

柏崎刈羽原子力発電所7号機における 今後の設備健全性確認等について

2008年6月5日
東京電力株式会社



東京電力

1. 今後の設備健全性確認等について（1 / 2）

■設備点検の継続実施

- ▶ K-7については、安全上重要な設備に対する基本点検が概ね完了。中間報告書※¹に記載されている予め計画する追加点検及び保安院指示文書※²に基づく追加点検等を継続実施。

※1：「新潟県中越沖地震後の設備健全性に係る点検・評価に関する中間とりまとめ（報告書）」

※2：「柏崎刈羽原子力発電所7号機の設備健全性評価に係る追加的な検討の指示について」

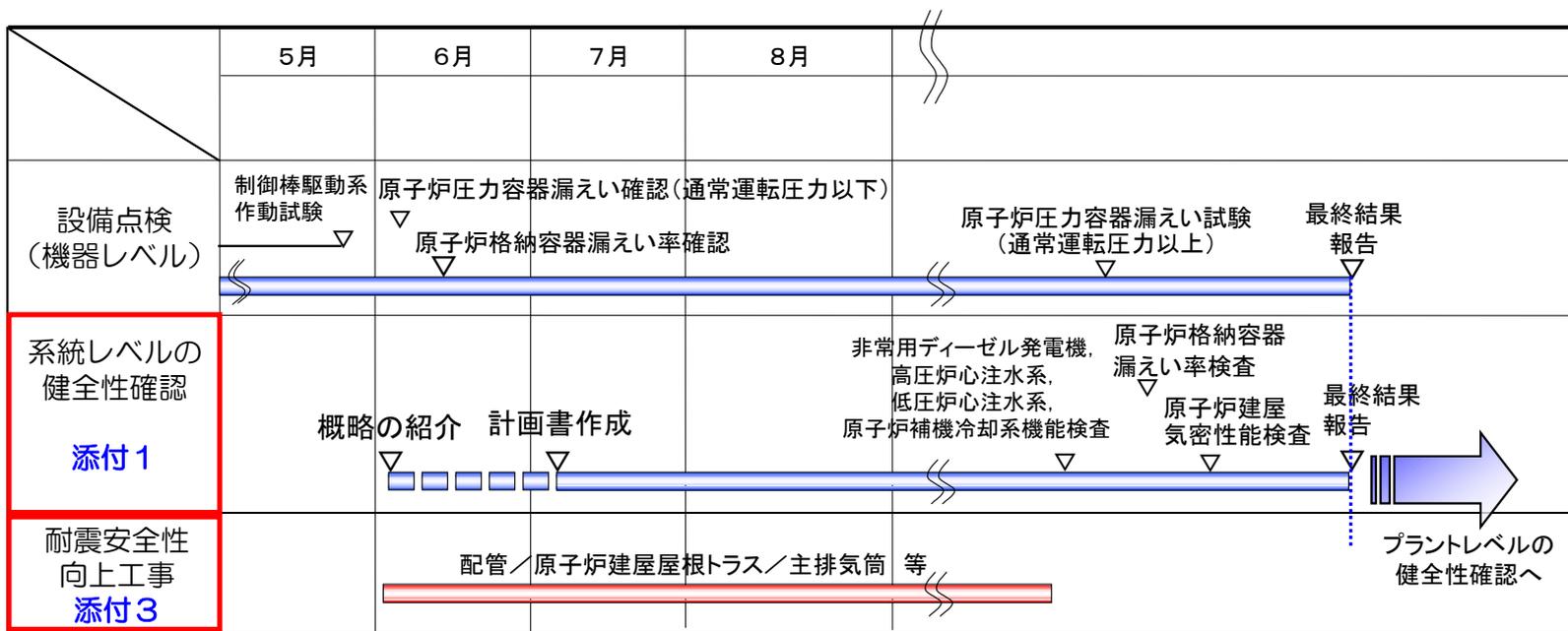
1. 今後の設備健全性確認等について（2／2）

■ 系統レベルの健全性確認の開始（添付1）

- ▶ 設備の健全性評価にあたっては、機器レベル、系統レベル、プラントレベルの各段階において健全性確認を計画。
- ▶ 設備点検により、機器レベルの健全性が確認できた機器から順次系統レベルの健全性確認を開始。（状態監視技術も活用（添付2））
- ▶ 系統レベルの健全性確認に関する試験等の計画書については「点検・評価計画書」※を作成予定。

※：「新潟県中越沖地震後の設備健全性に係る点検・評価計画書」

2. 今後の設備健全性確認等の流れについて



- ✓ 7号機については、原子炉圧力容器漏えい確認（通常運転圧力以下）、原子炉格納容器漏えい率確認及び制御棒駆動系作動確認等、可能な範囲で早期に健全性確認を実施。
- ✓ 設備点検（機器レベル）及び系統レベルの健全性確認の最終結果報告は、プラントレベルの健全性確認前に実施。
- ✓ 系統レベルの健全性確認及び耐震安全性向上工事については順次実施。

3. 今回の報告内容

- 系統レベルの健全性確認について
→ 添付 1
- 地震後健全性確認における
状態監視技術の活用（回転機器の振動診断）
→ 添付 2
- 柏崎刈羽原子力発電所
耐震安全性向上工事の実施について（参考）
→ 添付 3

系統レベルの健全性確認について

平成20年 6月 5日
東京電力株式会社

1. 系統レベルの健全性確認の基本的な考え方（1 / 3）

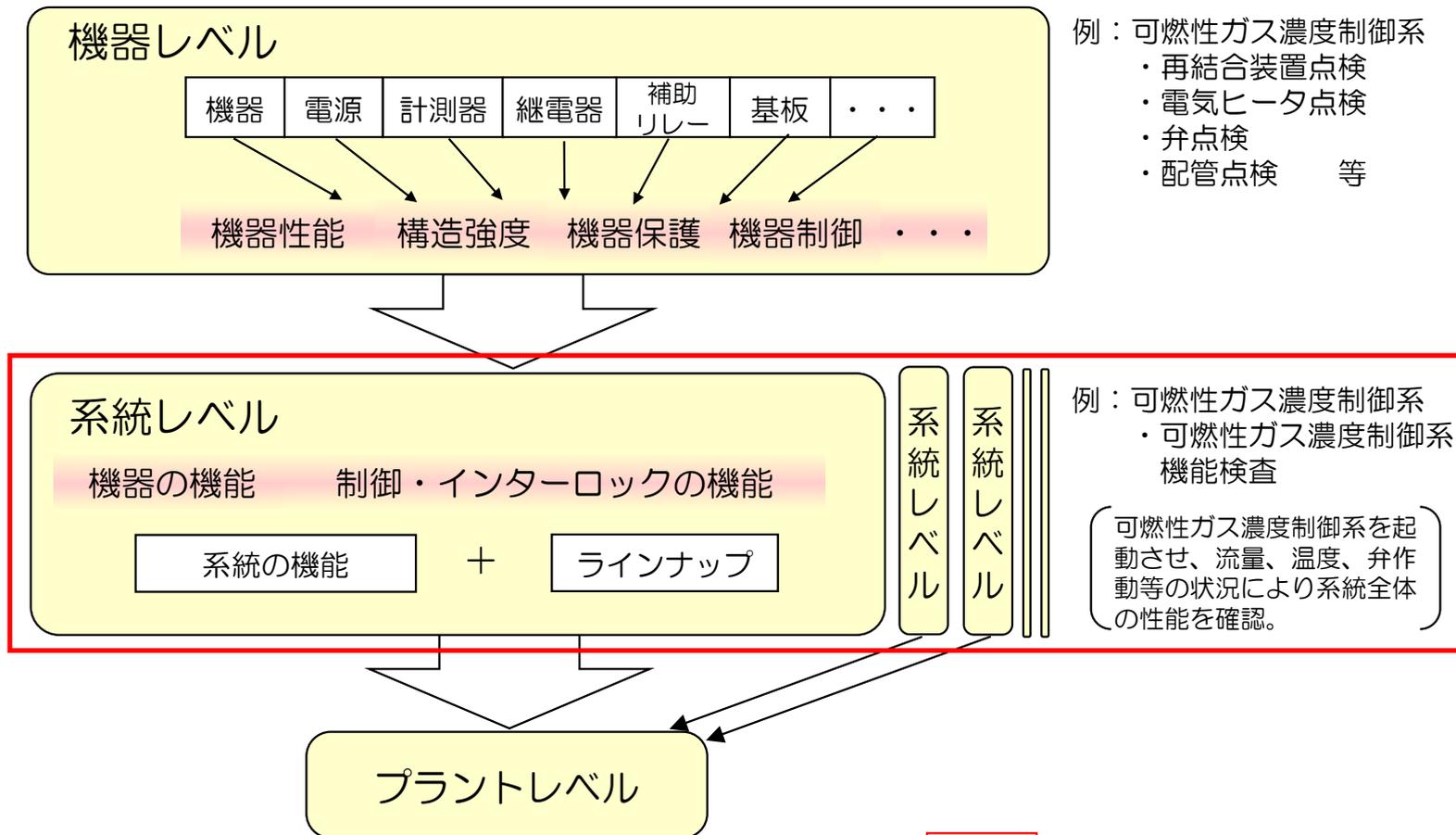
これまでの健全性確認により個々の機器（機器レベル）の健全性が確認されたものについて、次の段階の健全性確認として、系統レベルでの健全性確認を実施する。

■概要

- ▶ 系統レベルの健全性確認（以下、「系統健全性確認」という）は、系統の運転によって警報やインターロックの作動、弁の開閉、ポンプの運転性能等の状況を確認し、系統全体の性能が発揮されることを評価するもの。

1. 系統レベルの健全性確認の基本的な考え方 (2/3)

系統レベルの健全性確認の位置付け



1. 系統レベルの健全性確認の基本的な考え方（3／3）

■対象

- ▶ 技術基準にて要求される系統機能確認を本対象に位置付け。

■評価の基本的な考え方

- ▶ 系統健全性確認の評価は定期事業者検査に用いる判定基準により行う。
- ▶ 系統健全性確認の結果、判定基準を満足しない場合は追加点検の実施等の対応を検討する。

2. 系統健全性確認対象の抽出

抽出方法

○技術基準にて要求される系統機能確認

→現状実施している定期事業者検査（系統機能検査）を基本とし、建設時に技術基準の適合性確認として実施した使用前検査※も参考に抽出した。

※：使用前検査のうち、機器単体の機能を確認するもの（設備点検（機器レベル）等で確認されているもの）等を除く。

抽出結果

通常実施している定期事業者検査の範囲で確認可能

- ✓ 原子炉停止余裕検査
 - ✓ 主蒸気隔離弁機能検査
 - ✓ 非常用ディーゼル発電機， 高圧炉心注水系， 低圧注水系， 原子炉補機冷却系機能検査
 - ✓ 自動減圧系機能検査
 - ✓ 制御棒駆動系機能検査
 - ✓ ほう酸水注入系機能検査
 - ✓ 原子炉保護系イターロック機能検査（その1）
 - ✓ 非常用ガス処理系機能検査
 - ✓ 中央制御室非常用循環系機能検査
 - ✓ 原子炉格納容器漏えい率検査
 - ✓ 原子炉格納容器隔離弁機能検査
 - ✓ 原子炉格納容器スプレイ系機能検査
 - ✓ 可燃ガス濃度制御系機能検査（その1）
 - ✓ 原子炉建屋気密性能検査
 - ✓ 非常用ディーゼル発電機定格容量確認検査
 - ✓ 直流電源系機能検査
 - ✓ タービンバイパス弁機能検査
 - ✓ 計装用空気圧縮系機能検査
 - ✓ 給水ポンプ機能検査
 - ✓ 制御棒駆動機構機能検査
 - ✓ 選択制御棒挿入機能検査
- 等

定期事業者検査の枠組みで実施する計画。

地震後健全性確認における 状態監視技術の活用 (回転機器の振動診断)

2008年 6月 5日



東京電力

状態監視技術（振動診断）の実施状況

- 保全活動の最適化を目的に、回転機器の振動データの採取を中越沖地震発生前より開始。
- 中越沖地震発生後、地震前後の振動データを確認し、機器の振動変化を確認している。
- 地震後も継続して振動データを採取することで、機器の健全性を確認している。

振動診断技術活用の有効性（1）

地震により発生すると想定される損傷形態は振動診断で検知する振動の変化（異常兆候）として表われる。



地震により想定される振動の変化（異常兆候）

- － 回転体のアンバランス
- － 軸芯ずれ
- － 機械的ゆるみ
- － 回転体の接触
- － 軸受損傷

振動診断技術活用の有効性（2）

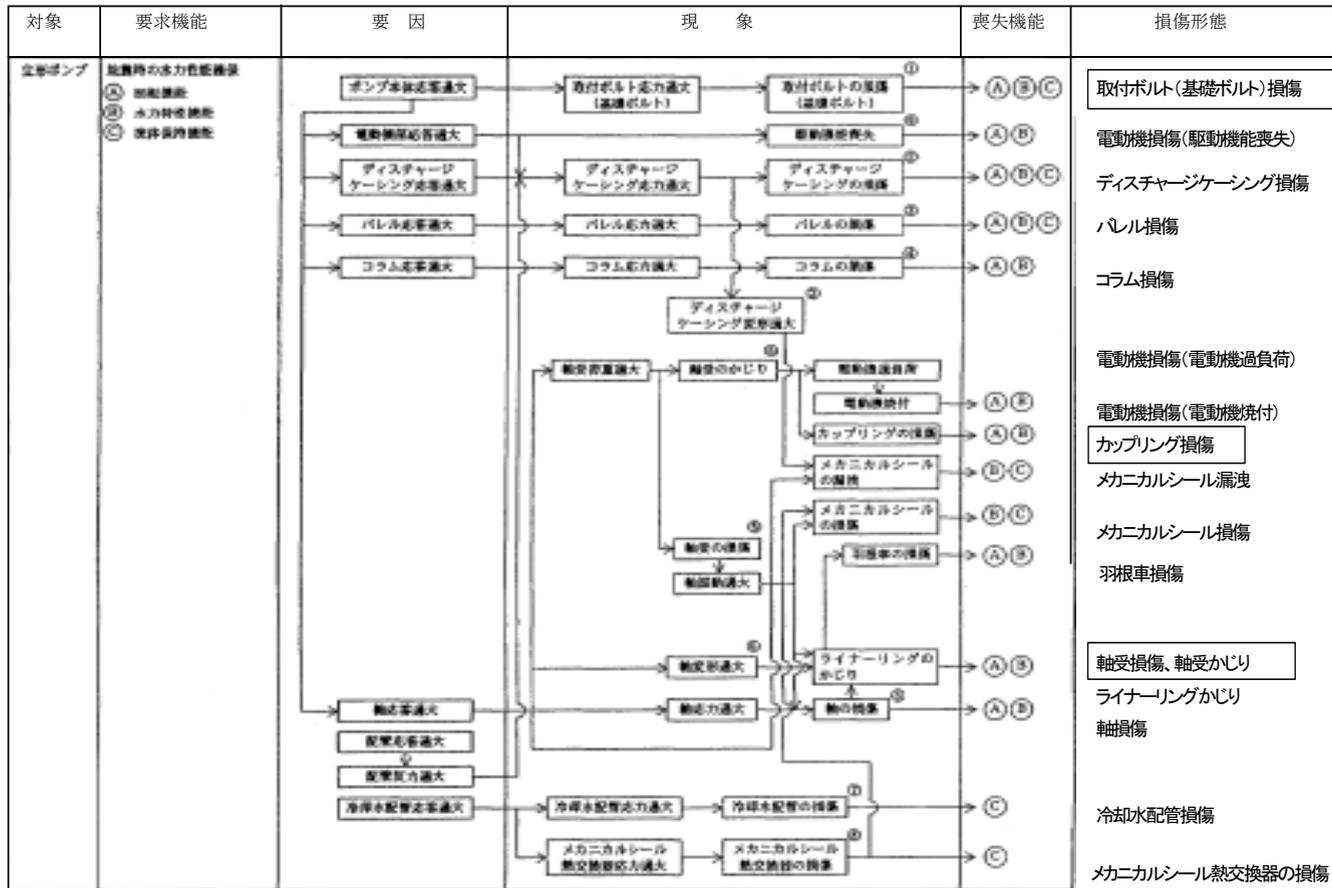
地震により想定される振動の変化（異常兆候）と検知される周波数成分

想定される振動の変化	特徴的な周波数
回転体のアンバランス	回転周波数成分
軸芯ずれ	回転周波数成分とその2倍
機械的ゆるみ	回転周波数成分とその倍数、分数調波
回転体の接触	回転周波数成分とその倍数
軸受損傷	回転周波数成分とその2倍・3倍または分数調波／軸受構成部品固有の振動

参照：（社）日本電気協会 原子力規格委員会JEAG4221-2007 原子力発電所の設備診断に関する技術指針—回転機械振動診断技術（公衆審査版）ISO 13373-1:2002 Condition monitoring and diagnostics of machines- Vibration condition monitoring - Part 1:

General procedures（状態監視及び診断機械—振動状態監視—第1部：一般手順）

立形ポンプの損傷形態



出典元: (社) 日本電気協会 原子力発電耐震設計専門部会
 「水平・上下地震動に対する機器の機能維持評価法の検討に関する調査報告書」(Vol.36 平成13年3月)

: 発生の可能性が高いと想定されるもの

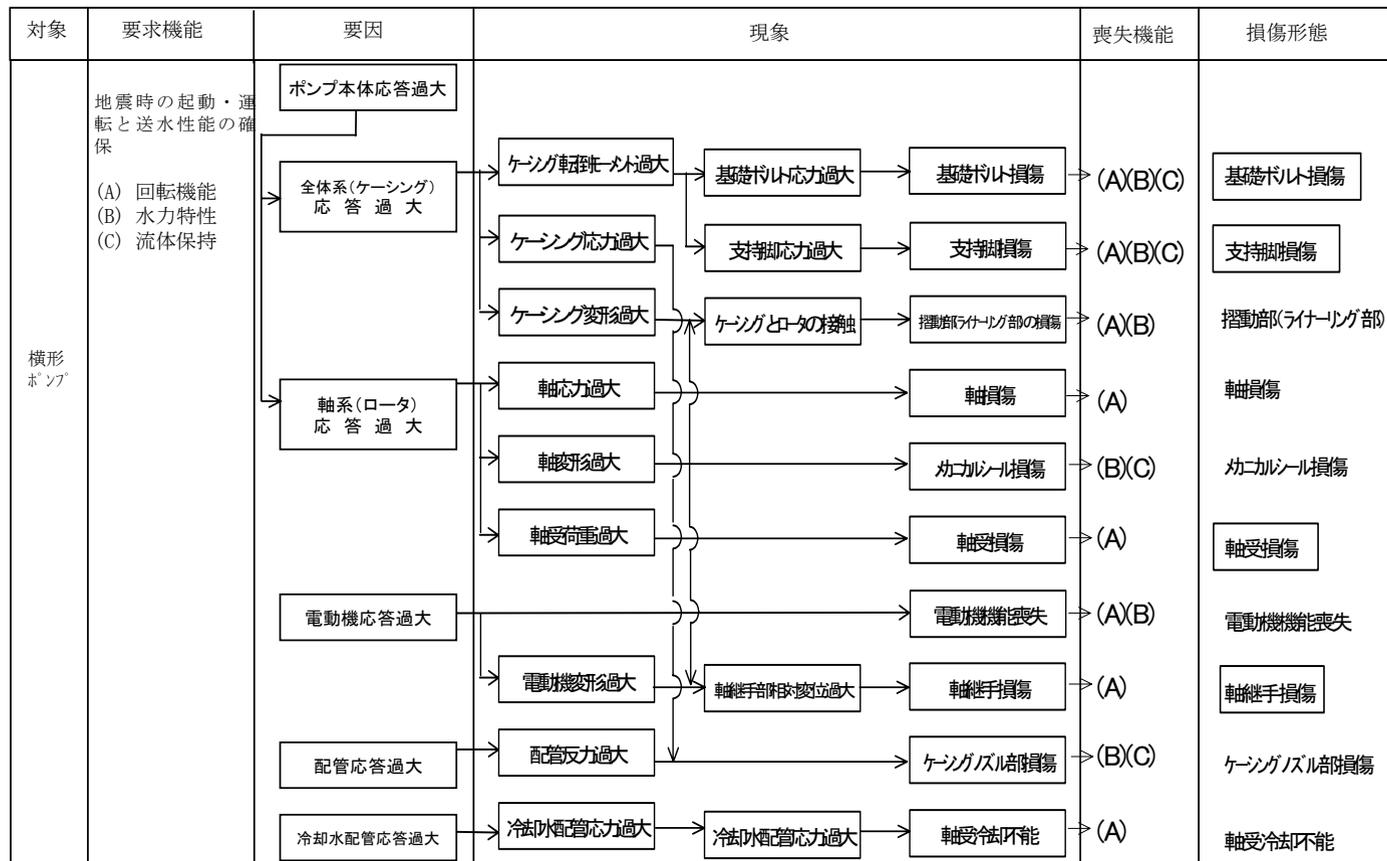
損傷形態に対する振動の変化（立形ポンプの例）

損傷箇所および形態	想定される振動の変化
①取付ボルトの損傷（基礎ボルト）	機械的ゆるみ（ $1/2fr$ 、 nfr 等）
②電動機損傷（駆動機能喪失）	対象外（作動試験にて検知）
③ディスチャージケーシング損傷	対象外（目視点検・作動試験にて検知）
④バレル損傷	対象外（作動試験にて検知）
⑤コラム損傷	回転体の接触等（ fr 、 nfr 、 fn ）
⑥電動機損傷（電動機過負荷）	対象外（作動試験にて検知）
⑥電動機損傷（電動機焼付）	対象外（作動試験にて検知）
⑦カップリング損傷	軸芯ずれ等（ fr 、 $2fr$ 、 $3fr$ ）
⑧メカニカルシール漏洩	対象外（作動試験にて検知）
⑨メカニカルシール損傷	対象外（作動試験にて検知）
⑩羽根車損傷	アンバランス等（ fr ）
⑪軸受損傷、軸受かじり	軸受損傷・回転体の接触等（ fr 、 fo 、 fi 、 fb 、 fc ）
⑫ライナーリングかじり	回転体の接触等（ fr 、 nfr 、 fn ）
⑬軸損傷	回転体のアンバランス等（ fr ）
⑭冷却水配管の損傷	対象外（目視点検・作動試験にて検知）
⑮メカニカルシール熱交換器の損傷	対象外（目視点検・作動試験にて検知）

：発生の可能性が高いと想定されるもの

fo ：外輪キズ周波数、 fi ：内輪キズ周波数、 fb ：回転体キズ周波数
 fc ：保持器公転周波数、 fr ：回転周波数、 fn ：固有振動数

横形ポンプの損傷形態



出典元:(社) 日本電気協会 原子力発電耐震設計専門部会
「水平・上下地震動に対する機器の機能維持評価法の検討に関する調査報告書」(Vol.36 平成13年3月)

: 発生の可能性が高いと想定されるもの

損傷形態に対する振動の変化（横形ポンプの例）

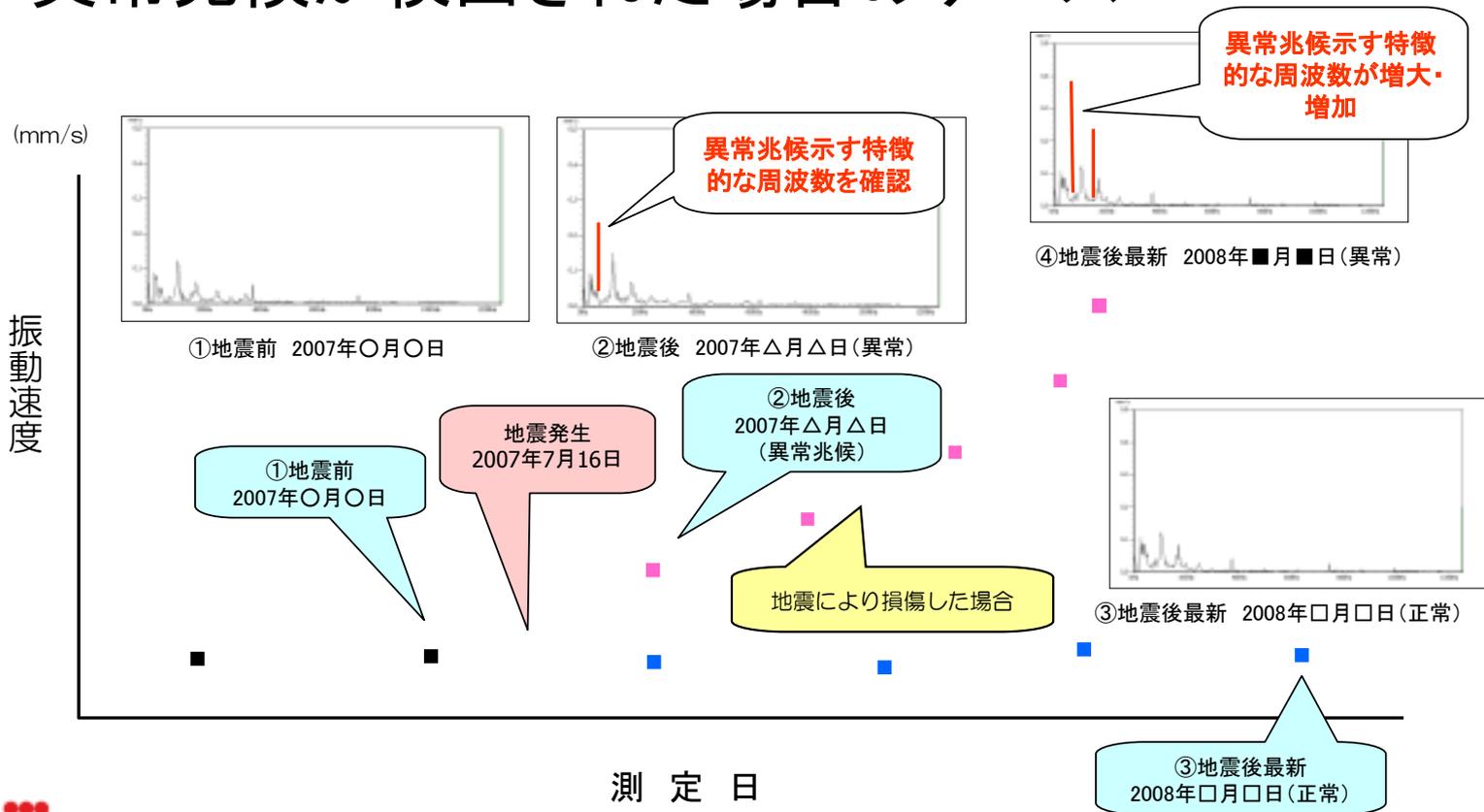
損傷箇所および形態	想定される振動の変化
①基礎ボルト損傷	機械的ゆるみ（ $1/2 f_r, n f_r$ 等）
②支持脚損傷	機械的ゆるみ、回転体の接触等 （ $1/2 f_r, n f_r$ 等, f_r, f_n ）
③摺動部(ライナーリング部)損傷	回転体の接触等（ $f_r, n f_r, f_n$ ）
④軸損傷	回転体のアンバランス等（ f_r ）
⑤メカニカルシール損傷	対象外（作動試験にて検知）
⑥軸受損傷	軸受損傷・回転体の接触等 （ $f_o, f_i, f_b, f_c, f_r, f_n$ ）
⑦電動機機能喪失	対象外（作動試験にて検知）
⑧軸継手損傷	軸芯ずれ等（ $f_r, 2 f_r, 3 f_r$ ）
⑨ケーシングノズル部損傷	対象外（目視点検・作動試験にて検知）
⑩軸受冷却不能	対象外（作動試験にて検知）

：発生の可能性が高いと想定されるもの f_o ：外輪キズ周波数、 f_i ：内輪キズ周波数、 f_b ：転動体キズ周波数
 f_c ：保持器公転周波数、 f_r ：回転周波数、 f_n ：固有振動数

振動診断技術活用の有効性（3）

振動の傾向管理と周波数分析により、回転機器の異常兆候の有無を確認する。

異常兆候が検出された場合のケース



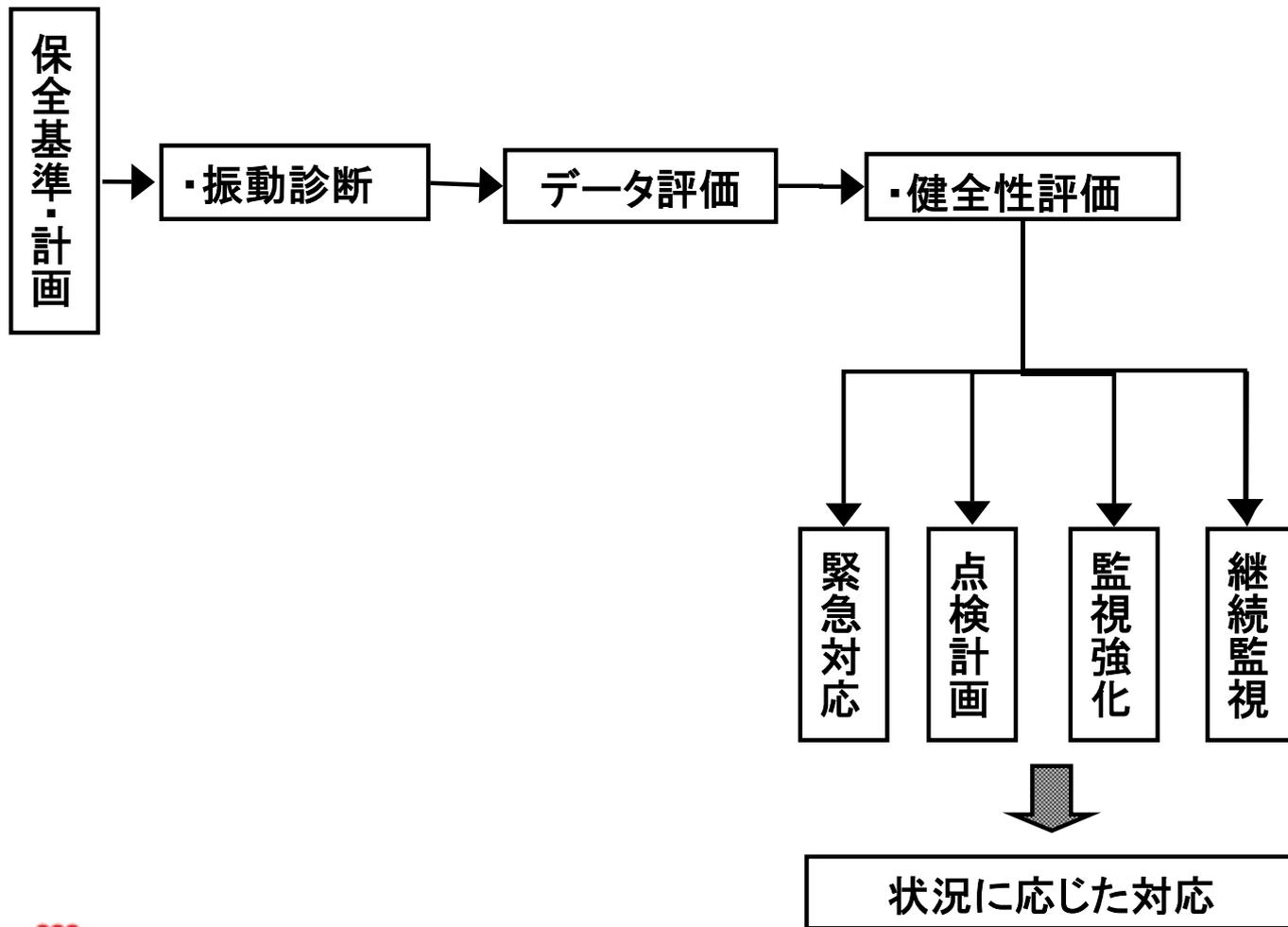
振動診断に適用している指針・規格

下記の指針・規格を参考に実施中である。

– JEAG 4221 – 2007

原子力発電所の設備診断に関する技術指針
回転機械振動診断技術（公衆審査版）

状態監視（振動診断）のプロセス



振動診断の管理値

- 振動値の管理値は、以下の規格を参考に判定基準として設定している。

- 「ISO 10816-1 Mechanical Vibration- Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating part1」

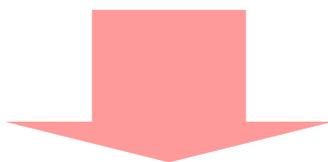
(JIS B 0906 機械振動-非回転部の測定による機械振動の評価-第1部：一般的指針)

- 「ISO 10816-3 Mechanical Vibration- Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating part3」

(機械振動-非回転部の測定による機械振動の評価-第3部：現場測定で15kw超の公称動力 120r/min~1500r/minの公称速度を持つ工業用機器)

振動診断の管理値の扱いについて（1）

- ISO・JIS規格において、記載の管理値は参考扱い。
- 機器によって、振動値が高め・低めで推移するものがある。



- 振動値の経時変化の傾向及び予測されるその後の推移を管理値と比較することで、劣化又は異常兆候の程度を推定（傾向管理）する。
- 振動の変化の原因として、周波数分析によって増加原因を推定（周波数分析）する。

振動診断による評価

- 振動値の傾向管理と管理値との比較及び周波数分析による異常兆候の有無等について、総合的な評価を行っている。
- 現在発刊準備中の「JEAG 4221-2007 原子力発電所の設備診断に関する技術指針 回転機械振動診断技術」（公衆審査版）を評価に活用している。
- 評価は、振動診断に関する適切な技能・知識を有するものが実施している。

振動診断の管理値の扱いについて（２）

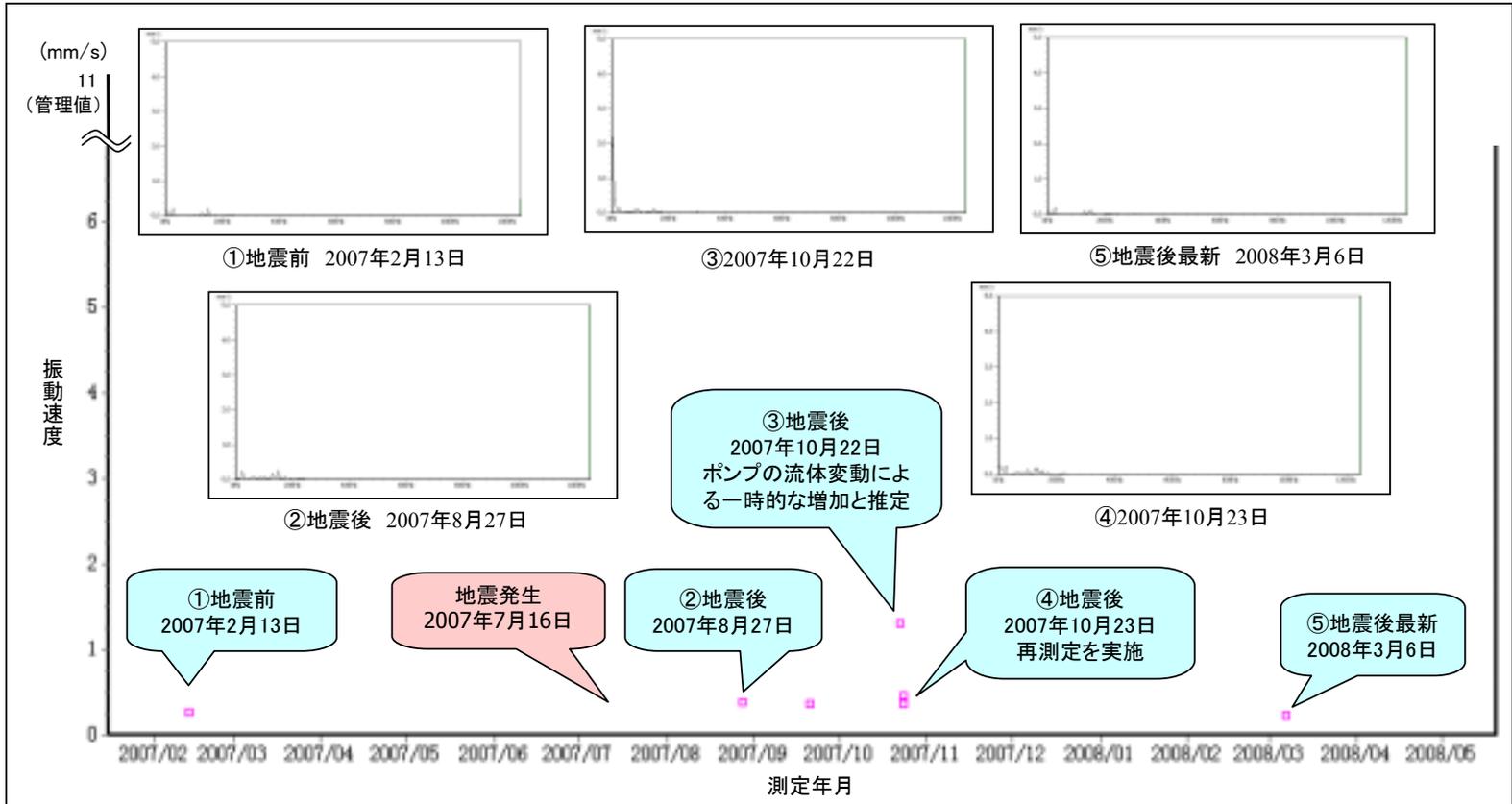
振動診断の評価における対応例は以下となる。

- 例１：管理値以下で異常兆候が確認された場合
 - － 「測定周期を短縮」「測定時の状況を確認」等を行い、異常兆候の傾向監視を行う。
 - － 振動の増加傾向が継続し、管理値を超えた場合、分解点検の実施時期を検討する。

- 例２：異常兆候等がなく、管理値を超える場合
 - － 「過去の傾向を確認」「測定周期を短縮」「測定時の状況を確認」等を行い、異常兆候の有無を再度確認する。異常兆候と判断された場合、分解点検の実施時期を検討する。

残留熱除去系(RHR)ポンプに関する評価の概要(2)

状態監視保全データ(振動診断)



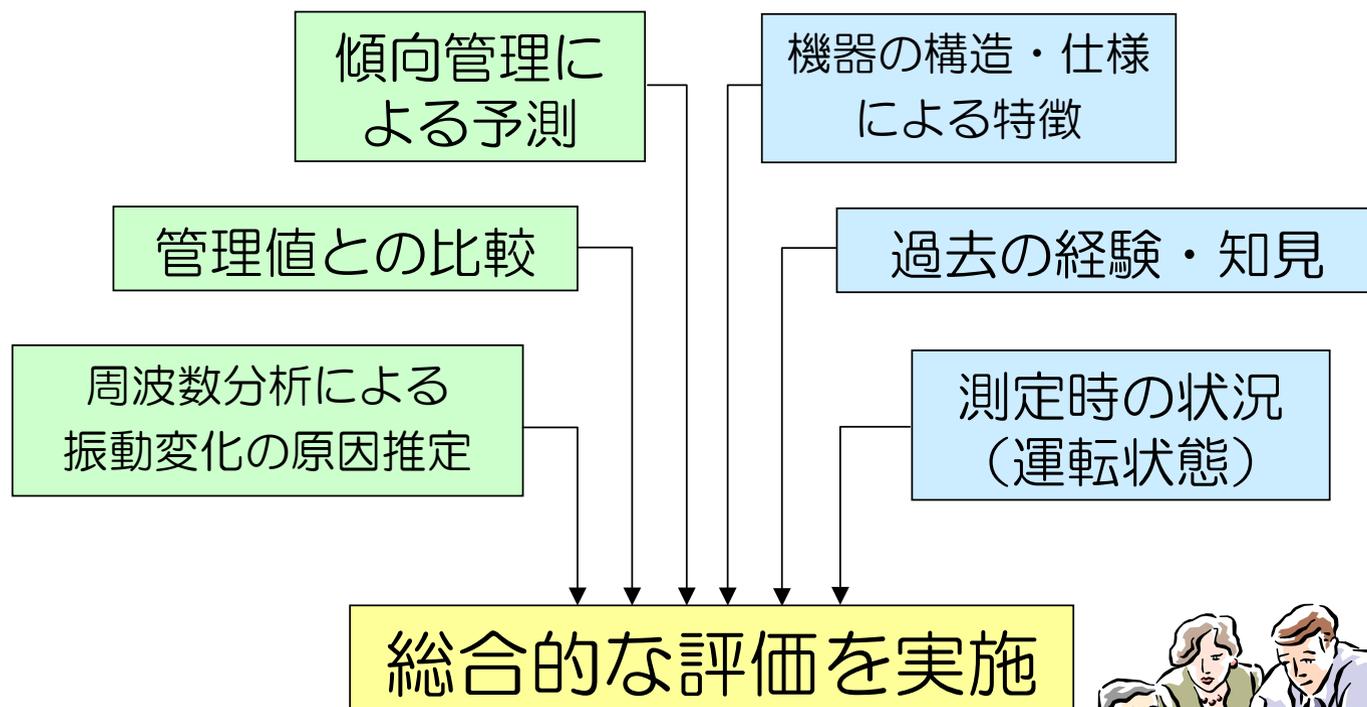
測定箇所 1号機 残留熱除去系ポンプ(B)ポンプ側(水平方向:吐出配管方向)

振動値・周波数とも地震発生前後に顕著な変化は認められない。地震後の振動値に一時的な変化が見られたが、管理値と比べても低く、損傷と推定される傾向ではない。

ポンプの流体関連振動について

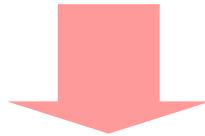
- 振動診断で確認されるポンプの流体関連振動
回転機械の部分負荷時の振動
効率最大点からはずれた条件の運転において、流れが乱れることで流体的な加振力が発生し、振動が大きくなる。
- 低流量運転時等に振動が増加する場合がある。
(例) K-1 RHRポンプ (B)
 - 地震後振動測定時、最大熱負荷モードで運転 (2007年10月22日)
 - 流量：約300m³/h (定格流量：1691m³/h)
 - 異常兆候を示す特徴的な周波数は確認されていない。

振動診断による評価方法



振動診断の評価における力量管理（1）

状態監視技術による設備診断を行う上で
適切な技能・知識が必要



振動診断の力量として、以下の資格相当レベルを設定している。

- （社）日本機械学会
「ISO機械状態監視診断技術者（振動）
カテゴリーⅡ以上」
- 厚生労働省 技能検定試験
「機械保全技能士（設備診断作業） 1級」

振動診断の評価における力量管理（2）

当社原子力発電所における力量保有者数

2008年5月30日現在

相当する力量 （資格）	当 社 （原子力発電所）
ISO（振動） カテゴリーⅡ以上	約26名
機械保全 技能士1級	約100名

当社・協力企業を含め、診断の技能維持・向上に努めている。

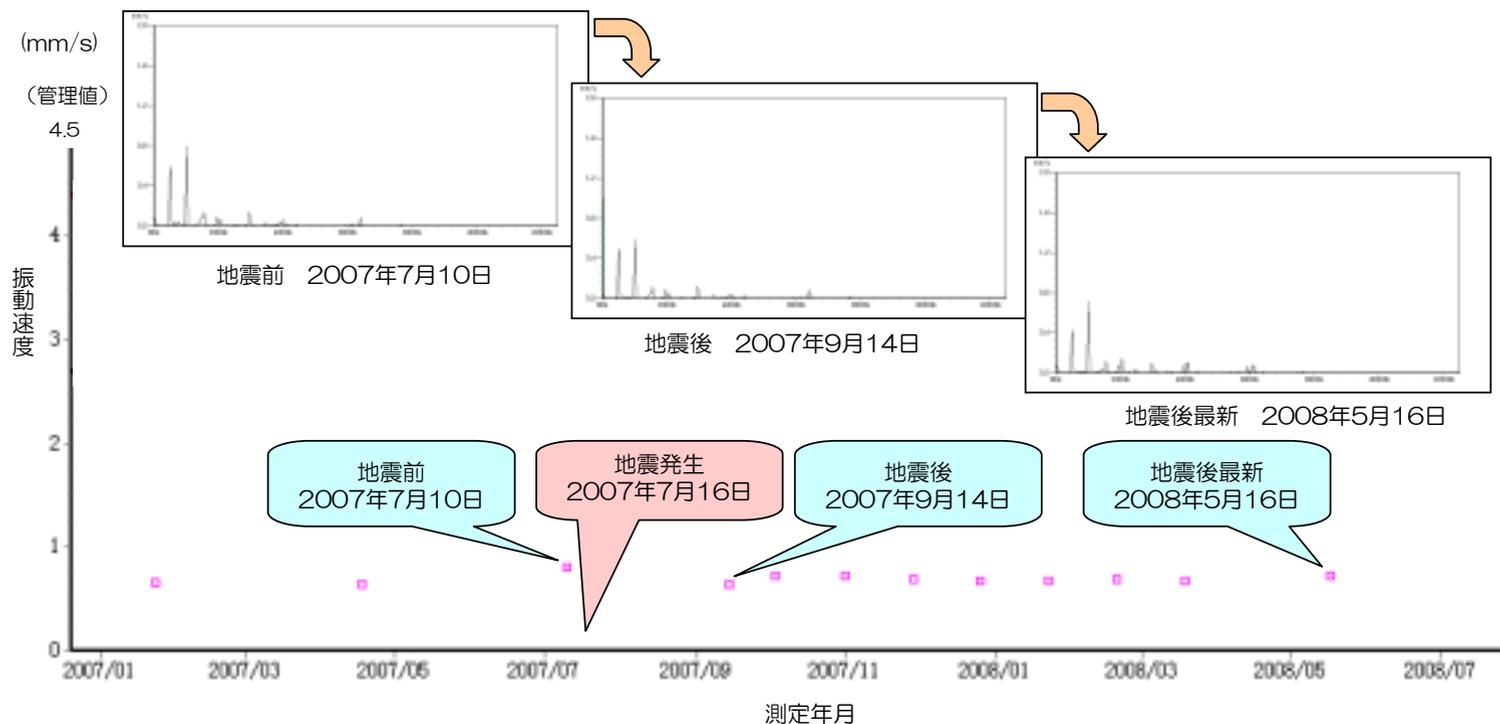
事例紹介



東京電力

(参考) 非常用ガス処理系排風機(A) の振動診断結果

■ 振動診断結果



振動速度・周波数とも地震発生前後に顕著な変化は認められない。

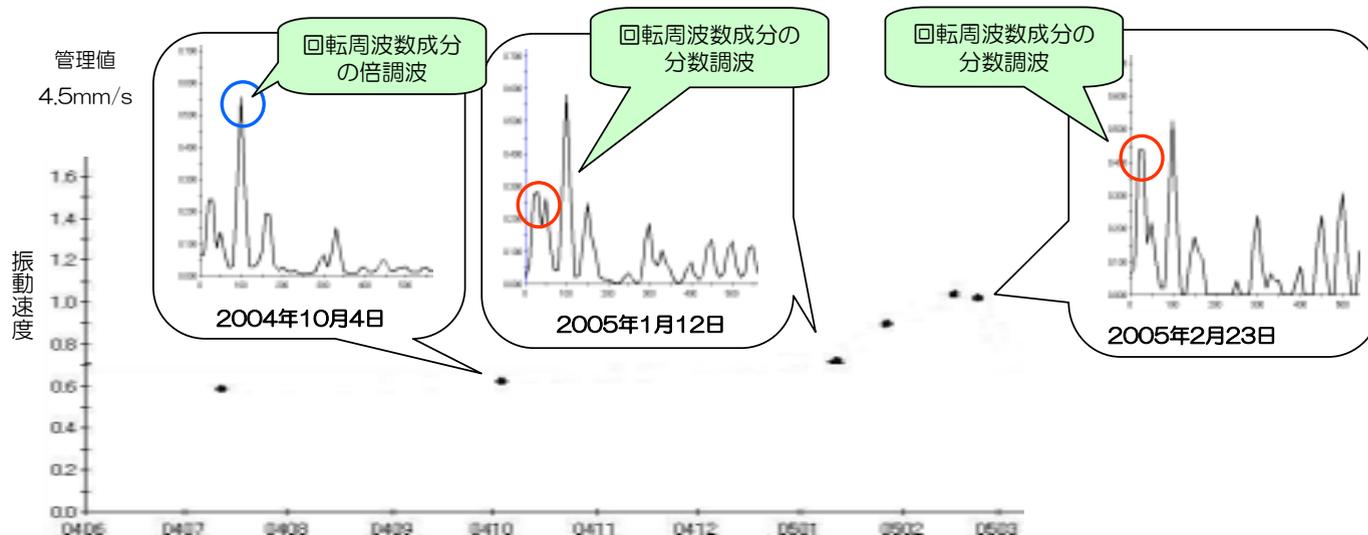
補足：測定箇所 6号機 非常用ガス処理系排風機 (A) 反カップリング側 (水平方向)

振動診断による評価（事例紹介1）

対象機器：7号機 電動駆動原子炉給水ポンプ用油タンクガス抽出機(A)用電動機
本地震前のデータ

事象概要

- 定期的な振動測定において、電動機反負荷側軸受部の振動速度に増加傾向が確認された。
- 周波数分析において、回転周波数成分の倍調波の他に分数調波が確認され、「機械的ゆるみ（がた）」または「回転体の接触」傾向と推定。
- 測定周期短縮による監視強化を行い、念の為、至近定検で分解点検を実施した。



振動診断による評価（事例紹介2）

分解点検結果

- 反負荷側ベアリングハウジング内側摩耗及びウエーブワッシャの損傷があり、フレットニングによる赤茶色の摩耗粉も発見された。軸受は異常なし。
- ベアリングハウジング嵌合部の間隙が広がり、機械的ながた傾向となり、振動が増加したと推定される。



【反負荷側ハウジング】
内側摩耗痕、フレット
ニングによる摩耗粉有
ハウジング内径は許容
値より広がっていた



【反負荷側ハウジング】
ウェーブワッシャの損傷有

診断結果の状況と今後の方針

- 地震後の回転機器の健全性確認について柏崎刈羽原子力発電所では、これまで日常保守での実績が十分にある振動診断技術を有効に活用して健全性を確認中である。これにより機器の健全性確認の信頼性が高まった。
- 現在までの地震後の振動採取データから、回転機器の異常兆候は確認されていない。
- 今後も振動診断を継続して行い、今後の分解点検で得るデータと比較を行っていくことで得られるデータの信頼性が高まる。

参 考

振動診断データ

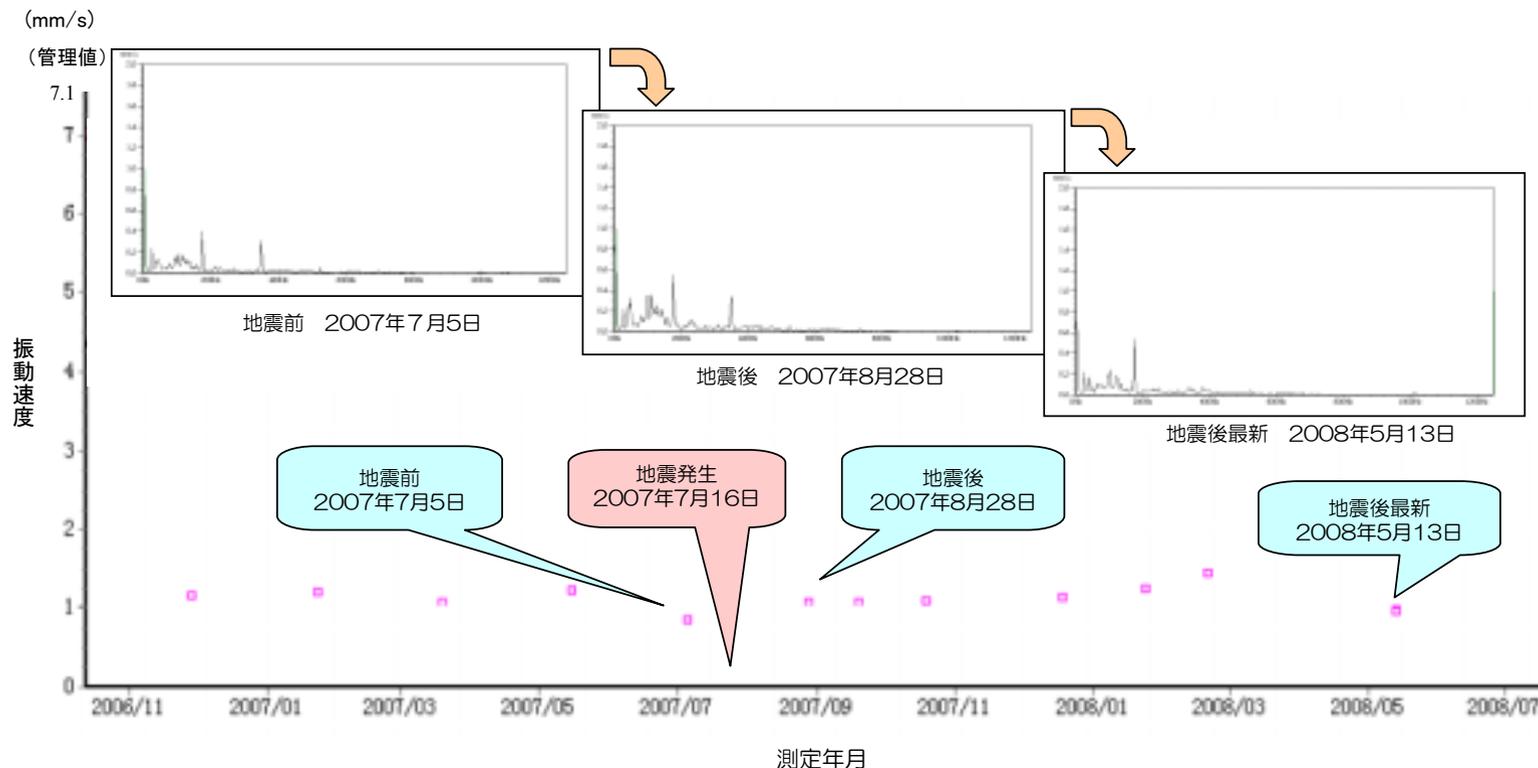


東京電力

補足：ポータブル振動計を用いて、一方向の振幅値を測定

(参考) 原子炉補機冷却水ポンプ(B)の振動診断結果

■振動診断結果

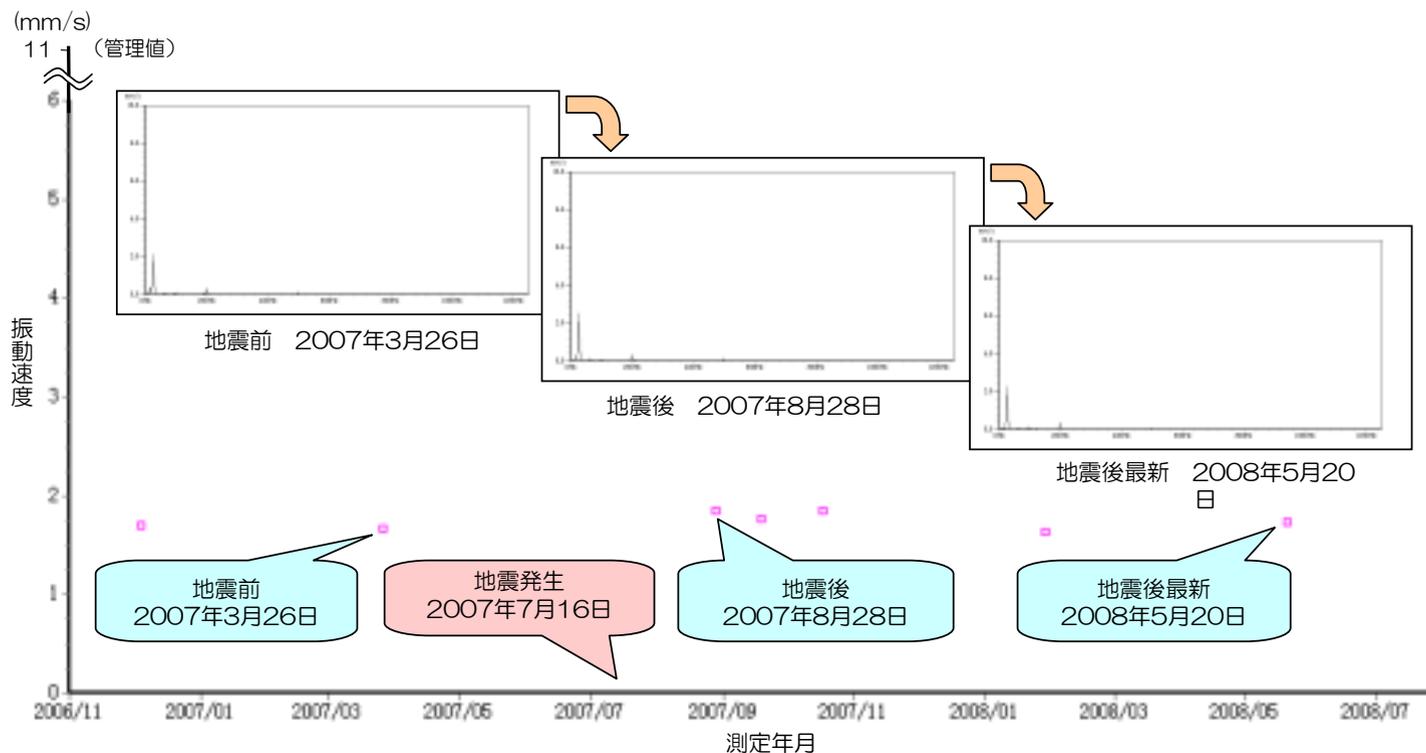


振動速度・周波数とも地震発生前後に顕著な変化は認められない。

補足：測定箇所 6号機 原子炉補機冷却水ポンプ (B) カップリング側 (水平方向)

(参考) 残留熱除去系ポンプ(B) 電動機の振動診断結果

■ 振動診断結果



振動速度・周波数とも地震発生前後に顕著な変化は認められない。

補足：測定箇所 6号機 残留熱除去系ポンプ (B) 電動機上部 (水平方向：吐出配管方向)

柏崎刈羽原子力発電所 耐震安全性向上工事の実施について(参考)

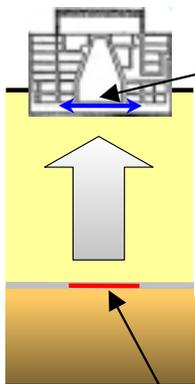
平成20年6月5日
東京電力株式会社

耐震安全性向上工事の実施について

機器レベルの設備点検等により、地震後の設備状況が十分に把握できたものから順次工事を開始します。

全号機で耐震強化に向けた地震の揺れを1,000ガルに設定しました

単位: Gal

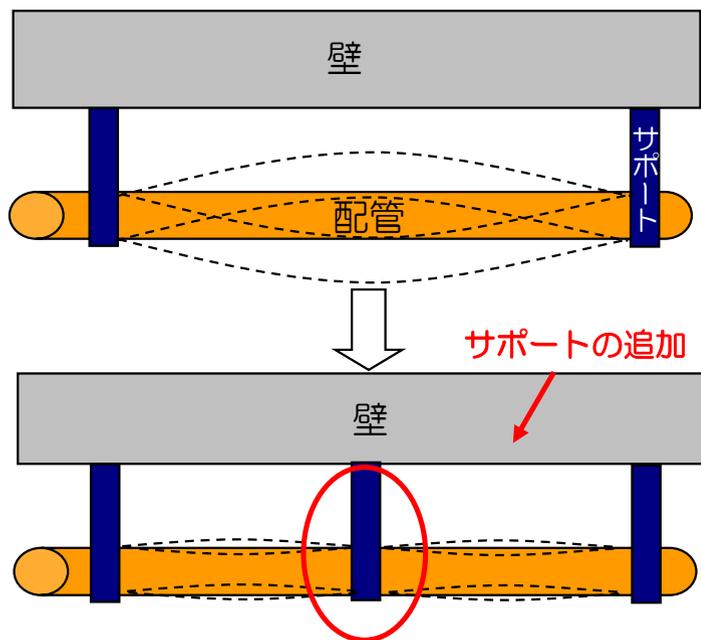


原子炉建屋 最地下階部	1号機	2号機	3号機	4号機	5号機	6号機	7号機
中越沖地震 (観測値)	680	606	384	492	442	322	356
基準地震動 による揺れ	829	739	663	699	543	656	642
耐震強化に 向けた 地震の揺れ	1,000						
地中深くの 岩盤部 (解放基盤表面)	1号機	2号機	3号機	4号機	5号機	6号機	7号機
基準地震動	2,280				1,156		

※基準地震動については、国、県の審議を適切に反映します

<参考資料>耐震安全性向上のための工事の例(1)

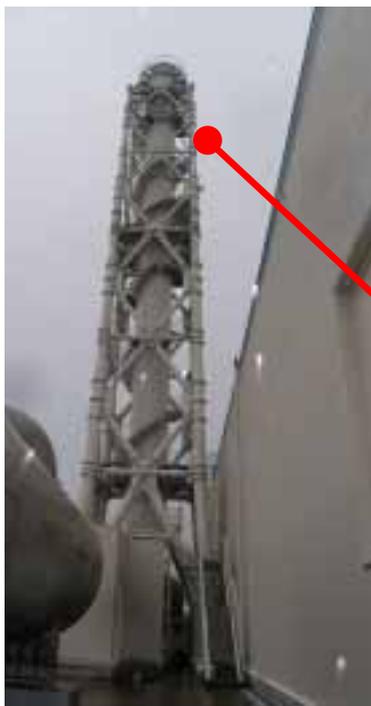
<配管サポート追加のイメージ>



<既設配管サポートのイメージ>

サポート追加により、配管の揺れを低減

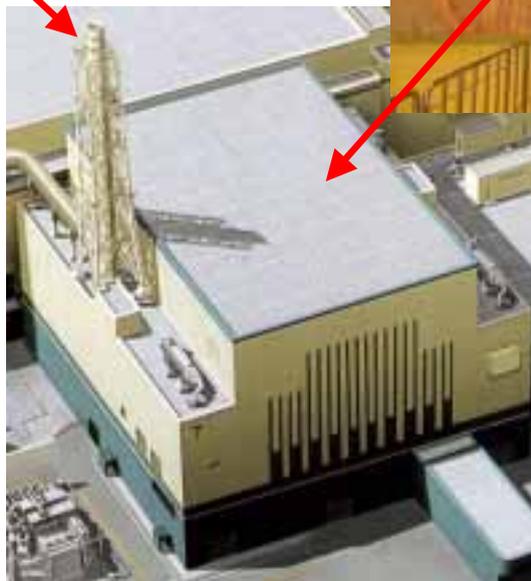
＜参考資料＞耐震安全性向上のための工事の例(2)



主排気筒の
支持構造物の追設

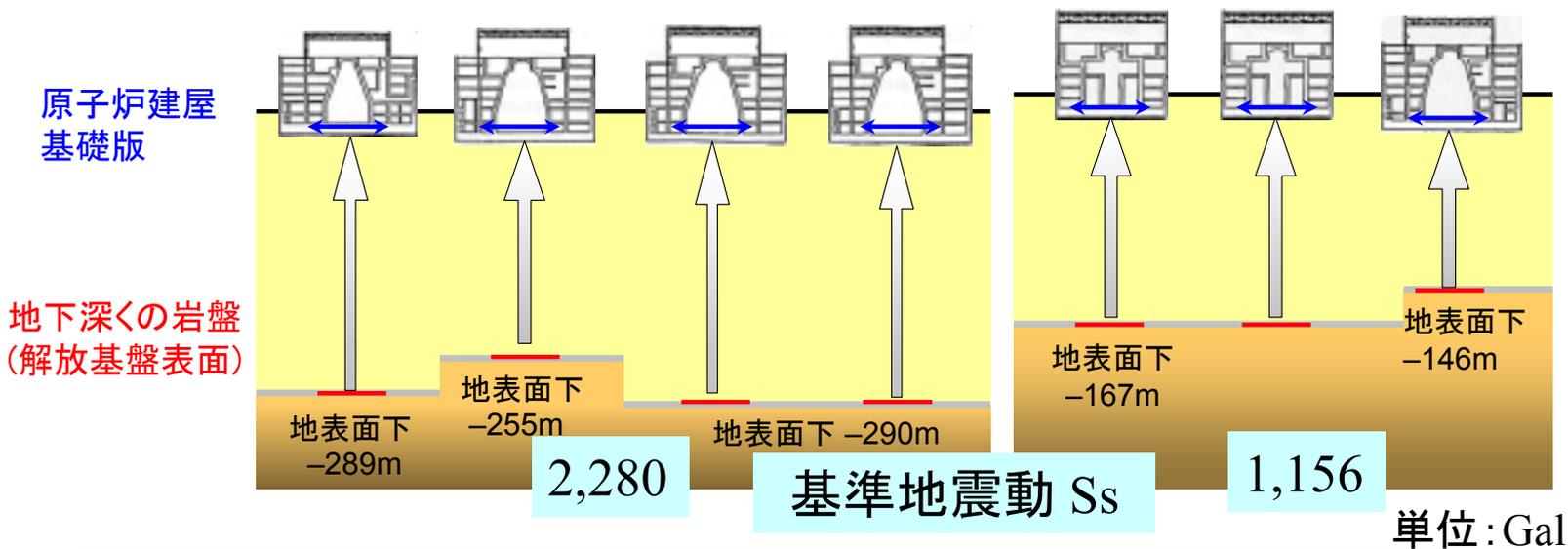


原子炉建屋
屋根トラスの強化



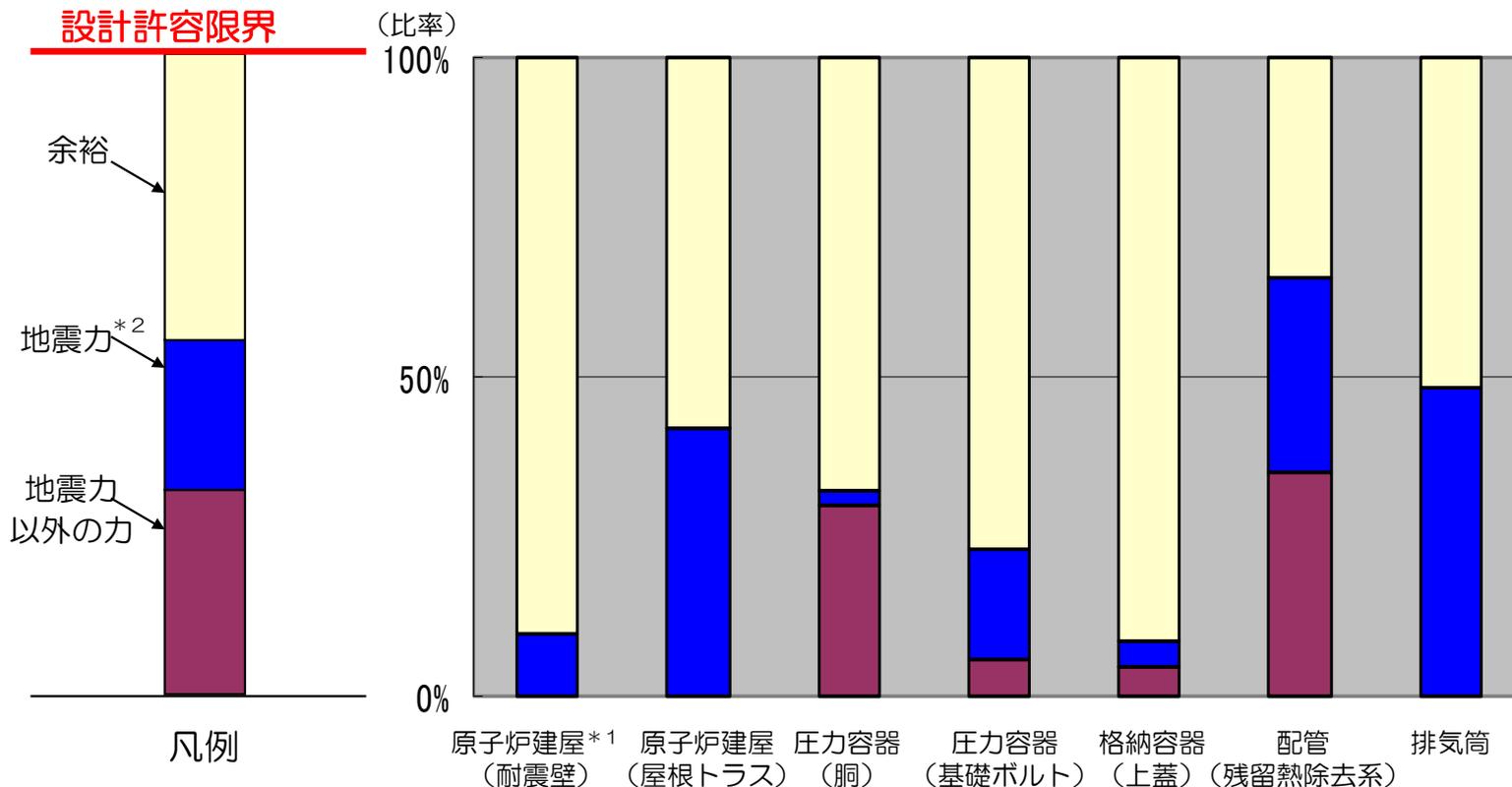
<参考資料> 基準地震動および建屋の揺れ

	1号機	2号機	3号機	4号機	7号機	6号機	5号機
中越沖地震 (観測値)	680	606	384	492	356	322	442
基準地震動による揺れ	829	739	663	699	642	656	543



基準地震動による建屋の揺れの大きさを基に、
発電所の耐震強化に向けた揺れの大きさを検討します

＜参考資料＞中越沖地震時の地震力に対する裕度 【7号機の例】



- *1：建屋は、設計上のせん断ひずみ限界値。なお、建屋以外は、許容応力値。
 *2：格納容器を除き、中越沖地震の評価は、**設計上保守的に見込んでいた要素のうち補助壁、コンクリート強度、床応答スペクトルの拡幅、水平上下の応力の組合せ等を現実ベースに置き換え実施。**（時刻歴ではなく最大加速度での評価等の保守性は含まれている）