

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

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-19-0600-14-1_改5
提出年月日	2021年 9月9日

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

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。

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*により妥当性が確認されている機能確認済加

速度（At）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）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。

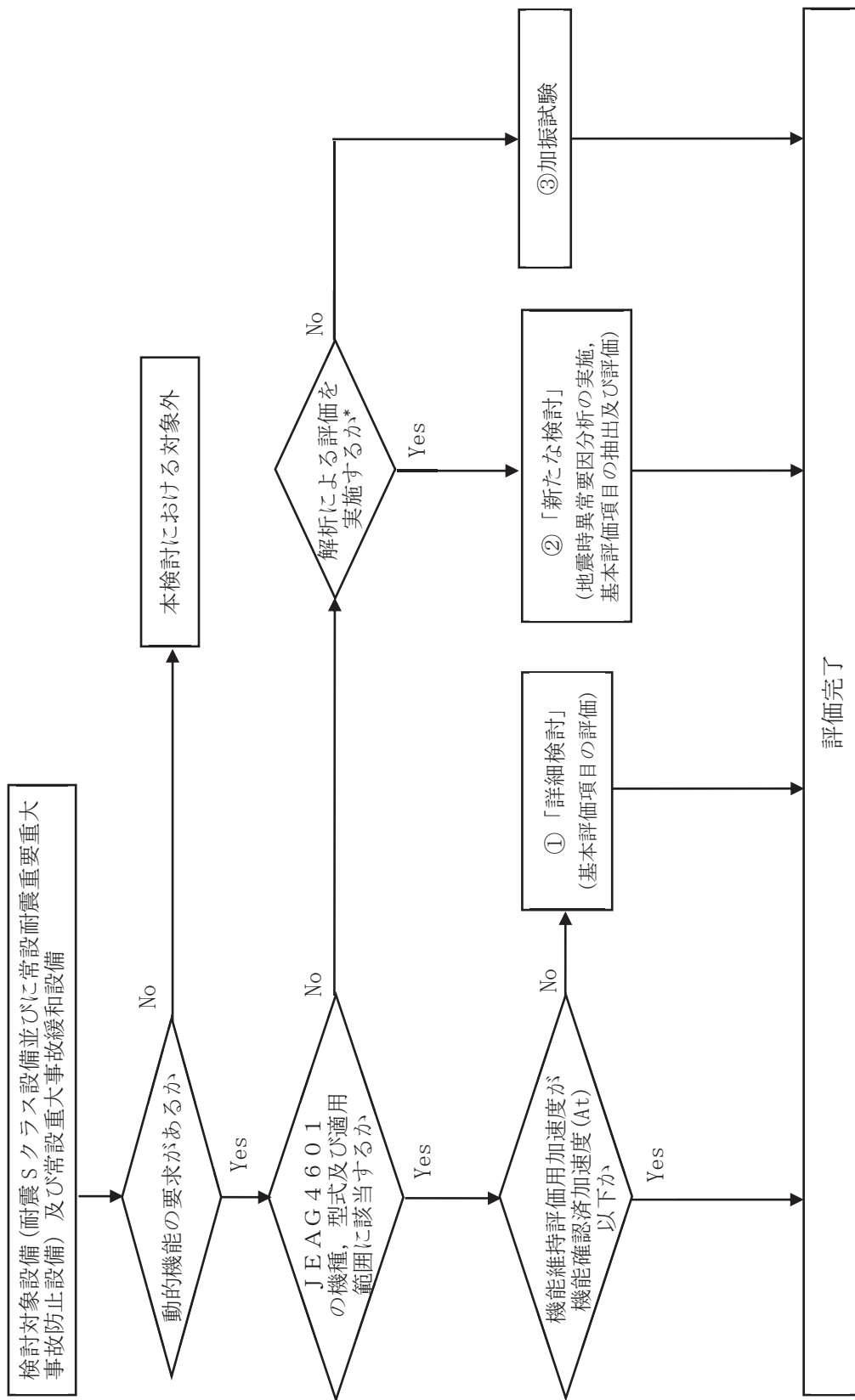
③加振試験

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*：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）」



注記*: 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, バタフライ弁, 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 (At) 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 (At) 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	○	○
	高圧炉心スプレー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)
	高圧炉心スプレー系ディーゼル機関	○	× (別紙2参照)
	高圧炉心スプレー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 (At) 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, バタフライ弁, 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 (At) を超過する一部の弁について「詳細検討」を実施する。

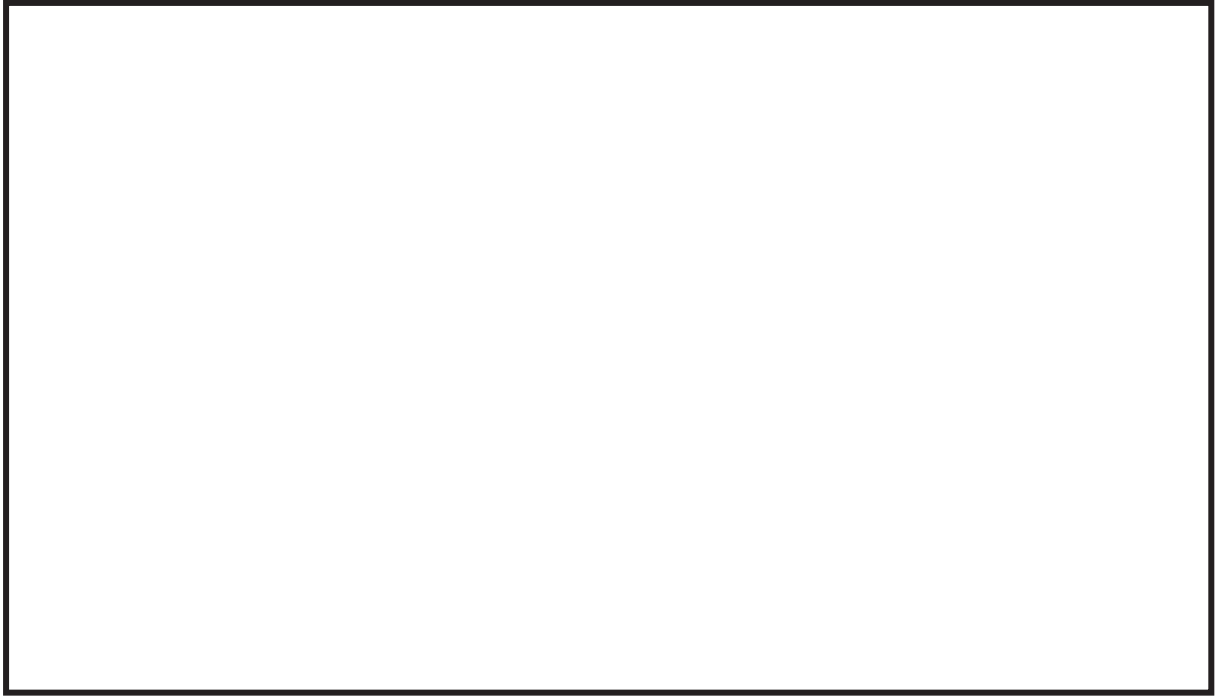


図 2 高圧代替注水系タービンポンプ構造図

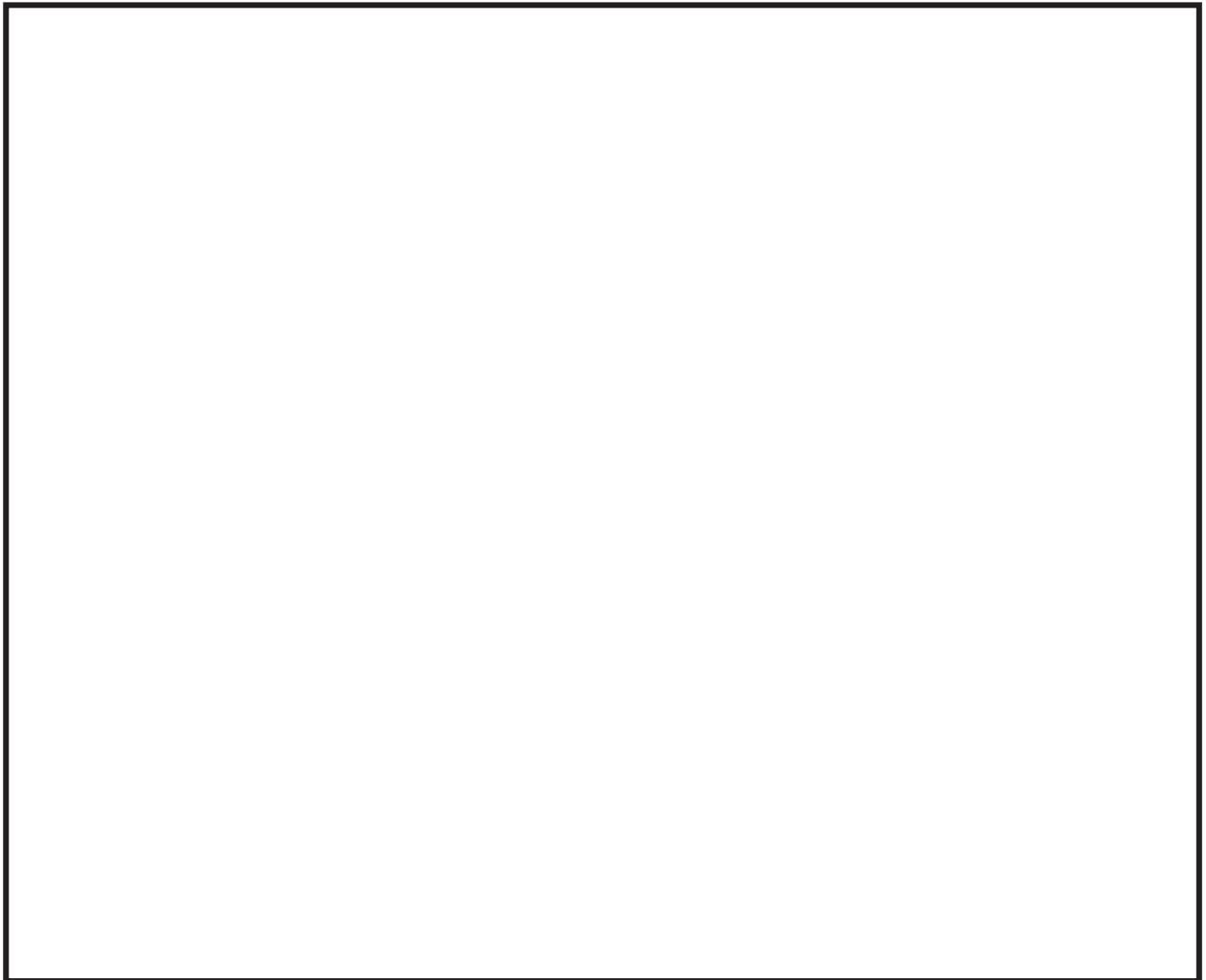


図 3 ガスタービン発電設備構造図

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		容量 (0内は当該設備の容量)	方向	機能確認追加速度 (At) 確認 ($\times 0.8m/s^2$)		機能維持評価用追加速度がAt以下か、 ○: At以下 ×: At超過 -: 対象外	備考
			機種	型式			機能維持評価用追加速度 ^{*1}	機能確認追加速度 (At)		
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										
燃料プールの冷却浄化系										
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)	×	動的機能維持評価用追加速度がAt超過のため、「詳細検討」を実施する。
			電動機	機形ころがり軸受	~950kW (75kW)	鉛直	1.15	1.0		
原子炉冷却系給施設										
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	ピットバレル形	~1800m ³ /h (1160m ³ /h)	水平	0.82	10.0	○	
			電動機	立形ころがり軸受	~1300kW (540kW)	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										
高圧炉心スプレー系										
高圧炉心スプレー系ポンプ	有	J E A G 4 6 0 1 による確認	立形ポンプ	ピットバレル形	~1800m ³ /h (1074m ³ /h)	水平	0.82	10.0	○	
			電動機	立形すべり軸受	~2700kW (1900kW)	鉛直	0.57	1.0		
低圧炉心スプレー系										
低圧炉心スプレー系ポンプ	有	J E A G 4 6 0 1 による確認	立形ポンプ	ピットバレル形	~1800m ³ /h (1074m ³ /h)	水平	0.82	10.0	○	
			電動機	立形ころがり軸受	~1300kW (1000kW)	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			

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

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		容量 ()内は当該設備の容量	方向	機能確認加速度 (At) 確認 (S _{9.8m/s²) 以下か、}		機能維持評価用加速度がAt以下か、 ○: At以下 ×: At超過 -: 対象外	備考
			機種	型式			機能維持評価用加速度 *1	機能確認加速度 (At)		
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	○	
			立形ポンプ	立形斜流式	~7600m ³ /h (1900m ³ /h)	水平	11.89	10.0	×	機能維持評価用加速度がAt超過のため、「詳細検討」を実施する。
			電動機	立形ころがり軸受	~1300kW (420kW)	水平	17.35	2.5	×	機能維持評価用加速度がAt超過のため、「詳細検討」を実施する。
						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 (At) 確認 ($< 9.8m/s^2$)		機能維持評価用加速度がAt 以下か、 ○: At以下 ×: At超過 -: 対象外	備考	
			機種	型式	容量 (0)内は当該設備の 容量	方向			機能維持評価用 加速度 ^{a)}
高圧炉心スプレイ補機冷却水系及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水系									
高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプ	有	JEAG4601 による確認	機形ポンプ	単段遠心式	~2400m ³ /h (240m ³ /h)	水平	0.82	○	
						鉛直	0.57		
						水平	0.82		
						鉛直	0.57		
高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプ	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	3.18	×	機能維持評価用加速度がAt超過のため、「詳細検討」を実施する。
						鉛直	1.61		
						水平	1.40		
						鉛直	1.61		
計測制御系統施設									
制御材									
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	機形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	×	機能維持評価用加速度がAt超過のため、「詳細検討」を実施する。
						鉛直	1.30		
						水平	1.77		
						鉛直	1.30		
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	○	
						鉛直	0.66		
						水平	1.13		
						鉛直	0.66		
中央制御室循環送風機	有	JEAG4601 による確認	ファン	遠心直結型ファン	~2900m ³ /min (1333m ³ /min)	水平	1.13	○	
						鉛直	0.66		
						水平	1.13		
						鉛直	0.66		
中央制御室排風機	有	JEAG4601 による確認	ファン	遠心直結型ファン	~2500m ³ /min (83m ³ /min)	水平	1.13	○	
						鉛直	0.66		
						水平	1.13		
						鉛直	0.66		

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	動的機能維持確認方法	J E A G 4 6 0 1 機種/型式		機能確認加速度 (At) 確認		機能維持評価用加速度がAt以下か ○: At以下 ×: At超過 -: 対象外	備考	
			機種	型式	容量 (0)内は当該設備の容量	方向			機能維持評価用加速度*1
緊急時対策所機空調系									
緊急時対策所非常用送風機	有	J E A G 4 6 0 1 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	○
			電動機	横形ころがり軸受	~950kW (3.7kW)	鉛直	0.93	1.0	
原子炉格納施設									
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	J E A G 4 6 0 1 による確認	横形ポンプ	車段遠心式	~2400m ³ /h (150m ³ /h)	水平	0.82	3.2 (軸直角方向) 1.4 (軸方向)	○
			電動機	横形ころがり軸受	~950kW (90kW)	鉛直	0.57	1.0	
放射線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	J E A G 4 6 0 1 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	×
			電動機	横形ころがり軸受	~950kW (22kW)	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 ブロー	有	J E A G 4 6 0 1 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	×
			電動機	横形ころがり軸受	~950kW (11kW)	鉛直	1.3	1.0	
機能維持評価用加速度がAt超過のため、「詳細検討」を実施する。									
機能維持評価用加速度がAt超過のため、「詳細検討」を実施する。									
機能維持評価用加速度がAt超過のため、「詳細検討」を実施する。									
機能維持評価用加速度がAt超過のため、「詳細検討」を実施する。									

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	動的機能維持確認方法	J E A G 4 6 0 1 機種/型式		機能確認済加速度 (At) 確認		機能維持評価用加速度がAt以下か、 ○: At以下 ×: At超過 -: 対象外	備考		
			機種	型式	容量 (0)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 (At)
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At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機	有	J E A G 4 6 0 1 による確認	電動機	ガバナ	UG形	水平	1.67	1.8	×	機能維持評価用加速度がAt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	横形スクリュー式	スクリュー式	(4m ³ /h)	水平	1.65	2.6	-	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	1.15	1.0		
J E A G 4 6 0 1 による確認	有	J E A G 4 6 0 1 による確認	電動機	横形スクリュー式	(2.2kW)	水平	1.10	-	○	機能維持評価用加速度がAt超過のため、「詳細検討」を実施する。
						鉛直	0.77	-		
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At超過のため、「詳細検討」を実施する。
						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	ガバナ	UG形	水平	1.67	1.8	×	機能維持評価用加速度がAt超過のため、「詳細検討」を実施する。
						鉛直	1.17	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	横形スクリュー式	スクリュー式	(4m ³ /h)	水平	1.67	2.6	-	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	1.18	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、解折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	横形スクリュー式	スクリュー式	(3m ³ /h)	水平	1.23	-	-	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	0.61	-		
J E A G 4 6 0 1 による確認	有	J E A G 4 6 0 1 による確認	電動機	横形スクリュー式	(1.5kW)	水平	1.23	4.7	○	機能維持評価用加速度がAt超過のため、「詳細検討」を実施する。
						鉛直	0.61	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 (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 (At) 確認 (×9.8m/s ²)		機能維持評価用加速度がAt以下か、		備考	
			機種	型式 ()内は当該設備の容量	容量	方向	機能確認済加速度 (At)	機能維持評価用加速度*1		
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Atを超過する弁について「詳細検討」を実施する。(At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	13.90	9.6	×	対象弁全てにおいて機能維持評価用加速度がAtを超過するため「詳細検討」を実施する。
						鉛直	7.65	6.1		
制御機駆動系スクラム弁*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Atを超過する弁について「詳細検討」を実施する。(At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Atを超過する弁について「詳細検討」を実施する。(At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	9.18	6.0	×	機能維持評価用加速度がAtを超過する弁について「詳細検討」を実施する。(At以下の弁については、詳細評価不要とする。)
						鉛直	10.51	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

: 今回提出範囲

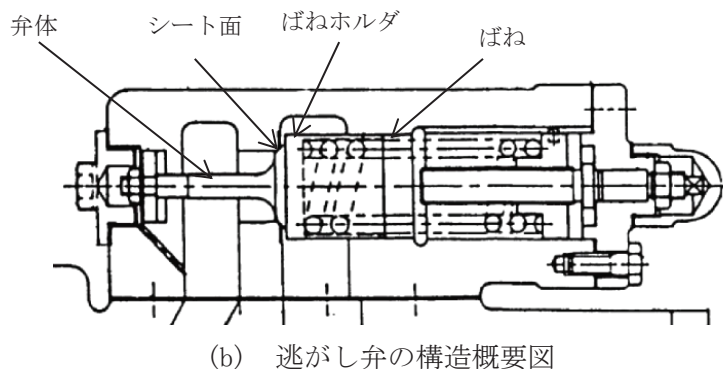
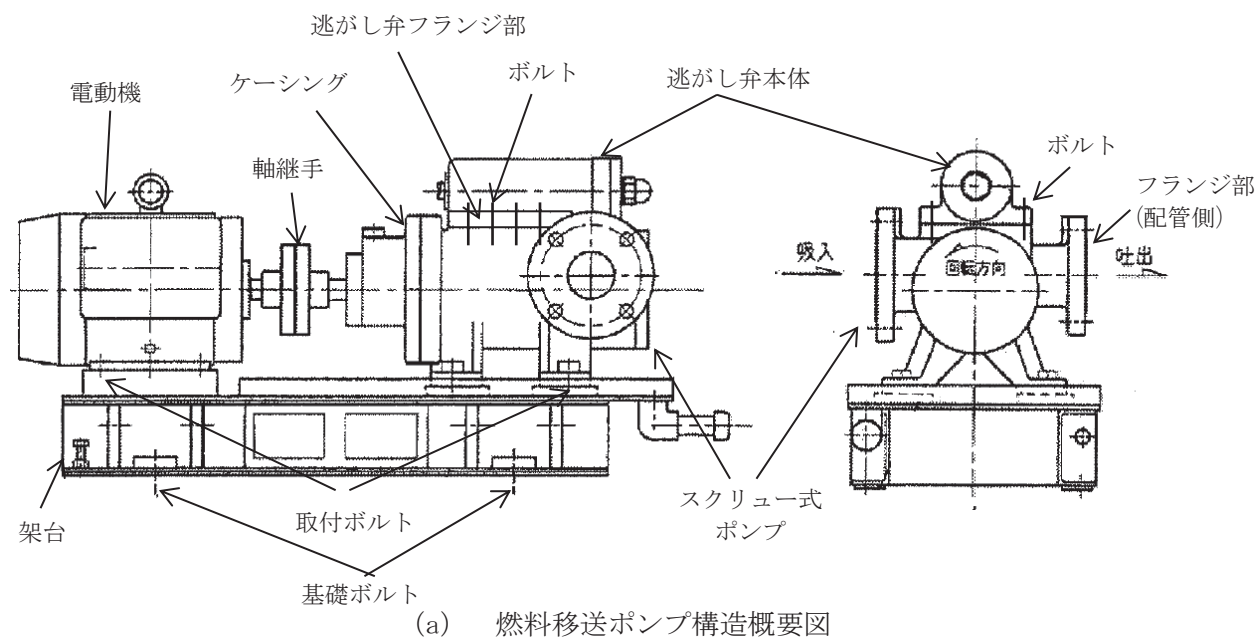
逃がし弁を動的機能維持評価対象外とする考え方について

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こ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。

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

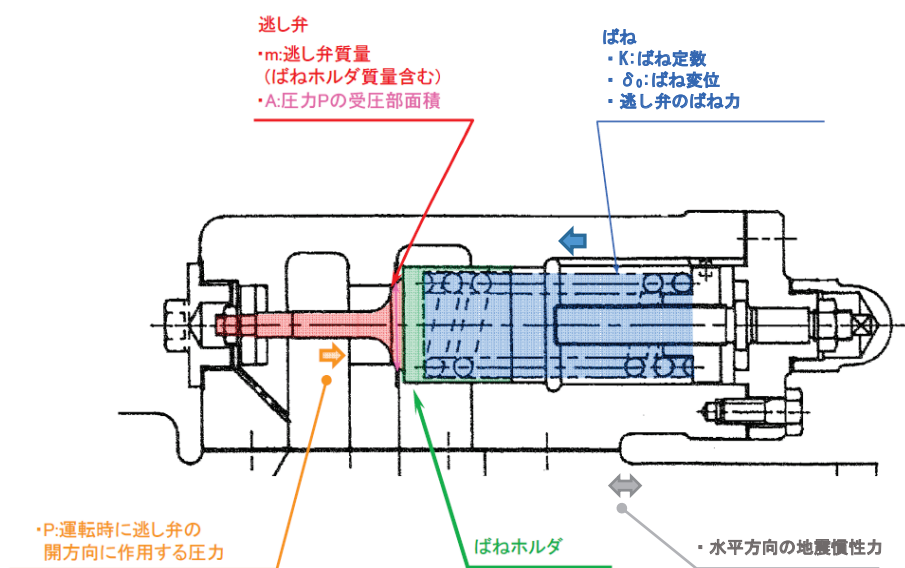
評価は、非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ及びガスタービン発電設備燃料移送ポンプのうち、水平方向地震力が大きいガスタービン発電設備燃料移送ポンプについて確認する。逃がし弁の構造図を別紙 1-1-2 図に示す。

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。



別紙 1-1-2 図 逃がし弁の構造図

5.2 評価結果

5.1 項の評価結果を以下に示す。

$$K \delta_0 - P A = \text{[redacted]}$$

$$m g C_H = \text{[redacted]} \times 9.80665 \times 1.27 = \text{[redacted]}$$

よって、 $K \delta_0 - P A > m g C_H$ であることから、逃がし弁が開くのに必要な力は、逃がし弁に作用する地震慣性力より大きいため、逃がし弁の構造強度に問題ないこと及び誤作動は起こらないと言える。

5.2 項の評価結果を以下に示す。

$$P_{\max} A - K \delta_0 = \text{[redacted]}$$

$$m g C_H = \text{[redacted]} \times 9.80665 \times 1.27 = \text{[redacted]}$$

よって、 $P_{\max} A - K \delta_0 > m g C_H$ であることから、逃がし弁が開くのに必要な力は、逃がし弁に作用する地震慣性力より大きいため、逃がし弁の構造強度に問題ないこと及び誤作動は起こらないと言える。

6. 結論

4 項及び 5 項の結果から、逃がし弁は動的機能維持評価の対象外とすることは問題ない。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

「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

 : 今回提出範囲（一式）

 : 今回提出範囲（部分）

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	11.89	10.0	×
		鉛直方向	1.61	1.0	×
高圧炉心スプレー補機 冷却海水ポンプ		水平方向	3.18	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「○」、超過した場合を「×」で示す。

*3：原子炉補機冷却海水ポンプ、高圧炉心スプレー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。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。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。

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_{pss}	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	2.651×10^7	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	2.812×10^5	2.121×10^4	387	2.827×10^3	291.8

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

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

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)。	— (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)。	— (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)。	— (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)。	— (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)。	— (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)。	— (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。

4.2 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）。	— （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）。	— （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「—」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）。	— (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）。	— (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）。	— (別添-2-5-1)
4	排気管ベローズ	○	○	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）。	— (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。

*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)。	— (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)。	— (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)。	— (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」、省略の場合を「—」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）。	— (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）。	— (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）。	— (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)。	— (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)。	— (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)。	— (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)。	— (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)。	— (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るとの観点から、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。

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*：「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）

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、工認耐震計算において、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クラスの評価を別途実施している場合には、評価部位の選定対象からあらかじめ除外する。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

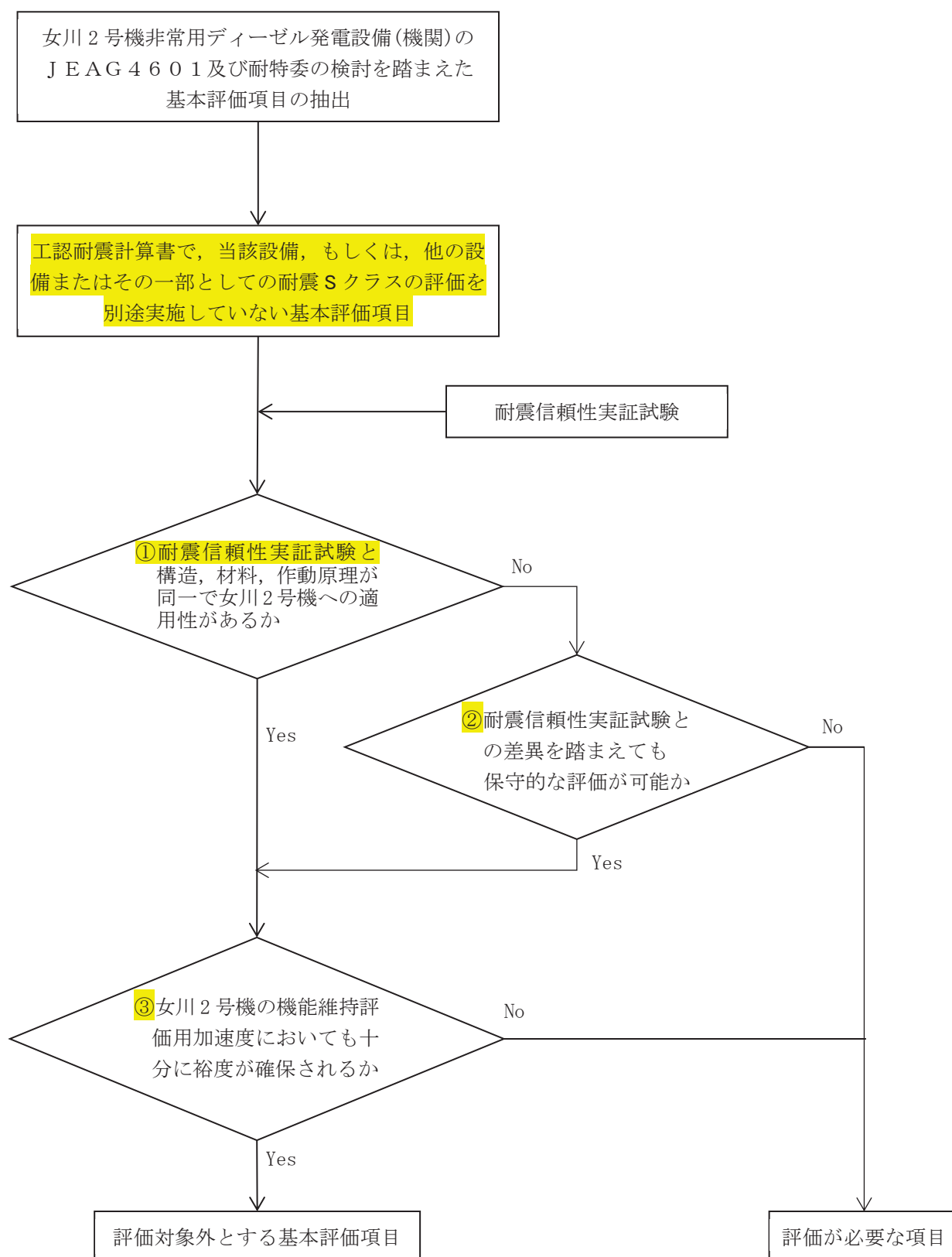
耐震信頼性実証試験の適用性を確認するため、構造、材料、作動原理の観点で耐震信頼性実証試験と女川2号機の評価部位について比較を行い、同一であるか確認する。

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の結果を別添 2-5-1-1 表に、高圧炉心スプレイ系ディーゼル機関の結果を別添 2-5-1-2 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 非常用ディーゼル機関において評価対象とする基本評価項目の検討結果 (1/2)

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が加速度的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	－	
	機関本体	－	－	－	－	
	ガバナ	－	－	－	－	
	ガバナリンク及び燃料加減軸	Yes	－	Yes	○	
出力制御系	オーバースピードトリップ装置	No	Yes	Yes	○	
	始動電磁弁	－	－	－	－	
	始動弁	Yes	－	Yes	○	
	過給機	No	Yes	Yes	○	
	排気管ペロローズ	－	－	－	－	
	空気だめ	－	－	－	－	
	始動空気系配管	－	－	－	－	
	始動空気系	始動空気系配管	－	－	－	－

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（一は評価実施のため検討不要）

*2：①がNoの場合のみ検討対象（一は検討不要）

*3：①又は②がYesの場合のみ検討対象（一は検討不要）

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

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
燃料油系	燃料噴射ポンプ	No	Yes	Yes	○
	燃料デイトタンク	－	－	－	－
	燃料フィルタ	－	－	－	－
冷却水系	燃料油系配管	－	－	－	－
	冷却水ポンプ	Yes	－	Yes	○
	清水冷却器	－	－	－	－
潤滑油	冷却水系配管	－	－	－	－
	潤滑油ポンプ	No	Yes	Yes	○
	潤滑油サンプタンク (スロッシング)	－	－	－	－
	潤滑油サンプタンク	－	－	－	－
	潤滑油冷却器	－	－	－	－
	潤滑油フィルタ	－	－	－	－
潤滑油系配管	－	－	－	－	

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（一は評価実施のため検討不要）

*2：①が No の場合のみ検討対象（一は検討不要）

*3：①又は②が Yes の場合のみ検討対象（一は検討不要）

別添 2-5-1-2 表 高圧炉心スプレイスライダールールに関する基本評価項目の検討結果 (1/2)

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	-
	機関本体	-	-	-	-
	ガバナ	-	-	-	-
	ガバナリンク及び燃料加減軸	Yes	-	Yes	○
出力制御系	オーバースピードトリップ装置	Yes	-	Yes	○
	始動電磁弁	-	-	-	-
	始動弁	Yes	-	Yes	○
	過給機	Yes	-	Yes	○
始動空気系	排気管バロージ	-	-	-	-
	空気だめ	-	-	-	-
	始動空気系配管	-	-	-	-

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 (一は評価実施のため検討不要)

*2: ①が No の場合のみ検討対象 (一は検討不要)

*3: ①又は②が Yes の場合のみ検討対象 (一は検討不要)

別添 2-5-1-2 表 高压炉心スプレイスライ系デザイナーゼル機関において評価対象とする基本評価項目の検討結果 (2/2)

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
燃料油系	燃料噴射ポンプ	Yes	－	Yes	○
	燃料デایتンク	－	－	－	－
	燃料フィルタ	－	－	－	－
	燃料油系配管	－	－	－	－
冷却水系	冷却水ポンプ	Yes	－	Yes	○
	清水冷却器	－	－	－	－
	冷却水系配管	－	－	－	－
	潤滑油ポンプ	Yes	－	Yes	○
潤滑油	潤滑油サンプタンク (スロッシング)	－	－	－	－
	潤滑油サンプタンク	－	－	－	－
	潤滑油冷却器	－	－	－	－
	潤滑油フィルタ	－	－	－	－
	潤滑油系配管	－	－	－	－

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クラスの評価を実施していない場合が検討対象（－は実施のため検討不要）

*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）

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

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 表に容器類の設計震度を示す。

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 2.00	1.37 1.41
			15.0 (16.23)		
冷却水系	清水冷却器	原子炉 建屋	6.0 (6.4)	1.57 1.98	1.09 1.39
			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 1.97	1.37 1.37
			15.0 (13.4)		
	潤滑油冷却器	原子炉 建屋	6.0 (6.4) 15.0 (16.03)	1.57 1.99	1.09 1.40
	潤滑油フィルタ	原子炉 建屋	6.0 (6.2)	1.57 1.57	1.09 1.09
			6.0 (6.2)		

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									
			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 (S _S 地震動のみによる 応力振幅について評価す る。)	3・f _s (S _S 地震動のみによる 応力振幅について評価す る。)	1.5・ f _p [*]	1.5・ f _p [*]	1.5・ f _t [*]	1.5・ f _s [*]	1.5・ f _t [*]	1.5・ f _s [*]	$T_L \cdot 0.6$ $\cdot \frac{S_{y d}}{S_{y t}}$

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容器的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

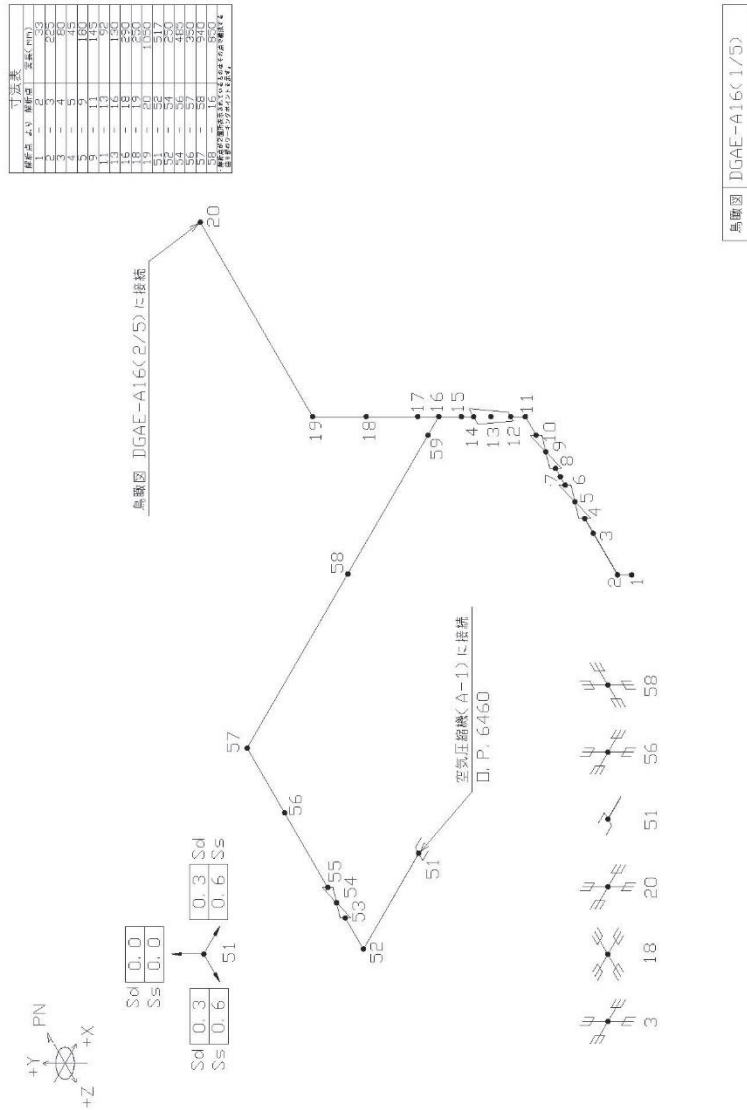
*2：高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備

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

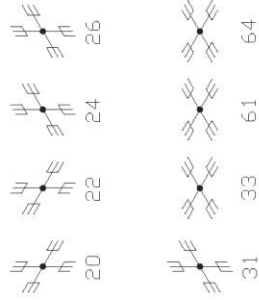
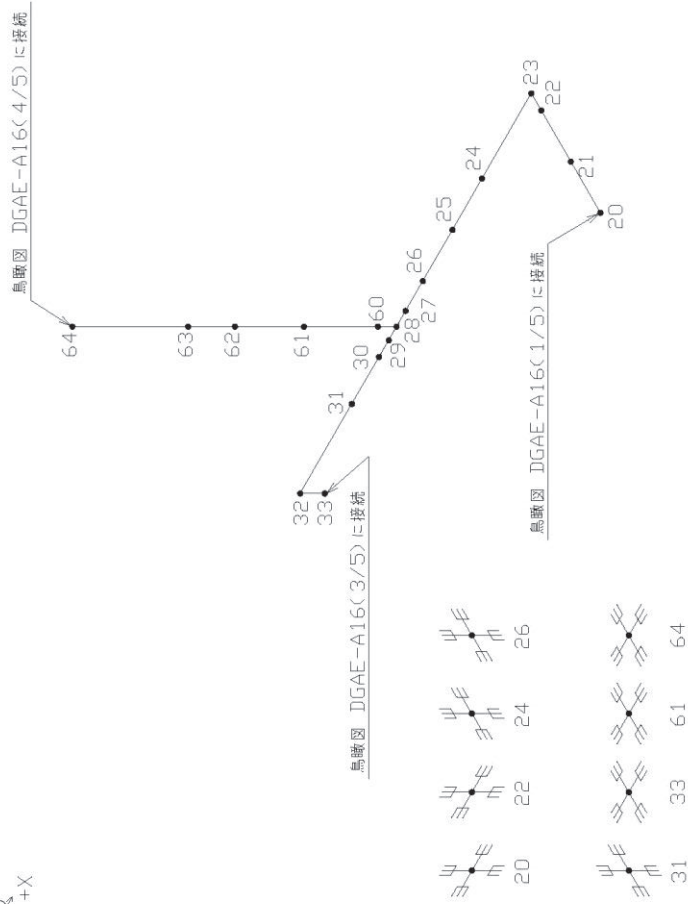
三次元はよりモデル解析により応力計算を行った配管について、解析モデル図を別添 2-5-2-1 図及び別添 2-5-2-2 図に示し、配管諸元の一覧表を別添 2-5-2-7 表並びに別添 2-5-2-8 表に示す。なお、別添 2-5-2-1 図及び別添 2-5-2-2 図は、別添 2-5-2-11 表並びに別添 2-5-2-12 表で評価結果を示すものうち、始動空気系を代表で示す。



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



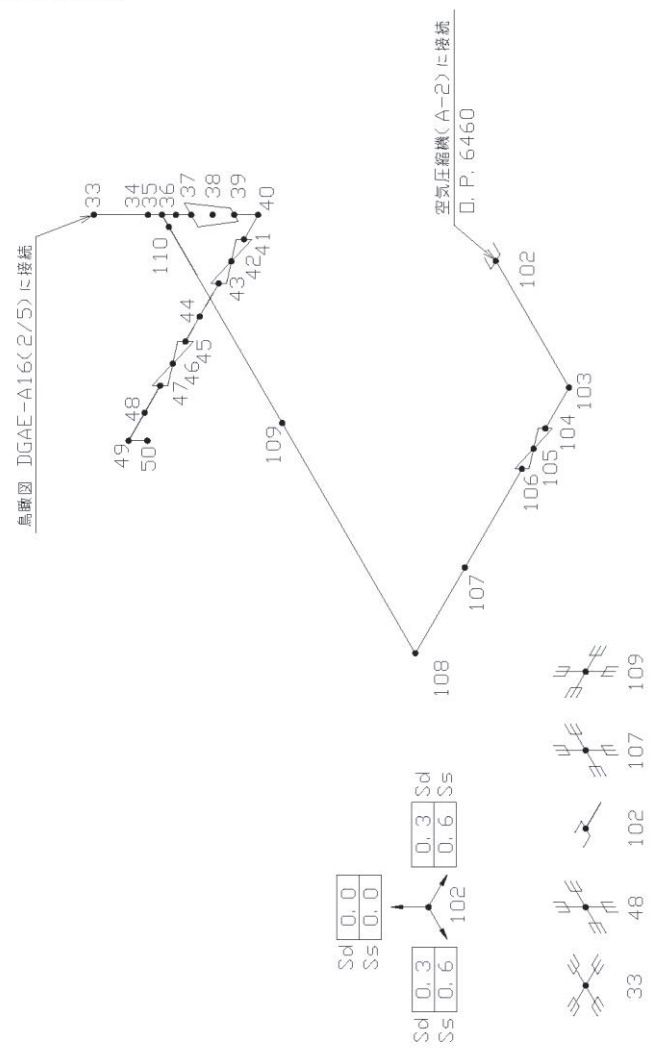
寸法表		
測定点	測深型	水深(m)
20	22	1200
24	24	1000
26	26	1200
30	30	1000
31	31	1000
32	32	1200
33	33	1000
60	60	1000
61	61	800
62	62	1000
63	63	1000
64	64	1200



鳥瞰図 DGAE-A16(2/5)

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

測定点	北緯	東経	標高 (m)
33	-35	130	250
34	-38	130	130
35	-40	130	130
36	-40	130	130
37	-40	130	130
38	-40	130	130
39	-40	130	130
40	-40	130	130
41	-40	130	130
42	-46	180	180
43	-47	180	180
44	-47	180	180
45	-47	180	180
46	-47	180	180
47	-48	180	180
48	-48	180	180
49	-48	180	180
50	-48	180	180
51	-48	180	180
52	-48	180	180
53	-48	180	180
54	-48	180	180
55	-48	180	180
56	-48	180	180
57	-48	180	180
58	-48	180	180
59	-48	180	180
60	-48	180	180
61	-48	180	180
62	-48	180	180
63	-48	180	180
64	-48	180	180
65	-48	180	180
66	-48	180	180
67	-48	180	180
68	-48	180	180
69	-48	180	180
70	-48	180	180
71	-48	180	180
72	-48	180	180
73	-48	180	180
74	-48	180	180
75	-48	180	180
76	-48	180	180
77	-48	180	180
78	-48	180	180
79	-48	180	180
80	-48	180	180
81	-48	180	180
82	-48	180	180
83	-48	180	180
84	-48	180	180
85	-48	180	180
86	-48	180	180
87	-48	180	180
88	-48	180	180
89	-48	180	180
90	-48	180	180
91	-48	180	180
92	-48	180	180
93	-48	180	180
94	-48	180	180
95	-48	180	180
96	-48	180	180
97	-48	180	180
98	-48	180	180
99	-48	180	180
100	-48	180	180
101	-48	180	180
102	-48	180	180
103	-48	180	180
104	-48	180	180
105	-48	180	180
106	-48	180	180
107	-48	180	180
108	-48	180	180
109	-48	180	180
110	-48	180	180
111	-48	180	180
112	-48	180	180
113	-48	180	180
114	-48	180	180
115	-48	180	180
116	-48	180	180
117	-48	180	180
118	-48	180	180
119	-48	180	180
120	-48	180	180



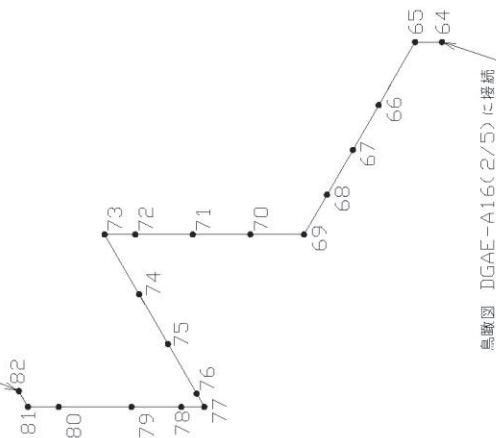
鳥瞰図 DGAE-A16(3/5)

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

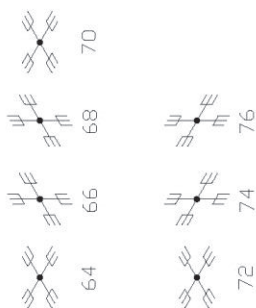


寸法表		
機序点より	機序点	家長(mph)
54	-	65
54	-	350
55	-	68
55	-	1350
56	-	68
58	-	65
58	-	600
59	-	70
59	-	700
70	-	75
70	-	1500
75	-	74
75	-	900
74	-	75
74	-	1500
76	-	77
76	-	200
77	-	81
81	-	82
81	-	82

鳥瞰図 DGAE-A16<5/5>に接続

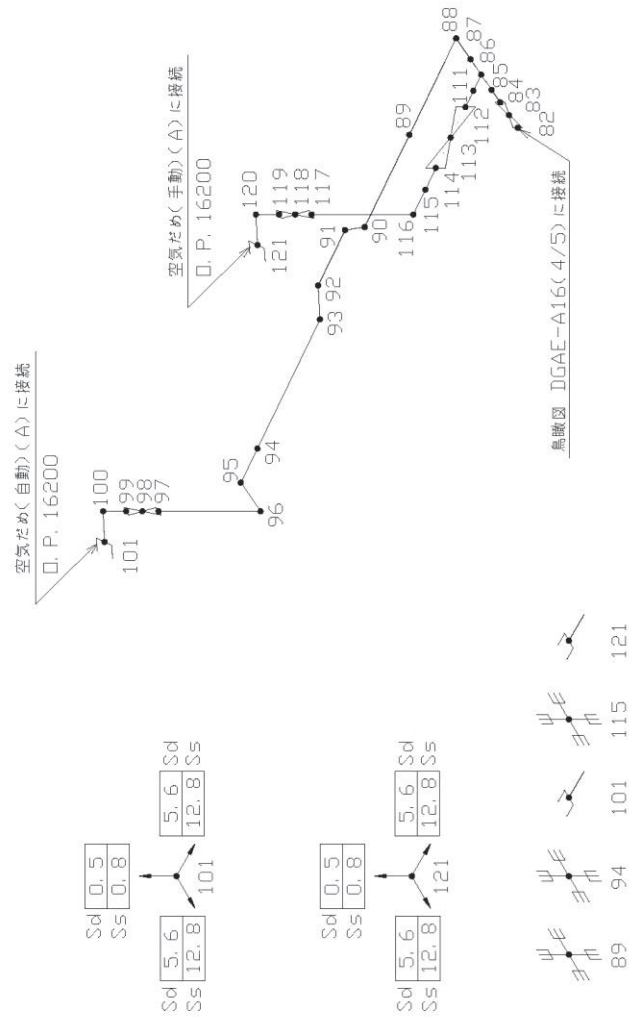


鳥瞰図 DGAE-A16<2/5>に接続



鳥瞰図 DGAE-A16<4/5>

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



寸法表

階層高	より	階層高	系高(m)
88	-	83	2.93
88	-	86	1.65
88	-	89	4.00
89	-	90	5.00
90	-	93	3.41
92	-	93	1.41
93	-	94	7.00
94	-	95	1.95
95	-	96	1.65
95	-	98	4.00
98	-	100	2.00
100	-	101	1.28
96	-	113	2.18
113	-	118	1.93
116	-	118	6.00
118	-	120	2.00
120	-	121	2.00

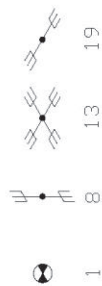
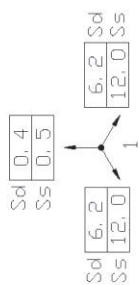
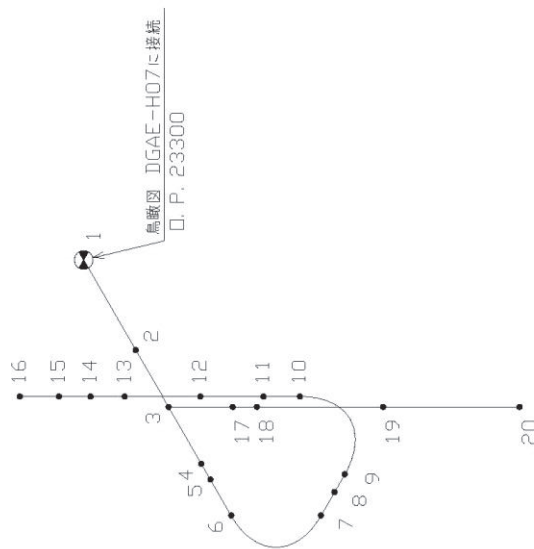
この図は、本図の各階層高が、この寸法表の階層高と一致することを示すための図である。

鳥瞰図 DGAE-A16(5/5)

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



寸法表		
断面点	水平断面径	長さ (mm)
1	φ	1346
2	φ	1040
3	φ	1040
4	φ	925
5	φ	875
6	φ	875
7	φ	875
8	φ	875
9	φ	875
10	φ	875
11	φ	875
12	φ	875
13	φ	875
14	φ	875
15	φ	875
16	φ	875
17	φ	875
18	φ	875
19	φ	875
20	φ	875



鳥籠図 DGAE-H06

別添 2-5-2-2 図 始動空気系 (DGAE-H06) 解析モデル図

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 2-5-2-8 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評価基準値 (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)	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)	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)	448 (1.0)
				支持構造物	組合せ	125	552

別添2-5-2-12表 高压炉心スプレイスライデー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 2-5-3-2 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 2-5-3-2 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 を用いて表すと以下となる*。

$$h_{\max} = 0.837 \frac{R}{g} S_A$$

*[出典]機械工学便覧 α. 基礎編 (日本機械学会, 2007)

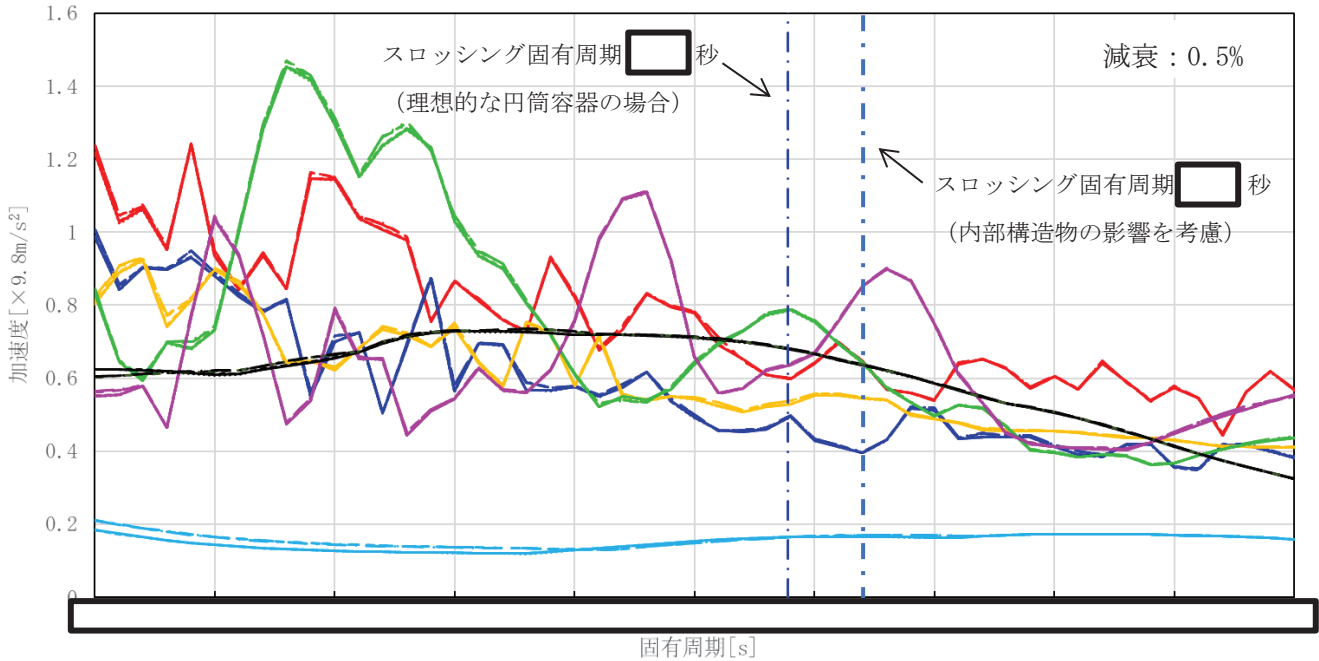
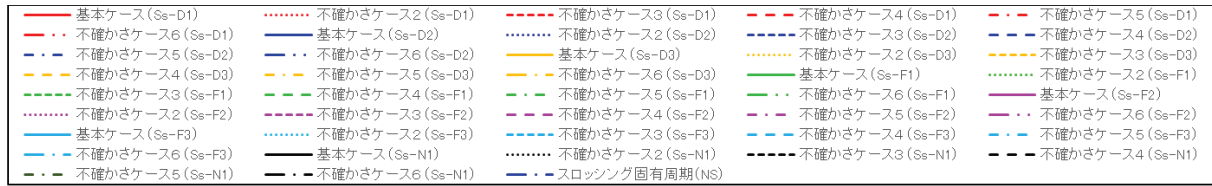
2.2.2 スロッシング解析に適用する地震動の選定(単純な円筒容器を想定した場合)

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。

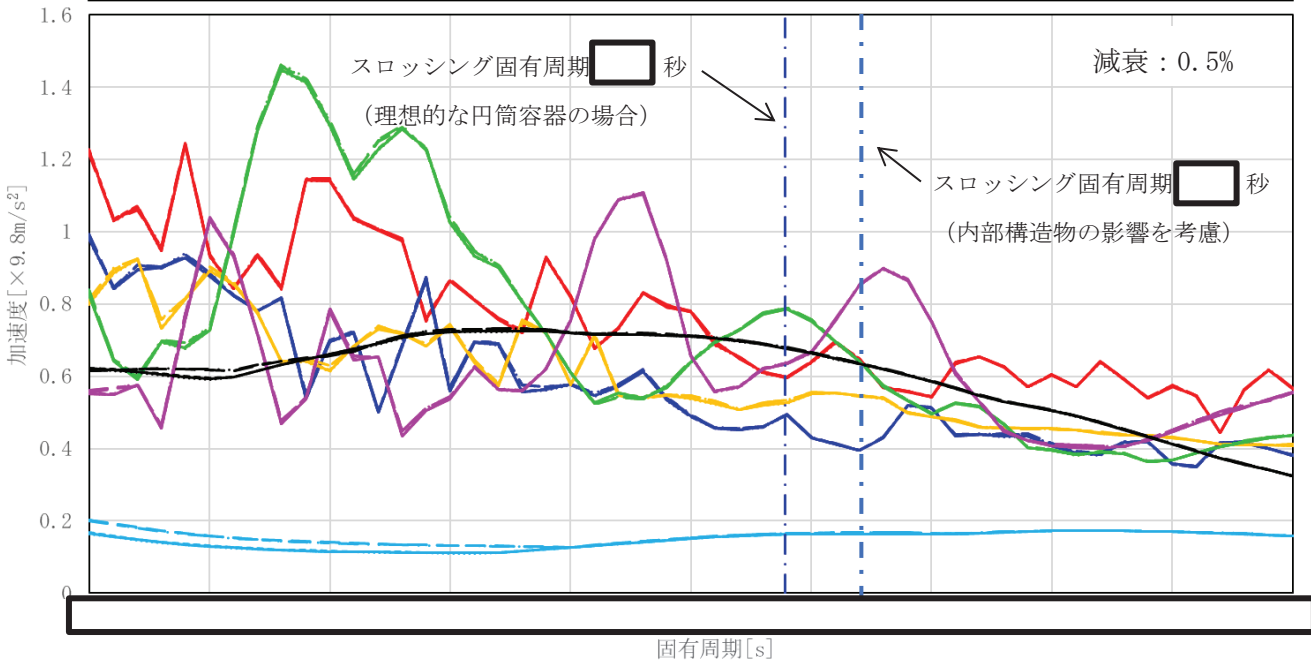
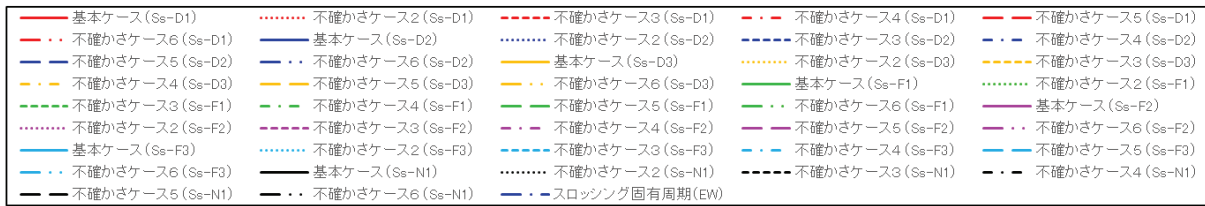
潤滑油サンプタンクのスロッシング固有周期と基準地震動 S_s の床応答スペクトルの比較結果を別添 2-5-3-3 図及び別添 2-5-3-4 図に示す。スロッシング固有周期で最大加速度となる地震動は、NS, EW 方向共に $S_s - F1$ となることを確認した。また、 $S_s - F1$ の地震応答において、スロッシング固有周期では原子炉建屋の地震応答解析における基本ケースと材料物性等の不確かさケースに差は見られないことも確認した。

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。

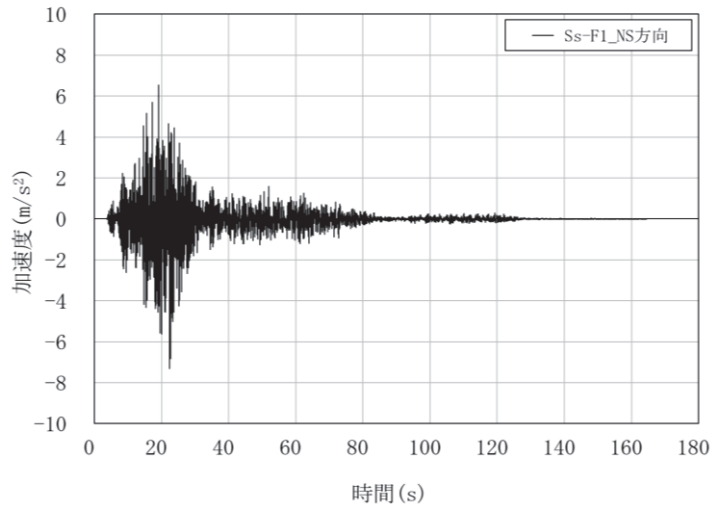


別添 2-5-3-3 図 基準地震動 S s (7 波) と潤滑油サンプタンクのスロッシング固有周期の関係 (NS 方向)

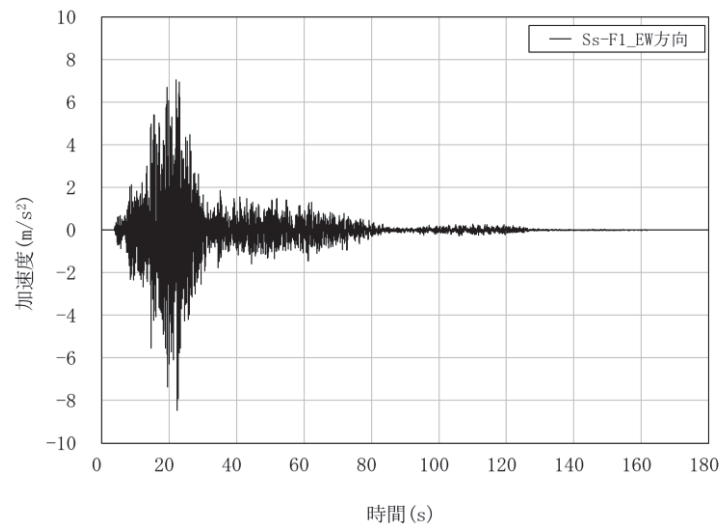


別添 2-5-3-4 図 基準地震動 S s (7 波) と潤滑油サンプタンクのスロッシング固有周期の関係 (EW 方向)

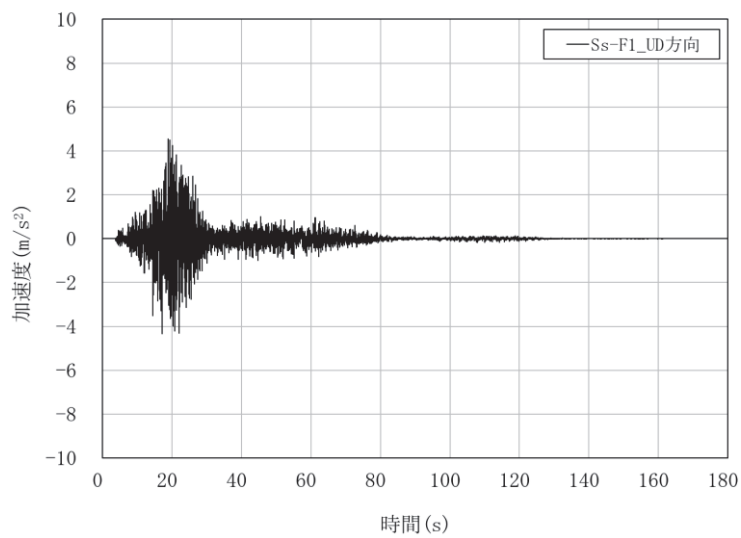
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



(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。

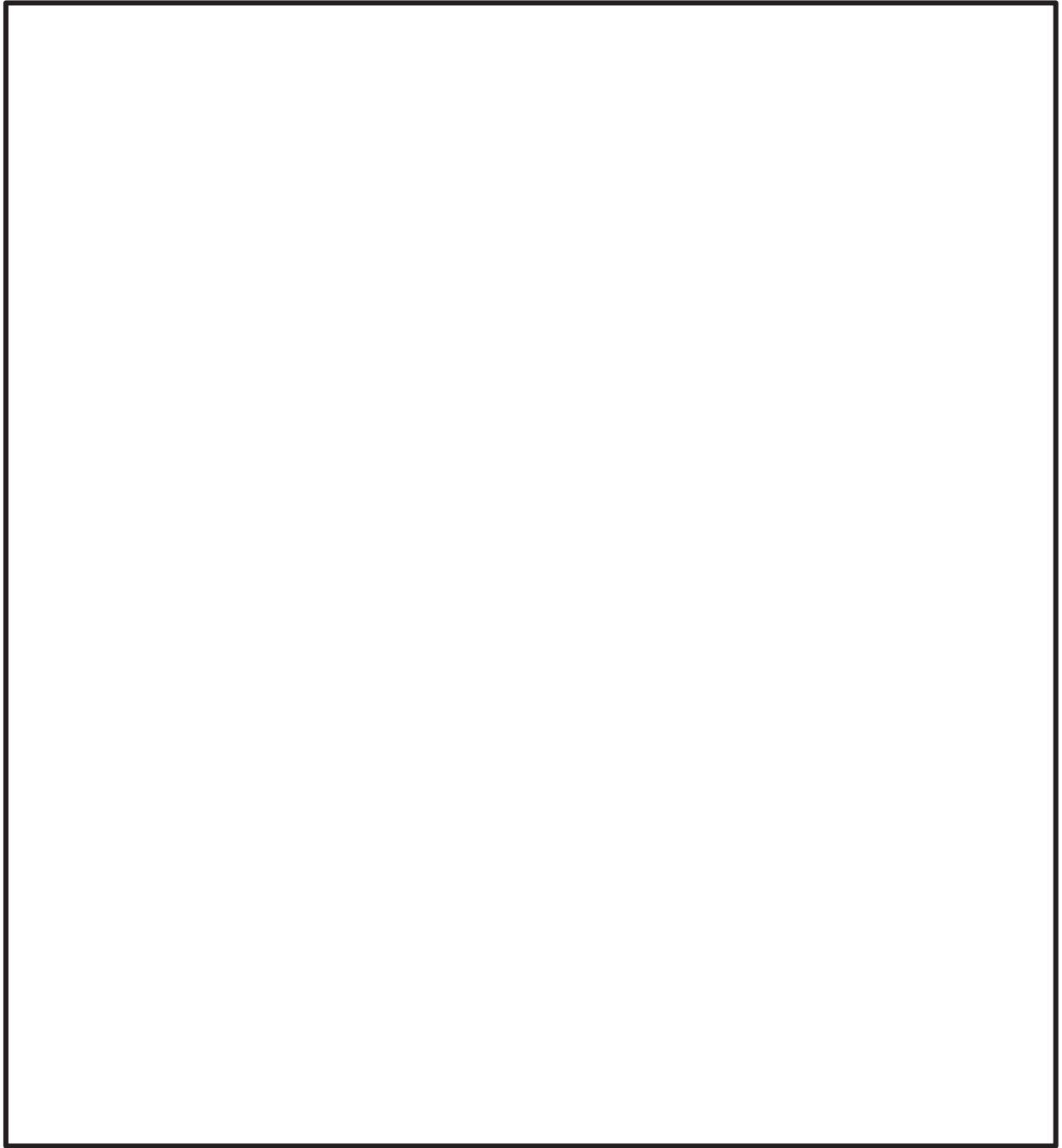
別添 2-5-3-1 表 3次元流動解析に用いた評価条件

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			

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。

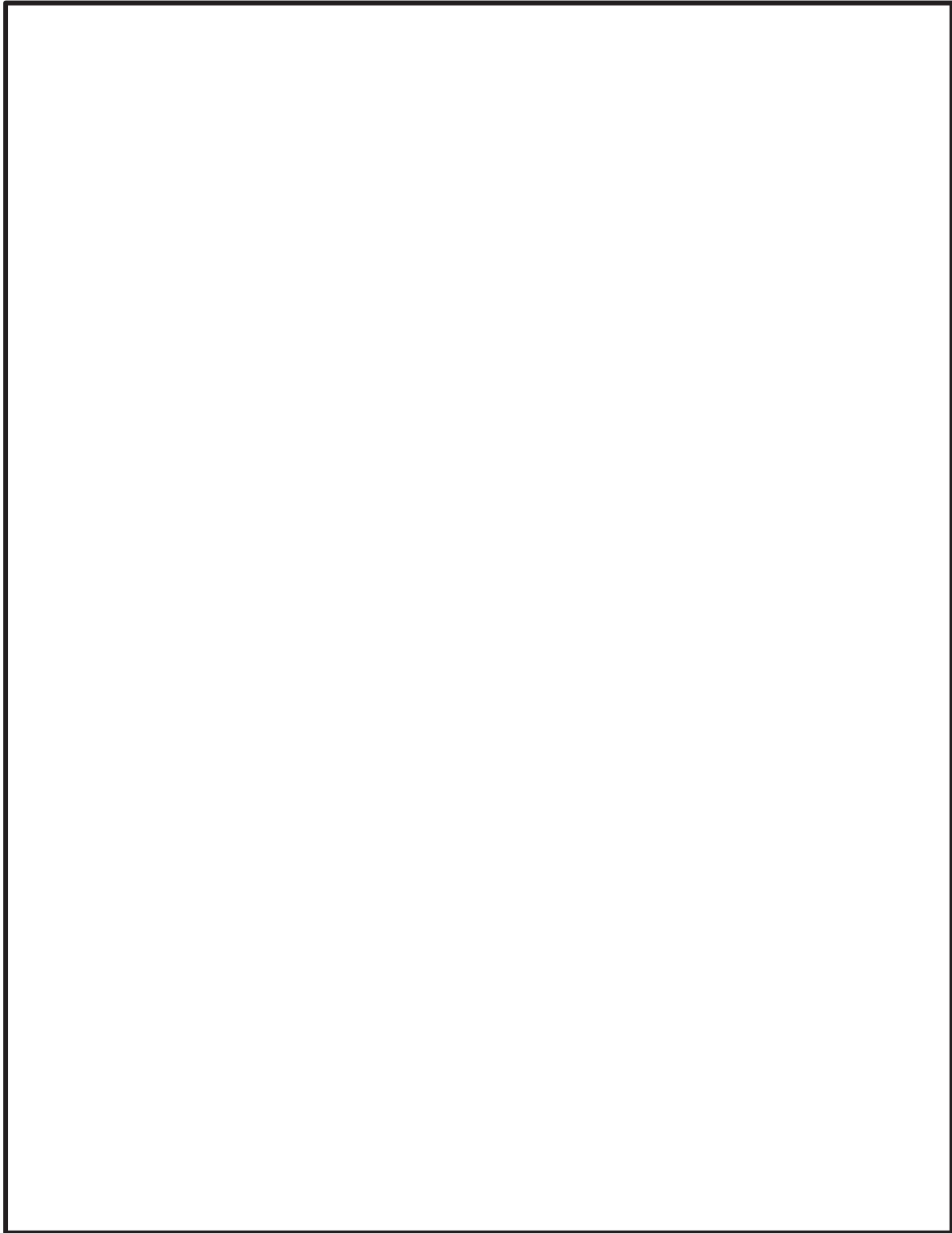


別添 2-5-3-7 図 液面レベルと吸込配管の位置関係 (S s - F 1)



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 潤滑油サンプル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、 $S_s - F1$ による液面振幅のフーリエスペクトル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。



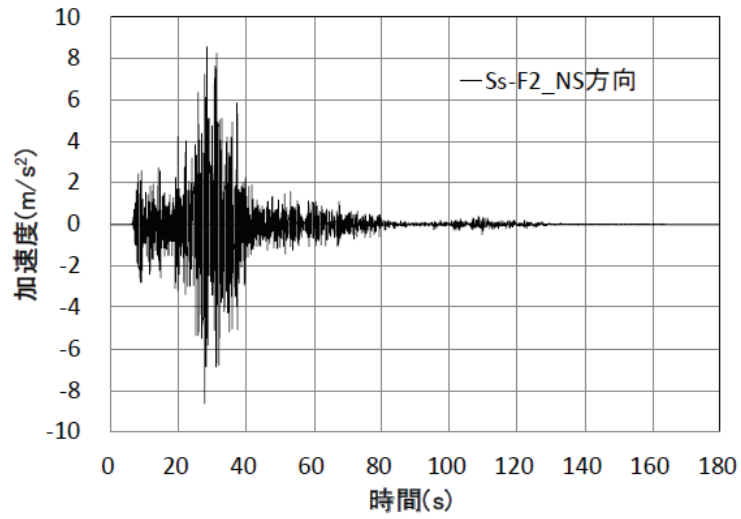
別添2-5-3-10図 $S_s - F1$ による液面振幅のフーリエスペクトル

2.2.7 波高変動の卓越固有周期による地震動の選定

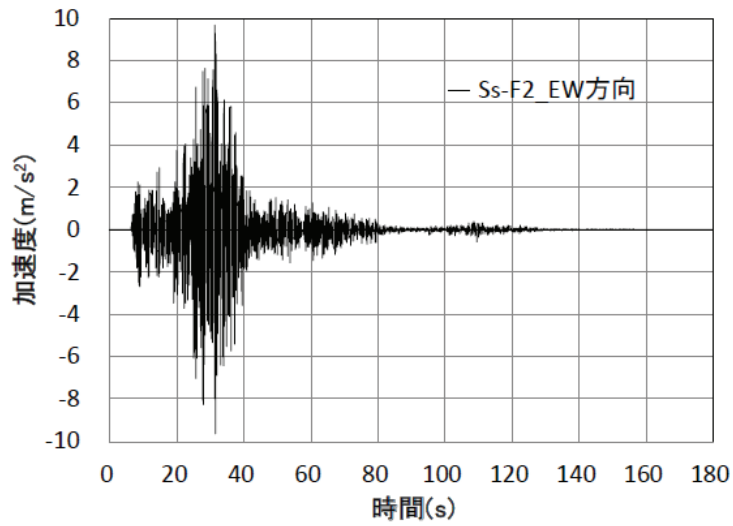
内部構造物の影響を考慮した場合の潤滑油サンプタンクのスロッシング固有周期と基準地震動 S_s の床応答スペクトルの比較結果を別添2-5-3-3図及び別添2-5-3-4図に示す。スロッシング固有周期で最大加速度となる地震動は、周期秒では基準地震動 $S_s - F2$ 、周期秒では基準地震動 $S_s - D1$ となる。ここで、各基準地震動の応答加速度を比較すると、基準地震動 $S_s - F2$ が0.85gに対し、基準地震動 $S_s - D1$ が0.64gである。最大波高は加速度応答スペクトルに比例することから、基準地震動 $S_s - F2$ の基本ケースを選定した。

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。

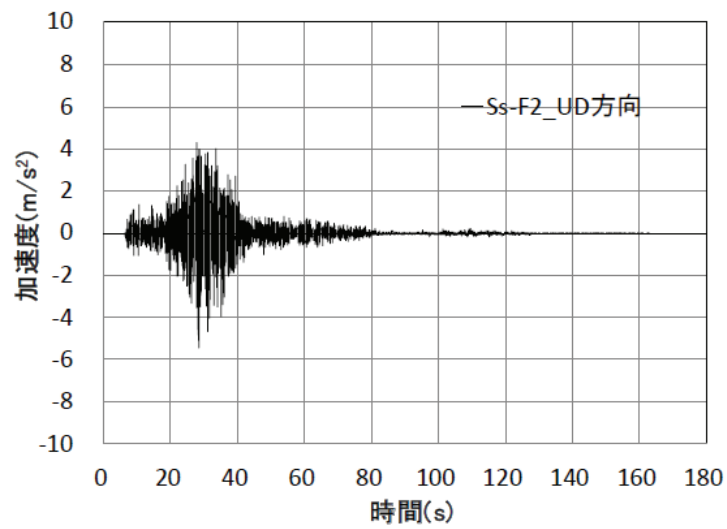
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



(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。

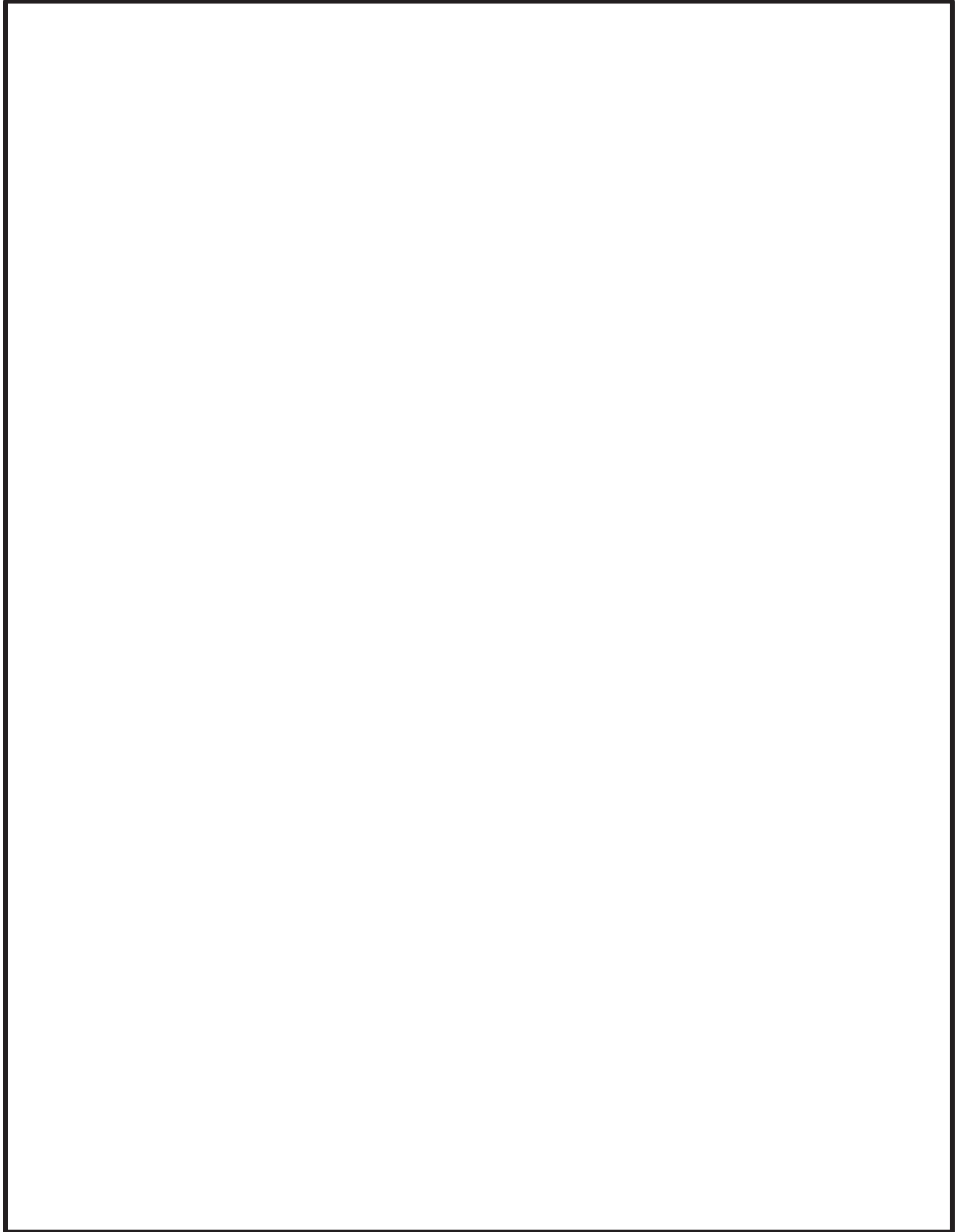


別添 2-5-3-12 図 液面レベルと吸込配管の位置関係 (S s - F 2)



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。



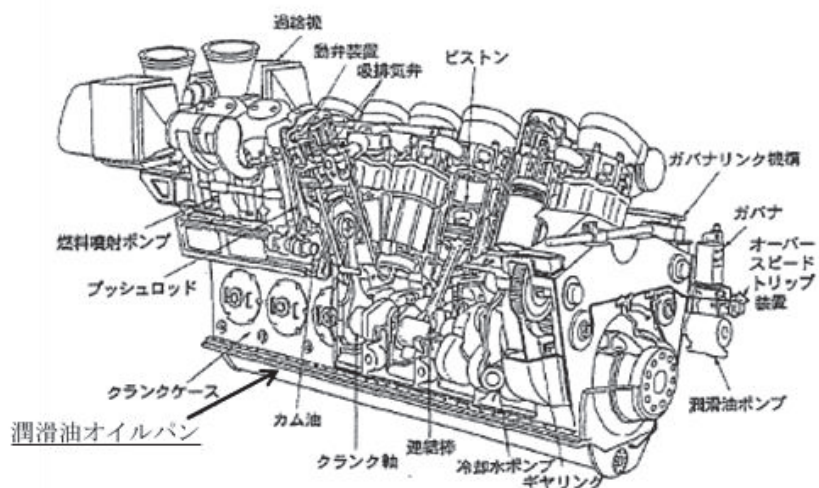
別添 2-5-3-14 図 潤滑油サンプルタンクのスロッシングによる液位の時間変化 (S s - F 2)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

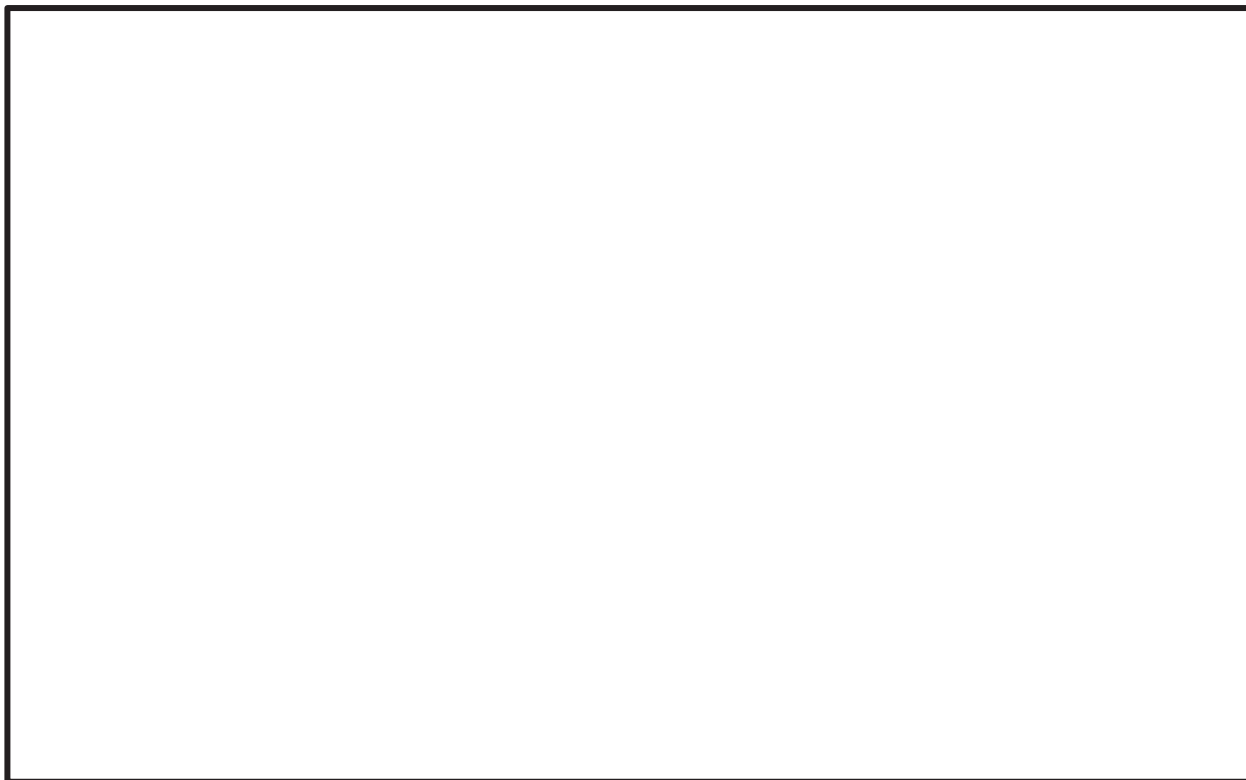
3. 高圧炉心スプレイ系ディーゼル機関 潤滑油オイルパンのスロッシング評価

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 2-5-3-10 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 2-5-3-10 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 2-5-3-11 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 2-5-3-11 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 2-5-3-12 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 2-5-3-3 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 2-5-3-12 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 2-5-3-3 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。

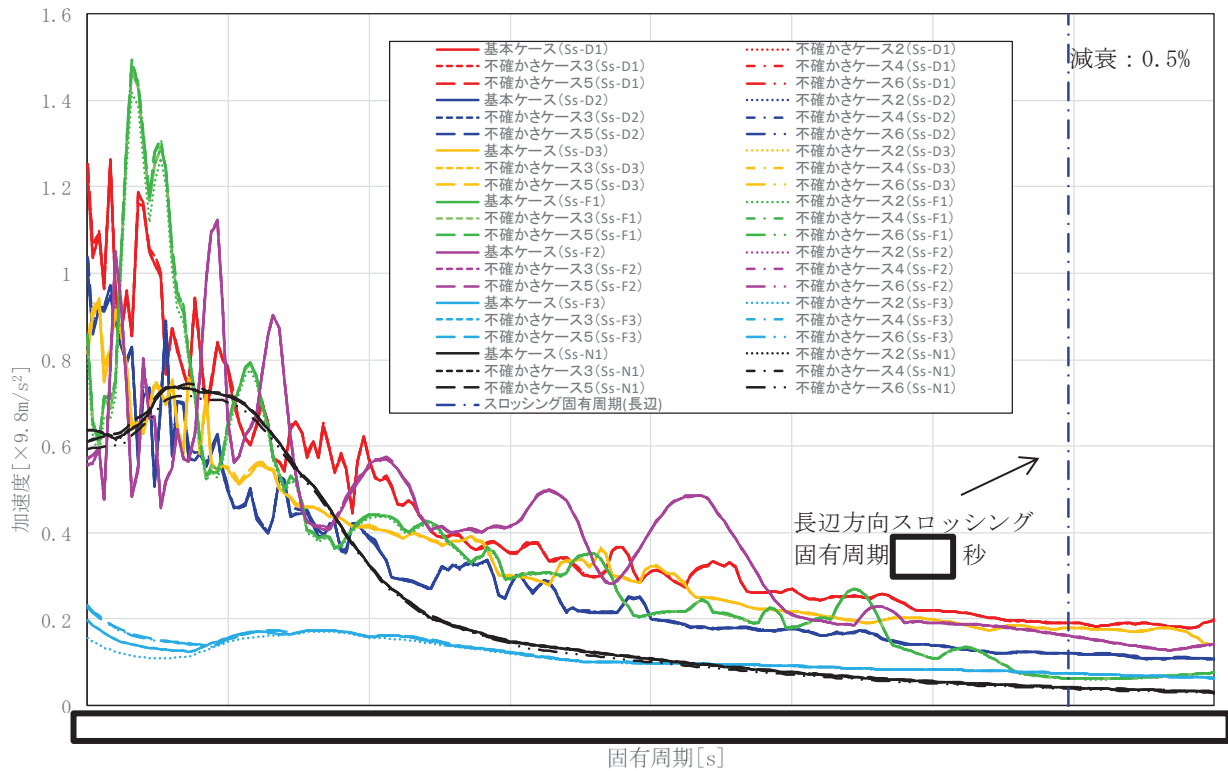
3.2.2 スロッシング解析に適用する地震動の選定

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 2-5-3-13 図、別添 2-5-3-14 図に示す。

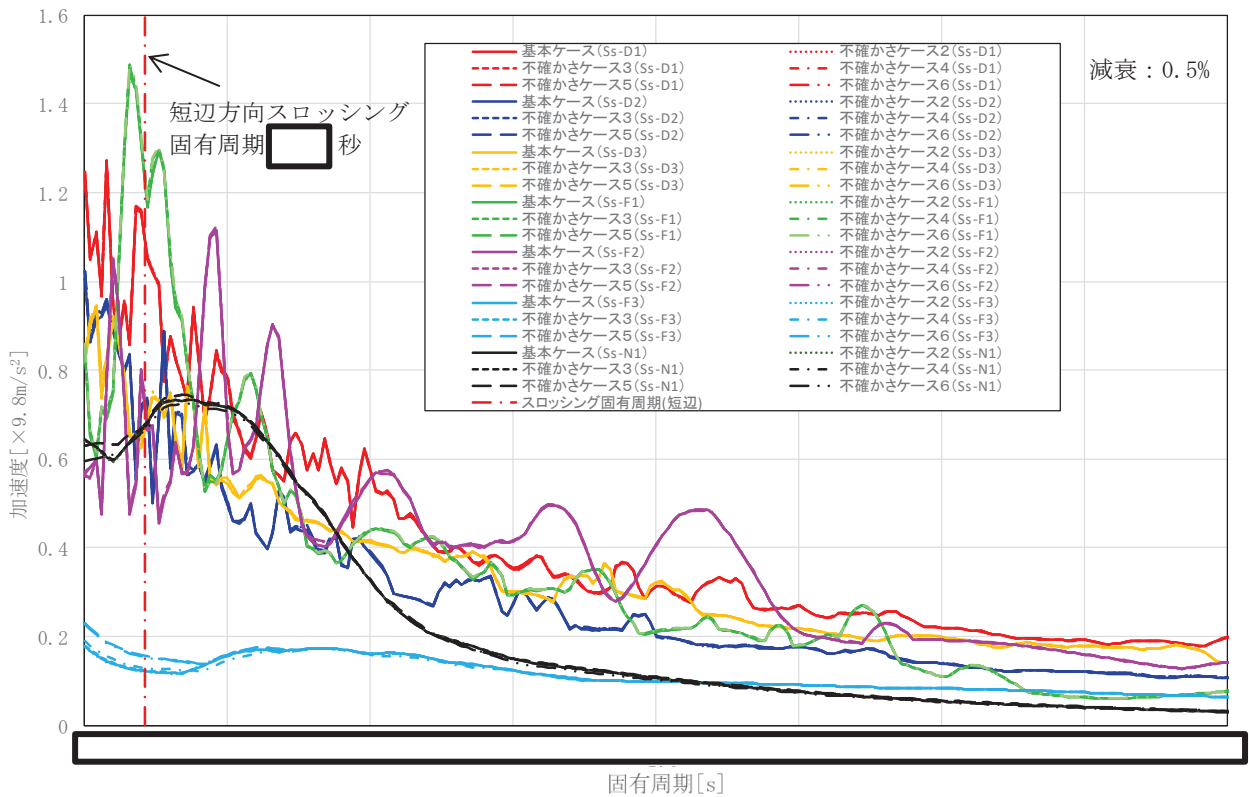
確認の結果、長辺方向 (NS 方向) のスロッシング固有周期 秒に対して最大加速度となる地震動としては $S_s - D 1$ となり、短辺方向 (EW 方向) の固有周期 秒に対して最大加速度なる地震動は $S_s - F 1$ となることを確認した。また、 $S_s - D 1$ 、 $F 1$ それぞれの地震応答において、スロッシング固有周期では基本ケースと不確かさケースに差は見られないことも確認した。

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 2-5-3-15 図、別添 2-5-3-16 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は、吸込口が容器中心付近にあることから液面変動に与える影響は小さいと考え同位相とした。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

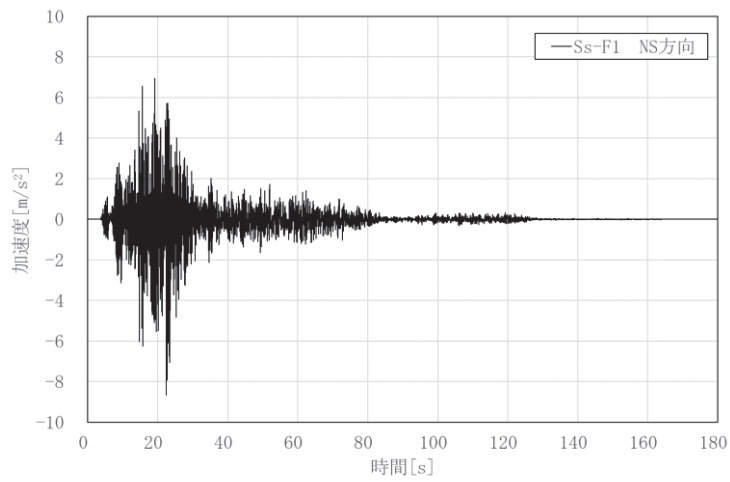


別添 2-5-3-13 図 基準地震動 S s (7 波) と潤滑油オイルパンのスロッシング固有周期の関係 (長辺方向, NS 方向)

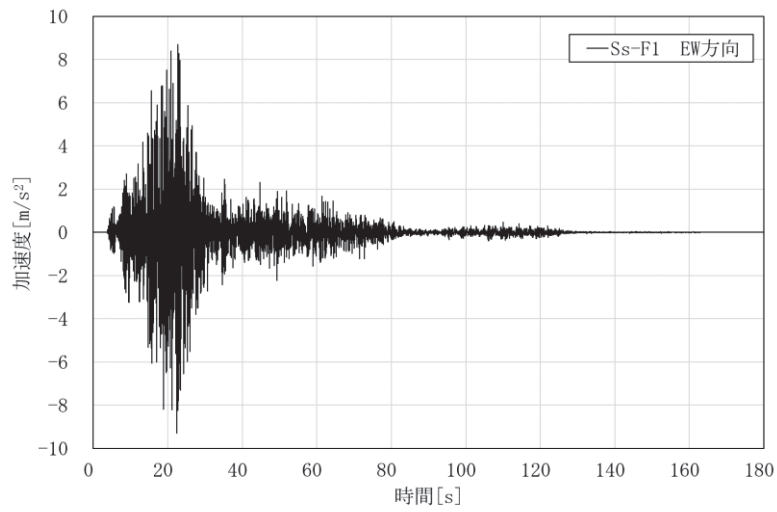


別添 2-5-3-14 図 基準地震動 S s (7 波) と潤滑油オイルパンのスロッシング固有周期の関係 (短辺方向, EW 方向)

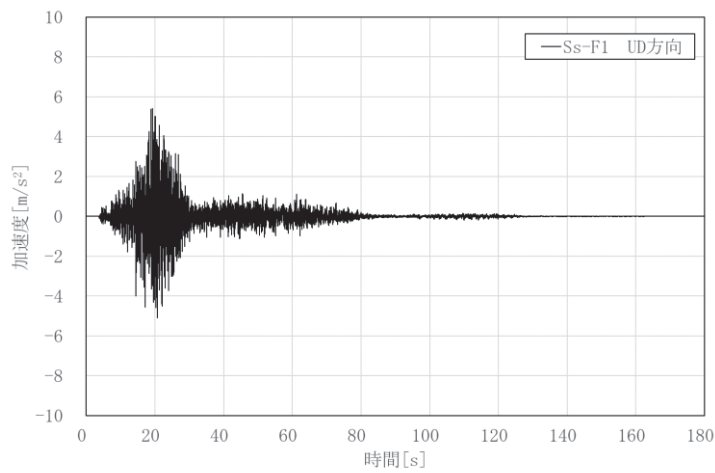
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



(1) 加速度時刻歴波形 (NS 方向)

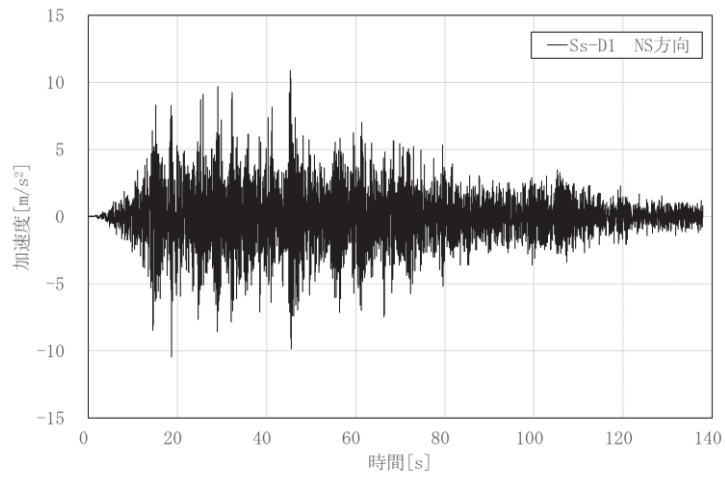


(2) 加速度時刻歴波形 (EW 方向)

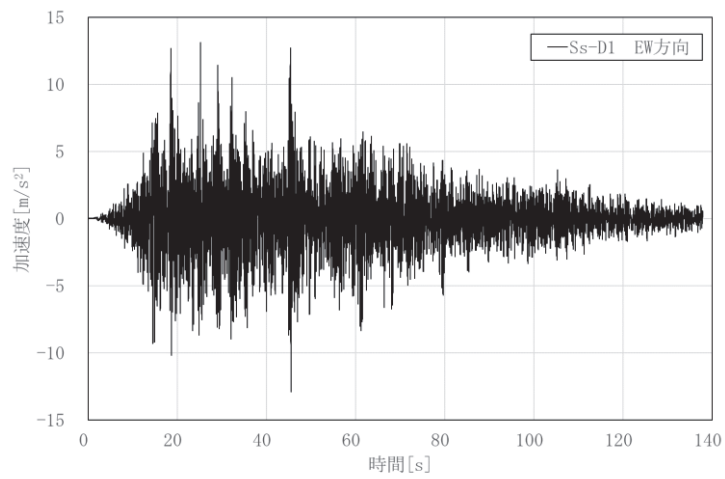


(3) 加速度時刻歴波形 (UD 方向)

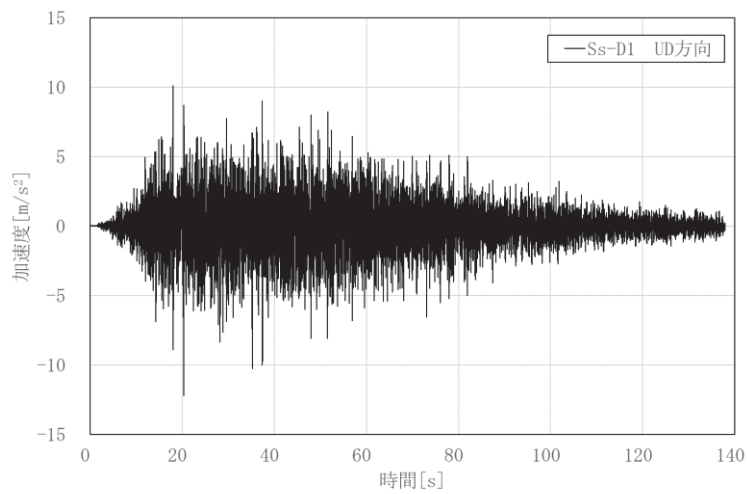
別添 2-5-3-15 図 基準地震動 S s - F 1 の時刻歴加速度波形



(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 2-5-3-16 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 2-5-3-10 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 2-5-3-4 表に示す。また、解析モデル図について、別添 2-5-3-17 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。

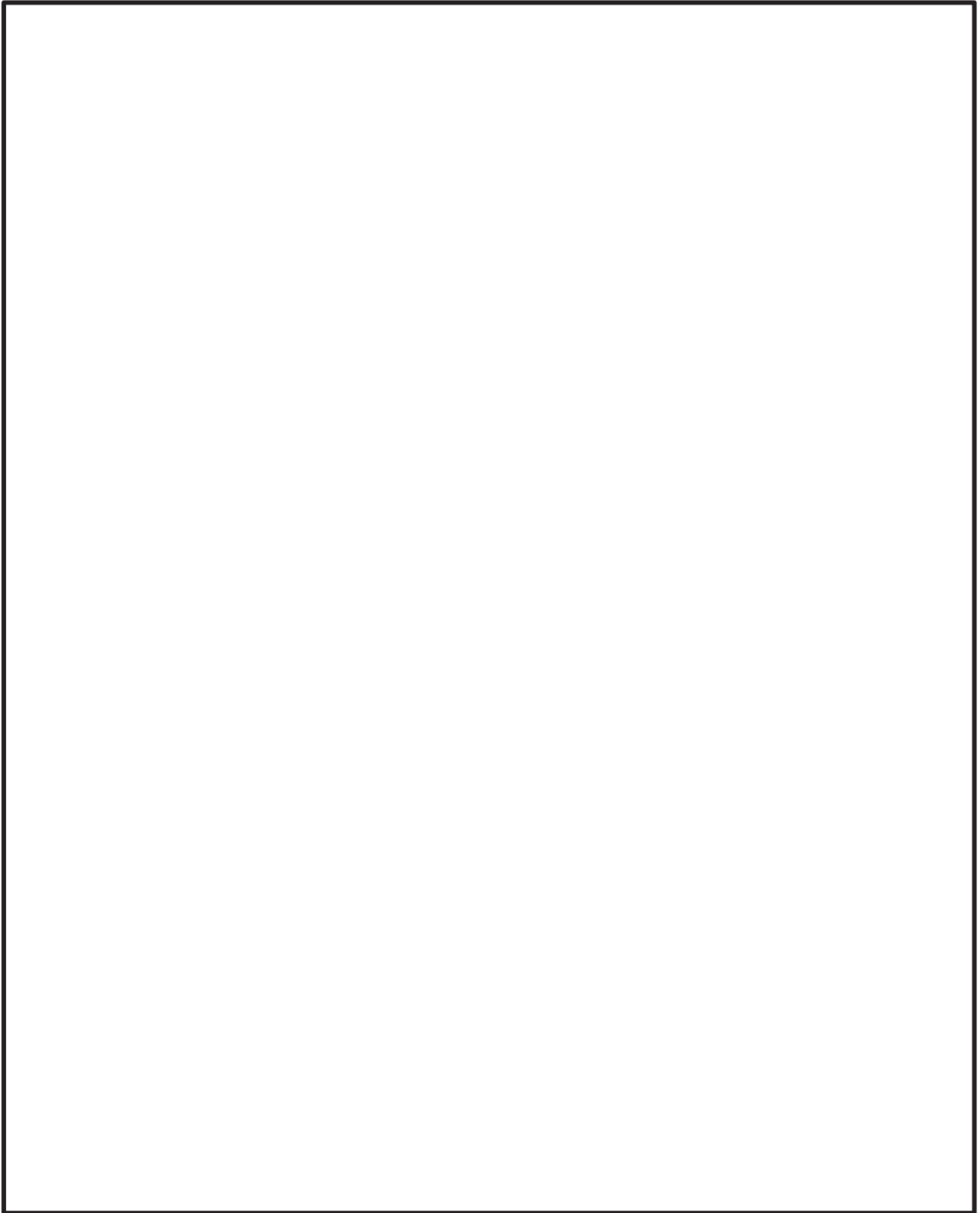
別添 2-5-3-4 表 3次元流動解析に用いた評価条件

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 2-5-3-17 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 2-5-3-20 図及び別添 2-5-3-21 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 2-5-3-5 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。

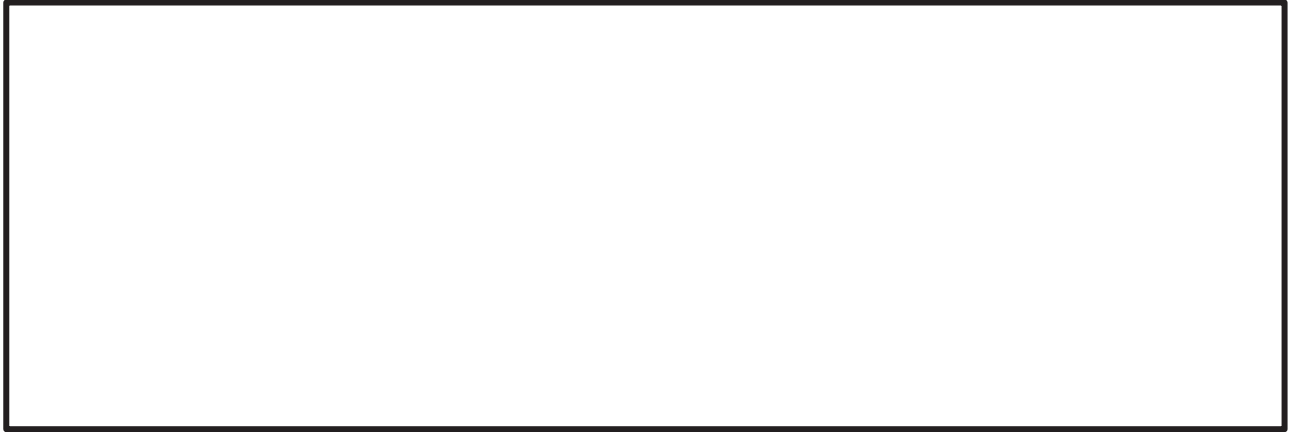
別添 2-5-3-5 表 潤滑油オイルパンのスロッシングによる液面変位

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 2-5-3-18 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。

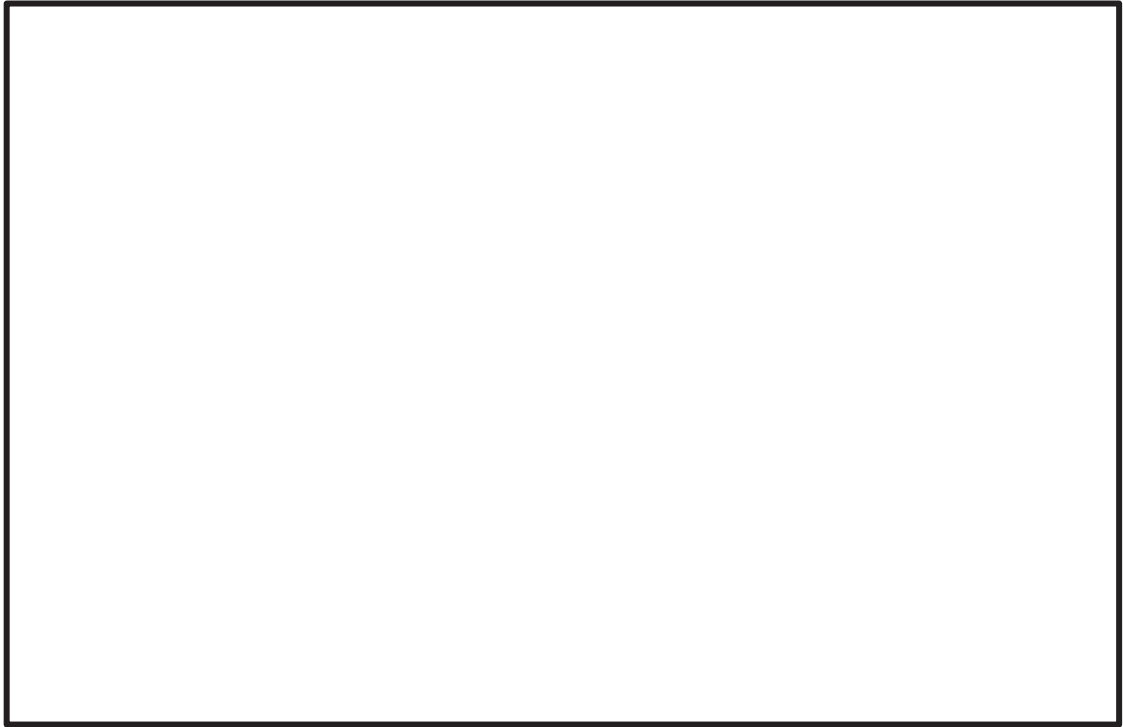


別添 2-5-3-18 図 液面レベルと出口配管の位置関係

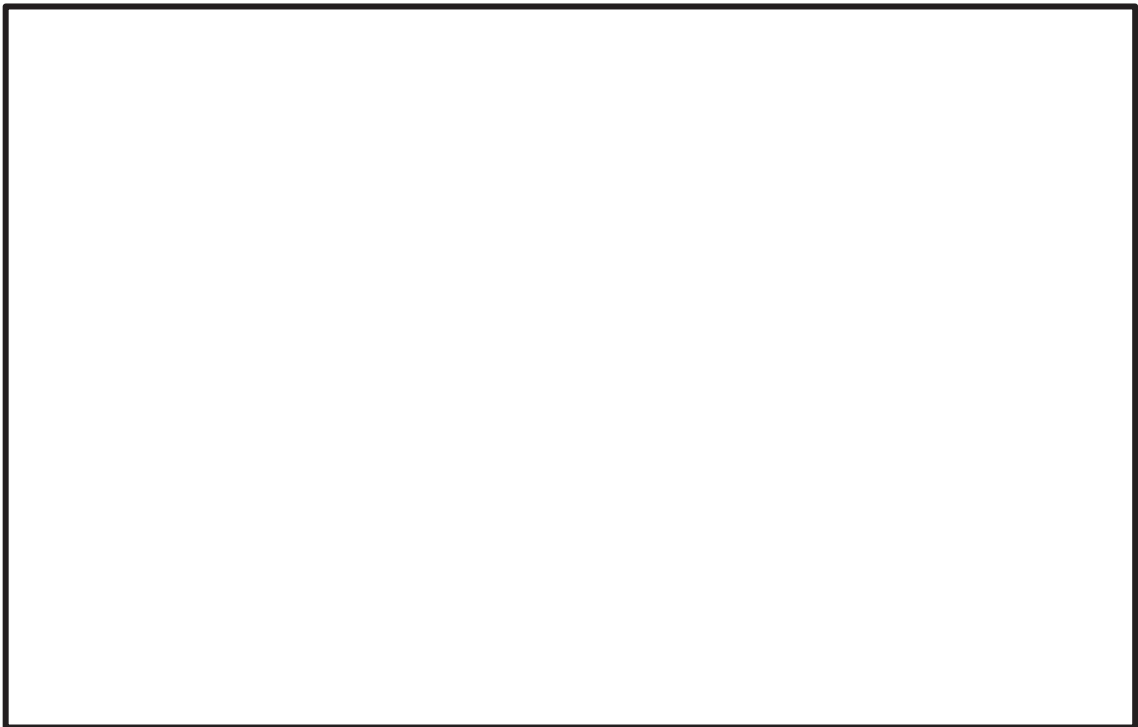


別添 2-5-3-19 図 潤滑油オイルパンスロッシング解析結果
(S s - D 1 最低液位発生時点)

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 2-5-3-20 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 2-5-3-21 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。

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

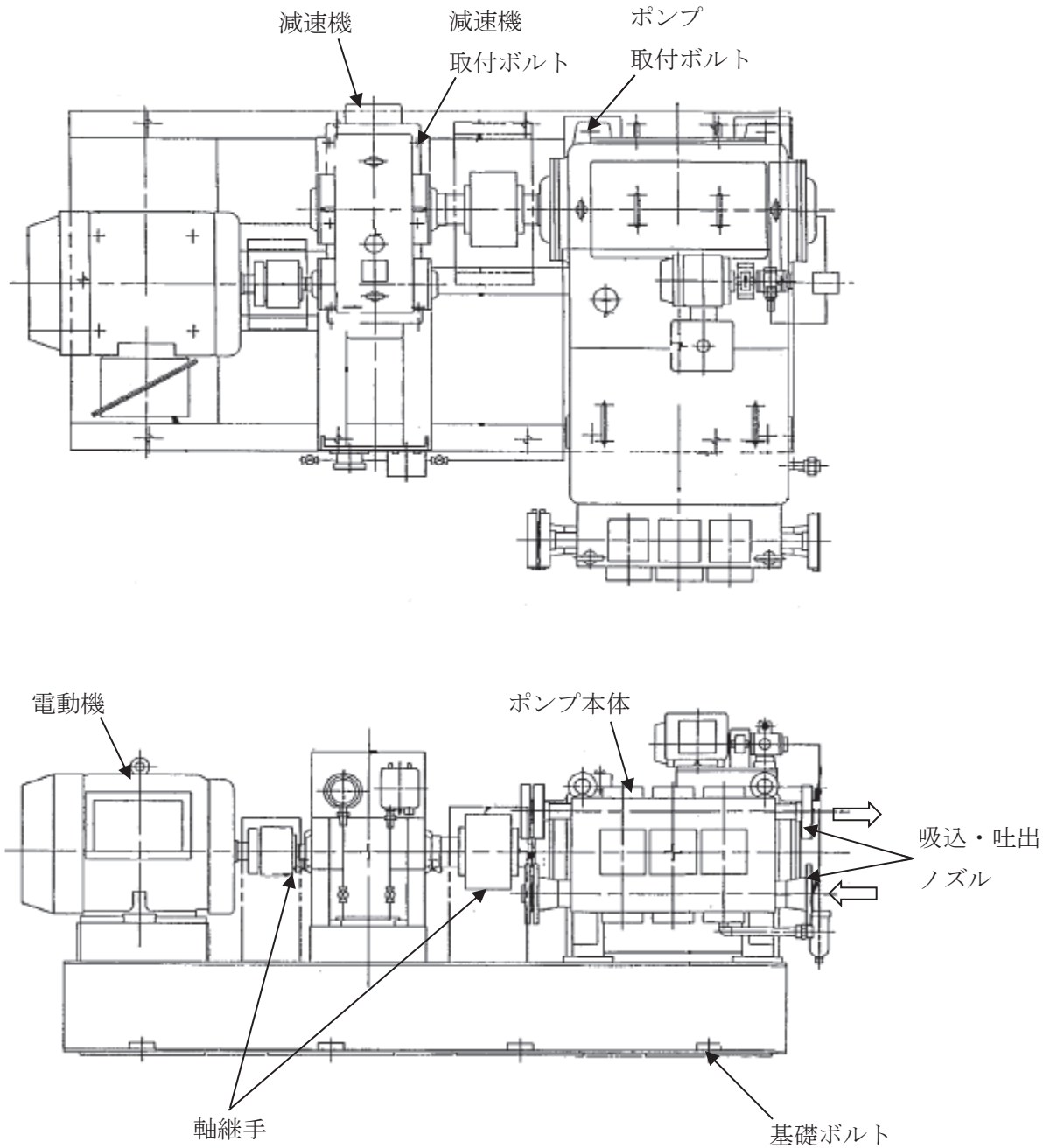
設備名称	形式	方向	機能維持 評価用加速度*1	機能確認済 加速度*1	超過の 有無*2
ほう酸水注入系 ポンプ	横形 3 連往復動 式	水平方向	1.77	1.6	×
		鉛直方向	1.30	1.0	×

注記*1：加速度の単位： $\times 9.8\text{m/s}^2$

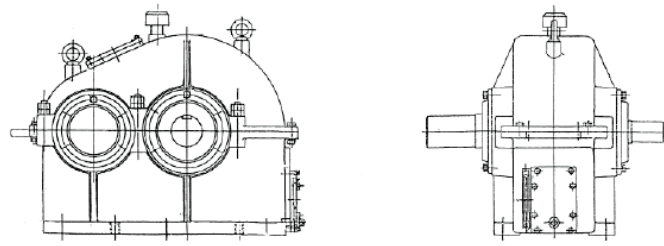
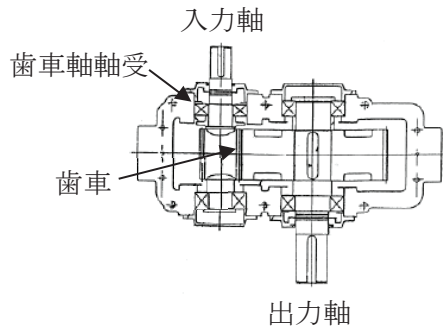
*2：機能維持評価用加速度が機能維持確認済加速度を超過しない場合を「○」，超過した場合は「×」で示す。

2. 往復動式ポンプの構造概要

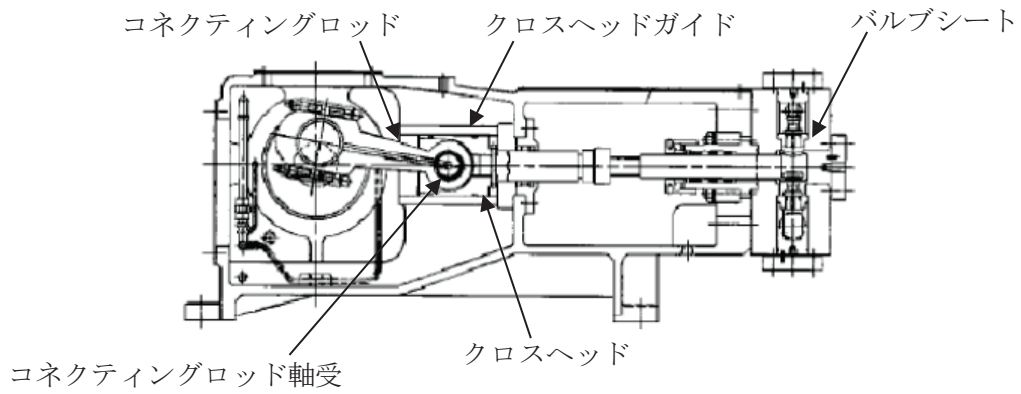
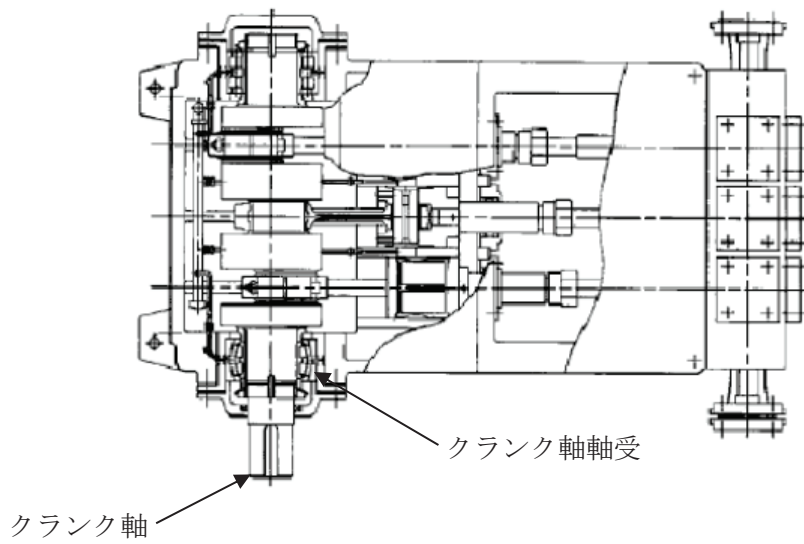
詳細評価が必要となった往復動式ポンプの構造概要を別紙 2-7-1 図に示す。往復動式ポンプは、既往研究により、軸系及び構造系ともに剛な構造であることが確認されている。



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

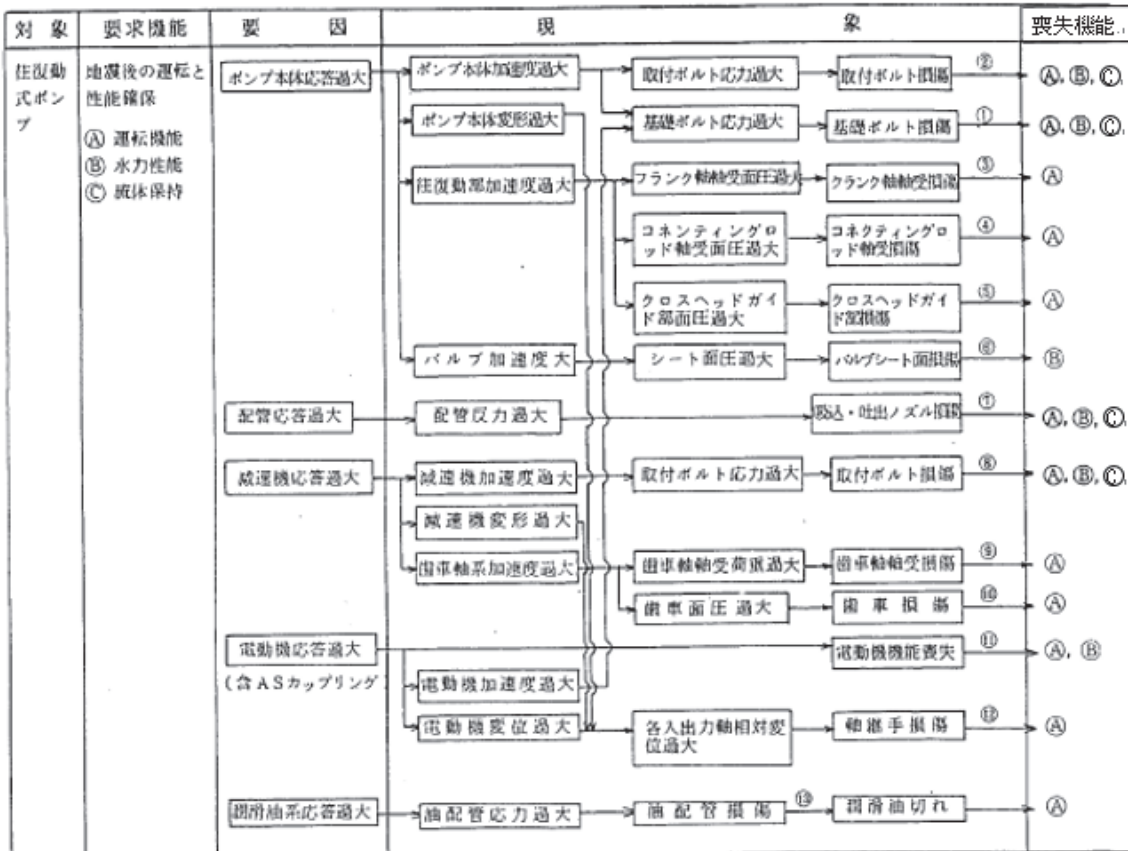
J E A G 4 6 0 1において基本評価項目として定義されている評価部位は以下のとおりである。

- ・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、全て評価基準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、一つでも評価基準値を超えれば、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	①
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. 往復動式ポンプの評価基準値の設定

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評価基準値を別紙 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評価基準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 往復動式ポンプの評価基準値

No	基本評価項目	評価基準値の設定
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評価基準値とした。
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} を評価基準値とした。
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} を評価基準値とした。
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} を評価基準値とした。

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	—	$\delta = \varrho_1 + \varrho_2 + \varrho_3$ ϱ_1 : 軸たわみにて生ずるスプロケット傾きによる変位 [mm] ϱ_2 : 地震による変位 [mm] ϱ_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

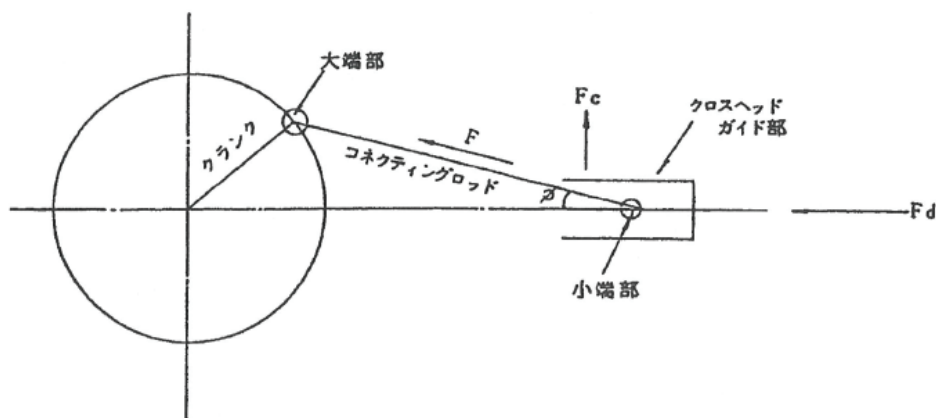
記号	記号の説明	単位
A_c	クロスヘッドガイド部受投影面積	m^2
F_c	クロスヘッドガイド部荷重	N
L	ストローク長	m
N	回転速度	rpm
P_c	クロスヘッドガイド部面圧	MPa
V_c	クロスヘッドガイド部すべり速度	m/s

参考2-7-2表 機器要目

部材	F_c (N)	A_c (m^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>

$$PV \text{ 値} = P_c \cdot V_c \dots\dots\dots (\text{参考 2-7-1-1})$$

$$P_c = F_c \cdot \frac{10^{-6}}{A_c} \dots\dots\dots (\text{参考 2-7-1-2})$$

$$V_c = \frac{2 \cdot L \cdot N}{60} \dots\dots\dots (\text{参考 2-7-1-3})$$

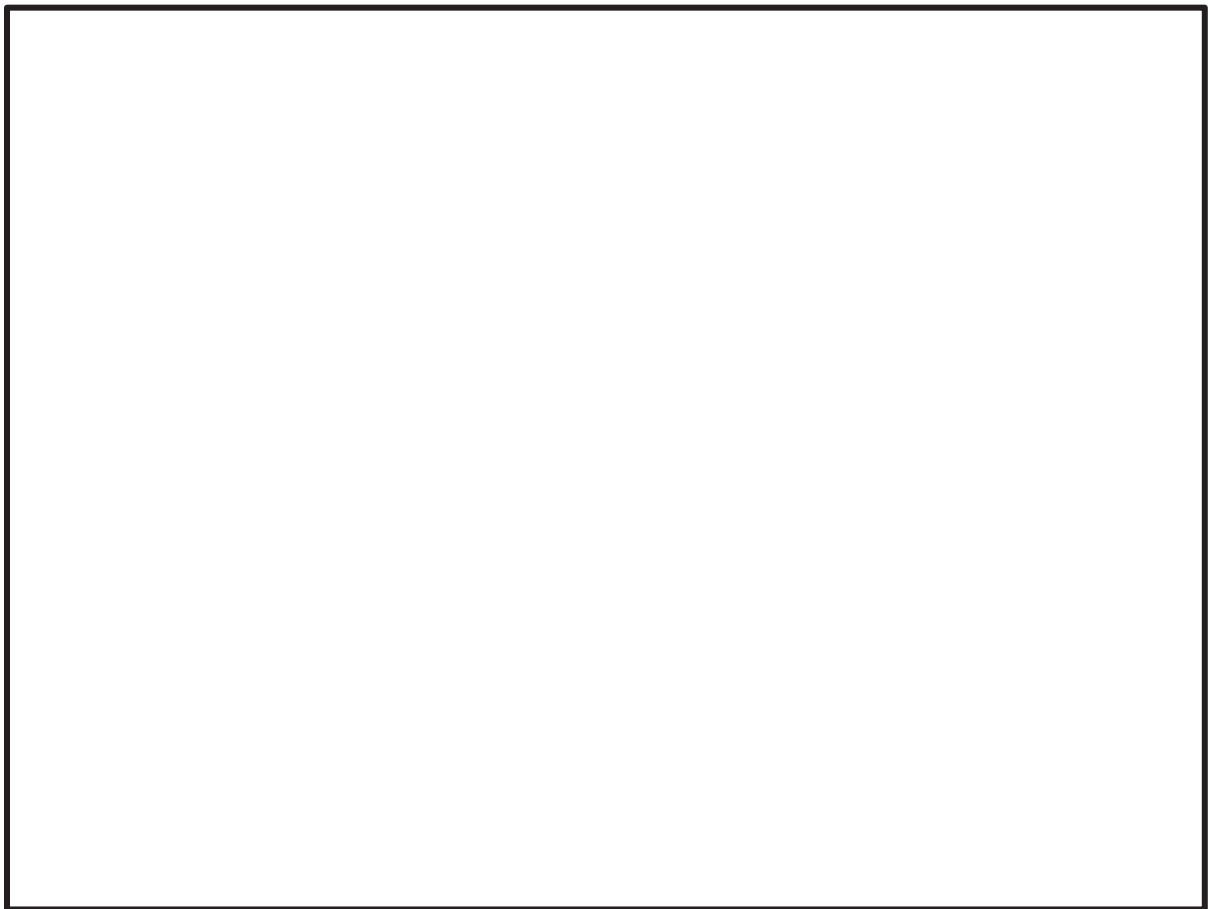
2. 油配管

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	13.90	9.6	×
		鉛直方向	7.65	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	9.18	6.0	×
		鉛直方向	10.51	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

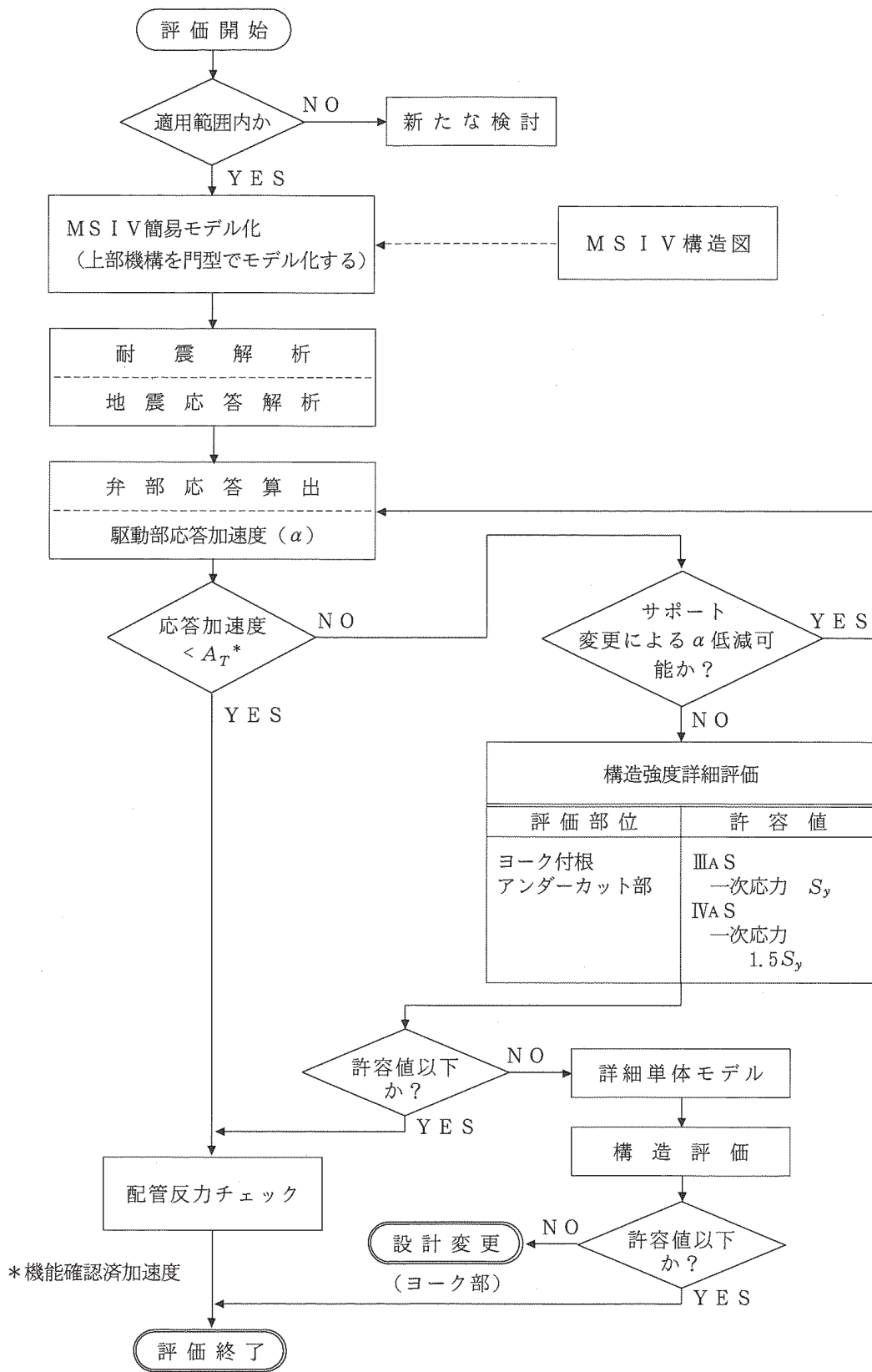
J E A G 4 6 0 1 に記載されている一般弁（グローブ弁、ゲート弁、バタフライ弁）の評価手順を別紙 2-8-3 図に示す。

(4) 一般弁（逆止弁）の評価手順

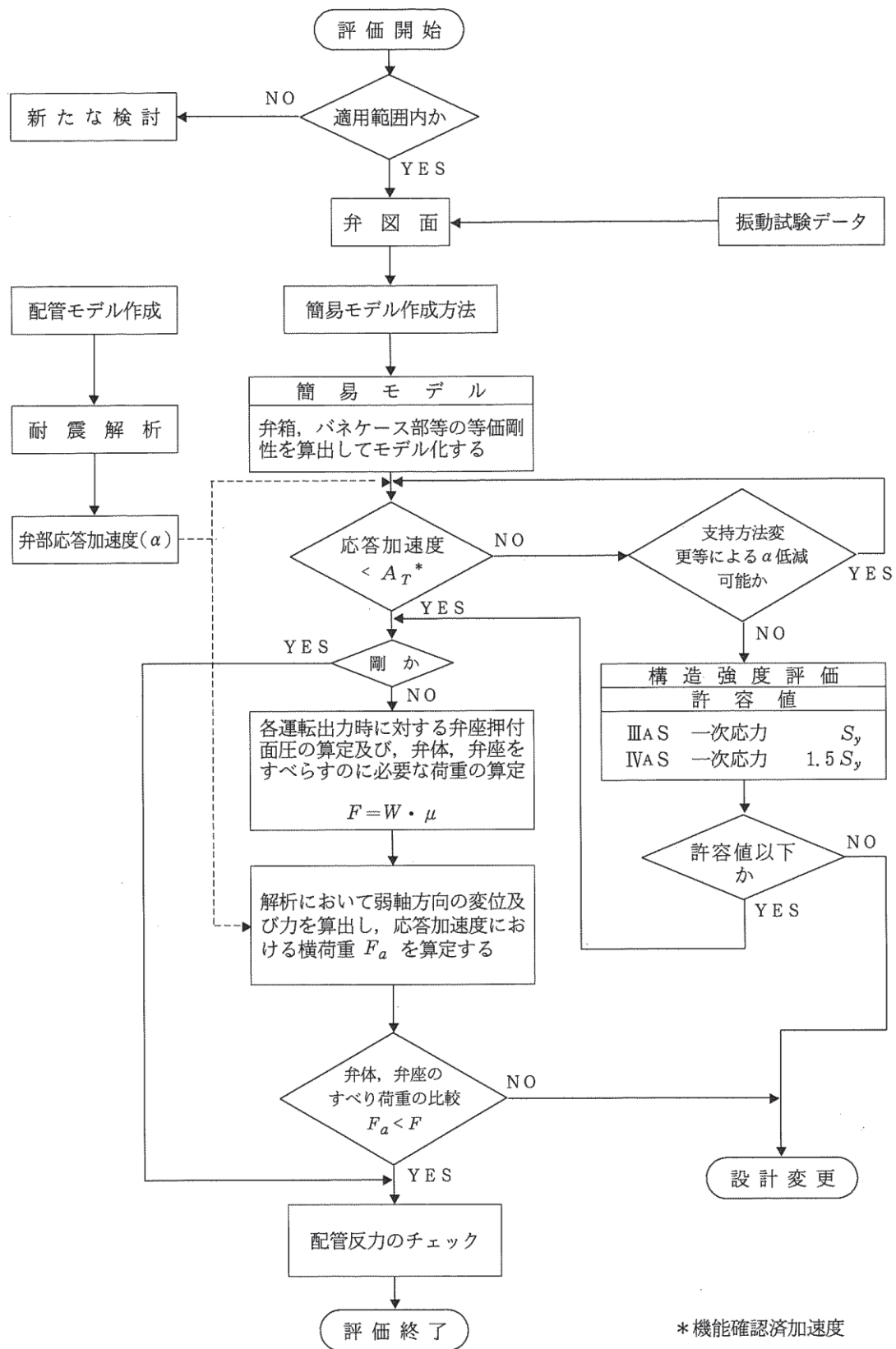
J E A G 4 6 0 1 に記載されている一般弁（逆止弁）の評価手順を別紙 2-8-4 図に示す。

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。

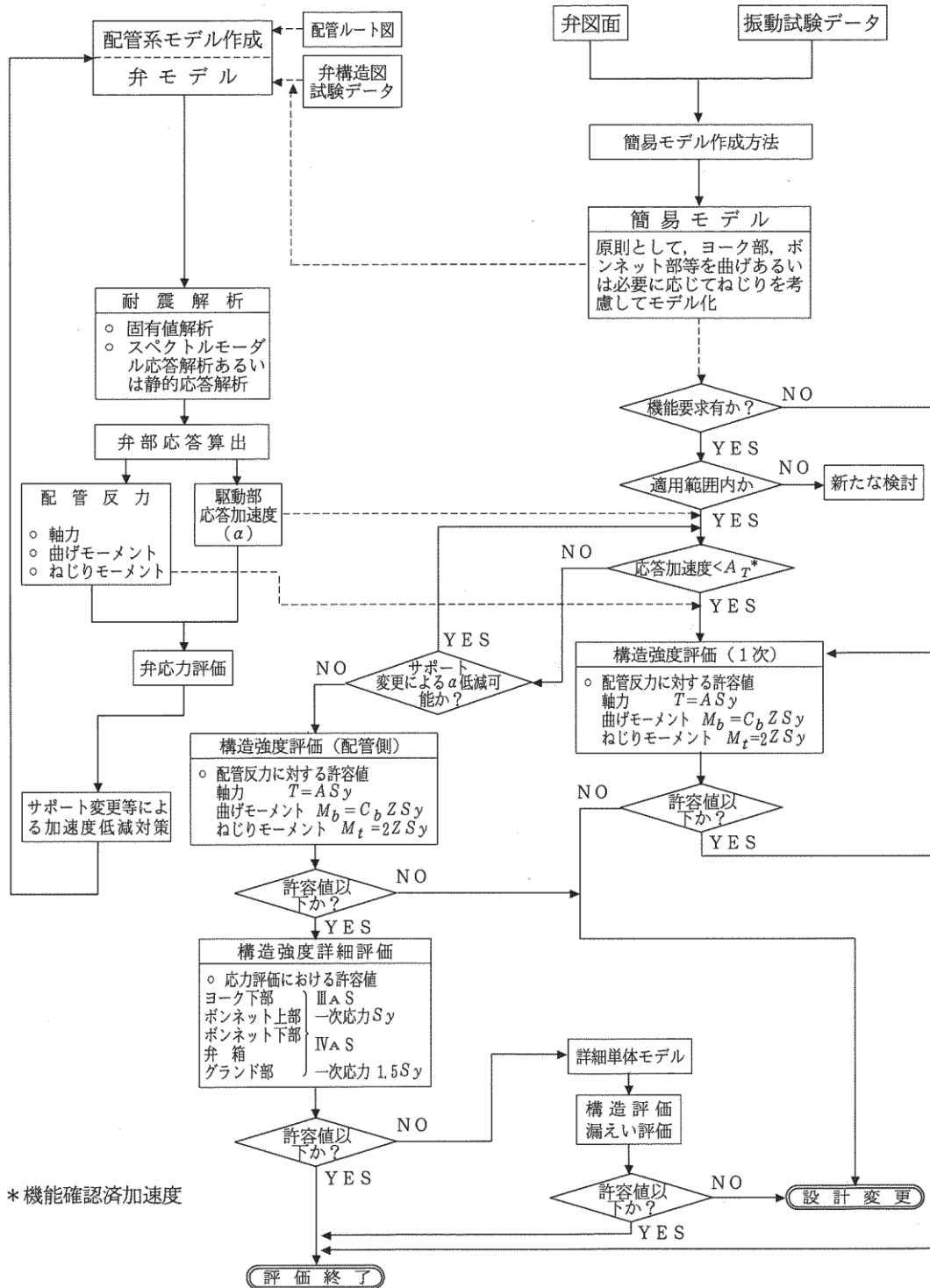
注記*：電力共通研究「動的機器の地震時機能維持に関する研究（昭和 55 年度～57 年度）」



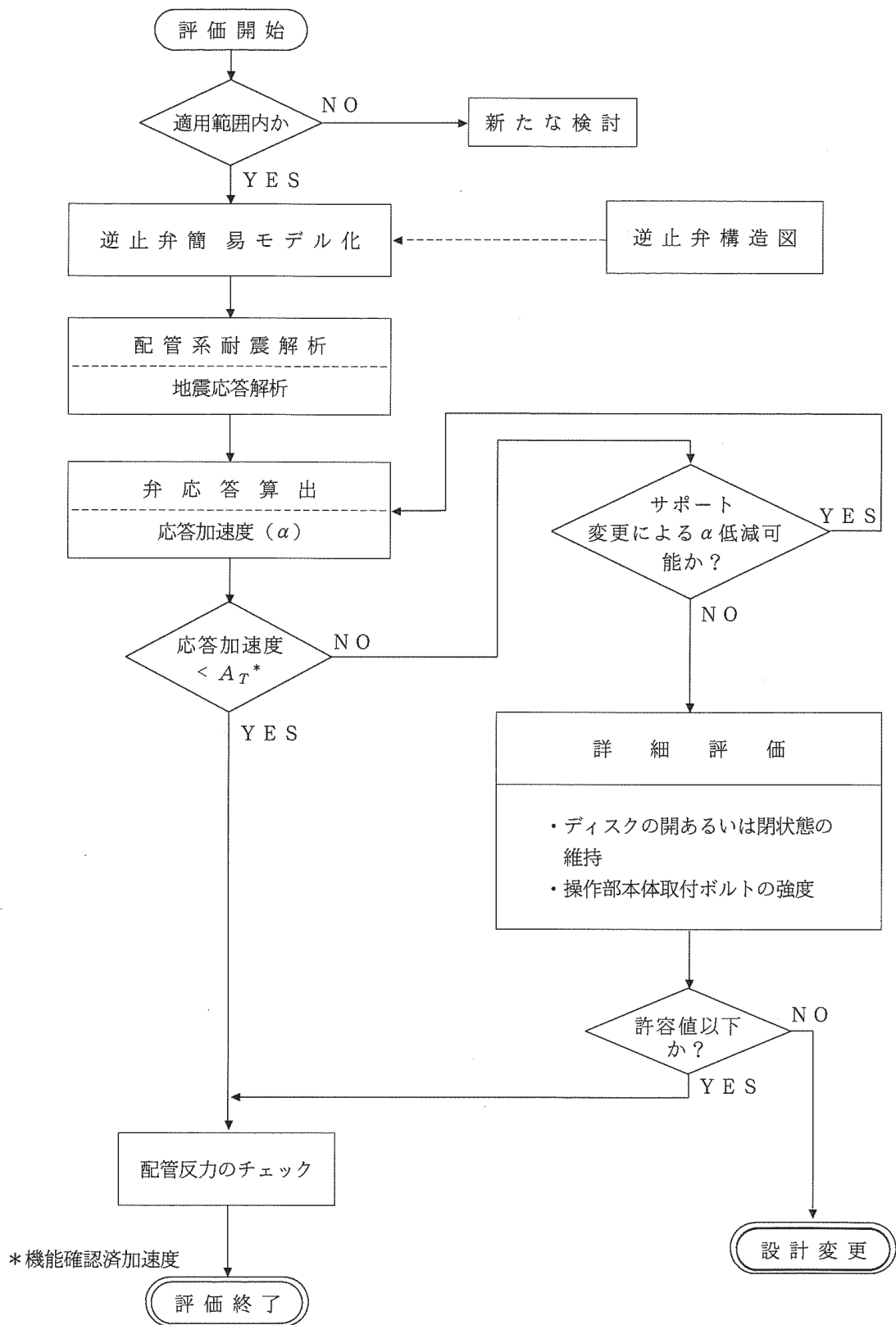
別紙 2-8-1 図 JEAG 4601 に記載された主蒸気隔離弁の評価手順



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 J E A G 4 6 0 1 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。

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

3.1.1 構造強度評価（弁最弱部）

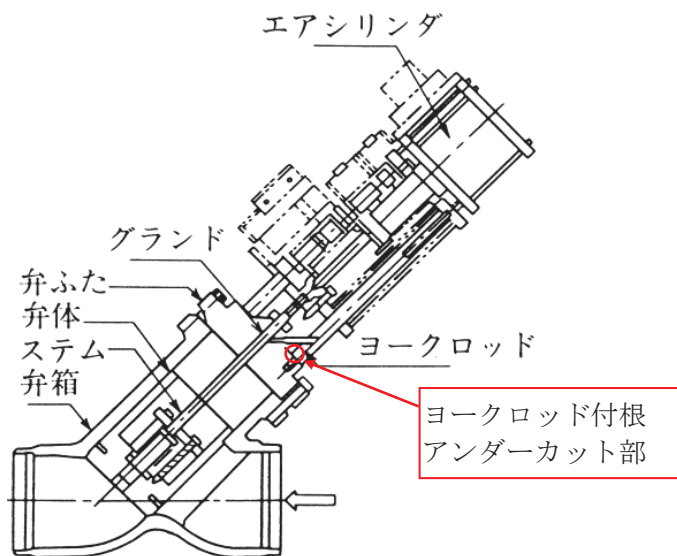
弁の構造強度の詳細評価として、弁最弱部の強度評価を行う。弁の最弱部として、主蒸気隔離弁においてはヨークロッド付根のアンダーカット部、主蒸気逃がし安全弁においてはクーリングスプール、一般弁（グローブ弁、ゲート弁、バタフライ弁）においてはヨーク下部、ボンネット上部、ボンネット下部のいずれかを評価部位とする。各評価部位を別紙 2-8-5 図、別紙 2-8-6 図及び別紙 2-8-7 図に示す。

また、最弱部の評価式の例を以下に示す。

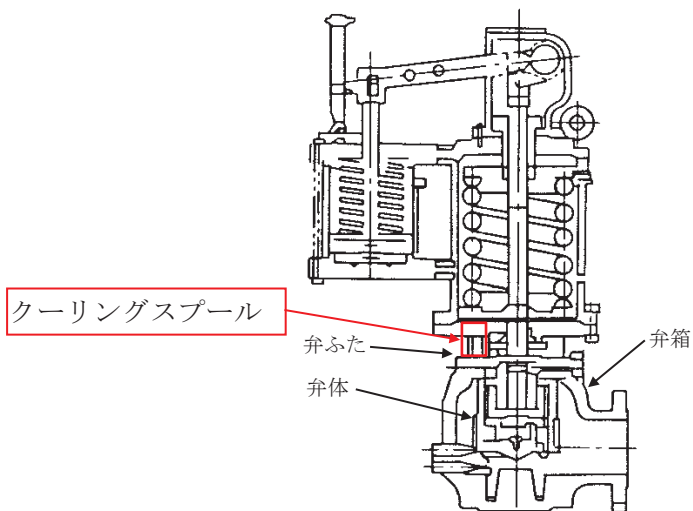
（弁最弱部の評価式の例）

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

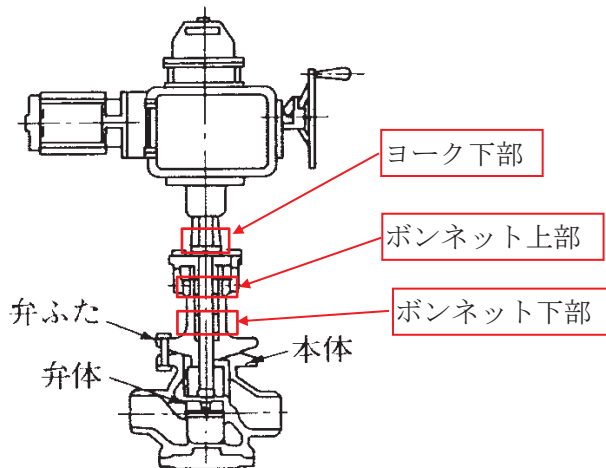
記号	記号の説明	単位
σ	最弱部に発生する一次応力	MPa
m_1	弁駆動部及びヨーク部の質量	kg
α	弁駆動部応答加速度	m/s^2
h	最弱部に作用するモーメント長さ	mm
Z	最弱部の断面係数	mm^3



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）

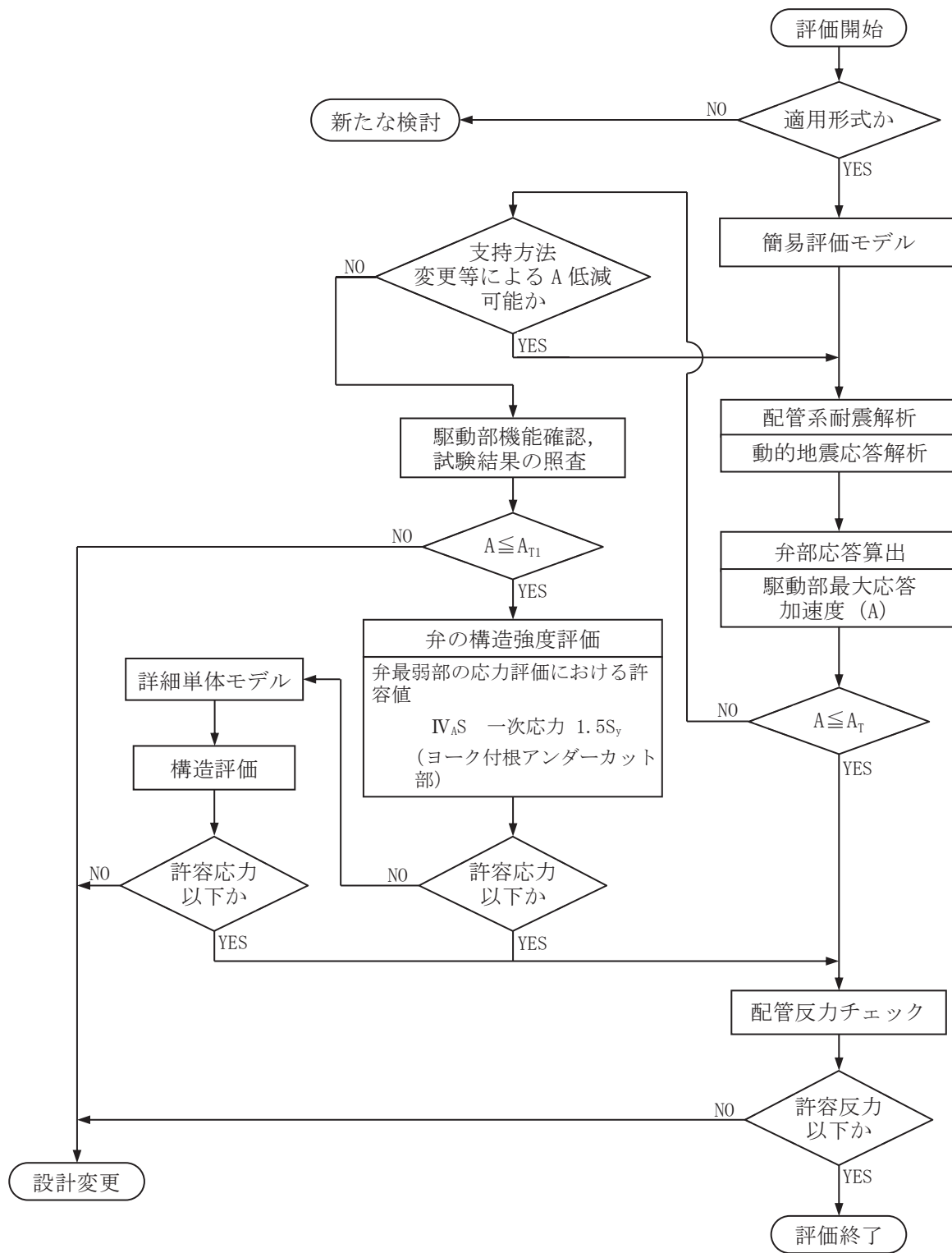
3.1.3 女川2号機の今回工認における弁の動的機能維持評価手順

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）の詳細評価

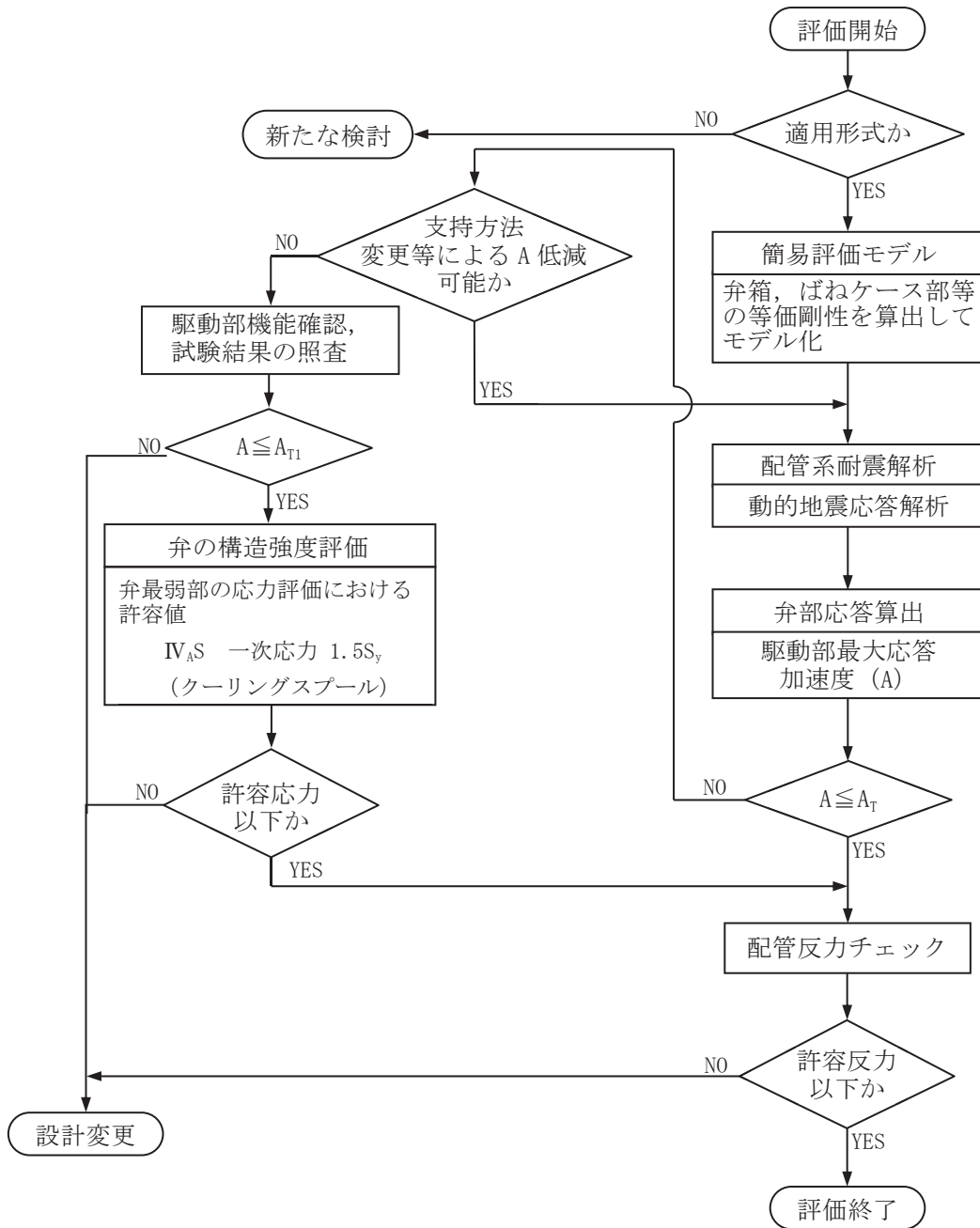
逆止弁については、駆動部単体の応答加速度評価は不要のため、開機能の維持又は閉機能の維持の評価により、動的機能維持を確認する。また、強制開閉装置付きのテストブル逆止弁は、構造上の最弱部位である操作部本体取付ボルトの強度評価を実施する。評価部位を別紙2-8-11図に示す。

女川2号機の今回工認における一般弁（逆止弁）の詳細評価を含めた評価手順を別紙2-8-12図に示す。



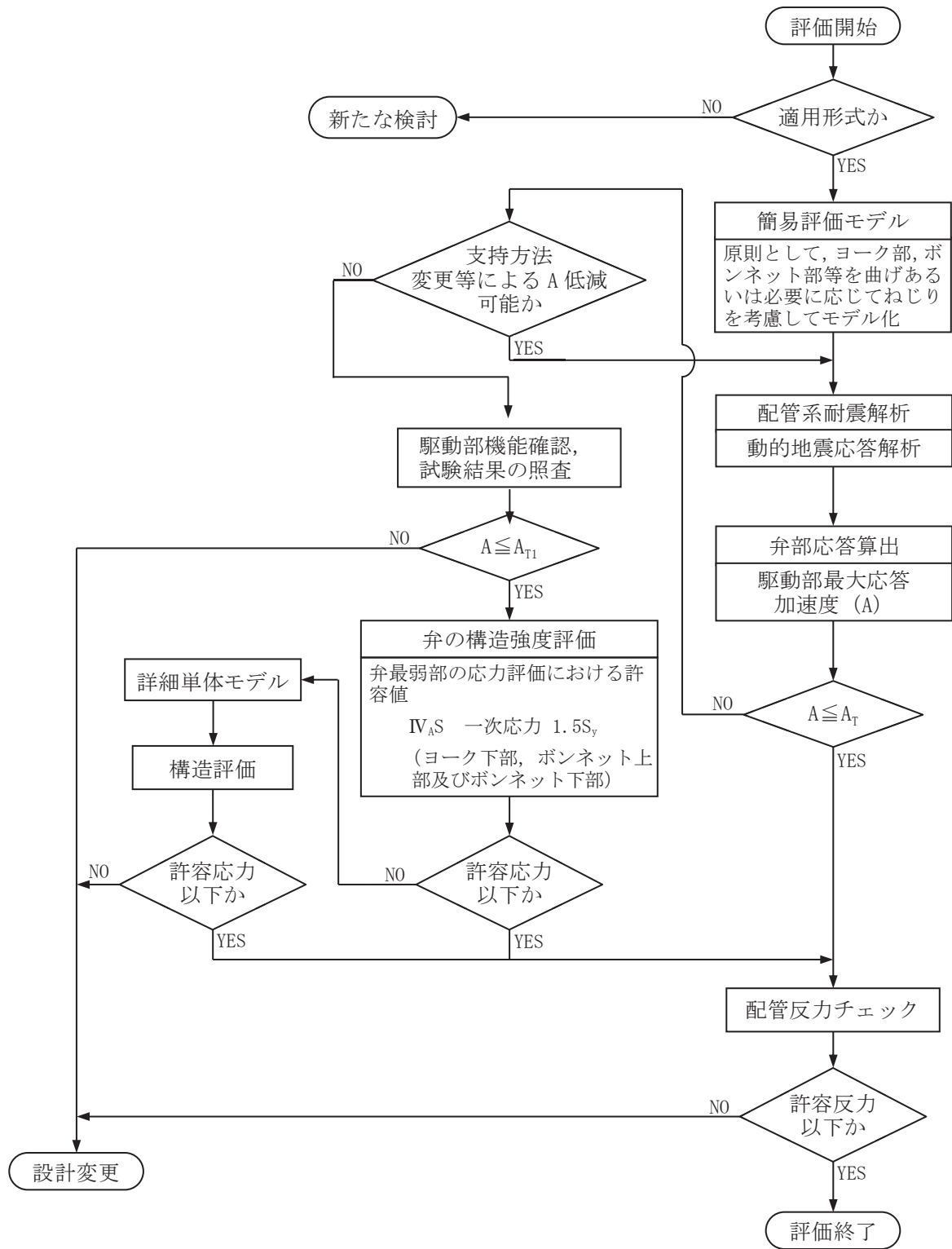
A : 駆動部最大応答加速度
 A_T : 機能確認済加速度
 A_{T1} : 駆動部の動作機能確認済加速度

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



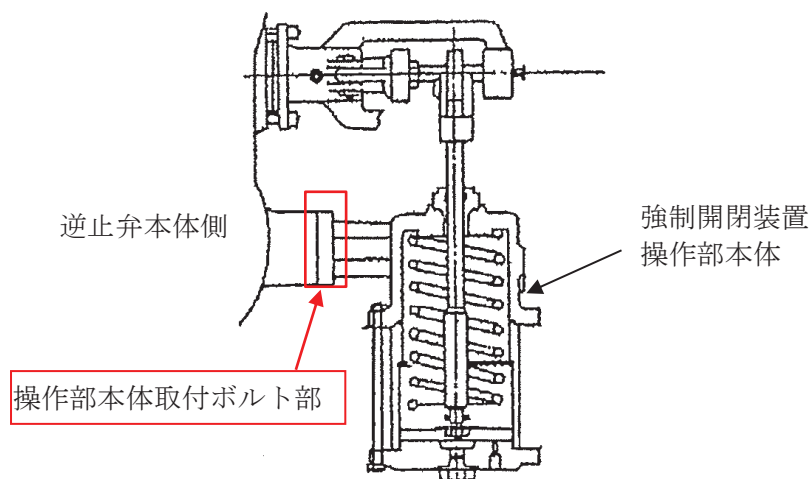
A : 駆動部最大応答加速度
 A_T : 機能確認済加速度
 A_{T1} : 駆動部の動作機能確認済加速度

別紙 2-8-9 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

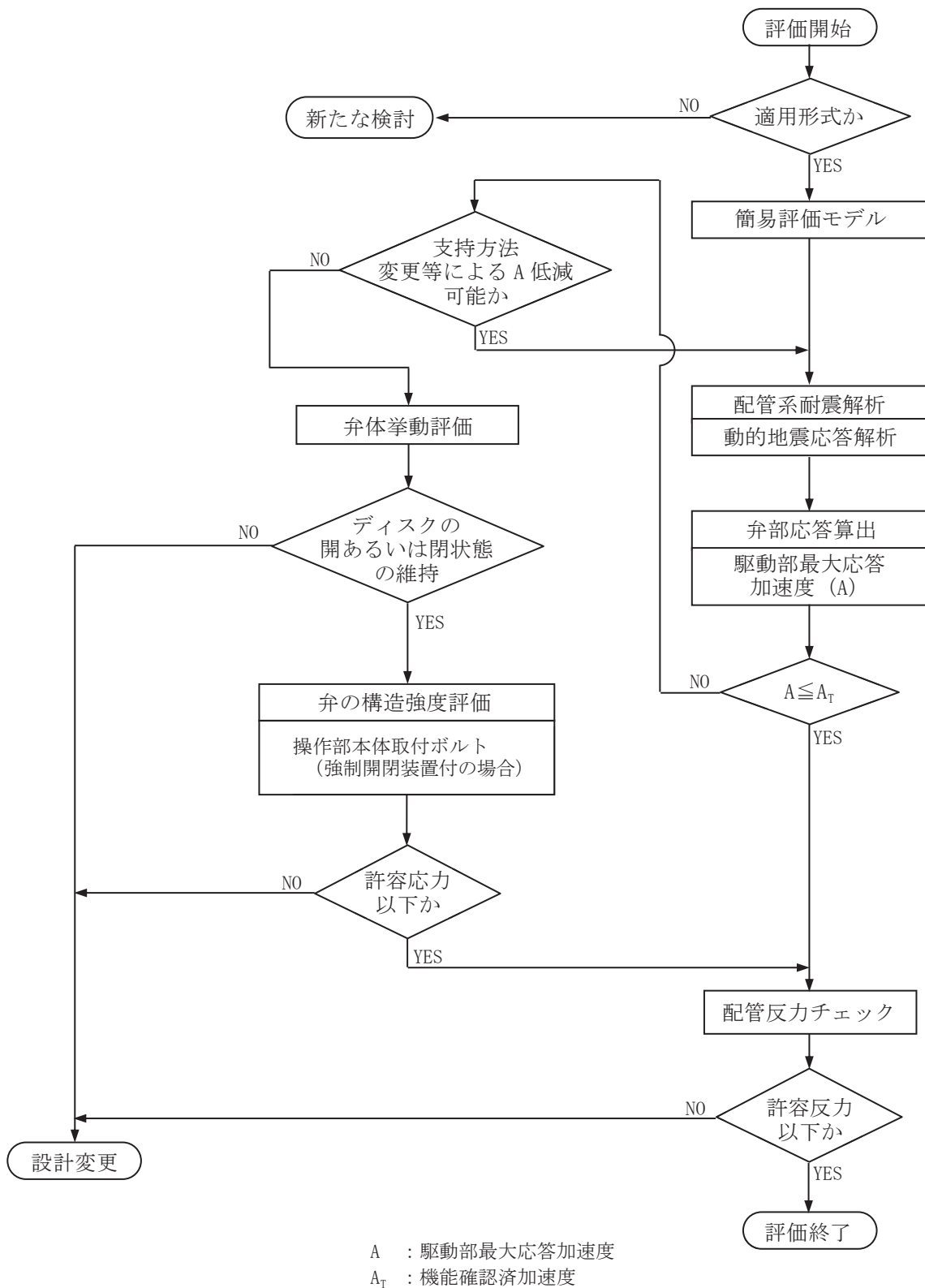


A : 駆動部最大応答加速度
 A_T : 機能確認済加速度
 A_{T1} : 駆動部の動作機能確認済加速度

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、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	15.0	○
	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	E11-F011B	合成*3	8.19	20.0	○
	逆止弁	E11-F005B	合成*3	13.95	14.02*4	○

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：“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：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。加速度算出の考え方を参考資料に示す。

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	889
	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	E11-F011B	ヨーク下部	242	354
	逆止弁	E11-F005B	操作部本体取付ボルト	71	259

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)

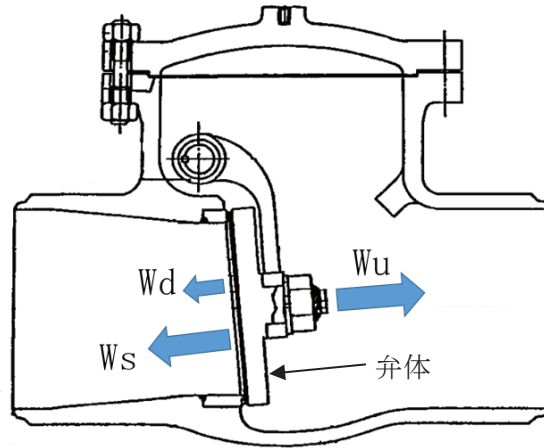
W : 弁体質量 (kg)

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、

$$\frac{W_s - W * g * (\alpha_a - \sin \theta_0)}{A_s} = P_s$$

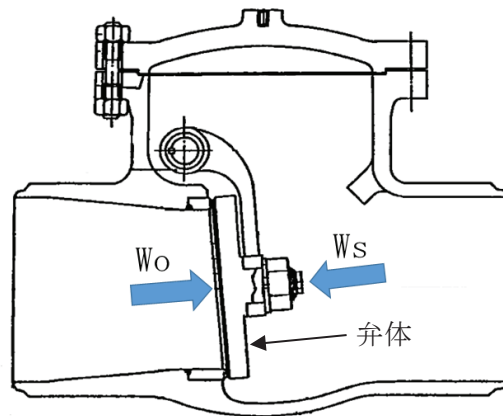
以上より、 α_a は以下式にて表される。

$$\alpha_a = \frac{\left(\frac{\pi}{4} * d_m^2 * P_b\right) - P_s * A_s}{W * g} + \sin \theta_0$$

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