

【公開版】

日本原燃株式会社	
資料番号	耐震機電 14 R <u>6</u>
提出年月日	令和 3 年 <u>12</u> 月 <u>22</u> 日

設工認に係る補足説明資料

耐震計算書に関する補足説明

動的機能維持評価手法の適用について

1. 文章中の下線部は、R5 から R6 への変更箇所を示す。
2. 本資料(R6)は、10月12日に提示した「動的機能維持評価手法の適用について R5」に対し、ヒアリングにおける主な指摘事項である動的機能維持評価が必要となる設備の考え方を補足したものである。

目 次

1. 概要	1
2. 動的機能維持対象の考え方	1
2.1 動的機能維持が必要な設備	1
2.2 動的機能維持が必要な設備の抽出方法	2
3. 動的機能維持の評価の考え方	3
3.1 動的機能維持評価について	3
3.2 動的機能維持評価方法	3
4. 評価検討が必要な設備について	5

別紙1 評価法検討が必要な設備の動的機能維持評価について(ファン)

別紙2 評価検討が必要な設備の動的機能維持評価について※

※ 別紙2以降で示す種別については、次回以降の申請で示す。

□ : 次回以降の申請で示す範囲

■ : 商業機密の観点から公開できない箇所

1. 概要

本資料は、再処理施設における安全機能を有する施設及び重大事故等対処施設に対する耐震計算書の評価結果を補足説明するものである。

地震時あるいは地震後に回転、開閉等の動作(駆動部)を必要とするポンプ、弁等の設備(以下「動的機器」という。)は、設計上想定される地震動に対してその機能を維持する必要がある。

動的機能維持が要求される動的機器に対する機能維持評価法は、原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版(以下「JEAG4601」という。)に示されており、機能確認済加速度*を用いた評価、JEAG4601に基づく詳細検討、JEAG4601や既往知見を参考に新たな評価方法の検討(以下「評価法検討」という。)又は加振試験による評価法があり、それらは既往研究をもとに作成されたものである。

ここでは、動的機器の抽出方法及び機能維持評価法のうち、JEAG4601に基づく詳細検討、評価法検討又は加振試験による評価法にて動的機能維持の評価結果を示す動的機器の検討方針を示す。

また、本資料は、第1回申請(令和2年12月24日申請)のうち、以下に示す添付書類の補足説明に該当するものである。

- ・再処理施設 添付書類「IV-1-1 耐震設計の基本方針」
- ・再処理施設 添付書類「IV-2-1-3-2 その他再処理設備の付属設備」

※ 既往研究において、動的機能が維持できることが確認されている加速度

2. 動的機能維持対象の考え方

2.1 動的機能維持が必要な設備

安全機能を有する施設の安全機能及び重大事故等対処施設の重大事故等に対処するために必要な機能(以下、「要求機能」という。)には、体系の維持機能(遮蔽機能)、放射性物質の閉じ込め機能(放射性物質の捕集・浄化及び排気機能)等がある。

これらの要求機能は、設備構造の維持(静的機能)又は駆動部の動作を保持(動的機能)することで、その機能を確保する。

動的機能が要求される設備のうち、地震時あるいは地震後に動的機能維持が求められる設備は、その機能が維持できることを評価により確認する必要があることから、対象となる設備の抽出を行う。

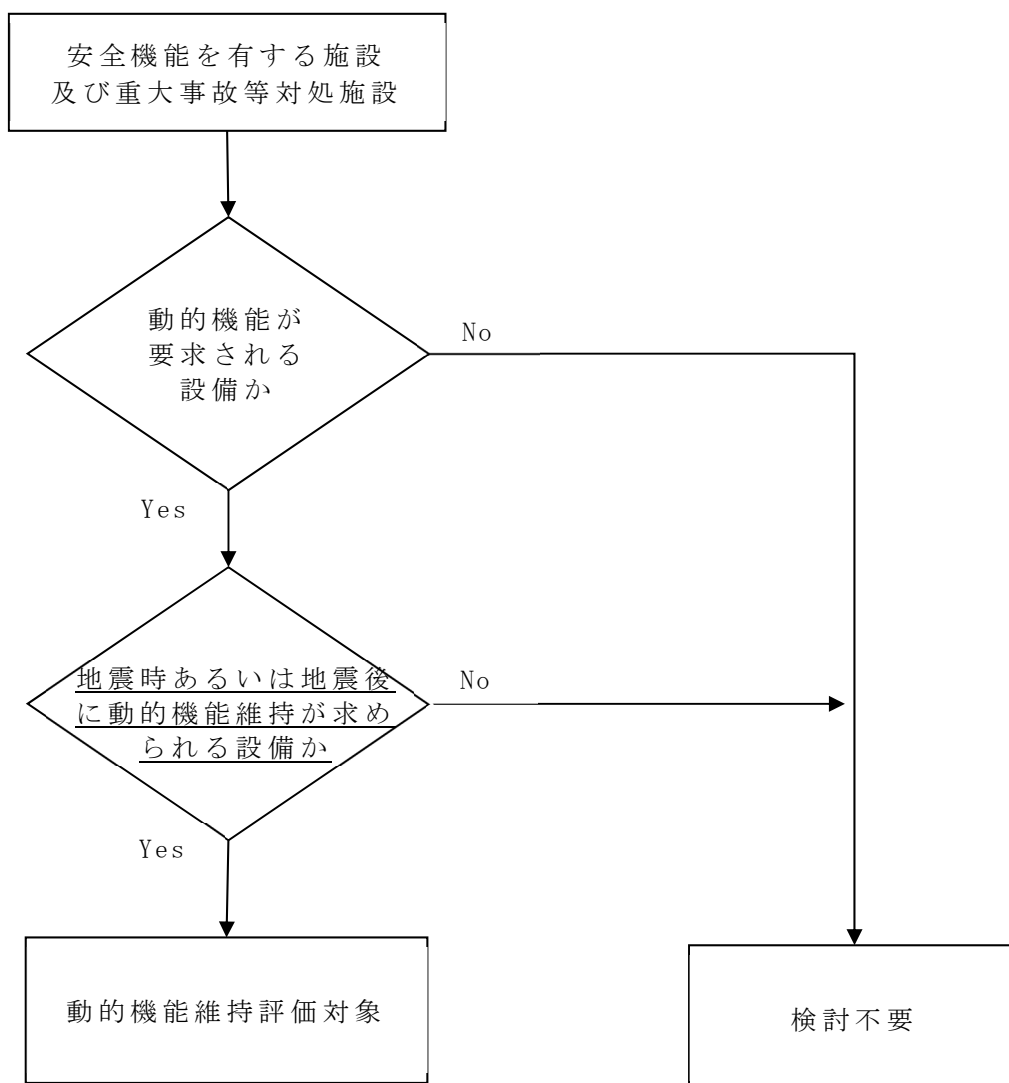
2.2 動的機能維持が必要な設備の抽出方法

動的機能維持が必要な設備について、再処理施設における設備の抽出方法を第 2-1 図に示す。

第 1 回申請で動的機能維持が必要な設備は、JEAG4601 に示す「ファン」※に該当する機種となる。

※ JEAG4601 では、動的機能維持評価が必要な設備を評価手法の観点から立形ポンプ、横形ポンプ、ポンプ駆動用タービン、電動機、ファン、冷凍機、非常用ディーゼル発電機、制御用空気圧縮機、往復動式ポンプ、弁、ダンパ、制御棒の 12 機種に分類している。

なお、第 1 回申請以外で動的機能維持が必要な設備、その該当する機種については次回以降の申請にて示す。



第 2-1 図 動的機能維持評価が必要な設備の抽出フロー

3. 動的機能維持評価の考え方

3.1 動的機能維持評価について

動的機能に対する耐震設計の考え方について、耐震設計に係る工認審査ガイド(以下「工認審査ガイド」という。)に示されている。

耐震設計に係る工認審査ガイド(抜粋)

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。

3.2 動的機能維持評価方法

動的機能維持評価については、工認審査ガイドの内容の対応として、JEAG4601 に規定されている方法に従い評価を実施する。

動的機能維持評価における評価方法は JEAG4601 に示されており、動的機能維持評価対象設備の機種に対し、構造、作動原理、流量、出力等が JEAG4601 に定める適用範囲内である場合は機能確認済加速度 (A_t) との比較による評価、適用範囲から外れる^{※1}場合は、解析による評価が可能かにより、評価法検討(地震時異常要因分析、基本評価項目の抽出、評価)又は加振試験を実施する。

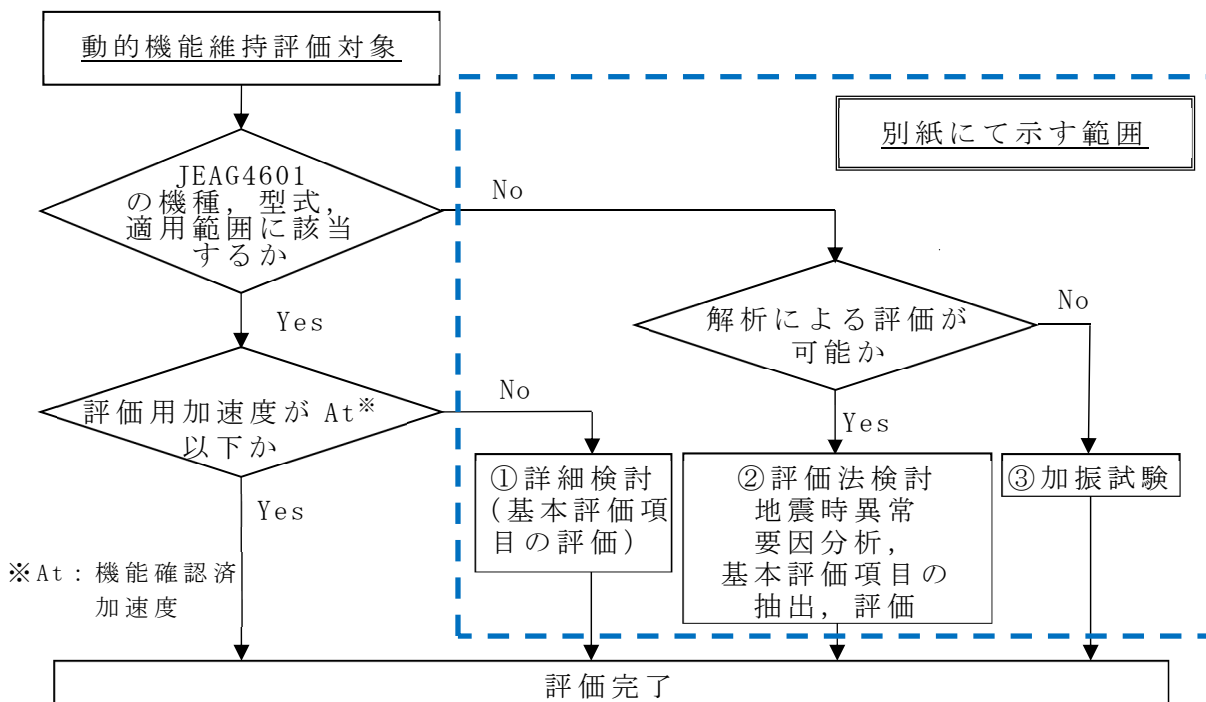
さらに評価用加速度が JEAG4601 及び既往の研究等^{※2}により妥当性が確認されている機能確認済加速度以下であることの確認を行い、機能確認済加速度を超える設備については詳細検討(基本評価項目の評価)を実施する。第 3-1 図に動的機能維持評価フローを示す。

※1 JEAGの適用範囲から若干外れるもので機能確認済加速度を用いる場合は、適用性に対する考え方、妥当性を補足説明資料にて示す。

※2 電力共同研究「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)」

機能確認済加速度を用いた評価及び機能確認済加速度を用いた評価ではない詳細検討、評価法検討又は加振試験(以下「評価検討」という。)が必要な設備の評価結果は耐震計算書にて示す。

このうち、評価検討が必要な設備に対しては、本資料の別紙にて評価検討内容を示した上で、その評価結果を耐震計算書にて示す。



第 3-1 図 動的機能維持評価フロー

4. 評価検討が必要な設備について

動的機器に対する評価検討内容は、既往の研究等を参考に実施した地震時異常要因分析に基づき抽出した評価項目、加振試験の試験内容、評価または試験の結果が評価基準値を超えていないことを示す。

動的機器のうち、機能確認済加速度を用いた評価ではなく、評価検討が必要な動的機器については、添付書類「IV-1-1-8 機能維持の基本方針」に示す動的機能維持の種別ごとに別紙にて評価検討内容を示す。

第1回申請では、ファンの評価内容を示す。

別紙1 評価検討が必要な設備の動的機能維持評価について(ファン)

別紙2 評価検討が必要な設備の動的機能維持評価について※

※ 別紙2以降で示す種別については、次回以降の申請で示す。

☐：次回以降の申請で示す範囲

別紙 1

評価検討が必要な設備の動的機能維持評価について
(ファン)

目 次

1. はじめに	1
2. 評価フローによる冷却塔ファンの抽出結果	1
3. 評価法検討における評価項目の抽出方針	3
4. 評価法検討が必要な動的機能維持評価の評価項目の抽出	7
5. まとめ	16

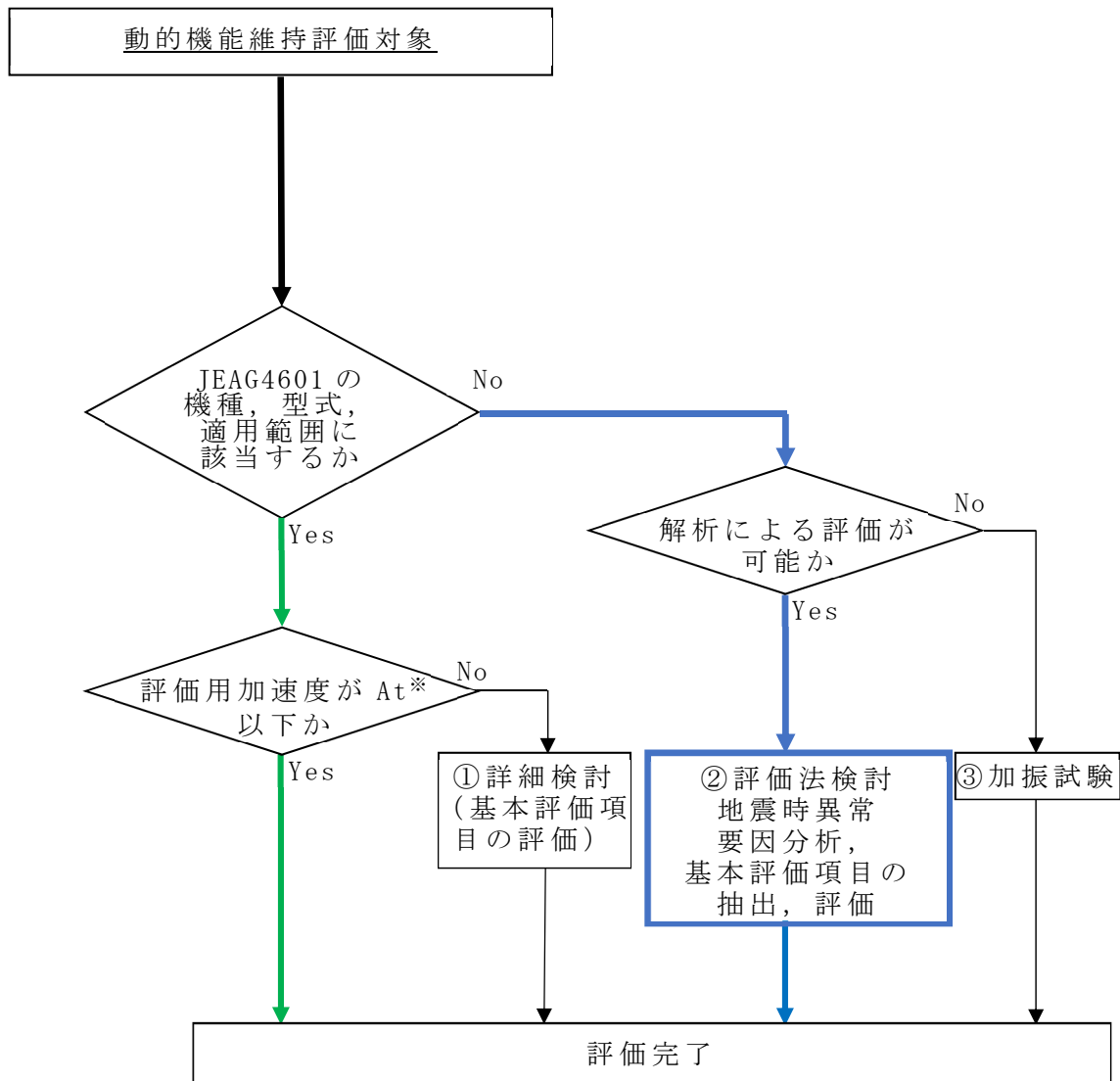
1. はじめに

本資料では、安全冷却水B冷却塔ファン(以下「冷却塔ファン」という。)をファンの代表として動的機能維持に対する検討方針及び検討結果を示す。

2. 評価フローによる冷却塔ファンの抽出結果

第2-1図に示す評価フローにより動的機能維持のための評価法検討が必要な設備のうち、第1回申請設備である冷却塔ファンの抽出結果について第2-1表及び第2-2表に示す。

また、冷却塔ファンの主要仕様について第2-3表に示す。



※ At : 機能確認済加速度

— ファンでのフロー

— 原動機でのフロー

第2-1図 評価フロー

第2-1表 評価法検討が必要な設備において参考とする機種/型式

評価法検討を行う設備	機種/型式/適用範囲	機種/型式/適用範囲 (参考: JEAG4601)
安全冷却水B冷却塔	[REDACTED]	ファン/軸流式 /2,900 m ³ /min (流量)
		原動機/横形ころがり軸受機 /950kW (出力)

第2-2表 検討が必要な設備の抽出結果

機種名	設備名称	JEAG4601の機種, 型式, 適用範囲に該当するか ○: 該当 ×: 否	左記が○の場合, 機能確認済加速度 (At) 以下か ○: OK ×: NG (詳細検討が必要)	解析による評価が可能か ○: 評価法検討を行う ×: 加振試験を行う
ファン	冷却塔ファン	×	—	○
原動機	冷却塔ファン 原動機	○	○	—

第2-3表 冷却塔ファンの主要仕様

項目		仕様
流量	m ³ /min	[REDACTED]
最高使用圧力	MPa	[REDACTED]
最高使用温度	°C	[REDACTED]
原動機出力	kW/個	[REDACTED]

3. 評価法検討における評価項目の抽出方針

JEAG4601に定められた機能確認済加速度との比較による評価方法が適用できる機種範囲から外れた設備における動的機能維持の検討方針としては、工認審査ガイドを踏まえて、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。

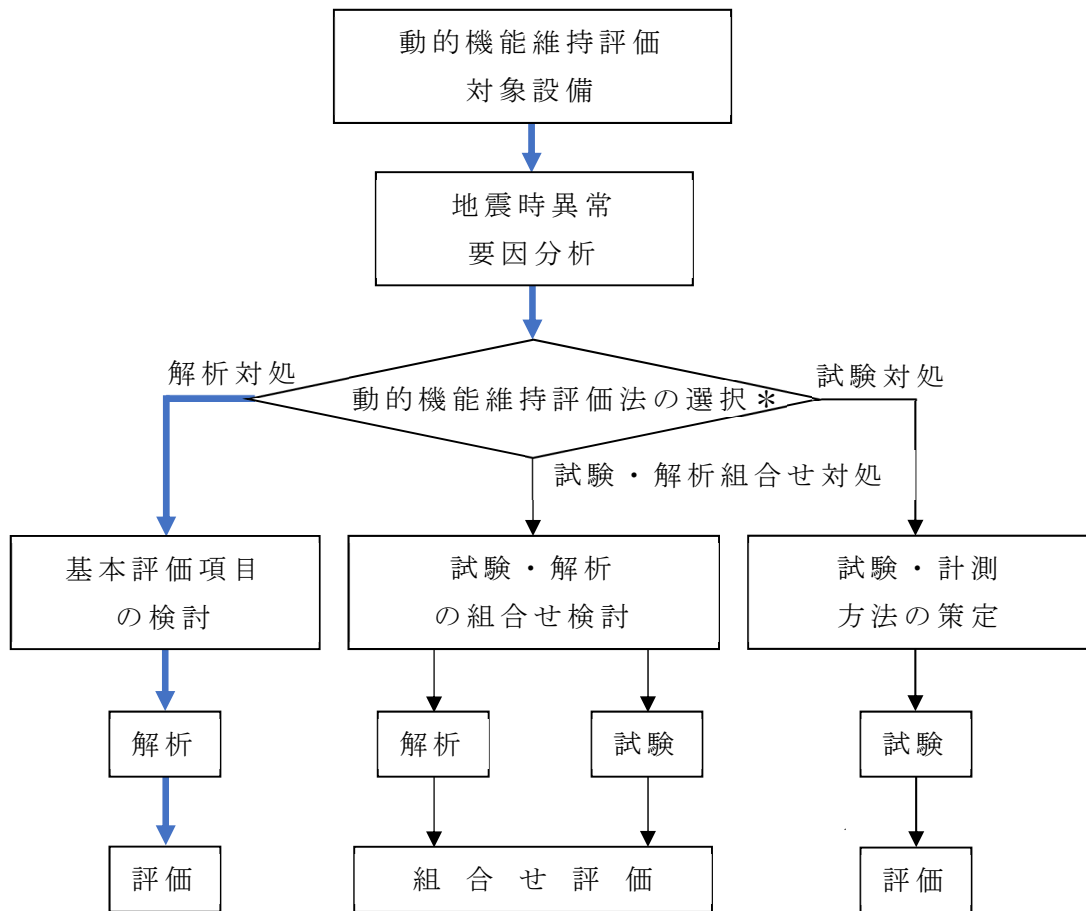
具体的には、耐特委では動的機能の評価においては、対象機種ごとに現実的な地震応答レベルでの異常のみならず、破壊に至るような過剰な状態を念頭に地震時に考え得る異常状態を抽出し、その分析により動的機能上の評価点を検討し、動的機能維持を評価する際に確認すべき事項として、基本評価項目を選定している。

今回JEAG4601に定められた適用機種範囲から外れた設備については、基本的な構造が類似している機種／型式に対する耐特委での検討を参考に、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て動的機能維持評価を実施する。

耐特委で検討した評価法検討を参考とした理由としては、

動的機能維持評価の面において、類似機器として適用可能であると判断した。

動的機能維持評価のフローを第3-1図に示す。なお、JEAG4601においても、機能維持評価の基本方針として、地震時の異常要因分析を考慮し、動的機能の維持に必要な評価のポイントを明確にすることとなっており、本方針については既設工認における実施内容と同様である。



* 対象物の複雑さ等で選択

— 本評価でのフロー

第3-1図 動的機能維持評価のフロー

ファンは第2-1表に示すとおり、JEAG4601において適用範囲が流量によって示されており、上記の如くタイプ毎に流量・用途により寸法、重量等の違いがあるが、

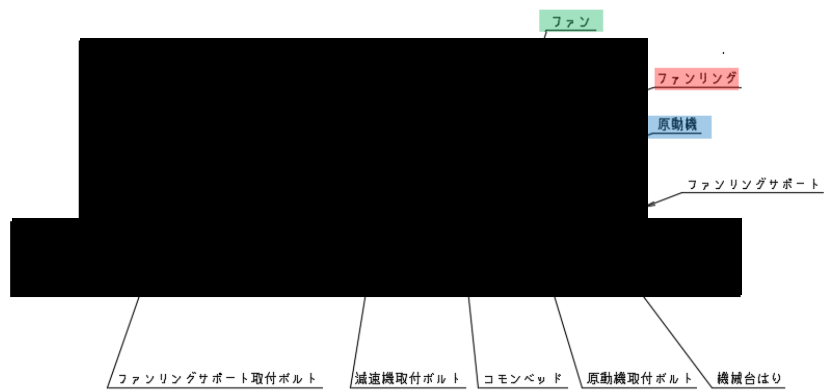
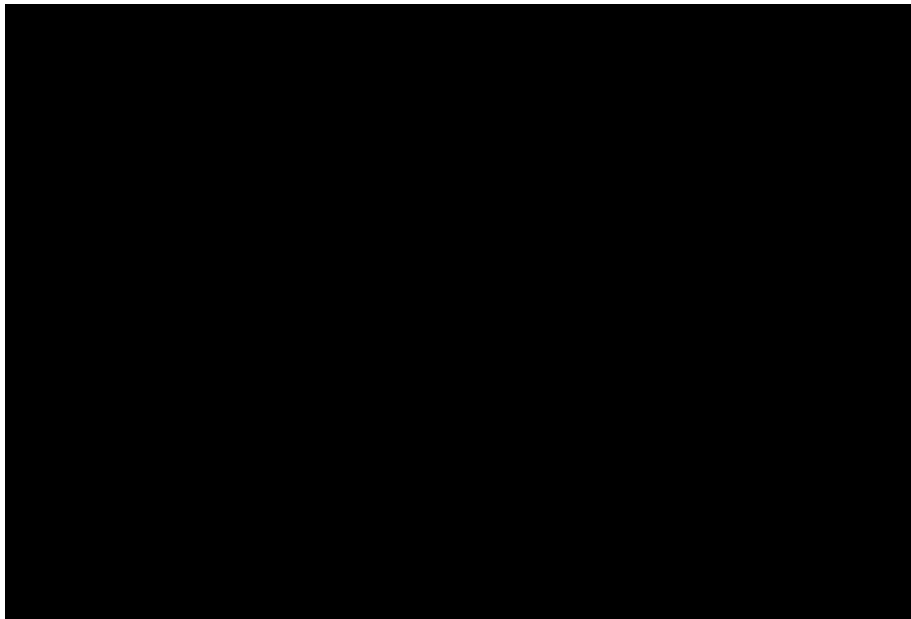
動的機能の評価の面からは類似と判断できる。このため、冷却塔ファンについては、軸流式ファンを参考とし、地震時異常要因分析を実施する。

地震時異常要因分析を検討するに当たり、参考とする機種／型式を第2-1表に示すとともに、第3-2図に今回設工認にて評価法検討が必要な冷却塔ファン及び、耐特委で検討された評価法検討において参考とする設備の構造概要図を第3-3図に示す。

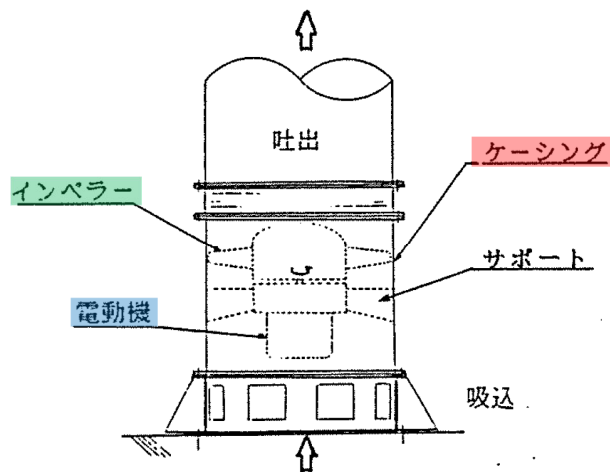
また、第3-2図の今回設工認申請対象の冷却塔ファンと第3-2図の耐特委で示されている構造概要図の比較した結果について第3-1表に示す。

第3-1表 構造概要図の比較結果

部位項目		比較結果
今回設工認申請対象 冷却塔ファン	耐特委 軸流式ファン (たて置き)	
ファン (第3-2図：緑)	インペラー (第3-3図：緑)	類似であると判断する。
ファンリング (第3-2図：赤)	ケーシング (第3-3図：赤)	類似であると判断する。
原動機 (第3-2図：青)	電動機 (第3-3図：青)	類似であると判断する。



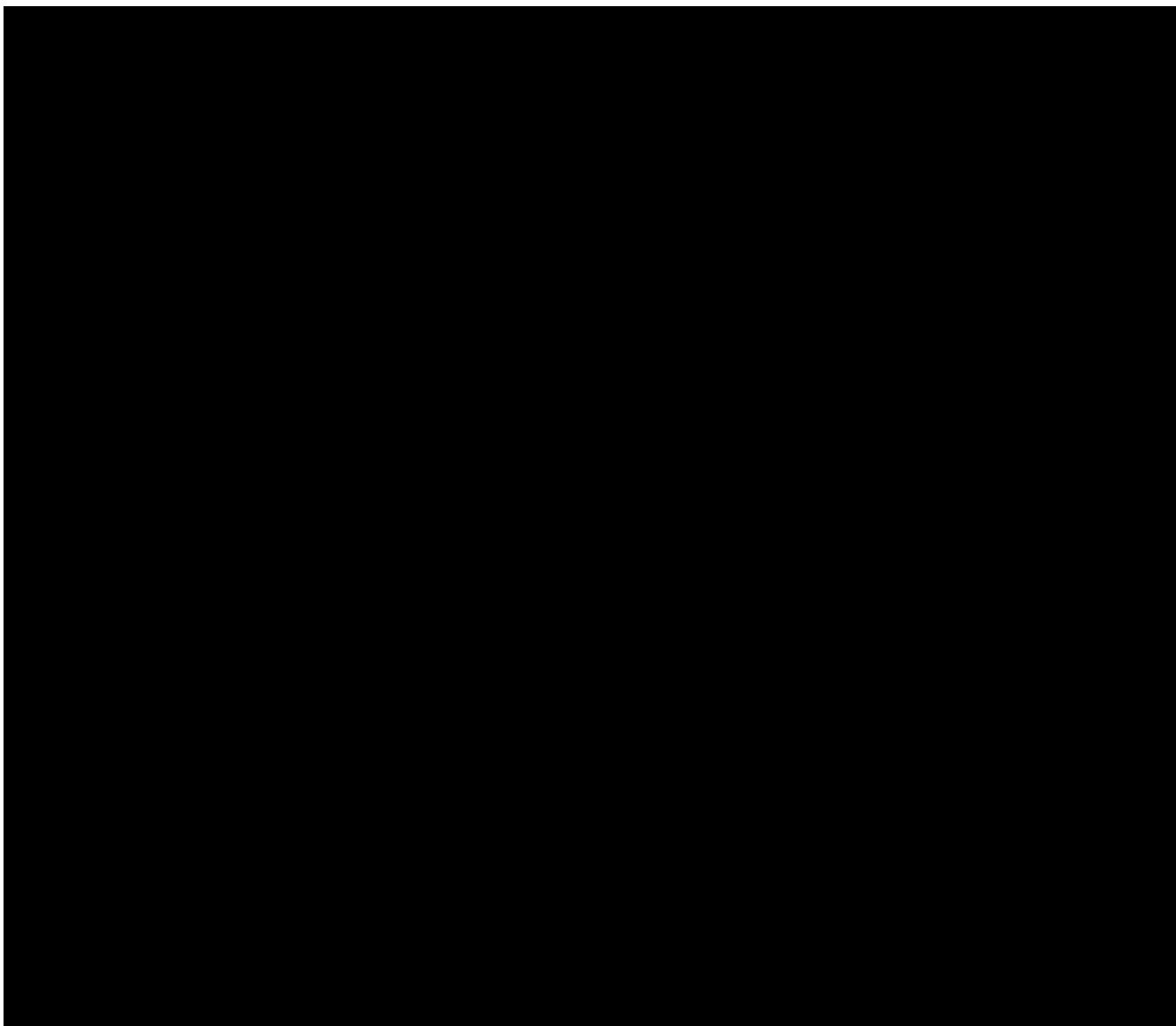
第 3 - 2 図 安全冷却水 B 冷却塔ファン構造概要図



第 3 - 3 図 耐特委の軸流式ファン(たて置き)構造概要図

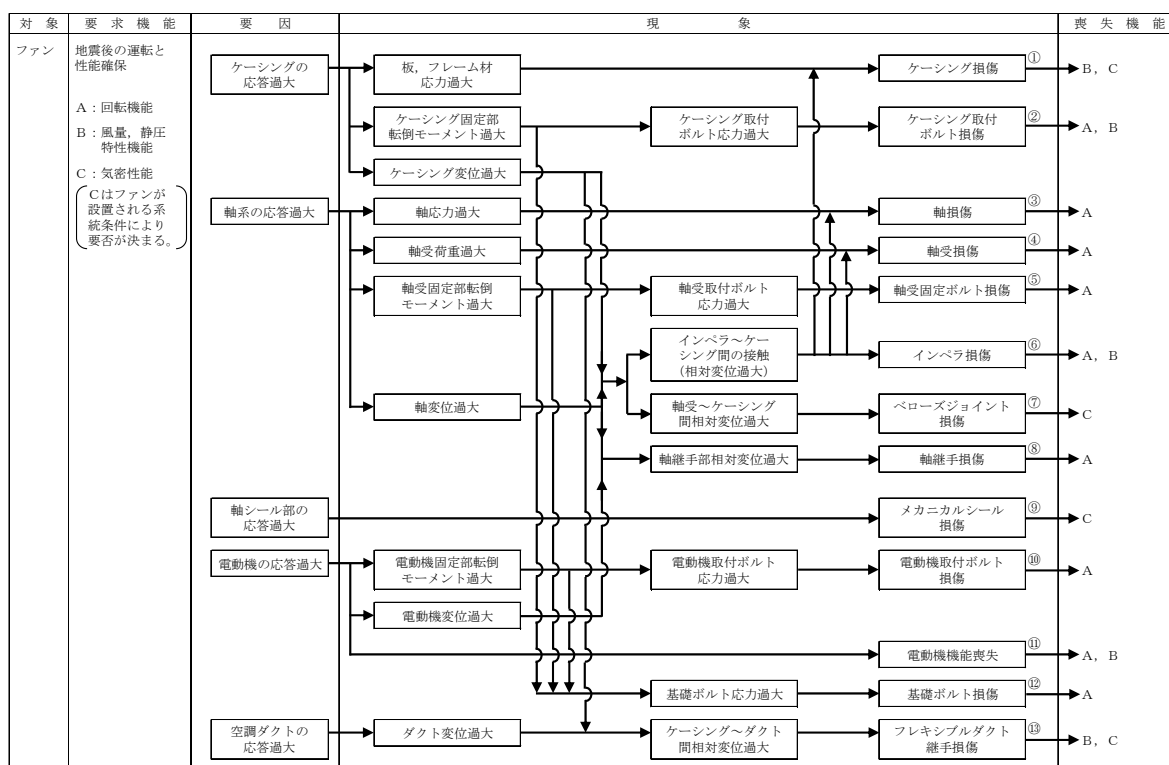
4. 評価法検討が必要な動的機能維持評価の評価項目の抽出

評価法検討を行う設備として、冷却塔ファン [REDACTED] 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4-1図に示す。



第4-1図 動的機能維持評価のための評価項目の抽出フロー

- a. 耐特委で検討されたファンの地震時異常要因分析による評価項目
 評価法検討が必要な設備である冷却塔ファン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ファンの要因分析図を第4-2図に、要因分析図から抽出される評価項目を第4-1表に示す。



第4-2図 耐特委にて検討したファンの要因分析図

第4-1表 耐特委にて検討したファン要因分析図から抽出した評価項目

(1/2)

	評価項目	異常要因
①	ケーシング損傷	ケーシングの応答が過大となることにより、ケーシング材の応力が過大となり損傷に至ることにより、風力、静圧特性機能及び気密性能が喪失する。
②	ケーシング取付ボルト損傷	ケーシング取付ボルトの応答が過大となることにより、転倒モーメントにより取付ボルトの応力が過大となり損傷に至ることにより、回転機能、風量及び静圧特性機能が喪失する。
③	軸損傷	軸系の応答が過大となることにより軸応力が過大となり、軸が損傷することにより回転機能が喪失する。
④	軸受損傷	軸系の応答が過大となることにより軸受荷重が過大となり、軸受が損傷することにより回転機能が喪失する。
⑤	軸受固定ボルト損傷	軸系の応答が過大となることにより軸受固定ボルトの応力が過大となり損傷に至ることにより、回転機能が喪失する。
⑥	インペラ損傷	ケーシング及び軸系の応答が過大となることにより、インペラ～ケーシング間の接触が生じることでインペラが損傷に至り、回転機能、風量及び静圧特性機能が喪失する。
⑦	ベローズジョイント損傷	ケーシング及び軸系の応答が過大となることにより、軸受～ケーシング間に過大な相対変位が生じることでベローズジョイントが損傷に至り、気密性能が喪失する。
⑧	軸継手損傷	軸系と電動機の応答が過大となることにより、軸継手部に過大な相対変位が生じることで軸継手が損傷に至り、回転機能が喪失する。
⑨	メカニカルシール損傷	軸シール部の応答が過大となることにより、メカニカルシールが損傷に至り、気密性能が喪失する。
⑩	電動機取付ボルト損傷	電動機の応答が過大となることにより、転倒モーメントにより電動機取付ボルトの応力が過大となり損傷に至り、回転機能が喪失する。

第4-1表 耐特委にて検討したファン要因分析図から抽出した評価項目

(2/2)

	評価項目	異常要因
⑪	電動機機能喪失	電動機の応答が過大となることにより、電動機機能が喪失することで回転機能、風量及び静圧特性機能が喪失する。
⑫	基礎ボルト損傷	ファン全体系の応答が過大となることにより、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回転機能が喪失する。
⑬	フレキシブルダクト継手損傷	ケーシング及び空調ダクトの応答が過大となることにより、ケーシング～ダクト間に過大な相対変位が生じることでフレキシブルダクト継手が損傷に至り、風量、静圧特性機能及び気密性能が喪失する。

b. 冷却塔ファンの地震時異常要因分析による評価項目の抽出

(a) 冷却塔ファンの評価項目の抽出

冷却塔ファンの地震時異常要因分析図(以下「要因分析図」という。)を第4-3図に示す。要因分析図に基づき抽出される評価項目は第4-2表のとおりである。

対象	要求機能	要因	現象	喪失機能
冷却塔ファン				

第4-3図 冷却塔ファンの要因分析図

第4-2表 冷却塔ファン要因分析図から抽出した評価項目

	評価項目	異常要因
①	ファンリング損傷	<div style="background-color: black; height: 15px; width: 100%;"></div> <div style="background-color: black; height: 15px; width: 100%;"></div> <div style="background-color: black; height: 15px; width: 90%;"></div>
②	ファンリング 取付ボルト損傷	<div style="background-color: black; height: 15px; width: 100%;"></div> <div style="background-color: black; height: 15px; width: 100%;"></div> <div style="background-color: black; height: 15px; width: 100%;"></div> <div style="background-color: black; height: 15px; width: 60%;"></div>
③	軸損傷	<div style="background-color: black; height: 15px; width: 100%;"></div> <div style="background-color: black; height: 15px; width: 100%;"></div>
④	ファンブレード損傷	<div style="background-color: black; height: 15px; width: 100%;"></div> <div style="background-color: black; height: 15px; width: 100%;"></div> <div style="background-color: black; height: 15px; width: 100%;"></div> <div style="background-color: black; height: 15px; width: 20%;"></div>
⑤	軸継手損傷	<div style="background-color: black; height: 15px; width: 100%;"></div> <div style="background-color: black; height: 15px; width: 100%;"></div> <div style="background-color: black; height: 15px; width: 70%;"></div>
⑥	軸受損傷	<div style="background-color: black; height: 15px; width: 100%;"></div> <div style="background-color: black; height: 15px; width: 100%;"></div>
⑦	軸損傷	<div style="background-color: black; height: 15px; width: 100%;"></div> <div style="background-color: black; height: 15px; width: 100%;"></div>
⑧	軸受損傷	<div style="background-color: black; height: 15px; width: 100%;"></div> <div style="background-color: black; height: 15px; width: 100%;"></div>
⑨	減速機取付ボルト損傷	<div style="background-color: black; height: 15px; width: 100%;"></div> <div style="background-color: black; height: 15px; width: 100%;"></div> <div style="background-color: black; height: 15px; width: 70%;"></div>
⑩	オイルシール損傷	<div style="background-color: black; height: 15px; width: 100%;"></div> <div style="background-color: black; height: 15px; width: 80%;"></div>
⑪	原動機機能喪失	<div style="background-color: black; height: 15px; width: 100%;"></div> <div style="background-color: black; height: 15px; width: 70%;"></div>
⑫	軸継手損傷	<div style="background-color: black; height: 15px; width: 100%;"></div> <div style="background-color: black; height: 15px; width: 100%;"></div> <div style="background-color: black; height: 15px; width: 100%;"></div> <div style="background-color: black; height: 15px; width: 60%;"></div>
⑬	原動機取付ボルト損傷	<div style="background-color: black; height: 15px; width: 100%;"></div> <div style="background-color: black; height: 15px; width: 100%;"></div> <div style="background-color: black; height: 15px; width: 100%;"></div> <div style="background-color: black; height: 15px; width: 70%;"></div>

c. ファンの評価項目を踏まえた冷却塔ファンの評価項目の検討

(a) 冷却塔ファンの評価項目の検討

冷却塔ファンの要因分析結果について、耐特委における軸流式ファンの要因分析結果と同様に整理した [REDACTED] [REDACTED]。冷却塔ファンの動的機能維持の評価項目の抽出に当たり、 [REDACTED] 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冷却塔ファン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とおりである。

[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]

① ファンリングの評価

[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]

② ファンリング取付ボルトの評価

[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]

③⑦ 軸の評価

[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]

④ ファンブレードの評価

回 [REDACTED]
[REDACTED]

⑤⑫ 軸継手の評価

[REDACTED]

[Redacted]

⑥⑧ 軸受の評価

[Redacted]

⑨ 減速機取付ボルトの評価

[Redacted]

⑩ オイルシールの評価

[Redacted]

⑪ 原動機の評価

[Redacted]

⑬ 原動機取付ボルトの評価

[Redacted]

以上から、冷却塔ファン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とおりである。

- ・取付ボルトの評価
- ・軸の評価
- ・軸受の評価
- ・ファンブレードの評価(ファンリングとのチップクリアランス)

評価項目における評価基準値の説明を第3-3表に示す。

以上の検討に基づく評価結果を第3-4表に示す。評価内容については以下の添付書類に示す。

- ・添付書類「IV-2-1-3-2-1(1) 安全冷却水B冷却塔 [Redacted] [Redacted] の耐震計算書」

第 3 - 3 表 評価基準値の設定

評価項目	評価基準値の設定
②⑨⑬ 取付ボルト	[Redacted]
③⑦ 軸	[Redacted]
④ ファンブレード	[Redacted]
⑥⑧ 軸受	[Redacted]

第 3 - 4 表 冷却塔ファン 評価結果

評価部位	項目	応力分類	発生値	許容値	評価
②ファンリング取付ボルト	応力	引張 (MPa)	[Redacted]	[Redacted]	○
		せん断 (MPa)			○
⑨減速機取付ボルト	応力	引張 (MPa)			○
		せん断 (MPa)			○
⑬原動機取付ボルト	応力	引張 (MPa)			○
		せん断 (MPa)			○
③⑦ 軸	応力	組合せ (MPa)			○
④ ファンブレード (チップクリアランス)	変位	最大変位 (mm)			○
⑥⑧ 軸受	荷重	⑥⑧-1 上部軸受け (N)			○
		⑥⑧-2 下部軸受け (N)			○

5. まとめ

安全冷却水B冷却塔ファンについて，基本的な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し，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，抽出した項目について評価を行い，機能が喪失することがないことを確認した。

次回以降の申請にて耐震計算書を示す冷却塔ファンのうち詳細検討が必要な設備は，本資料にて示した方法による評価を行うこととし，評価結果についてはそれぞれの設備の設工認添付書類「耐震性についての計算書」に示す。