボルトに作用するせん断力[N] n ₂ :ブラケット取付ボルトの本数[-] A _{b2} :ブラケット取付ボルトの軸断面積 [mm ²]	7MPa	122MPa	○

注記*1: 算出過程については、添付書類「VI-2-9-4-4-2-2 可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワの耐震性についての計算書」に記載。

非常用ディーゼル発電設備（機関）の「詳細検討」

1. 「詳細検討」対象設備

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、非常用ディーゼル発電設備（機関）の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は、別紙 2-5-1 表のとおり。

別紙 2-5-1 表 機能確認済加速度との比較による評価結果

設備名称		形式	方向		機能維持 評価用 加速度*1	機能 確認済 加速度*1	超過の 有無*2
非常用ディーゼル発電設備（機関）	非常用ディーゼル機関	機関本体	機関	水平方向	1.67	1.1	×
				鉛直方向	1.17	1.0	×
			ガバナ	水平方向	1.67	1.8	○
				鉛直方向	1.17	1.0	×
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル機関	機関本体	機関	水平方向	1.67	1.1	×
				鉛直方向	1.17	1.0	×
			ガバナ	水平方向	1.67	1.8	○
				鉛直方向	1.17	1.0	×

注記*1：加速度の単位： $\times 9.8\text{m/s}^2$

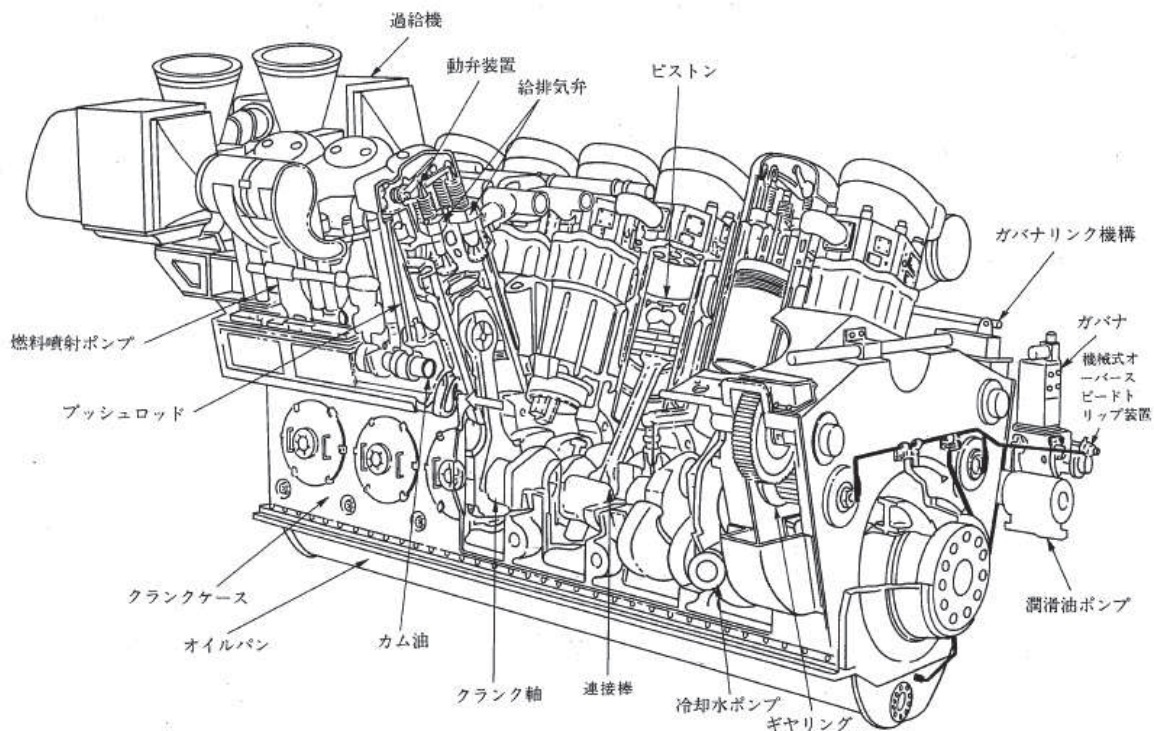
*2：機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過しない場合を「○」、超過した場合を「×」で示す。

2. 非常用ディーゼル機関及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル機関の構造概要

詳細評価が必要となった非常用ディーゼル機関及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル機関の構造概要を別紙 2-5-1 図及び別紙 2-5-2 図に示す。

非常用ディーゼル機関及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル機関は、ピストンの往復運動をクランク軸の回転運動に変え、発電機に回転力を与える機構である。そのクランクケースにはシリンダ、ピストン、接続棒、クランク軸シリンダ内への燃焼空気吸入用とシリンダ外への燃焼ガス排気用の吸排気弁、及びそれらの動弁機構、各機構へ回転を連結するギヤリング、燃焼用空気を圧縮する過給機等を付属又は内蔵している。また、出力制御のために、ガバナ、ガバナに接続するガバナリンク、燃料加減軸からなる機構及びオーバースピードトリップ装置が備えられている。

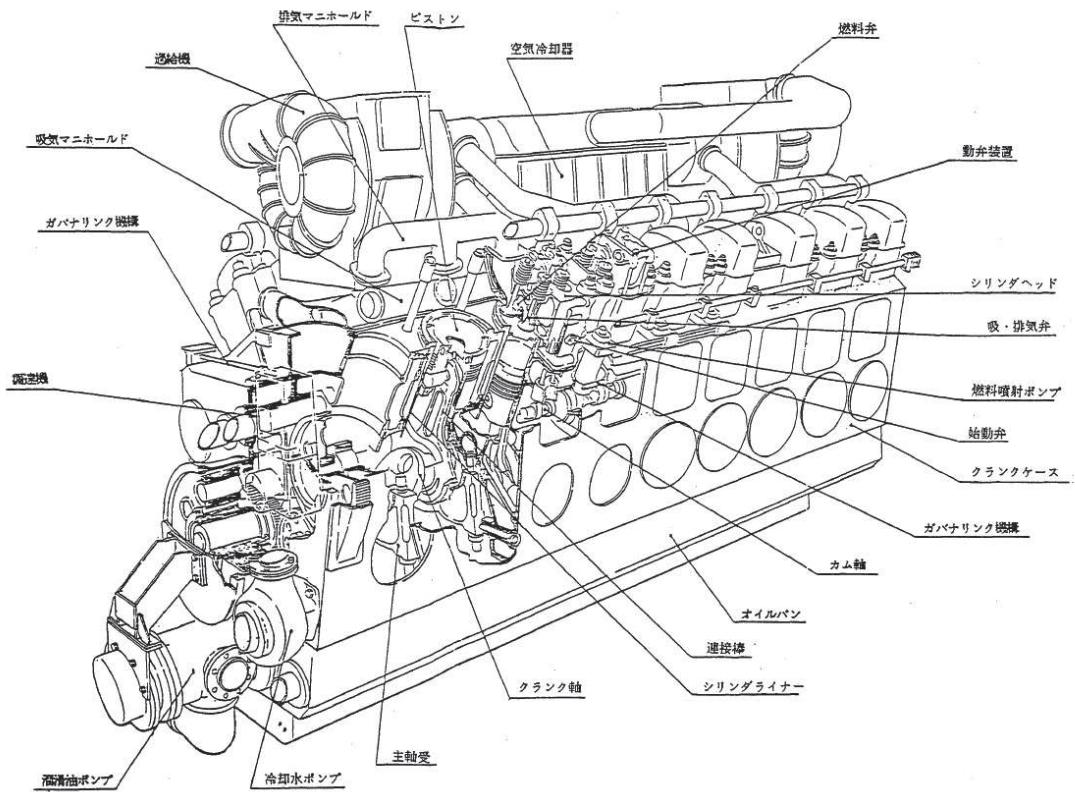
非常用ディーゼル機関及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル機関は J E A G 4 6 0 1 や耐特委で検討されている非常用ディーゼル発電機と同様の機構、構造であり特有の形状や構成部品の違いはない。



出典： J E A G 4 6 0 1

(女川 2 号非常用ディーゼル機関は 18 気筒であるが、基本構造は同じ)

別紙 2-5-1 図 非常用ディーゼル機関の構造図



出典：(財) 原子力工学試験センター原子力発電施設耐震信頼性実証試験に関する調査報告書
 その6 非常用ディーゼル発電機システム耐震実証試験

別紙 2-5-2 図 高圧炉心スプレイ系ディーゼル機関の構造図

3. 非常用ディーゼル発電設備（機関）の基本評価項目

3.1 J E A G 4 6 0 1に基づく基本評価項目

J E A G 4 6 0 1において基本評価項目として定義されている評価部位は以下のとおりである。

- ガバナリンクの健全性
- 機械式オーバースピードトリップ装置の健全性
- 始動弁，主始動弁の健全性
- 燃料噴射ポンプの健全性
- 冷却水ポンプの健全性
- 潤滑油ポンプの健全性
- 過給機の健全性
- 排気管ベローズの健全性
- ピストン，クランク軸，連結棒の健全性
- 基準軸受の健全性
- カム軸の健全性
- ギヤリングの健全性
- 動弁装置の健全性
- ディーゼル機関本体の健全性
- 潤滑油サンプタンクの波高
- ガバナの健全性

なお、上記の部位のうち、「ガバナリンク，機械式オーバースピードトリップ装置，始動弁・主始動弁，燃料噴射ポンプ，ピストン，クランク軸，連結棒，基準軸受，カム軸，ギヤリング，動弁装置」については、「高圧の爆発圧力による力，回転慣性及び熱的荷重に十分耐えられる材料，構造，強度を有しており，地震加速度による影響は非常に小さいこと（中略），評価を省略することができる。」とされている。また，「冷却水ポンプ，潤滑油ポンプ，過給機」については，「地震時においても取付ボルトの強度，回転部のクリアランスに十分な余裕があることが確認されており，評価を省略することができる。」とされている。

3.2 耐特委で検討された基本評価項目

耐特委においては，以下の6項目に分類し検討を実施している。

- a. ディーゼル機関本体
- b. 出力制御系
- c. 始動空気系
- d. 燃料油系
- e. 冷却水系
- f. 潤滑油系

a. ディーゼル機関本体

(a) 地震時異常要因分析

耐特委における非常用ディーゼル発電機の地震時異常要因分析結果（ディーゼル機関本体）を別紙 2-5-3 図に示す。

対象	要求機能	要因	現象	喪失機能
①ディーゼル機関本体	(往復動の継続)	ピストン応答過大	ピストンピンメタル面圧増大 → ピストンピンメタル損傷 ①	機関運転不能
		(回転の継続)	クランク軸応答過大	軸受荷重過大 → 軸受の損傷 ②
	カム軸応答過大	軸受荷重過大 → 軸受の損傷 ③	機関運転不能	
	ギヤリングの応答過大	軸受荷重過大	アイドルギヤ軸受の損傷 ④	機関運転不能
			軸の曲げ荷重過大 → 軸の曲がり ④	
			歯車の曲げ応力過大 → 歯の折損 ④	
	(往復動と回転の連続)	連接棒応答過大	軸受荷重過大 → 軸受の損傷 ⑤	機関運転不能
	(開閉動作の継続)	動弁装置応答過大 (アッシュロッドおよび吸排気弁含む)	地震慣性力による弁の誤開閉 ⑥	機関運転不能
			軸受荷重過大 → 軸受の損傷 ⑥	
			バルブレバーの破損 ⑥	
			アッシュロッドの曲り ⑥	
	(本体の固定)	クランクケース・シリン ドライナー応答過大	クランク軸の軸方向移動 → 基準軸受損傷 ⑦	機関運転不能
			転倒モーメント過大 → 基礎ボルト折損 ⑧	

別紙 2-5-3 図 非常用ディーゼル発電機（ディーゼル機関本体）の地震時異常要因分析図
(耐特委報告書)

(b) 基本評価項目の検討

耐特委報告書においては、地震時異常要因分析図に基づき、以下の①～⑧の評価項目が抽出され、これらの項目について評価することで、往復動の継続、回転の継続、往復動と回転動の連続、開閉動作の継続及び本体の固定を確認できるとされている。これは、機能確認済加速度を超える地震加速度レベルにおいても、これらの①～⑧について全て許容値以下に収まっていれば、動的機能が維持できると考えられる。本項では、上記考えに基づき、各基本評価項目における機能喪失に至る現象について記述する。

なお、全評価項目の中で、一つでも許容値を超えれば、当該機器は機能維持評価用加速度における動的機能が維持できないものとするが、各評価結果が概ね弾性域内に留まっており、各異常要因が複合し、新たな損傷モードが発生することはないと考えている。

① ピストンの健全性

ピストンの応答が過大となることにより、ピストンピンメタル面圧が増大し損傷に至り機関運転不能となる。

② クランク軸の健全性

クランク軸の応答が過大となることにより、軸受荷重が過大となり損傷に至り機関運転不能となる。

③ カム軸の健全性

カム軸の応答が過大となることにより、軸受荷重が過大となり損傷に至り機関運転不能となる。

④ ギヤリングの健全性

ギヤリングの応答が過大となることにより、以下の要因により機関運転不能となる。

- ・アイドルギヤ軸受荷重が過大となり軸受損傷。
- ・軸の曲げ荷重が過大となり軸の曲がり発生。
- ・歯車の曲げ応力が過大となり歯の折損。

⑤ 連接棒の健全性

連接棒の応答が過大となることにより、軸受荷重が過大となり損傷に至り機関運転不能となる。

⑥ 動弁装置の健全性

動弁装置の応答が過大となることにより、以下の要因により機関運転不能となる。

- ・地震慣性力による弁の誤開閉。
- ・バルブレバー軸受の荷重が過大となり軸受損傷。
- ・バルブレバー軸受の損傷に伴うバルブレバー損傷。
- ・プッシュロッドの曲がり発生。

⑦ 基準軸受の健全性

クランクケース及びシリンダーライナーの応答が過大となることにより、クランク軸の軸方向移動により基準軸受の損傷に至り機関運転不能となる。

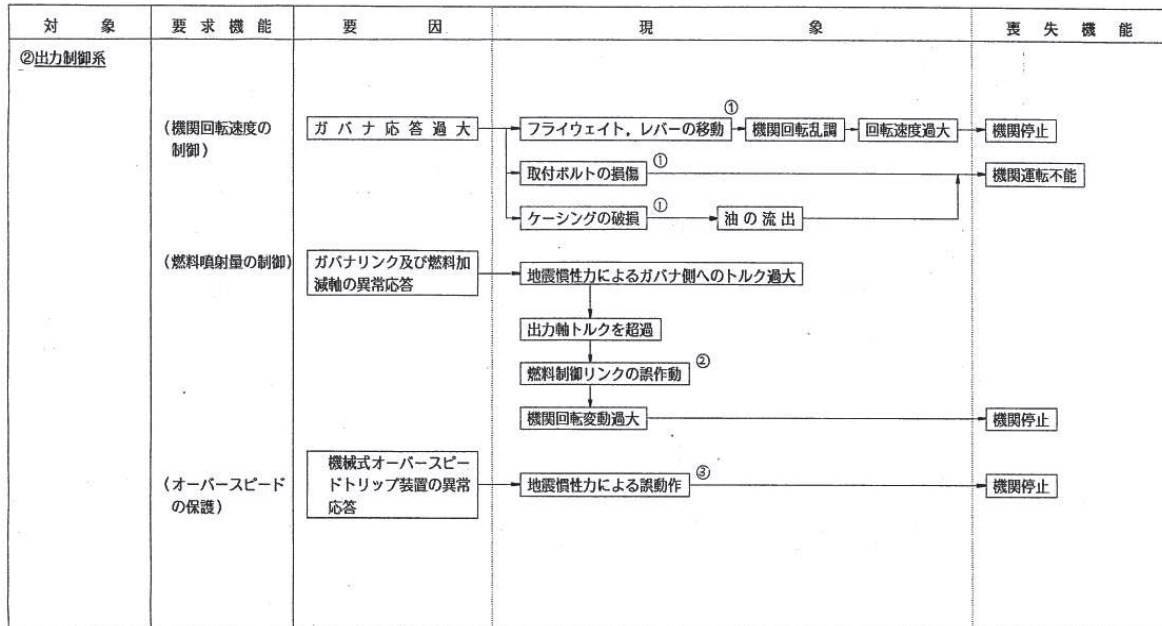
⑧ 機関本体の健全性

機関本体(クランクケース・シリンダライナー含む)の応答が過大となることにより、機関の転倒モーメントが過大となり基礎ボルト及び機関取付ボルトの折損に至り機関運転不能となる。

b. 出力制御系

(a) 地震時異常要因分析

耐特委における非常用ディーゼル発電機の地震時異常要因分析結果（出力制御系）を別紙2-5-4図に示す。



別紙 2-5-4 図 非常用ディーゼル発電機（出力制御系）の地震時異常要因分析図
(耐特委報告書)

(b) 基本評価項目の検討

耐特委報告書においては、地震時異常要因分析図に基づき、①～③の評価項目が抽出され、これらの項目について評価することで、機関回転速度の制御、燃料噴射量の制御及びオーバースピードの保護を確認できるとされている。これは、機能確認済加速度を超える地震加速度レベルにおいても、これらの①～③について全て許容値以下に収まっていれば、動的機能が維持できると考えられる。本項では、上記考えに基づき、各基本評価項目における機能喪失に至る現象について記述する。

なお、全評価項目の中で、一つでも許容値を超えれば、当該機器は機能維持評価用加速度における動的機能が維持できないものとするが、各評価結果が概ね弾性域内に留まっており、各異常要因が複合し、新たな損傷モードが発生することはないと考えている。

① ガバナの健全性

ガバナの応答が過大となることにより、以下の要因により機関運転不能となる。

- ・フライウエイト、レバーが移動し、機関回転乱調による回転速度過大。
- ・取付ボルトの損傷。
- ・ケーシングの破損による油の流出。

② ガバナリンク及び燃料加減軸の健全性

ガバナリンク及び燃料加減軸の異常応答により，地震慣性力によるガバナ側へのトルクが過大となり出力軸トルクを超過するため，燃料制御リンクが誤作動し機関回転変動過大となり機関停止する。

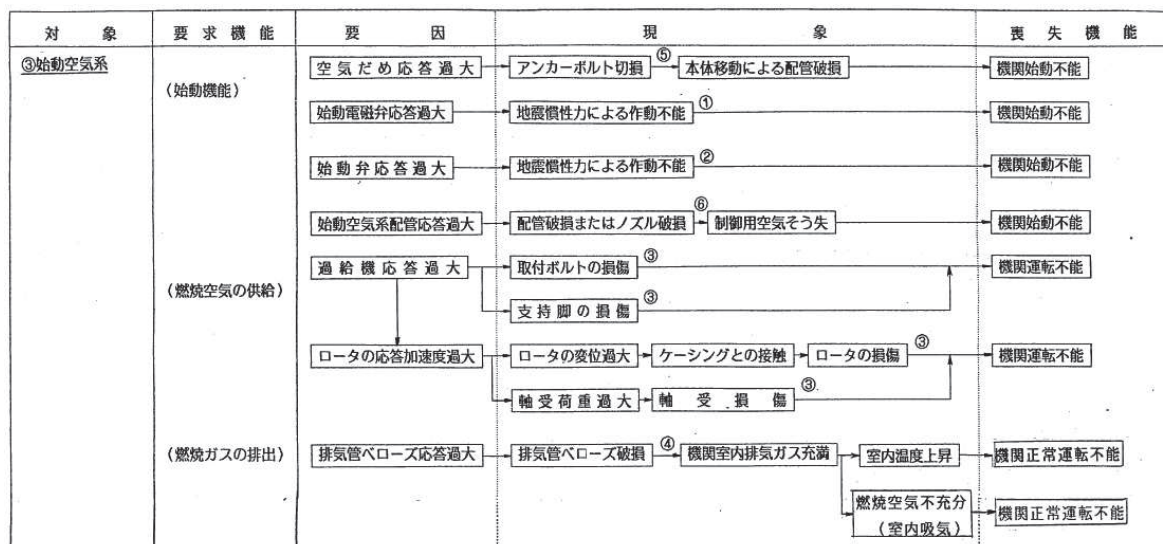
③ オーバースピードトリップ装置の健全性

機械式オーバースピードトリップ装置の異常応答により，地震慣性力による誤動作が発生し機関停止する。

c. 始動空気系

(a) 地震時異常要因分析

耐特委における非常用ディーゼル発電設備の地震時異常要因分析結果（始動空気系）を別紙 2-5-5 図に示す。



別紙 2-5-5 図 非常用ディーゼル発電機（始動空気系）の地震時異常要因分析図
(耐特委報告書)

(b) 基本評価項目の検討

耐特委報告書においては、地震時異常要因分析図に基づき、①～⑥の評価項目が抽出され、これらの項目について評価することで、始動機能、燃焼空気の供給及び燃焼ガスの排出を確認できるとされている。これは、機能確認済加速度を超える地震加速度レベルにおいても、これらの①～⑥について全て許容値以下に収まっていれば、動的機能が維持できると考えられる。本項では、上記考えに基づき、各基本評価項目における機能喪失に至る現象について記述する。

なお、全評価項目の中で、一つでも許容値を超えれば、当該機器は機能維持評価用加速度における動的機能が維持できないものとするが、各評価結果が概ね弾性域内に留まっており、各異常要因が複合し、新たな損傷モードが発生することはないと考えている。

① 始動電磁弁の健全性

始動電磁弁の応答が過大となることにより、地震慣性力による作動不能に至り機関始動不能となる。

② 始動弁の健全性

始動弁の応答が過大となることにより、地震慣性力による作動不能に至り機関始動不能となる。

③ 過給機の健全性

過給機（ロータ含む）の応答が過大となることにより、以下の要因により燃焼空気の供給機能の喪失に至り機関運転不能となる。

- ・ 取付ボルトの損傷。
- ・ 支持脚の損傷。
- ・ ロータ変位が過大となりケーシングと接触することによるロータ損傷。
- ・ 軸受荷重が過大となり軸受損傷。

④ 排気管ベローズの健全性

排気管ベローズの応答が過大となることにより、排気管ベローズが破損に至り機関室内に排気ガスが充満することで、室内温度上昇又は燃焼空気不十分（室内吸気の場合）となり機関の正常運転が不能となる。

⑤ 空気だめの健全性

空気だめの応答が過大となることにより、アンカーボルトが折損し本体が移動することで配管が破損に至り機関始動不能となる。

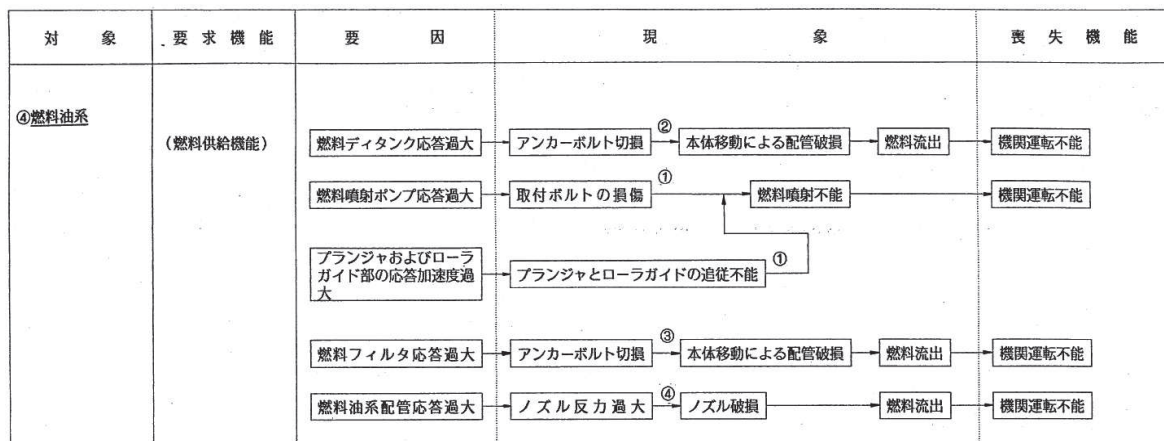
⑥ 始動空気系配管の健全性

始動空気系配管の応答が過大となることにより、配管又はノズルが破損し制御用空気を喪失することで機関始動不能となる。

d. 燃料油系

(a) 地震時異常要因分析

耐特委における非常用ディーゼル発電設備の地震時異常要因分析結果（燃料油系）を別紙2-5-6図に示す。



別紙 2-5-6 図 非常用ディーゼル発電機（燃料油系）の地震時異常要因分析図（耐特委報告書）

(b) 基本評価項目の検討

耐特委報告書においては、地震時異常要因分析図に基づき、①～④の評価項目が抽出され、これらの項目について評価することで、燃料供給機能の維持が確認できるとされている。これは、機能確認済加速度を超える地震加速度レベルにおいても、これらの①～④について全て許容値以下に収まっていれば、動的機能が維持できると考えられる。本項では、上記考えに基づき、各基本評価項目における機能喪失に至る現象について記述する。

なお、全評価項目の中で、一つでも許容値を超えれば、当該機器は機能維持評価用加速度における動的機能が維持できないものとするが、各評価結果が概ね弾性域内に留まっており、各異常要因が複合し、新たな損傷モードが発生することはないと考えている。

① 燃料噴射ポンプの健全性

燃料噴射ポンプの応答が過大となることにより、取付ボルトが損傷し燃料噴射不能となり機関運転不能となる。また、プランジャ及びローラガイド部の応答が過大となることにより、プランジャ及びローラガイドが追従不能となり燃料噴射不能となり機関運転不能となる。

② 燃料デイトンクの健全性

燃料デイトンクの応答が過大となることにより、アンカーボルトが折損し本体が移動することで配管が破損し燃料流出が発生し機関運転不能となる。

③ 燃料フィルタの健全性

燃料フィルタの応答が過大となることにより、アンカーボルトが折損し本体が移動す

ることで配管が破損し燃料流出が発生し機関運転不能となる。

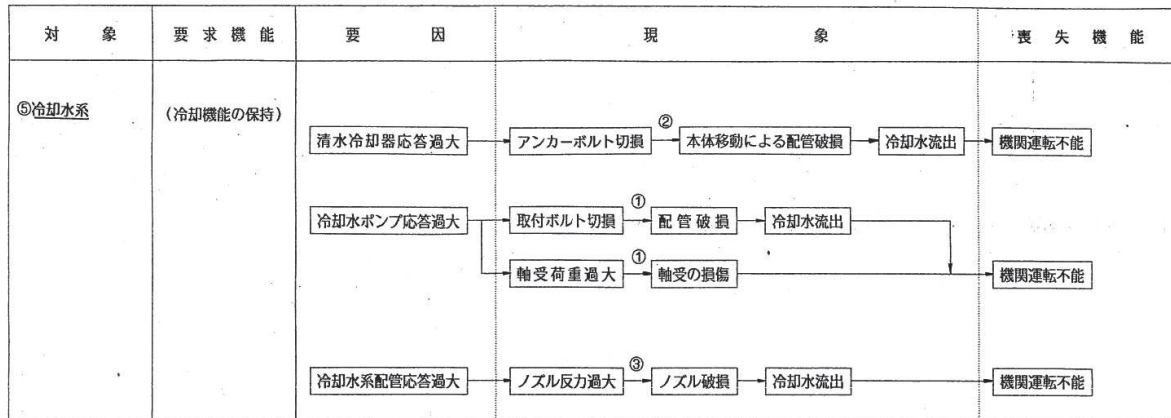
④ 燃料油系配管の健全性

燃料油系配管の応答が過大となることにより、ノズル反力が過大となりノズルが破損することで燃料流出が発生し機関運転不能となる。

e. 冷却水系

(a) 地震時異常要因分析

耐特委における非常用ディーゼル発電設備の地震時異常要因分析結果（冷却水系）を別紙2-5-7図に示す。



別紙 2-5-7 図 非常用ディーゼル発電機（冷却水系）の地震時異常要因分析図（耐特委報告書）

(b) 基本評価項目の検討

耐特委報告書においては、地震時異常要因分析図に基づき、①～③の評価項目が抽出され、これらの項目について評価することで、冷却機能の保持が確認できるとされている。これは、機能確認済加速度を超える地震加速度レベルにおいても、これらの①～③について全て許容値以下に収まっていれば、動的機能が維持できると考えられる。本項では、上記考えに基づき、各基本評価項目における機能喪失に至る現象について記述する。

なお、全評価項目の中で、一つでも許容値を超えれば、当該機器は機能維持評価用加速度における動的機能が維持できないものとするが、各評価結果が概ね弾性域内に留まっており、各異常要因が複合し、新たな損傷モードが発生することはないと考えている。

① 冷却水ポンプの健全性

冷却水ポンプの応答が過大となることにより、取付ボルトが折損し冷却水配管が破損することで冷却水流出が発生し機関運転不能となる。また、軸受荷重が過大になり軸受損傷に至り機関運転不能となる。

② 清水冷却器の健全性

清水冷却器の応答が過大となることにより、アンカーボルトが折損し本体が移動することで配管が破損し冷却水流出が発生し機関運転不能となる。

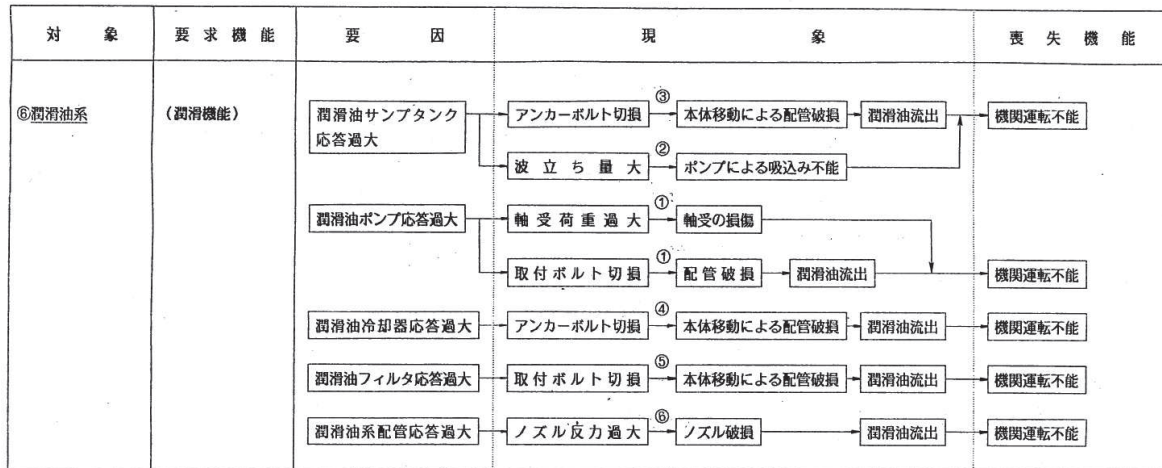
③ 冷却水系配管の健全性

冷却水系配管の応答が過大となることにより、ノズル反力が過大となりノズルが破損することで冷却水流出が発生し機関運転不能となる。

f. 潤滑油系

(a) 地震時異常要因分析

耐特委における非常用ディーゼル発電設備の地震時異常要因分析結果（潤滑油系）を別紙 2-5-8 図に示す。



別紙 2-5-8 図 非常用ディーゼル発電機（潤滑油系）の地震時異常要因分析図（耐特委報告書）

(b) 基本評価項目の検討

耐特委報告書においては、地震時異常要因分析図に基づき、①～⑥の評価項目が抽出され、これらの項目について評価することで、潤滑機能の維持が確認できるとされている。これは、機能確認済加速度を超える地震加速度レベルにおいても、これらの①～⑥について全て許容値以下に収まっていれば、動的機能が維持できると考えられる。本項では、上記考えに基づき、各基本評価項目における機能喪失に至る現象について記述する。

なお、全評価項目の中で、一つでも許容値を超えれば、当該機器は機能維持評価用加速度における動的機能が維持できないものとするが、各評価結果が概ね弾性域内に留まっており、各異常要因が複合し、新たな損傷モードが発生することはないと考えている。

① 潤滑油ポンプの健全性

潤滑油ポンプの応答が過大となることにより、軸受荷重が過大となり軸受損傷に至り機関運転不能となる。また、取付ボルトが切損し本体が移動することで配管が破損し潤滑油流出が発生し機関運転不要となる。

② 潤滑油サンプタンク（スロッシング）の健全性

潤滑油サンプタンクの応答が過大となることにより、内包する潤滑油の波立ちが過大となりポンプ吸込み不能に至り機関運転不能となる。

③ 潤滑油サンプタンクの健全性

潤滑油サンプタンクの応答が過大となることにより、アンカーボルトが折損し本体が

移動することで配管が破損し潤滑油流出が発生し機関運転不能となる。

④ 潤滑油冷却器の健全性

潤滑油冷却器の応答が過大となることにより、アンカーボルトが折損し本体が移動することで配管が破損し潤滑油流出が発生し機関運転不能となる。

⑤ 潤滑油フィルタの健全性

潤滑油フィルタの応答が過大となることにより、取付ボルトが折損し本体が移動することで配管が破損し潤滑油流出が発生し機関運転不能となる。

⑥ 潤滑油系配管の健全性

潤滑油配管の応答が過大となることにより、ノズル反力が過大となりノズルが破損することで潤滑油流出が発生し機関運転不能となる。

4. 非常用ディーゼル発電設備（機関）の「詳細検討」方針

J E A G 4 6 0 1 及び耐特委の内容を踏まえた、女川原子力発電所第 2 号機のディーゼル発電設備（機関）の動的機能維持評価に係る「詳細検討」方針について、3 項で検討した 6 つの分類ごとに整理した結果を以下に示す。

なお、(財)原子力工学試験センターで実施された耐震信頼性実証試験*（以下「耐震信頼性実証試験」という。）の結果を踏まえて評価対象外としている基本評価項目を別添-2-5-1 に、ディーゼル発電設備（機関）とは別設備として評価を実施している設備を別添-2-5-2 に、潤滑油のスロッシング評価に関連する内容を別添-2-5-3 にそれぞれ詳細を示す。

注記*：「原子力発電施設耐震信頼性実証試験（平成 4 年 3 月）」（(財)原子力工学試験センター）

4.1 ディーゼル機関本体

ディーゼル機関本体の「詳細検討」方針を別紙 2-5-2 表に示す。

別紙 2-5-2 表 ディーゼル機関本体の「詳細検討」方針

No	基本評価項目	J E A G 4 6 0 1 の 基本評価項目	耐特委の 基本評価 項目	検討方針	記載箇所*1
1	ピストン	○	○	ピストンピンメタルは、高圧の爆発力による力、回転慣性及び熱的荷重に十分耐えられる材料、構造、強度を有しており、地震加速度による影響は非常に小さいことが確認されている。耐震信頼性実証試験の限界加速度が女川 2 号機の地震加速度に対し、十分な裕度があることを確認し動的機能維持評価の計算書への記載を省略する (別添-2-5-1)。	① (別添-2-5-1)
2	クランク軸	○	○	主軸受は、高圧の爆発力による力、回転慣性及び熱的荷重に十分耐えられる材料、構造、強度を有しており、地震加速度による影響は非常に小さいことが確認されている。耐震信頼性実証試験の限界加速度が女川 2 号機の地震加速度に対し、十分な裕度があることを確認し動的機能維持評価の計算書への記載を省略する (別添-2-5-1)。	① (別添-2-5-1)
3	カム軸	○	○	主軸受は、高圧の爆発力による力、回転慣性及び熱的荷重に十分耐えられる材料、構造、強度を有しており、地震加速度による影響は非常に小さいことが確認されている。耐震信頼性実証試験の限界加速度が女川 2 号機の地震加速度に対し、十分な裕度があることを確認し動的機能維持評価の計算書への記載を省略する (別添-2-5-1)。	① (別添-2-5-1)
4	ギャリリング	○	○	アイドルギヤ軸受、軸及び歯車は、高圧の爆発力による力、回転慣性及び熱的荷重に十分耐えられる材料、構造、強度を有しており、地震加速度による影響は非常に小さいことが確認されている。耐震信頼性実証試験の限界加速度が女川 2 号機の地震加速度に対し、十分な裕度があることを確認し動的機能維持評価の計算書への記載を省略する (別添-2-5-1)。	① (別添-2-5-1)
5	連接棒	○	○	クランクピンメタルは、高圧の爆発力による力、回転慣性及び熱的荷重に十分耐えられる材料、構造、強度を有しており、地震加速度による影響は非常に小さいことが確認されている。耐震信頼性実証試験の限界加速度が女川 2 号機の地震加速度に対し、十分な裕度があることを確認し動的機能維持評価の計算書への記載を省略する (別添-2-5-1)。	① (別添-2-5-1)
6	動弁装置	○	○	バルブレバー軸受、プッシュロッド、バルブレバー及びプッシュロッドの追従性は、高圧の爆発力による力、回転慣性及び熱的荷重に十分耐えられる材料、構造、強度を有しており、地震加速度による影響は非常に小さいことが確認されている。耐震信頼性実証試験の限界加速度が女川 2 号機の地震加速度に対し、十分な裕度があることを確認し動的機能維持評価の計算書への記載を省略する (別添-2-5-1)。	① (別添-2-5-1)
7	基準軸受	○	○	基準軸受は、往復動の継続、回転の継続、往復動と回転道の連続、開閉動作の継続の観点から、隔壁が回転体のスラスト方向荷重を支持可能であること及びスラスト軸受機能が確保されることを確認するため、動的機能維持の評価項目として選定する。*2	②
8	機関本体	○	○	機関本体の健全性は固定部の取付ボルト及び基礎ボルトの構造強度を確認する。ボルト類については、ディーゼル発電設備の構造強度評価の評価対象として耐震計算書で健全性を確認していることから動的機能維持評価の計算書への記載を省略する。*2	— (構造強度評価対象)

注記*1：本資料で詳述の場合「①」、添付書類に記載の場合「②」、省略の場合「—」で示す。

*2：添付書類「VI-2-10-1-2-1-1 非常用ディーゼル発電設備 機関・発電機の耐震性についての計算書」及び「VI-2-10-1-2-2-1 高圧炉系スプレイ系ディーゼル発電設備 機関・発電機の耐震性についての計算書」に記載。

4.2 出力制御系

出力制御系の「詳細検討」方針を別紙 2-5-3 表に示す。

別紙 2-5-3 表 出力制御系の「詳細検討」方針

No	基本評価項目	J E A G 4 6 0 1 の 基本評価項目	耐特委の 基本評価 項目	検討方針	記載箇所*1
1	ガバナ	○	○	ディーゼル機関の回転速度の制御の観点から動的機能維持の評価項目として選定する。*2	②
2	ガバナリンク及び燃料加減軸	○	○	ガバナリンク及び燃料加減軸は、地震加速度による影響は非常に小さいことが確認されている。耐震信頼性実証試験の限界加速度が女川 2 号機の地震加速度に対し、十分な余裕があることを確認し動的機能維持評価の計算書への記載を省略する（別添-2-5-1）。	① (別添-2-5-1)
3	オーバースピードトリップ装置	○	○	機械式オーバースピードトリップ装置は、地震加速度による影響は非常に小さいことが確認されている。耐震信頼性実証試験の限界加速度が女川 2 号機の地震加速度に対し、十分な余裕があることを確認し動的機能維持評価の計算書への記載を省略する（別添-2-5-1）。	① (別添-2-5-1)

注記*1：本資料で詳述の場合「①」、添付書類に記載の場合「②」、省略の場合を「-」で示す。

*2：添付書類「VI-2-10-1-2-1-1 非常用ディーゼル発電設備 機関・発電機の耐震性についての計算書」及び「VI-2-10-1-2-2-1 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 機関・発電機の耐震性についての計算書」に記載。

4.3 始動空気系

始動空気系の「詳細検討」方針を別紙 2-5-4 表に示す。

別紙 2-5-4 表 始動空気系の「詳細検討」方針

No	基本評価項目	J E A G 4 6 0 1 の 基本評価項目	耐特委の 基本評価 項目	検討方針	記載箇所*1
1	始動電磁弁	—	○	始動電磁弁の健全性は非常用ディーゼル発電設備（機関）とは別設備として、始動空気系配管の一部として耐震 S クラスとして評価を実施し構造健全性を確認していることから動的機能維持評価の計算書への記載を省略する（別添-2-5-2）。	① (別添-2-5-2)
2	始動弁	○	○	始動弁は、地震加速度による影響は非常に小さいことが確認されている。耐震信頼性実証試験の限界加速度が女川 2 号機の地震加速度に対し、十分な裕度があることを確認し動的機能維持評価の計算書への記載を省略する（別添-2-5-1）。	① (別添-2-5-1)
3	過給機	○	○	地震時においても取付ボルト、支持脚の強度、回転部のクリアランス及び軸受荷重に十分な余裕があることが確認されている。耐震信頼性実証試験の限界加速度が女川 2 号機の地震加速度に対し、十分な裕度があることを確認し動的機能維持評価の計算書への記載を省略する（別添-2-5-1）。	① (別添-2-5-1)
4	排気管ペロ ーズ	○	○	燃焼ガスの排出の観点から動的機能維持の評価項目として選定する。*2	②
5	空気だめ	—	○	空気だめの健全性は非常用ディーゼル発電設備（機関）とは別設備として、構造強度評価対象として耐震計算書で健全性を確認していることから動的機能維持評価の計算書への記載を省略する。 *3	— (別設備の 構造強度評 価対象)
6	始動空気系 配管	—	○	始動空気系配管の健全性は非常用ディーゼル発電設備（機関）とは別設備として、耐震 S クラスとして評価を実施し構造健全性を確認していることから動的機能維持評価の計算書への記載を省略する（別添-2-5-2）。	① (別添-2-5-2)

注記*1：本資料で詳述の場合「①」、添付書類に記載の場合「②」、省略の場合「—」で示す。

*2：添付書類「VI-2-10-1-2-1-1 非常用ディーゼル発電設備 機関・発電機の耐震性についての計算書」及び「VI-2-10-1-2-2-1 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 機関・発電機の耐震性についての計算書」に記載。

*3：添付書類「VI-2-10-1-2-1-2 非常用ディーゼル発電設備 空気だめの耐震性についての計算書」及び「VI-2-10-1-2-2-2 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 空気だめの耐震性についての計算書」に記載。

4.4 燃料油系

燃料油系の「詳細検討」方針を別紙 2-5-5 表に示す。

別紙 2-5-5 表 燃料油系の「詳細検討」方針

No	基本評価項目	J E A G 4 6 0 1 の 基本評価項目	耐特委の 基本評価 項目	検討方針	記載箇所*1
1	燃料噴射ポンプ	○	○	地震時においても取付ボルトの強度、ブランチャとローラガイドの追従性に十分な余裕があることが確認されている。耐震信頼性実証試験の限界加速度が女川 2 号機の地震加速度に対し、十分な余裕があることを確認し動的機能維持評価の計算書への記載を省略する (別添-2-5-1)。	① (別添-2-5-1)
2	燃料デイトank	—	○	燃料デイトankの健全性は非常用ディーゼル発電設備 (機関) とは別設備として、構造強度評価対象として耐震計算書で健全性を確認していることから動的機能維持評価の計算書への記載を省略する。*2	— (別設備の 構造強度評 価対象)
3	燃料フィルタ	—	○	燃料フィルタの健全性は非常用ディーゼル発電設備 (機関) とは別設備として、耐震 S クラスとして評価を実施し構造健全性を確認していることから動的機能維持評価の計算書への記載を省略する (別添-2-5-2)。	① (別添-2-5-2)
4	燃料油系配管	—	○	燃料油系配管の健全性は非常用ディーゼル発電設備 (機関) とは別設備として、耐震 S クラスとして評価を実施し構造健全性を確認していることから動的機能維持評価の計算書への記載を省略する (別添-2-5-2)。	① (別添-2-5-2)

注記*1 : 本資料で詳述の場合「①」、添付書類に記載の場合「②」、省略の場合「—」で示す。

*2 : 添付書類「VI-2-10-1-2-1-3 非常用ディーゼル発電設備 燃料デイトankの耐震性についての計算書」及び「VI-2-10-1-2-2-3 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 燃料デイトankの耐震性についての計算書」に記載。

4.5 冷却水系

冷却水系の「詳細検討」方針を別紙 2-5-6 表に示す。

別紙 2-5-6 表 冷却水系の「詳細検討」方針

No	基本評価項目	J E A G 4 6 0 1 の 基本評価項目	耐特委の 基本評価 項目	検討方針	記載箇所*
1	冷却水ポンプ	○	○	地震時においても取付ボルト、回転部のクリアランス及び軸受荷重に十分な余裕があることが確認されている。耐震信頼性実証試験の限界加速度が女川 2 号機の地震加速度に対し、十分な余裕があることを確認し動的機能維持評価の計算書への記載を省略する(別添-2-5-1)。	① (別添-2-5-1)
2	清水冷却器	—	○	清水冷却器の健全性は非常用ディーゼル発電設備(機関)とは別設備として、耐震 S クラスとして評価を実施し構造健全性を確認していることから動的機能維持評価の計算書への記載を省略する(別添-2-5-2)。	① (別添-2-5-2)
3	冷却水系配管	—	○	冷却水系配管の健全性は非常用ディーゼル発電設備(機関)とは別設備として、耐震 S クラスとして評価を実施し構造健全性を確認していることから動的機能維持評価の計算書への記載を省略する(別添-2-5-2)。	① (別添-2-5-2)

注記* : 本資料で詳述の場合「①」、添付書類に記載の場合「②」、省略の場合を「—」で示す。

4.6 潤滑油系

潤滑油系の「詳細検討」方針を別紙 2-5-7 表に示す。

別紙 2-5-7 表 潤滑油系の「詳細検討」方針

No	基本評価項目	J E A G 4 6 0 1 の 基本評価項目	耐特委の 基本評価 項目	検討方針	記載箇所*1
1	潤滑油ポンプ	○	○	地震時においても取付ボルト、支持脚の強度、回転部のクリアランス及び軸受荷重に十分な余裕があることが確認されている。耐震信頼性実証試験の限界加速度が女川 2 号機の地震加速度に対し、十分な余裕があることを確認し動的機能維持評価の計算書への記載を省略する (別添-2-5-1)。	① (別添-2-5-1)
2	潤滑用サンプタンク (スロッシング)	○	○	潤滑機能維持の観点から動的機能維持の評価項目として選定する。*2	②
3	潤滑油サンプタンク	—	○	潤滑油サンプタンクの健全性は非常用ディーゼル発電設備 (機関) とは別設備として、耐震 S クラスとして評価を実施し構造健全性を確認していることから動的機能維持評価の計算書への記載を省略する (別添-2-5-2)。	① (別添-2-5-2)
4	潤滑油冷却器	—	○	潤滑油冷却器の健全性は非常用ディーゼル発電設備 (機関) とは別設備として、耐震 S クラスとして評価を実施し構造健全性を確認していることから動的機能維持評価の計算書への記載を省略する (別添-2-5-2)。	① (別添-2-5-2)
5	潤滑油フィルタ	—	○	潤滑油フィルタの健全性は非常用ディーゼル発電設備 (機関) とは別設備として、耐震 S クラスとして評価を実施し構造健全性を確認していることから動的機能維持評価の計算書への記載を省略する (別添-2-5-2)。	① (別添-2-5-2)
6	潤滑油系配管	—	○	潤滑油系配管の健全性は非常用ディーゼル発電設備 (機関) とは別設備として、耐震 S クラスとして評価を実施し構造健全性を確認していることから動的機能維持評価の計算書への記載を省略する (別添-2-5-2)。	① (別添-2-5-2)

注*1: 本資料で詳述の場合「①」、添付書類に記載の場合「②」、省略の場合「—」で示す。

*2: 添付書類「VI-2-10-1-2-1-1 非常用ディーゼル発電設備 機関・発電機の耐震性についての計算書」及び「VI-2-10-1-2-2-1 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 機関・発電機の耐震性についての計算書」に記載。

5. 非常用ディーゼル発電設備（機関）の許容値の設定

非常用ディーゼル機関及び高圧炉心スプレイディーゼル機関の動的機能維持評価の「詳細検討」内容に対する許容値を別紙 2-5-8 表に示す。

非常用ディーゼル機関及び高圧炉心スプレイディーゼル機関の基本評価項目が許容値以下となることを確認することで、動的機能維持が確保されると判断する。

別紙 2-5-8 表 非常用ディーゼル発電設備（機関）の許容値

No	基本評価項目		許容値の設定
1	(ディーゼル機関本体) 非常用ディーゼル機関 基準軸受*1	隔壁強度	クランク軸の回転機能及び支持機能が阻害されるという観点から、隔壁の変形を弾性範囲内に留めるようⅢ _A S を準用し許容値としている。クランク軸及び発電機ロータによる発生応力を弾性範囲内に留めることで、地震時のスラスト方向荷重による隔壁損傷はなく、機関の回転機能は確保される。
		軸受面圧	クランク軸の回転機能及び支持機能が阻害されるという観点から、機能維持の観点で既往の研究で機能維持が確認されている軸受面圧*3を許容値とした。
	(ディーゼル機関本体) 高圧炉心スプレイディーゼル機関 基準軸受*1	スラスト方向加速度	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機の据付位置における地震加速度が、当該ディーゼル機関の同一型式の機能確認済加速度以下であることを確認するため、耐震信頼性実証試験で得られている機能確認済加速度を許容値とした。
2	(出力制御系) ガバナ*2	ガバナ加速度	据付位置における地震加速度が、当該ガバナの機能確認済加速度以下であることを確認するため、既往の研究*4での機能確認済加速度を許容値とした。
3	(始動空気系) 排気管ベローズ*2	地震による伸び	J E A G 4 6 0 1 に従い、排気管ベローズの地震による伸びが運転状態の最大伸び量以下であればベローズの健全性が確保されとの観点から、運転時の排気管ベローズの最大伸び量を許容値とした。
4	(潤滑油系) 潤滑油サンプタンク*2	スロッシング	地震時にディーゼル機関に潤滑油が供給可能であることを確認するため、運転時潤滑油液面レベルから潤滑油吸入口上端レベルまでの高さを許容値とした。

注記*1：非常用ディーゼル機関の基準軸受は既往知見による加振試験データが無いいため構造強度評価を実施。高圧炉心スプレイディーゼル機関の基準軸受は既往知見による加振試験データがあることから試験結果との比較により評価を実施。

*2：ガバナ、排気管ベローズ及び潤滑油サンプタンクについて、許容値の設定の考え方は非常用ディーゼル機関及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル機関に共通。

*3：耐震信頼性実証試験から得られた限界面圧。

*4：(独) 原子力安全基盤機構 耐震安全部「平成 22 年度耐震機能限界試験（非常用ディーゼル発電機）ガバナ振動台加振試験」（JNES-SS レポート）に記載の機能確認済加速度

6. 非常用ディーゼル発電設備（機関）の評価検討結果

非常用ディーゼル発電設備（機関）の「詳細検討」結果を別紙 2-5-9 表及び別紙 2-5-10 表に示す。

各機関に対する「詳細検討」結果は、いずれも全ての評価部位の発生値が許容値を満足しており、動的機能維持が確保されることを確認した。

なお、非常用ディーゼル機関の動的機能維持評価の詳細については、耐震計算書「VI-2-10-1-2-1-1 非常用ディーゼル発電設備 機関・発電機の耐震計算書」, 「VI-2-10-1-2-2-1 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 機関・発電機の耐震計算書」に示す。

別紙 2-5-9 表 非常用ディーゼル機関 詳細評価結果

評価部位		項目	応力分類	発生値	許容値	評価
基準軸受	隔壁強度	応力	曲げ応力			○
	軸受面圧	荷重	荷重			○
ガバナ	加速度		水平方向			○
			鉛直方向			○
排気管ベローズ	変位	—	○			
潤滑油サンプタンク	変位	—	○			

別紙 2-5-10 表 高圧炉心スプレイ系ディーゼル機関 詳細評価結果

評価部位		項目	応力分類	発生値	許容値	評価
基準軸受		加速度	水平方向 (スラスト方向)			○
ガバナ	加速度		水平方向			○
			鉛直方向			○
排気管ベローズ	変位	—	○			
潤滑油サンプタンク (潤滑油オイルパン)	変位	—	○			

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

非常用ディーゼル発電設備（機関）の基本評価項目のうち既往知見より
評価対象外としている設備の確認結果

1. はじめに

女川原子力発電所第2号機の非常用ディーゼル発電設備（機関）の動的機能維持評価については、J E A G 4 6 0 1及び耐特委で検討された基本評価項目について検討する。この基本評価項目のうち、女川原子力発電所第2号機の非常用ディーゼル発電設備（機関）と同型式の試験体を用いた加振試験を実施している耐震信頼性実証試験*で裕度が十分と判断される部位については評価対象外とし耐震計算書の記載対象外としている。

耐震信頼性実証試験では、BWRプラントのディーゼル発電機システム（ディーゼル機関（BWR高速型）、発電機、出力制御系、始動用空気・給排気系、燃料油系（燃料タンク除く）、冷却水系、潤滑油系、制御盤）を代表機種として、大型加振台上で1/1スケールの加振試験（実証試験・限界試験）を実施している。他機種については、BWR高速型との差異を、BWR中速型は解析的に実証し、PWR中速型は部分試験及び解析的に実証することにより、限界荷重及び動的機能維持加速度レベルを確認している。

本資料では女川原子力発電所第2号機の非常用ディーゼル発電設備（機関）の基本評価項目のうち、耐震信頼性実証試験での知見を用いて評価対象外としている評価項目についてその確認内容をまとめるものである。

注記*：「平成3年度 原子力発電施設耐震信頼性実証試験に関する調査報告書 その1 非常用ディーゼル発電機システム耐震実証試験（平成4年3月）」（(財)原子力工学試験センター）

2. 基本評価項目のうち評価対象とする基本評価項目の選定方法

女川原子力発電所第2号機の非常用ディーゼル発電設備（機関）の基本評価項目のうち、耐震信頼性実証試験の知見を適用して評価対象とする評価部位の選定フローについて別添2-5-1-1図に示す。ここで、J E A G 4 6 0 1及び耐特委の検討を踏まえて抽出した基本評価項目のうち、工認対象設備として耐震Sクラス評価を実施している、もしくは、工認対象外設備として耐震Sクラス評価を実施（またはS s機能維持を確認）している基本項目は、評価部位の選定対象からあらかじめ除外する。抽出した基本評価項目及び耐震信頼性実証試験の適用性を確認する基本評価項目を別添2-5-1-1表に示す。選定フローの各項目についての考え方は以下のとおりである。

①耐震信頼性実証試験と構造、材料、作動原理が同一で女川2号機への適用性があるか

耐震信頼性実証試験の適用性を確認するため、構造、材料、作動原理の観点で耐震信頼性実証試験と女川2号機の評価部位について比較を行い、同一であるか確認する。

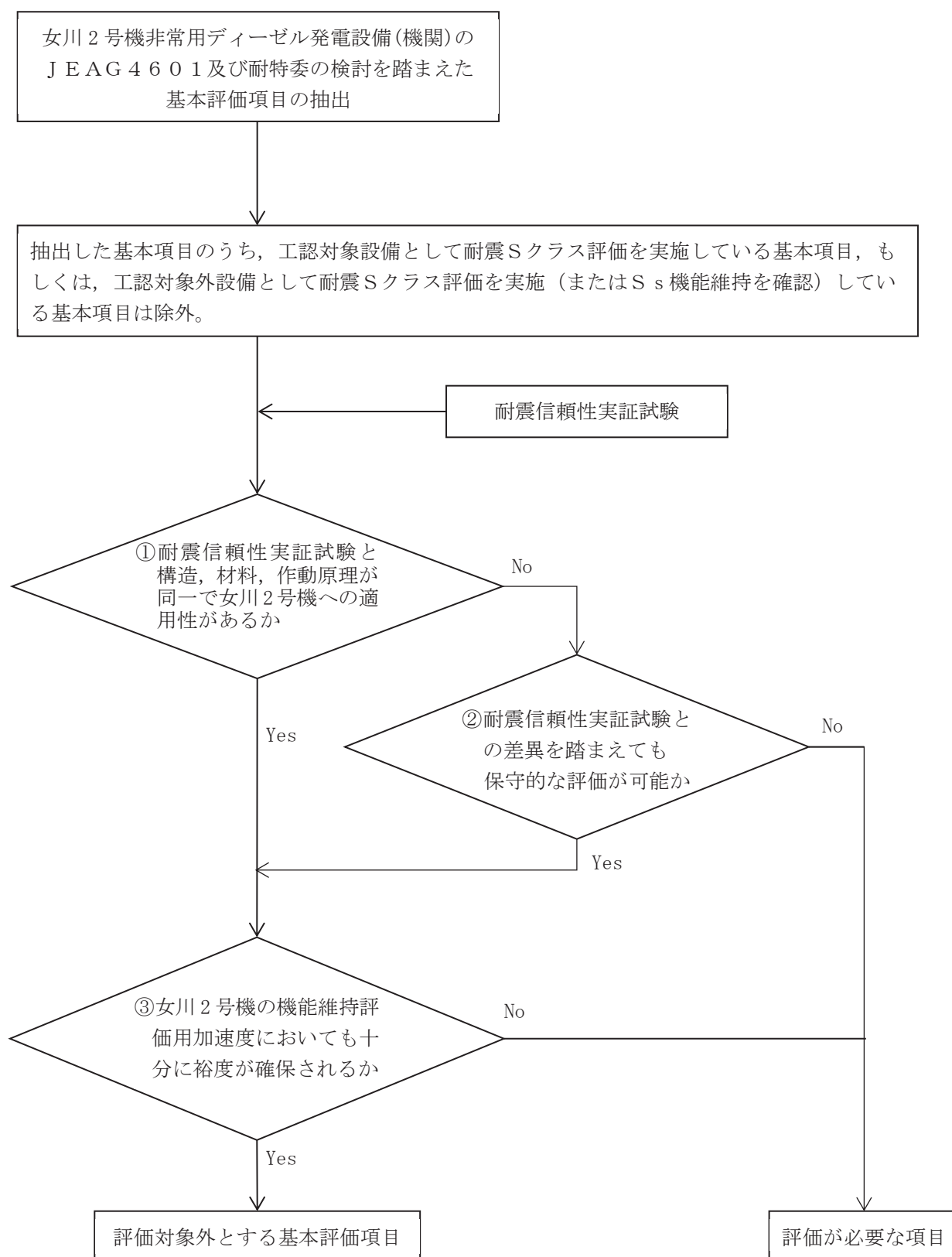
②耐震信頼性実証試験との差異を踏まえても保守的な評価が可能か

耐震信頼性実証試験と差異がある場合でも、その差異は評価上非保守的な作用を及ぼす

ものではなく，保守的な評価が可能となるか確認する。

③女川 2 号機での機能維持評価用加速度においても十分に裕度が確保されるか

女川原子力発電所第 2 号機で設計に適用する機能維持評価用加速度と耐震信頼性実証試験で検証されている限界加速度を比較して十分な裕度が確保されるか確認する。



別添 2-5-1-1 図 基本評価項目のうち評価対象とする基本評価項目の選定フロー

3. 基本評価項目のうち評価対象とする基本評価項目の選定結果

基本評価項目のうち耐震信頼性実証試験の知見を用いて評価対象とする基本評価項目の選定結果について、非常用ディーゼル機関及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル機関の結果を別添2-5-1-2表に示す。また、本表で示している各項目の結果の詳細は4項に示す。

別添2-5-1-1表 耐震信頼性実証試験の適用性を確認する基本評価項目

分類	基本評価項目	耐震Sクラス評価実施 またはS s機能維持を確認	耐震信頼性実証試験の適用性 を確認する基本評価項目 ○：確認対象，－：除外
ディーゼル機関本体	ピストン	×	○
	クランク軸	×	○
	カム軸	×	○
	ギヤリング	×	○
	連接棒	×	○
	動弁装置	×	○
	基準軸受	×	○*2
	機関本体	○*1	－
出力制御系	ガバナ	×	－*2
	ガバナリンク及び燃料加減軸	×	○
	オーバースピードトリップ装置	×	○
始動空気系	始動電磁弁	○（工認対象外）*1	－
	始動弁	×	○
	過給機	×	○
	排気管ベローズ	×	－*2
	空気だめ	○*1	－
	始動空気系配管	○（工認対象外）*1	－
燃料油系	燃料噴射ポンプ	×	○
	燃料デイトンク	○*1	－
	燃料フィルタ	○（工認対象外）*1	－
	燃料油系配管	○（工認対象外）*1	－
冷却水系	冷却水ポンプ	×	○
	清水冷却器	○（工認対象外）*1	－
	冷却水系配管	○（工認対象外）*1	－
潤滑油	潤滑油ポンプ	×	○
	潤滑油サンプタンク（スロッシング）	×	－*2
	潤滑油サンプタンク	○（工認対象外）*1	－
	潤滑油冷却器	○（工認対象外）*1	－
	潤滑油フィルタ	○（工認対象外）*1	－
	潤滑油系配管	○（工認対象外）*1	－

注記*1：当該設備または別設備の耐震計算書、もしくは、工認対象外設備は別添-2-5-2に記載

*2：「詳細検討」を耐震計算書に記載

別添 2-5-1-2 表 評価対象とする基本評価項目の検討結果（非常用ディーゼル機関）

分類	基本評価項目	①耐震信頼性実証試験と構造、材料、作動原理が同一で女川 2 号機への適用性があるか*1	②耐震信頼性実証試験との差異を踏まえても保守的な評価が可能か*2	③女川 2 号機の機能維持評価用加速度においても十分に裕度が確保されるか*3	評価対象とする基本評価項目 ○：対象外，－：対象
ディーゼル機関本体	ピストン	Yes	－	Yes	○
	クランク軸	Yes	－	Yes	○
	カム軸	Yes	－	Yes	○
	ギヤリング	Yes	－	Yes	○
	連接棒	Yes	－	Yes	○
	動弁装置	Yes	－	Yes	○
	基準軸受	Yes	－	No	－
出力制御系	ガバナリンク及び燃料加減軸	Yes	－	Yes	○
	オーバースピードトリップ装置	No	Yes	Yes	○
始動空気系	始動弁	Yes	－	Yes	○
	過給機	No	Yes	Yes	○
燃料油系	燃料噴射ポンプ	No	Yes	Yes	○
冷却水系	冷却水ポンプ	Yes	－	Yes	○
潤滑油	潤滑油ポンプ	No	Yes	Yes	○

注記*1：当該設備、もしくは、他の設備またはその一部として耐震 S クラスの評価を未実施の場合のみ、検討対象

*2：①が No の場合のみ検討対象（－は検討不要）

*3：①又は②が Yes の場合のみ検討対象（－は検討不要）

別添 2-5-1-2 表 評価対象とする基本評価項目の検討結果（高圧炉心スプレイ系ディーゼル機関）

分類	基本評価項目	①耐震信頼性実証試験と構造，材料，作動原理が同一で女川2号機への適用性があるか*1	②耐震信頼性実証試験との差異を踏まえても保守的な評価が可能か*2	③女川2号機の機能維持評価用加速度においても十分に裕度が確保されるか*3	評価対象とする基本評価項目 ○：対象外，－：対象
ディーゼル機関本体	ピストン	Yes	－	Yes	○
	クランク軸	Yes	－	Yes	○
	カム軸	Yes	－	Yes	○
	ギヤリング	Yes	－	Yes	○
	連接棒	Yes	－	Yes	○
	動弁装置	Yes	－	Yes	○
	基準軸受	Yes	－	No	－
出力制御系	ガバナリンク及び燃料加減軸	Yes	－	Yes	○
	オーバースピードトリップ装置	Yes	－	Yes	○
始動空気系	始動弁	Yes	－	Yes	○
	過給機	Yes	－	Yes	○
燃料油系	燃料噴射ポンプ	Yes	－	Yes	○
冷却水系	冷却水ポンプ	Yes	－	Yes	○
潤滑油	潤滑油ポンプ	Yes	－	Yes	○

注記*1：当該設備，もしくは，他の設備またはその一部として耐震Sクラスの評価を未実施の場合のみ，検討対象

*2：①がNoの場合のみ検討対象（－は検討不要）

*3：①又は②がYesの場合のみ検討対象（－は検討不要）

4. 評価対象外選定方法の詳細について

(1) 工認耐震計算書の評価対象部位又は別設備として耐震Sクラスの評価実施の有無

別紙 2-5 本文「4. 非常用ディーゼル発電設備（機関）の「詳細検討」方針」で整理結果をまとめているが、工認耐震計算書で構造強度を実施している部位（例：機関本体（基礎ボルト、取付ボルト））や個別に耐震Sクラスとして耐震評価を実施している設備（例：燃料フィルタ）については、それぞれの評価結果で耐震健全性を示すことから、耐震信頼性実証試験結果を参考とした本検討の対象とはならない。

(2) 耐震信頼性実証試験の女川原子力発電所第2号機への適用性（別添 2-5-1-1 表，別添 2-5-1-2 表の①）

耐震信頼性実証試験の知見について、女川原子力発電所第2号機への適用性を確認するため、構造、材料、作動原理の観点で比較、検証する。非常用ディーゼル機関の結果を別添 2-5-1-3 表に、高圧炉心スプレイ系ディーゼル機関の結果を別添 2-5-1-4 表に示す。また、耐震信頼性実証試験報告書より、検討した部位の構造や検討結果について、中速形の内容を別添 2-5-1-2 図，高速形の内容を別添 2-5-1-3 図に抜粋する。

なお、女川原子力発電所2号機の設備のうち、非常用ディーゼル機関は J E A G 4 6 0 1 で定義されている中速形に該当し、高圧炉心スプレイ系ディーゼル機関は高速形に該当することから、耐震信頼性実証試験においてもそれぞれに該当する形式を参照している。

別添 2-5-1-3 表，別添 2-5-1-4 表より、評価項目のほとんどで構造・材料・作動原理が同一であることが確認できたことから、耐震信頼性実証試験の知見について女川原子力発電所第2号機への適用性に問題がないと判断した。

ただし、非常用ディーゼル機関における評価部位の仕様については、相違及び同等と分類される評価部位があることから、(3)項において各部位評価に係る適用性の有無を確認する。

【非常用ディーゼル機関】

「相違」：オーバースピードトリップ装置

「同等」：燃料噴射ポンプ，潤滑油ポンプ，過給機

【高圧炉心スプレイ系ディーゼル機関】

相違箇所なし。

別添 2-5-1-3 表 耐震信頼性実証試験（中速形）と女川原子力発電所第 2 号機
非常用ディーゼル機関の評価部位の仕様比較（1/2）

基本評価 項目	評価部位	評価項目	比較結果*		
			構造	材料	作動原理
基準軸受	クランク軸	軸受隔壁強度	同一	同一	同一
	基準軸受	軸受面圧	同一	同一	同一
カム軸	カム軸軸受	軸受面圧	同一	同一	同一
		スラスト軸受荷重	同一	同一	同一
クランク軸	主軸受	軸受面圧	同一	同一	同一
連接棒	クランクピン軸受	軸受面圧	同一	同一	同一
ピストン	ピストンピン軸受	軸受面圧	同一	同一	同一
ギヤリング	ギヤリング	軸受面圧	同一	同一	同一
		軸の強度	同一	同一	同一
		歯車の強度	同一	同一	同一
		アイドルギヤスラスト強度	同一	同一	同一
動弁装置	動弁装置揺腕	バルブレバー軸受	同一	同一	同一
		プッシュロッド強度	同一	同一	同一
		バルブレバー強度	同一	同一	同一
		揺腕スラスト方向強度	同一	同一	同一
		動弁装置の追従性	同一	同一	同一
始動弁	始動弁	弁棒の曲げ	同一	同一	同一
		弁の誤開閉	同一	同一	同一
ガバナリンク装置 及び燃料加減軸	ガバナリンク装置	地震時の抵抗	同一	同一	同一
		燃料加減軸とコントロールラックの動き	同一	同一	同一
オーバースピード トリップ装置	オーバースピード トリップ装置	プランジャの誤動作	相違	相違	相違
燃料噴射ポンプ	燃料噴射ポンプ	取付ボルト強度	同一	同一	同一
		プランジャとローラガイドの追従性	同等	同一	同一
冷却水ポンプ	冷却水ポンプ	取付ボルト強度	同一	同一	同一
		軸受荷重	同一	同一	同一
		ケーシングとインペラの干渉	同一	同一	同一

注記*：各項目の比較結果は以下の 3 つに分類。

「同一」女川 2 号機の評価部位と相違がない項目

「同等」女川 2 号機の評価部位において一部相違があるものの、耐震信頼性実証試験よりも裕度が大きくなる項目

「相違」女川 2 号機の評価部位と明確な相違がある項目

別添 2-5-1-3 表 耐震信頼性実証試験（中速形）と女川原子力発電所第 2 号機
非常用ディーゼル機関の評価部位の仕様比較（2/2）

基本評価 項目	評価部位	評価項目	比較結果*		
			構造	材料	作動原理
潤滑油ポンプ	潤滑油ポンプ	取付ボルト強度	同一	同等	同一
		軸受荷重	同一	同一	同一
		ケーシングとの干渉	同一	同一	同一
過給機	過給機	取付ボルト強度	同一	同等	同一
		支持脚の強度	同一	同一	同一
		軸受荷重	同一	同一	同一
		ケーシングとの干渉	同一	同一	同一

注記*：各項目の比較結果は以下の 3 つに分類。

「同一」女川 2 号機の評価部位と相違がない項目

「同等」女川 2 号機の評価部位において一部相違があるものの、耐震信頼性実証試験よりも裕度が大きくなる項目

「相違」女川 2 号機の評価部位と明確な相違がある項目

別添 2-5-1-4 表 耐震信頼性実証試験（高速形）と女川原子力発電所第 2 号機
 高圧炉心スプレイ系ディーゼル機関の評価部位の仕様比較（1/2）

基本評価 項目	評価部位	評価項目	比較結果*		
			構造	材料	作動原理
基準軸受	クランク軸	軸受隔壁強度	同一	同一	同一
	基準軸受	軸受面圧	同一	同一	同一
カム軸	カム軸軸受	軸受面圧	同一	同一	同一
		スラスト軸受荷重	同一	同一	同一
クランク軸	主軸受	軸受面圧	同一	同一	同一
連接棒	クランクピン軸受	軸受面圧	同一	同一	同一
ピストン	ピストンピン軸受	軸受面圧	同一	同一	同一
ギヤリング	ギヤリング	軸受面圧	同一	同一	同一
		軸の強度	同一	同一	同一
		歯車の強度	同一	同一	同一
		アイドルギヤスラスト強度	同一	同一	同一
動弁装置	動弁装置揺腕	バルブレバー軸受	同一	同一	同一
		プッシュロッド強度	同一	同一	同一
		バルブレバー強度	同一	同一	同一
		揺腕スラスト方向強度	同一	同一	同一
		動弁装置の追従性	同一	同一	同一
始動弁	始動弁	弁棒の曲げ	同一	同一	同一
		弁の誤開閉	同一	同一	同一
ガバナリンク装置 及び燃料加減軸	ガバナリンク装置	地震時の抵抗	同一	同一	同一
		燃料加減軸とコントロールラックの動き	同一	同一	同一
オーバースピード トリップ装置	オーバースピード トリップ装置	プランジャの誤動作	同一	同一	同一
燃料噴射ポンプ	燃料噴射ポンプ	取付ボルト強度	同一	同一	同一
		プランジャとローラガイドの追従性	同一	同一	同一
冷却水ポンプ	冷却水ポンプ	取付ボルト強度	同一	同一	同一
		軸受荷重	同一	同一	同一
		ケーシングとインペラの干渉	同一	同一	同一

注記*：各項目の比較結果は以下の 3 つに分類。

「同一」女川 2 号機の評価部位と相違がない項目

「同等」女川 2 号機の評価部位において一部相違があるものの、耐震信頼性実証試験よりも裕度が大きくなる項目

「相違」女川 2 号機の評価部位と明確な相違がある項目

別添 2-5-1-4 表 耐震信頼性実証試験（高速形）と女川原子力発電所第 2 号機
 高圧炉心スプレイ系ディーゼル機関の評価部位の仕様比較（2/2）

基本評価 項目	評価部位	評価項目	比較結果*		
			構造	材料	作動原理
潤滑油ポンプ	潤滑油ポンプ	取付ボルト強度	同一	同一	同一
		軸受荷重	同一	同一	同一
		ケーシングとの干渉	同一	同一	同一
過給機	過給機	取付ボルト強度	同一	同一	同一
		支持脚の強度	同一	同一	同一
		軸受荷重	同一	同一	同一
		ケーシングとの干渉	同一	同一	同一

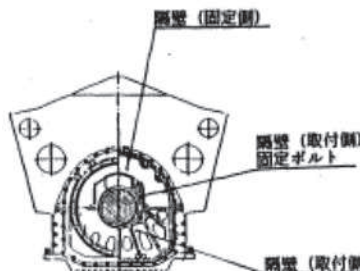
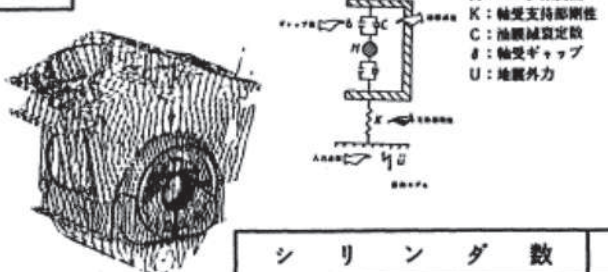
注記*：各項目の比較結果は以下の 3 つに分類。

「同一」女川 2 号機の評価部位と相違がない項目

「同等」女川 2 号機の評価部位において一部相違があるものの、耐震信頼性実証試験よりも裕度が大きくなる項目

「相違」女川 2 号機の評価部位と明確な相違がある項目

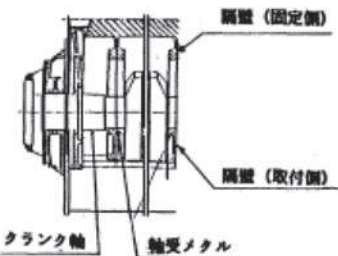
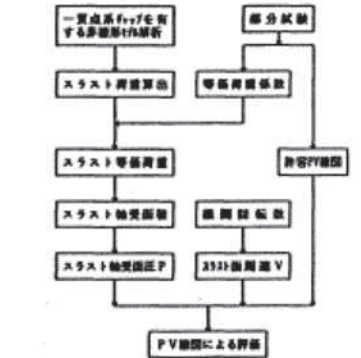
付表6.1-2-1 BWR中速形の評価部位別評価結果(1/2)

評価部位	クランク軸基準軸受	評価項目	(1) 軸受隔壁強度		実証方法	C	※裕度 = $\frac{\text{限界応力}}{\text{解析応力}}$				
解析評価内容					シリンダ数			12	16	18	
					軸受反力			ton	47.61	50.51	61.25
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>外観形状</p>  </div> <div style="width: 45%;"> <p>解析式</p> <pre> graph TD A[一点系1,77を有する非線形FEM解析] --> B[スラスト荷重算出] B --> C[基準軸受隔壁FEM解析] C --> D[隔壁応力算出] E[固定側荷重分組10とする] --> B </pre> </div> </div>					解析応力			kg/mm ²	9.31	9.87	11.97
					評価			裕度※			2.3
結果			○	○				○			
<p>解析モデル</p>  <p>M: ロータ系質量 K: 軸受支持部剛性 C: 油膜減衰定数 delta: 軸受ギャップ U: 地震外力</p>					備考						
					シリンダ数						12
許容値			降伏応力	kg/mm ²	21	21	21				
限界値			応力	kg/mm ²	21	21	21				

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添2-5-1-2 図 ディーゼル発電機(中速形)の評価部位別の評価結果(1/35)

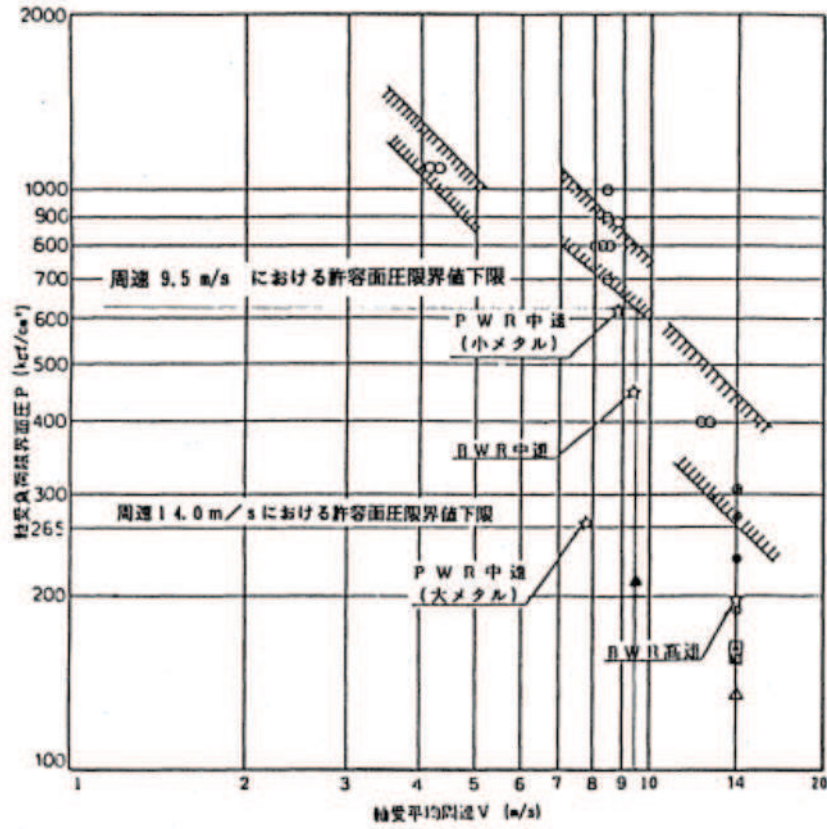
付表6.1-2-1 BWR中速形の評価部位別評価結果(2/2)

評価部位	クランク軸基準軸受	評価項目	(2) 軸受面圧	実証方法	C	※裕度 = $\frac{\text{限界面圧}}{\text{解析面圧}}$			
解析評価内容 <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> 外観形状  </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> 解析式  </div> </div>						シリンダ数	12	16	18
						軸受反力	ton	47.61	50.51
解析面圧	kg/cm ²	191.6	203.4	246.6					
評価	裕度※	3.2	3.0	2.5					
	結果	○	○	○					
備考						詳細については次頁参照 なお、限界値は許容PV線図における下限とした。			
						シリンダ数	12	16	18
						限界値	部分試験による許容値PV線図上で評価。周速は定格回転時(9.5 m/s) 620 kg/cm ²		

別添2-5-1-13

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添2-5-1-2 図 ディーゼル発電機(中速形)の評価部位別の評価結果(2/35)

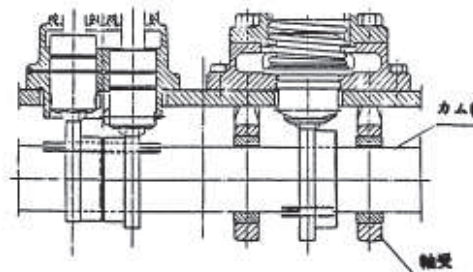
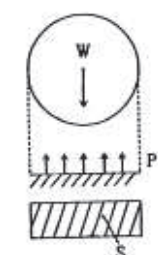


耐震信頼性実証試験
非常用ディーゼル発電機システム
平成2年報告書より抜粋

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-2 図 ディーゼル発電機 (中速形) の評価部位別の評価結果 (3/35)

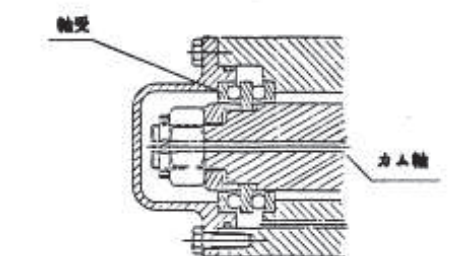
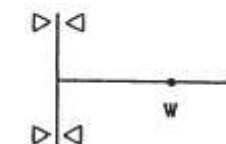
付表 6.1-2-2 BWR中速形の評価部位別評価結果 (1/2)

評価部位	カム軸軸受	評価項目	(1) 軸受面圧	実証方法	C	※裕度 = $\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$																																					
解析評価内容				<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">シリンダ数</th> <th>12</th> <th>16</th> <th>18</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>固有振動数 (カム軸)</td> <td>Hz</td> <td>624</td> <td>624</td> <td>624</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">評価条件</td> <td>水平加速度 α_H</td> <td>g</td> <td>0.84</td> <td>0.84</td> <td>0.84</td> </tr> <tr> <td>鉛直加速度 α_V</td> <td>g</td> <td>0.38</td> <td>0.38</td> <td>0.38</td> </tr> <tr> <td>評価加速度 α</td> <td>g</td> <td>0.92</td> <td>0.92</td> <td>0.92</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">評価</td> <td>裕度※</td> <td>51.1</td> <td>51.1</td> <td>51.1</td> </tr> <tr> <td>結果</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> </tbody> </table>					シリンダ数		12	16	18	固有振動数 (カム軸)	Hz	624	624	624	評価条件	水平加速度 α_H	g	0.84	0.84	0.84	鉛直加速度 α_V	g	0.38	0.38	0.38	評価加速度 α	g	0.92	0.92	0.92	評価	裕度※	51.1	51.1	51.1	結果	○	○	○
シリンダ数		12	16	18																																							
固有振動数 (カム軸)	Hz	624	624	624																																							
評価条件	水平加速度 α_H	g	0.84	0.84	0.84																																						
	鉛直加速度 α_V	g	0.38	0.38	0.38																																						
	評価加速度 α	g	0.92	0.92	0.92																																						
評価	裕度※	51.1	51.1	51.1																																							
	結果	○	○	○																																							
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>外観形状</p>  <p>カム軸 軸受</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>解析モデル</p>  <p>W P S</p> </div> </div>				<p>備考</p> <p>評価加速度 (α) の算出式</p> $\alpha = \sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$ <p>* 面圧は1シリンダ当たりの軸受面圧を求めて評価</p>																																							
<p>解析式</p> $\alpha_{\alpha \cdot v} = (P_a - P) \cdot S / (W / f)$ <p>但し*</p> <table border="1"> <tr> <td>P_a : 許容面圧</td> <td>120</td> <td>kg/cm²</td> </tr> <tr> <td>P : 通常運転時軸受面圧</td> <td>48.5</td> <td>kg/cm²</td> </tr> <tr> <td>S : 軸受投影面積</td> <td>62.5</td> <td>cm²</td> </tr> <tr> <td>W : カム軸 1cyl 当り質量</td> <td>94.7</td> <td>kg</td> </tr> </table>				P_a : 許容面圧	120	kg/cm ²	P : 通常運転時軸受面圧	48.5	kg/cm ²	S : 軸受投影面積	62.5	cm ²	W : カム軸 1cyl 当り質量	94.7	kg	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">シリンダ数</th> <th>12</th> <th>16</th> <th>18</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>許容値</td> <td>面圧</td> <td>kg/cm²</td> <td>120</td> <td>120</td> <td>120</td> </tr> <tr> <td>限界値</td> <td>加速度</td> <td>g</td> <td>47.1</td> <td>47.1</td> <td>47.1</td> </tr> </tbody> </table>					シリンダ数		12	16	18	許容値	面圧	kg/cm ²	120	120	120	限界値	加速度	g	47.1	47.1	47.1						
P_a : 許容面圧	120	kg/cm ²																																									
P : 通常運転時軸受面圧	48.5	kg/cm ²																																									
S : 軸受投影面積	62.5	cm ²																																									
W : カム軸 1cyl 当り質量	94.7	kg																																									
シリンダ数		12	16	18																																							
許容値	面圧	kg/cm ²	120	120	120																																						
限界値	加速度	g	47.1	47.1	47.1																																						

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-2 図 ディーゼル発電機 (中速形) の評価部位別の評価結果 (4/35)

付表6.1-2-2 BWR中速形の評価部位別評価結果(2/2)

評価部位	カム軸軸受	評価項目	(2) スラスト軸受	実証方法	C	※裕度 = $\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$			
解析評価内容				シリンダ数		12	16	18	
外観形状		解析モデル		評価条件	水平加速度 α_H	g	0.84	0.84	0.84
					鉛直加速度 α_V	g	0.38	0.38	0.38
					評価加速度 α	g	0.84	0.84	0.84
解析式				評価	裕度※		33.5	27.7	25.8
$\alpha_{(H)} = C_0 / (W/g)$ <p>但し* C_0 : 基本定格荷重 22000 kg W : カム軸系全体重量 1012.4 kg</p>					結果		○	○	○
				備考		評価加速度 (α) の算出式 $\alpha = \alpha_H$ * 数値は18シリンダの例である。 シリンダ数が減少することによりカム軸全体重量が減少するため限界値が増加する。			
				シリンダ数		12	16	18	
許容値	荷重	kg	22000	22000	22000				
限界値	加速度	g	28.2	23.3	21.7				

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-2 図 ディーゼル発電機 (中速形) の評価部位別の評価結果 (5/35)

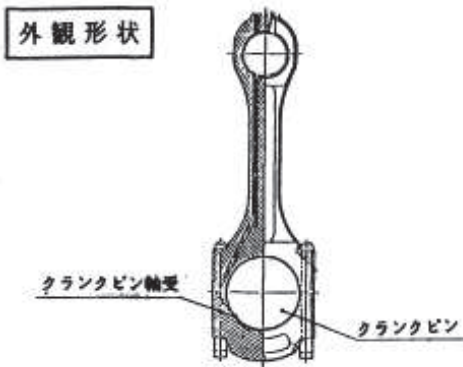
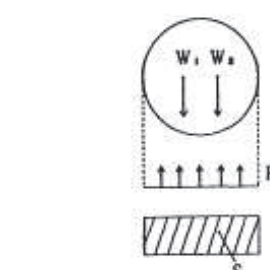
付表6.1-2-3 BWR中速形の評価部位別評価結果

評価部位	主軸受	評価項目	(1) 軸受面圧	実証方法	C	※裕度 = $\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$			
解析評価内容				シリンダ数		12	16	18	
外観形状			解析モデル	評価条件	水平加速度 α_H	?	0.84	0.84	0.84
					鉛直加速度 α_V	?	0.38	0.38	0.38
					評価加速度 α	?	0.92	0.92	0.92
解析式				評価	裕度※	69.2	69.2	69.2	
					結果	○	○	○	
$\alpha_{H+V} = (P_a - P) \cdot S / (W/g)$ 値し* P _a : 許容面圧 450 kg/cm ² P: 通常運転時軸受面圧 194 kg/cm ² S: 軸受投影面積 444.6 cm ² W: 軸受1個当たりの軸系重量 1785kg				備考					
				評価加速度 (α) の算出式 $\alpha = \sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$ * 数値はシリンダ数に関係なく同一仕様である。					
				シリンダ数		12	16	18	
				許容値	面圧	kg/cm ²	450	450	450
				限界値	加速度	?	63.7	63.7	63.7

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-2 図 ディーゼル発電機 (中速形) の評価部位別の評価結果 (6/35)

付表6.1-2-4 BWR中速形の評価部位別評価結果

評価部位	クランクピン軸受	評価項目	(1) 軸受面圧	実証方法	C		※裕度 = $\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$																						
解析評価内容						シリンダ数	12	16	18																				
外観形状	解析モデル																												
																													
解析式	$\alpha_{\alpha, \nu} = (P_s - P) \cdot S / \{ (W_1 + W_2) / g \}$ <p>但し*</p> <table style="margin-left: 20px;"> <tr><td>P_s :</td><td>許容面圧</td><td>450</td><td>kg/cm²</td></tr> <tr><td>P :</td><td>通常運転時軸受面圧</td><td>287.3</td><td>kg/cm²</td></tr> <tr><td>S :</td><td>軸受投影面積</td><td>342</td><td>cm²</td></tr> <tr><td>W₁ :</td><td>ピストン重量</td><td>187.2</td><td>kg</td></tr> <tr><td>W₂ :</td><td>連結棒重量</td><td>128.5</td><td>kg</td></tr> </table>									P _s :	許容面圧	450	kg/cm ²	P :	通常運転時軸受面圧	287.3	kg/cm ²	S :	軸受投影面積	342	cm ²	W ₁ :	ピストン重量	187.2	kg	W ₂ :	連結棒重量	128.5	kg
P _s :	許容面圧	450	kg/cm ²																										
P :	通常運転時軸受面圧	287.3	kg/cm ²																										
S :	軸受投影面積	342	cm ²																										
W ₁ :	ピストン重量	187.2	kg																										
W ₂ :	連結棒重量	128.5	kg																										
						評価条件	水平加速度 α _H	g	0.84	0.84	0.84																		
						鉛直加速度 α _V	g	0.38	0.38	0.38																			
						評価加速度 α	g	0.92	0.92	0.92																			
						評価	裕度※	191	191	191																			
						結果	○	○	○																				
						備考																							
						評価加速度 (α) の算出式																							
						$\alpha = \sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$																							
						* 数値はシリンダ数と関係なく同一仕様である。																							
						シリンダ数	12	16	18																				
						許容値 面圧	kg/cm ²	450	450	450																			
						限界値 加速度	g	176.2	176.2	176.2																			

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-2 図 ディーゼル発電機 (中速形) の評価部位別の評価結果 (7/35)

付表6.1-2-5 BWR中速形の評価部位別評価結果

評価部位	ピストンピン軸受	評価項目	(1) 軸受面圧	実証方法	C	※裕度 = $\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$																				
解析評価内容						シリンダ数	12	16	18																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">外観形状</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">解析モデル</div> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;">解析式</div> $\alpha_{H+V} = (P_0 - P) \cdot S / (W/g)$ <p>但し*</p> <table style="margin-left: 20px;"> <tr> <td>P₀ :</td> <td>許容面圧</td> <td>450</td> <td>kg/cm²</td> </tr> <tr> <td>P :</td> <td>通常運転時軸受面圧</td> <td>371</td> <td>kg/cm²</td> </tr> <tr> <td>S :</td> <td>軸受接触面積</td> <td>283.9</td> <td>cm²</td> </tr> <tr> <td>W :</td> <td>ピストン質量</td> <td>187.2</td> <td>kg</td> </tr> </table>				P ₀ :	許容面圧	450	kg/cm ²	P :	通常運転時軸受面圧	371	kg/cm ²	S :	軸受接触面積	283.9	cm ²	W :	ピストン質量	187.2	kg	評価条件		水平加速度 α_H	g	0.84	0.84	0.84
P ₀ :	許容面圧	450	kg/cm ²																							
P :	通常運転時軸受面圧	371	kg/cm ²																							
S :	軸受接触面積	283.9	cm ²																							
W :	ピストン質量	187.2	kg																							
				鉛直加速度 α_V		g	0.38	0.38	0.38																	
				評価加速度 α		g	0.92	0.92	0.92																	
				評価		裕度※	130	130	130																	
						結果	○	○	○																	
				備考																						
				評価加速度 (α) の算出式																						
				$\alpha = \sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$																						
				* 数値はシリンダ数と関係なく同一仕様である。																						
						シリンダ数	12	16	18																	
				許容値	面圧	kg/cm ²	450	450	450																	
				限界値	加速度	g	119.8	119.8	119.8																	

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-2 図 ディーゼル発電機 (中速形) の評価部位別の評価結果 (8/35)

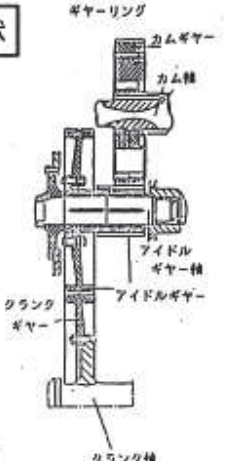
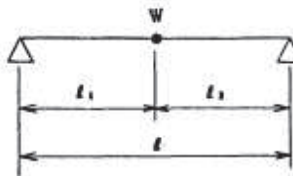
付表6.1-2-6 BWR中速形の評価部位別評価結果(1/4)

評価部位	ギアリング	評価項目	(1) 軸受面圧	実証方法	C	※裕度 = $\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$													
解析評価内容						シリンダ数	12	16	18										
評価条件	外観形状	解析モデル		水平加速度 α_H	♀	0.84	0.84	0.84											
	解析式	$\alpha_{H+V} = (P_s - P) \cdot S / (W/g)$ <p>但し*</p> <table border="1"> <tr> <td>P_s : 許容面圧</td> <td>120</td> <td>kg/cm²</td> </tr> <tr> <td>P : 通常運転時軸受面圧</td> <td>7.7</td> <td>kg/cm²</td> </tr> <tr> <td>S : 軸受投影面積</td> <td>329.7</td> <td>cm²</td> </tr> <tr> <td>W : アイドルギヤ重量</td> <td>110</td> <td>kg</td> </tr> </table>	P _s : 許容面圧	120	kg/cm ²	P : 通常運転時軸受面圧	7.7	kg/cm ²	S : 軸受投影面積	329.7	cm ²	W : アイドルギヤ重量	110	kg	鉛直加速度 α_V	♀	0.38	0.38	0.38
			P _s : 許容面圧	120	kg/cm ²														
P : 通常運転時軸受面圧	7.7	kg/cm ²																	
S : 軸受投影面積	329.7	cm ²																	
W : アイドルギヤ重量	110	kg																	
評価加速度 α	♀	0.92	0.92	0.92															
評価	裕度※	375	370	365															
	結果	○	○	○															
備考						<p>評価加速度 (α) の算出式</p> $\alpha = \sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$ <p>* 数値は18シリンダの例である。</p> <p>シリンダ数が減少することにより通常運転時軸受面圧は減少するため、限界値は増加する。</p>													
						シリンダ数	12	16	18										
						許容値 面圧	kg/cm ²	120	120	120									
						限界値 加速度	♀	345.0	340.5	336.5									

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-2 図 ディーゼル発電機 (中速形) の評価部位別の評価結果 (9/35)

付表6.1-2-6 BWR中速形の評価部位別評価結果(2/4)

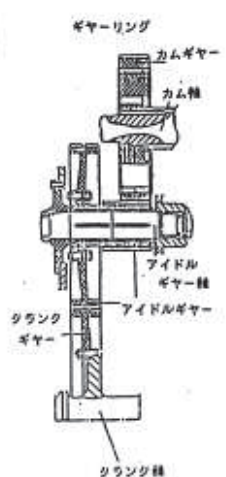
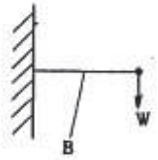
評価部位	ギアリング	評価項目 (2) 軸の強度	実証方法	C	※裕度 = $\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$
解析評価内容					
外観形状		解析モデル			
					
解析式					
$\alpha_{\alpha + v} = (\sigma_v \cdot Z - M) / (l_1 \cdot l_2 / l) / (W / g)$					
但し* σ_v : 降伏応力 35 kg/mm ² Z : カム軸断面係数 98174 mm ³ M : 通常運転時曲げモーメント 2.911×10^4 kg·mm W : アイドルギヤ重量 110 kg l : 軸受間距離 562 mm l_1 : 荷重点までの距離 293.5 mm l_2 : 荷重点までの距離 268.5 mm					
		シリンダ数	12	16	18
		許容値 降伏応力	kg/mm ²	35	35
		限界値 加速度	g	210.6	207.0
		シリンダ数	12	16	18
評価条件	水平加速度 α_H	g	0.84	0.84	0.84
	鉛直加速度 α_V	g	0.38	0.38	0.38
	評価加速度 α	g	0.92	0.92	0.92
評価		裕度※	229	225	221
結果			○	○	○
備考					
評価加速度 (α) の算出式					
$\alpha = \sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$					
* 数値は18シリンダの例である。					
シリンダ数が減少することにより通常運転時軸受面圧は減少するため、限界値は増加する。					

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-2 図 ディーゼル発電機 (中速形) の評価部位別の評価結果 (10/35)

別添 2-5-1-21

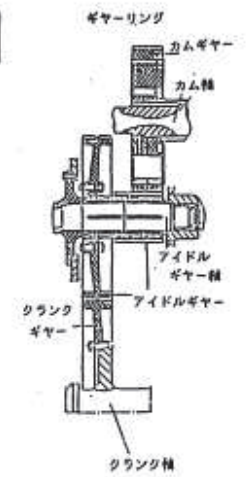
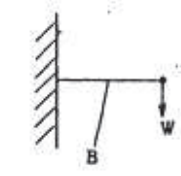
付表6.1-2-6 BWR中速形の評価部位別評価結果(3/4)

評価部位	ギアリング	評価項目	(3) 歯車の強度		実証方法	C	※裕度=	$\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$
解析評価内容								
外観形状				解析モデル				
解析式	$\alpha_H \cdot \alpha_V = (\sigma_s - \sigma) / (B \cdot W / I)$ <p>但し* σ_s : 降伏応力 75 kg/mm² σ : 運転時応力 5.22 kg/mm² B : 係数 2.51×10^{-3} W : アイドルギヤ重量 110 kg</p>							
		シリンダ数	12	16	18			
評価条件	水平加速度 α_H	g	0.84	0.84	0.84			
	鉛直加速度 α_V	g	0.38	0.38	0.38			
	評価加速度 α	g	0.92	0.92	0.92			
評価		裕度※	281	278	274			
		結果	○	○	○			
備考								
評価加速度 (α) の算出式								
$\alpha = \sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$								
* 数値は18シリンダの例である。								
シリンダ数が減少することにより通常運転時軸受面圧は減少するため、限界値は増加する。								
		シリンダ数	12	16	18			
許容値	降伏応力	kg/mm ²	75	75	75			
限界値	加速度	g	259.4	255.8	252.7			

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-2 図 ディーゼル発電機 (中速形) の評価部位別の評価結果 (11/35)

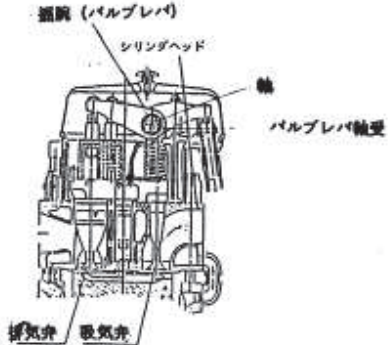
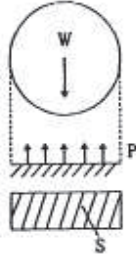
付表6.1-2-6 BWR中速形の評価部位別評価結果(4/4)

評価部位	ギアリング	評価項目	(4) アイドルギアスラスト強度	実証方法	C		※裕度 = $\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$																				
解析評価内容																											
外観形状			解析モデル				シリンダ数	12	16	18																	
解析式	$\alpha(\alpha) = (\sigma_v - \sigma) / (B \cdot W / s)$ <p>但し*</p> <table style="font-size: small;"> <tr> <td>σ_v</td> <td>: 降伏応力</td> <td>85</td> <td>kg/mm²</td> </tr> <tr> <td>σ</td> <td>: 運転時応力</td> <td>0.7</td> <td>kg/mm²</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>: 係数</td> <td>2.51×10^{-3}</td> <td></td> </tr> <tr> <td>W</td> <td>: アイドルギヤ重量</td> <td>110</td> <td>kg</td> </tr> </table>		σ_v	: 降伏応力	85	kg/mm ²	σ	: 運転時応力	0.7	kg/mm ²	B	: 係数	2.51×10^{-3}		W	: アイドルギヤ重量	110	kg	<p>ヘリカルギアでスラストを受けるため曲率の強度で評価する。</p>			評価条件	水平加速度 α_H	ρ	0.84	0.84	0.84
σ_v	: 降伏応力	85	kg/mm ²																								
σ	: 運転時応力	0.7	kg/mm ²																								
B	: 係数	2.51×10^{-3}																									
W	: アイドルギヤ重量	110	kg																								
						評価条件	鉛直加速度 α_V	ρ	0.38	0.38	0.38																
						評価条件	評価加速度 α	ρ	0.84	0.84	0.84																
						評価	裕度※	363	363	363																	
						評価	結果	○	○	○																	
備考							<p>評価加速度 (α) の算出式</p> $\alpha = \alpha_H$ <p>* ギアリング・アイドルギアスラストはシリンダ数に拘わらず同一型式を使用</p>																				
							シリンダ数	12	16	18																	
							許容値	降伏応力	kg/mm ²	85	85	85															
							限界値	加速度	ρ	305	305	305															

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-2 図 ディーゼル発電機 (中速形) の評価部位別の評価結果 (12/35)

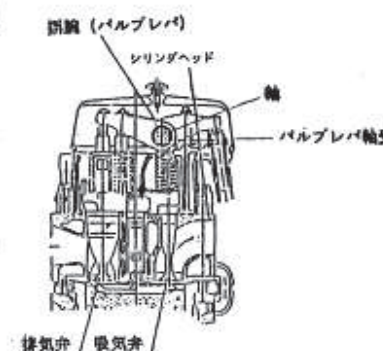
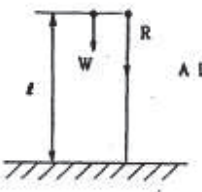
付表6.1-2-8 BWR中速形の評価部位別評価結果(1/5)

評価部位	動弁装置 揺腕	評価項目	(1) バルブレバ軸受		実証方法	C	※裕度 = $\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$
解析評価内容							
外観形状		解析モデル					
							
解析式							
$\alpha_{\alpha \cdot v} = (P_s - P) \cdot S / (W/g)$							
値し* P _s : 許容面圧 600 kg/cm ² P: 通常運転時軸受面圧 63.4 kg/cm ² S: 軸受投影面積 46.9 cm ² W: バルブレバ質量 19.1 kg							
		シリンダ数	12	16	18		
評価条件	水平加速度 α _H	g	0.84	0.84	0.84		
	鉛直加速度 α _V	g	0.38	0.38	0.38		
	評価加速度 α	g	0.92	0.92	0.92		
評 価		裕度※	1418	1418	1418		
		結 果	○	○	○		
備 考							
評価加速度 (α) の算出式							
$\alpha = \sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$							
* 数値はシリンダ数と関係なく同一仕様である。							
		シリンダ数	12	16	18		
許容値	面 圧	kg/cm ²	600	600	600		
限界値	加 速 度	g	1305	1305	1305		

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-2 図 ディーゼル発電機 (中速形) の評価部位別の評価結果 (13/35)

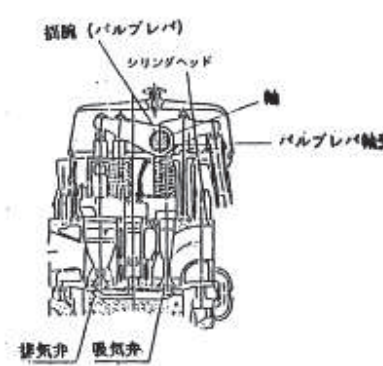
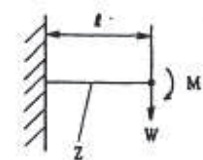
付表6.1-2-8 BWR中速形の評価部位別評価結果(2/5)

評価部位	動弁装置揺腕	評価項目	(2)プッシュロッド強度	実証方法	C	※裕度=	$\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$				
解析評価内容						シリンダ数	12	16	18		
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width:45%;"> <p style="text-align:center;">外観形状</p>  </div> <div style="width:45%;"> <p style="text-align:center;">解析モデル</p>  </div> </div>						評価条件	水平加速度 α_H	g	0.84	0.84	0.84
						鉛直加速度 α_V	g	0.38	0.38	0.38	
						評価加速度 α	g	0.92	0.92	0.92	
						評価	裕度※	1591	1591	1591	
						結果	○	○	○		
<p style="text-align:center;">解析式</p> $\alpha_{(H, V)} = \left[\frac{\sigma_s \cdot A}{1 + a \cdot (l/k)^2} - R \right] \frac{1}{W/g} - g$ <p>但し* σ_s : 許容応力 3400 kg/cm² A : プッシュロッド断面積 5.82 cm² a : 材質により決まる定数 1/7500 l : プッシュロッド長さ 95.5 cm</p> <p>k : $\sqrt{I/A}$ 1.35 cm R : 通常運転時荷重 1610 kg W : プッシュロッド重量 7 kg I : 断面二次モーメント 10.6 cm⁴</p>						備考					
						評価加速度(α)の算出式					
						$\alpha = \sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$					
						* 数値はシリンダ数と関係なく同一仕様である。					
						シリンダ数	12	16	18		
						許容値 荷重	kg	11868	11868	11868	
						限界値 加速度	g	1464	1464	1464	

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-2 図 ディーゼル発電機(中速形)の評価部位別の評価結果(14/35)

付表6.1-2-8 BWR中速形の評価部位別評価結果(3/5)

評価部位	動弁装置 揺腕	評価項目	(3) パルブレバ強度	実証方法	C	※裕度 = $\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$																		
解析評価内容 <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> 外観形状  </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> 解析モデル  </div> </div> <div style="margin-top: 20px;"> 解析式 $\alpha_{u \cdot v} = (\sigma_y \cdot Z - M) / l \cdot (W / g)$ <p>但し*</p> <table style="font-size: small;"> <tr> <td>σ_y : 降伏応力</td> <td>55</td> <td>kg/mm²</td> </tr> <tr> <td>Z : 断面係数</td> <td>1.76×10^4</td> <td>mm³</td> </tr> <tr> <td>M : 通常運転時曲げモーメント</td> <td>3.65×10^6</td> <td>kg・mm</td> </tr> <tr> <td>l : パルブレバ長さ</td> <td>228</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>W : パルブレバ質量</td> <td>11.3</td> <td>kg</td> </tr> </table> </div>						σ_y : 降伏応力	55	kg/mm ²	Z : 断面係数	1.76×10^4	mm ³	M : 通常運転時曲げモーメント	3.65×10^6	kg・mm	l : パルブレバ長さ	228	mm	W : パルブレバ質量	11.3	kg	シリンダ数	12	16	18
						σ_y : 降伏応力	55	kg/mm ²																
Z : 断面係数	1.76×10^4	mm ³																						
M : 通常運転時曲げモーメント	3.65×10^6	kg・mm																						
l : パルブレバ長さ	228	mm																						
W : パルブレバ質量	11.3	kg																						
評価条件	水平加速度 α_H	g	0.84	0.84	0.84																			
	鉛直加速度 α_V	g	0.38	0.38	0.38																			
	評価加速度 α	g	0.92	0.92	0.92																			
評価	裕度※		254	254	254																			
	結果		○	○	○																			
備考																								
評価加速度 (α) の算出式																								
$\alpha = \sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$																								
* 数値はシリンダ数と関係なく同一仕様である。																								
		シリンダ数	12	16	18																			
許容値	降伏応力	kg/mm ²	55	55	55																			
限界値	加速度	g	234	234	234																			

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-2 図 ディーゼル発電機 (中速形) の評価部位別の評価結果 (15/35)

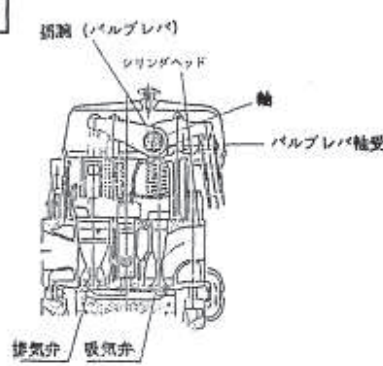
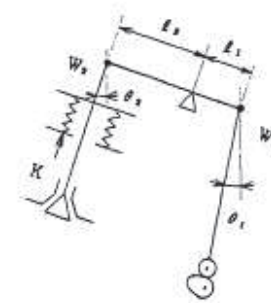
付表6.1-2-8 BWR中速形の評価部位別評価結果(4/5)

評価部位	動弁装置 揺腕	評価項目	(4)揺腕スラスト方向強度	実証方法	C	※裕度 = $\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$			
解析評価内容 <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">外観形状</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">解析モデル</div> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;">解析式</div> $a_H = F_s / (W/g)$ <p>但し* F_s: トメワ許容スラスト荷重 5468 kg W: バルブレバ重量 3.6 kg</p>						シリンダ数	12	16	18
						評価条件	水平加速度 α_H	g	0.84
	鉛直加速度 α_V	g	0.38	0.38	0.38				
	評価加速度 α	g	0.84	0.84	0.84				
評価	裕度*		1807	1807	1807				
	結果		○	○	○				
備考 評価加速度 (α) の算出式 $\alpha = \alpha_H$ * 数値はシリンダ数と関係なく同一仕様である。									
			シリンダ数	12	16	18			
許容値	荷重	kg	5468	5468	5468				
限界値	加速度	g	1518	1518	1518				

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-2 図 ディーゼル発電機 (中速形) の評価部位別の評価結果 (16/35)

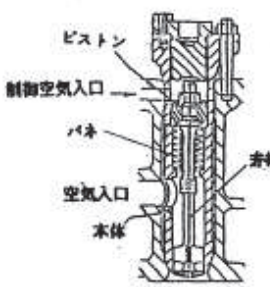
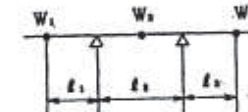
付表6.1-2-8 BWR中速形の評価部位別評価結果 (5/5)

評価部位	動弁装置 揺腕	評価項目	(5) 動弁装置の追従性		実証方法	C	※裕度 = $\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$
解析評価内容							
外観形状		解析モデル					
							
解析式		$\alpha_H = \frac{K - \alpha_{max} \cdot \frac{L_2}{L_1} \left(W_2/\beta + W_1/\beta \left(\frac{L_1}{L_2} \right)^2 \right) - b_2 \cdot W_2/\beta - b_1 \cdot W_1/\beta \cdot \frac{L_1}{L_2}}{a_2 W_2/\beta + a_1 W_1/\beta \cdot \frac{L_1}{L_2}}$					
但し* K : バネ力 412.8 kg α _{max} : カム運転加速度最大値 144.6 m/s ² L ₁ : プッシュロッドとバルブ軸受間距離 147 mm L ₂ : 弁棒とバルブ軸受間距離 147 mm W ₁ : 弁棒重量 7.742 kg W ₂ : プッシュロッド重量 12.348 kg		a ₁ = ±sin θ ₁ a ₂ = ±sin θ ₂ b ₁ = -(±α ₁) cos θ ₁ b ₂ = -(±α ₂) cos θ ₂ α ₁ : 揺腕方向加速度3.4°とした θ ₁ : プッシュロッドの傾き 13 度 θ ₂ : 弁棒の傾き 22.5 度					
		シリンダ数	12	16	18		
許容値	荷重	kg	412.8	412.8	412.8		
限界値	加速度	g	37.2	37.2	37.2		
		シリンダ数	18	16	12		
評価条件	水平加速度 α _H	g	0.84	0.84	0.84		
	鉛直加速度 α _V	g	0.38	0.38	0.38		
	評価加速度 α	g	0.84	0.84	0.84		
評価		裕度※	44.2	44.2	44.2		
		結果	○	○	○		
備考							
評価加速度 (α) の算出式							
α = α _H							
* 数値はシリンダ数と関係なく同一仕様である。							
評価する地震加速度方向に対して、動弁装置のカム側・弁側の相反する動作方向性を考慮したモデルで評価した。							

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-2 図 ディーゼル発電機 (中速形) の評価部位別の評価結果 (17/35)

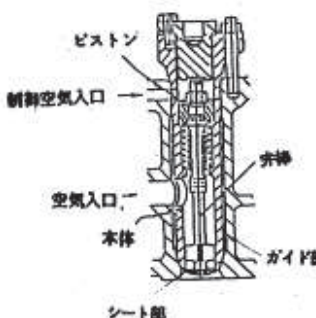
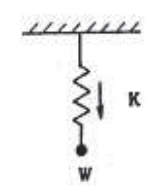
付表 6.1-2-9 BWR中速形の評価部位別評価結果 (1/2)

評価部位	始 動 弁	評価項目 (1) 弁 棒 の 曲 げ	実証方法	C	※裕度 = $\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$
解析評価内容					
外観形状		解析モデル			
					
解析式					
$\alpha_{H \cdot V} = \frac{\delta}{l_2} \left\{ \frac{W_2 / \rho \cdot l_2}{16 \cdot E \cdot I} - \frac{l_2}{6 E I} (2 \cdot W_1 / \rho \cdot l_1 + W_3 / \rho \cdot l_3) \right\}^{-1}$					
値し* δ : 最小スキマ 0.025 mm E : ヤング係数 2.1×10^4 kg/mm² I : 断面二次モーメント 2485 mm⁴ 					
$W_1 = 0.121$ kg $W_2 = 0.299$ kg $W_3 = 0.106$ kg $l_1 = 29$ mm $l_2 = 190.4$ mm $l_3 = 36.4$ mm					
		シリンダ数	1 2	1 6	1 8
許容値	変 位	mm	0.025	0.025	0.025
限界値	加 速 度	%	20.0	20.0	20.0
		シリンダ数	1 2	1 6	1 8
評 価 条 件	水平加速度 α_H	%	0.84	0.84	0.84
	鉛直加速度 α_V	%	0.38	0.38	0.38
	評価加速度 α	%	0.92	0.92	0.92
評 価		裕度※	21.7	21.7	21.7
		結果	○	○	○
備 考					
評価部位は傾いて取付けられているので評価 加速度は作用方向に合成したものである。 評価加速度 (α) の算出式 $\alpha = \alpha_H \cos 22.5^\circ + \alpha_V \sin 22.5^\circ$ * 数値はシリンダ数と関係なく同一仕様である。					

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-2 図 ディーゼル発電機 (中速形) の評価部位別の評価結果 (18/35)

付表6.1-2-9 BWR中速形の評価部位別評価結果(2/2)

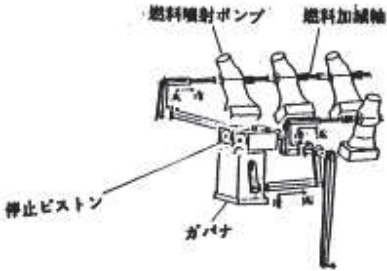
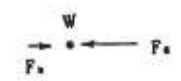
評価部位	始 動 弁	評価項目	(2) 弁 の 誤 開 閉		実証方法	C	※裕度 = $\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$					
解析評価内容							シリンダ数	12	16	18		
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="text-align:center;">外観形状</p>  </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="text-align:center;">解析モデル</p>  </div> </div>							評価条件	水平加速度 α_H	%	0.84	0.84	0.84
							鉛直加速度 α_V	%	0.38	0.38	0.38	
							評価加速度 α	%	0.67	0.67	0.67	
							裕度※	99.2	99.2	99.2		
							結果	○	○	○		
<p style="text-align:center;">解析式</p> $\alpha_H + \alpha_V = K / (W/g)$ <p>但し * K : バネ力 35 kg W : 弁質量 0.526 kg</p>							<p>備考</p> <p>評価部位は傾いて取付けられているので評価加速度は作用方向に合成したものである。</p> <p>評価加速度 (α) の算出式</p> $\alpha = \alpha_H \sin 22.5^\circ + \alpha_V \cos 22.5^\circ$ <p>* 数値はシリンダ数と関係なく同一仕様である。</p>					
							シリンダ数	12	16	18		
							許容値 荷重 kg	35	35	35		
							限界値 加速度 %	66.5	66.5	66.5		

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-2 図 ディーゼル発電機 (中速形) の評価部位別の評価結果 (19/35)

別添 2-5-1-30

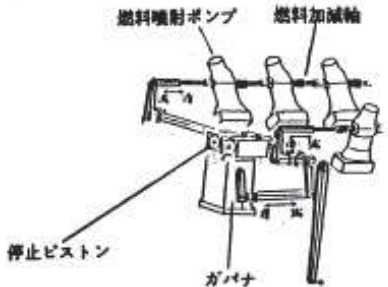
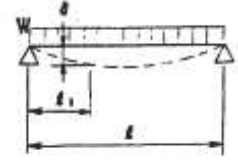
付表6.1-2-12 BWR中速形の評価部位別評価結果(1/2)

評価部位	ガバナリンク装置	評価項目	(1)地震時の抵抗		実証方法	C	※裕度 = $\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$			
解析評価内容					シリンダ数			12	16	18
					固有振動数(加減軸)			Hz	27.7	27.7
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> 外観形状  </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> 解析モデル  </div> </div>					評価条件	水平加速度 α_H	g	0.84	0.84	0.84
						鉛直加速度 α_V	g	0.38	0.38	0.38
						評価加速度 α	g	0.92	0.92	0.92
					評価		裕度※	14.1	13.6	13.2
					結果		○	○	○	
解析式 $\alpha_{\alpha \cdot v} = (F_a - F_b) / (W/g)$ <p>但し * F_a : ガバナ駆動力 152.3 kg F_b : リンクを地方向に引っ張った時の突測抵抗力 30 kg W : リンク重量 10 kg</p>					備考					
					評価加速度 (α) の算出式 $\alpha = \sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$ <p>* 数値は18シリンダの例である。</p> <p>シリンダ数が減少することによりリンクの抵抗力が減少するため、限界値は増加する。</p>					
					シリンダ数			12	16	18
					許容値	荷重	kg	152.3	152.3	152.3
					限界値	加速度	g	13.0	12.6	12.2

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-2 図 ディーゼル発電機(中速形)の評価部位別の評価結果(20/35)

付表6.1-2-12 BWR中速形の評価部位別評価結果(2/2)

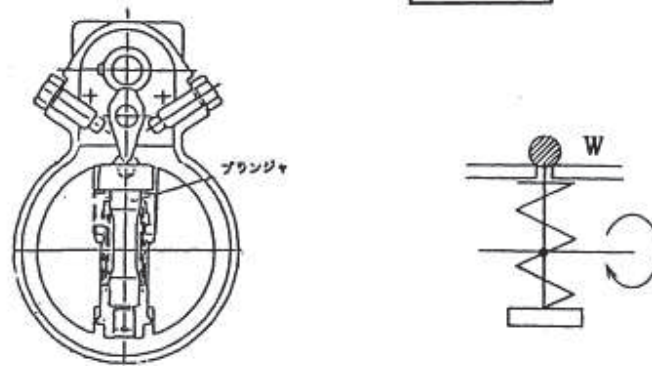
評価部位	ガバナリンク装置	評価項目	(2)燃料加減軸とコントロールラックの動き		実証方法	C	※裕度 =	$\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$																												
解析評価内容					シリンダ数																															
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="text-align:center;">外観形状</p>  </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="text-align:center;">解析モデル</p>  </div> </div>					12	16	18																													
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="text-align:center;">解析式</p> $\alpha_{(H+V)} = \frac{24 \cdot E \cdot I \cdot \delta}{W \cdot l^3 \cdot l_1}$ <p>値し*</p> <table style="font-size: small;"> <tr> <td>E</td><td>: ヤング係数</td><td>2.1×10^4</td><td>kg/mm²</td> </tr> <tr> <td>I</td><td>: 断面二次モーメント</td><td>7850</td><td>mm⁴</td> </tr> <tr> <td>δ</td><td>: 最小スリマ</td><td>1.0</td><td>mm</td> </tr> <tr> <td>W</td><td>: 単位長さ当り重量</td><td>2.737×10^{-3}</td><td>kg/mm</td> </tr> <tr> <td>l</td><td>: コントロールラック間距離</td><td>740</td><td>mm</td> </tr> <tr> <td>l₁</td><td>: コントロールラック長さ</td><td>285</td><td>mm</td> </tr> </table> </div>					E	: ヤング係数	2.1×10^4	kg/mm ²	I	: 断面二次モーメント	7850	mm ⁴	δ	: 最小スリマ	1.0	mm	W	: 単位長さ当り重量	2.737×10^{-3}	kg/mm	l	: コントロールラック間距離	740	mm	l ₁	: コントロールラック長さ	285	mm	0.84	0.84	0.84					
E	: ヤング係数	2.1×10^4	kg/mm ²																																	
I	: 断面二次モーメント	7850	mm ⁴																																	
δ	: 最小スリマ	1.0	mm																																	
W	: 単位長さ当り重量	2.737×10^{-3}	kg/mm																																	
l	: コントロールラック間距離	740	mm																																	
l ₁	: コントロールラック長さ	285	mm																																	
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; font-size: x-small;"> <tr> <td style="width:20%;"></td> <td style="width:10%;">シリンダ数</td> <td style="width:10%;">12</td> <td style="width:10%;">16</td> <td style="width:10%;">18</td> </tr> <tr> <td rowspan="2" style="writing-mode: vertical-rl;">評価条件</td> <td>水平加速度 α_H</td> <td style="text-align:center;">?</td> <td style="text-align:center;">0.84</td> <td style="text-align:center;">0.84</td> </tr> <tr> <td>鉛直加速度 α_V</td> <td style="text-align:center;">?</td> <td style="text-align:center;">0.38</td> <td style="text-align:center;">0.38</td> </tr> <tr> <td></td> <td>評価加速度 α</td> <td style="text-align:center;">?</td> <td style="text-align:center;">0.92</td> <td style="text-align:center;">0.92</td> </tr> <tr> <td rowspan="2" style="text-align:center;">評価</td> <td>裕度※</td> <td style="text-align:center;">13.6</td> <td style="text-align:center;">13.6</td> <td style="text-align:center;">13.6</td> </tr> <tr> <td>結果</td> <td style="text-align:center;">○</td> <td style="text-align:center;">○</td> <td style="text-align:center;">○</td> </tr> </table>						シリンダ数	12	16	18	評価条件	水平加速度 α_H	?	0.84	0.84	鉛直加速度 α_V	?	0.38	0.38		評価加速度 α	?	0.92	0.92	評価	裕度※	13.6	13.6	13.6	結果	○	○	○	<p>備考</p> <p>評価加速度 (α) の算出式</p> $\alpha = \sqrt{\alpha_H + \alpha_V}$ <p>なお、変位は1シリンダでの撓み量を求めて評価</p> <p>* 数値はシリンダ数と関係なく同一仕様である。</p>			
	シリンダ数	12	16	18																																
評価条件	水平加速度 α_H	?	0.84	0.84																																
	鉛直加速度 α_V	?	0.38	0.38																																
	評価加速度 α	?	0.92	0.92																																
評価	裕度※	13.6	13.6	13.6																																
	結果	○	○	○																																
					シリンダ数																															
					12	16	18																													
					許容値	変位	mm	1.0	1.0	1.0																										
					限界値	加速度	?	12.52	12.52	12.52																										

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-2 図 ディーゼル発電機 (中速形) の評価部位別の評価結果 (21/35)

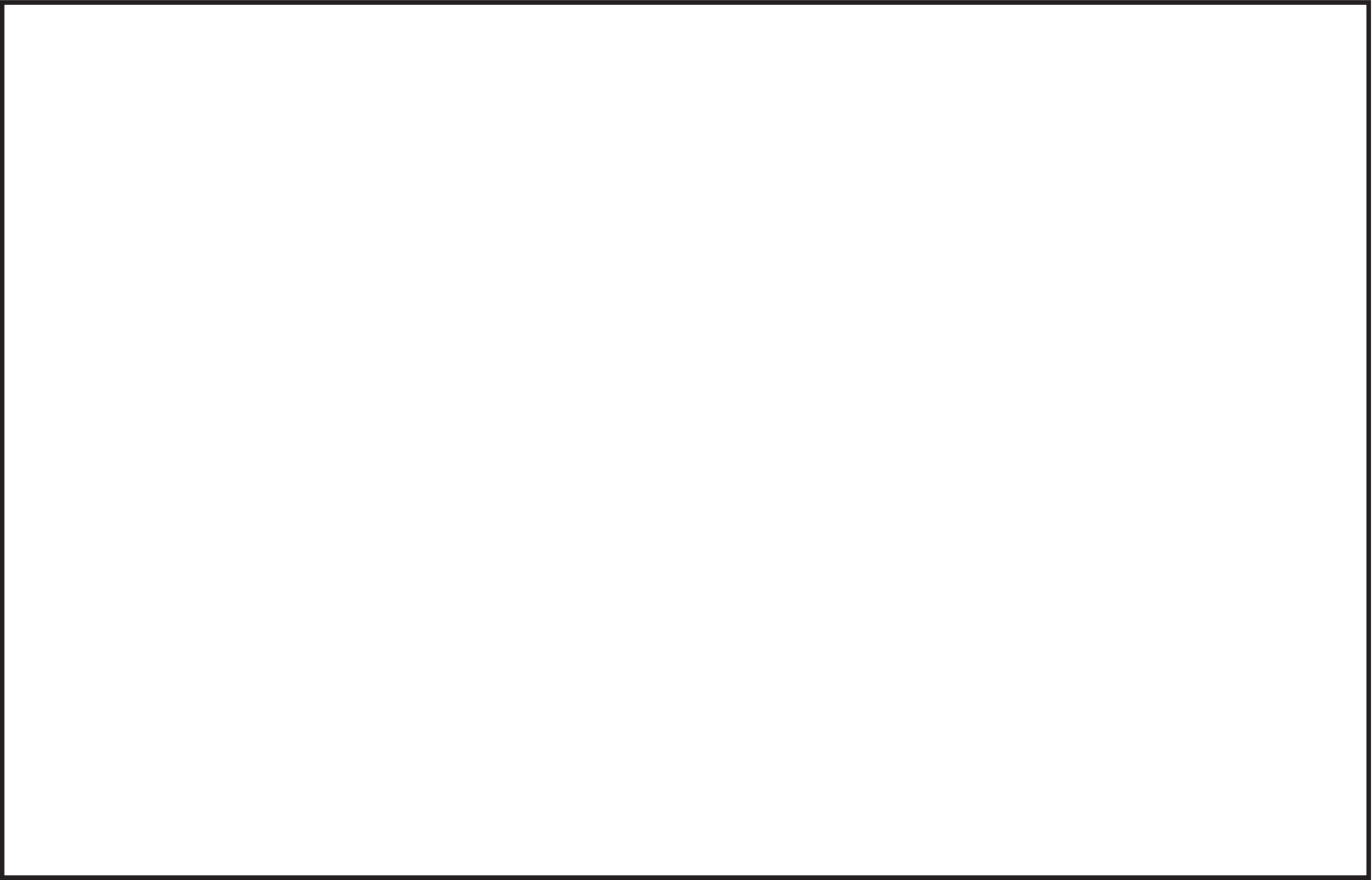
別添 2-5-1-32

付表6.1-2-20 BWR中速形の評価部位別評価結果

評価部位	オーバースピードトリップ装置	評価項目	(1)ブランジャの誤動作	実証方法	C	※裕度 = $\frac{\text{限界加速度 II}}{\text{評価加速度}}$			
解析評価内容				シリンダ数	12	16	18		
				固有振動数 (ブランジャ)	Hz	21.7	21.7	21.7	
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">外観形状</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">解析モデル</div> </div> 				評価条件	水平加速度 α_H	g	0.84	0.84	0.84
				鉛直加速度 α_V	g	0.38	0.38	0.38	
				評価加速度 α	g	0.92	0.92	0.92	
解析式				評価	裕度※	2.1	2.1	2.1	
				結果	○	○	○		
$\alpha_{(\alpha \cdot v)} = \frac{K \cdot X_0 - W / g \cdot r \cdot \omega^2}{W / g}$				備考					
但し* K : バネ定数 0.85 kg/mm X ₀ : バネの初期圧縮量 17.5 mm r : 回転中心から重心までの距離 4.25 mm ω : 角速度 267.57 rad/sec W : ブランジャ重量 0.45 kg				評価加速度 (α) の算出式 $\alpha = \sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$ * オーバースピードトリップ装置はシリンダ数に拘らず同一型式。 また、機関定格回転時における裕度は8となったため、限界加速度IIレベル(始動時の最高回転数)で再評価した。					
				シリンダ数	12	16	18		
				許容値 荷重	kg	17.4	17.4	17.4	
				限界値 加速度	g	2.0	2.0	2.0	

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

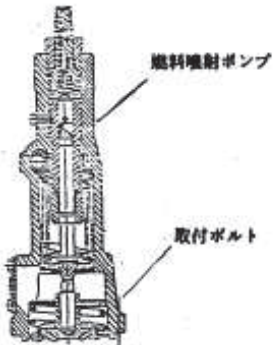
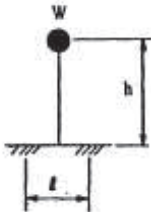
別添 2-5-1-2 図 ディーゼル発電機 (中速形) の評価部位別の評価結果 (22/35)



別添 2-5-1-2 図 ディーゼル発電機（中速形）の評価部位別の評価結果（23/35）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

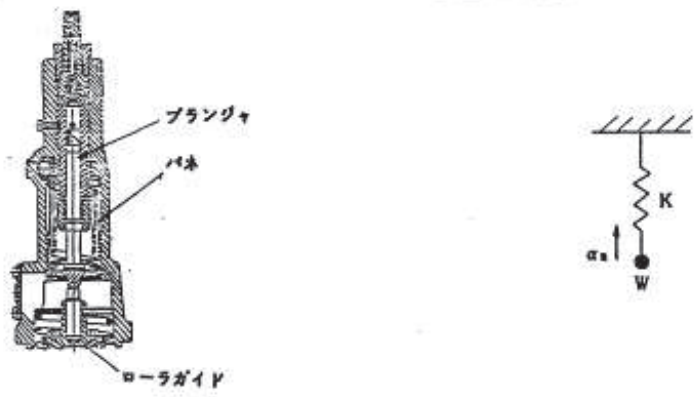
付表6.1-2-21 BWR中速形の評価部位別評価結果(1/2)

評価部位	燃料噴射ポンプ	評価項目	(1) 取付ボルト強度		実証方法	C	※裕度 = $\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$
解析評価内容							
外観形状		解析モデル					
							
解析式		$\alpha_{(a)} = \frac{(\alpha_v - \sigma) A \cdot N \cdot l - (1 + \alpha_v) W / \rho \sin 13.5^\circ \cdot h + (1 + \alpha_v) W / \rho \cos 13.5^\circ \cdot l / 2}{W / \rho \cdot (\cos 13.5^\circ \cdot h + \sin 13.5^\circ \cdot l / 2)}$					
但し* α_v : 降伏応力 50 kg/mm ² σ : (締付応力) + (運転時応力) 33.3 kg/mm ² A : ボルト断面積 346 mm ² l : ボルトピッチ 140 mm h : 重心高さ 290 mm W : 燃料噴射ポンプ質量 50 kg N : 引張りを受けるボルトの本数 2 α_v : 鉛直方向加速度は 0.4g							
		シリンダ数	12	16	18		
許容値	降伏応力	kg/mm ²	50	50	50		
限界値	限界加速度	g	108.4	108.4	108.4		
		評価条件	水平加速度 α_H	g	0.84	0.84	0.84
			鉛直加速度 α_V	g	0.38	0.38	0.38
			評価加速度 α	g	0.84	0.84	0.84
評価		裕度※	129	129	129		
		結果	○	○	○		
備考							
評価加速度 (α) の算出式							
$\alpha = \alpha_H$							
* 数値はシリンダ数と関係なく同一仕様である。							

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-2 図 ディーゼル発電機 (中速形) の評価部位別の評価結果 (24/35)

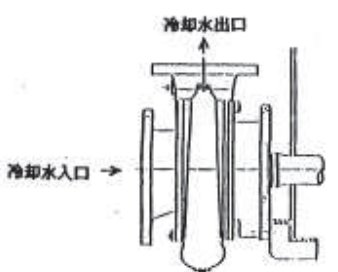
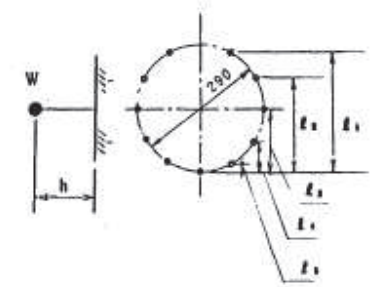
付表6.1-2-21 BWR中速形の評価部位別評価結果(2/2)

評価部位	燃料噴射ポンプ	評価項目	(2)フランジとローガイドの追従性		実証方法	C	※裕度 = $\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$																	
解析評価内容					シリンダ数			12	16	18														
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">外観形状</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">解析モデル</div> </div>  <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;">解析式</div> $a_{H+V} = \frac{K}{W/g} \cdot a_H$ <p>値し* K : バネ力 236.6 kg W : ローガイド部重量 11.39 kg a_H : ローガイド部運動加速度 157980 mm/sec²</p>					評価条件			水平加速度 α_H	g	0.84	0.84	0.84												
			鉛直加速度 α_V	g	0.38	0.38	0.38																	
			評価加速度 α	g	0.40	0.40	0.40																	
			評価		裕度※	11.6	11.6	11.6																
					結果	○	○	○																
備考																								
<p>評価部位は傾いて取付けられているので評価加速度は作用方向に合成したものである。</p> <p>評価加速度 (α) の算出式</p> $\alpha = \alpha_H \sin 13.5^\circ + (\alpha_V - 1) \cos 13.5^\circ$ <p>* 数値はシリンダ数と関係なく同一仕様である。</p>																								
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2" style="text-align:center;">シリンダ数</td> <td style="text-align:center;">12</td> <td style="text-align:center;">16</td> <td style="text-align:center;">18</td> </tr> <tr> <td style="text-align:center;">許容値</td> <td style="text-align:center;">荷重</td> <td style="text-align:center;">kg</td> <td style="text-align:center;">236.6</td> <td style="text-align:center;">236.6</td> <td style="text-align:center;">236.6</td> </tr> <tr> <td style="text-align:center;">限界値</td> <td style="text-align:center;">加速度</td> <td style="text-align:center;">g</td> <td style="text-align:center;">4.65</td> <td style="text-align:center;">4.65</td> <td style="text-align:center;">4.65</td> </tr> </table>					シリンダ数		12	16	18	許容値	荷重	kg	236.6	236.6	236.6	限界値	加速度	g	4.65	4.65	4.65			
シリンダ数		12	16	18																				
許容値	荷重	kg	236.6	236.6	236.6																			
限界値	加速度	g	4.65	4.65	4.65																			

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-2 図 ディーゼル発電機(中速形)の評価部位別の評価結果(25/35)

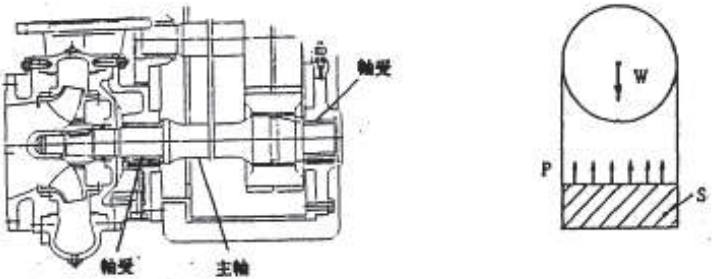
付表6.1-2-22 BWR中速形の評価部位別評価結果(1/3)

評価部位	冷却水ポンプ	評価項目	(1) 取付ボルト強度	実証方法	C		※裕度 = $\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$																																										
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>解析評価内容</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 45%;"> <p style="text-align: center;">外観形状</p>  </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 45%;"> <p style="text-align: center;">解析モデル</p>  </div> </div> <div style="margin-top: 20px;"> <p>解析式</p> $\alpha_{(H+V)} = \frac{(\sigma_v - \sigma) \cdot A}{(W/S) \cdot h \cdot d_1 / 2 (d_1^2 + d_2^2 + d_3^2 + d_4^2 + d_5^2)^{-1}}$ <p>但し*</p> <table style="font-size: small;"> <tr><td>σ_v</td><td>: 降伏応力</td><td>24</td><td>kg/mm²</td></tr> <tr><td>σ</td><td>: 軸付応力+運転時応力</td><td>14.4</td><td>kg/mm²</td></tr> <tr><td>A</td><td>: ボルト断面積</td><td>149.6</td><td>mm²</td></tr> <tr><td>W</td><td>: 冷却水ポンプ重量</td><td>225</td><td>kg</td></tr> <tr><td>h</td><td>: 取付面から重心までの距離</td><td>135</td><td>mm</td></tr> <tr><td>d_1</td><td>: 一番下のボルトから一番上のボルトまでの距離</td><td>270.6</td><td>mm</td></tr> <tr><td>d_2</td><td>: 一番下のボルトから上から2番目のボルトまでの距離</td><td>217.5</td><td>mm</td></tr> <tr><td>d_3</td><td>: 一番下のボルトから上から3番目のボルトまでの距離</td><td>145</td><td>mm</td></tr> <tr><td>d_4</td><td>: 一番下のボルトから上から4番目のボルトまでの距離</td><td>72.5</td><td>mm</td></tr> <tr><td>d_5</td><td>: 一番下のボルトから上から5番目のボルトまでの距離</td><td>19.4</td><td>mm</td></tr> </table> </div> </div> </div>						σ_v	: 降伏応力	24	kg/mm ²	σ	: 軸付応力+運転時応力	14.4	kg/mm ²	A	: ボルト断面積	149.6	mm ²	W	: 冷却水ポンプ重量	225	kg	h	: 取付面から重心までの距離	135	mm	d_1	: 一番下のボルトから一番上のボルトまでの距離	270.6	mm	d_2	: 一番下のボルトから上から2番目のボルトまでの距離	217.5	mm	d_3	: 一番下のボルトから上から3番目のボルトまでの距離	145	mm	d_4	: 一番下のボルトから上から4番目のボルトまでの距離	72.5	mm	d_5	: 一番下のボルトから上から5番目のボルトまでの距離	19.4	mm	シリンダ数	12	16	18
						σ_v	: 降伏応力	24	kg/mm ²																																								
σ	: 軸付応力+運転時応力	14.4	kg/mm ²																																														
A	: ボルト断面積	149.6	mm ²																																														
W	: 冷却水ポンプ重量	225	kg																																														
h	: 取付面から重心までの距離	135	mm																																														
d_1	: 一番下のボルトから一番上のボルトまでの距離	270.6	mm																																														
d_2	: 一番下のボルトから上から2番目のボルトまでの距離	217.5	mm																																														
d_3	: 一番下のボルトから上から3番目のボルトまでの距離	145	mm																																														
d_4	: 一番下のボルトから上から4番目のボルトまでの距離	72.5	mm																																														
d_5	: 一番下のボルトから上から5番目のボルトまでの距離	19.4	mm																																														
固有振動数 (ポンプ軸)	Hz	218	211	205																																													
評価条件	水平加速度 α_H	g	0.84	0.84	0.84																																												
	鉛直加速度 α_V	g	0.38	0.38	0.38																																												
	評価加速度 α	g	0.92	0.92	0.92																																												
評価		裕度※	55.8	55.8	55.8																																												
		結果	○	○	○																																												
<p>備考</p> <p>評価加速度 (α) の算出式</p> $\alpha = \sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$ <p>なお、冷却水ポンプはシリンダ数によって吐出容量は異なるが、これはインペラの径を変更(重量が異なる)しているもので他の結元は同一</p> <p>据付側も機器と同一の鋼製の場合、転倒に対する中立軸の位置は、JEAG4601の手法で解析する場合とほぼ同等であり、従って限界加速度もJEAG4601の手法で解析する場合と同等である。</p> <p style="text-align: right;">* 数値はシリンダ数と関係なく同一仕様である。</p>																																																	
		シリンダ数	12	16	18																																												
許容値	降伏応力	kg/mm ²	24	24	24																																												
限界値	加速度	g	51.4	51.4	51.4																																												

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-2 図 ディーゼル発電機(中速形)の評価部位別の評価結果(26/35)

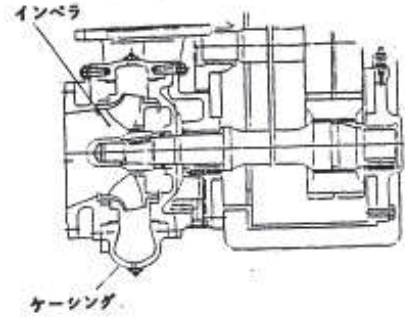
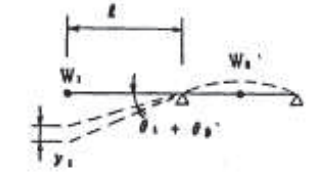
付表6.1-2-22 BWR中速形の評価部位別評価結果(2/3)

評価部位	冷却水ポンプ	評価項目(2)	軸受荷重	実証方法	C	※裕度 =	$\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$																		
解析評価内容 <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">外観形状</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">解析モデル</div> </div>  <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;">解析式</div> $\alpha_{(H+V)} = (P_s - P) \cdot S / (W/g)$ <p>但し*</p> <table style="margin-left: 20px;"> <tr><td>P_s</td><td>: 許容面圧</td><td>120</td><td>kg/cm²</td></tr> <tr><td>P</td><td>: 通常運転時軸受面圧</td><td>4.7</td><td>kg/cm²</td></tr> <tr><td>S</td><td>: 軸受投影面積</td><td>36.3</td><td>cm²</td></tr> <tr><td>W</td><td>: 軸重量</td><td>146.55</td><td>kg</td></tr> </table>						P_s	: 許容面圧	120	kg/cm ²	P	: 通常運転時軸受面圧	4.7	kg/cm ²	S	: 軸受投影面積	36.3	cm ²	W	: 軸重量	146.55	kg	シリンダ数	12	16	18
						P_s	: 許容面圧	120	kg/cm ²																
P	: 通常運転時軸受面圧	4.7	kg/cm ²																						
S	: 軸受投影面積	36.3	cm ²																						
W	: 軸重量	146.55	kg																						
評価条件	水平加速度 α_H	g	0.84	0.84	0.84																				
	鉛直加速度 α_V	g	0.38	0.38	0.38																				
	評価加速度 α	g	0.92	0.92	0.92																				
評価		裕度※	30.8	30.8	30.8																				
		結果	○	○	○																				
備考 評価加速度(α)の算出式 $\alpha = \sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$ <p>なお、冷却水ポンプはシリンダ数によって吐出容量は異なるが、これはインペラの径を変更(重量が異なる)しているもので他の精元は同一</p> <p>* 数値は18シリンダの例である。</p>																									
		シリンダ数	12	16	18																				
許容値	面圧	kg/cm ²	120	120	120																				
限界値	加速度	g	28.4	28.5	28.5																				

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添2-5-1-2 図 ディーゼル発電機(中速形)の評価部位別の評価結果(27/35)

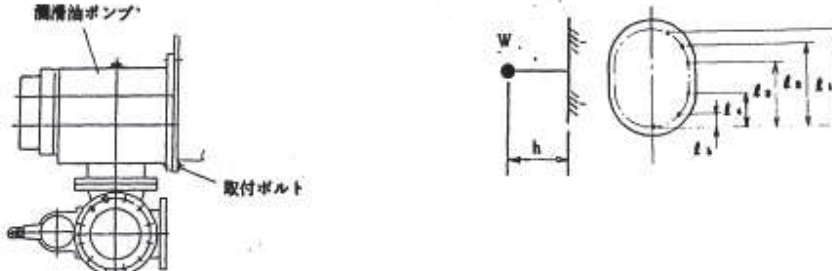
付表6.1-2-22 BWR中速形の評価部位別評価結果 (3/3)

評価部位	冷却水ポンプ	評価項目	(3)ケーシングとインペラの干渉	実証方法	C	※裕度=	$\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$
解析評価内容							
外観形状		解析モデル					
							
解析式							
$\alpha_{(H+V)} = \Delta l / (y_1 + l(\theta_1 + \theta_2))$							
但し* Δl : インペラとケーシングのクリアランス 0.28 mm W_1 : (羽根車+軸) 重量 13 kg W_2 : (軸+歯車) 重量 24.5 kg l : インペラから軸受までの距離 166 mm y_1 : W_1 によるたわみ量 2.101×10^{-3} mm θ_1 : W_1 による①部のたわみ角 1.342×10^{-4} rad θ_2 : W_2 による②部のたわみ角 -3.643×10^{-4} rad							
		シリンダ数	12	16	18		
評価条件	水平加速度 α_H	g	0.84	0.84	0.84		
	鉛直加速度 α_V	g	0.38	0.38	0.38		
	評価加速度 α	g	0.92	0.92	0.92		
評価		裕度※	95.1	86.9	82.1		
		結果	○	○	○		
備考							
評価加速度 (α) の算出式 $\alpha = \sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$							
*、冷却水ポンプはシリンダ数によって吐出容量は異なるが、これはインペラの径を変更（重量が異なる）しているもので他の楕元は同一。数値は18シリンダの例である。							
		シリンダ数	12	16	18		
許容値	変位	mm	0.28	0.28	0.28		
限界値	加速度	g	87.5	80.0	75.6		

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-2 図 ディーゼル発電機 (中速形) の評価部位別の評価結果 (28/35)

付表6.1-2-23 BWR中速形の評価部位別評価結果(1/3)

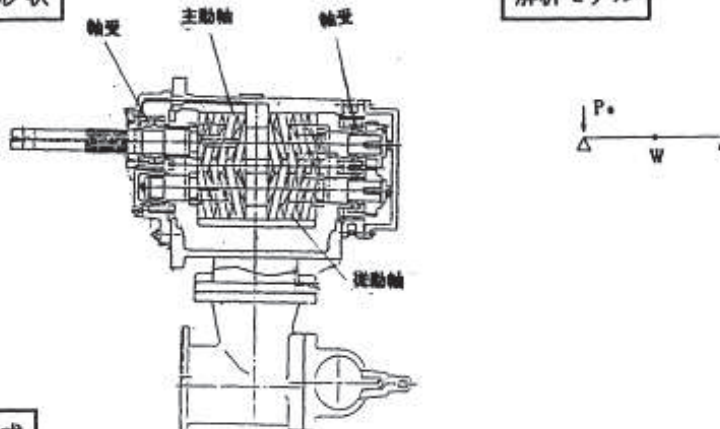
評価部位	潤滑油ポンプ	評価項目	(1) 取付ボルト強度	実証方法	C		※裕度 = $\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$	
解析評価内容						シリンダ数	1 2 1 6 1 8	
外観形状		解析モデル				固有振動数 (ポンプ軸)	Hz	283 283 283
		評価条件		水平加速度 α_H	g	0.84	0.84	0.84
		鉛直加速度 α_V		g	0.38	0.38	0.38	
		評価加速度 α		g	0.92	0.92	0.92	
評価		裕度※		結果	○	○	○	
解析式						備考		
$\alpha_{(H+V)} = \frac{(\sigma_y - \sigma) \cdot A}{(W/S) \cdot h \cdot d_1 / 2 (d_1^2 + d_2^2 + d_3^2 + d_4^2 + d_5^2)^{-1}}$						評価加速度 (α) の算出式 $\alpha = \sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$		
但し* σ_y : 降伏応力 24 kg/mm ² σ : 締付応力+運転時応力 14.4 kg/mm ² A : ボルト断面積 176.6 mm ² W : 潤滑油ポンプ重量 600 kg h : 取付面から重心までの距離 300 mm d_1 : 一番下のボルトから一番上のボルトまでの距離 417.2 mm d_2 : 一番下のボルトから上から2番目のボルトまでの距離 357.8 mm d_3 : 一番下のボルトから上から3番目のボルトまでの距離 276.5 mm d_4 : 一番下のボルトから上から4番目のボルトまでの距離 162.5 mm d_5 : 一番下のボルトから上から5番目のボルトまでの距離 47.6 mm						* 潤滑油ポンプはシリンダ数によって吐出容量は異なるが、これはギアポンプのリード角を変更しているもので他の緒元は同一 据付側も機器と同一の鋼製の場合、転倒に対する中立軸の位置は、JEAG4601の手法で解析する場合とほぼ同等であり、従って限界加速度もJEAG4601の手法で解析する場合と同等である。		
シリンダ数		1 2	1 6	1 8				
許容値	降伏応力	kg/mm ²	24	24	24			
限界値	加速度	g	18.38	18.38	18.38			

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-2 図 ディーゼル発電機 (中速形) の評価部位別の評価結果 (29/35)

別添 2-5-1-40

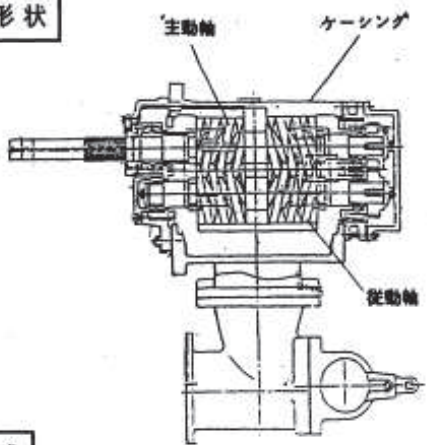
付表6.1-2-23 BWR中速形の評価部位別評価結果(2/3)

評価部位	潤滑油ポンプ	評価項目	(2) 軸受荷重	実証方法	C	※裕度 = $\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$																					
解析評価内容						シリンダ数	12	16	18																		
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">外観形状</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">解析モデル</div> </div>  <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;">解析式</div> $\alpha(n) = \frac{C_0 \cdot P_0}{X_0 \cdot (W/g)}$ <p>但し*</p> <table style="margin-left: 20px;"> <tr> <td>C_0</td> <td>: 軸受基本静定格荷重</td> <td>11400</td> <td>kg</td> </tr> <tr> <td>P_0</td> <td>: 運転時軸受静等価荷重 (垂直加速度0.4gを含む)</td> <td>666.12</td> <td>kg</td> </tr> <tr> <td>X_0</td> <td>: 係数</td> <td>0.78</td> <td></td> </tr> <tr> <td>W</td> <td>: 主動軸重量</td> <td>62</td> <td>kg</td> </tr> </table>						C_0	: 軸受基本静定格荷重	11400	kg	P_0	: 運転時軸受静等価荷重 (垂直加速度0.4gを含む)	666.12	kg	X_0	: 係数	0.78		W	: 主動軸重量	62	kg	評価条件	水平加速度 α_H	g	0.84	0.84	0.84
						C_0	: 軸受基本静定格荷重	11400	kg																		
						P_0	: 運転時軸受静等価荷重 (垂直加速度0.4gを含む)	666.12	kg																		
X_0	: 係数	0.78																									
W	: 主動軸重量	62	kg																								
鉛直加速度 α_V	g	0.38	0.38	0.38																							
評価加速度 α	g	0.84	0.84	0.84																							
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>評価</div> <div>裕度※</div> </div> <table style="margin-left: 20px;"> <tr> <td>裕度※</td> <td>263</td> <td>263</td> <td>263</td> </tr> <tr> <td>結果</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> </table>						裕度※	263	263	263	結果	○	○	○	備考													
						裕度※	263	263	263																		
結果	○	○	○																								
<p>評価加速度 (α) の算出式</p> $\alpha = \alpha_H$ <p>* 潤滑油ポンプはシリンダ数によって吐出容量は異なるが、これはギアポンプのリード角を変更しているもので他の緒元は同一</p>																											
<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td colspan="2">シリンダ数</td> <td></td> <td>12</td> <td>16</td> <td>18</td> </tr> <tr> <td>許容値</td> <td>荷重</td> <td>kg</td> <td>11400</td> <td>11400</td> <td>11400</td> </tr> <tr> <td>限界値</td> <td>加速度</td> <td>g</td> <td>221</td> <td>221</td> <td>221</td> </tr> </table>						シリンダ数			12	16	18	許容値	荷重	kg	11400	11400	11400	限界値	加速度	g	221	221	221				
シリンダ数			12	16	18																						
許容値	荷重	kg	11400	11400	11400																						
限界値	加速度	g	221	221	221																						

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-2 図 ディーゼル発電機 (中速形) の評価部位別の評価結果 (30/35)

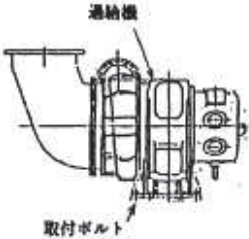
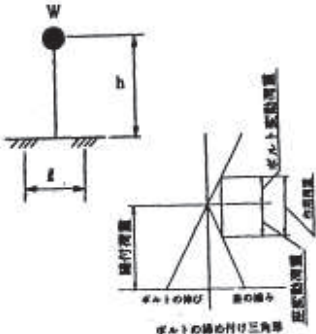
付表6.1-2-23 BWR中速形の評価部位別評価結果 (3/3)

評価部位	潤滑油ポンプ	評価項目	(3)ケーシングとの干渉	実証方法	C	※裕度 = $\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$				
解析評価内容 <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">外観形状</div>  <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">解析モデル</div> </div> <div style="margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">解析式</div> <p>線形モデルFEM解析</p> <p>但し* W_1 : 駆動歯車重量 31.96 kg W_2 : スクリュー重量 13.90 kg W_3 : スクリュー重量 13.90 kg W_4 : 歯車重量 3.0 kg</p> </div>						シリンダ数	12	16	18	
						評価条件	水平加速度 α_H	g	0.84	0.84
	鉛直加速度 α_V	g	0.38	0.38	0.38					
	評価加速度 α	g	0.92	0.92	0.92					
評価	裕度※		191	191	191					
	結果		○	○	○					
備考 評価加速度 (α) の算出式 $\alpha = \sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$ * 数値はシリンダ数と関係なく同一仕様である。										
						シリンダ数	12	16	18	
						許容値 変位	mm	0.22	0.22	0.22
						限界値 加速度	g	176	176	176

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-2 図 ディーゼル発電機 (中速形) の評価部位別の評価結果 (31/35)

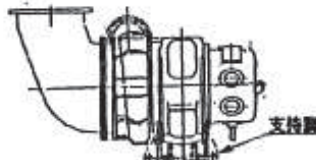
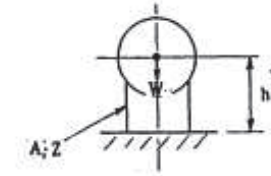
付表6.1-2-24 BWR中速形の評価部位別評価結果(1/4)

評価部位 通給機	評価項目 (1) 取付ボルト強度	実証方法 C	※裕度 = $\frac{\text{限界加速度Ⅱ}}{\text{評価加速度}}$																																			
<p>解析評価内容</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 30%;"> <p style="text-align: center;">外觀形状</p>  </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 30%;"> <p style="text-align: center;">解析モデル</p>  </div> </div> <div style="margin-top: 20px;"> <p style="text-align: center;">解析式</p> <p style="text-align: center;">* $\alpha_{(H)} = \frac{1}{4.610} (\sigma_y + 0.500)$</p> <p style="text-align: center;">σ_y : 降伏応力</p> </div>		<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align:center;">シリンダ数</td> <td style="text-align:center;">12</td> <td style="text-align:center;">16</td> <td style="text-align:center;">18</td> </tr> <tr> <td style="text-align:center;">固有振動数 (ロータ軸) Hz</td> <td style="text-align:center;">67</td> <td style="text-align:center;">125</td> <td style="text-align:center;">125</td> </tr> <tr> <td rowspan="3" style="text-align:center;">評価条件</td> <td style="text-align:center;">水平加速度 α_H</td> <td style="text-align:center;">g</td> <td style="text-align:center;">0.84</td> <td style="text-align:center;">0.84</td> <td style="text-align:center;">0.84</td> </tr> <tr> <td style="text-align:center;">鉛直加速度 α_V</td> <td style="text-align:center;">g</td> <td style="text-align:center;">0.38</td> <td style="text-align:center;">0.38</td> <td style="text-align:center;">0.38</td> </tr> <tr> <td style="text-align:center;">評価加速度 α</td> <td style="text-align:center;">g</td> <td style="text-align:center;">0.84</td> <td style="text-align:center;">0.84</td> <td style="text-align:center;">0.84</td> </tr> <tr> <td rowspan="2" style="text-align:center;">評価</td> <td style="text-align:center;">裕度※</td> <td style="text-align:center;">19.1</td> <td style="text-align:center;">12.9</td> <td style="text-align:center;">12.9</td> </tr> <tr> <td style="text-align:center;">結果</td> <td style="text-align:center;">○</td> <td style="text-align:center;">○</td> <td style="text-align:center;">○</td> </tr> </table> <p>備考</p> <p>評価加速度 (α) の算出式 $\alpha = \alpha_H$</p> <p>なお、本評価部位はBWR高速形実証試験入力波の応答曲線の20~30Hz間のピークに共振したため、応答大となったが、評価用入力波の応答曲線は20Hz以上でZPAと一致。</p> <p>* 数値は18シリンダの例である。 通給機形式が異なるため限界値は異なる。</p>				シリンダ数	12	16	18	固有振動数 (ロータ軸) Hz	67	125	125	評価条件	水平加速度 α_H	g	0.84	0.84	0.84	鉛直加速度 α_V	g	0.38	0.38	0.38	評価加速度 α	g	0.84	0.84	0.84	評価	裕度※	19.1	12.9	12.9	結果	○	○	○
シリンダ数	12	16	18																																			
固有振動数 (ロータ軸) Hz	67	125	125																																			
評価条件	水平加速度 α_H	g	0.84	0.84	0.84																																	
	鉛直加速度 α_V	g	0.38	0.38	0.38																																	
	評価加速度 α	g	0.84	0.84	0.84																																	
評価	裕度※	19.1	12.9	12.9																																		
	結果	○	○	○																																		
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align:center;">シリンダ数</td> <td style="text-align:center;">12</td> <td style="text-align:center;">16</td> <td style="text-align:center;">18</td> </tr> <tr> <td style="text-align:center;">許容値 降伏応力 kg/mm²</td> <td style="text-align:center;">50</td> <td style="text-align:center;">50</td> <td style="text-align:center;">50</td> </tr> <tr> <td style="text-align:center;">限界値 加速度 g</td> <td style="text-align:center;">16.1</td> <td style="text-align:center;">10.9</td> <td style="text-align:center;">10.9</td> </tr> </table>		シリンダ数	12	16	18	許容値 降伏応力 kg/mm ²	50	50	50	限界値 加速度 g	16.1	10.9	10.9																									
シリンダ数	12	16	18																																			
許容値 降伏応力 kg/mm ²	50	50	50																																			
限界値 加速度 g	16.1	10.9	10.9																																			

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添2-5-1-2 図 ディーゼル発電機(中速形)の評価部位別の評価結果(32/35)

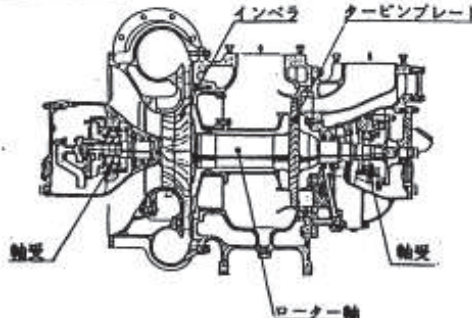

付表6.1-2-24 BWR中速形の評価部位別評価結果(2/4)

評価部位	過給機	評価項目	(2) 支持脚の強度		実証方法	C		※裕度 = $\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$												
解析評価内容 <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 30%;"> 外観形状  </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 30%;"> 解析モデル  </div> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> 解析式 $\alpha_{av} = \frac{\sigma_v - \sigma}{2 \left\{ \frac{(W/\rho) \cdot h}{2 \cdot Z} + W/\rho \sqrt{(h/2Z)^2 + 4(1/2/A)^2} \right\}}$ <p>但し*</p> <table style="width:100%; font-size: small;"> <tr> <td>σ_v : 降伏応力</td> <td>24 kg/mm²</td> <td>h : 重心高さ</td> <td>535 mm</td> </tr> <tr> <td>σ : 運転時応力</td> <td>0 kg/mm²</td> <td>Z : 支持脚断面積係数</td> <td>255658 mm²</td> </tr> <tr> <td>W : 過給機重量</td> <td>1650 kg</td> <td>A : 支持脚断面積</td> <td>27456 mm²</td> </tr> </table> </div>					σ_v : 降伏応力	24 kg/mm ²	h : 重心高さ	535 mm	σ : 運転時応力	0 kg/mm ²	Z : 支持脚断面積係数	255658 mm ²	W : 過給機重量	1650 kg	A : 支持脚断面積	27456 mm ²	シリンダ数	12	16	18
					σ_v : 降伏応力	24 kg/mm ²	h : 重心高さ	535 mm												
σ : 運転時応力	0 kg/mm ²	Z : 支持脚断面積係数	255658 mm ²																	
W : 過給機重量	1650 kg	A : 支持脚断面積	27456 mm ²																	
評価条件	水平加速度 α_H	?	0.84	0.84	0.84															
	鉛直加速度 α_V	?	0.38	0.38	0.38															
	評価加速度 α	?	0.84	0.84	0.84															
評価		裕度※	20.9	16.7	16.4															
		結果	○	○	○															
備考 評価加速度 (α) の算出式 $\alpha = \alpha_H$ 過給機形式が異なるため限界値は異なる。 なお、本評価部位はBWR高速形実証試験入力波の応答曲線の20~30Hz間のピークにตอบสนองしたため、応答大となったが、評価用入力波の応答曲線は20Hz以上でZPAと一致。 * 数値は18シリンダの例である。																				
			シリンダ数	12	16	18														
		許容値	降伏応力	kg/mm ²	24	24	24													
		限界値	加速度	?	17.6	14.1	13.8													

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添2-5-1-2 図 ディーゼル発電機(中速形)の評価部位別の評価結果(33/35)

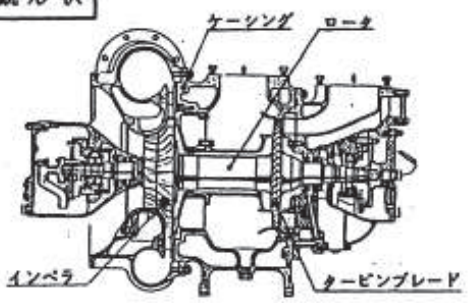
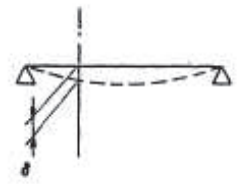
付表6.1-2-24 BWR中速形の評価部位別評価結果(3/4)

評価部位	過給機	評価項目	(3) 軸受荷重	実証方法	C	※裕度 = $\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$
解析評価内容						
外観形状		解析モデル				
						
解析式						
$\alpha(\%) = \frac{C_s / 5 - P_s}{Y_s \cdot (W / \rho)}$						
但し*						
C _s :	軸受基本静定荷重	4637	kg			
P _s :	運転時軸受静荷重 (垂直方向加速度0.4 gを含む)	471.3	kg			
Y _s :	係数	0.38				
W :	ロータ定機重量	112	kg			
		シリンダ数	12	16	18	
評価条件	水平加速度 α _H	g	0.84	0.84	0.84	
	鉛直加速度 α _V	g	0.38	0.38	0.38	
	評価加速度 α	g	0.84	0.84	0.84	
評価		裕度※	21.4	14.7	12.7	
		結果	○	○	○	
備考						
評価加速度 (α) の算出式						
α = α _H 過給機形式が異なるため 限界値は異なる。						
なお、本評価部位はBWR高速形実証試験 入力波の応答曲線の20～30Hz間のピークに 応答したため、応答大となったが、 評価用入力波の応答曲線は20Hz以上で ZPAと一致。 * 数値は18シリンダの例である。						
		シリンダ数	12	16	18	
許容値	荷重	kg	1860	1860	1860	
限界値	加速度	g	18.0	12.4	10.7	

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-2 図 ディーゼル発電機 (中速形) の評価部位別の評価結果 (34/35)

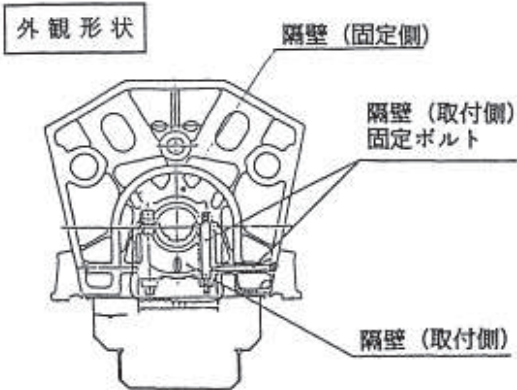
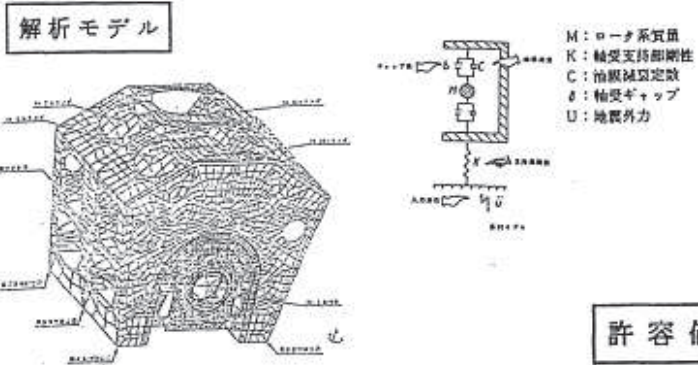
付表6.1-2-24 BWR中速形の評価部位別評価結果(4/4)

評価部位	過給機	評価項目	(4)ケーシングとの干渉	実証方法	C	※裕度 = $\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$																																																		
解析評価内容 <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> 外観形状  </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> 解析モデル  </div> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> 解析式 $\alpha_{(H+V)} = \Delta l / (\delta / \rho)$ <p>但し* Δl : インペラとケーシングのクリアランス 0.56 mm δ : ロータの目録によるたわみ (インペラ部) 0.008 mm</p> </div> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; margin-bottom: 10px;"> <tr> <td colspan="2" style="text-align:center;">シリンダ数</td> <td style="width:10%;"></td> <td style="width:10%; text-align:center;">12</td> <td style="width:10%; text-align:center;">16</td> <td style="width:10%; text-align:center;">18</td> </tr> <tr> <td style="text-align:center;">許容値</td> <td style="text-align:center;">変位</td> <td style="text-align:center;">mm</td> <td style="text-align:center;">0.56</td> <td style="text-align:center;">0.56</td> <td style="text-align:center;">0.56</td> </tr> <tr> <td style="text-align:center;">限界値</td> <td style="text-align:center;">加速度</td> <td style="text-align:center;">g</td> <td style="text-align:center;">80</td> <td style="text-align:center;">100</td> <td style="text-align:center;">70</td> </tr> </table>				シリンダ数			12	16	18	許容値	変位	mm	0.56	0.56	0.56	限界値	加速度	g	80	100	70	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align:center;">シリンダ数</td> <td style="width:10%;"></td> <td style="width:10%; text-align:center;">12</td> <td style="width:10%; text-align:center;">16</td> <td style="width:10%; text-align:center;">18</td> </tr> <tr> <td rowspan="3" style="text-align:center;">評価条件</td> <td style="text-align:center;">水平加速度 α_H</td> <td style="text-align:center;">g</td> <td style="text-align:center;">0.84</td> <td style="text-align:center;">0.84</td> <td style="text-align:center;">0.84</td> </tr> <tr> <td style="text-align:center;">鉛直加速度 α_V</td> <td style="text-align:center;">g</td> <td style="text-align:center;">0.38</td> <td style="text-align:center;">0.38</td> <td style="text-align:center;">0.38</td> </tr> <tr> <td style="text-align:center;">評価加速度 α</td> <td style="text-align:center;">g</td> <td style="text-align:center;">0.92</td> <td style="text-align:center;">0.92</td> <td style="text-align:center;">0.92</td> </tr> <tr> <td rowspan="2" style="text-align:center;">評価</td> <td style="text-align:center;">裕度※</td> <td></td> <td style="text-align:center;">86</td> <td style="text-align:center;">108</td> <td style="text-align:center;">76</td> </tr> <tr> <td style="text-align:center;">結果</td> <td></td> <td style="text-align:center;">○</td> <td style="text-align:center;">○</td> <td style="text-align:center;">○</td> </tr> </table> 備考 評価加速度 (α) の算出式 $\alpha = \sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$ 過給機形式が異なるため限界値は異なる。 なお、本評価部位はBWR高速形実証試験入力波の応答曲線の20~30Hz間のピークに回答したため、応答大となったが、評価用入力波の応答曲線は20Hz以上でZPAと一致。 * 数値は18シリンダの例である。			シリンダ数		12	16	18	評価条件	水平加速度 α_H	g	0.84	0.84	0.84	鉛直加速度 α_V	g	0.38	0.38	0.38	評価加速度 α	g	0.92	0.92	0.92	評価	裕度※		86	108	76	結果		○	○	○
				シリンダ数			12	16	18																																															
許容値	変位	mm	0.56	0.56	0.56																																																			
限界値	加速度	g	80	100	70																																																			
シリンダ数		12	16	18																																																				
評価条件	水平加速度 α_H	g	0.84	0.84	0.84																																																			
	鉛直加速度 α_V	g	0.38	0.38	0.38																																																			
	評価加速度 α	g	0.92	0.92	0.92																																																			
評価	裕度※		86	108	76																																																			
	結果		○	○	○																																																			

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-2 図 ディーゼル発電機 (中速形) の評価部位別の評価結果 (35/35)

表8.1.3-1 BWR高速形の評価部位別評価結果(1/2)

評価部位	クランク軸基準軸受	評価項目	(1) 軸受隔壁強度	※裕度 = $\frac{\text{限界応力}}{\text{解析応力}}$		
解析評価内容				軸受反力	30.37 ton	
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>外観形状</p>  </div> <div style="width: 45%;"> <p>解析式</p> <pre> graph TD A[一点係数f, γを有する非線形弾性解析] --> B[スラスト荷重算出] C[固定側荷重分担10とする] --> B B --> D[基準軸受隔壁FEM解析] D --> E[隔壁応力算出] </pre> </div> </div>				解析応力	9.1 kg/mm ²	
<p>解析モデル</p>  <p>M: ローラ系負荷 K: 軸受支持剛性 C: 油膜減衰定数 δ: 軸受ギャップ U: 地震外力</p>				評価結果	裕度 ※	3.8
				結果	○	
備考						
				許容値	降伏応力	35 kg/mm ²
				限界値	限界応力	35 kg/mm ²

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-3 図 ディーゼル発電機(高速形)の評価部位別の評価結果(1/35)

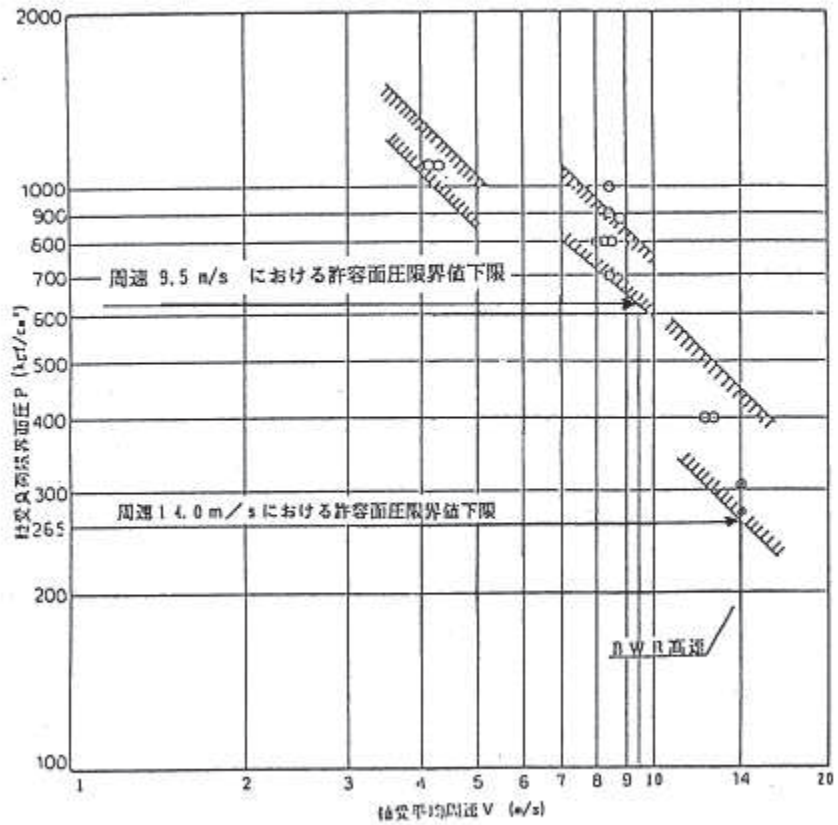
表8.1-3-1 BWR高速形の評価部位別評価結果(2/2)

評価部位	クランク軸基準軸受	評価項目	(2) 軸受面圧	※裕度 = $\frac{\text{限界面圧}}{\text{解析面圧}}$					
解析評価内容				軸受反力	30.37 ton				
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>外観形状</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>解析式</p> </div> </div>				解析面圧	124.8 kg/cm ²				
<p>評価結果</p> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>裕度 ※</td> <td>2.1</td> </tr> <tr> <td>結果</td> <td>○</td> </tr> </table>				裕度 ※	2.1	結果	○	<p>備考</p> <p>詳細については次頁参照 なお、限界値は許容PV線図における下限とした。</p>	
				裕度 ※	2.1				
結果	○								
<p>限界値 部分試験による許容PV線図上で評価。周速は定格回転時(14.0m/s) 265kg/cm²</p>									

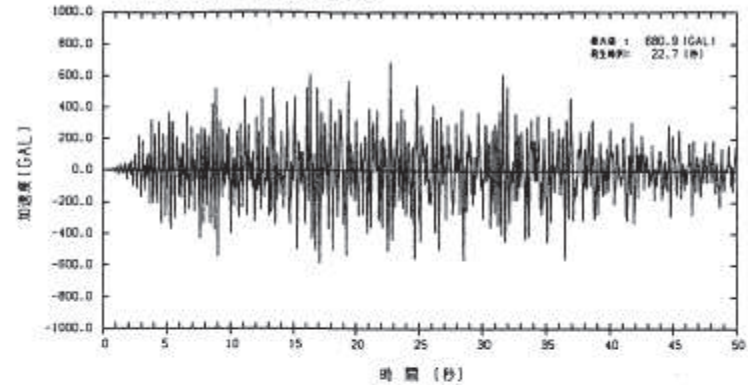
別添 2-5-1-48

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

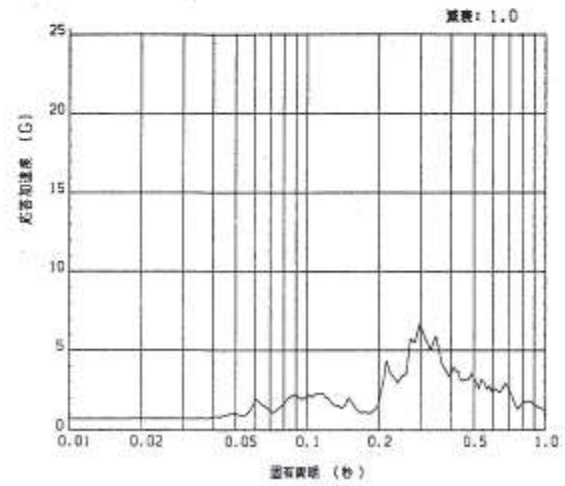
別添 2-5-1-3 図 ディーゼル発電機(高速形)の評価部位別の評価結果(2/35)



*解析に使用した加振波形



時刻歴加速度波形

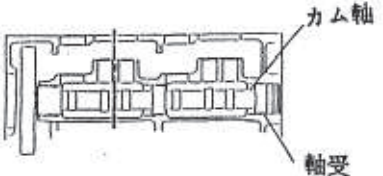
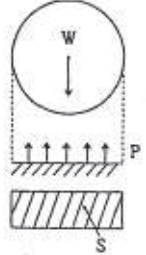


応答スペクトル

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-3 図 ディーゼル発電機 (高速形) の評価部位別の評価結果 (3/35)

表8.1-3-2 BWR高速形の評価部位別評価結果(1/2)

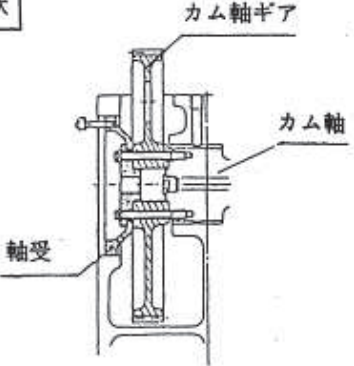
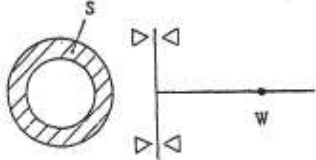
評価部位	カム軸軸受	評価項目	(1)軸受面圧	※裕度 = $\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$		
解析評価内容				固有振動数 (カム軸)	548 Hz	
外観形状		解析モデル		評価条件	水平加速度 α_H	0.84 g
					鉛直加速度 α_V	0.38 g
					評価加速度 α	0.92 g
解析式				評価結果	裕度 ※	1959
$\alpha_{(H+V)} = (P_a - P) \cdot S / (W/g)$ <p> Pa : 許容面圧 450 kg/cm² P : 通常運転時軸受面圧 46.2 kg/cm² S : 軸受投影面積 67.2 cm² W : カム軸1cyl 当り重量 15.044kg </p>					結果	○
				備考		評価加速度 (α) の算出式 $\alpha = \sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$
		許容値	面圧	450 kg/cm ²		
		限界値	加速度	1803 g		

別添 2-5-1-50

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-3 図 ディーゼル発電機 (高速形) の評価部位別の評価結果 (4/35)

表8.1-3-2 BWR高速形の評価部位別評価結果(2/2)

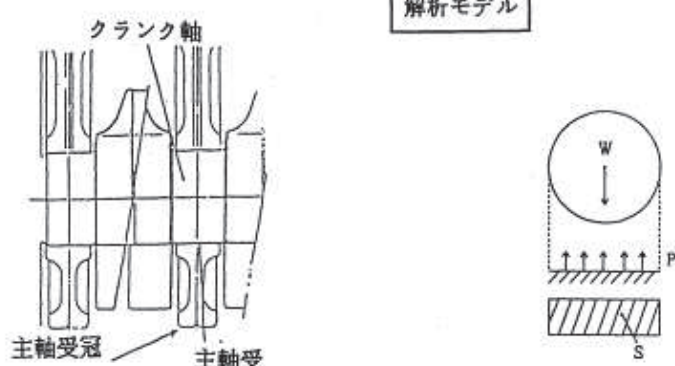
評価部位	カム軸軸受	評価項目	(2)スラスト軸受	※裕度 = $\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$															
解析評価内容				<table border="1"> <tr> <td>評価条件</td> <td>水平加速度 α_H</td> <td>0.84 μ</td> </tr> <tr> <td></td> <td>鉛直加速度 α_V</td> <td>0.38 μ</td> </tr> <tr> <td></td> <td>評価加速度 α</td> <td>0.84 μ</td> </tr> <tr> <td>評価結果</td> <td>裕度 ※</td> <td>73</td> </tr> <tr> <td></td> <td>結果</td> <td>○</td> </tr> </table>	評価条件	水平加速度 α_H	0.84 μ		鉛直加速度 α_V	0.38 μ		評価加速度 α	0.84 μ	評価結果	裕度 ※	73		結果	○
評価条件	水平加速度 α_H	0.84 μ																	
	鉛直加速度 α_V	0.38 μ																	
	評価加速度 α	0.84 μ																	
評価結果	裕度 ※	73																	
	結果	○																	
外観形状		解析モデル		<p>備考</p> <p>評価加速度 (α) の算出式</p> $\alpha = \alpha_H$															
解析式	$\alpha_W = S \cdot Pa / (W / g)$ <p>W : カム軸全体重量 391 kg S : 軸受投影面積 52.2 cm² Pa : 許容面圧 460 kg/cm²</p>		<table border="1"> <tr> <td>許容値</td> <td>面圧</td> <td>460 kg/cm²</td> </tr> <tr> <td>限界値</td> <td>加速度</td> <td>61.4 μ</td> </tr> </table>		許容値	面圧	460 kg/cm ²	限界値	加速度	61.4 μ									
許容値	面圧	460 kg/cm ²																	
限界値	加速度	61.4 μ																	

別添 2-5-1-51

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-3 図 ディーゼル発電機 (高速形) の評価部位別の評価結果 (5/35)

表8.1-3-3 BWR高速形の評価部位別評価結果

評価部位	主軸受	評価項目	(1)軸受面圧	※裕度 = $\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$	
解析評価内容				評価条件	水平加速度 α_H 0.84 g
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">外観形状</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">解析モデル</div> </div> 				評価条件	鉛直加速度 α_V 0.38 g
				評価条件	評価加速度 α 0.92 g
				評価結果	裕度 ※ 72
				評価結果	結果 ○
解析式				備考	
$\alpha_{(H+V)} = (P_a - P) \cdot S / (W/g)$ <p> Pa : 許容面圧 450 kg/cm² P : 通常運転時軸受面圧 249 kg/cm² S : 軸受投影面積 207 cm² W : 軸受1個当たりの軸系重量 625kg </p>				評価加速度 (α) の算出式 $\alpha = \sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$	
				許容値	面圧 450 kg/cm ²
				限界値	加速度 66.56 g

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-3 図 ディーゼル発電機 (高速形) の評価部位別の評価結果 (6/35)

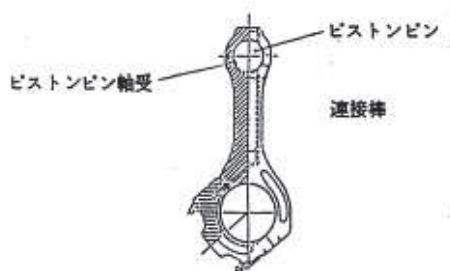
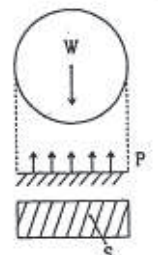
表8.1-3-4 BWR高速形の評価部位別評価結果

評価部位	クラックピン軸受	評価項目	(1)軸受面圧	※裕度 = $\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$																					
解析評価内容	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">外観形状</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">解析モデル</div> </div>		評価条件	水平加速度 α_H	0.84 g																				
	評価条件	鉛直加速度 α_V	0.38 g																						
	評価条件	評価加速度 α	0.92 g																						
	評価結果	裕度 ※	28																						
	評価結果	結果	○																						
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">解析式</div> $\alpha_{(H+V)} = (P_a - P) \cdot S / \{ (W_1 + W_2) / g \}$ <table style="margin-left: 20px;"> <tr> <td>P_a :</td> <td>許容面圧</td> <td>450</td> <td>kg/cm²</td> </tr> <tr> <td>P :</td> <td>通常運転時軸受面圧</td> <td>430.7</td> <td>kg/cm²</td> </tr> <tr> <td>S :</td> <td>軸受投影面積</td> <td>157.5</td> <td>cm²</td> </tr> <tr> <td>W_1 :</td> <td>ピストン重量</td> <td>52.4</td> <td>kg</td> </tr> <tr> <td>W_2 :</td> <td>連接棒重量</td> <td>62.0</td> <td>kg</td> </tr> </table>		P_a :	許容面圧	450	kg/cm ²	P :	通常運転時軸受面圧	430.7	kg/cm ²	S :	軸受投影面積	157.5	cm ²	W_1 :	ピストン重量	52.4	kg	W_2 :	連接棒重量	62.0	kg	備考		<p>評価加速度 (α) の算出式</p> $\alpha = \sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$	
P_a :	許容面圧	450	kg/cm ²																						
P :	通常運転時軸受面圧	430.7	kg/cm ²																						
S :	軸受投影面積	157.5	cm ²																						
W_1 :	ピストン重量	52.4	kg																						
W_2 :	連接棒重量	62.0	kg																						
		許容値	面圧	450	kg/cm ²																				
		限界値	加速度	26.57	g																				

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-3 図 ディーゼル発電機 (高速形) の評価部位別の評価結果 (7/35)

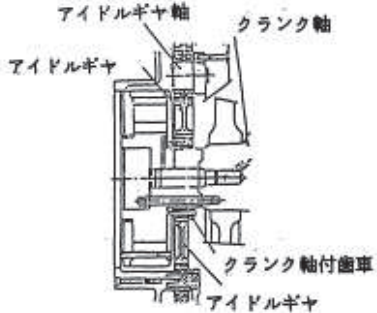
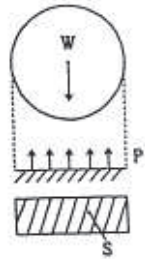
表8.1-3-5 BWR高速形の評価部位別評価結果

評価部位	ピストンピン軸受	評価項目	(1)軸受面圧	※裕度 = $\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$																
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>解析評価内容</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="width: 45%;"> <p>外観形状</p>  </div> <div style="width: 45%;"> <p>解析モデル</p>  </div> </div> <div style="width: 45%; margin-top: 20px;"> <p>解析式</p> $\alpha_{(H+V)} = (P_a - P) \cdot S / (W/g)$ <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">P_a :</td> <td style="width: 30%;">許容面圧</td> <td style="width: 15%;">450</td> <td style="width: 40%;">kg/cm²</td> </tr> <tr> <td>P :</td> <td>通常運転時軸受面圧</td> <td>431</td> <td>kg/cm²</td> </tr> <tr> <td>S :</td> <td>軸受投影面積</td> <td>133</td> <td>cm²</td> </tr> <tr> <td>W :</td> <td>ピストン重量</td> <td>52.4</td> <td>kg</td> </tr> </table> </div> </div> </div>					P _a :	許容面圧	450	kg/cm ²	P :	通常運転時軸受面圧	431	kg/cm ²	S :	軸受投影面積	133	cm ²	W :	ピストン重量	52.4	kg
P _a :	許容面圧	450	kg/cm ²																	
P :	通常運転時軸受面圧	431	kg/cm ²																	
S :	軸受投影面積	133	cm ²																	
W :	ピストン重量	52.4	kg																	
評価条件	水平加速度 α_H	0.84 g																		
	鉛直加速度 α_V	0.38 g																		
評価条件	評価加速度 α	0.92 g																		
評価結果	裕度 ※	52																		
	結果	○																		
<p>備考</p> <p style="text-align: center;">評価加速度 (α) の算出式</p> $\alpha = \sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$																				
		許容値	面圧	450 kg/cm ²																
		限界値	加速度	48.22 g																

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-3 図 ディーゼル発電機 (高速形) の評価部位別の評価結果 (8/35)


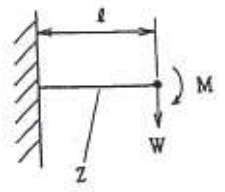
表8.1-3-6 BWR高速形の評価部位別評価結果(1/4)

評価部位	ギアリング	評価項目	(1)軸受面圧	※裕度 = $\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$								
解析評価内容				評価条件	水平加速度 α_H	0.84 g						
外観形状				評価条件	鉛直加速度 α_V	0.38 g						
解析モデル				評価条件	評価加速度 α	0.92 g						
解析式				評価結果	裕度 ※	716						
$\alpha_{(H+V)} = (P_a - P) \cdot S / (W/g)$ <p> P_a : 許容面圧 450 kg/cm² P : 通常運転時軸受面圧 9.5 kg/cm² S : 軸受投影面積 100.8 cm² W : アイドルギヤ重量 67.32 kg </p>				評価結果	結果	○						
 				備考								
				評価加速度 (α) の算出式 $\alpha = \sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$								
				<table border="1"> <tr> <td>許容値</td> <td>面圧</td> <td>450 kg/cm²</td> </tr> <tr> <td>限界値</td> <td>加速度</td> <td>659.53 g</td> </tr> </table>			許容値	面圧	450 kg/cm ²	限界値	加速度	659.53 g
許容値	面圧	450 kg/cm ²										
限界値	加速度	659.53 g										

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-3 図 ディーゼル発電機 (高速形) の評価部位別の評価結果 (9/35)

表 8.1-3-6 BWR 高速形の評価部位別評価結果 (2/4)

評価部位	ギアリング	評価項目	(2)軸の強度	※裕度 = $\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$																						
<p>解析評価内容</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>外観形状</p>  </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>解析モデル</p>  </div> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>解析式</p> $\alpha_{(H+V)} = (\sigma_y \cdot Z - M) / l / (W/g)$ <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">σ_y :</td> <td style="width: 30%;">降伏応力</td> <td style="width: 15%;">80</td> <td style="width: 40%;">kg/mm²</td> </tr> <tr> <td>Z :</td> <td>カム軸断面係数</td> <td>269391.5</td> <td>mm³</td> </tr> <tr> <td>M :</td> <td>通常運転時曲げモーメント</td> <td>53750</td> <td>kg・mm</td> </tr> <tr> <td>l :</td> <td>荷重点までの距離</td> <td>56</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>W :</td> <td>アイドルギヤ重量</td> <td>67.3</td> <td>kg</td> </tr> </table> </div>				σ_y :	降伏応力	80	kg/mm ²	Z :	カム軸断面係数	269391.5	mm ³	M :	通常運転時曲げモーメント	53750	kg・mm	l :	荷重点までの距離	56	mm	W :	アイドルギヤ重量	67.3	kg	評価条件	水平加速度 α_H	0.84 g
				σ_y :	降伏応力	80	kg/mm ²																			
				Z :	カム軸断面係数	269391.5	mm ³																			
				M :	通常運転時曲げモーメント	53750	kg・mm																			
				l :	荷重点までの距離	56	mm																			
W :	アイドルギヤ重量	67.3	kg																							
評価条件	鉛直加速度 α_V	0.38 g																								
評価条件	評価加速度 α	0.92 g																								
評価結果	裕度 ※	6200																								
評価結果	結果	○																								
備考				<p>評価加速度 (α) の算出式</p> $\alpha = \sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$																						
		許容値	降伏応力	80	kg/mm ²																					
		限界値	加速度	5704.09	g																					

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-3 図 ディーゼル発電機 (高速形) の評価部位別の評価結果 (10/35)

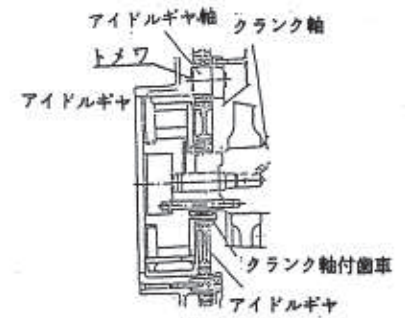
表 8.1-3-6 BWR高速形の評価部位別評価結果 (3/4)

評価部位	ギアリング	評価項目	(3)歯車の強度	※裕度 = $\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$																		
解析評価内容				評価条件	水平加速度 α_H	0.84 g																
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">外観形状</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">解析モデル</div> </div>				評価条件	鉛直加速度 α_V	0.38 g																
				評価条件	評価加速度 α	0.92 g																
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">解析式</div> $\alpha_{(H+V)} = (\sigma_y - \sigma) / (B \cdot W / g)$ <table style="margin-left: 20px;"> <tr> <td>σ_y :</td> <td>降伏応力</td> <td>70</td> <td>kg/mm²</td> </tr> <tr> <td>σ :</td> <td>運転時応力</td> <td>8.31</td> <td>kg/mm²</td> </tr> <tr> <td>B :</td> <td>係数</td> <td>9.31×10^{-3}</td> <td></td> </tr> <tr> <td>W :</td> <td>アイドルギヤ重量</td> <td>67.3</td> <td>kg</td> </tr> </table>				σ_y :	降伏応力	70	kg/mm ²	σ :	運転時応力	8.31	kg/mm ²	B :	係数	9.31×10^{-3}		W :	アイドルギヤ重量	67.3	kg	評価結果	裕度 ※	107
				σ_y :	降伏応力	70	kg/mm ²															
σ :	運転時応力	8.31	kg/mm ²																			
B :	係数	9.31×10^{-3}																				
W :	アイドルギヤ重量	67.3	kg																			
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">備考</div> <p style="text-align: center;">評価加速度 (α) の算出式</p> $\alpha = \alpha_H$				評価結果	結果	○																
				<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>許容値</td> <td>降伏応力</td> <td>70 kg/mm²</td> </tr> <tr> <td>限界値</td> <td>加速度</td> <td>98.45 g</td> </tr> </table>			許容値	降伏応力	70 kg/mm ²	限界値	加速度	98.45 g										
許容値	降伏応力	70 kg/mm ²																				
限界値	加速度	98.45 g																				

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-3 図 ディーゼル発電機 (高速形) の評価部位別の評価結果 (11/35)

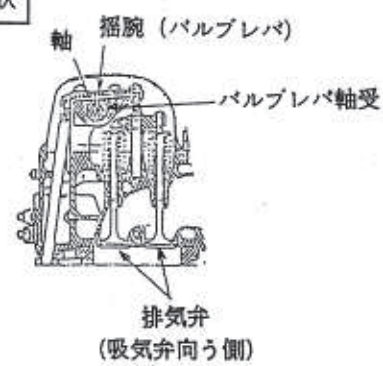
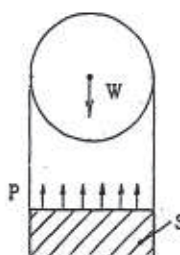
表8.1-3-6 BWR高速形の評価部位別評価結果(4/4)

評価部位	ギアリング	評価項目	(4)アイドルギヤスラスト強度	※裕度 = $\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$								
解析評価内容				評価条件	水平加速度 α_H	0.84 g						
外観形状				評価条件	鉛直加速度 α_V	0.38 g						
解析モデル				評価条件	評価加速度 α	0.84 g						
解析式				評価結果	裕度 ※	136						
$\alpha_{(H)} = F_s / (W/g)$ <p> F_s : トメワ許容スラスト荷重 2231 kg W : アイドルギヤ重量 19.5 kg </p>				評価結果	結果	○						
				備考								
$\alpha = \alpha_H$				評価加速度 (α) の算出式 $\alpha = \alpha_H$								
<table border="1"> <tr> <td>許容値</td> <td>荷重</td> <td>2231 kg</td> </tr> <tr> <td>限界値</td> <td>加速度</td> <td>114.41 g</td> </tr> </table>				許容値	荷重	2231 kg	限界値	加速度	114.41 g			
許容値	荷重	2231 kg										
限界値	加速度	114.41 g										

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-3 図 ディーゼル発電機 (高速形) の評価部位別の評価結果 (12/35)

表 8.1-3-8 BWR 高速形の評価部位別評価結果 (1/5)

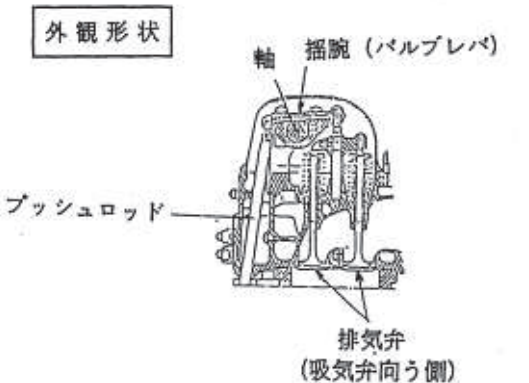
評価部位	動弁装置揺腕	評価項目	(1)バルブレバ軸受
※裕度 = $\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$			
解析評価内容			
外観形状			解析モデル
			
解析式	$\alpha_{(H+V)} = (P_a - P) \cdot S / (W/g)$ <p> P_a : 許容面圧 450 kg/cm² P : 通常運転時軸受面圧 233.4 kg/cm² S : 軸受投影面積 25.2 cm² W : バルブレバ重量 7.62 kg </p>		
	許容値	面圧	450 kg/cm ²
	限界値	加速度	716.27 g
評価条件	水平加速度 α_H	鉛直加速度 α_V	0.84 g
	評価加速度 α		0.38 g
	評価加速度 α		0.92 g
評価結果	裕度 ※		778
	結果		○
備考			
評価加速度 (α) の算出式 $\alpha = \sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$			

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-3 図 ディーゼル発電機 (高速形) の評価部位別の評価結果 (13/35)

別添 2-5-1-59

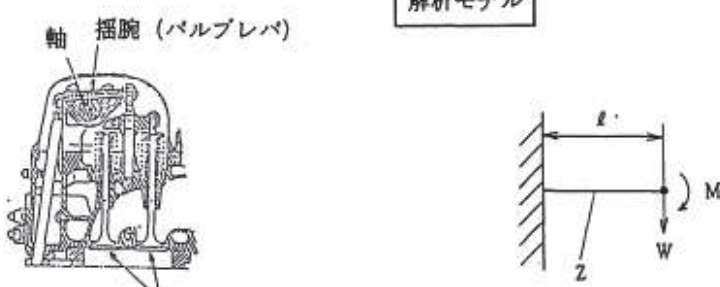
表8.1-3-8 BWR高速形の評価部位別評価結果(2/5)

評価部位	動弁装置揺腕	評価項目	(2)ブッシュロッド強度	※裕度 =	$\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$	
解析評価内容				評価条件	水平加速度 α_H	0.84 g
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">外観形状</div>  <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">解析モデル</div> </div>					評価結果	鉛直加速度 α_V
				備考		評価加速度 α
解析式					結果	裕度 ※
$\alpha_{(H+V)} = \left\{ \frac{\sigma_c \cdot A}{1 + a \cdot (\ell/k)^2} - R \right\} \frac{1}{W/g} - g$ <p> σ_c : 許容座屈応力 3400 kg/cm² A : ブッシュロッド断面積 3.21 cm² a : 材質により決まる定数 1/7500 ℓ : ブッシュロッド長さ 60 cm k : $\sqrt{I_s/A}$ 0.82 cm R : 通常運動時荷重 146.39 kg W : ブッシュロッド重量 3.076 kg I_s : 断面二次モーメント 2.15 cm⁴ </p>				結果		結果
					<p>備考</p> <p>評価加速度 (α) の算出式</p> $\alpha = \sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$	
				許容値	荷重	6366 kg
				限界値	加速度	2022.97 g

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-3 図 ディーゼル発電機 (高速形) の評価部位別の評価結果 (14/35)

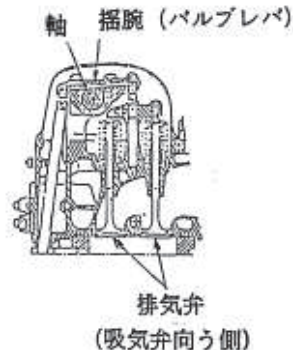

表 8.1-3-8 BWR 高速形の評価部位別評価結果 (3/5)

評価部位	動弁装置揺腕	評価項目	(3)バルブレバ強度	※裕度 = $\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$																																			
解析評価内容 <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">外観形状</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">解析モデル</div> </div>  <div style="margin-top: 20px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">解析式</div> $\alpha_{(H+V)} = (\sigma_y \cdot Z - M) / l / (W/g)$ <table style="margin-left: 20px; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>σ_y :</td> <td>降伏応力</td> <td>80</td> <td>kg/mm²</td> </tr> <tr> <td>Z :</td> <td>断面係数</td> <td>35366</td> <td>mm³</td> </tr> <tr> <td>M :</td> <td>通常運転時曲げモーメント</td> <td>145122</td> <td>kg・mm</td> </tr> <tr> <td>l :</td> <td>バルブレバ長さ</td> <td>144</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>W :</td> <td>バルブレバ重量</td> <td>868.75</td> <td>kg</td> </tr> </table> </div>				σ_y :	降伏応力	80	kg/mm ²	Z :	断面係数	35366	mm ³	M :	通常運転時曲げモーメント	145122	kg・mm	l :	バルブレバ長さ	144	mm	W :	バルブレバ重量	868.75	kg	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">評価条件</td> <td style="text-align: center;">水平加速度 α_H</td> <td style="text-align: center;">0.84 g</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">鉛直加速度 α_V</td> <td style="text-align: center;">0.38 g</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">評価加速度 α</td> <td style="text-align: center;">0.92 g</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">評価結果</td> <td style="text-align: center;">裕度 ※</td> <td style="text-align: center;">29.4</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">結果</td> <td style="text-align: center;">○</td> </tr> </table>	評価条件	水平加速度 α_H	0.84 g		鉛直加速度 α_V	0.38 g		評価加速度 α	0.92 g	評価結果	裕度 ※	29.4		結果	○
σ_y :	降伏応力	80	kg/mm ²																																				
Z :	断面係数	35366	mm ³																																				
M :	通常運転時曲げモーメント	145122	kg・mm																																				
l :	バルブレバ長さ	144	mm																																				
W :	バルブレバ重量	868.75	kg																																				
評価条件	水平加速度 α_H	0.84 g																																					
	鉛直加速度 α_V	0.38 g																																					
	評価加速度 α	0.92 g																																					
評価結果	裕度 ※	29.4																																					
	結果	○																																					
備考 評価加速度 (α) の算出式 $\alpha = \sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$																																							
許容値		降伏応力	80 kg/mm ²																																				
限界値		加速度	27.1 g																																				

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-3 図 ディーゼル発電機 (高速形) の評価部位別の評価結果 (15/35)

表8.1-3-8 BWR高速形の評価部位別評価結果(4/5)

評価部位	動弁装置揺腕	評価項目	(4)揺腕スラスト方向強度	※裕度 = $\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$	
解析評価内容				評価条件	水平加速度 α_H 0.84 g
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>外観形状</p>  <p>軸 揺腕 (バルブレバ) 排気弁 (吸気弁向う側)</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>解析モデル</p>  </div> </div> <p>解析式</p> $\alpha_{00} = F_s / (W/g)$ <p>F_s : トメワ許容スラスト荷重 9000 kg W : バルブレバ重量 3.4 kg</p>				評価条件	鉛直加速度 α_V 0.38 g
				評価条件	評価加速度 α 0.84 g
				評価結果	裕度 ※ 3151
				評価結果	結果 ○
備考				<p>評価加速度 (α) の算出式</p> $\alpha = \alpha_H$	
				許容値	荷重 9000 kg
				限界値	加速度 2647.05 g

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-3 図 ディーゼル発電機 (高速形) の評価部位別の評価結果 (16/35)

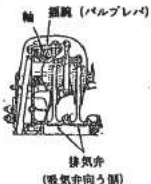
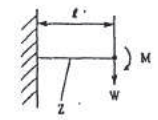

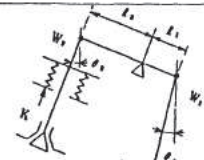
表 8.1-3-8 BWR高速形の評価部位別評価結果 (5/5)

評価部位	動弁装置揺腕	評価項目	(5)動弁装置の追従性	※裕度 = $\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$																																		
解析評価内容	外觀形状	解析モデル	水平加速度 α_H	0.84 g	備考 評価加速度 (α) の算出式 $\alpha = \alpha_H$ 評価する地震加速度方向に対して、動弁装置のカム側・弁側の相反する動作方向性を考慮したモデルで評価した。																																	
		排気弁 (吸気弁向う側)	鉛直加速度 α_V	0.38 g																																		
		解析式	評価加速度 α	0.84 g																																		
	$\alpha(t) = \frac{K - \alpha_{max} \cdot \frac{l_2}{l_1} \left(W_2/g + W_1/g \left(\frac{l_1}{l_2} \right)^2 \right) - b_2 \cdot W_2/g - b_1 \cdot W_1/g \cdot \frac{l_1}{l_2}}{a_2 \cdot W_2/g + a_1 \cdot W_1/g \cdot \frac{l_1}{l_2}}$			裕度 ※		27.3																																
	<table border="0"> <tr> <td>K</td> <td>: バネ力</td> <td>283.3 kg</td> <td>$a_1 = \pm \sin \theta_1$</td> </tr> <tr> <td>α_{max}</td> <td>: カム運転加速度最大値</td> <td>117 m/s^2</td> <td>$a_2 = \pm \sin \theta_2$</td> </tr> <tr> <td>l_1</td> <td>: プッシュロッドとバルブ軸受間距離</td> <td>87 mm</td> <td>$b_1 = -(1 \pm \alpha_v) \cos \theta_1$</td> </tr> <tr> <td>$l_2$</td> <td>: 弁棒とバルブ軸受間距離</td> <td>114 mm</td> <td>$b_2 = (1 \pm \alpha_v) \cos \theta_2$</td> </tr> <tr> <td>$W_1$</td> <td>: 弁棒重量</td> <td>3.455 kg</td> <td>α_v: 垂直方向加速度0.4 gとした</td> </tr> <tr> <td>W_2</td> <td>: プッシュロッド重量</td> <td>7.364 kg</td> <td></td> </tr> <tr> <td>θ_1</td> <td>: プッシュロッドの傾き</td> <td>7.02 度</td> <td></td> </tr> <tr> <td>θ_2</td> <td>: 弁棒の傾き</td> <td>30 度</td> <td></td> </tr> </table>			K		: バネ力	283.3 kg	$a_1 = \pm \sin \theta_1$	α_{max}	: カム運転加速度最大値	117 m/s^2	$a_2 = \pm \sin \theta_2$	l_1	: プッシュロッドとバルブ軸受間距離	87 mm	$b_1 = -(1 \pm \alpha_v) \cos \theta_1$	l_2	: 弁棒とバルブ軸受間距離	114 mm	$b_2 = (1 \pm \alpha_v) \cos \theta_2$	W_1	: 弁棒重量	3.455 kg	α_v : 垂直方向加速度0.4 gとした	W_2	: プッシュロッド重量	7.364 kg		θ_1	: プッシュロッドの傾き	7.02 度		θ_2	: 弁棒の傾き	30 度		結果	○
	K	: バネ力	283.3 kg	$a_1 = \pm \sin \theta_1$																																		
α_{max}	: カム運転加速度最大値	117 m/s^2	$a_2 = \pm \sin \theta_2$																																			
l_1	: プッシュロッドとバルブ軸受間距離	87 mm	$b_1 = -(1 \pm \alpha_v) \cos \theta_1$																																			
l_2	: 弁棒とバルブ軸受間距離	114 mm	$b_2 = (1 \pm \alpha_v) \cos \theta_2$																																			
W_1	: 弁棒重量	3.455 kg	α_v : 垂直方向加速度0.4 gとした																																			
W_2	: プッシュロッド重量	7.364 kg																																				
θ_1	: プッシュロッドの傾き	7.02 度																																				
θ_2	: 弁棒の傾き	30 度																																				
<table border="1"> <tr> <td>許容値</td> <td>荷重</td> <td>283.3 kg</td> </tr> <tr> <td>限界値</td> <td>加速度</td> <td>22.96 g</td> </tr> </table>			許容値	荷重	283.3 kg	限界値	加速度	22.96 g																														
許容値	荷重	283.3 kg																																				
限界値	加速度	22.96 g																																				

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-3 図 ディーゼル発電機 (高速形) の評価部位別の評価結果 (17/35)

表7.3-9 評価部位別の他機種評価手法のまとめ (5/20)
(全体システム試験/部分試験結果に基づくもの)

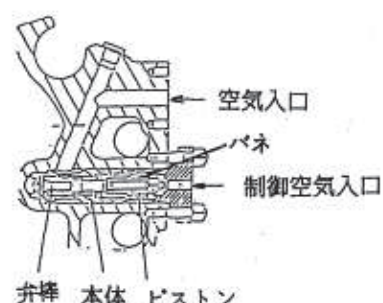
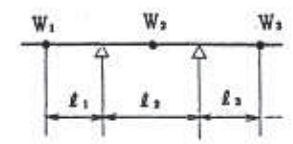
分類	評価部位			評価項目		評価用地震入力の考え方	評価手法	
	部位名称 (設置場所)	構造	要求機能	項目	許容値		解析モデル / 評価式あるいは方法	特別な配慮事項
(1)ディーゼル 機関本体	動弁装置揺動 (機関本体)		同上	バルブレバ 強度	降伏応力	(水平震度) 1.27PAに運転振動分を加えた加速度を重力加速度で除した値。 (鉛直震度) 基準地震動の最大加速度振幅の1/2の値を重力加速度で除した値。	 $\sigma_{\max} = \frac{(F \cdot Z - M) / L}{(W / g)}$ <p> σ_v : 降伏応力 Z : 断面係数 M : 通常運転時のモーメント L : バルブレバ長さ W : バルブレバ重量 </p>	
				バルブレバ スラスト方向 強度	許容スラスト 荷重	同上	 $\sigma_{\max} = F_s / (W / g)$ <p> F_s : トメワ許容スラスト荷重 W : バルブレバ重量 </p>	
				動弁装置の 追従性	許容荷重 (バネ力)	同上	 $K - \sigma_{\max} \cdot \frac{l_1}{l_2} \left[\frac{W_1/g + W_2/g}{l_2} \left(\frac{l_1}{l_2} \right)^2 \right] - b_1 \cdot W_3/g - b_2 \cdot W_4/g \cdot \frac{l_1}{l_2}$ $\sigma_{\max} = \frac{a_1 W_1/g + a_2 W_2/g \cdot \frac{l_1}{l_2}}{K - \sigma_{\max} \cdot \frac{l_1}{l_2}}$ <p> K : バネ力 σ_{\max} : 許容加速度最大値 l_1 : 振り子と軸間の軸受間距離 l_2 : 弁棒とバルブ軸受間距離 W_1 : 弁棒重量 W_2 : バルブ軸受重量 W_3 : 弁棒の質量 W_4 : 弁棒の質量 $a_1 = \pm \sin \theta_1$ $a_2 = \pm \sin \theta_2$ $b_1 = -(l_1 \cdot a_1) \cos \theta_1$ $b_2 = (l_1 \cdot a_2) \cos \theta_2$ α : 垂直方向加速度gとした θ_1 : アクションθ_1の傾角 θ_2 : 弁棒の傾角 </p>	許容部位は傾いて取付けられているので評価加速度は作用方向に合成する

別添 2-5-1-64

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-3 図 ディーゼル発電機 (高速形) の評価部位別の評価結果 (18/35)

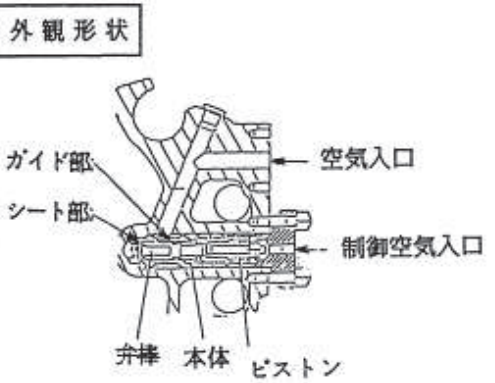
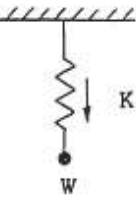
表 8.1-3-9 BWR 高速形の評価部位別評価結果 (1/2)

評価部位	始動弁	評価項目	(1)弁棒の曲げ	※裕度 = $\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$															
解析評価内容				<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; text-align: center;">評価条件</td> <td style="width: 15%;">水平加速度 α_H</td> <td style="width: 75%; text-align: center;">0.84 g</td> </tr> <tr> <td></td> <td>鉛直加速度 α_V</td> <td style="text-align: center;">0.38 g</td> </tr> <tr> <td></td> <td>評価加速度 α</td> <td style="text-align: center;">0.75 g</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">評価結果</td> <td>裕度 ※</td> <td style="text-align: center;">325</td> </tr> <tr> <td></td> <td>結果</td> <td style="text-align: center;">○</td> </tr> </table>	評価条件	水平加速度 α_H	0.84 g		鉛直加速度 α_V	0.38 g		評価加速度 α	0.75 g	評価結果	裕度 ※	325		結果	○
評価条件	水平加速度 α_H	0.84 g																	
	鉛直加速度 α_V	0.38 g																	
	評価加速度 α	0.75 g																	
評価結果	裕度 ※	325																	
	結果	○																	
外観形状	解析モデル																		
																			
解析式	$\alpha_{(\alpha + v)} = \frac{\delta}{l_0} \left\{ \frac{W_2 / g \cdot l_2^2}{16 \cdot E \cdot I} - \frac{l_2}{6 E I} (2 \cdot W_1 / g \cdot l_1 + W_2 / g \cdot l_2) \right\}^{-1}$ <p> W_1, l_1 : シート部からガイド部間重量及び長さ $W_1 = 0.065 \text{ kg}$ $l_1 = 52 \text{ mm}$ W_2, l_2 : ガイド部からピストン部間重量及び長さ $W_2 = 0.168 \text{ kg}$ $l_2 = 75 \text{ mm}$ W_3, l_3 : ピストン部からバネ部間重量及び長さ $W_3 = 0.055 \text{ kg}$ $l_3 = 28 \text{ mm}$ δ : 最小スキマ 0.021 mm E : ヤング係数 $2.1 \times 10^4 \text{ kg/mm}^2$ I : 断面二次モーメント 201.082 mm^4 l_0 : 最小スキマ部分の撓動部長さ 8 mm </p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <tr> <td style="width: 20%;">許容値</td> <td style="width: 20%;">変位</td> <td style="width: 60%; text-align: center;">0.021 mm</td> </tr> <tr> <td>限界値</td> <td>加速度</td> <td style="text-align: center;">244.17 g</td> </tr> </table>			許容値	変位	0.021 mm	限界値	加速度	244.17 g										
許容値	変位	0.021 mm																	
限界値	加速度	244.17 g																	
備考																			
<p>評価部位は傾いて取付けられているので評価加速度は作用方向に合成したものである。</p> <p>評価加速度 (α) の算出式</p> $\alpha = \alpha_H \sin 30^\circ + \alpha_V \cos 30^\circ$																			

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-3 図 ディーゼル発電機 (高速形) の評価部位別の評価結果 (19/35)

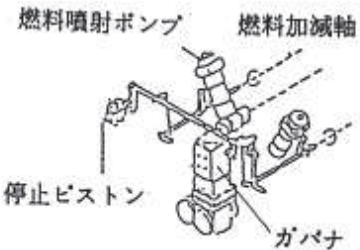

表 8.1-3-9 BWR高速形の評価部位別評価結果 (2/2)

評価部位	始動弁	評価項目	(2)弁の誤開閉		限界加速度 I ※裕度 = $\frac{\text{評価加速度}}{\text{限界加速度 I}}$	
解析評価内容				評価条件 水平加速度 α_H : 0.84 g 鉛直加速度 α_V : 0.38 g 評価加速度 α : 0.42 g	評価結果 裕度 ※ : 142 結果 : ○	
外観形状	解析モデル		備考 評価部位は傾いて取付けられているので評価加速度は作用方向に合成したものである。 評価加速度 (α) の算出式 $\alpha = \alpha_H \cos 30^\circ - (1 - \alpha_V) \sin 30^\circ$			
				解析式 $\alpha_{(H+V)} = K / (W/g)$ K : バネ力 17.15 kg W : 弁重量 0.286 kg		
		許容値	荷重	17.15 kg		
		限界値	加速度	59.96 g		

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-3 図 ディーゼル発電機 (高速形) の評価部位別の評価結果 (20/35)

表8.1-3-12 BWR高速形の評価部位別評価結果(1/2)

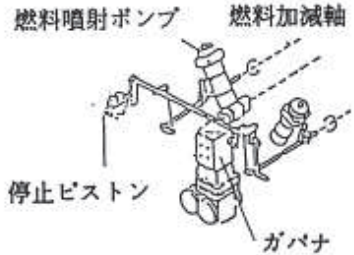
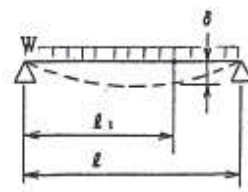
評価部位	ガバナリンク装置	評価項目	(1)地震時の抵抗	※裕度 = $\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$		
解析評価内容				固有振動数 (加減軸)	43.9 Hz	
外観形状		解析モデル		評価条件	水平加速度 α_H	0.84 g
					鉛直加速度 α_V	0.38 g
解析式		$\alpha_{(H+V)} = (F_G - F_K) / (W/g)$			評価加速度 α	0.92 g
F_G : ガバナ駆動力 F_K : リンクを増方向に引っ張った時の実測抵抗力 W : リンク重量		152.3 kg 5.0 kg 8.1 kg		評価結果	裕度 ※ 19.7	
				備考	結果 ○	
				評価加速度 (α) の算出式 $\alpha = \sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$		
		許容値	荷重	152.3 kg		
		限界値	加速度	18.18 g		

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-3 図 ディーゼル発電機 (高速形) の評価部位別の評価結果 (21/35)

別添 2-5-1-67

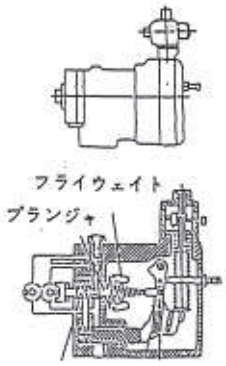
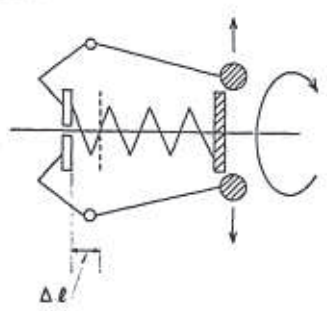
表 8.1-3-12 BWR 高速形の評価部位別評価結果 (2/2)

評価部位	ガバナリンク装置	評価項目	(2)燃料加減軸とコントロールラックの動き	※裕度 =	$\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$																								
解析評価内容				評価条件	水平加速度 α_H	0.84 g																							
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> 外観形状  </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> 解析モデル  </div> </div>					鉛直加速度 α_V	0.38 g																							
				評価結果	評価加速度 α	0.92 g																							
					裕度 ※	42.5																							
					結果	○																							
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> 解析式 $\alpha_{(H+V)} = \frac{24 \cdot \delta \cdot E \cdot I}{(1 - 2l_1^2/l^2 + l_1^3/l^3) \cdot (W/g) \cdot l^2 \cdot l_1}$ <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">δ</td> <td style="width: 35%;">ラックみぞクリアランス</td> <td style="width: 15%;">0.2</td> <td style="width: 35%;">mm</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>ヤング係数</td> <td>2.1×10^4</td> <td>kg/mm²</td> </tr> <tr> <td>I</td> <td>断面二次モーメント</td> <td>19174.76</td> <td>mm⁴</td> </tr> <tr> <td>W</td> <td>加減軸単位重量</td> <td>2.05</td> <td>kg/mm</td> </tr> <tr> <td>l_1</td> <td>加減軸軸受からコントロール借器距離</td> <td>132</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>l</td> <td>加減軸軸受間距離</td> <td>460</td> <td>mm</td> </tr> </table> </div>				δ	ラックみぞクリアランス	0.2	mm	E	ヤング係数	2.1×10^4	kg/mm ²	I	断面二次モーメント	19174.76	mm ⁴	W	加減軸単位重量	2.05	kg/mm	l_1	加減軸軸受からコントロール借器距離	132	mm	l	加減軸軸受間距離	460	mm	備考 評価加速度 (α) の算出式 $\alpha = \sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$	
δ	ラックみぞクリアランス	0.2	mm																										
E	ヤング係数	2.1×10^4	kg/mm ²																										
I	断面二次モーメント	19174.76	mm ⁴																										
W	加減軸単位重量	2.05	kg/mm																										
l_1	加減軸軸受からコントロール借器距離	132	mm																										
l	加減軸軸受間距離	460	mm																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>許容値</td> <td>変位</td> <td>0.2 mm</td> </tr> <tr> <td>限界値</td> <td>加速度</td> <td>39.18 g</td> </tr> </table>				許容値	変位	0.2 mm	限界値	加速度	39.18 g																				
許容値	変位	0.2 mm																											
限界値	加速度	39.18 g																											

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-3 図 ディーゼル発電機 (高速形) の評価部位別の評価結果 (22/35)

表 8.1-3-20 BWR 高速形の評価部位別評価結果

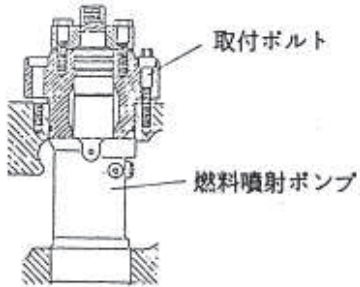
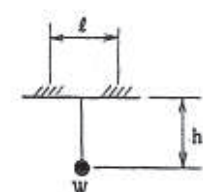
評価部位	オーバースピードトリップ装置	評価項目	(1) プランジヤの誤動作	※裕度 = $\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$							
解析評価内容				固有振動数 (プランジヤ)	20 Hz 以上						
外観形状		解析モデル		評価条件	<table border="1"> <tr> <td>水平加速度 α_H</td> <td>0.84 g</td> </tr> <tr> <td>鉛直加速度 α_V</td> <td>0.38 g</td> </tr> <tr> <td>評価加速度 α</td> <td>0.84 g</td> </tr> </table>	水平加速度 α_H	0.84 g	鉛直加速度 α_V	0.38 g	評価加速度 α	0.84 g
水平加速度 α_H	0.84 g										
鉛直加速度 α_V	0.38 g										
評価加速度 α	0.84 g										
	フライウエイト プランジヤ コントロールポート			評価結果	<table border="1"> <tr> <td>裕度 ※</td> <td>97.6</td> </tr> <tr> <td>結果</td> <td>○</td> </tr> </table>	裕度 ※	97.6	結果	○		
裕度 ※	97.6										
結果	○										
解析式	$\alpha_H = \Delta \ell / \delta$ <p> $\Delta \ell$: 動作するまでの距離 1.04 mm δ : 1 g により移動する距離 0.0127 mm </p>			備考	<p>評価加速度 (α) の算出式</p> $\alpha = \alpha_H$						
			許容値	変位	1.04 mm						
			限界値	加速度	82 g						

別添 2-5-1-69

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-3 図 ディーゼル発電機 (高速形) の評価部位別の評価結果 (23/35)

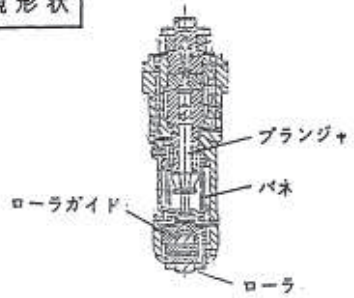
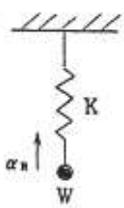
表 8.1-3-21 BWR高速形の評価部位別評価結果 (1/2)

評価部位	燃料噴射ポンプ	評価項目	(1)取付ボルト強度	※裕度 = $\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$																															
解析評価内容				評価条件 評価結果 備考 評価加速度 (α) の算出式 $\alpha = \alpha_H$																															
外観形状	解析モデル																																		
																																			
解析式	$\alpha_{(1)} = \frac{(\sigma_y - \sigma) A \cdot N \cdot \ell - (1 + \alpha_v) W / g \sin 30^\circ \cdot h + (1 + \alpha_v) W / g \cos 30^\circ \cdot \ell / 2}{W / g \cdot (\cos 30^\circ \cdot h + \sin 30^\circ \cdot \ell / 2)}$																																		
	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">σ_y :</td> <td style="width: 35%;">降伏応力</td> <td style="width: 15%;">50</td> <td style="width: 35%;">kg/mm²</td> </tr> <tr> <td>σ :</td> <td>(締付応力) + (運転時応力)</td> <td>39.5</td> <td>kg/mm²</td> </tr> <tr> <td>A :</td> <td>ボルト断面積</td> <td>110</td> <td>mm²</td> </tr> <tr> <td>ℓ :</td> <td>ボルトピッチ</td> <td>100</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>h :</td> <td>重心高さ</td> <td>197.8</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>W :</td> <td>燃料噴射ポンプ重量</td> <td>27.09</td> <td>kg</td> </tr> <tr> <td>N :</td> <td>引張りを受けるボルトの本数</td> <td>2</td> <td></td> </tr> <tr> <td>α_v :</td> <td>垂直方向加速度は 0.4g</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>				σ _y :	降伏応力	50	kg/mm ²	σ :	(締付応力) + (運転時応力)	39.5	kg/mm ²	A :	ボルト断面積	110	mm ²	ℓ :	ボルトピッチ	100	mm	h :	重心高さ	197.8	mm	W :	燃料噴射ポンプ重量	27.09	kg	N :	引張りを受けるボルトの本数	2		α _v :	垂直方向加速度は 0.4g	
σ _y :	降伏応力	50	kg/mm ²																																
σ :	(締付応力) + (運転時応力)	39.5	kg/mm ²																																
A :	ボルト断面積	110	mm ²																																
ℓ :	ボルトピッチ	100	mm																																
h :	重心高さ	197.8	mm																																
W :	燃料噴射ポンプ重量	27.09	kg																																
N :	引張りを受けるボルトの本数	2																																	
α _v :	垂直方向加速度は 0.4g																																		
	許容値	降伏応力	50 kg/mm ²																																
	限界値	加速度	43 g																																

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-3 図 ディーゼル発電機 (高速形) の評価部位別の評価結果 (24/35)

表 8.1-3-21 BWR 高速形の評価部位別評価結果 (2/2)

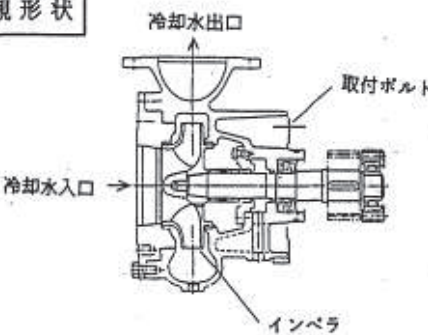
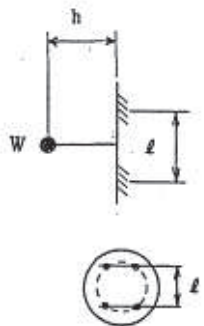
評価部位	燃料噴射ポンプ	評価項目	(2) プランジとローガイドの追従性	$\text{※裕度} = \frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$															
解析評価内容				<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; text-align: center;">評価条件</td> <td style="width: 60%;">水平加速度 α_H</td> <td style="width: 30%; text-align: center;">0.84 g</td> </tr> <tr> <td></td> <td>鉛直加速度 α_V</td> <td style="text-align: center;">0.38 g</td> </tr> <tr> <td></td> <td>評価加速度 α</td> <td style="text-align: center;">0.12 g</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">評価結果</td> <td>裕度 ※</td> <td style="text-align: center;">413</td> </tr> <tr> <td></td> <td>結果</td> <td style="text-align: center;">○</td> </tr> </table>	評価条件	水平加速度 α_H	0.84 g		鉛直加速度 α_V	0.38 g		評価加速度 α	0.12 g	評価結果	裕度 ※	413		結果	○
評価条件	水平加速度 α_H	0.84 g																	
	鉛直加速度 α_V	0.38 g																	
	評価加速度 α	0.12 g																	
評価結果	裕度 ※	413																	
	結果	○																	
外観形状	解析モデル																		
																			
解析式	$\alpha_{(H+V)} = \frac{K}{W/g} - \alpha_R$																		
	<table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>K</td> <td>: バネ力</td> <td style="text-align: right;">92.23 kg</td> </tr> <tr> <td>W</td> <td>: ローラガイド部重量</td> <td style="text-align: right;">0.536 kg</td> </tr> <tr> <td>α_R</td> <td>: ローラガイド部運転時加速度</td> <td style="text-align: right;">520000 mm/sec²</td> </tr> </table>		K	: バネ力	92.23 kg	W	: ローラガイド部重量	0.536 kg	α_R	: ローラガイド部運転時加速度	520000 mm/sec ²								
K	: バネ力	92.23 kg																	
W	: ローラガイド部重量	0.536 kg																	
α_R	: ローラガイド部運転時加速度	520000 mm/sec ²																	
	許容値	荷重	92.23 kg																
	限界値	加速度	49.6 g																
備考																			
<p>評価部位は傾いて取付けられているので評価加速度は作用方向に合成したものである。</p> <p>評価加速度 (α) の算出式</p> $\alpha = \alpha_H \sin 30^\circ + (\alpha_V - 1) \cos 30^\circ$																			

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-3 図 ディーゼル発電機 (高速形) の評価部位別の評価結果 (25/35)

別添 2-5-1-71

表8.1-3-22 BWR高速形の評価部位別評価結果(1/3)

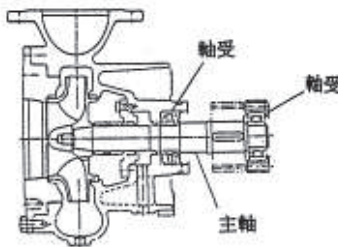
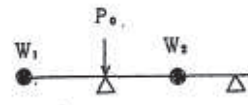
評価部位	冷却水ポンプ	評価項目	(1)取付ボルト強度	※裕度 =	$\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$																								
解析評価内容				固有振動数 (ポンプ軸)	197 Hz																								
外観形状			解析モデル	水平加速度 α_H	0.84 g																								
				鉛直加速度 α_V	0.38 g																								
				評価加速度 α	0.92 g																								
				評価結果	結果																								
解析式				裕度 ※	53.9																								
$\alpha_{(H+V)} = \frac{(\sigma_y - \sigma) \cdot A}{(W/g) \cdot h / 2l}$				結果	○																								
<table border="0"> <tr> <td>σ_y :</td> <td>降伏応力</td> <td>24</td> <td>kg/mm²</td> </tr> <tr> <td>σ :</td> <td>締付応力+運転時応力</td> <td>14.57</td> <td>kg/mm²</td> </tr> <tr> <td>A :</td> <td>ボルト断面積</td> <td>144.2</td> <td>mm²</td> </tr> <tr> <td>W :</td> <td>冷却水ポンプ重量</td> <td>80</td> <td>kg</td> </tr> <tr> <td>h :</td> <td>取付面から重心までの距離</td> <td>157.5</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>l :</td> <td>一番下のボルトから一番上のボルトまでの距離</td> <td>230</td> <td>mm</td> </tr> </table>				σ_y :	降伏応力	24	kg/mm ²	σ :	締付応力+運転時応力	14.57	kg/mm ²	A :	ボルト断面積	144.2	mm ²	W :	冷却水ポンプ重量	80	kg	h :	取付面から重心までの距離	157.5	mm	l :	一番下のボルトから一番上のボルトまでの距離	230	mm	備考	
σ_y :	降伏応力	24	kg/mm ²																										
σ :	締付応力+運転時応力	14.57	kg/mm ²																										
A :	ボルト断面積	144.2	mm ²																										
W :	冷却水ポンプ重量	80	kg																										
h :	取付面から重心までの距離	157.5	mm																										
l :	一番下のボルトから一番上のボルトまでの距離	230	mm																										
<table border="1"> <tr> <td>許容値</td> <td>降伏応力</td> <td>24</td> <td>kg/mm²</td> </tr> <tr> <td>限界値</td> <td>加速度</td> <td>49.6</td> <td>g</td> </tr> </table>				許容値	降伏応力	24	kg/mm ²	限界値	加速度	49.6	g	<p>評価加速度 (α) の算出式</p> $\alpha = \sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$ <p>据付側も機器と同一の鋼製の場合、転倒に対する中立軸の位置は、JBAG4601の手法で解析する場合とほぼ同等であり、従って限界加速度もJBAG4601の手法で解析する場合と同等である。</p>																	
許容値	降伏応力	24	kg/mm ²																										
限界値	加速度	49.6	g																										

別添 2-5-1-72

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-3 図 ディーゼル発電機 (高速形) の評価部位別の評価結果 (26/35)

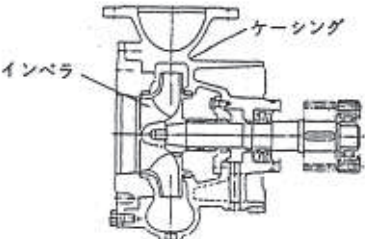
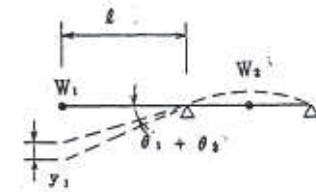
表 8.1-3-22 BWR 高速形の評価部位別評価結果 (2/3)

評価部位	冷却水ポンプ	評価項目	(2)軸受荷重	※裕度 = $\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$																			
解析評価内容				<table border="1"> <tr> <td>評価条件</td> <td>水平加速度 α_H</td> <td>0.84 g</td> </tr> <tr> <td></td> <td>鉛直加速度 α_V</td> <td>0.38 g</td> </tr> <tr> <td></td> <td>評価加速度 α</td> <td>0.84 g</td> </tr> <tr> <td>評価結果</td> <td>裕度 ※</td> <td>34.0</td> </tr> <tr> <td></td> <td>結果</td> <td>○</td> </tr> </table>	評価条件	水平加速度 α_H	0.84 g		鉛直加速度 α_V	0.38 g		評価加速度 α	0.84 g	評価結果	裕度 ※	34.0		結果	○				
評価条件	水平加速度 α_H	0.84 g																					
	鉛直加速度 α_V	0.38 g																					
	評価加速度 α	0.84 g																					
評価結果	裕度 ※	34.0																					
	結果	○																					
外観形状		解析モデル																					
																							
<p>解析式</p> $\alpha(H) = \frac{C_0 / 5 - P_0}{Y_0 \cdot (W_1 + W_2) / g}$																							
<table> <tr> <td>C_0 :</td> <td>軸受基本静定格荷重</td> <td>3200</td> <td>kg</td> </tr> <tr> <td>P_0 :</td> <td>運転時軸受等価荷重 (垂直加速度0.4 gを含む)</td> <td>303.54</td> <td>kg</td> </tr> <tr> <td>Y_0 :</td> <td>係数</td> <td>0.5</td> <td></td> </tr> <tr> <td>W_1 :</td> <td>(羽根車+軸) 重量</td> <td>14.794</td> <td>kg</td> </tr> <tr> <td>W_2 :</td> <td>(輪+歯車) 重量</td> <td>8.698</td> <td>kg</td> </tr> </table>				C_0 :	軸受基本静定格荷重	3200	kg	P_0 :	運転時軸受等価荷重 (垂直加速度0.4 gを含む)	303.54	kg	Y_0 :	係数	0.5		W_1 :	(羽根車+軸) 重量	14.794	kg	W_2 :	(輪+歯車) 重量	8.698	kg
C_0 :	軸受基本静定格荷重	3200	kg																				
P_0 :	運転時軸受等価荷重 (垂直加速度0.4 gを含む)	303.54	kg																				
Y_0 :	係数	0.5																					
W_1 :	(羽根車+軸) 重量	14.794	kg																				
W_2 :	(輪+歯車) 重量	8.698	kg																				
		許容値	荷重	640 kg																			
		限界値	加速度	28.64 g																			
備考																							
<p>評価加速度 (α) の算出式</p> $\alpha = \alpha_H$																							

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-3 図 ディーゼル発電機 (高速形) の評価部位別の評価結果 (27/35)

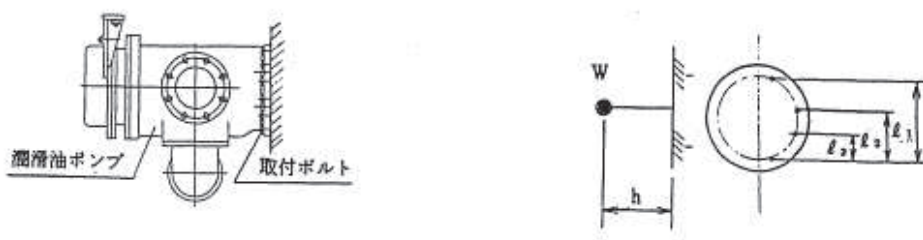
表 8.1-3-22 BWR 高速形の評価部位別評価結果 (3/3)

評価部位	冷却水ポンプ	評価項目	(3)ケーシングとインベラの干渉	※裕度 = $\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$																											
解析評価内容				<table border="1"> <tr> <td>評価条件</td> <td>水平加速度 α_H</td> <td>0.84 g</td> </tr> <tr> <td></td> <td>鉛直加速度 α_V</td> <td>0.38 g</td> </tr> <tr> <td></td> <td>評価加速度 α</td> <td>0.92 g</td> </tr> <tr> <td>評価結果</td> <td>裕度 ※</td> <td>94.8</td> </tr> <tr> <td></td> <td>結果</td> <td>○</td> </tr> </table>	評価条件	水平加速度 α_H	0.84 g		鉛直加速度 α_V	0.38 g		評価加速度 α	0.92 g	評価結果	裕度 ※	94.8		結果	○												
評価条件	水平加速度 α_H	0.84 g																													
	鉛直加速度 α_V	0.38 g																													
	評価加速度 α	0.92 g																													
評価結果	裕度 ※	94.8																													
	結果	○																													
外観形状		解析モデル																													
																															
<p>解析式</p> $\alpha_{(H+V)} = \Delta l / \{ y_1 + l (\theta_1 + \theta_2) \}$																															
<table> <tr> <td>Δl :</td> <td>インベラとケーシングのクリアランス</td> <td>0.22</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>W_1 :</td> <td>(羽根車+軸) 重量</td> <td>14.794</td> <td>kg</td> </tr> <tr> <td>W_2 :</td> <td>(軸+歯車) 重量</td> <td>8.698</td> <td>kg</td> </tr> <tr> <td>l :</td> <td>インベラから軸受までの距離</td> <td>126.3</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>y_1 :</td> <td>W_1 によるたわみ量</td> <td>-3.766×10^{-3}</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>θ_1 :</td> <td>W_1 による②部のたわみ角</td> <td>-1.148×10^{-6}</td> <td>rad</td> </tr> <tr> <td>θ_2 :</td> <td>W_2 による②部のたわみ角</td> <td>1.101×10^{-6}</td> <td>rad</td> </tr> </table>				Δl :	インベラとケーシングのクリアランス	0.22	mm	W_1 :	(羽根車+軸) 重量	14.794	kg	W_2 :	(軸+歯車) 重量	8.698	kg	l :	インベラから軸受までの距離	126.3	mm	y_1 :	W_1 によるたわみ量	-3.766×10^{-3}	mm	θ_1 :	W_1 による②部のたわみ角	-1.148×10^{-6}	rad	θ_2 :	W_2 による②部のたわみ角	1.101×10^{-6}	rad
Δl :	インベラとケーシングのクリアランス	0.22	mm																												
W_1 :	(羽根車+軸) 重量	14.794	kg																												
W_2 :	(軸+歯車) 重量	8.698	kg																												
l :	インベラから軸受までの距離	126.3	mm																												
y_1 :	W_1 によるたわみ量	-3.766×10^{-3}	mm																												
θ_1 :	W_1 による②部のたわみ角	-1.148×10^{-6}	rad																												
θ_2 :	W_2 による②部のたわみ角	1.101×10^{-6}	rad																												
備考																															
<p>評価加速度 (α) の算出式</p> $\alpha = \sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$																															
許容値	変位	0.22 mm																													
限界値	加速度	87.28 g																													

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-3 図 ディーゼル発電機 (高速形) の評価部位別の評価結果 (28/35)

表8.1-3-23 BWR高速形の評価部位別評価結果 (1/3)

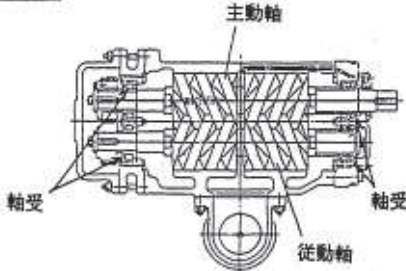
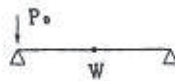
評価部位	潤滑油ポンプ	評価項目	(1)取付ボルト強度		※裕度 = $\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$																																	
解析評価内容					固有振動数 (ポンプ軸)	526 Hz																																
外観形状	解析モデル				評価条件	水平加速度 α_H	0.84 g																															
						鉛直加速度 α_V	0.38 g																															
						評価加速度 α	0.92 g																															
解析式					評価結果	裕度 ※	108																															
$\alpha_{(\alpha \cdot v)} = \frac{(\sigma_v - \sigma) \cdot A}{(W/g) \cdot h \cdot l_1 / 2 (l_1^2 + l_2^2 + l_3^2)^{-1}}$ <table style="width:100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 15%;">σ_v :</td> <td style="width: 35%;">降伏応力</td> <td style="width: 15%;">50</td> <td style="width: 35%;">kg/mm²</td> </tr> <tr> <td>σ :</td> <td>締付応力+運転時応力</td> <td>30</td> <td>kg/mm²</td> </tr> <tr> <td>A :</td> <td>ボルト断面積</td> <td>103.8</td> <td>mm²</td> </tr> <tr> <td>W :</td> <td>潤滑油ポンプ重量</td> <td>118.9</td> <td>kg</td> </tr> <tr> <td>h :</td> <td>取付面から重心までの距離</td> <td>168</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>l_1 :</td> <td>一番下のボルトから一番上のボルトまでの距離</td> <td>305</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>l_2 :</td> <td>一番下のボルトから上から2番目のボルトまでの距離</td> <td>210</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>l_3 :</td> <td>一番下のボルトから下から2番目のボルトまでの距離</td> <td>95</td> <td>mm</td> </tr> </table>					σ_v :	降伏応力	50	kg/mm ²	σ :	締付応力+運転時応力	30	kg/mm ²	A :	ボルト断面積	103.8	mm ²	W :	潤滑油ポンプ重量	118.9	kg	h :	取付面から重心までの距離	168	mm	l_1 :	一番下のボルトから一番上のボルトまでの距離	305	mm	l_2 :	一番下のボルトから上から2番目のボルトまでの距離	210	mm	l_3 :	一番下のボルトから下から2番目のボルトまでの距離	95	mm	結果	○
					σ_v :	降伏応力	50	kg/mm ²																														
σ :	締付応力+運転時応力	30	kg/mm ²																																			
A :	ボルト断面積	103.8	mm ²																																			
W :	潤滑油ポンプ重量	118.9	kg																																			
h :	取付面から重心までの距離	168	mm																																			
l_1 :	一番下のボルトから一番上のボルトまでの距離	305	mm																																			
l_2 :	一番下のボルトから上から2番目のボルトまでの距離	210	mm																																			
l_3 :	一番下のボルトから下から2番目のボルトまでの距離	95	mm																																			
備考					評価加速度 (α) の算出式																																	
					$\alpha = \sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$																																	
					据付側も機器と同一の鋼製の場合、転倒に対する中立軸の位置は、JBAG4601の手法で解析する場合とほぼ同等であり、従って限界加速度もJBAG4601の手法で解析する場合と同等である。																																	
許容値					降伏応力	50	kg/mm ²																															
限界値					加速度	99.6	g																															

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-3 図 ディーゼル発電機 (高速形) の評価部位別の評価結果 (29/35)

別添 2-5-1-75

表 8.1-3-23 BWR 高速形の評価部位別評価結果 (2/3)

評価部位	潤滑油ポンプ	評価項目	(2)軸受荷重	※裕度 = $\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$															
解析評価内容				<table border="1"> <tr> <td>評価条件</td> <td>水平加速度 α_H</td> <td>0.84 g</td> </tr> <tr> <td></td> <td>鉛直加速度 α_V</td> <td>0.38 g</td> </tr> <tr> <td></td> <td>評価加速度 α</td> <td>0.84 g</td> </tr> <tr> <td>評価結果</td> <td>裕度 ※</td> <td>394</td> </tr> <tr> <td></td> <td>結果</td> <td>○</td> </tr> </table>	評価条件	水平加速度 α_H	0.84 g		鉛直加速度 α_V	0.38 g		評価加速度 α	0.84 g	評価結果	裕度 ※	394		結果	○
評価条件	水平加速度 α_H	0.84 g																	
	鉛直加速度 α_V	0.38 g																	
	評価加速度 α	0.84 g																	
評価結果	裕度 ※	394																	
	結果	○																	
外観形状			解析モデル																
解析式	$\alpha_H = \frac{C_0 - P_0}{X_0 \cdot (W/g)}$ <p> C₀ : 軸受基本定格荷重 8650 kg P₀ : 運転時軸受静等価荷重 (垂直加速度0.4 gを含む) 27.566 kg X₀ : 係数 0.66 W : 主動軸重量 39.38 kg </p>			備考															
				評価加速度 (α) の算出式 $\alpha = \alpha_H$															
			<table border="1"> <tr> <td>許容値</td> <td>荷重</td> <td>8650 kg</td> </tr> <tr> <td>限界値</td> <td>加速度</td> <td>331.7 g</td> </tr> </table>	許容値	荷重	8650 kg	限界値	加速度	331.7 g										
許容値	荷重	8650 kg																	
限界値	加速度	331.7 g																	

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-3 図 ディーゼル発電機 (高速形) の評価部位別の評価結果 (30/35)

表8.1-3-23 BWR高速形の評価部位別評価結果(3/3)

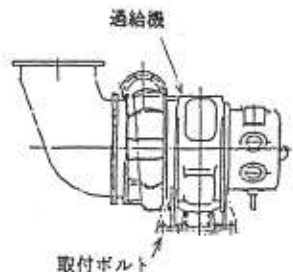
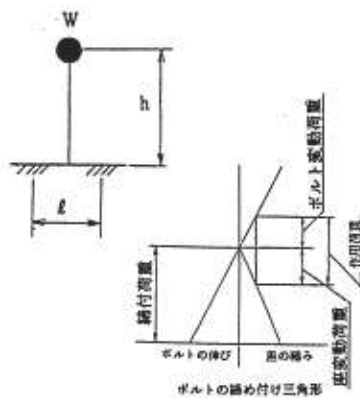
評価部位	潤滑油ポンプ	評価項目	(3)ケーシングとの干渉	※裕度 = $\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$															
解析評価内容				<table border="1"> <tr> <td>評価条件</td> <td>水平加速度 α_H</td> <td>0.84 g</td> </tr> <tr> <td></td> <td>鉛直加速度 α_V</td> <td>0.38 g</td> </tr> <tr> <td></td> <td>評価加速度 α</td> <td>0.92 g</td> </tr> <tr> <td>評価結果</td> <td>裕度 ※</td> <td>77.3</td> </tr> <tr> <td></td> <td>結果</td> <td>○</td> </tr> </table>	評価条件	水平加速度 α_H	0.84 g		鉛直加速度 α_V	0.38 g		評価加速度 α	0.92 g	評価結果	裕度 ※	77.3		結果	○
評価条件	水平加速度 α_H	0.84 g																	
	鉛直加速度 α_V	0.38 g																	
	評価加速度 α	0.92 g																	
評価結果	裕度 ※	77.3																	
	結果	○																	
外観形状		解析モデル																	
解析式		備考																	
<p>線形モデルFEM解析</p> <p>但し* W_1 : 歯車重量 7 kg W_2 : スクリュー重量 21 kg W_3 : スクリュー重量 21 kg W_4 : 駆動歯車重量 7 kg</p>		<p>評価加速度 (α) の算出式</p> $\alpha = \sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$																	
		許容値	変位	0.25 mm															
		限界値	加速度	71.2 g															

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-3 図 ディーゼル発電機 (高速形) の評価部位別の評価結果 (31/35)

別添 2-5-1-77

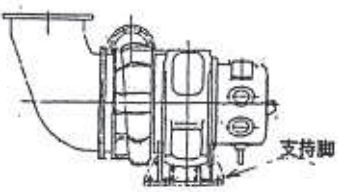
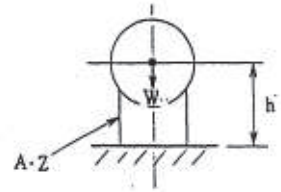
表8.1-3-24 BWR高速形の評価部位別評価結果(1/4)

評価部位	過給機	評価項目	(1)取付ボルト強度	※裕度 = $\frac{\text{限界加速度 II}}{\text{評価加速度}}$										
解析評価内容				固有振動数 (ロータ軸)										
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="text-align: center;">外観形状</p>  </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="text-align: center;">解析モデル</p>  </div> </div>				125 Hz										
				評価条件	結果									
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="text-align: center;">解析式</p> $\alpha_{(H)} = \frac{1}{2.01} (\sigma_y + 0.295)$ <p style="text-align: center;">σ_y 降伏応力</p> </div>				<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;">水平加速度 α_H</td> <td style="width: 80%;">0.84 g</td> </tr> <tr> <td>鉛直加速度 α_V</td> <td>0.38 g</td> </tr> <tr> <td>評価加速度 α</td> <td>0.84 g</td> </tr> <tr> <td>裕度 ※</td> <td>29.7</td> </tr> <tr> <td>結果</td> <td style="text-align: center;">○</td> </tr> </table>	水平加速度 α_H	0.84 g	鉛直加速度 α_V	0.38 g	評価加速度 α	0.84 g	裕度 ※	29.7	結果	○
水平加速度 α_H	0.84 g													
鉛直加速度 α_V	0.38 g													
評価加速度 α	0.84 g													
裕度 ※	29.7													
結果	○													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;">許容値</td> <td style="width: 20%;">降伏応力</td> <td style="width: 20%;">50 kg/mm²</td> <td style="width: 40%;"></td> </tr> <tr> <td>限界値</td> <td>加速度</td> <td>25.0 g</td> <td></td> </tr> </table>				許容値	降伏応力	50 kg/mm ²		限界値	加速度	25.0 g		備考		
許容値	降伏応力	50 kg/mm ²												
限界値	加速度	25.0 g												
<p>評価加速度 (α) の算出式</p> $\alpha = \alpha_H$ <p>詳細については 表8.1-3-16 (1/1) 補足資料参照</p>														

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-3 図 ディーゼル発電機 (高速形) の評価部位別の評価結果 (32/35)

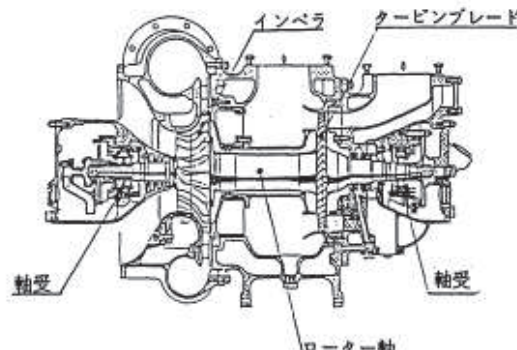
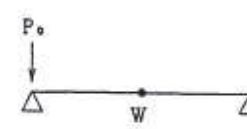
表 8.1-3-24 BWR 高速形の評価部位別評価結果 (2/4)

評価部位	過給機	評価項目	(2)支持脚の強度	※裕度 = $\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$																							
解析評価内容				<table border="1"> <tr> <td>評価条件</td> <td>水平加速度 α_H</td> <td>0.84 g</td> </tr> <tr> <td></td> <td>鉛直加速度 α_V</td> <td>0.38 g</td> </tr> <tr> <td></td> <td>評価加速度 α</td> <td>0.84 g</td> </tr> <tr> <td>評価結果</td> <td>裕度 ※</td> <td>550</td> </tr> <tr> <td></td> <td>結果</td> <td>○</td> </tr> </table>	評価条件	水平加速度 α_H	0.84 g		鉛直加速度 α_V	0.38 g		評価加速度 α	0.84 g	評価結果	裕度 ※	550		結果	○								
評価条件	水平加速度 α_H	0.84 g																									
	鉛直加速度 α_V	0.38 g																									
	評価加速度 α	0.84 g																									
評価結果	裕度 ※	550																									
	結果	○																									
外観形状		解析モデル																									
																											
<p>解析式</p> $\alpha(\%) = \frac{\sigma_y - \sigma}{2 \left\{ \frac{(W/p) \cdot h}{2 \cdot Z} + W/p \sqrt{(h/2Z)^2 + 4(1/2/A)^2} \right\}}$																											
<table border="0"> <tr> <td>σ_y</td> <td>: 降伏応力</td> <td>24</td> <td>kg/mm²</td> </tr> <tr> <td>σ</td> <td>: 運転時応力</td> <td>0</td> <td>kg/mm²</td> </tr> <tr> <td>W</td> <td>: 過給機重量</td> <td>890</td> <td>kg</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td>: 重心高さ</td> <td>480</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>Z</td> <td>: 支持脚断面係数</td> <td>590000</td> <td>mm³</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>: 支持脚断面積</td> <td>15600</td> <td>mm²</td> </tr> </table>				σ_y	: 降伏応力	24	kg/mm ²	σ	: 運転時応力	0	kg/mm ²	W	: 過給機重量	890	kg	h	: 重心高さ	480	mm	Z	: 支持脚断面係数	590000	mm ³	A	: 支持脚断面積	15600	mm ²
σ_y	: 降伏応力	24	kg/mm ²																								
σ	: 運転時応力	0	kg/mm ²																								
W	: 過給機重量	890	kg																								
h	: 重心高さ	480	mm																								
Z	: 支持脚断面係数	590000	mm ³																								
A	: 支持脚断面積	15600	mm ²																								
<table border="1"> <tr> <td>許容値</td> <td>降伏応力</td> <td>24</td> <td>kg/mm²</td> </tr> <tr> <td>限界値</td> <td>加速度</td> <td>462.5</td> <td>g</td> </tr> </table>				許容値	降伏応力	24	kg/mm ²	限界値	加速度	462.5	g																
許容値	降伏応力	24	kg/mm ²																								
限界値	加速度	462.5	g																								
備考																											
<p>評価加速度 (α) の算出式</p> $\alpha = \alpha_H$																											

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-3 図 ディーゼル発電機 (高速形) の評価部位別の評価結果 (33/35)

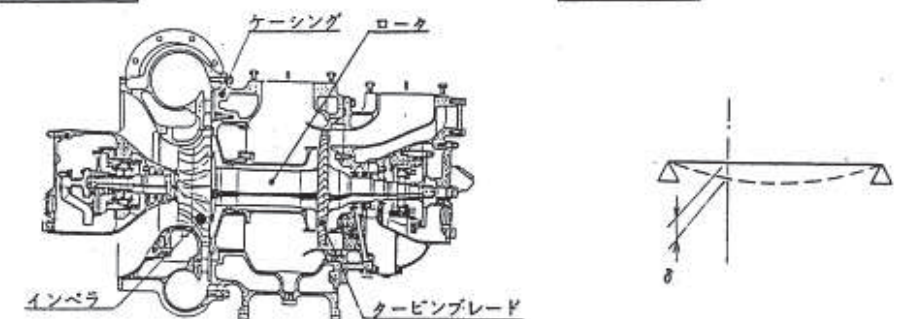
表8.1-3-24 BWR高速形の評価部位別評価結果(3/4)

評価部位	過給機	評価項目	(3)軸受荷重	$\text{※裕度} = \frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$															
解析評価内容				<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; text-align: center;">評価条件</td> <td style="width: 60%;">水平加速度 α_H</td> <td style="width: 30%; text-align: center;">0.84 g</td> </tr> <tr> <td></td> <td>鉛直加速度 α_V</td> <td style="text-align: center;">0.38 g</td> </tr> <tr> <td></td> <td>評価加速度 α</td> <td style="text-align: center;">0.84 g</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">評価結果</td> <td>裕度 ※</td> <td style="text-align: center;">40.0</td> </tr> <tr> <td></td> <td>結果</td> <td style="text-align: center;">○</td> </tr> </table>	評価条件	水平加速度 α_H	0.84 g		鉛直加速度 α_V	0.38 g		評価加速度 α	0.84 g	評価結果	裕度 ※	40.0		結果	○
評価条件	水平加速度 α_H	0.84 g																	
	鉛直加速度 α_V	0.38 g																	
	評価加速度 α	0.84 g																	
評価結果	裕度 ※	40.0																	
	結果	○																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="text-align: center;">外観形状</p>  </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="text-align: center;">解析モデル</p>  </div> </div>																			
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="text-align: center;">解析式</p> $\alpha_H = \frac{C_0 / 5 - P_0}{Y_0 \cdot (W/g)}$ </div>																			
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">C₀ :</td> <td style="width: 45%;">軸受基本定格荷重</td> <td style="width: 15%; text-align: right;">4848</td> <td style="width: 25%; text-align: right;">kg</td> </tr> <tr> <td>P₀ :</td> <td>運転時軸受静等価荷重 (垂直方向加速度0.4 gを含む)</td> <td style="text-align: right;">164.9</td> <td style="text-align: right;">kg</td> </tr> <tr> <td>Y₀ :</td> <td>係数</td> <td style="text-align: right;">0.38</td> <td></td> </tr> <tr> <td>W :</td> <td>ローター完備重量</td> <td style="text-align: right;">63</td> <td style="text-align: right;">kg</td> </tr> </table>				C ₀ :	軸受基本定格荷重	4848	kg	P ₀ :	運転時軸受静等価荷重 (垂直方向加速度0.4 gを含む)	164.9	kg	Y ₀ :	係数	0.38		W :	ローター完備重量	63	kg
C ₀ :	軸受基本定格荷重	4848	kg																
P ₀ :	運転時軸受静等価荷重 (垂直方向加速度0.4 gを含む)	164.9	kg																
Y ₀ :	係数	0.38																	
W :	ローター完備重量	63	kg																
備考																			
<p>評価加速度 (α) の算出式</p> $\alpha = \alpha_H$																			
許容値		荷重	969.6 kg																
限界値		加速度	33.6 g																

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-3 図 ディーゼル発電機 (高速形) の評価部位別の評価結果 (34/35)

表8.1-3-24 BWR高速形の評価部位別評価結果(4/4)

評価部位	過給機	評価項目	(4)ケーシングとの干渉	※裕度 = $\frac{\text{限界加速度 I}}{\text{評価加速度}}$															
解析評価内容				<table border="1"> <tr> <td>評価条件</td> <td>水平加速度 α_H</td> <td>0.84 g</td> </tr> <tr> <td></td> <td>鉛直加速度 α_V</td> <td>0.38 g</td> </tr> <tr> <td></td> <td>評価加速度 α</td> <td>0.92 g</td> </tr> <tr> <td>評価結果</td> <td>裕度 ※</td> <td>52.0</td> </tr> <tr> <td></td> <td>結果</td> <td>○</td> </tr> </table>	評価条件	水平加速度 α_H	0.84 g		鉛直加速度 α_V	0.38 g		評価加速度 α	0.92 g	評価結果	裕度 ※	52.0		結果	○
評価条件	水平加速度 α_H	0.84 g																	
	鉛直加速度 α_V	0.38 g																	
	評価加速度 α	0.92 g																	
評価結果	裕度 ※	52.0																	
	結果	○																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">外観形状</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">解析モデル</div> </div>  <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;">解析式</div> $\alpha_{(H+V)} = \Delta l / (\delta / g)$ <p> Δl : インペラとケーシングのクリアランス 0.3 mm δ : ロータの自重によるたわみ (インペラ部) 0.00626 mm </p> <table border="1" style="margin-top: 10px; width: 100%;"> <tr> <td>許容値</td> <td>変位</td> <td>0.3 mm</td> </tr> <tr> <td>限界値</td> <td>加速度</td> <td>47.9 g</td> </tr> </table>				許容値	変位	0.3 mm	限界値	加速度	47.9 g	備考									
許容値	変位	0.3 mm																	
限界値	加速度	47.9 g																	
<p style="text-align: center;">評価加速度 (α) の算出式</p> $\alpha = \sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$																			

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-3 図 ディーゼル発電機 (高速形) の評価部位別の評価結果 (35/35)

(3) 耐震信頼性実証試験と女川原子力発電所第2号機の差異を踏まえた適用性の確認

(2)項の検討の結果、女川原子力発電所第2号機の非常用ディーゼル機関において、以下の評価部位に耐震信頼性実証試験の検討内容と相違及び同等と分類される評価部位があるため、それらの分類結果が耐震評価に及ぼす影響を確認した結果を別添2-5-1-5表に示す。

別添2-5-1-5表 耐震信頼性実証試験と女川原子力発電所第2号機非常用ディーゼル機関の相違点と相違点による耐震評価への影響

比較結果の分類*	評価部位/評価項目	分類結果の内容	分類結果が耐震評価に及ぼす影響	評価手法の適用性
相違	オーバースピードトリップ装置/プランジャの誤動作	中速形用オーバースピードトリップ装置ではなく高速形用オーバースピードトリップ装置を採用	裕度が大きくなる	有
同等	燃料噴射ポンプ/プランジャとローラガイドの追従性	ばね定数増によりローラガイド押付け力が [] 増加	裕度が大きくなる	有
	潤滑油ポンプ/取付ボルト強度	取付ボルトに高強度材料採用により降伏応力が [] 増加	裕度が大きくなる	有
	過給機/取付ボルト強度	取付ボルトに高強度材料採用により降伏応力が [] 増加	裕度が大きくなる	有

注記* : 「同等」女川2号機の評価部位において一部相違があるものの、耐震信頼性実証試験よりも裕度が大きくなる項目

「相違」女川2号機の評価部位と明確な相違がある項目

a. オーバースピードトリップ装置/プランジャの誤動作

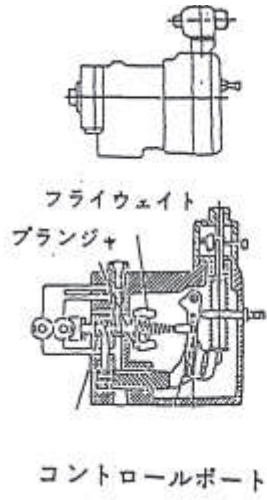
女川原子力発電所第2号機の非常用ディーゼル機関は、中速形であるが、オーバースピードトリップ装置については高速形に使われている装置を採用している。構造の差異について別添2-5-1-4図に示す。オーバースピードトリップ装置に係る耐震評価は、地震慣性力が負荷した際に、慣性力によって誤動作が発生するかを確認している。

耐震信頼性実証試験での中速形と高速形のオーバースピードトリップ装置の検討結果は別添2-5-1-2図(22/35)、別添2-5-1-2図(23/35)と別添2-5-1-3図(23/35)に示すとおりであり、中速形が評価加速度 [] に対して裕度 [] なのに対して高速形は評価加速度 [] に対して裕度が [] となっており、高速形のオーバースピードトリップ装置の方が耐震評価における裕度が大きいことが分かる。

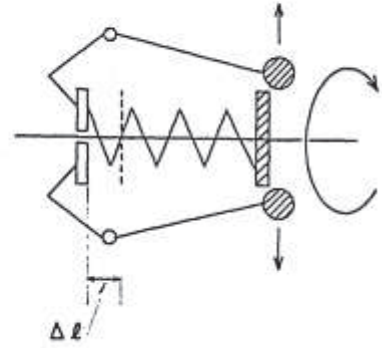
女川原子力発電所第2号機では、裕度がより大きい高速形を採用したものであり、その構造は耐震信頼性実証試験で検証している高速形用のオーバースピードトリップ装置と相違ないことから高速形の知見を適用することが可能である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

外觀形状



解析モデル

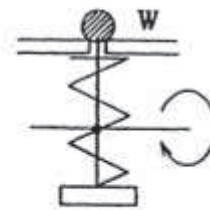


(高速形)

外觀形状



解析モデル



(中速形)

(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-4 図 オーバースピードトリップ装置の概要

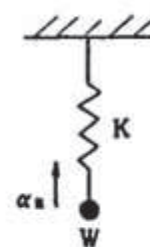
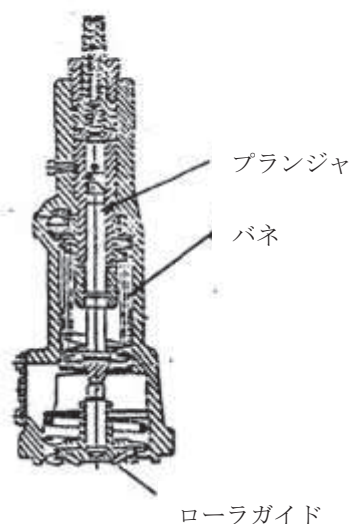
b. 燃料噴射ポンプ／プランジャとローラガイドの追従性

燃料噴射ポンプのプランジャについて別添 2-5-1-5 図に構造概要を示す。プランジャに係る耐震評価は、プランジャに地震慣性力が負荷した場合にばね反力を上回る慣性力が発生しプランジャとローラガイドの追従性が損なわれないか確認する。

女川原子力発電所第 2 号機の非常用ディーゼル機関で採用している燃料噴射ポンププランジャの耐震信頼性実証試験からの変更点は、ばね定数を [] 倍に大きくしているものであり、この変更によって、地震慣性力による誤動作に対する抵抗力が増して裕度が大きくなる変更点となっていることから、本設備に対して耐震信頼性実証試験の知見を適用することが可能である。

外観形状

解析モデル



(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-5 図 燃料噴射ポンププランジャの概要

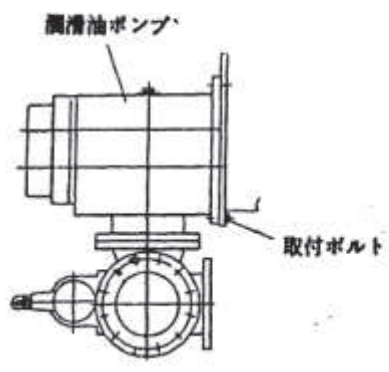
c. 潤滑油ポンプ／取付ボルト強度

潤滑油ポンプの取付ボルトについて別添 2-5-1-6 図に構造概要を示す。潤滑油ポンプ取付ボルトに係る耐震評価は、ボルトの構造強度評価を実施している。

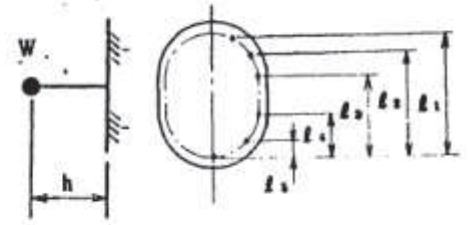
女川原子力発電所第 2 号機の非常用ディーゼル機関で採用している潤滑油ポンプ取付ボルトの耐震信頼性実証試験からの変更点は、[] から [] へ材料を変更したことでボルトの降伏応力を [] 倍に向上させたものであり耐震評価においては裕度が大きくなる変更点となっていることから、本設備に対して耐震信頼性実証試験の知見を適用することが可能である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

外観形状



解析モデル



(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

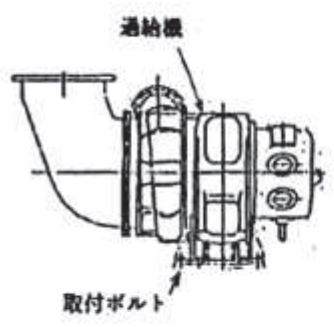
別添 2-5-1-6 図 潤滑油ポンプ取付ボルトの概要

d. 過給機／取付ボルト強度

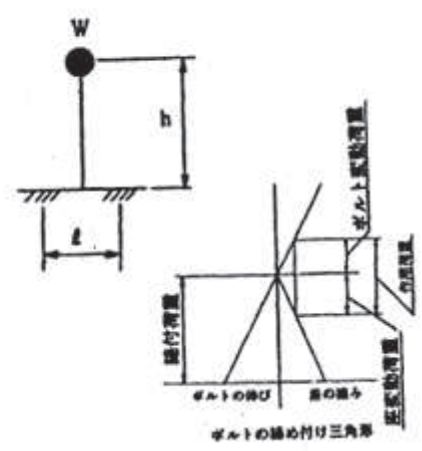
過給機の取付ボルトについて別添 2-5-1-7 図に構造概要を示す。過給機取付ボルトに係る耐震評価は、ボルトの構造強度評価を実施している。

女川原子力発電所第 2 号機の非常用ディーゼル機関で採用している過給機取付ボルトの耐震信頼性実証試験からの変更点は、材料を [] から [] へ変更したことでボルトの降伏応力を [] 倍に向上させたものであり耐震評価においては裕度が大きくなる変更点となっていることから、本設備に対して耐震信頼性実証試験の知見を適用することが可能である。

外観形状



解析モデル



(耐震信頼性実証試験報告書より抜粋)

別添 2-5-1-7 図 過給機取付ボルトの概要

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(4) 女川原子力発電所第2号機における裕度確認

(3)項までの検討で女川原子力発電所第2号機への適用性が確認できた評価部位について、耐震信頼性実証試験での知見を適用して耐震評価における裕度を確認した結果を、非常用ディーゼル機関は別添2-5-1-6表に、高圧炉心スプレイ系ディーゼル機関は別添2-5-1-7表に示す。

耐震信頼性実証試験では、それぞれの評価部位について限界加速度が算出されていることから、18気筒である女川原子力発電所第2号機の非常用ディーゼル機関及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル機関それぞれに適用する機能維持評価用加速度（水平方向加速度1.67g、鉛直方向加速度1.17g）*と、この限界加速度を比較することで裕度を算出した。

別添2-5-1-6表及び別添2-5-1-7表に示すとおり、いずれの評価部位も十分大きな裕度を有していることが確認できたことから、動的機能維持評価における基本評価項目の対象外とし耐震計算書の記載対象外とする。

注記*：機能維持評価用加速度は添付書類「VI-2-10-1-2-1-1 非常用ディーゼル発電設備 機関・発電機の耐震性についての計算書」及び「VI-2-10-1-2-2-1 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 機関・発電機の耐震性についての計算書」より引用

別添 2-5-1-6 表 非常用ディーゼル機関（中速形）の機能維持評価用加速度と耐震信頼性実証試験で検証した限界加速度（1/7）

(×9.8m/s²)

評価部位	評価項目及び算出式*	機能維持評価用加速度	限界加速度	裕度(－)
カム軸	軸受面圧 評価用加速度 $\sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$ 限界加速度 $(P_a - P) \cdot S / (W/g)$ P _a : 許容面圧 [kgf/cm ²] P: 通常運転時軸受面圧 [kgf/cm ²] S: 軸受投影面積 [cm ²], W: カム軸 1 cyl 当り重量 [kg]	2.04	47.1	23
	スラスト軸受荷重 評価用加速度 α_H 限界加速度 $C_0 / (W/g)$ C ₀ : 基本静定格荷重 [kgf], W: カム軸系全体重量 [kg]	1.67	21.7	12.9
ピストン・クランク・連接棒	ピストンピン軸受 軸受面圧 評価用加速度 $\sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$ 限界加速度 $(P_a - P) \cdot S / (W/g)$ P _a : 許容面圧 [kgf/cm ²] P: 通常運転時軸受面圧 [kgf/cm ²] S: 軸受投影面積 [cm ²], W: ピストン重量 [kg]	2.04	119.8	58.7
	主軸受 軸受面圧 評価用加速度 $\sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$ 限界加速度 $(P_a - P) \cdot S / (W/g)$ P _a : 許容面圧 [kgf/cm ²] P: 通常運転時軸受面圧 [kgf/cm ²] S: 軸受投影面積 [cm ²] W: 軸受 1 個当たりの軸系重量 [kg]	2.04	63.7	31.2
	クランクピン軸受 軸受面圧 評価用加速度 $\sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$ 限界加速度 $(P_a - P) \cdot S / \{(W_1 + W_2) / g\}$ P _a : 許容面圧 [kgf/cm ²] P: 通常運転時軸受面圧 [kgf/cm ²] S: 軸受投影面積 [cm ²] W ₁ : ピストン重量 [kg] W ₂ : 連接棒重量 [kg]	2.04	176.2	86.3
ギヤリング	軸受面圧 評価用加速度 $\sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$ 限界加速度 $(P_a - P) \cdot S / (W/g)$ P _a : 許容面圧 [kgf/cm ²] P: 通常運転時軸受面圧 [kgf/cm ²] S: 軸受投影面積 [cm ²] W: アイドルギヤ重量 [kg]	2.04	336.5	164.9

注記*: α_H は水平方向加速度 1.67g, α_V は鉛直方向加速度 1.17g, gは重力加速度 9.8m/s²を表す。

別添 2-5-1-6 表 非常用ディーゼル機関（中速形）の機能維持評価用加速度と
耐震信頼性実証試験で検証した限界加速度（2/7）

(×9.8m/s²)

評価部位	評価項目及び算出式*	機能維持評価用加速度	限界加速度	裕度 (-)
ギヤリング	<p>軸の強度</p> <p>評価用加速度 $\sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$</p> <p>限界加速度 $(\sigma_y \cdot Z - M) / (\ell_1 \cdot \ell_2 / \ell) / (W/g)$</p> <p>$\sigma_y$: 降伏応力 [kgf/mm²], Z: カム軸断面係数 [mm³] M: 通常運転時曲げモーメント [kg・mm] W: アイドルギヤ重量 [kg], ℓ: 軸受間距離 [mm] ℓ_1: 荷重点までの距離 [mm], ℓ_2: 荷重点までの距離 [mm]</p>	2.04	203.8	99.9
	<p>歯車の強度</p> <p>評価用加速度 $\sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$</p> <p>限界加速度 $(\sigma_y - \sigma) / (B \cdot W/g)$</p> <p>$\sigma_y$: 降伏応力 [kgf/mm²], σ: 運転時応力 [kgf/mm²] B: 係数, W: アイドルギヤ重量 [kg]</p>	2.04	252.7	123.8
	<p>アイドルギヤスラスト強度</p> <p>評価用加速度 α_H</p> <p>限界加速度 $(\sigma_y - \sigma) / (B \cdot W/g)$</p> <p>$\sigma_y$: 降伏応力 [kgf/mm²], σ: 運転時応力 [kgf/mm²] B: 係数, W: アイドルギヤ重量 [kg]</p>	1.67	305	182.6
動弁装置揺腕	<p>バルブレバー軸受</p> <p>評価用加速度 $\sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$</p> <p>限界加速度 $(P_a - P) \cdot S / (W/g)$</p> <p>$P_a$: 許容面圧 [kgf/cm²] P: 通常運転時軸受面圧 [kgf/cm²] S: 軸受投影面積 [cm²] W: バルブレバー重量 [kg]</p>	2.04	1305	639.7
	<p>プッシュロッド強度</p> <p>評価用加速度 $\sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$</p> <p>限界加速度 $\left\{ \frac{\sigma_c \cdot A}{1 + a \cdot (\ell/k)^2} - R \right\} \frac{1}{W/g} - g$</p> <p>$\sigma_c$: 許容座屈応力 [kgf/cm²], A: プッシュロッド断面積 [cm²] a: 材質により決まる定数, ℓ: プッシュロッド長さ [cm] k: $\sqrt{I/A}$ [cm], R: 通常運転時荷重 [kgf] W: プッシュロッド重量 [kg] I: 断面二次モーメント [cm⁴]</p>	2.04	1464	717.6

注記*: α_H は水平方向加速度 1.67g, α_V は鉛直方向加速度 1.17g, gは重力加速度 9.8m/s²を表す。

別添 2-5-1-6 表 非常用ディーゼル機関（中速形）の機能維持評価用加速度と耐震信頼性実証試験で検証した限界加速度（3/7）

(×9.8m/s²)

評価部位	評価項目及び算出式*1	機能維持評価用加速度	限界加速度	裕度(－)
動弁装置揺腕	バルブレバー強度 評価用加速度 $\sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$ 限界加速度 $(\sigma_y \cdot Z - M) / \ell / (W/g)$ σ_y : 降伏応力 [kgf/mm ²], Z: 断面係数 [mm ³] M: 通常運転時曲げモーメント [kgf・mm] ℓ : バルブレバー長さ [mm], W: バルブレバー重量 [kg]	2.04	234	114.7
	揺腕スラスト方向強度 評価用加速度 α_H 限界加速度 $F_a / (W/g)$ F_a : トメワ許容スラスト荷重 [kgf], W: バルブレバー重量 [kg]	1.67	1518	908.9
	動弁装置の追従性 評価用加速度 α_H 限界加速度 $\frac{K - \alpha_{\max} \cdot \frac{\ell_2}{\ell_1} \left\{ W_2/g + W_1/g \left(\frac{\ell_1}{\ell_2} \right)^2 \right\} - b_2 \cdot W_2/g - b_1 \cdot W_1/g \cdot \frac{\ell_1}{\ell_2}}{a_2 \cdot W_2/g + a_1 \cdot W_1/g \cdot \frac{\ell_1}{\ell_2}}$ K: バネ力 [kgf], α_{\max} : カム運転加速度最大値 [m/s ²] ℓ_1 : プッシュロッドとバルブレバー軸受間距離 [mm] ℓ_2 : 弁棒とバルブレバー軸受間距離 [mm] W_1 : 弁棒重量 [kg], W_2 : プッシュロッドローラ重量 [kg] $a_1 = \pm \sin \theta_1$, $a_2 = \pm \sin \theta_2$, $b_1 = -(1 \pm \alpha_v) \cos \theta_1$ $b_2 = (1 \pm \alpha_v) \cos \theta_2$, α_v : 垂直方向加速度 θ_1 : プッシュロッドの傾き [度], θ_2 : 弁棒の傾き [度]	1.67	36.2*2	21.6
始動弁	弁棒の曲げ 評価用加速度 $\alpha_H \cos 22.5^\circ + \alpha_V \sin 22.5^\circ$ 限界加速度 $\frac{\delta}{\ell_2} \left\{ \frac{W_2/g \cdot \ell_2^2}{16 \cdot E \cdot I} - \frac{\ell_2}{6E I} (2 \cdot W_1/g \cdot \ell_1 + W_2/g \cdot \ell_2) \right\}^{-1}$ W_1, ℓ_1 : シート部からガイド部間重量 [kg] 及び長さ [mm] W_2, ℓ_2 : ガイド部からピストン部間重量 [kg] 及び長さ [mm] W_3, ℓ_3 : ピストン部からバネ部間重量 [kg] 及び長さ [mm] δ : 最小スキマ [mm], E: ヤング係数 [kgf/mm ²] I: 断面二次モーメント [mm ⁴]	1.99	20	10.0
	弁の誤開閉 評価用加速度 $\alpha_H \sin 22.5^\circ + \alpha_V \cos 22.5^\circ$ 限界加速度 $K / (W/g)$ K: バネ力 [kgf], W: 弁重量 [kg]	1.72	66.5	38.6

注記*1: α_H は水平方向加速度 1.67g, α_V は鉛直方向加速度 1.17g, gは重力加速度 9.8m/s²を表す。

注記*2: 鉛直方向の機能維持評価用加速度を 0.4g (NUPEC) から 1.17g (女川 2 号機) へ見直しているため限界加速度が NUPEC と女川 2 号機で相違する。

別添 2-5-1-6 表 非常用ディーゼル機関（中速形）の機能維持評価用加速度と
耐震信頼性実証試験で検証した限界加速度（4/7）

(×9.8m/s²)

評価部位	評価項目及び算出式*1	機能維持評価用加速度	限界加速度	裕度 (-)
ガバナリンク装置	地震時の抵抗 評価用加速度 $\sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$ 限界加速度 $(F_a - F_k) / (W/g)$ F _a : ガバナ駆動力 [kgf], F _k : リンクを増方向に引っ張った時の実測抵抗力 [kgf] W: リンク重量 [kg]	2.04	12.2	5.9
	燃料加減軸とコントロールラックの動き 評価用加速度 $\sqrt{\alpha_H + \alpha_V}$ 限界加速度 $\frac{24 \cdot E \cdot I \cdot \delta}{W \cdot \ell^3 \cdot \ell_1}$ E: ヤング係数 [kgf/mm ²] I: 断面二次モーメント [mm ⁴] δ: 最小スキマ [mm], W: 単位長さ当り重量 [kg/mm] ℓ: コントロールラック間距離 [mm] ℓ ₁ : コントロールラック長さ [mm]	2.04	12.52	6.1
オーバースピードトリップ装置	プランジヤの誤動作 評価用加速度 α_H 限界加速度 $\Delta \ell / \delta$ Δℓ: 動作するまでの距離 [mm] δ: 1gにより移動する距離 [mm]	1.67	58*2	34.7
燃料噴射ポンプ	取付ボルト強度 評価用加速度 α_H 限界加速度 $\frac{(\sigma_y - \sigma) A \cdot N \cdot \ell - (1 + \alpha_V) W/g \sin 13.5^\circ \cdot h + (1 + \alpha_V) W/g \cos 13.5^\circ \cdot \ell/2}{W/g \cdot (\cos 13.5^\circ \cdot h + \sin 13.5^\circ \cdot \ell/2)}$ σ _y : 降伏応力 [kgf/mm ²] σ: (締付応力) + (運転時応力) [kgf/mm ²] A: ボルト断面積 [mm ²], ℓ: ボルトピッチ [mm] h: 重心高さ [mm], W: 燃料噴射ポンプ重量 [kg] N: 引張を受けるボルトの本数, α _v : 垂直方向加速度	1.67	108.4	64.9
	プランジヤとローラガイドの追従性 評価用加速度 $\alpha_H \sin 13.5^\circ + (\alpha_V - 1) \cos 13.5^\circ$ 限界加速度 $\frac{K}{W/g} - \alpha_R$ K: パネカ [kgf], W: ローラガイド部重量 [kg] α _R : ローラガイド部運転時加速度 [mm/sec ²]	0.56	4.65	8.3

注記*1: α_Hは水平方向加速度 1.67g, α_Vは鉛直方向加速度 1.17g, gは重力加速度 9.8m/s²を表す。

*2: 高速形と同一のオーバースピードトリップ装置を採用しているが、回転速度が中速形と高速形で相違するためプランジヤ作動設定に相違があり、限界加速度も中速形と高速形で相違する。(中速形の限界加速度評価結果は別添-2-5-1-35 ページ参照)

別添 2-5-1-6 表 非常用ディーゼル機関（中速形）の機能維持評価用加速度と耐震信頼性実証試験で検証した限界加速度（5/7）

(×9.8m/s²)

評価部位	評価項目及び算出式*	機能維持評価用加速度	限界加速度	裕度(一)
冷却水ポンプ	<p>取付ボルト強度</p> <p>評価用加速度 $\sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$</p> <p>限界加速度</p> $\frac{(\sigma_y - \sigma) \cdot A}{(W/g) \cdot h \cdot \ell_1 / 2 (\ell_1^2 + \ell_2^2 + \ell_3^2 + \ell_4^2 + \ell_5^2)^{-1}}$ <p>σ_y: 降伏応力 [kgf/mm²] σ: 締付応力+運転時応力 [kgf/mm²] A: ボルト断面積 [mm²], W: 冷却水ポンプ重量 [kg] h: 取付面から重心までの距離 [mm] ℓ_1: 一番下のボルトから一番上のボルトまでの距離 [mm] ℓ_2: 一番下のボルトから上から 2 番目のボルトまでの距離 [mm] ℓ_3: 一番下のボルトから上から 3 番目のボルトまでの距離 [mm] ℓ_4: 一番下のボルトから上から 4 番目のボルトまでの距離 [mm] ℓ_5: 一番下のボルトから上から 5 番目のボルトまでの距離 [mm]</p>	2.04	51.4	25.1
	<p>軸受荷重</p> <p>評価用加速度 $\sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$</p> <p>限界加速度 $(P_a - P) \cdot S / (W/g)$</p> <p>$P_a$: 許容面圧 [kgf/cm²] P: 通常運転時軸受面圧 [kgf/cm²] S: 軸受投影面積 [cm²], W: 軸重量 [kg]</p>			
	<p>ケーシングとインペラの干渉</p> <p>評価用加速度 $\sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$</p> <p>限界加速度 $\Delta \ell / \{ y_1 + \ell (\theta_1 + \theta_2) \}$</p> <p>$\Delta \ell$: インペラとケーシングのクリアランス [mm] W_1: (羽根車+軸) 重量 [kg], W_2: (軸+歯車) 重量 [kg] ℓ: インペラから軸受までの距離 [mm] y_1: W_1によるたわみ量 [mm] θ_1: W_1による②部のたわみ角 [rad] θ_2: W_2による②部のたわみ角 [rad]</p>	2.04	75.6	37.0

注記*: α_H は水平方向加速度 1.67g, α_V は鉛直方向加速度 1.17g, gは重力加速度 9.8m/s²を表す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別添 2-5-1-6 表 非常用ディーゼル機関（中速形）の機能維持評価用加速度と耐震信頼性実証試験で検証した限界加速度（6/7）

(×9.8m/s²)

評価部位	評価項目及び算出式*1	機能維持評価用加速度	限界加速度	裕度(一)
潤滑油ポンプ	取付ボルト強度 評価用加速度 $\sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$ 限界加速度 $\frac{(\sigma_y - \sigma) \cdot A}{(W/g) \cdot h \cdot \ell_1 / 2 (\ell_1^2 + \ell_2^2 + \ell_3^2 + \ell_4^2 + \ell_5^2)^{-1}}$ σ_y : 降伏応力 [kgf/mm ²] σ : 締付応力+運転時応力 [kgf/mm ²] A: ボルト断面積 [mm ²], W: 潤滑油ポンプ重量 [kg] h: 取付面から重心までの距離 [mm] ℓ_1 : 一番下のボルトから一番上のボルトまでの距離 [mm] ℓ_2 : 一番下のボルトから上から 2 番目のボルトまでの距離 [mm] ℓ_3 : 一番下のボルトから上から 3 番目のボルトまでの距離 [mm] ℓ_4 : 一番下のボルトから上から 4 番目のボルトまでの距離 [mm] ℓ_5 : 一番下のボルトから上から 5 番目のボルトまでの距離 [mm]	2.04	18.38	9.0
	軸受荷重 評価用加速度 α_H 限界加速度 $\frac{C_0 - P_0}{X_0 \cdot (W/g)}$ C_0 : 軸受基本静定格荷重 [kgf] P_0 : 運転時軸受静等価荷重 [kgf], X_0 : 係数 W : 主動軸重量 [kg]			
	ケーシングとの干渉 評価用加速度 $\sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$ 限界加速度 — W_1 : 駆動歯車重量 [kg], W_2 : スクリュー重量 [kg] W_3 : スクリュー重量 [kg], W_4 : 歯車重量 [kg]	2.04	176	86.2

注記*1: α_H は水平方向加速度 1.67g, α_V は鉛直方向加速度 1.17g, gは重力加速度 9.8m/s²を表す。

*2: 鉛直方向の機能維持評価用加速度を 0.4g (NUPEC) から 1.17g (女川 2 号機) へ見直しているため限界加速度が NUPEC と女川 2 号機で相違する。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別添 2-5-1-6 表 非常用ディーゼル機関（中速形）の機能維持評価用加速度と耐震信頼性実証試験で検証した限界加速度（7/7）

(×9.8m/s²)

評価部位	評価項目及び算出式*1	機能維持評価用加速度	限界加速度	裕度(－)
過給機	取付ボルト強度 評価用加速度 α_H 限界加速度 $\frac{1}{4.610}(\sigma_y + 0.500)$ σ_y : 降伏応力 [kgf/mm ²]	1.67	10.9	6.5
	支持脚の強度 評価用加速度 α_H 限界加速度 $\frac{\sigma_y - \sigma}{2} \left\{ \frac{(W/g) \cdot h}{2 \cdot Z} + W/g \sqrt{(h/2Z)^2 + 4(1/2/A)^2} \right\}$ σ_y : 降伏応力 [kgf/mm ²], σ : 運転時応力 [kgf/mm ²] W : 過給機重量 [kg], h : 重心高さ [mm] Z : 支持脚断面係数 [mm ³], A : 支持脚断面面積 [mm ²]	1.67	13.8	8.2
	軸受荷重 評価用加速度 α_H 限界加速度 $\frac{C_0/5 - P_0}{Y_0 \cdot (W/g)}$ C_0 : 軸受基本静定格荷重 [kgf] P_0 : 運転時軸受静等価荷重 [kgf], Y_0 : 係数 W : ロータ完備品重量 [kg]			
	ケーシングとの干渉 評価用加速度 $\sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$ 限界加速度 $\Delta l / (\delta / g)$ Δl : インペラとケーシングのクリアランス [mm] δ : ロータの自重によるたわみ (インペラ部) [mm]	2.04	70	34.3

注記*: α_H は水平方向加速度 1.67g, α_V は鉛直方向加速度 1.17g, gは重力加速度 9.8m/s²を表す。

*2: 鉛直方向の機能維持評価用加速度を 0.4g (NUPEC) から 1.17g (女川 2 号機) へ見直しているため限界加速度が NUPEC と女川 2 号機で相違する。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別添 2-5-1-7 表 高圧炉心スプレイ系ディーゼル機関（高速形）の機能維持評価用加速度と耐震信頼性実証試験で検証した限界加速度（1/6）

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

評価部位	評価項目及び算出式*	機能維持評価用加速度	限界加速度	裕度(—)
カム軸軸受	軸受面圧 評価用加速度 $\sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$ 限界加速度 $(P_a - P) \cdot S / (W/g)$ P _a : 許容面圧 [kgf/cm ²] P: 通常運転時軸受面圧 [kgf/cm ²] S: 軸受投影面積 [cm ²], W: カム軸 1cyl 当り重量 [kg]	2.04	1803	883.8
	スラスト軸受荷重 評価用加速度 α_H 限界加速度 $S \cdot P_a / (W/g)$ W: カム軸全体重量 [kg], S: 軸受投影面積 [cm ²] P _a : 許容面圧 [kgf/cm ²]	1.67	61.4	36.7
ピストン・クランク・連結棒	ピストンピン軸受 軸受面圧 評価用加速度 $\sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$ 限界加速度 $(P_a - P) \cdot S / (W/g)$ P _a : 許容面圧 [kgf/cm ²] P: 通常運転時軸受面圧 [kgf/cm ²] S: 軸受投影面積 [cm ²], W: ピストン重量 [kg]	2.04	48.22	23.6
	主軸受 軸受面圧 評価用加速度 $\sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$ 限界加速度 $(P_a - P) \cdot S / (W/g)$ P _a : 許容面圧 [kgf/cm ²] P: 通常運転時軸受面圧 [kgf/cm ²] S: 軸受投影面積 [cm ²] W: 軸受 1 個当たりの軸系重量 [kg]	2.04	66.56	32.6
	クランクピン軸受 軸受面圧 評価用加速度 $\sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$ 限界加速度 $(P_a - P) \cdot S / \{(W_1 + W_2) / g\}$ P _a : 許容面圧 [kgf/cm ²] P: 通常運転時軸受面圧 [kgf/cm ²] S: 軸受投影面積 [cm ²], W ₁ : ピストン重量 [kg] W ₂ : 連結棒重量 [kg]	2.04	26.57	13.0
ギヤリング	軸受面圧 評価用加速度 $\sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$ 限界加速度 $(P_a - P) \cdot S / (W/g)$ P _a : 許容面圧 [kgf/cm ²] P: 通常運転時軸受面圧 [kgf/cm ²] S: 軸受投影面積 [cm ²], W: アイドルギヤ重量 [kg]	2.04	659.53	323.2

注記*: α_H は水平方向加速度 1.67g, α_V は鉛直方向加速度 1.17g, gは重力加速度 9.8m/s²を表す。

別添 2-5-1-7 表 高圧炉心スプレイ系ディーゼル機関（高速形）の機能維持評価用加速度と耐震信頼性実証試験で検証した限界加速度（2/6）

(×9.8m/s²)

評価部位	評価項目及び算出式*	機能維持評価用加速度	限界加速度	裕度(—)
ギヤリング	<p>軸の強度</p> <p>評価用加速度 $\sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$</p> <p>限界加速度 $(\sigma_y \cdot Z - M) / \ell / (W/g)$</p> <p>$\sigma_y$: 降伏応力 [kgf/mm²], Z: カム軸断面係数 [mm³] M: 通常運転時曲げモーメント [kg・mm] ℓ: 荷重点までの距離 [mm], W: アイドルギヤ重量 [kg]</p>	2.04	5704.09	2796.1
	<p>歯車の強度</p> <p>評価用加速度 α_H</p> <p>限界加速度 $(\sigma_y - \sigma) / (B \cdot W/g)$</p> <p>$\sigma_y$: 降伏応力 [kgf/mm²], σ: 運転時応力 [kgf/mm²] B: 係数, W: アイドルギヤ重量 [kg]</p>	1.67	98.45	58.9
	<p>アイドルギヤスラスト強度</p> <p>評価用加速度 α_H</p> <p>限界加速度 $F_a / (W/g)$</p> <p>F_a: トメワ許容スラスト荷重 [kgf] W: アイドルギヤ重量 [kg]</p>	1.67	114.41	68.5
動弁装置揺腕	<p>バルブレバー軸受</p> <p>評価用加速度 $\sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$</p> <p>限界加速度 $(P_a - P) \cdot S / (W/g)$</p> <p>$P_a$: 許容面圧 [kgf/cm²] P: 通常運転時軸受面圧 [kgf/cm²] S: 軸受投影面積 [cm²], W: バルブレバー重量 [kg]</p>	2.04	716.27	351.1
	<p>プッシュロッド強度</p> <p>評価用加速度 $\sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$</p> <p>限界加速度</p> $\left\{ \frac{\sigma_c \cdot A}{1 + a \cdot (\ell/k)^2} - R \right\} \frac{1}{W/g} - g$ <p>σ_c: 許容座屈応力 [kgf/cm²] A: プッシュロッド断面積 [cm²] a: 材質により決まる定数, ℓ: プッシュロッド長さ [cm] k: $\sqrt{I_x/A}$ [cm], R: 通常運転時荷重 [kgf] W: プッシュロッド重量 [kg], I_x: 断面二次モーメント [cm⁴]</p>	2.04	2022.97	991.6
	<p>バルブレバー強度</p> <p>評価用加速度 $\sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$</p> <p>限界加速度 $(\sigma_y \cdot Z - M) / \ell / (W/g)$</p> <p>$\sigma_y$: 降伏応力 [kgf/mm²], Z: 断面係数 [mm³] M: 通常運転時曲げモーメント [kgf・mm] ℓ: バルブレバー長さ [mm], W: バルブレバー重量 [kg]</p>	2.04	27.1	13.2

注記*: α_H は水平方向加速度 1.67g, α_V は鉛直方向加速度 1.17g, gは重力加速度 9.8m/s²を表す。

別添 2-5-1-7 表 高圧炉心スプレイ系ディーゼル機関（高速形）の機能維持評価用加速度と耐震信頼性実証試験で検証した限界加速度（3/6）

(×9.8m/s²)

評価部位	評価項目及び算出式*1	機能維持評価用加速度	限界加速度	裕度(一)
動弁装置揺腕	揺腕スラスト方向強度 評価用加速度 α_H 限界加速度 $F_a / (W/g)$ F_a : トメワ許容スラスト荷重 [kgf] W : バルブレバー重量 [kg]	1.67	2647.05	1585.0
	動弁装置の追従性 評価用加速度 α_H 限界加速度 $\frac{K - \alpha_{\max} \cdot \frac{\ell_2}{\ell_1} \left\{ W_2/g + W_1/g \left(\frac{\theta_1}{\theta_2} \right)^2 \right\} - b_2 \cdot W_2/g - b_1 \cdot W_1/g \cdot \frac{\ell_1}{\ell_2}}{a_2 \cdot W_2/g + a_1 \cdot W_1/g \cdot \frac{\ell_1}{\ell_2}}$ K : バネ力 [kgf], α_{\max} : カム運転加速度最大値 [m/s ²] ℓ_1 : プッシュロッドとバルブレバー軸受間距離 [mm] ℓ_2 : 弁棒とバルブレバー軸受間距離 [mm] W_1 : 弁棒重量 [kg], W_2 : プッシュロッドローラ重量 [kg] θ_1 : プッシュロッドの傾き [度], θ_2 : 弁棒の傾き [度] $a_1 = \pm \sin \theta_1$, $a_2 = \pm \sin \theta_2$, $b_1 = - (1 \pm \alpha_v) \cos \theta_1$, $b_2 = (1 \pm \alpha_v) \cos \theta_2$, α_v : 垂直方向加速度	1.67	38.2*2	22.8
始動弁	弁棒の曲げ 評価用加速度 $\alpha_H \sin 30^\circ + \alpha_v \cos 30^\circ$ 限界加速度 $\frac{\delta}{\ell_0} \left\{ \frac{W_2/g \cdot \ell_2^2}{16 \cdot E \cdot I} - \frac{\ell_2}{6E I} (2 \cdot W_1/g \cdot \ell_1 + W_3/g \cdot \ell_3) \right\}^{-1}$ W_b , ℓ_1 : シート部からガイド部間重量 [kg] 及び長さ [mm] W_g , ℓ_2 : ガイド部からピストン部間重量 [kg] 及び長さ [mm] W_p , ℓ_3 : ピストン部からバネ部間重量 [kg] 及び長さ [mm] δ : 最小スキマ [mm], E : ヤング係数 [kgf/mm ²] I : 断面二次モーメント [mm ⁴] ℓ_0 : 最小スキマ部分の摺動部長さ [mm]	1.85	244.17	131.9
	弁の誤開閉 評価用加速度 $\alpha_H \cos 30^\circ - (1 - \alpha_v) \sin 30^\circ$ 限界加速度 $K / (W/g)$ K : バネ力 [kgf], W : 弁重量 [kg]	1.54	59.96	38.9
ガバナリンク装置	地震時の抵抗 評価用加速度 $\sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_v^2}$ 限界加速度 $(F_G - F_k) / (W/g)$ F_G : ガバナ駆動力 [kgf], F_k : リンクを増方向に引っ張った時の実測抵抗力 [kgf] W : リンク重量 [kg]	2.04	18.18	8.9

注記*1: α_H は水平方向加速度 1.67g, α_v は鉛直方向加速度 1.17g, gは重力加速度 9.8m/s²を表す。

*2: 鉛直方向の機能維持評価用加速度を 0.4g (NUPEC) から 1.17g (女川 2 号機) へ見直していること, 及び BWR 高速形の評価式に誤記があるため評価部位別の評価式 (別添-2-5-1-65 参照) を使用していることから, 限界加速度が NUPEC と女川 2 号機で相違する。

別添 2-5-1-7 表 高圧炉心スプレイ系ディーゼル機関（高速形）の機能維持評価用加速度と耐震信頼性実証試験で検証した限界加速度（4/6）

(×9.8m/s²)

評価部位	評価項目及び算出式*1	機能維持評価用加速度	限界加速度	裕度(－)
ガバナリンク装置	燃料加減軸とコントロールラックの動き 評価用加速度 $\sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$ 限界加速度 $\frac{24 \cdot \delta \cdot E \cdot I}{(1 - 2\ell_1^2/\ell^2 + \ell_1^3/\ell^3) \cdot (W/g) \cdot \ell^2 \cdot \ell_1}$ δ：ラックみぞクリアランス [mm] E：ヤング係数 [kgf/mm ²] I：断面二次モーメント [mm ⁴] W：加減軸単位重量 [kg/mm] ℓ ₁ ：加減軸軸受からコントロール間距離 [mm] ℓ：加減軸軸受間距離 [mm]	2.04	39.18	19.2
オーバースピードトリップ装置	プランジヤの誤動作 評価用加速度 α_H 限界加速度 $\Delta\ell/\delta$ Δℓ：動作するまでの距離[mm], δ：1gにより移動する距離[mm]	1.67	82	49.1
燃料噴射ポンプ	取付ボルト強度 評価用加速度 α_H 限界加速度 $\frac{(\sigma_y - \sigma)A \cdot N \cdot \ell - (1 + \alpha)W/g \sin 30^\circ \cdot h + (1 + \alpha)W/g \cos 30^\circ \cdot \ell/2}{W/g \cdot (\cos 30^\circ \cdot h + \sin 30^\circ \cdot \ell/2)}$ σ _y ：降伏応力 [kgf/mm ²] σ：締付応力 + (運転時応力) [kgf/mm ²] A：ボルト断面積 [mm ²], ℓ：ボルトピッチ [mm] h：重心高さ [mm], W：燃料噴射ポンプ重量 [kg] N：引張を受けるボルトの本数, α _v ：垂直方向加速度	1.67	42*2	25.1
	プランジヤとローラガイドの追従性 評価用加速度 $\alpha_H \sin 30^\circ + (\alpha_V - 1) \cos 30^\circ$ 限界加速度 $\frac{K}{W/g} - \alpha_R$ K：バネ力 [kgf], W：ローラガイド部重量 [kg] α _R ：ローラガイド部運転時加速度 [mm/sec ²]	0.99	49.6	50.1
冷却水ポンプ	取付ボルト強度 評価用加速度 $\sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$ 限界加速度 $\frac{(\sigma_y - \sigma) \cdot A}{(W/g) \cdot h/2\ell}$ σ _y ：降伏応力 [kgf/mm ²] σ：締付応力 + 運転時応力 [kgf/mm ²] A：ボルト断面積 [mm ²], W：冷却水ポンプ重量 [kg] h：取付面から重心までの距離 [mm] ℓ：一番下のボルトから一番上のボルトまでの距離 [mm]	2.04	49.6	24.3

注記*1：α_Hは水平方向加速度 1.67g, α_Vは鉛直方向加速度 1.17g, gは重力加速度 9.8m/s²を表す。

*2：鉛直方向の機能維持評価用加速度を 0.4g (NUPEC) から 1.17g (女川2号機) へ見直しているため限界加速度が NUPEC と女川2号機で相違する。

別添 2-5-1-7 表 高圧炉心スプレイ系ディーゼル機関（高速形）の機能維持評価用加速度と耐震信頼性実証試験で検証した限界加速度（5/6）

(×9.8m/s²)

評価部位	評価項目及び算出式*1	機能維持評価用加速度	限界加速度	裕度（－）
冷却水ポンプ	<p>軸受荷重</p> <p>評価用加速度 α_H</p> <p>限界加速度 $\frac{C_0/5 - P_0}{Y_0 \cdot (W_1 + W_2)/g}$</p> <p><small>C₀: 軸受基本静定格荷重 [kgf] P₀: 運転時軸受静等価荷重 [kgf], Y₀: 係数 W₁: (羽根車+軸) 重量 [kg], W₂: (軸+歯車) 重量 [kg]</small></p>			
	<p>ケーシングとインペラの干渉</p> <p>評価用加速度 $\sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$</p> <p>限界加速度 $\Delta l / \{y_1 + l(\theta_1 + \theta_2)\}$</p> <p><small>Δl: インペラとケーシングのクリアランス [mm] W₁: (羽根車+軸) 重量 [kg], W₂: (軸+歯車) 重量 [kg] l: インペラから軸受までの距離 [mm] y₁: W₁によるたわみ量 [mm] θ₁: W₁による②部のたわみ角 [rad] θ₂: W₂による②部のたわみ角 [rad]</small></p>	2.04	87.28	42.7
潤滑油ポンプ	<p>取付ボルト強度</p> <p>評価用加速度 $\sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$</p> <p>限界加速度 $\frac{(\sigma_y - \sigma) \cdot A}{(W/g) \cdot h \cdot l_1 / 2 (\ell_1^2 + \ell_2^2 + \ell_3^2)^{-1}}$</p> <p><small>σ_y: 降伏応力 [kgf/mm²] σ: 締付応力+運転時応力 [kgf/mm²] A: ボルト断面積 [mm²], W: 潤滑油ポンプ重量 [kg] h: 取付面から重心までの距離 [mm] ℓ₁: 一番下のボルトから一番上のボルトまでの距離 [mm] ℓ₂: 一番下のボルトから上から2番目のボルトまでの距離 [mm] ℓ₃: 一番下のボルトから下から2番目のボルトまでの距離 [mm]</small></p>	2.04	99.6	48.8
	<p>軸受荷重</p> <p>評価用加速度 α_H</p> <p>限界加速度 $\frac{C_0 - P_0}{X_0 \cdot (W/g)}$</p> <p><small>C₀: 軸受基本静定格荷重 [kgf] P₀: 運転時軸受静等価荷重 [kgf] X₀: 係数, W: 主動軸重量 [kg]</small></p>			
	<p>ケーシングとの干渉</p> <p>評価用加速度 $\sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$</p> <p>限界加速度 —</p> <p><small>W₁: 歯車重量 [kg], W₂: スクリュー重量 [kg] W₃: スクリュー重量 [kg], W₄: 駆動歯車重量 [kg]</small></p>	2.04	71.2	34.9

注記*1: α_Hは水平方向加速度 1.67g, α_Vは鉛直方向加速度 1.17g, gは重力加速度 9.8m/s²を表す。

*2: 鉛直方向の機能維持評価用加速度を 0.4g (NUPEC) から 1.17g (女川2号機) へ見直しているため限界加速度が NUPEC と女川2号機で相違する。

別添 2-5-1-7 表 高圧炉心スプレイ系ディーゼル機関（高速形）の機能維持評価用加速度と耐震信頼性実証試験で検証した限界加速度（6/6）

(×9.8m/s²)

評価部位	評価項目及び算出式*1	機能維持評価用加速度	限界加速度	裕度(－)
過給機	取付ボルト強度 評価用加速度 α_H 限界加速度 $\frac{1}{2.01}(\sigma_y + 0.295)$ σ_y : 降伏応力 [kgf/mm ²]	1.67	25	14.9
	支持脚の強度 評価用加速度 α_H 限界加速度 $\frac{\sigma_y - \sigma}{\frac{1}{2} \left\{ \frac{(W/g) \cdot h}{2 \cdot Z} + W/g \sqrt{(h/2Z)^2 + 4(1/2/A)^2} \right\}}$ σ_y : 降伏応力 [kgf/mm ²], σ : 運転時応力 [kgf/mm ²] W: 過給機重量 [kg], h: 重心高さ [mm] Z: 支持脚断面係数 [mm ³], A: 支持脚断面面積 [mm ²]	1.67	462.5	276.9
	軸受荷重 評価用加速度 α_H 限界加速度 $\frac{C_0/5 - P_0}{Y_0 \cdot (W/g)}$ C_0 : 軸受基本静定格荷重 [kg] P_0 : 運転時軸受静等価荷重 [kgf] Y_0 : 係数, W: ロータ完備品重量 [kg]			
	ケーシングとの干渉 評価用加速度 $\sqrt{\alpha_H^2 + \alpha_V^2}$ 限界加速度 $\Delta \ell / (\delta / g)$ $\Delta \ell$: インペラとケーシングのクリアランス [mm] δ : ロータの自重によるたわみ (インペラ部) [mm]	2.04	47.9	23.4

注記*1: α_H は水平方向加速度 1.67g, α_V は鉛直方向加速度 1.17g, gは重力加速度 9.8m/s²を表す。

*2: 鉛直方向の機能維持評価用加速度を 0.4g (NUPEC) から 1.17g (女川 2 号機) へ見直しているため限界加速度が NUPEC と女川 2 号機で相違する。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

動的機能維持の基本評価項目としない評価項目の耐震性について

1. 概要

本資料は、「補足-600-14-1 動的機能維持の詳細評価について 別紙 2 詳細検討が必要な設備の評価」の中で、ディーゼル発電設備（機関）とは別設備として評価を実施している設備が、基準地震動 S_s に対して、十分な耐震性を有することを説明するものである。

2. 一般事項

2.1 評価方針

ディーゼル発電設備（機関）とは別設備として評価を実施している設備については、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」にて示している構造と同様であることから、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に示している各機器、配管系の許容応力状態 $IV_A S$ の荷重の組合せを踏まえて、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」等の評価式及び解析方法を用いて評価する。

2.2 適用基準

適用する規格、指針等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針重要度分類・許容応力編（J E A G 4 6 0 1 ・補-1984）
- (3) 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）
- (4) J S M E S N C 1 -2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格
- (5) 機械工学便覧（(社)日本機械学会）
- (6) 日本産業規格（J I S）
- (7) (財)原子力工学試験センター原子力発電施設耐震信頼性実証試験

3. 評価対象設備及び評価部位

評価対象設備について別添 2-5-2-1 表に示す。

評価部位は、容器類については、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」等により、胴板、脚、及びボルト等を評価部位とする。

配管及び支持構造物については、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の計算書作成の方法」により配管及び支持構造物を評価部位とする。

評価結果は、算出応力と許容応力を踏まえ、評価上厳しい箇所の結果について記載する。

別添 2-5-2-1 表 評価対象設備

系統	対象機器 (基本評価項目)
始動空気系	始動電磁弁 ^{*1,*2}
	始動空気系配管 ^{*1,*2}
燃料油系	燃料フィルタ ^{*1,*2}
	燃料油系配管 ^{*1,*2}
冷却水系	清水冷却器 ^{*1,*2}
	冷却水系配管 ^{*1,*2}
潤滑油系	潤滑油サンプタンク ^{*1}
	潤滑油冷却器 ^{*1,*2}
	潤滑油フィルタ ^{*1}
	潤滑油系配管 ^{*1,*2}

注記*1：非常用ディーゼル発電設備

*2：高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

容器類に用いる基準地震動 S_s による設計用地震力は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。別添 2-5-2-2 表に容器類の設計震度を示す。

配管に用いる基準地震動 S_s による設計用地震力は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定した設計用床応答曲線を用いる。また、減衰定数は添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

なお、設計用床応答曲線は配管系の重心レベルの上階又は下階のいずれか大きい方の設計用床応答曲線を適用する。若しくは、配管系が設置されているレベルを包絡する設計用床応答曲線を適用する。

別添 2-5-2-2 表 耐震 S クラス評価に用いる設計震度

系統	対象機器 (基本評価項目)	設置 場所	床面高さ* ^{1,2} O.P. (m)	設計震度* ²	
				水平方向	鉛直方向
燃料油系	燃料油フィルタ	原子炉 建屋	15.0 (15.2)	1.97	1.37
			15.0 (16.23)		
冷却水系	清水冷却器	原子炉 建屋	6.0 (6.4)	1.57	1.09
			15.0 (15.5)		
潤滑油系	潤滑油サンプタンク	原子炉 建屋	15.0 (13.4)	1.97	1.37
			15.0 (13.4)		
	潤滑油冷却器	原子炉 建屋	6.0 (6.4)	1.57	1.09
		15.0 (16.03)	1.99		
	潤滑油フィルタ	原子炉 建屋	6.0 (6.2)	1.57	1.09

注記*1：評価に用いる設計震度の基準床面レベルを示す（括弧内は機器の設置床面高さ）。

*2：上段は非常用ディーゼル発電設備を示す。

下段は高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備を示す。

4.2 荷重の組合せ及び許容限界

荷重の組合せは、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」の「3.1 構造強度上の制限」に示す機器・配管系の荷重の組み合わせを踏まえて設定する。

許容限界は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に示している各機器の許容応力状態 $IV_A S$ の許容限界を準用する。

各機器の評価部位ごとの荷重の組合せ及び許容限界を別添 2-5-2-3 表、別添 2-5-2-4 表及び別添 2-5-2-5 表に、使用材料及び使用材料の許容応力評価条件を別添 2-5-2-6 表に示す。

別添 2-5-2-3 表 容器類の許容限界

区分	耐震 重要度 分類	荷重の 組合せ	許容 応力 状態	許容限界*1			
				一次一般 膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+ 二次応力	一次+二次+ ピーク応力
容器 類	S	$D + P_D + M_D + S_s$	$IV_A S$	$0.6 \cdot S_u$	左欄の 1.5 倍 の値	*2 S s 地震動のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が 1.0 以下であること。但し、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば、疲労解析は不要。	

注記*1：座屈に対する評価が必要な場合には、クラスMC容器の座屈に対する評価式による。

*2： $2 \cdot S_y$ を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313 を除く。 S_m は $2/3 \cdot S_y$ と読み替える。)の簡易弾塑性解析を用いる。

別添 2-5-2-4 表 配管の許容限界

区分	耐震 重要度 分類	荷重の 組合せ	許容 応力 状態	許容限界*1			
				一次一般 膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+ 二次応力	一次+二次+ ピーク応力
配管	S	$D + P_D + M_D + S_s$	IV_{AS}	$0.6 \cdot S_u$	左欄の 1.5 倍 の値	*2 S _s 地震動のみによる疲 勞解析を行い, 疲勞累積係 数が 1.0 以下であること。 但し, 地震動のみによる一 次+二次応力の変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば, 疲勞 解析は不要。	

注記*1：軸力による全断面平均応力については許容応力状態Ⅲ_AS の一次一般膜応力の許容値の 0.8 倍の値とする。

*2： $2 \cdot S_y$ を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合，設計・建設規格 PPB-3536(1)，(2)，(4)及び(5)（ただし， S_m は $2/3 \cdot S_y$ と読み替える。）の簡易弾塑性解析を用いる。

別添 2-5-2-5 表 支持構造物の許容限界

耐震 重要度 分類	荷重の 組合せ	許容 応力 状態	許容限界*1, *2, *3 (ボルト等以外)										許容限界*2, *4 (ボルト等)		形式試験に よる場合
			一次応力					一次+二次応力					一次応力		許容荷重
			引張	せん断	圧縮	曲げ	支圧	引張 圧縮	せん断	曲げ	支圧	座屈*5	引張	せん断	
S	D + P _D + M _D + S _s	IV _{AS}	1.5 · f _t * *	1.5 · f _s * *	1.5 · f _c * *	1.5 · f _b * *	1.5 · f _p * *	3 · f _t	*6 3 · f _s	*7 3 · f _b	*8 1.5 · f _p * *	*7, *8 1.5 · f _b , 1.5 · f _s 又は 1.5 · f _c	1.5 · f _t * *	1.5 · f _s * *	T _L · 0.6 · $\frac{S_{y d}}{S_{y t}}$

注記*1：鋼構造設計規準（日本建築学会 2005 改定）等の幅厚比の制限を満足させる。

*2：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*3：耐圧部に溶接等により直接取り付けられる支持構造物であって耐圧部と一体の応力解析を行うものについては，耐圧部と同じ許容応力とする。

*4：コンクリートに埋め込まれるアンカボルトで地震応力の占める割合が支配的なものであって，トルク管理，材料の照合等を行わないものについては，材料の品質，据付状態等のゆらぎ等を考慮して，III_{AS}の許容応力を一次引張応力に対しては f_t，一次せん断応力に対しては f_sとして，またIV_{AS}→III_{AS}として応力評価を行う。

*5：薄肉円筒形状のもの座屈の評価にあつては，クラスMC容器の座屈に対する評価式による。

*6：すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して 1.5 · f_sとする。

*7：設計・建設規格 SSB-3121.1(4)により求めた f_bとする。

*8：自重，熱膨張等により常時作用する荷重に，地震動による荷重を重ね合わせて得られる応力の圧縮最大値について評価する。

別添 2-5-2-6 表 使用材料及び許容応力評価条件

区分	系統	対象機器 (基本評価項目)	評価部位	材料	温度条件 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)
容器類	燃料油系	燃料油フィルタ	基礎ボルト*1	SS400	50	231	394
			取付ボルト*2	SNB7	50	715	838
	冷却水系	清水冷却器	胴板*1	SB410	85	205	394
			胴板*2	SB410	95	202	392
			脚*1,2	SB410	50	220	406
			基礎ボルト*1,2	SNB7	50	715	828
	潤滑油系	潤滑油 サンプタンク	胴板*1	SS400	85	227	377
			基礎ボルト*1	SS400	50	231	394
		潤滑油冷却器	胴板*1,2	SB410	85	205	394
			脚*1,2	SB410	50	220	406
			基礎ボルト*1,2	SNB7	50	715	838
		潤滑油フィルタ	取付ボルト*1	SNB7	50	715	838

注記*1：非常用ディーゼル発電設備

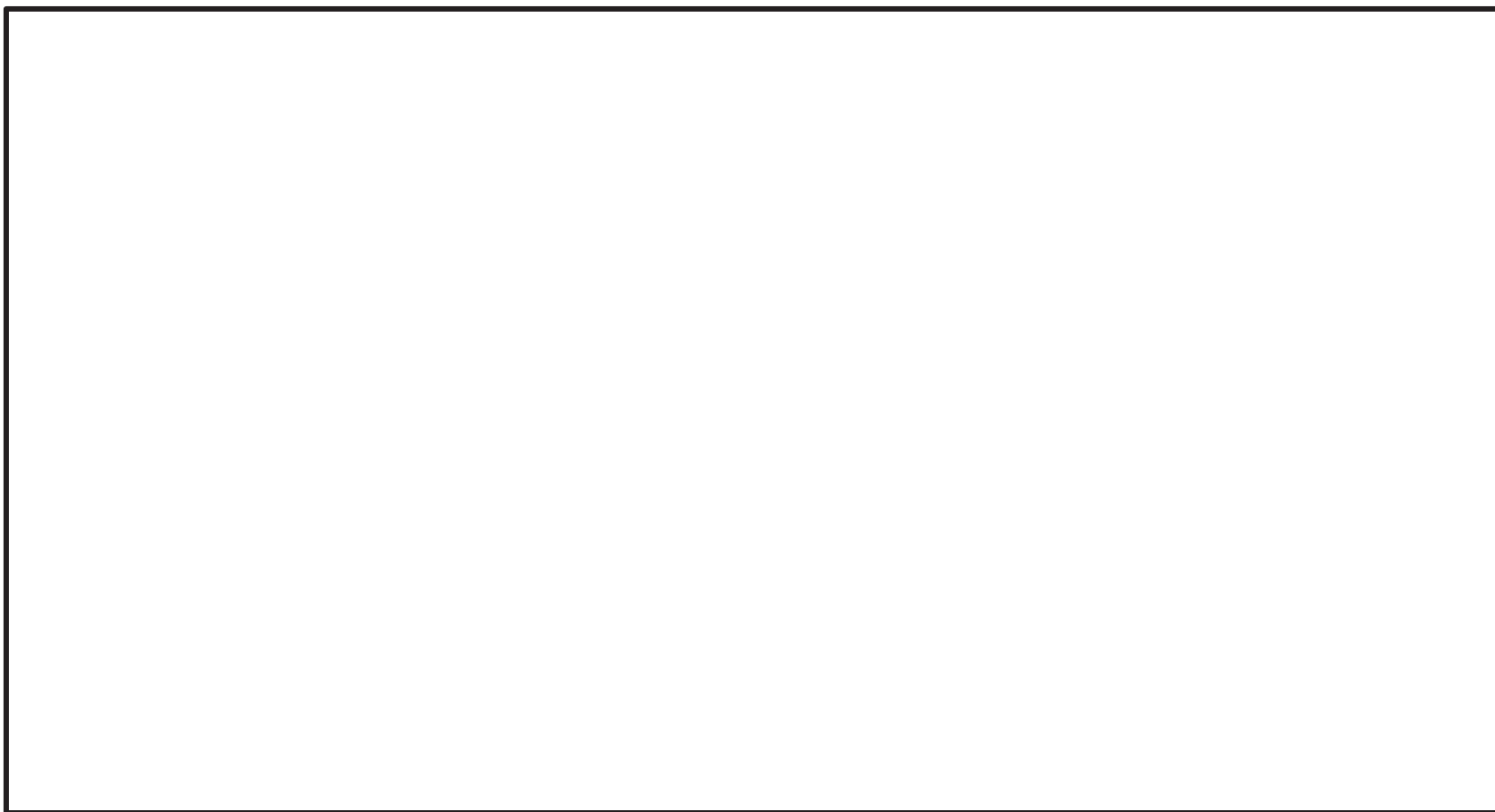
*2：高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備

4.3 計算方法

応力評価は、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管等の計算書作成の方法」等の評価方法により評価を行う。

4.4 計算条件

三次元はりモデル解析により応力計算を行った配管について、解析モデル図を別添 2-5-2-1 図及び別添 2-5-2-2 図に示し、配管諸元の一覧表を別添 2-5-2-7 表並びに別添 2-5-2-8 表に示す。なお、別添 2-5-2-1 図及び別添 2-5-2-2 図は、別添 2-5-2-11 表並びに別添 2-5-2-12 表で評価結果を示すもののうち、始動空気系を代表で示す。

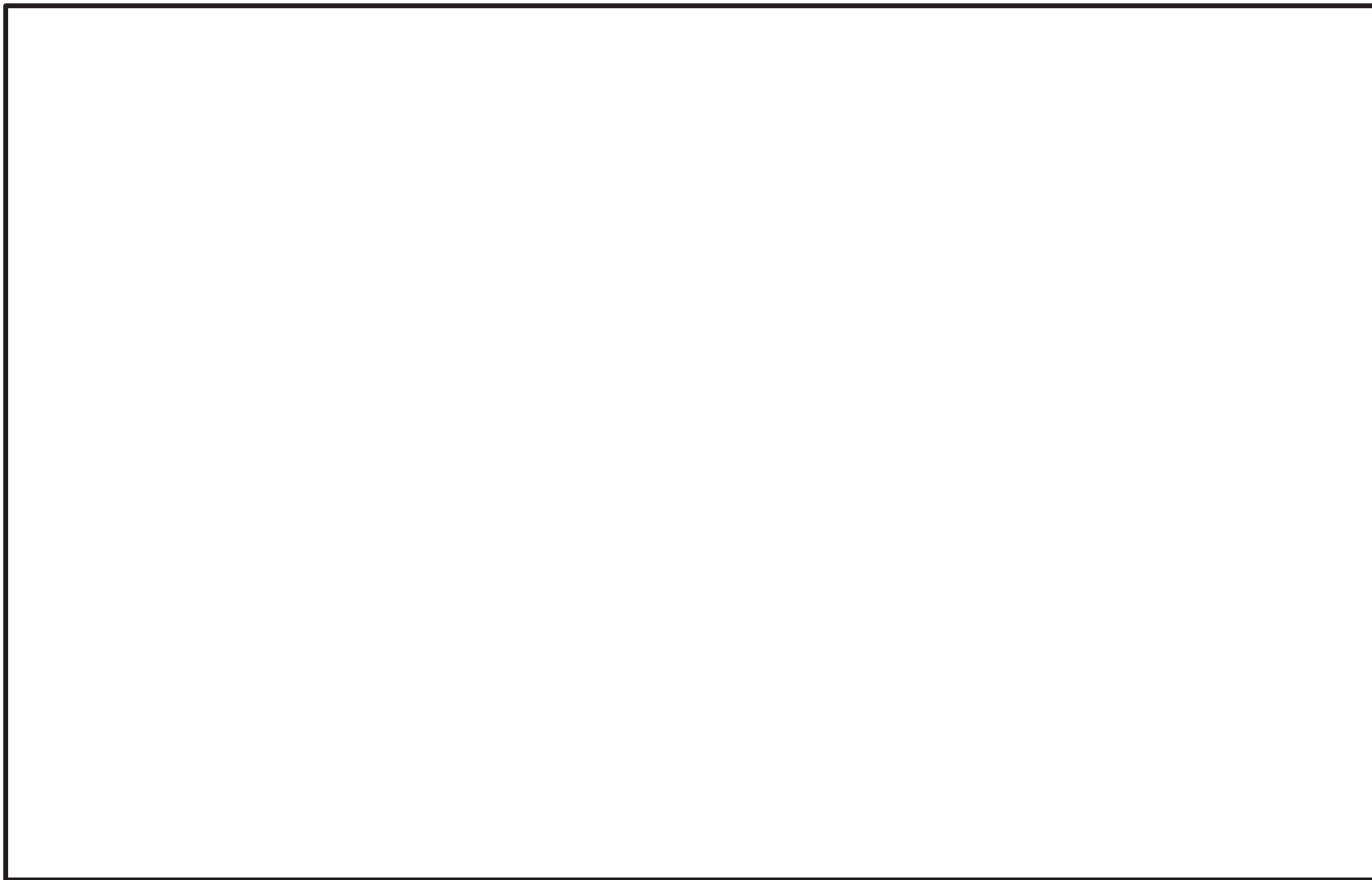


別添-2-5-2-8

別添 2-5-2-1 図 始動空気系 (DGAE-A16) 解析モデル図 (1/5)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

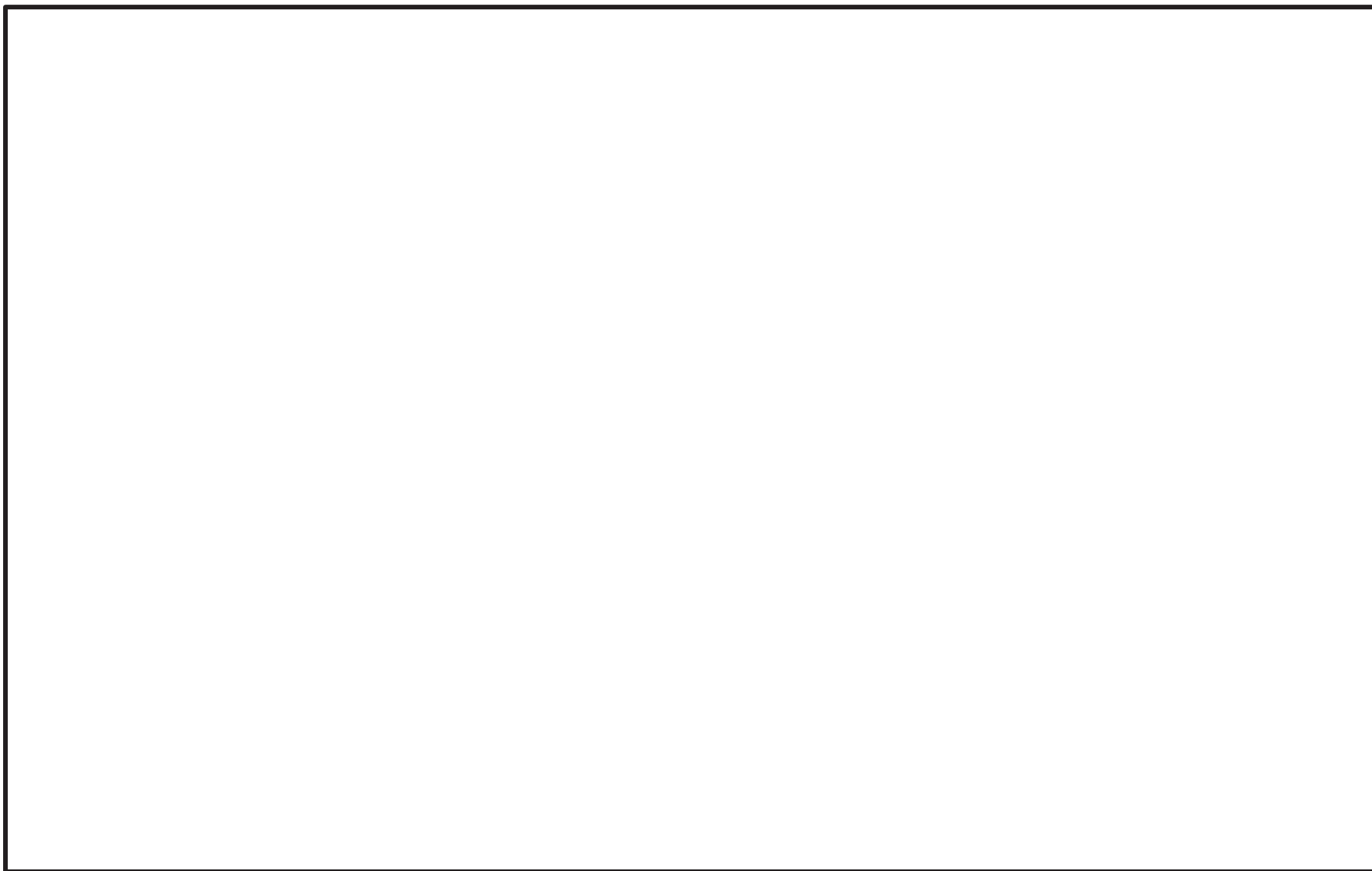
別添-2-5-2-9



別添 2-5-2-1 図 始動空気系 (DGAE-A16) 解析モデル図 (2/5)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

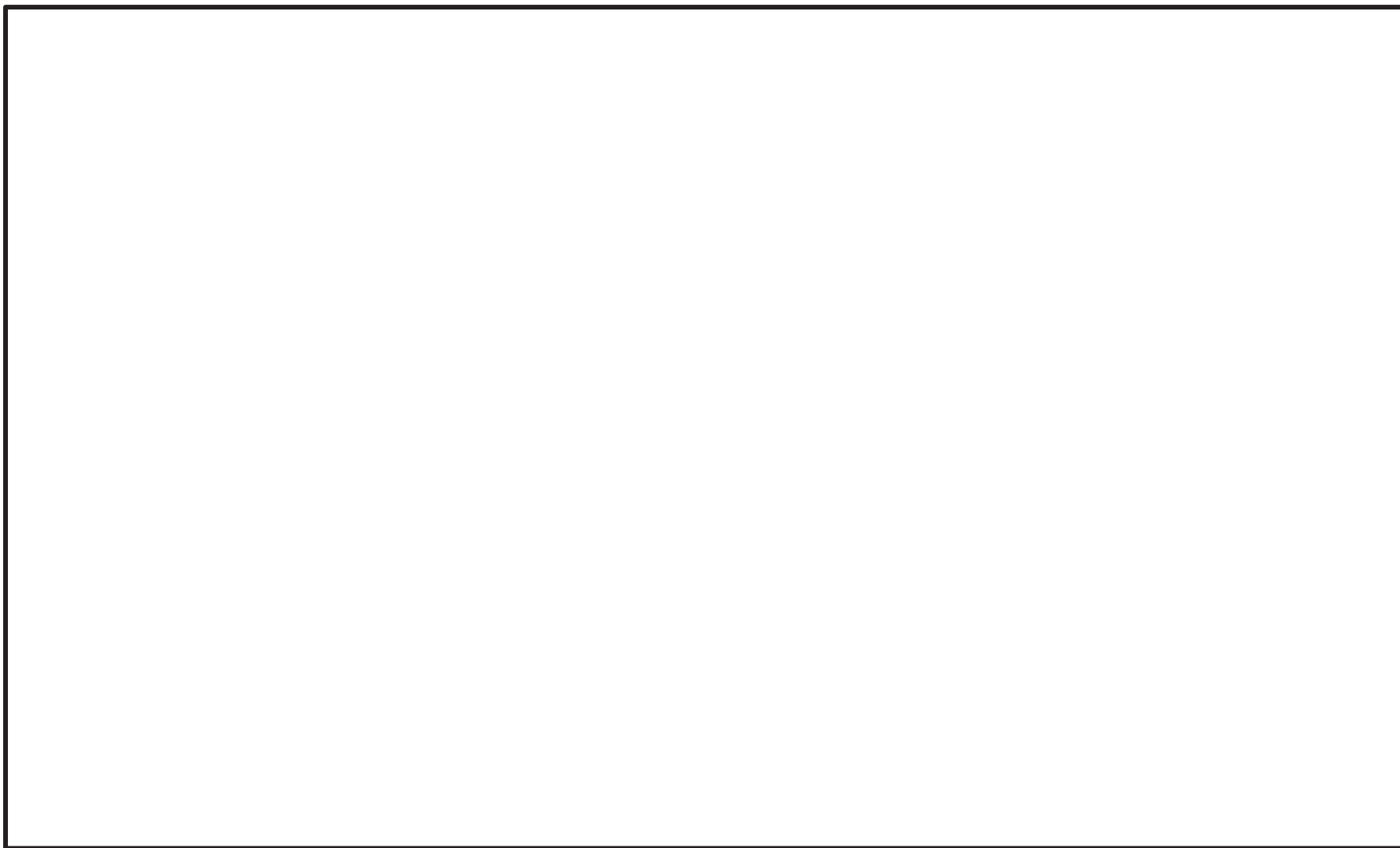
別添-2-5-2-10



別添 2-5-2-1 図 始動空気系 (DGAE-A16) 解析モデル図 (3/5)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

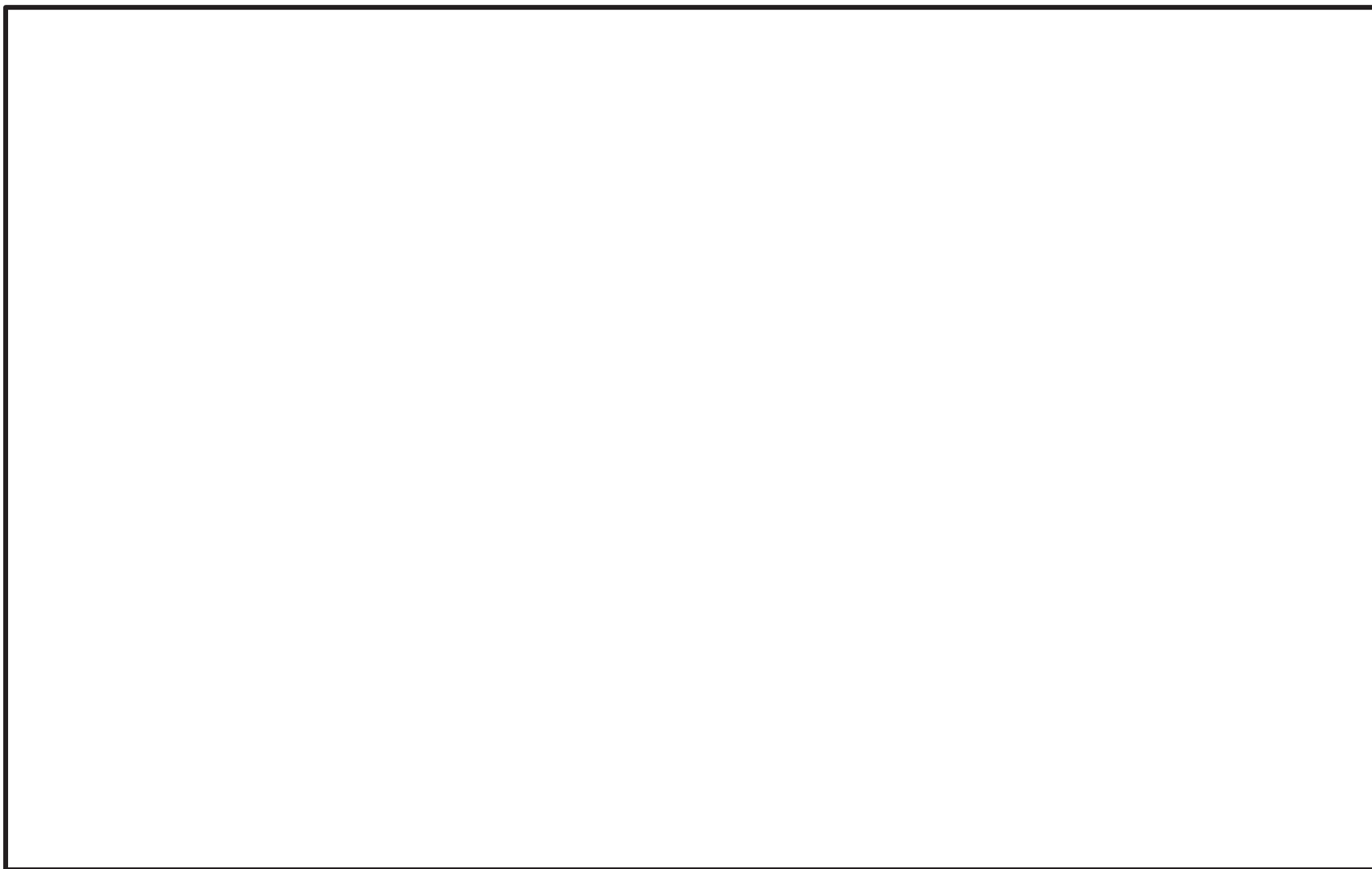
別添-2-5-2-11



別添 2-5-2-1 図 始動空気系 (DGAE-A16) 解析モデル図 (4/5)

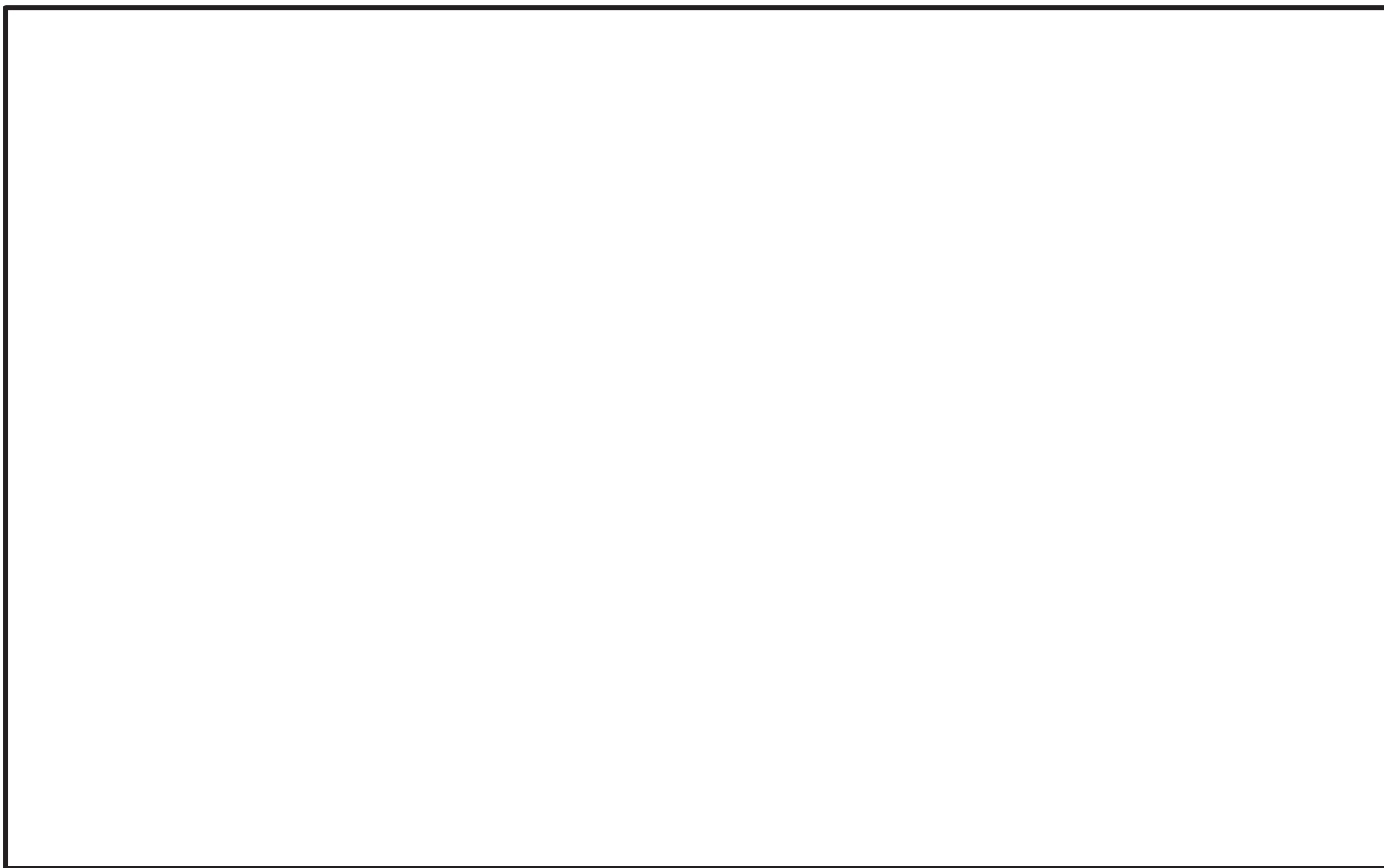
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別添-2-5-2-12



別添 2-5-2-1 図 始動空気系 (DGAE-A16) 解析モデル図 (5/5)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



別添 2-5-2-2 図 始動空気系 (DGAE-H06) 解析モデル図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別添 2-5-2-7 表 配管諸元

鳥瞰図 DGA E-A 1 6

管名称	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1~4, 47~50	0.10	45	27.2	2.9	SUS304TP	S	193333
2	6~8, 10~13, 38~41 43~45	3.24	90	27.2	2.9	SUS304TP	S	190400
3	13~38, 51~53 55~62, 80~82 84~97, 99~104 106~112, 114~117 119~121	3.24	90	48.6	3.7	SUS304TP	S	190400
4	62~80	3.24	90	48.6	3.7	SUS304TP	S	190400

別添-2-5-2-14

別添 2-5-2-8 表 配管諸元

鳥瞰図 DGA E-H 0 6

管名称	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1~16	0.10	450	711.2	7.9	SM400B	S	162000
2	17~20	0.10	450	609.6	7.9	SM400B	S	162000

5. 評価結果

別添 2-5-2-9 表, 別添 2-5-2-10 表, 別添 2-5-2-11 表及び別添 2-5-2-12 表に示すとおり, 設計用地震力に対し, 耐震性を有することを確認した。なお, 別添 2-5-2-11 表及び別添 2-5-2-12 表においては, 算出応力と許容応力を踏まえ, 評価上厳しい箇所の結果について記載する。

また, 始動電磁弁(動的機能維持評価弁の対象外)については, 別添 2-5-2-13 表に示す通り, 既往の研究((財)原子力工学試験センター原子力発電信頼性実証試験)で評価した限界加速度が機能維持評価用加速度に対して余裕を持つことにより耐震性を有することを確認した。

別添 2-5-2-9 表 非常用ディーゼル発電設備 容器類の応力評価結果

区分	対象機器 (基本評価項目)	据付 場所	床面 高さ (m)	評価部位	応力の 種類	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
容器類	燃料油フィルタ	原子炉 建屋	15.2	基礎ボルト	引張り	15	207
	清水冷却器	原子炉 建屋	6.4	胴板	一次 +二次 (疲労)	551 (0.16*)	410 (1.0)
				脚	組合せ	55	264
				基礎ボルト	引張り	173	440
	潤滑油 サンプタンク	原子炉 建屋	13.4	胴板	一次 一般膜	20	226
				基礎ボルト	引張り	75	207
	潤滑油冷却器	原子炉 建屋	6.4	胴板	一次 +二次 (疲労)	541 (0.15*)	410 (1.0)
				脚	組合せ	51	264
				基礎ボルト	引張り	161	440
	潤滑油フィルタ	原子炉 建屋	6.2	取付ボルト	引張り	43	440

注記* : 一律に設定する等価繰返し回数 (340 回) による疲労評価結果が許容値 (0.9) を満足しないため, 個別に設定する等価繰返し回数 (54 回) による疲労評価を実施。

別添 2-5-2-10 表 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 容器類の応力評価結果

区分	対象機器 (基本評価項目)	据付 場所	床面 高さ (m)	評価部位	応力の 種類	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
容器類	燃料油フィルタ	原子炉 建屋	16.23	取付ボルト	引張り	16	440
	清水冷却器	原子炉 建屋	15.5	胴板	一次 +二次	321	404
				脚	組合せ	26	264
				基礎ボルト	引張り	84	440
	潤滑油冷却器	原子炉 建屋	16.03	胴板	一次 +二次 (疲労)	504 (0.70*)	410 (1.0)
				脚	組合せ	30	264
				基礎ボルト	引張り	92	440

注記* : 一律に設定する等価繰返し回数 (340 回) による疲労評価を実施。

別添 2-5-2-11 表 非常用ディーゼル発電設備 S s地震動に対する配管及び支持構造物の応力評価結果

区分	評価対象系統	据付場所	床面高さ O. P. (m)	評価部位	応力の 種類	算出 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
配管及び支持構造物	始動空気系	原子炉建屋	6.00～22.50	配管本体	一次＋二次 (疲労)	515 (0.6797* ¹)	350 (1.0)
				支持構造物	組合せ	28	276
	燃料油系	原子炉建屋	15.00～33.20	配管本体	一次＋二次	335	484
				支持構造物	せん断	66	159
	冷却水系	原子炉建屋	6.00～22.50	配管本体	一次＋二次 (疲労)	450 (0.8615* ²)	448 (1.0)
				支持構造物	組合せ	31	146
	潤滑油系	原子炉建屋	15.00～22.50	配管本体	一次＋二次 (疲労)	470 (0.4993* ³)	448 (1.0)
				支持構造物	組合せ	125	552

注記*1：個別に設定する等価繰返し回数（174回）による疲労評価を実施。

注記*2：個別に設定する等価繰返し回数（230回）による疲労評価を実施。

注記*3：一律に設定する等価繰返し回数（340回）による疲労評価を実施。

別添 2-5-2-12 表 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 S s地震動に対する配管及び支持構造物の応力評価結果

区分	評価対象系統	据付場所	床面高さ O. P. (m)	評価部位	応力の 種類	算出 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
配管及び支持構造物	始動空気系	原子炉建屋	15.00～33.20	配管本体	一次＋二次	271	276
				支持構造物	引張	304	440
	燃料油系	原子炉建屋	15.00～22.50	配管本体	一次＋二次	139	484
				支持構造物	せん断	17	159
	冷却水系	原子炉建屋	15.00～22.50	配管本体	一次＋二次	427	442
				支持構造物	せん断	57	159
	潤滑油系	原子炉建屋	15.00～22.50	配管本体	一次＋二次	221	448
				支持構造物	組合せ	18	276

別添 2-5-2-13 表 設計用地震力に対する始動電磁弁の耐震性評価結果

系統	対象機器 (基本評価項目)	据付 場所	床面 高さ (m)	評価 部位	機能維持 評価用加速度*1 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	限界加速度*2 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)
始動 空気系	始動電磁弁	原子炉 建屋	15.81	駆動部	7.0	358.7

注記*1：基準地震動 S_s による応答加速度のうち最も大きいもの。

*2：(財) 原子力工学試験センター原子力発電信頼性実証試験で評価した始動電磁弁の限界加速度。(女川2号機の始動電磁弁の限界加速度は同等以上であることを確認済み)

潤滑油サンプタンク及び潤滑油オイルパンのスロッシング評価について

1. 概要

女川原子力発電所第2号機の非常用ディーゼル発電設備（機関）の動的機能維持の「詳細検討」に係る基本評価項目として、潤滑油サンプタンクのスロッシングを挙げている。

本資料では、非常用ディーゼル機関用の潤滑油サンプタンク及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル機関用の潤滑油オイルパンについて、基準地震動 S_s に伴い生じる液面変動による動作機能への影響を確認するため、スロッシング解析を実施し、その結果について説明するものである。

2. 潤滑油サンプタンクのスロッシング評価

2.1 潤滑油サンプタンクの概要

潤滑油サンプタンクの構造図を別添 2-5-3-1 図に、油面レベルと吸込配管の位置関係を別添 2-5-3-2 図に示す。潤滑油サンプタンクは、A系、B系に各1基ずつ設置される平底たて置円筒容器であり、内部には潤滑油をディーゼル機関に送り出す吸込配管、ディーゼル機関からの戻り配管及び内部を4つの領域に分割する仕切り板（戻り油に含まれる気泡を除去する目的で設置）が設けられている。また、吸込配管端部には、配管の一部が切り欠かれ、金属のメッシュが設置されている。タンク内に貯蔵される潤滑油は、この切り欠き部から吸い込まれ、潤滑油ポンプにより非常用ディーゼル機関へと供給される。



別添 2-5-3-1 図 非常用ディーゼル機関の潤滑油サンプタンク概要図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

潤滑油の油面レベルについては、通常時（運転時）は O.P. m（タンク底部から mm の位置）にあり、そのレベルを下回らないよう運転される。（別添 3-2 図参照。）

潤滑油の供給に支障をきたす限界液面レベルは、O.P. m（タンク底部より mm（吸込口上端））であり、このレベルを下回ると潤滑油に空気が流入し、潤滑油量が不足し、ディーゼル機関の回転機能に影響を及ぼす要因となる。



別添 3-2 図 液面レベルと吸込配管の位置関係

2.2 潤滑油サンプタンクのスロッシングによる液位変動の評価

スロッシングは、地震動の卓越周期と潤滑油サンプタンク内の潤滑油のスロッシング固有周期が一致することによって、サンプタンク内の潤滑油が共振し、液面が大きく揺動する現象である。

よって、潤滑油サンプタンクのスロッシング解析では、スロッシング固有周期と基準地震動 S_s の床応答スペクトルを比較して、スロッシング固有周期に対する加速度が最大となる地震動をスロッシング解析に適用する地震動として選定する。具体的には以下の手順とする。

- ① 一次モードの固有周期を単純な円筒容器を想定した理論解で求め、その値での加速度応答スペクトルが最も大きい地震動を選定する。（2.2.1～2.2.2 項）
- ② 選定地震動を用いてスロッシング解析を行なう。（2.2.3～2.2.5 項）
同時に、液面変動の高速フーリエ変換によって実際に発生しているスロッシングの固有モード（固有周期）を求める。（2.2.6 項）
- ③ 得られた固有周期を再度加速度応答スペクトルと照合し、選定地震動の応答が卓越していることを確認する。（2.2.7 項）
- ④ この際、他の地震動の応答スペクトルの方が大きい場合には、新たにその地震動を用いたスロッシング解析を行ない最終的な結果とする。（2.2.8～2.2.9 項）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.2.1 潤滑油サンプタンク内のスロッシング固有周期(単純な円筒容器を想定した場合)

潤滑油サンプタンクのスロッシング固有周期は、単純な円筒容器を想定して以下の固有周期の評価式*より算出する。

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{1.841g}{R} \tanh\left(1.841 \frac{h}{R}\right)}$$

ここで、

g : 重力加速度[m/s²]

h : 液深[m]

R : タンク半径[m]

上記式において、液深は通常時の液面レベルとし、潤滑油サンプタンク底面より mm (運転時レベル) とする。潤滑油サンプタンクの半径 (mm) と液深 (mm) から固有周期を算出した結果、潤滑油サンプタンクの固有周期は 秒となる。

また、スロッシングの最大波高 h_{\max} を、卓越する一次のモードで加速度応答スペクトル S_A を用いて表すと下式*で表されるため、最大波高は加速度応答スペクトルに比例する。

$$h_{\max} = \frac{0.837R}{g} \cdot S_A$$

*[出典]機械工学便覧 α. 基礎編 (日本機械学会, 2007)

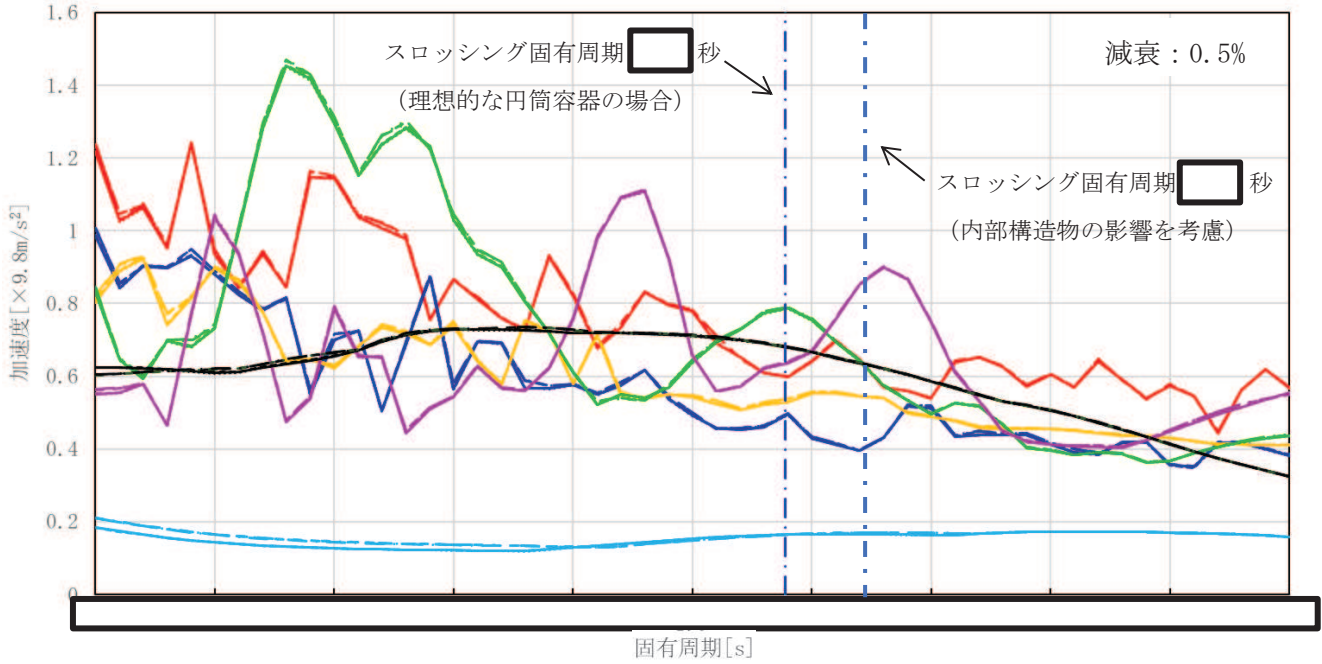
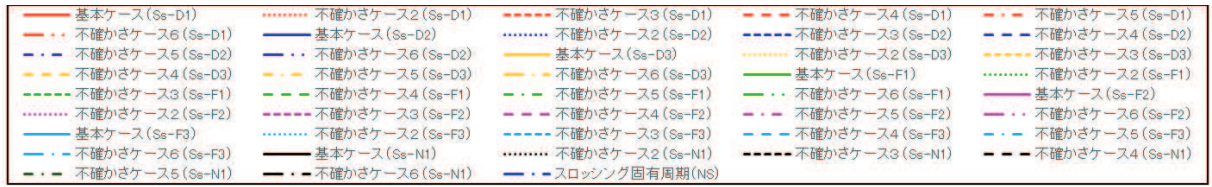
2.2.2 スロッシング解析に適用する地震動の選定(単純な円筒容器を想定した場合)

スロッシング解析に適用する地震動は、最大波高が加速度応答スペクトルに比例するため、基準地震動 S_s 7波のうち潤滑油サンプタンクのスロッシング周期に対する加速度が最大となる基準地震動 S_s を選定する。潤滑油サンプタンクは原子炉建屋 1 階に設置されていることから、原子炉建屋 1 階の地震応答を適用する。また、床応答スペクトルの減衰定数については、液体のスロッシング評価に用いる値として、0.5%を適用する。

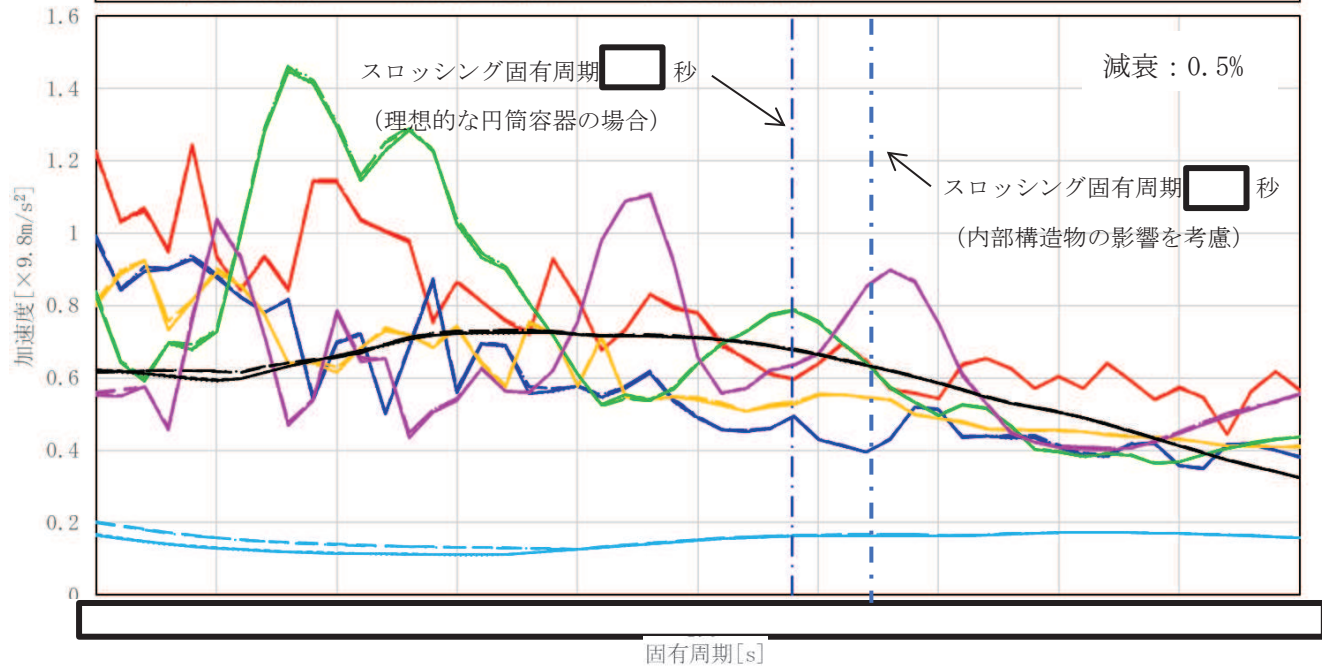
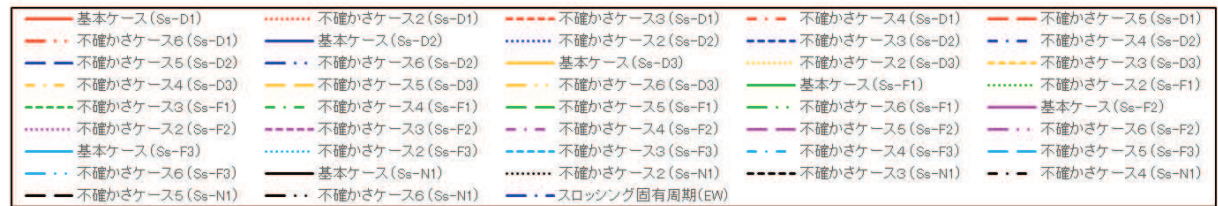
潤滑油サンプタンクのスロッシング固有周期と基準地震動 S_s の床応答スペクトルの比較結果を別添 2-5-3-3 図及び別添 2-5-3-4 図に示す。スロッシング固有周期で最大加速度となる地震動は、NS, EW 方向共に $S_s - F1$ となることを確認した。また、 $S_s - F1$ の地震応答において、スロッシング固有周期では原子炉建屋の地震応答解析における基本ケースと材料物性等の不確かさケースに差は見られないことも確認した。

以上より、潤滑油サンプタンクのスロッシング解析に適用する基準地震動 S_s としては、 $S_s - F1$ の基本ケースを選定し、別添 2-5-3-5 図に示す 3 方向 (NS, EW 及び UD 方向) の時刻歴データを同時入力しスロッシング解析を実施する。位相の組み合わせを確認した結果、同位相とすることで水平 2 方向の加速度成分の合成値が大きくなるため、サンプタンク内の吸込口上方の液面変動が大きくなる。したがって、スロッシング解析の条件としては、同位相で評価することは保守的な設定である。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

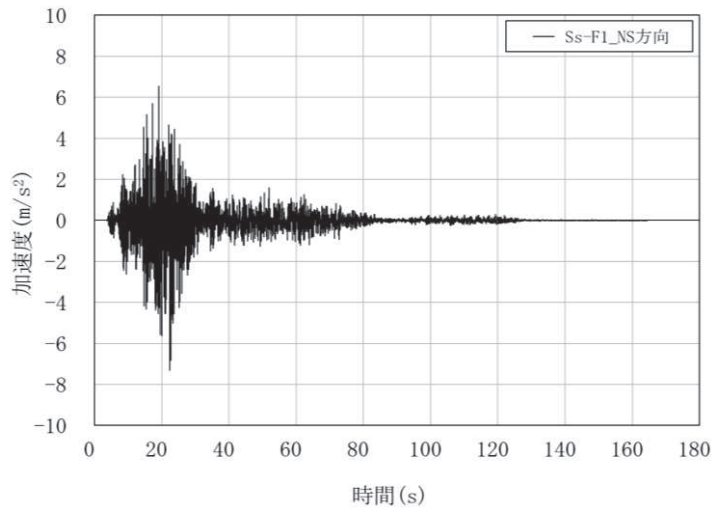


別添 2-5-3-3 図 基準地震動 S s (7 波) と潤滑油サンプタンクのスロッシング固有周期の関係 (NS 方向)

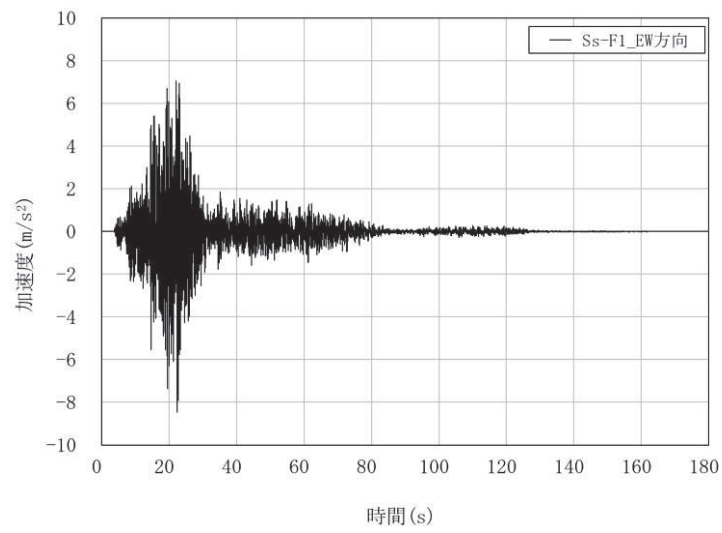


別添 2-5-3-4 図 基準地震動 S s (7 波) と潤滑油サンプタンクのスロッシング固有周期の関係 (EW 方向)

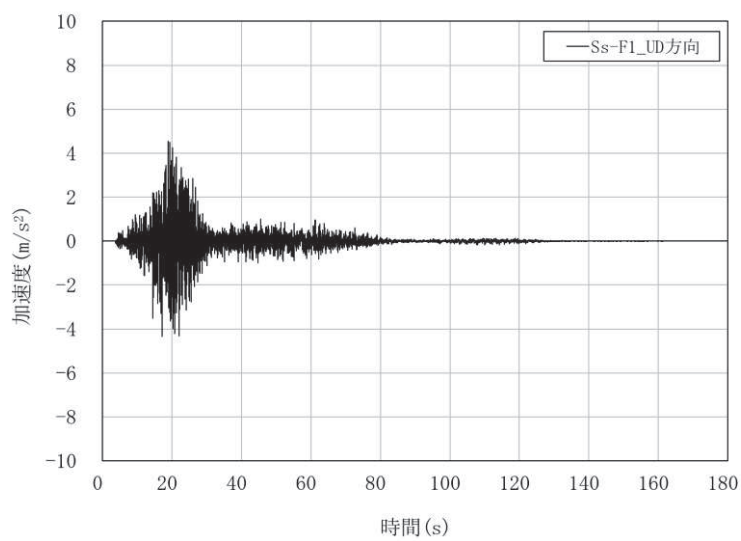
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



(1) 加速度時刻歴波形 (NS 方向)



(2) 加速度時刻歴波形 (EW 方向)



(3) 加速度時刻歴波形 (UD 方向)

別添 2-5-3-5 図 基準地震動 S s - F 1 (基本ケース) の時刻歴加速度波形

別添 2-5-3-6

2.2.3 解析方法

潤滑油サンプタンクは別添 2-5-3-1 図にて示したように、平底たて置円筒容器であり、内部には潤滑油をディーゼル機関に送り出す吸込配管と、タンク内部を4つの領域に分割する仕切り板が設置されている。

スロッシング解析においては、内部構造の影響を反映するため、吸込配管と仕切り板を境界条件としてモデル化する。初期条件として、タンク内の潤滑油液面は、通常時レベル (0. P. m) 状態で設定し、3次元流動解析により液面の変位を算出する。

2.2.4 解析条件

潤滑油サンプタンクのスロッシング解析条件について、別添 2-5-3-1 表に示す。また、解析モデル図について、別添 2-5-3-6 図示す。液位変動を評価する箇所として、吸込口の4箇所を選定し、モニター位置 (M1~M4) として設定し、液位については、このモニター位置において高さ方向に各メッシュの液体体積を積分した値をメッシュの水平面積で割ることで求める。

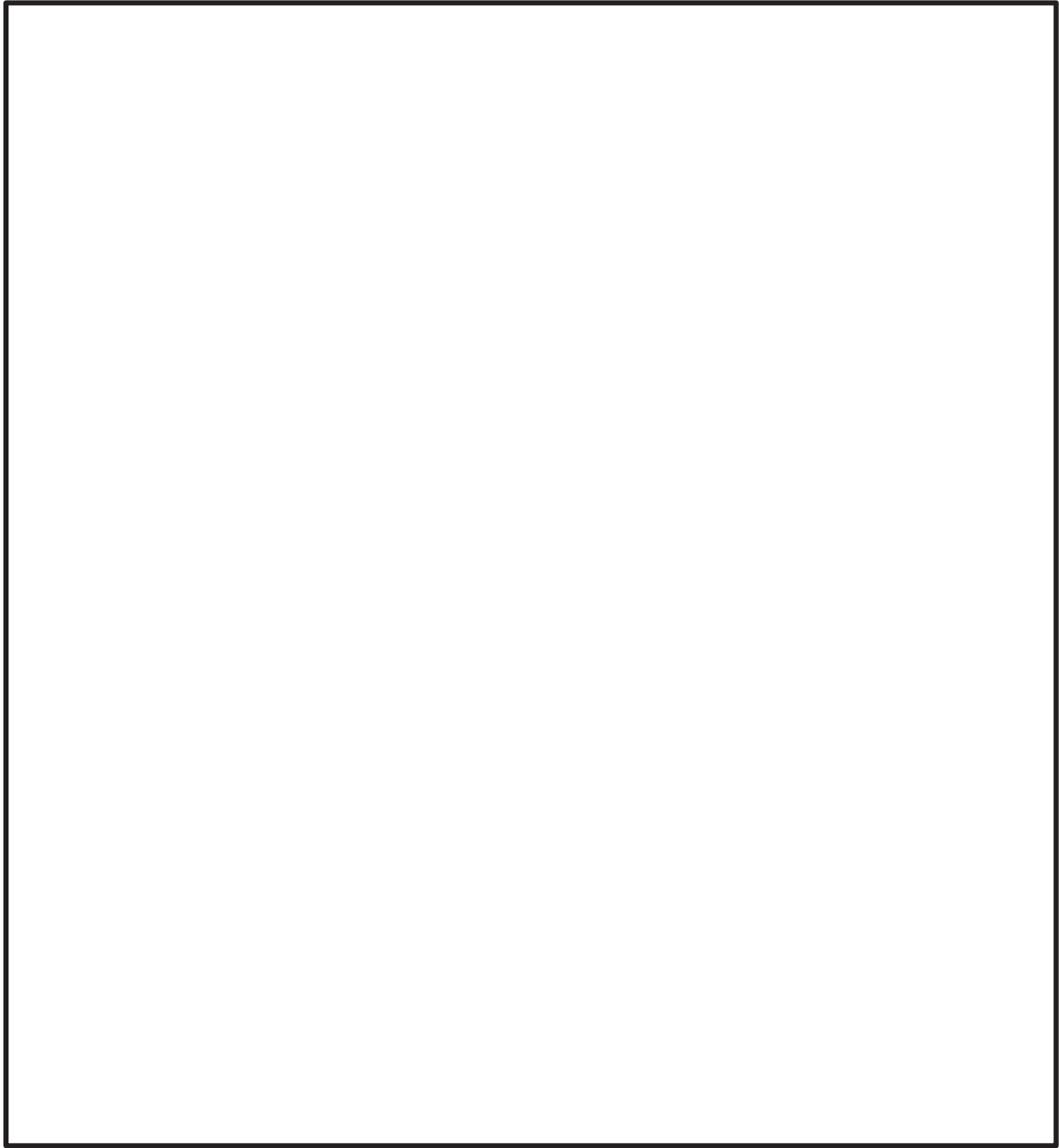
別添 2-5-3-1 表 3次元流動解析に用いた評価条件

油面レベル	
限界油面	
解析コード	
評価用地震波	
解析時間	
内部構造物	
解析条件	
その他	

注記*1：添付書類「VI-5-72 計算機プログラム（解析コード）の概要・Fluent」参照

*2：JIS K 2215 船用内燃機関用潤滑油 3種3号

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



別添 2-5-3-6 図 潤滑油サンプルタンクの解析モデル図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.2.5 スロッシング評価結果

基準地震動 S s - F 1 における潤滑油サンプタンクのスロッシング解析結果として、液位変動結果から算出された最大変位量について別添 2-5-3-2 表に、最大変位量を示す時刻のコンター図を別添 2-5-3-8 図に、モニター箇所における運転時レベルからの液位変動結果を別添 2-5-3-9 図に示す。サンプタンクのスロッシング挙動は、サンプタンク内部の仕切り板の高さは通常時油面レベルを超えないこと及びタンク内部は異方性のない円筒形状であることから、スロッシング卓越モードが励起されスロッシング固有周期が支配的な液位変動を起こした結果となっている。

スロッシングによる潤滑油液位の変動は、最大 mm であり、限界である油面レベル O.P. m まで十分な高さが確認されたことから、スロッシングが生じても潤滑油の供給機能に影響がないことを確認した。

別添 2-5-3-2 表 潤滑油サンプタンクのスロッシングによる液面変位

基準地震動	液面変位量*1 [mm]	許容変位量*2 (限界油面までの液深) [mm]	評価結果
S s - F 1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注記*1：潤滑油吸込み口周りの最低液位を示すモニター箇所の液位

*2：許容変位量と通常時油面の関係を別添 2-5-3-9 図に示す

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

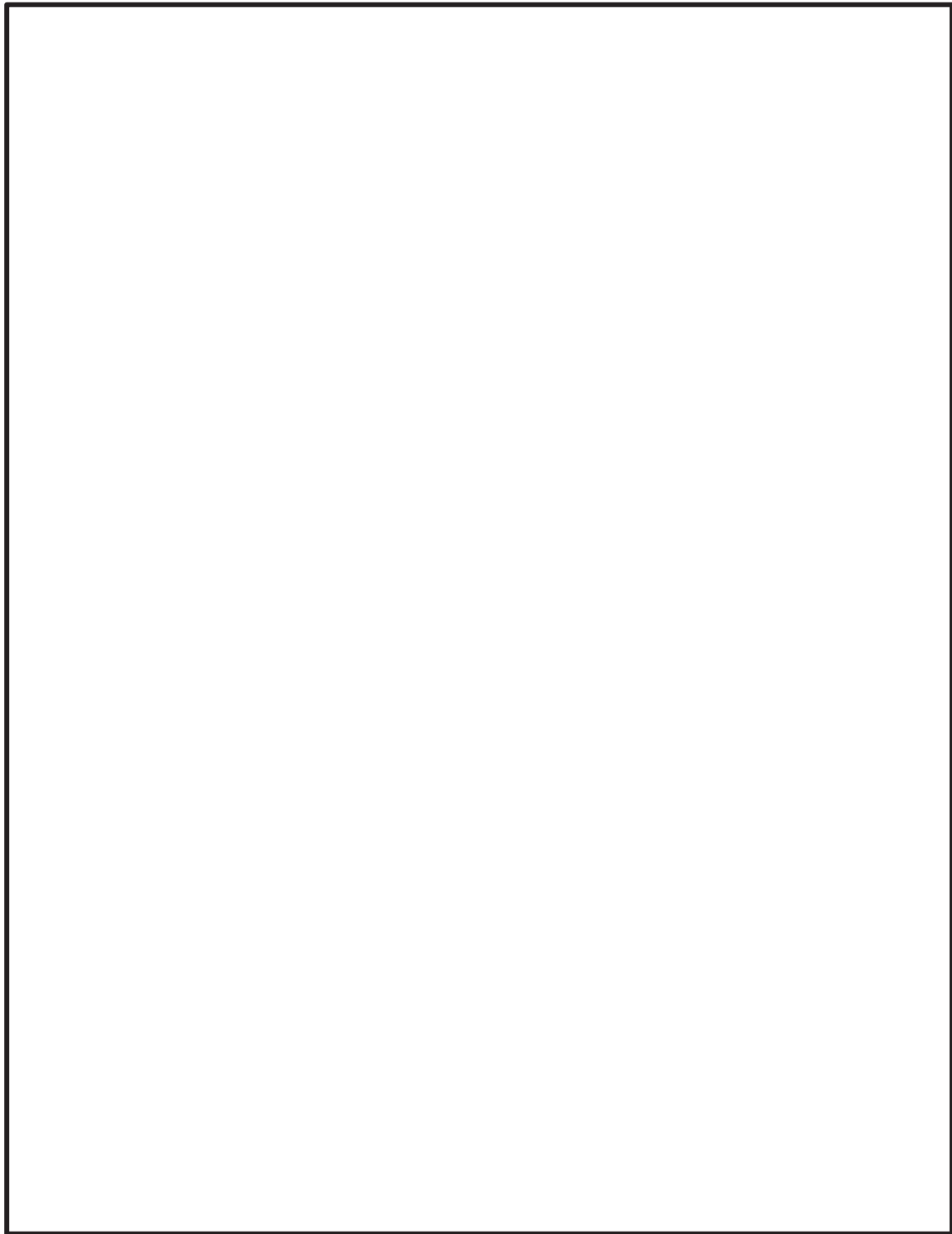


別添 2-5-3-7 図 液面レベルと吸込配管の位置関係 (S s - F 1)



別添 2-5-3-8 図 潤滑油サンプルタンクスロッシング解析結果
(S s - F 1 最低液位発生時点)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



別添 2-5-3-9 図 潤滑油サンプタンクのスロッシングによる液位の時間変化 (S s - F 1)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.2.6 内部構造物の影響を考慮したスロッシング固有周期

潤滑油サンプタンクの内部構造物の影響を考慮した場合には、スロッシングの固有周期は2.2.1の単純な円筒タンクとは異なると考えられるため、 $S_s - F1$ による液面変動の高速フーリエ変換を実施し、そのパワーペクトル密度から卓越周期を算出した（別添2-5-3-10図）。

内部構造物の影響を考慮した潤滑油サンプタンクの $S_s - F1$ によるスロッシング固有周期は、秒及び秒となる。



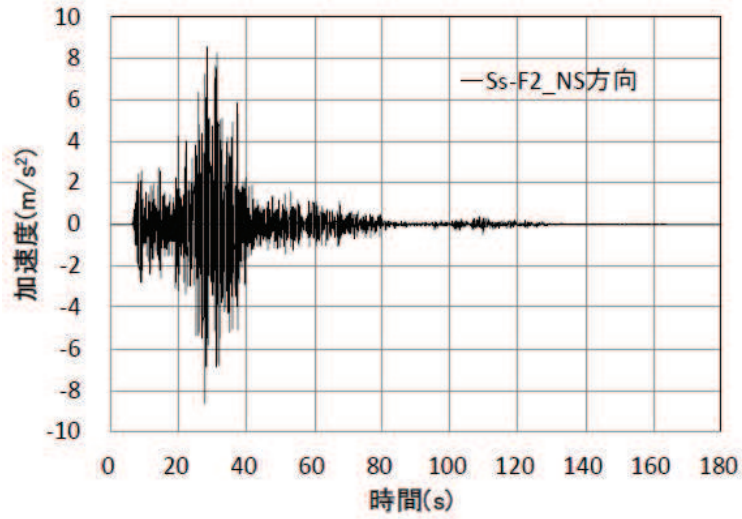
別添2-5-3-10図 $S_s - F1$ による液面変動のパワースペクトル密度

2.2.7 波高変動の卓越固有周期による地震動の選定（内部構造物の影響を考慮した場合）

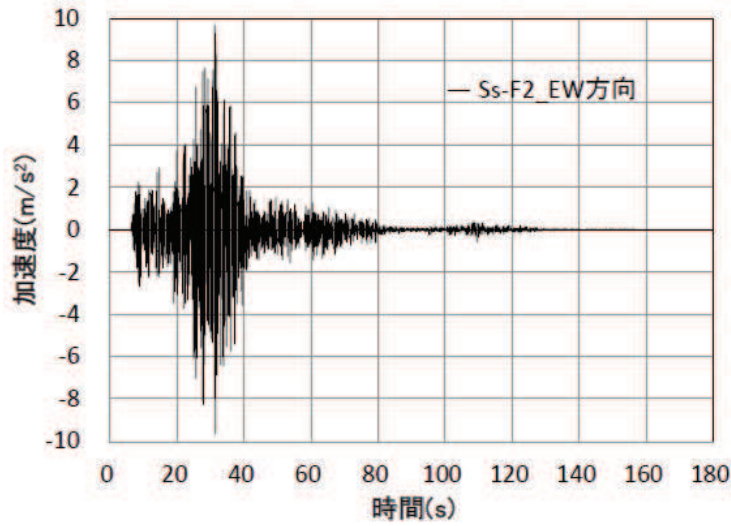
内部構造物の影響を考慮した場合の潤滑油サンプタンクのスロッシング固有周期と基準地震動 S_s の床応答スペクトルの比較結果を別添2-5-3-3図及び別添2-5-3-4図に示す。スロッシング固有周期で最大加速度となる地震動は、周期秒では基準地震動 $S_s - F2$ 、周期秒では基準地震動 $S_s - D1$ となる。ここで、各基準地震動の応答加速度を比較すると、基準地震動 $S_s - F2$ が0.85gに対し、基準地震動 $S_s - D1$ が0.64gである。最大波高は加速度応答スペクトルに比例することから、基準地震動 $S_s - F2$ の基本ケースを選定した。

以上より、内部構造物の影響を考慮した場合の潤滑油サンプタンクのスロッシング解析に適用する基準地震動 S_s としては、 $S_s - F2$ の基本ケースを選定し、別添2-5-3-11図に示す3方向（NS、EW及びUD方向）の時刻歴データを同時入力しスロッシング解析を実施する。

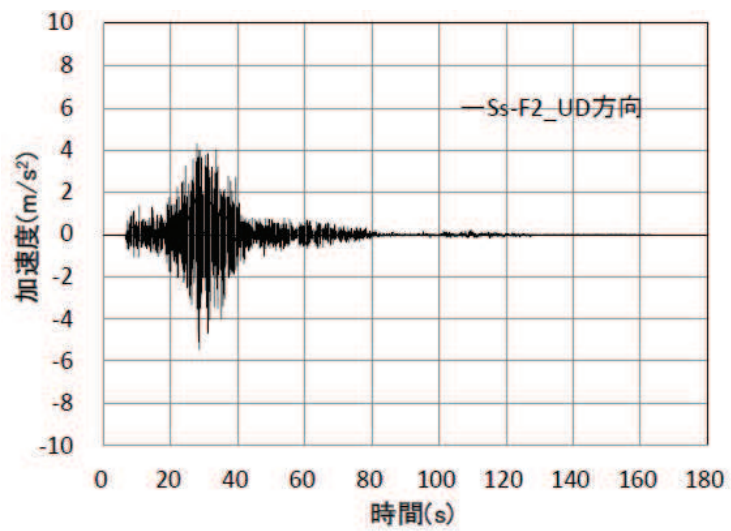
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



(1) 加速度時刻歴波形 (NS 方向)



(2) 加速度時刻歴波形 (EW 方向)



(3) 加速度時刻歴波形 (UD 方向)

別添 2-5-3-11 図 基準地震動 S s - F 2 (基本ケース) の時刻歴加速度波形

2.2.8 基準地震動 S s - F 2 による解析方法及び解析条件

基準地震動 S s - F 2 によるスロッシングの解析方法及び解析条件, 2.2.3 及び 2.2.4 に示す基準地震動 S s - F 1 の場合と同様である。

2.2.9 基準地震動 S s - F 2 によるスロッシング評価結果

基準地震動 S s - F 2 における潤滑油サンプタンクのスロッシング解析結果として、液位変動結果から算出された最大変位量について別添 2-5-3-3 表に、最大変位量を示す時刻のコンター図を別添 2-5-3-13 図に、モニター箇所における運転時レベルからの液位変動結果を別添 2-5-3-14 図に示す。サンプタンクのスロッシング挙動は、サンプタンク内部の仕切り板の高さは通常時油面レベルを超えないこと及びタンク内部は異方性のない円筒形状であることから、スロッシング卓越モードが励起されスロッシング固有周期が支配的な液位変動を起こした結果となっている。

基準地震動 S s - F 2 によるスロッシングによる潤滑油液位の変動は、最大 mm であり、限界である油面レベル O.P. m まで十分な高さが確認されたことから、スロッシングが生じても潤滑油の供給機能に影響がないことを確認した。

別添 2-5-3-3 表 潤滑油サンプタンクのスロッシングによる液面変位 (S s - F 2)

基準地震動	液面変位量*1 [mm]	許容変位量*2 (限界油面までの液深) [mm]	評価結果
S s - F 2			

注記*1: 潤滑油吸込み口周りの最低液位を示すモニター箇所の液位

*2: 許容変位量と通常時油面の関係を別添 2-5-3-12 図に示す

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

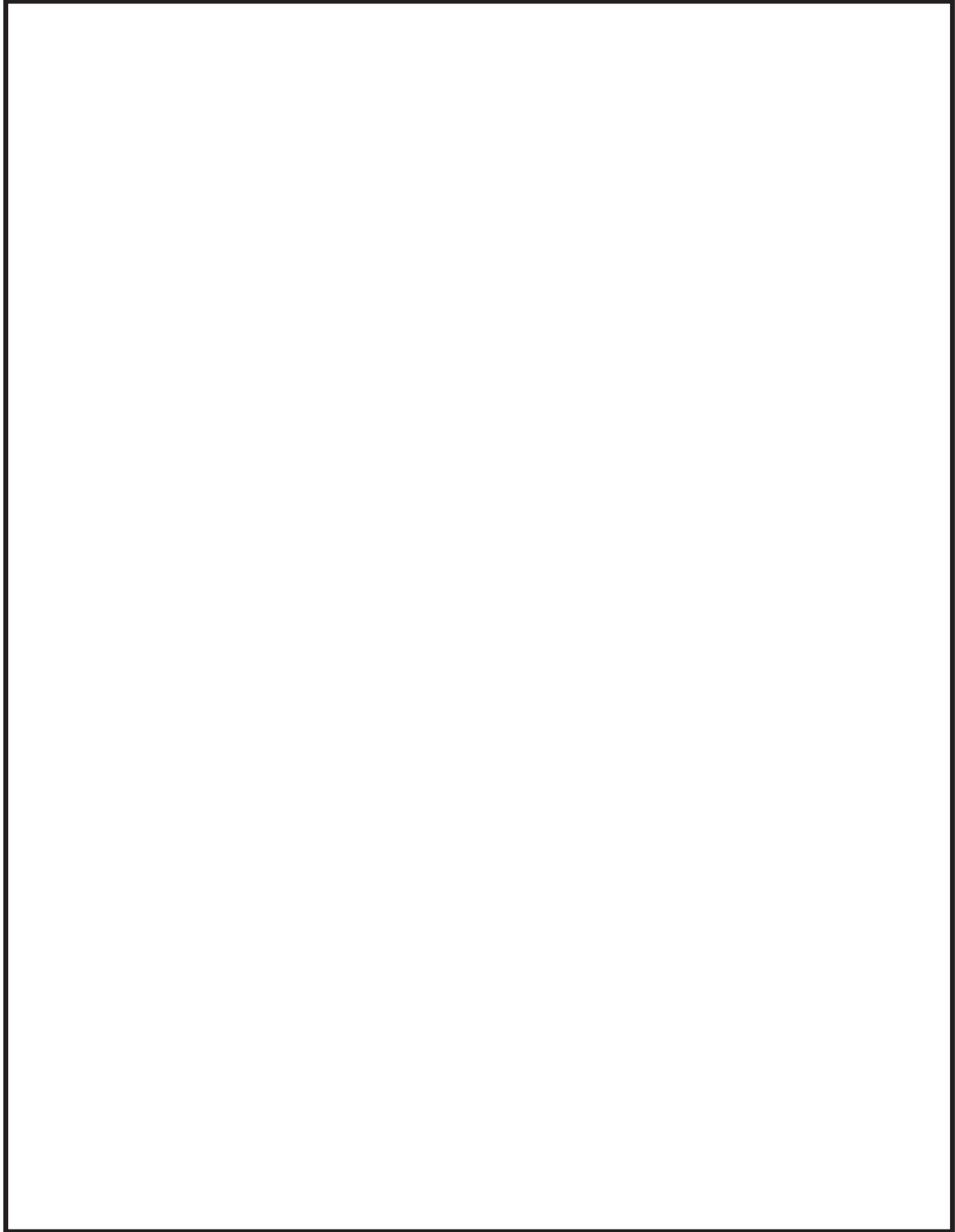


別添 2-5-3-12 図 液面レベルと吸込配管の位置関係 (S s - F 2)



別添 2-5-3-13 図 潤滑油サンプルタンクスロッシング解析結果
(S s - F 2 最低液位発生時点)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



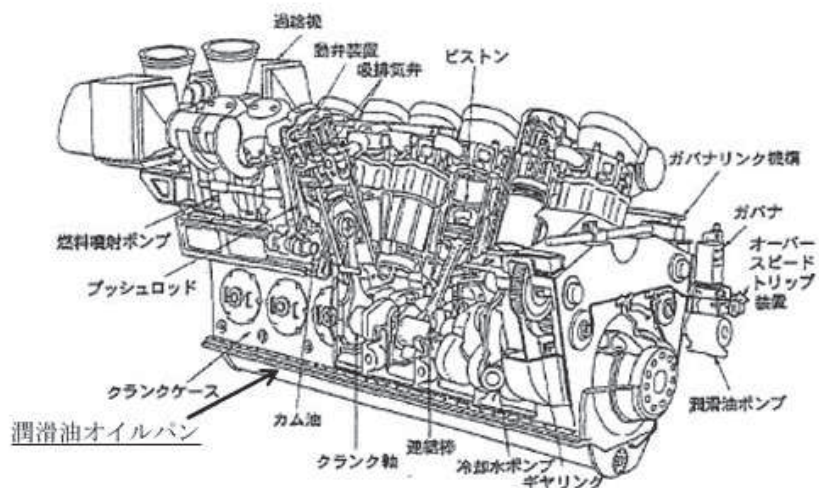
別添 2-5-3-14 図 潤滑油サンプルタンクのスロッシングによる液位の時間変化 (S s - F 2)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

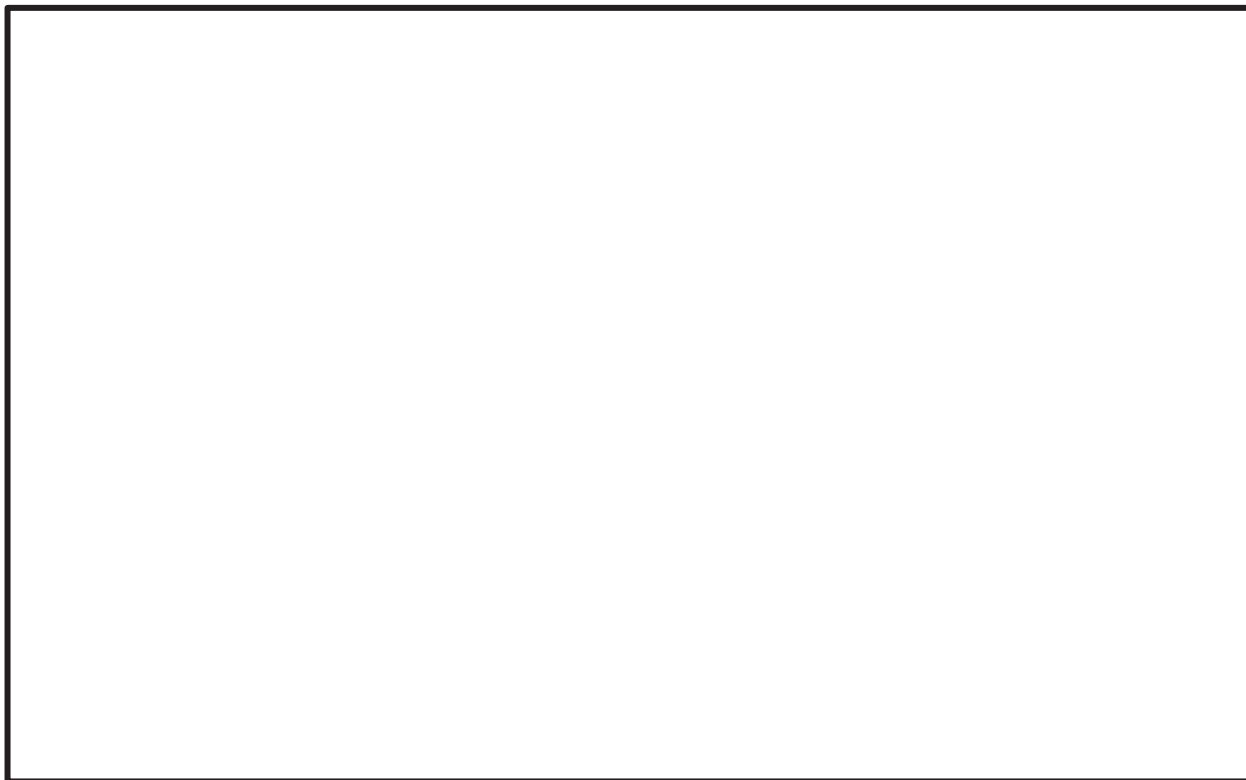
3. 高圧炉心スプレイ系ディーゼル機関 潤滑油オイルパンのスロッシング評価

3.1 潤滑油オイルパンの概要

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機設備に設置される潤滑油オイルパンの構造図を別添 2-5-3-15 図に示す。潤滑油オイルパンは、ピストンやクランク軸により構成されるディーゼル機関本体の直下に設置されており、内部には潤滑油サンプタンクと同様に、潤滑油の吸込配管（潤滑油出口配管）が設置された構造となっている。



(a) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル機関の概要図



(b) オイルパン断面図及び吸込口詳細図

別添 2-5-3-15 図 潤滑油オイルパンの概要図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

潤滑油の油面レベルについては、通常時（運転時）は O.P. m（オイルパン底部から mm の位置）にあり、そのレベルを下回らないよう運転される。（別添 3-11 図参照。）

潤滑油の供給に支障をきたすとされる限界液面レベルは、O.P. m（オイルパン底部より mm（出口配管上吸込口上端））であり、このレベルを下回ると潤滑油に空気が流入し、潤滑油量が不足して、ディーゼル機関の回転機能に影響を及ぼす要因となる。

別添 2-5-3-16 図 液面レベルと出口配管の位置関係

3.2 高圧炉心スプレイ系ディーゼル機関のスロッシングによる液位変動の評価

潤滑油オイルパンのスロッシング解析についても、非常用ディーゼル機関設備の潤滑油サンプタンクと同様に、スロッシング固有周期と基準地震動 S_s の床応答スペクトルを比較して、スロッシング固有周期に対する加速度が最大となる地震動をスロッシング解析の評価対象として選定し、評価する。

3.2.1 潤滑油オイルパン内のスロッシング固有周期

潤滑油オイルパンのスロッシング周期は、単純な矩形を想定して以下の式*から固有周期を求める。

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{1.571g}{\ell} \tanh\left(1.571 \frac{h}{\ell}\right)}$$

ここで、

g : 重力加速度 [m/s²]

h : 液深 [m]

ℓ : 代表長さ（タンク幅の 1/2） [m]

上記式において、液深はオイルパン底面より mm（運転時レベル）とする。タンク幅は、オイルパンの形状を考慮して、長辺方向と短辺方向に分けて算出する。長辺方向については、3つの区画に分割する2枚の敷居板があるが、敷居板には穴が開いていて内部で繋がっているため、オイルパン全体で振動するモードとして長辺方向全体長さは

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

□ mm とする。短辺方向については、タンク幅 □ mm とする。(別添 2-5-3-17 図参照)

上記式において、潤滑油オイルパンの固有周期を算出した結果を別添 2-5-3-4 表に示す。

*[出典] 葉山, 長方形容器におけるスロッシングの非線形応答 (第 1 報, 液面変位の共振応答), 日本機械学会論文集(C 編)49 巻 437 号 (昭 58-1)



別添 2-5-3-17 図 潤滑油オイルパンのスロッシング固有周期の考え方

別添 2-5-3-4 表 潤滑油オイルパンのスロッシング固有周期

	タンク幅[m]	代表長さ l [m]	液深 h [m]	固有周期[s]
長辺方向 (NS 方向)				
短辺方向 (EW 方向)				

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

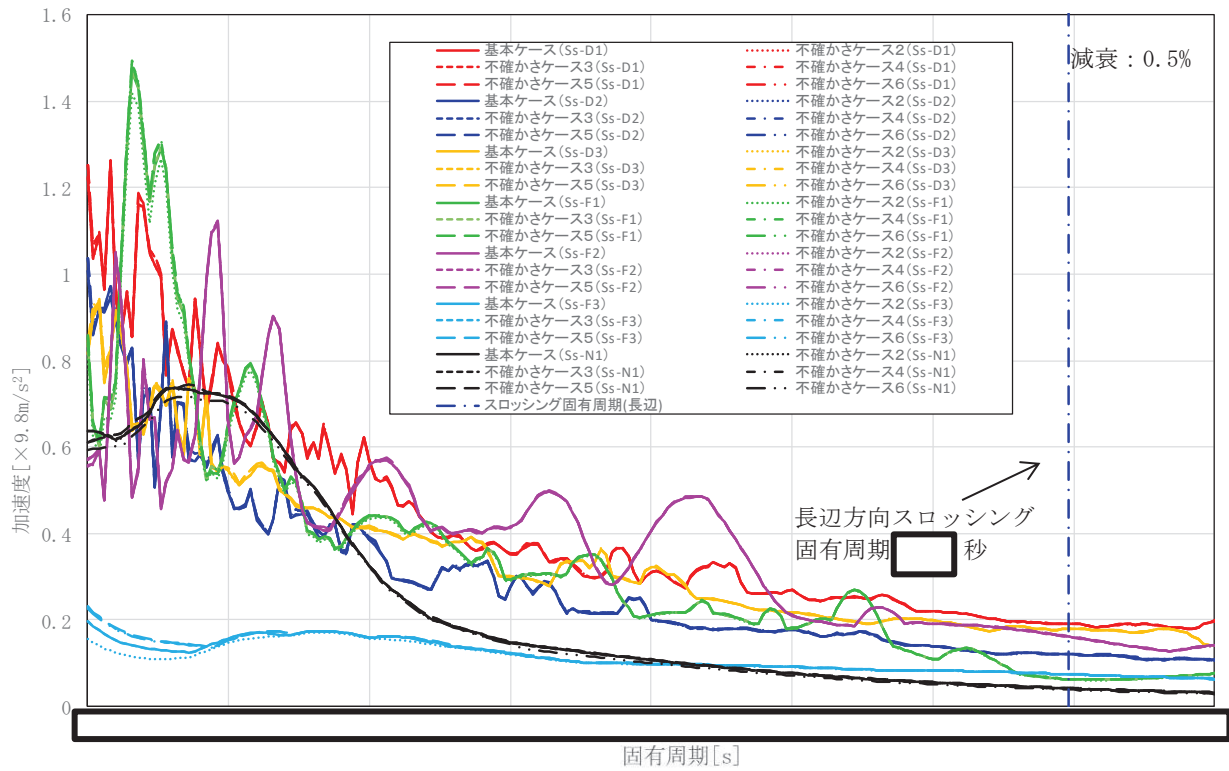
3.2.2 スロッシング解析に適用する地震動の選定

スロッシング解析に適用する地震動は、基準地震動 S_s 7波のうち、潤滑油オイルパンのスロッシング周期に対する加速度が最大となる基準地震動 S_s を選定する。潤滑油オイルパンは原子炉建屋 1 階 (O.P. 15.0m) に設置されているが、基礎高さ等を考慮するとその設置レベルは O.P. 16.03m であることから、設置レベルを考慮し床応答スペクトルの算出点として上階の原子炉建屋 2 階 (O.P. 22.5m) での床応答スペクトルを用いることとした。また、床応答スペクトルの減衰定数については、液体のスロッシング評価に用いる値として、0.5%を適用する。潤滑油オイルパンの長辺方向及び短辺方向のスロッシング固有周期と基準地震動 S_s の比較結果を別添 2-5-3-18 図、別添 2-5-3-19 図に示す。

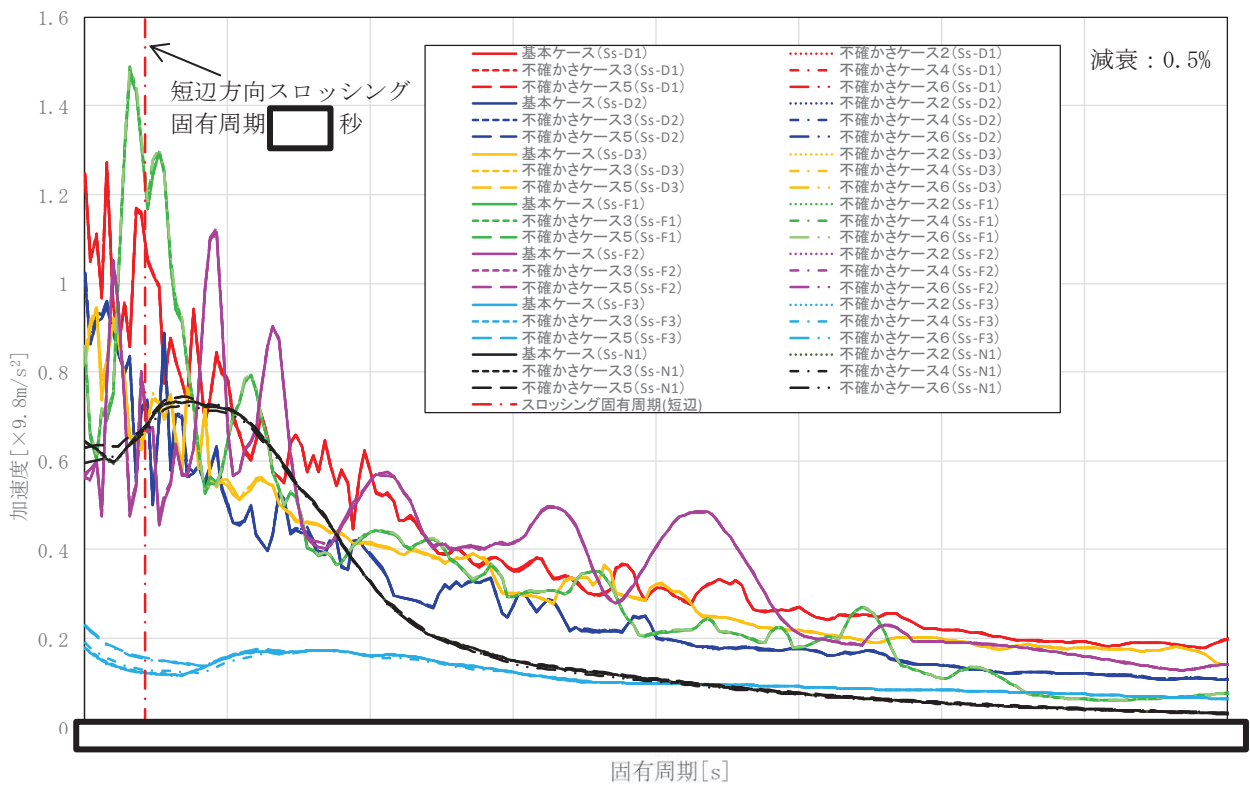
確認の結果、長辺方向 (NS 方向) のスロッシング固有周期 秒に対して最大加速度となる地震動としては $S_s - D 1$ となり、短辺方向 (EW 方向) の固有周期 秒に対して最大加速度なる地震動は $S_s - F 1$ となることを確認した。また、 $S_s - D 1$ 、 $F 1$ それぞれの地震応答において、スロッシング固有周期では基本ケースと不確かさケースに差は見られないことも確認した。

以上より、潤滑油オイルパンのスロッシング解析に適用する基準地震動 S_s としては、長辺方向の観点で $S_s - D 1$ の基本ケースを、短辺方向の観点で $S_s - F 1$ の基本ケースを選定し、別添 2-5-3-20 図、別添 2-5-3-21 図に示す 3 方向 (NS, EW 及び UD 方向) の時刻歴データを同時入力しスロッシング解析を実施する。位相の組み合わせについて、オイルパンの吸込み口は容器の長辺方向及び短辺方向の中心付近にあるため、矩形タンクで考慮すべきスロッシングの 1 次モードとして位相影響がほとんどないことから位相の組み合わせは考慮していない。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

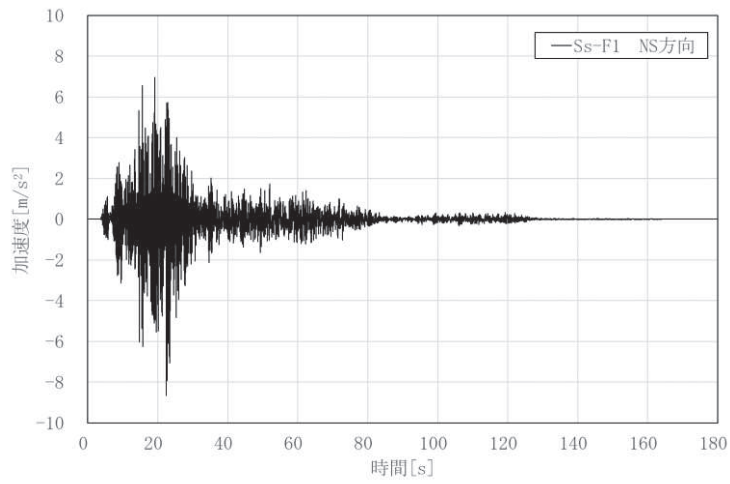


別添 2-5-3-18 図 基準地震動 S s (7波) と潤滑油オイルパンのスロッシング固有周期の関係 (長辺方向, NS 方向)

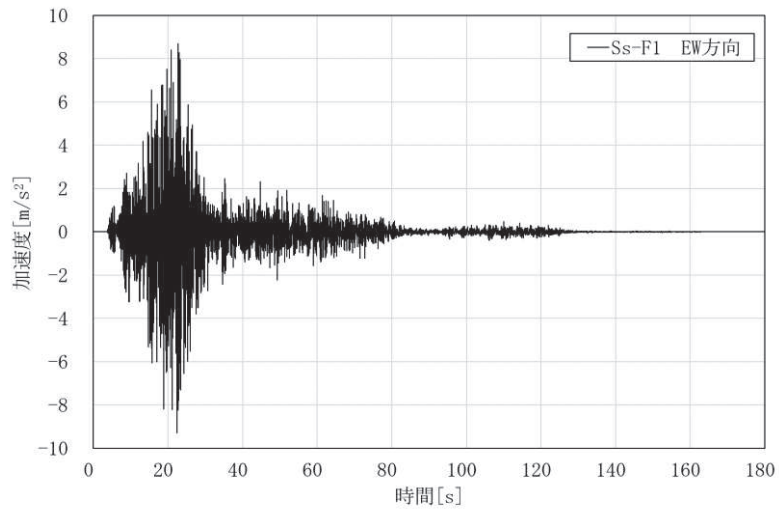


別添 2-5-3-19 図 基準地震動 S s (7波) と潤滑油オイルパンのスロッシング固有周期の関係 (短辺方向, EW 方向)

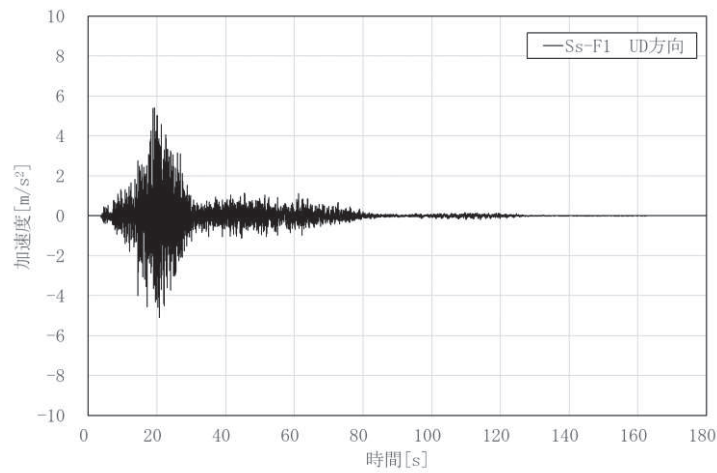
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



(1) 加速度時刻歴波形 (NS 方向)

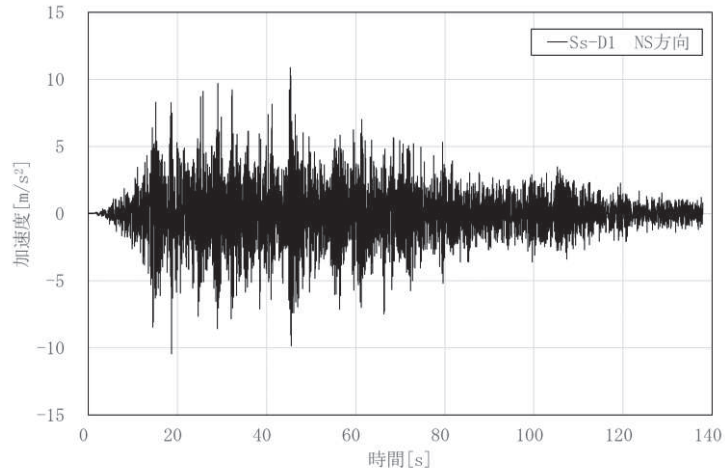


(2) 加速度時刻歴波形 (EW 方向)

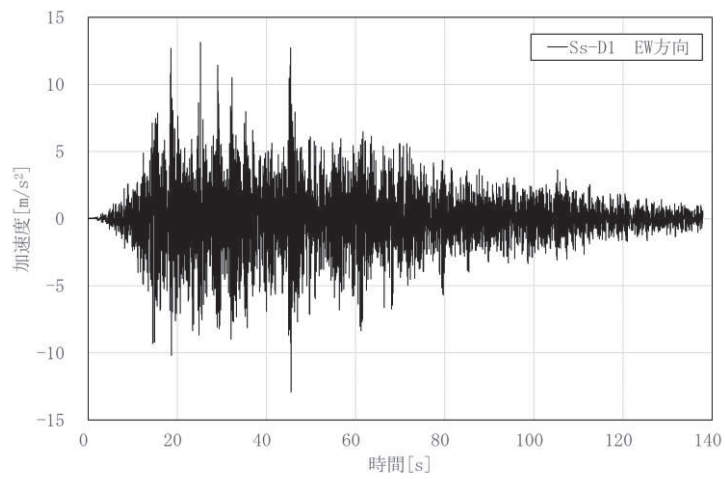


(3) 加速度時刻歴波形 (UD 方向)

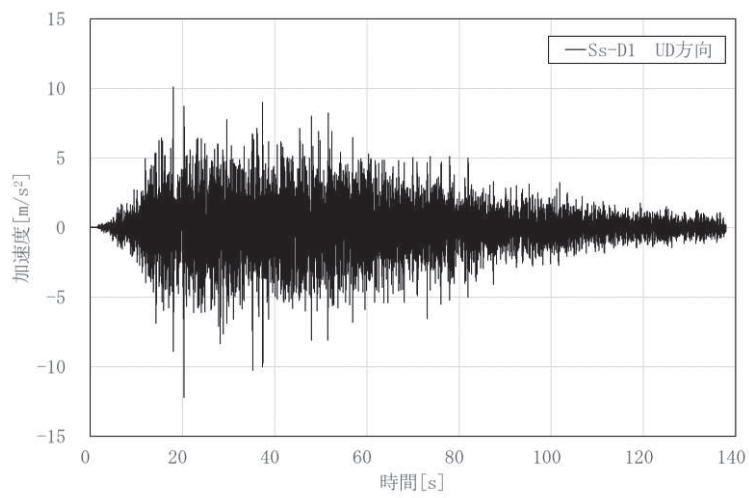
別添 2-5-3-20 図 基準地震動 S s - F 1 の時刻歴加速度波形



(1) 加速度時刻歴波形 (NS 方向)



(2) 加速度時刻歴波形 (EW 方向)



(3) 加速度時刻歴波形 (UD 方向)

別添 2-5-3-21 図 基準地震動 S s - D1 の時刻歴加速度波形

3.2.3 解析方法

潤滑油オイルパンは別添 2-5-3-15 図にて示したように、内部には潤滑油をディーゼル機関に送り出す出口配管と、タンク内部を3つの領域に分割する敷居板が設置されている。スロッシング解析においては、内部構造の影響を反映するため、出口配管と敷居板を境界条件としてモデル化する。初期条件として、タンク内の潤滑油液面は、通常時レベル (O.P. m) 状態で設定し、3次元流動解析により液面の変位を算出する。

3.2.4 解析条件

潤滑油オイルパンのスロッシング解析条件について、別添 2-5-3-5 表に示す。また、解析モデル図について、別添 2-5-3-22 図に示す。また実際に液位変動を評価する箇所として吸込口周辺の10箇所を選定し、モニター位置 (M1~M10) として設定し、液位については、このモニター位置において高さ方向に各メッシュの液体体積を積分した値をメッシュの水平面積で割ることで求める。

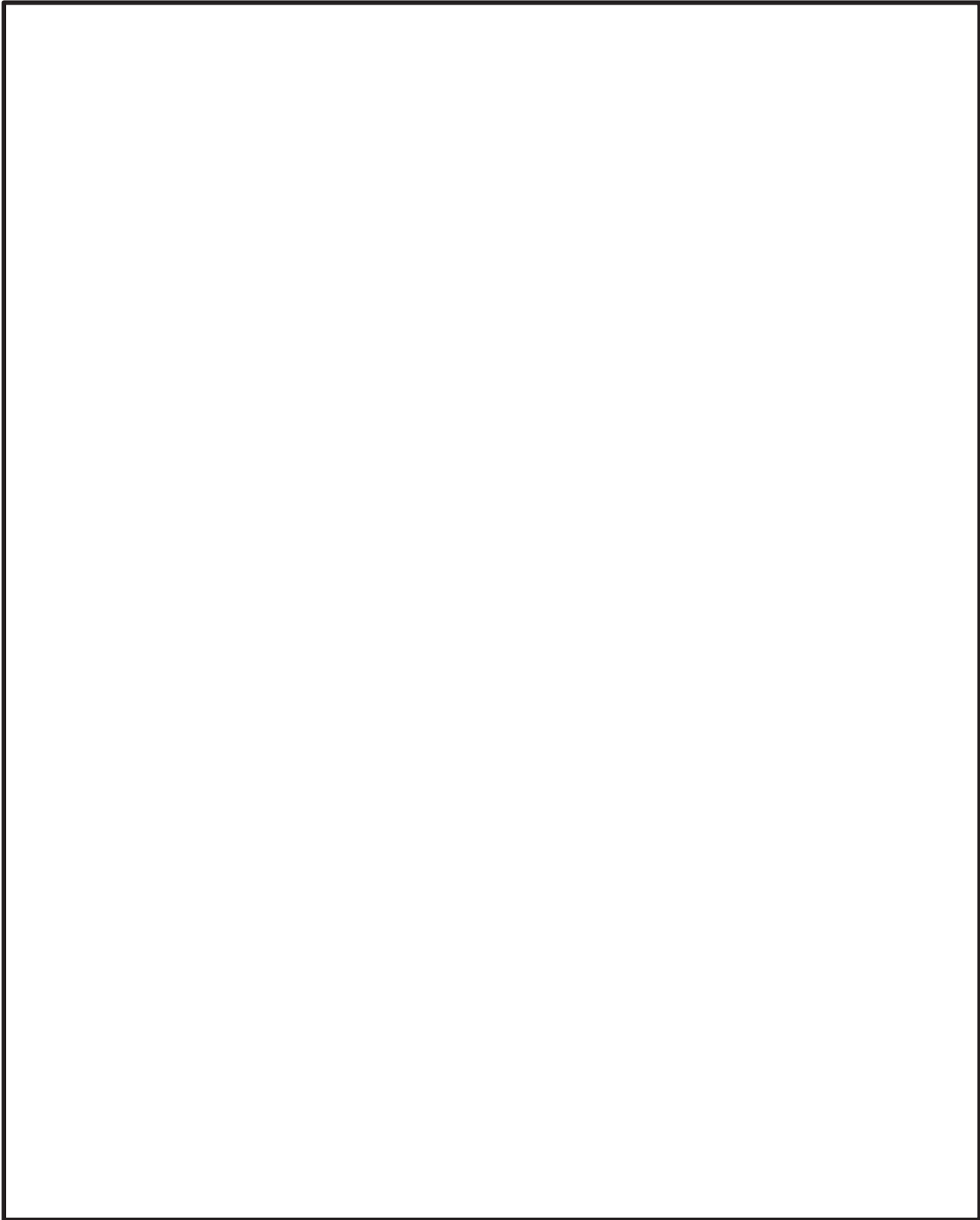
別添 2-5-3-5 表 3次元流動解析に用いた評価条件

オイルパン油面	
オイルパン 吸入口上端	
解析コード	
評価用地震波	
解析時間	
内部構造物	
解析条件	
その他	

注記*1：添付書類「VI-5-72 計算機プログラム（解析コード）の概要・Fluent」参照

*2：JIS K 2215 船用内燃機関用潤滑油 3種4号

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



別添 2-5-3-22 図 潤滑油オイルパンの解析モデル図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.2.5 スロッシング評価結果

潤滑油オイルパンのスロッシング解析結果として、モニター箇所における運転時レベルからの液位変動結果を別添 2-5-3-25 図及び別添 2-5-3-26 図に、液位変動結果から算出された最大変位量について別添 2-5-3-6 表に示す。

オイルパンのスロッシングは、オイルパン内部は通常時油面レベルを超える高さを持つ敷居板により分割されていること及び短辺方向の一次モードの固有周期における加速度が長辺方向よりも大きく、短辺方向にもスロッシングが生じていることから、液位変動の周期が短くなりスロッシング卓越振動数のモードが液位変動結果に発現していない。

スロッシングによる潤滑油液位の変動は、S s - D 1 の解析結果より得られた mm が最大値となっており、限界である油面レベル O.P. m まで十分な高さが確認されたことから、スロッシングが生じても潤滑油の供給機能に影響がないことを確認した。

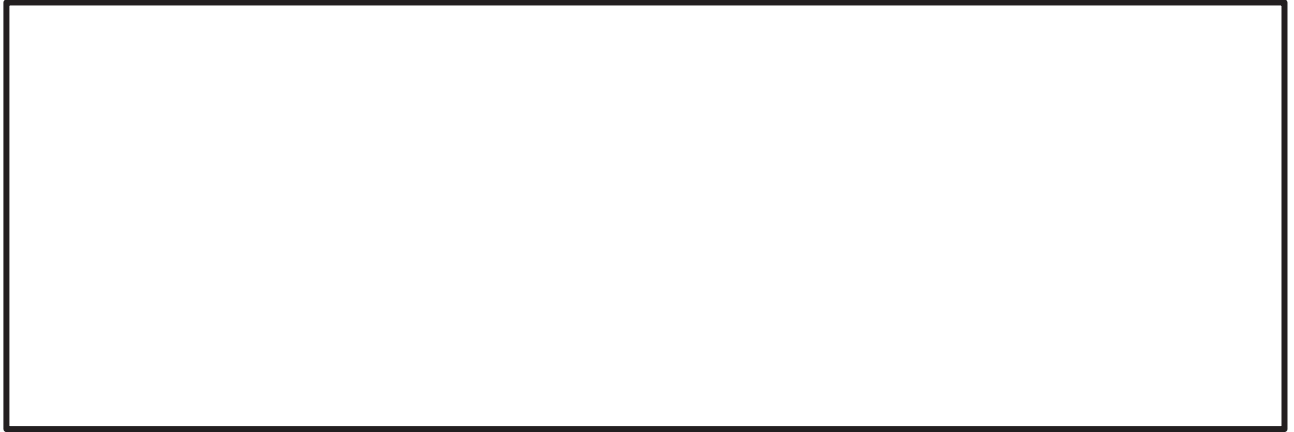
別添 2-5-3-6 表 潤滑油オイルパンのスロッシングによる液面変位

基準地震動	液面変位量*1 [mm]	許容変位量*2 (限界油面までの液深) [mm]	評価結果
S s - D 1			
S s - F 1			

注記*1：潤滑油吸込み口周りの最低液位を示すモニター箇所の液位

*2：許容変位量と通常時油面の関係を別添 2-5-3-23 図に示す

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

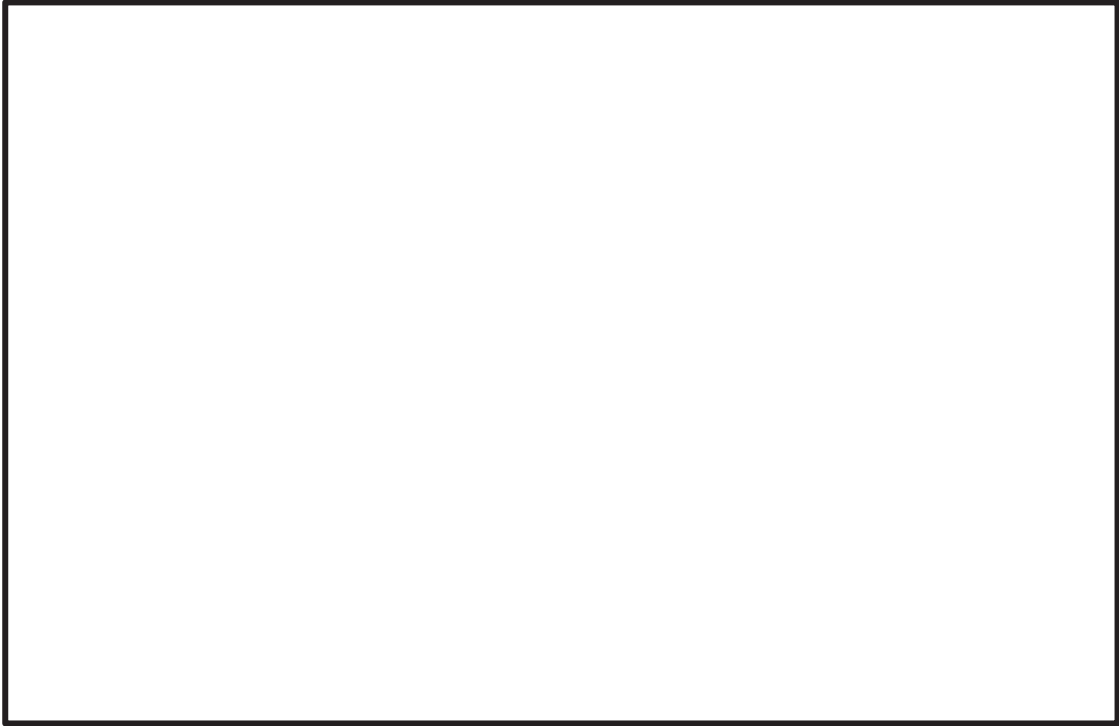


別添 2-5-3-23 図 液面レベルと出口配管の位置関係

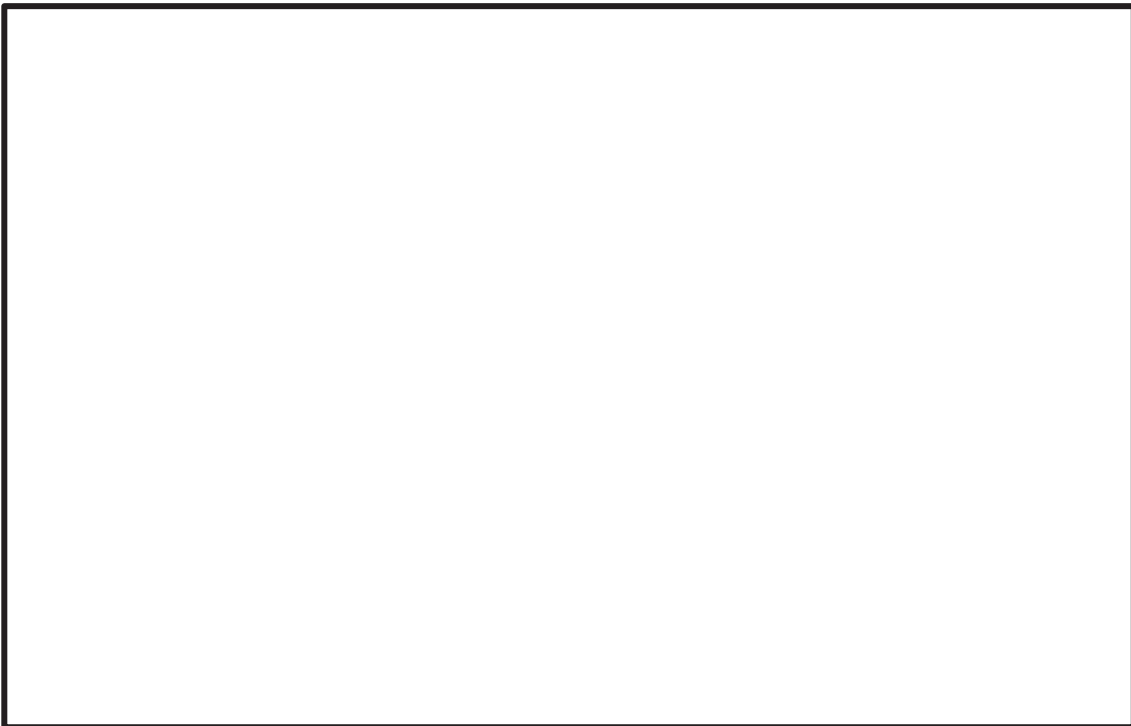


別添 2-5-3-24 図 潤滑油オイルパンスロッシング解析結果
(S s - D 1 最低液位発生時点)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



別添 2-5-3-25 図 潤滑油オイルパンのスロッシングによる液位の時間変化 (S s - D 1)



別添 2-5-3-26 図 潤滑油オイルパンのスロッシングによる液位の時間変化 (S s - F 1)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

非常用ディーゼル発電設備（発電機）の「詳細検討」

1. 「詳細検討」対象設備

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、発電機の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は、別紙 2-6-1 表のとおり。

別紙 2-6-1 表 機能確認済加速度との比較による評価結果

設備名称		形式	方向	機能維持 評価用 加速度*1	機能 確認済 加速度*1	超過の 有無*2
非常用ディー ゼル発電設備 (発電機)	非常用 ディーゼル 発電機	横形すべり 軸受	水平方向	1.67	2.6	○
			鉛直方向	1.17	1.0	×
	高圧炉心 スプレイ系 ディーゼル 発電機		水平方向	1.67	2.6	○
			鉛直方向	1.18	1.0	×

注記*1：加速度の単位： $\times 9.8\text{m/s}^2$

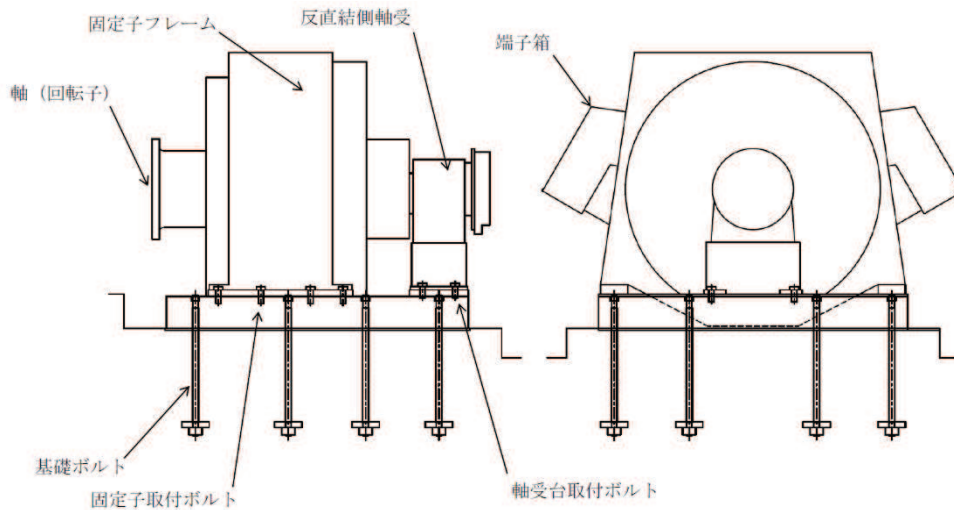
*2：機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過しない場合を「○」、超過した場合を「×」で示す。

2. 非常用ディーゼル発電機及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機の構造概要

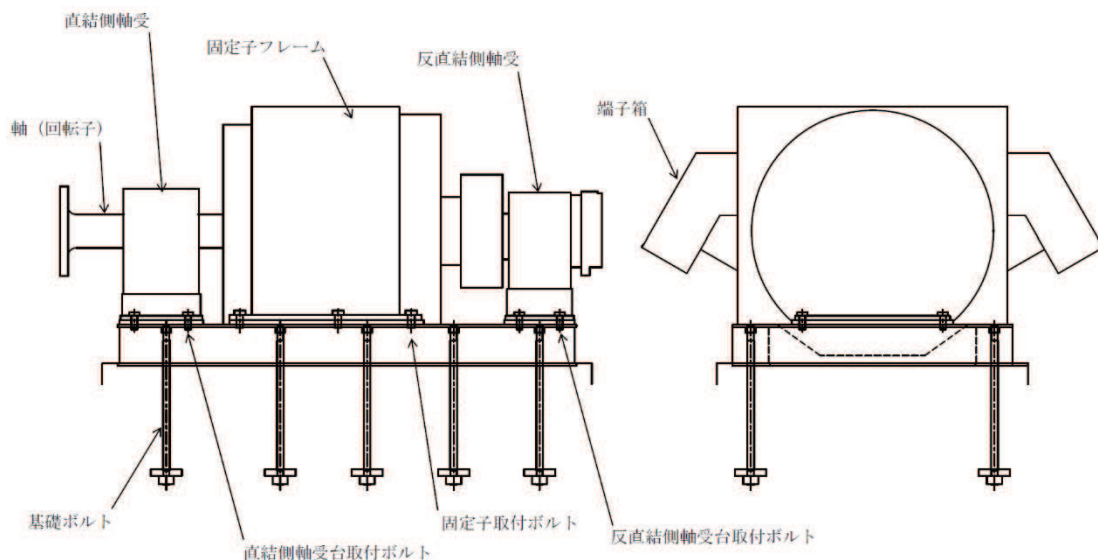
非常用ディーゼル発電機及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機の構造概要を別紙 2-6-1 図及び別紙 2-6-2 図に示す。

非常用ディーゼル発電機及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機は、電動機と同様に固定子フレーム、回転子とから構成される。また、非常用ディーゼル発電機は直結側に軸受を有し、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機は直結側と反直結側にそれぞれ軸受を有する構造をしている。軸受で回転子を支える構造から型式は横形すべり軸受に分類され、構造の類似性から「詳細検討」の評価項目は電動機に準ずるものとする。

また、非常用ディーゼル発電機の直結側軸受は非常用ディーゼル機関の一部を構成していることから、耐震計算書上の評価結果は添付書類「VI-2-10-1-2-1-1 非常用ディーゼル発電設備 機関・発電機の耐震性についての計算書」のうち、非常用ディーゼル機関側に記載する。



別紙 2-6-1 図 非常用ディーゼル発電機の構造概要図



別紙 2-6-2 図 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機の構造概要図

3. 電動機の基本評価項目

3.1 J E A G 4 6 0 1 に基づく基本評価項目

J E A G 4 6 0 1 において基本評価項目として定義されている評価部位は以下のとおりである。発電機の基本評価項目も電動機に準ずるものとする。

○部品の健全性

- ・ 固定子
- ・ 回転子
- ・ 端子箱

○回転機能の健全性

- ・ 軸
- ・ 軸受
- ・ 固定子と回転子間のクリアランス

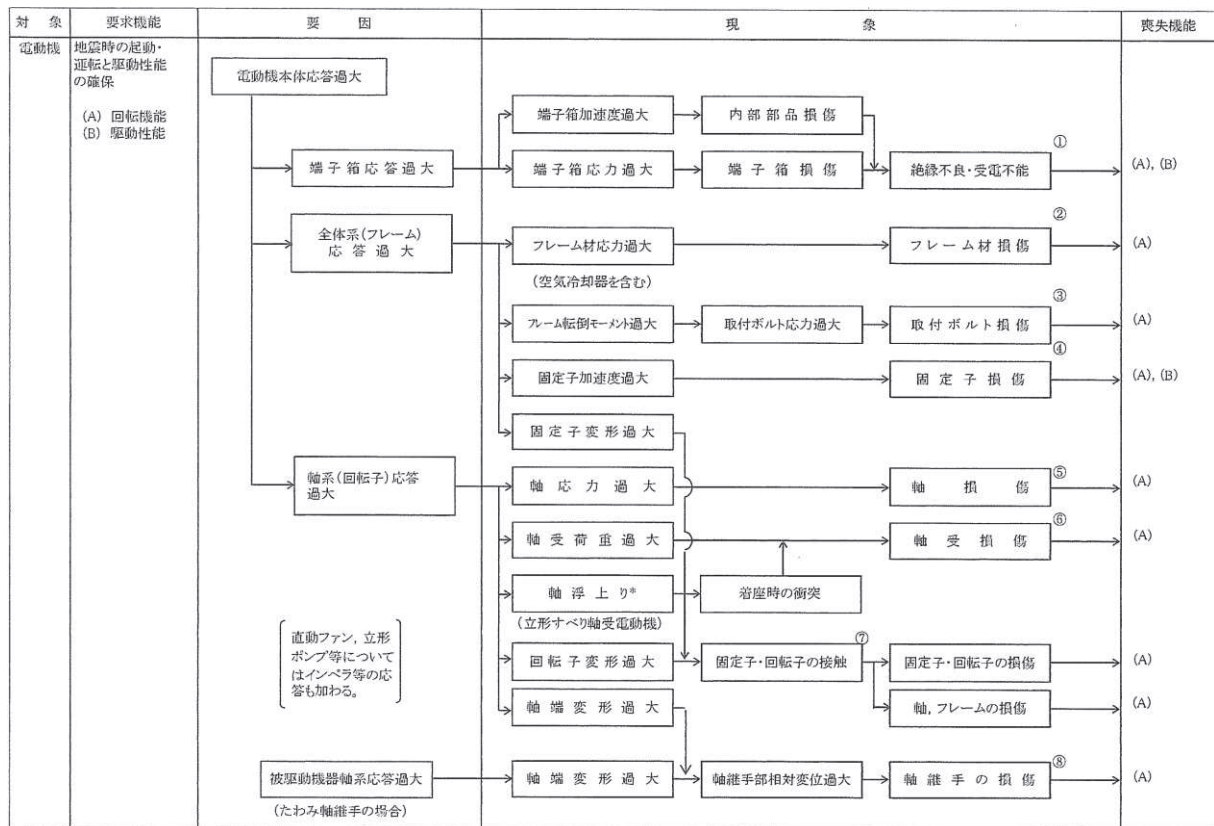
○各要素及び全体支持機能の健全性

- ・ 固定子フレーム
- ・ 取付ボルト
- ・ 基礎ボルト

3.2 耐特委で検討された基本評価項目

(1) 地震時異常要因分析

耐特委報告書における電動機の地震時異常要因分析結果を別紙 2-6-3 図に示す。



別紙 2-6-3 図 電動機の地震時異常要因分析図 (耐特委報告書)

(2) 基本評価項目の検討

耐特委報告書においては、地震時異常要因分析図に基づき、①～⑧の基本評価項目が抽出され、これらの基本評価項目について評価することで、回転機能及び駆動特性機能が確認できるとされており、機能確認済加速度を超える地震加速度レベルにおいても、これらの①～⑧の基本評価項目について、全て許容値以下に収まっていれば、動的機能は維持できると考えられる。

本項では、上記考え方に基づき、各基本評価項目における機能喪失に至る現象について記述する。

なお、全ての基本評価項目の中で、一つでも許容値を超えれば、当該機器は機能維持評価用加速度における動的機能が維持できないものとする。

① 端子箱の健全性

端子箱の応答が過大となることにより、端子箱もしくは内部部品^(注)が損傷し、絶縁不良になることにより送電機能が喪失する。

(注) 対象設備の端子箱は締結されたケーブルを囲う箱であり、内部部品はない。

② フレームの健全性

全体系（フレーム）の応答が過大となることにより、発電機構成部品の支持構造部材であるフレーム材の応力が過大となりフレームが損傷に至ることにより回転機能が喪失する。

③ 基礎ボルト及び取付ボルトの健全性

発電機の応答が過大となって発生する転倒モーメントにより基礎ボルト及び取付ボルトに発生する応力が過大となり損傷に至り、全体系が転倒することにより回転機能が喪失する。

④ 固定子の健全性

全体系の応答が過大となることにより、固定子自身に作用する加速度が過大となり固定子の損傷に至ることにより送電機能が喪失する。

⑤ 軸の健全性

軸系（回転子）の応答が過大となることで軸応力が過大となり、軸が損傷することにより回転機能が喪失する。

⑥ 軸受の健全性

軸系（回転子）の応答が過大となることで軸受荷重が過大となり、軸受が損傷することで軸の回転が阻害され、回転機能が喪失する。

⑦ 固定子・回転子の健全性

全体系（フレーム）の応答が過大となることによる固定子変形量の増大に加え、軸系（回転子）の応答が過大となることによる回転子変形量の増大により、固定子・回転子の接触が発生し、固定子・回転子が損傷することで回転機能が喪失する。

⑧ 軸継手の健全性

被駆動機（発電機）軸と機関軸の相対変位が過大となり、軸継手が損傷することで被駆動器への回転運動の伝達が喪失する。

4. 電動機の「詳細検討」方針

J E A G 4 6 0 1 及び耐特委の内容を踏まえた、女川原子力発電所第2号機の電動機の動的機能維持評価に係る「詳細検討」方針について別紙2-6-2表に示す。別紙2-6-2表に示すとおり、基本評価項目No.1～6に対して耐震評価を実施し動的機能の健全性確認を実施する。発電機の「詳細検討」方針も電動機に準ずるものとする。

別紙2-6-2表 電動機における動的機能維持評価の基本評価項目の検討結果 (1/2)

No	基本評価項目	J E A G 4 6 0 1の 基本評価項目	耐特委の基 本評価項目	検討方針	記載箇所 ^{*1}
1	端子箱（取付ボルト）	○	○	発電機の端子箱本体は、地震加速度の大きさに関わらず取付ボルトに最も荷重が作用する。また、端子箱は締結されたケーブルを囲う箱であり、内部部品はないことから、端子箱取付ボルトの発生応力を評価する。 ^{*2}	②
2	フレーム	○	○	フレームは固定子を支持する構造物であり、地震時にはこれら構成部材に作用する地震荷重によりフレームに有意な荷重が作用することから、フレームの発生応力を評価する。 ^{*2}	②
3	固定子	○	○	固定子自身に作用する加速度が過大となり固定子の損傷に至ることにより回転機能及び駆動特性機能喪失に関わるため、固定子の発生応力を評価する。 ^{*2}	②
4	軸（回転子）	○	○	回転機能保持の観点から、軸（回転子）の発生応力を評価する。 ^{*2}	②
5	軸受	○	○	回転機能保持の観点から、軸受の発生荷重を評価する。 ^{*2}	②

注記*1：本資料で詳述の場合「①」、添付書類に記載の場合「②」、省略の場合を「-」で示す。

*2：添付書類「VI-2-10-1-2-1-1 非常用ディーゼル発電設備 機関・発電機の耐震性についての計算書」及び「VI-2-10-1-2-2-1 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 機関・発電機の耐震性についての計算書」に記載。

別紙 2-6-2 表 電動機における動的機能維持評価の基本評価項目の検討結果 (2/2)

No	基本評価項目	J E A G 4 6 0 1 の 基本評価項目	耐特委の基 本評価項目	検討方針	記載箇所*1
6	固定子と 回転子の クリアラ ンス	○	○	回転子変形量の増大により、固定子・回転子の接触が発生し、回転機能喪失に関わるため、回転子のたわみを評価する。*2	②
7	軸継手	—	○	軸継手は発電機軸と機関軸をリジットに接続するタイプであり、相対変位が発生しないこと、及び地震荷重については軸受で負担するため軸継手部には有意な応力が発生しないことから、軸継手の評価を省略する。	—
8	取付ボルト、基礎ボルト	○	○	取付ボルト及び基礎ボルトは構造強度評価対象として耐震計算書で健全性を確認していることから動的機能維持評価の計算書への記載を省略する。*2	— (構造強度評価対象)

注記*1：本資料で詳述の場合「①」、添付書類に記載の場合「②」、省略の場合を「—」で示す。

*2：添付書類「VI-2-10-1-2-1-1 非常用ディーゼル発電設備 機関・発電機の耐震性についての計算書」及び「VI-2-10-1-2-2-1 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 機関・発電機の耐震性についての計算書」に記載。

5. 非常用ディーゼル発電機及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機の許容値の設定
 非常用ディーゼル発電機及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機の「詳細検討」内容に対する許容値を別紙 2-6-3 表に示す。

別紙 2-6-3 表 非常用ディーゼル発電機及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機の許容値

No	基本評価項目	許容値の設定
1	端子箱（取付ボルト）	絶縁, 受電機能の確保の観点から, 通常材料の実降伏点が設計値に対し余裕があることを考慮し, 概ね降伏点以下と同等とした値として許容応力状態Ⅳ _A S を許容値とした。
2	フレーム	発電機本体の機能維持の観点から, フレームの発生応力を弾性範囲内に留めるようⅢ _A S を許容値とした。
3	固定子	固定子の機能維持の観点から, 固定子の発生応力を弾性範囲内に留めるようⅢ _A S を許容値とした。
4	軸（回転子）	回転機能の確保の観点から, 軸（回転子）の発生応力を弾性範囲内に留めるようⅢ _A S を許容値とした。
5	軸受	軸受の機能維持の観点から, 軸受の許容面圧荷重を許容値とした。
6	固定子と回転子のクリアランス	軸（回転子）と固定子の接触により回転機能が阻害されるといふ観点から, これらのクリアランスを許容値とした。

6. 非常用ディーゼル発電機及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機の「詳細検討」結果

発電機の動的機能維持評価の「詳細検討」対象設備に対する「詳細検討」結果を別紙 2-6-4 表、別紙 2-6-5 表に示す。

「詳細検討」対象設備である各発電機に対する「詳細検討」結果は、いずれも、全ての評価部位の発生値が許容値を満足しており、「詳細検討」対象設備である各発電機の動的機能維持が確保されることを確認した。

なお、各発電機の動的機能維持評価の詳細については、耐震計算書「VI-2-10-1-2-1-1 非常用ディーゼル発電設備 機関・発電機の耐震性についての計算書」, 「VI-2-10-1-2-2-1 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 機関・発電機の耐震性についての計算書」に示す。

別紙 2-6-4 表 非常用ディーゼル発電機 「詳細検討」結果 (1/2)

評価部位	項目	応力分類	算出式*1	発生値	許容値	評価
界磁用端子箱 (取付ボルト)	応力	引張り	$\sigma_{bti} = \frac{F_{bti}}{A_{bti}}$ F _{bti} :端子箱取付ボルトに作用する引張力 A _{bti} :端子箱取付ボルトの断面積	2MPa	189MPa	○
	応力	せん断	$\tau_{bti} = \frac{Q_{bti}}{n_{bti} \cdot A_{bti}}$ Q _{bti} :端子箱取付ボルトに作用するせん断力 n _{bti} :端子箱取付ボルトの本数	1MPa	146MPa	○
線路用端子箱 (取付ボルト)	応力	引張り	$\sigma_{bti} = \frac{F_{bti}}{A_{bti}}$ F _{bti} :端子箱取付ボルトに作用する引張力 A _{bti} :端子箱取付ボルトの断面積	18MPa	189MPa	○
	応力	せん断	$\tau_{bti} = \frac{Q_{bti}}{n_{bti} \cdot A_{bti}}$ Q _{bti} :端子箱取付ボルトに作用するせん断力 n _{bti} :端子箱取付ボルトの本数	3MPa	146MPa	○
中性点用端子箱 (取付ボルト)	応力	引張り	$\sigma_{bti} = \frac{F_{bti}}{A_{bti}}$ F _{bti} :端子箱取付ボルトに作用する引張力 A _{bti} :端子箱取付ボルトの断面積	18MPa	189MPa	○
	応力	せん断	$\tau_{bti} = \frac{Q_{bti}}{n_{bti} \cdot A_{bti}}$ Q _{bti} :端子箱取付ボルトに作用するせん断力 n _{bti} :端子箱取付ボルトの本数	3MPa	146MPa	○

別紙 2-6-4 表 非常用ディーゼル発電機 「詳細検討」 結果 (2/2)

評価部位	項目	応力分類	算出式*1	発生値	許容値	評価
速度検出器 用端子箱(取 付ボルト)	応力	引張り	$\sigma_{bti} = \frac{F_{bti}}{A_{bti}}$ F _{bti} :端子箱取付ボルトに作用する引張力 A _{bti} :端子箱取付ボルトの断面積	2MPa	189MPa	○
	応力	せん断	$\tau_{bti} = \frac{Q_{bti}}{n_{bti} \cdot A_{bti}}$ Q _{bti} :端子箱取付ボルトに作用するせん断力 n _{bti} :端子箱取付ボルトの本数	1MPa	146MPa	○
フレーム	応力	組合せ	$\sigma_{fm} = \frac{1}{2} \cdot \sigma_f + \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\sigma_f^2 + 4 \cdot \tau_f^2}$ σ _f :フレーム取付脚に生じる曲げ応力 τ _f :フレーム取付脚に生じるせん断応力	90MPa	316MPa	○
固定子	応力	せん断	$\tau_k = \frac{F_k}{n_{kp} \cdot A_{kp}}$ F _k :固定子に生じる組合せ荷重 n _{kp} :固定子固定ピンの本数 A _{kp} :固定子固定ピンの断面積	14MPa	172MPa	○
軸(回転子)	応力	組合せ	$\sigma_{sm} = \frac{1}{2} \cdot \sigma_s + \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\sigma_s^2 + 4 \cdot \tau_s^2}$ σ _s :軸に生じる曲げ応力 τ _s :発電機の回転によるねじり応力	155MPa	316MPa	○
軸受	荷重	(反直結側)	$\sigma_{bi} = \frac{F_{bi}}{S_{bi}}$ F _{bi} :軸受に生じる荷重 S _{bi} :軸受の投影面積	3MPa	5MPa	○
固定子と回 転子のクリ アランス	変位	—	$t = \frac{F_s \cdot L_2 \cdot \{L^2 - L_2^2\}^{3/2}}{9 \cdot \sqrt{3} \cdot E \cdot I_s \cdot L}$ F _s :軸の重心位置に生じる荷重 L ₂ :反直結側軸受から軸重心までの距離 L:軸受間の距離 E:軸の縦弾性係数 I _s :軸の断面二次モーメント	5.11mm		○

注記*1: 添付書類「VI-2-10-1-2-1-1 非常用ディーゼル発電設備 機関・発電機の耐震性につ
いての計算書」に記載。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別紙 2-6-5 表 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機 「詳細検討」 結果 (1/2)

評価部位	項目	応力分類	算出式*1	発生値	許容値	評価
界磁用端子箱 (取付ボルト)	応力	引張り	$\sigma_{bti} = \frac{F_{bti}}{A_{bti}}$ F _{bti} :端子箱取付ボルトに作用する引張力 A _{bti} :端子箱取付ボルトの断面積	2MPa	189MPa	○
	応力	せん断	$\tau_{bti} = \frac{Q_{bti}}{n_{bti} \cdot A_{bti}}$ Q _{bti} :端子箱取付ボルトに作用するせん断力 n _{bti} :端子箱取付ボルトの本数	1MPa	146MPa	○
線路用端子箱 (取付ボルト)	応力	引張り	$\sigma_{bti} = \frac{F_{bti}}{A_{bti}}$ F _{bti} :端子箱取付ボルトに作用する引張力 A _{bti} :端子箱取付ボルトの断面積	18MPa	189MPa	○
	応力	せん断	$\tau_{bti} = \frac{Q_{bti}}{n_{bti} \cdot A_{bti}}$ Q _{bti} :端子箱取付ボルトに作用するせん断力 n _{bti} :端子箱取付ボルトの本数	3MPa	146MPa	○
中性点用端子箱 (取付ボルト)	応力	引張り	$\sigma_{bti} = \frac{F_{bti}}{A_{bti}}$ F _{bti} :端子箱取付ボルトに作用する引張力 A _{bti} :端子箱取付ボルトの断面積	18MPa	189MPa	○
	応力	せん断	$\tau_{bti} = \frac{Q_{bti}}{n_{bti} \cdot A_{bti}}$ Q _{bti} :端子箱取付ボルトに作用するせん断力 n _{bti} :端子箱取付ボルトの本数	3MPa	146MPa	○
速度検出器用端子箱 (取付ボルト)	応力	引張り	$\sigma_{bti} = \frac{F_{bti}}{A_{bti}}$ F _{bti} :端子箱取付ボルトに作用する引張力 A _{bti} :端子箱取付ボルトの断面積	2MPa	189MPa	○
	応力	せん断	$\tau_{bti} = \frac{Q_{bti}}{n_{bti} \cdot A_{bti}}$ Q _{bti} :端子箱取付ボルトに作用するせん断力 n _{bti} :端子箱取付ボルトの本数	1MPa	146MPa	○

注記*1: 添付書類「VI-2-10-1-2-2-1 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 機関・発電機の耐震性についての計算書」に記載。

別紙 2-6-5 表 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機 「詳細検討」 結果 (2/2)

評価部位	項目	応力分類	算出式*1	発生値	許容値	評価
フレーム	応力	組合せ	$\sigma_{fm} = \frac{1}{2} \cdot \sigma_f + \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\sigma_f^2 + 4 \cdot \tau_f^2}$ $\sigma_f: \text{フレーム取付脚に生じる曲げ応力}$ $\tau_f: \text{フレーム取付脚に生じるせん断応力}$	113MPa	316MPa	○
固定子	応力	せん断	$\tau_k = \frac{F_k}{0.7 \cdot s \cdot \ell \cdot n_w}$ $F_k: \text{固定子に生じる組合せ荷重}$ $s: \text{固定子溶接部のすみ肉脚長}$ $\ell: \text{固定子の溶接長さ}$	3MPa	54MPa	○
軸 (回転子)	応力	組合せ	$\sigma_{sm} = \frac{1}{2} \cdot \sigma_s + \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\sigma_s^2 + 4 \cdot \tau_s^2}$ $\sigma_s: \text{軸に生じる曲げ応力}$ $\tau_s: \text{発電機の回転によるねじり応力}$	131MPa	316MPa	○
軸受	荷重	(直結側)	$\sigma_{bi} = \frac{F_{bi}}{S_{bi}}$ $F_{bi}: \text{軸受に生じる荷重}$ $S_{bi}: \text{軸受の投影面積}$	2MPa	5MPa	○
	荷重	(反直結側)	$\sigma_{bi} = \frac{F_{bi}}{S_{bi}}$ $F_{bi}: \text{軸受に生じる荷重}$ $S_{bi}: \text{軸受の投影面積}$	2MPa	5MPa	○
固定子と回転子のクリアランス	変位	—	$t = \frac{F_s \cdot L_1 \cdot \{L^2 - L_1^2\}^{3/2}}{9 \cdot \sqrt{3} \cdot E \cdot I_s \cdot L}$ $F_s: \text{軸の重心位置に生じる荷重}$ $L_1: \text{直結側軸受から軸重心までの距離}$ $L: \text{軸受間の距離}$ $E: \text{軸の縦弾性係数}$ $I_s: \text{軸の断面二次モーメント}$	4.41mm		○

注記*1: 添付書類「VI-2-10-1-2-2-1 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 機関・発電機の耐震性についての計算書」に記載。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

往復動式ポンプの「詳細検討」

1. 詳細検討対象設備

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，往復動式ポンプの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は，別紙 2-7-1 表のとおり。

別紙 2-7-1 表 機能確認済加速度との比較による評価結果

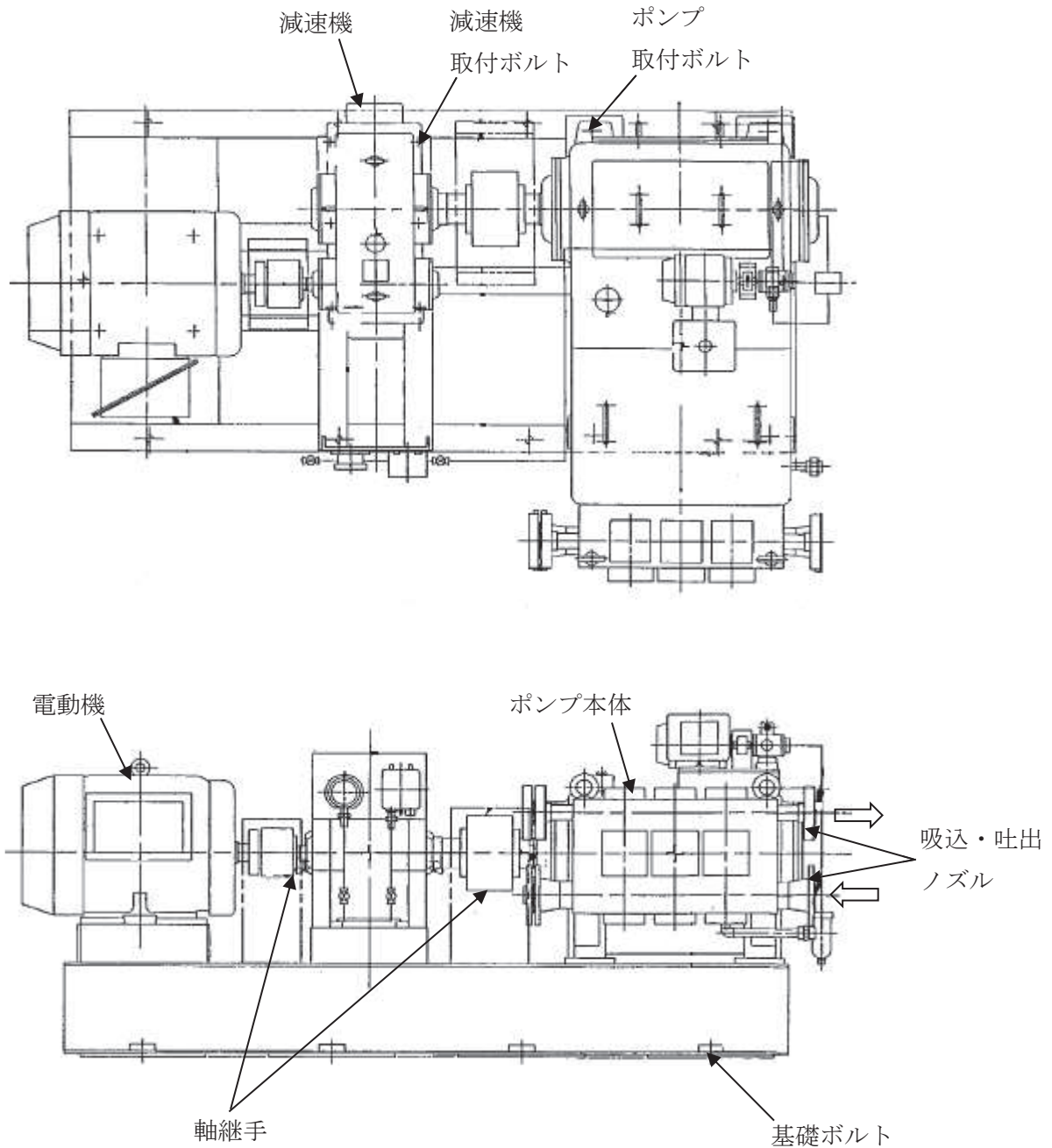
設備名称	形式	方向	機能維持 評価用加速度*1	機能確認済 加速度*1	超過の 有無*2
ほう酸水注入系 ポンプ	横形 3 連往復動 式	水平方向	1.77	1.6	×
		鉛直方向	1.30	1.0	×

注記*1：加速度の単位： $\times 9.8\text{m/s}^2$

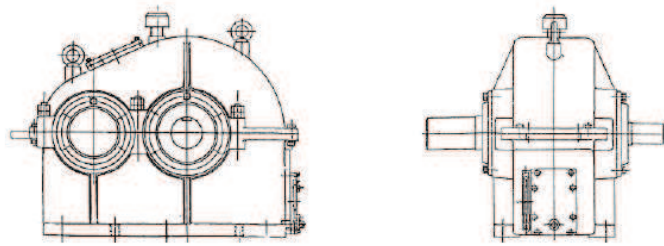
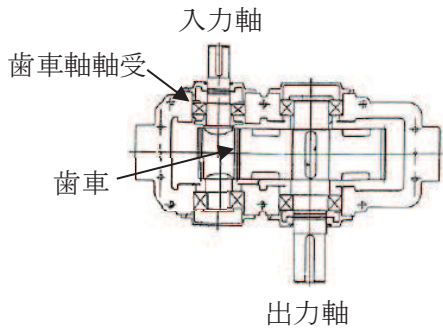
*2：機能維持評価用加速度が機能維持確認済加速度を超過しない場合を「○」，超過した場合は「×」で示す。

2. 往復動式ポンプの構造概要

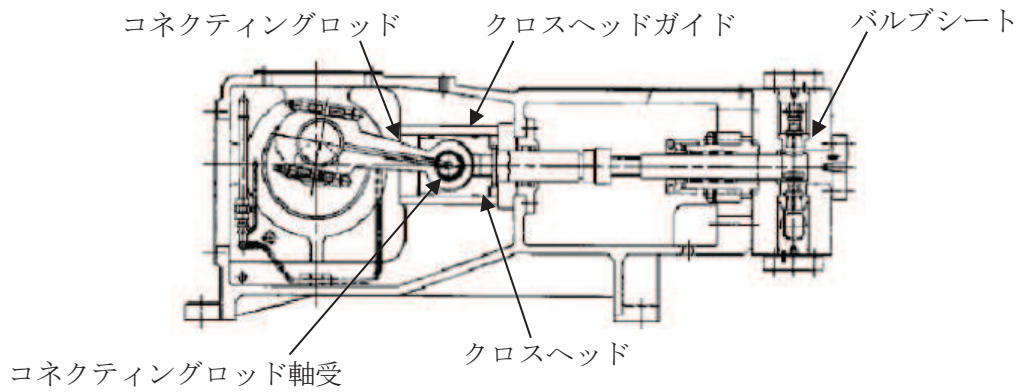
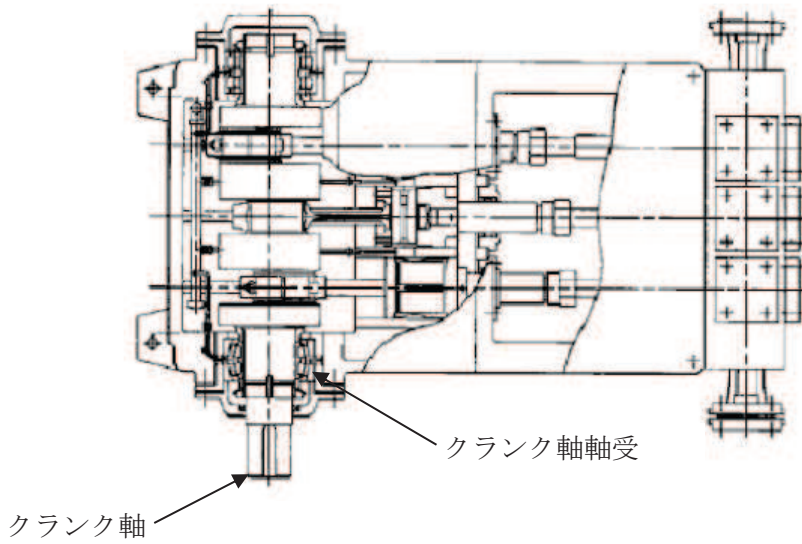
詳細評価が必要となった往復動式ポンプの構造概要を別紙 2-7-1 図に示す。往復動式ポンプは、既往研究により、軸系及び構造系ともに剛な構造であることが確認されている。



別紙 2-7-1 図 往復動式ポンプの構造概要図 (1/2)



減速機



別紙 2-7-1 図 往復動式ポンプの構造概要図 (2/2)

3. 往復動式ポンプの基本評価項目

3.1 J E A G 4 6 0 1に基づく基本評価項目

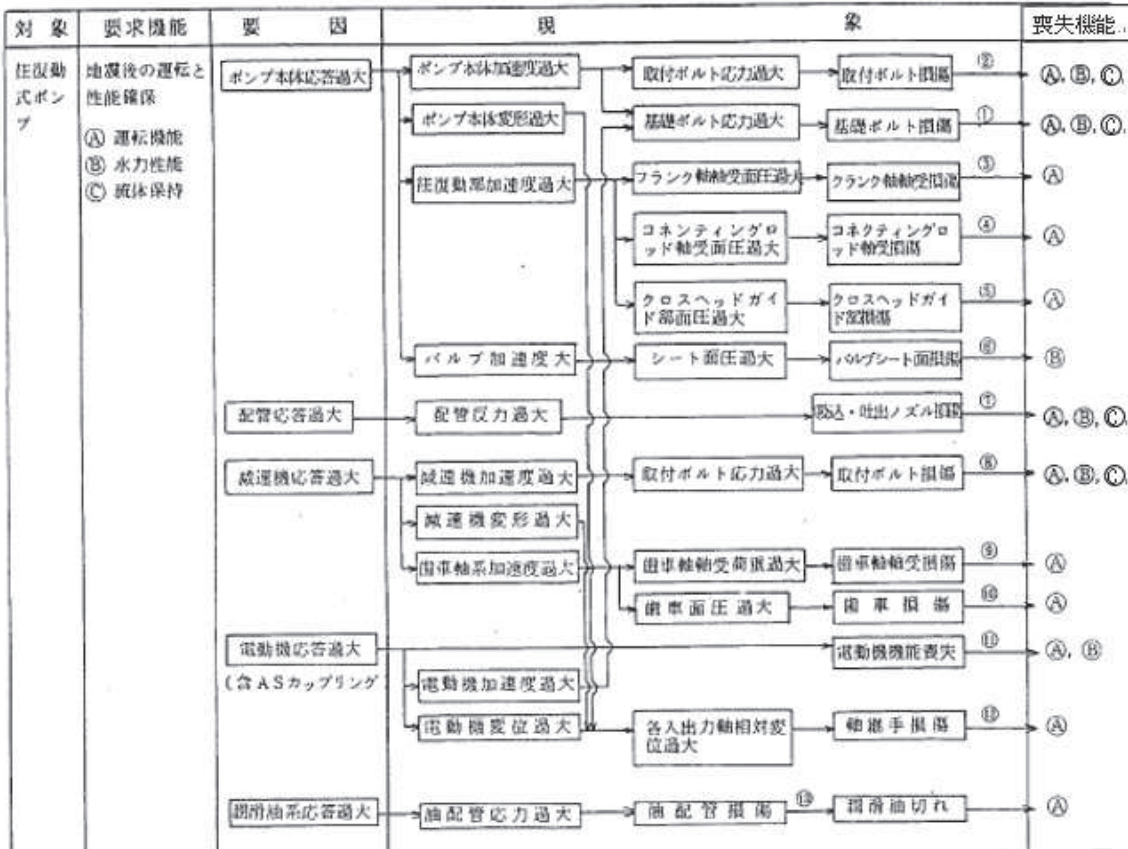
J E A G 4 6 0 1において基本評価項目として定義されている評価部位は以下のとおりである。

- ・基礎ボルト
- ・ポンプ取付ボルト
- ・減速機取付ボルト
- ・軸継手
- ・クランク軸軸受
- ・コネクティングロッド軸軸受
- ・バルブシート
- ・歯車軸軸受
- ・減速機歯車
- ・クランク軸
- ・歯車軸

3.2 耐特委で検討された基本評価項目

(1) 地震時異常要因分析

耐特委報告書における往復動式ポンプの地震時異常要因分析結果を別紙 2-7-2 図に示す。



別紙 2-7-2 図 往復動式ポンプの地震時異常要因分析図 (耐特委報告書)

(2) 基本評価項目の検討

耐特委報告書においては、地震時異常要因分析図に基づき、①～⑬の基本評価項目が抽出されており、これらの基本評価項目について評価することで、運転機能及び水力特性機能、流体保持機能が確認できるとされており、機能確認済加速度を超える地震加速度レベルにおいても、これら①～⑬の基本評価項目について、全て許容値以下に収まっていれば、動的機能は維持できると考えられる。

本項では、上記考え方に基づき、各基本評価項目における機能喪失に至る現象について記述する。

なお、全ての基本評価項目の中で、一つでも許容値を超えれば、当該機器は機能維持評価用加速度における動的機能が維持できないものとするが、各評価結果が概ね弾性域内に留まっていれば、各異常要因が複合し、新たな損傷モードが発生することはないと考えられる。

①基礎ボルトの健全性

ポンプ全体系の応答が過大となることで、転倒モーメントにより基礎ボルトの応力が過大となり損傷に至り、全体系が転倒することにより機能喪失する。

②ポンプ取付ボルトの健全性

ポンプ全体系の応答が過大となることで、転倒モーメントによりポンプ取付ボルトの応力が過大となり損傷に至り、全体系が転倒することにより機能喪失する。

③クランク軸軸受の健全性

軸受荷重が過大となり、軸受が損傷することで運転機能が喪失する。

④コネクティングロッド軸軸受の健全性

軸受荷重が過大となり、軸受が損傷することで運転機能が喪失する。

⑤クロスヘッドガイド摺動部の健全性

クロスヘッドガイド部の面圧が過大となり、クロスヘッドガイド部が損傷することで運転機能が喪失する。

⑥バルブシート面の健全性

バルブシート面の面圧が過大となり、バルブシート面が損傷することで水力性能機能が喪失する。

⑦吸込・吐出ノズルの健全性

接続配管の応答が過大となり、吸込・吐出ノズルが損傷することで機能喪失する。

⑧減速機取付ボルトの健全性

減速機の応答が過大となることで、転倒モーメントにより減速機取付ボルトの応力が過大となり損傷に至り、減速機が転倒することにより機能喪失する。

⑨減速機歯車軸軸受の健全性

軸受荷重が過大となり、軸受が損傷することで運転機能が喪失する。

⑩減速機歯車の健全性

歯車の面圧が過大となり、歯車が損傷することで運転機能が喪失する。

⑪電動機の健全性

電動機の応答が過大になり電動機の機能が喪失することで、運転機能及び水力性能が喪失する。

⑫軸継手の健全性

各入出力軸の相対変位が過大となり、軸継手が損傷することで運転機能が喪失する。

⑬油配管の健全性

油配管の応答が過大となり、損傷することで潤滑油切れに至り、運転機能が喪失する。

4. 往復動式ポンプの「詳細検討」内容

J E A G 4 6 0 1 及び耐特委の内容を踏まえた、女川原子力発電所第 2 号機の往復動式ポンプの動的機能維持評価に係る「詳細検討」方針について別紙 2-7-2 表に示す。別紙 2-7-2 表に示すとおり、基本評価項目 No. 1~15 に対して耐震評価を実施し動的機能の健全性確認を実施する。

別紙 2-7-2 表 往復動式ポンプの動的機能維持評価に係る「詳細検討」方針(1/2)

No	基本評価項目	J E A G 4 6 0 1 の 基本評価項目	耐特委の 基本評価 項目	検討方針	記載 箇所*1
1	基礎ボルト	○	○	本評価項目は、構造強度評価に従い設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認している為評価を省略する。*2	②
2	ポンプ取付ボルト	○	○	本評価項目は、構造強度評価に従い設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認している為評価を省略する。*2	②
3	減速機取付ボルト	○	○	本評価項目は、構造強度評価に従い設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認している為評価を省略する。*2	②
4	軸継手	○	○	軸変位量の増大により、被駆動器軸と電動機軸の相対変位が過大となり、運転機能の喪失に関わるため、軸方向変位を評価する。*2	②
5	クランク軸軸受	○	○	運転機能保持の観点から、クランク軸軸受の発生荷重を評価する。*2	②
6	コネクティング ロッド軸軸受	○	○	運転機能保持の観点から、コネクティングロッド軸軸受の面圧を評価する。*2	②
7	クロスヘッドガイド摺動部	—	○	クロスヘッドガイド摺動部面圧が過大となり、クロスヘッドガイド部が損傷することで、運転機能の喪失に関わるため、クロスヘッドガイド摺動部面圧を評価する。	①
8	バルブシート	○	○	バルブの応答が過大となることで、バルブシート面圧が過大となり、バルブシート面が損傷することにより水力性能が喪失するため、バルブシート面圧を評価する。*2	②
9	歯車軸軸受	○	○	運転機能保持の観点から、歯車軸軸受の発生荷重を評価する。*2	②
10	減速機歯車	○	○	運転機能保持の観点から、歯車の発生荷重を評価する。*2	②
11	クランク軸	○	○	運転機能保持の観点から、材料力学等の公式により、クランク軸の発生応力評価を実施。*2	②
12	歯車軸	○	○	運転機能保持の観点から、歯車軸の発生応力を評価する。*2	②

注記*1：本資料で詳述の場合「①」、添付書類に記載の場合「②」、省略の場合を「—」で示す。

*2：添付書類「VI-2-6-4-1-1 ほう酸水注入系ポンプの耐震性についての計算書」に記載。

別紙 2-7-2 表 往復動式ポンプの動的機能維持評価に係る「詳細検討」方針(2/2)

No	基本評価項目	J E A G 4 6 0 1 の 基本評価項目	耐特委の 基本評価 項目	検討方針	記載 箇所*1
13	電動機	—	○	本評価項目の評価は、別項目で行うため省略する。*2	②
14	油配管	—	○	油配管の応答が過大となり、損傷することで潤滑油切れに至り、運転機能喪失に関わるため、油配管の発生応力を評価する。	①
15	吸込・吐出ノズル	—	○	吸込・吐出ノズル部はポンプケーシングと配管の接続部であるが、ノズル出入口配管のサポートについて適切に配管設計することで、ノズル部に過大な配管荷重が伝わらないようにすることが可能であるためケーシングノズルは動的機能維持評価の対象外とする。	—

注記*1：本資料で詳述の場合「①」、添付書類に記載の場合「②」、省略の場合を「—」で示す。

*2：添付書類「VI-2-6-4-1-1 ほう酸水注入系ポンプの耐震性についての計算書」に記載。

5. 往復動式ポンプの許容値の設定

往復動式ポンプの動的機能維持評価の詳細検討内容に対する許容値を別紙 2-7-3 表に示す。

往復動式ポンプの詳細検討対象設備に対する基本評価項目が許容値以下となることを確認することで、詳細検討対象設備の動的機能維持が確保されると判断する。

別紙 2-7-3 表 往復動式ポンプの許容値

No	基本評価項目	許容値の設定
1	軸継手	軸継手は、変位可能寸法を許容値とした。
2	クランク軸軸受	クランク軸軸受の機能維持の観点から、メーカー規定の軸受定格荷重を許容値とした。
3	コネクティングロッド軸軸受	コネクティングロッド軸軸受の機能維持の観点から、メーカー規定の軸受許容荷重を許容値とした。
4	クロスヘッドガイド摺動部	摺動部の機能維持の観点から、メーカー規定の許容値を許容値とした。
5	バルブシート面	バルブシートの機能維持の観点から、メーカー規定の許容面圧を許容値とした。
6	歯車軸軸受	歯車軸軸受の機能維持の観点から、メーカー規定の軸受定格荷重を許容値とした。
7	減速機歯車	減速機歯車の機能維持の観点から、メーカー規定の許容荷重を許容値とした。
8	クランク軸	回転機能の確保の観点から、運転状態Ⅲを基本として、軸の発生応力を弾性範囲内に留めるようⅢ _{AS} を許容値とした。
9	歯車軸	回転機能の確保の観点から、運転状態Ⅲを基本として、軸の発生応力を弾性範囲内に留めるようⅢ _{AS} を許容値とした。
10	油配管	配管損傷の観点から、運転状態Ⅳを基本として、通常材料の実降伏が設計値に対し余裕があることを考慮し、概ね降伏点以下と同等とした値として許容応力状態Ⅳ _{AS} を許容値とした。

6. 往復動式ポンプの詳細検討結果

往復動式ポンプの動的機能維持評価の詳細検討対象設備に対する詳細検討結果を別紙 2-7-4 表に示す。

詳細検討結果は、全ての評価部位の発生値が許容値を満足しており、動的機能維持が確保されることを確認した。

なお、動的機能維持評価の詳細については、耐震計算書「VI-2-6-4-1-1 ほう酸水注入系ポンプの耐震性についての計算書」にて示す。

別紙 2-7-4 表 ほう酸水注入系ポンプ 詳細検討結果(1/2)

評価部位	項目	応力 分類	算出式*1	発生値	許容値	評価
軸継手	変位	—	$\delta = \theta_1 + \theta_2 + \theta_3$ θ_1 : 軸たわみにて生ずるスプロケット 傾きによる変位 [mm] θ_2 : 地震による変位 [mm] θ_3 : 軸受部軸方向クリアランス [mm]	0.54mm		○
クランク軸軸受	荷重	—	$F_R = F' \cdot \frac{(L - L_2)}{L} + F' \cdot \frac{(L - L_1)}{L}$ F' : ラジアル荷重 [N] L : 支点間距離 [m] L_1 : 支点から荷重点 1 までの距離 [m] L_2 : 支点から荷重点 2 までの距離 [m]	5.049×10^4 N		○
コネクティング ロッド軸軸受	PV 値	—	$PV \text{ 値} = P_s \cdot V_s$ P_s : 小端部軸受面圧 [MPa] V_s : 小端部すべり速度 [m/s]	0.5 N/mm ² · m/s		○
クロスヘッドガ イド摺動部	PV 値	—	$PV \text{ 値} = P_c \cdot V_c$ P_c : クロスヘッドガイド部面圧 [MPa] V_c : クロスヘッドガイド部すべり速度 [m/s]	0.2 N/mm ² · m/s		○
バルブシート面	面圧	—	$P = F \cdot \frac{10^{-6}}{A}$ A : シート面投影面積 [m ²] F : シート面に作用する荷重 [N]	30 N/mm ²		○

注記*1：算出過程については、添付書類「VI-2-6-4-1-1 ほう酸水注入系ポンプの耐震性についての計算書」に記載。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

別紙 2-7-4 表 ほう酸水注入系ポンプ 詳細検討結果(2/2)

評価部位	項目	応力 分類	算出式*1	発生値	許容値	評価
歯車軸軸受	荷重	—	$P_r = X \cdot R_A + Y \cdot F_{a1}$ R_A : 合成反力 (ラジアル荷重) [N] F_{a1} : スラスト荷重 [N] X : ラジアル荷重係数 [-] Y : スラスト荷重係数 [-]	1.079×10^4 N		○
減速機歯車	荷重	—	$F_G = F_g \cdot P_r$ F_g : 歯車に作用する荷重 (通常時) [N] P_r : 吐出圧力比 [-]	6.128×10^3 N		○
クランク軸	応力	組合せ	$\sigma_s = \frac{1}{2} \cdot \sigma_c + \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\sigma_c^2 + 4 \cdot \tau_c^2}$ τ_c : ねじり応力 [MPa] σ_c : 曲げ応力 [MPa]	95MPa		○
歯車軸	応力	曲げ	$\sigma_G = \frac{M}{Z}$ M : 曲げモーメント [N・mm] Z : 断面係数 [mm ³]	48MPa		○
油配管	応力	一次 応力	解析による	73MPa		○

注記*1 : 算出過程については、添付書類「VI-2-6-4-1-1 ほう酸水注入系ポンプの耐震性についての計算書」に記載。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

往復動式ポンプ 詳細評価結果の算出過程

参考資料 2-7-1 ほう酸水注入系ポンプの動的機能維持評価方法

1. クロスヘッドガイド摺動部

1.1 記号の説明

クロスヘッドガイド摺動部評価に使用する記号を参考 2-7-1 表に，機器要目を参考 2-7-2 表に示す。

参考 2-7-1 表 クロスヘッドガイド摺動部評価に関する記号の説明

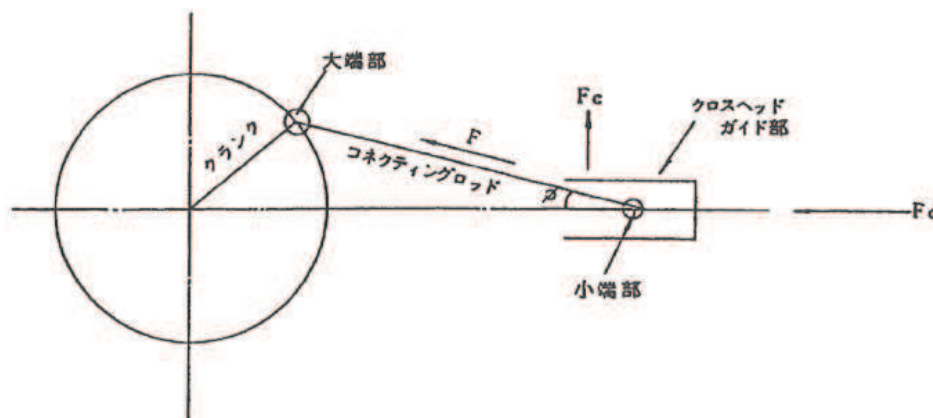
記号	記号の説明	単位
A_c	クロスヘッドガイド部受投影面積	m^2
F_c	クロスヘッドガイド部荷重	N
L	ストローク長	m
N	回転速度	rpm
P_c	クロスヘッドガイド部面圧	MPa
V_c	クロスヘッドガイド部すべり速度	m/s

参考2-7-2表 機器要目

部材	F_c (N)	A_c (mm^2)	L (m)	N (rpm)
クロスヘッドガイド摺動部	4070	0.02228	0.1	221

1.2 評価方法

軸受評価にあたって軸受面圧，すべり速度及びPV値を求める。



参考 2-7-1 図 クロスヘッドガイド部の計算モデル

<クロスヘッドガイド部>

$$PV \text{ 値} = P_c \cdot V_c \dots\dots\dots (\text{参考 2-7-1-1})$$

$$P_c = F_c \cdot \frac{10^{-6}}{A_c} \dots\dots\dots (\text{参考 2-7-1-2})$$

$$V_c = \frac{2 \cdot L \cdot N}{60} \dots\dots\dots (\text{参考 2-7-1-3})$$

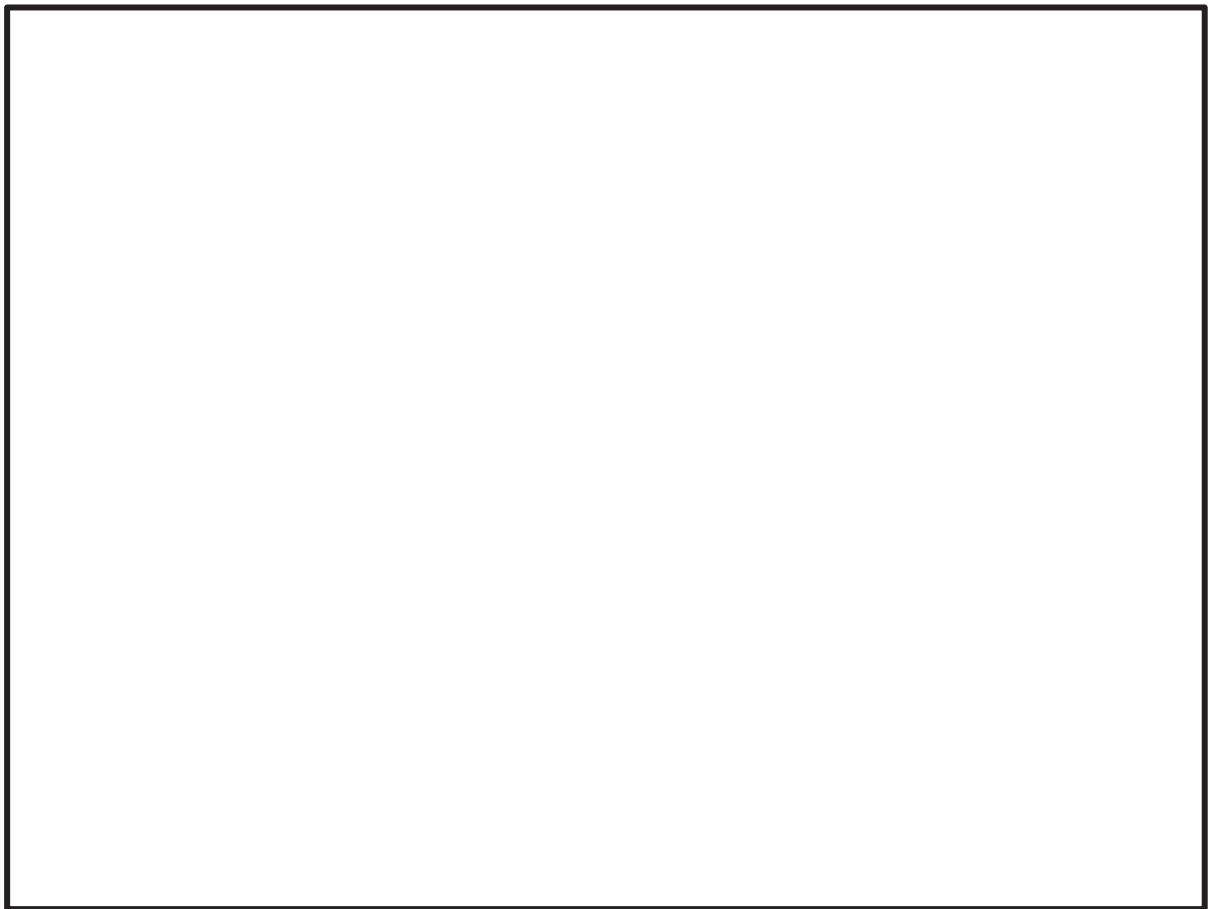
2. 油配管

2.1 油配管の応力評価方法

油配管は、応力解析を行い、発生応力を評価する。解析モデル（3次元はりモデル）を参考 2-7-2 図に示す。

配管、弁及び支持構造物については、添付書類「VI-2-1-13 機器・配管系の耐震計算書作成の方法」により、配管、弁、及び支持構造物を評価部位とする。評価結果は、算出応力と許容応力を踏まえ、評価上厳しい箇所の結果について記載する。

解析コードは、「SOLVER」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。



参考 2-7-2 図 油配管解析モデル

特殊弁及び一般弁の「詳細検討」

1. 詳細検討対象設備

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、特殊弁及び一般弁の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は別紙 2-8-1 表のとおりであり、これらの弁に対して詳細検討を実施する。

別紙 2-8-1 表 機能確認済加速度との比較による評価結果

分類	弁型式	方向	機能維持評価用 加速度*1,*2	機能確認済 加速度*1	超過の 有無*3
特殊 弁	主蒸気隔離弁	水平方向	13.86	10.0	×
		鉛直方向	5.65	6.2	○
	主蒸気逃がし安全弁	水平方向	14.30	9.6	×
		鉛直方向	5.26	6.1	○
一般 弁	グローブ弁	水平方向	10.68	6.0	×
		鉛直方向	2.40	6.0	○
	ゲート弁	水平方向	7.45	6.0	×
		鉛直方向	3.38	6.0	○
	逆止弁	水平方向	10.80	6.0	×
		鉛直方向	4.17	6.0	○

注記*1：加速度の単位： $\times 9.8\text{m/s}^2$ ，機能維持評価用加速度は J E A G 4 6 0 1-1991 の駆動部応答加速度のことを言う。

*2：同型式の弁のうち、水平方向の機能維持評価用加速度が最大となった弁の評価結果を記載している。

*3：機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過しない場合を「○」、超過した場合を「×」で示す。

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通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 2-8-1 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 2-8-2 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

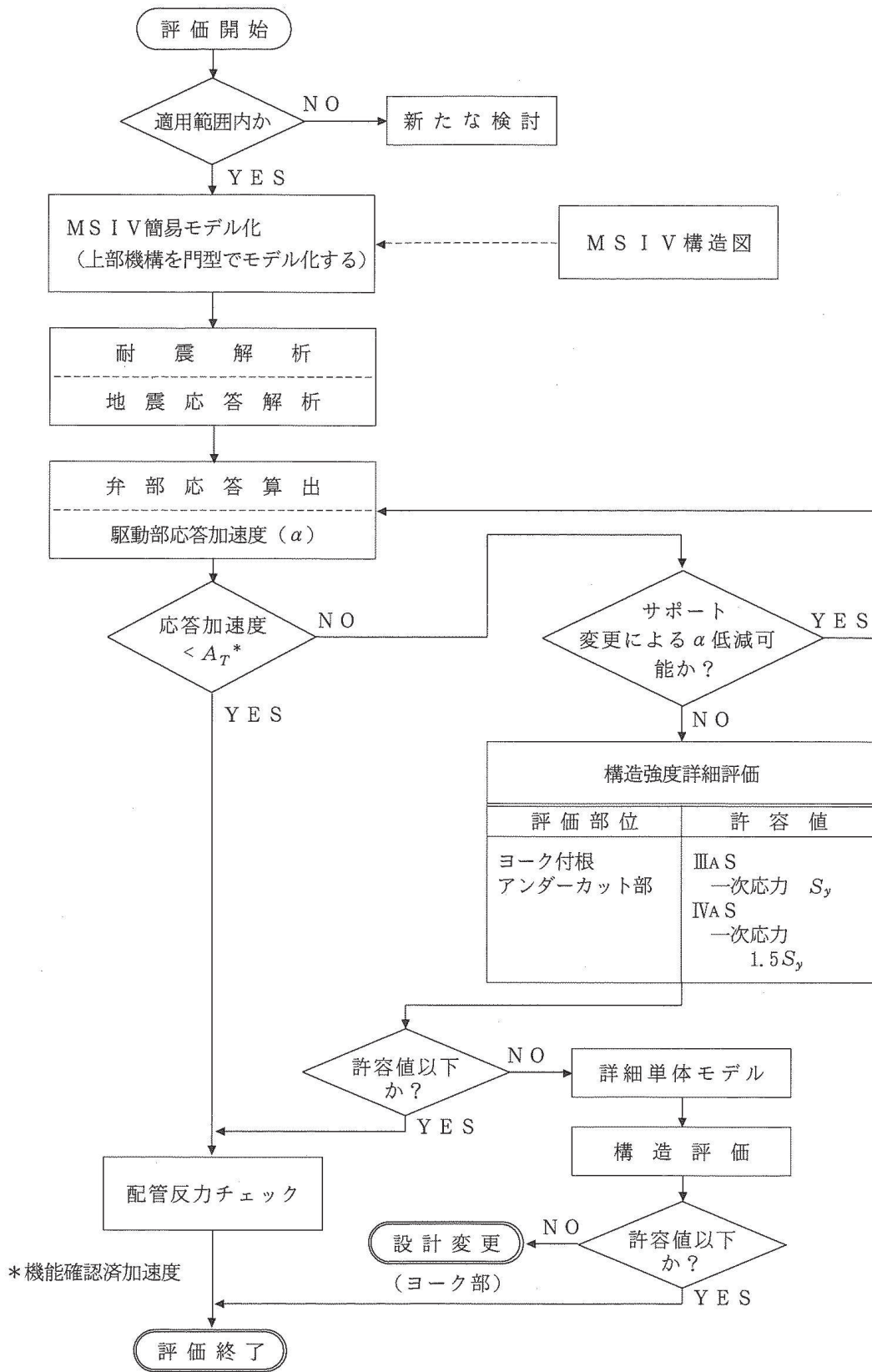
J E A G 4 6 0 1 に記載されている一般弁（グローブ弁、ゲート弁、バタフライ弁）の評価手順を別紙 2-8-3 図に示す。

(4) 一般弁（逆止弁）の評価手順

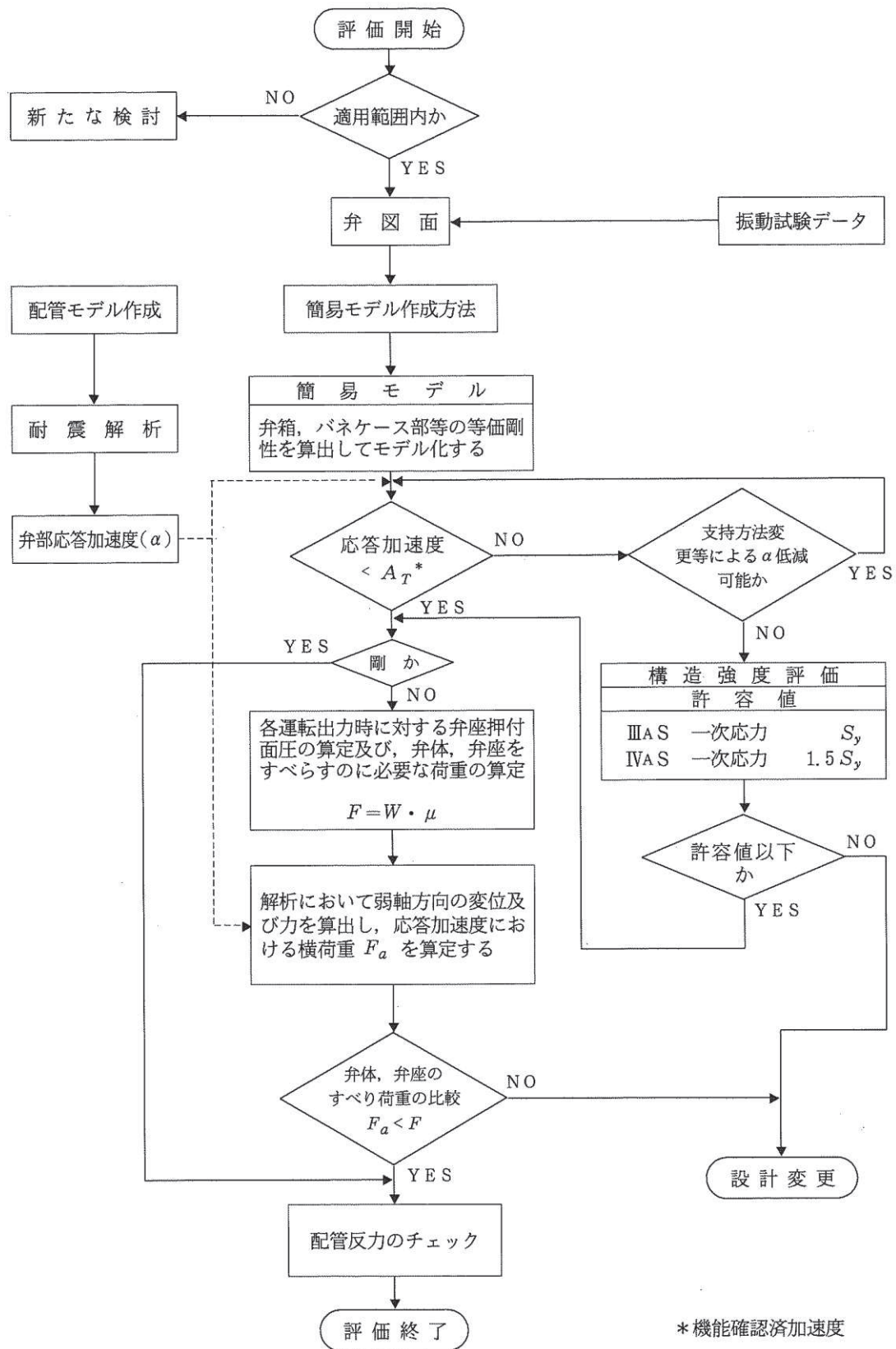
J E A G 4 6 0 1 に記載されている一般弁（逆止弁）の評価手順を別紙 2-8-4 図に示す。

なお、上記の評価手順のうち構造強度評価においては一次応力のみを評価することとしている。これは弁駆動部に対する地震による二次応力（相対変位）の影響が小さいためである。また、構造強度評価における IV_{AS} の許容応力 $1.5S_y$ の設定は、J E A G の評価手順策定時に参照した研究*の成果に基づいており、加振試験において最弱部の発生応力が $1.2S_y$ を超過した弁においても、動作機能に影響がなかったことから、実機の持つ裕度を踏まえて $1.5S_y$ と設定している。

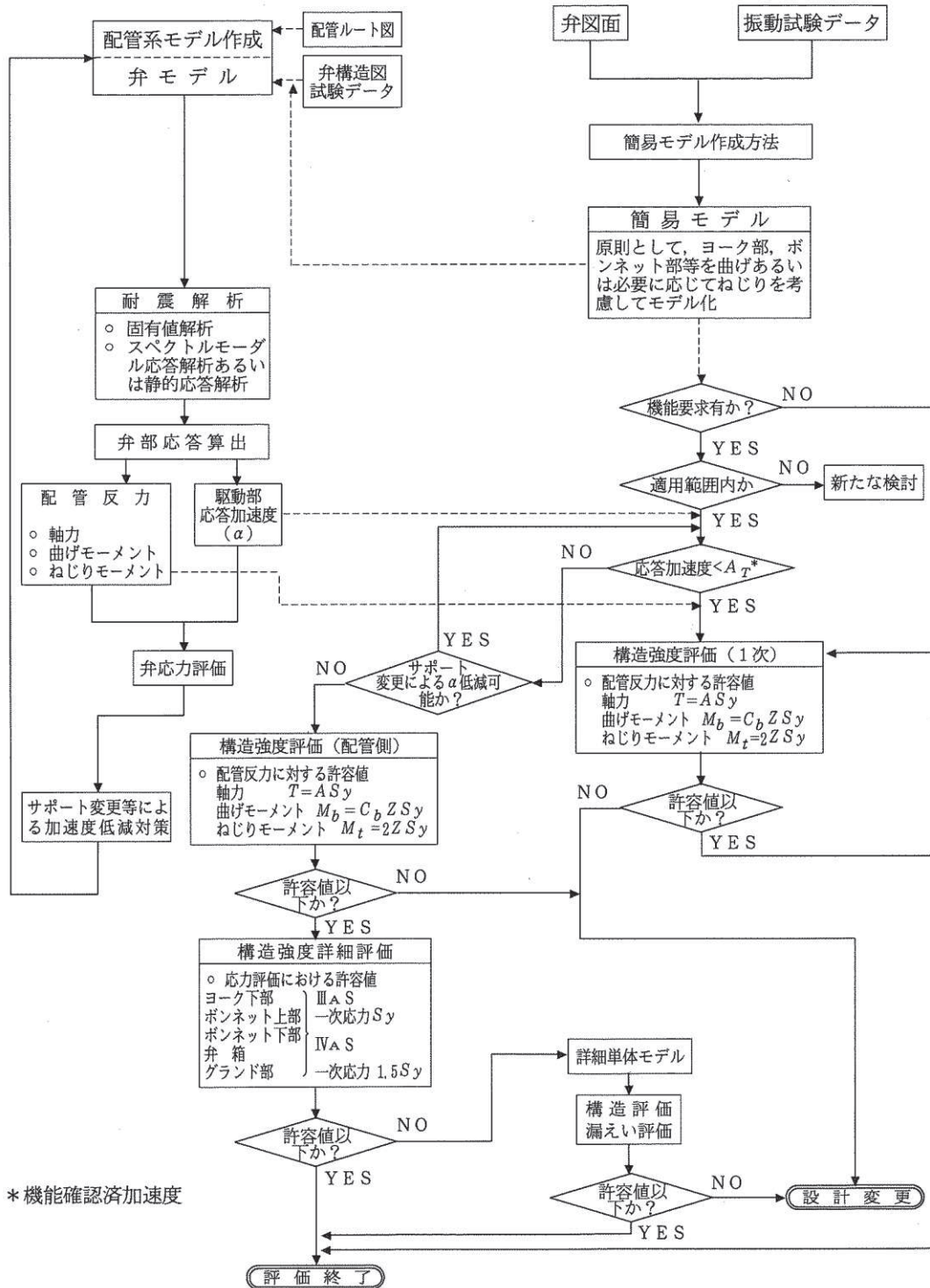
注記*：電力共通研究「動的機器の地震時機能維持に関する研究（昭和 55 年度～57 年度）」



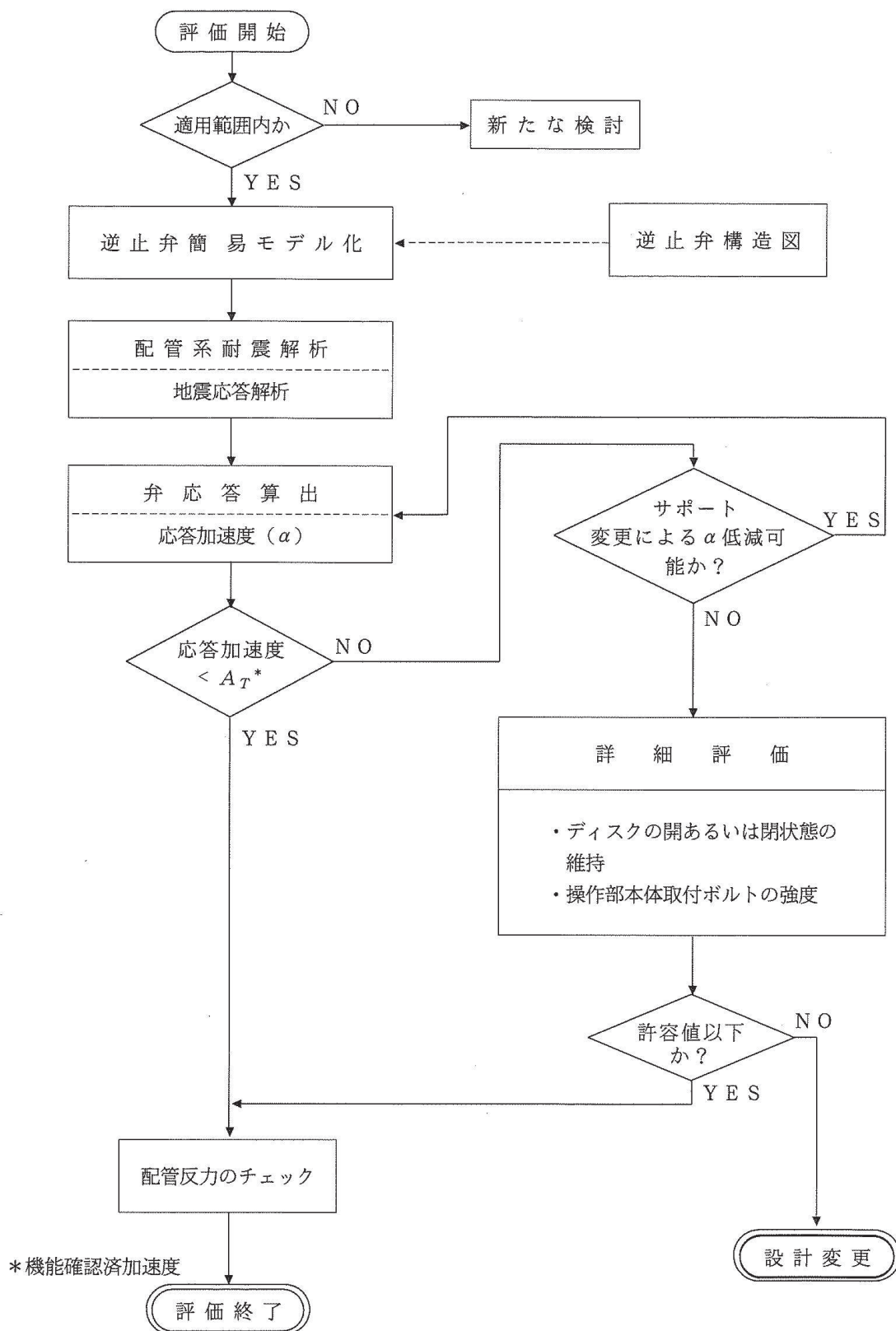
別紙 2-8-1 図 JEAG 4601 に記載された主蒸気隔離弁の評価手順



別紙 2-8-2 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



別紙 2-8-3 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



別紙 2-8-4 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

別紙 2-8-1 表において、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、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み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。

なお、一般弁のうちバタフライ弁については、女川 2 号機において詳細検討を行う対象弁がなかったものの、詳細検討の手法について他の弁と同様に以下で整理する。

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）の詳細検討

3.1.1 構造強度検討（弁最弱部）

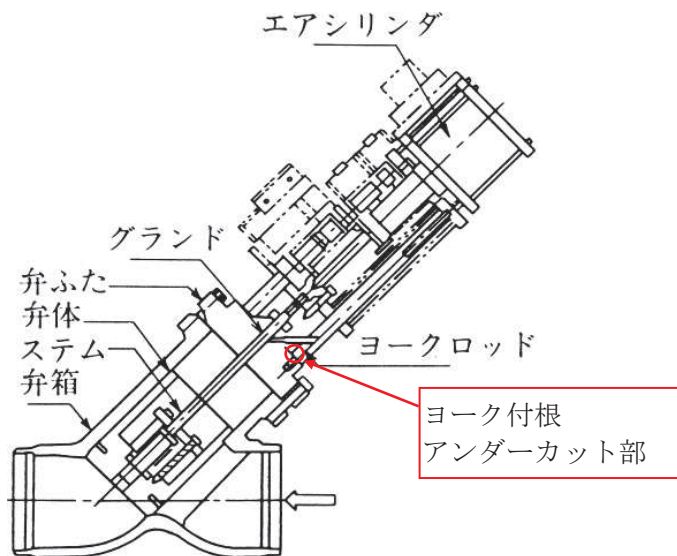
弁の構造強度の詳細検討として、弁最弱部の強度評価を行う。弁の最弱部として、主蒸気隔離弁においてはヨークロッド付根のアンダーカット部、主蒸気逃がし安全弁においてはクーリングスプール、一般弁（グローブ弁、ゲート弁、バタフライ弁）においてはヨーク下部、ボンネット上部、ボンネット下部のいずれかを評価部位とする。各評価部位を別紙 2-8-5 図、別紙 2-8-6 図及び別紙 2-8-7 図に示す。

また、最弱部の評価式の例を以下に示す。

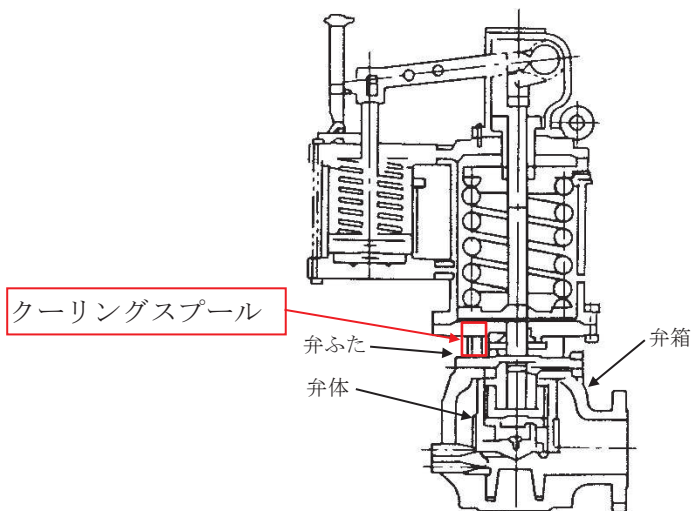
（弁最弱部の評価式の例）

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

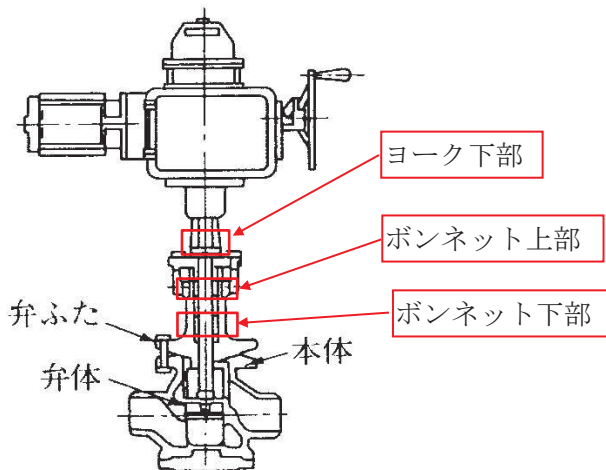
記号	記号の説明	単位
σ	最弱部に発生する一次応力	MPa
m_1	弁駆動部及びヨーク部の質量	kg
α	弁駆動部応答加速度	m/s^2
h	最弱部に作用するモーメント長さ	mm
Z	最弱部の断面係数	mm^3



別紙 2-8-5 図 主蒸気隔離弁の構造強度評価部位



別紙 2-8-6 図 主蒸気逃がし安全弁の構造強度評価部位



別紙 2-8-7 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ー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-2-8-1に示す。また、電共研の成果を発表した公開文献を、6.参考文献に示す。

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。

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）

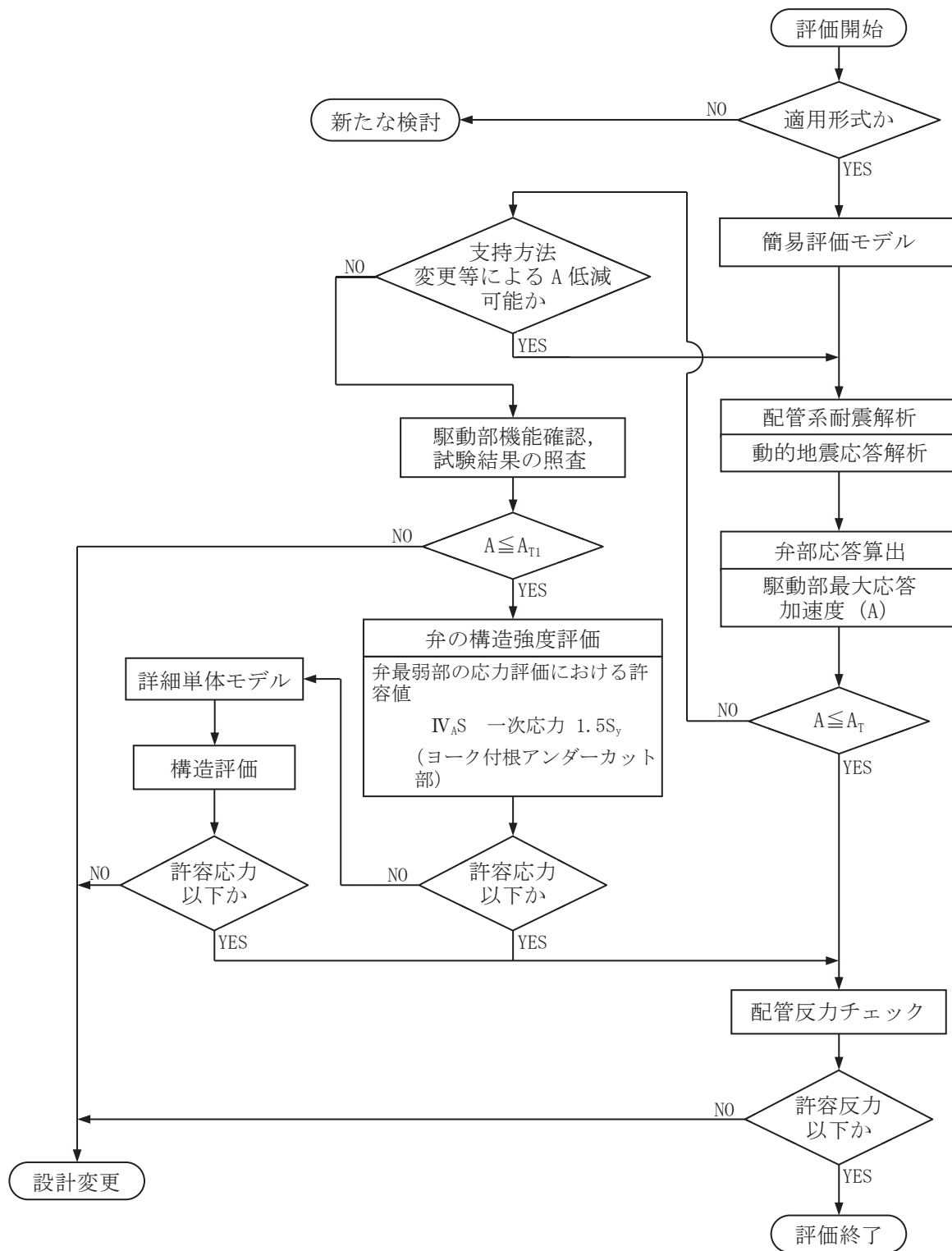
3.1.3 女川2号機の今回工認における弁の動的機能維持評価手順

女川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つつ、その後の加振試験による知見を反映した評価を行うことから、女川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及び一般弁（グローブ弁、ゲート弁、バタフライ弁）の動的機能維持評価の手順を、別紙2-8-8図、別紙2-8-9図及び別紙2-8-10図に示す。

3.2 一般弁（逆止弁）の詳細検討

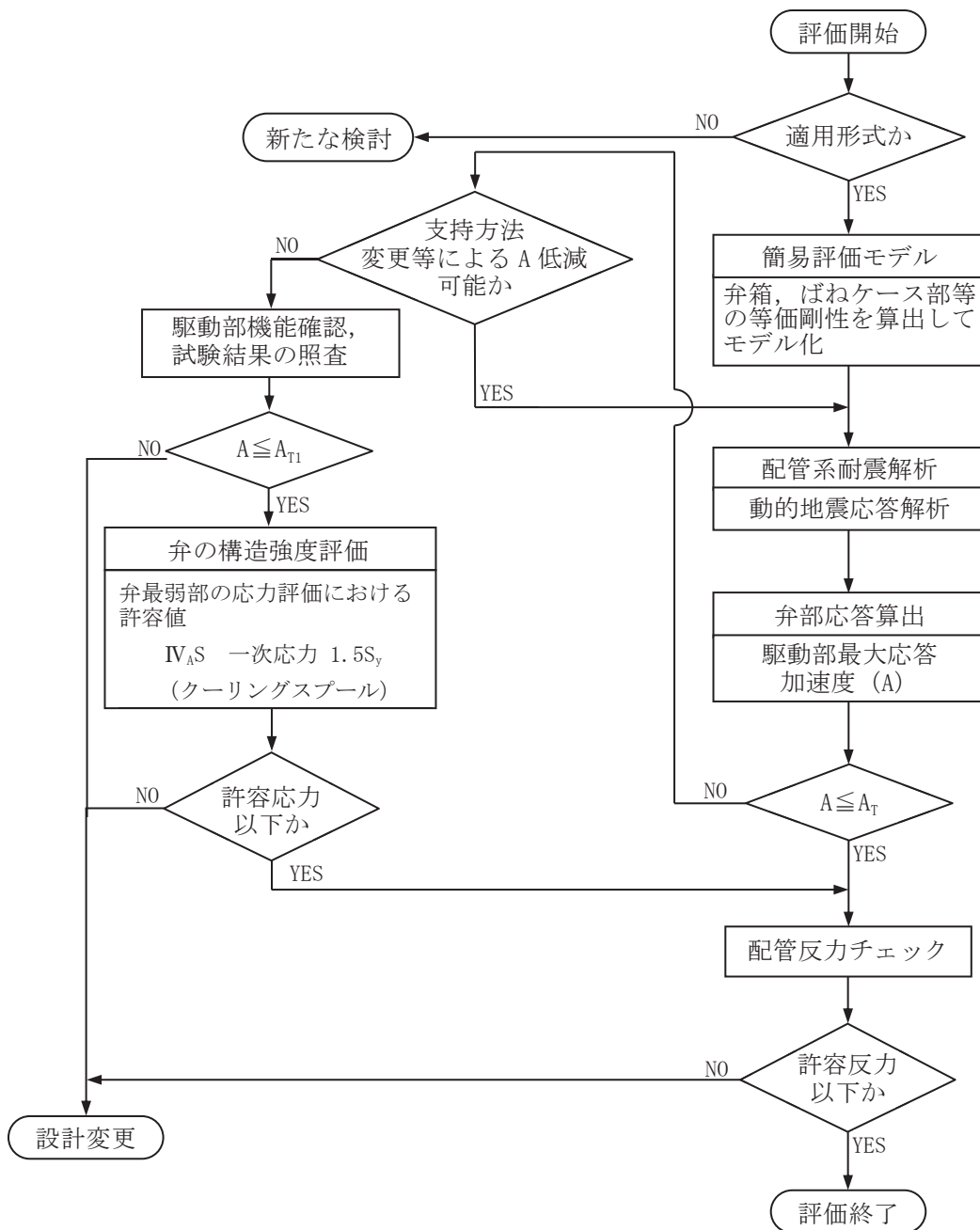
逆止弁については、駆動部単体の応答加速度評価は不要のため、開機能の維持又は閉機能の維持の評価により、動的機能維持を確認する。また、強制開閉装置付きのテストブル逆止弁は、構造上の最弱部位である操作部本体取付ボルトの強度評価を実施する。評価部位を別紙2-8-11図に示す。

女川2号機の今回工認における一般弁（逆止弁）の詳細検討を含めた評価手順を別紙2-8-12図に示す。



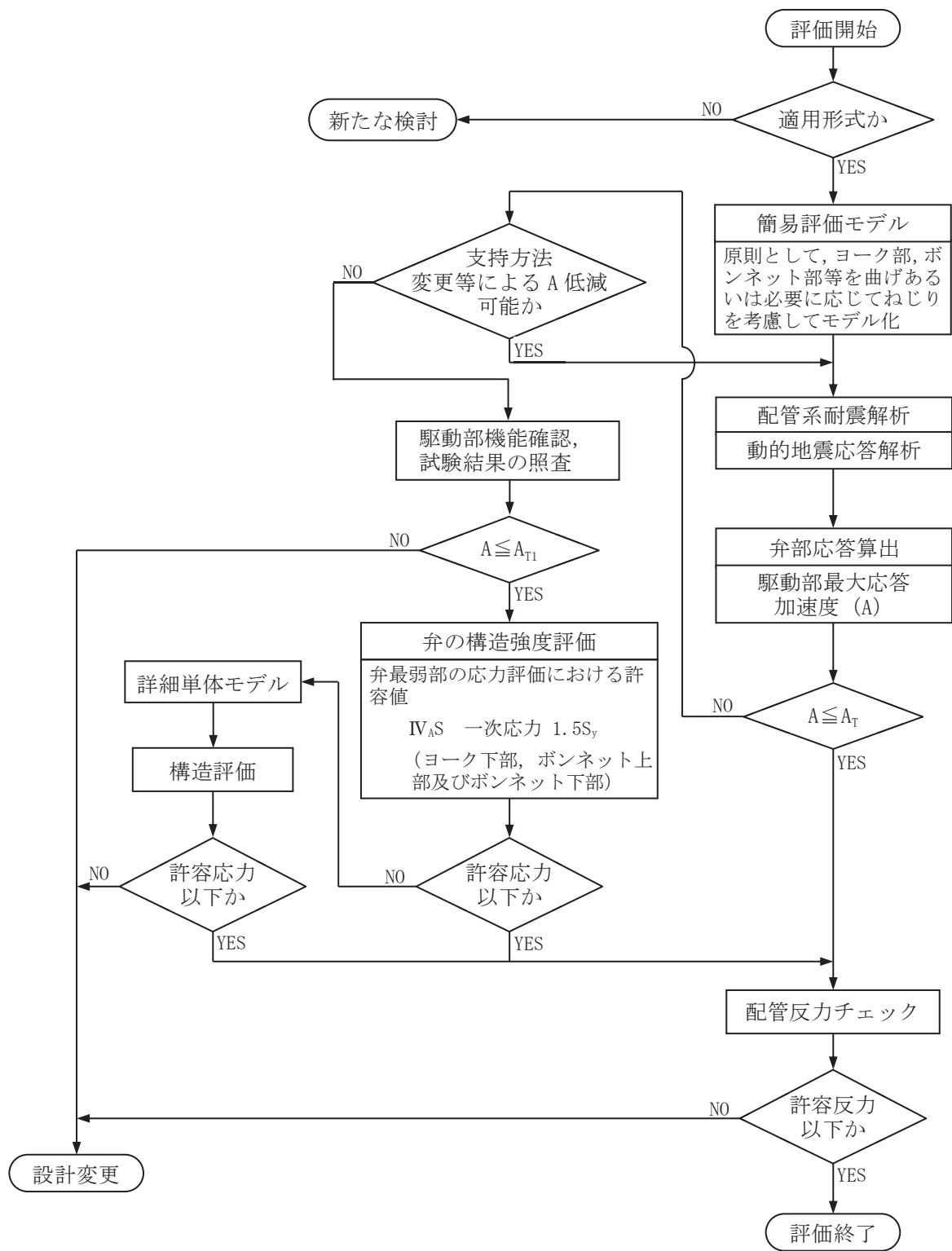
A : 駆動部最大応答加速度
 A_T : 機能確認済加速度
 A_{T1} : 駆動部の動作機能確認済加速度

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



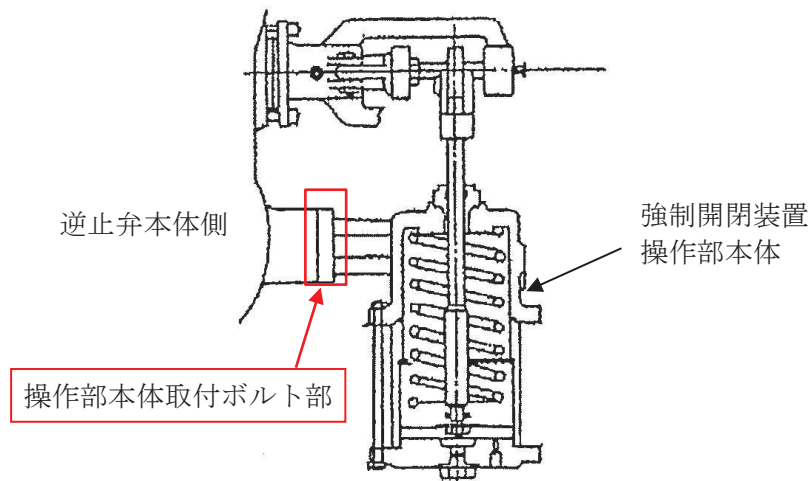
A : 駆動部最大応答加速度
 AT : 機能確認済加速度
 AT1 : 駆動部の動作機能確認済加速度

別紙 2-8-9 図 女川 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

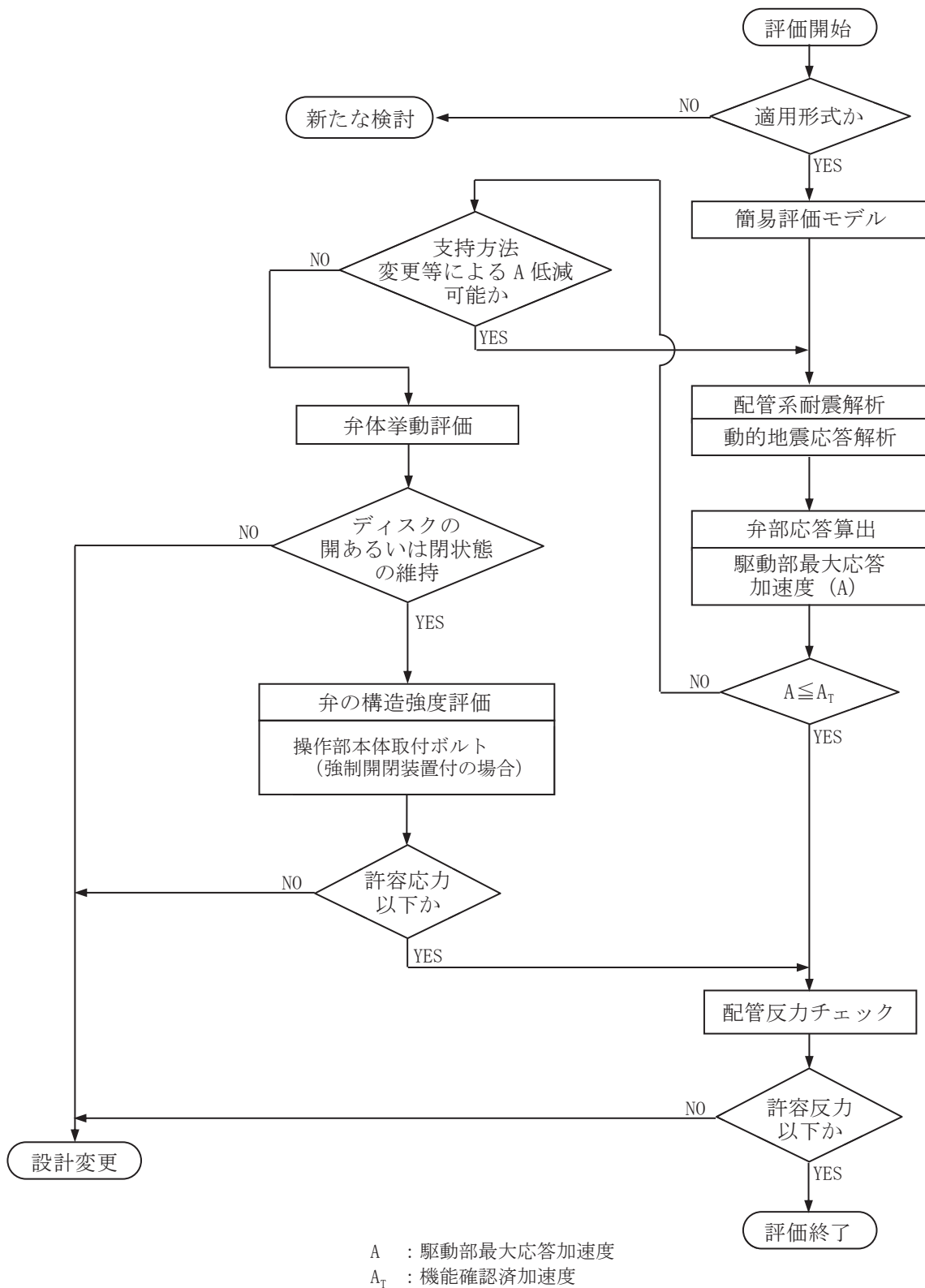


A : 駆動部最大応答加速度
 A_T : 機能確認済加速度
 A_{T1} : 駆動部の動作機能確認済加速度

別紙 2-8-10 図 女川 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



別紙 2-8-11 図 一般弁（逆止弁）の構造強度評価部位（強制開閉装置付きの場合）



別紙 2-8-12 図 女川 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加速度を別紙2-8-2表に示す。これらの加速度は別添-2-8-1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ことを確認する。

別紙2-8-2表 特殊弁及び一般弁の詳細検討に適用する加速度

弁型式	駆動部の動作機能確認済加速度*	
	水平方向	鉛直方向
主蒸気隔離弁	15.0	15.0
主蒸気逃がし安全弁	20.0	20.0
一般弁（グローブ弁，ゲート弁， バタフライ弁）のうち電動弁	20.0	20.0
一般弁のうち空気作動グローブ弁	20.0	20.0
一般弁のうち空気作動バタフライ弁	15.0	20.0

注記*：加速度の単位： $\times 9.8\text{m/s}^2$

5. 特殊弁及び一般弁の詳細検討結果

特殊弁及び一般弁の動的機能維持評価の詳細検討結果を別紙 2-8-3 表及び別紙 2-8-4 表に示す。全ての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を満足するとともに、最弱部の構造強度評価においても算出応力が許容応力を満足しており、弁の動的機能が維持されることを確認した。

なお、駆動部の動作機能確認済加速度は、方向別の加振試験によって得られたデータを基に設定しており、水平 2 方向及び鉛直方向の発生加速度を合成した機能維持評価用加速度との比較により評価を行う。

各弁の動的機能維持評価結果については、当該弁が設置される配管の耐震計算書に示す。

別紙 2-8-3 表 特殊弁及び一般弁の動的機能維持評価 詳細検討結果（加速度評価）

分類	弁型式	弁番号	方向	機能維持評価用加速度*1	駆動部の動作機能確認済加速度*1	超過の有無*2
特殊弁	主蒸気隔離弁	B21-F003D	合成*3	14.96*4	15.0*4	○
	主蒸気逃がし安全弁	B21-F001E	合成*3	15.86	20.0	○
一般弁	グローブ弁	E11-F012A	合成*3	10.95	20.0	○
	ゲート弁	G31-F003	合成*3	9.13	20.0	○
	逆止弁	E11-F005B	合成*3	13.95*5	14.02*5,6	○

注：動的機能維持評価対象弁のうち、各型式で裕度最小となった弁について本表に示す。

注記*1：加速度の単位：×9.8m/s²

*2：機能維持評価用加速度が機能維持確認済加速度を超過しない場合を「○」、超過した場合を「×」で示す。

*3：“合成”とは、機能維持評価用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。評価式を以下に示す。

$$\sqrt{\alpha_h^2 + \alpha_v^2} \leq A_{T1}$$

α_h ：機能維持評価用加速度（水平方向）、 α_v ：機能維持評価用加速度（鉛直方向）

A_{T1} ：駆動部の動作機能確認済加速度

*4：主蒸気隔離弁については、2021 年度現在実施中の研究において 18×9.8m/s² 以上で加振した試験結果があり、当該加速度にて動作機能維持を確認しているため、本表の評価結果に対して更に余裕があることが確認されている。

*5：逆止弁の評価に関して、機能維持評価用加速度は 3 方向の加速度の合成値としているが、弁体の開閉に寄与しない方向の加速度も合成することで保守的な加速度となっていることから、本表の評価結果に対して更に余裕がある。

*6：逆止弁は当該弁の開機能維持又は閉機能維持のための加速度を示す。加速度の算出方法

を参考資料に示す。

別紙 2-8-4 表 特殊弁及び一般弁の動的機能維持評価 詳細検討結果（構造強度評価）

分類	弁型式	弁番号	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	B21-F003D	ヨーク付根 アンダーカット部	885* ¹	887* ¹
	主蒸気逃がし 安全弁	B21-F001E	クーリングスプール	229	304
一般弁	グローブ弁	E11-F012A	ヨーク下部	204	354
	ゲート弁	G31-F003	ボンネット	178	280
	逆止弁	E11-F005B	操作部本体取付ボルト	71	259

注：動的機能維持評価対象弁のうち、各型式で裕度最小となった弁について本表に示す。

注記*1：主蒸気隔離弁の評価に関して、許容応力は規格の Sy 値に基づいて算出されているが、材料検査書に記載の材料強度を踏まえると、実機においては本表の評価結果に対して更に余裕がある。

6. 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, N. 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 al., “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 al., “Seismic Test Results of 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

逆止弁の開機能維持また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、J E A G 4 6 0 1 - 1991 の記載に基づき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別紙 2-8-13 図に示す。

弁体自重による閉方向荷重

$$Wd = W * g * \sin \theta$$

地震加速度によって生じる閉方向荷重

$$Ws = W * g * \sqrt{\alpha_h^2 + \alpha_v^2}$$

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

$$Wu > Ws + Wd$$

開機能が維持される地震加速度を α_a とすると、

$$Wu = W * g * \alpha_a + Wd$$

以上より、 α_a は以下式にて表される。

$$\alpha_a = \frac{Wu - Wd}{W * g}$$

なお、式中の記号は以下を示す。

Wu : 流体による開方向荷重 (N・m)

Wd : 弁体自重による閉方向荷重 (N・m)

Ws : 地震加速度による閉方向荷重 (N・m)

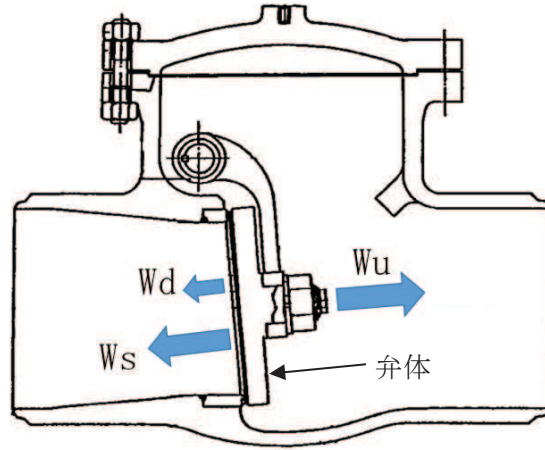
W : 弁体質量 (kg)

g : 重力加速度 (m/s²)

θ : 弁開度 (°)

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)



別紙 2-8-13 図 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、J E A G 4 6 0 1 -1991 の記載に基づき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別紙 2-8-14 図に示す。

背圧による閉止力

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

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力の関係は以下の通り。

$$W_o = W * g * \sqrt{\alpha_h^2 + \alpha_v^2} - W * g * \sin \theta_0$$

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、

$$\frac{W_s - W * g * (\alpha_a - \sin \theta_0)}{A_s} = P_s$$

以上より、 α_a は以下式にて表される。

$$\alpha_a = \frac{\left(\frac{\pi}{4} * d_m^2 * P_b\right) - P_s * A_s}{W * g} + \sin \theta_0$$

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)

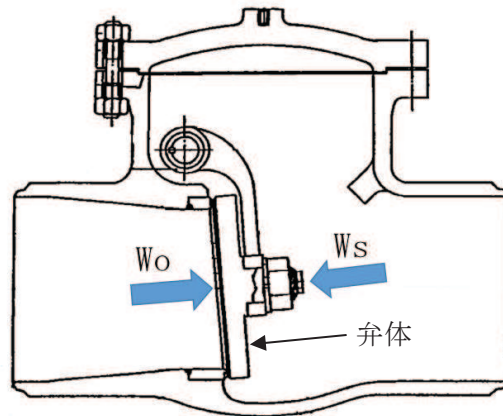
W : 弁体質量 (kg)

g : 重力加速度 (m/s^2)

θ_0 : 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)



別紙 2-8-14 図 逆止弁の閉機能維持評価に考慮する荷重

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

弁の地震時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 $20 \times 9.8 \text{m/s}^2$ 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、電力共通研究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，電力共通研究の内容に加え，女川2号機の当該弁の電力共通研究等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（既存の振動台）と共振振動台（新規に製作した振動台）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

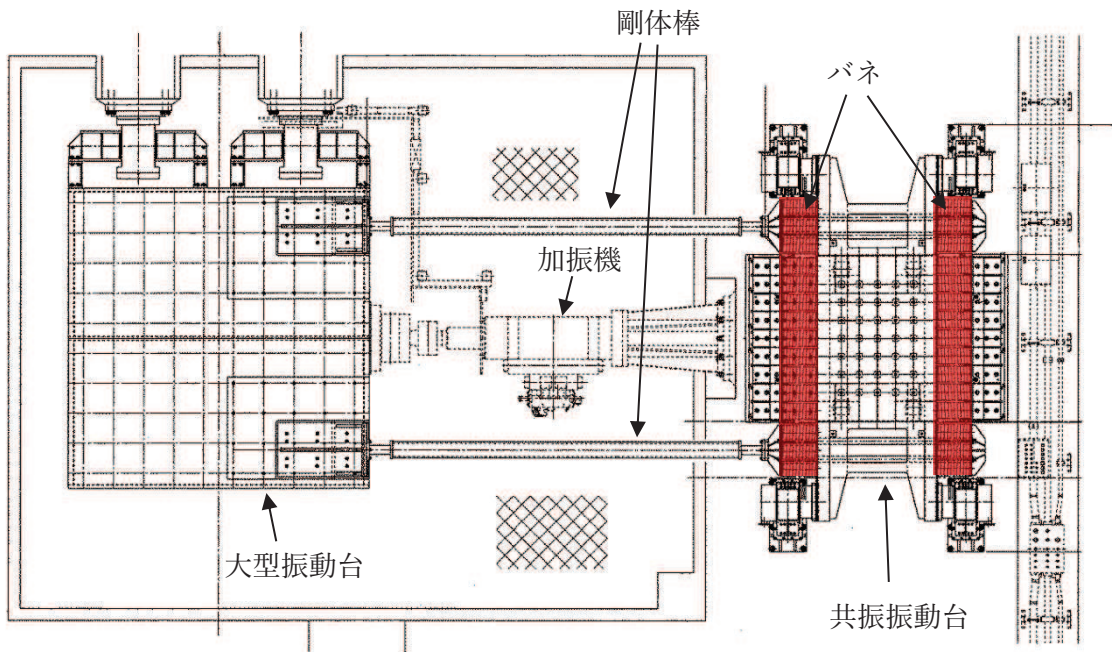


図2.1-1 加振装置概要図（平面図）

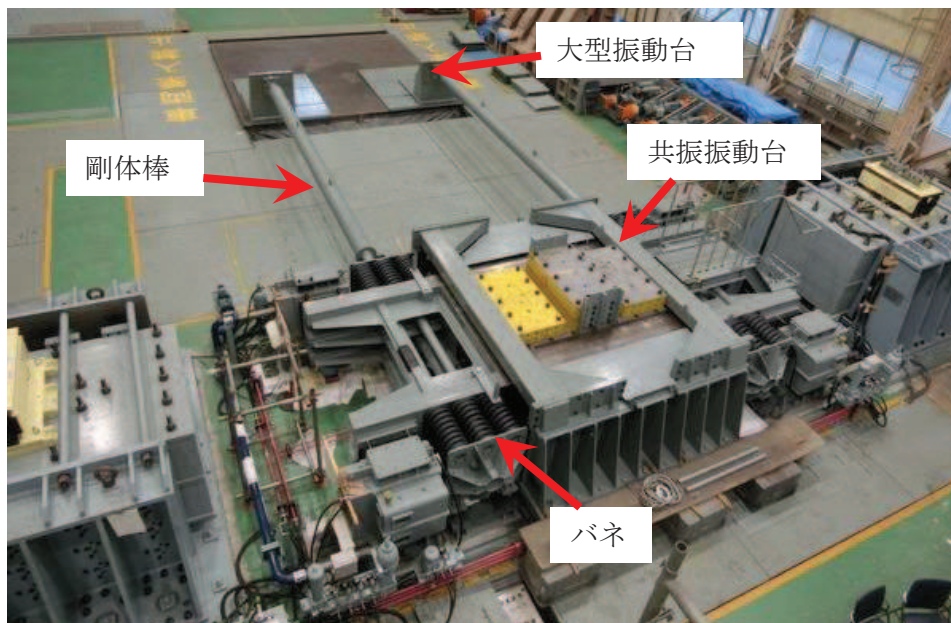


図2.1-2 加振装置外観

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およ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、実機プラントの弁を例に、基準地震動 S_s による弁駆動部の応答加速度が最大加速度の 0.8 倍以上となる高加速度の発生頻度を確認した結果、発生回数は 40 回

以下、継続時間は 0.5 秒以下であった。10Hz の連続正弦波で 15 秒加振した場合は、高加速度の発生回数 300 回、継続時間は 6 秒であり、十分保守的な条件である。

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 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。電動弁については、実機プラントに多数設置されており弁型式や口径も様々であるものの、駆動部の種類（メーカ）は限定的であることから、今回試験は、駆動部単体の動作機能確認済加速度のデータ取得を目的として駆動部単体で試験を実施する。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 2 社、計 7 体を試験体とした。

女川 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バネを組み込んだ 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 体に緩衝用皿バネ有無、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 体を試験体とした。

選定した試験体を表 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、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*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試験体を選定しており、女川 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 J E A G 4 6 0 1（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）」

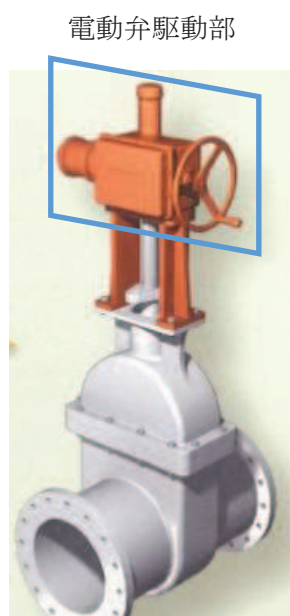


図 2.4-1 電動弁概要図

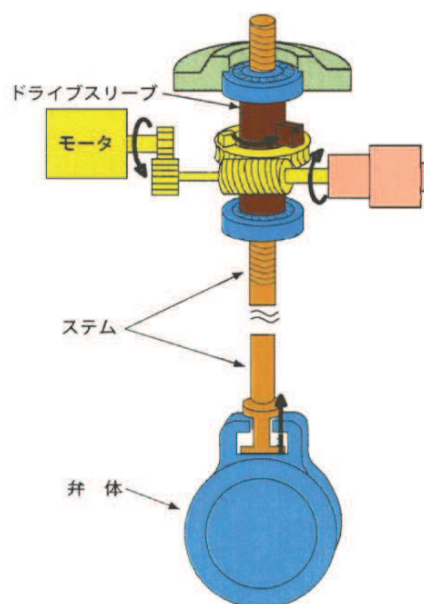


図 2.4-2 電動弁駆動機構の構造例

表 2. 4-1 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	適用口径 (女川 2 号機)
1	SB-00D	360	210		50A~400A
2	SMB-0	1,000	245		80A~450A
3	SMB-2	2,700	457		100A~500A
4	SMB-4	11,500	1,292		300A~350A
5	SMB-0/HB-3	1,000	372	 二次減速機付き	150A~500A

表 2.4-2 試験体の比較（電動弁）

項目	女川2号機	今回試験	J E A G 4 6 0 1（耐特委）				同等性
			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	
駆動方式・ 弁種	電動弁 グローブ弁, ゲート弁, バタフライ弁	電動弁 駆動部単体	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型式全体を網羅するよう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う。

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	J E A G 4 6 0 1 （耐特委）				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 J E A G 4 6 0 1 （耐特委）より大きい加速度で加振
	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。

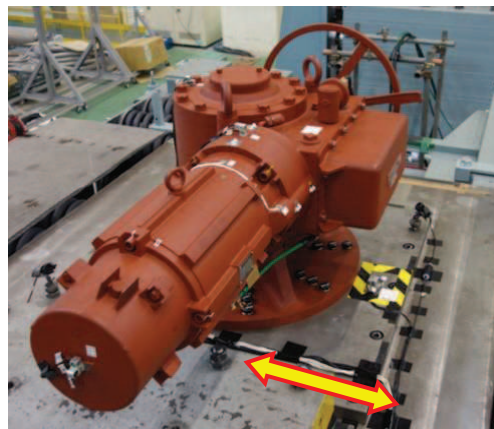
動作機能維持を確認できた加振試験で計測された最大応答加速度を表 2.4-5 に示す。また、試験体 No. 2 (SMB-0) の試験体据付状況を図 2.4-3 に、加振時の駆動部応答加速度波形を図 2.4-4 に、作動信号の計測結果の例を図 2.4-5 に示す。

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 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		
		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



水平 (X) 方向



水平 (Y) 方向



鉛直 (Z) 方向

図 2.4-3 電動弁駆動部試験体据付状況

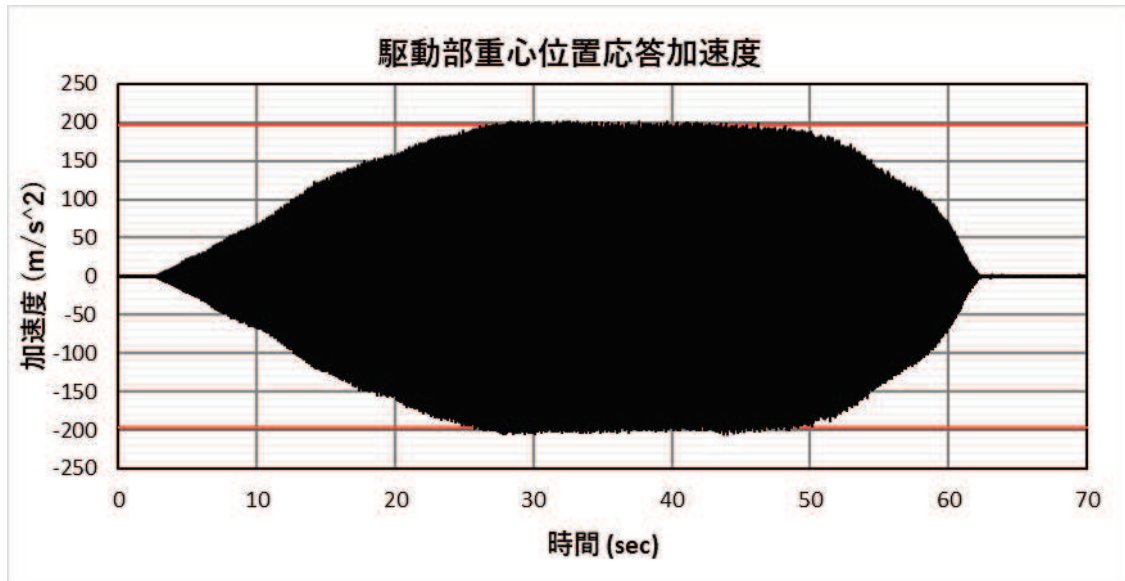


図 2.4-4 X 方向 $20 \times 9.8 \text{ m/s}^2$ 加振時の駆動部応答加速度波形

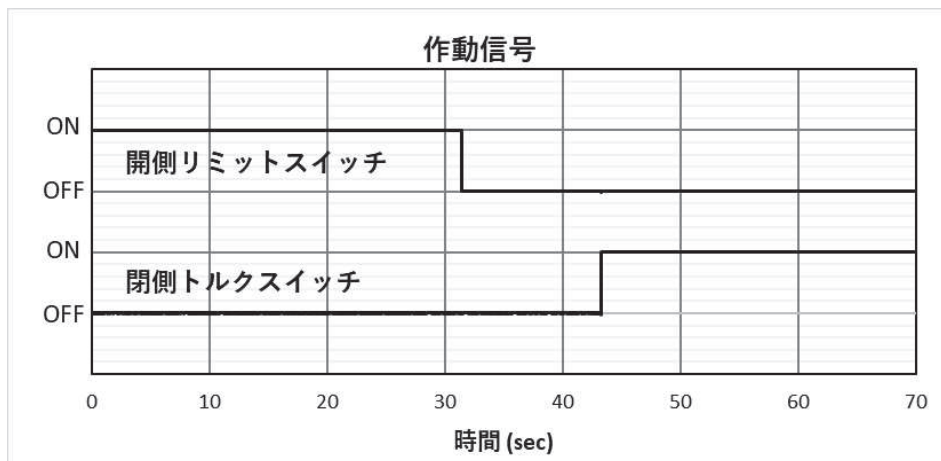


図 2.4-5 X 方向 $20 \times 9.8 \text{ m/s}^2$ 加振中の作動信号

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 方向それぞれで実施した。3 \times 9.8 m/s^2 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 \times 9.8 m/s^2 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 \times 9.8 m/s^2 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。試験体の構造および折損箇所を図 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形式であり、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

の開閉を行う形式の弁は、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使用の形が一般的である。

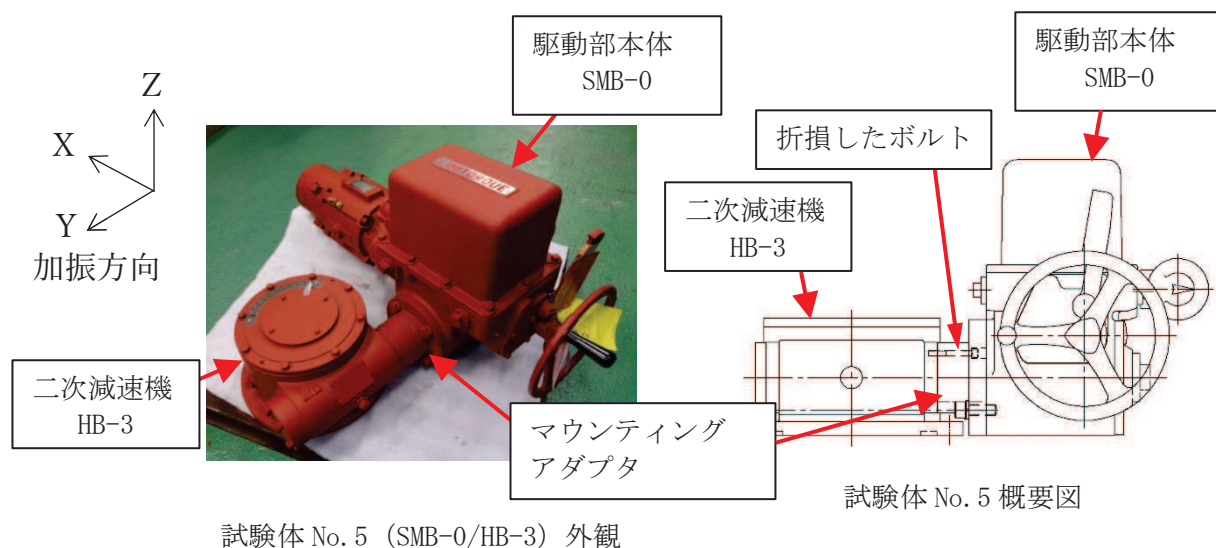


図 2.4-6 二次減速機付き試験体構造

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、試験結果をもとに $20 \times 9.8 \text{ m/s}^2$ 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 $20 \times 9.8 \text{ m/s}^2$ 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毎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。

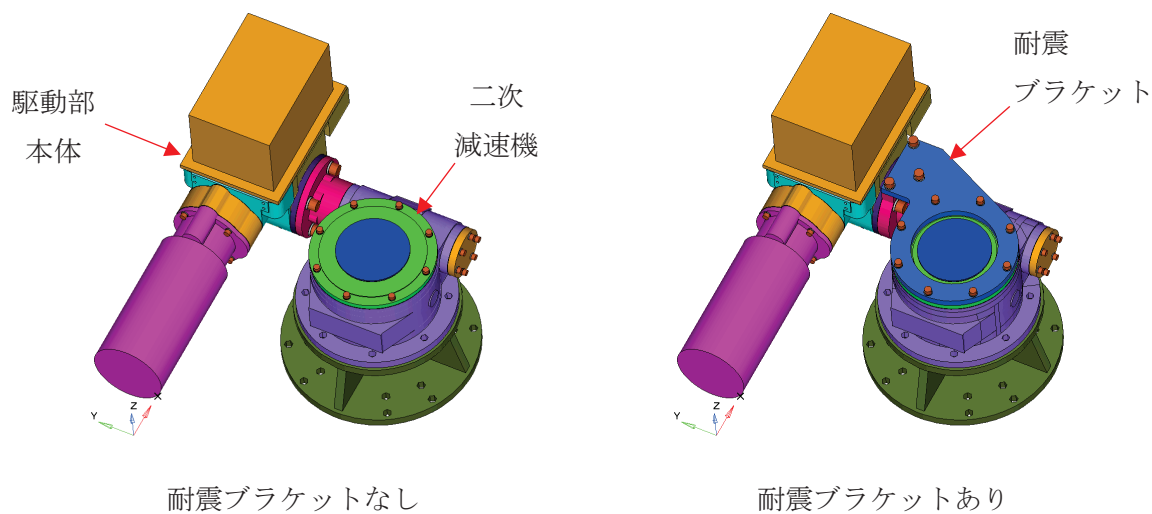


図 2.4-7 耐震ブラケットイメージ図



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	
5	バタフライ弁	ダイヤフラム	レバー式	450A	
				75A～500A	

分類毎の基本構造は同じであることから、分類毎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 体を試験体に選定した。

表 2.5-2 試験体概要（空気作動弁）

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

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

なお、今回女川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。女川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		15A~50A
バタフライ弁	シリンダ		250A~600A

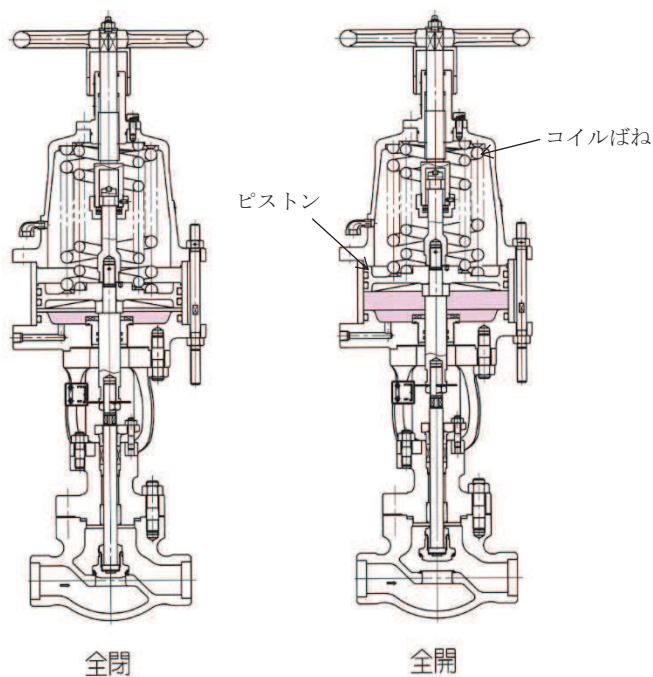


図 2.5-1 空気作動グローブ弁シリンダ型試験体(50A)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

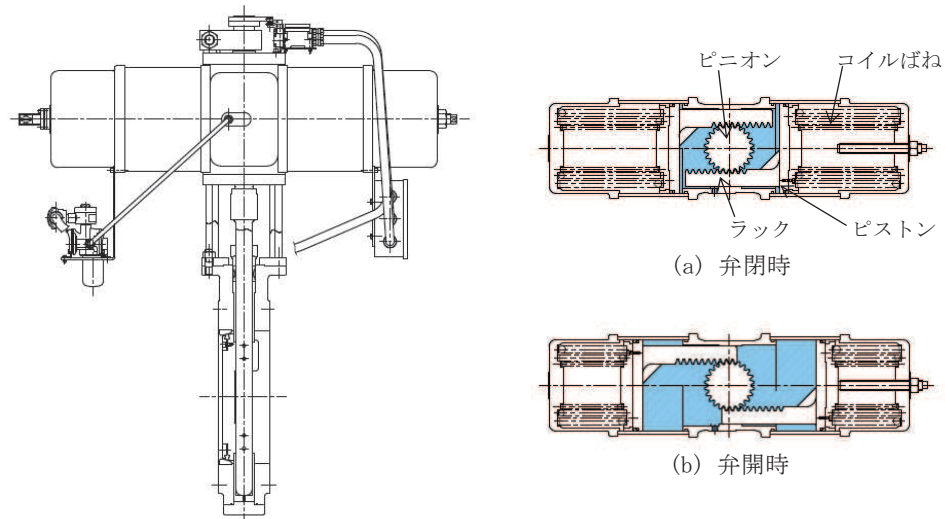


図 2.5-2 空気作動バタフライ弁シリンダ型試験体(400A)

表 2.5-3 試験体の比較 (空気作動弁)

項目	女川 2 号機		今回試験		J E A G 4 6 0 1 (耐特委)		同等性
駆動方式	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	口径に差異はあるが、作動原理、基本構造は全て同等。
呼び径	15~50A	250~600A	50A	400A	75A, 150A	600A	

(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。

女川 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検討においては、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。

なお、空気作動弁駆動部の機能維持評価についても電動弁と同様に耐専において検討されている。耐専の報告書では、空気作動弁の駆動部について加振試験を実施し、水平方向で9.5G以上（弁型式で異なる）、鉛直方向で6.8Gでの機能維持が確認されており、この結果を踏まえて水平・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。

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		J E A G 4 6 0 1 (耐特委)		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		今回試験では耐特委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）

(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

空気作動グローブ弁の耐震上クリティカル部位はヨーク部であるが、駆動部の動作機能限界を確認することを目的としたため、実機に比べ強度を上げた補強型ヨークを用いて試験を行った。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。

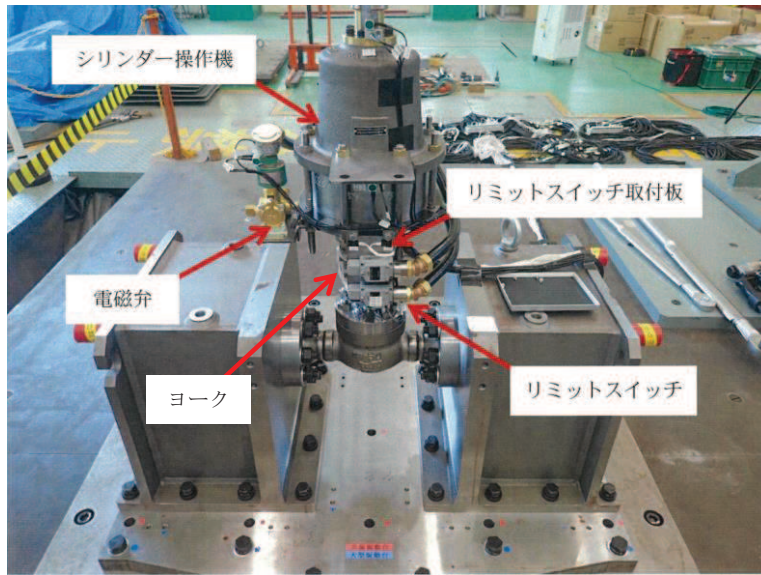
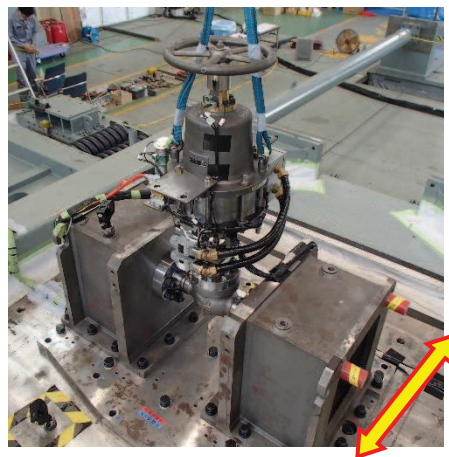


図 2.5-3 空気作動グローブ弁シリンダ型直結式試験体外観



X 方向



Y 方向



Z 方向

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

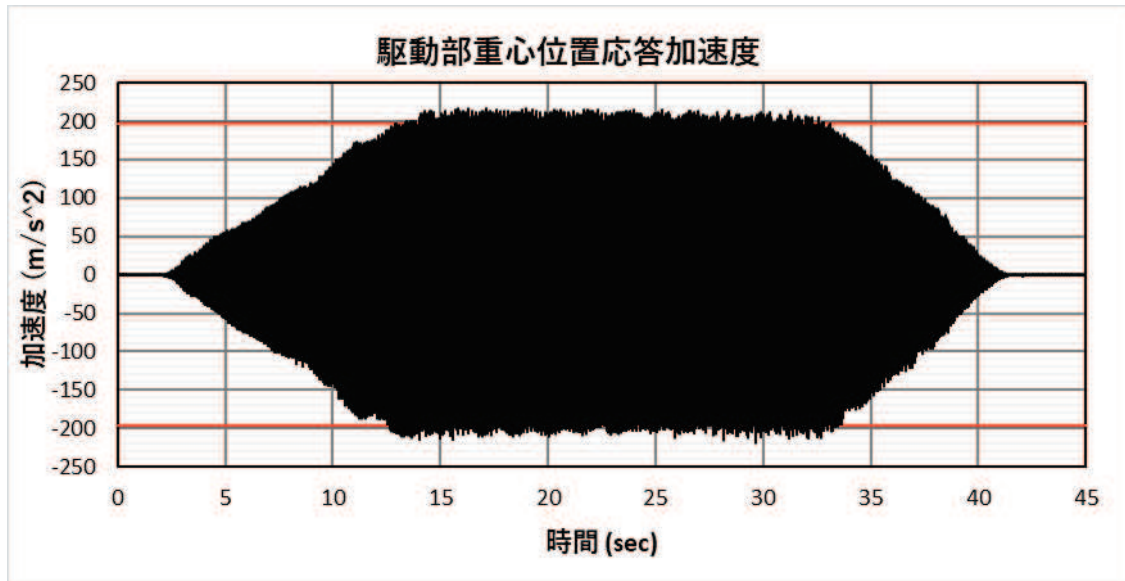


図 2.5-5 X 方向 $20 \times 9.8 \text{ m/s}^2$ 加振時の駆動部応答加速度波形

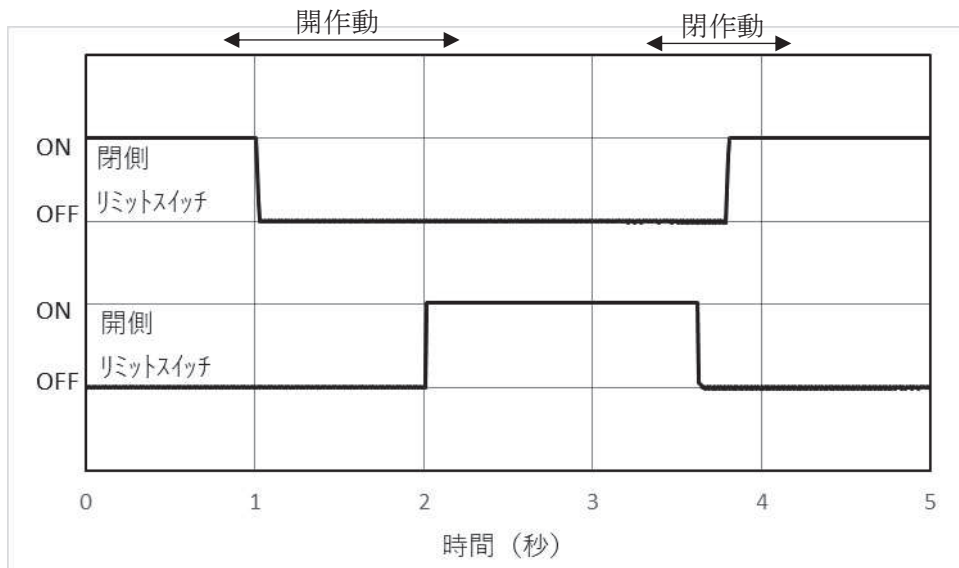


図 2.5-6 X 方向 $20 \times 9.8 \text{ m/s}^2$ 加振後の作動信号

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、試験体据付状況を図 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。

女川 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。これらの弁のうち、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。

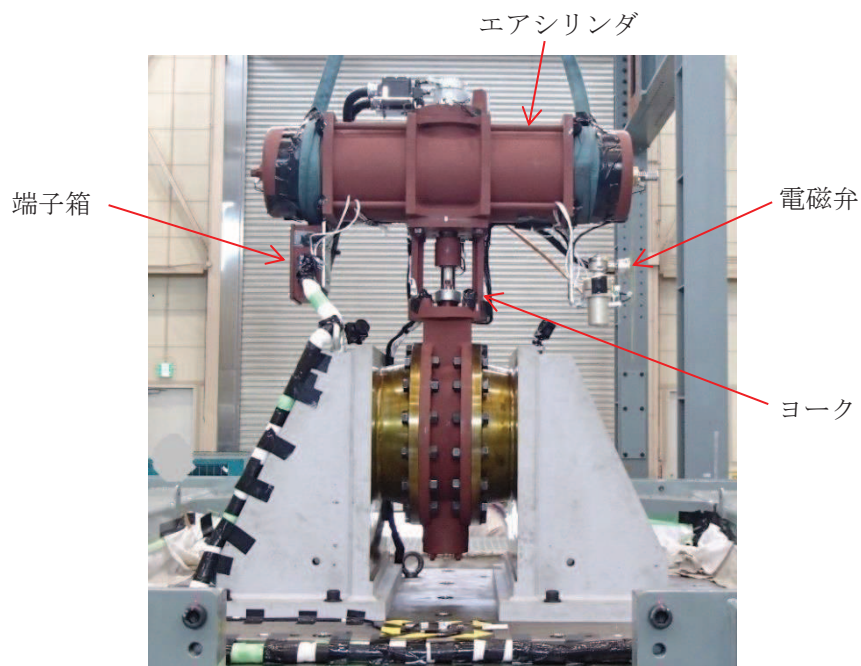


図 2.5-7 空気作動バタフライ弁シリンダ型直結式試験体外観

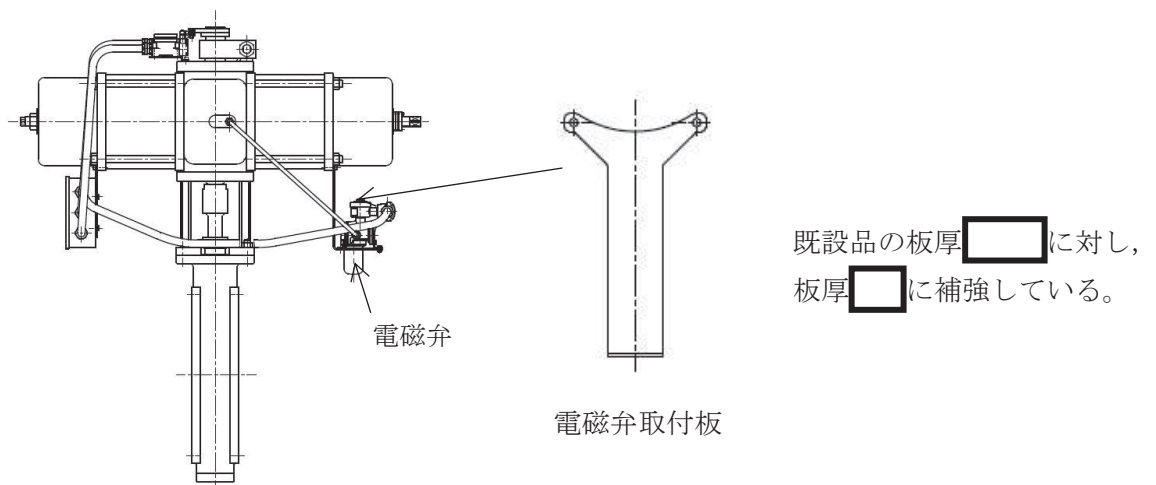
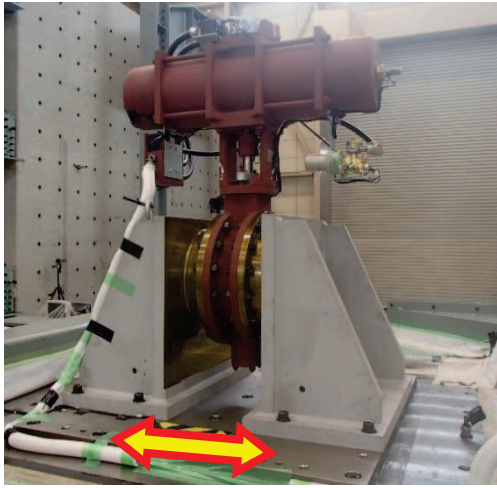
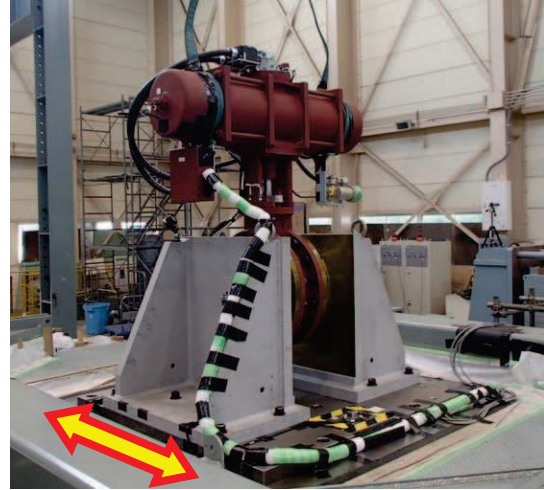


図 2.5-8 空気作動バタフライ弁シリンダ型直結式 電磁弁取付板の取付位置及び構造

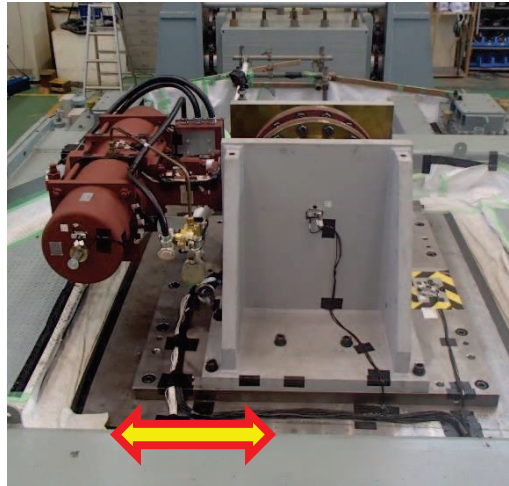
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



水平 (X) 方向



水平 (Y) 方向



鉛直 (Z) 方向

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

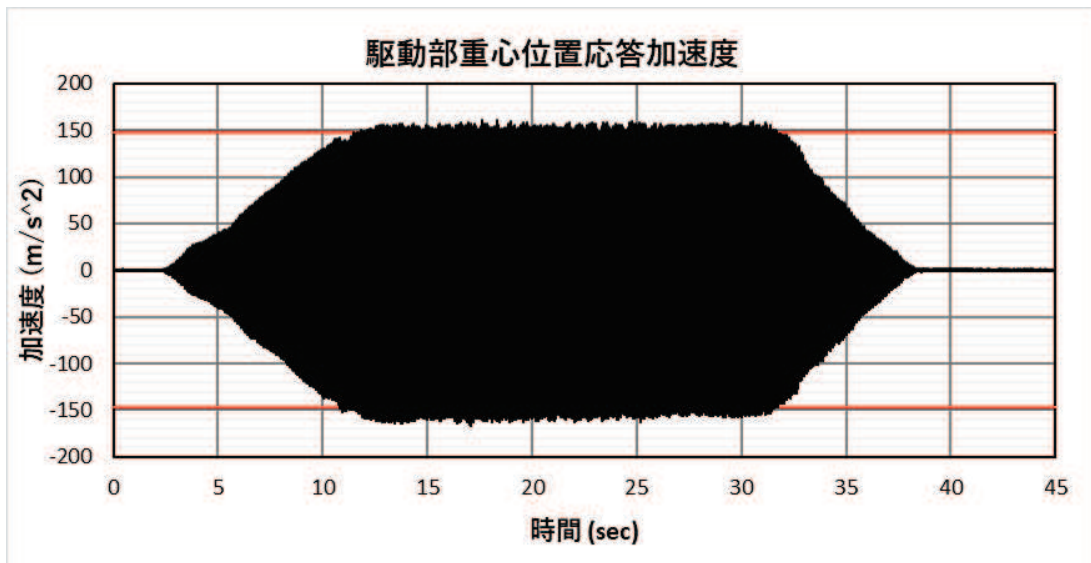


図 2.5-10 X 方向 $15 \times 9.8 \text{ m/s}^2$ 加振時の駆動部応答加速度波形

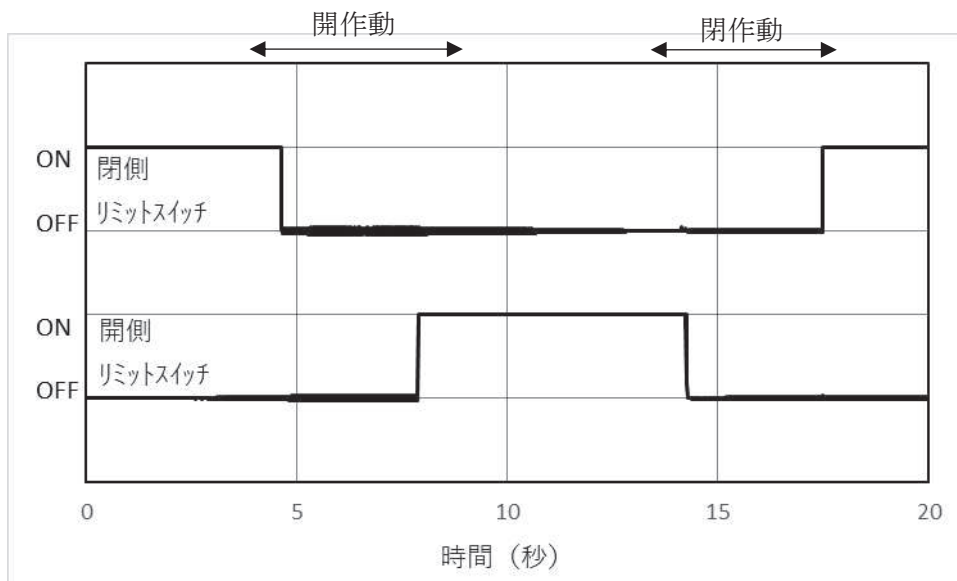


図 2.5-11 X 方向 $15 \times 9.8 \text{m/s}^2$ 加振後の作動信号

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 女川 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
非常用ガス処理系	T46-F001A	300A
	T46-F001B	300A

(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および吹出容量により 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、女川 2 号機で使用しているものと同一であり、概略仕様および構造を以下に示す。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本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、女川 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。女川 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 試験体の比較（主蒸気逃がし安全弁試験体（改良小型））

	女川 2 号機	今回試験	J E A G 4 6 0 1 (耐特委)	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耐特委及び女川 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	

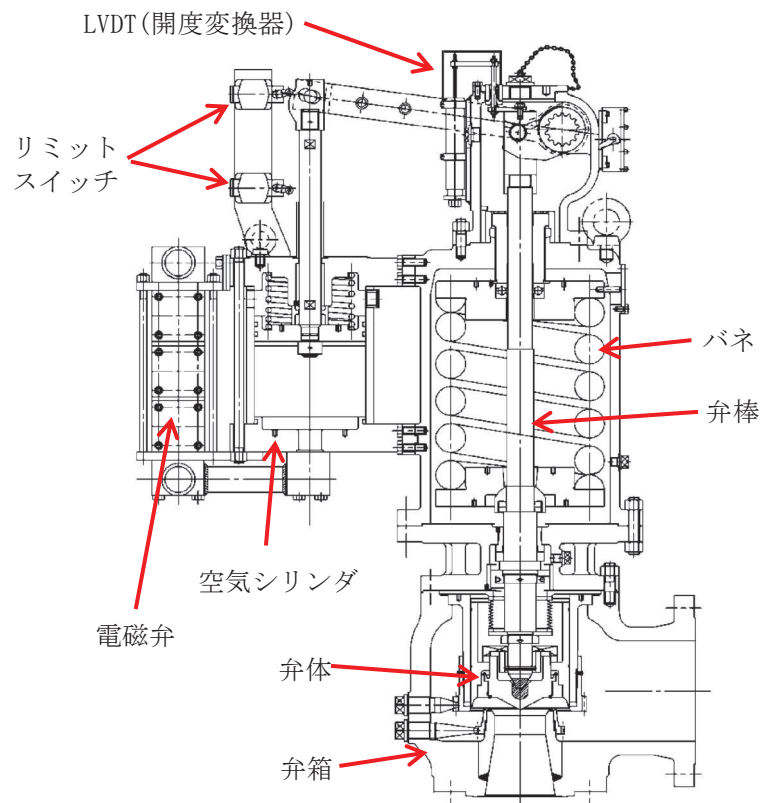


図 2.6-1 主蒸気逃がし安全弁試験体 (改良小型)

(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二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、も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、吹き出し圧力より低い圧力にて予め加圧した。

試験時の確認項目を表2.6-2に、試験体の外観および据付状態を図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）

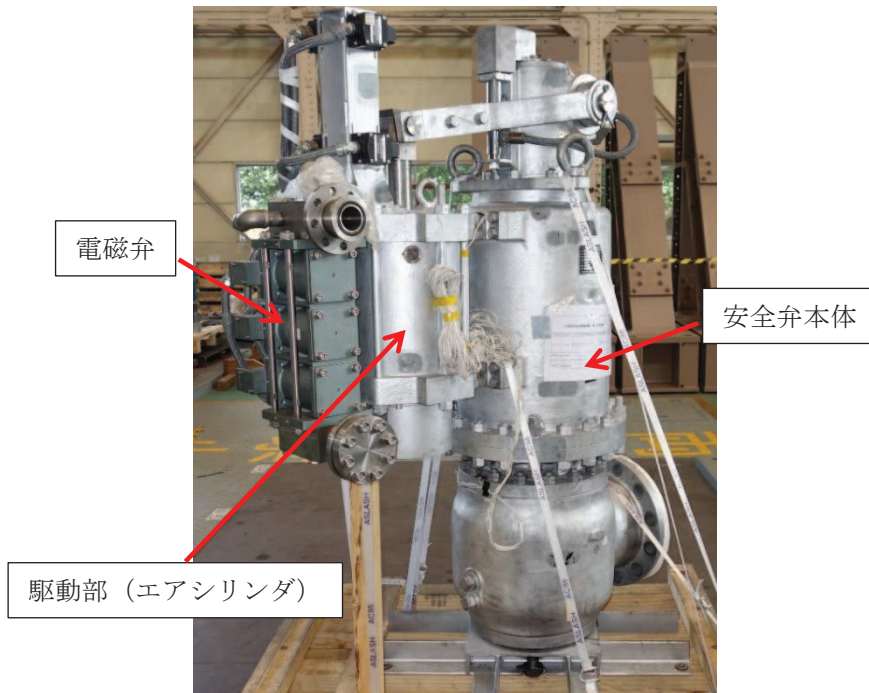


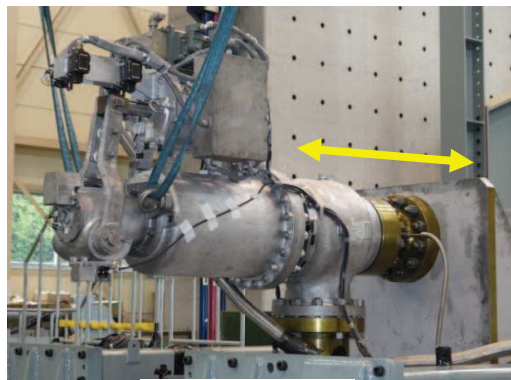
図 2. 6-2 主蒸気逃がし安全弁試験体外観



水平 (X) 方向



水平 (Y) 方向



鉛直 (Z) 方向

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	J E A G 4 6 0 1 (耐特委)	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	地震波	今回試験では耐特委よりも 大きい加速度で加振
	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	作動状態に異常なし	今回試験では, 試験設備の窒素ガス供給能力の限界により, 安全弁作動試験は未実施だが, 加振後の状態等から機能維持に問題はなく同等 ((3)b 項に詳細を記載)
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 (×9.8m/s ²)			作動状態
X 方向	Y 方向	Z 方向	
20.0	20.0	20.0	良好

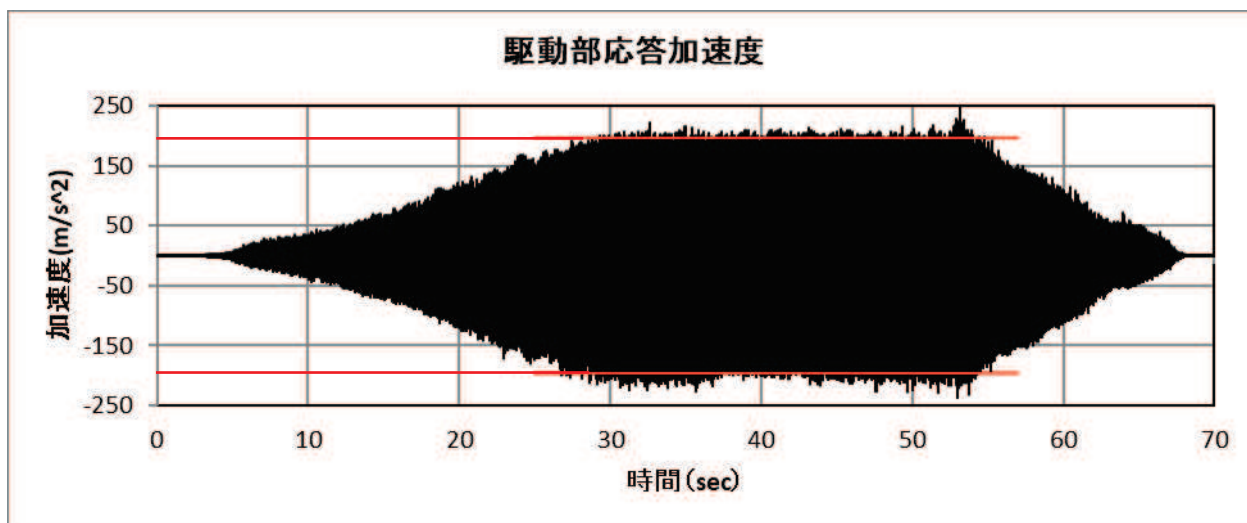


図 2.6-4 Y 方向 20×9.8m/s²加振時の駆動部応答加速度波形

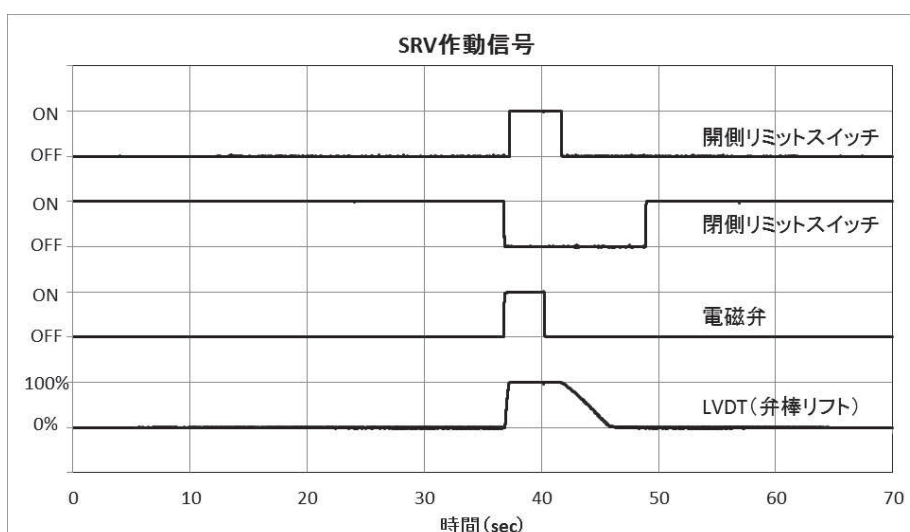


図 2.6-5 Y 方向 20×9.8m/s²加振時の作動信号

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、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。弁座漏えいは高加振中の一時的なものであったほか、前述の逃がし弁機能は良好な作動状態であり、弁自体に有意な損傷は確認されていないこと、実機のような十分な蒸気量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されることから、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 2.6-5 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おいて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

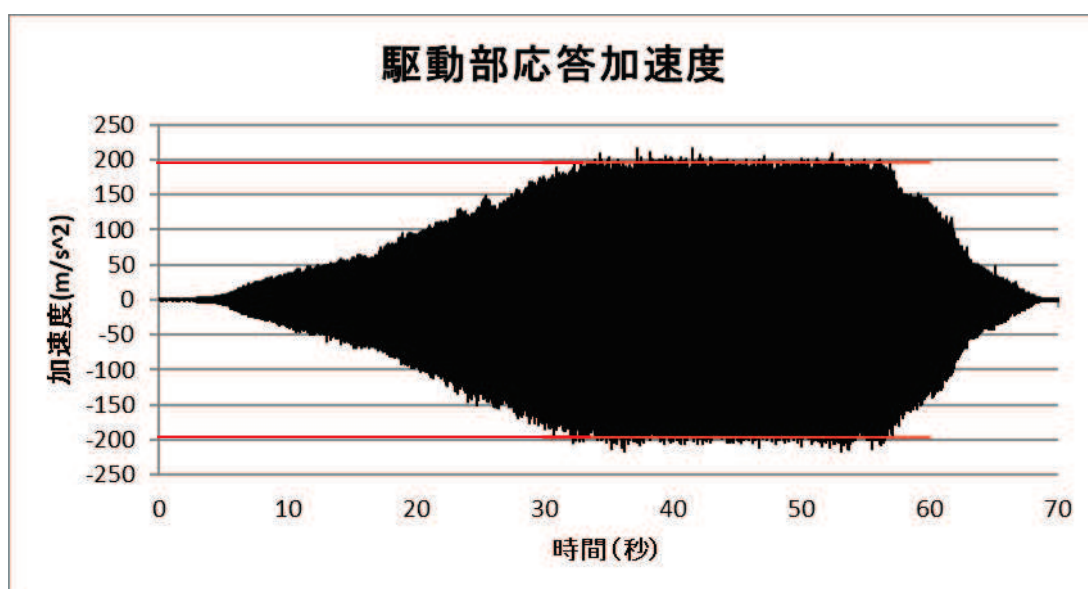


図 2.6-6 Y 方向 $20 \times 9.8\text{m/s}^2$ 加振時の駆動部応答加速度波形

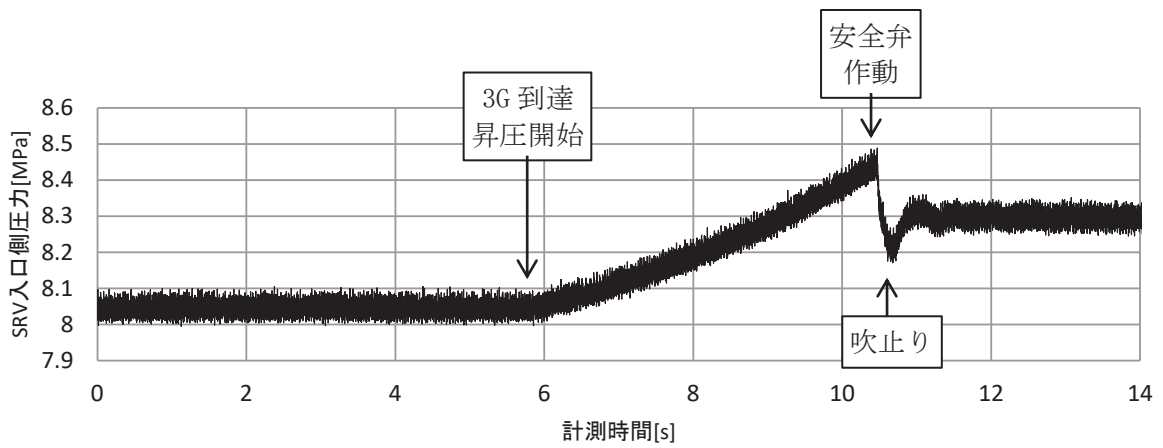
表 2.6-6 安全弁吹出し圧力

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 3×9.8m/s ²	8.45	8.62
X 方向 15×9.8m/s ²	—*	8.20
X 方向 20×9.8m/s ²	—*	8.52
Y 方向 3×9.8m/s ²	8.35	8.55
Y 方向 15×9.8m/s ²	—*	8.18
Y 方向 20×9.8m/s ²	—*	8.30
Z 方向 3×9.8m/s ²	7.85	8.31
Z 方向 10×9.8m/s ²	—*	8.29
Z 方向 20×9.8m/s ²	—*	8.30

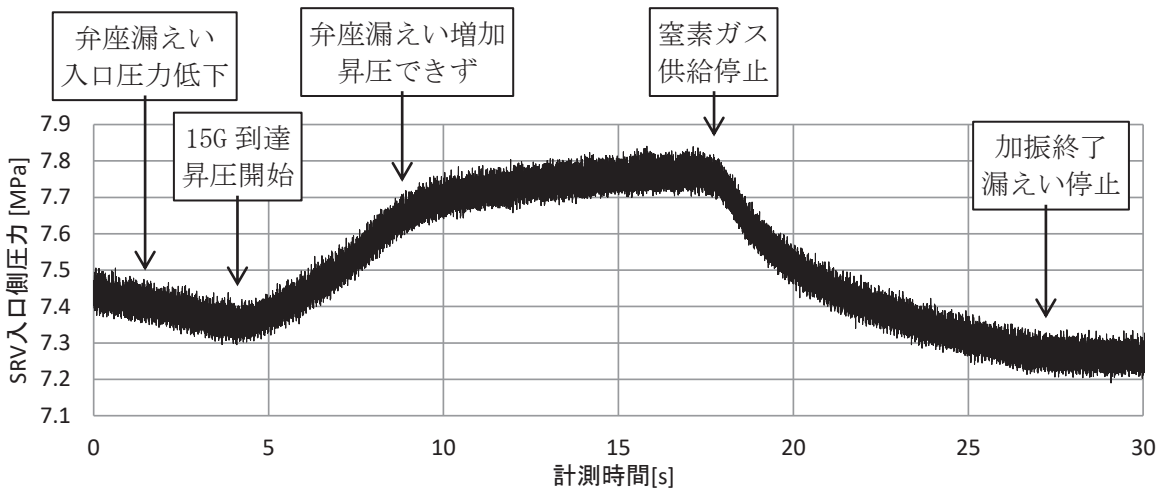
注記*：弁座漏えいにより入口側圧力が昇圧できず，試験設備の窒素ガス供給量の限界から，吹出し作動自体は確認できなかった。加振時の弁入口圧力の状況を図 2.6-7 に示す。

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	規定圧力にて吹き出すこと	加振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

図 2.6-7 加振時の入口圧力状況

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。女川 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間の相違はなく、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本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、女川 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。女川 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 試験体の比較（主蒸気隔離弁）

項目	女川 2 号機	今回試験	J E A G 4 6 0 1 (耐特委)	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、耐特委及び女川 2 号機よりも小さい径を使用した。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 3,080mm	約 2,810mm	約 3,400mm	
質量	約 5,090kg	約 4,100kg	約 6,000kg	

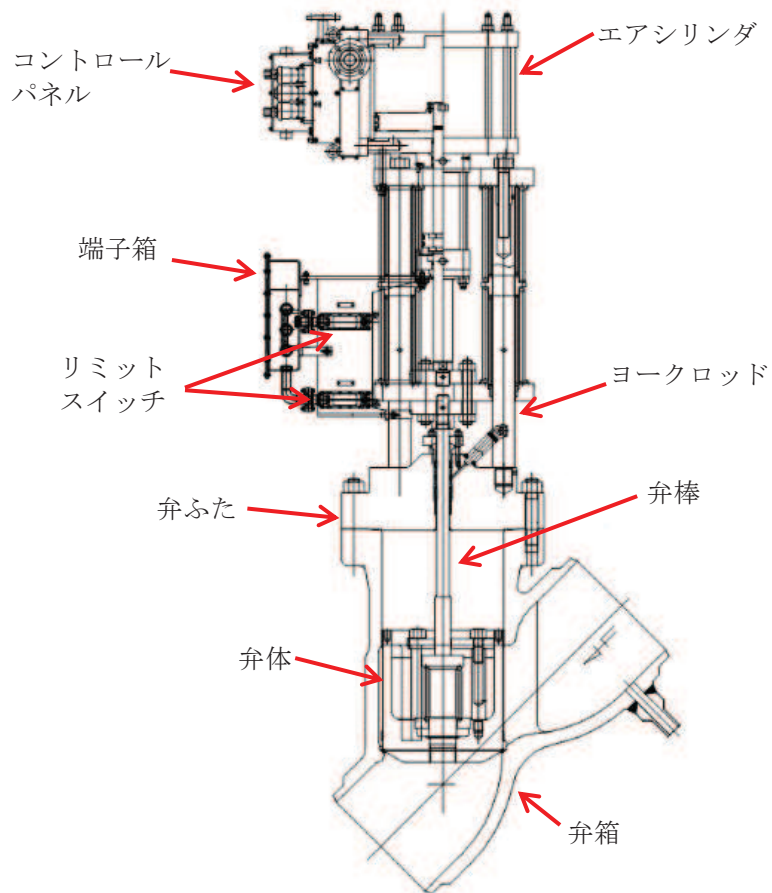


図 2.7-1 主蒸気隔離弁試験体 (500A)

(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。加振中およ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、加振前およ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、シーリング性を確認した。

試験時の確認項目を表 2.7-2 に、試験体の外観および据付状態を図 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

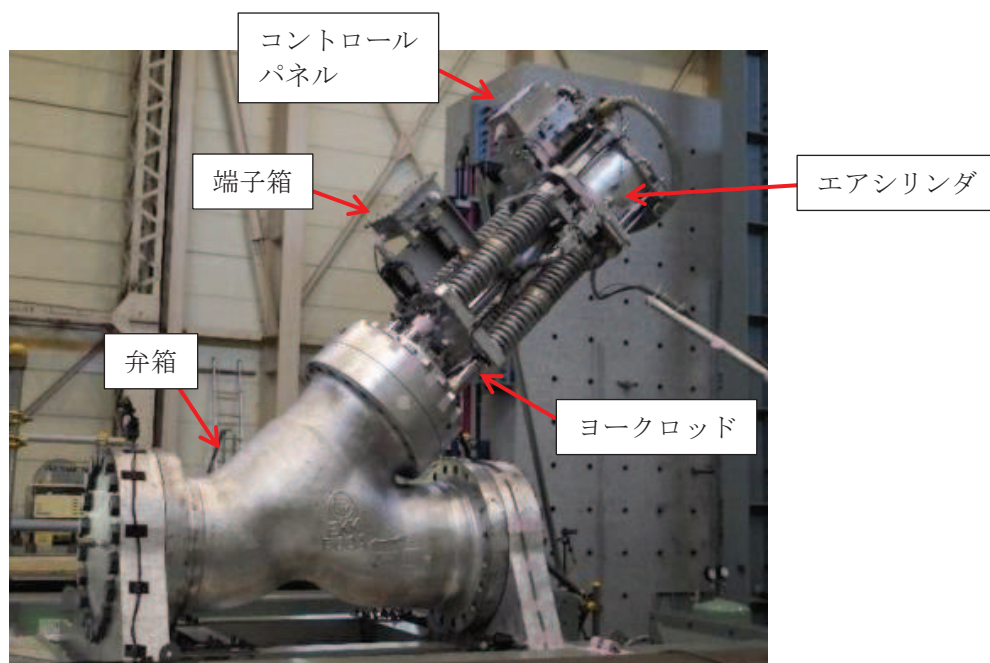
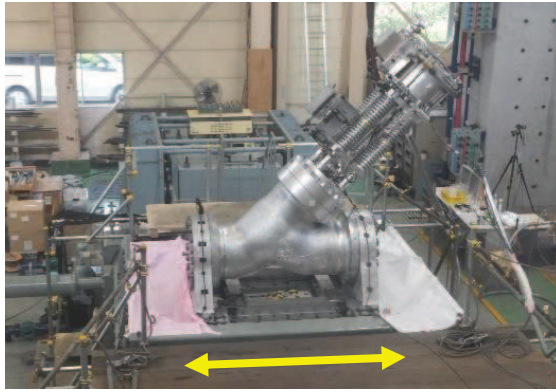
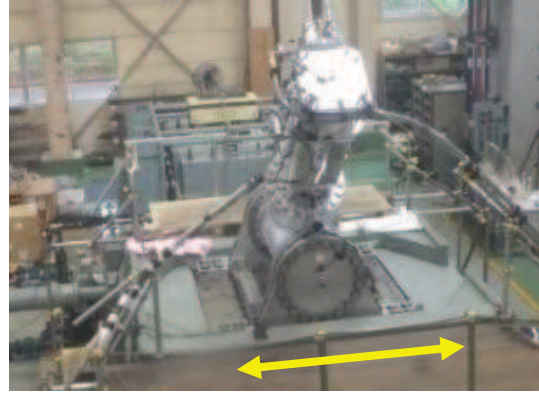


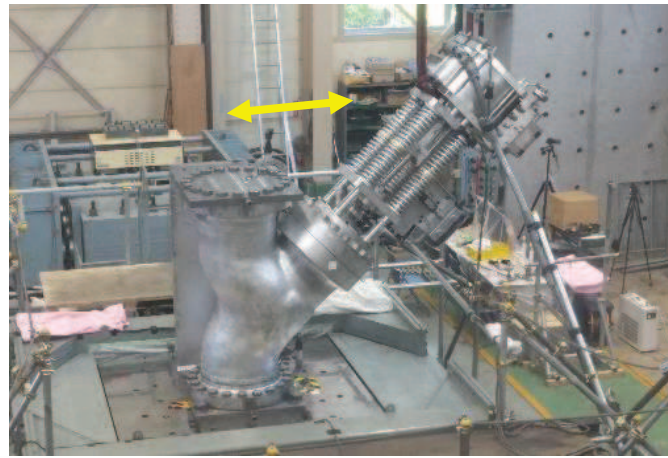
図 2.7-2 主蒸気隔離弁試験体外観



水平 (X) 方向



水平 (Y) 方向



鉛直 (Z) 方向

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	J E A G 4 6 0 1 (耐特委)	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	今回試験では耐特委 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	同左	同等
加振後 試験	弁座漏えい試験	漏えいなし	同左	同等

注記* : 弁の全開状態から全閉状態までの作動時間

(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見られず、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 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)			作動状況
X 方向	Y 方向	Z 方向	
18.6	16.5	18.8	良好

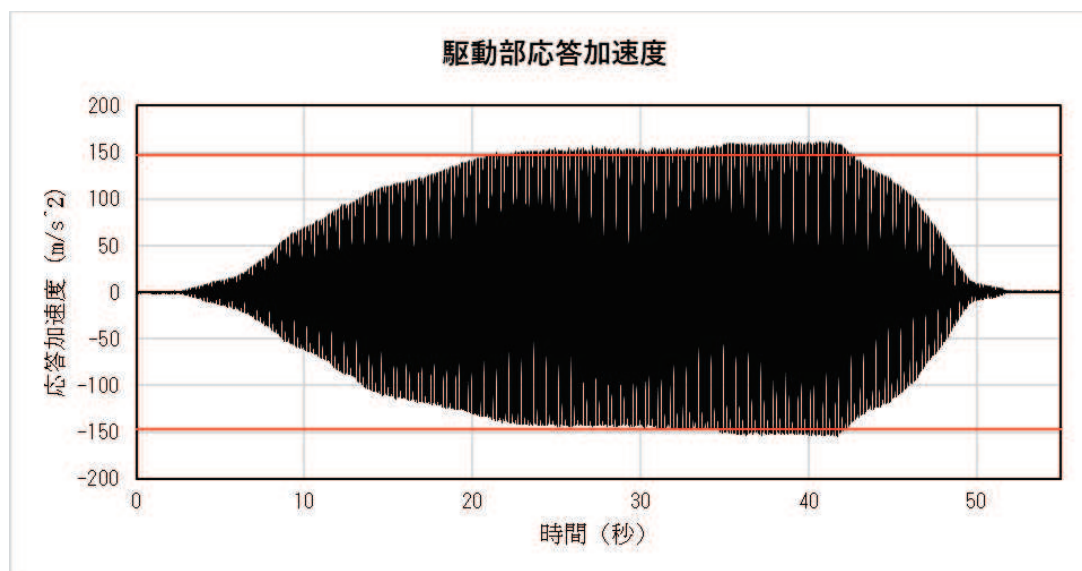


図 2.7-4 Y 方向目標加速度 $15 \times 9.8\text{m/s}^2$ 加振時の駆動部応答加速度波形

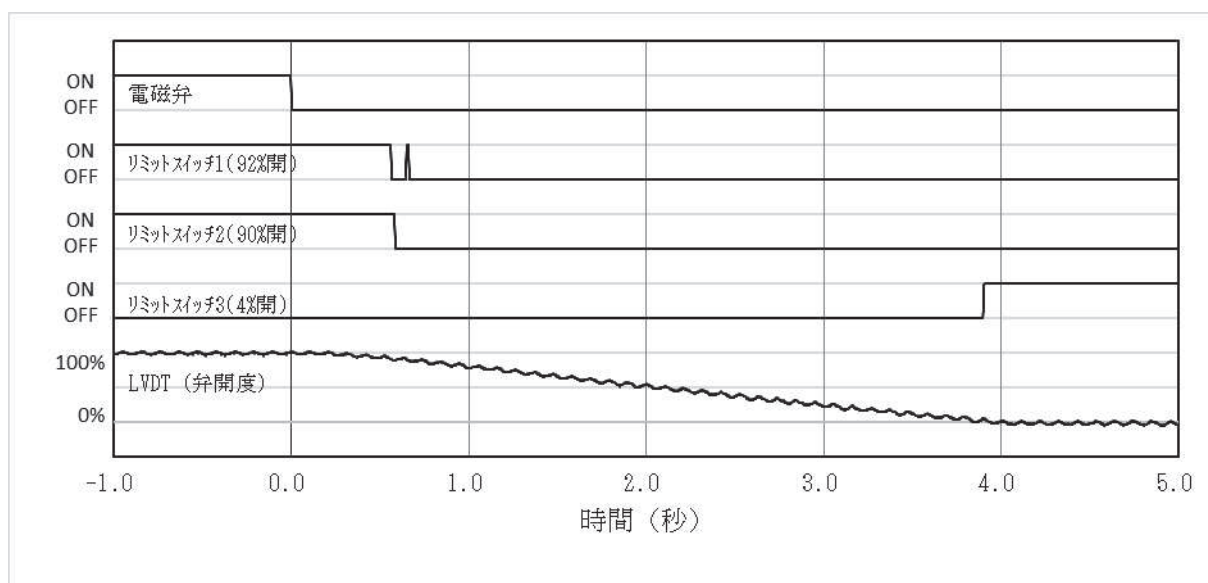


図 2.7-5 Y 方向目標 $15 \times 9.8 \text{m/s}^2$ 加振時の作動信号*

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，開閉状態の検出の他，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*1: 二次減速機との組み合わ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

女川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。

女川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”に記載の通りであり、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 過去の研究と女川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)」	女川 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	20Hz 若しくは弁の固有振動数	20Hz 若しくは弁の固有振動数	約 10Hz
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	女川 2 号	東海第二	柏崎刈羽 7 号	大飯 3,4 号	高浜 1,2 号	高浜 3,4 号	美浜 3 号	伊方 3 号	川内 1,2 号	玄海 3,4 号	
「詳細検討」*1 (At 値超過)	立形ポンプ	立形斜流式	・原子炉補機冷却海水ポンプ ・ 高压炉心スプレィ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										
		ポンプ駆動用タービン	—										
	電動機	立形すべり 軸受機	・ 高压炉心スプレィ系ポンプ用電動機 ・ 低压炉心スプレィ系ポンプ用電動機 ・ 原子炉補機冷却海水ポンプ用電動機 ・ 高压炉心スプレィ補機冷却海水ポンプ用電動機										
		横形ころが り軸受機	・ 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ウ用電動機										
	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	・ 非常用ディーゼル機関及び発電機										
		高速形	・ 高压炉心スプレィ系ディーゼル機関及び発電機										
		往復動式ポンプ	・ ほう酸水注入系ポンプ										
	一般弁	グローブ弁	・ グローブ弁*4										
ゲート弁		・ ゲート弁*4											
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	横形スクリュウ式ポンプ	・ 非常用ディーゼル発電設備 燃料移送ポンプ ・ 高压炉心スプレィ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											
	ギヤ式ポンプ	—											
加振試験*3	—	・ 高压代替注水系タービンポンプ ・ ガスタービン発電設備 機関・発電機											

注記*1： J E A G 4 6 0 1 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： J E A G 4 6 0 1 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： J E A G 4 6 0 1 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： J E A G 4 6 0 1 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、主蒸気隔離弁操作電磁弁は工認の要目表対象外）。

枠囲みの内容は他社の機密事項を含む可能性があるため公開できません。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-補-E-19-0600-14-2_改 10

補足-600-14-2 弁の応答加速度の算出について

目 次

1. はじめに	1
2. 弁の動的機能維持評価に用いる配管系の応答値について	1
3. スペクトルモーダル解析において考慮する高振動数領域及び床応答曲線について	3
4. 高振動数領域を考慮した弁の動機機能維持評価結果	4

添付 1 弁の動的機能維持評価における高振動数領域の検討に適用する床応答曲線について

添付 2 機能維持評価用加速度の応答増加が確認された弁に対する要因の推定

添付 3 弁の動的機能維持評価に用いる床応答曲線について

添付 4 弁の高振動数領域を考慮した評価を行う配管モデルの妥当性の確認

1. はじめに

本資料では、実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈等における動的機能保持に関する評価に係る一部改正（以下「技術基準規則解釈等の改正」という。）及びそれに伴い改正された耐震設計に係る工認審査ガイドの記載を踏まえて、弁の動的機能維持の検討方針を示す。

耐震設計に係る工認審査ガイド（抜粋）

弁等の機器の地震応答解析結果の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、当該機器については、当該配管の地震応答の影響を考慮し、一定の余裕を見込むこと。

なお、本資料が関連する工認図書は以下のとおり。

- ・「VI-2-5-3-1-2 管の耐震性についての計算書（主蒸気系）」
- ・「VI-2-5-3-2-1 管の耐震性についての計算書（復水給水系）」
- ・「VI-2-5-4-1-4 管の耐震性についての計算書（残留熱除去系）」
- ・「VI-2-5-5-1-3 管の耐震性についての計算書（高圧炉心スプレイ系）」
- ・「VI-2-5-5-2-3 管の耐震性についての計算書（低圧炉心スプレイ系）」
- ・「VI-2-5-6-1-3 管の耐震性についての計算書（原子炉隔離時冷却系）」
- ・「VI-2-5-8-1-1 管の耐震性についての計算書（原子炉冷却材浄化系）」
- ・「VI-2-9-4-4-1-2 管の耐震性についての計算書（非常用ガス処理系）」
- ・「VI-2-9-4-4-2-1 管の耐震性についての計算書（可燃性ガス濃度制御系）」
- ・「VI-2-9-4-5-1-1 管の耐震性についての計算書（原子炉格納容器調気系）」

2. 弁の動的機能維持評価に用いる配管系の応答値について

技術基準規則解釈等の改正を踏まえて、女川原子力発電所第2号機の配管系に設置される弁の動的機能維持評価に適用する加速度の算定方針について、規格基準に基づく設計手順を整理し、比較することにより示す。

規格基準に基づく手法としてJ E A G 4 6 0 1-1991（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）の当該記載部の抜粋を図1に示す。

(1) 規格基準に基づく設計手順の整理

J E A G 4 6 0 1において、弁の動的機能維持評価に用いる弁駆動部の応答加速度の算定方針が示されている。

配管系の固有値が剛と判断される場合は最大加速度（以下「ZPA」という。）を用いること、また、柔の場合は設計用床応答曲線を入力とした配管系のスペクトルモーダル解析を行い算出された弁駆動部での応答加速度を用いることにより、弁の動的機能維持評価を実施することとされている。

(2) 今回工認における女川原子力発電所第2号機の設計手順

今回工認における女川原子力発電所第2号機の弁駆動部での応答加速度値の設定は、耐震設計に係る工認審査ガイドの記載を踏まえ、上記の規定に加えて一定の余裕を見込むとともに、配管解析に用いるスペクトルモーダル解析では各モードの応答をモード合成して最大応答を算出していることに鑑みて、20Hzを超える振動数領域まで考慮した地震応答解析を実施する方針とする。

a. 剛の場合（配管系の1次固有周期が20Hz以上の場合）

配管系が剛な場合は、最大加速度に一定の余裕を考慮し1.2倍した値(1.2ZPA)を用いて弁駆動部の応答加速度を算出し、機能維持評価を実施する。

b. 柔の場合（配管系の1次固有周期が20Hz未満の場合）

配管系が柔の場合は、J E A G 4 6 0 1の手順と同様にスペクトルモーダル解析を行い弁駆動部の応答加速度を算出した値に加えて、剛領域の振動モードの影響を考慮する観点から1.2倍した最大加速度(1.2ZPA)による弁駆動部の応答加速度を算定し、何れか大きい加速度を用いて機能維持評価を行う方針とする。

また、今回工認における弁駆動部の応答加速度の算定に用いる配管系のスペクトルモーダル解析において、剛領域の振動モードの影響を踏まえて、20Hzを超える振動数領域まで考慮した地震応答解析により、弁駆動部の応答加速度の算定を行う。

弁の機能維持評価における規格基準に基づく耐震設計手順及び女川原子力発電所第2号機の耐震設計手順の比較を表1に示す。表1に示すとおり、女川原子力発電所第2号機における弁の機能維持評価に用いる加速度としては、規格基準に基づく設定方法に比べて一定の裕度を見込んだ値としている。

(5) 地震応答解析

弁の地震応答を算出するに当たり、(4)項で作成した弁モデルを配管系モデルに組み込み、地震応答解析を実施する。この場合の解析方法は、配管系の固有値に応じて静的応答解析法あるいはスペクトルモーダル応答解析法を用いる。

配管系の固有値が剛と判断される場合は、静的応答解析を行うが、この場合弁に加わる加速度は設計用床応答スペクトルのZPA（ゼロ周期加速度）であり、これを弁駆動部応答加速度と見なして評価を行う。また、剛の範囲にない場合には、原則として(3)項で定めた設計用床応答スペクトルを入力とする配管系のスペクトルモーダル解析を行い、算出された弁駆動部応答加速度を用いて弁の評価を実施する。更に、弁の詳細評価が必要となる場合には、弁各部の強度評価に必要な応答荷重を算出する。

なお、減衰定数については現在配管系の解析に使用されている0.5~2.5%の値を用いるものとする。

図1 J E A G 4 6 0 1の抜粋 (P345)

表 1 弁の機能維持評価の耐震設計手順の比較

配管系の 固有値	J E A G 4 6 0 1	女川原子力発電所第 2 号機
剛の場合	最大加速度 (1.0ZPA) を適用する。	最大加速度を 1.2 倍した値 (1.2ZPA) を適用
柔の場合	スペクトルモーダル解析により算出した弁駆動部の応答を適用する。	スペクトルモーダル解析*から算定される弁駆動部の応答加速度値又は最大加速度を 1.2 倍した値 (1.2ZPA) の何れか大きい方を適用する。

注記* : 20Hz を超える振動数領域まで考慮した地震応答解析により算定する。

3. スペクトルモーダル解析において考慮する高振動数領域及び床応答曲線について

高振動数領域を考慮した弁の機能維持評価について、女川原子力発電所第 2 号機における従来の弁の機能維持評価に用いる振動数領域は 20Hz までとしていたが、新たに 50Hz, 100Hz まで考慮したスペクトルモーダル解析を実施する。

スペクトルモーダル解析に使用する床応答曲線について検討を行った結果を添付 1 に示す。添付 1 に示すとおり、女川原子力発電所の基準地震動 S_s の周期特性と建屋の振動特性の関係により、床応答曲線は 20Hz から 50Hz の領域で応答が卓越することが確認されたことから、高振動数領域の検討においては 50Hz までの適用を基本とする。

また、床応答曲線は 50Hz 付近で概ね応答が最大加速度 (1.0ZPA) 程度まで収束していること、基準地震動 S_s の評価範囲が 0.02 秒～5 秒であることを踏まえて、弁の動的機能維持評価に適用する床応答曲線については、作成範囲を 50Hz までとし、50Hz 以上の領域は最大加速度 (1.0ZPA) と設定した曲線を適用する。

補足説明資料「補足-600-14-3 動的機能維持評価対象弁の選定方法について」に整理している動的機能要求弁については、上記で示した床応答曲線を用いて振動数領域を 50Hz 及び 100Hz まで考慮した応答加速度の比較を行うこととし、有意な応答増加が確認された場合は有意な応答増加がなくなる範囲まで振動数領域を拡張することにより、機能維持の確認を行う (図 2 参照)。ここで、有意な応答増加の判断における考え方は以下のとおりとする。

【パターン 1】

J E A G 4 6 0 1 に基づき機能確認済加速度を適用している弁^{*1}

応答加速度の増加率が 10%以上且つ、応答加速度の増加値が機能確認済加速度の 10%以上 (0.6G 以上) である場合を有意な応答増加とする。

【パターン 2】

J E A G 4 6 0 1 に基づく機能確認済加速度を超過し詳細評価を実施する弁^{*2}

応答加速度の増加率が10%以上である場合を有意な応答増加とする。(詳細評価の場合、弁駆動部の機能確認済加速度は15Gや20Gと大きくなるため、機能確認済加速度の10%に相当する判断基準を適用すると、1.5Gや2.0Gと比較的大きな上振れも許容する可能性があるため、判断基準から除外する。)

*1: 添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に定義している以下に示す機能確認済加速度を適用する設備

一般弁(グローブ弁, ゲート弁, バタフライ弁, 逆止弁): 水平 6.0G, 鉛直 6.0G

主蒸気隔離弁: 水平 10.0G, 鉛直 6.2G

主蒸気逃がし安全弁: 水平 9.6G, 鉛直 6.1G

制御棒駆動系スクラム弁: 水平 6.0G, 鉛直 6.0G

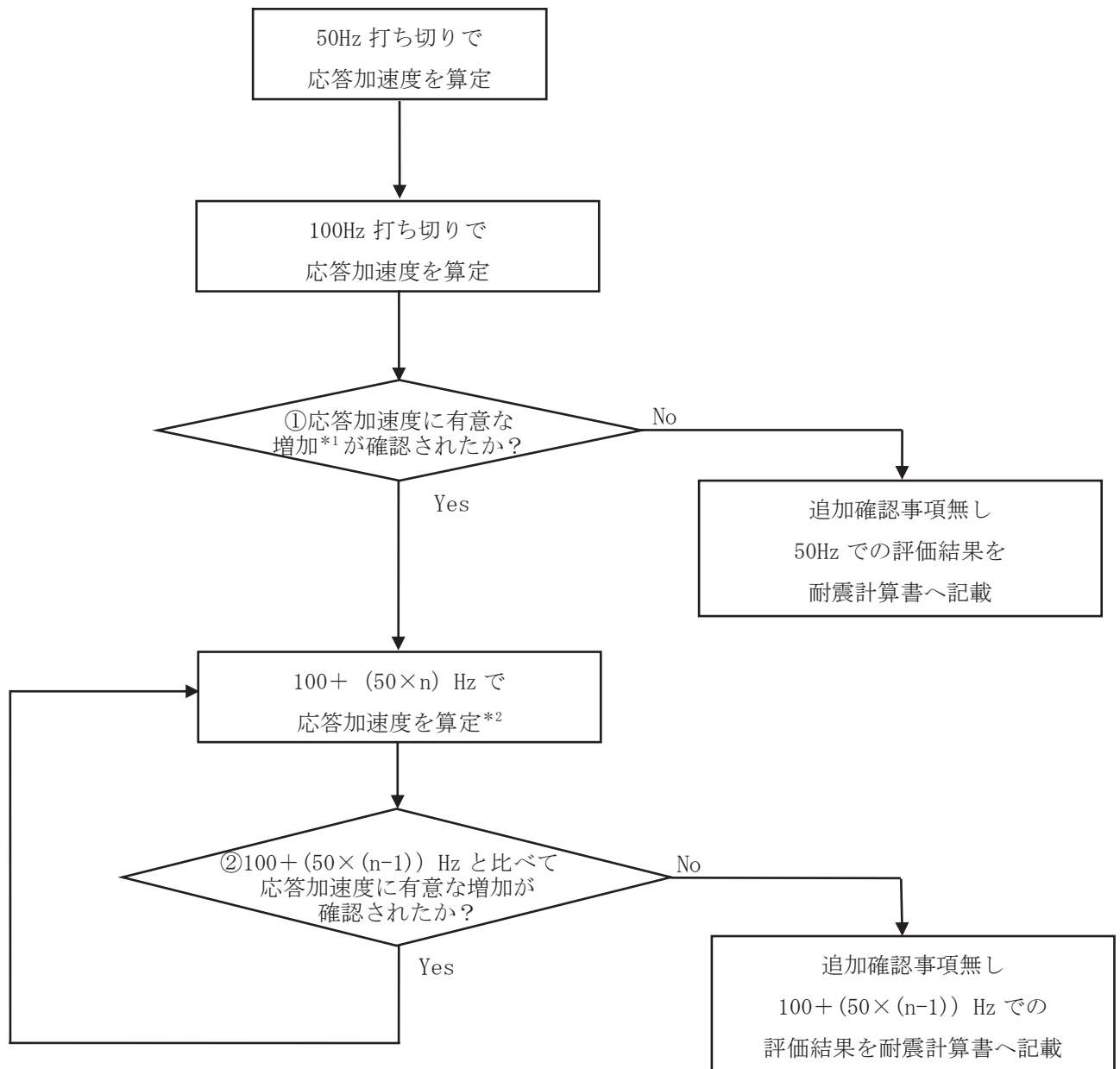
*2: 詳細評価の詳細は補足説明資料「補足-600-14-1 動的機能維持の詳細評価について(新たな検討又は詳細検討が必要な設備の機能維持評価について)」に示す。

4. 高振動数領域を考慮した弁の動機機能維持評価結果

基準地震動 S_s に対して振動数領域を50Hz及び100Hzまで考慮した場合の応答加速度を表2に示す。表3には100Hzで有意な増加が確認された弁について、更なる高振動数領域として150Hzまでを考慮した場合の応答増加の影響確認結果を示す。なお、表2において方向が「合成」となっている弁については、3項に記載したパターン2に該当する弁であり、JEAG 4601に基づく機能確認済加速度を超過するため詳細評価を実施している弁(逆止弁を除く)である。これらの弁については駆動部の許容値として20G等を設定しているが、この許容値は弁に発生する各方向の加速度をベクトル合成した加速度に対して設定しているものであることから、表中では「合成」との記載にしている。弁の詳細評価については「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)」に詳細を示す。

表3に示すとおり、更なる高振動数領域まで考慮した弁の応答加速度値に有意な応答増加がないこと及び機能確認済加速度に収まることを確認した。100Hzで応答加速度に有意な増加が確認された弁に対する要因推定は添付2に示す。

なお、本検討に適用した床応答曲線を添付3に、高振動数領域を評価する配管モデルについて検証した結果を添付4に示す。



- *1 : (パターン1 JEAG4601に基づき機能確認済加速度を適用している弁) 応答加速度の増加率が10%以上且つ、応答加速度の増加値が機能確認済加速度の10%以上(0.6G以上)である場合を有意な応答増加という。
 (パターン2 JEAG4601に基づく機能確認済加速度を超過し詳細評価を実施する弁) 応答加速度の増加率が10%以上である場合を有意な増加という。
- *2 : nの初期値は1とし、②の結果がYesになるごとに1を加算していく。

図2 弁の高振動数領域を考慮した動的機能維持評価フロー

表 2 高振動数領域を考慮した弁の動的機能維持評価結果（基準地震動 S s）（1/9）

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 ((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	B21-F001A	主蒸気逃がし安全 弁(A)	安全弁	合成	14.05	20.00	1.42	14.07	20.00	1.42	1.01	0.10%	
						14.05			14.07					
						2.26			2.26					
2	MS	B21-F001B	主蒸気逃がし安全 弁(B)	安全弁	合成	13.63	20.00	1.46	13.65	20.00	1.46	1.01	0.10%	
						13.63			13.65					
						2.26			2.26					
3	MS	B21-F001C	主蒸気逃がし安全 弁(C)	安全弁	合成	11.25	20.00	1.77	11.28	20.00	1.77	1.01	0.15%	
						11.25			11.28					
						2.26			2.26					
4	MS	B21-F001D	主蒸気逃がし安全 弁(D)	安全弁	合成	12.84	20.00	1.55	12.86	20.00	1.55	1.01	0.10%	
						12.84			12.86					
						2.26			2.26					
5	MS	B21-F001E	主蒸気逃がし安全 弁(E)	安全弁	合成	15.86	20.00	1.26	15.87	20.00	1.26	1.00	0.05%	
						15.86			15.87					
						2.26			2.26					
6	MS	B21-F001F	主蒸気逃がし安全 弁(F)	安全弁	合成	15.48	20.00	1.29	15.51	20.00	1.28	1.01	0.15%	
						15.48			15.51					
						2.26			2.26					
7	MS	B21-F001G	主蒸気逃がし安全 弁(G)	安全弁	合成	14.25	20.00	1.40	14.27	20.00	1.40	1.01	0.10%	
						14.25			14.27					
						2.47			2.47					
8	MS	B21-F001H	主蒸気逃がし安全 弁(H)	安全弁	合成	15.24	20.00	1.31	15.25	20.00	1.31	1.00	0.05%	
						15.24			15.25					
						2.47			2.47					
9	MS	B21-F001J	主蒸気逃がし安全 弁(J)	安全弁	合成	14.01	20.00	1.42	14.02	20.00	1.42	1.00	0.05%	
						14.01			14.02					
						2.47			2.47					
10	MS	B21-F001K	主蒸気逃がし安全 弁(K)	安全弁	合成	14.37	20.00	1.39	14.39	20.00	1.38	1.01	0.10%	
						14.37			14.39					
						2.47			2.47					

注記*：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。配管系が剛な場合は中段の動的解析結果に「-」を記載。

表 2 高振動数領域を考慮した弁の動的機能維持評価結果（基準地震動 S s）（2/9）

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 ((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			
11	MS	B21-F001L	主蒸気逃がし 安全弁(L)	安全弁	合成	15.14	20.00	1.32	15.16	20.00	1.31	1.01	0.10%	
						15.14			15.16					
						2.47			2.47					
12	MS	B21-F002A	主蒸気第一隔 離弁(A)	主蒸気 隔離弁	合成	11.38	15.00	1.31	11.42	15.00	1.31	1.01	0.27%	
						11.38			11.42					
						2.26			2.26					
13	MS	B21-F002B	主蒸気第一隔 離弁(B)	主蒸気 隔離弁	水平	9.24	10.00	1.08	9.26	10.00	1.07	1.01	0.20%	
						9.24			9.26					
						1.82			1.82					
					鉛直	5.86	6.20	1.05	5.88	6.20	1.05	1.01	0.33%	
						5.86			5.88					
						1.33			1.33					
14	MS	B21-F002C	主蒸気第一隔 離弁(C)	主蒸気 隔離弁	合成	14.07	15.00	1.06	14.10	15.00	1.06	1.01	0.20%	
						14.07			14.10					
						2.47			2.47					
15	MS	B21-F002D	主蒸気第一隔 離弁(D)	主蒸気 隔離弁	合成	13.67	15.00	1.09	13.70	15.00	1.09	1.01	0.20%	
						13.67			13.70					
						2.47			2.47					
16	MS	B21-F003A	主蒸気第二隔 離弁(A)	主蒸気 隔離弁	合成	13.55	15.00	1.10	13.57	15.00	1.10	1.01	0.14%	
						13.55			13.57					
						2.26			2.26					
17	MS	B21-F003B	主蒸気第二隔 離弁(B)	主蒸気 隔離弁	合成	13.63	15.00	1.10	13.65	15.00	1.09	1.01	0.14%	
						13.63			13.65					
						2.26			2.26					
18	MS	B21-F003C	主蒸気第二隔 離弁(C)	主蒸気 隔離弁	合成	14.43	15.00	1.03	14.46	15.00	1.03	1.01	0.20%	
						14.43			14.46					
						2.47			2.47					
19	MS	B21-F003D	主蒸気第二隔 離弁(D)	主蒸気 隔離弁	合成	14.96	15.00	1.00	14.99	15.00	1.00	1.01	0.20%	
						14.96			14.99					
						2.47			2.47					

注記*：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。配管系が剛な場合は中段の動的解析結果に「-」を記載。

表 2 高振動数領域を考慮した弁の動的機能維持評価結果（基準地震動 S s）（3/9）

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 (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						
20	FDW	B21-F052A	給水系第二 隔離弁 (A)	空気作動 逆止弁	水平	2.03	6.00	2.95	2.06	6.00	2.91	1.02	0.50%				
						2.03			2.06								
						1.82			1.82								
						鉛直	2.80	6.00	2.14	2.80	6.00				2.14	1.00	0.00%
							2.80			2.80							
							1.33			1.33							
21	FDW	B21-F052B	給水系第二 隔離弁 (B)	空気作動 逆止弁	水平	2.13	6.00	2.81	2.15	6.00	2.79	1.01	0.34%				
						2.13			2.15								
						1.82			1.82								
						鉛直	2.92	6.00	2.05	2.92	6.00				2.05	1.00	0.00%
							2.92			2.92							
							1.33			1.33							
22	FDW	B21-F053A	給水系第一 隔離弁 (A)	逆止弁	水平	2.44	6.00	2.45	2.47	6.00	2.42	1.02	0.50%				
						2.44			2.47								
						1.82			1.82								
						鉛直	1.33	6.00	4.51	1.33	6.00				4.51	1.00	0.00%
							1.09			1.09							
							1.33			1.33							
23	FDW	B21-F053B	給水系第一 隔離弁 (B)	逆止弁	水平	2.61	6.00	2.29	2.63	6.00	2.28	1.01	0.34%				
						2.61			2.63								
						1.82			1.82								
						鉛直	1.33	6.00	4.51	1.33	6.00				4.51	1.00	0.00%
							1.07			1.07							
							1.33			1.33							
24	RHR	E11-F003A	残留熱除去 系熱交換器 (A) バイパス 弁	電動 グローブ 弁	水平	3.74	6.00	1.60	3.75	6.00	1.60	1.01	0.17%				
						3.74			3.75								
						2.12			2.12								
						鉛直	1.56	6.00	3.84	1.56	6.00				3.84	1.00	0.00%
							0.11			0.13							
							1.56			1.56							
25	RHR	E11-F003B	残留熱除去 系熱交換器 (B) バイパス 弁	電動 グローブ 弁	水平	4.77	6.00	1.25	4.77	6.00	1.25	1.00	0.00%				
						4.77			4.77								
						2.12			2.12								
						鉛直	3.36	6.00	1.78	3.36	6.00				1.78	1.00	0.00%
							3.36			3.36							
							1.56			1.56							

注記*：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。配管系が剛な場合は中段の動的解析結果に「-」を記載。

表 2 高振動数領域を考慮した弁の動的機能維持評価結果（基準地震動 S s）（4/9）

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 ((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			
26	RHR	E11-F004A	残留熱除去系 A 系 低圧注水系注入 隔離弁	電動 ゲート弁	合成	6.20	20.00	3.22	6.20	20.00	3.22	1.00	0.00%	
						6.20			6.20					
						2.64			2.64					
27	RHR	E11-F004B	残留熱除去系 B 系 低圧注水系注入 隔離弁	電動 ゲート弁	合成	6.51	20.00	3.07	6.51	20.00	3.07	1.00	0.00%	
						6.51			6.51					
						2.64			2.64					
28	RHR	E11-F004C	残留熱除去系 C 系 低圧注水系注入 隔離弁	電動 ゲート弁	水平	5.75	6.00	1.04	5.75	6.00	1.04	1.00	0.00%	
						5.75			5.75					
						1.97			1.97					
					鉛直	1.45	6.00	4.13	1.46	6.00	4.10	1.01	0.17%	
						1.45			1.46					
						1.37			1.37					
29	RHR	E11-F005A	残留熱除去系 A 系 低圧注水系注入 試験可能逆止弁	逆止弁	水平	9.28	6.00	0.64	9.28	6.00	0.64	1.00	0.00%	機能確認 済加速度 超過のた め、弁体挙 動評価お よび構造 強度評価 を実施
						9.28			9.28					
						1.99			1.99					
					鉛直	3.76	6.00	1.59	3.78	6.00	1.58	1.01	0.34%	
						3.76			3.78					
						1.78			1.78					
30	RHR	E11-F005B	残留熱除去系 B 系 低圧注水系注入 試験可能逆止弁	逆止弁	水平	9.18	6.00	0.65	9.18	6.00	0.65	1.00	0.00%	機能確認 済加速度 超過のた め、弁体挙 動評価お よび構造 強度評価 を実施
						9.18			9.18					
						1.99			1.99					
					鉛直	10.51	6.00	0.57	10.51	6.00	0.57	1.00	0.00%	
						10.51			10.51					
						1.78			1.78					
31	RHR	E11-F005C	残留熱除去系 C 系 低圧注水系注入 試験可能逆止弁	逆止弁	水平	10.80	6.00	0.55	10.80	6.00	0.55	1.00	0.00%	機能確認 済加速度 超過のた め、弁体挙 動評価お よび構造 強度評価 を実施
						10.80			10.80					
						1.99			1.99					
					鉛直	4.17	6.00	1.43	4.17	6.00	1.43	1.00	0.00%	
						4.17			4.17					
						1.78			1.78					

注記*：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。配管系が剛な場合は中段の動的解析結果に「-」を記載。

表 2 高振動数領域を考慮した弁の動的機能維持評価結果（基準地震動 S s）（5/9）

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 ((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					
32	RHR	E11-F008A	残留熱除去系 熱交換器(A)出 口弁	電動 グローブ 弁	水平	4.96	6.00	1.20	4.97	6.00	1.12	1.01	0.17%			
						4.96			4.97							
						2.12			2.12							
					鉛直	1.58	6.00	3.79	1.67	6.00	3.59				1.06	1.50%
						1.58			1.67							
						1.56			1.56							
33	RHR	E11-F008B	残留熱除去系 熱交換器(B)出 口弁	電動 グローブ 弁	水平	4.60	6.00	1.30	4.60	6.00	1.30	1.00	0.00%			
						4.60			4.60							
						2.12			2.12							
					鉛直	5.48	6.00	1.09	5.48	6.00	1.09				1.00	0.00%
						5.48			5.48							
						1.56			1.56							
34	RHR	E11-F010A	残留熱除去系 A系格納容器ス プレイ隔離弁	電動 ゲート弁	合成	6.74	20.00	2.96	6.75	20.00	2.96	1.01	0.05%			
						6.74			6.75							
						2.64			2.64							
35	RHR	E11-F010B	残留熱除去系 B系格納容器ス プレイ隔離弁	電動 ゲート弁	水平	4.08	6.00	1.47	4.10	6.00	1.46	1.01	0.34%			
						4.08			4.10							
						2.12			2.12							
					鉛直	4.58	6.00	1.31	4.58	6.00	1.31				1.00	0.00%
						4.58			4.58							
						1.56			1.56							
36	RHR	E11-F011A	残留熱除去系 A系サブレン ジョンチェンバ スプレイ隔離 弁	電動 ゲート弁	合成	6.70	20.00	2.98	6.70	20.00	2.98	1.00	0.00%			
						6.70			6.70							
						1.92			1.92							
37	RHR	E11-F011B	残留熱除去系 B系サブレン ジョンチェンバ スプレイ隔離 弁	電動 ゲート弁	合成	8.19	20.00	2.44	8.19	20.00	2.44	1.00	0.00%			
						8.19			8.19							
						1.92			1.92							

注記*：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。配管系が剛な場合は中段の動的解析結果に「-」を記載。

表 2 高振動数領域を考慮した弁の動的機能維持評価結果（基準地震動 S s）（6/9）

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 ((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			
38	RHR	E11-F012A	残留熱除去系A 系試験用調整 弁	電動 グローブ 弁	合成	10.95	20.00	1.82	10.95	20.00	1.82	1.00	0.00%	
						10.95			10.95					
						1.92			1.92					
39	RHR	E11-F012B	残留熱除去系B 系試験用調整 弁	電動 グローブ 弁	合成	6.20	20.00	3.22	6.20	20.00	3.22	1.00	0.00%	
						6.20			6.20					
						1.92			1.92					
40	RHR	E11-F015A	残留熱除去系A 系停止時冷却 吸込第一隔離 弁	電動 ゲート弁	水平	5.93	6.00	1.01	5.93	6.00	1.01	1.00	0.00%	
						5.93			5.93					
						1.60			1.60					
					鉛直	1.41	6.00	4.25	1.43	6.00	4.19	1.02	0.34%	
						1.41			1.43					
						0.91			0.91					
41	RHR	E11-F015B	残留熱除去系B 系停止時冷却 吸込第一隔離 弁	電動 ゲート弁	合成	6.13	20.00	3.26	6.13	20.00	3.26	1.00	0.00%	
						6.13			6.13					
						1.85			1.85					
42	RHR	E11-F016A	残留熱除去系A 系停止時冷却 吸込第二隔離 弁	電動 ゲート弁	水平	4.38	6.00	1.36	4.39	6.00	1.36	1.01	0.17%	
						4.38			4.39					
						1.57			1.57					
					鉛直	1.49	6.00	4.02	1.56	6.00	3.84	1.05	1.17%	
						1.49			1.56					
						1.09			1.09					
43	RHR	E11-F016B	残留熱除去系B 系停止時冷却 吸込第二隔離 弁	電動 ゲート弁	水平	5.75	6.00	1.04	5.75	6.00	1.04	1.00	0.00%	
						5.75			5.75					
						1.57			1.57					
					鉛直	1.31	6.00	4.58	1.35	6.00	4.44	1.03	0.67%	
						1.31			1.35					
						1.09			1.09					
44	RHR	E11-F018A	残留熱除去系A 系停止時冷却 注入隔離弁	電動 グローブ 弁	合成	8.56	20.00	2.33	8.56	20.00	2.33	1.00	0.00%	
						8.56			8.56					
						1.92			1.92					
45	RHR	E11-F018B	残留熱除去系B 系停止時冷却 注入隔離弁	電動 グローブ 弁	合成	6.65	20.00	3.00	6.65	20.00	3.00	1.00	0.00%	
						6.65			6.65					
						1.92			1.92					

注記*：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。配管系が剛な場合は中段の動的解析結果に「-」を記載。

表2 高振動数領域を考慮した弁の動的機能維持評価結果（基準地震動 S s）（7/9）

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 ((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										
46	RHR	E11-F019A	残留熱除去系 A 系 停止時冷却試験可能逆止弁	逆止弁	水平	1.60	6.00	3.75	1.60	6.00	3.75	1.00	0.00%								
						0.86			0.91												
						1.60			1.60												
						鉛直			0.91						6.00	6.59	0.94	6.00	6.38	1.04	0.50%
									0.82								0.94				
									0.91								0.91				
47	RHR	E11-F019B	残留熱除去系 B 系 停止時冷却試験可能逆止弁	逆止弁	水平	1.60	6.00	3.75	1.60	6.00	3.75	1.00	0.00%								
						1.25			1.27												
						1.60			1.60												
						鉛直			1.14						6.00	5.26	1.16	6.00	5.17	1.02	0.34%
									1.14								1.16				
									0.91								0.91				
48	LPCS	E21-F003	低圧炉心スプレ イ系注入隔離弁	電動 ゲート弁	合成	6.95	20.00	2.87	6.95	20.00	2.87	1.00	0.00%								
						6.95			6.95												
						2.40			2.40												
49	LPCS	E21-F004	低圧炉心スプレ イ系注入ライン 試験可能逆止弁	逆止弁	水平	8.12	6.00	0.73	8.12	6.00	0.73	1.00	0.00%	機能確認 済加速度 超過のた め、弁体挙 動評価お よび構造 強度評価 を実施							
						8.12			8.12												
						1.99			1.99												
						鉛直			7.66						6.00	0.78	7.66	6.00	0.78	1.00	0.00%
									7.66								7.66				
									1.78								1.78				
50	HPCS	E22-F001	高圧炉心スプレ イ系ポンプ復水 貯蔵タンク吸込 弁	電動 ゲート弁	水平	2.44	6.00	2.46	3.16	6.00	1.89	1.30	12.00%								
						2.44			3.16												
						1.57			1.57												
						鉛直			1.25						6.00	4.80	1.44	6.00	4.16	1.16	3.17%
									1.25								1.44				
									1.09								1.09				
51	HPCS	E22-F003	高圧炉心スプレ イ系注入隔離弁	電動 ゲート弁	合成	7.31	20.00	2.73	7.42	20.00	2.69	1.02	0.55%								
						7.31			7.42												
						2.40			2.40												
52	HPCS	E22-F004	高圧炉心スプレ イ系注入ライン 試験可能逆止弁	逆止弁	水平	6.64	6.00	0.90	6.64	6.00	0.90	1.00	0.00%	機能確認 済加速度 超過のた め、弁体挙 動評価お よび構造 強度評価 を実施							
						6.64			6.64												
						1.99			1.99												
						鉛直			7.05						6.00	0.85	7.06	6.00	0.84	1.01	0.17%
									7.05								7.06				
									1.78								1.78				

注記*：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。配管系が剛な場合は中段の動的解析結果に「-」を記載。

表 2 高振動数領域を考慮した弁の動的機能維持評価結果（基準地震動 S s）（8/9）

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 ((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				
53	RCIC	E51-F007	原子炉隔離時 冷却系 タービン入口 蒸気ライン第 一隔離弁	電動 ゲート弁	合成	7.79	20.00	2.56	7.98	20.00	2.50	1.03	0.95%		
						7.79			7.98						
						2.47			2.47						
54	RCIC	E51-F008	原子炉隔離時 冷却系 タービン入口 蒸気ライン第 二隔離弁	電動 ゲート弁	水平	2.88	6.00	2.08	3.98	6.00	1.50	1.39	18.34%		
						2.88			3.98						
						1.89			1.89						
					鉛直	5.28	6.00	1.13	5.29	6.00	1.13	1.01	0.17%		
						5.28			5.29						
						1.59			1.59						
55	CUW	G31-F002	原子炉冷却材 浄化系入口ラ イン第一隔離 弁	電動 ゲート弁	水平	5.65	6.00	1.06	5.65	6.00	1.06	1.00	0.00%		
						5.65			5.65						
						1.60			1.60						
					鉛直	3.12	6.00	1.92	3.14	6.00	1.91	1.01	0.34%		
						3.12			3.14						
						0.91			0.91						
56	CUW	G31-F003	原子炉冷却材 浄化系入口ラ イン第二隔離 弁	電動 ゲート弁	合成	9.13	20.00	2.19	9.14	20.00	2.18	1.01	0.05%		
						9.13			9.14						
						1.85			1.85						
57	SGTS	T46-F001A	非常用ガス処 理系 入口弁 (A)	空気作動 バタフラ イ弁	水平	5.15	6.00	1.16	5.19	6.00	1.15	1.01	0.67%		
						5.15			5.19						
						3.43			3.43						
					鉛直	5.46	6.00	1.09	5.46	6.00	1.09	1.00	0.00%		
						5.46			5.46						
						1.89			1.89						
58	SGTS	T46-F001B	非常用ガス処 理系 入口弁 (B)	空気作動 バタフラ イ弁	水平	4.97	6.00	1.20	5.01	6.00	1.19	1.01	0.67%		
						4.97			5.01						
						3.43			3.43						
					鉛直	4.81	6.00	1.24	4.82	6.00	1.24	1.01	0.17%		
						4.81			4.82						
						1.89			1.89						
59	SGTS	T46-F003A	非常用ガス処 理系 フィルタ装置 出口弁 (A)	電動 バタフラ イ弁	水平	5.85	6.00	1.02	6.25	6.00	0.96	1.07	6.67%	50Hz では 機能確認 済加速度 を満足し、 100Hz で は超過す るため、参 考に詳細 評価結果 も記載	
						5.85			6.25						
						2.65			2.65						
					鉛直	2.10	6.00	2.85	2.17	6.00	2.76	1.04	1.17%		
						2.10			2.17						
						1.77			1.77						
					合成 (参考)	6.21	20.00	3.22	6.61	20.00	3.02	1.07	2.00%		
						6.21			6.61						
						3.19			3.19						

注記* : 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。配管系が剛な場合は中段の動的解析結果に「-」を記載。

表2 高振動数領域を考慮した弁の動的機能維持評価結果（基準地震動S_s）（9/9）

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 (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					
60	SGTS	T46-F003B	非常用ガス処理系フィルタ装置出口弁(B)	電動 バタフライ弁	水平	4.28	6.00	1.40	5.07	6.00	1.18	1.19	13.17%			
						4.28			5.07							
						2.65			2.65							
					鉛直	1.77	6.00	3.38	1.77	6.00	3.38				1.00	0.00%
						0.92			1.20							
						1.77			1.77							
61	FCS	T49-F001A	可燃性ガスA系濃度制御系入口隔離弁	電動 ゲート弁	合成	6.42	20.00	3.11	6.43	20.00	3.11	1.01	0.05%			
						6.42			6.43							
						2.64			2.64							
62	FCS	T49-F001B	可燃性ガスB系濃度制御系入口隔離弁	電動 ゲート弁	合成	7.67	20.00	2.60	7.67	20.00	2.60	1.00	0.00%			
						7.67			7.67							
						2.64			2.64							
63	FCS	T49-F003A	可燃性ガスA系濃度制御系出口隔離弁	電動 ゲート弁	水平	4.45	6.00	1.34	4.47	6.00	1.34	1.01	0.34%			
						4.45			4.47							
						2.12			2.12							
					鉛直	4.08	6.00	1.47	4.08	6.00	1.47				1.00	0.00%
						4.08			4.08							
						1.56			1.56							
64	FCS	T49-F003B	可燃性ガスB系濃度制御系出口隔離弁	電動 ゲート弁	水平	4.82	6.00	1.24	4.83	6.00	1.24	1.01	0.17%			
						4.82			4.83							
						2.12			2.12							
					鉛直	4.03	6.00	1.48	4.04	6.00	1.48				1.01	0.17%
						4.03			4.04							
						1.56			1.56							

注記*：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。配管系が剛な場合は中段の動的解析結果に「-」を記載。

表3 更なる高振動領域を考慮した弁の動的機能維持評価結果（基準地震動 S s）

No.	系統	弁番号	弁名称	弁型式	方向	MAX (100Hz, 1.2ZPA)			MAX (150Hz, 1.2ZPA)			増加率 (②/①)	100Hz→150Hz 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	HPCS	E22-F001	高圧炉心スプレイスポンプ復水貯蔵タンク吸込弁	電動 ゲート弁	水平	3.16	6.00	1.89	3.17	6.00	1.89	1.01	0.17%	
						3.16			3.17					
						1.57			1.57					
					鉛直	1.44	6.00	4.16	1.46	6.00	4.10	1.02		
						1.44			1.46					
						1.09			1.09					
2	SGTS	T46-F003B	非常用ガス処理系フィルタ装置出口弁(B)	電動 バタフライ弁	水平	5.07	6.00	1.18	5.09	6.00	1.17	1.01	0.34%	
						5.07			5.09					
						2.65			2.65					
					鉛直	1.77	6.00	3.38	1.77	6.00	3.38	1.00		
						1.20			1.31					
						1.77			1.77					
3	RCIC	E51-F008	原子炉隔離時冷却系タービン入口蒸気ライン第二隔離弁	電動 ゲート弁	水平	3.98	6.00	1.50	3.98	6.00	1.50	1.00	0.00%	
						3.98			3.98					
						1.89			1.89					
					鉛直	5.29	6.00	1.13	5.29	6.00	1.13	1.00		
						5.29			5.29					
						1.59			1.59					

注記*：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。配管系が剛な場合は中段の動的解析結果に「-」を記載。

弁の動的機能維持評価における高振動数領域の検討に適用する床応答曲線について

1. はじめに

弁の動的機能維持評価に用いる床応答曲線は、50Hz までの範囲で床応答曲線を作成し、50Hz 以上を最大加速度（1.0ZPA）とすることが妥当であることを確認するため、50Hz までの床応答曲線を確認し、50Hz 程度で加速度が収束していることを確認する。100Hz までを考慮した評価を実施する場合の床応答曲線の作成イメージを図 1 に示す。

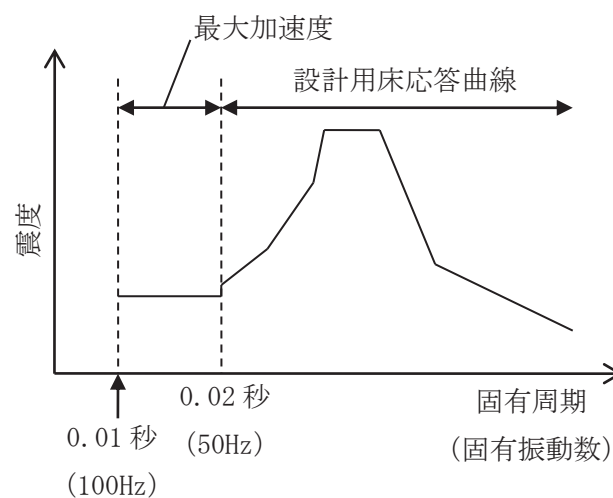


図 1 動的機能維持要求弁に用いる床応答曲線イメージ図
(100Hz までを考慮した評価に適用する場合)

2. 高振動数領域の床応答曲線

動的機能維持の評価対象弁が設置されている建物は原子炉建屋であることから、弁の動的機能維持評価に用いる代表的な例として、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に示されているもののうち、原子炉建屋（O.P. 15.0m）および原子炉しゃへい壁（O.P. 13.40m）の設計用床応答曲線の例を図 2-1, 2 に示す。なお、本検討に適用した全ての床応答曲線については添付 3 に示す。

水平方向は 10Hz（0.1 秒）及び 4Hz（0.25 秒）近傍で卓越しており、50Hz（0.02 秒）までで収束していることが確認できる。

鉛直方向について、原子炉建屋については 11Hz（0.09 秒）近傍で卓越し、原子炉しゃへい壁は 33Hz（0.03 秒）近傍で卓越しており、卓越する周期帯に違いはあるが、いずれも 50Hz（0.02 秒）までで収束していることが確認できる。

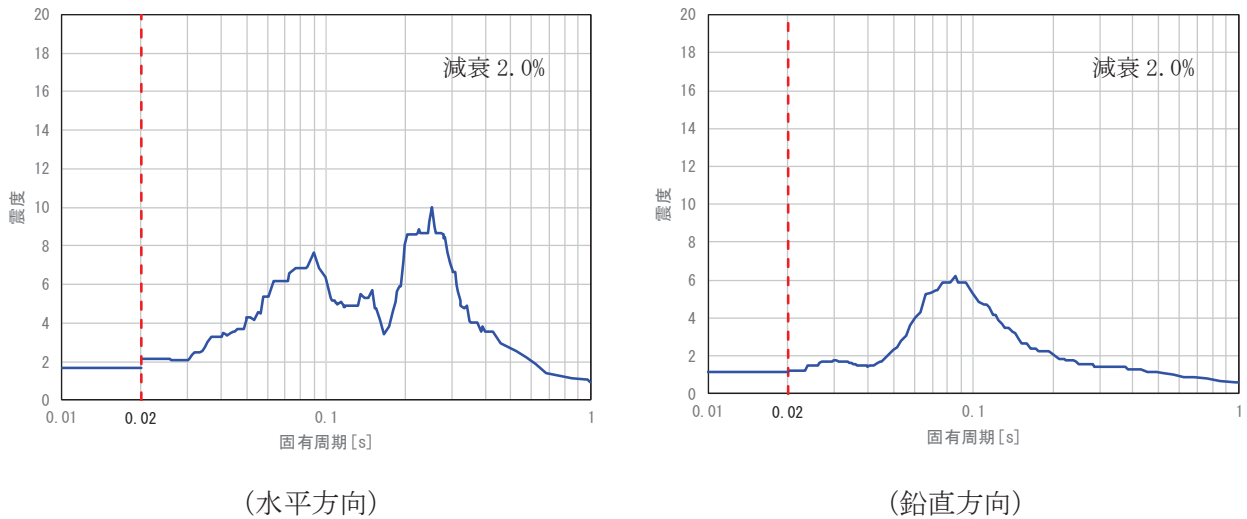


図 2-1 原子炉建屋 1F（O.P. 15.0m）の設計用床応答曲線（減衰 2.0%）

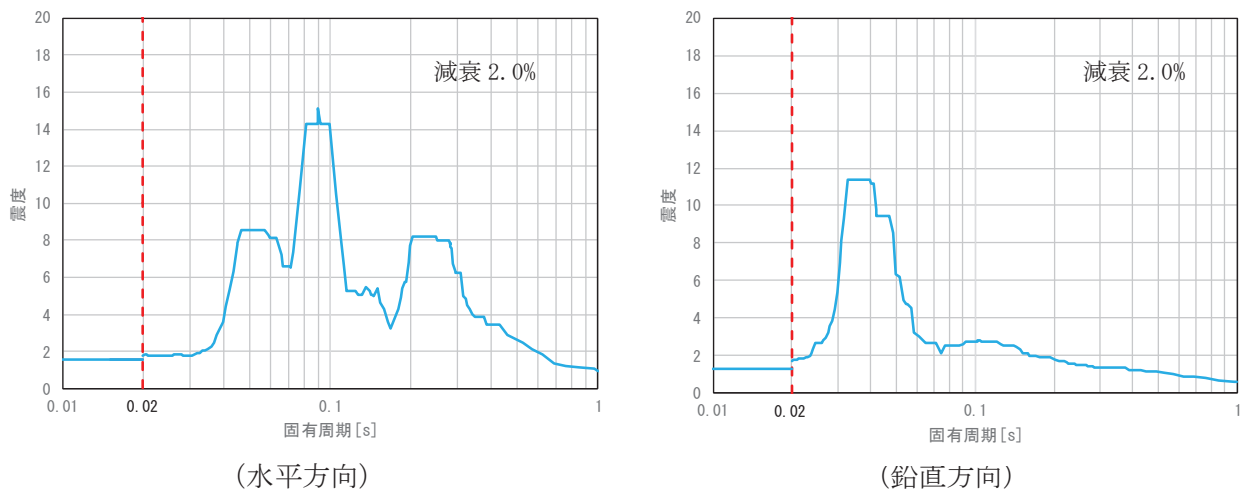


図 2-2 原子炉しゃへい壁（O.P. 13.4m）の設計用床応答曲線（減衰 2.0%）

3. 弁の動的機能維持に適用する床応答曲線

前述の通り, 20Hz 以上の床応答曲線を確認し, 50Hz までの範囲で加速度が収束しているため, 弁の動的機能維持評価に用いる床応答曲線は, 50Hz までの範囲で作成した床応答曲線に 50Hz 以上を最大加速度としたものとする。

機能維持評価用加速度の応答増加が確認された弁に対する要因の推定

1. はじめに

弁の動的機能維持評価対象弁 68 台のうち、表 1 に示す 3 台に振動数領域を 50Hz まで考慮した場合の加速度に対して 100Hz まで考慮した場合の加速度に有意な増加が確認されたことから、当該弁について増加要因に対する検討を以下に実施する。

表 1 有意な応答増加が確認された弁（検討対象弁）

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 (②-①)/③	備考
					機能維持 評価用 加速度*1 (①)	機能 確認済 加速度 (③)	裕度	機能維持 評価用 加速度*1 (②)	機能 確認済 加速度 (③)	裕度			
HPCS	E22-F001	高圧炉心スプレイ系ポンプ復水貯蔵タンク吸込弁	電動 ゲート弁	水平	2.44	6.00	2.46	3.16	6.00	1.89	1.30	12.00%	
					2.44			3.16					
					1.57			1.57					
				鉛直	1.25	6.00	4.80	1.44	6.00	4.16	1.16	3.17%	
					1.25			1.44					
					1.09			1.09					
SGTS	T46-F003B	非常用ガス処理系フィルタ装置出口弁(B)	電動 バタフライ弁	水平	4.28	6.00	1.40	5.07	6.00	1.18	1.19	13.17%	
					4.28			5.07					
					2.65			2.65					
				鉛直	1.77	6.00	3.38	1.77	6.00	3.38	1.00	0.00%	
					0.92			1.20					
					1.77			1.77					
RCIC	E51-F008	原子炉隔離時冷却系タービン入口蒸気ライン第二隔離弁	電動 ゲート弁	水平	2.88	6.00	2.08	3.98	6.00	1.50	1.39	18.34%	
					2.88			3.98					
					1.89			1.89					
				鉛直	5.28	6.00	1.13	5.29	6.00	1.13	1.01	0.17%	
					5.28			5.29					
					1.59			1.59					

注記*1：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。配管系が剛な場合は中段の動的解析結果に「-」を記載。

2. 評価加速度の増加率の検討

(1) 高圧炉心スプレイ系ポンプ復水貯蔵タンク吸込弁（E22-F001）

E22-F001 の機能維持評価用加速度算出に用いた解析モデル図を図 1-1～1-2 に、当該弁の構造を図 2 に、当該配管系の主要仕様を表 2 に、各振動モードにおける刺激係数等の整理結果を表 3 に示す。

図 1-2 に示すとおり、当該弁の前後の配管には支持構造物（架構及びスナッパ）が設置されており、さらには弁頂部にも 2 方向の弁頂部振れ止め用の支持構造物（ロッド）が設置されている。これにより、弁水平方向で高い剛性を有していることから、50Hz 以上の高次のモードで励起することにより、100Hz まで考慮した場合での加速度が増加に至ったものと考えられる。

当該弁が設置された配管系の 100Hz までの振動モードのうち、弁の応答加速度の増加に影響を与える弁周辺が振れるモードについて、振動モード図を図 3-1～3-12 に示す。また、表 3 中には、該当するモードを赤枠にて示す。

(2) 非常用ガス処理系フィルタ装置出口弁(B) (T46-F003B)

T46-F003B の機能維持評価用加速度算出に用いた解析モデル図を図 4-1～4-2 に、当該弁の構造を図 5 に、当該配管系の主要仕様を表 4 に、各振動モードにおける刺激係数等の整理結果を表 5 に示す。

図 4-2 に示すとおり、当該弁の前後の配管には支持構造物（架構）が設置されている。また、図 5 に示すとおり、当該弁はバタフライ弁でヨーク部が短く、駆動部が振れにくい構造となっている。これにより、弁水平方向は高い剛性を有していることから、50Hz 以上の高次のモードで励起することにより、100Hz まで考慮した場合での加速度が増加に至ったものと考えられる。

当該弁が設置された配管系の 100Hz までの振動モードのうち、弁の応答加速度の増加に影響を与える弁周辺が振れるモードについて、振動モード図を図 6-1～6-31 に示す。また、表 5 中には、該当するモードを赤枠にて示す。

(3) 原子炉隔離時冷却系タービン入口蒸気ライン第二隔離弁 (E51-F008)

E51-F008 の機能維持評価用加速度算出に用いた解析モデル図を図 7-1～7-2 に、当該弁の構造を図 8 に、当該配管系の主要仕様を表 6 に、各振動モードにおける刺激係数等の整理結果を表 7 に示す。

図 7-2 に示すとおり、当該弁の前後の配管には支持構造物（架構、ロッドレストレイント、アンカ）が設置されており、さらには弁頂部にも 2 方向の弁頂部振れ止め用の支持構造物（スナッパ）が設置されている。これにより、弁水平方向で高い剛性を有していることから、50Hz 以上の高次のモードで励起することにより、100Hz まで考慮した場合での加速度が増加に至ったものと考えられる。

当該弁が設置された配管系の 100Hz までの振動モードのうち、弁の応答加速度の増加に影響を与える弁周辺が振れるモードについて、振動モード図を図 9-1～9-13 に示す。また、表 7 中には、該当するモードを赤枠にて示す。

3. まとめ

動的機能維持評価において、50Hz まで考慮した場合の加速度に増加が確認された弁について、その増加に至った要因を検討した。加速度に有意な増加が確認された E22-F001、T46-F003B 及び E51-F008 では、弁近傍に加速度増加に至った方向（弁水平方向）と同方向に支持構造物を有している。

このため、応答が増幅する方向で高い剛性を有していることにより、考慮する振動数を 50Hz から 100Hz に変更することで加速度増加に至ったものと考えられる。

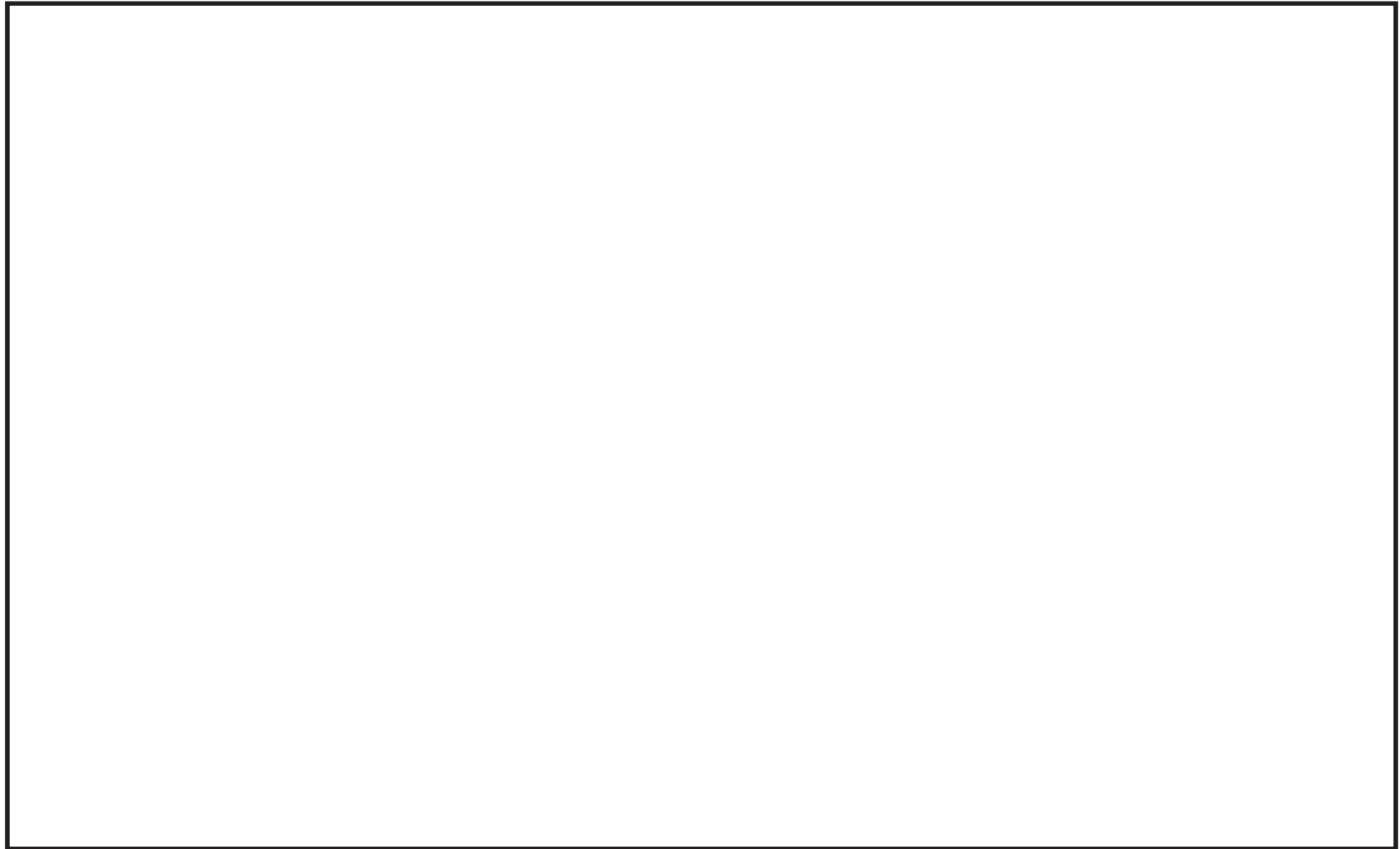


図 1-1 高圧炉心スプレイ系配管 (HPCS-002) の配管モデル全体図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

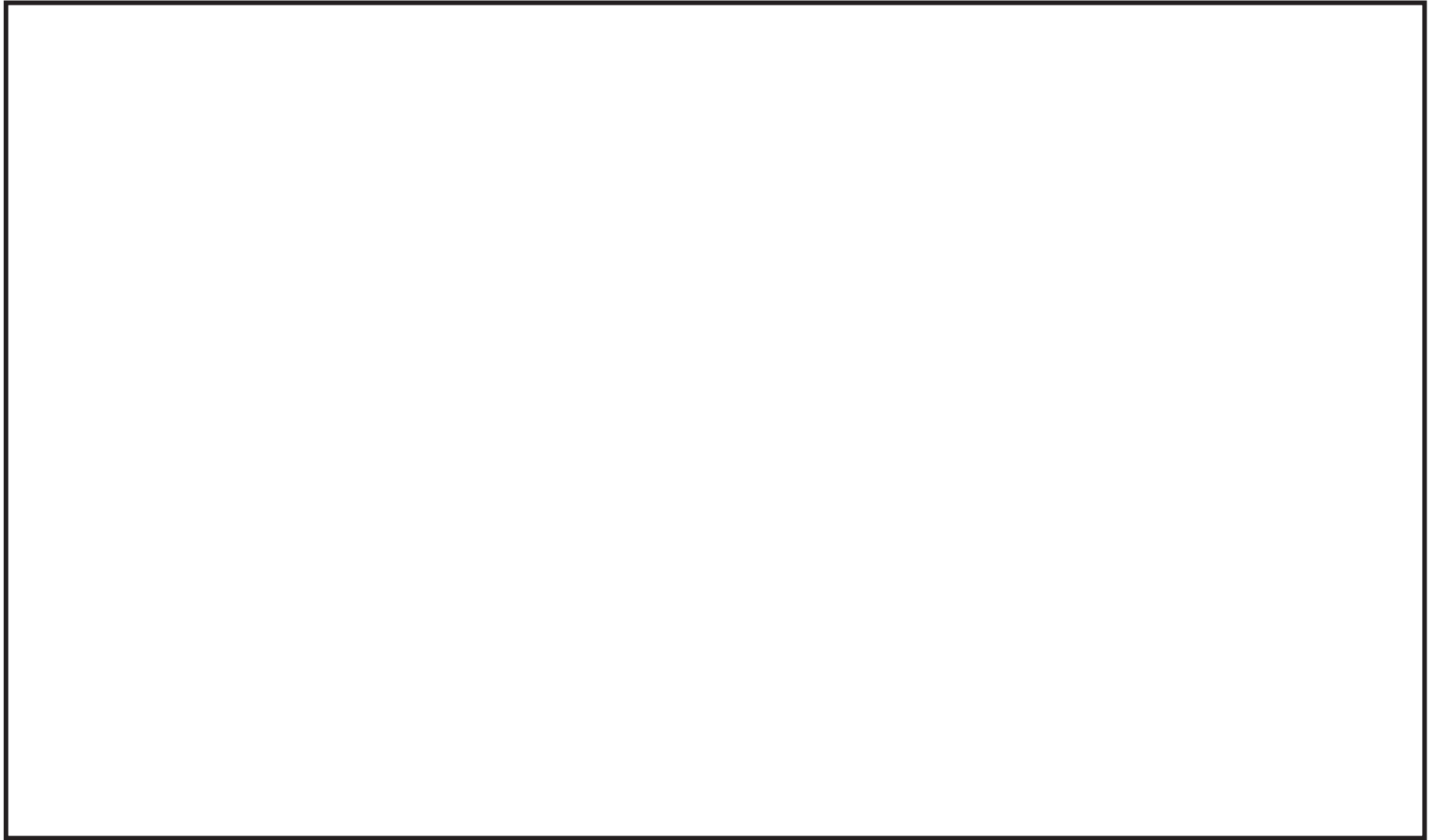


図 1-2 高圧炉心スプレイ系配管 (HPCS-002) の配管モデル部分図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

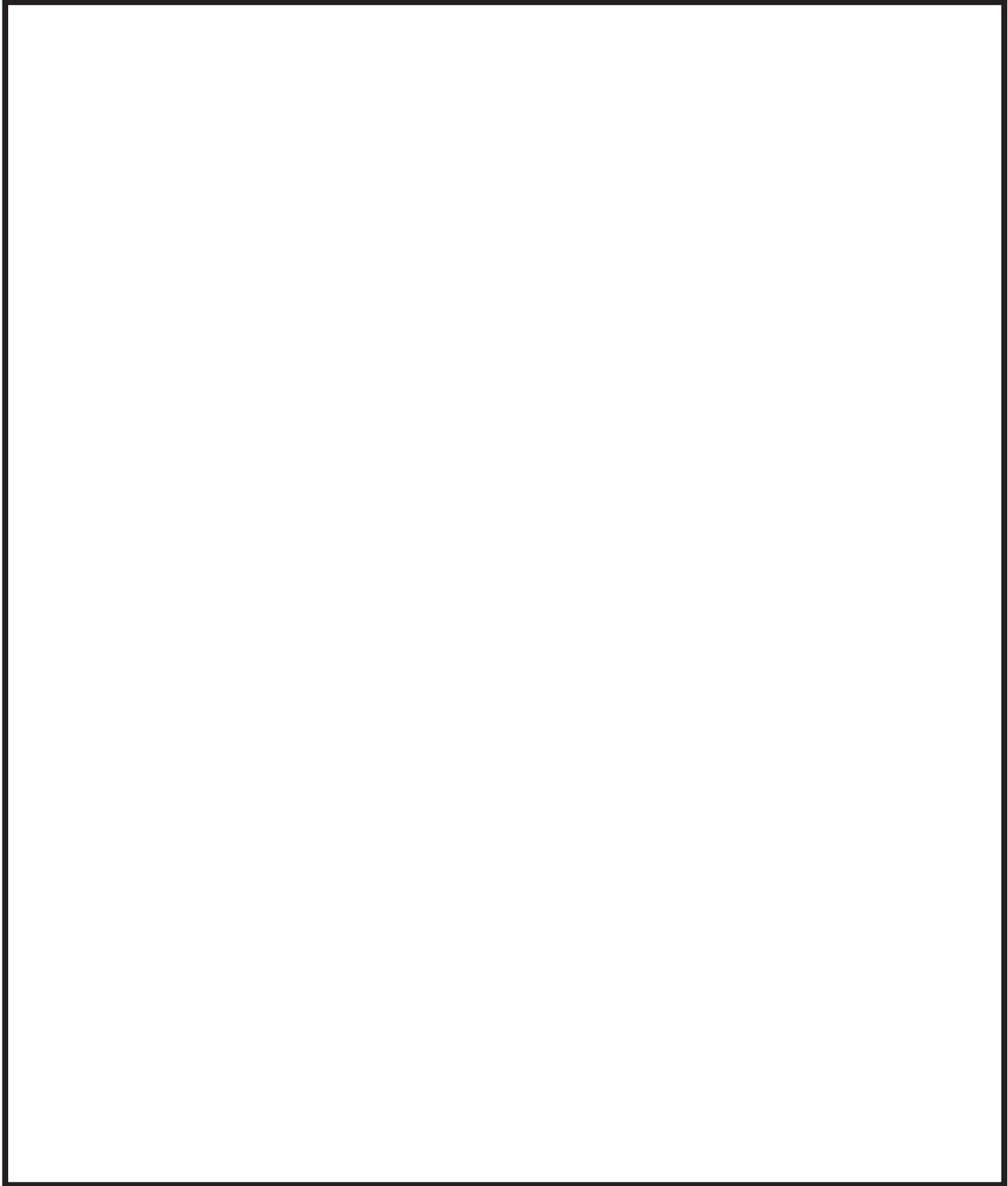


図 2 高圧炉心スプレイ系弁 (E22-F001) 構造図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 2 高圧炉心スプレイ系配管及び主要弁の諸元

項目	主要仕様
最高使用圧力*1 (MPa)	1.37
最高使用温度*1 (°C)	100
外径*1 (mm)	406.4
厚さ*1 (mm)	9.5
配管材料*1	SGV410
弁箱材質	SCPH2
弁部の質量(kg) *2	

*1：当該弁取付部廻りの仕様を記載

*2：配管解析に用いる弁本体質量，駆動部質量，内部流体質量の合算値を記載

表 3 高圧炉心スプレイ系配管 (HPCS-002) の刺激係数及び設計震度 (1/3)

モード	固有 振動数 (Hz)	固有 周期 (s)	刺激係数*			設計震度		
						水平方向		鉛直方向
			X方向	Y方向	Z方向	X方向	Z方向	Y方向
1次								
2次								
3次								
4次								
5次								
6次								
7次								
8次								
9次								
10次								
11次								
12次								
13次								
14次								
15次								
16次								
17次								
18次								
19次								
20次								
21次								
22次								
23次								

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3 高圧炉心スプレイ系配管（HPCS-002）の刺激係数及び設計震度（2/3）

モード	固有 振動数 (Hz)	固有 周期 (s)	刺激係数*			設計震度		
						水平方向		鉛直方向
			X 方向	Y 方向	Z 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向
24 次								
25 次								
26 次								
27 次								
28 次								
29 次								
30 次								
31 次								
32 次								
33 次								
34 次								
35 次								
36 次								
37 次								
38 次								
39 次								
40 次								
41 次								
42 次								
43 次								
44 次								
45 次								
46 次								
47 次								
48 次								
49 次								
50 次								
51 次								
52 次								
53 次								
54 次								
55 次								
56 次								

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3 高圧炉心スプレイ系配管 (HPCS-002) の刺激係数及び設計震度 (3/3)

モード	固有 振動数 (Hz)	固有 周期 (s)	刺激係数*			設計震度		
						水平方向		鉛直方向
			X 方向	Y 方向	Z 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向
57 次								
58 次								
59 次								
60 次								
61 次								
62 次								
63 次								
64 次								
65 次								
66 次								
67 次								
68 次								
69 次								
70 次								
71 次								
72 次								
73 次								
74 次								
75 次								
76 次								
77 次								
78 次								
79 次								
80 次								
81 次								
82 次								
83 次								
84 次								
85 次								
86 次								
87 次								
88 次								

注記* : 刺激係数は, モード質量を正規化し, 固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

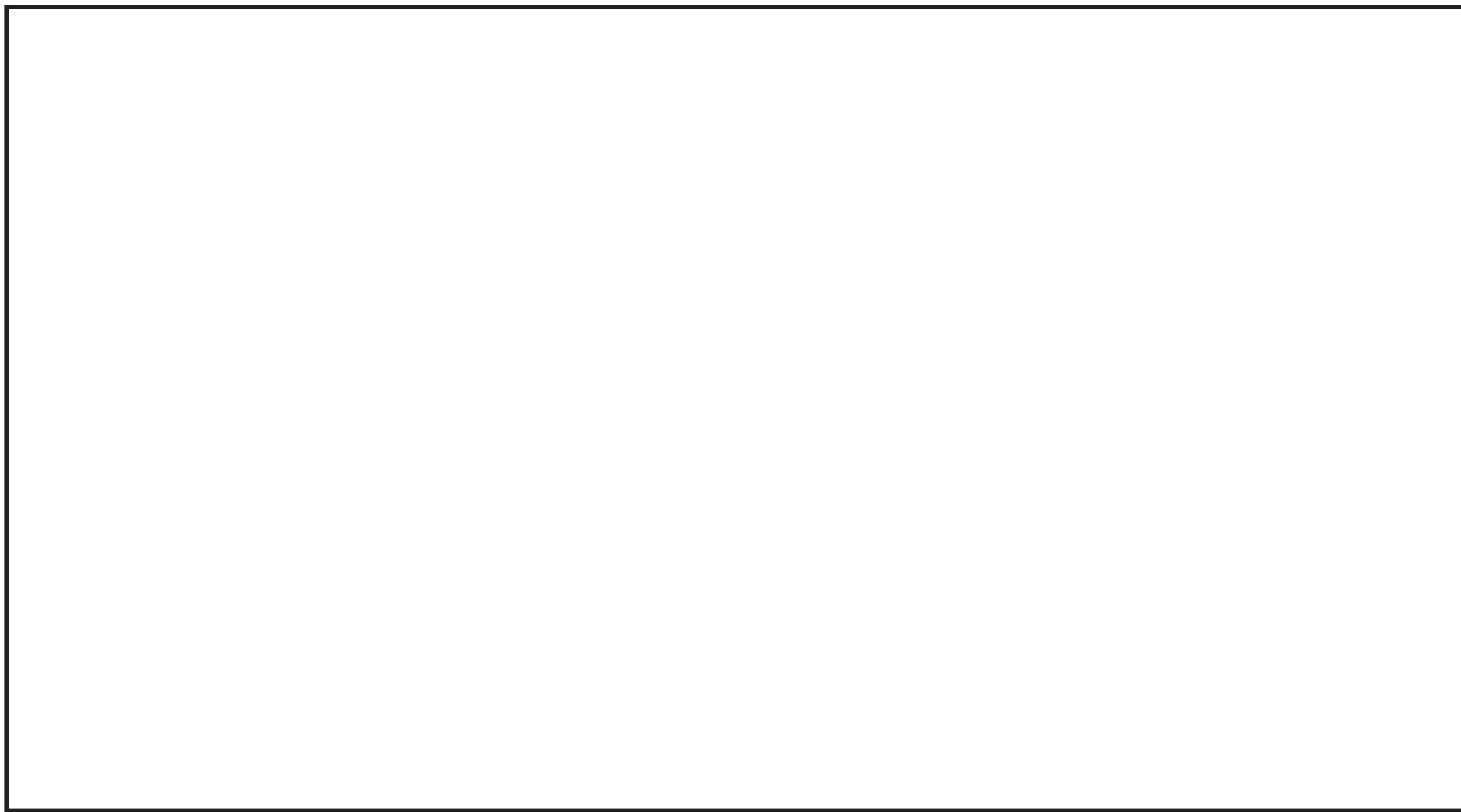


図 3-1 高圧炉心スプレイ系配管 (HPCS-002) の高振動数領域における代表的な振動モード図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

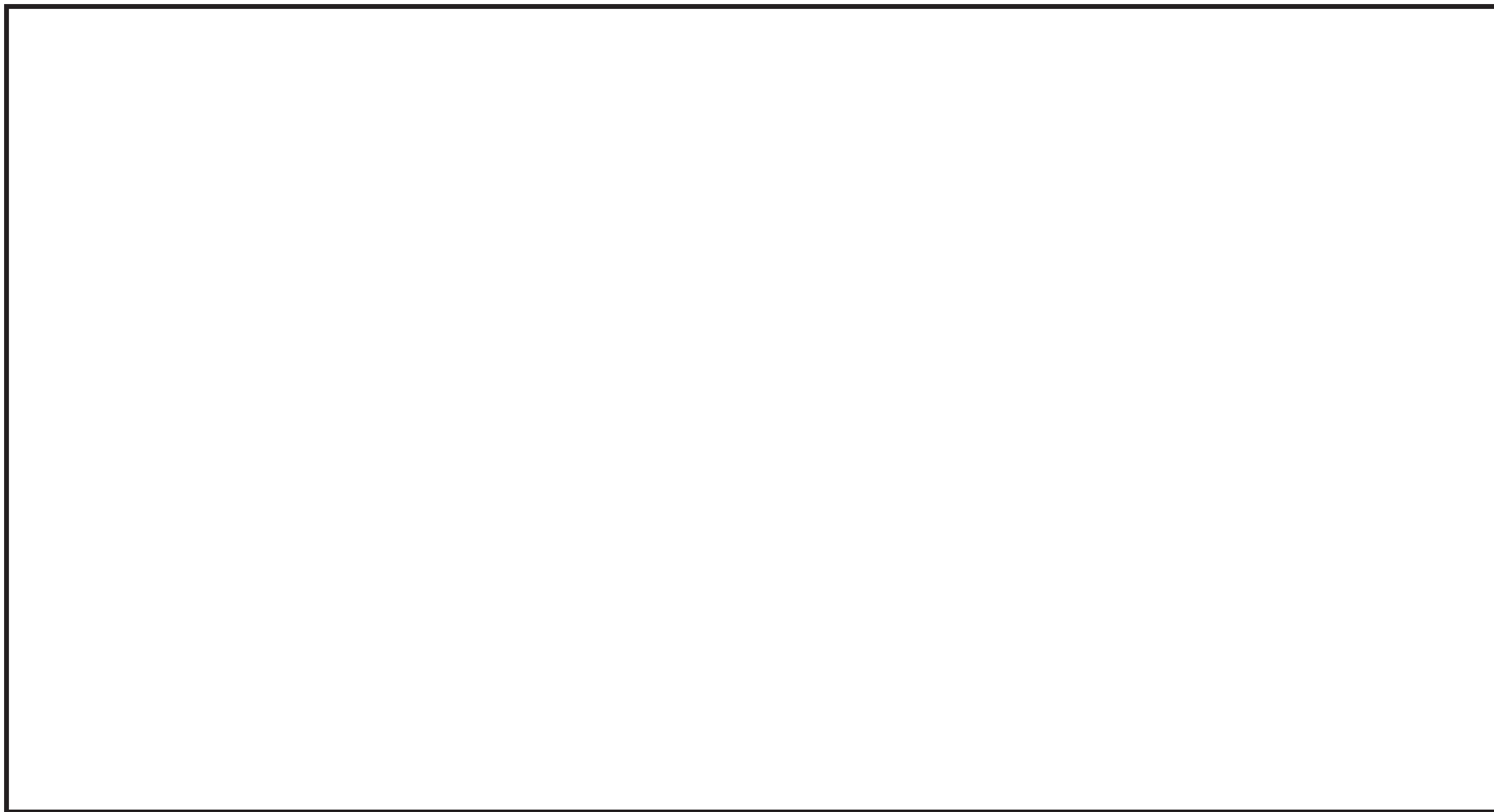


図 3-2 高圧炉心スプレイ系配管 (HPCS-002) の高振動数領域における代表的な振動モード図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

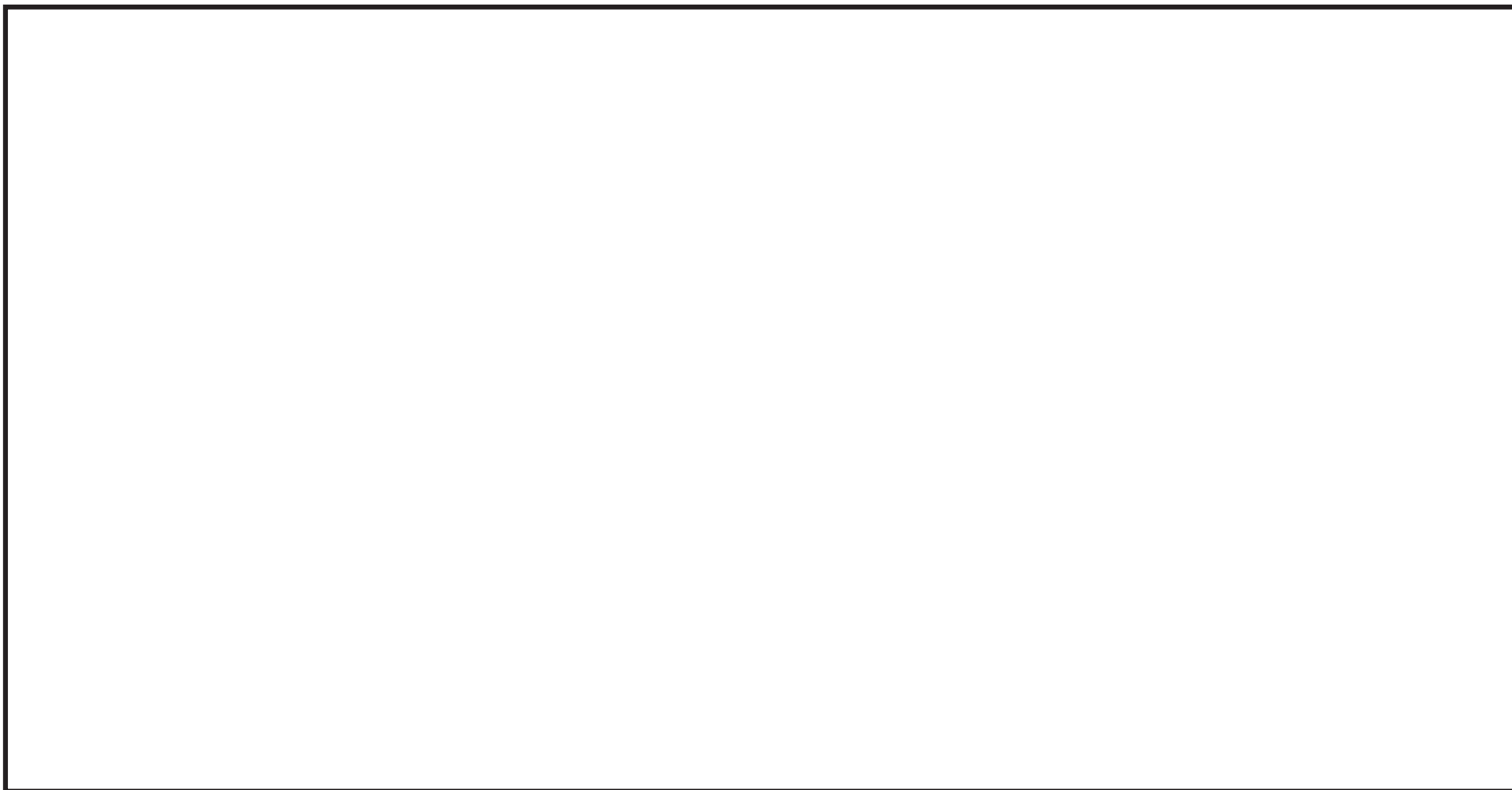


図 3-3 高圧炉心スプレイ系配管 (HPCS-002) の高振動数領域における代表的な振動モード図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

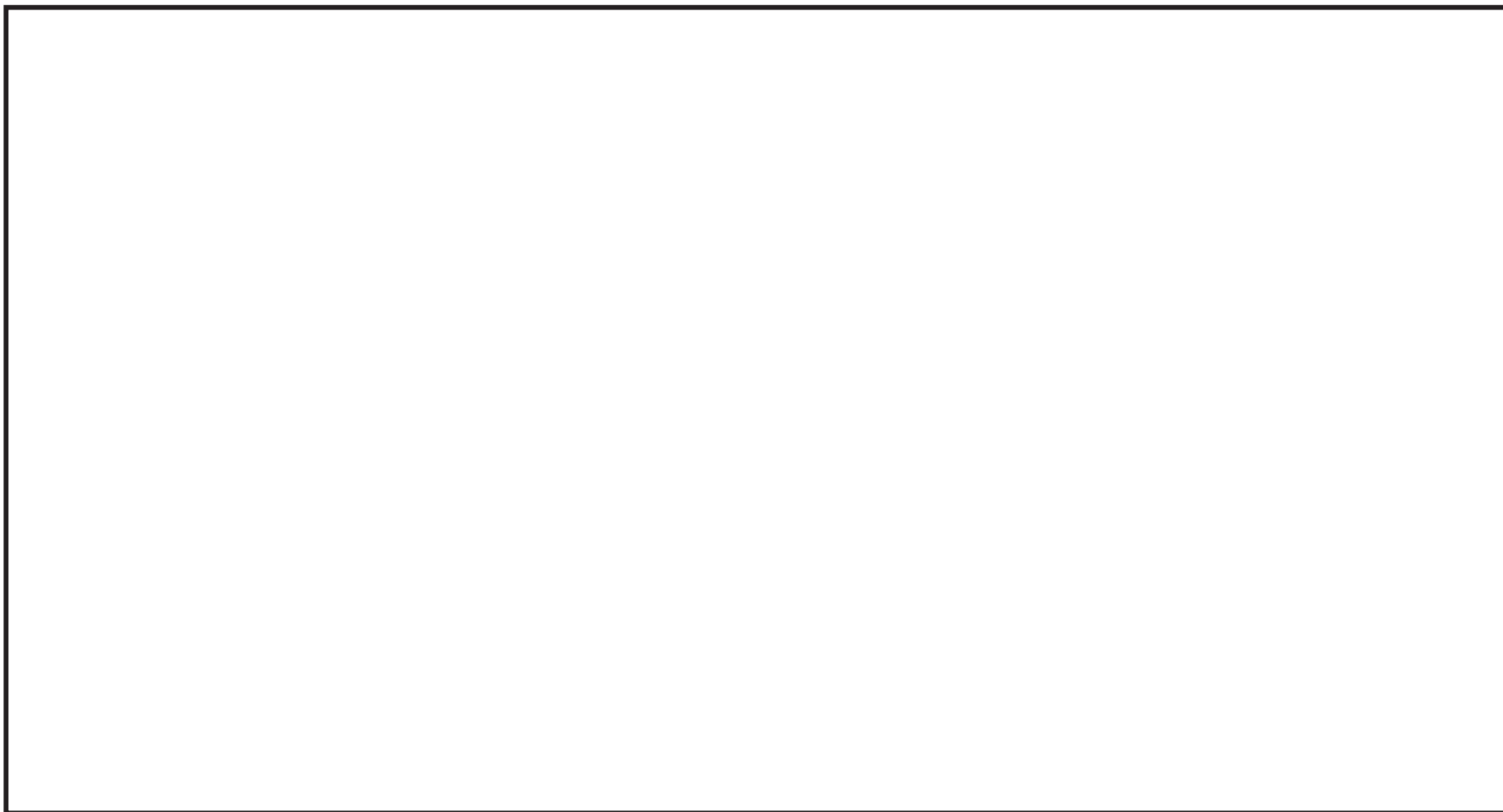


図 3-4 高圧炉心スプレイ系配管 (HPCS-002) の高振動数領域における代表的な振動モード図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

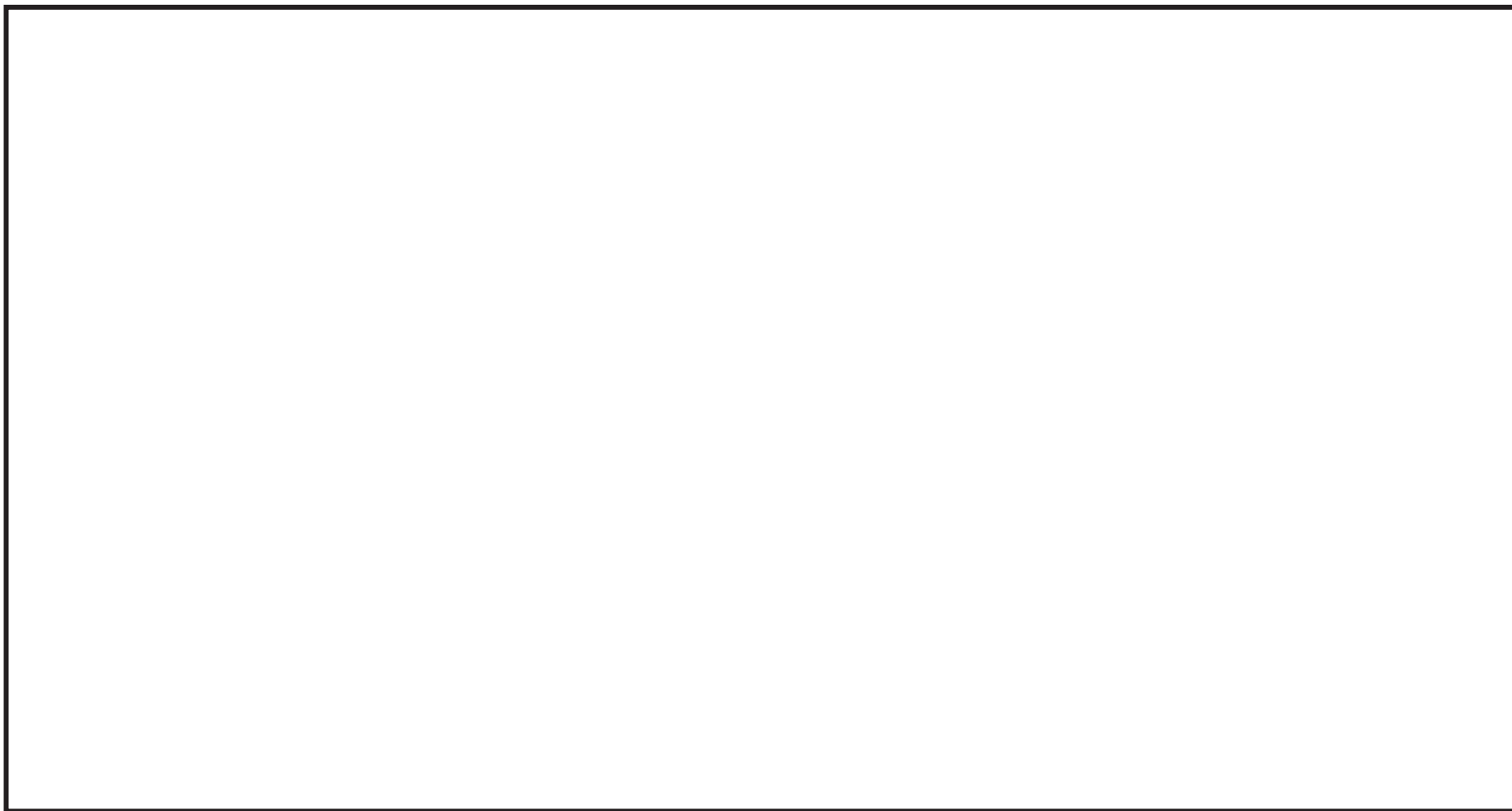


図 3-5 高圧炉心スプレイ系配管 (HPCS-002) の高振動数領域における代表的な振動モード図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

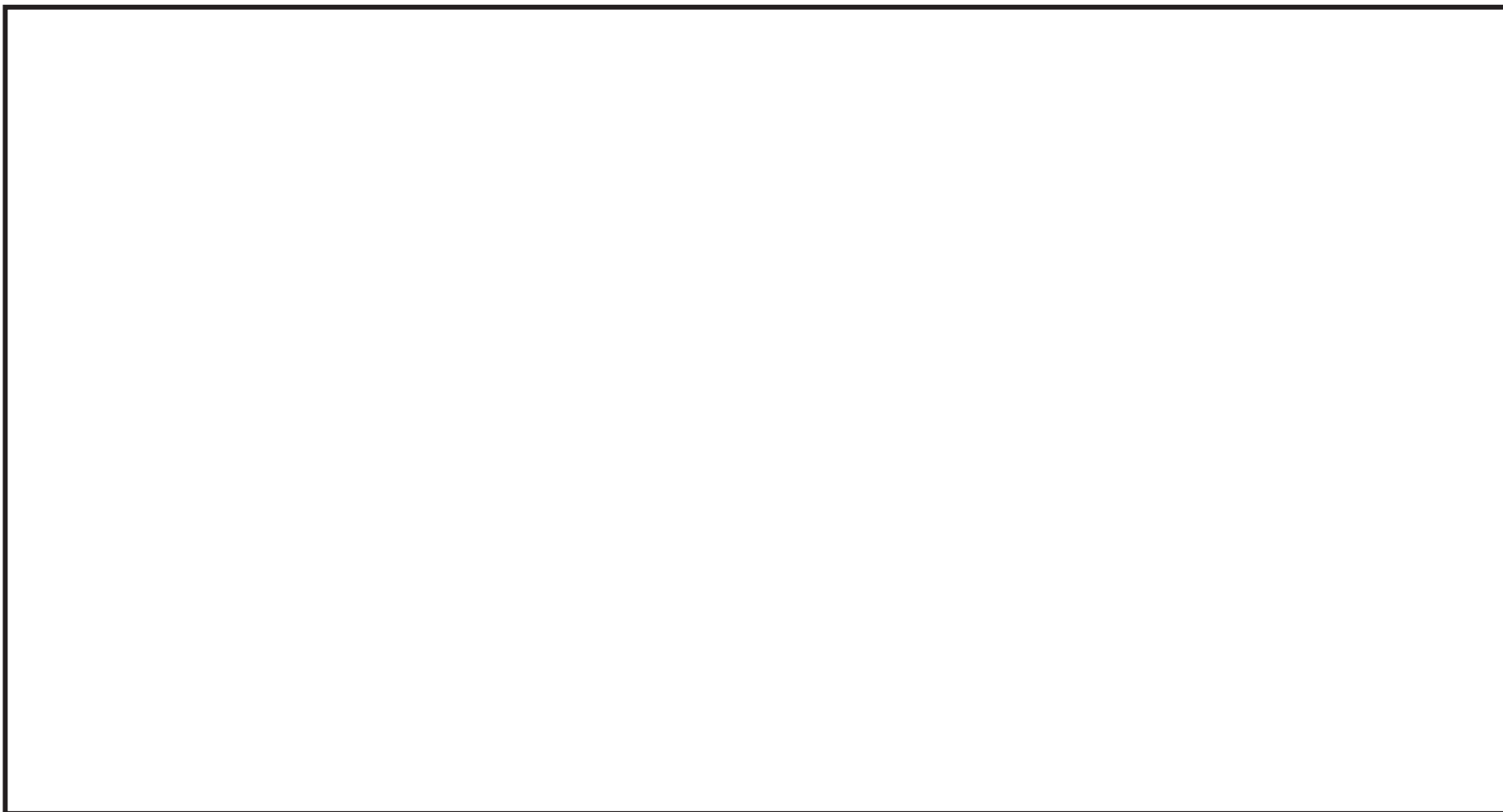


図 3-6 高圧炉心スプレイ系配管 (HPCS-002) の高振動数領域における代表的な振動モード図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

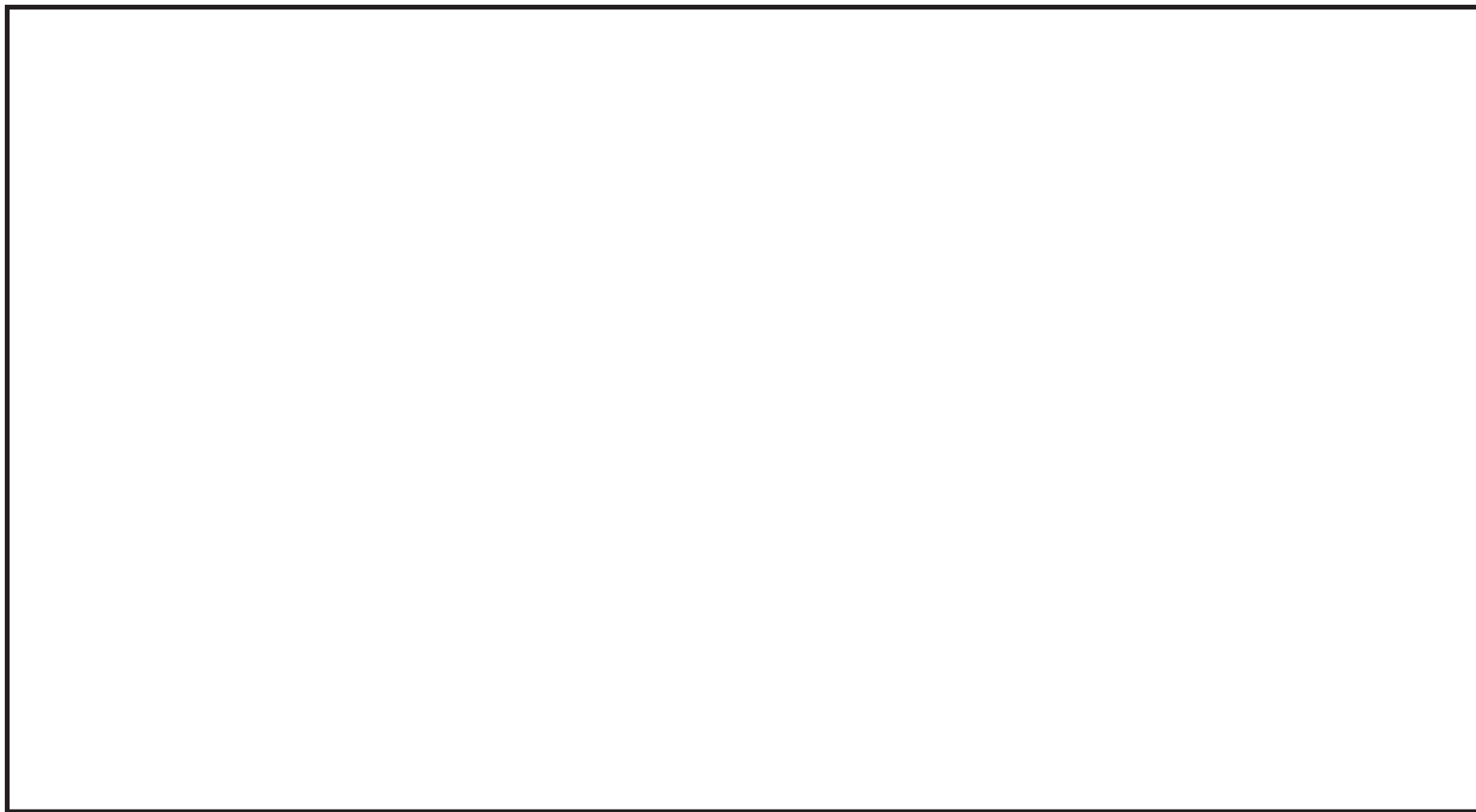


図 3-7 高圧炉心スプレイ系配管 (HPCS-002) の高振動数領域における代表的な振動モード図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

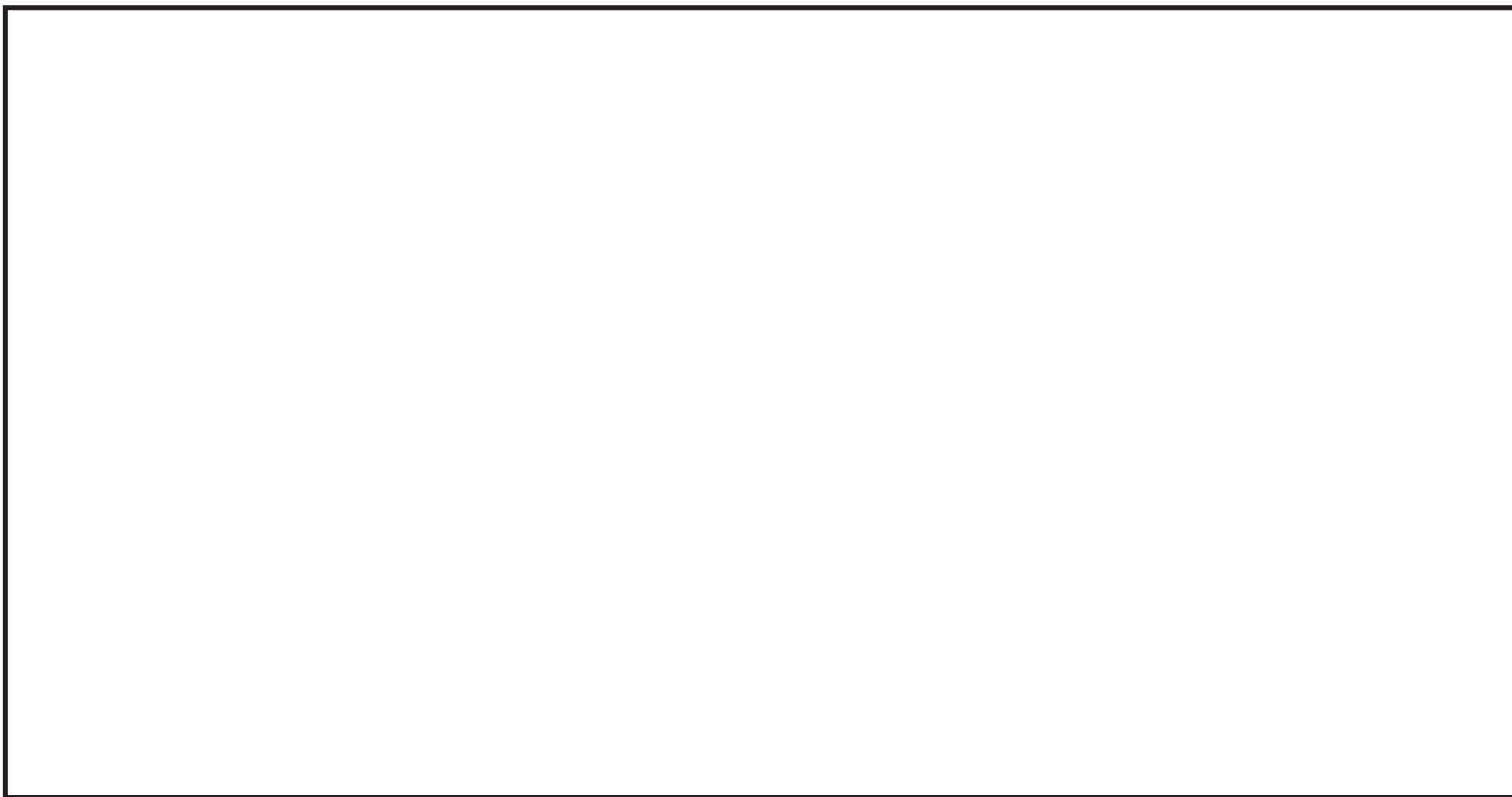


図 3-8 高圧炉心スプレイ系配管 (HPCS-002) の高振動数領域における代表的な振動モード図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

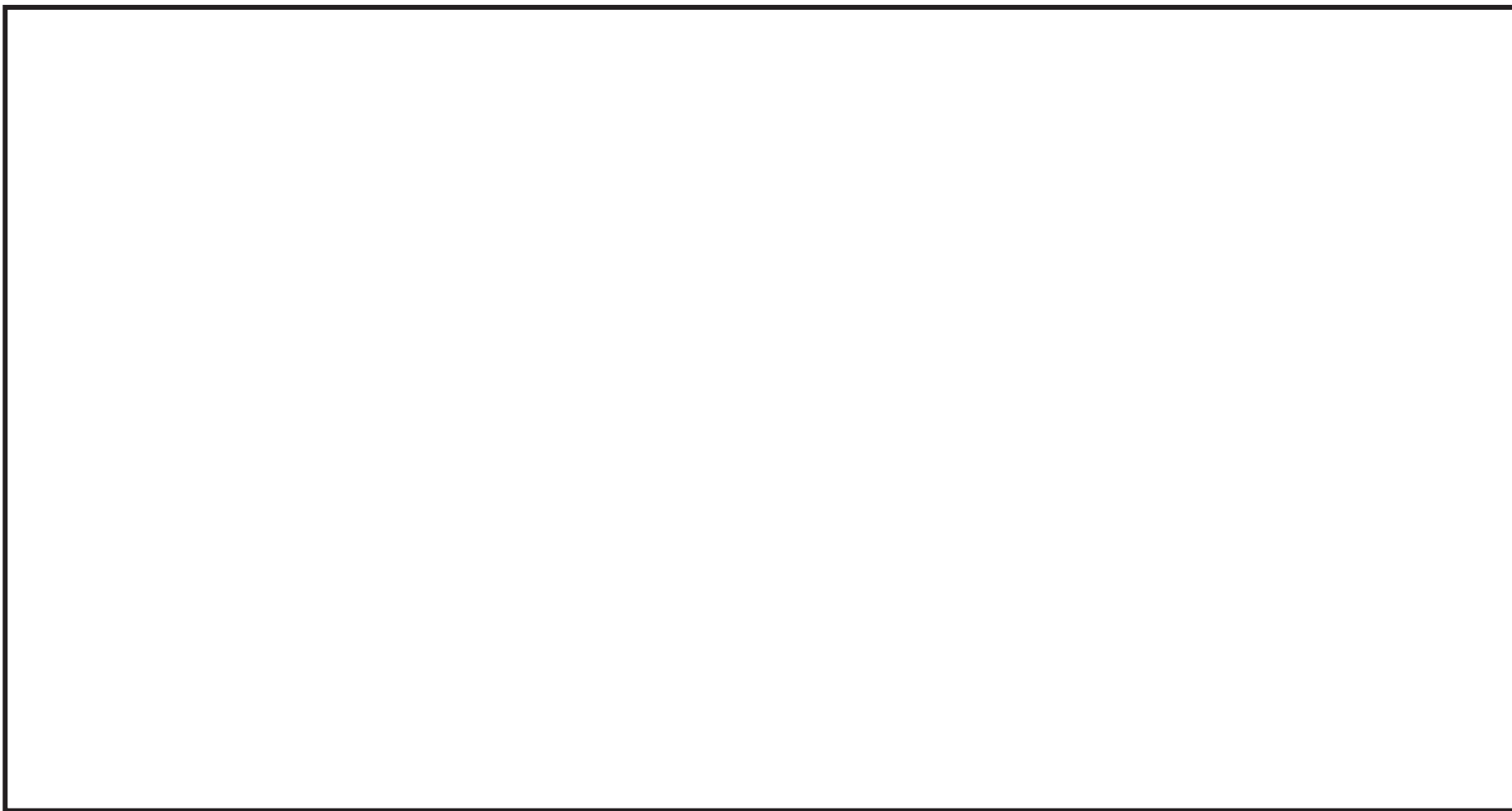


図 3-9 高圧炉心スプレイ系配管 (HPCS-002) の高振動数領域における代表的な振動モード図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

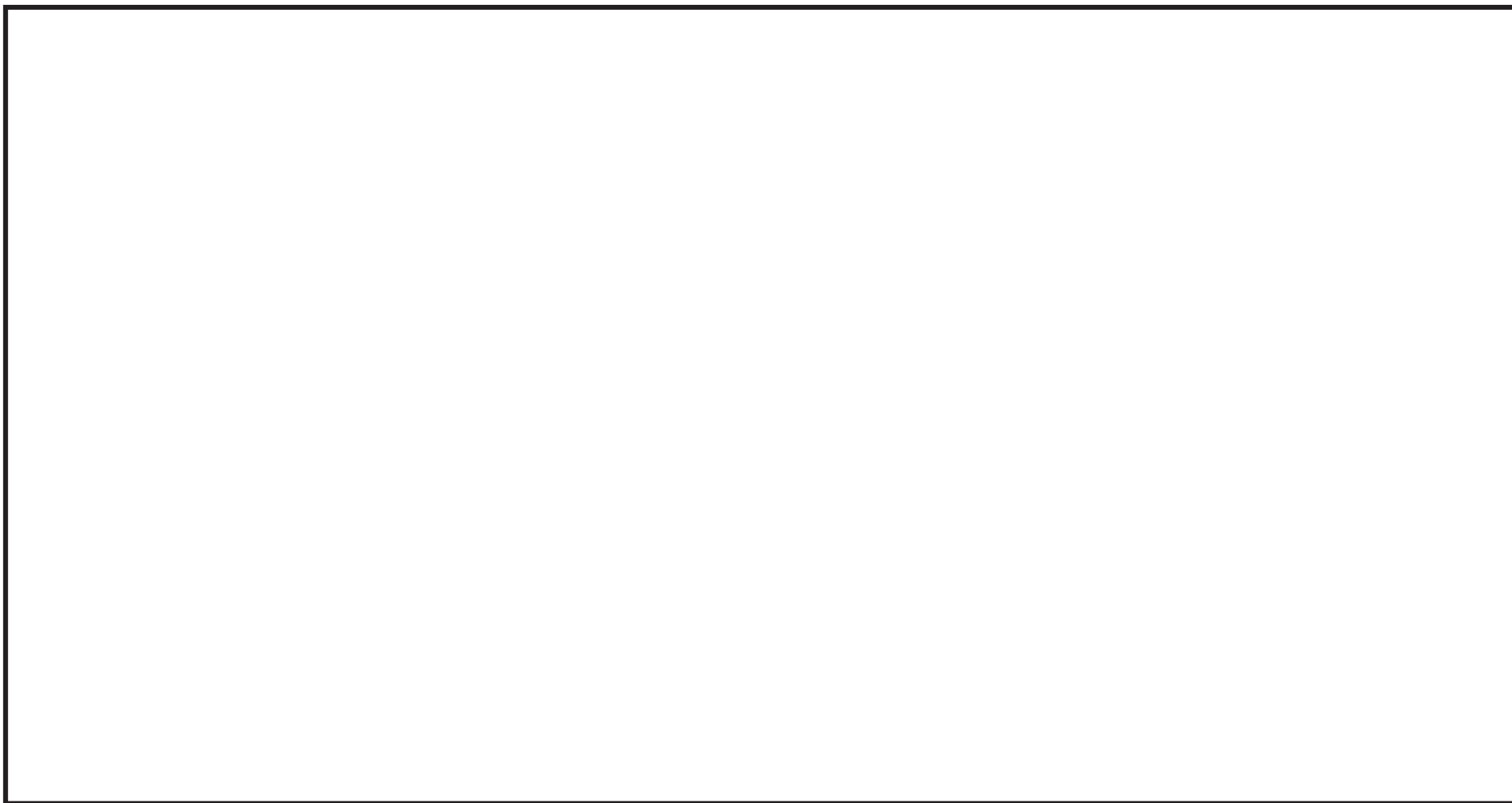


図 3-10 高圧炉心スプレイ系配管 (HPCS-002) の高振動数領域における代表的な振動モード図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

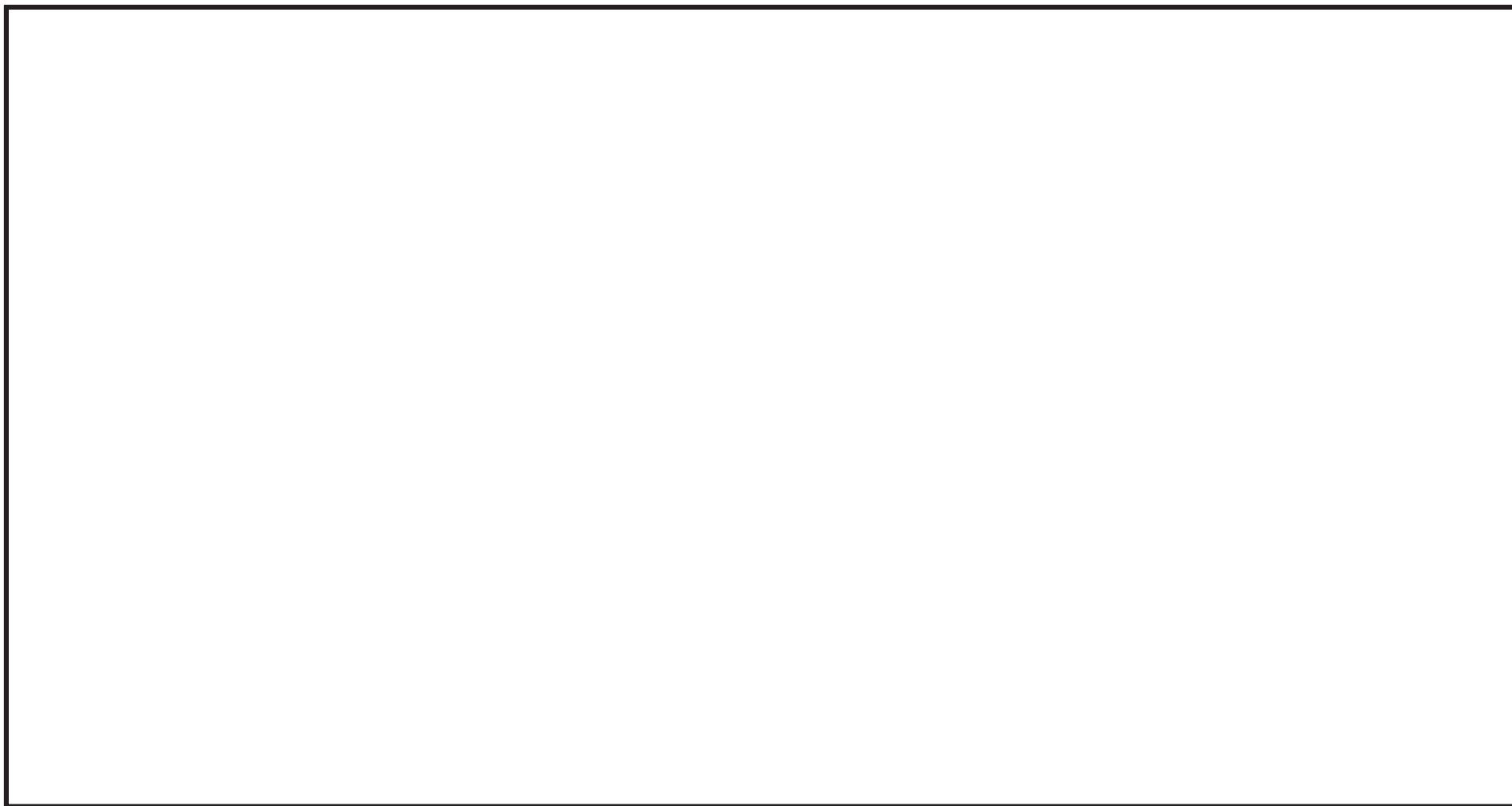


図 3-11 高圧炉心スプレイ系配管 (HPCS-002) の高振動数領域における代表的な振動モード図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

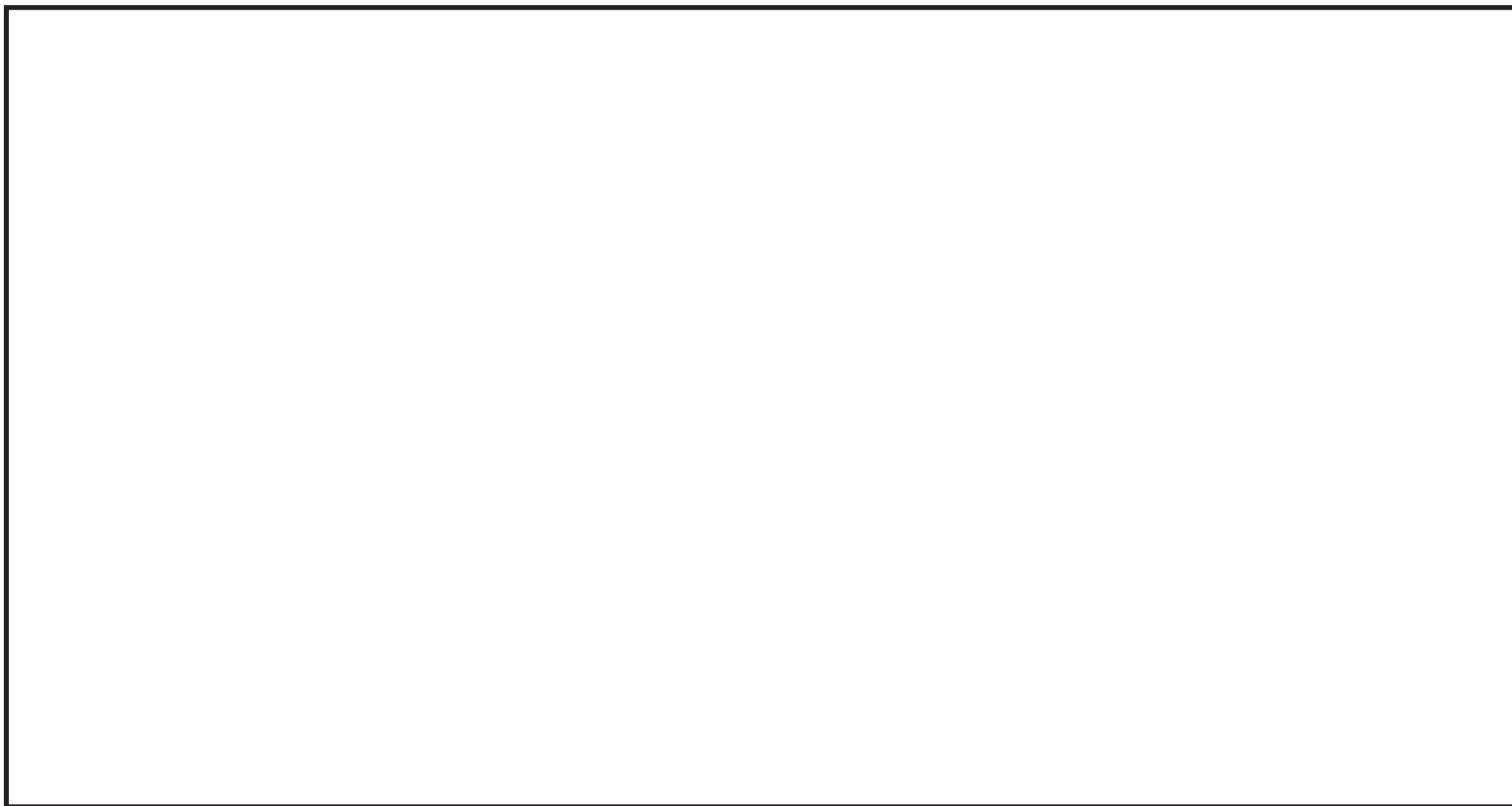


図 3-12 高圧炉心スプレイ系配管 (HPCS-002) の高振動数領域における代表的な振動モード図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

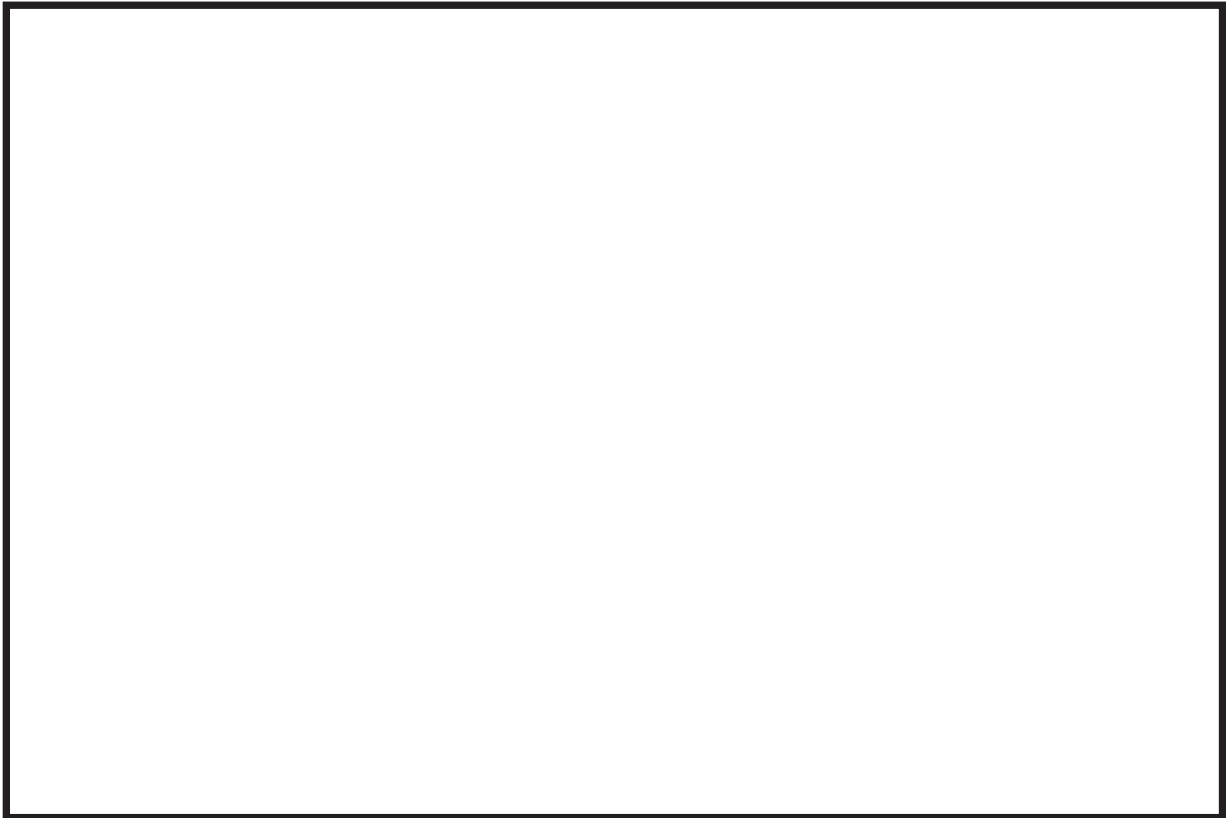


図 4-1 非常用ガス処理系配管 (AC-002) *の配管モデル全体図

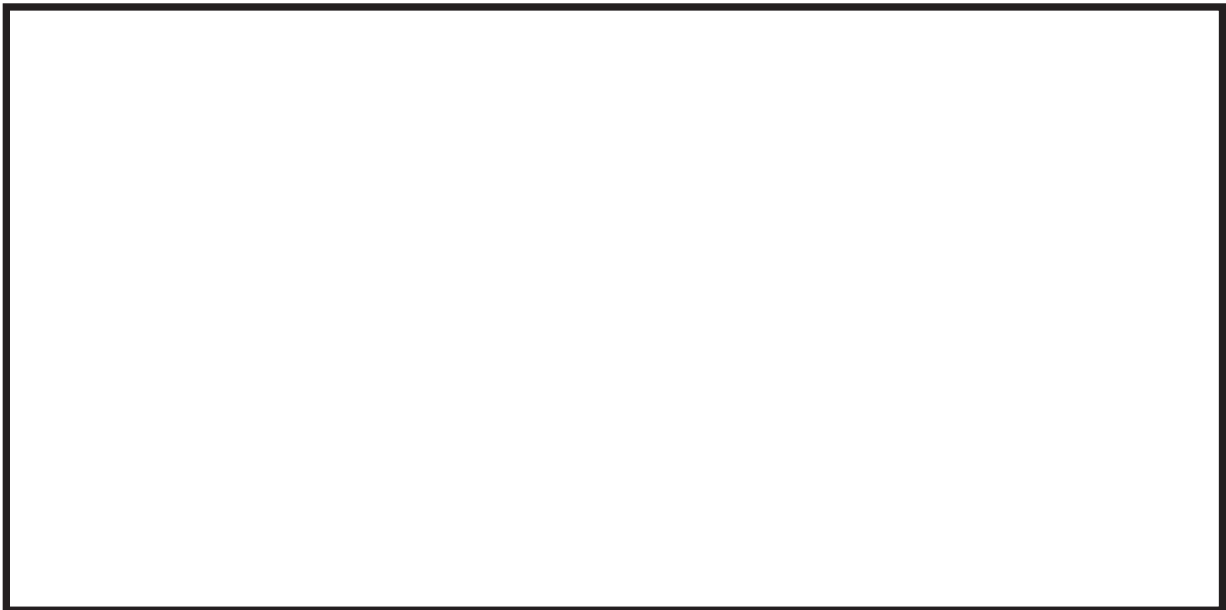


図 4-2 非常用ガス処理系配管 (AC-002) の配管モデル部分図

注記* : 配管モデル内に原子炉格納容器調気系配管も含むため、モデル番号は格納容器調気系の番号 (AC-002) となっている。以降も同様。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

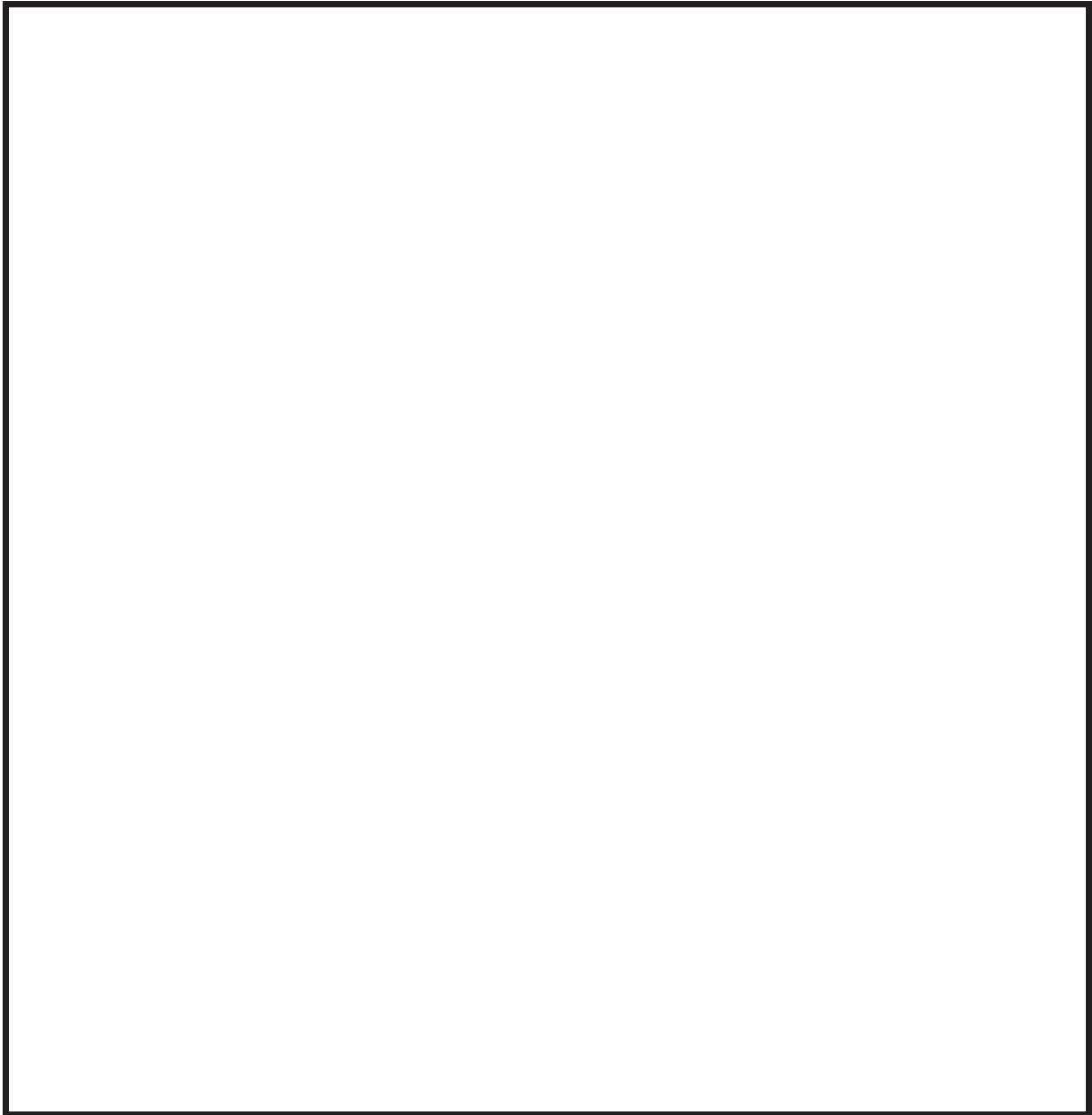


図 5 非常用ガス処理系弁 (T46-F003B) 構造図

表 4 非常用ガス処理系配管及び主要弁の諸元

項目	主要仕様
最高使用圧力*1 (kPa)	13.7
最高使用温度*1 (°C)	100
外径*1 (mm)	318.5
厚さ*1 (mm)	10.3
配管材料*1	STS410
弁箱材質	SCPH2
弁部の質量(kg) *2	

*1 : 当該弁取付部廻りの仕様を記載

*2 : 配管解析に用いる弁本体質量, 駆動部質量,
内部流体質量の合算値を記載

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表5 非常用ガス処理系配管（AC-002）の刺激係数及び設計震度（1/5）

モード	固有 振動数 (Hz)	固有 周期 (s)	刺激係数*			設計震度		
						水平方向		鉛直方向
			X方向	Y方向	Z方向	X方向	Z方向	Y方向
1次								
2次								
3次								
4次								
5次								
6次								
7次								
8次								
9次								
10次								
11次								
12次								
13次								
14次								
15次								
16次								
17次								
18次								
19次								
20次								
21次								
22次								
23次								
24次								
25次								
26次								
27次								
28次								
29次								
30次								
31次								
32次								
33次								

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 5 非常用ガス処理系配管 (AC-002) の刺激係数及び設計震度 (2/5)

モード	固有 振動数 (Hz)	固有 周期 (s)	刺激係数*			設計震度		
						水平方向		鉛直方向
			X 方向	Y 方向	Z 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向
34 次								
35 次								
36 次								
37 次								
38 次								
39 次								
40 次								
41 次								
42 次								
43 次								
44 次								
45 次								
46 次								
47 次								
48 次								
49 次								
50 次								
51 次								
52 次								
53 次								
54 次								
55 次								
56 次								
57 次								
58 次								
59 次								
60 次								
61 次								
62 次								
63 次								
64 次								
65 次								
66 次								

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 5 非常用ガス処理系配管 (AC-002) の刺激係数及び設計震度 (3/5)

モード	固有 振動数 (Hz)	固有 周期 (s)	刺激係数*			設計震度			
						水平方向		鉛直方向	
			X 方向	Y 方向	Z 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向	
67 次									
68 次									
69 次									
70 次									
71 次									
72 次									
73 次									
74 次									
75 次									
76 次									
77 次									
78 次									
79 次									
80 次									
81 次									
82 次									
83 次									
84 次									
85 次									
86 次									
87 次									
88 次									
89 次									
90 次									
91 次									
92 次									
93 次									
94 次									
95 次									
96 次									
97 次									
98 次									
99 次									

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表5 非常用ガス処理系配管（AC-002）の刺激係数及び設計震度（4/5）

モード	固有 振動数 (Hz)	固有 周期 (s)	刺激係数*			設計震度		
						水平方向		鉛直方向
			X方向	Y方向	Z方向	X方向	Z方向	Y方向
100次								
101次								
102次								
103次								
104次								
105次								
106次								
107次								
108次								
109次								
110次								
111次								
112次								
113次								
114次								
115次								
116次								
117次								
118次								
119次								
120次								
121次								
122次								
123次								
124次								
125次								
126次								
127次								
128次								
129次								
130次								
131次								
132次								

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 5 非常用ガス処理系配管 (AC-002) の刺激係数及び設計震度 (5/5)

モード	固有 振動数 (Hz)	固有 周期 (s)	刺激係数*			設計震度		
						水平方向		鉛直方向
			X 方向	Y 方向	Z 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向
133 次								
134 次								
135 次								
136 次								
137 次								
138 次								
139 次								
140 次								
141 次								
142 次								
143 次								
144 次								
145 次								
146 次								
147 次								
148 次								
149 次								
150 次								
151 次								

注記* : 刺激係数は, モード質量を正規化し, 固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



図 6-1 非常用ガス処理系配管（AC-002）の高振動数領域における代表的な振動モード図



図 6-2 非常用ガス処理系配管（AC-002）の高振動数領域における代表的な振動モード図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

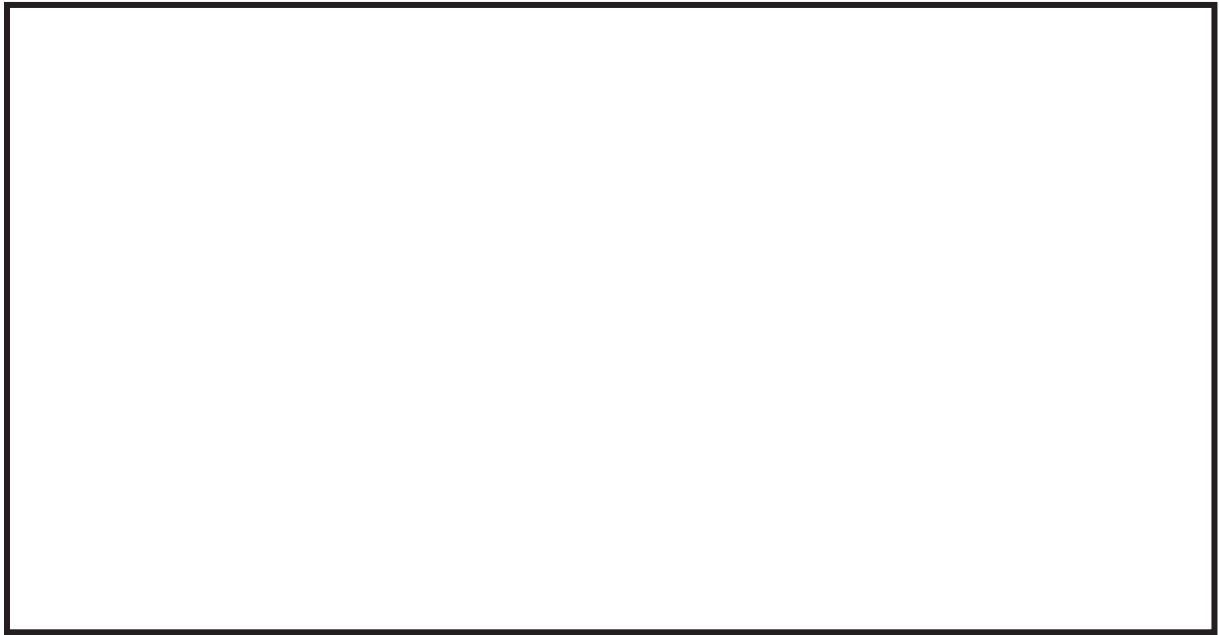


図 6-3 非常用ガス処理系配管（AC-002）の高振動数領域における代表的な振動モード図



図 6-4 非常用ガス処理系配管（AC-002）の高振動数領域における代表的な振動モード図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

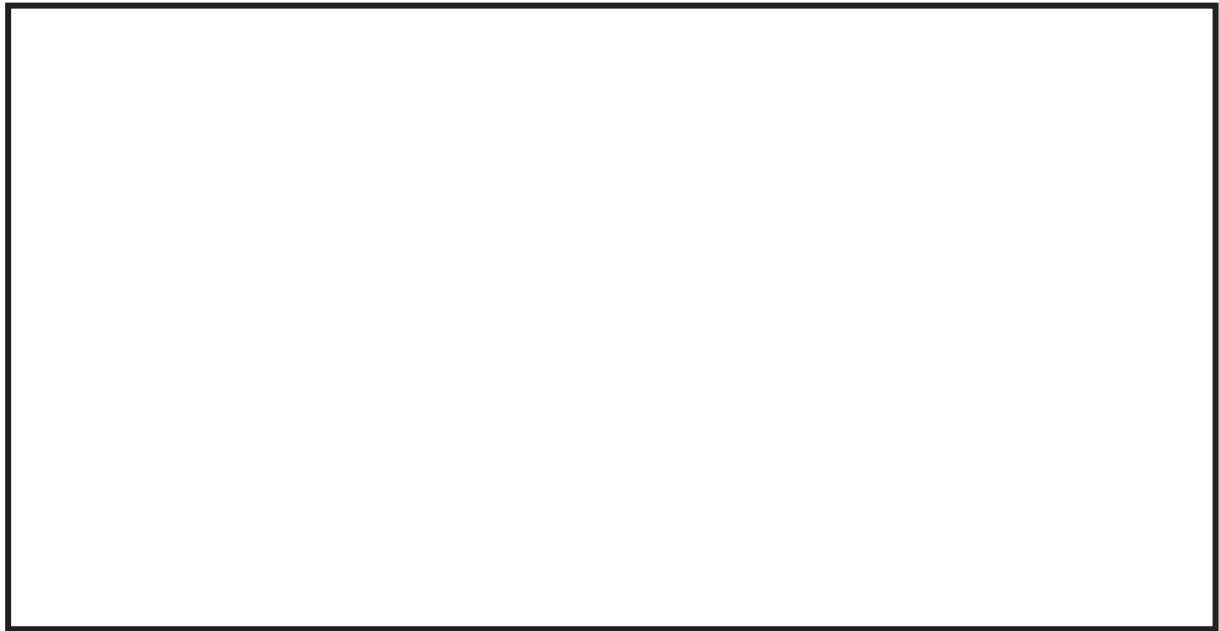


図 6-5 非常用ガス処理系配管（AC-002）の高振動数領域における代表的な振動モード図



図 6-6 非常用ガス処理系配管（AC-002）の高振動数領域における代表的な振動モード図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

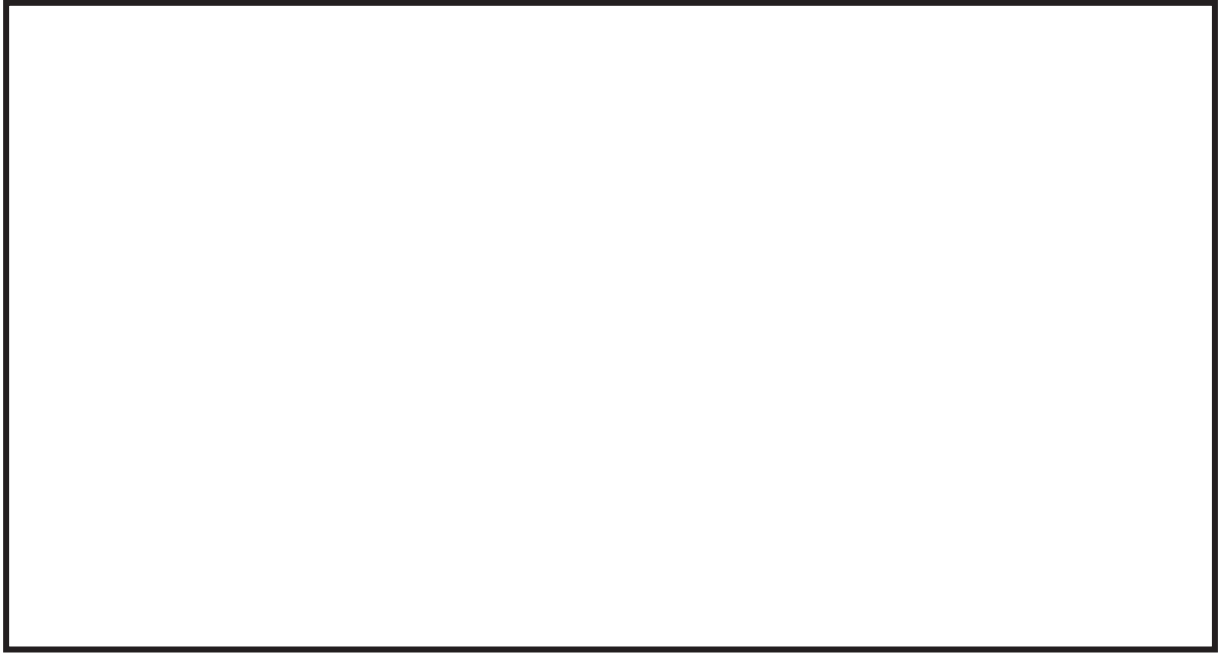


図 6-7 非常用ガス処理系配管（AC-002）の高振動数領域における代表的な振動モード図

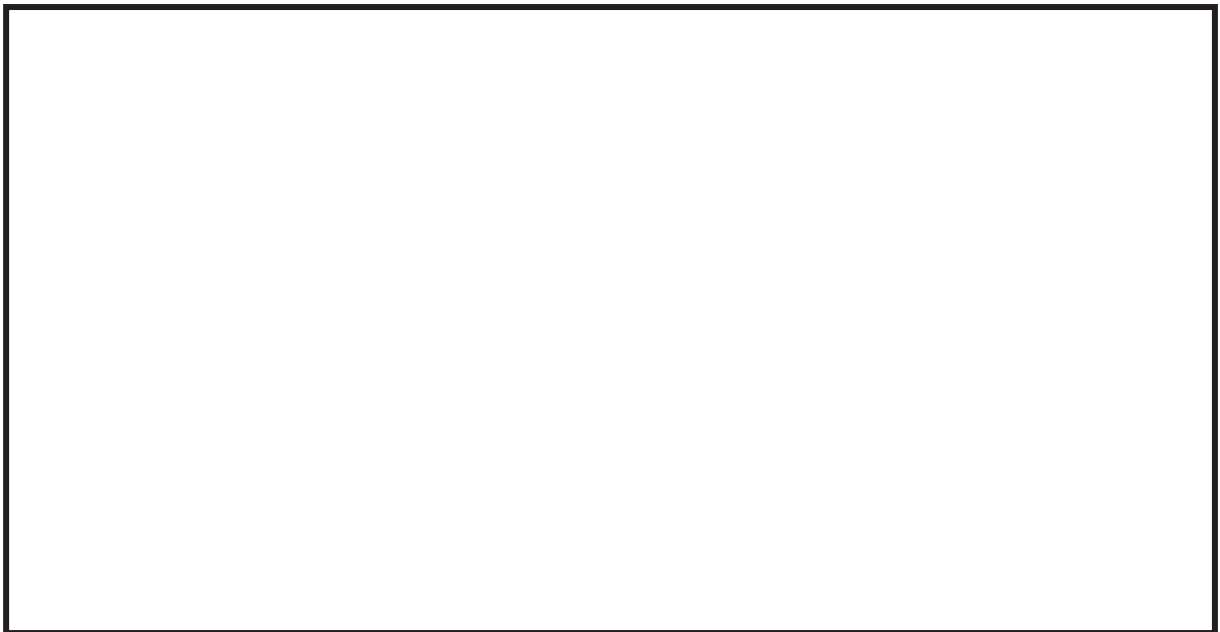


図 6-8 非常用ガス処理系配管（AC-002）の高振動数領域における代表的な振動モード図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

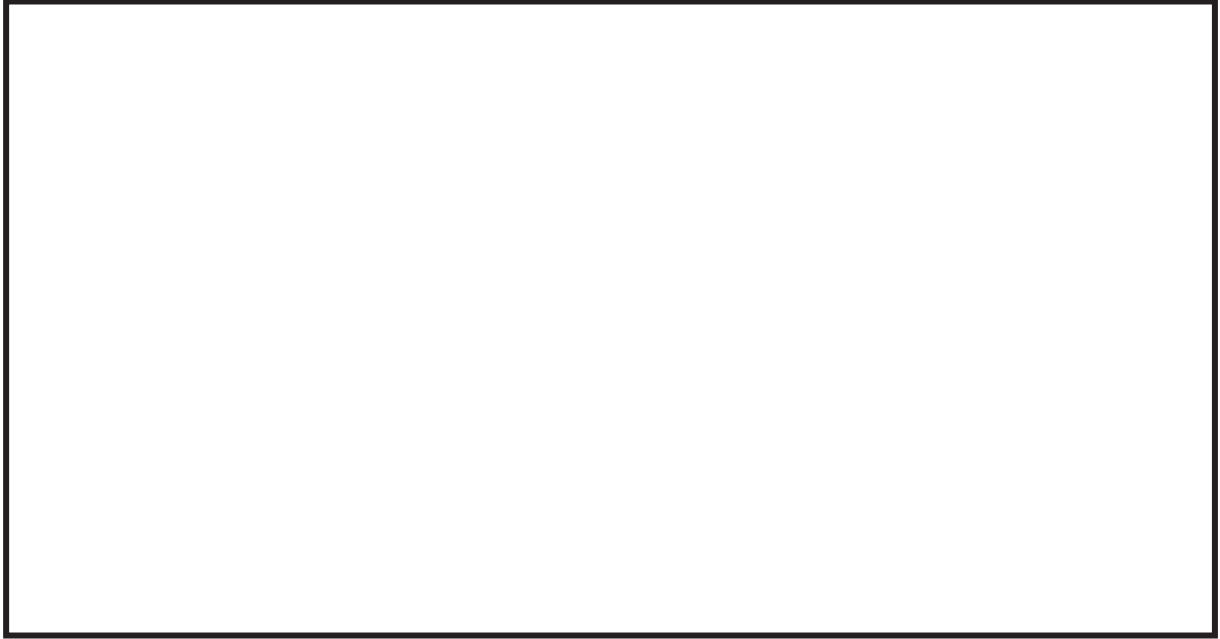


図 6-9 非常用ガス処理系配管（AC-002）の高振動数領域における代表的な振動モード図

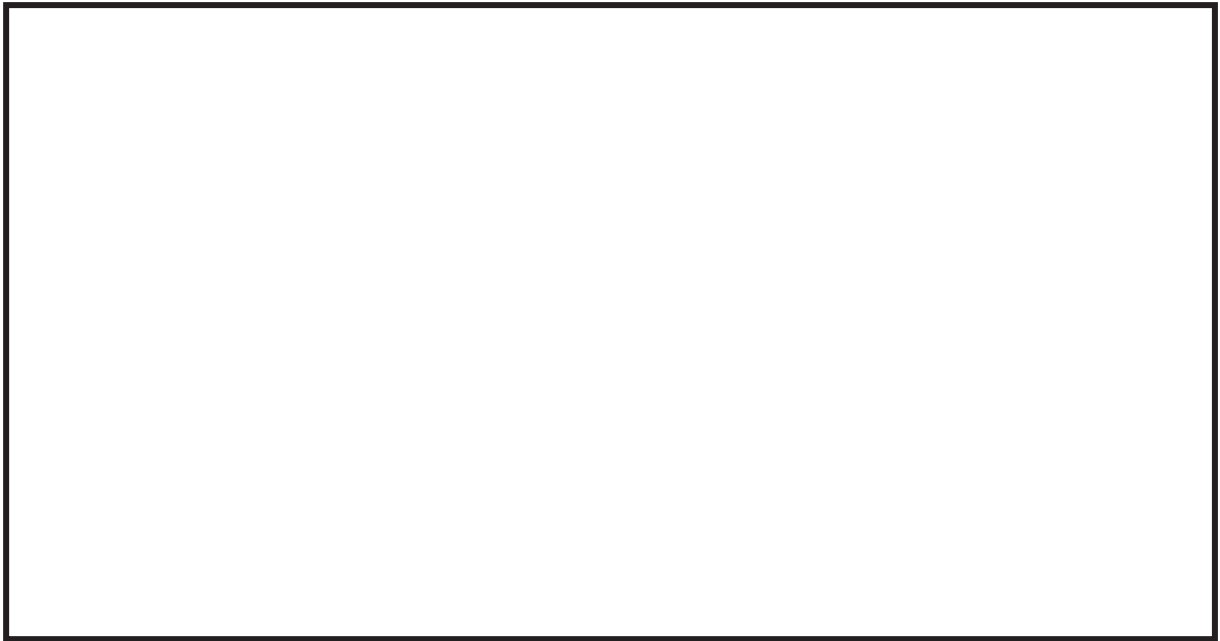


図 6-10 非常用ガス処理系配管（AC-002）の高振動数領域における代表的な振動モード図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

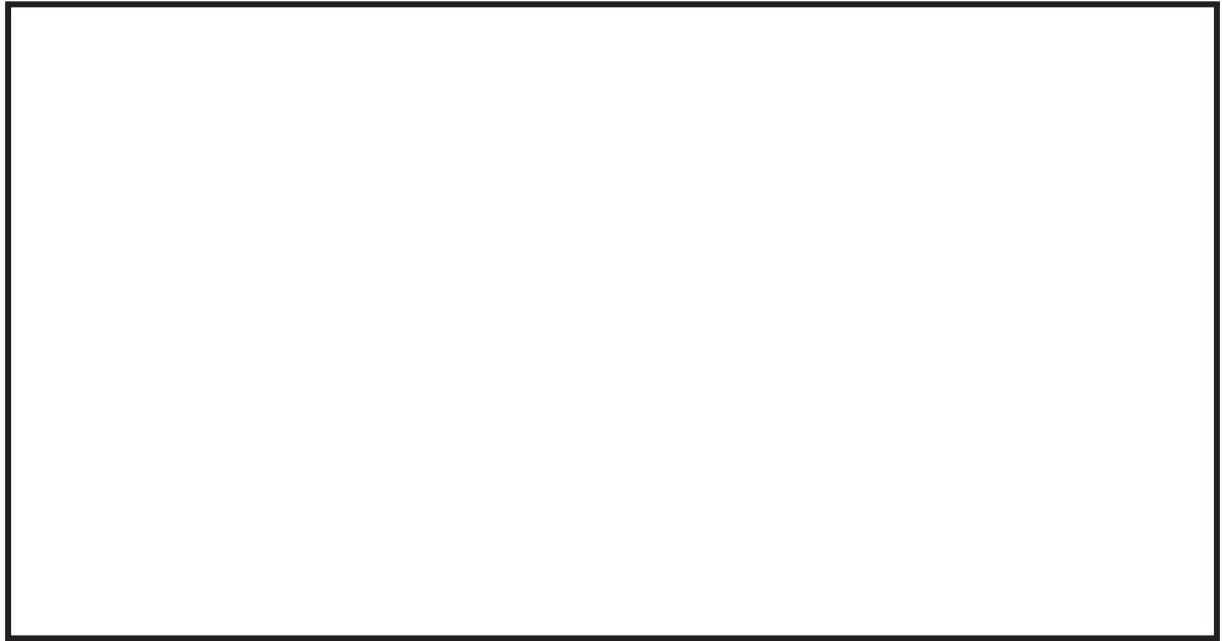


図 6-11 非常用ガス処理系配管（AC-002）の高振動数領域における代表的な振動モード図



図 6-12 非常用ガス処理系配管（AC-002）の高振動数領域における代表的な振動モード図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

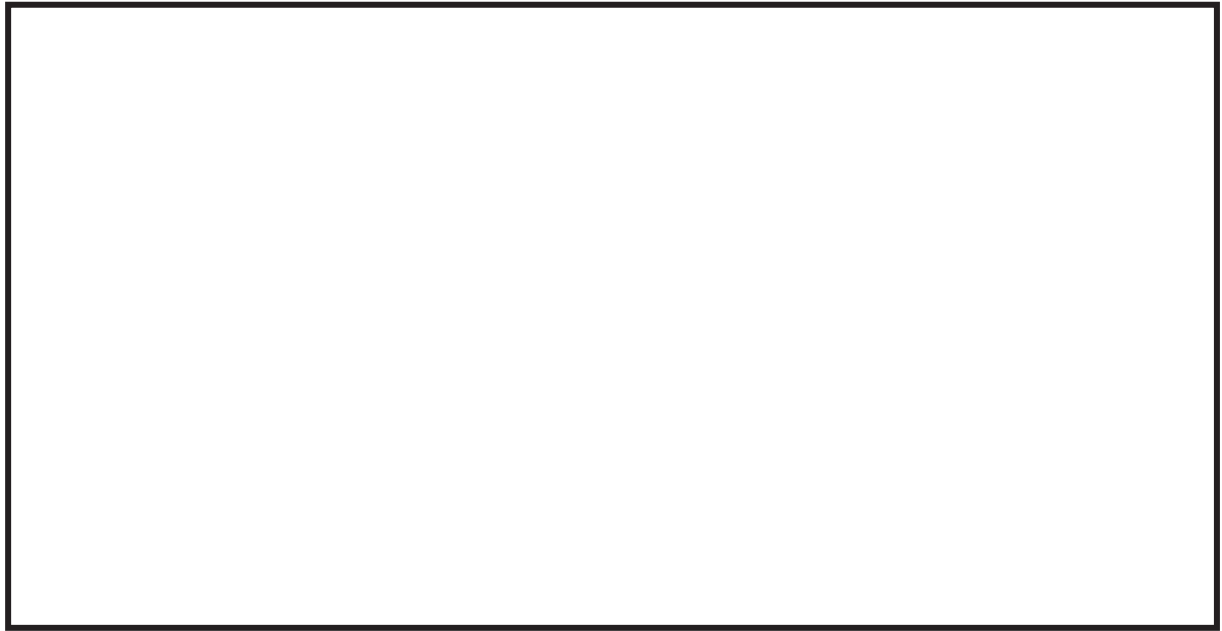


図 6-13 非常用ガス処理系配管（AC-002）の高振動数領域における代表的な振動モード図

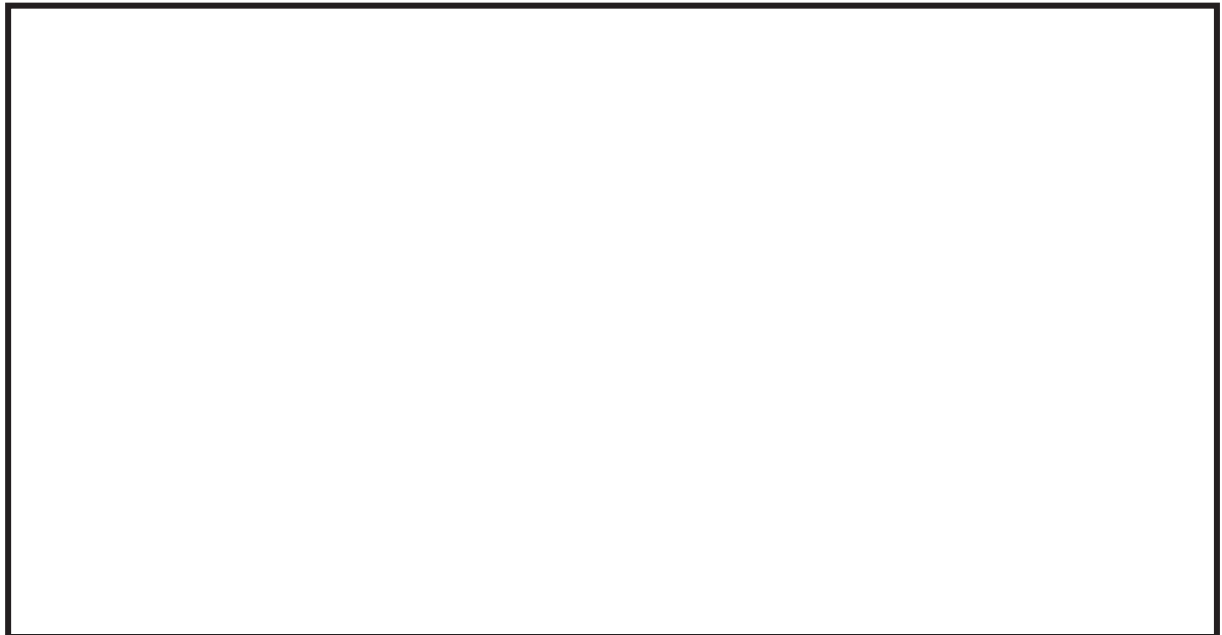


図 6-14 非常用ガス処理系配管（AC-002）の高振動数領域における代表的な振動モード図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



図 6-15 非常用ガス処理系配管（AC-002）の高振動数領域における代表的な振動モード図



図 6-16 非常用ガス処理系配管（AC-002）の高振動数領域における代表的な振動モード図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

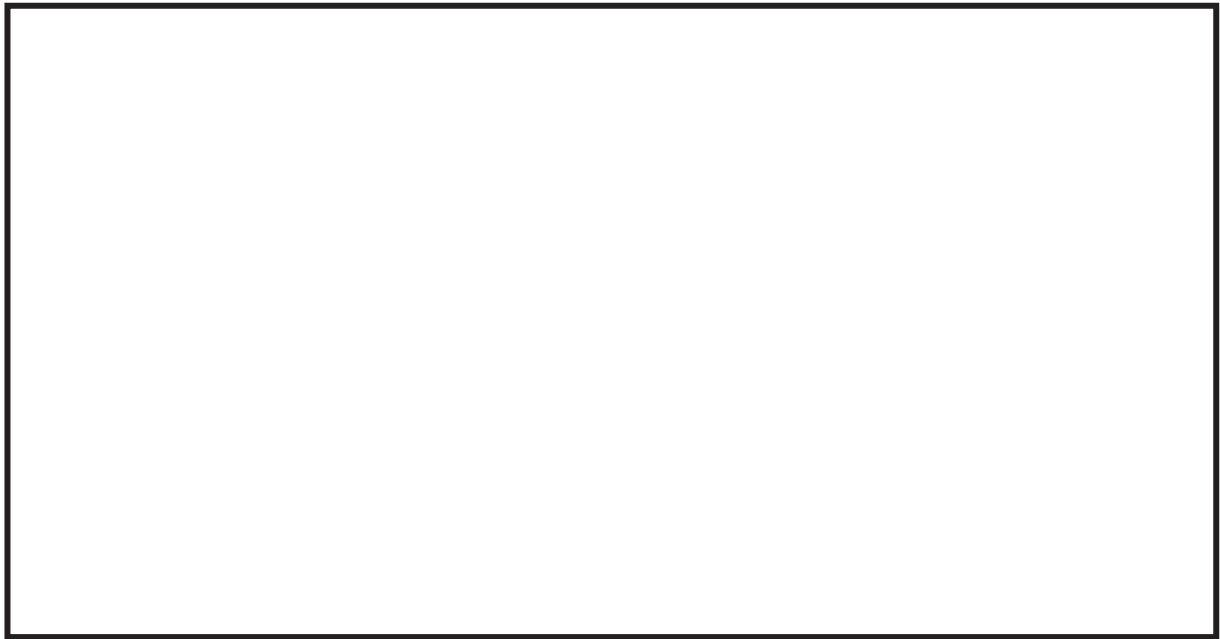


図 6-17 非常用ガス処理系配管（AC-002）の高振動数領域における代表的な振動モード図



図 6-18 非常用ガス処理系配管（AC-002）の高振動数領域における代表的な振動モード図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



図 6-19 非常用ガス処理系配管（AC-002）の高振動数領域における代表的な振動モード図

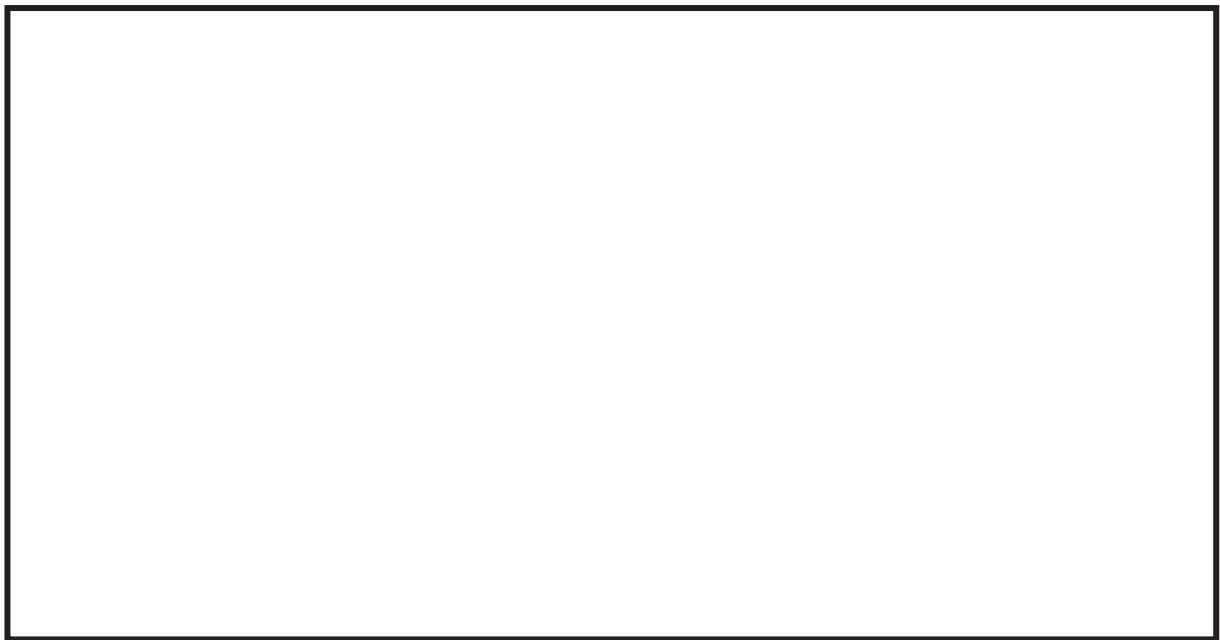


図 6-20 非常用ガス処理系配管（AC-002）の高振動数領域における代表的な振動モード図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

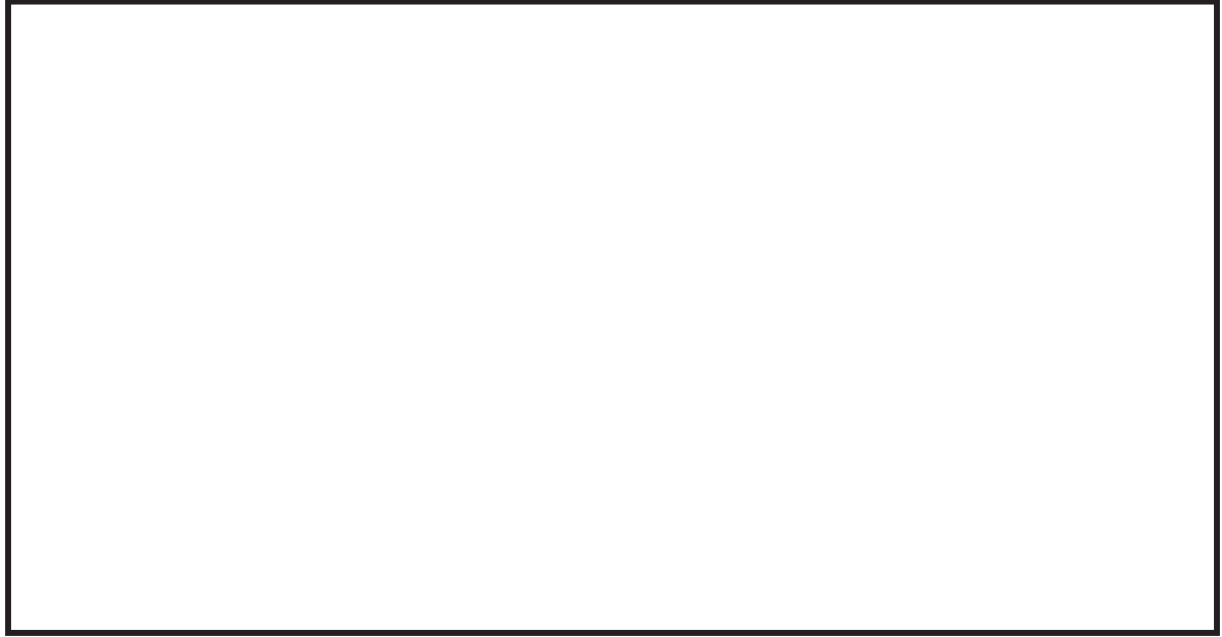


図 6-21 非常用ガス処理系配管（AC-002）の高振動数領域における代表的な振動モード図

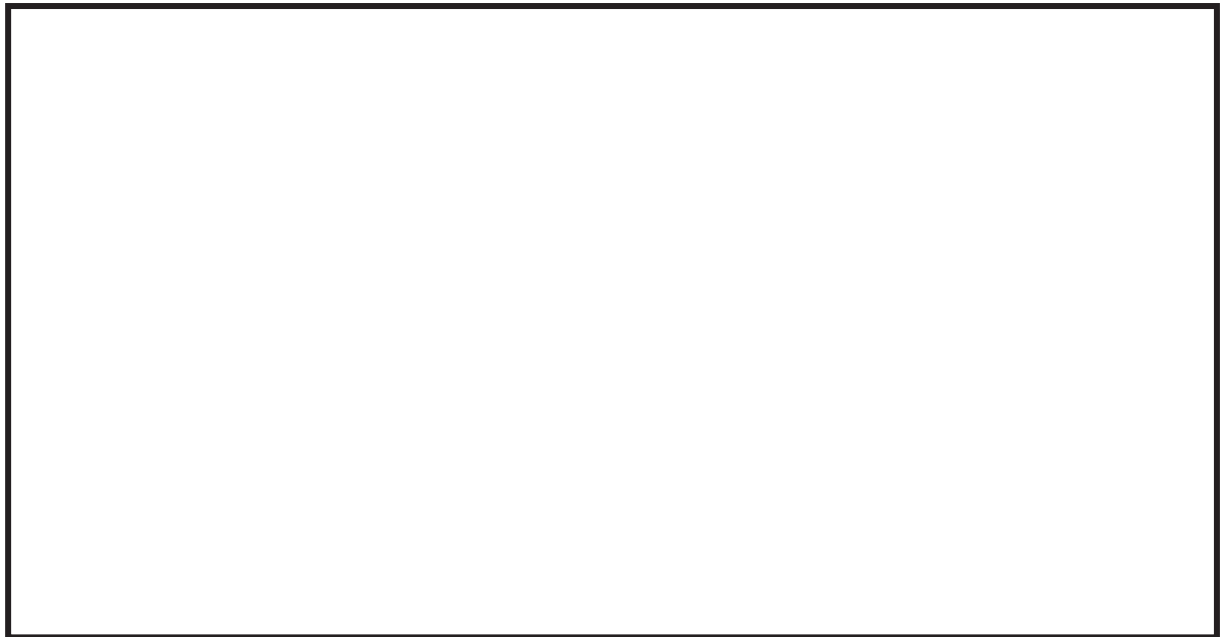


図 6-22 非常用ガス処理系配管（AC-002）の高振動数領域における代表的な振動モード図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

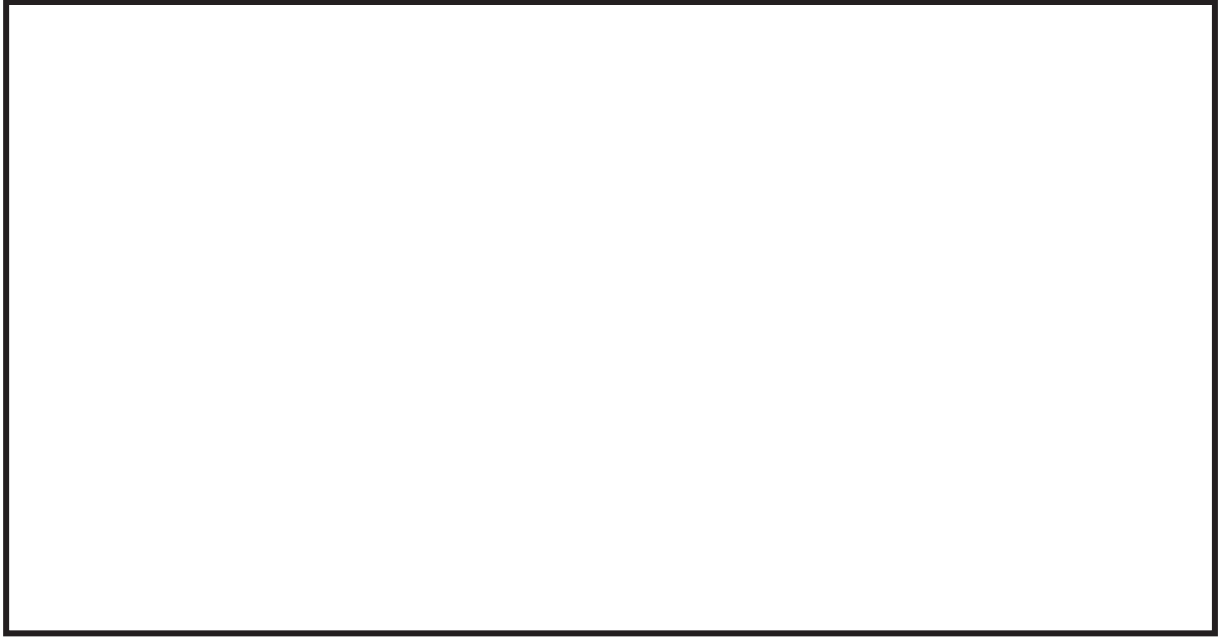


図 6-23 非常用ガス処理系配管（AC-002）の高振動数領域における代表的な振動モード図



図 6-24 非常用ガス処理系配管（AC-002）の高振動数領域における代表的な振動モード図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

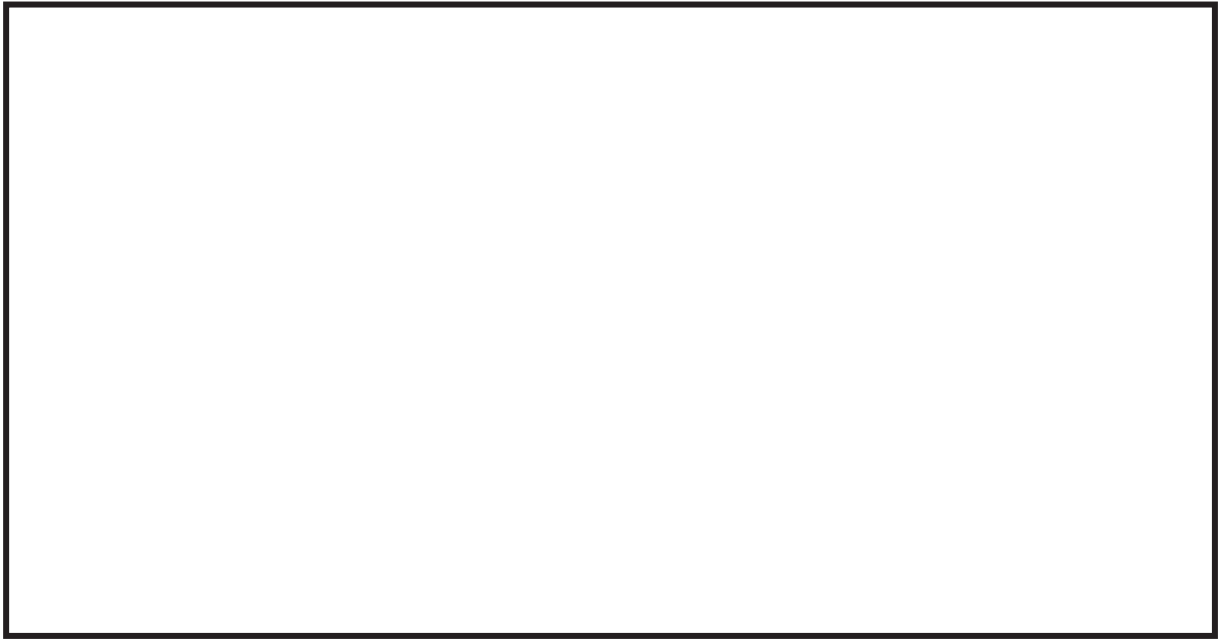


図 6-25 非常用ガス処理系配管（AC-002）の高振動数領域における代表的な振動モード図

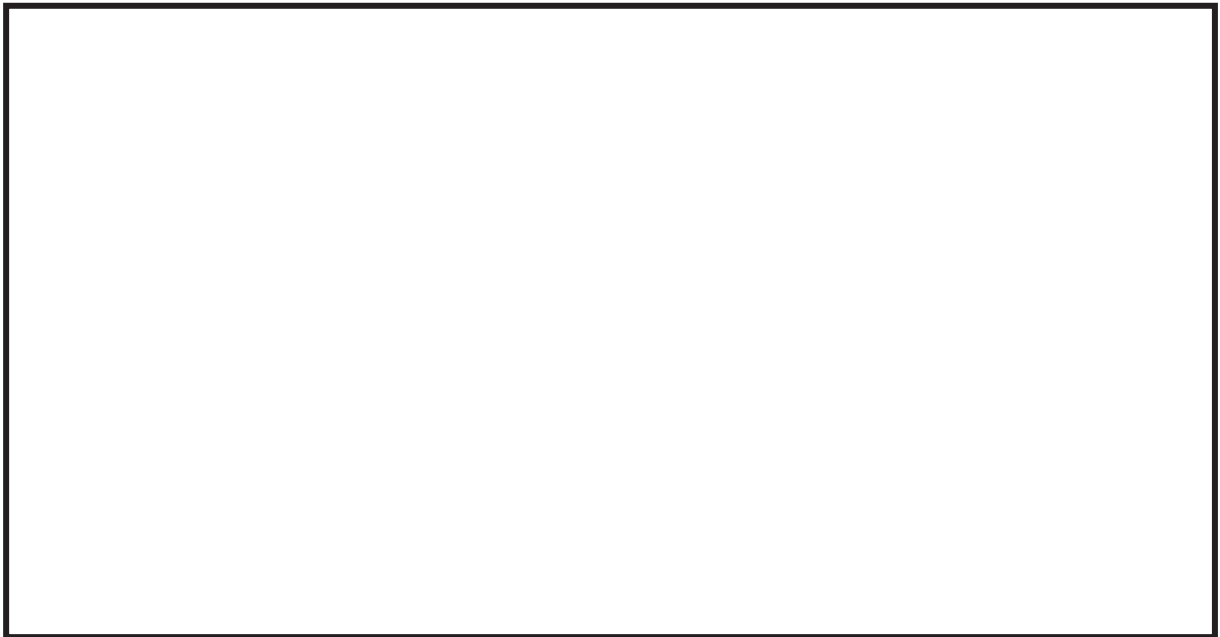


図 6-26 非常用ガス処理系配管（AC-002）の高振動数領域における代表的な振動モード図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

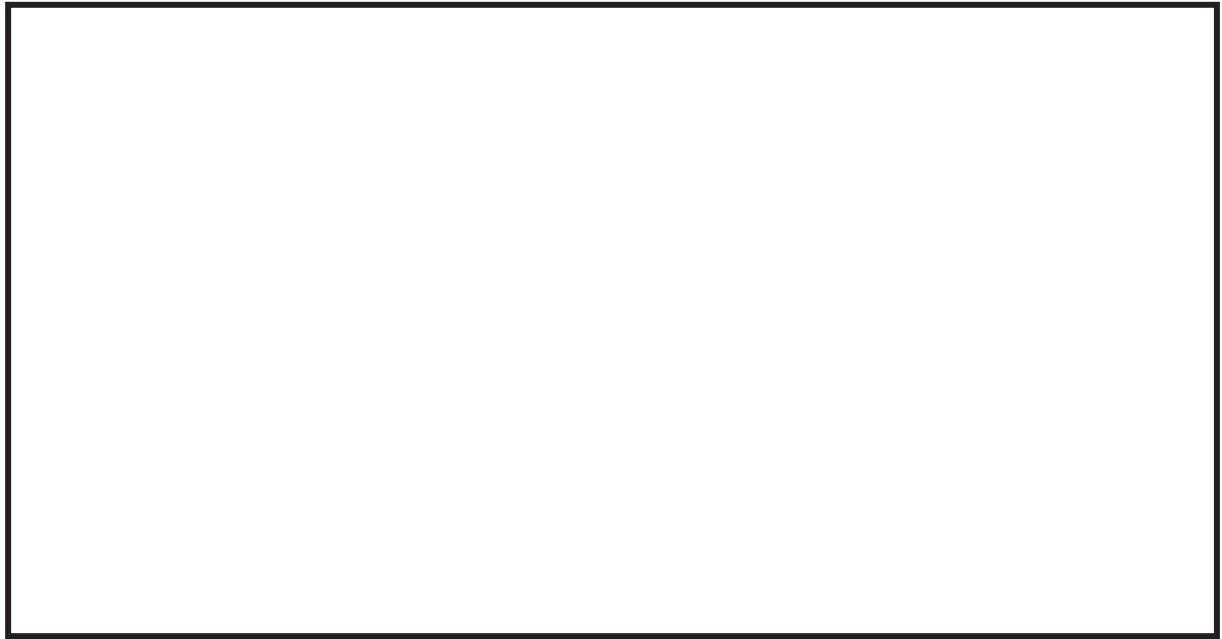


図 6-27 非常用ガス処理系配管（AC-002）の高振動数領域における代表的な振動モード図



図 6-28 非常用ガス処理系配管（AC-002）の高振動数領域における代表的な振動モード図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

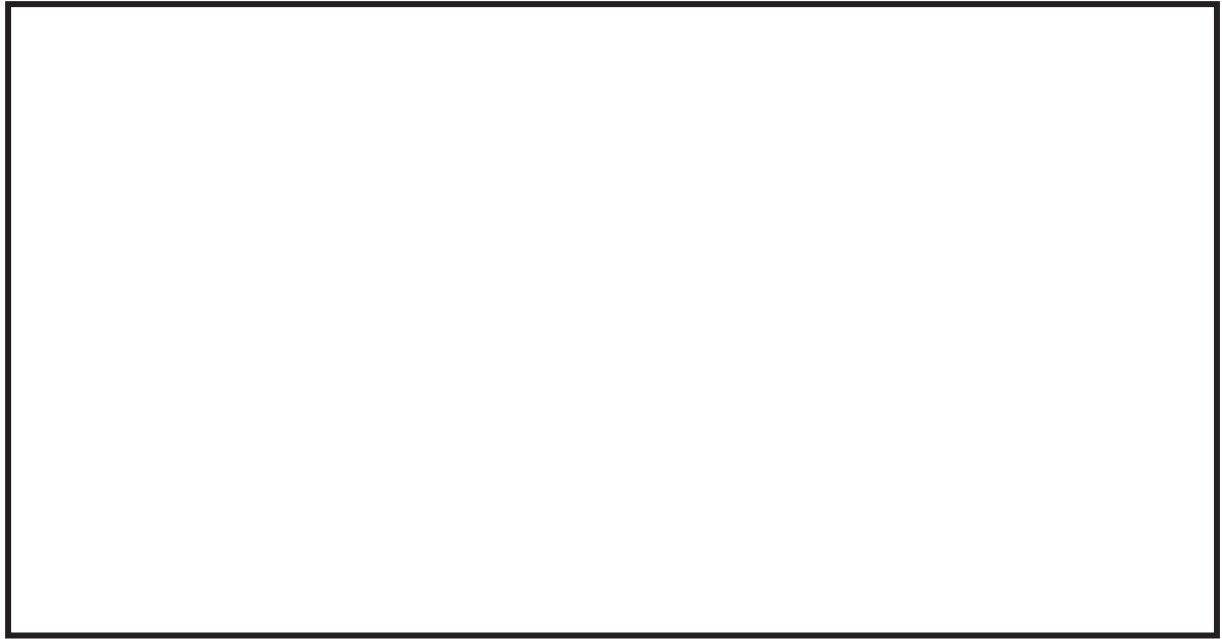


図 6-29 非常用ガス処理系配管（AC-002）の高振動数領域における代表的な振動モード図



図 6-30 非常用ガス処理系配管（AC-002）の高振動数領域における代表的な振動モード図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

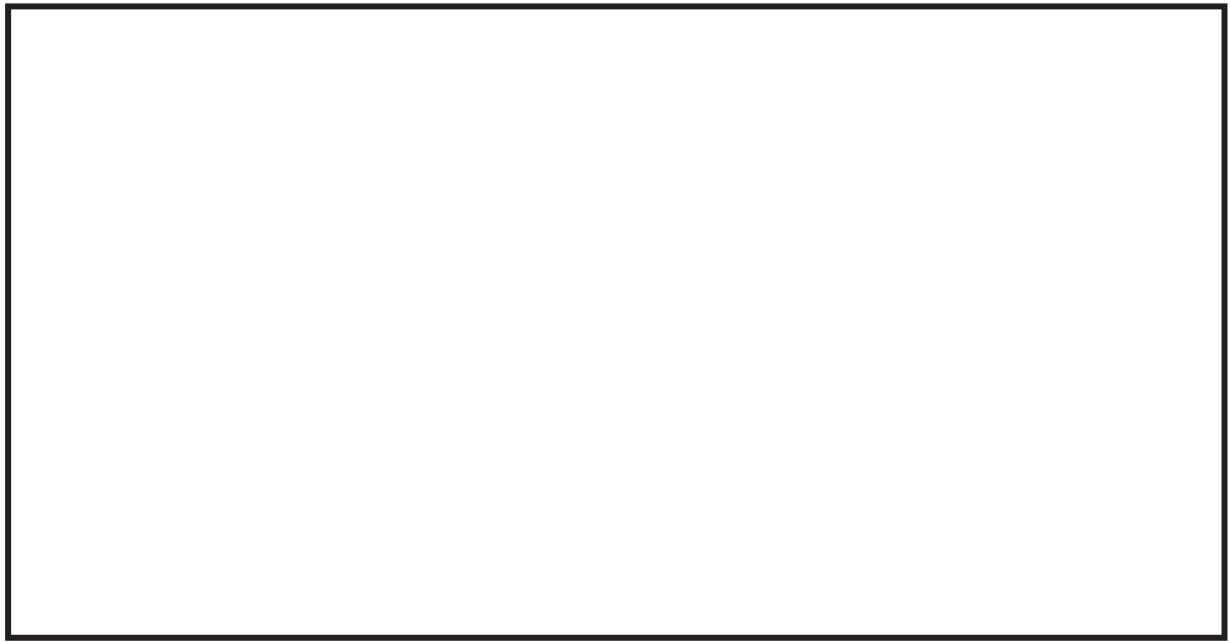


図 6-31 非常用ガス処理系配管（AC-002）の高振動数領域における代表的な振動モード図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

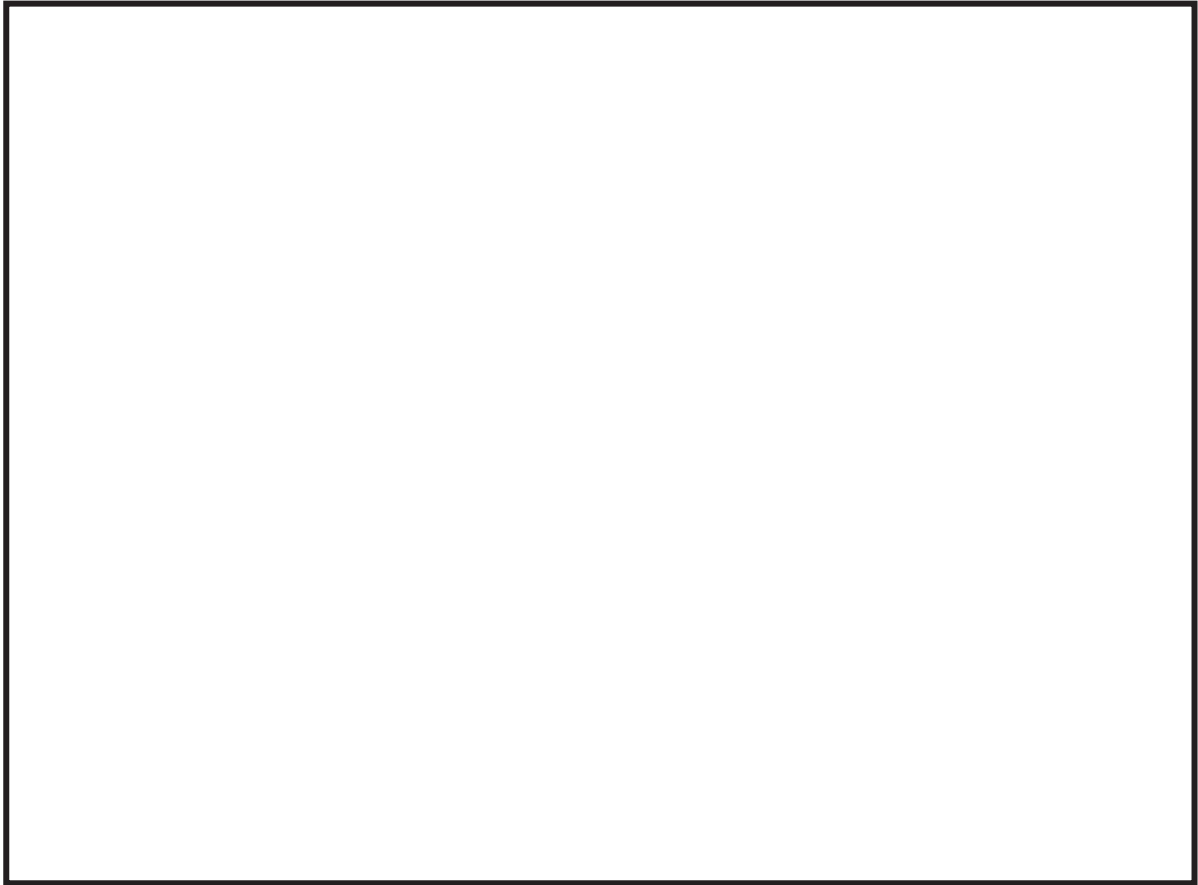


図 7-1 原子炉隔離時冷却系配管 (MS-004*) の配管モデル全体図

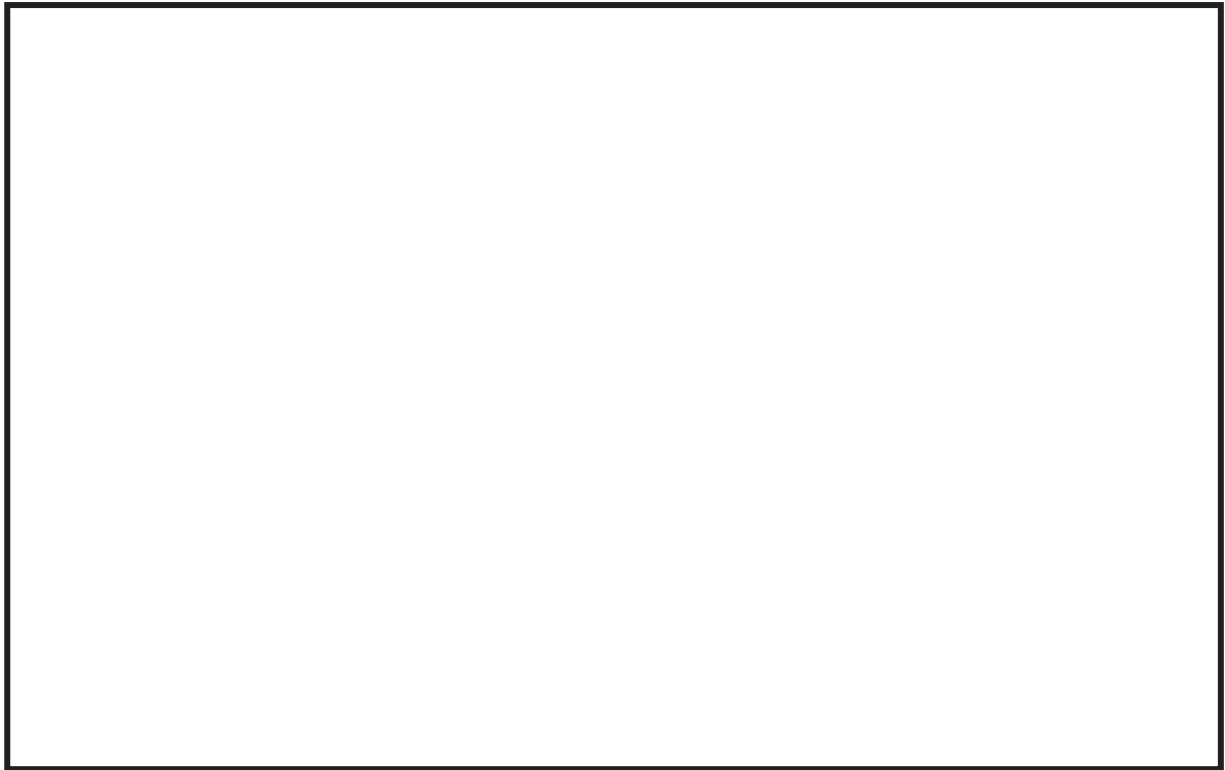


図 7-2 原子炉隔離時冷却系配管 (MS-004*) の配管モデル部分図

注記* : 配管モデル内に主蒸気系配管も含むため、モデル番号は主蒸気系の番号 (MS-004) となっている。以降も同様。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

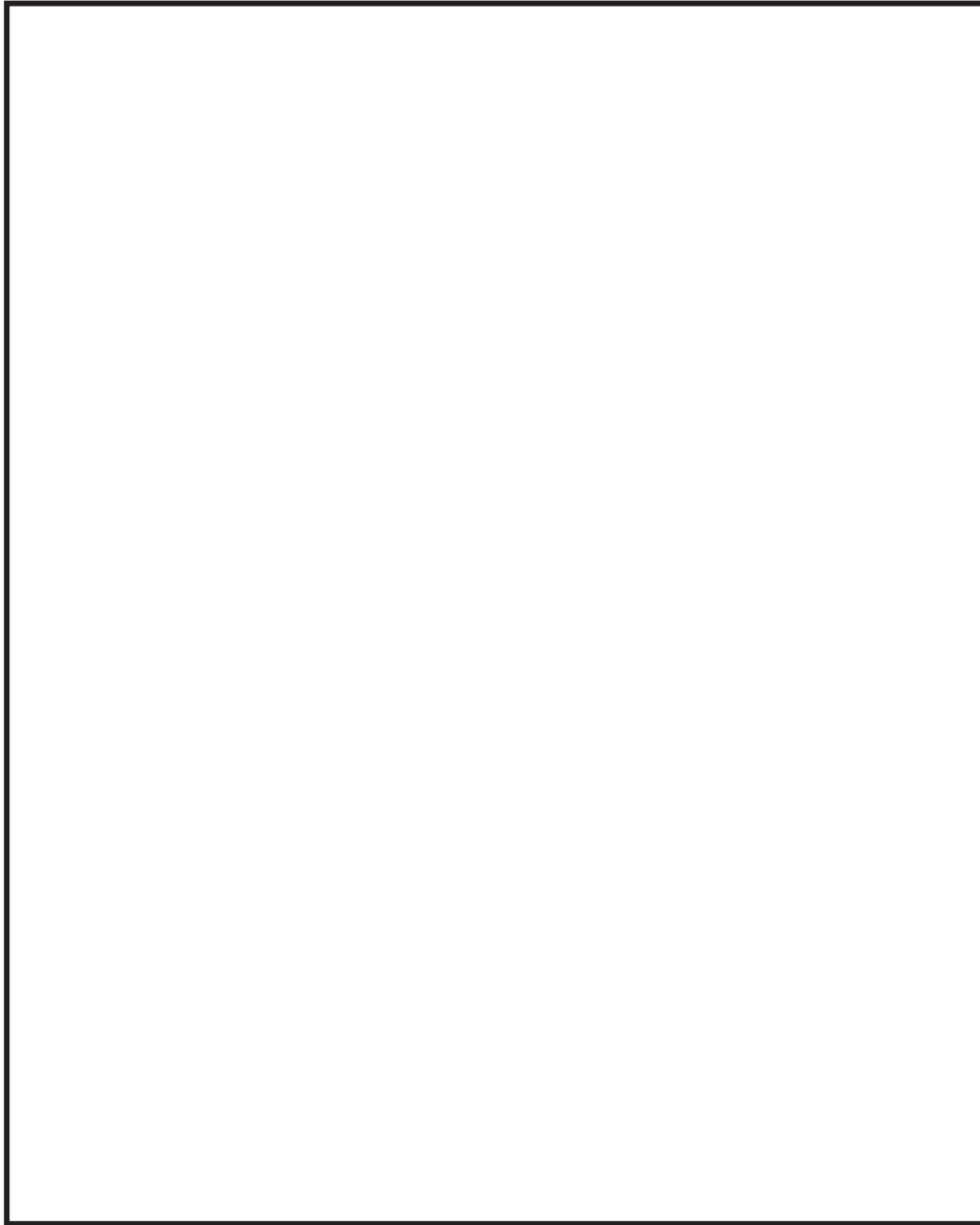


図 8 原子炉隔離時冷却系弁 (E51-F008) 構造図

表 6 原子炉隔離時冷却系配管及び主要弁の諸元

項目	主要仕様
最高使用圧力*1 (MPa)	8.62
最高使用温度*1 (°C)	302
外径*1 (mm)	139.8
厚さ*1 (mm)	13.2
配管材料*1	STS410
弁箱材質	SCPH2
弁部の質量(kg) *2	

*1：当該弁取付部廻りの仕様を記載

*2：配管解析に用いる弁本体質量，駆動部質量，
内部流体質量の合算値を記載

表 7 原子炉隔離時冷却系配管 (MS-004) の刺激係数及び設計震度 (1/6)

モード	固有 振動数 (Hz)	固有 周期 (s)	刺激係数*			設計震度		
						水平方向		鉛直方向
			X 方向	Y 方向	Z 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向
1 次								
2 次								
3 次								
4 次								
5 次								
6 次								
7 次								
8 次								
9 次								
10 次								
11 次								
12 次								
13 次								
14 次								
15 次								
16 次								
17 次								
18 次								
19 次								
20 次								
21 次								
22 次								
23 次								
24 次								
25 次								
26 次								
27 次								
28 次								
29 次								
30 次								
31 次								
32 次								
33 次								

表 7 原子炉隔離時冷却系配管 (MS-004) の刺激係数及び設計震度 (2/6)

モード	固有 振動数 (Hz)	固有 周期 (s)	刺激係数*			設計震度		
						水平方向		鉛直方向
			X 方向	Y 方向	Z 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向
34 次								
35 次								
36 次								
37 次								
38 次								
39 次								
40 次								
41 次								
42 次								
43 次								
44 次								
45 次								
46 次								
47 次								
48 次								
49 次								
50 次								
51 次								
52 次								
53 次								
54 次								
55 次								
56 次								
57 次								
58 次								
59 次								
60 次								
61 次								
62 次								
63 次								
64 次								
65 次								
66 次								

表 7 原子炉隔離時冷却系配管 (MS-004) の刺激係数及び設計震度 (3/6)

モード	固有 振動数 (Hz)	固有 周期 (s)	刺激係数*			設計震度		
						水平方向		鉛直方向
			X方向	Y方向	Z方向	X方向	Z方向	Y方向
67次								
68次								
69次								
70次								
71次								
72次								
73次								
74次								
75次								
76次								
77次								
78次								
79次								
80次								
81次								
82次								
83次								
84次								
85次								
86次								
87次								
88次								
89次								
90次								
91次								
92次								
93次								
94次								
95次								
96次								
97次								
98次								
99次								

表 7 原子炉隔離時冷却系配管 (MS-004) の刺激係数及び設計震度 (4/6)

モード	固有 振動数 (Hz)	固有 周期 (s)	刺激係数*			設計震度		
						水平方向		鉛直方向
			X 方向	Y 方向	Z 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向
100 次								
101 次								
102 次								
103 次								
104 次								
105 次								
106 次								
107 次								
108 次								
109 次								
110 次								
111 次								
112 次								
113 次								
114 次								
115 次								
116 次								
117 次								
118 次								
119 次								
120 次								
121 次								
122 次								
123 次								
124 次								
125 次								
126 次								
127 次								
128 次								
129 次								
130 次								
131 次								
132 次								

表 7 原子炉隔離時冷却系配管 (MS-004) の刺激係数及び設計震度 (5/6)

モード	固有 振動数 (Hz)	固有 周期 (s)	刺激係数*			設計震度		
						水平方向		鉛直方向
			X 方向	Y 方向	Z 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向
133次								
134次								
135次								
136次								
137次								
138次								
139次								
140次								
141次								
142次								
143次								
144次								
145次								
146次								
147次								
148次								
149次								
150次								
151次								
152次								
153次								
154次								
155次								
156次								
157次								
158次								
159次								
160次								
161次								
162次								
163次								
164次								
165次								

表 7 原子炉隔離時冷却系配管 (MS-004) の刺激係数及び設計震度 (6/6)

モード	固有 振動数 (Hz)	固有 周期 (s)	刺激係数*			設計震度		
						水平方向		鉛直方向
			X 方向	Y 方向	Z 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向
166次								
167次								
168次								
169次								
170次								
171次								
172次								
173次								
174次								
175次								
176次								
177次								
178次								
179次								
180次								
181次								
182次								
183次								
184次								
185次								
186次								

注記* : 刺激係数は, モード質量を正規化し, 固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

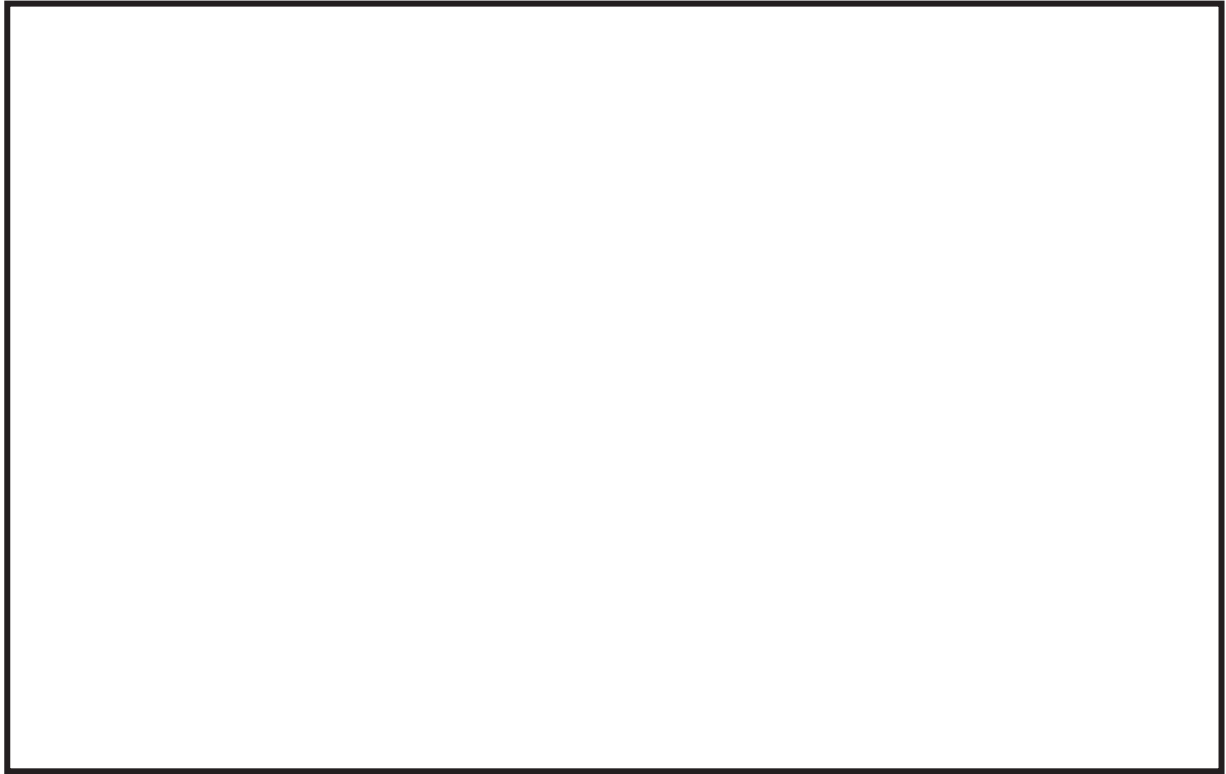


図 9-1 原子炉隔離時冷却系配管（MS-004）の高振動数領域における代表的な振動モード図

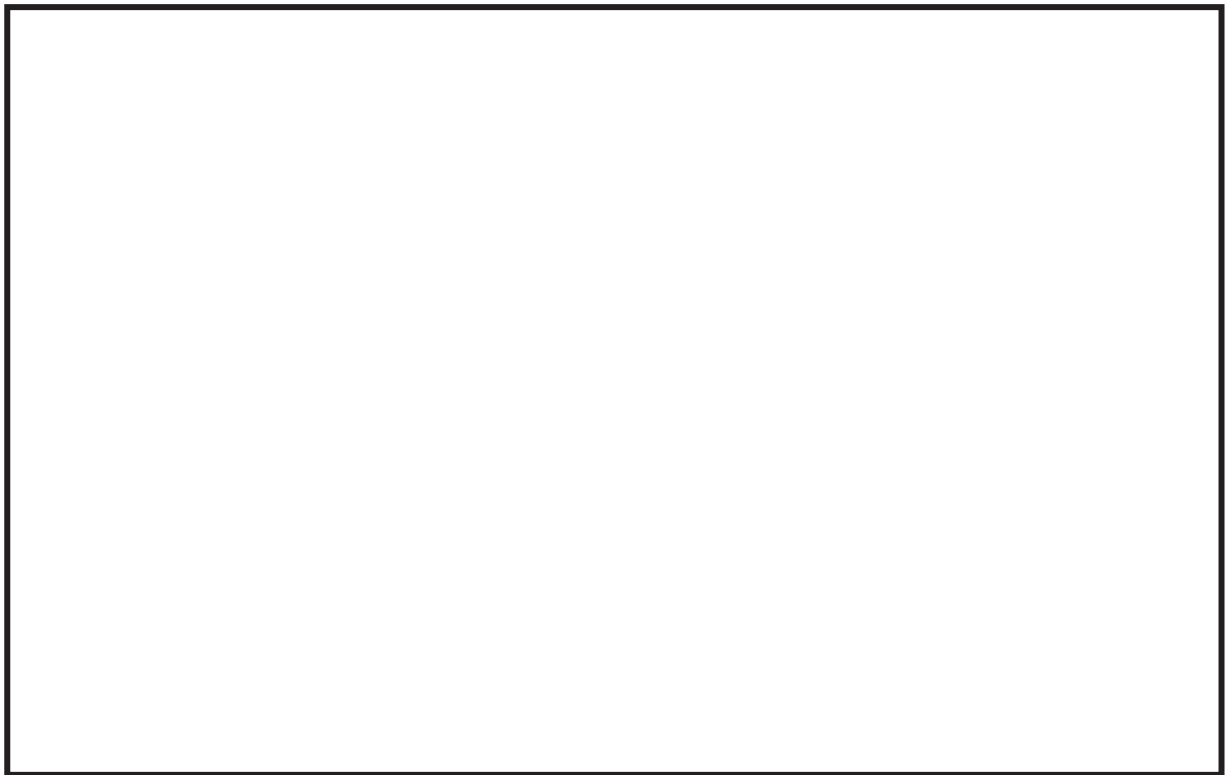


図 9-2 原子炉隔離時冷却系配管（MS-004）の高振動数領域における代表的な振動モード図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

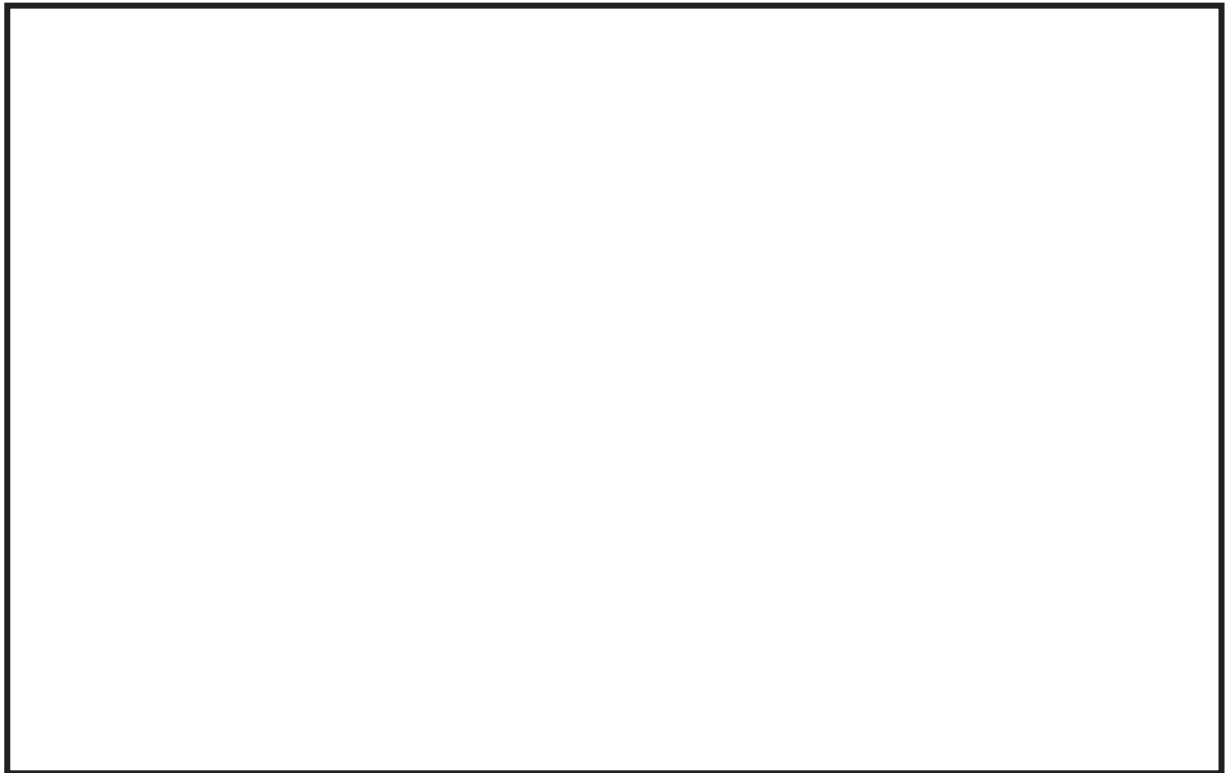


図 9-3 原子炉隔離時冷却系配管 (MS-004) の高振動数領域における代表的な振動モード図



図 9-4 原子炉隔離時冷却系配管 (MS-004) の高振動数領域における代表的な振動モード図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

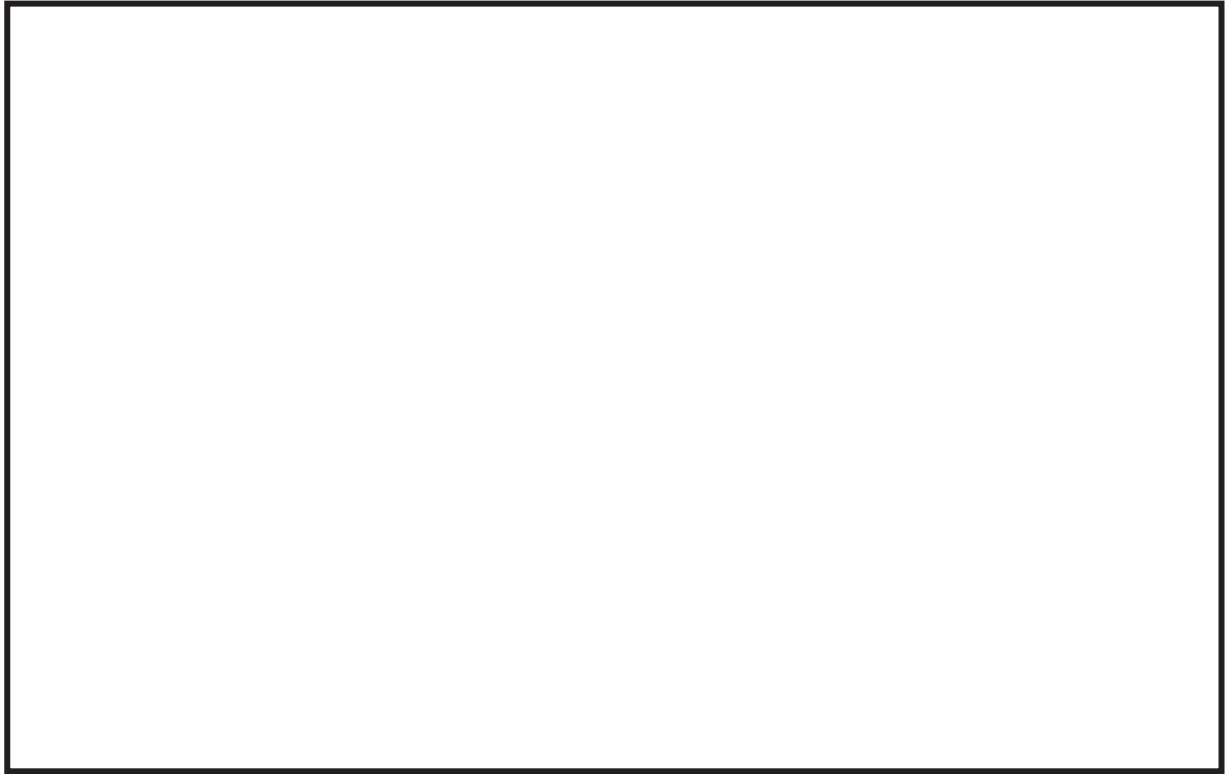


図 9-5 原子炉隔離時冷却系配管（MS-004）の高振動数領域における代表的な振動モード図

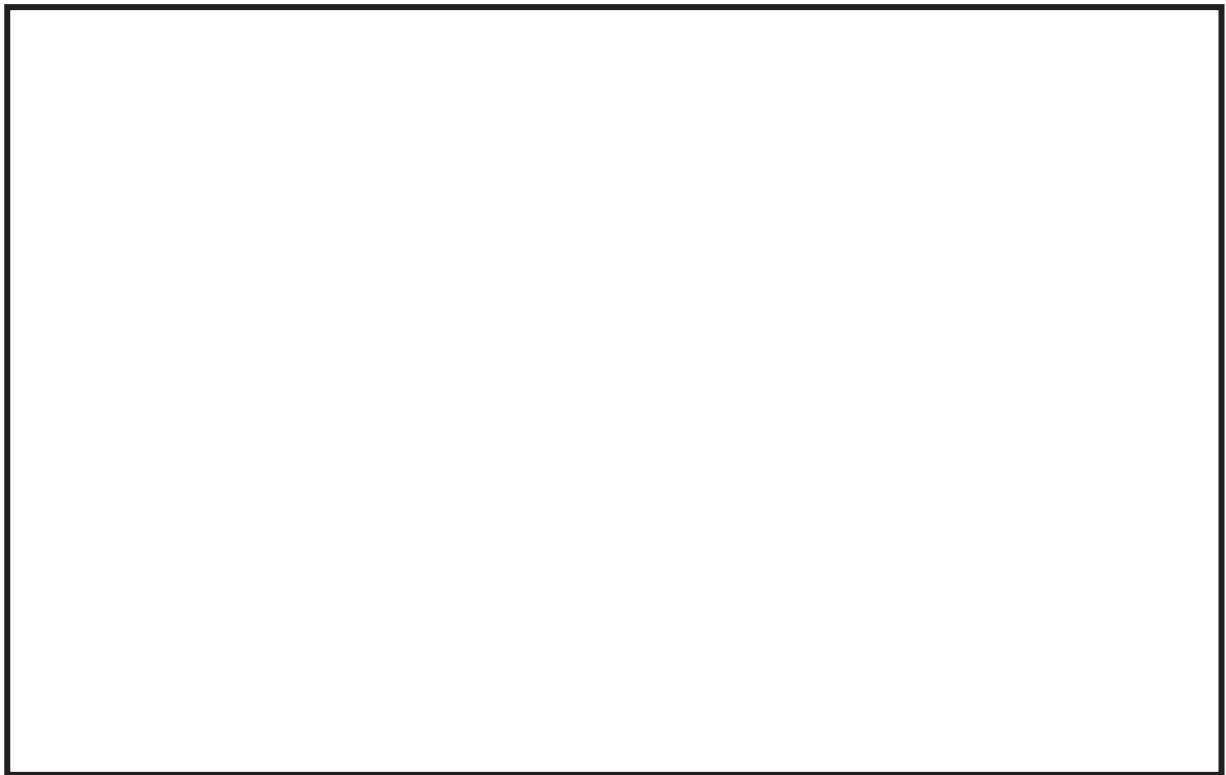


図 9-6 原子炉隔離時冷却系配管（MS-004）の高振動数領域における代表的な振動モード図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



図 9-7 原子炉隔離時冷却系配管（MS-004）の高振動数領域における代表的な振動モード図

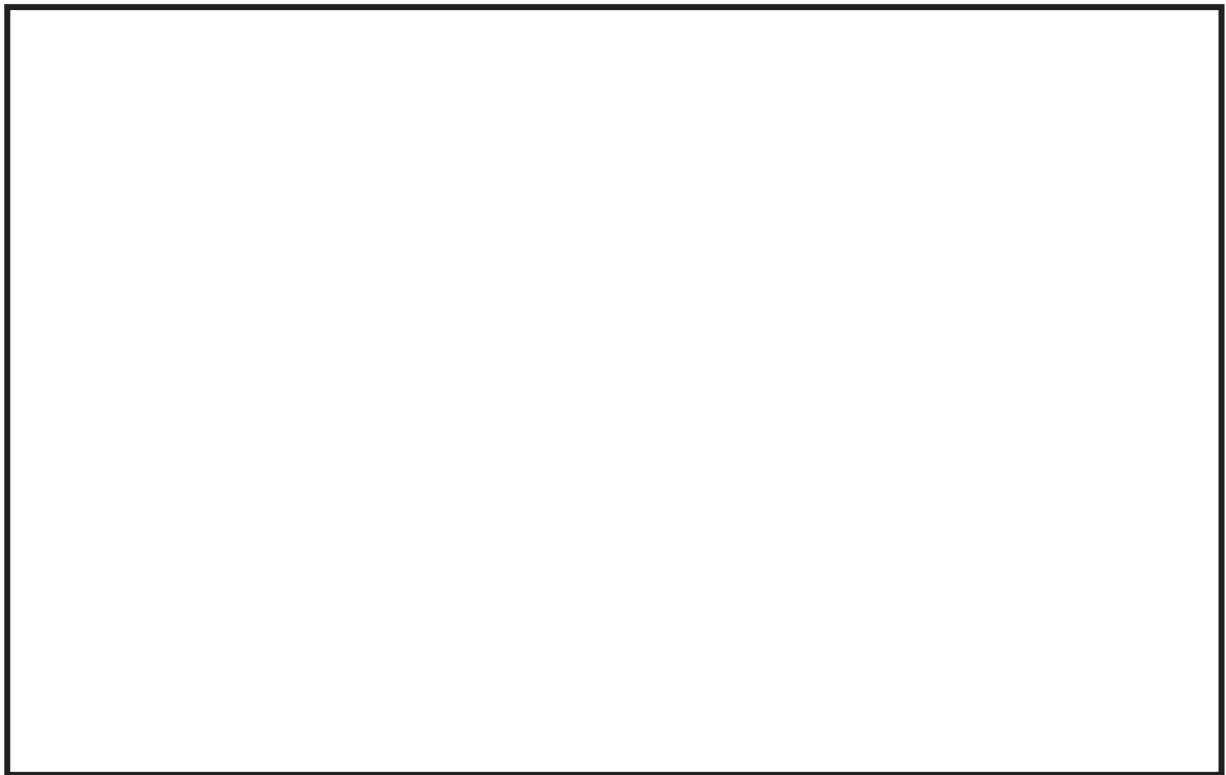


図 9-8 原子炉隔離時冷却系配管（MS-004）の高振動数領域における代表的な振動モード図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

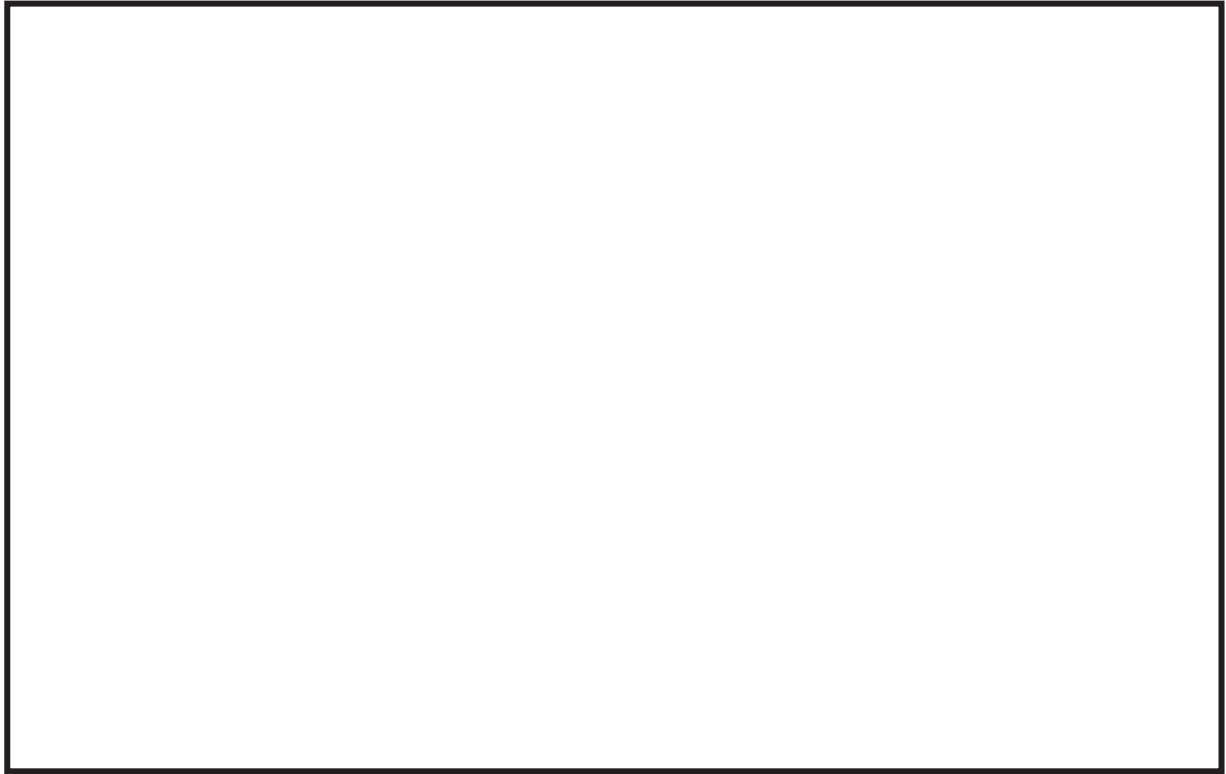


図 9-9 原子炉隔離時冷却系配管（MS-004）の高振動数領域における代表的な振動モード図

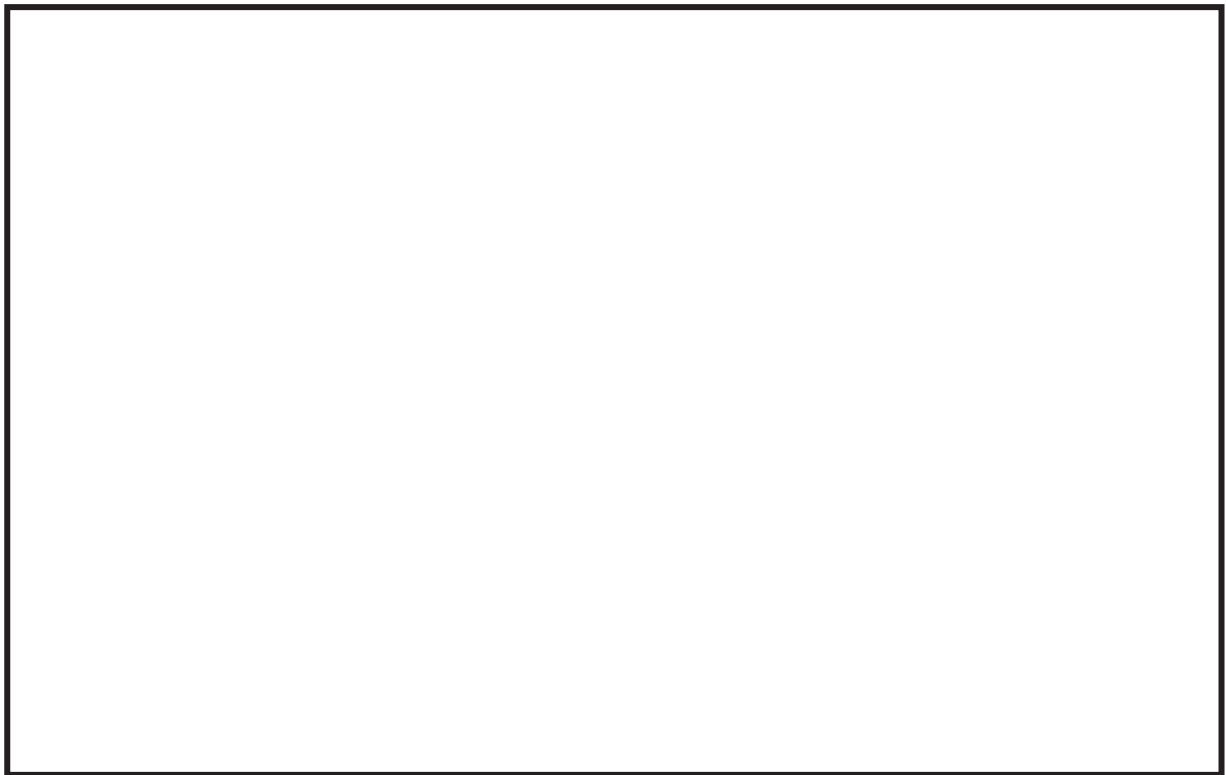


図 9-10 原子炉隔離時冷却系配管（MS-004）の高振動数領域における代表的な振動モード図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

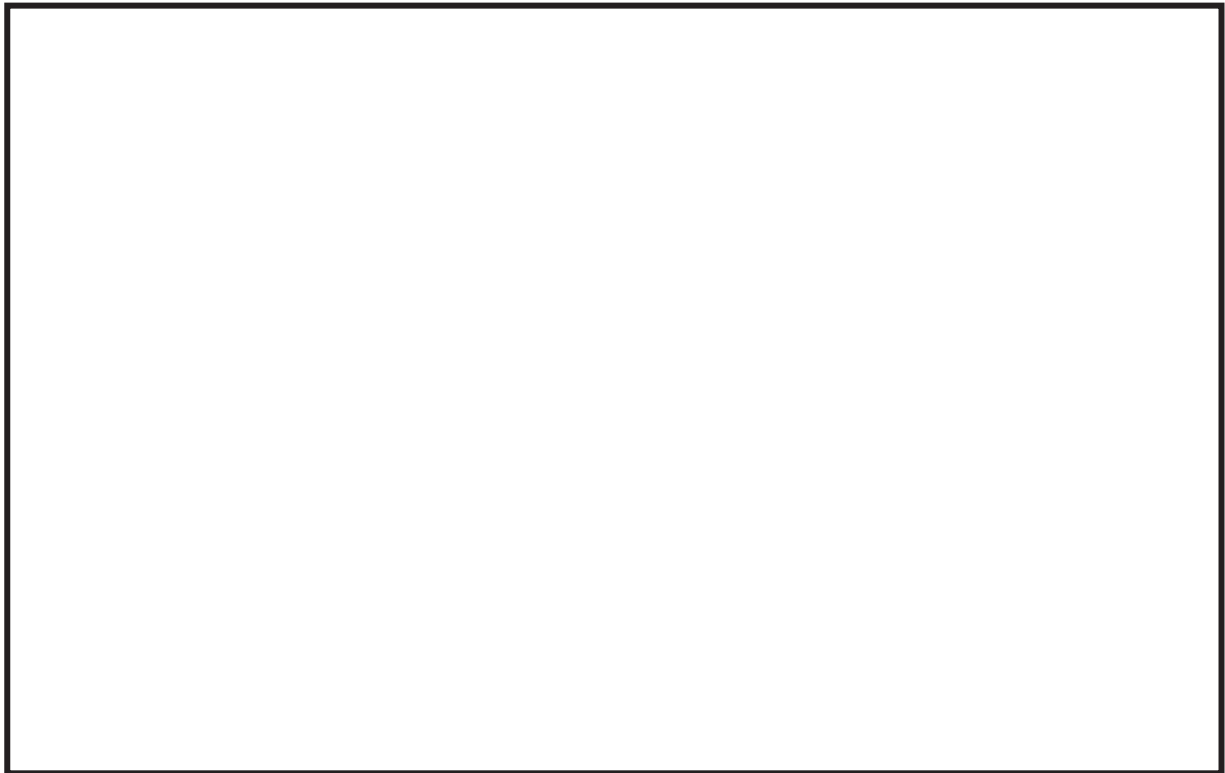


図 9-11 原子炉隔離時冷却系配管 (MS-004) の高振動数領域における代表的な振動モード図

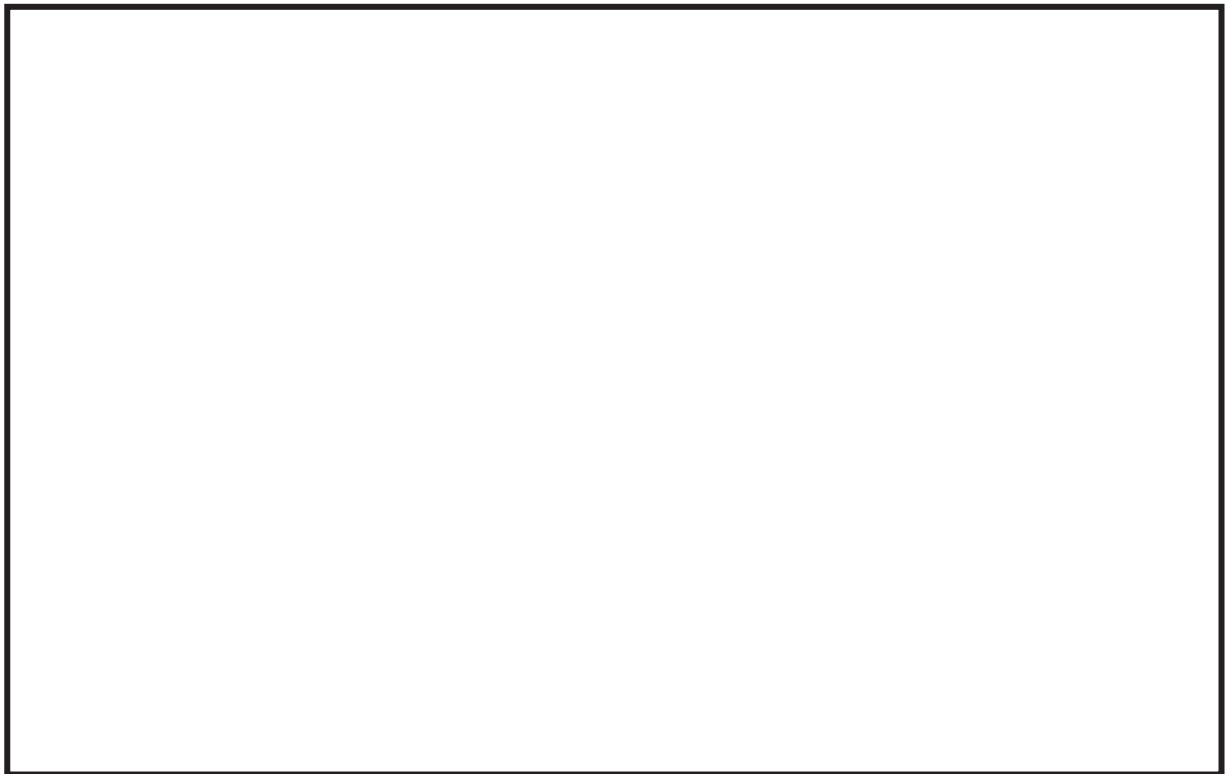


図 9-12 原子炉隔離時冷却系配管 (MS-004) の高振動数領域における代表的な振動モード図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

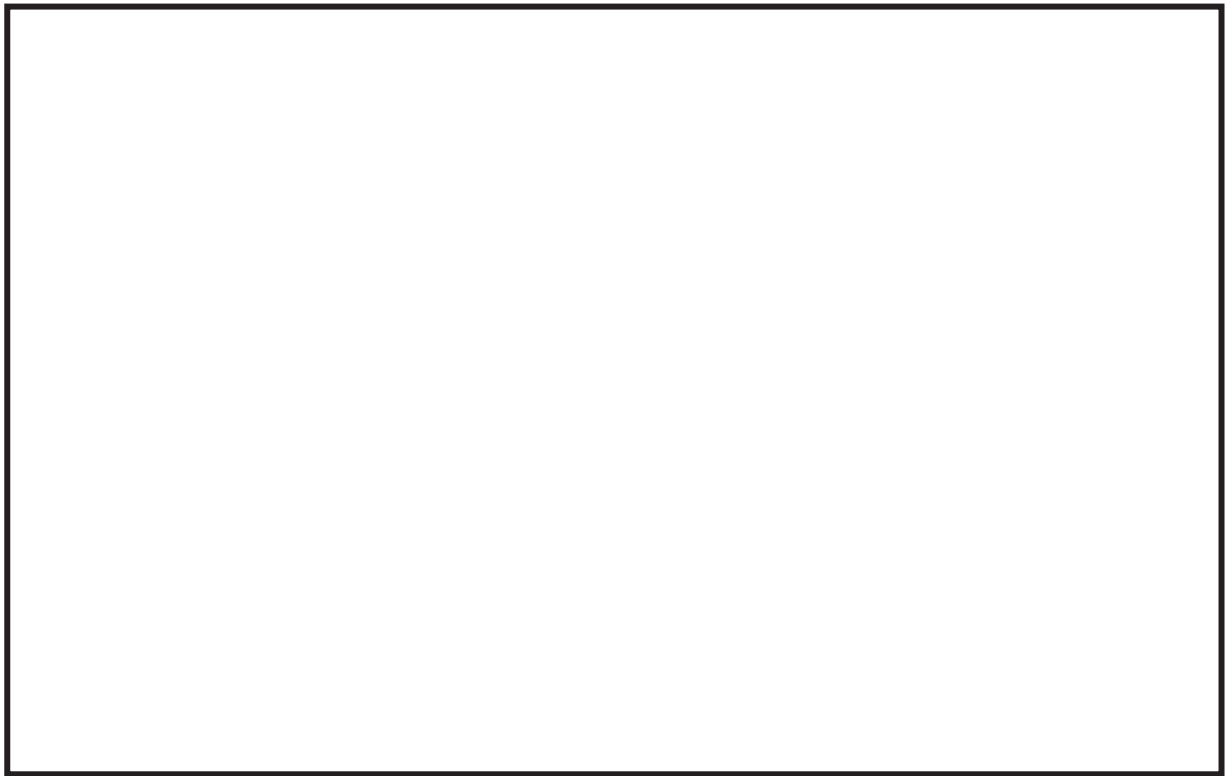


図 9-13 原子炉隔離時冷却系配管 (MS-004) の高振動数領域における代表的な振動モード図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

弁の動的機能維持評価に用いる床応答曲線について

添付 1 の確認結果より、弁の動的機能維持評価には、床応答スペクトルの作成範囲を 50Hz とした床応答曲線を用いることから、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に記載している設計用床応答曲線の作成方法に準拠して、床応答曲線を作成した。今回の検討に適用した全ての床応答曲線及び適用対象弁の内訳を表 2 に、床応答曲線を図 1-1~3-8 に示す。

表 1 弁の評価に用いる床応答曲線の使用内訳 (1/6)

弁番号	FRS	標高 O. P. (m)	減衰定数 (%)	図番号
B21-F001A	RSW	10.600	2.0	図 1-2
B21-F001B	RSW	10.600	2.0	図 1-2
B21-F001C	RSW	10.600	2.0	図 1-2
B21-F001D	RSW	10.600	2.0	図 1-2
B21-F001E	RSW	10.600	2.0	図 1-2
B21-F001F	RSW	10.600	2.0	図 1-2
B21-F001G	RSW	13.400	2.0	図 1-1
B21-F001H	RSW	13.400	2.0	図 1-1
B21-F001J	RSW	13.400	2.0	図 1-1
B21-F001K	RSW	13.400	2.0	図 1-1
B21-F001L	RSW	13.400	2.0	図 1-1
B21-F002A	RSW	10.600	2.0	図 1-2
B21-F002B	RSW	10.600	2.0	図 1-2
B21-F002C	RSW	13.400	2.0	図 1-1
B21-F002D	RSW	13.400	2.0	図 1-1
B21-F003A	RSW	10.600	2.0	図 1-2
B21-F003B	RSW	10.600	2.0	図 1-2
B21-F003C	RSW	13.400	2.0	図 1-1
B21-F003D	RSW	13.400	2.0	図 1-1
B21-F052A	RSW	10.600	2.0	図 1-2
B21-F052B	RSW	10.600	2.0	図 1-2
B21-F053A	RSW	10.600	2.0	図 1-2
B21-F053B	RSW	10.600	2.0	図 1-2

表1 弁の評価に用いる床応答曲線の使用内訳 (2/6)

弁番号	FRS	標高 O.P. (m)	減衰定数 (%)	図番号
E11-F003A	R/B	22.500	2.0	図 3-3
		15.000		図 3-4
		6.000		図 3-5
		1.150		図 3-6
		-0.800		図 3-7
E11-F003B	R/B	22.500	2.0	図 3-3
		15.000		図 3-4
		6.000		図 3-5
		1.150		図 3-6
		-0.800		図 3-7
E11-F004A	PCV	21.550	2.0	図 2-1
		17.150		図 2-2
	R/B	22.500		図 3-3
		15.000		図 3-4
		6.000		図 3-5
E11-F004B	PCV	21.550	2.0	図 2-1
		17.150		図 2-2
	R/B	22.500		図 3-3
		15.000		図 3-4
		6.000		図 3-5
E11-F004C	R/B	15.000	2.0	図 3-4
		6.000		図 3-5
E11-F005A	RSW	15.950	2.5	図 1-3
E11-F005B	RSW	15.950	2.5	図 1-3
E11-F005C	RSW	15.950	2.5	図 1-3
E11-F008A	R/B	22.500	2.0	図 3-3
		15.000		図 3-4
		6.000		図 3-5
		1.150		図 3-6
		-0.800		図 3-7
E11-F008B	R/B	22.500	2.0	図 3-3
		15.000		図 3-4
		6.000		図 3-5
		1.150		図 3-6
		-0.800		図 3-7

表1 弁の評価に用いる床応答曲線の使用内訳 (3/6)

弁番号	FRS	標高 O. P. (m)	減衰定数 (%)	図番号
E11-F010A	PCV	21.550	2.0	図 2-1
		17.150		図 2-2
	R/B	22.500		図 3-3
		15.000		図 3-4
		6.000		図 3-5
E11-F010B	PCV	21.550	2.0	図 2-1
		17.150		図 2-2
	R/B	22.500		図 3-3
		15.000		図 3-4
		6.000		図 3-5
E11-F011A	R/B	6.000	2.0	図 3-5
		1.150		図 3-6
		-0.800		図 3-7
		-8.100		図 3-8
E11-F011B	R/B	6.000	2.0	図 3-5
		1.150		図 3-6
		-0.800		図 3-7
		-8.100		図 3-8
E11-F012A	R/B	6.000	2.0	図 3-5
		1.150		図 3-6
		-0.800		図 3-7
		-8.100		図 3-8
E11-F012B	R/B	6.000	2.0	図 3-5
		1.150		図 3-6
		-0.800		図 3-7
		-8.100		図 3-8
E11-F015A	RSW	6.240	2.5	図 1-4
E11-F015B	RSW	6.240	2.5	図 1-4
E11-F016A	R/B	6.000	2.0	図 3-5
		1.150		図 3-6
		-0.800		図 3-7
		-8.100		図 3-8
E11-F016B	R/B	6.000	2.0	図 3-5
		1.150		図 3-6
		-0.800		図 3-7
		-8.100		図 3-8

表1 弁の評価に用いる床応答曲線の使用内訳 (4/6)

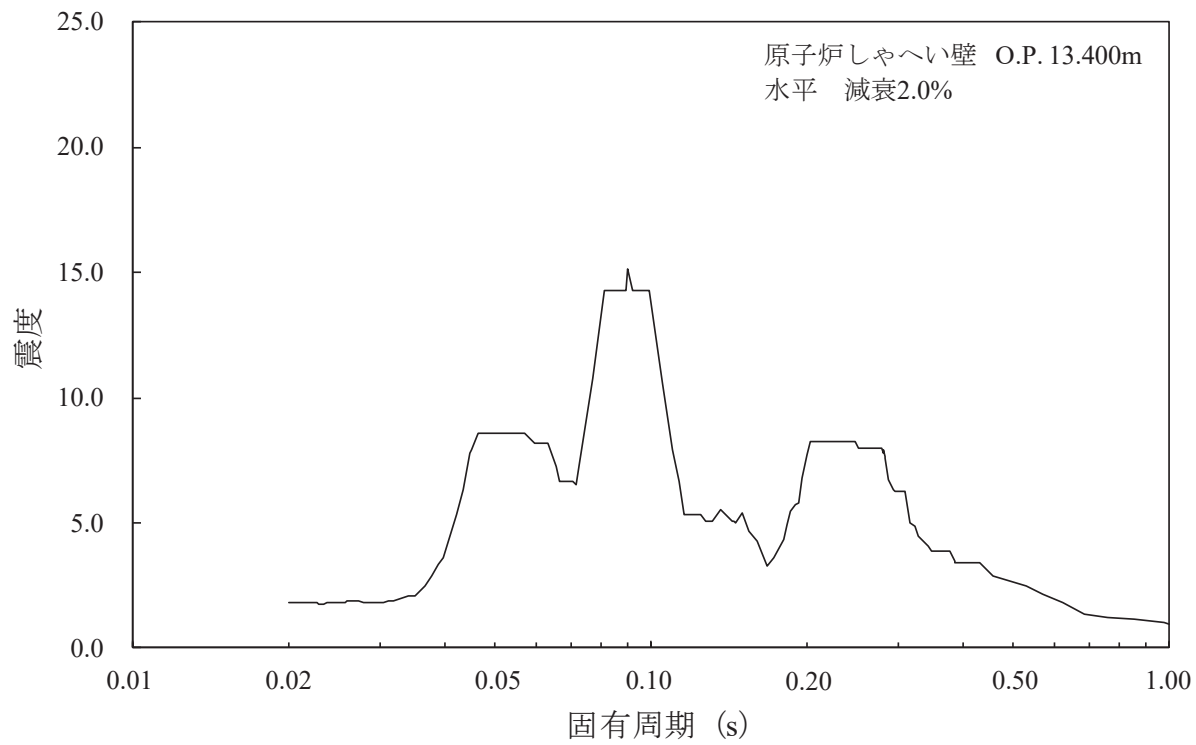
弁番号	FRS	標高 O. P. (m)	減衰定数 (%)	図番号
E11-F018A	R/B	6.000	2.0	図 3-5
		1.150		図 3-6
		-0.800		図 3-7
		-8.100		図 3-8
E11-F018B	R/B	6.000	2.0	図 3-5
		1.150		図 3-6
		-0.800		図 3-7
		-8.100		図 3-8
E11-F019A	RSW	6.240	2.5	図 1-4
E11-F019B	RSW	6.240	2.5	図 1-4
E21-F003	R/B	15.000	2.0	図 3-4
		6.000		図 3-5
		1.150		図 3-6
		-0.800		図 3-7
		-8.100		図 3-8
E21-F004	RSW	15.950	2.5	図 1-3
E22-F001	R/B	6.000	2.0	図 3-5
		1.150		図 3-6
		-0.800		図 3-7
		-8.100		図 3-8
E22-F003	R/B	15.000	2.0	図 3-4
		6.000		図 3-5
		1.150		図 3-6
		-0.800		図 3-7
		-8.100		図 3-8
E22-F004	RSW	15.950	2.5	図 1-3
E51-F007	RSW	13.400	2.0	図 1-1
E51-F008	RSW	13.400	2.0	図 1-1
G31-F002	RSW	6.240	2.5	図 1-4
G31-F003	RSW	6.240	2.5	図 1-4
T46-F001A	R/B	41.200	2.0	図 3-1
		33.200		図 3-1
		22.500		図 3-1
T46-F001B	R/B	41.200	2.0	図 3-1
		33.200		図 3-1
		22.500		図 3-2

表1 弁の評価に用いる床応答曲線の使用内訳 (5/6)

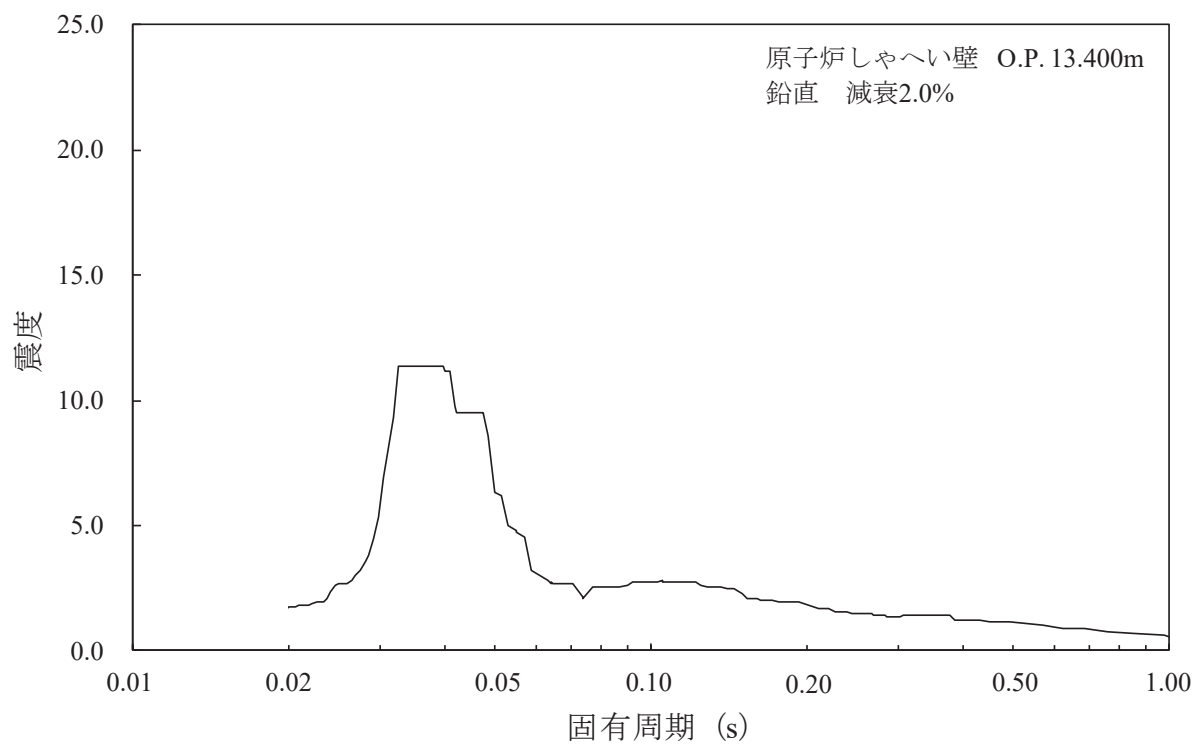
弁番号	FRS	標高 O. P. (m)	減衰定数 (%)	図番号
T46-F003A	PCV	21.550	2.0	図 2-1
		17.150		図 2-2
	R/B	33.200		図 3-2
		22.500		図 3-3
		15.000		図 3-4
		6.000		図 3-5
		1.150		図 3-6
T46-F003B	PCV	21.550	2.0	図 2-1
		17.150		図 2-2
	R/B	33.200		図 3-2
		22.500		図 3-3
		15.000		図 3-4
		6.000		図 3-5
		1.150		図 3-6
T48-F019	PCV	21.550	2.0	図 2-1
		17.150		図 2-2
	R/B	33.200		図 3-2
		22.500		図 3-3
		15.000		図 3-4
		6.000		図 3-5
		1.150		図 3-6
T48-F022	PCV	21.550	2.0	図 2-1
		17.150		図 2-2
	R/B	33.200		図 3-2
		22.500		図 3-3
		15.000		図 3-4
		6.000		図 3-5
		1.150		図 3-6
T49-F001A	PCV	21.550	2.0	図 2-1
		17.150		図 2-2
	R/B	22.500		図 3-3
		15.000		図 3-4
T49-F001B	PCV	21.550	2.0	図 2-1
		17.150		図 2-2
	R/B	22.500		図 3-3
		15.000		図 3-4

表1 弁の評価に用いる床応答曲線の使用内訳 (6/6)

弁番号	FRS	標高 O.P. (m)	減衰定数 (%)	図番号
T49-F003A	R/B	22.500	2.0	図 3-3
		15.000		図 3-4
		6.000		図 3-5
		1.150		図 3-6
		-0.800		図 3-7
T49-F003B	R/B	22.500	2.0	図 3-3
		15.000		図 3-4
		6.000		図 3-5
		1.150		図 3-6
		-0.800		図 3-7

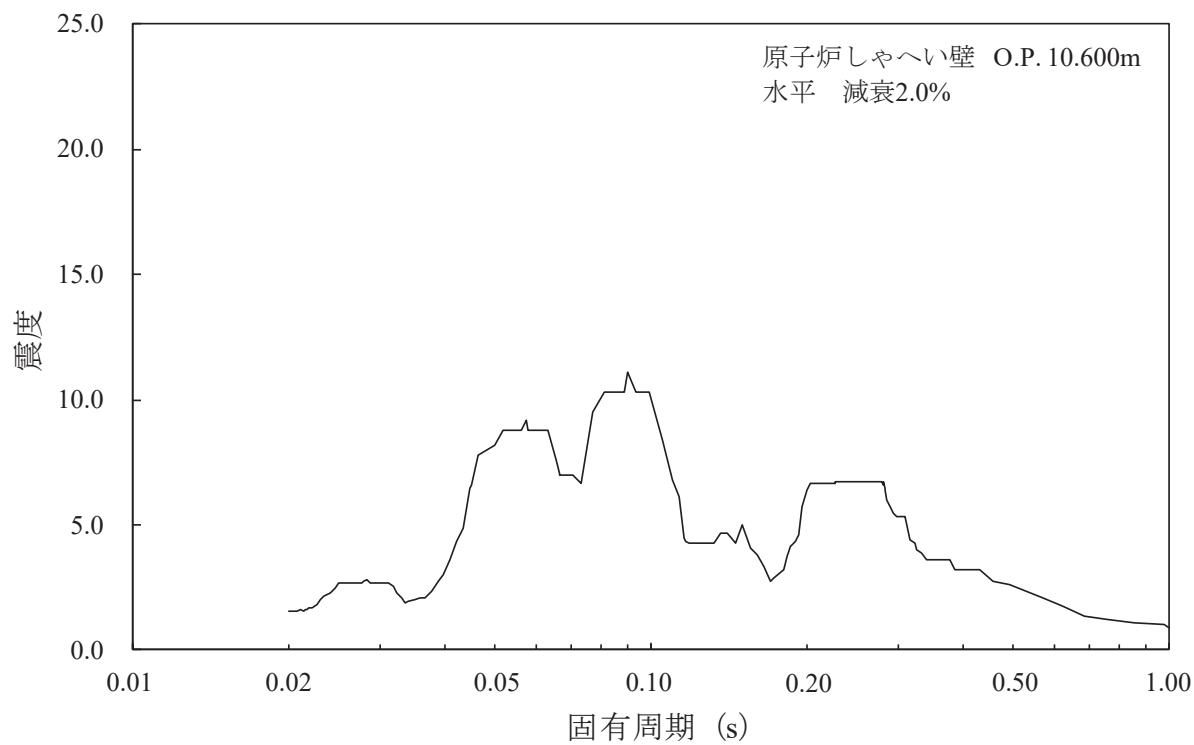


水平方向

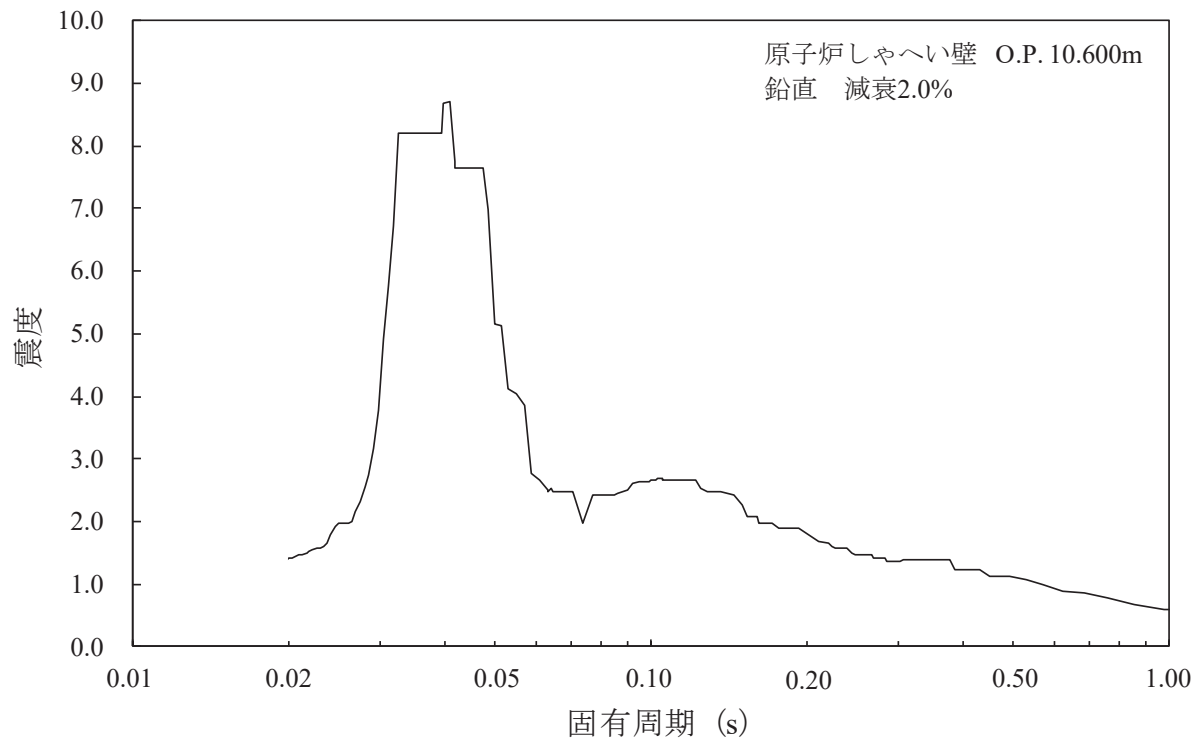


鉛直方向

図 1-1 弁の動的機能維持に適用する床応答曲線

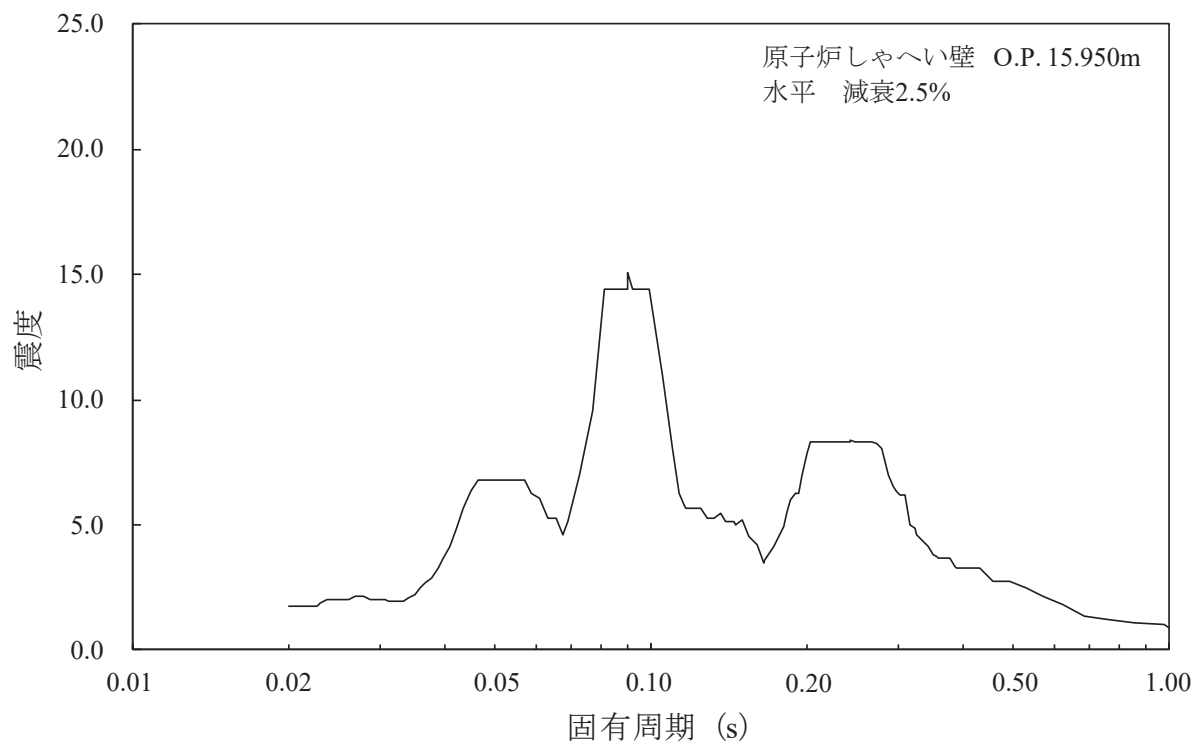


水平方向

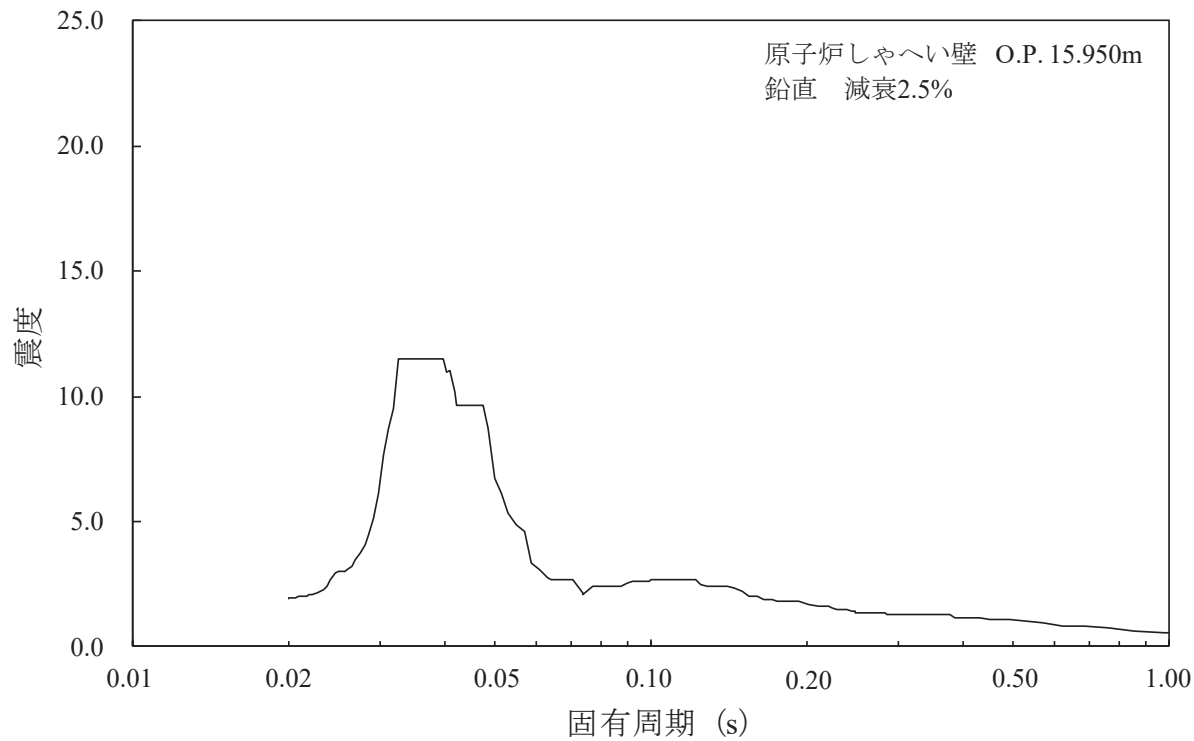


鉛直方向

図 1-2 弁の動的機能維持に適用する床応答曲線

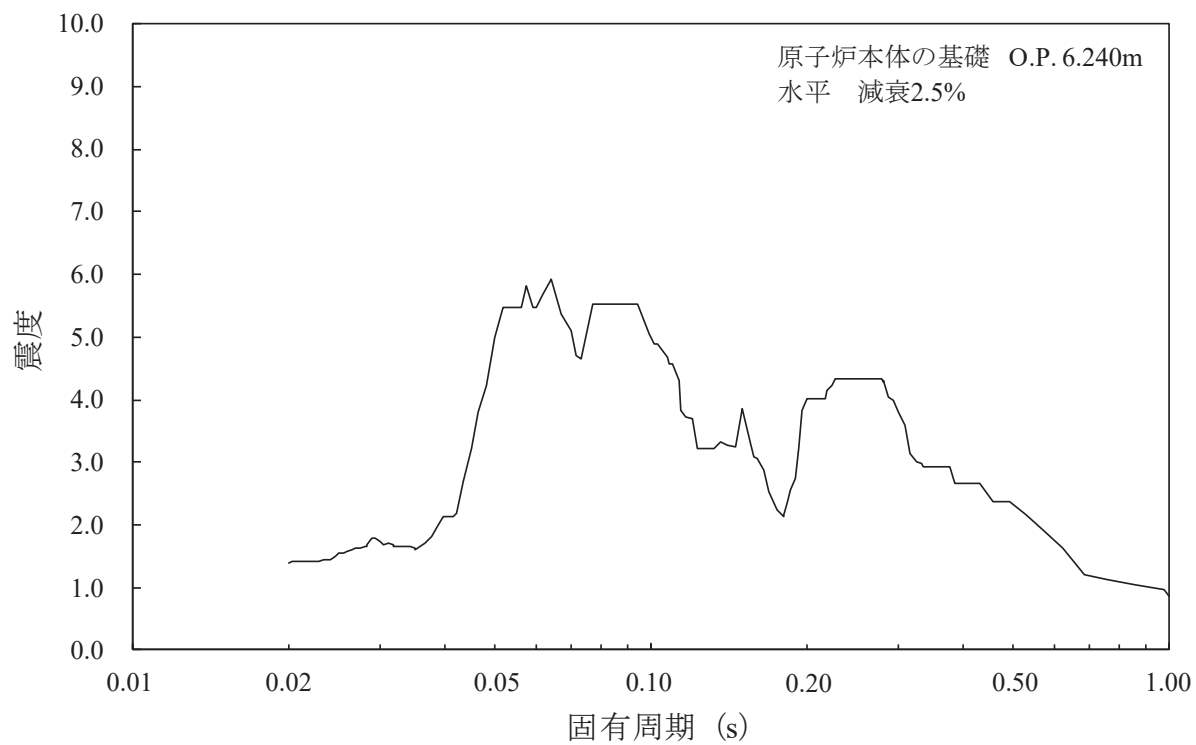


水平方向

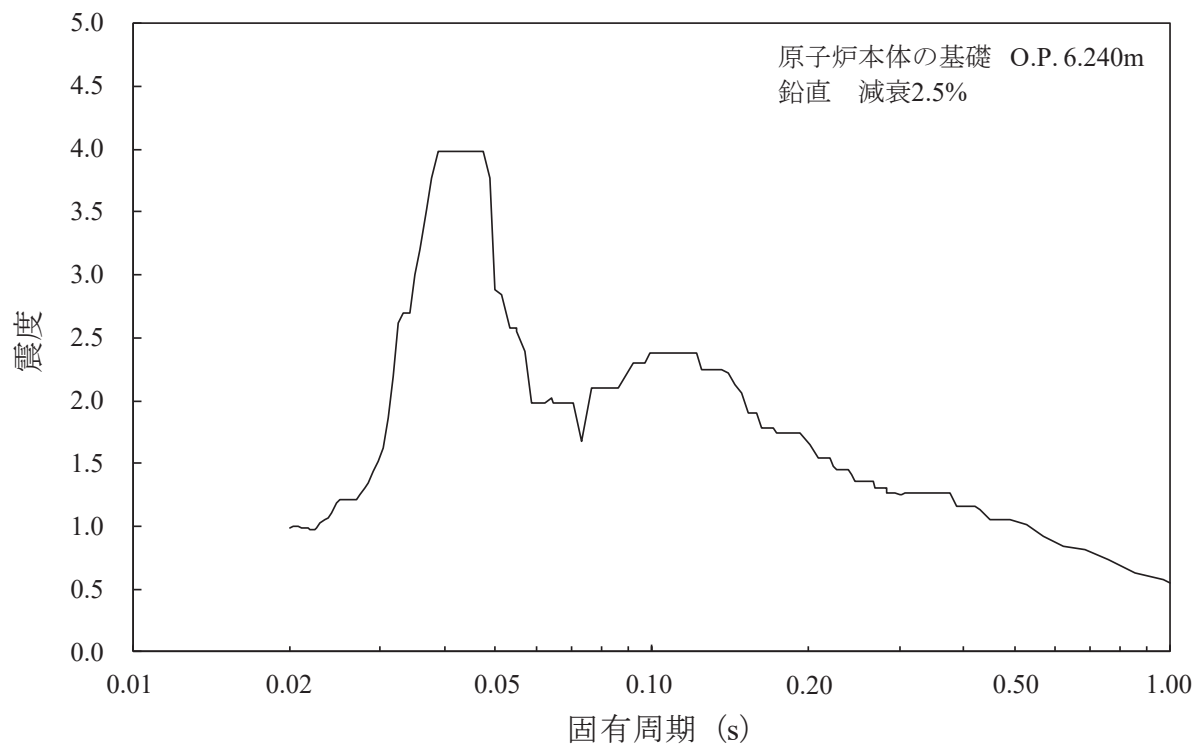


鉛直方向

図 1-3 弁の動的機能維持に適用する床応答曲線

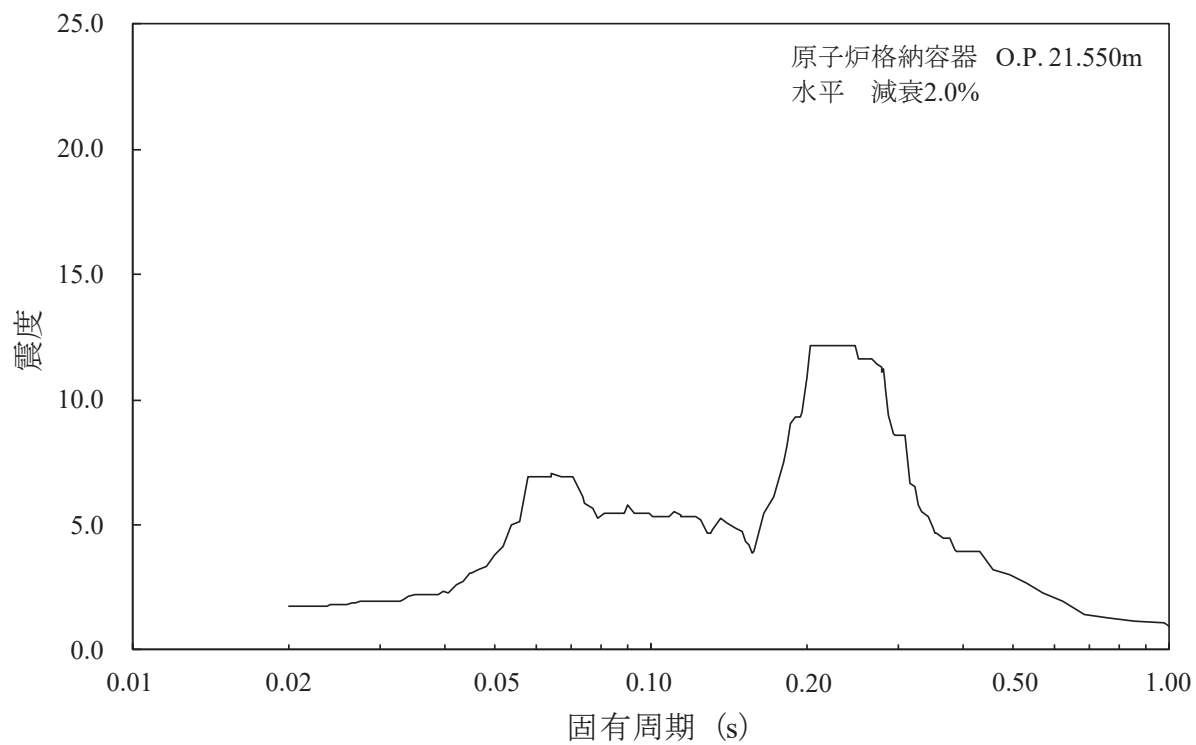


水平方向

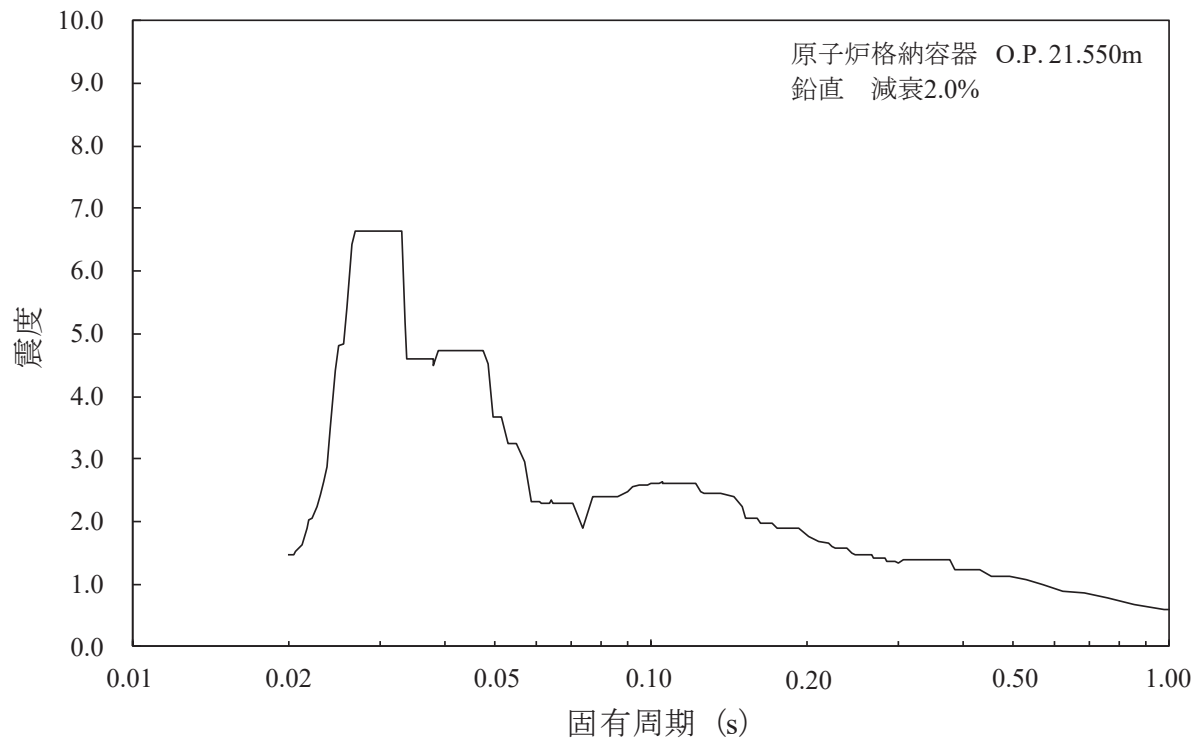


鉛直方向

図 1-4 弁の動的機能維持に適用する床応答曲線



水平方向



鉛直方向

図 2-1 弁の動的機能維持に適用する床応答曲線

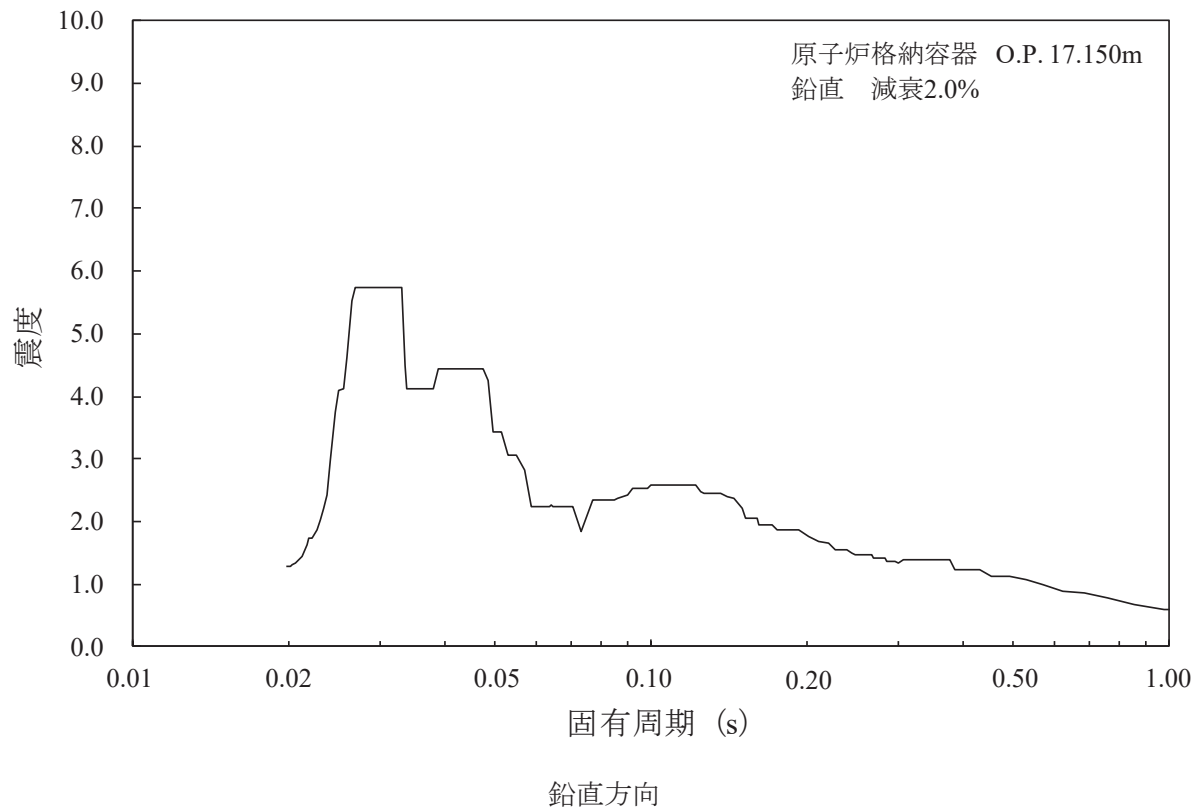
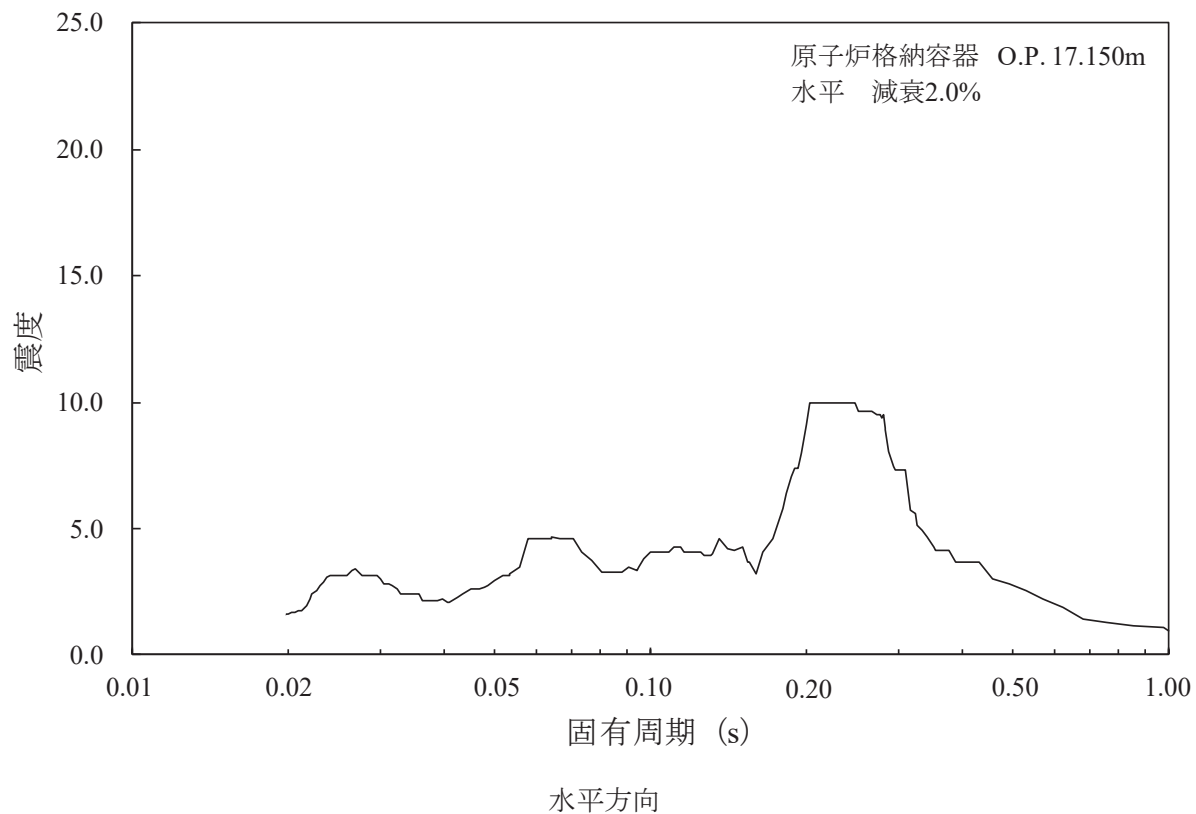
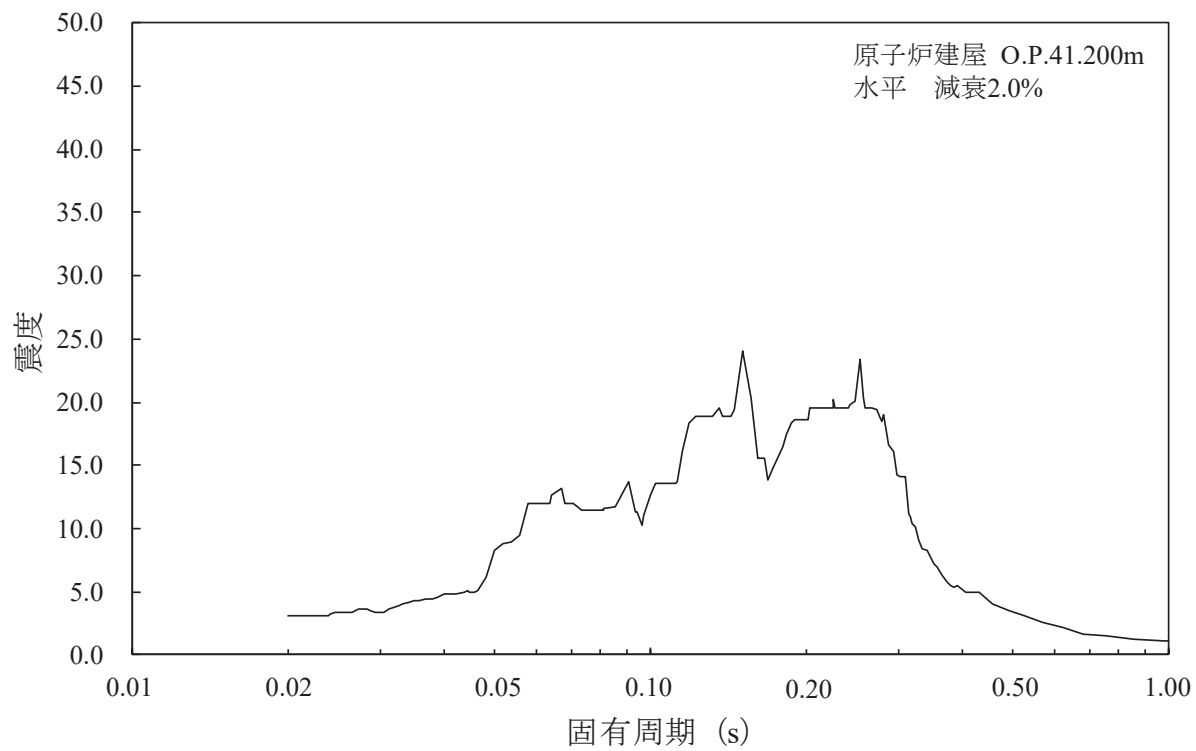
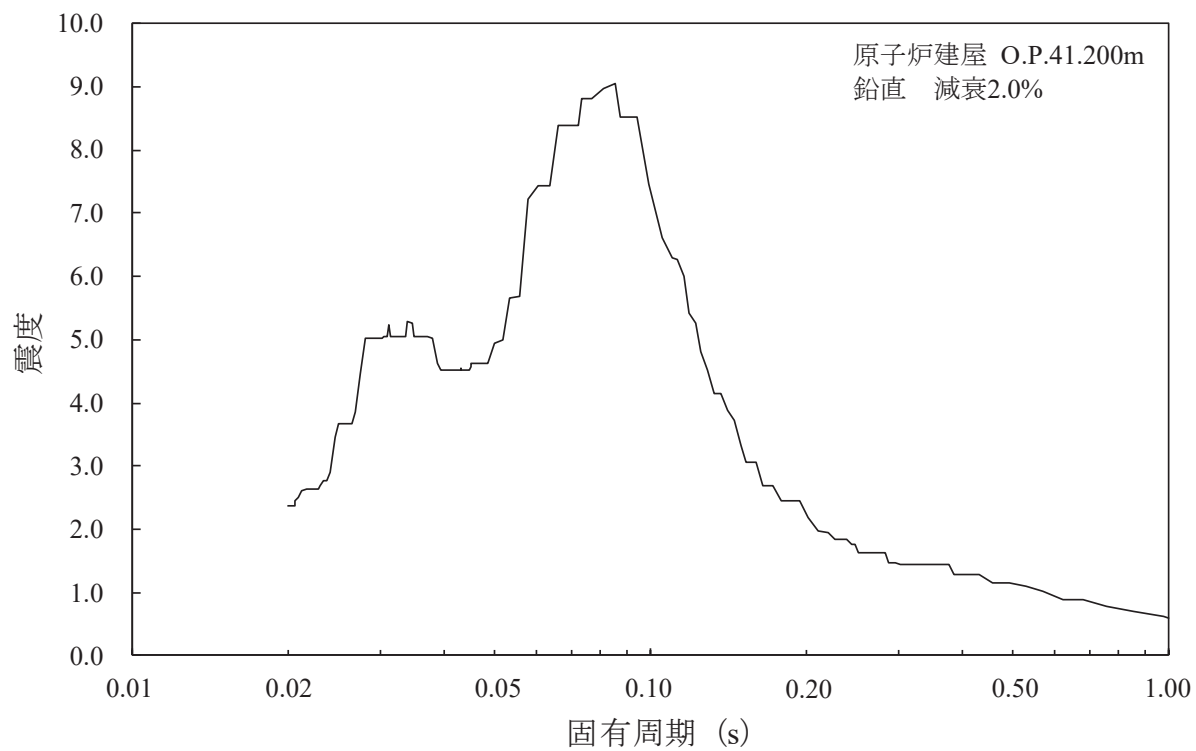


図 2-2 弁の動的機能維持に適用する床応答曲線

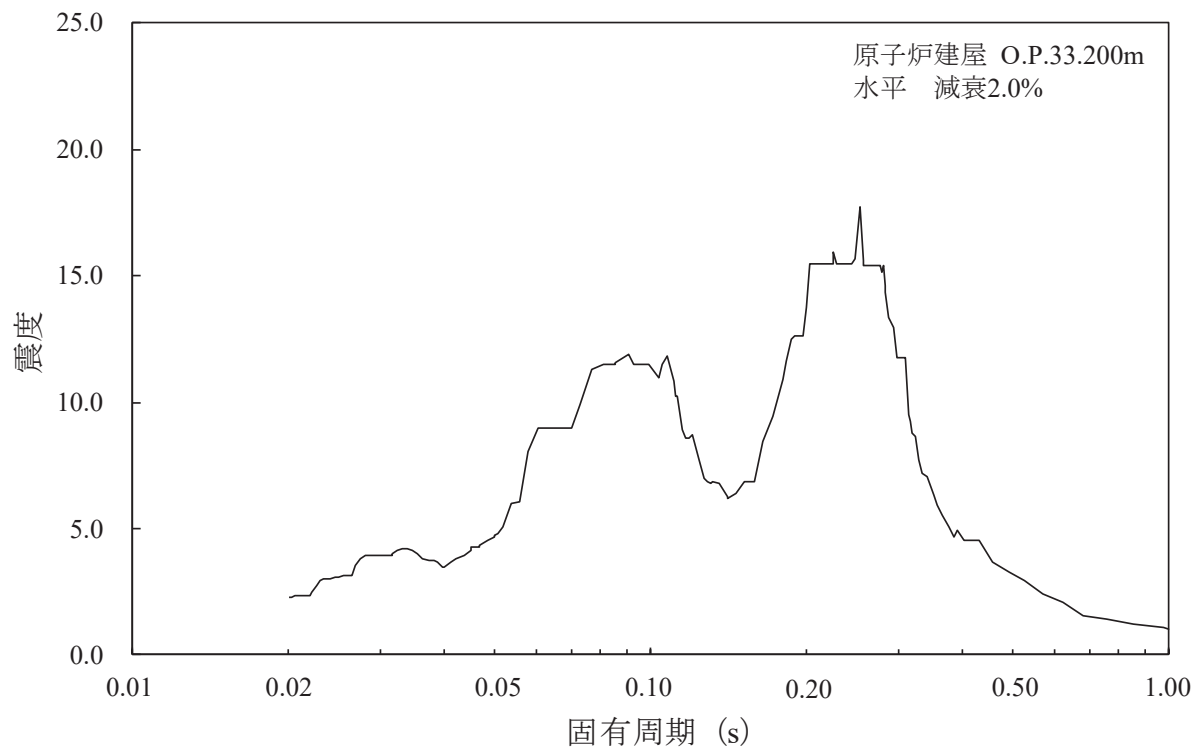


水平方向

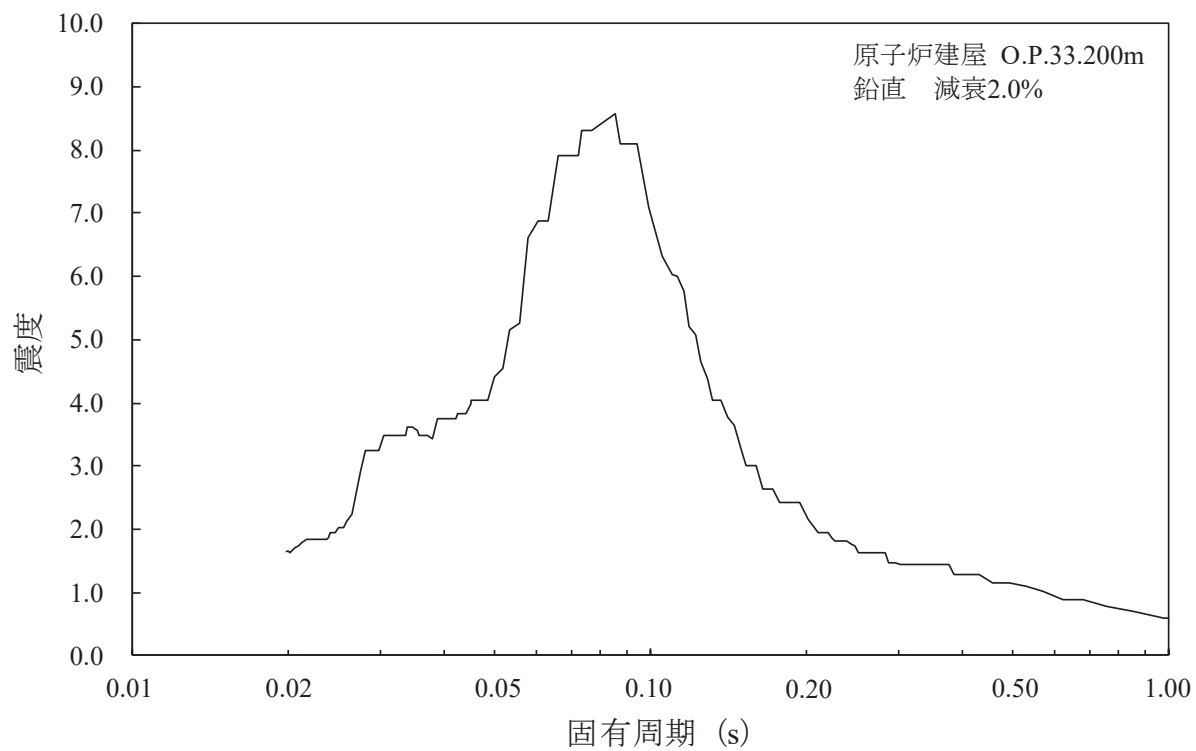


鉛直方向

図 3-1 弁の動的機能維持に適用する床応答曲線

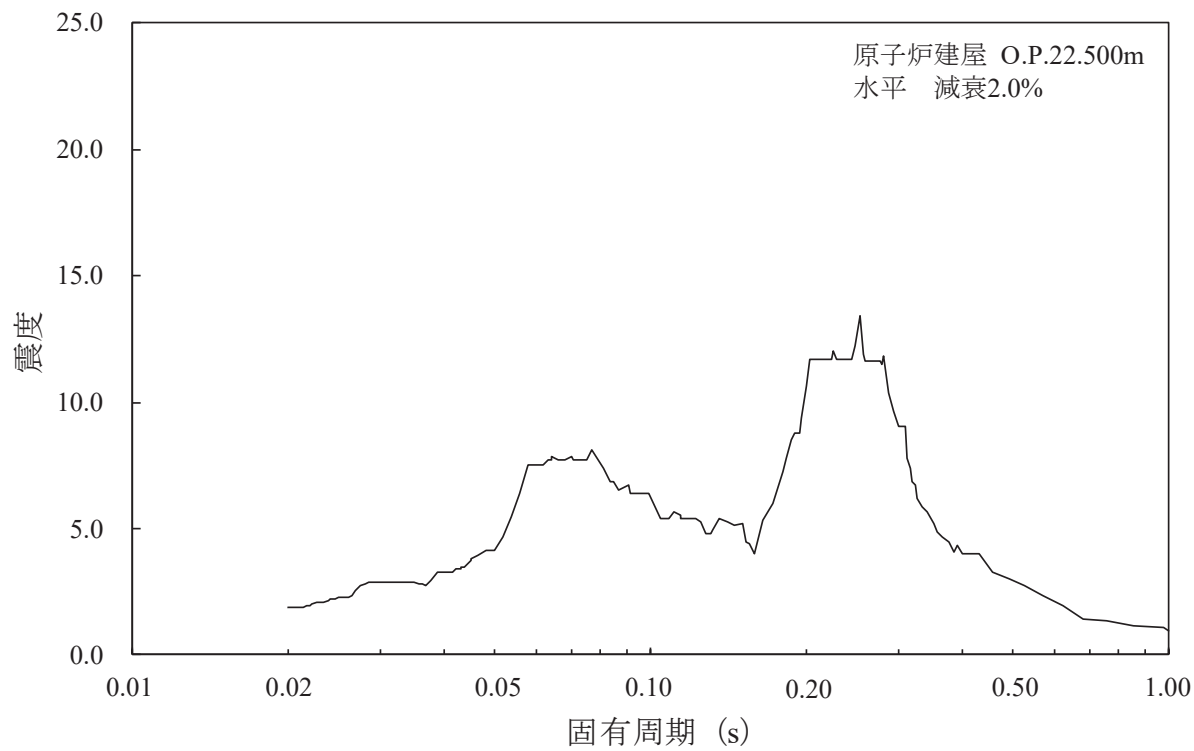


水平方向

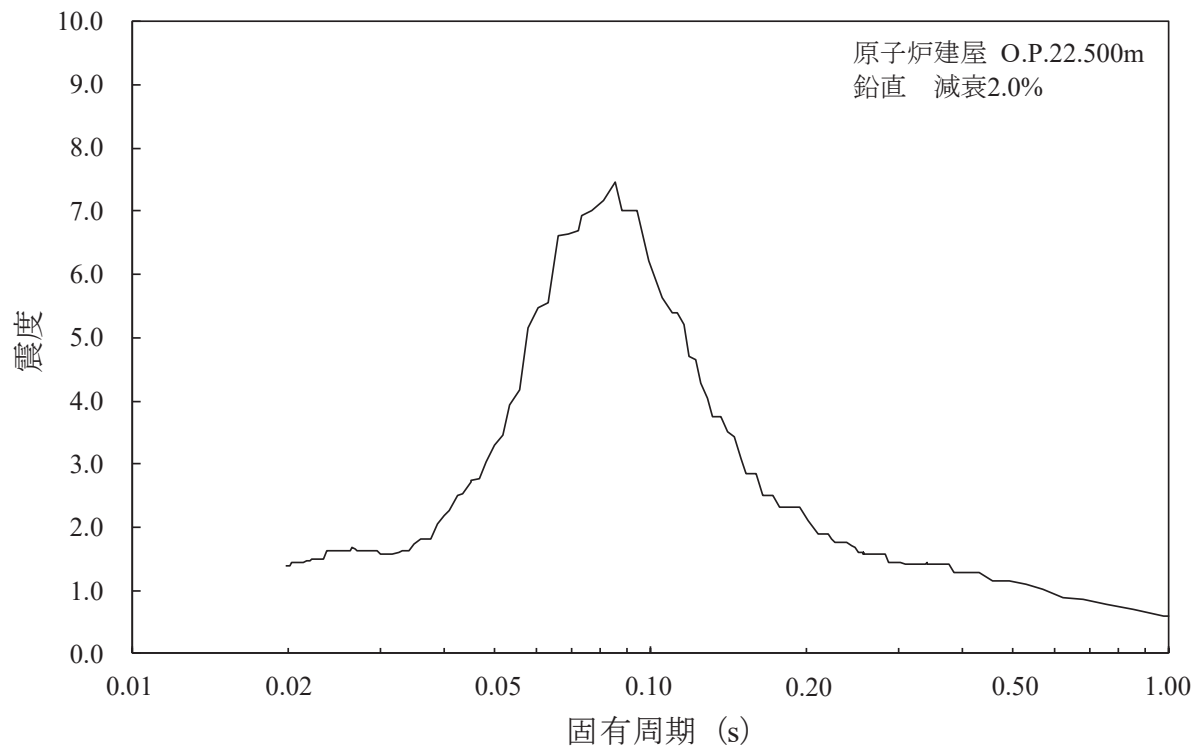


鉛直方向

図 3-2 弁の動的機能維持に適用する床応答曲線



水平方向



鉛直方向

図 3-3 弁の動的機能維持に適用する床応答曲線

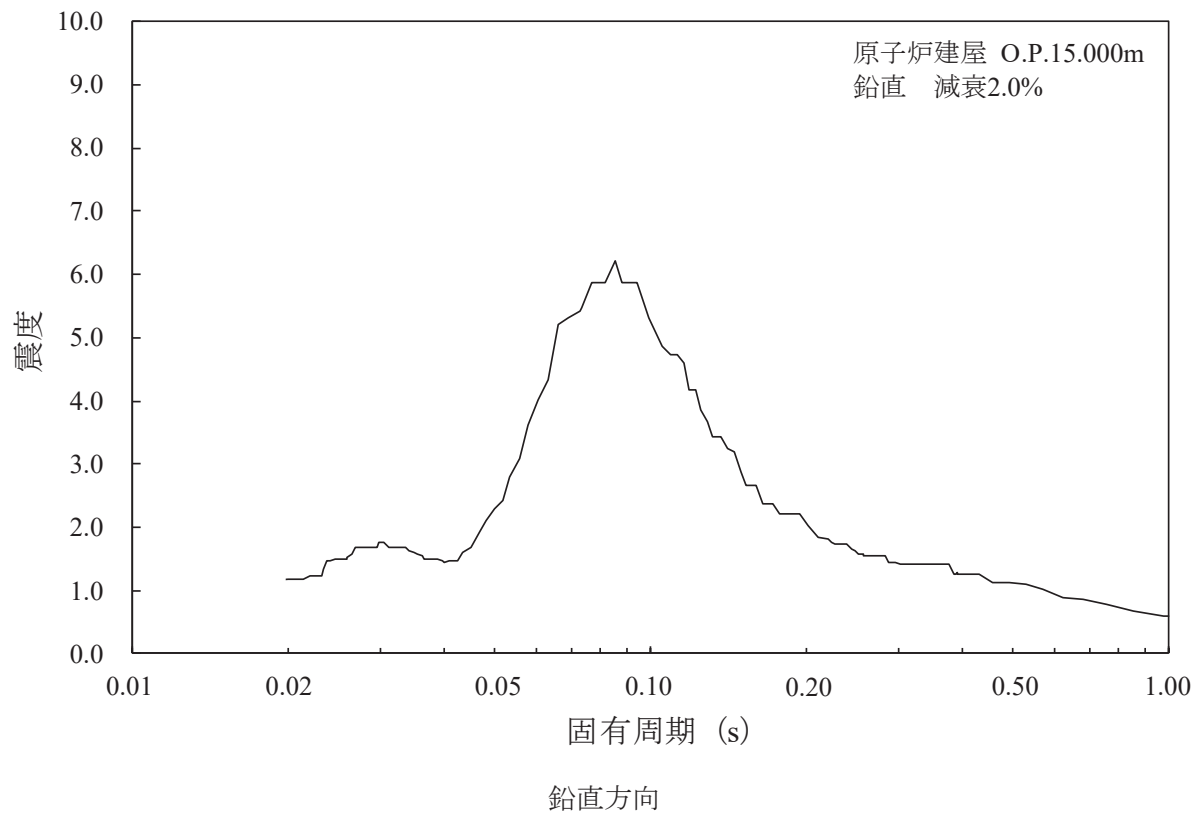
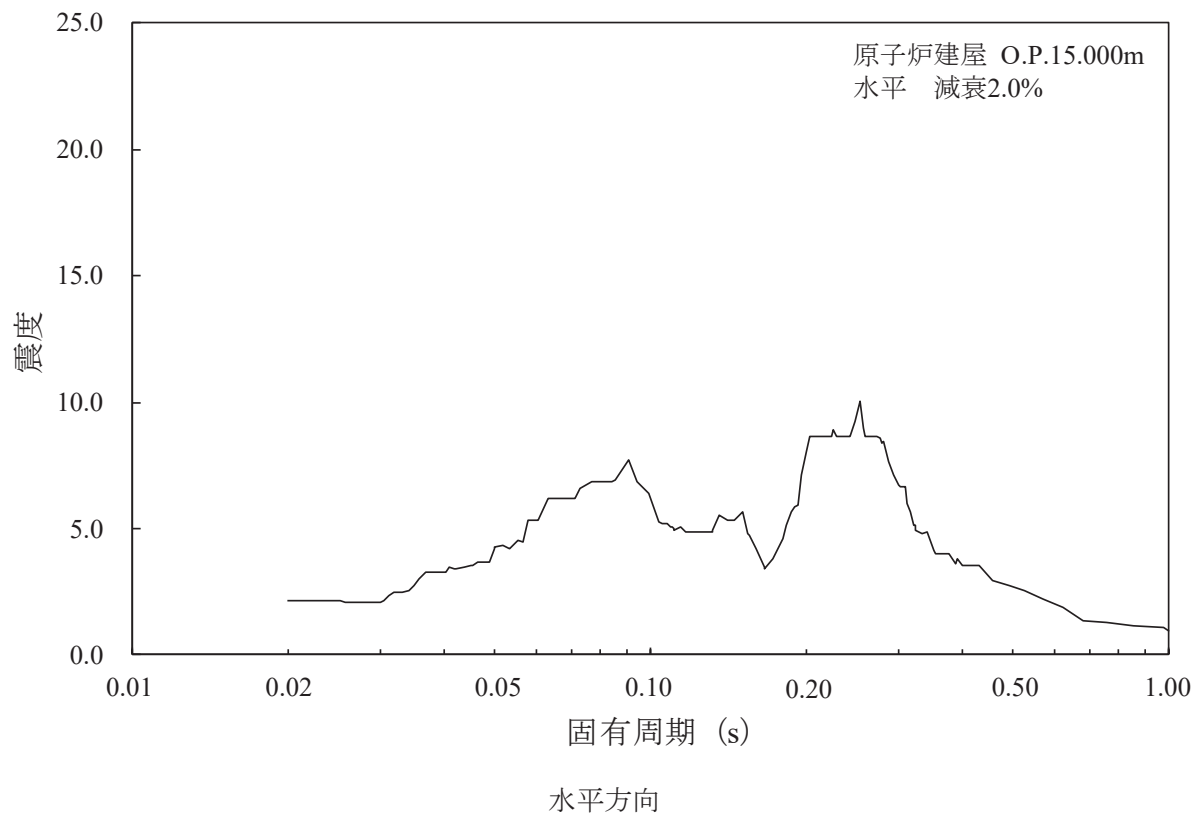
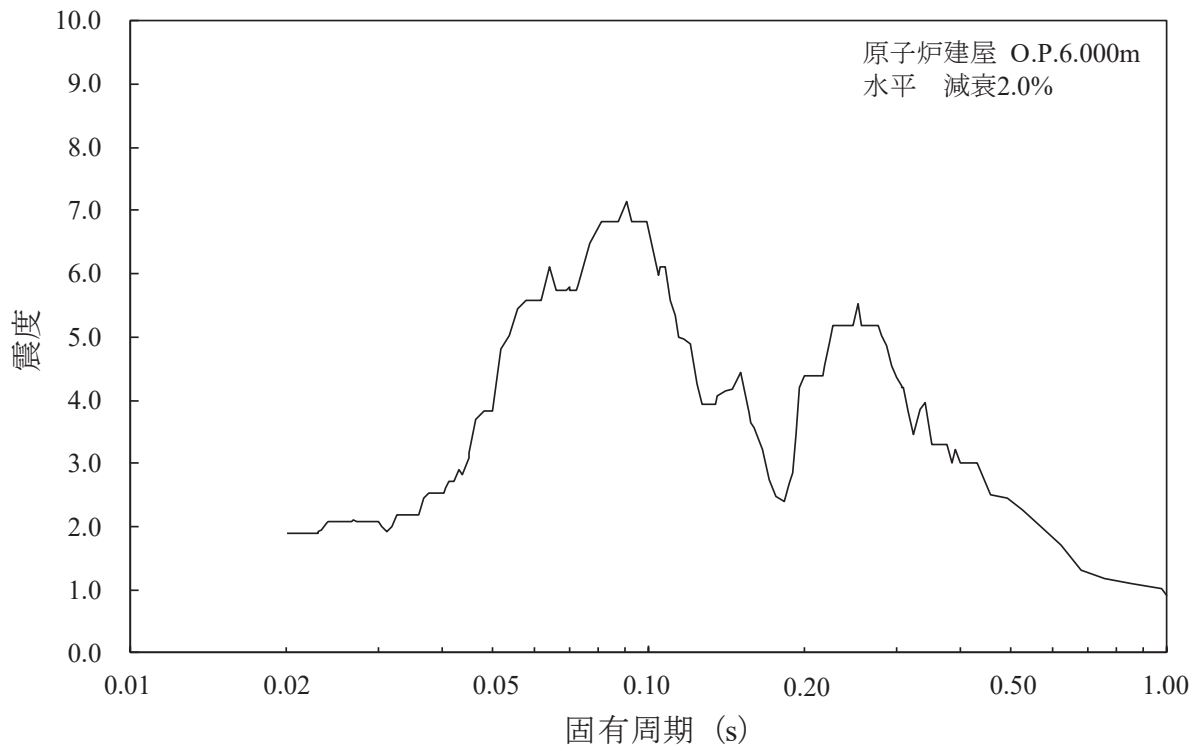
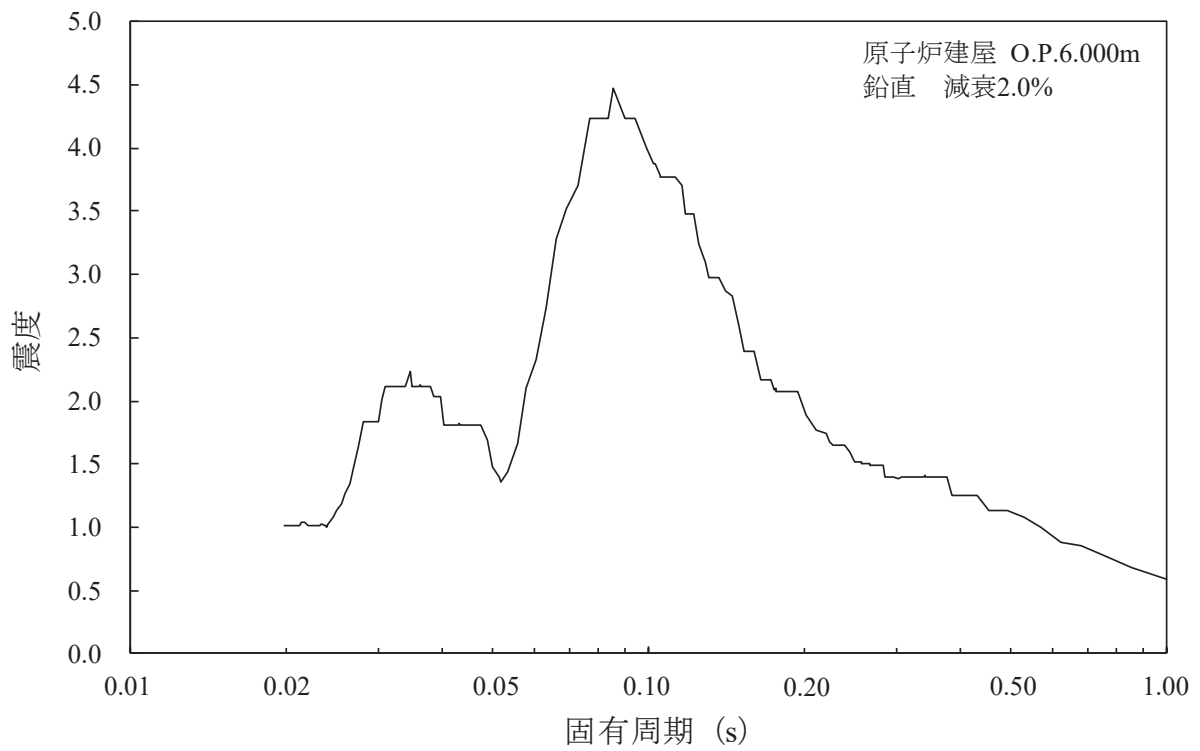


図 3-4 弁の動的機能維持に適用する床応答曲線

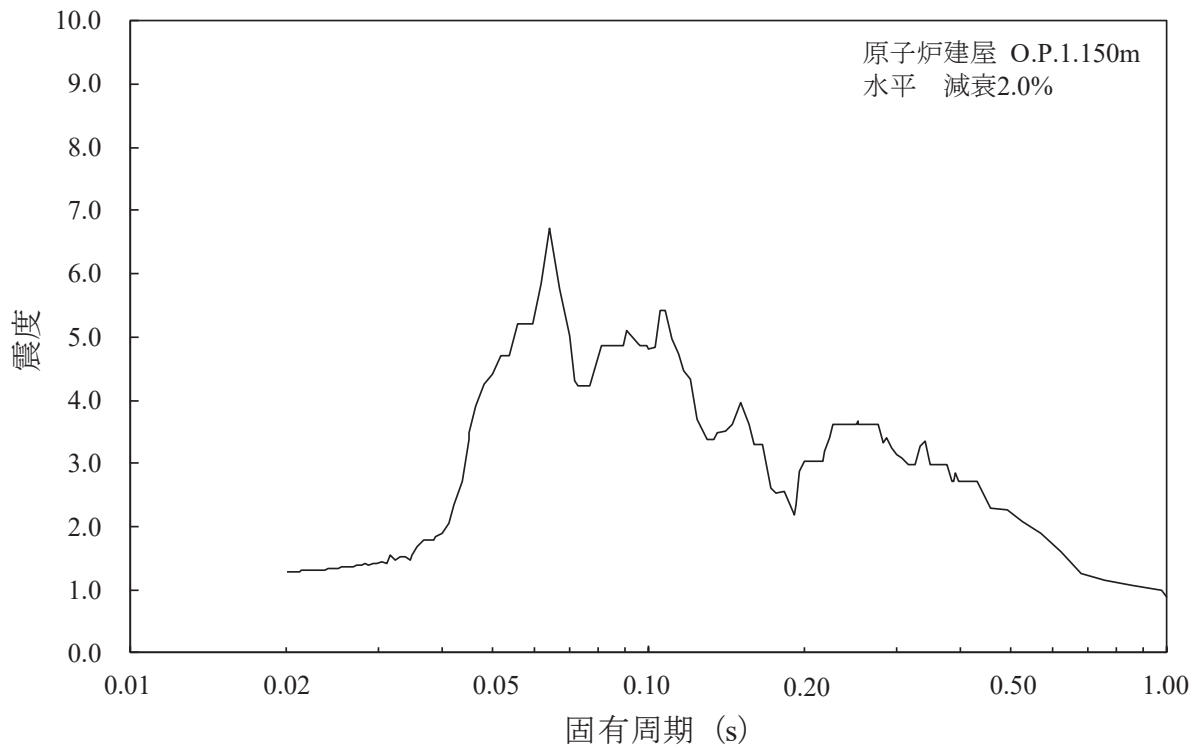


水平方向

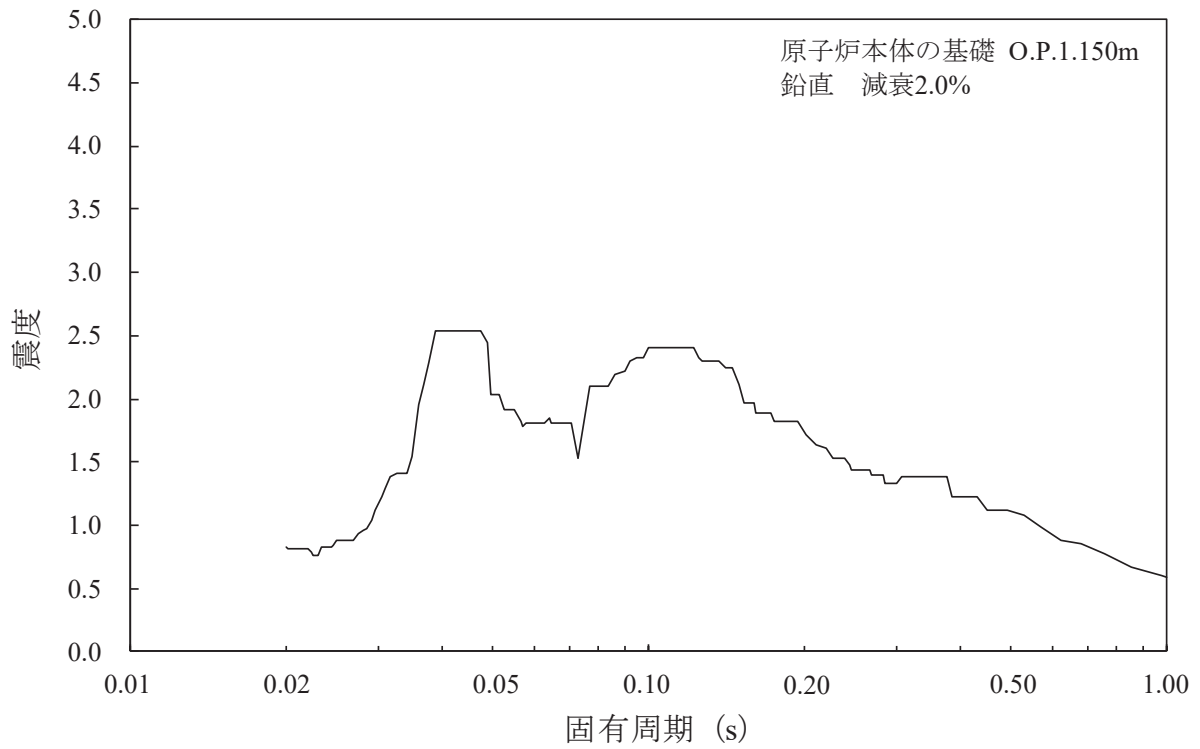


鉛直方向

図 3-5 弁の動的機能維持に適用する床応答曲線

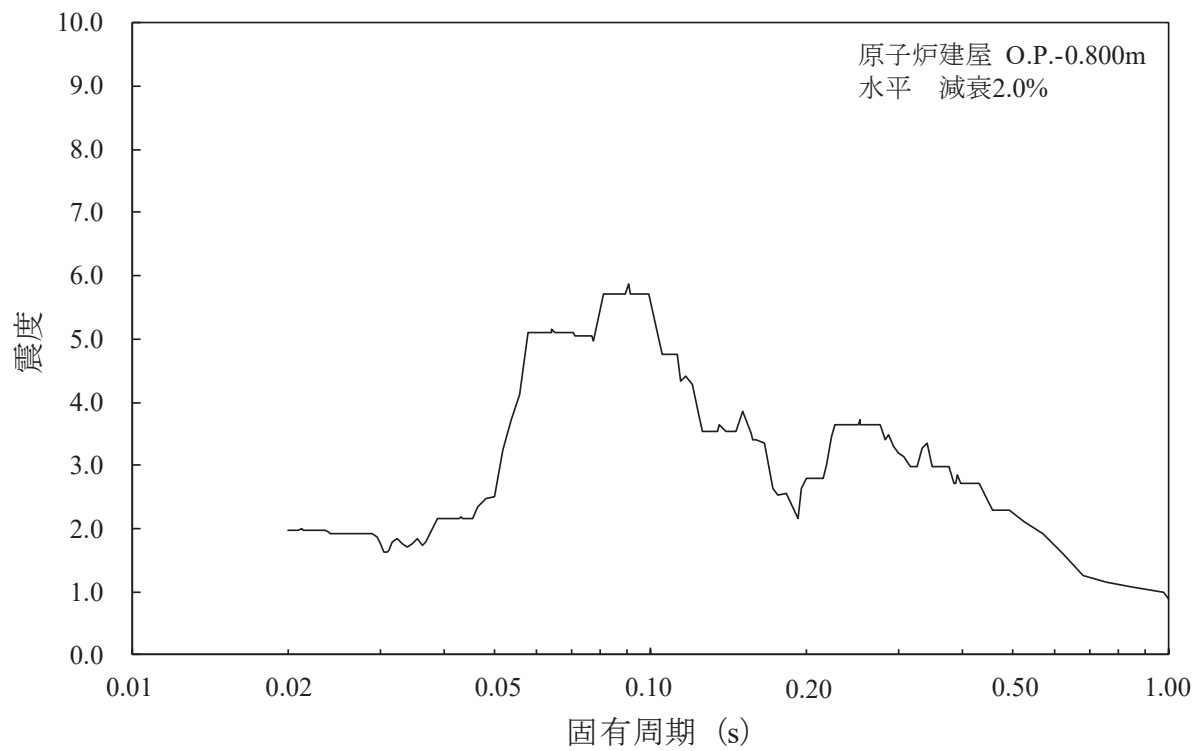


水平方向

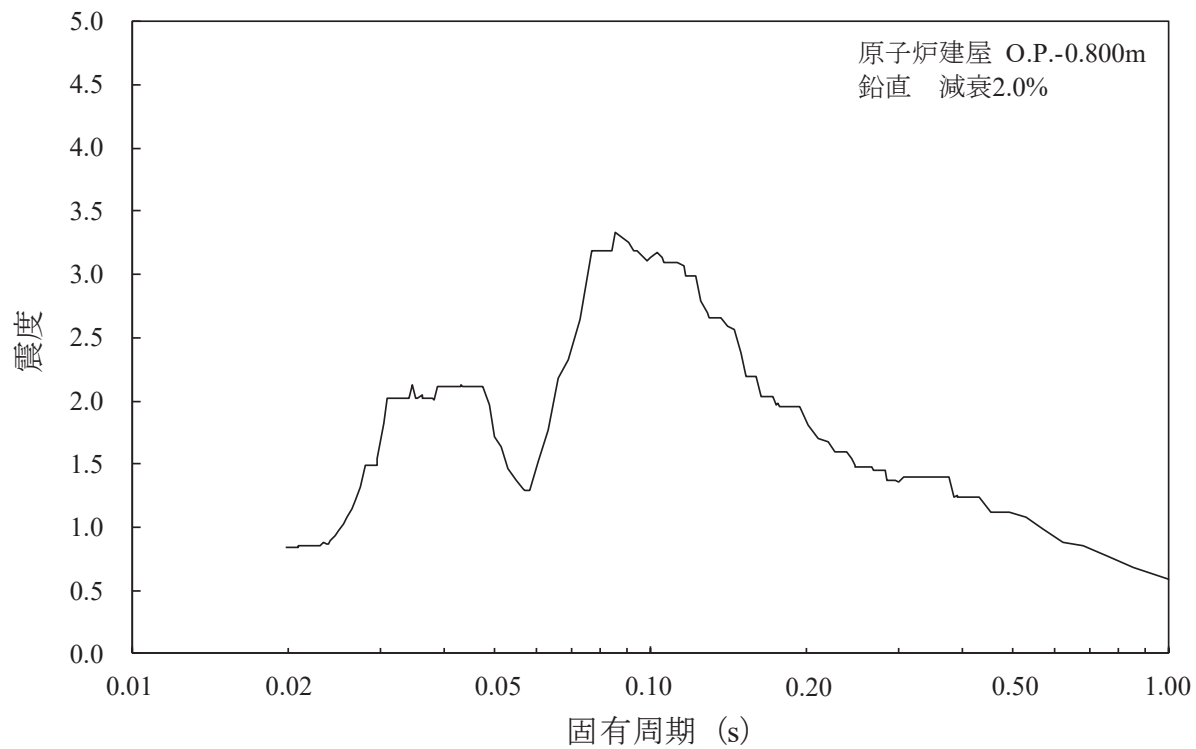


鉛直方向

図 3-6 弁の動的機能維持に適用する床応答曲線

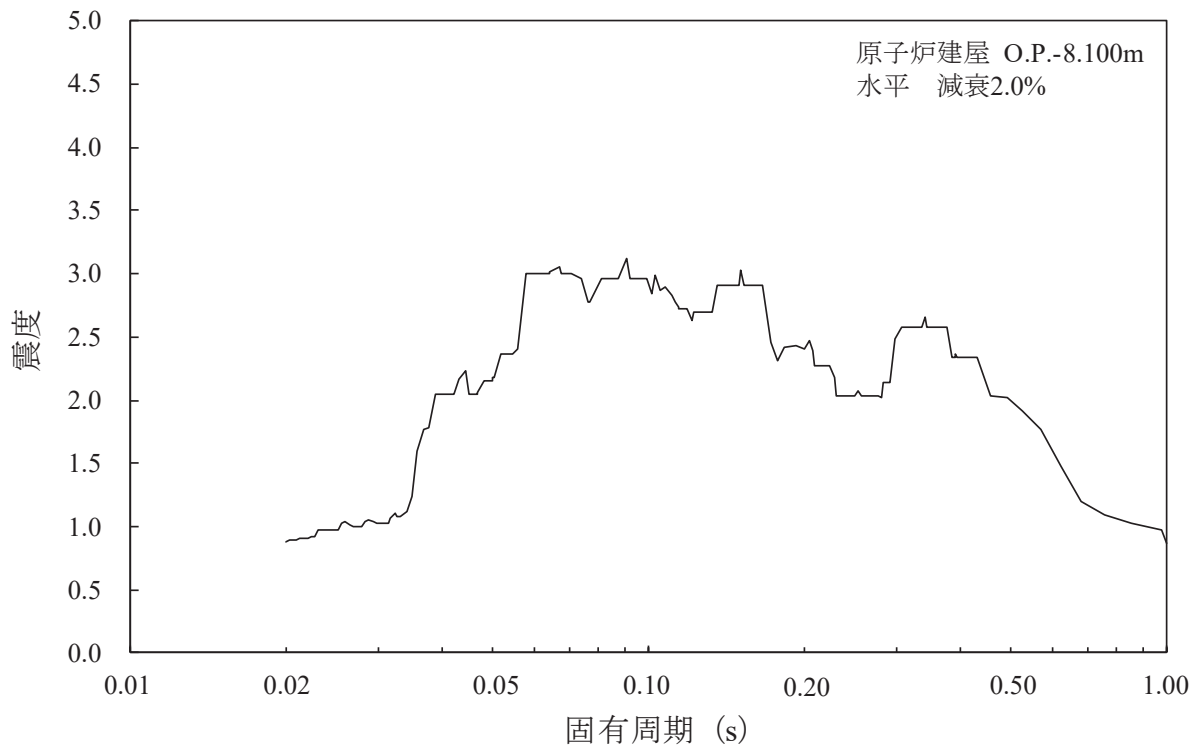


水平方向

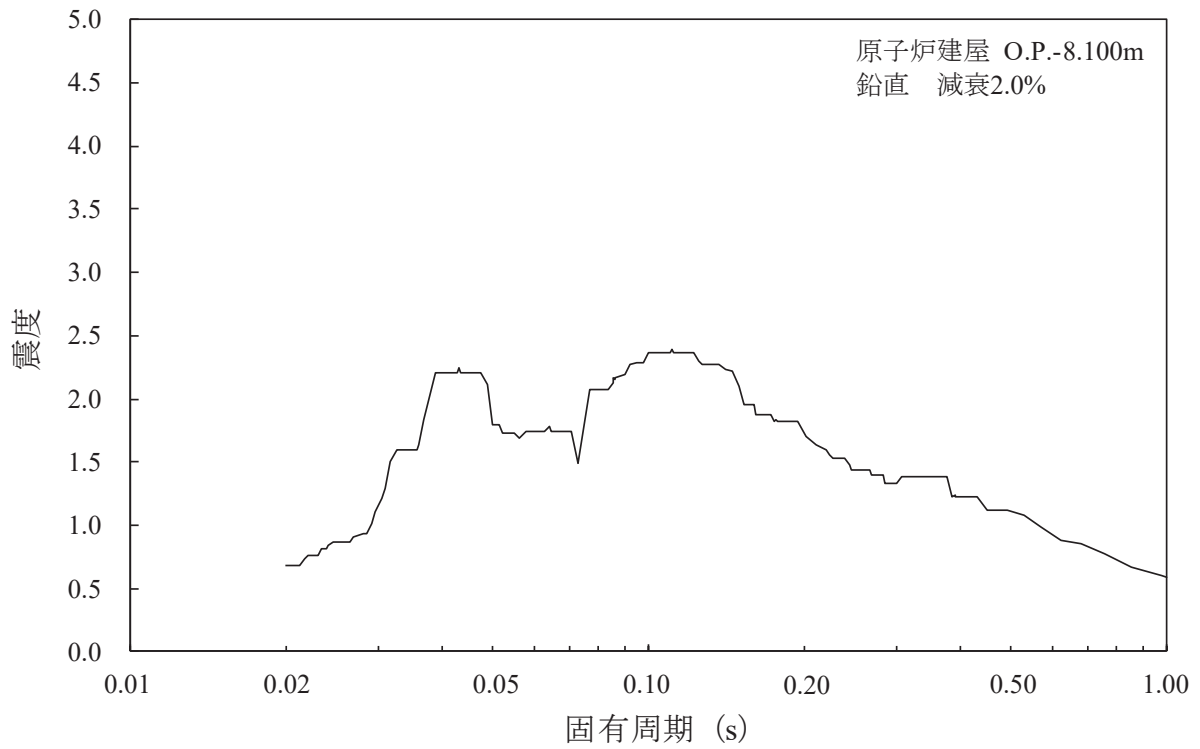


鉛直方向

図 3-7 弁の動的機能維持に適用する床応答曲線



水平方向



鉛直方向

図 3-8 弁の動的機能維持に適用する床応答曲線

弁の高振動数領域を考慮した評価を行う配管モデルの妥当性の確認

1. はじめに

高振動数領域を考慮した弁の動的機能維持評価を行うにあたり、現行の配管モデルの設定で高振動領域の地震応答が適切に解析できているのかを確認するため、モデルの節点数を変更した比較用のモデルを作成し検証した結果を以下にまとめる。

2. 配管モデルの妥当性確認方法

配管系の解析モデルは、以下に示す J E A G 4 6 0 1 -1987 に記載の考え方にに基づき作成しており、弁自体の節点が設けられている他、弁設置位置は質量が集中するため周辺に設置する配管支持装置の節点などを設けており、比較的多くの節点が設定されている。

(3) 配管

配管は、前述の基本方針に基づき弁やポンプを含め配管系 3 次元モデルを作成する。

a. BWR

配管系モデル化例としてここでは再循環系配管解析モデルについて述べる。

図6.5.2-8に BWR の再循環系配管の概要を示しておりこれらをモデル化したものが図6.5.2-9である。

BWR の再循環系配管モデルについては、質点の設定に当たっては、配管支持装置取付点、ポンプ、弁等の設置点、配管口径変更点、ノズル位置等を基準として応力評価上重要な位置に質点を定めている。また、配管の曲り部においては剛性の変化率を評価に加えると共に弁、ポンプ等については等価な剛性と質量を評価したモデル化を実施している。

「6.5.4地震応答解析法」に後述する様に配管設計は、スペクトルモーダル解析法によって行われるのが一般的である。その解析結果の例を次に示す。

BWR 再循環系配管に対する入力加速度と振動モードを表6.5.2-1及び図6.5.2-10に示している。表6.5.2-1は、各固有振動モードに対する水平震度と鉛直震度を示しており、水平震度は床応答スペクトルからもとめられたものである。そして、表6.5.2-2が解析結果として得られた地震力（表中の SS）を反力とモーメントについて示したもので、W は配管自重等による死荷重である。

※ J E A G 4 6 0 1 -1987 より抜粋

実際の配管モデルの例は、添付 2 の図 1 や図 4 に示しているとおりであり、弁周りについては、弁自体の節点や支持装置の節点が設けられているため、弁周辺には比較的多くの節点が設定されている。また、直管部についても、支持装置設置位置や溶接部等に質点を設けており十分に接点が設けられている様子が分かる。

したがって、現行の配管モデルにおいても十分に高振動数領域の地震応答を評価できる解析モデルになっているものと考えているが、その妥当性を確認するため、3 項に示す代表の配管

モデルについて節点を増やしたモデルを作成し、節点数の変更前後での地震応答を比較検証する。

3. 対象モデルの選定

以下 (1), (2) に示す観点で代表 2 モデルを選定し、配管モデルの節点を増やした場合との比較を実施する。

(1) 振動数領域を 50Hz から 100Hz へ変更した評価結果において応答増幅が小さい弁の含まれる配管モデル

振動数領域を 50Hz から 100Hz へ変更した際に、応答増幅が小さい弁については、現行の配管モデルでは高振動数領域の応答が適切に解析されていないため、応答増幅が小さかった可能性がある。

そこで、本文の表 2 に示す 50Hz と 100Hz の評価結果から、応答増幅が小さい弁として、B21-F053B (配管モデル：FDW-001) を選定した。評価結果を下記の表 1 に再掲する。

表 1 振動数領域を 50Hz から 100Hz へ変更した場合に応答増幅が小さい弁の結果

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 ((②-①)/③)
						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		
23	FDW	B21-F053B	給水系第一隔離弁(B)	逆止弁	水平	2.61	6.00	2.29	2.63	6.00	2.28	1.01	0.34%
						2.61			2.63				
						1.82			1.82				
					鉛直	1.33	6.00	4.51	1.33	6.00	4.51		
						1.07			1.07				
						1.33			1.33				

(2) 振動数領域を 50Hz から 100Hz へ変更した評価結果において応答増幅が大きい弁の含まれる配管モデル

振動数領域を 50Hz から 100Hz へ変更した際に、応答増幅が大きい弁については、現行の配管モデルで十分に高次モードが表現されていると考えているが、(1) と比較する観点で検討を実施する。

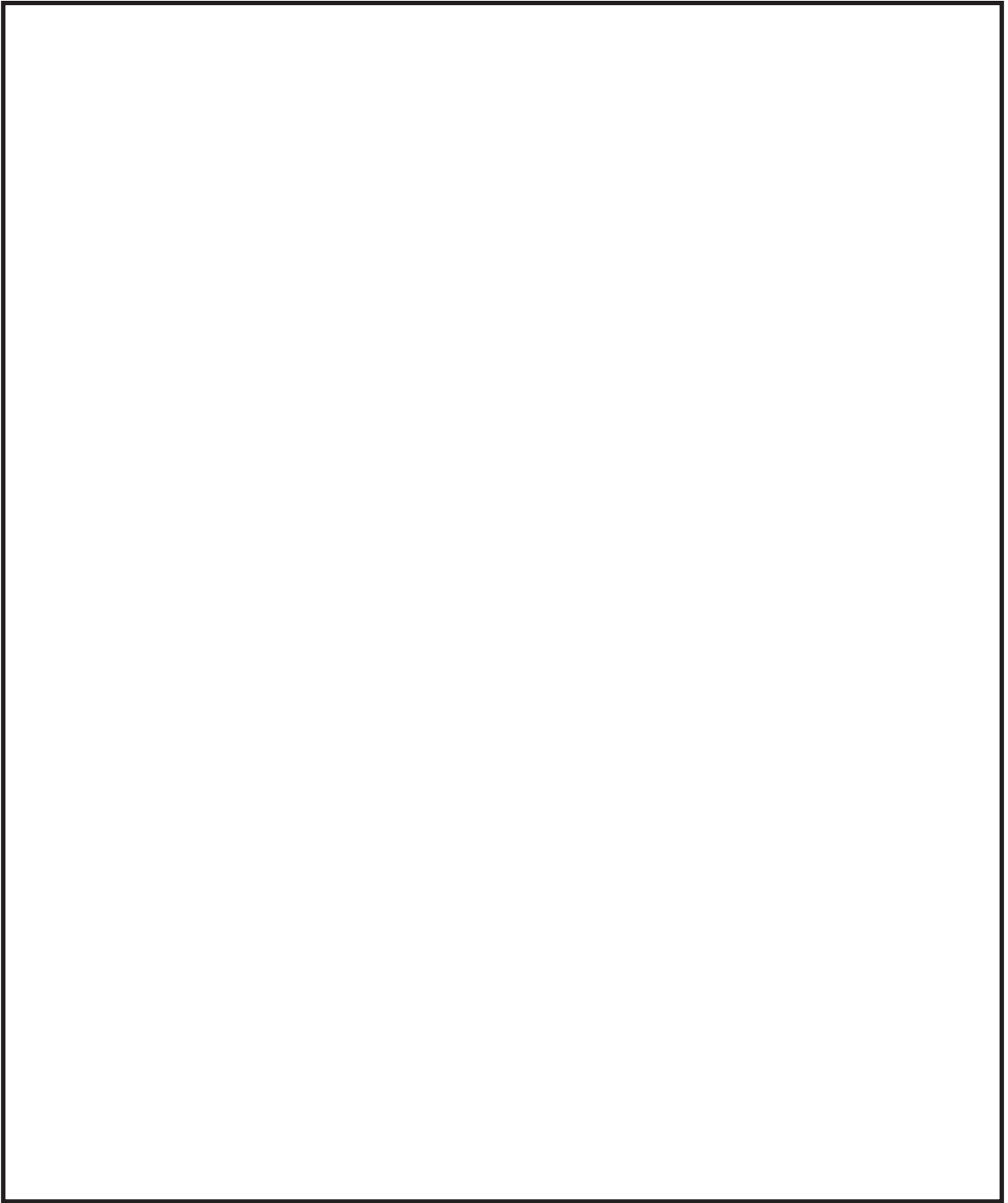
そこで、本文の表 2 に示す 50Hz と 100Hz の評価結果から、応答増幅が大きい弁として、E22-F001 (配管モデル：HPCS-002) を選定した。評価結果を下記の表 2 に再掲する。

表2 振動数領域を 50Hz から 100Hz へ変更した場合に応答増幅が大きい弁の評価結果

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 ((②-①)/③)
						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		
50	HPCS	E22-F001	高圧炉心スプレ イ系ポンプ復水 貯蔵タンク吸込 弁	電動 ゲート弁	水平	2.44	6.00	2.46	3.16	6.00	1.90	1.30	12.00%
						2.44			3.16				
						1.57			1.57				
					鉛直	1.25	6.00	4.80	1.44	6.00	4.17	1.15	
						1.25			1.44				
						1.09			1.09				

4. 節点追加前後の配管モデル

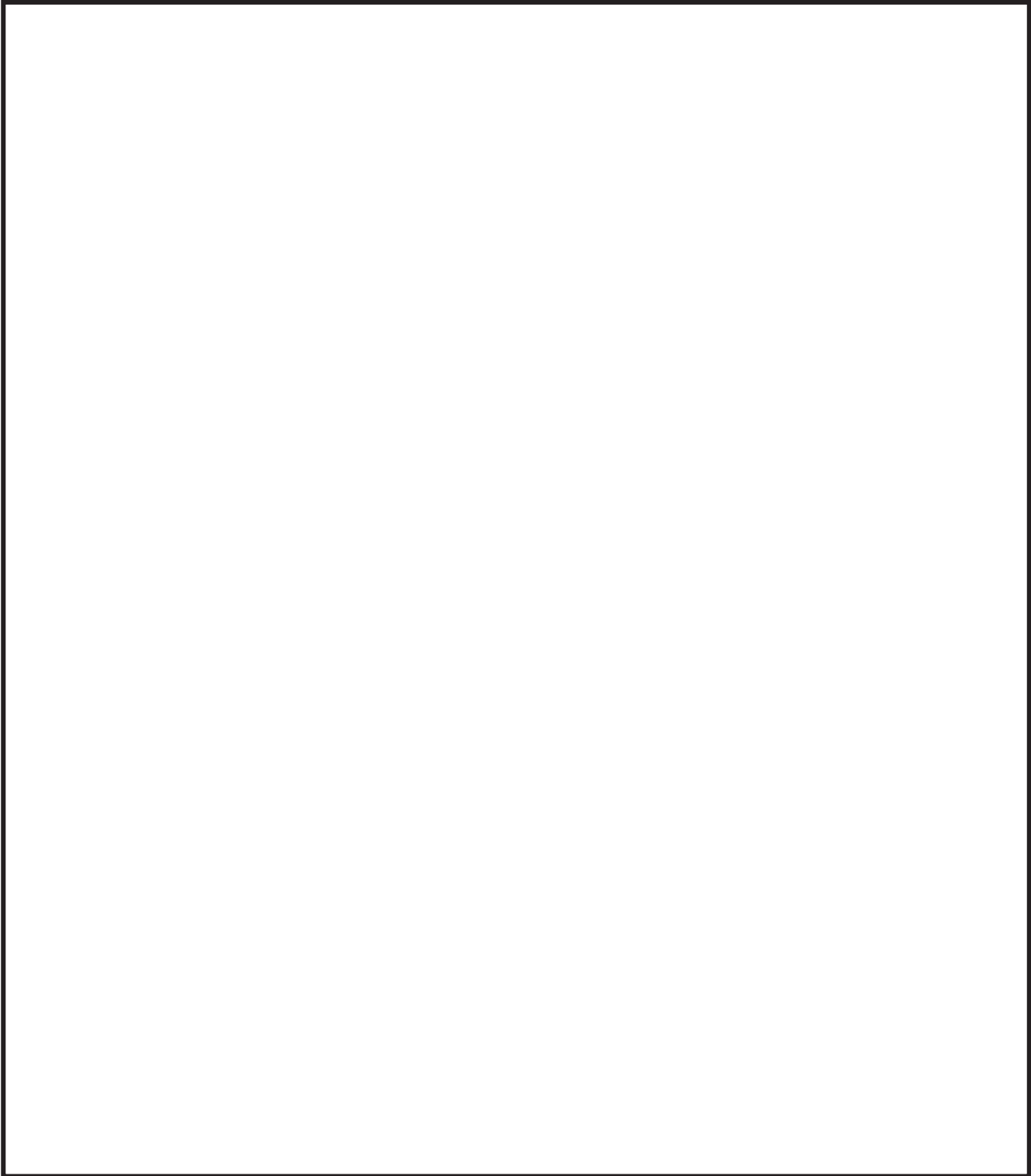
対象として選定した配管モデル FDW-001 (対象弁: B21-F053B) 及び HPCS-002 (対象弁: E22-F001) について、節点追加前の現状の配管モデルと節点追加後の検証用の配管モデルを図 1, 2 に示す。変更前のモデルでは直管部等が比較的節点の間隔が大きいため、節点間隔が大きい部分に着目して節点を追加し、モデル全体に渡って節点間隔が密になるように変更を加えている。



変更前（現状の配管モデル）

図 1-1 節点変更前後の配管モデルの比較（FDW-001_全体図）（1/2）

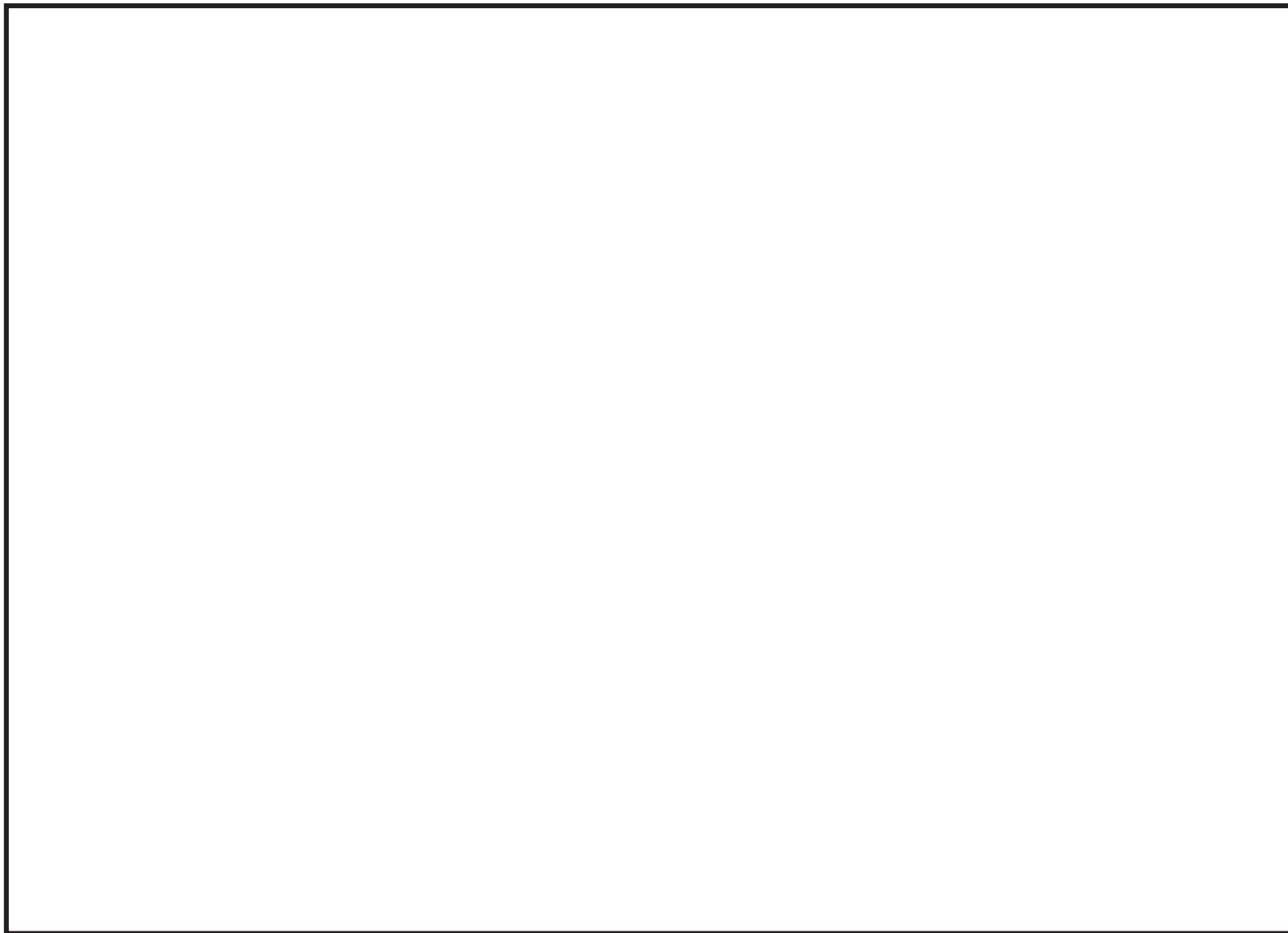
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



変更後（検証用の配管モデル）

図 1-1 節点変更前後の配管モデルの比較（FDW-001_全体図）（2/2）

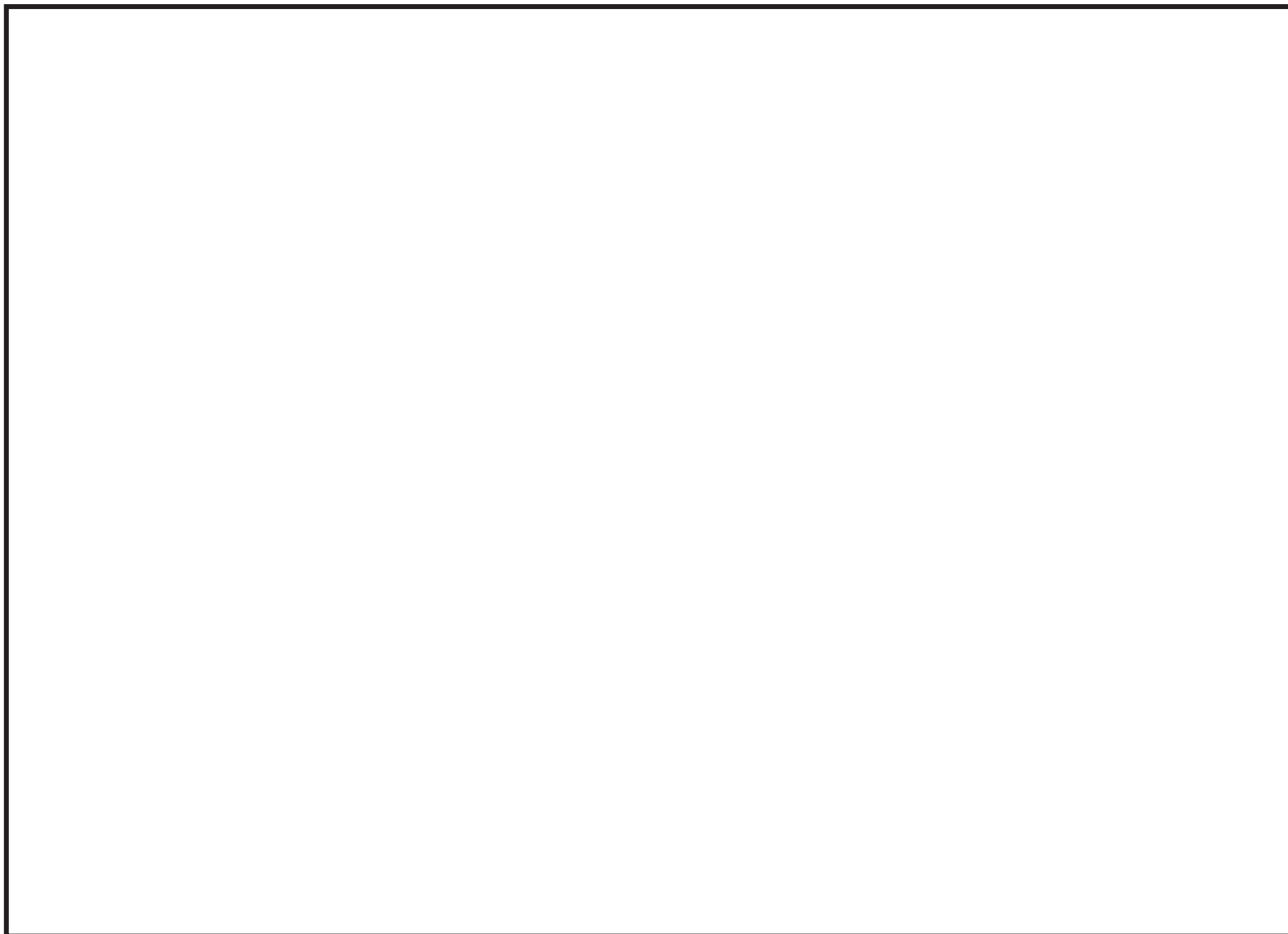
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



変更前 (現状の配管モデル)

図 1-2 節点変更前後の配管モデルの比較 (FDW-001_部分図) (1/2)

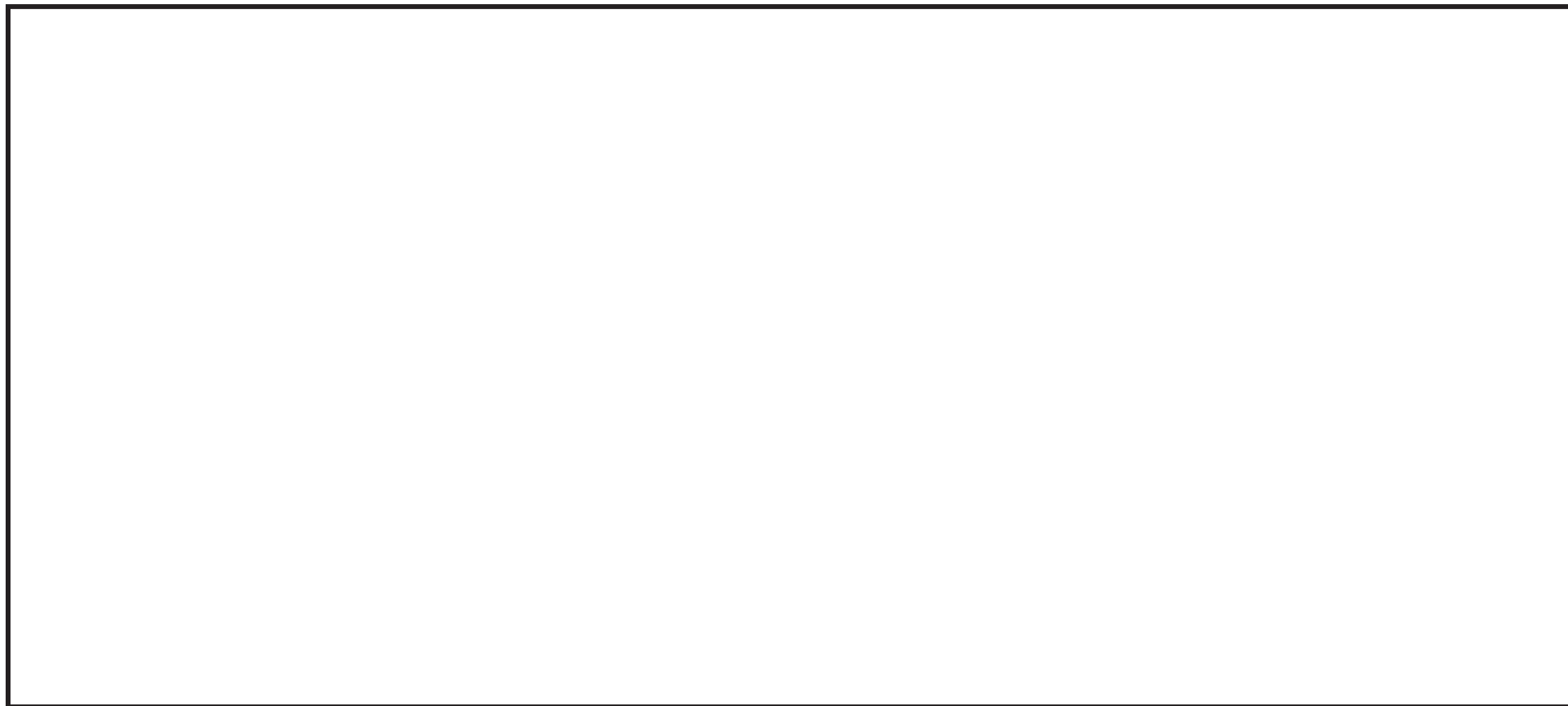
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



変更後（検証用の配管モデル）

図 1-2 節点変更前後の配管モデルの比較（FDW-001_部分図）（2/2）

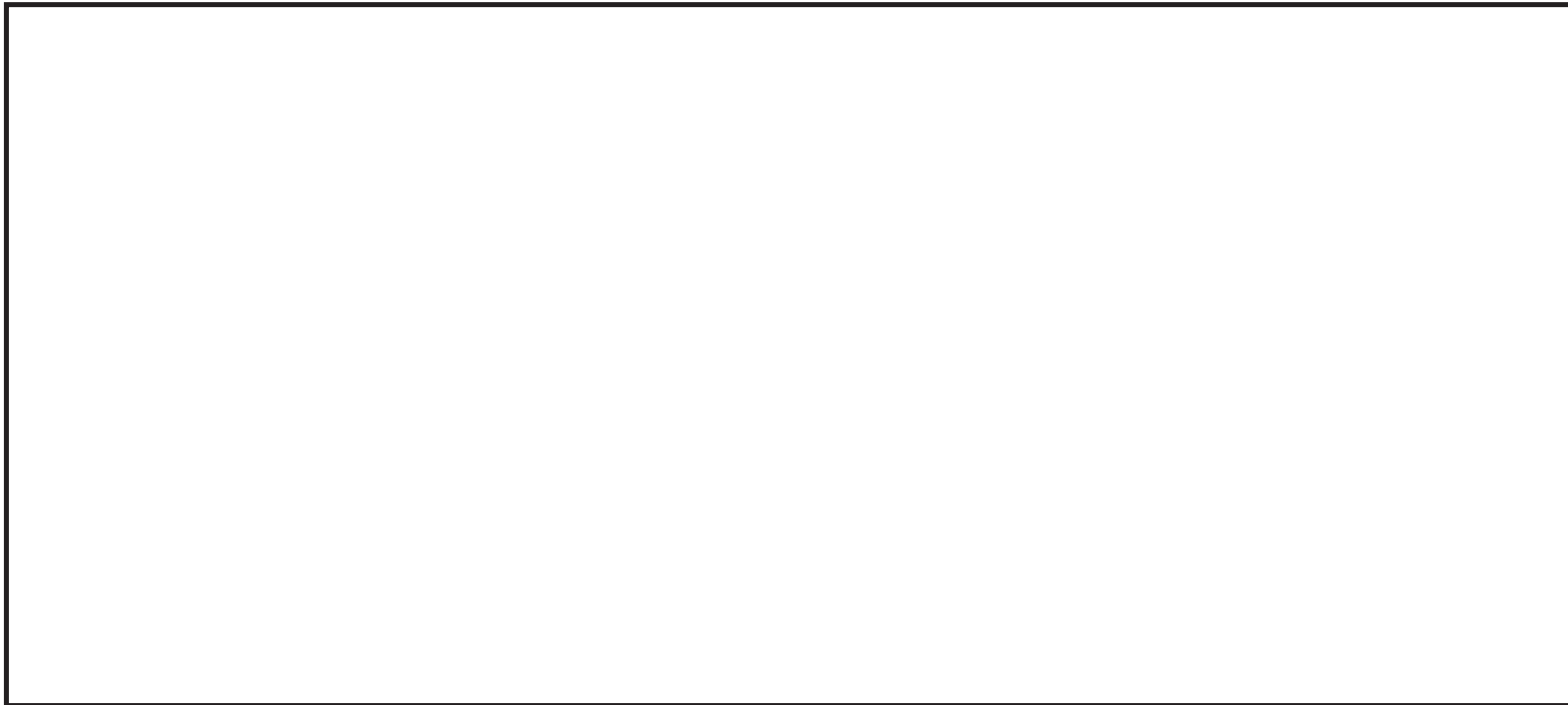
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



変更前（現状の配管モデル）

図 2-1 節点変更前後の配管モデルの比較（HPCS-002_全体図）（1/2）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



変更後（検証用の配管モデル）

図 2-1 節点変更前後の配管モデルの比較（HPCS-002_全体図）（2/2）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

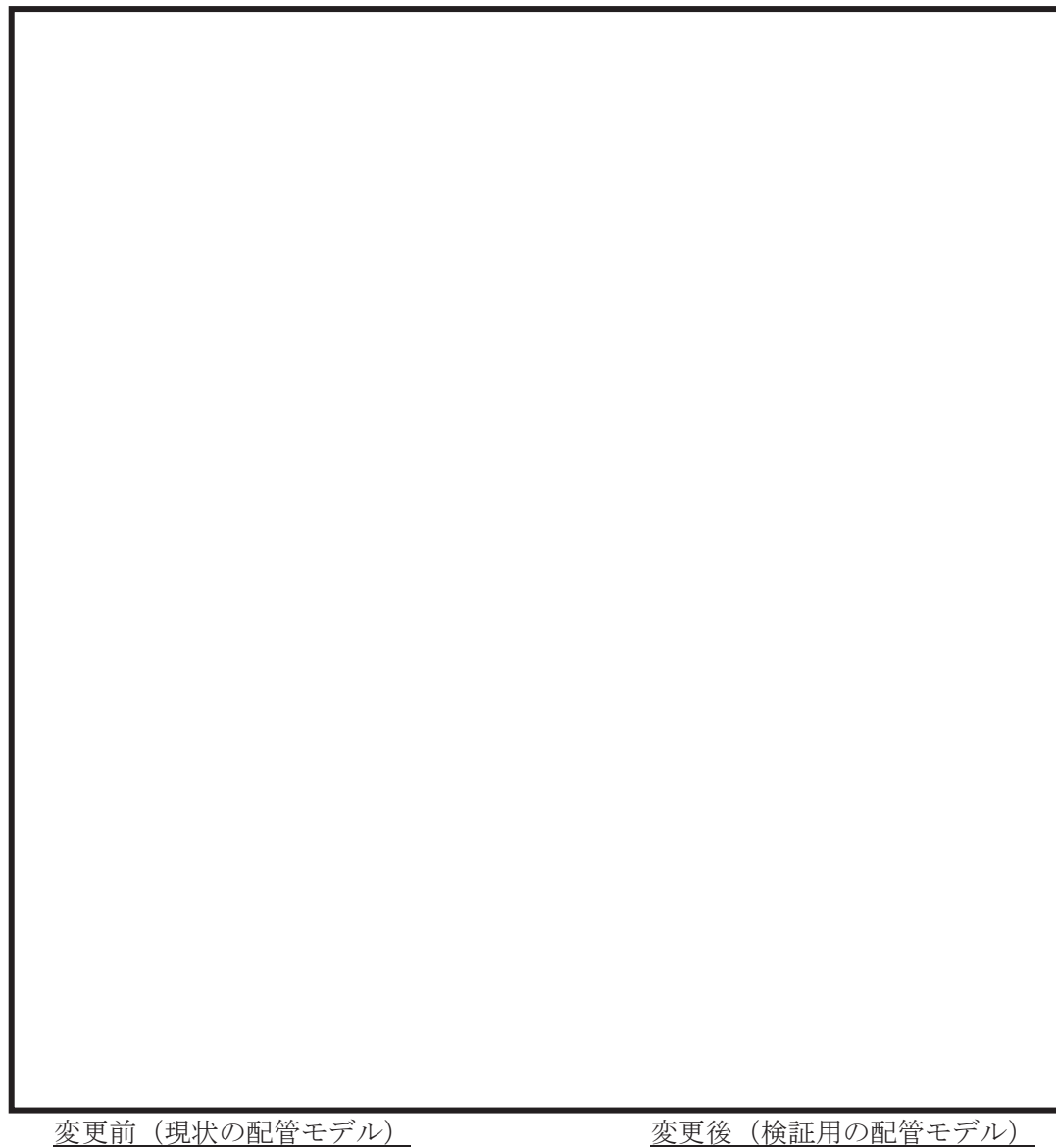


図 2-2 節点変更前後の配管モデルの比較 (HPCS-002_部分図) (1/2)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



変更前（現状の配管モデル）



変更後（検証用の配管モデル）

図 2-2 節点変更前後の配管モデルの比較（HPCS-002_部分図）（2/2）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5. 評価結果の比較

現状の配管モデルと節点追加後の検証用の配管モデルについて、固有値解析を実施した結果を表3に示す。節点の変更に伴って、各モードに微小な差異はあるもののその差は小さくほぼ同様のモードが現れているものと考えられる。

また、添付3に示す設計用床応答曲線を適用して、振動数領域を100Hzまでとし水平2方向を考慮した応答解析を実施した結果を図3に示す。配管モデルFDW-001及びHPCS-002に設置されている検討対象弁（B21-F053B及びE22-F001）について、節点変更前後のモデルより算出された発生加速度を比較した結果、数値に軽微な変化はあったもののほぼ同様な結果となることが確認できた。これは表3に示すとおり、解析モデルの変更前後で振動モードにほぼ差異がなかったことから、発生加速度についても軽微な違いになったものと考えられる。

以上の結果から、現状の解析モデルにおいても、高振動数領域を考慮した解析が実施できていることから妥当なモデルであることが確認できた。

表 3-1 節点変更前後の配管モデルによる固有値解析結果の比較 (FDW-001)

次数	現状の配管モデル		検証用の配管モデル		次数	現状の配管モデル		検証用の配管モデル	
	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)		固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)
1					67				
2					68				
3					69				
4					70				
5					71				
6					72				
7					73				
8					74				
9					75				
10					76				
11					77				
12					78				
13					79				
14					80				
15					81				
16					82				
17					83				
18					84				
19					85				
20					86				
21					87				
22					88				
23					89				
24					90				
25					91				
26					92				
27					93				
28					94				
29					95				
30					96				
31					97				
32					98				
33					99				
34					100				
35					101				
36					102				
37					103				
38					104				
39					105				
40					106				
41					107				
42					108				
43					109				
44					110				
45					111				
46					112				
47					113				
48					114				
49					115				
50					116				
51					117				
52					118				
53					119				
54					120				
55					121				
56					122				
57					123				
58					124				
59					125				
60					126				
61					127				
62					128				
63					129				
64					130				
65					131				
66					132				

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3-2 節点変更前後の配管モデルによる固有値解析結果の比較 (HPCS-002)

次数	現状の配管モデル		検証用の配管モデル		次数	現状の配管モデル		検証用の配管モデル	
	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)		固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)
1					67				
2					68				
3					69				
4					70				
5					71				
6					72				
7					73				
8					74				
9					75				
10					76				
11					77				
12					78				
13					79				
14					80				
15					81				
16					82				
17					83				
18					84				
19					85				
20					86				
21					87				
22					88				
23									
24									
25									
26									
27									
28									
29									
30									
31									
32									
33									
34									
35									
36									
37									
38									
39									
40									
41									
42									
43									
44									
45									
46									
47									
48									
49									
50									
51									
52									
53									
54									
55									
56									
57									
58									
59									
60									
61									
62									
63									
64									
65									
66									

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

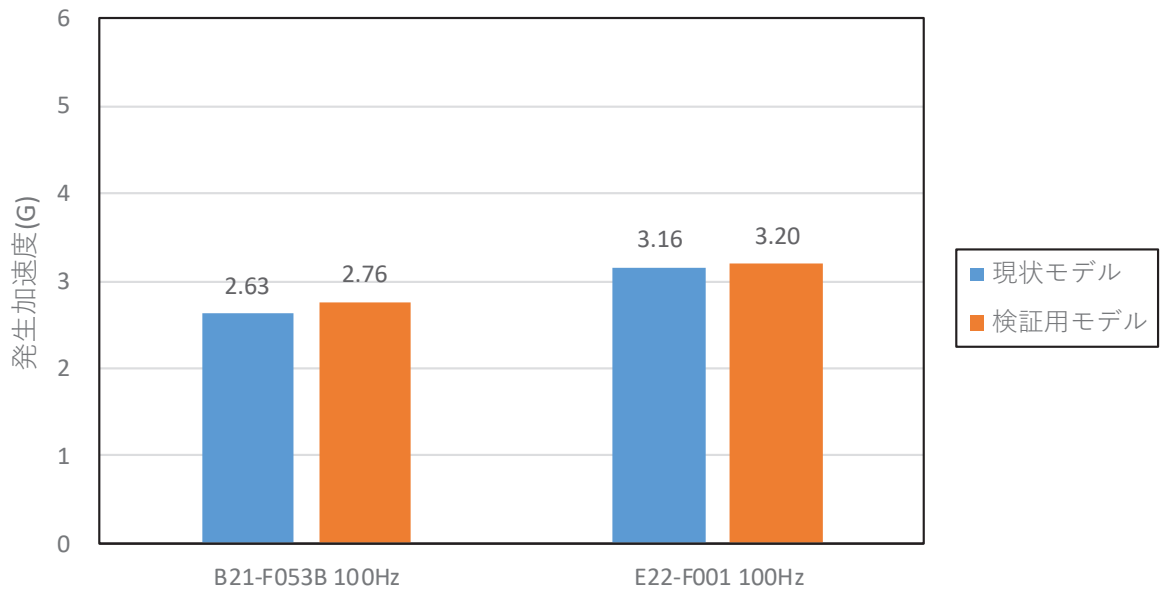


図 3-1 現状の配管モデルと検証用の配管モデルの応答加速度比較（水平方向）

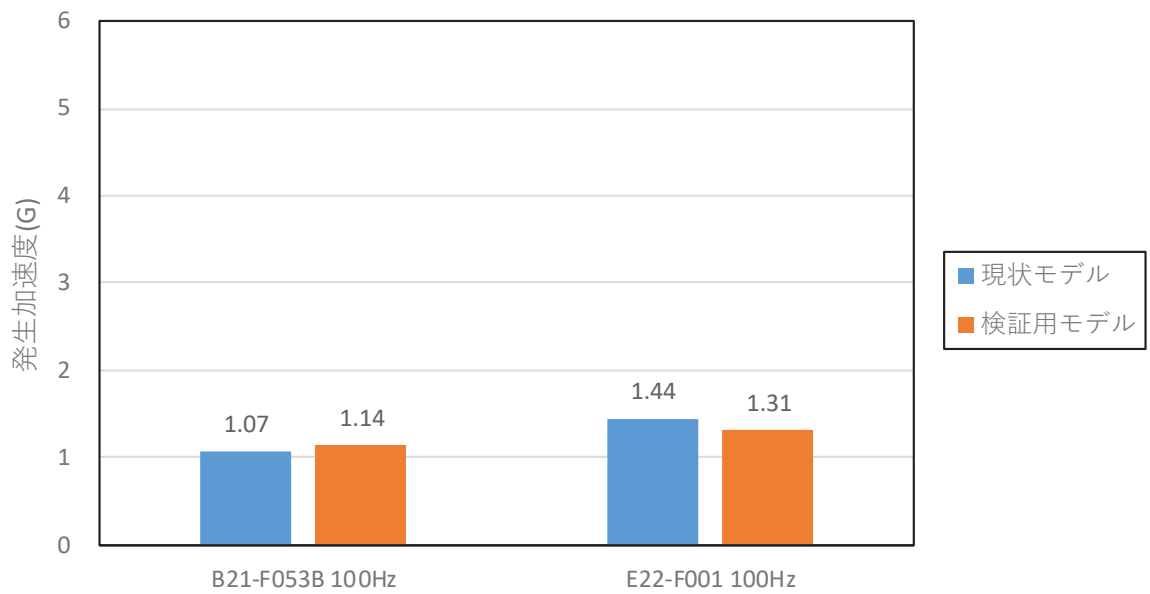


図 3-2 現状の配管モデルと検証用の配管モデルの応答加速度比較（鉛直方向）

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-補-E-19-0600-14-3_改4

補足-600-14-3 動的機能維持評価対象弁の選定

1. 概要

女川原子力発電所第2号機については、工認耐震計算書のうち各申請設備の「管の耐震性についての計算書」において、弁の動的機能維持評価を実施している。

本資料では、工認の要目表に記載のある弁のうち動的機能維持が要求される弁について、その選定方法を説明するものである。

なお、「管の耐震性についての計算書」においては、工認の要目表に記載のある弁のうち、動的機能維持が要求される弁を選定し、弁型式ごとに「機能確認済加速度」に対する「機能維持評価用加速度」の裕度が最も小さい弁の評価結果を代表として記載しているが、本資料では計算書への記載有無によらず、動的機能維持が要求される弁を対象としている。

本資料が関連する工認図書は以下のとおり。

- ・「VI-2-5-3-1-2 管の耐震性についての計算書（主蒸気系）」
- ・「VI-2-5-3-2-1 管の耐震性についての計算書（復水給水系）」
- ・「VI-2-5-4-1-4 管の耐震性についての計算書（残留熱除去系）」
- ・「VI-2-5-5-1-3 管の耐震性についての計算書（高圧炉心スプレイ系）」
- ・「VI-2-5-5-2-3 管の耐震性についての計算書（低圧炉心スプレイ系）」
- ・「VI-2-5-6-1-3 管の耐震性についての計算書（原子炉隔離時冷却系）」
- ・「VI-2-5-8-1-1 管の耐震性についての計算書（原子炉冷却材浄化系）」
- ・「VI-2-9-4-4-1-2 管の耐震性についての計算書（非常用ガス処理系）」
- ・「VI-2-9-4-4-2-1 管の耐震性についての計算書（可燃性ガス濃度制御系）」
- ・「VI-2-9-4-5-1-1 管の耐震性についての計算書（原子炉格納容器調気系）」

2. 動的機能維持評価対象弁の選定方法と選定結果

2.1 設計基準対象施設の動的機能維持評価対象弁の整理

動的機能維持評価対象弁を選定するために、設計基準対象施設として、工認の要目表に記載のある弁から、J E A G 4 6 0 1 -1984 並びに J E A G 4 6 0 1 -1991 に基づき動的機能維持評価の要求の有無を整理した結果を表1に示す。表1に示すとおり、動的機能維持が要求される弁として66台の弁を選定している。これらの動的機能維持評価対象弁に選定した弁については評価が要求される理由を整理し、評価対象外とした弁については除外される理由を整理している。

なお、2.2項に示す J E A G 4 6 0 1 -1984 において、動的機能維持評価に適用する地震動が S_1 又は S_2 と区別して記載されており、以下の設備については S_1 での評価が要求されている。

- (a) As クラスの「(iv)原子炉格納容器バウンダリを構成する弁のうち、原子炉冷却材圧力バウンダリ破損の一定時間後に閉止が必要なもの」のうち、LOCA 後、ECCS 等の停止に伴う原子炉格納容器バウンダリ閉止に必要な弁。
- (b) A クラスに分類される弁。

上記のうち、(a)の考え方は、女川2号機の今回工認における設計方針と整合していることから、(a)に該当する弁は弾性設計用地震動 S_d (J E A G 4 6 0 1 -1984 の S_1 を S_d に読

み替え) に対する評価要求があるものの、設計の保守性及び簡便性を考慮して基準地震動 S_s に対して評価を行う方針としている。

一方、上記の(b)に該当する弁については、規制基準の改正により、As クラスと A クラスが統合し S クラスとなり、基準地震動 S_s に対する評価が要求されたことから、動的機能維持評価においても基準地震動 S_s で評価する必要がある。したがって、女川 2 号機の今回工認において、弾性設計用地震動 S_d (J E A G 4 6 0 1 - 1984 の S_1 を S_d に読み替え) ではなく基準地震動 S_s に対して動的機能維持評価を実施する方針としている。

また、図 1 に示す「耐震設計に係る工認審査ガイド (平成 25 年 6 月 19 日制定, 令和 3 年 6 月 23 日改正)」には動的機能の評価は基準地震動 S_s に対して行うよう記載されている。

上記の整理内容を踏まえて、女川 2 号機の今回工認においては、動的機能維持評価要求のある全ての弁に対して、基準地震動 S_s を用いて動的機能維持評価を実施している。

4.6.2 動的機能

【審査における確認事項】

S クラスの施設を構成する主要設備及び補助設備に属する機器のうち、地震時又は地震後に機能保持が要求される動的機器については、基準地震動 S_s を用いた地震応答解析結果の応答値が動的機能保持に関する評価基準値を超えていないことを確認する。

図 1 耐震設計に係る工認審査ガイドの抜粋 (P28)

表 1 弁の動的機能維持評価の要求の整理結果 (1/3)

No.	系統	弁番号	弁名称	弁型式	動的機能維持が 要求される弁 (●66台)	動的機能維持が 要求される理由*1 表Ⅱ-1分類例	動的機能維持要求が 除外される理由*2
1	MS	B21-F001A	主蒸気逃がし安全弁(A)	安全弁	●	As-(i)-①-② As-(ii)-①-①	
2	MS	B21-F001B	主蒸気逃がし安全弁(B)	安全弁	●	As-(i)-①-② As-(ii)-①-①	
3	MS	B21-F001C	主蒸気逃がし安全弁(C)	安全弁	●	As-(i)-①-② As-(ii)-①-①	
4	MS	B21-F001D	主蒸気逃がし安全弁(D)	安全弁	●	As-(i)-①-② As-(ii)-①-①	
5	MS	B21-F001E	主蒸気逃がし安全弁(E)	安全弁	●	As-(i)-①-② As-(ii)-①-①	
6	MS	B21-F001F	主蒸気逃がし安全弁(R)	安全弁	●	As-(i)-①-② As-(ii)-①-①	
7	MS	B21-F001G	主蒸気逃がし安全弁(G)	安全弁	●	As-(i)-①-② As-(ii)-①-①	
8	MS	B21-F001H	主蒸気逃がし安全弁(H)	安全弁	●	As-(i)-①-② As-(ii)-①-①	
9	MS	B21-F001J	主蒸気逃がし安全弁(J)	安全弁	●	As-(i)-①-② As-(ii)-①-①	
10	MS	B21-F001K	主蒸気逃がし安全弁(K)	安全弁	●	As-(i)-①-② As-(ii)-①-①	
11	MS	B21-F001L	主蒸気逃がし安全弁(L)	安全弁	●	As-(i)-①-② As-(ii)-①-①	
12	MS	B21-F002A	主蒸気第一隔離弁(A)	主蒸気隔離弁	●	As-(i)-①-①	
13	MS	B21-F002B	主蒸気第一隔離弁(B)	主蒸気隔離弁	●	As-(i)-①-①	
14	MS	B21-F002C	主蒸気第一隔離弁(C)	主蒸気隔離弁	●	As-(i)-①-①	
15	MS	B21-F002D	主蒸気第一隔離弁(D)	主蒸気隔離弁	●	As-(i)-①-①	
16	MS	B21-F003A	主蒸気第二隔離弁(A)	主蒸気隔離弁	●	As-(i)-①-①	
17	MS	B21-F003B	主蒸気第二隔離弁(B)	主蒸気隔離弁	●	As-(i)-①-①	
18	MS	B21-F003C	主蒸気第二隔離弁(C)	主蒸気隔離弁	●	As-(i)-①-①	
19	MS	B21-F003D	主蒸気第二隔離弁(D)	主蒸気隔離弁	●	As-(i)-①-①	
20	FDW	B21-F052A	給水系第二隔離弁(A)	空気作動 逆止弁	●	As-(i)-③-①	
21	FDW	B21-F052B	給水系第二隔離弁(B)	空気作動 逆止弁	●	As-(i)-③-①	
22	FDW	B21-F053A	給水系第一隔離弁(A)	逆止弁	●	As-(i)-③-①	
23	FDW	B21-F053B	給水系第一隔離弁(B)	逆止弁	●	As-(i)-③-①	
24	CRD	C12-D001-126	スクラム入口弁	制御棒駆動系 スクラム弁	●	As-(iii)-①-②	
25	CRD	C12-D001-127	スクラム出口弁	制御棒駆動系 スクラム弁	●	As-(iii)-①-②	
26	RHR	E11-F003A	残留熱除去系熱交換器(A)バイパス弁	電動 ゲート弁	●	As-(ii)-④-① A-(ii)-①-①	
27	RHR	E11-F003B	残留熱除去系熱交換器(B)バイパス弁	電動 ゲート弁	●	As-(ii)-④-① A-(ii)-①-①	
28	RHR	E11-F004A	残留熱除去系 A 系低圧注水系注入隔離弁	電動 ゲート弁	●	A-(i)-①-③-①	
29	RHR	E11-F004B	残留熱除去系 B 系低圧注水系注入隔離弁	電動 ゲート弁	●	A-(i)-①-③-①	
30	RHR	E11-F004C	残留熱除去系 C 系低圧注水系注入隔離弁	電動 ゲート弁	●	A-(i)-①-③-①	
31	RHR	E11-F005A	残留熱除去系 A 系低圧注水系注入試験可能逆止弁	逆止弁	●	A-(i)-①-③-①	
32	RHR	E11-F005B	残留熱除去系 B 系低圧注水系注入試験可能逆止弁	逆止弁	●	A-(i)-①-③-①	
33	RHR	E11-F005C	残留熱除去系 C 系低圧注水系注入試験可能逆止弁	逆止弁	●	A-(i)-①-③-①	
34	RHR	E11-F008A	残留熱除去系熱交換器(A)出口弁	電動 グローブ弁	●	A-(i)-①-③-①	
35	RHR	E11-F008B	残留熱除去系熱交換器(B)出口弁	電動 グローブ弁	●	A-(i)-①-③-①	

表1 弁の動的機能維持評価の要求の整理結果 (2/3)

No.	系統	弁番号	弁名称	弁型式	動的機能維持が 要求される弁 (●66台)	動的機能維持が 要求される理由*1 表II-1分類例	動的機能維持要求が 除外される理由*2
36	RHR	E11-F010A	残留熱除去系A系格納容器スプレイ隔離弁	電動 ゲート弁	●	A-(ii)-①-①	
37	RHR	E11-F010B	残留熱除去系B系格納容器スプレイ隔離弁	電動 ゲート弁	●	A-(ii)-①-①	
38	RHR	E11-F011A	残留熱除去系A系サブプレッションチェンバススプレイ隔離弁	電動 ゲート弁	●	A-(ii)-①-①	
39	RHR	E11-F011B	残留熱除去系B系サブプレッションチェンバススプレイ隔離弁	電動 ゲート弁	●	A-(ii)-①-①	
40	RHR	E11-F012A	残留熱除去系A系試験用調整弁	電動 グループ 弁	●	As-(iv) A-(i)-①-3)-①	
41	RHR	E11-F012B	残留熱除去系B系試験用調整弁	電動 グループ 弁	●	As-(iv) A-(i)-①-3)-①	
42	RHR	E11-F015A	残留熱除去系A系停止時冷却吸込第一隔離弁	電動 ゲート弁	●	As-(ii)-④-①	
43	RHR	E11-F015B	残留熱除去系B系停止時冷却吸込第一隔離弁	電動 ゲート弁	●	As-(ii)-④-①	
44	RHR	E11-F016A	残留熱除去系A系停止時冷却吸込第二隔離弁	電動 ゲート弁	●	As-(ii)-④-①	
45	RHR	E11-F016B	残留熱除去系B系停止時冷却吸込第二隔離弁	電動 ゲート弁	●	As-(ii)-④-①	
46	RHR	E11-F018A	残留熱除去系A系停止時冷却注入隔離弁	電動 グループ 弁	●	As-(ii)-④-①	
47	RHR	E11-F018B	残留熱除去系B系停止時冷却注入隔離弁	電動 グループ 弁	●	As-(ii)-④-①	
48	RHR	E11-F019A	残留熱除去系A系停止時冷却試験可能逆止弁	逆止弁	●	As-(ii)-④-①	
49	RHR	E11-F019B	残留熱除去系B系停止時冷却試験可能逆止弁	逆止弁	●	As-(ii)-④-①	
50	RHR	E11-F021	残留熱除去系ヘッドスプレイ注入隔離弁	電動 グループ 弁	×	-	②
51	RHR	E11-F022	残留熱除去系ヘッドスプレイ注入逆止弁	逆止弁	×	-	①
52	LPCS	E21-F003	低圧炉心スプレイ系注入隔離弁	電動 ゲート弁	●	A-(i)-①-2)-①	
53	LPCS	E21-F004	低圧炉心スプレイ系注入ライン試験可能逆止弁	逆止弁	●	A-(i)-①-2)-①	
54	HPCS	E22-F001	高圧炉心スプレイ系ポンプ復水貯蔵タンク吸込弁	電動 ゲート弁	●	As-(ii)-③-① A-(i)-①-1)-①	
55	HPCS	E22-F003	高圧炉心スプレイ系注入隔離弁	電動 ゲート弁	●	As-(ii)-③-① A-(i)-①-1)-①	
56	HPCS	E22-F004	高圧炉心スプレイ系注入ライン試験可能逆止弁	逆止弁	●	As-(ii)-③-① A-(i)-①-1)-①	
57	RCIC	E51-F007	原子炉隔離時冷却系タービン入口蒸気ライン第一隔離弁	電動 ゲート弁	●	As-(ii)-②-②	
58	RCIC	E51-F008	原子炉隔離時冷却系タービン入口蒸気ライン第二隔離弁	電動 ゲート弁	●	As-(ii)-②-②	
59	CUW	G31-F002	原子炉冷却材浄化系入口ライン第一隔離弁	電動 ゲート弁	●	As-(i)-④-①	
60	CUW	G31-F003	原子炉冷却材浄化系入口ライン第二隔離弁	電動 ゲート弁	●	As-(i)-④-①	
61	RD	K11-F003	ドライウェル機器ドレンサンブ第一隔離弁	電動 ゲート弁	×	-	③
62	RD	K11-F004	ドライウェル機器ドレンサンブ第二隔離弁	電動 ゲート弁	×	-	③
63	RD	K11-F103	ドライウェル床ドレンサンブ第一隔離弁	電動 ゲート弁	×	-	④
64	RD	K11-F104	ドライウェル床ドレンサンブ第二隔離弁	電動 ゲート弁	×	-	④
65	SGTS	T46-F001A	非常用ガス処理系入口弁(A)	空気作動 バタフラ イ弁	●	A-(ii)-③	
66	SGTS	T46-F001B	非常用ガス処理系入口弁(B)	空気作動 バタフラ イ弁	●	A-(ii)-③	
67	SGTS	T46-F003A	非常用ガス処理系フィルタ装置出口弁(A)	電動 バタフラ イ弁	●	A-(ii)-③	
68	SGTS	T46-F003B	非常用ガス処理系フィルタ装置出口弁(A)	電動 バタフラ イ弁	●	A-(ii)-③	
69	AC	T48-F001	バージ用窒素供給側隔離弁	空気作動 バタフラ イ弁	×	-	⑤
70	AC	T48-F002	ドライウェルバージ用入口隔離弁	空気作動 バタフラ イ弁	×	-	⑤

表 1 弁の動的機能維持評価の要求の整理結果 (3/3)

No.	系統	弁番号	弁名称	弁型式	動的機能維持が 要求される弁 (●66台)	動的機能維持が 要求される理由*1 表Ⅱ-1分類例	動的機能維持要求が 除外される理由*2
71	AC	T48-F003	サブプレッションチェンババージ用入口隔離弁	空気作動 バタフライ弁	×	—	⑤
72	AC	T48-F010	補給用窒素ガス供給側第二隔離弁	空気作動 グローブ弁	×	—	⑤
73	AC	T48-F011	ドライウェル補給用窒素ガス供給第一隔離弁	電動 ゲート弁	×	—	⑤
74	AC	T48-F012	サブプレッションチェンバ補給用 窒素ガス供給用第一隔離弁	空気作動 グローブ弁	×	—	⑤
75	AC	T48-F016	バージ用窒素ガス供給側第二隔離弁	空気作動 バタフライ弁	×	—	⑤
76	AC	T48-F019	ドライウェルベント用出口隔離弁	電動 バタフライ弁	×	—	⑥
77	AC	T48-F020	ベント用非常用ガス処理系側隔離弁	空気作動 バタフライ弁	×	—	⑥
78	AC	T48-F021	ベント用換気空調系側隔離弁	空気作動 バタフライ弁	×	—	⑥
79	AC	T48-F022	サブプレッションチェンバベント用出口隔離弁	電動 バタフライ弁	×	—	⑥
80	FCS	T49-F001A	可燃性ガス A 系濃度制御系入口隔離弁	電動 ゲート弁	●	A-(ii)-②	
81	FCS	T49-F001B	可燃性ガス B 系濃度制御系入口隔離弁	電動 ゲート弁	●	A-(ii)-②	
82	FCS	T49-F003A	可燃性ガス A 系濃度制御系出口隔離弁	電動 ゲート弁	●	A-(ii)-②	
83	FCS	T49-F003B	可燃性ガス B 系濃度制御系出口隔離弁	電動 ゲート弁	●	A-(ii)-②	

注記*1：動的機能が要求される理由について図 2 の J E A G 4 6 0 1-1984 に記載の内容のうち
該当する番号を示している。

*2：動的機能維持要求が除外される理由について表 2 の分類表の該当番号を示している。

2.2 動的機能維持評価実施要否の判断基準

動的機能維持の必要性の有無については、J E A G 4 6 0 1 -1984 に規定されている。

図 2 に J E A G 4 6 0 1 -1984 の抜粋を示しているが、「表 II-1 具体的な動的設備とその分類例(BWR)」(P52)において、動的機能が要求される機器例が示されており、表 1 に記載の要目表対象弁に対して分類例番号を記載し、動的機能維持が要求される弁を整理している。

また、表 2 には、動的機能維持要求が除外されると整理した弁について、その具体的な理由を整理している。本表で整理した番号を表 1 の除外理由の欄に記載しているものである。

3. 地震時又は地震後に要求される動的機能の分類例^(注)

地震時又は地震後に動的機能維持の必要な弁，ポンプ等の具体的な分類例を主要な設備について示すと図 II - 1 ~ 図 II - 20 のとおりである。

また要求機能の分類は次による。

α (S_2) : 基準地震動 S_2 , S_1 時に動的機能が要求されるもの

α (S_1) : 基準地震動 S_1 時に動的機能が要求されるもの

β (S_2) : 基準地震動 S_2 , S_1 後に動的機能が要求されるもの

β (S_1) : 基準地震動 S_1 後に動的機能が要求されるもの

注：表 II - 1 , 表 II - 2 及び図 II - 1 ~ 図 II - 20 に示すものは一例であり，系統構成が異なる場合には，その系統のもつ機能により分類するものとする。

図 2 J E A G 4 6 0 1 -1984 における動的機能が要求される機器の例 (1/3)

(例：主蒸気逃がし安全弁 → As- (i) -①-②, As- (ii) -①-①)

表 II - 1 具体的な動的設備とその分類例 (BWR)

耐震重要度分類	動的機能の分類	系 統	動的機能が要求される機器	要求機能	備 考
As	(i) 原子炉冷却材圧カバウンダリを構成する弁のうち、その健全性を維持するために動的機能が必要なもの	① 主蒸気系	① 主蒸気隔離弁 ② 逃がし安全弁 (安全弁機能)	$\alpha(S_2)$	図 II - 1 参照 他の動的機能分類で動的機能が要求される弁は除く。
		② 主蒸気ドレン系	① ドレンライン隔離弁	$\alpha(S_2)$	
		③ 給水系	① 給水逆止弁	$\alpha(S_2)$	
		④ 原子炉冷却材浄化系	① 隔離弁	$\alpha(S_2)$	
	(ii) 原子炉停止後、炉心から崩壊熱を除去するために必要な動的設備	① 主蒸気系	① 逃がし安全弁 (逃がし弁機能)	$\beta(S_2)$	図 II - 1 参照
		② 原子炉隔離時冷却系	① タービン, ② 弁 ③ ポンプ	$\beta(S_2)$	図 II - 2 参照
		③ 高圧炉心スプレイ系	① 弁, ② ポンプ	$\beta(S_2)$	図 II - 3 参照
		④ 残留熱除去系 (停止時冷却モード)	① 弁, ② ポンプ	$\beta(S_2)$	図 II - 4 参照
		⑤ 非常用補機冷却系	① 弁, ② ポンプ	$\beta(S_2)$	
		⑥ 非常用電源設備	① ディーゼル ② 弁, ③ ポンプ	$\beta(S_2)$	
	(iii) 原子炉の緊急停止のために、急激に負の反応度を付加するために必要な動的設備、及び原子炉の停止状態を維持するために必要な動的設備	① 制御棒駆動系	① 駆動機構 ② スクラム弁	$\alpha(S_2)$	図 II - 5 参照
	(iv) 原子炉格納容器バウンダリを構成	① 不活性ガス系	① PCV 隔離弁	$\beta(S_1)$	図 II - 6 参照 原子炉冷却材圧カバウンダリ破損

図 2 J E A G 4 6 0 1 - 1984 における動的機能が要求される機器の例 (2/3)

耐震重要度分類	動的機能の分類	系 統	動的機能が要求される機器	要 求 機 能	備 考
A _S	する弁のうち、原子炉冷却材圧力バウンダリ破損の一定時間後に閉止が必要なもの				(LOCA)後、一般の隔離弁は直ちに閉となるため、地震時の動的機能維持の必要はない。ただし、LOCA後、ECCS等の停止に伴う原子炉格納容器バウンダリ閉止に必要な弁は、S ₁ 地震後機能維持を要す。 また、他の動的機能分類で動的機能が要求される弁は除く。
A	(i) 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に必要な動的設備	① 非常用炉心冷却系 1) 高圧炉心スプレイ系 2) 低圧炉心スプレイ系 3) 残留熱除去系(低圧炉心注水モード)	① 弁, ② ポンプ ① 弁, ② ポンプ ① 弁, ② ポンプ	$\beta(S_1)$ $\beta(S_1)$ $\beta(S_1)$	A _S クラスの(ii)の③で確認 図II-7 参照 図II-8 参照
		② 非常用補機冷却系	① 弁, ② ポンプ	$\beta(S_1)$	A _S クラスの(ii)の⑤で確認
		③ 非常用電源設備	① ディーゼル ② 弁, ③ ポンプ	$\beta(S_1)$	A _S クラスの(ii)の⑥で確認
	(ii) 放射性物質の放出を伴うような事故の際にその外部放散を抑制するために必要な動的設備で、上記耐震A _S クラスの(iv)以外の設備	① 残留熱除去系(PCVスプレイモード)	① 弁, ② ポンプ	$\beta(S_1)$	図II-9 参照
		② 可燃性ガス濃度制御系	① ブ ロ ア	$\beta(S_1)$	図II-10 参照
		③ 非常用ガス処理系	① 排気ファン	$\beta(S_1)$	図II-11 参照
		④ 非常用補機冷却系	① 弁, ② ポンプ	$\beta(S_1)$	A _S クラスの(ii)の⑤で確認
		⑤ 非常用電源設備	① ディーゼル ② 弁, ③ ポンプ	$\beta(S_1)$	A _S クラスの(ii)の⑥で確認
	(iii) 使用済燃料プール水を捕給するために必要な動的設備	① 燃料プール水補給設備(非常用)	① 弁, ② ポンプ	$\beta(S_1)$	

図2 J E A G 4 6 0 1 - 1984における動的機能が要求される機器の例 (3/3)

表2 動的機能維持要求の除外理由分類表

番号	動的機能維持要求が除外される理由
①	原子炉圧力容器ヘッドスプレイラインに設置されている逆止弁であり、冷却材喪失事故後の動作要求がないため（「閉」維持）、評価対象外。
②	原子炉圧力容器ヘッドスプレイラインに設置されているプラント通常運転時「閉」の電動弁であり、冷却材喪失事故後の動作要求がないため（「閉」維持）、評価対象外。
③	ドライウエル機器ドレンサンプ出口ラインに設置されている格納容器隔離弁であり、冷却材喪失事故直後に動作（「開」→「閉」）、その後動作要求がないため（「閉」維持）、評価対象外。
④	ドライウエル床ドレンサンプ出口ラインに設置されている格納容器隔離弁であり、冷却材喪失事故直後に動作（「開」→「閉」）、その後動作要求がないため（「閉」維持）、評価対象外。
⑤	原子炉格納容器への窒素供給ラインに設置されている格納容器隔離弁であり、冷却材喪失事故直後の動作（「開」又は「閉」→「閉」）、その後動作要求がないため（「閉」維持）、評価対象外。
⑥	原子炉格納容器の窒素排気ラインに設置されている格納容器隔離弁であり、冷却材喪失事故直後の動作（「開」又は「閉」→「閉」）、その後動作要求がないため（「閉」維持）、評価対象外。

2.3 重大事故等対処施設施設のうち動的機能維持評価対象から除外している弁の整理

重大事故等対処施設として工認の要目表及び基本設計方針に記載のある弁のうち、表1で動的機能維持が要求される弁として整理している弁を除いて、動的機能維持評価の要求の有無を整理した結果、重大事故等対処施設として動的機能維持が要求される弁が新たに追加されないことを確認している。動的機能維持要求が除外される理由について表3に示す。

表 3 重大事故等対象施設における動的機能維持要求弁の整理結果

No.	系統	弁番号	弁名称	弁型式	重大事故等対処設備として動的機能維持要求が除外される理由
1	RHR	E11-F009A	残留熱除去系 A 系格納容器スプレイ流量調整弁	電動グロープ弁	残留熱除去系の格納容器スプレイラインに設置されている電動弁であり、重大事故等直後に動作（「閉」→「開」）、その後動作要求が無いため、評価対象外。
2	RHR	E11-F080	代替循環冷却ポンプ吸込弁	電動ゲート弁	代替循環冷却系ポンプの吸込ラインに設置されている電動弁であり、重大事故等直後に動作（「閉」→「開」）、その後動作要求が無いため、評価対象外。
3	RHR	E11-F082	代替循環冷却ポンプ流量調整弁	電動グロープ弁	代替循環冷却系ポンプの吸込ラインに設置されている電動弁であり、重大事故等直後に動作（「閉」→「開」）、その後動作要求が無いため、評価対象外。
4	RCIC	E51-F003	原子炉隔離時冷却系注入弁	電動グロープ弁	原子炉隔離時冷却系の原子炉注入ラインに設置されている電動弁であり、重大事故等直後に動作（「閉」→「開」）、その後動作要求が無いため、評価対象外。
5	RCIC	E51-F009	原子炉隔離時冷却系タービン止め弁	電動グロープ弁	原子炉隔離時冷却系ポンプの蒸気ラインに設置されている電動弁であり、重大事故等直後に動作（「閉」→「開」）、その後動作要求が無いため、評価対象外。
6	RCIC	E51-F017	原子炉隔離時冷却系冷却水ライン止め弁	電動グロープ弁	原子炉隔離時冷却系ポンプの冷却ラインに設置されている電動弁であり、重大事故等直後に動作（「閉」→「開」）、その後動作要求が無いため、評価対象外。
7	RCIC	E51-F082	原子炉隔離時冷却系蒸気供給ライン分離弁	電動ゲート弁	原子炉隔離時冷却系の蒸気ラインに設置されている電動弁であり、重大事故等直後に動作（「開」→「閉」）、その後動作要求が無いため、評価対象外。
8	HPAC	E61-F003	高圧代替注水系注入弁	電動グロープ弁	高圧代替注水系の原子炉注入ラインに設置されている電動弁であり、重大事故等直後に動作（「閉」→「開」）、その後動作要求が無いため、評価対象外。
9	HPAC	E61-F050	高圧代替注水系タービン止め弁	電動グロープ弁	高圧代替注水系ポンプの蒸気ラインに設置されている電動弁であり、重大事故等直後に動作（「閉」→「開」）、その後動作要求が無いため、評価対象外。
10	HPAC	E61-F064	高圧代替注水系蒸気供給ライン分離弁	電動ゲート弁	高圧代替注水系の蒸気ラインに設置されている電動弁であり、重大事故等直後に動作（「閉」→「開」）、その後動作要求が無いため、評価対象外。
11	FPMUW	P15-F001	燃料プール補給水系ポンプ吸込弁	電動ゲート弁	燃料プール補給水系ポンプ吸込ラインに設置されている電動弁であり、重大事故等直後に動作（「開」→「閉」）、その後動作要求が無いため、評価対象外。
12	AC	T48-F043	原子炉格納容器耐圧強化ベント用連絡配管隔離弁	電動バタフライ弁	原子炉格納容器圧力逃がし装置のベントラインに設置されている電動弁であり、ベント操作実施時に動作（「閉」→「開」）、その後動作要求が無いため、評価対象外。
13	AC	T48-F044	原子炉格納容器耐圧強化ベント用連絡配管止め弁	電動バタフライ弁	原子炉格納容器圧力逃がし装置のベントラインに設置されている電動弁であり、ベント操作実施時に動作（「閉」→「開」）、その後動作要求が無いため、評価対象外。
14	AC	T48-F045	格納容器排気非常用ガス処理系側止め弁	空気作動バタフライ弁	原子炉格納容器排気ラインの非常用ガス処理系側に設置されている空気作動弁であり、ベント操作実施時に動作（「閉」→「開」）、その後動作要求が無いため、評価対象外。
15	FCVS	T63-F001	原子炉格納容器フィルタベント系ベントライン隔離弁 (A)	電動バタフライ弁	原子炉格納容器圧力逃がし装置のベントラインに設置されている電動弁であり、ベント操作実施時に手動操作（「閉」→「開」）が可能であるため、評価対象外。
16	FCVS	F63-F002	原子炉格納容器フィルタベント系ベントライン隔離弁 (B)	電動バタフライ弁	原子炉格納容器圧力逃がし装置のベントラインに設置されている電動弁であり、ベント操作実施時に手動操作（「閉」→「開」）が可能であるため、評価対象外。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-補-E-19-0600-15_改4

補足-600-15 地震時における燃料被覆管の閉じ込め機能の維持について

- I ジルカロイ設計疲労曲線の高燃焼度燃料への適用性について
- II 下部端栓溶接部の応力評価に使用する有限要素法解析コードについて
- III 下部端栓溶接部の有限要素法を用いた解析モデルについて
- IV 燃料被覆管応力評価におけるモンテカルロ法による統計処理について
- V 9×9 燃料 (B 型) における地震時鉛直方向加速度の考慮方法について
- VI 9×9 燃料 (A 型) と 9×9 燃料 (B 型) の応力評価における相違点について
- VII 燃料被覆管の応力評価に用いる各評価手法の保守性について

I ジルカロイ設計疲労曲線の高燃焼度燃料への適用性について

目 次

1. はじめに	1
2. ジルカロイ設計疲労曲線の適用性.....	1
3. 検討結果	2
4. 引用文献	2

1. はじめに

地震時の燃料被覆管の閉じ込め機能維持の評価項目として、下部端栓溶接部応力解析より得られた応力振幅と Langer-0' Donnell のジルカロイ設計疲労曲線⁽¹⁾に基づく疲労評価を実施している。このジルカロイ設計疲労曲線は、ジルカロイ-2 の未照射材及び照射材についての疲労試験結果に基づくものであるが、試験に供された照射材の照射量は $1.5 \times 10^{21} \text{cm}^{-2} \sim 5.5 \times 10^{21} \text{cm}^{-2}$ ($> 0.625 \text{eV}^*1$) であり、疲労特性の照射量依存性は小さいと報告されている。

その後実施された研究⁽²⁾において、高速中性子照射量 $1.3 \times 10^{22} \text{cm}^{-2}$ までのジルカロイ-2 被覆管の疲労試験データが採取されている。

本資料は、Langer-0' Donnell のジルカロイ設計疲労曲線の 9×9 燃料の被覆管疲労評価への適用性について、過去の研究で実施されたジルカロイ-2 被覆管の疲労試験のデータに基づいて検討した結果を示すものである。

なお、本資料が関連する工認図書は以下のとおり。

- ・「VI-2-3-3-1 燃料集合体の耐震性についての計算書」

2. ジルカロイ設計疲労曲線の適用性

Langer-0' Donnell のジルカロイ設計疲労曲線⁽¹⁾は、ジルカロイ-2 の未照射材及び照射材の疲労試験結果をベースに、未照射材及び照射材のベストフィット曲線について最大平均応力の補正^{*2}を施した上で、応力を 1/2 倍した曲線及びサイクル数を 1/20 倍した曲線の 4 つの曲線の包絡線を設計疲労曲線としたものである。(図 I-1)

未照射材の疲労試験では室温及び 316°C (600° F) における、ジルカロイ-2 平滑材 (圧延-焼鈍材及び溶接材) を用いた軸方向引張・圧縮及び曲げの完全交番試験 (平均ひずみが 0) による定ひずみ振幅データ (ひずみの負荷方向は圧延方向, 圧延直角方向, 溶接方向及び溶接直角方向) が得られている。ここで、疲労試験結果の縦軸は、仮想的な弾性挙動を仮定した下記の式を用いて、疲労試験におけるひずみ振幅から応力振幅に換算されたものである。

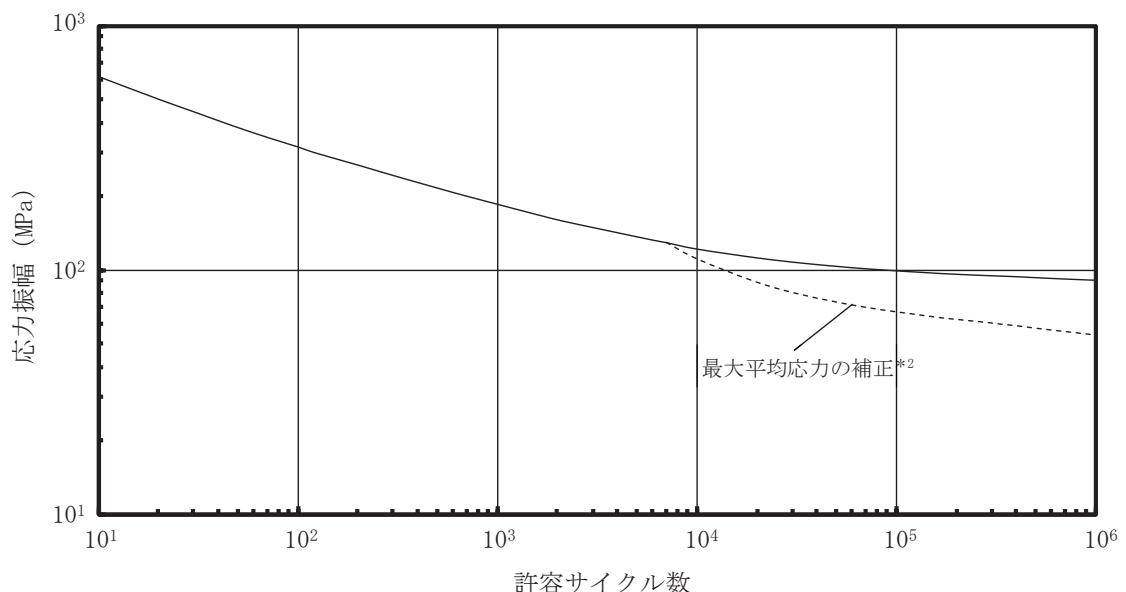


図 I-1 ジルカロイ設計疲労曲線

$$S_a = E \cdot \epsilon_a = E \cdot \epsilon_t / 2$$

ここで、 S_a : 応力振幅 (psi)

E : ヤング率 (室温 ; 14.0×10^6 psi, 316°C ; 11.5×10^6 psi)

ϵ_a : 全ひずみ振幅 (-)

ϵ_t : ひずみ範囲 (ピーク-ピークの変化幅)

照射材の疲労試験は、照射量 $1.5 \times 10^{21} \text{cm}^{-2}$ ~ $5.5 \times 10^{21} \text{cm}^{-2}$ ($>0.625 \text{eV}^*1$) の供試材を用いて、 316°C における軸方向引張・圧縮及び曲げの完全交番試験が行われており、約 $1.0 \times 10^{21} \text{cm}^{-2}$ 以上では照射による疲労特性への影響は小さいと報告されている。

また、過去の研究⁽²⁾において、実機的设计条件を超える高速中性子照射量約 $1.3 \times 10^{22} \text{cm}^{-2}$ までのジルカロイ-2 燃料被覆管の疲労試験データが採取され、Langer-0' Donnell の照射材疲労試験データに包絡されることが確認されている。なお、 9×9 燃料の燃料被覆管応力解析に係わる設計パラメータの高速中性子照射量は $1.2 \times 10^{22} \text{cm}^{-2}$ (9×9 燃料 (A 型))⁽³⁾及び $1.3 \times 10^{22} \text{cm}^{-2}$ (9×9 燃料 (B 型))⁽⁴⁾であり、上記疲労試験^{(1), (2)}の範囲内にある。

3. 検討結果

9×9 燃料の燃料被覆管応力解析に係わる設計パラメータの高速中性子照射量 $1.2 \times 10^{22} \text{cm}^{-2}$ (9×9 燃料 (A 型))⁽³⁾及び $1.3 \times 10^{22} \text{cm}^{-2}$ (9×9 燃料 (B 型))⁽⁴⁾以上の $1.3 \times 10^{22} \text{cm}^{-2}$ まで照射されたジルカロイ-2 被覆管を用いた疲労試験データを Langer-0' Donnell のジルカロイ設計疲労曲線⁽¹⁾と比較し、ジルカロイ設計疲労曲線は、高照射量の被覆管の疲労試験データに対して十分な余裕を有しており、 9×9 燃料に適用可能と判断された。

4. 引用文献

- (1) W. J. O' Donnell and B. F. Langer, "Fatigue Design Basis for Zircaloy Components", Nuclear Science and Engineering, 20, 1-12 (1964)
- (2) S. Ishimoto, et al., "Improved Zr Alloys for High Burnup BWR Fuel", Top_Fuel 2006 (2006 International Meeting on LWR Fuel Performance, 22-26 October 2006, Salamanca, Spain)
- (3) 「沸騰水型原子力発電所 9×9 燃料について」, 株式会社グローバル・ニュークリア・フュエル・ジャパン, G L R-001, 平成 15 年 4 月
- (4) 「BWR の 9×9 燃料について」, 原子燃料工業株式会社, N L R-15 改訂 4, 平成 22 年 2 月

注記*1 : 熱中性子を除く高エネルギー領域 ($>0.625 \text{eV}$ の中性子束は、高速中性子束 ($\geq 1 \text{MeV}$) の約 4 倍)

*2 : 疲労強度は平均応力により変化するため、応力振幅が降伏応力以下となる範囲について、最大平均応力を中心に繰返し応力が作用するとした保守的な補正を行う

II 下部端栓溶接部の応力評価に使用する有限要素法解析コードについて

目 次

1. 概要	1
2. ANSYS の概要	1
3. 下部端栓溶接部の応力評価の方法	1
4. 再現解析の条件	3
5. 再現解析の結果	3
6. 検討結果	3
7. 引用文献	4

1. 概要

下部端栓溶接部の応力評価は、端栓溶接部が切欠き形状を含む複雑形状のため有限要素法を用いている。9×9 燃料（A 型）の下部端栓溶接部の応力評価に使用する有限要素法解析コードについては、既認可の評価⁽¹⁾では MARC を使用しているが、「燃料集合体の耐震性についての計算書」に記載した応力評価においては、ANSYS を使用している。MARC と ANSYS の概要を比較して、表Ⅱ-1-1 に示す。MARC と ANSYS は、ほぼ同年代に開発され、その後 40 年以上の実績を有した汎用の有限要素法解析コードである。また、両者とも伝熱解析や構造解析だけでなく幅広い解析機能を有した同等の解析が可能な解析コードである。いずれのコードも様々な分野の構造解析に広く使用されている汎用の解析コードであり、ANSYS は 9×9 燃料（B 型）の下部端栓溶接部の応力評価や工事計画認可申請書の応力解析等、これまで多くの構造解析に対し使用実績がある。

本資料は、9×9 燃料（A 型）の評価に ANSYS を適用するにあたり、既認可の 9×9 燃料（A 型）の下部端栓溶接部応力解析に使用された MARC と同等な入力条件（有限要素モデル、ペレットやジルカロイ被覆管の物性値、荷重条件及び境界条件）を設定可能なこと、MARC と ANSYS とで同等な解析結果となることを説明する。

なお、本資料が関連する工認図書は以下のとおり。

- ・「VI-2-3-3-1 燃料集合体の耐震性についての計算書」

2. ANSYS の概要

ANSYS は、スワンソン・アナリシス・システムズ（現、アンシス）により開発された有限要素法による解析コードである。

ANSYS は広範囲にわたる多目的有限要素法解析コードであり、伝熱、構造、流体、電磁界、マルチフィジックス解析を実施するものである。

ANSYS は、ISO9001 及び ASME NQA-1 の認証を受けた品質保証システムのもとで開発され、アメリカ合衆国原子力規制委員会による 10CFR50 及び 10CFR21 の要求を満たしており、数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、機械、建築、土木等の様々な分野の構造解析に広く利用されている。また、9×9 燃料（B 型）の原子炉設置（変更）許可申請書や燃料体設計認可申請書における下部端栓溶接部の応力評価に対し使用実績がある。

ANSYS を適用するにあたり、以下の確認を行っている。

- ・開発元のリリースノート of 例題集において、多くの解析例に対する理論解と解析結果との比較により検証されている。
- ・ANSYS 配布時に同梱された ANSYS Mechanical APDL Verification Testing Package を入力とした解析により、上記例題集の検証を再現できることを確認している。
- ・ANSYS の運用環境について、開発元から提示された要件を満足していることを確認している。

3. 下部端栓溶接部の応力評価の方法

MARC による既認可の解析結果と ANSYS による解析結果を比較するため、MARC による下部端栓部応力評価と同等の入力条件に基づき ANSYS による解析（再現解析）を実施し、MARC と ANSYS の設計比の比較を行った。

(1) 下部端栓溶接部の応力評価モデル

図 II-3-1 に、下部端栓溶接部の応力評価のフローを示す。また図 II-3-2 に、再現解析で使用した ANSYS の熱解析及び機械解析のモデルを示す。

下部端栓溶接部の応力評価では、最初に下部端栓溶接部近傍の下部端栓、被覆管及びペレットをモデル化し、有限要素法を用いた熱解析により下部端栓溶接部近傍での温度分布を評価する。次に、熱解析で得られた下部端栓溶接部近傍の温度分布を読み込み、熱膨張差による熱応力の分布、通常運転時及び過渡時における荷重条件に基づき発生する応力分布を、有限要素法を用いた機械解析により評価する。

なお、ペレット及び被覆管等の物性値については、燃料棒熱・機械設計コード「PRIME」に組み込まれている物性モデル（以下、PRIME モデルという）を用い、物性値以外の燃料棒特性については PRIME により別途解析される燃料棒熱・機械解析における統計解析結果に基づいて入力値を設定する。

(2) 下部端栓溶接部の熱解析での入力データ

通常運転時及び過渡時における下部端栓溶接部近傍の温度分布を評価するため、以下の項目を入力している。

- ・ペレットの発熱
- ・ジルカロイ部材の γ 発熱
- ・ペレット－被覆管ギャップ熱伝達
- ・被覆管表面熱伝達係数
- ・ペレット及びジルカロイ部材の熱伝導率

なお、解析モデル上下端は断熱の境界条件とし、ペレット－下部端栓接触面には熱抵抗がないものとして、上記の保守側の入力と合わせて、下部端栓溶接部近傍の温度分布による熱応力が大きくなるような解析を実施する。

(3) 下部端栓溶接部の応力評価で考慮する荷重

通常運転時及び過渡時に下部端栓溶接部に作用する荷重として、以下を考慮する。

- ・下部端栓及び被覆管部における温度分布（熱解析結果を読み込む）
- ・燃料棒内圧
- ・冷却材圧力
- ・内外圧力差による軸方向荷重（軸方向応力）
- ・被覆管周方向温度差及び端栓取付角公差による初期曲りに基づく曲げ荷重（曲げ応力）

(4) 設計比の評価

設計比の評価では、燃料被覆管温度、燃料棒内圧、炉心条件、燃料棒寸法及び許容応力の統計的分布を考慮し、それぞれの 95% 確率上/下限値に基づき解析結果が保守的となるように設定した入力値を用いて決定論的評価を実施する。応力計算は、下部端栓溶接部に発生する三軸方向（半径方向、円周方向及び軸方向）の応力を解析し、それらより相当応力を計算する。また、許容応力については下部端栓溶接部の温度及び照射の影響を考慮した保守側の 95% 確率下

限值を用いる。

4. 再現解析の条件

以下に、再現解析の条件を示す。また、MARC 及び ANSYS による下部端栓溶接部の応力評価における解析入力値の比較を表 II-4-1 にまとめる。同表に示すとおり、MARC と ANSYS の解析入力値は、一部の物性値について温度依存性を関数式で入力するかテーブル形式で入力するかの差があることを除いてはすべて同一であり、同等な入力条件を設定可能である。

(1) 燃料タイプ：9×9 燃料 (A 型)

(2) 評価部位：下部端栓溶接部

(3) 解析コード：

①有限要素法解析コード MARC ver. K4

②有限要素法解析コード ANSYS ver. 14

(4) 評価点：燃料寿命初期，中期，末期*¹

(5) 運転状態：圧力過渡 (冷却材圧力 MPa[abs] (公称値)) *²

(6) 考慮する荷重：3. (3) のとおり。

(7) 許容応力：引張強さ (S_u)

注記*¹：燃料寿命初期，中期，末期は燃料棒熱・機械解析で設定された評価点を引き継ぎ，炉内滞在期間がそれぞれ 0 年，2.2 年，8.0 年に相当する評価点。

*²：下部端栓部の燃料棒の出力は低く，出力過渡時に発生する応力は圧力過渡時の応力より小さいため，圧力過渡時を評価対象とした。

5. 再現解析の結果

表 II-5-1 に再現解析結果を示す。MARC と ANSYS による同等な入力条件に基づく解析結果の差分は 0.02 であり，判定基準 (設計比が 1 以下であること) に対し十分小さく同等な結果が得られた。

6. 検討結果

MARC と ANSYS による同等な入力条件が設定可能であり，同等な入力に基づく再現解析で，下部端栓溶接部の解析モデルに負荷した温度分布と機械的荷重の重畳した変形挙動に基づく応力について同等な結果が得られた。

これらの解析の機械的荷重には地震時の荷重は含まれていないが，被覆管周方向温度差及び端栓取付角公差による初期曲りに基づく曲げ荷重及び内外圧力差による軸方向荷重が地震時の荷重と同様に解析モデル上端に負荷されていることから，負荷する荷重は増大するが地震時の荷重についても同様に解析可能と考えられる。

以上のことから，下部端栓溶接部の地震時の応力評価への ANSYS の適用は支障ないものと考えられる。

7. 引用文献

- (1) 女川原子力発電所第2号機「燃料体設計認可申請書」(GNF 燃設認第35号, 平成21年10月16日認可)

表 II-1-1 MARC と ANSYS の概要

項目	MARC	ANSYS	
開発元	ペドロ・マサール (Pedro Marcal) 博士 MARC Co. → MSC Software Co. (米国)	Swanson Analysis Systems, Inc. → ANSYS, Inc. (米国)	
開発時期	1960 年代後半	1970 年	
離散化手法	有限要素法	同左	
解析機能	伝熱解析	定常／非定常解析	同左
	構造解析	線形／非線形静解析, 動解析	同左
	その他	電磁場, 流体, 音響及び連成解析等	同左

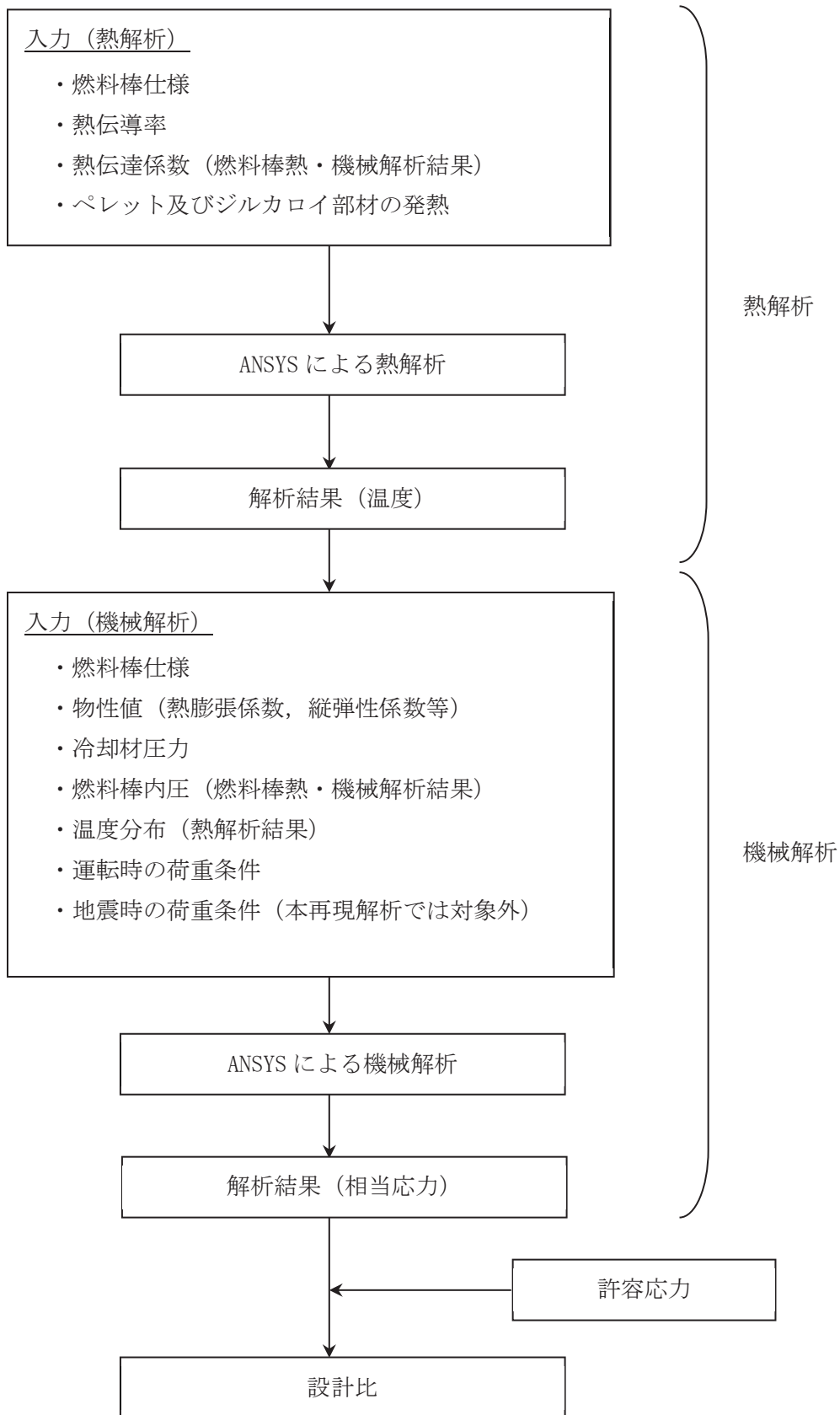
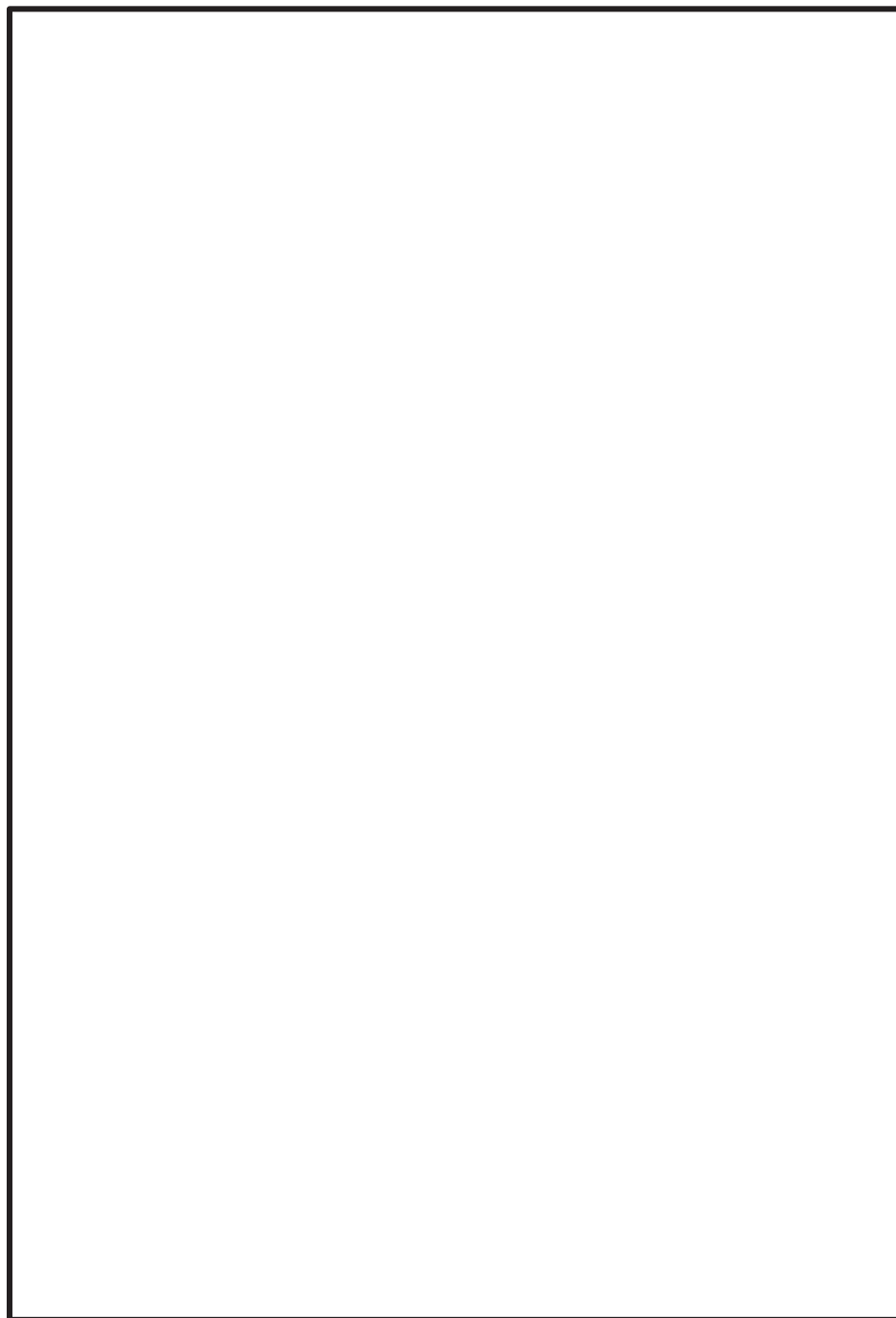


図 II-3-1 下部端栓溶接部の応力評価のフロー



(1) 熱解析

(2) 機械解析

図 II-3-2 再現解析で使した ANSYS の熱解析及び機械解析の解析モデル

表 II-4-1 MARC 及び ANSYS による下部端栓溶接部の応力評価における解析入力値 (1/2)

解 析	項目	MARC への 入力	ANSYS への 入力

表 II-4-1 MARC 及び ANSYS による下部端栓溶接部の応力評価における解析入力値 (2/2)

解析	項目	MARC への 入力	ANSYS への 入力

表 II-5-1 下部端栓溶接部の再現解析結果

解析コード	運転条件	許容応力	設計比		
			寿命初期	寿命中期	寿命末期
MARC	圧力過渡	S u	0.39	0.42	0.28
ANSYS	同上	同上	0.40	0.40	0.27

Ⅲ 下部端栓溶接部の有限要素法を用いた解析モデルについて

目 次

1. 概要	1
2. 下部端栓溶接部の応力解析モデルの設定の考え方.....	1
2.1 9×9 燃料 (A 型)	1
2.1.1 熱解析モデル	1
2.1.2 機械解析モデル	2
2.1.3 解析モデルにおける要素の形状及び大きさについて.....	2
2.2 9×9 燃料 (B 型)	3
2.2.1 解析モデル	3
2.2.2 解析モデルにおける要素の形状及び大きさについて.....	4

1. 概要

「燃料集合体の耐震性についての計算書」の燃料被覆管の閉じ込め機能の維持に関する下部端栓溶接部の燃料被覆管応力評価においては、図Ⅲ-1-1に示すように、下部端栓溶接部が切欠き形状を含む複雑な形状であることから有限要素法による解析を実施している。

本資料は、有限要素法を用いた下部端栓溶接部の応力解析モデルの設定の考え方について説明するものである。

なお、本資料が関連する工認図書は以下のとおり。

- ・「VI-2-3-3-1 燃料集合体の耐震性についての計算書」

2. 下部端栓溶接部の応力解析モデルの設定の考え方

図Ⅲ-1-1に示すように、下部端栓のペデスタル部はペレットと直接接触しており、ペレットで発生した熱がペデスタル部に流入するため燃料被覆管の溶接部より高温となる。このため、下部端栓の熱膨張量は燃料被覆管より大きく、下部端栓が燃料被覆管を内側から押し上げるため、熱応力が発生する。また、下部端栓溶接部は切欠き形状を有しており、熱応力だけでなく種々の機械的荷重に起因する応力についても応力集中が発生する。このような特徴を考慮し、下部端栓溶接部近傍の温度分布及び応力分布を詳細に解析するため、有限要素法による熱解析及び機械解析を実施している。以下に、下部端栓溶接部の有限要素法を用いた解析モデルの設定の考え方を説明する。

2.1 9×9燃料（A型）

2.1.1 熱解析モデル

図Ⅲ-2-1に9×9燃料（A型）の下部端栓溶接部の応力評価における熱解析モデルの概要を示す。熱解析では、

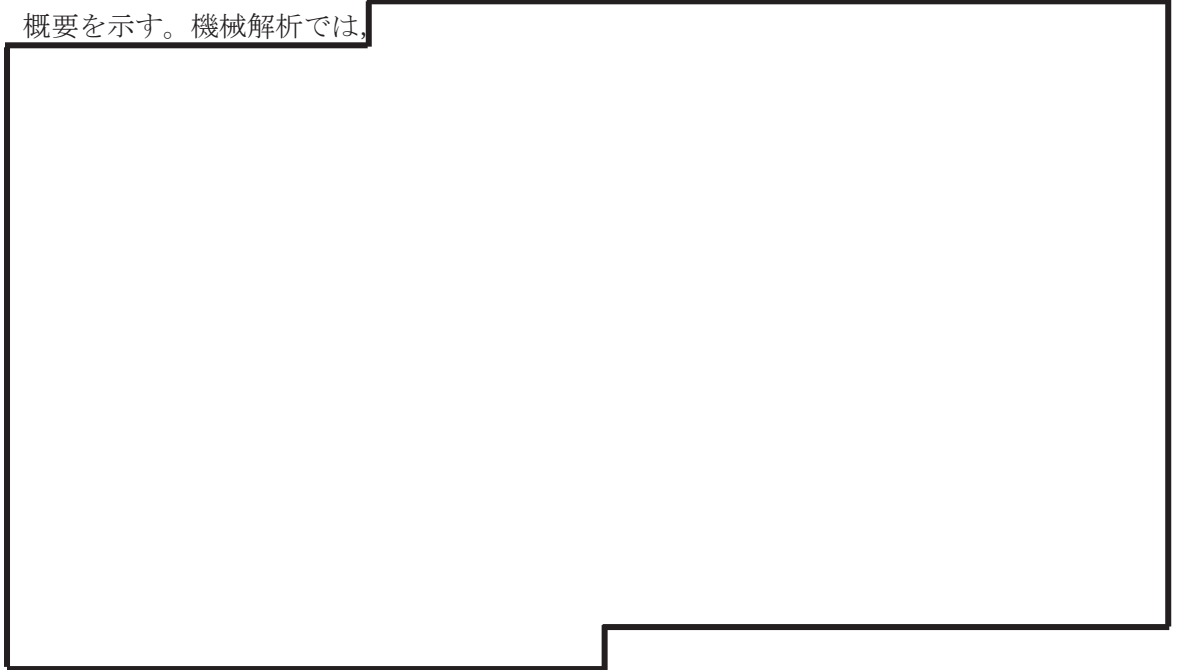
熱解析における有限要素モデルの作成においては、

また、熱解析における有限要素モデルの範囲は、

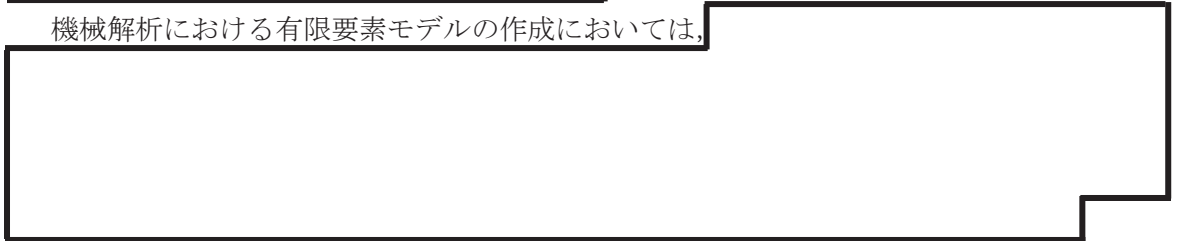


2.1.2 機械解析モデル

図Ⅲ-2-2に、9×9燃料（A型）の下部端栓溶接部の応力評価における機械解析モデルの概要を示す。機械解析では、



機械解析における有限要素モデルの作成においては、

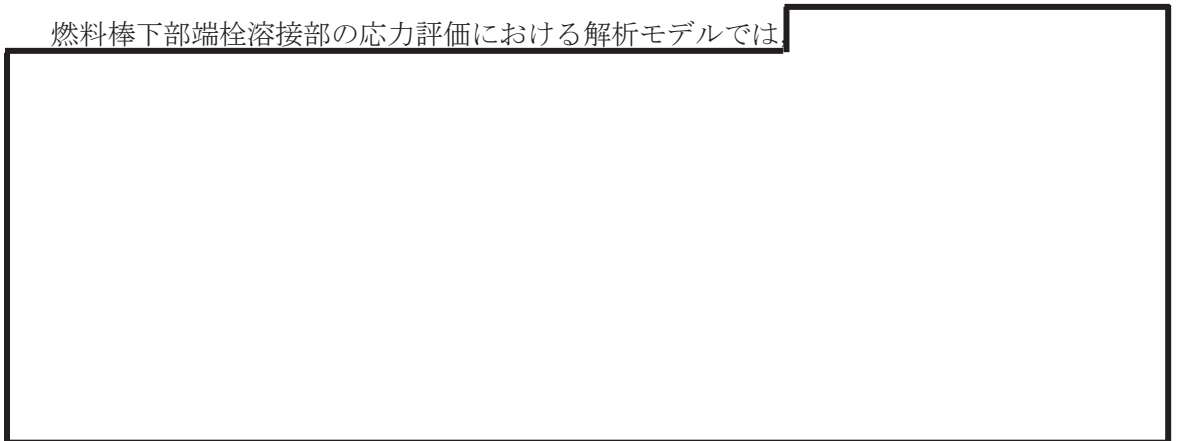


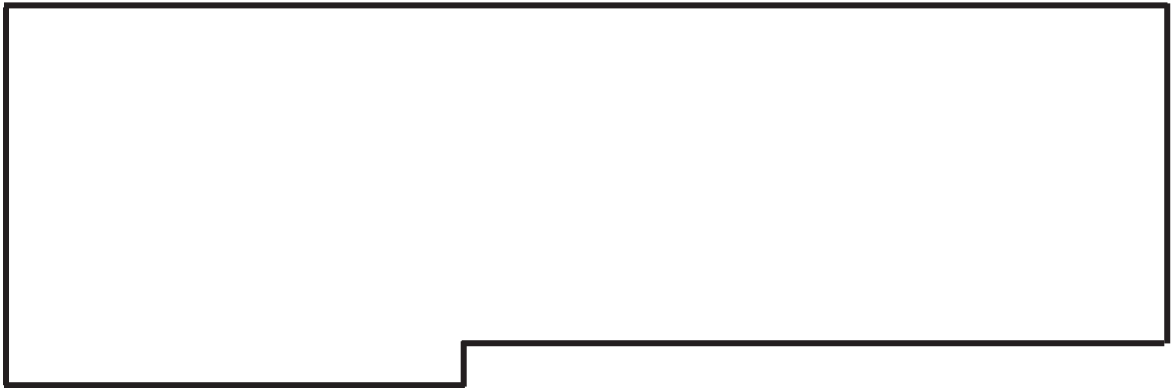
注記*



2.1.3 解析モデルにおける要素の形状及び大きさについて

燃料棒下部端栓溶接部の応力評価における解析モデルでは、





2.2 9×9 燃料 (B 型)

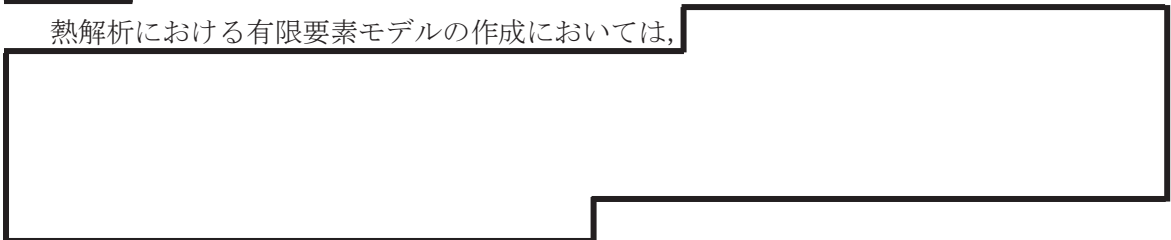
2.2.1 解析モデル

図Ⅲ-2-3 に 9×9 燃料 (B 型) の下部端栓溶接部の応力評価における熱解析モデル及び機械解析モデルの概要を示す。

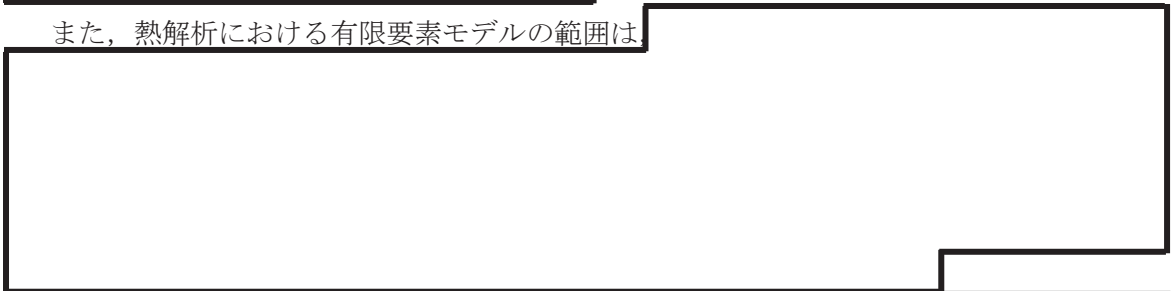
熱解析では、



熱解析における有限要素モデルの作成においては、



また、熱解析における有限要素モデルの範囲は



機械解析では、



機械解析における有限要素モデルの作成においては、



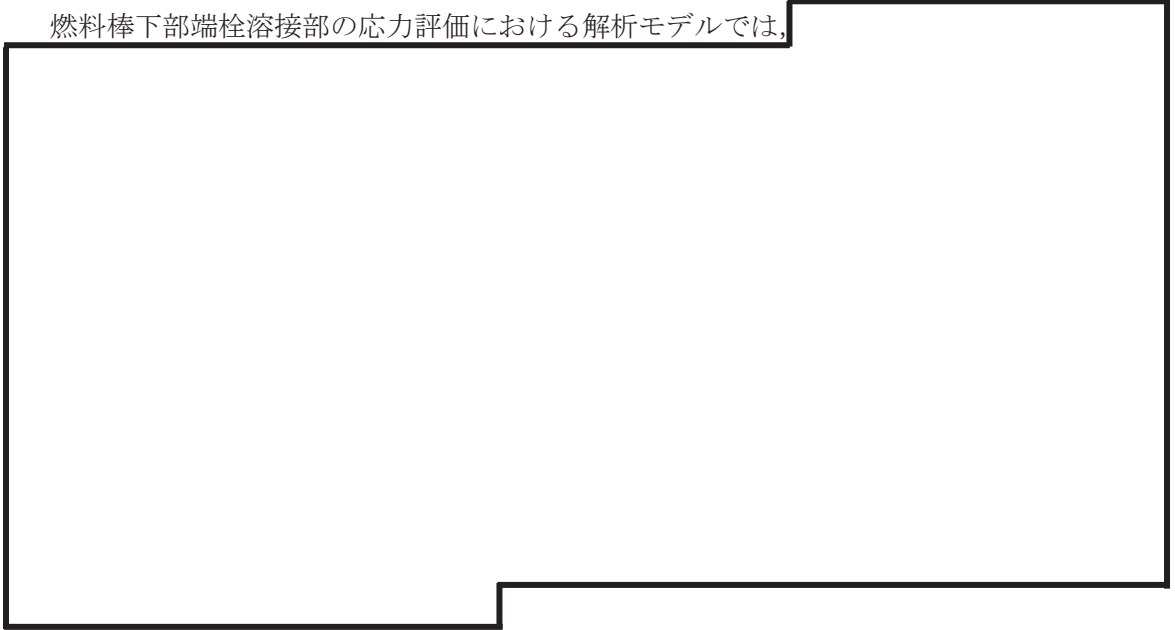


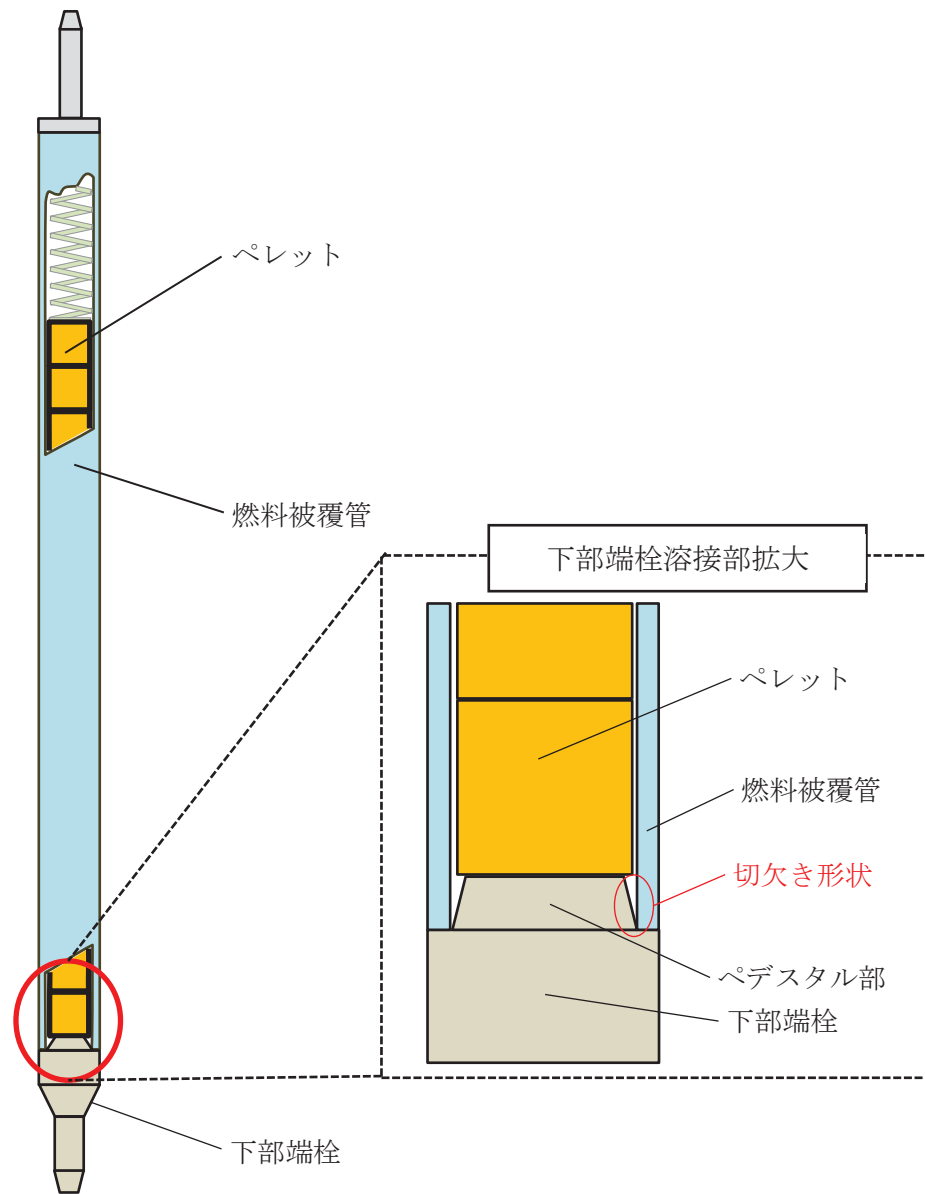
注記*



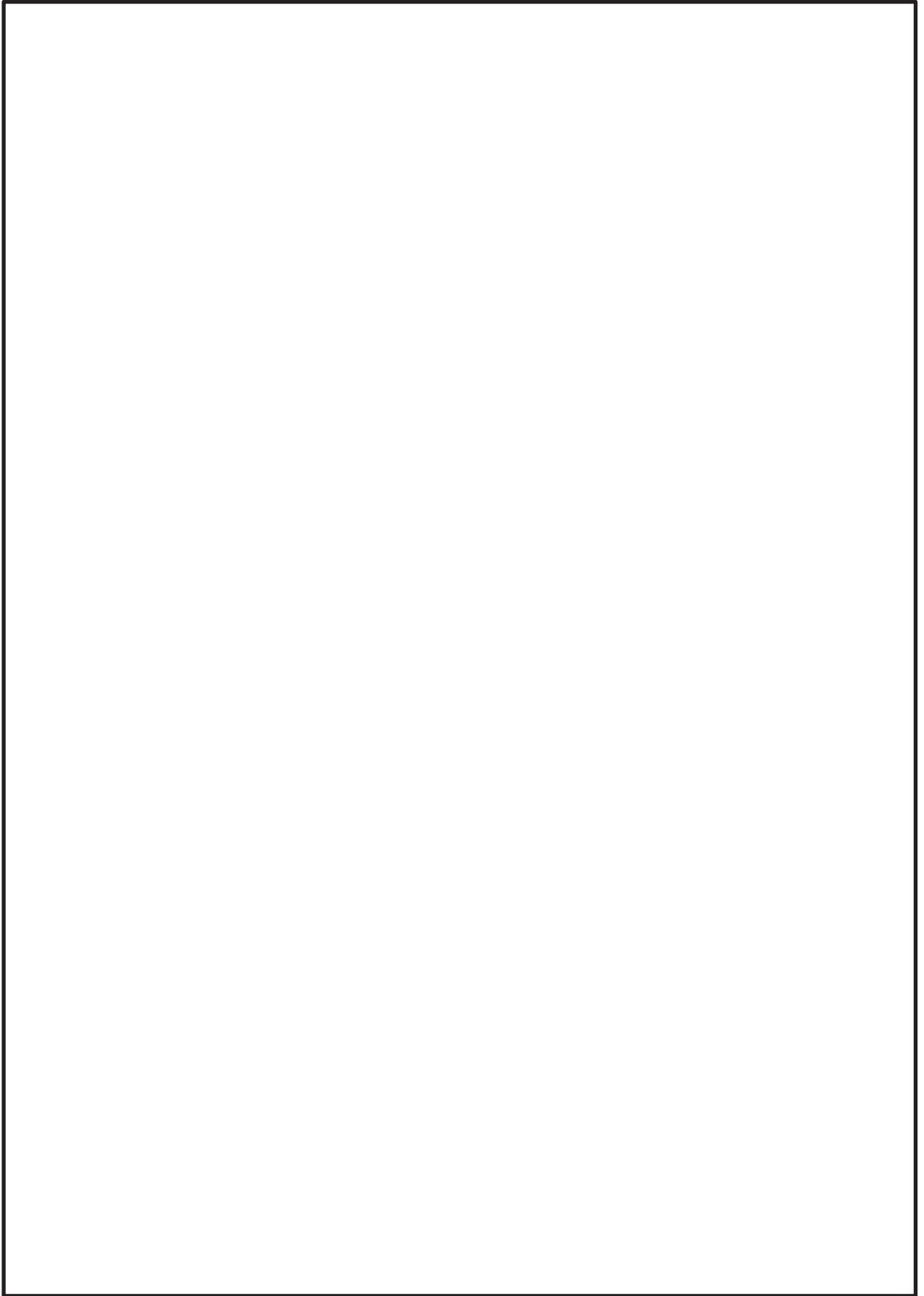
2.2.2 解析モデルにおける要素の形状及び大きさについて

燃料棒下部端栓溶接部の応力評価における解析モデルでは、

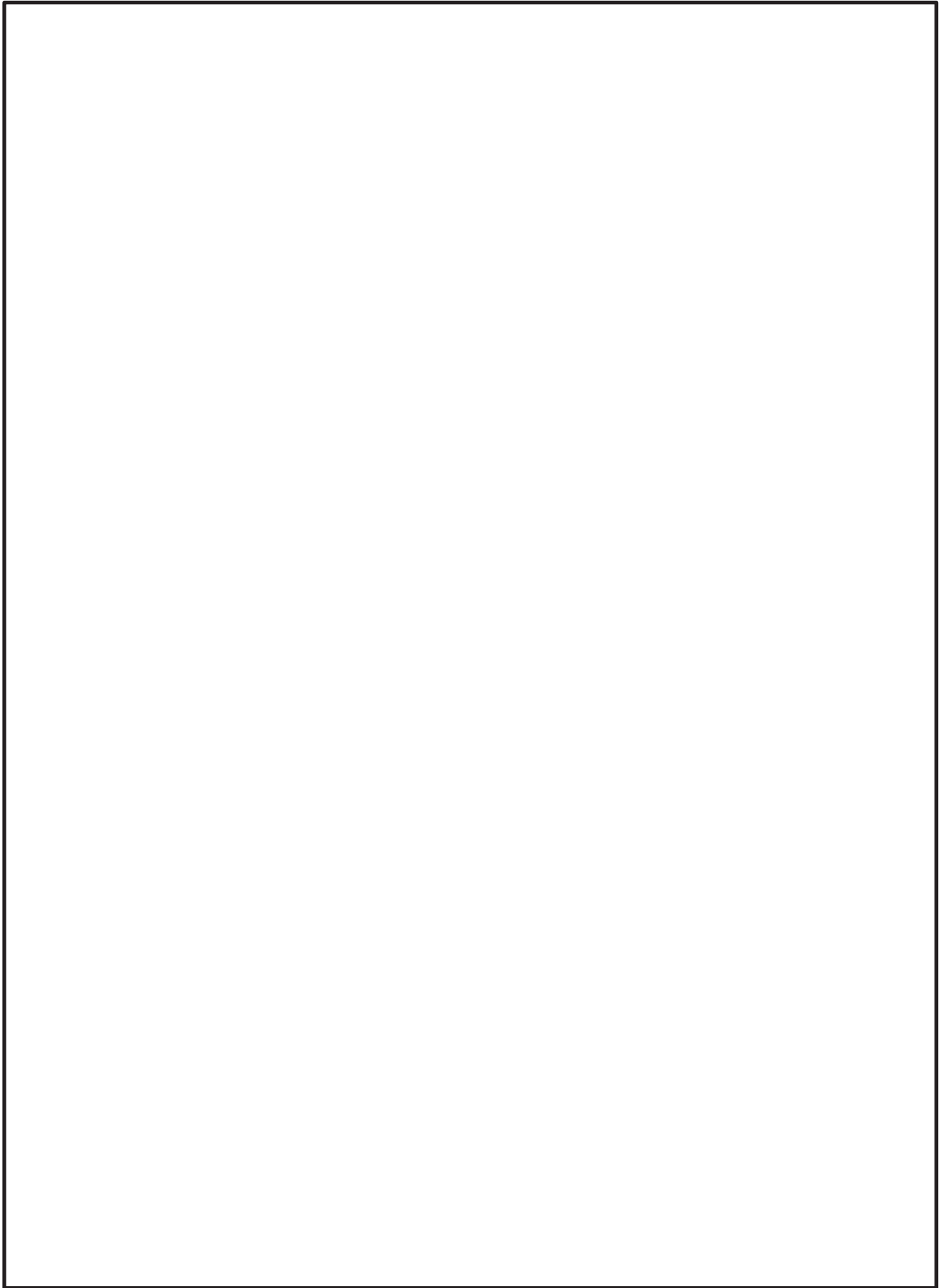




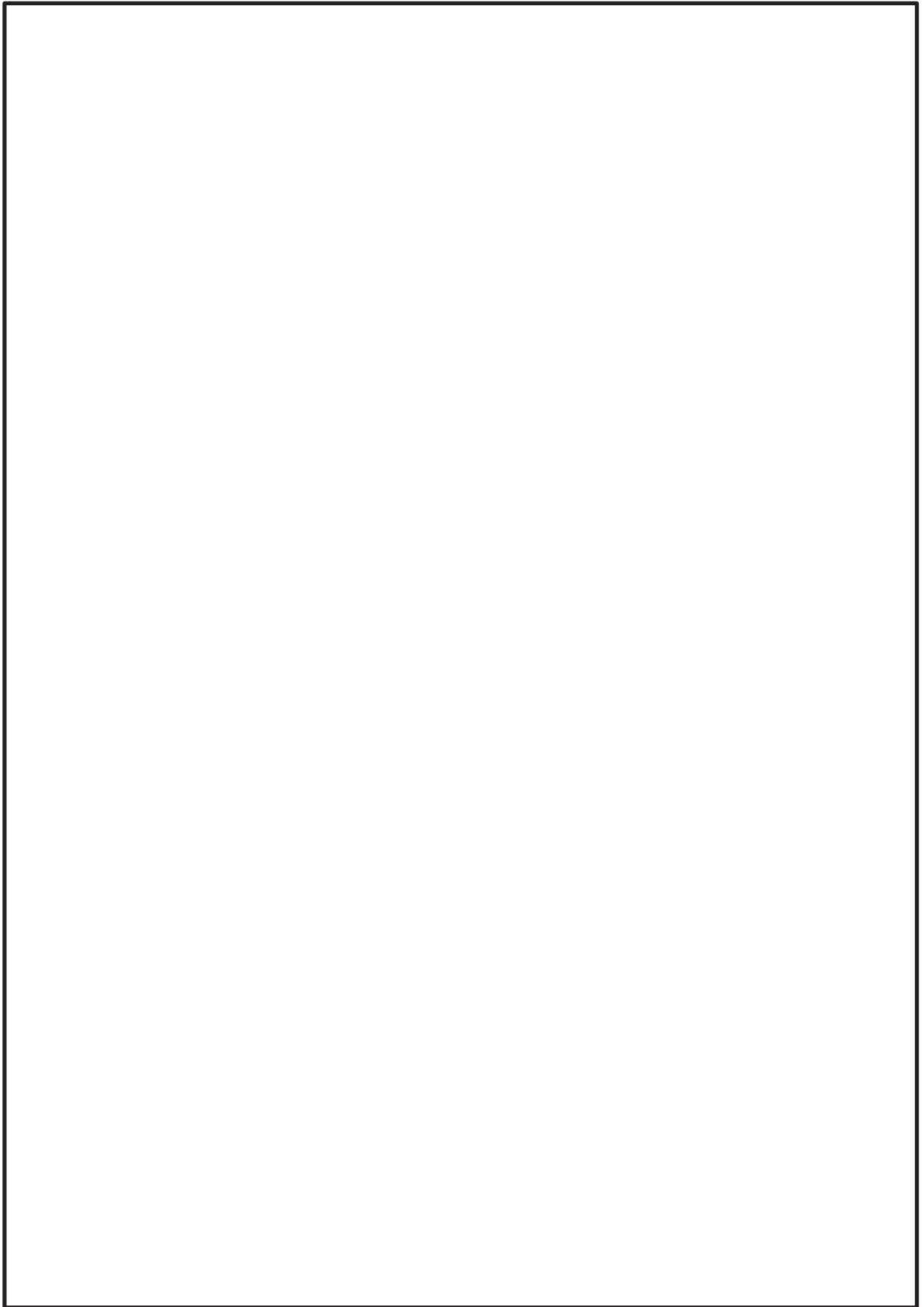
図Ⅲ-1-1 下部端栓溶接部の拡大図



図Ⅲ-2-1 9×9 燃料 (A 型) の下部端栓溶接部の応力評価における熱解析モデルの概要



図Ⅲ-2-2 9×9 燃料 (A 型) の下部端栓溶接部の応力評価における機械解析モデルの概要



図Ⅲ-2-3 9×9 燃料 (B 型) の下部端栓溶接部の応力評価における熱解析及び機械解析モデルの概要

IV 燃料被覆管応力評価におけるモンテカルロ法による統計処理について

目 次

1. 概要 1
2. 燃料被覆管応力評価におけるモンテカルロ法による統計処理について..... 1

1. 概要

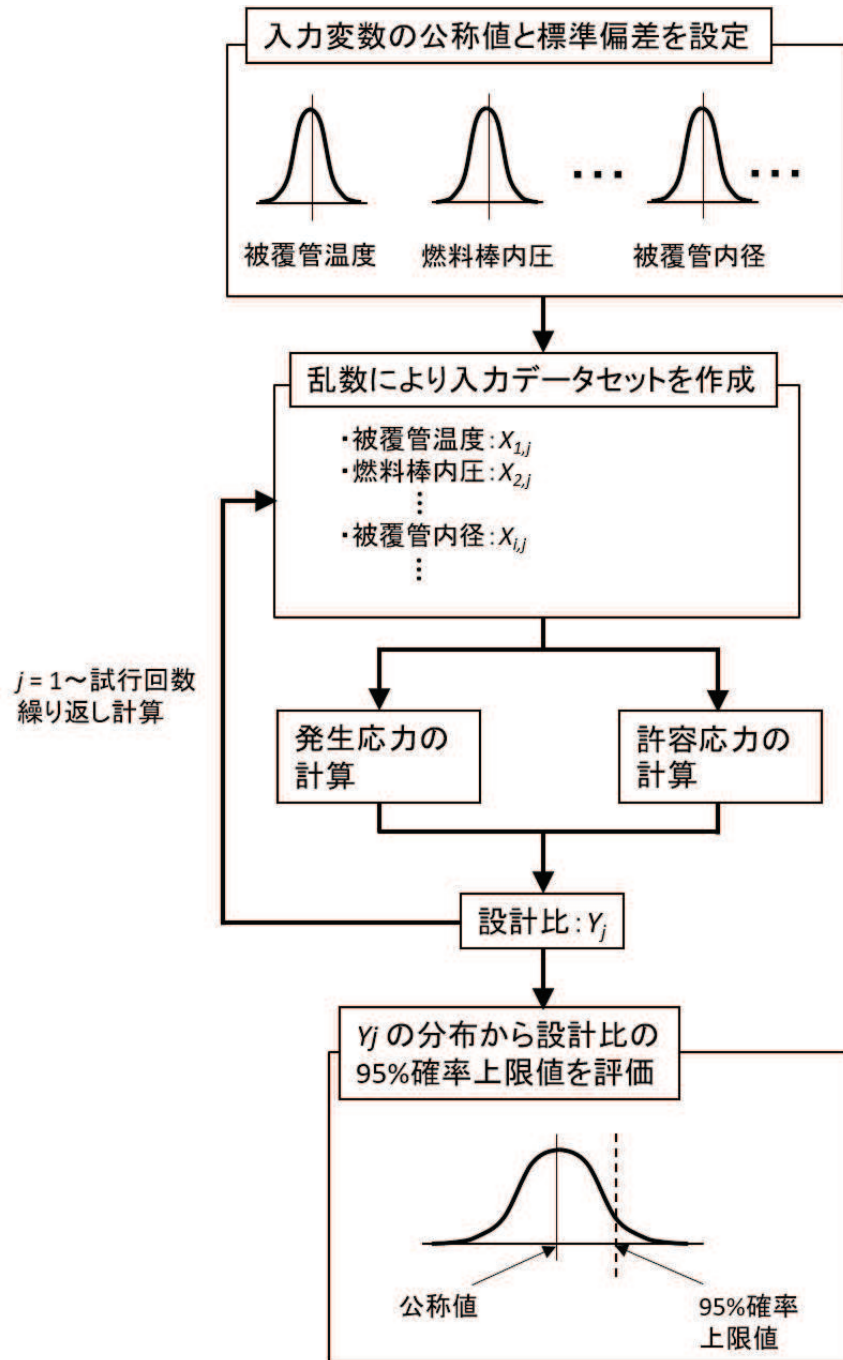
「燃料集合体の耐震性についての計算書」で実施している崩壊熱除去可能な形状の維持及び燃料被覆管の閉じ込め機能の維持に関するスペーサ間及びスペーサ部の燃料被覆管応力評価におけるモンテカルロ法による統計処理について説明するものである。

なお、本資料が関連する工認図書は以下のとおり。

- ・「VI-2-3-3-1 燃料集合体の耐震性についての計算書」

2. 燃料被覆管応力評価におけるモンテカルロ法による統計処理について

燃料被覆管応力評価におけるモンテカルロ法による統計処理の概要フローを図IV-1に示す。モンテカルロ法による統計処理では、入力変数に公称値と標準偏差を定め、一回の試行ごとに統計的分布に従った入力データセットを乱数により作成し、設計比を求める。入力変数の分布形状、公称値及び標準偏差を表IV-1及び表IV-2に示す。統計分布は、製造時の寸法仕様、熱・機械解析の解析結果、試験データ等に基づいて設定しており、各入力変数の設定根拠を表IV-1及び表IV-2に示す。本試行を繰り返すことで設計比の統計的分布を求め、95%確率上限値が1以下であることを確認する。



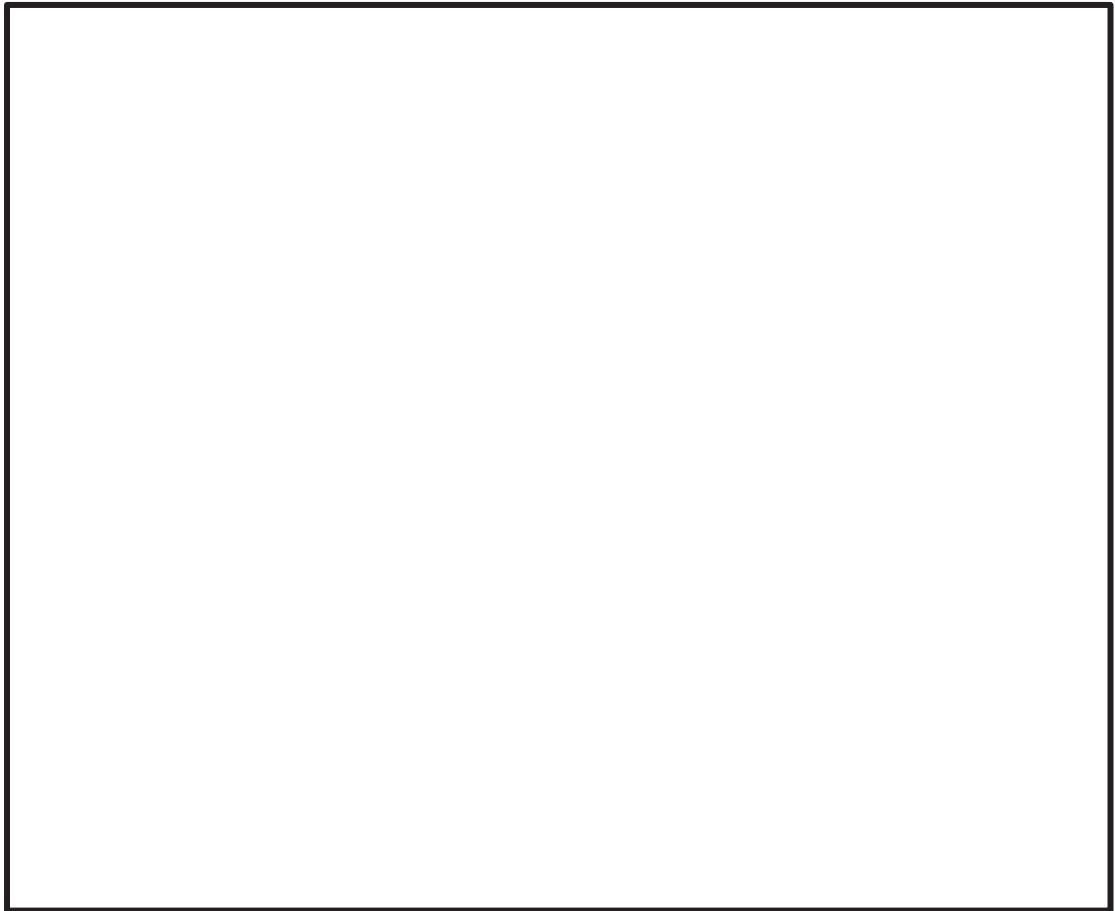
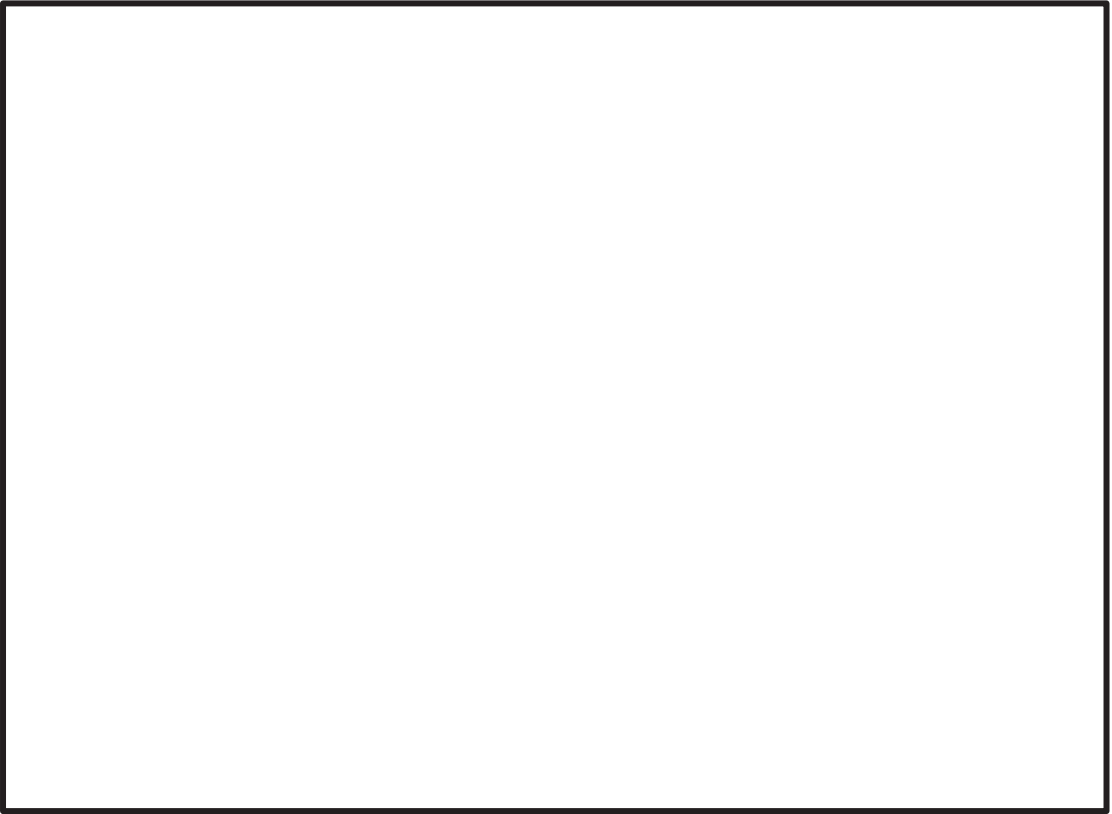
図IV-1 モンテカルロ法による統計処理の概要フロー

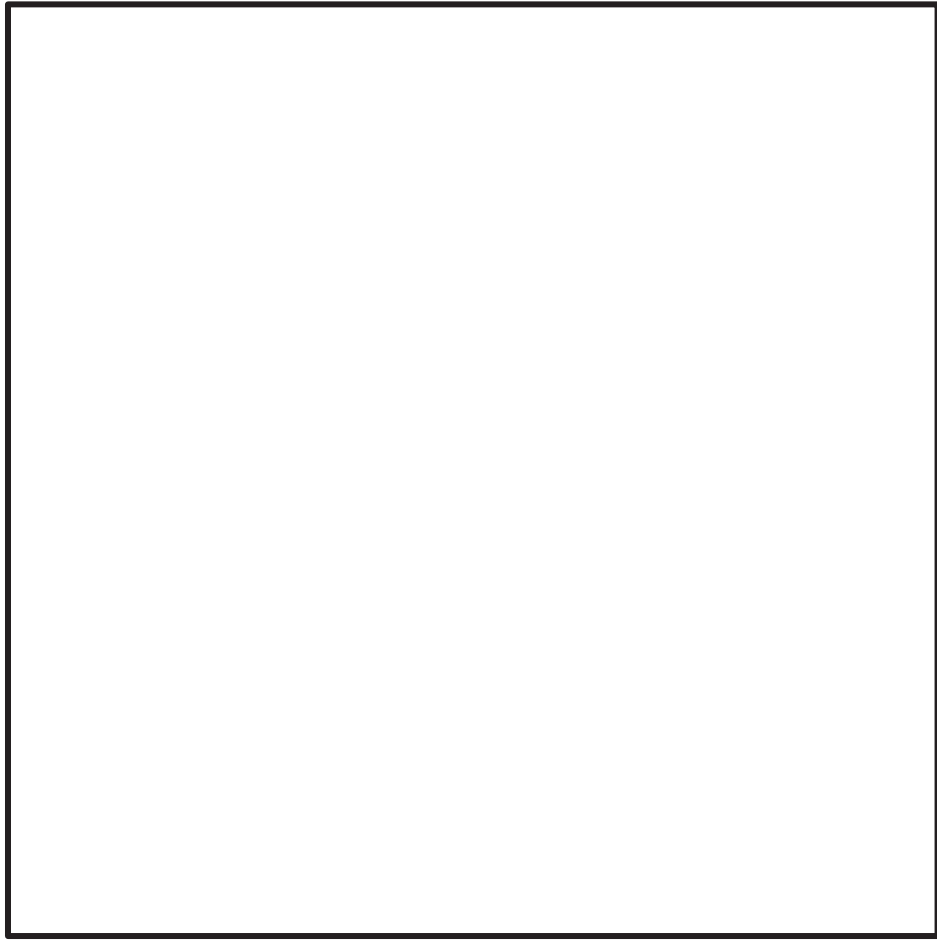
表IV-1 入力変数の分布形状，公称値及び標準偏差（9×9 燃料（A 型））

入力変数	分布形状	公称値	標準偏差	単位	統計分布の 設定根拠

表IV-2 入力変数の分布形状，公称値及び標準偏差（9×9 燃料（B型））

入力変数	分布形状	公称値	標準偏差	単位	統計分布の 設定根拠





V 9×9 燃料 (B 型) における地震時鉛直方向加速度の考慮方法について

目 次

1. 概要 1
2. 9×9 燃料 (B 型) における地震時鉛直方向加速度の考慮方法について 1

1. 概要

「燃料集合体の耐震性についての計算書」で実施している9×9燃料（B型）の地震時鉛直方向加速度の考慮方法について、地震時鉛直方向加速度を地震時水平方向加速度によるスペーサ間たわみにより発生する軸方向応力における質量増加として考慮する評価手法（9×9燃料（B型）の評価手法）が、地震時鉛直方向加速度を慣性力として取扱う評価手法（9×9燃料（A型）の評価手法）と比べてより保守的な評価手法であることを説明するものである。

なお、本資料が関連する工認図書は以下のとおり。

- ・「VI-2-3-3-1 燃料集合体の耐震性についての計算書」

2. 9×9燃料（B型）における地震時鉛直方向加速度の考慮方法について

9×9燃料（B型）では、地震時鉛直方向加速度を地震時水平方向加速度によるスペーサ間たわみにより発生する軸方向応力 σ_2 （式(1)）における質量増加として考慮している。

$$\boxed{\phantom{\sigma_2 = \frac{W_0}{I} (1 + G_h D_0)}} \dots (1)$$

ただし、 W_0 ：燃料要素単位長質量， l ：スペーサ間距離， G_h ：地震時の水平方向最大加速度， I ：燃料被覆管の断面二次モーメント， D_0 ：燃料被覆管の外径とする。

なお、地震時鉛直方向加速度による見かけの質量増加を式(2)のように定めている。

$$\boxed{} \dots (2)$$

ただし、 W ：実際の燃料要素単位長質量， G_v ：地震時の鉛直方向最大加速度， g ：重力加速度とする。

式(1)及び式(2)より、式(3)が得られる。

$$\boxed{\phantom{\sigma_2 = \frac{W}{I} (1 + G_h D_0)}} \dots (3)$$

式(3)の右辺第二項が地震時鉛直方向加速度による応力に相当する。

一方で、地震時鉛直方向加速度が慣性力として直接軸方向応力 σ_1 として作用すると考えると式(4)の計算式となる（9×9燃料（A型）の評価方法）。

$$\boxed{\phantom{\sigma_1 = \frac{W_r}{D_i^2} (1 + G_v / g)}} \dots (4)$$

ただし、 W_r ：燃料棒の全質量， D_i ：燃料被覆管の内径とする。

9×9燃料（B型）の地震時鉛直方向加速度の考慮方法（式(3)右辺第二項）では、地震時水平方向加速度が約 $\boxed{} \text{ m/s}^2$ を超える条件において、直接軸方向応力として考慮する場合（式(4)）よりも保守的な評価となる（図V-1）。評価に用いた炉心内の燃料集合体の地震時水平方向加速度が 56.3 m/s^2 （S s）， 34.1 m/s^2 （S d）であり $\boxed{} \text{ m/s}^2$ よりも十分大きいことから、地震時鉛直方向加速度に対する評価として十分保守的な評価となっていることを確認した。



図V-1 9×9燃料（B型）の地震時鉛直方向加速度考慮方法の保守性

VI 9×9 燃料 (A 型) と 9×9 燃料 (B 型) の応力評価における相違点について

目 次

1. 概要 1
2. 9×9 燃料 (A 型) と 9×9 燃料 (B 型) の応力評価における相違点について 1

1. 概要

「燃料集合体の耐震性についての計算書」で実施している応力評価において、9×9燃料（A型）と9×9燃料（B型）の燃料タイプの違いにより、応力評価手法に相違点がみられる。

本資料は、9×9燃料（A型）と9×9燃料（B型）における応力評価の相違点及びその相違理由を説明するものである。

なお、本資料が関連する工認図書は以下のとおり。

- ・「VI-2-3-3-1 燃料集合体の耐震性についての計算書」

2. 9×9燃料（A型）と9×9燃料（B型）の応力評価における相違点について

(1) 地震期間中の繰返し荷重による応力振幅の算出方法

9×9燃料（A型）では、地震荷重の反転による主応力方向の変化を考慮した応力強さ振幅の評価方法として、日本産業規格 J I S B 8 2 6 6 「压力容器の構造—特定規格 附属書 8（規定）压力容器の応力解析及び疲労解析」の 3.2.1 a) 2) の主応力方向が変動する場合の応力強さ振幅の算出手法に基づいて応力強さの振幅を評価している。なお、9×9燃料（A型）の日本産業規格 J I S B 8 2 6 6 「压力容器の構造—特定規格 附属書 8（規定）压力容器の応力解析及び疲労解析」の 3.2.1 a) 2) の主応力方向が変動する場合の応力強さの振幅の算出手法は先行プラント（柏崎7号，東海第二）で適用実績のある手法である。

9×9燃料（B型）では、相当応力の評価結果が実験値とよく一致することから、せん断歪エネルギー説（von Mises 理論）に基づいて燃料被覆管の相当応力の振幅を評価している。

(2) スペーサ間及びスペーサ部の応力評価で考慮する応力

9×9燃料（A型）のみで考慮する応力として、スペーサ部における水力振動に基づく応力がある。9×9燃料（B型）では、水力振動に基づく応力の寄与が小さいことに加えて、

考慮していない。

9×9燃料（B型）のみで考慮する応力として、スペーサ間及びスペーサ部におけるウォータチャンネルと燃料被覆管の熱膨張差による応力がある。9×9燃料（A型）では、ウォータロードと燃料棒が独立して熱膨張でき、熱膨張差による応力の寄与が非常に小さいため、考慮していない。

(3) スペーサ間及びスペーサ部の応力計算式

地震時の燃料棒たわみによる応力の計算式について、9×9燃料（A型）ではスペーサ間とスペーサ部で別の計算式を用いており、9×9燃料（B型）ではスペーサ間とスペーサ部で同じ計算式を用いている。

9×9燃料（A型）では、
スペーサ間とスペーサ部で別の計算式を用いている。9×9燃料（B型）では、

スペーサ間とスペーサ部で同じ計算式を用いている。

(4) 下部端栓溶接部の熱解析で考慮する項目

9×9 燃料 (A 型) のみで考慮する項目として、ジルカロイ部材の γ 発熱がある。また、9×9 燃料 (A 型) では

9×9 燃料 (B 型) では、ペレットの発熱量に対して γ 発熱量が十分小さく寄与が非常に小さいものとして、ジルカロイ部材の γ 発熱を考慮していない。また、に差異がみられるのは、9×9 燃料 (A 型) ではのに対し、9×9 燃料 (B 型) ではためである。

(5) 下部端栓溶接部の応力評価で考慮する荷重

9×9 燃料 (A 型) では、燃料棒内圧にを用いている。また、9×9 燃料 (A 型) のみで考慮する荷重として、膨張スプリング等による軸方向荷重 (軸方向応力) 及び燃料被覆管の周方向温度差及び端栓取付角公差による初期曲がりに基づく曲げ荷重 (曲げ応力) がある。

燃料棒内圧については、燃料の燃焼に従って燃料棒内部に FP ガスが発生する影響で、寿命初期で最も燃料棒内圧が小さくなり内外圧力差による応力が大きくなるため、9×9 燃料 (A 型) では、で保守的な取扱いとしている。なお、9×9 燃料 (B 型) ではでより保守的な評価としている。

膨張スプリング等による軸方向荷重 (軸方向応力) 及び燃料被覆管の周方向温度差及び端栓取付角公差による初期曲がりに基づく曲げ荷重 (曲げ応力) について、9×9 燃料 (B 型) では、発生応力が小さく寄与が非常に小さいものとして、考慮していない。

(6) 許容応力における照射影響の考慮方法

燃料被覆管 (ジルカロイ-2) の許容応力には照射影響を考慮した値を使用しているが、下部端栓溶接部の許容応力について、9×9 燃料 (A 型) では寿命中期と寿命末期を分けており、9×9 燃料 (B 型) では同一の値としている。

9×9 燃料 (A 型) では、下部端栓溶接部において寿命中期では照射硬化が飽和しないため寿命中期と寿命末期で許容応力の値が異なっている。9×9 燃料 (B 型) においても、下部端栓溶接部において寿命中期で照射硬化は飽和しないものの、寿命中期の方が寿命末期よりも許容応力が小さく保守的な取扱いとなることから、スペーサ間及びスペーサ部の許容応力の取扱いとあわせる観点で、寿命末期についても寿命中期の値を用いている。

なお、9×9 燃料 (B 型) のスペーサ間及びスペーサ部について、寿命中期及び寿命末期の降伏応力と引張強さがほぼ同等の値となっているが、これは照射硬化により両者の差が小さくなるためである。

(7) スペーサ間及びスペーサ部の応力評価において統計分布を考慮する入力変数

9×9 燃料 (A 型) のみで統計分布を考慮する項目として、

がある。9×9 燃料 (B 型) では、

統計分布を考慮する項目として扱っていない。

9×9 燃料 (B 型) のみで統計分布を考慮する項目として、

がある。9×9 燃料 (A 型) では、

統計分布を考慮する項目としていない。

VII 燃料被覆管の応力評価に用いる各評価手法の保守性について

目 次

1. 概要	1
2. モンテカルロ法と決定論的手法の保守性の考え方.....	1
3. モンテカルロ法と決定論的手法における保守性の確認.....	1

1. 概要

「燃料集合体の耐震性についての計算書」で実施している応力評価においては、スペーサ間及びスペーサ部の弾性解析にモンテカルロ法、下部端栓溶接部の有限要素解析に決定論的手法をそれぞれ用いて設計比を評価している。

本資料は、モンテカルロ法及び決定論的手法における評価の保守性を説明するものである。ただし、本資料における解析結果については、設置許可段階での解析条件による結果を示す。

なお、本資料が関連する工認図書は以下のとおり。

- ・「VI-2-3-3-1 燃料集合体の耐震性についての計算書」

2. モンテカルロ法と決定論的手法の保守性の考え方

燃料被覆管（スペーサ間、スペーサ部、下部端栓溶接部）の応力評価における設計比は、被覆管寸法、被覆管温度、燃料棒内圧、炉心条件、許容応力等を入力変数とした関数となっている。また、これらの入力変数の不確かさを考慮するため、製造仕様、実機運転データ等を考慮し、それぞれの公称値を中央値として統計的分布を設定している。

(1) スペーサ間及びスペーサ部

モンテカルロ法では、1回の試行ごとに乱数を用いて各入力変数の統計的分布から各入力条件を選定し、厚肉円筒式による弾性解析を行い、設計比を評価する。この試行を繰り返し実施することにより設計比の統計的分布を求め、設計比の95%確率上限値が1以下であることで当該部位の健全性を確認するとともに、評価結果に保守性を持たせている（図VII-1 参照）。

(2) 下部端栓溶接部

下部端栓溶接部は、切欠き形状を含んだ複雑形状のため、有限要素解析により設計比を評価する。ここで、スペーサ間及びスペーサ部と同様にモンテカルロ法を用いるとすると、入力変数となる被覆管寸法等を変動させる都度、有限要素解析モデルの修正が必要であり、対応が膨大となるため現実的ではない。よって、下部端栓溶接部の設計比の評価については、決定論的手法を適用することとし、各入力変数に統計的分布における95%確率上下限値を用いることで保守性を持たせている（図VII-1 参照）。

3. モンテカルロ法と決定論的手法における保守性の確認

モンテカルロ法での保守性の確認として、スペーサ間の設計比の統計的分布における中央値と応力評価で用いた95%確率上限値の対比を表VII-1に示す。

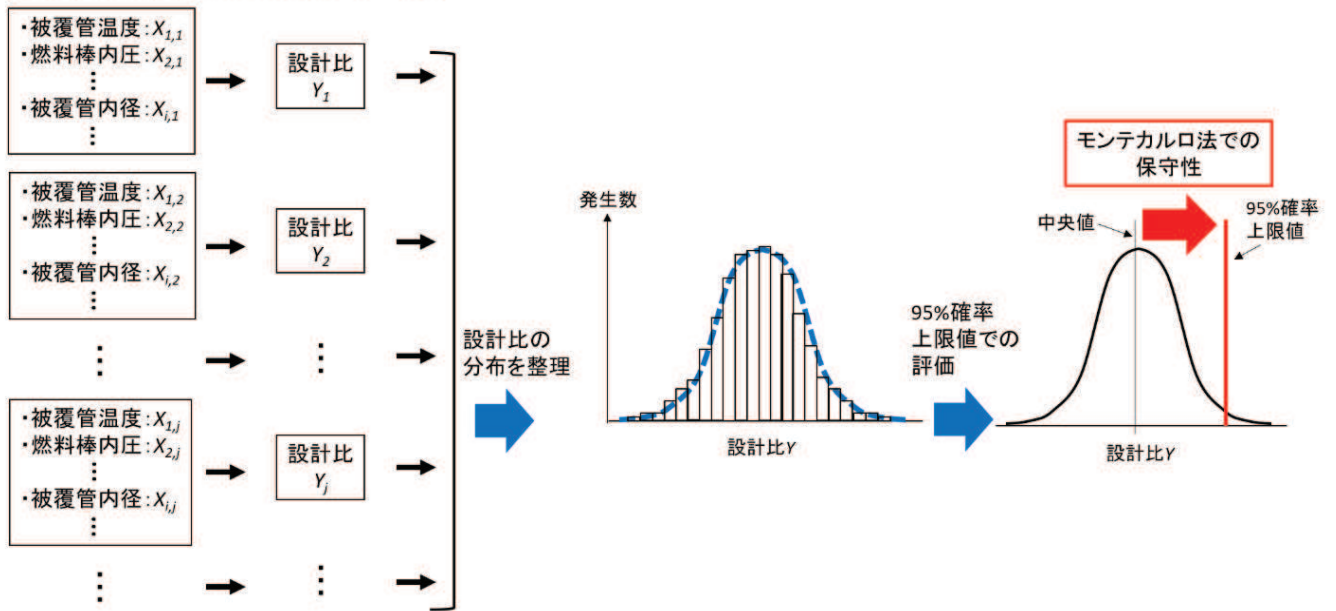
また、決定論的手法の保守性の有無を把握する観点から、有限要素解析モデルの修正を要しない範囲で変更可能なすべての入力変数を公称値とした解析を実施した。具体的には「内外圧力差に基づく応力」及び「温度差に基づく応力」に影響を与える入力変数、並びに「許容応力」を対象とした。この解析結果と応力評価で用いた95%確率上下限値による解析結果の対比を表VII-2に示す。なお、有限要素解析モデルの修正を実施し、すべての入力変数を変更する場合には、設計比がより中央値に近づき、さらに大きな保守性を示す結果になると考えられる。

表VII-1及び表VII-2のとおり、モンテカルロ法及び決定論的手法による設計比はともに中央値、

あるいは公称値による解析結果よりも保守的な評価結果となっている。

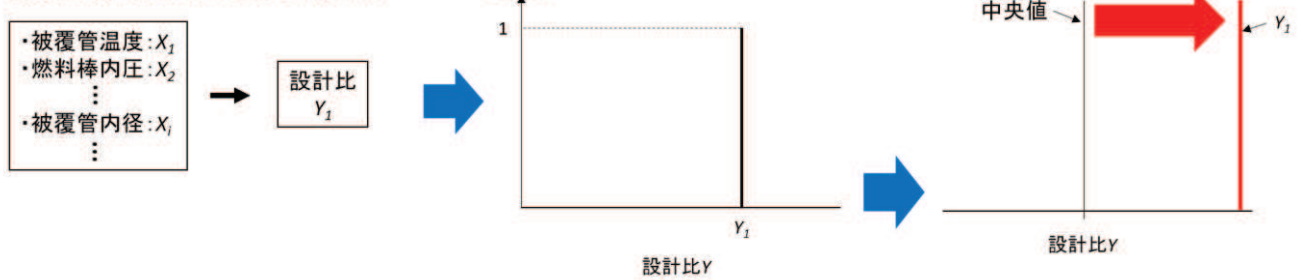
なお、スペーサ間及びスペーサ部の弾性解析にモンテカルロ法、下部端栓溶接部の有限要素解析に決定論的手法をそれぞれ用いることは、「発電用軽水型原子炉の燃料設計手法について（昭和63年5月12日、原子力安全委員会了承）」において妥当と判断されており、原子炉設置変更許可申請書添付書類八及び燃料体設計認可申請書添付書類Ⅱ（応力解析）において許認可実績を有している。

(入力値は統計的分布に従いランダムに生成)



(a) モンテカルロ法 (スペーサ間及びスペーサ部)

(入力値は固定値 (95%確率上下限値))



(b) 決定論的手法 (下部端栓溶接部)

図VII-1 モンテカルロ法及び決定論的手法における保守性の概念図

表VII-1 モンテカルロ法における保守性の確認

a. 確認条件

項目	確認条件
燃料タイプ	9×9燃料 (A型)
評価部位	スペーサ間
地震動と許容応力	弾性設計用地震動 S_d に対して降伏応力 S_y
運転条件	圧力過渡
評価点	寿命初期

b. 確認結果

中央値 (モンテカルロ法における 中央値)	ベースケース (モンテカルロ法における 95%確率上限値)
0.66	0.73

表VII-2 決定論的手法における保守性の確認

a. 確認条件

項目	確認条件
燃料タイプ	9×9燃料 (A型)
評価部位	下部端栓溶接部
地震動と許容応力	弾性設計用地震動 S_d に対して降伏応力 S_y
運転条件	圧力過渡
評価点	寿命初期

b. 確認において変更した入力変数

応力成分	変更した入力変数	確認解析	ベースケース
内外圧力差に基づく応力	冷却材圧力	公称値	
	燃料棒内圧	公称値	
温度差に基づく応力		公称値	
		公称値	
		公称値	
許容応力		公称値	

c. 確認結果

確認解析 (公称値を入力)	ベースケース (95%確率上下限值を入力)
0.59	0.66