

本資料のうち、枠囲みの内容は、  
商業機密あるいは防護上の観点  
から公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	補足-340-13 改2
提出年月日	平成30年3月27日

工事計画に係る補足説明資料  
耐震性に関する説明書のうち  
補足-340-13【機電分耐震計算書の補足について】

平成30年3月

日本原子力発電株式会社

1. 炉内構造物への極限解析による評価の適用について
2. 設計用床応答曲線の作成方法及び適用方法
3. 建屋－機器連成解析モデルの時刻歴応答解析における拡張マージンの考慮について
4. 機電設備の耐震計算書の作成について
5. 弁の動的機能維持評価の検討方針
6. 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）

下線：ご提出資料

## 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、動的機能維持が必要な設備の検討方針及び検討結果を示す。

## 2. 動的機能維持のための新たな検討又は詳細検討が必要な設備の検討方針

J E A G 4601 に定められた適用範囲から外れ新たな検討が必要な設備又は評価用加速度が機能維持確認済加速度を超えるため詳細検討が必要な設備を抽出するとともに、抽出された設備における動的機能維持のための検討方針を示す。

### 2.1 動的機能維持のための新たな検討又は詳細検討が必要な設備の抽出

#### (1) 検討対象設備

検討対象設備は、耐震 S クラス並びに常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備とし、動的機能が必要な設備として J E A G 4601 で適用範囲が定められている機種（立形ポンプ、横形ポンプ、電動機 等）とする。なお、加振試験により機能維持を確認する設備 J E A G 4601 にて評価用加速度が機能維持確認済み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いる設備については検討から除外する。

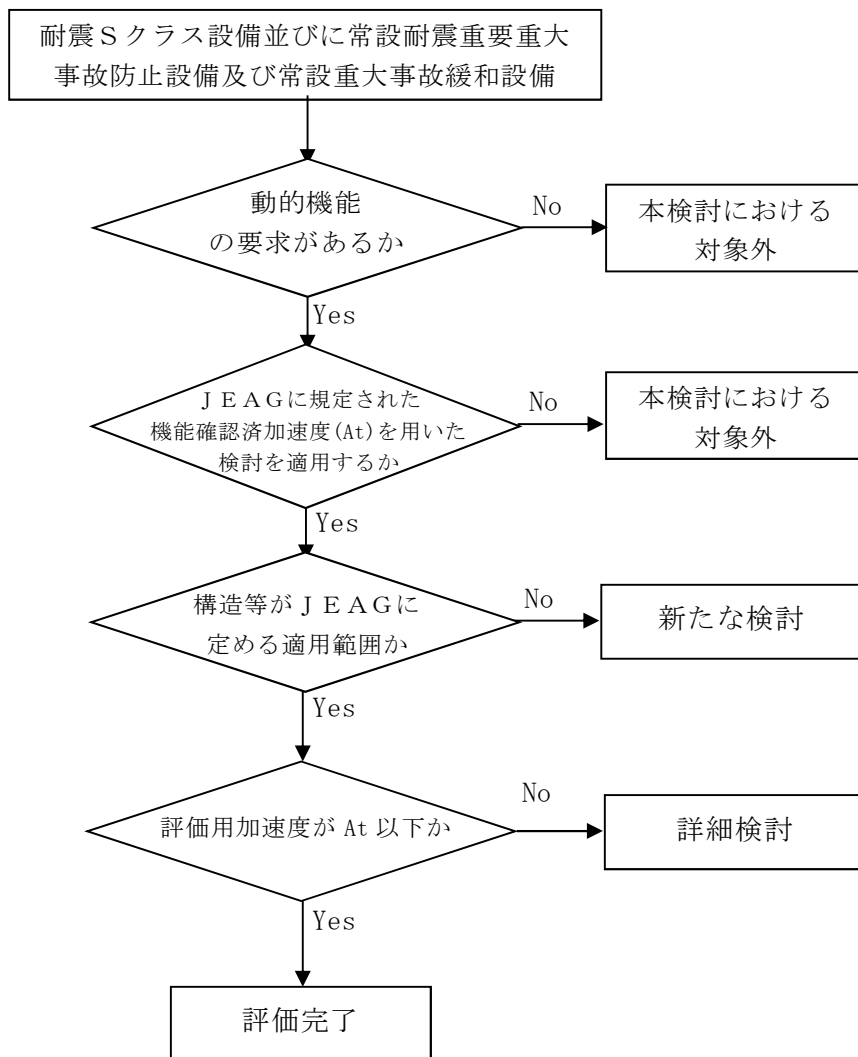
#### (2) 新たな検討又は詳細検討が必要な設備の抽出

第 1 図に抽出フローを示す。検討対象設備について、J E A G 4601 に定める適用機種に対して構造、作動原理等が同じであることを確認する。同じであることが確認できない場合は、新たな検討が必要な設備として抽出する。

さらに評価用加速度が J E A G 4601 及び既往の研究等※により妥当性が確認されている値に定める機能確認済加速度以内であることの確認を行い、機能確認済加速度を超える設備については詳細検討が必要な設備として抽出する。

上記の整理結果として別表 1 に検討対象設備を示すとともに、新たな検討又は詳細検討が必要な設備の抽出のための情報として J E A G 4601 に該当する機種名等を整理した。

※ 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）」



第 1 図 検討が必要な設備の抽出フロー

### (3) 抽出結果

第 1 表に新たな検討又は詳細検討が必要な設備の抽出結果を示す。

新たな検討が必要となる設備として、横形スクリー式ポンプ（以下「スクリー式ポンプ」という。）、横形ギヤ式ポンプ（以下「ギヤ式ポンプ」という。）として非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ、常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ及び緊急時対策所用発電機給油ポンプが該当する。

また、評価用加速度が機能確認済加速度を超える設備として残留熱除去系海水系ポンプ、非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ並びにこれらポンプ用の電動機が該当する。

### 3. 動的機能維持評価について

J E A G 4601 に定められた適用範囲から外れ新たな検討が必要な設備又は評価用加速度が機能維持確認済加速度を超えるため詳細検討が必要な設備における動的機能維持評価について別紙にて説明する。

#### 【新たな検討が必要な設備】

- ・別紙 1：非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ， 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ， 常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ及び緊急時対策所用発電機給油ポンプ

#### 【詳細検討が必要な設備】

- ・別紙 2：残留熱除去系海水系ポンプ， 非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ
- ・別紙 3：残留熱除去系海水系ポンプ用電動機， 非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ用電動機及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ及び電動機

第1表(1) 新たな検討又は詳細検討が必要な設備の抽出結果

機種名	設備名称	J E A G 4601 適用範囲 ○：可 ×：否（新たな検討が必要）	At 確認 ○：OK ×：NG（詳細検討が必要）
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	○	○
	残留熱除去系海水系ポンプ	○	×
	非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ	○	×
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ	○	×
	緊急用海水ポンプ	○	追而
横形ポンプ	原子炉隔離時冷却系ポンプ	○	○
	非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ	×	—
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ	×	—
	常設低圧代替注水系ポンプ	○	追而
	代替燃料プール冷却系ポンプ	○	○
	格納容器圧力逃がし装置移送ポンプ	○	追而
	代替循環冷却系ポンプ	○	○
	常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ	×	—
	緊急時対策所用発電機給油ポンプ	×	—
ポンプ駆動用タービン	原子炉隔離時冷却系ポンプ用駆動タービン	○	○
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	○	○
	低圧炉心スプレイ系ポンプ用電動機	○	○
	残留熱除去系海水系ポンプ用電動機	○	×
	ほう酸水注入ポンプ用電動機	○	○
	中央制御室換気系空気調和機ファン用電動機	○	○

第1表(2) 新たな検討又は詳細検討が必要な設備の抽出結果

機種名	設備名称	J E A G 4601 適用範囲 ○：可 ×：否（新たな検討が必要）	At 確認 ○：OK ×：NG（詳細検討が必要）
電動機	中央制御室換気系フィルタ系ファン用電動機	○	○
	非常用ガス処理系排風機用電動機	○	○
	非常用ガス再循環系排風機用電動機	○	○
	可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ用電動機	○	○
	非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ用電動機	○	追而
	非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ用電動機	○	×
	高圧炉心スプレー系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ用電動機	○	追而
	高圧炉心スプレー系ディーゼル発電機用海水ポンプ用電動機	○	×
	常設低圧代替注水系ポンプ用電動機	○	追而
	代替燃料プール冷却系ポンプ用電動機	○	○
	格納容器圧力逃がし装置移送ポンプ用電動機	○	追而
	代替循環冷却系ポンプ用電動機	○	○
	緊急用海水ポンプ用電動機	○	追而
	緊急時対策所非常用送風機用電動機	○	追而
	常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ用電動機	○	追而
緊急時対策所用発電機給油ポンプ用電動機	○	追而	
ファン	中央制御室換気系空気調和機ファン	○	○
	中央制御室換気系フィルタ系ファン	○	○
	非常用ガス処理系排風機	○	○
	非常用ガス再循環系排風機	○	○
	可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ	○	○
	緊急時対策所非常用送風機	○	追而

第1表(3) 新たな検討又は詳細検討が必要な設備の抽出結果

機種名	設備名称	J E A G 4601 適用範囲 ○：可 ×：否（新たな検討が必要）	At 確認 ○：OK ×：NG（詳細検討が必要）
非常用ディーゼル発電機	非常用ディーゼル発電機	○	○
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機	○	○
	非常用ディーゼル発電機調速装置及び非常用ディーゼル発電機非常調速装置	○	○
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機調速装置及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機非常調速装置	○	○
往復動式ポンプ	ほう酸水注入ポンプ	○	○
制御棒	制御棒挿入性	○	○注2

注2) 地震応答解析結果から求めた燃料集合体変位が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に対して下回ることを確認



## 1. 新たな検討が必要な設備における動的機能維持の検討方針

新たな検討が必要な設備における動的機能維持の検討方針としては、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（社）日本電気協会 電気技術基準調査委員会の下に設置された原子力発電耐震設計特別調査委員会（以下「耐特委」という。）により取り纏められた類似機器における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、機能維持を評価する際に確認すべき事項として、基本評価項目を選定している。

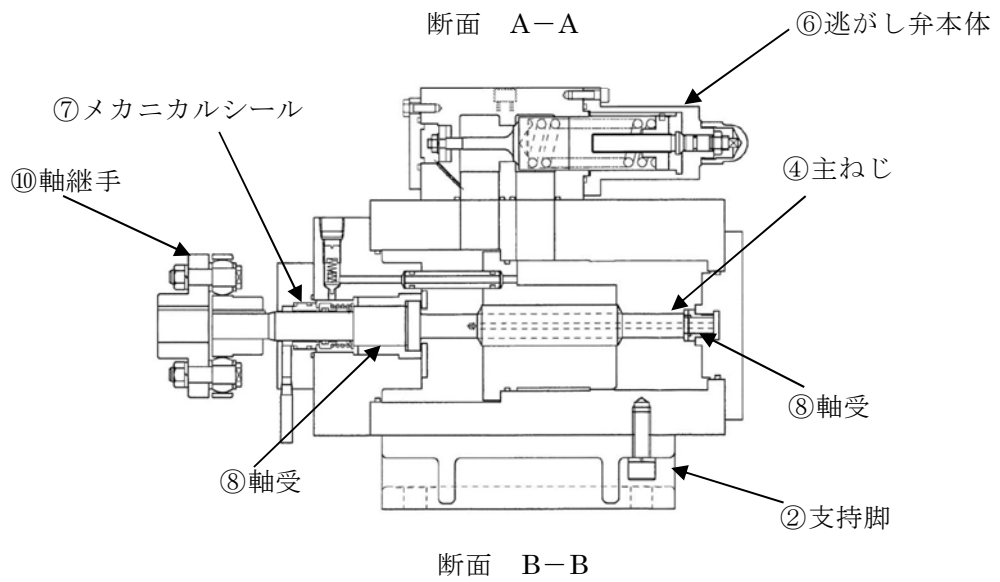
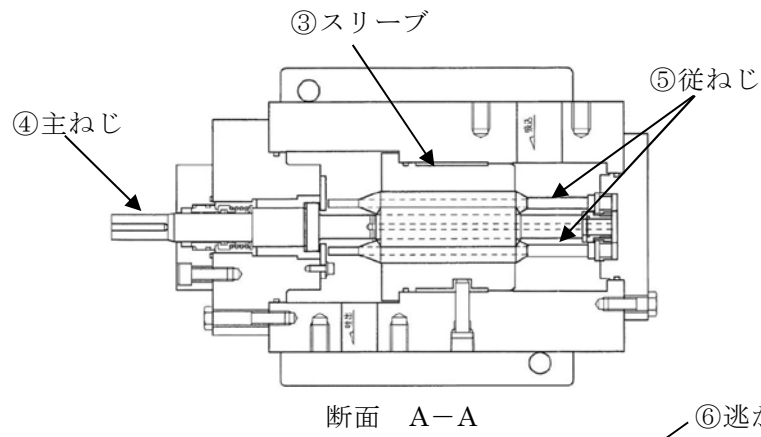
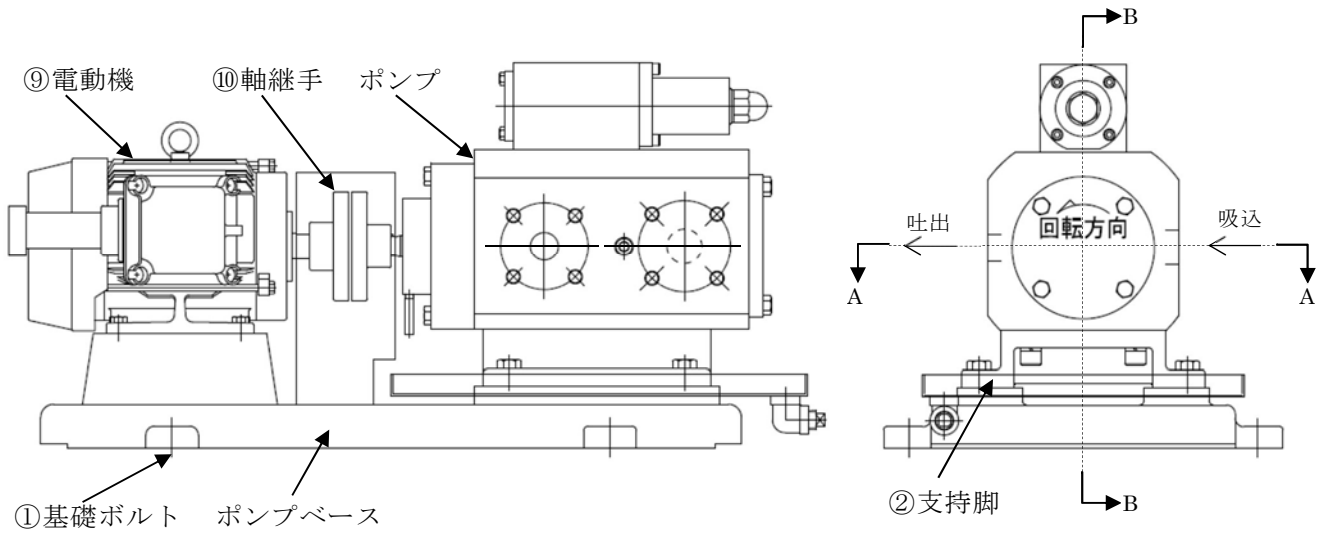
今回新たな検討が必要な設備については、基本的な構造は類似している機種／型式に対する耐特委での検討を参考に、型式による構造の違いを踏まえた上で地震時異常要因分析を実施し、基本評価項目を選定し機能維持評価を実施する。

新たな検討が必要な設備において、参考とする機種／型式を第2表に示すとともに、第2図、第3図及び第4図に今回工認にて新たな検討が必要な設備及び耐特委で検討され新たな検討において参考とする設備の構造概要図を示す。また、主要仕様を第3表及び第4表に示す。

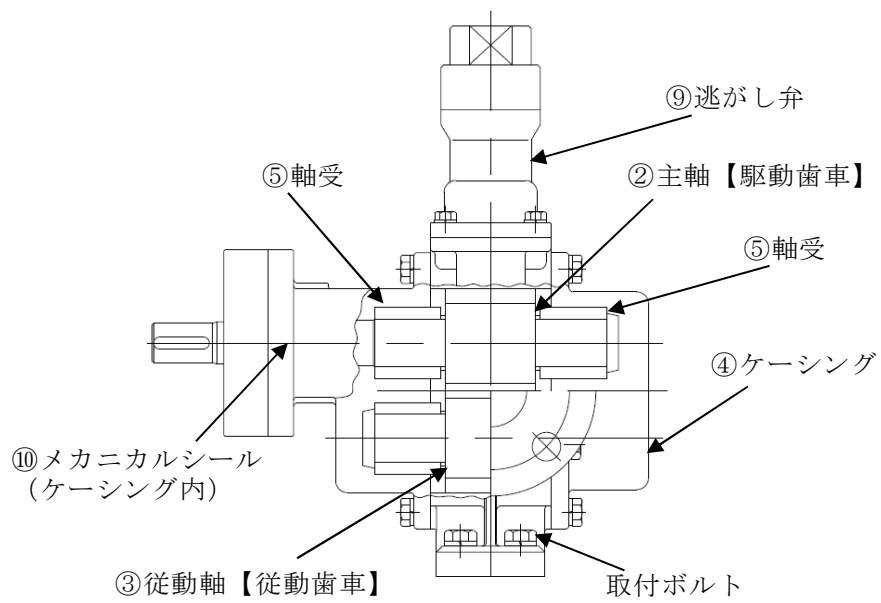
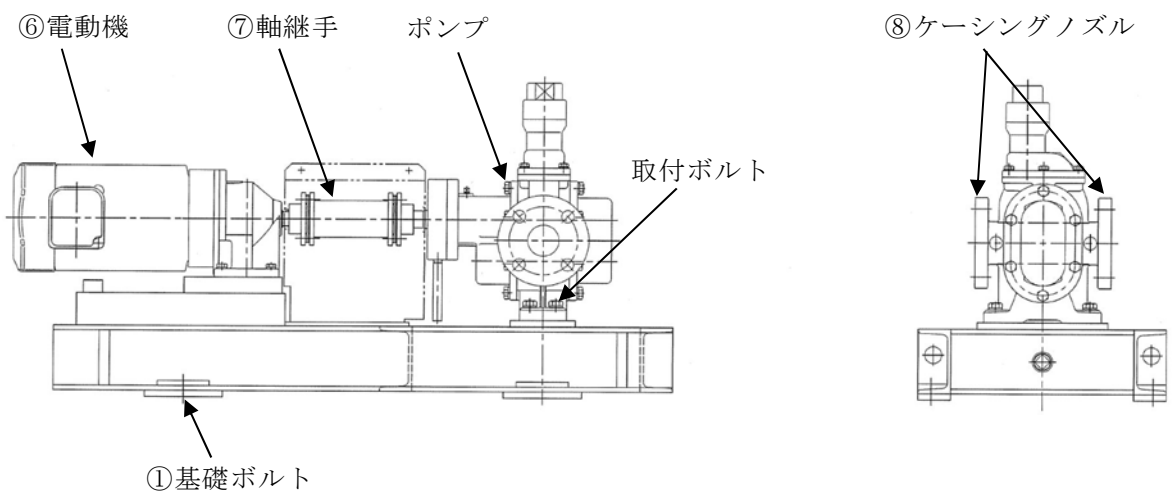
スクリー式及びギヤ式ポンプは、遠心式横形ポンプ（以下「遠心式ポンプ」という。）と内部流体の吐出構造が異なるが、電動機からの動力を軸継手を介してポンプ側に伝達する方式であること及びケーシング内にて軸系が回転し内部流体を吐出する機構を有しており基本構造が同じといえる。このため、スクリー式及びギヤ式ポンプについては、遠心式横形ポンプを参考とし、地震時異常要因分析を実施する。なお、非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ、常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ及び緊急時対策所用発電機給油ポンプについては、新規制基準により新たに動的機能要求が必要となり、評価する設備となる。

第2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

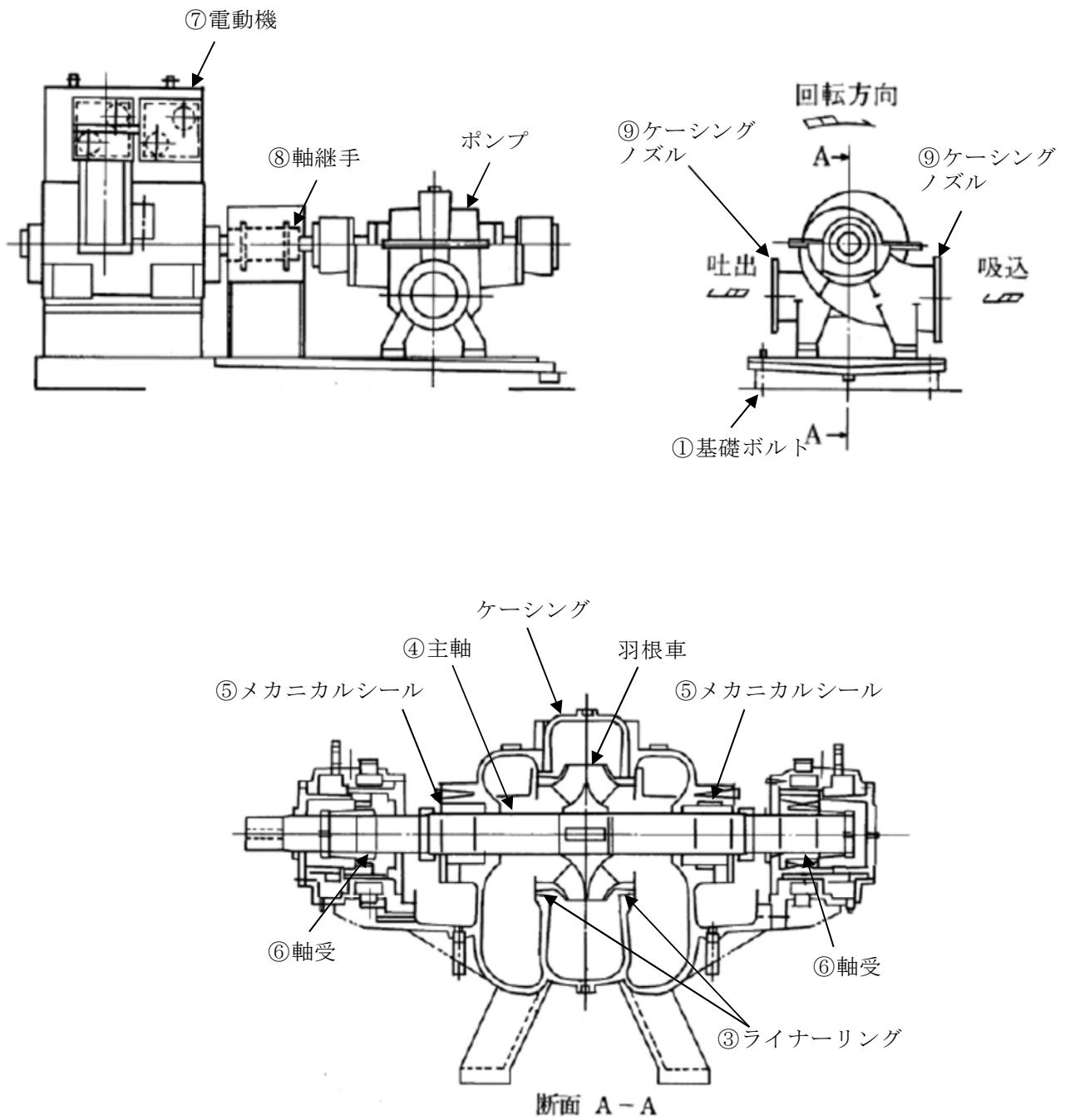
新たな検討が必要な設備	機種／型式	参考とする 機種／型式
<ul style="list-style-type: none"> <li>・非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ</li> <li>・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ</li> <li>・常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ</li> </ul>	横形ポンプ／スクリー式	横形ポンプ／単段遠心式
<ul style="list-style-type: none"> <li>・緊急時対策所用発電機給油ポンプ</li> </ul>	横形ポンプ／ギヤ式	



第2図 スクリュー式ポンプ構造概要図



第3図 ギヤ式ポンプ構造概要図



第4図 遠心式ポンプ構造概要図

第3表 スクリュー式ポンプの主要仕様

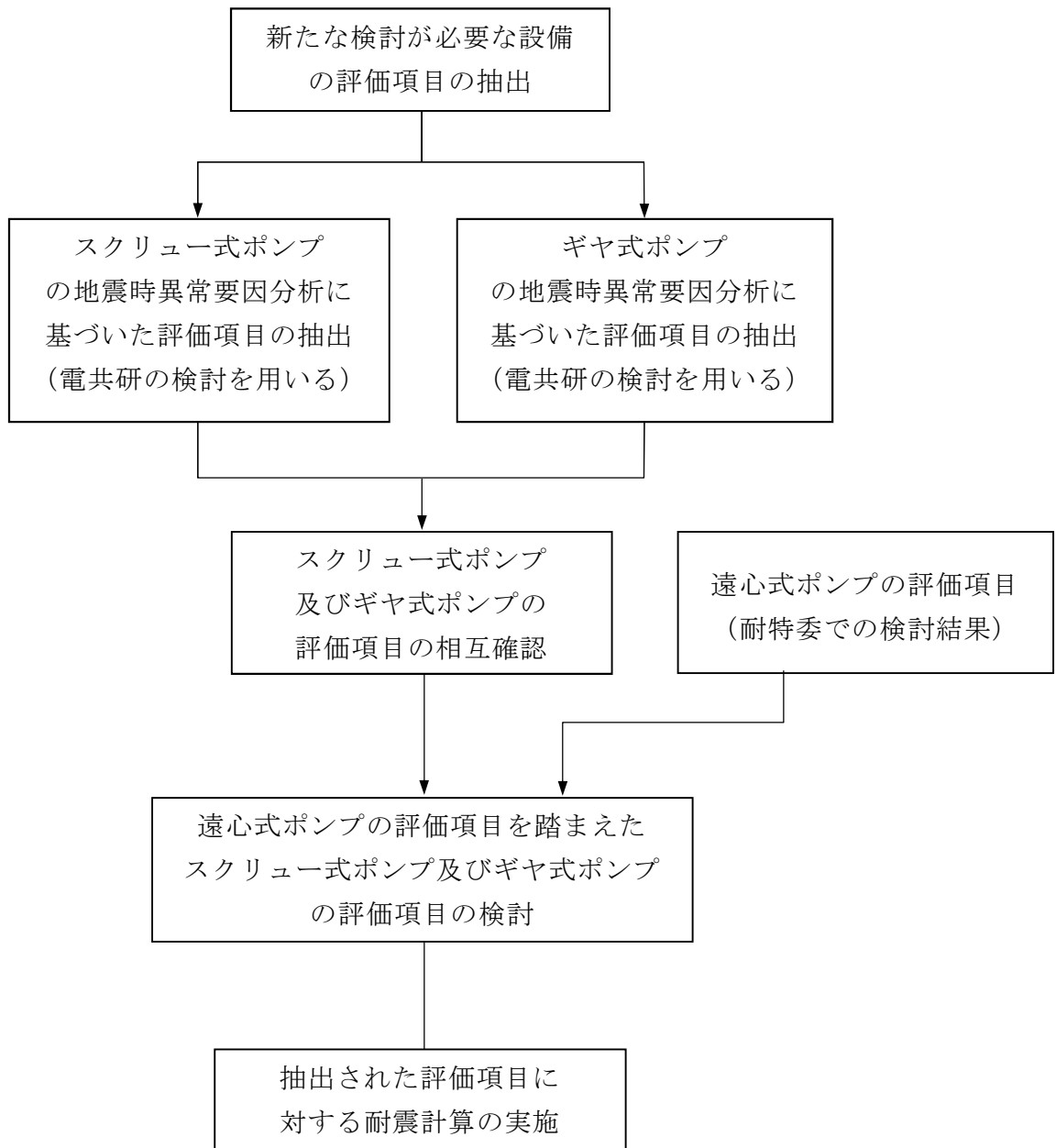
		非常用ディーゼル 発電機燃料移送 ポンプ	高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電機 燃料移送ポンプ	常設代替高圧電源 装置用燃料移送 ポンプ
容 量	m <sup>3</sup> /h/個	1.92 以上	1.04 以上	3.02 以上
揚 程	MPa	0.195 以上(2C 用) 0.156 以上(2D 用)	0.190 以上	0.285 以上
最高使用 圧 力	MPa	1.00	1.00	1.00
最高使用 温 度	℃	55	55	55
原 動 機 出 力	kW/個	1.2	1.2	2.2

第4表 ギヤ式ポンプの主要仕様

		緊急時対策所用発電機給油ポンプ
容 量	m <sup>3</sup> /h/個	1.3 以上
揚 程	MPa	0.3
最高使用圧力	MPa	0.5
最高使用温度	℃	45
原 動 機 出 力	kW/個	1.5

## 2. 新たな検討が必要な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として、スクリー式ポンプ及びギヤ式ポンプに対する地震時異常要因分析を踏まえて評価項目を抽出する。また当該検討において参考とする耐特委での機種／型式に対する評価項目を踏まえた検討を行う。動的機能維持評価のための評価項目の抽出フローを第5図に示す。



第5図 動的機能維持評価のための評価項目の抽出フロー

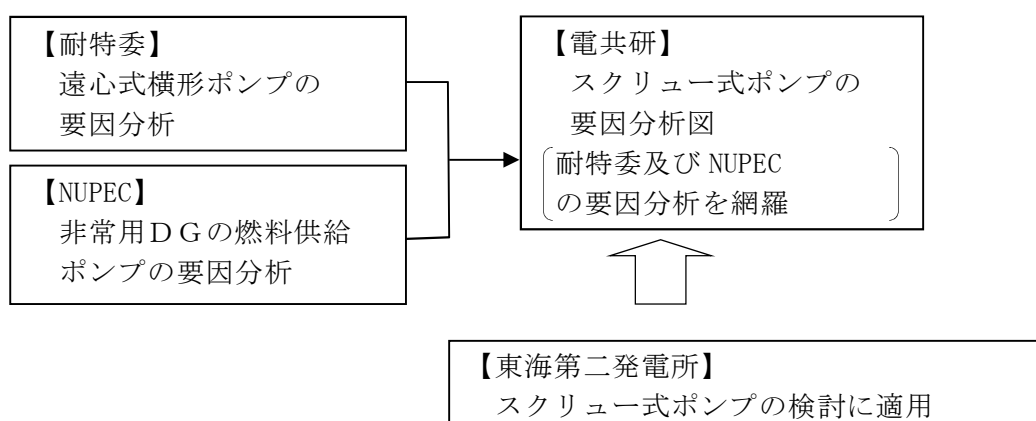
a. スクリュー式ポンプ及びギヤ式ポンプの地震時異常要因分析による評価項目の抽出

(a) スクリュー式ポンプの評価項目の抽出

スクリュー式ポンプの地震時異常要因分析図（以下「要因分析図」という。）及び評価項目は、電共研<sup>※</sup>での検討内容を用いる。電共研では第6図に示すとおり、耐特委における遠心式横形ポンプ及び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、評価項目を抽出している。

スクリュー式ポンプの要因分析図を第7図に示す。要因分析図に基づき抽出される評価項目は第5表のとおりである。

※ 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）



第6図 地震時異常要因分析の適用（スクリュー式ポンプ）



対象	要求機能	要因	現象	喪失機能			
スクリー ー式ポ ンプ	地震後の起動・運 転と輸送性能確保	ポンプ本体応答過大	ケーシング転倒 モーメント 応力過大	基礎ボルト応力過大 → 基礎ボルト損傷 ①	A B C		
				支持脚応力過大 → 支持脚損傷 ②	A B C		
				全体系(ケーシ ング)応答過大	ケーシング応力過大		
					ケーシング変形過大	逃し弁フランジ部 変形 ⑥ → 油の外部漏えい	C
				軸系(主)ねじ 応答過大	軸応力過大	軸(主ねじ)損傷 ④	A
					軸変形過大	メカニカルシール損傷 ⑦	B C
					軸変形過大	軸受損傷 ⑧	A
					軸変形過大	③ ④ ⑤ スリーブと主ねじ、 従ねじの接触 → 摺動部の損傷	A B
					電動機応答過大	電動機機能喪失 ⑨	A B
				電動機変形過大	軸継手部相対変位過大	軸継手損傷 ⑩	A
					配管反力過大	ケーシングノズル 部損傷 ⑪	B C

第7図 スクリュー式ポンプの地震時異常要因分析図

第5表 スクリュー式ポンプ要因分析図から抽出した評価項目

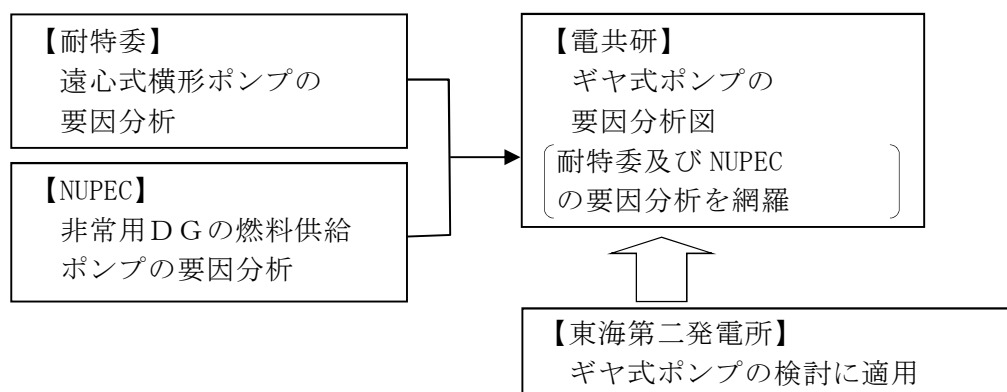
	評価項目	異常要因
①	基礎ボルト (取付ボルト含む)	ポンプ全体系の応答が過大となることで、転倒モーメントにより基礎ボルト(取付ボルトを含む)の応力が過大となり損傷に至り、全体系が転倒することで機能喪失する。
②	支持脚	ポンプ全体系の応答が過大となることで、転倒モーメントにより支持脚の応力が過大となり損傷に至り、全体系が転倒することで機能喪失する。
③ ④ ⑤	摺動部 (③スリーブ④主ねじ ⑤従ねじのクリアランス)	軸系(主)ねじの応答が過大となることで、軸変形が過大となることによりスリーブと主ねじが接触し、摺動部が損傷に至り回転機能及び移送機能が喪失する。
④	軸系(主ねじ)	軸応力が過大となり、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	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(主)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、回転機能及び輸送機能が喪失する。
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。

(b) ギヤ式ポンプの評価項目の抽出

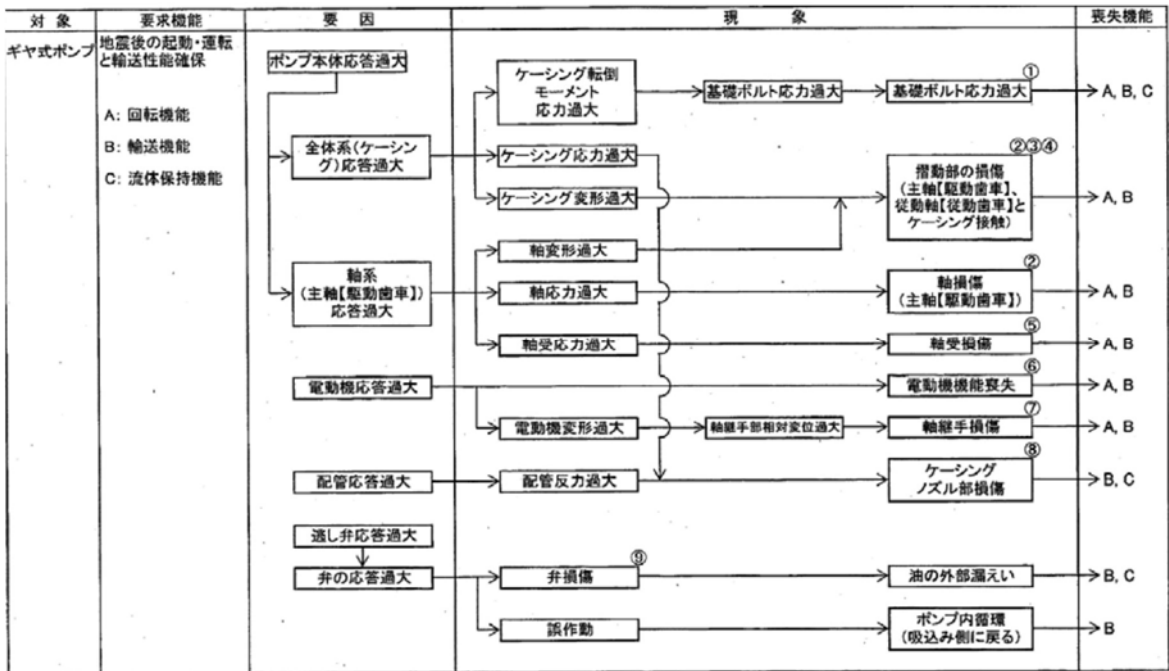
ギヤ式ポンプの要因分析図及び評価項目は、電共研<sup>※</sup>での検討内容を用いる。電共研では、第8図に示すとおり耐特委における遠心式横形ポンプ及びNUPECにおける非常用DGの燃料供給ポンプに対する異常要因分析結果（非常用ディーゼル発電機システム耐震実証試験（1992年3月））を網羅するように、ギヤ式ポンプに対する異常要因分析を行い、評価項目を抽出している。

ギヤ式ポンプの要因分析図を第9図に示す。要因分析図に基づき抽出される評価項目は第6表のとおりである。

※ 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）



第8図 地震時異常要因分析の適用（ギヤ式ポンプ）



第9図 ギヤ式ポンプの地震時異常要因分析図

第6表 ギヤ式ポンプ要因分析図から抽出した評価項目

	評価項目	異常要因
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、回転機能及び輸送機能が喪失する。
②	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輸送機能が喪失する。
⑤	軸受	軸受応力（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輸送機能が喪失する。
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、回転機能及び輸送機能が喪失する。
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輸送機能が喪失する。
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輸送機能及び流体保持機能が喪失する。
⑨	逃がし弁	弁の応答が過大となり、弁が損傷又は誤作動することで外部漏えい、ポンプ内循環が発生し、輸送機能及び流体保持機能が喪失する。

(c) スクリュー式ポンプ及びギヤ式ポンプの抽出した評価項目に対する相互確認

スクリュー式ポンプ及びギヤ式ポンプは、ポンプ構造が類似していることを踏まえて、各ポンプの評価項目の抽出結果を比較することにより、その検討結果について相互の確認を行う。

i) スクリュー式ポンプで抽出した評価項目に対してギヤ式ポンプで抽出されなかった評価項目

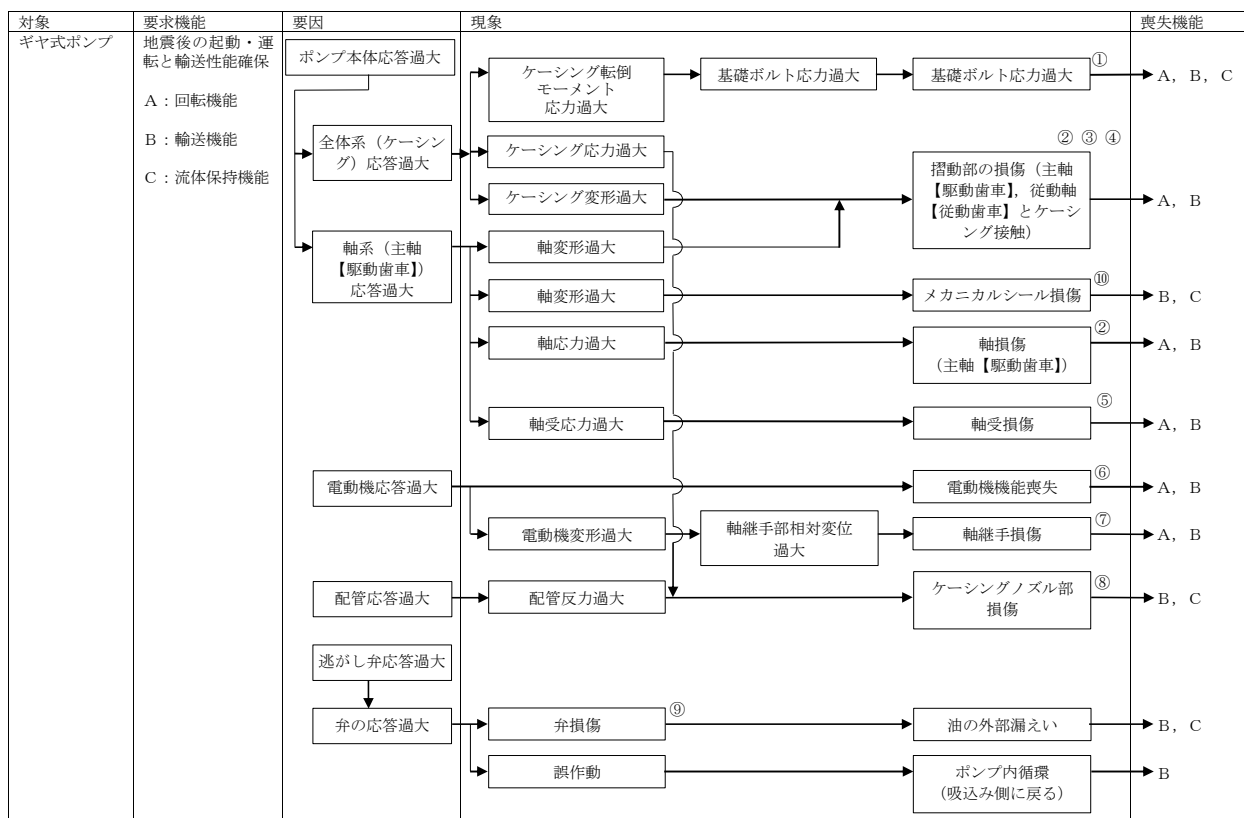
① 支持脚

ギヤ式ポンプはポンプケーシングに取付ボルト用のフランジが直接取り付けられており構造上存在しない。

② メカニカルシール

ギヤ式ポンプについてもメカニカルシールが設置されており、損傷すれば

スクリー式ポンプと同様に輸送機能及び流体保持機能に影響を与えることからギヤ式ポンプについても評価項目として選定する。メカニカルシールを追加したギヤ式ポンプの要因分析図を第 10 図に示す。

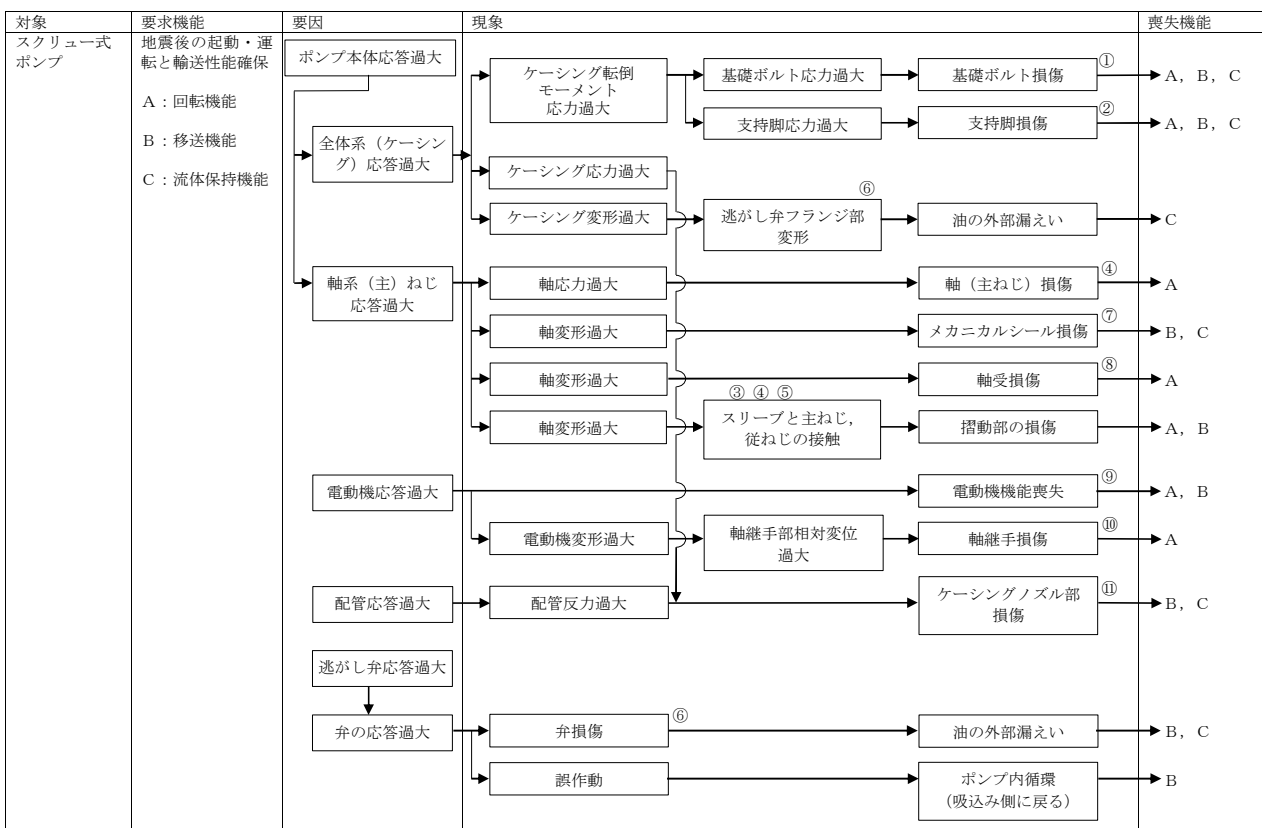


第 10 図 ギヤ式ポンプの地震時異常要因分析図

ii) ギヤ式ポンプで抽出した評価項目に対してスクリー式ポンプで抽出されなかった評価項目

③ 逃がし弁（移送機能）

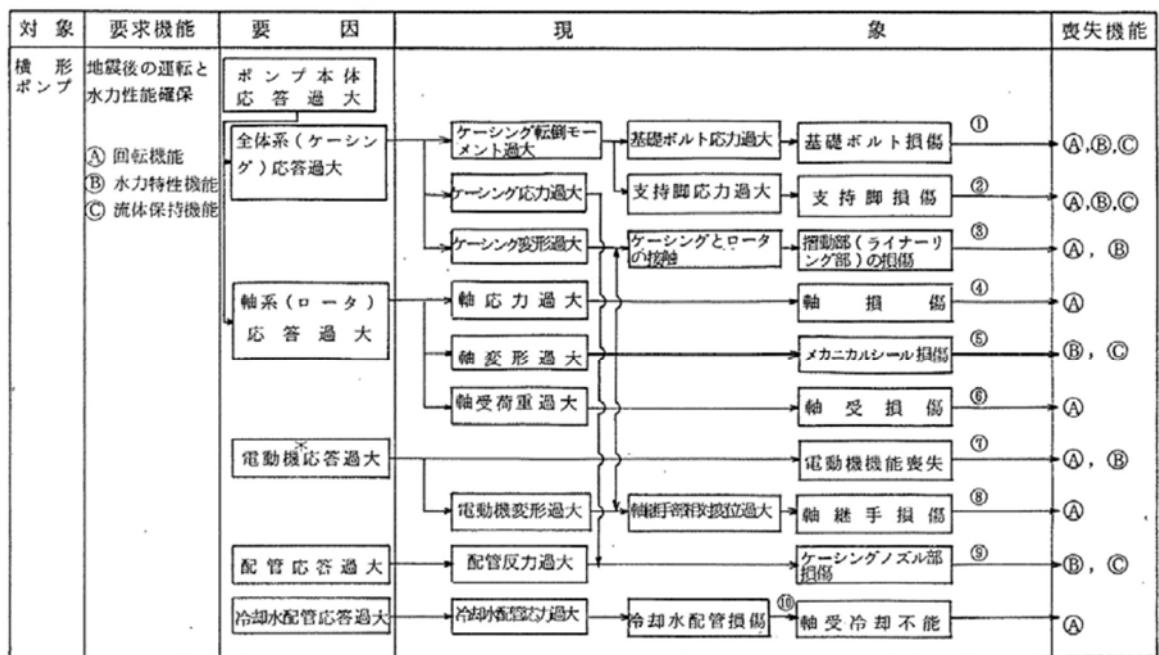
スクリー式ポンプについても逃がし弁が設置されており，誤作動すればギヤ式ポンプと同様に移送機能に影響を与えることからスクリー式ポンプについても評価項目として選定する。逃がし弁を追加したスクリー式ポンプの要因分析図を第 11 図に示す。



第 11 図 スクリー式ポンプの地震時異常要因分析図

b. 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評価項目

新たな検討が必要な設備としてスクリー式ポンプ及びギヤ式ポンプの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要因分析図を第12図に、要因分析図から抽出される評価項目を第7表に示す。



\* 駆動用タービンの場合も同様。また、増速機も含む。

第12図 遠心式ポンプの地震時異常要因分析図



第7表 遠心式ポンプ要因分析図から抽出した評価項目

	評価項目	異常要因
① ②	基礎ボルト（取付ボルト含む）、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。
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、回転機能及び輸送機能が喪失する。
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輸送機能が喪失する。
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輸送機能が喪失する。
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、回転機能及び輸送機能が喪失する。
⑧	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輸送機能が喪失する。
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輸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。

c. 遠心式ポンプの評価項目を踏まえたスクリー式ポンプ及びギヤ式ポンプの評価項目の検討

(a) スクリー式ポンプの評価項目の検討

スクリー式ポンプの要因分析結果について、耐特委における遠心式ポンプの要因分析結果と同様に整理した結果、スクリー式ポンプの評価項目は、遠心式ポンプとほぼ同様となった。スクリー式ポンプの動的機能維持の評価項目の抽出にあたり、遠心式ポンプの耐特委における評価項目に加え、構造の差異により抽出されたスクリー式ポンプの評価項目を加えて検討を行う。なお、構造の差異として抽出された評

価項目は下記の通りである。

- ・逃がし弁（遠心式ポンプの評価項目になくスクリー式ポンプのみで抽出）
- ・摺動部（スクリー式ポンプ及び遠心式ポンプの両方で抽出された評価項目であるが，構成部品が異なる。）
- ・軸冷却水配管（スクリー式ポンプの評価項目になく遠心式ポンプのみで抽出）

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，軸冷却水配管を評価項目として抽出している。一方でスクリー式ポンプの標準設計として，軸冷却水配管を有していない。軸冷却水配管は軸受の冷却のため設置されるが，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，軸冷却水配管は設置されていない。

#### ① 基礎ボルト（取付ボルトを含む）の評価

スクリー式ポンプは遠心式ポンプと同様に，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に設置されており，地震時に有意な荷重がかかることから動的機能維持の評価項目として選定する。

#### ② 支持脚部の評価

支持脚部については，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。このため，取付ボルト及び基礎ボルトが評価上厳しい部位であるため，取付ボルト及び基礎ボルトの評価で代表できる。

#### ③④⑤ 摺動部の評価

摺動部の損傷の観点より，遠心式ポンプの検討におけるケーシングと接触して損傷するライナーリング部の評価を行うのと同様に，スクリー式ポンプにおける評価項目を以下のとおり選定する。

スクリー式ポンプのスクリー部は，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が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，ケーシング部に設置されている。

軸系（主ねじ）についてはラジアル軸受で支持されており，軸変形によりスリーブ部と接触することで回転機能及び輸送機能が喪失に至ることが考えられるため，動

動的機能維持の評価項目として選定する。

#### ④ 軸系の評価

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、一軸構造の遠心式ポンプとは軸の構造が異なるが、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。このため、スクリー式ポンプにおいても、遠心式ポンプと同様に、軸応力過大により軸損傷が発生しないことを確認するため、軸系の評価を動的機能維持の評価項目として選定する。

#### ⑥ 逃がし弁の評価

逃がし弁はばね式であり、フランジ部の構造評価に対する確認も含め、弁に作用する最大加速度が、安全弁の動的機能維持確認済加速度以下であることを確認する。

#### ⑦ メカニカルシール

メカニカルシールは、高い剛性を有するケーシングに固定されており、地震時に有意な変位が生じない。また軸封部は軸受近傍に位置し、軸は地震時でも軸受で支持されており、有意な変位は生じることはなく、軸封部との接触は生じないため、計算書の対象外とする。

#### ⑧ 軸受の評価

ポンプにおいて、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遠心式ポンプも同じである。当該軸受が損傷することにより、ポンプの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。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。

#### ⑨ 電動機の評価

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、耐特委（J E A G 4601）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ことから、動的機能維持済加速度との比較により評価を行う。

#### ⑩ 軸継手の評価

スクリー式ポンプは、遠心式ポンプと同様に、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いることから、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ため、計算書の評価対象外とする。

#### ⑪ ケーシングノズルの評価

スクリー式ポンプのケーシングノズル部は、遠心式ポンプと同様に、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ため、計算書の評価対象外とする。

以上から、スクリー式ポンプにおいて抽出される動的機能維持の評価項目のうち、計算書の評価対象とするものは以下の通りである。

- ・基礎ボルト及び取付ボルトの評価
- ・摺動部（軸系）の評価
- ・軸系としてねじの評価
- ・逃がし弁の評価
- ・軸受の評価
- ・電動機の評価

#### (b) ギヤ式ポンプの評価項目の検討

ギヤ式ポンプの要因分析結果について、耐特委における遠心式ポンプの要因分析結果と同様に整理した結果、ギヤ式ポンプの評価項目は、遠心式ポンプとほぼ同様となる。ギヤ式ポンプの動的機能維持の評価項目の抽出にあたり、遠心式ポンプの耐特委における評価項目に加え、構造の差異により抽出されたギヤ式ポンプの評価項目を加えて検討を行う。なお、構造の差異として抽出された評価項目は下記の通りである。

- ・逃がし弁（遠心式ポンプの評価項目になくギヤ式ポンプのみで抽出）
- ・摺動部（ギヤ式ポンプと遠心式ポンプの両方で抽出された評価項目であるが、構成部品が異なる。）
- ・軸冷却水配管（ギヤ式ポンプの評価項目になく遠心式ポンプのみで抽出）

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、軸冷却水配管を評価項目として抽出している。一方でギヤ式ポンプの標準設計として、軸冷却水配管を有していない。軸冷却水配管は軸受の冷却のため設置されるが、ギヤ式ポンプの軸受は内部流体で冷却が可能であるため、軸冷却水配管は設置されていない。

#### ① 基礎ボルト（取付ボルトを含む）の評価

ギヤ式ポンプは遠心式ポンプと同様に、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に設置されており、地震時に有意な荷重がかかることから動的機能維持の評価項目として選定する。

#### ②③④ 摺動部の評価

摺動部の損傷の観点より、遠心式ポンプの検討におけるケーシングと接触して損傷するライナーリング部の評価を行うのと同様に、ギヤ式ポンプにおける評価項目を以下のとおり選定する。

ギヤ式ポンプのギヤ部は、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が通常運転荷重に比べて十分小さいと考えられる。また、ケーシングについては、横形ポンプと同様に耐圧構造であり、使用圧力に耐えられる強度の肉厚を有している。

主軸又は従動軸については、損傷によってギヤがケーシングと接触することで回転機能及び輸送機能が喪失に至ることが考えられる。主軸の重量は、従動軸の重量に比べ大きく、軸を支持する距離は双方の軸で同じであるため、評価項目は、主軸（ギヤ部）を対象として行う。

#### ② 主軸の評価

ギヤ式ポンプは二軸（主軸及び従動軸）構造であり、一軸構造の横形ポンプとは軸の構造が異なるが、主軸の重量は、従動軸に比べ大きく、軸を支持する距離は双方の軸で同じであるため、主軸の健全性確認を行うことによって、一軸構造の横形ポンプと同様の見解が適用できるものである。そのため、ギヤ式ポンプにおいても、遠心式ポンプと同様に、軸損傷が発生しないことを確認するため、主軸の評価を動的機能維持の評価項目として選定する。

#### ⑤ 軸受の評価

ポンプにおいて、軸受の役割は「回転機能の保持」であり、その役割は遠心ポンプもギヤ式ポンプも同じである。

当該軸受が損傷することにより、ポンプの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。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。

#### ⑥ 電動機の評価

ギヤ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、耐特委（J E A G 4601）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ことから、動的機能維持済加速度との比較により評価を行う。

#### ⑦ 軸継手の評価

ギヤ式ポンプは、遠心式ポンプと同様に、軸受でスラスト荷重を受け持つことから、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ため、計算書の評価対象外とする。

#### ⑧ ケーシングノズルの評価

ギヤ式ポンプのケーシングノズル部は、遠心式ポンプと同様に、機器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ため、計算書の評価対象外とする。

#### ⑨ 逃がし弁の評価

逃がし弁はばね式であるため、弁に作用する最大加速度が、安全弁の動的機能維持確認済加速度以下であることを確認する。

#### ⑩ メカニカルシール

メカニカルシールは、高い剛性を有するケーシングに固定されており、地震時に有意な変位が生じない。また軸封部は軸受近傍に位置し、軸は地震時でも軸受で支持されており、有意な変位は生じることはなく、軸封部との接触は生じないため、計算書の対象外とする。

以上から、ギヤ式ポンプにおいて抽出される動的機能維持の評価項目のうち、計算書の評価対象とするものは以下の通りである。

- ・基礎ボルト（取付ボルトを含む）の評価
- ・主軸（ギヤ部）の評価
- ・主軸の評価
- ・軸受の評価
- ・電動機の評価
- ・逃がし弁の評価

### 3. まとめ

新たな検討が必要な設備について、地震時要因分析を行い、基本的な機構造が類似している機種／型式に対する耐特委での検討を参考に、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行い、評価項目の抽出を行った。

残留熱除去系海水系ポンプ，非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプの動的機能維持評価について

## 1. はじめに

残留熱除去系海水系ポンプは容量 885.7 m<sup>3</sup>/h の立形斜流ポンプ，非常用ディーゼル発電機用海水ポンプは容量 272.6 m<sup>3</sup>/h の立形斜流ポンプ，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプは容量 232.8 m<sup>3</sup>/h の立形斜流ポンプであり，J E A G 4601-1991 記載の適用機種範囲に該当する設備である。

動的機能の評価においては，J E A G 4601-1991 及び耐特委報告書（原子力発電耐震設計特別調査委員会 調査報告書）において，対象機種ごとに，現実的地震応答のレベルでの異常のみならず，破壊に至る様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，動的機能維持を評価する際に確認すべき項目として，基本評価項目を抽出している。

動的機能維持評価の結果，以下のとおり，残留熱除去系海水系ポンプ，非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプについて確認済加速度を超える。

このため，機能維持評価については，J E A G 4601-1991 及び耐特委報告書により動的機能維持評価上，評価が必要な評価項目が選定されており，その評価項目に基づき，動的機能維持評価を実施する。



解析実施中につき  
見直し予定

機器	評価結果					
	水平(G)			鉛直(G)		
	評価用 加速度 (G)	確認済 加速度 (G)	裕度	評価用 加速度 (G)	確認済※ 加速度 (G)	裕度
残留熱除去系 海水系ポンプ	0.57	10.0	17.54	2.22	1.0	0.45
非常用ディーゼル発電機 用海水ポンプ	0.57	10.0	17.54	2.22	1.0	0.45
高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電機用 海水ポンプ	0.57	10.0	17.54	2.22	1.0	0.45

※ 既往の研究等により妥当性を確認された確認済加速度。なお、1.0G は、機器一般の浮き上がりの目安として設定したものの。

耐専（原子力発電耐震設計専門部会）において、鉛直地震動に対する検討として、改めて鉛直地震動に注意して異常要因分析結果を見直しても、新たに加える損傷モードはなく、既往の水平地震動を前提とした評価の考え方が適用できることが確認されている。

## 2. 立形斜流ポンプの基本評価項目

残留熱除去系海水系ポンプは容量 885.7 m<sup>3</sup>/h の立形斜流ポンプ、非常用ディーゼル発電機用海水ポンプは容量 272.6 m<sup>3</sup>/h の立形斜流ポンプ、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプは容量 232.8 m<sup>3</sup>/h の立形斜流ポンプであり、J E A G 4601-1991 記載の適用機種範囲に該当する設備である。残留熱除去系海水系ポンプを代表として構造の概要を図 1 に示す。

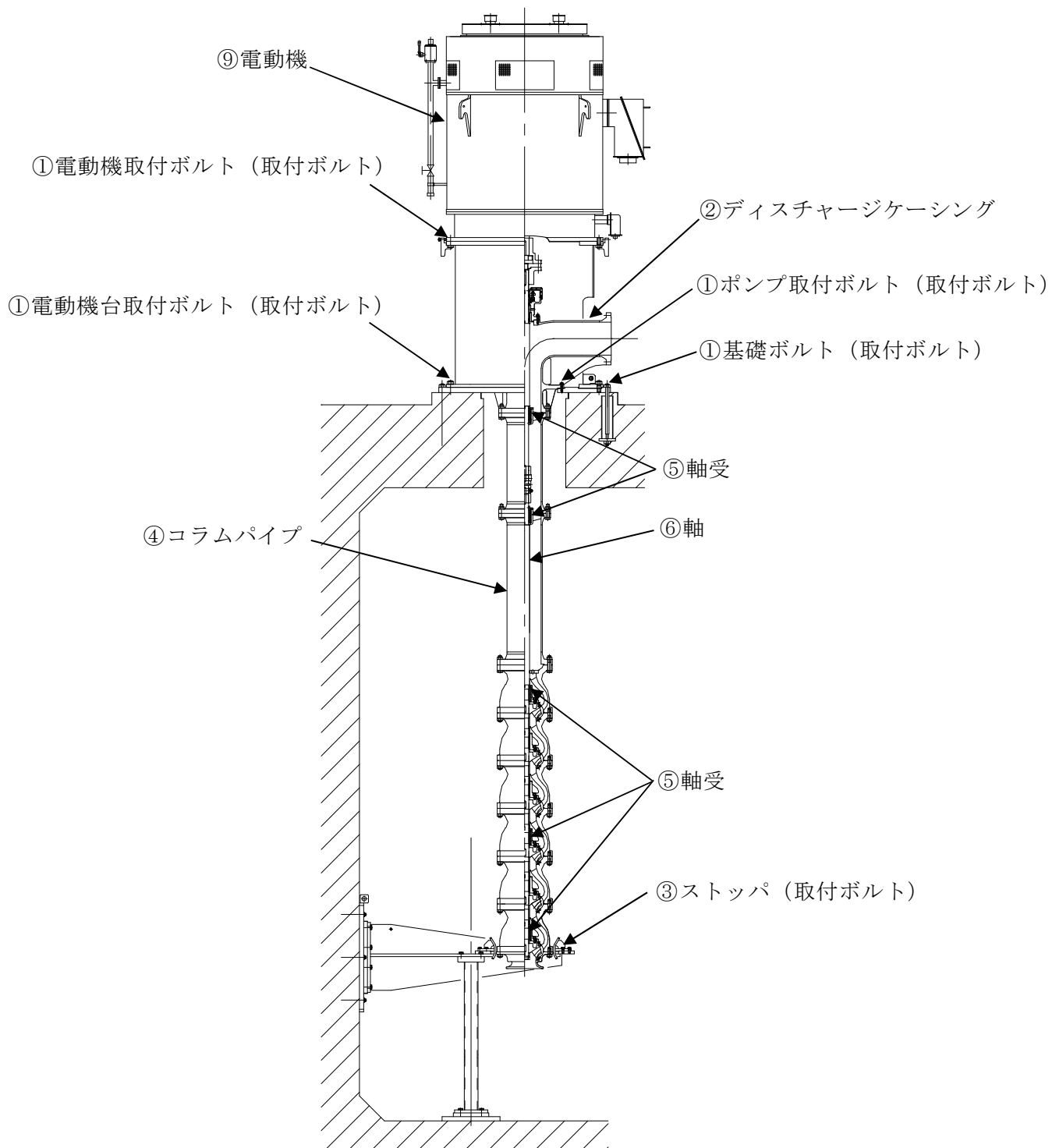


図1 残留熱除去系海水系ポンプの構造図

耐特委における立形ポンプの地震時異常要因分析結果を図2に示す。

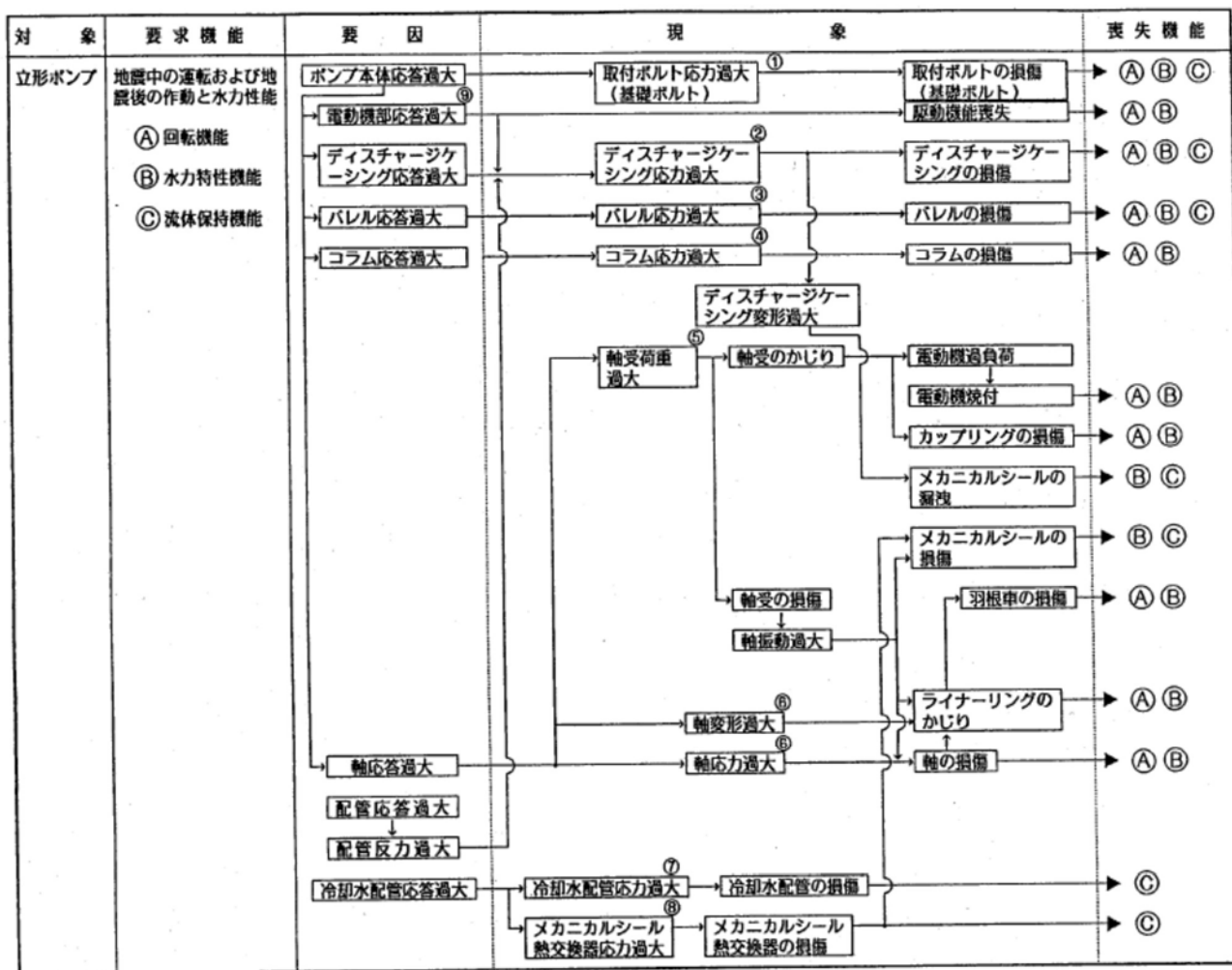


図2 立形ポンプの地震時異常要因モード図（耐特委）

耐特委報告書においては異常要因モードに基づき評価項目が以下①～⑨の項目のとおり抽出され、①～⑨の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いる。

これは、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①～⑨について全て評価基準値以下に収まっていれば、動的機能が維持できると解される。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いたる現象と、機能確認済加速度を越えた場合の評価の考え方を記述する。

#### ①取付ボルトの健全性

立形ポンプの応答が過大となり、立形ポンプをポンプベースに固定しているポンプ取付ボルト、ポンプベースを基礎に固定している基礎ボルトに発生する応力が過大となり損傷に至り、回転機能、水力特性機能及び流体保持機能が喪失する。

確認済加速度を超えたとしても、異常要因分析の結果抽出された本項目以外の全ての項目について評価基準値以下に収まる地震加速度レベルであれば、ポンプ取付ボルト及び基礎ボルトの健全性を確認することで、立形ポンプの動的機能は維持できる。

#### ②ディスチャージケーシングの健全性

ディスチャージケーシングの応力が過大となり、損傷又は変形過大とな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。

確認済加速度を超えたとしても、異常要因分析の結果抽出された本項目以外の全ての項目について評価基準値以下に収まる地震加速度レベルであれば、ディスチャージケーシングの健全性を確認することで、立形ポンプの動的機能は維持できる。

#### ③バレルの健全性

バレルの応力が過大となり、損傷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。

確認済加速度を超えたとしても、異常要因分析の結果抽出された本項目以外の全ての項目について評価基準値以下に収まる地震加速度レベルであれば、バレルの健全性を確認することで、立形ポンプの動的機能は維持できる。

(注) 当該機器にバレルはないが、コラムサポート（ストッパ）あり。

#### ④コラムパイプの健全性

コラムパイプの応力が過大となり、損傷することにより回転機能及び水力特性機能が喪失する。

確認済加速度を超えたとしても、異常要因分析の結果抽出された本項目以外の全ての項目について評価基準値以下に収まる地震加速度レベルであれば、コラムパイプの健全性を確認することで、立形ポンプの動的機能は維持できる。

#### ⑤軸受の健全性

軸受荷重が過大となり、軸受のかじり又は損傷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。

別紙 2-5

確認済加速度を超えたとしても、異常要因分析の結果抽出された本項目以外の全ての項目について評価基準値以下に収まる地震加速度レベルであれば、軸受の健全性を確認することで、立形ポンプの動的機能は維持できる。

#### ⑥軸の健全性

軸変形が過大となり、ライナーリングがかじることにより回転機能及び水力特性機能が喪失する。また、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水力特性機能が喪失する。

確認済加速度を超えたとしても、異常要因分析の結果抽出された本項目以外の全ての項目について評価基準値以下に収まる地震加速度レベルであれば、軸の健全性を確認することで、立形ポンプの動的機能は維持できる。

#### ⑦冷却水配管の健全性

冷却水配管応力が過大となり、冷却水配管が損傷することにより流体保持機能が喪失する。

確認済加速度を超えたとしても、異常要因分析の結果抽出された本項目以外の全ての項目について評価基準値以下に収まる地震加速度レベルであれば、冷却水配管の健全性を確認することで、立形ポンプの動的機能は維持できる。

(注) 当該機器に冷却水配管はない。

#### 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応力が過大となり、メカニカルシール熱交換器が損傷することにより流体保持機能が喪失する。

確認済加速度を超えたとしても、異常要因分析の結果抽出された本項目以外の全ての項目について評価基準値以下に収まる地震加速度レベルであれば、メカニカルシール熱交換器の健全性を確認することで、立形ポンプの動的機能は維持できる。

(注) 当該機器にメカニカルシール熱交換器はない。

#### ⑨電動機の健全性

電動機部の応答が過大となり、駆動機能が喪失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。また、電動機部の応答が過大となり、ディスクチャージケーシングが損傷することにより回転機能及び水力特性機能が喪失する。

確認済加速度を超えたとしても、異常要因分析の結果抽出された本項目以外の全ての項目について評価基準値以下に収まる地震加速度レベルであれば、電動機の健別紙2-6

全性を確認することで、立形ポンプの動的機能は維持できる。

(注) 当該機器の電動機はディスチャージケーシングに支持されていない。

3. J E A G 4601-1991, 耐特委報告書及び耐専報告書後の知見について

平成 13 年の耐専報告書後の知見として、平成 24 年度電共研「動的機器の地震時機能維持の耐震余裕に関する検討」にて、機能維持確認済加速度の引き上げを目的として代表機器を対象に機能維持評価を行っている。立形ポンプについては表 1 に示すとおり、各項目について解析による評価を実施している。表 2 に評価の概要を示す。なお、本評価については、日本電気協会 原子力規格委員会において審議され、JEAC4601-2015 に取り込まれている。

表 1 平成 24 年度電共研 立形ポンプの機能維持評価結果 (JEAC4601-2015 抜粋)

参表 4.11.1-2 立形ポンプの機能維持評価結果

基本評価項目	① 過剰小ルト取付ボルト	② ディスチャージケーシング	③ バレル (ピット/バレル形) 揺れ止め台 コラムサポート (立形斜流)	④ コラムパイプ (ピット/バレル形、立形斜流) ケーシング (立形階段床型)	⑤ 軸受	⑥ 軸	⑦ 冷却水配管	⑧ メカニカルシール換替	⑨ 電動機	水力性能	
											地震力が密着する方向
評価方法	強度評価側にて耐震設計を実施	水平・斜流	水平・斜流	水平・斜流	水平	水平・斜流	水平・斜流	水平・斜流	水平・斜流	耐震設計での成果を基に、左記基本評価項目により水力性能を代替評価	
	1682m <sup>3</sup> /h BWR 機器燃焼去水ポンプ	↓	2.9	4.8	1.1	4.8	↓	↓	↓		↓
	立形バレル形ポンプ	↓	3.8	2.3	1.0	3.1	↓	↓	↓		↓
評価結果	1180m <sup>3</sup> /h PWR 格納容器内部スプレイポンプ	↓	—	1.2	2.9	1.0	↓	↓	↓	↓	
	代表評価項目 (O印)	○	○ (応力)	○ (応力)	○ (面圧)	—	—	—	○	左記代表項目の評価結果により水力性能維持を判定	
	代表評価項目選定の考え方	支持部の機能確認として重要である。	回転機能、水力特性に依る代表的な項目で余裕度小である。	回転機能、水力特性に依る代表的な項目で余裕度小である。	回転機能、水力特性に依る代表的な項目で余裕度小である。	—	—	—	電動機の型式により構造差異がある。電動機は必ず評価する。		

(注 1) 余裕度 = (許容値 - 通常発生値) / 地震による発生値

表 2 平成 24 年度電共研 立形ポンプ 動的機能維持評価概要

評価項目	評価内容
①基礎ボルト 取付ボルト	強度評価側にて耐震設計を実施
②ディスチャージケーシング	ノズル許容荷重以下になるよう配管設計を実施
③コラムサポート	解析により応力を評価
④コラムパイプ	解析により応力を評価
⑤軸受	解析により荷重を評価
⑥軸	解析により応力を評価
⑦冷却水配管	配管系として耐震設計を実施
⑧メカニカルシール熱交換器	静的機器として耐震設計を実施
⑨電動機	別途電動機側にて評価



#### 4. 立形ポンプ評価概要

機能維持評価については、J E A G 4601-1991 及び耐特委報告書により動的機能維持評価上、評価が必要な評価項目が選定されており、その評価項目に基づき、計算書対象とする動的機能維持確認の基本評価項目の考え方を示す。

##### ①基礎ボルト，ポンプ取付ボルト

立形ポンプはポンプベースにポンプ取付ボルトを用いて固定されており，ポンプベースは基礎に基礎ボルトを用いて固定されており，地震時の荷重は当該ボルトに作用し，有意な荷重がかかることから評価項目として選定する。

##### ②ディスチャージケーシング

ディスチャージケーシングはノズル荷重が作用するが，ノズル許容荷重以下になるよう配管設計を実施するため，立形ポンプの計算書の評価対象外とする。

##### ③ストッパ（当該機器にバレルはないためコラムサポート（ストッパ）を評価）

ストッパはコラムをサポートしており，地震時はコラムの振れ止めとして荷重を受ける。ストッパは取付ボルトを用いて固定されており，地震時の荷重は当該ボルトに作用し，有意な荷重がかかることから評価項目として選定する。

##### ④コラムパイプ

回転機能，水力特性機能の観点から動的機能維持の評価項目として選定する。

##### ⑤軸受

回転機能，水力特性機能の観点から動的機能維持の評価項目として選定する。

##### ⑥軸

回転機能，水力特性機能の観点から動的機能維持の評価項目として選定する。

##### ⑦冷却水配管

当該機器に冷却水配管はないため評価対象外とする。

##### ⑧メカニカルシール熱交換器

当該機器にメカニカルシール熱交換器はないため評価対象外とする。

##### ⑨電動機

回転機能，水力特性機能の観点から動的機能維持の評価項目として選定する。

以上から，立形ポンプにおいて抽出される動的機能維持の基本評価項目のうち，計別紙 2-10

算書の評価対象とするものは以下の通りである※。

※ 表3においては、①～⑨の全ての評価項目を記載し、以下の評価項目に該当するものは評価内容を示し、それ以外の項目については評価省略理由を記載する。

①基礎ボルト，ポンプ取付ボルト

③ストッパ（取付ボルト）

④コラムパイプ

⑤軸受

⑥軸

⑨電動機

上記評価項目に基づき、表3のとおり機能維持評価を実施している。

評価項目における評価基準値の説明を表4に、また評価部位については図1に示す。

以上の検討に基づく評価結果を表5に示す。

表 3 動的機能維持評価内容

評価項目	評価内容	計算書対象 (○：計算書対象， －：計算書省略)
① 基礎ボルト，ポンプ取付ボルト	多質点はりモデルによる海水ポンプの応答解析結果を用い，材料力学等の公式により，基礎ボルト及びポンプ取付ボルトの発生応力を評価	○
② ディスチャージケーシング	ノズル許容荷重以下になるよう配管設計を実施するため，立形ポンプとして計算書は省略。	－
③ ストップ（取付ボルト）	多質点はりモデルによる海水ポンプの応答解析結果を用い，材料力学等の公式により，取付ボルトの発生応力を評価	○
④ コラムパイプ	多質点はりモデルによる応答解析結果を用い，材料力学等の公式によりコラムパイプの発生応力を評価	○
⑤ 軸受	多質点はりモデルによる応答解析結果を用い，軸受の発生荷重を評価	○
⑥ 軸	多質点はりモデルによる応答解析結果を用い，材料力学等の公式により軸の発生応力を評価	○
⑦ 冷却水配管	当該機器に冷却水配管なし。	－
⑧ メカニカルシール熱交換器	当該機器にメカニカルシール熱交換器なし。	－
⑨ 電動機	別紙－3 参照。	○

表 4 (1) 評価基準値の設定

評価項目	評価基準値の設定
<p>④コラムパイプ ①基礎ボルト、 ポンプ取付ボルト ③ストッパ（取付ボルト）</p>	<p>コラムパイプおよびポンプ取付ボルトは、軸や軸受といった構成部品を固定・支持しており、これらが大きな変形を起こさなければ、構成品の相互の位置関係は維持され、立形ポンプの地震時の機能は確保される。</p> <p>支持機能の確保の観点から、告示 501 号の運転状態Ⅳを基本として、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Ⅳ<sub>A</sub>S を評価基準値とした。</p>
<p>⑥軸</p>	<p>回転子については、電動機で発生させた回転トルクを羽根車に伝える。</p> <p>回転機能の確保の観点から、軸の変形を弾性範囲内に留めるようⅢ<sub>A</sub>S を評価基準値としている。軸の発生応力を弾性範囲内に留めることで、地震後の軸の応力過大による損傷はないことから、作動不良には至らず、軸の機能は確保される。</p> <p>また、地震による軸の変形は、通常運転時より大きくなるため、弾性範囲内でも軸に取り付ける羽根車とケーシングリングの接触により、回転機能及び水力特性に影響を与える可能性があるが、モデル解析において回転体とコラムパイプの相対変位が、羽根車とケーシングリングのクリアランス以下であることを確認することで、回転機能及び水力特性に影響を与える可能性はない。</p>

表 4 (2) 評価基準値の設定

評価項目	評価基準値の設定
⑤軸受	<p>当該ポンプの軸は水中軸受で支持されており，水中軸受は軸と軸受との間に水膜を形成することで回転機能を維持しているため，運転中に軸と軸受が接触しない水膜が保持されれば，回転機能，支持機能が維持される。</p> <p>軸受部では，軸の回転により軸と軸受との間に水膜が形成され，水压により軸と軸受とが直接接触しない状態が保持される。この状態で地震力等の外荷重が作用し水膜が押しつぶされると軸と軸受とが直接接触し損傷に至る恐れがあるが，非常に瞬時の事象のため，水切れによる影響は少なく，軸受に掛かる荷重が軸受の強度にとってより重要となる。そのため，軸受メーカーが推奨する許容面圧と軸受径及び軸受長さから求まる荷重を評価基準値（許容荷重）とした。</p>
⑨電動機	別紙－3 参照。

表 5 (1) 残留熱除去系海水系ポンプ 評価結果

評価部位	項目	応力分類	発生値	許容値	評価	
①基礎ボルト	応力	引張	94 MPa	225 MPa	○	
		せん断	16 MPa	173 MPa	○	
①ポンプ取付ボルト	応力	引張	148 MPa	153 MPa	○	
		せん断	26 MPa	118 MPa	○	
③ストッパ (取付ボルト①)	応力	せん断	47 MPa	118 MPa	○	
③ストッパ (取付ボルト②)	応力	せん断	15 MPa	118 MPa	○	
④コラムパイプ	応力	一次一般膜応力	118 MPa	283 MPa	○	
⑤軸受	荷重	軸受①		$4.626 \times 10^3$ N		○
		軸受②		$2.613 \times 10^4$ N		○
		軸受③		$3.469 \times 10^4$ N		○
		軸受④	下側	$2.659 \times 10^3$ N		○
			上側	$2.659 \times 10^3$ N		○
		軸受⑤	下側	$1.771 \times 10^4$ N		○
			上側	$1.771 \times 10^4$ N		○
⑥軸	応力	追而	追而	追而	追而	
	変位	—	追而	追而	追而	

解析実施中につき  
見直し予定

表 5 (2) 非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ 評価結果

評価部位	項目	応力分類	発生値	許容値	評価	
①基礎ボルト	応力	引張	28 MPa	205 MPa	○	
		せん断	7 MPa	158 MPa	○	
①ポンプ取付ボルト	応力	引張	11 MPa	153 MPa	○	
		せん断	2 MPa	118 MPa	○	
③ストッパ (取付ボルト①)	応力	せん断	6 MPa	118 MPa	○	
③ストッパ (取付ボルト②)	応力	せん断	4 MPa	118 MPa	○	
④コラムパイプ	応力	一次一般膜応力	22 MPa	283 MPa	○	
⑤軸受	荷重	軸受①	434.3 N		○	
		軸受②	$3.472 \times 10^3$ N		○	
		軸受③	下側		$3.452 \times 10^3$ N	○
			上側		$3.452 \times 10^3$ N	○
		軸受④	下側		$2.259 \times 10^3$ N	○
			上側		$2.259 \times 10^3$ N	○
		軸受⑤	下側		$4.141 \times 10^3$ N	○
			上側		$4.141 \times 10^3$ N	○
⑥軸	応力	追而	追而	追而	追而	
	変位	—	追而	追而	追而	

解析実施中につき  
見直し予定

表 5 (3) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ 評価結果

評価部位	項目	応力分類	発生値	許容値	評価	
①基礎ボルト	応力	引張	28 MPa	205 MPa	○	
		せん断	7 MPa	158 MPa	○	
①ポンプ取付ボルト	応力	引張	11 MPa	153 MPa	○	
		せん断	2 MPa	118 MPa	○	
③ストッパ (取付ボルト①)	応力	せん断	6 MPa	118 MPa	○	
③ストッパ (取付ボルト②)	応力	せん断	4 MPa	118 MPa	○	
④コラムパイプ	応力	一次一般膜応力	22 MPa	283 MPa	○	
⑤軸受	荷重	軸受①	434.3 N		○	
		軸受②	$3.472 \times 10^3$ N		○	
		軸受③	下側		$3.452 \times 10^3$ N	○
			上側		$3.452 \times 10^3$ N	○
		軸受④	下側		$2.259 \times 10^3$ N	○
			上側		$2.259 \times 10^3$ N	○
		軸受⑤	下側		$4.141 \times 10^3$ N	○
			上側		$4.141 \times 10^3$ N	○
⑥軸	応力	追而	追而	追而	追而	
	変位	—	追而	追而	追而	

解析実施中につき  
見直し予定



## 5. 動的機能維持確認結果について

異常要因分析に基づき抽出された評価項目に対し、機能維持詳細評価を実施した結果を以下に示す。

### ①基礎ボルト，取付ボルト

応力評価の結果，基礎ボルト，取付ボルトは許容値を満足しており，基礎ボルト，取付ボルトが損傷することはないこと，回転機能，水力特性機能及び流体保持機能が喪失することはないことを確認した。

### ②ディスチャージケーシング

ノズル許容荷重以下になるよう配管設計を実施しており，ディスチャージケーシングが損傷することはないこと，回転機能，水力特性機能及び流体保持機能が喪失することはないことを確認した。

### ③ストッパ（当該機器にバレルはないためストッパを評価）

応力評価の結果，ストッパ取付ボルトは許容値を満足しており，ストッパ取付ボルトが損傷することはないこと，回転機能，水力特性機能及び流体保持機能が喪失することはないことを確認した。

### ④コラムパイプ

応力評価の結果，コラムパイプは許容値を満足しており，コラムパイプが損傷することはないこと，回転機能及び水力特性機能が喪失することはないことを確認した。

### ⑤軸受

荷重評価の結果，軸受は許容値を満足しており，軸受が損傷することはないこと，回転機能及び水力特性機能が喪失することはないことを確認した。

### ⑥軸

追而

### ⑦冷却水配管

当該機器に冷却水配管はないため評価対象外とする。

### ⑧メカニカルシール熱交換器

当該機器にメカニカルシール熱交換器はないため評価対象外とする。

### ⑨電動機

別紙—3 参照。

以上、各評価項目について地震時の健全性を確認出来たことから、残留熱除去系海水系ポンプ、非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプの要求機能は喪失に至ることはなく、確認済加速度を超えた評価用加速度（水平：0.57G、鉛直：2.22G）において当該設備の動的機能維持を確認することができた。

残留熱除去系海水系ポンプ，非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプの電動機の動的機能維持評価について

## 1. はじめに

残留熱除去系海水系ポンプ電動機は出力 900kW の立形ころがり軸受電動機，非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ電動機は出力 55kW の立形ころがり軸受電動機，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ電動機は 55kW の立形ころがり軸受電動機であり，J E A G 4601-1991 記載の適用機種範囲に該当する設備である。

動的機能の評価においては，J E A G 4601-1991 及び耐特委報告書（原子力発電耐震設計特別調査委員会 調査報告書）において，対象機種ごとに，現実的地震応答のレベルでの異常のみならず，破壊に至る様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，動的機能維持を評価する際に確認すべき項目として，基本評価項目を抽出している。

動的機能維持評価の結果，以下のとおり，残留熱除去系海水系ポンプ，非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプの電動機について確認済加速度を超える。

このため，機能維持評価については，J E A G 4601-1991 及び耐特委報告書により動的機能維持評価上，評価が必要な評価項目が選定されており，その評価項目に基づき，動的機能維持評価を実施する。

解析実施中につき  
見直し予定

機器	評価結果					
	水平 (G)			鉛直 (G)		
	評価用 加速度 (G)	確認済 加速度 (G)	裕度	評価用 加速度 (G)	確認済 <sup>※</sup> 加速度 (G)	裕度
残留熱除去系 海水系ポンプ電動機	0.57	2.5	4.38	2.22	1.0	0.45
非常用ディーゼル発電 機用海水ポンプ電動機	0.57	2.5	4.38	2.22	1.0	0.45
高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電機用 海水ポンプ電動機	0.57	2.5	4.38	2.22	1.0	0.45

※ 既往の研究等により妥当性を確認された確認済加速度。なお、1.0G は、機器一般の浮き上がりの目安として設定したもの。

耐専（原子力発電耐震設計専門部会）において、鉛直地震動に対する検討として、改めて鉛直地震動に注意して異常要因分析結果を見直しても、新たに加える損傷モードはなく、既往の水平地震動を前提とした評価の考え方が適用できることが確認されている。今回の地震加速度レベルでは鉛直方向の確認済加速度を超える発生加速度が生じているが、2.以下では耐専での上記考え方に変わりはないことを確認する。なお、確認済加速度の設定では、水平方向の振動試験等により確認された水平方向加速度と組み合わせて解析を行い、動的機能評価上重要な部分の耐震健全性を確認する。

## 2. 電動機の基本評価項目

残留熱除去系海水系ポンプ電動機は出力 900kW の立形ころがり軸受電動機、非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ電動機は出力 55kW の立形ころがり軸受電動機、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ電動機は 55kW の立形ころがり軸受電動機であり、J E A G 4601-1991 記載の適用機種範囲に該当する設備である。残留熱除去系海水系ポンプ用電動機を代表として構造の概要を図 1 に示す。

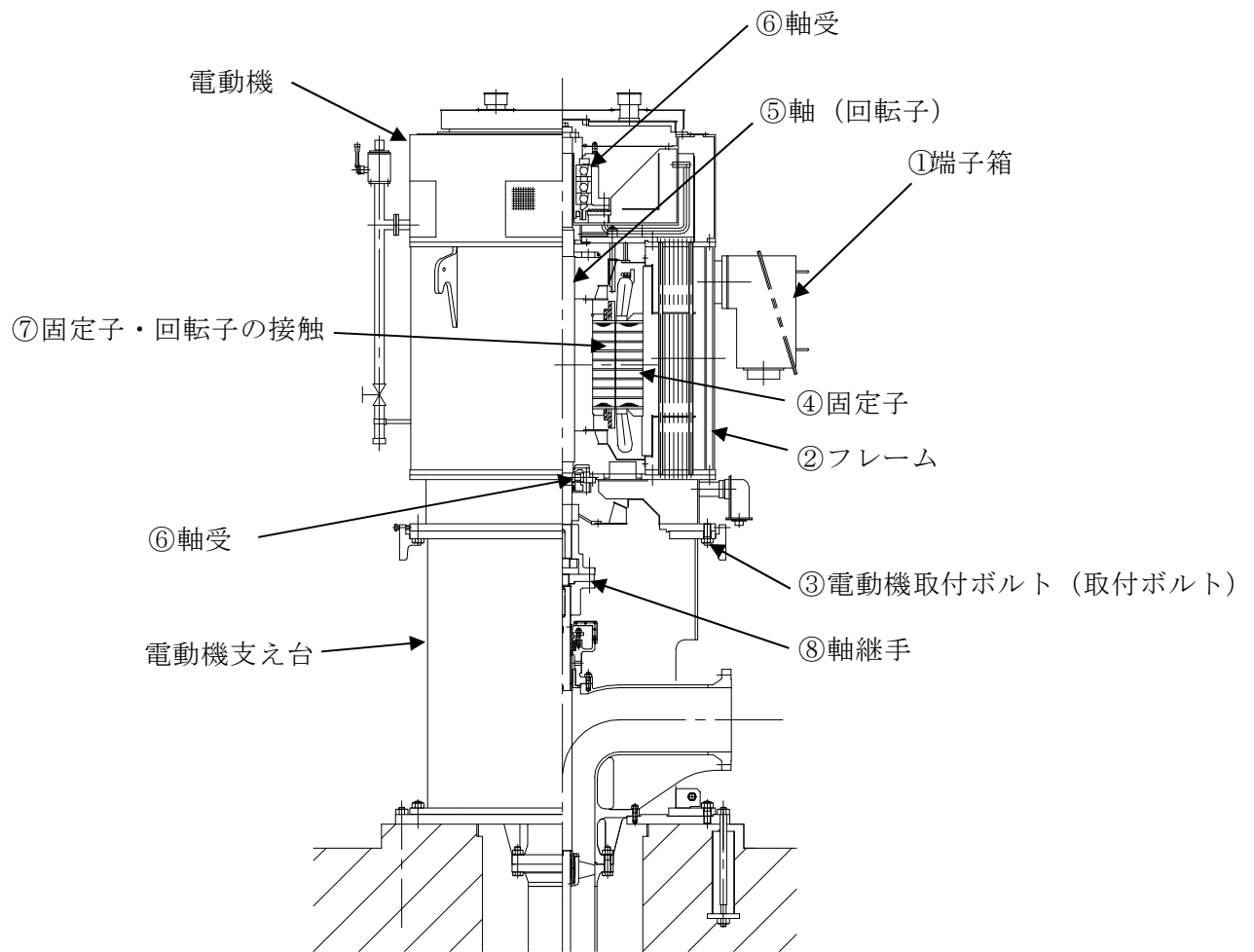


図1 残留熱除去系海水系ポンプ用電動機の構造図

耐特委における電動機の地震時異常要因分析結果を図 2 に示す。

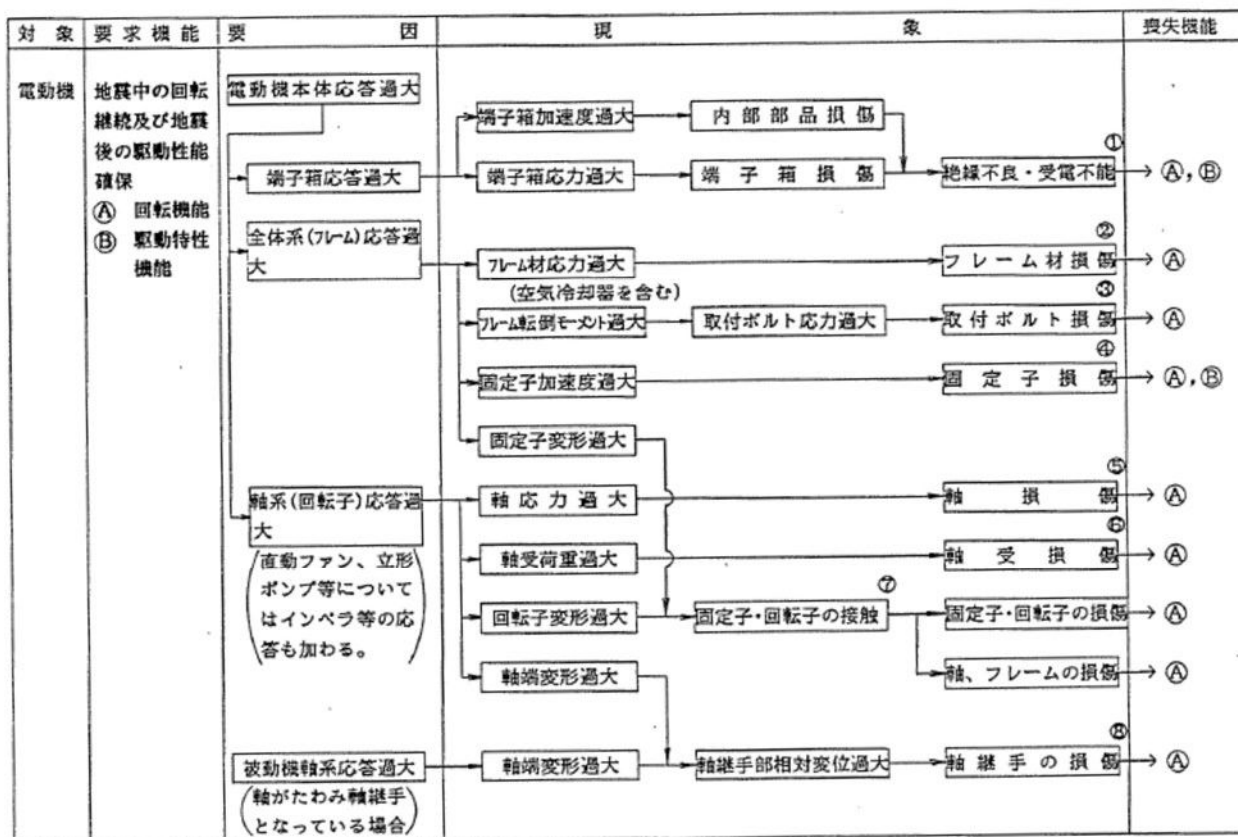


図 2 電動機の地震時異常要因モード図 (耐特委)

耐特委報告書においては異常要因モードに基づき評価項目が以下①～⑧の項目のとおり抽出され、①～⑧の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いる。

これは、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について全て評価基準値以下に収まっていれば、動的機能が維持できると解される。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いたる現象と、機能確認済加速度を越えた場合の評価の考え方を記述する。

なお、全評価項目の中で一つでも評価基準値を超えれば、当該機器は評価用加速度における動的機能維持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。

確認済加速度を超えたとしても、異常要因分析の結果抽出された本項目以外の全ての項目について評価基準値以下に収まる地震加速度レベルであれば、端子箱の健全性を確認することで、電動機の動的機能は維持できる。

#### 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、電動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。

確認済加速度を超えたとしても、異常要因分析の結果抽出された本項目以外の全ての項目について評価基準値以下に収まる地震加速度レベルであれば、フレームの健全性を確認することで、電動機の動的機能は維持できる。

#### 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原動機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。

確認済加速度を超えたとしても、異常要因分析の結果抽出された本項目以外の全ての項目について評価基準値以下に収まる地震加速度レベルであれば、取付ボルトの健全性を確認することで、電動機の動的機能は維持できる。

#### 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。

確認済加速度を超えたとしても、異常要因分析の結果抽出された本項目以外の全ての項目について評価基準値以下に収まる地震加速度レベルであれば、固定子の健全性を確認することで、電動機の動的機能は維持できる。

#### 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。

確認済加速度を超えたとしても、異常要因分析の結果抽出された本項目以外の全  
別紙 3-5

ての項目について評価基準値以下に収まる地震加速度レベルであれば、軸の健全性を確認することで、電動機の動的機能は維持できる。

#### 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。

確認済加速度を超えたとしても、異常要因分析の結果抽出された本項目以外の全ての項目について評価基準値以下に収まる地震加速度レベルであれば、軸の健全性を確認することで、電動機の動的機能は維持できる。

#### ⑦固定子・回転子の接触

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。

確認済加速度を超えたとしても、異常要因分析の結果抽出された本項目以外の全ての項目について評価基準値以下に収まる地震加速度レベルであれば、固定子・回転子の接触確認をすることで、電動機の動的機能は維持できる。

#### ⑧軸継手の健全性

被駆動機（ポンプ）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機への回転運動の伝達が喪失する。

確認済加速度を超えたとしても、異常要因分析の結果抽出された本項目以外の全ての項目について評価基準値以下に収まる地震加速度レベルであれば、軸継手の健全性を確認することで、電動機の動的機能は維持できる。



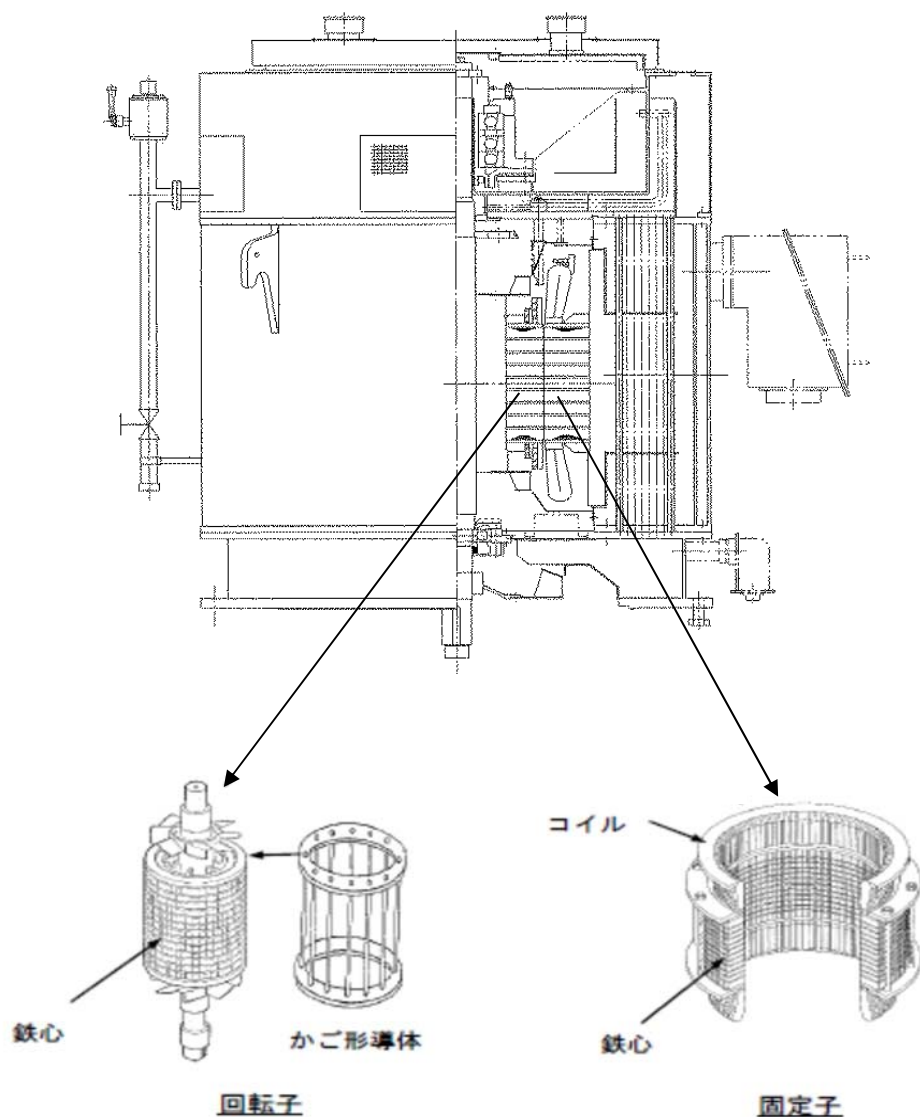


図3 東海第二発電所 海水ポンプ電動機の構造（立形ころがり軸受）

3. J E A G 4601-1991, 耐特委報告書及び耐専報告書後の知見について

平成13年の耐専報告書後の知見として、平成24年度電共研「動的機器の地震時機能維持の耐震余裕に関する検討」にて、機能維持確認済加速度の引き上げを目的として代表機器を対象に機能維持評価を行っている。電動機については表1に示すとおり、各項目について解析による評価を実施している。表2に評価の概要を示す。なお、本評価については、日本電気協会 原子力規格委員会において審議され、JEAC4601-2015に取り込まれている。



表 2 平成 24 年度電共研 電動機 動的機能維持評価概要

評価項目	評価内容
①端子箱	材料力学等の公式により端子箱取付ボルトの応力を算出
②フレーム	材料力学等の公式によりフレームの応力を算出
③取付ボルト	材料力学等の公式により取付ボルトの応力を算出
④固定子	材料力学等の公式により固定子の応力を算出
⑤軸（回転子）	材料力学等の公式により軸（回転子）の応力を算出
⑥軸受	多質点はりモデルによる電動機の応答解析結果を用い、軸受の発生荷重を評価
⑦固定子 ・ 回転子	多質点はりモデルによる電動機の応答解析結果を用い、相対変位が固定子－軸（回転子）間空隙寸法を下回ることを確認
⑧軸継手	被駆動機側にて評価を実施

#### 4. 電動機評価概要

機能維持評価については、J E A G 4601-1991 及び耐特委報告書により動的機能維持評価上、評価が必要な評価項目が選定されており、その評価項目に基づき、計算書対象とする動的機能維持確認の基本評価項目の考え方を示す。

##### ①端子箱

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し、有意な荷重がかかることから評価項目として選定する。

##### ②フレーム

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フレームに有意な荷重が作用することから、評価項目として選定する。

##### ③取付ボルト

電動機は原動機台に取付ボルトを用いて固定されており、地震時には全体系（フレーム）の転倒モーメントが当該ボルトに作用し、有意な荷重がかかることから評価項目として選定する。

##### ④固定子

固定子はフレーム内部に取り付けられ、フレームに比べ厚みが十分大きいことから、フレームに比べて、高い剛性を有する設計であることを確認しているため、計算書の評価対象外とする。

##### ⑤軸

回転機能保持の観点から動的機能維持の評価項目として選定する。

##### ⑥軸受

回転機能保持の観点から動的機能維持の評価項目として選定する。

##### ⑦固定子・回転子

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回転機能喪失にかかわるため、動的機能維持の評価項目として選定する。

## ⑧軸継手

軸継手は駆動機側（電動機）から、被駆動機（ポンプ）へ回転運動を伝達する機能を有しており、地震時に駆動機側及び被駆動機側へ作用する相対荷重差あるいは相対変位が過大となり軸継手が損傷することで被駆動機の回転機能損失につながる。

ただし、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、およ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、計算書の評価対象外とする。

以上から、海水ポンプ電動機において抽出される動的機能維持の基本評価項目のうち、計算書の評価対象とするものは以下の通りである\*。

\* 表3においては、①～⑧の全ての評価項目を記載し、以下の評価項目に該当するものは評価内容を示し、それ以外の項目については評価省略理由を記載する。

①端子箱（取付ボルト）

②フレーム

③取付ボルト

⑤軸

⑥軸受

⑦固定子・回転子

上記評価項目に基づき、表3のとおり機能維持評価を実施している。

評価項目における評価基準値の説明を表4に、また評価部位については図1に示す。

以上の検討に基づく評価結果を表5に示す。

表 3 動的機能維持評価内容

評価項目	評価内容	計算書対象 (○：計算書対象, －：計算書省略)
①端子箱 (取付ボルト)	多質点はりモデルによる海水ポンプの応答解析結果を用い、材料力学等の公式により、取付ボルトの発生応力を評価	○
②フレーム	多質点はりモデルによる海水ポンプの応答解析結果を用い、材料力学等の公式により、フレームの発生応力を評価	○
③取付ボルト	多質点はりモデルによる海水ポンプの応答解析結果を用い、材料力学等の公式により、取付ボルトの発生応力を評価	○
④固定子	固定子はフレームの内側に取り付けられ、フレームに比べ厚みが十分に大きいことから、フレームに比べ高い剛性を有する設計であることを確認している。(計算書省略)	－
⑤軸 (回転子)	多質点はりモデルによる海水ポンプの応答解析結果を用い、材料力学等の公式により軸の発生応力を評価	○
⑥軸受	多質点はりモデルによる海水ポンプの応答解析結果を用い、軸受の発生荷重を評価	○
⑦固定子 ・回転子	多質点はりモデルによる海水ポンプの応答解析結果を用い、固定子－軸（回転子）の相対変位が固定子－軸（回転子）間空隙寸法を下回ることを確認	○
⑧軸継手	ポンプ軸とモータ軸をリジットに接続するタイプの軸継手であり、相対変位が発生しないこと、および地震荷重については軸受で負担することから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している。(計算書省略)	－

表 4 評価基準値の設定 (1 / 2)

評価項目	評価基準値の設定
<p>①端子箱 (取付ボルト)</p>	<p>端子箱は筐体とケーブルで構成されるが、ケーブルの質量は小さく、かつフレームに直接支持されていることから、地震時の機能維持は、筐体の取付状態が健全であれば、これらの電氣的機能に影響及ぼすことはない。</p> <p>絶縁、受電機能の確保の観点から、動的機能維持の評価対象として告示 501 号の運転状態Ⅳを基本として、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<math>IV_{AS}</math>を評価基準値とした。</p>
<p>②フレーム ③取付ボルト</p>	<p>フレームおよびその取付ボルトは、軸（回転子）や軸受、固定子といった構成部品を固定・支持しており、これらが大きな変形を起こさなければ、構成品の相互の位置関係は維持され、電動機の地震時の機能は確保される。</p> <p>支持機能の確保の観点から、告示 501 号の運転状態Ⅳを基本として、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<math>IV_{AS}</math>を評価基準値とした。</p>

表 4 評価基準値の設定 (2 / 2)

評価項目	評価基準値の設定
<p>⑤軸 (回転子)</p>	<p>回転子については、作用する電磁気力を回転トルクとして被駆動機側に伝える。また、回転子は軸と一体であり、軸が健全であればその機能に影響はない。</p> <p>回転機能の確保の観点から、軸（回転子）の変形を弾性範囲内に留めるようⅢ<sub>A</sub>Sを評価基準値としている。軸（回転子）の発生応力を弾性範囲内に留めることで、地震後の軸（回転子）応力過大による損傷はないことから、作動不良には至らず、軸（回転子）の機能は確保される。</p> <p>また、地震による軸（回転子）の変形は、通常運転時より大きくなるため、弾性範囲内でも軸（回転子）と固定子の接触により、回転機能に影響を与える可能性があるが、これについては、以下の固定子・回転子の接触にて確認することで、回転機能は確保され異常振動が発生することはない。</p>
<p>⑥軸受</p>	<p>海水ポンプ電動機の回転子はこちら軸受で支持されている。ころがり軸受は軌道と転同体が健全であれば、円滑な回転を得られることから、軌道と転同体の接触面に限度となる永久変形量を発生させる基本静定格荷重を評価基準値とした。</p>
<p>⑦固定子 ・回転子</p>	<p>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、回転子と固定子のクリアランスを評価基準値とした。</p>



表 5 (1) 残留熱除去系海水系ポンプ用電動機 評価結果

評価部位	項目	応力分類	発生値	許容値	評価
①端子箱	応力	引張, 組合せ	追而	追而	追而
		せん断	追而	追而	追而
②フレーム	応力	圧縮	追而	追而	追而
		曲げ	追而	追而	追而
		せん断	追而	追而	追而
③取付ボルト (原動機取付ボルト)	応力	引張	46 MPa	153 MPa	○
		せん断	12 MPa	118 MPa	○
⑤軸 (回転子)	応力	一次一般膜	20 MPa	103 MPa	○
⑥軸受	荷重	(上部軸受)	$3.397 \times 10^3 \text{ N}$		○
		(下部軸受)	$8.879 \times 10^3 \text{ N}$		○
⑦固定子・回転子	変位	—	追而	追而	追而

解析実施中につき  
見直し予定

表 5 (2) 非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ用電動機 評価結果

評価部位	項目	応力分類	発生値	許容値	評価
①端子箱	応力	引張, 組合せ	追而	追而	追而
		せん断	追而	追而	追而
②フレーム	応力	圧縮	追而	追而	追而
		曲げ	追而	追而	追而
		せん断	追而	追而	追而
③取付ボルト (原動機取付ボルト)	応力	引張	15 MPa	153 MPa	○
		せん断	7 MPa	118 MPa	○
⑤軸 (回転子)	応力	一次一般膜	14 MPa	110 MPa	○
⑥軸受	荷重	(上部軸受)	$3.599 \times 10^3 \text{ N}$		○
		(下部軸受)	$1.543 \times 10^3 \text{ N}$		○
⑦固定子・回転子	変位	—	追而	追而	追而

解析実施中につき  
見直し予定

表 5 (3) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ用電動機 評価結果

評価部位	項目	応力分類	発生値	許容値	評価
①端子箱	応力	引張, 組合せ	追而	追而	追而
		せん断	追而	追而	追而
②フレーム	応力	圧縮	追而	追而	追而
		曲げ	追而	追而	追而
		せん断	追而	追而	追而
③取付ボルト (原動機取付ボルト)	応力	引張	15 MPa	153 MPa	○
		せん断	7 MPa	118 MPa	○
⑤軸 (回転子)	応力	一次一般膜	14 MPa	110 MPa	○
⑥軸受	荷重	(上部軸受)	$3.599 \times 10^3 \text{ N}$		○
		(下部軸受)	$1.543 \times 10^3 \text{ N}$		○
⑦固定子・回転子	変位	—	追而	追而	追而

解析実施中につき  
見直し予定

## 5. 動的機能維持確認結果について

異常要因分析に基づき抽出された評価項目に対し、機能維持詳細評価を実施した結果を以下に示す。

### ①端子箱

追而

### ②フレーム

追而

### ③取付ボルト

応力評価の結果取付ボルトは許容値を満足しており、全体系が転倒することはないこと、取付ボルト損傷による回転機能が喪失することはないことを確認した。

### ④固定子

固定子はフレームの内側に取り付けられ、フレームに比べ厚みが十分に大きいことから、フレームに比べ高い剛性を有する設計であり、応力評価の結果フレームは許容値を満足していることから固定子は健全であり、回転機能及び駆動特性機能が喪失することはないことを確認した。

### ⑤軸

応力評価の結果軸は許容値を満足しており、軸の損傷による回転機能が喪失することはないことを確認した。

### ⑥軸受

荷重評価の結果軸受は許容値を満足しており、軸受の損傷による回転機能が喪失することはないことを確認した。

### ⑦固定子・回転子

追而

### ⑧軸継手

ポンプ軸とモータ軸をリジットに接続するタイプの軸継手であり、相対変位が発生しないこと、およ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、軸継手は健全であり、回転機能が喪失することはないことを確認した。

以上、各評価項目について地震時の健全性を確認出来たことから、残留熱除去系海水系ポンプ、非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプの電動機の要求機能は喪失に至ることはなく、確認済加速度を超えた評価用加速度（水平：0.57G、鉛直：2.22G）において当該設備の動的機能維持を確認することができた。

別表1 検討対象設備の抽出結果

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	At超え時の評価方法がJEAGに規定されている設備 ○：規定されている ×：規定されていない -：対象外	検討対象設備としての抽出結果 ○：検討対象とする設備 -：検討対象でない設備	JEAG4601機種/型式		A t 確認		
					機種	型式	方向	評価用加速度	機能確認用加速度
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									
代替燃料プール注水系									
常設低圧代替注水系ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	○	横形ポンプ	遠心式	水平	追而	3.2(軸直角方向)
							鉛直	追而	1.4(軸方向)
電動機	有	JEAG4601による確認	×	○	電動機	横形ころがり軸受	水平	追而	4.7
							鉛直	追而	1.0
可搬型代替注水大型ポンプ	有	加振試験による確認	-	-	-	-	-	-	-
代替燃料プール冷却系									
代替燃料プール冷却系ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	○	横形ポンプ	遠心式	水平	0.86	3.2(軸直角方向)
							鉛直	0.65	1.4(軸方向)
電動機	有	JEAG4601による確認	×	○	電動機	横形ころがり軸受	水平	0.86	4.7
							鉛直	0.65	1.0
原子炉冷却系統施設									
原子炉冷却材再循環設備									
原子炉冷却材再循環系									
原子炉冷却材再循環ポンプ	無	-	-	-	-	-	-	-	-
原子炉冷却材の循環設備									
残留熱除去設備									
残留熱除去系									
残留熱除去系ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	○	立形ポンプ	ビットパレル形	水平	0.48	10.0
							鉛直	0.50	1.0
電動機	有	JEAG4601による確認	×	○	電動機	立形ころがり軸受	水平	0.48	2.5
							鉛直	0.50	1.0
格納容器圧力逃がし装置									
格納容器圧力逃がし装置移送ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	○	横形ポンプ	遠心式	水平	追而	3.2(軸直角方向)
							鉛直	追而	1.4(軸方向)
電動機	有	JEAG4601による確認	×	○	電動機	横形ころがり軸受	水平	追而	4.7
							鉛直	追而	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	JEAG4601による確認	×	○	立形ポンプ	ビットパレル形	水平	0.48	10.0
							鉛直	0.50	1.0
電動機	有	JEAG4601による確認	×	○	電動機	立形すべり軸受	水平	0.48	2.5
							鉛直	0.50	1.0
低圧炉心スプレイ系									
低圧炉心スプレイ系ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	○	立形ポンプ	ビットパレル形	水平	0.48	10.0
							鉛直	0.50	1.0
電動機	有	JEAG4601による確認	×	○	電動機	立形ころがり軸受	水平	0.48	2.5
							鉛直	0.50	1.0
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	遠心式	水平	0.48	3.2(軸直角方向)
							鉛直	0.50	1.4(軸方向)
ポンプ駆動用タービン	有	JEAG4601による確認	×	○	ポンプ駆動用タービン	R C I Cポンプ用	水平	0.48	2.4
							鉛直	0.50	1.0
高圧代替注水系									
常設高圧代替注水系ポンプ	有	加振試験による確認	-	-	-	-	-	-	-

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	At超え時の評価方法がJEAGに規定されている設備 ○：規定されている ×：規定されていない -：対象外	検討対象設備としての抽出結果 ○：検討対象とする設備 -：検討対象でない設備	JEAG4601機種/型式		At確認			
					機種	型式	方向	評価用加速度	機能確認済加速度	
低圧代替注水系										
常設低圧代替注水系ポンプ					- (前段で整理済)					
可搬型代替注水大型ポンプ					- (前段で整理済)					
代替循環冷却系										
代替循環冷却系ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	○	横形ポンプ	遠心式	水平	0.48	3.2(軸直角方向) 1.4(軸方向)	
							鉛直	0.50	1.0	
					電動機	横形ころがり軸受	水平	0.48	4.7	
							鉛直	0.50	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					- (前段で整理済)					
原子炉補機冷却設備										
残留熱除去系海水系										
残留熱除去系海水系ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	○	立形ポンプ	立形斜流式	水平	0.38	10.0	
							鉛直	1.48	1.0	
					電動機	立形ころがり軸受	水平	0.38	2.5	
							鉛直	1.48	1.0	
代替残留熱除去系海水系										
可搬型代替注水大型ポンプ					- (前段で整理済)					
緊急用海水系										
緊急用海水ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	○	立形ポンプ	立形斜流式	水平	追而	10.0	
							鉛直	追而	1.0	
					電動機	立形ころがり軸受	水平	追而	2.5	
							鉛直	追而	1.0	
計測制御系統施設										
制御材										
制御棒	有	加振試験による確認	-	-	制御棒	BWR標準型式	水平	11.2mm	40mm	
							鉛直	鉛直方向地震による影響を整理する(追而)。		
ほう酸水注入設備										
ほう酸水注入系										
ほう酸水注入ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	○	往復動式ポンプ	横形	水平	0.93	1.6	
							鉛直	0.80	1.0	
					電動機	横形ころがり軸受	水平	0.93	4.7	
							鉛直	0.80	1.0	
放射線管理施設										
放射線管理用計測装置										
換気設備										
中央制御室換気系										
中央制御室換気系空調和機ファン	有	JEAG4601による確認	×	○	ファン	-	-	-	-	
							-	-	-	
					電動機	横形ころがり軸受	水平	0.86	4.7	
							鉛直	0.65	1.0	
中央制御室換気系フィルタ系ファン	有	JEAG4601による確認	×	○	ファン	-	-	-	-	
							-	-	-	
					電動機	横形ころがり軸受	水平	0.86	4.7	
							鉛直	0.65	1.0	

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	At超え時の評価方法がJEAGに規定されている設備 ○：規定されている ×：規定されていない -：対象外	検討対象設備としての抽出結果 ○：検討対象とする設備 -：検討対象でない設備	JEAG4601機種／型式		At確認		
					機種	型式	方向	評価用加速度	機能確認加速度
緊急時対策所換気系									
緊急時対策所非常用送風機	有	JEAG4601による確認	×	○	ファン	遠心直動式	水平	0.90	2.6
							鉛直	0.78	1.0
					電動機	横形ころがり軸受	水平	0.90	4.7
							鉛直	0.78	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									
格納容器スプレィ冷却系									
残留熱除去系ポンプ	-（前段で整理済）								
代替格納容器スプレィ冷却系									
常設低圧代替注水系ポンプ	-（前段で整理済）								
可搬型代替注水大型ポンプ	-（前段で整理済）								
代替循環冷却系ポンプ	-（前段で整理済）								
緊急用海水ポンプ	-（前段で整理済）								
格納容器下部注水系									
常設低圧代替注水系ポンプ	-（前段で整理済）								
可搬型代替注水大型ポンプ	-（前段で整理済）								
原子炉建屋放水設備									
可搬型代替注水大型ポンプ	-（前段で整理済）								
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	-	-	-	-
							-	-	-
					電動機	横形ころがり軸受	水平	1.4	4.7
							鉛直	1.0	1.0
非常用ガス再循環系									
非常用ガス再循環系排風機	有	JEAG4601による確認	×	○	ファン	遠心直動式	水平	1.4	2.6
							鉛直	1.0	1.0
					電動機	横形ころがり軸受	水平	1.4	4.7
							鉛直	1.0	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	JEAG4601による確認	×	○	ファン	遠心直動式	水平	1.11	2.6
							鉛直	0.84	1.0
					電動機	横形ころがり軸受	水平	1.11	4.7
							鉛直	0.84	1.0
その他発電用原子炉の附属設備									
非常用電源設備									
非常用発電装置									
非常用ディーゼル発電機									
非常用ディーゼル発電機	有	JEAG4601による確認	×	○	非常用ディーゼル発電機	機関本体	水平	0.72	1.1
							鉛直	0.75	1.0
					調速装置	UG型	水平	0.72	1.8
							鉛直	0.75	1.0
非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ	有	JEAG4601による確認	×	○	横形ポンプ	-	-	-	-
							-	-	-
					電動機	横形ころがり軸受	水平	0.44	4.7
							鉛直	0.59	1.0



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	At超え時の評価方法がJ EAGに規定されている設備 ○：規定されている ×：規定されていない -：対象外	検討対象設備としての抽出結果 ○：検討対象とする設備 -：検討対象でない設備	J E A G 4601 機種/型式		A t 確認		
					機種	型式	方向	評価用加速度	機能確認用加速度
非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ	有	J EAG4601による確認	×	○	立形ポンプ	立形斜流式	水平	0.72	10.0
							鉛直	1.48	1.0
					電動機	立形ころがり軸受	水平	0.38	2.5
							鉛直	1.48	1.0
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機									
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機	有	J EAG4601による確認	×	○	非常用ディーゼル発電機	機関本体	水平	0.72	1.1
							鉛直	0.75	1.0
					調速装置	U G型	水平	0.72	1.8
							鉛直	0.75	1.0
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ	有	J EAG4601による確認	×	○	横形ポンプ	-	-	-	-
							-	-	-
					電動機	横形ころがり軸受	水平	0.44	4.7
							鉛直	0.59	1.0
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ	有	J EAG4601による確認	×	○	立形ポンプ	立形斜流式	水平	0.72	10.0
							鉛直	1.48	1.0
					電動機	立形ころがり軸受	水平	0.38	2.5
							鉛直	1.48	1.0
常設代替高圧電源装置									
常設代替高圧電源装置	有	加振試験による確認	-	-	-	-	-	-	-
常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ	有	J EAG4601による確認	×	○	横形ポンプ	-	-	-	-
							-	-	-
					電動機	横形ころがり軸受	水平	追而	4.7
							鉛直	追而	1.0
緊急時対策用発電機									
緊急時対策用発電機	有	加振試験による確認	-	-	-	-	-	-	-
緊急時対策用発電機給油ポンプ	有	J EAG4601による確認	×	○	横形ポンプ	-	-	-	-
							-	-	-
					電動機	横形ころがり軸受	水平	追而	4.7
							鉛直	追而	1.0
可搬型代替低圧電源車									
可搬型代替低圧電源車	有	加振試験による確認	-	-	-	-	-	-	-
タンクローリー	有	加振試験による確認	-	-	-	-	-	-	-
可搬型窒素供給装置用電源車									
可搬型窒素供給装置用電源車	有	加振試験による確認	-	-	-	-	-	-	-
タンクローリー					- (前段で整理済)				
補機駆動用燃料設備									
可搬型									
タンクローリー					- (前段で整理済)				
弁									
一般弁									
グローブ弁	有	J EAG4601による確認	○	-	-	-	-	-	-
ゲート弁	有	J EAG4601による確認	○	-	-	-	-	-	-
バタフライ弁	有	J EAG4601による確認	○	-	-	-	-	-	-
逆止弁	有	J EAG4601による確認	○	-	-	-	-	-	-
特殊弁									
主蒸気隔離弁	有	J EAG4601による確認	○	-	-	-	-	-	-
安全弁	有	J EAG4601による確認	○	-	-	-	-	-	-
制御棒駆動系スクラム弁	有	J EAG4601による確認	○	-	-	-	-	-	-