

東海第二発電所

地震による損傷の防止

平成 29 年 10 月
日本原子力発電株式会社

第4条：地震による損傷の防止

目 次

第1部

1. 基本方針

1.1 要求事項の整理

下線部：今回提出資料

1.2 追加要求事項に対する適合性

(1) 位置、構造及び設備

(2) 安全設計方針

(3) 適合性説明

1.3 気象等

1.4 設備等

1.5 手順等

第2部

1. 耐震設計の基本方針

1.1 基本方針

1.2 適用規格

2. 耐震設計上の重要度分類

2.1 重要度分類の基本方針

2.2 耐震重要度分類

3. 設計用地震力

3.1 地震力の算定法

3.2 設計用地震力

4. 荷重の組合せと許容限界

4.1 基本方針

5. 地震応答解析の方針

5.1 建物・構築物

5.2 機器・配管系

5.3 屋外重要土木構造物

5.4 津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備並びに浸水防止設備 又は津波監視設備が設置された建物・構築物

6. 設計用減衰定数

7. 耐震重要施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響

8. 水平2方向及び鉛直方向の地震力の組合せに関する影響評価方針

9. 構造計画と配置計画

(別 添)

- 別添－1 設計用地震力
- 別添－2 動的機能維持の評価
- 別添－3 弾性設計用地震動 S_d ・静的地震力による評価
- 別添－4 上位クラス施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響の検討について
- 別添－5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針
- 別添－6 屋外重要土木構造物の耐震評価における断面選定の考え方
- 別添－7 主要建屋の構造概要について

(別 紙)

- 別紙－1 既工認との手法の相違点の整理について（設置変更許可申請段階での整理）
- 別紙－2 原子炉建屋の地震応答解析モデルについて
- 別紙－3 原子炉建屋屋根トラス評価モデルへの弾塑性解析適用について
- 別紙－4 土木構造物の解析手法及び解析モデルの精緻化について
- 別紙－5 機器・配管系における手法の変更点について
- 別紙－6 下位クラス施設の波及的影響の検討について
- 別紙－7 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の適切な組合せに関する検討について
- 別紙－8 屋外重要土木構造物の耐震評価における断面選定について
- 別紙－9 使用済燃料乾式貯蔵建屋の評価方針について
- 別紙－10 液状化影響の検討方針について
- 別紙－11 屋外二重管の基礎構造の設計方針について
- 別紙－12 既設設備に対する耐震補強等について
- 別紙－13 動的機能維持評価の検討方針について

東海第二発電所

動的機能維持評価の検討方針について (耐震)

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案（以下「技術基準規則解釈等の改正案」という）及び先行電力の審査状況を踏まえて、動的機能維持要求が必要な設備の検討方針を示す。

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

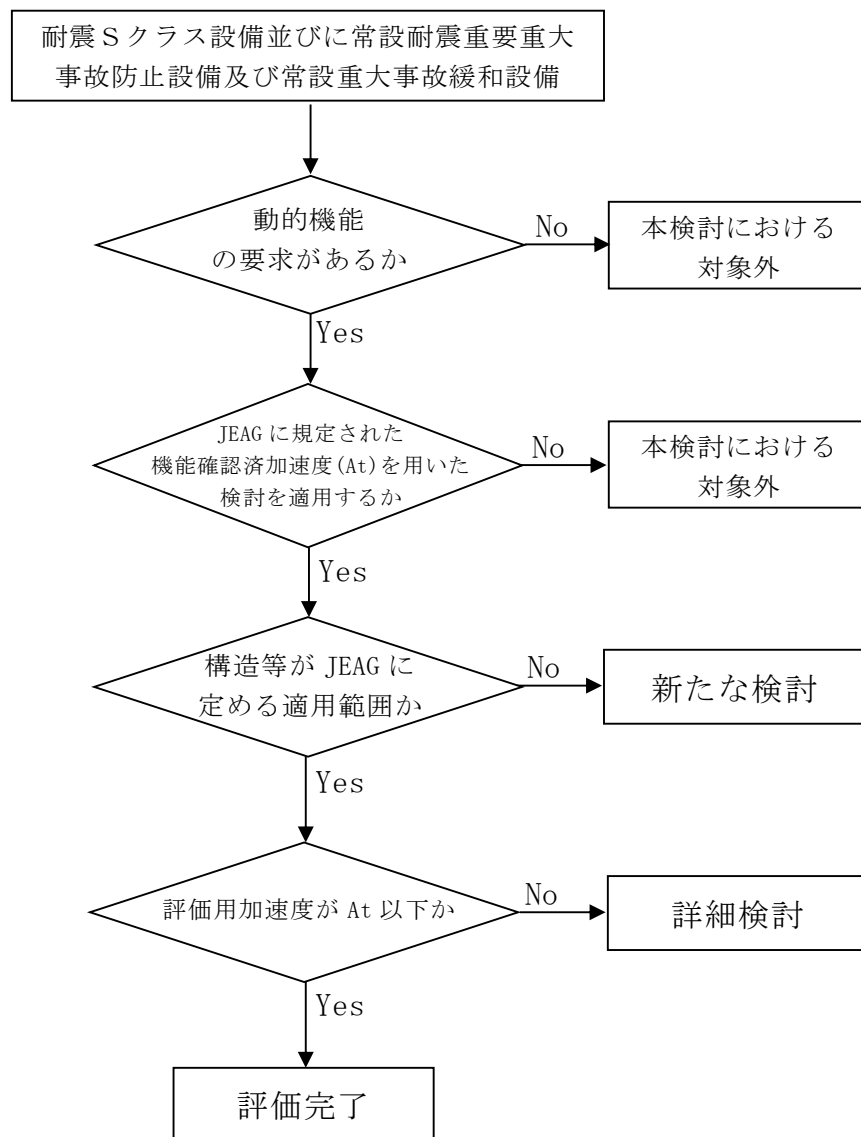
第 1 図に抽出フローを示す。検討対象設備について、J E A G 4601 に定める適用機種に対して構造、作動原理等が同じであることを確認する。同じであることが確認できない場合は、新たな検討が必要な設備として抽出する。

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、Vベルトの方式の遠心ファン（以下「Vベルト式ファン」という。）となる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及び非常用ガス処理系排風機並びに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。

新たな検討が必要となる設備のうち、Vベルト式ファンについては、遠心直結式ファン又は遠心直動式ファンへの構造変更を行うため、動的機能維持評価のための新たな検討は不要となる。

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。

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	○	○注 1
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	○	○注 1
	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	○	○注 1
	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	○	○

注 1）今後の設計進捗によって、評価用加速度の変更により At 確認結果が変更する可能性が有る。

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	○	○注 1
	非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ用電動機	○	×
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ用電動機	○	○注 1
	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	○	×
	常設低圧代替注水系ポンプ用電動機	○	○注 1
	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	○	○注 1
	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	○	○注 1
	緊急時対策所非常用送風機用電動機	○	○注 1
	常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ用電動機	○	○注 1
	緊急時対策所用発電機給油ポンプ用電動機	○	○注 1
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	○	○注 1

注 1) 今後の設計進捗によって、評価用加速度の変更により At 確認結果が変更する可能性が有る。

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

2.2. 動的機能維持の検討

2.2.1 新たな検討が必要な設備の検討

(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案及び先行電力の審査状況を踏まえて、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。

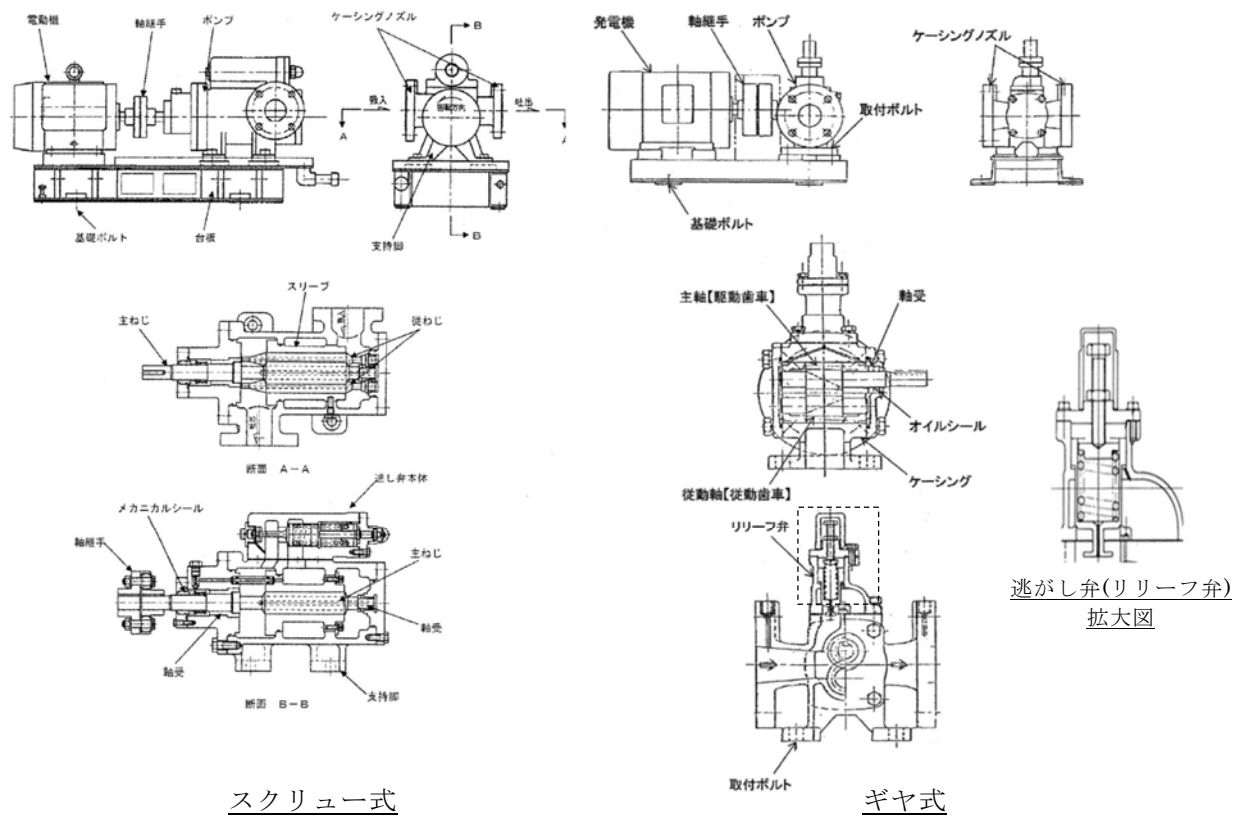
新たな検討が必要設備において、参考とする機種／型式を第2表に示すとともに、第2図及び第3図に今回工認にて新たな検討が必要な設備及び耐特委で検討され新たな検討において参考とする設備の構造概要図を示す。

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

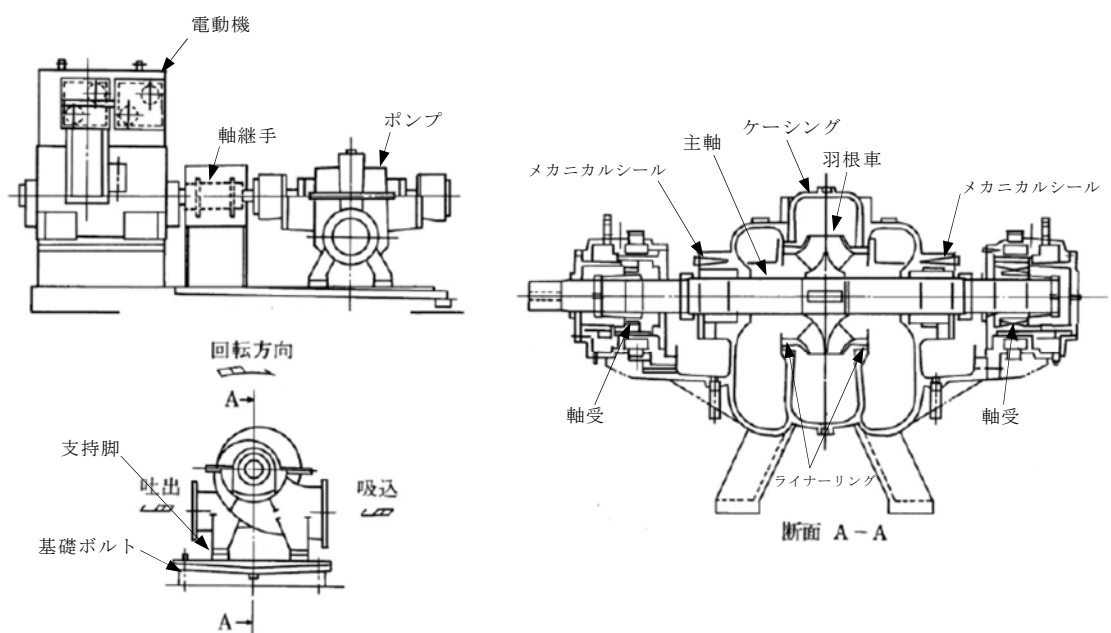
ル発電機燃料移送ポンプ，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ，常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ及び緊急時対策所用発電機給油ポンプについては，新規制基準により新たに動的機能要求が必要となり，評価する設備となる。

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
・ 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	横形ポンプ／スクリー式	横形ポンプ／単段遠心式
・ 緊急時対策所用発電機給油ポンプ	横形ポンプ／ギヤ式	



第2図 スクリュー式，ギヤ式ポンプ構造概要図



第3図 遠心式ポンプ構造概要図

(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。

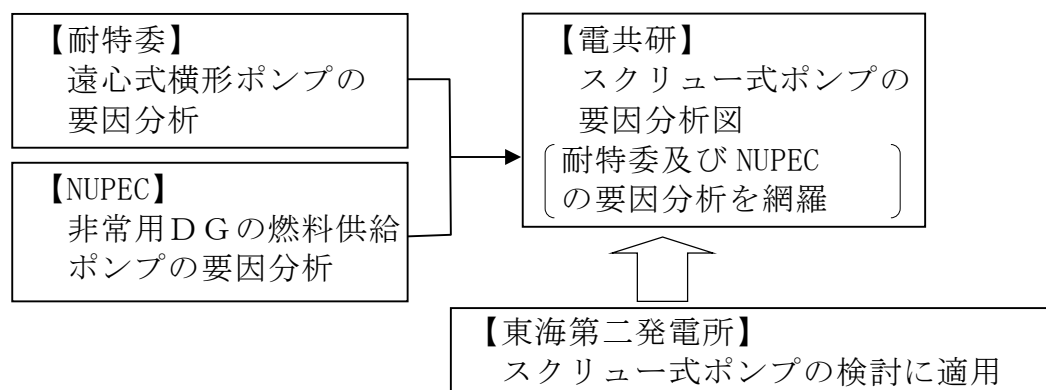
a. スクリュー式ポンプ

(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要因分析図及び評価項目は、電共研[※]での検討内容を用いる。電共研では第4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。

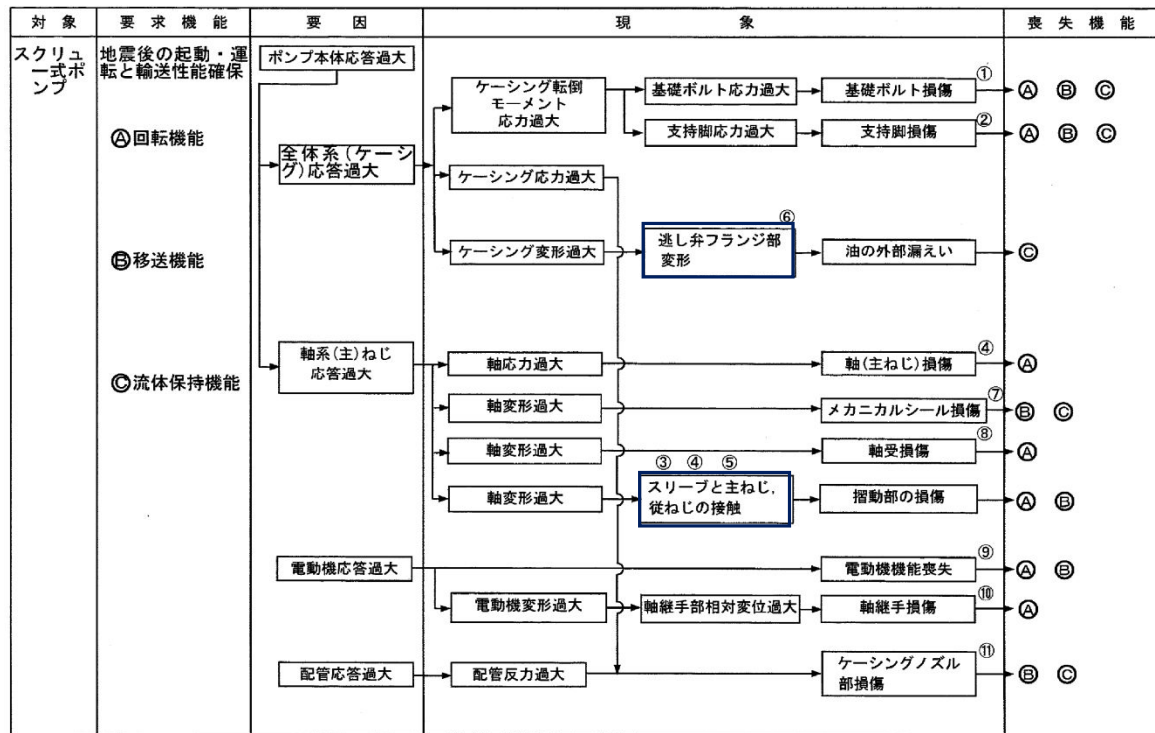
スクリュー式ポンプの要因分析図を第5図に示す。要因分析図に基づき抽出される評価項目は第3表のとおりである。

※ 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4図 地震時異常要因分析の適用（スクリュー式ポンプ）

スクリー式ポンプとして
抽出された評価項目



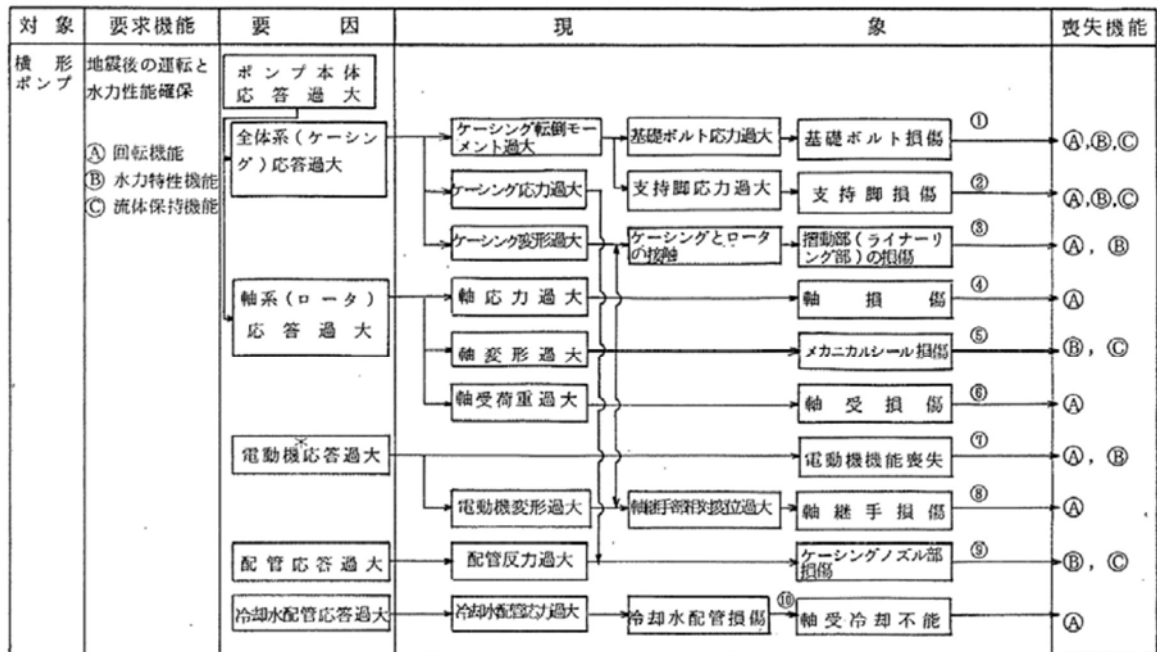
第 5 図 スクリー式ポンプの地震時異常要因分析図

第 3 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)	ポンプ全体系の応答が過大となることで、軸変形が過大となることによりスリーブと主ねじ又は従ねじが接触し、摺動部が損傷に至り回転機能及び移送機能が喪失する。
④	軸系(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	逃し弁	ケーシングの応答が過大となり逃し弁フランジ部変形し油の外部漏えいに至り、また全体系の応答過大の応答過大による誤作動により流体保持機能が喪失する。
⑦	メカニカルシール	軸系ねじの応答過大により軸変形に至りメカニカルシールが損傷することにより移送機能及び流体保持機能が喪失する。
⑧	軸受	軸変形が過大となり、軸受が損傷することで回転機能及び移送機能が喪失する。
⑨	電動機	電動機の応答が過大になり電動機の機能が喪失することで、回転機能及び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) 遠心式ポンプの評価項目

耐特委における検討として、第 6 図に遠心式ポンプの要因分析図を示す。
また抽出された評価項目を第 4 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 6 図 遠心式ポンプの地震時異常要因分析図

第4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	被駆動器軸と電動機軸の相対変位が過大となり、軸継手が損傷することで回転機能及び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) スクリュー式ポンプの評価項目の検討

スクリュ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、スクリュ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。スクリュ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ュ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。遠心式ポンプのみで抽出された評価項目については、以下検討からは除外する。

- ・ 逃し弁（スクリー式ポンプのみで抽出）
- ・ 摺動部（スクリー式ポンプと横形ポンプとで構成部品が異なる。）
- ・ 軸冷却水配管（遠心式ポンプのみで抽出）

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。

③ 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。

主ねじ又は従ねじについては、損傷によって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 逃し弁の評価

逃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
- ・逃し弁の評価
- ・軸受の評価
- ・電動機の評価

b. ギヤ式ポンプ

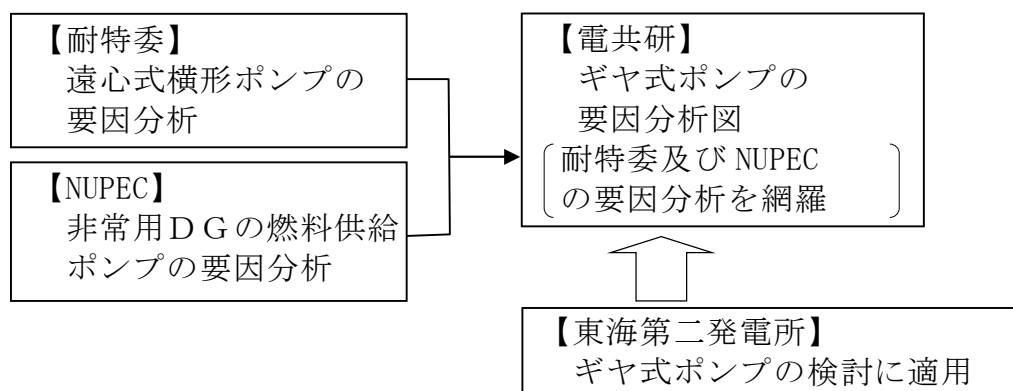
(a) ギヤ式ポンプの評価項目の抽出

ギヤ式ポンプの要因分析図及び評価項目は、電共研[※]での検討内容を用いる。電共研での検討内容を用いる。電共研では、第7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の燃料供給ボ

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。

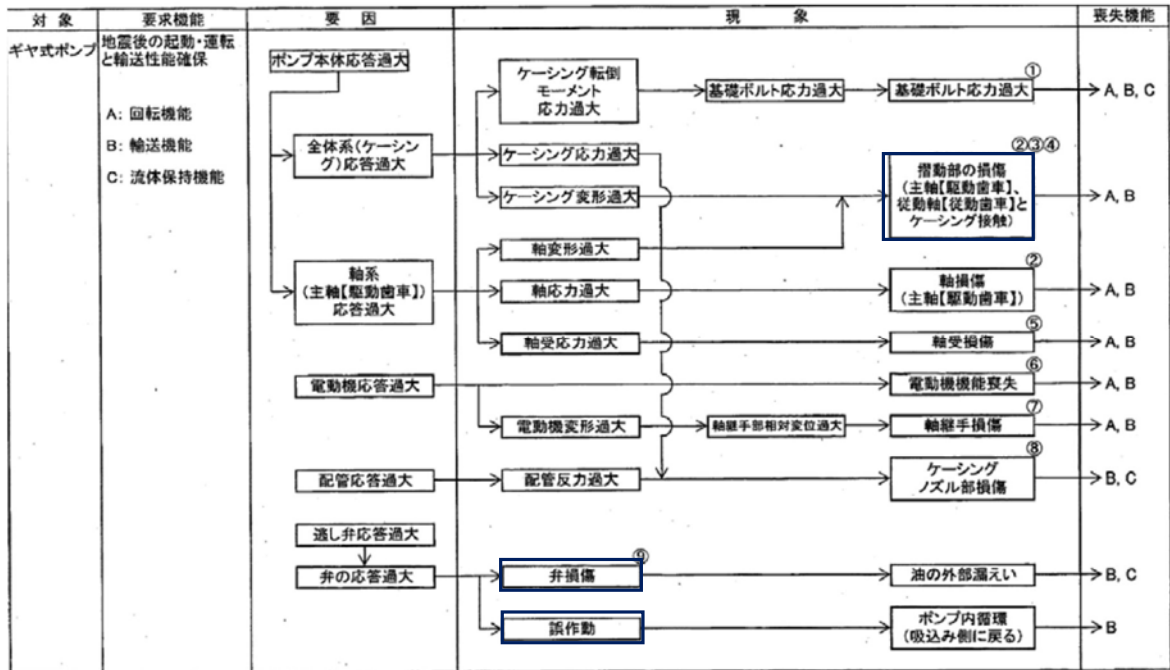
ギヤ式ポンプの要因分析図を第 8 図に示す。要因分析図に基づき抽出される評価項目は第 5 表のとおりである。

※ 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 7 図 地震時異常要因分析の適用（ギヤ式ポンプ）

ギヤ式ファンとして
抽出された評価項目



第 8 図 ギヤ式ポンプの地震時異常要因分析図

第 5 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	被駆動器軸と電動機軸の相対変位が過大となり、軸継手が損傷することで回転機能及び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。

(b) 遠心式ポンプの評価項目

遠心式ポンプの評価項目は、a. 項「スクリー式ポンプ」での検討結果を参照。

(c) 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り、遠心式ポンプのみで抽出された評価項目については、以下検討からは除外する。

- ・ 逃し弁（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とで構成部品が異なる。）
- ・ メカニカルシール（遠心式ポンプのみで抽出）
- ・ 軸冷却水配管（遠心式ポンプのみで抽出）

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。

なお、遠心式ポンプは「ころがり軸受」を用いており、「回転機能の保持」という役割を果たすために、ベアリング内外輪間に鋼球を装備した回転機構を有する構造となっている。

一方、ギヤ式ポンプは「ブッシング」を用いており、「ころがり軸受」と同様に「回転機能の保持」という役割を果たすために、軸とブッシング

間に形成された油膜によるスベリ支持を有する構造となっている。

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（JEAG4601）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。

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 逃し弁の評価

逃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。

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。

また，耐特委における遠心式ポンプの評価項目に対して，スクリー式ポンプ及びギヤ式ポンプは，一部構造の異なる部位があるが，これら部位に対する評価方法については，耐特委で検討された遠心式ポンプにおける評価手法と同様であること，既往の評価方法を踏まえて実施が可能であることから，耐特委の検討をもとに参考とする遠心式ポンプをベースとした評価は可能であると考える。

(2) 詳細検討が必要な設備における動的機能維持の検討方針

評価用加速度が機能確認済加速度を超えた場合の検討については、JEAG4601－1991 追補版及び耐特委報告書にて、動的機能維持評価上必要な基本評価項目が地震時異常要因分析に基づき選定されている（第6表）。機能維持評価に当たっては、技術基準規則解釈等の改正案及び先行電力の審査状況を踏まえて、基本評価項目に対して、必要な評価項目を選定し、その妥当性を示した上で検討を実施する。

第6表 各設備における基本評価項目

詳細検討が必要な設備	機種／型式	基本評価項目
・ 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	立形ポンプ／ 立形斜流ポンプ	基礎ボルト 取付ボルト ディスチャージケーシング コラム コラムサポート 軸受 軸 冷却水配管 メカニカルシール熱交換器 電動機
・ 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 ・ 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	電動機／ 立形ころがり軸受電動機	端子箱 フレーム 基礎ボルト 取付ボルト 固定子 軸（回転子） 軸受 固定子と回転子とのクリアランス 軸継手

3. 弁機能維持評価に用いる配管系の応答値について

技術基準規則解釈等の改正案を踏まえて、東海第二発電所の配管系に設置される弁の機能維持評価に適用する加速度値の算定方針について、規格基準に基づく設計手順を整理し、比較することにより示す。規格基準に基づく手法として J E A G 4601 の当該記載部の抜粋を第 9 図に示す。

(1) 規格基準に基づく設計手順の整理

J E A G 4601 において、弁の動的機能維持評価に用いる弁駆動部の応答加速度の算定方針が示されている。

配管系の固有値が剛と判断される場合は最大加速度(ZPA)を用いること、また、柔の場合は設計用床応答スペクトルを入力とした配管系のスペクトルモード解析を行い算出された弁駆動部での応答加速度を用いることにより、弁の動的機能維持評価を実施することとされている。

(2) 今回工認における東海第二発電所の設計手順

今回工認における東海第二発電所の弁駆動での応答加速度値の設定は、上記の J E A G 4601 の規定に加えて一定の余裕を見込み評価を実施する方針とする。

a. 剛の場合

配管系が剛な場合は、最大加速度に一定の余裕を考慮し 1.2 倍した値 (1.2ZPA) を用いて弁駆動部の応答加速度を算出し、機能維持評価を実施する。

b. 柔の場合

配管系の固有値が柔の場合は、J E A G 4601 の手順と同様にスペクトルモード解析を行い弁駆動部の応答加速度を算出した値に加えて、剛領域の振動モードの影響を考慮する観点から 1.2 倍した最大加速度 (1.2ZPA) による弁駆動部の応答加速度を算定し、何れか大きい加速度を用いて機能維持評価を行う方針とする。

また、弁駆動部の応答加速度の算定に用いる配管系のスペクトルモーダル解析において、剛領域の振動モードの影響により応答加速度の増加が考えられる場合には、剛領域の振動モードの影響を考慮するため、高周波数域の振動モードまで考慮した地震応答解析を行う。スペクトルモーダル解析において考慮する高周波数域の範囲については、応答解析結果を用いた検討を踏まえて決定する。

弁の機能維持評価における規格基準に基づく耐震設計手順及び東海第二発電所の耐震設計手順の比較を第 7 表に示す。

第 7 表に示すとおり、東海第二発電所における弁の機能維持評価に用いる加速度値としては、規格基準に基づく設定方法に比べて一定の裕度を見込んだ値としている。

第 7 表 弁の機能維持評価の耐震設計手順の比較

配管系の 固有値	J E A G 4601	東海第二発電所
剛の場合	最大加速度 (1.0ZPA) を適用する。	最大加速度の 1.2 倍した値 (1.2ZPA) を適用する。
柔の場合	スペクトルモーダル解析により算出した弁駆動部の応答を適用する。	スペクトルモーダル解析により算出した弁駆動部の応答* ¹ 又は最大加速度の 1.2 倍した値 (1.2ZPA) の何れか大きい方を適用する。

* 1 高周波数域の振動モードまで考慮した地震応答解析を行う。

(5) 地震応答解析

弁の地震応答を算出するに当たり、(4)項で作成した弁モデルを配管系モデルに組み込み、地震応答解析を実施する。この場合の解析方法は、配管系の固有値に応じて静的応答解析法あるいはスペクトルモーダル応答解析法を用いる。

配管系の固有値が剛と判断される場合は、静的応答解析を行うが、この場合弁に加わる加速度は設計用床応答スペクトルのZPA（ゼロ周期加速度）であり、これを弁駆動部応答加速度と見なして評価を行う。また、剛の範囲にない場合には、原則として(3)項で定めた設計用床応答スペクトルを入力とする配管系のスペクトルモーダル解析を行い、算出された弁駆動部応答加速度を用いて弁の評価を実施する。更に、弁の詳細評価が必要となる場合には、弁各部の強度評価に必要な応答荷重を算出する。

なお、減衰定数については現在配管系の解析に使用されている0.5～2.5%の値を用いるものとする。

第9図 J E A G 4601 (1991) の抜粋

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	J E A G 4601 機種／型式		A t 確認			
					機種	型式	方向	評価用*1 加速度	機能確認済 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	0.61	3.2(軸直角方向) 1.4(軸方向)	
							鉛直	0.53	1.0	
					電動機	横形ころがり軸受	水平	0.61	4.7	
							鉛直	0.53	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) 1.4(軸方向)	
							鉛直	0.65	1.0	
					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	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	0.61	3.2(軸直角方向) 1.4(軸方向)	
							鉛直	0.53	1.0	
					電動機	横形ころがり軸受	水平	0.61	4.7	
							鉛直	0.53	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	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	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) 1.4(軸方向)	
							鉛直	0.50	1.0	
					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	－	－	－	－	－	－	－	

* 1 評価用加速度は、暫定値であり今後設計進捗により変更の可能性がある。

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	J E A G 4601 機種／型式		A t 確認		
					機種	型式	方向	評価用*1 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	0.61	10.0
							鉛直	0.53	1.0
					電動機	立形ころがり軸受	水平	0.61	2.5
							鉛直	0.53	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	詳細設計段階で鉛直方向地震による影響を整理する。	
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

* 1 評価用加速度は、暫定値であり今後設計進捗により変更の可能性がある。

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	J E A G 4601 機種／型式		A t 確認		
					機種	型式	方向	評価用*1 加速度	機能確認済 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									
格納容器スプレイ冷却系									
残留熱除去系ポンプ	－（前段で整理済）								
代替格納容器スプレイ冷却系									
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ウ	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

* 1 評価用加速度は、暫定値であり今後設計進捗により変更の可能性がある。

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	J E A G 4601 機種／型式		A t 確認		
					機種	型式	方向	評価用*1 加速度	機能確認済 加速度
非常用ディーゼル発電機 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	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	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
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	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
高圧炉心スプレイ系ディーゼル 発電機用海水ポンプ	有	JEAG4601 による確認	×	○	立形ポンプ	立形 斜流式	水平	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	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
緊急時対策所用発電機									
緊急時対策所用発電機	有	加振試験 による確認	－	－	－	－	－	－	－
緊急時対策所用発電機給油 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	0.80	4.7
							鉛直	0.71	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	－	－	－	－	－	－	－
可搬型室素供給装置用電源車									
可搬型室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	JEAG4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－
ゲート弁	有	JEAG4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－
バタフライ弁	有	JEAG4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－
逆止弁	有	JEAG4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－
特殊弁									
主蒸気隔離弁	有	JEAG4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－
安全弁	有	JEAG4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－
制御棒駆動系スクラム弁	有	JEAG4601 による確認	○	－	－	－	－	－	－

* 1 評価用加速度は、暫定値であり今後設計進捗により変更の可能性がある。