

委員会での御質問事項等
に対する回答

平成22年2月3日



東京電力

はじめに

- これまでのSWGでのご質問事項を踏まえ、主に1号機に関連する以下の資料について紹介する。

資料3-1 1, 5, 6, 7号機で確認された不適合事象の考察について

資料3-2 1号機、6号機的设计条件の相違

前回のご質問事項と資料について

	ご質問事項	今回の資料
1	メカニカルスナップについては、追加点検を行い、再使用については、問題ないを考える。一方、耐力算出式の0.7や0.9の係数は、一般に引張り強さ（ S_u ）の0.7倍は降伏点に対応するという知見があり、弾性的に挙動する限界を確認する式である。従って部材が破断するという限界を評価しているわけではない。地震応答解析の評価の考え方について、整理する必要がある。	第25回SWGにて報告
2	応答倍率法について、1号機の設計時であれば、耐震指針策定前のプラントであることから、上下動は静的地震動で評価を行っているはずである。中越沖地震で観測された水平動と上下動から地震応答解析を行い、これに設計時の地震力との比を設計時の発生応力に乗じて発生応力を算出しているが、乗じる数値の考え方はこれで良いのか。	第25回SWGにて報告
3	設計時には応答倍率法による評価が基本であり、時刻歴解析による計算はレアケースと思うが、今回のケースは実際の地震動の記録が観測されていて、計算能力も設計時よりも向上しているわけだから、疲労評価の様に、3方向成分による時刻歴解析を実施する評価ロジックも検討すべきである。地震応答解析全体のロジックが報告書から読み取れない。	第25回SWGにて報告
4	全体として、6、7号機のやり方を継承して評価している中で、概要版82頁に6、7号機での不適合事象と比較を行っているが、こういう視点で評価することが重要である。1号機で観測された加速度は、6、7号機と比べ相当大きかったにもかかわらず、点検結果は余り変わらない。解析結果でも、6、7号機では、残留熱除去系や主蒸気系配管の一部が評価基準値に近い結果で、サブWGでも議論を行った。1号の解析結果は、6、7号機の結果と比べ、裕度がある様に見える。その理由を、先行して評価を実施した6、7号機との比較において説明すること。	資料3-1、3-2

前回のご質問事項と資料について

5	1号機で放射線モニタが浸水により機能不全となった事象に関して、今回は定検中であった為、機能要求はなかったということだが、仮に運転中であった場合は機能要求があるので、その場合の安全評価について検討し説明頂きたい。	第25回SWGにて報告
6	不適合事象を地震の影響によるものと、地震による影響以外のものに分類されているが、地震影響以外のものについては通常保全において確認される不適合ということで、次回の保全計画に反映していくことになる。今回確認された経年劣化等の地震影響以外の不適合をどの様に保全計画に反映していくのか説明頂きたい。	資料3-1
7	地震応答解析で評価基準値を超えたものはなかったが、比較的裕度の小さい箇所があった。これらについては追加点検を実施し、問題ないことが確認されているが、一方、基準地震動 S_s による評価で耐震強化工事が計画されている。設備健全性の評価で裕度が小さかったシャラグや支持構造物等について、耐震強化工事がどの様に計画されているのか説明頂きたい。	第25回SWGにて報告
8	1号機では、定期検査中ということで支持構造物が外されていたり、仮置きしていた機器が転倒し、安全上重要な設備に影響があったとの報告がある。今回のように定期検査中に地震が発生した場合の影響を、今後どの様に対策していくのかという観点で報告がないので、次回説明頂きたい。	現在整理中ですので、次回以降ご説明いたします。
9	原子炉再循環系配管の支持構造物の発生応力の評価で、通常は減衰定数に2.5%を使用するが、今回は詳細評価では8%を使用している。評価基準は弾性状態にあることが閾値となっているが、支持構造物については壊れても交換すれば構わないという考え方もある。減衰定数に8%を使用することに対する解析評価全体の考え方を整理し説明頂きたい。また、数値(8%)の根拠についても説明を頂きたい。	第25回SWGにて報告

前回のご質問事項と資料について

10	5号機原子炉冷却材再循環系配管支持構造物に係る減衰定数と応答変位の関係で、応答変位0～2mm程度の範囲で減衰定数にばらつきがあるとした根拠と妥当性について説明頂きたい。	現在整理中ですので、次回以降ご説明いたします。
11	1号機の設備健全性に係る点検・評価の実施状況において、移動式炉心内計装系検出器の絶縁電圧低下事象については、定期的な点検結果、交換頻度等が分かれば地震影響の有無が判定できるので、補足データとして提示すること。	現在整理中ですので、次回以降ご説明いたします。
12	復水器等の漏えい確認の実施時期については、別途構造WGでタービンペDESTALの接触についての健全性が確認されていることから、タービンペDESTALが大きく揺れたことにより、復水器とタービンがゆがみ、リークが心配されることではないということを明確に記述した方が良い。	資料-5にて説明
13	資料2添付2の5頁の記載で、原子炉格納容器ケーブル貫通部に係る詳細目視点検の結果、変形、割れ等の異常がないことを確認したとあるが、本報告で変形等の異常がないと評価することは難しいのではないかと。変形については、地震前との比較、あるいは何mm動いたかということが分からないと言えないはずである。元々がJNESの解析結果から余裕の少ない箇所を追加点検しているわけだから、大きな変形が起こるはずはないので、変形と記載する場合は何を確認し評価したのか整理しておく必要がある。	資料-5にて説明

1、5、6、7号機で確認された 不適合事象の考察について

平成22年2月3日



東京電力

はじめに

- これまでに、1、5、6、7号機において、設備点検および地震応答解析を実施し、停止中における設備健全性評価が概ね完了した。



まだ2、3、4号機が完了しておらず、
途中段階ではあるが、

これらを踏まえて

- ① これまでの設備点検で確認された地震の影響による不適合事象についての考察
- ② これまで地震後の点検として実施してきた「特別な保全計画」における、通常の保全活動への反映事項

について紹介する。

各プラントの地震時における状態について（参考）

- 原子炉建屋基礎版上で観測された最大地震加速度は、以下の通りである。

（参考）原子炉建屋基礎版上で観測された最大加速度※

（単位：Gal）

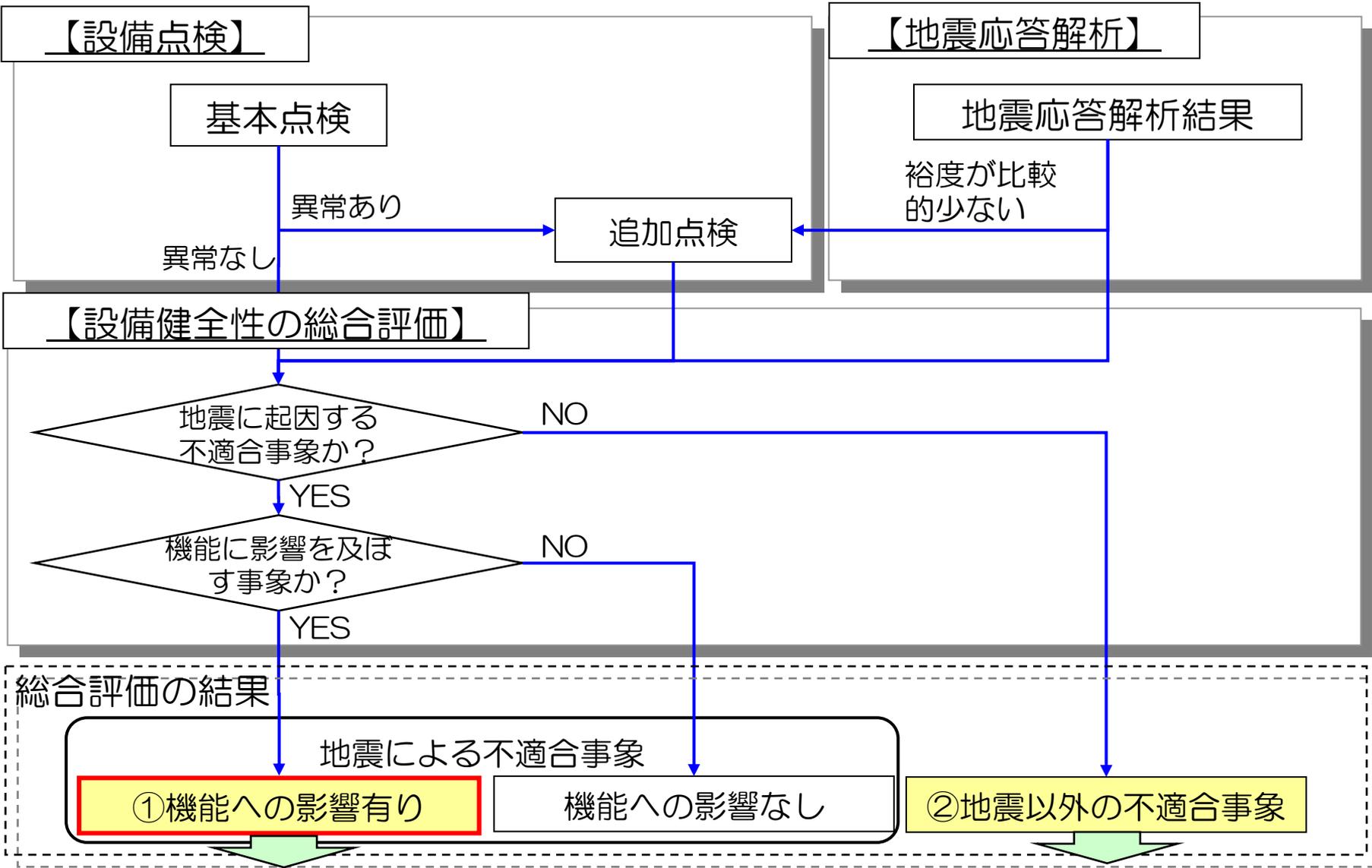
		1号機	2号機	3号機	4号機	5号機	6号機	7号機
中越沖地震 （観測波）	南北	311	304	308	310	277	271	267
	東西	680	606	384	492	442	322	356
	上下	408	282	311	337	205	488	355

※表中は観測された値を示す。なお、最大加速度は、加速度の床応答スペクトルの固有周期の概ね0.02s近辺に対応している。

- 新潟県中越沖地震発生時の各プラントの状況は以下の通りである。

	1号機	2号機	3号機	4号機	5号機	6号機	7号機
プラント 実施状況	停止中 （定検中期）	起動中	運転中	運転中	停止中 （定検末期）	停止中 （定検末期）	運転中

設備健全性評価の流れと今回の紹介範囲について



これまでの設備点検で確認された結果に基づき、①および②の分析を行った。

①地震に起因する不適合事象の考察について

各プラントにおける総合評価の結果について

- 総合評価の結果、地震に起因する損傷であると評価した不適合機器数は、以下の通りであった。

	1号機	5号機	6号機	7号機
地震に起因する不適合事象の総数	154機器	33機器	39機器	29機器
このうち機能への影響有りと評価した機器数	122機器	11機器	6機器	9機器

(1,5,6号機は、共用設備を含んでいる。)

- これまで確認された不適合事象は、以下の原因に分けられることから、これらの原因毎に不適合事象を分類した(次ページ)。
 - a. 地震動による損傷事象(機器のずれ、こすれ等)
 - b. 強制変位による損傷事象(地盤変位による変形、損傷)
 - c. 分解点検中の仮置き機器の転倒、接触事象
 - d. 二次的事象による損傷事象(水没事象)
 - e. グラウトの微細なひび

※「e. グラウトの微細なひび」は、原因では無いが、6, 7号機点検・評価報告書作成の際に数が多い事象であることから分類して整理していた。

地震に起因すると考える事象の整理

地震に起因すると考える不適合機器数（機能に影響を及ぼしたものの）

単位：機器

分類		1号機	5号機	6号機	7号機
		定検中期	定検末期	定検末期	運転中
点検設備数 [工事計画書対象設備]		約2000	約1790	約1540	約1360
a	地震動による損傷事象	14	9	6	9
b	強制変位による損傷事象	20	2	—	—
c	分解点検中の仮置き機器の転倒、 接触事象	2	—	—	—
d	二次的事象による損傷事象 (水没事象)	86	—	—	—
e	グラウトの微細なひび	—	—	—	—
合計		122	11	6	9

地震に起因すると考える事象の整理（参考）

地震に起因すると考える不適合機器数（総数）

単位：機器

分類		1号機	5号機	6号機	7号機
		定検中期	定検末期	定検末期	運転中
点検設備数 [工事計画書対象設備]		約2000	約1790	約1540	約1360
a	地震動による損傷事象	30	25	27	16
b	強制変位による損傷事象	20	2	—	—
c	分解点検中の仮置き機器の転倒、 接触事象	7	—	—	—
d	二次的事象による損傷事象 (水没事象)	86	—	—	—
e	グラウトの微細なひび	11	6	12	13
合計		154	33	39	29

不適合事象の考察について

- 地震に起因し、機能に影響を及ぼす不適合事象が確認されたのは、a、b、c、dの原因によるものであった。このうち、「c. 分解点検中の仮置き機器の転倒」、「d. 二次的事象による損傷事象」は、1号機特有の事象であることから、「a. 地震動による損傷事象」「b. 強制変位による損傷事象」について、以下の観点から考察した。

- ✓機器の種類について（共通性）
- ✓損傷の箇所について

①-1 機能に影響を及ぼす損傷が確認された設備の不適合事象について

- また、数量を比較すると、1号機に多く確認される結果となっているが、定期検査中の状態であったことなどの1号機特有の状況を考慮し、不適合機器数を考察した。

①-2 不適合事象の数量の比較について

①ー1 機能に影響を及ぼす損傷が確認された設備 の不適合事象について

機能に影響を与える不適合事象が確認された機器について

	1号機	5号機	6号機	7号機	
a	低圧タービン	高圧、低圧タービン	高圧、低圧タービン	高圧、低圧タービン	共通に 確認
	主発電機	主発電機※1	主発電機※1	主発電機※1	
	主変圧器 所内変圧器 高起動変圧器	主変圧器 所内変圧器	主変圧器※1 所内変圧器※1	主変圧器※1	
	クレーン		クレーン	クレーン	1,6,7 に確認
	調整器盤（発電機）				1,5に 確認
	焼却装置	焼却装置			
	純水タンク				
		補助ボイラ			1,5に 確認
			給水加熱器系支持構造物		
				燃料取替機	
			タービン軸受摩耗検出器		
b	窒素ガス供給装置	窒素ガス供給装置			1,5に 確認
	トレンチ内設置配管				
	循環水ポンプ				
	補助ボイラ				

※1：機能に影響を与えるまでの損傷ではなかったもの

 ：共通的に確認された設備

機能に影響を与える不適合事象が確認された機器設置箇所

- 主タービン、主発電機
- 原子炉建屋クレーン
- 調整器盤（発電機）
- 給水加熱器系支持構造物
- 燃料取替機
- タービン軸受摩耗検出器

については、各プラントの原子炉建屋およびタービン建屋に設置される



機能に影響を与える不適合事象が確認された機器について

- これらの機能に影響を及ぼすと評価された不適合事象について、共通性の観点から確認した。

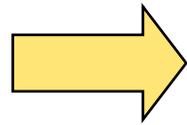
【a. 地震動による損傷】

- ✓各プラント共通に確認された設備は、建屋内では、主タービン、主発電機で確認され、屋外では変圧器であった。
- ✓天井クレーンの損傷は、1、7号機でケーブルベアが外れる事象で、6号機ではユニバーサルジョイント部の損傷事象であった。
6号機の損傷は、上下動が他号機より大きかったため損傷に至ったものと考えられる（第14回SWG報告済）。
- ✓焼却設備の損傷は、1号機でセラミックフィルタ、5号機では耐火レンガが損傷する事象であった（第23回SWG報告済）。なお、焼却設備は共用設備であり、6、7号機にはない。

機能に影響を与える不適合事象が確認された機器について

【b. 強制変位による損傷】

- ✓ 「b. 強制変位による損傷」は、1, 5号機の設備で確認され、主に屋外に設置される設備および構築物が地盤変位の影響を受けたことによるものであった。



これら共通で不適合事象が確認された設備で、どのような箇所に損傷が見られているかを代表設備で確認した。

「a. 地震動による損傷」 → 1. 主タービンの損傷状況の比較

「b. 強制変位による損傷」 → 2. 窒素ガス供給装置の損傷状況の比較

1. 主タービンの損傷状況の比較

号機		1号機	5号機	6号機	7号機
発電機出力		110万KW	110万KW	135.6万KW	135.6万KW
最終段翼有効長さ		41インチ	41インチ	52インチ	52インチ
地震発生時の状況	運転状況	停止中	停止中	停止中	1500rpm (定格運転中)
	カップリング	切離し (低圧Bのみ組込)	結合	結合	結合
	車室	開放 (低圧Bのみ組込)	組込	組込	組込
	タービンローター	取出し (低圧Bのみ据付)	据付	据付	据付
確認された主な損傷	翼の接触	接触痕のみ (低圧Bのみ)	接触痕のみ	接触痕のみ	摩耗・接触痕
	オイルシールリング 中間軸受台の損傷	点検のため 中間軸受取外中	オイルシールリング折損 中間軸受台固定キー変形	オイルシールリング折損 中間軸受台固定キー変形	オイルシールリング折損 中間軸受台固定キー変形
	軸方向車室固定キー の損傷	変形	なし	なし	なし
	軸受・軸受油切りの 損傷	軸受:接触痕・変形 油きり:歯先変形	軸受:接触痕 油きり:歯先変形	軸受:接触痕 油きり:歯先変形	軸受:接触痕 油きり:歯先変形

 運転状況の違いにより翼の損傷に影響が見られる。(7号機には磨耗を確認)

 タービンの大きさが異なることによる有意な損傷の違いは見られなかった。

 点検の状況による損傷の違いが見られる。(1号機は車室固定キーに変形を確認。)

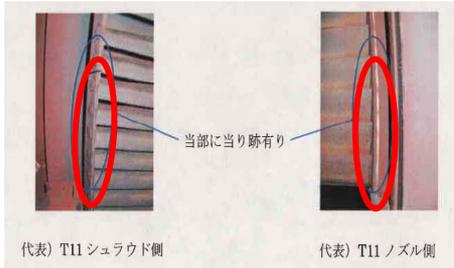
1. 主タービンの損傷状況の比較

- 主タービンでは、以下のような損傷が確認されている。
 - ✓主タービンは、タービンロータ等重量物であり、この荷重はスラスト軸受のみで支持されていることから、スラスト軸受支持部に損傷を受けた。
 - ✓クリアランスの小さい動翼～静翼間およびジャーナル軸受、油切り等に接触、こすれ等が発生した。
- 運転状態や、点検状況によって各プラントで、地震時における状態が異なったが、同様に損傷が確認されている。
- 運転状態、点検状況による相違点は、運転中プラントでは翼の摩耗痕が確認されていること、また、1号機でのカップリング切り離しに伴う、軸受の損傷であった。
- 主発電機および変圧器については、参考資料参照。

1. 主タービンの損傷状況の比較（翼の接触）【添付】

- 地震の影響により静翼と動翼が接触した事象。
- タービンが運転中であった7号機には動翼が回転しながら静翼と接触したことによる磨耗が見られる。

1号機



ロータ羽根・ノズル部接触跡

5号機



代表写真(第9段タービン側)

代表写真(第11段発電機側)

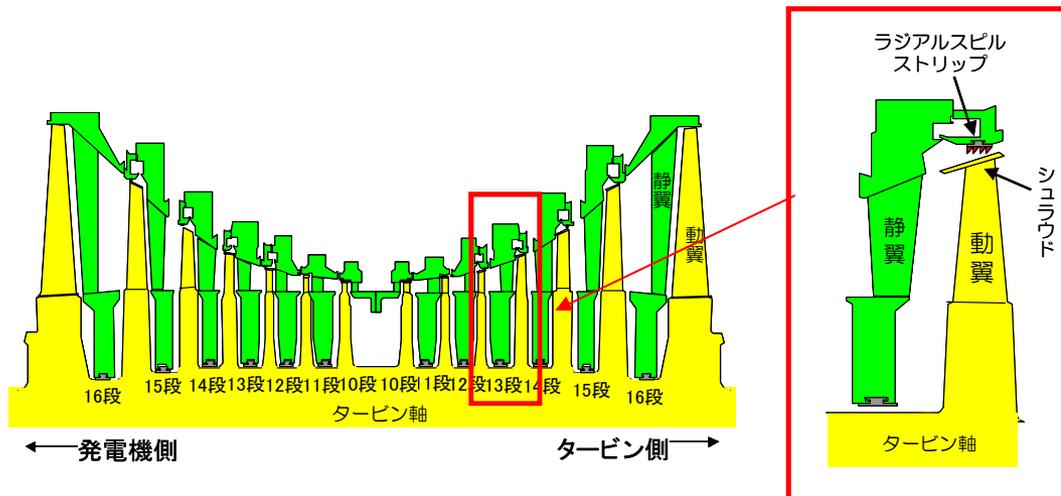
6号機



7号機



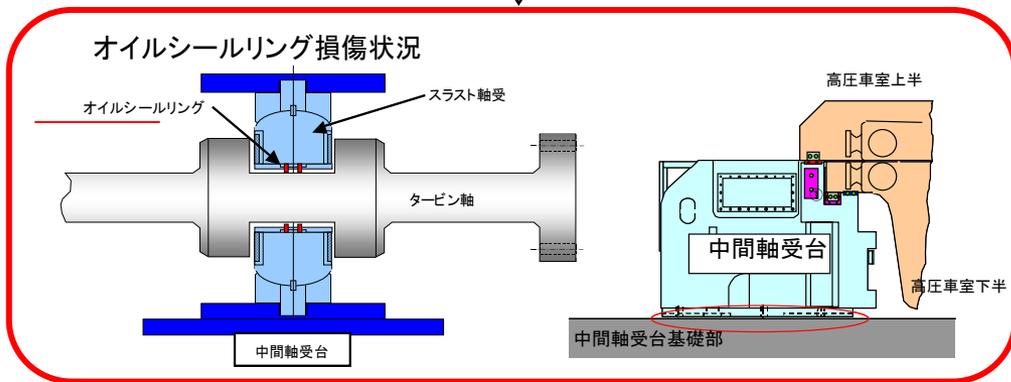
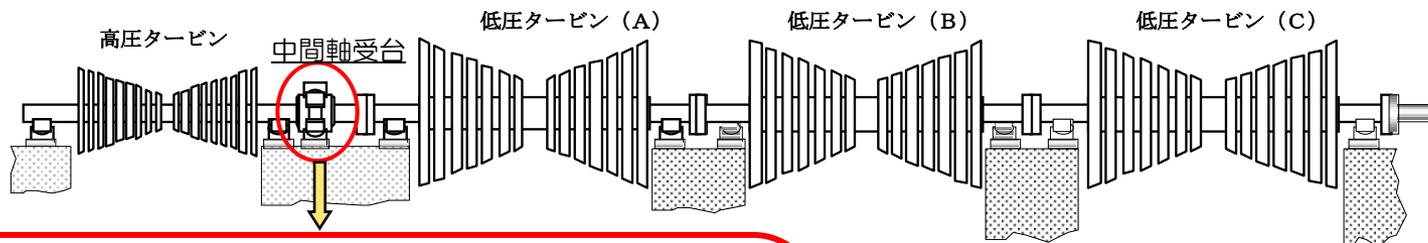
低圧タービン(A)動翼の摩耗



静翼と動翼の間にはタービン効率を高めるため蒸気漏えいを極力少なくする様、クリアランスを小さく設計している。このため地震の影響により静翼と動翼の端部が接触・磨耗した。

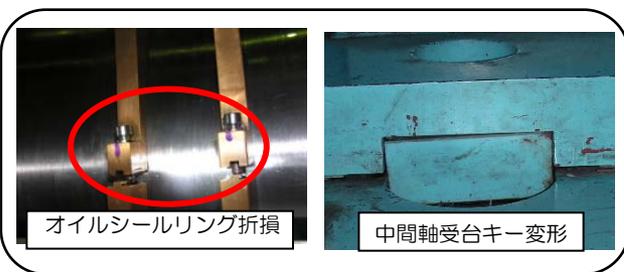
1. 主タービンの損傷状況の比較（中間軸受け台の損傷） 【添付】

- 高圧タービンと低圧タービン（A）を繋ぐスラスト軸受のオイルシールリング及びそれを支持する中間軸受け台のキーに損傷が確認された。
- 1号機は地震時、分解点検中であったため損傷は確認されなかった。



地震によりタービンが軸方向に揺すられたため、軸方向の移動を規制するスラスト軸受に過大な力がかかりオイルシールリングが折損した。またスラスト軸受を支える中間軸受け台のキーに変形が生じた。

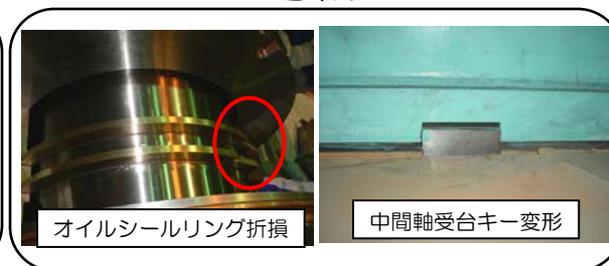
5号機



6号機

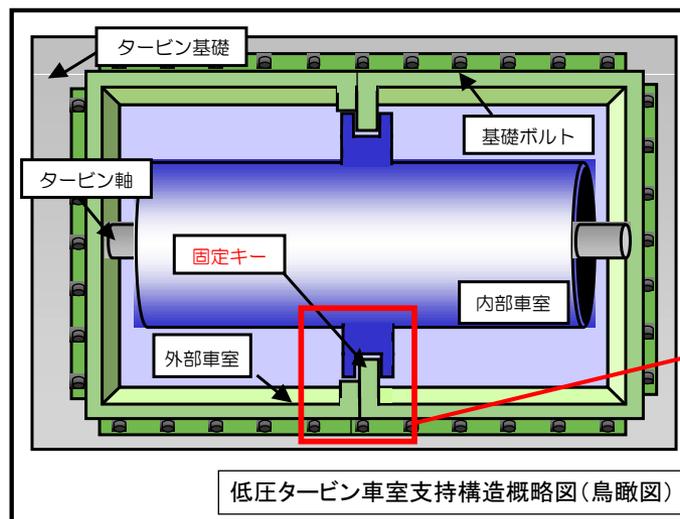
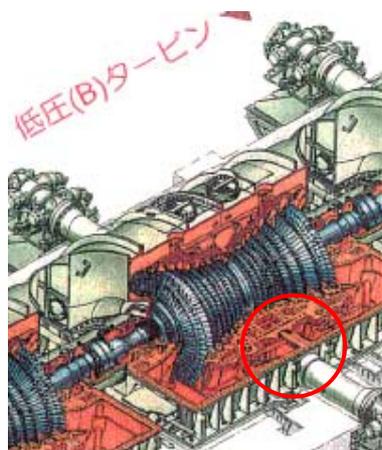
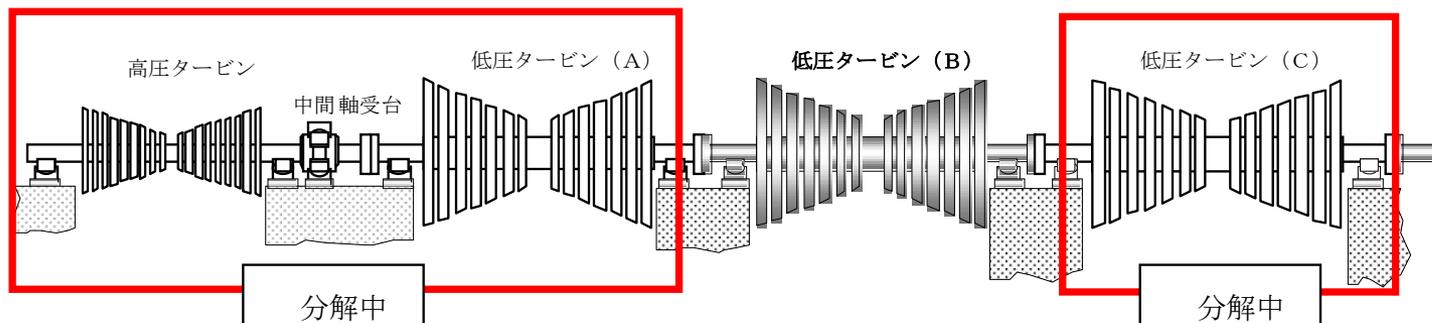


7号機

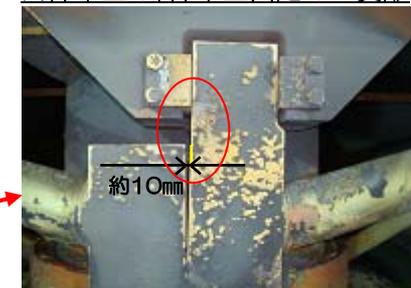


1. 主タービンの損傷状況の比較（車室固定キーの損傷）【添付】

- 1号機は地震時、分解点検中であり、低圧タービン（B）のみ据え付けられている状態であった。
- 内部車室と外部車室を固定するキーに変形が確認されたが、これは地震時に発生したタービン軸方向の地震力を車室固定キーで受けたためである。

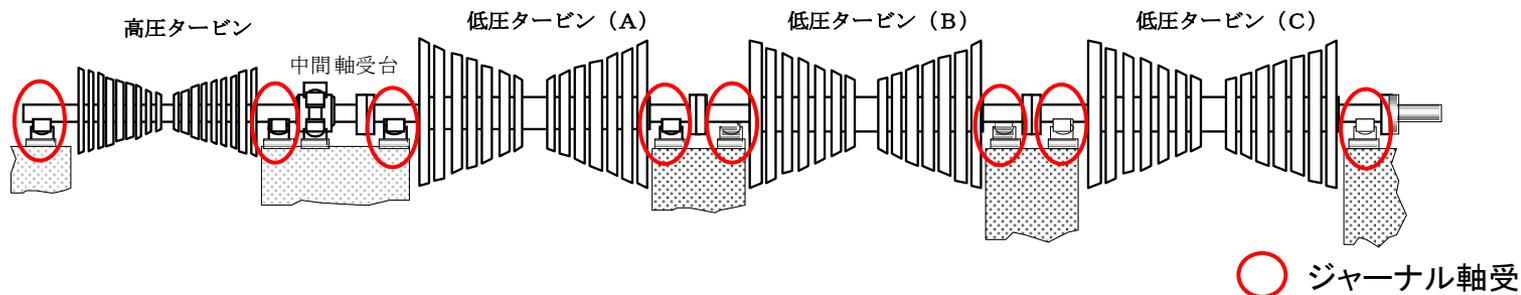


内部車室-外部車室固定キー変形



1. 主タービンの損傷状況の比較（軸受・軸受油切りの損傷） 【添付】

- 各号機のジャーナル軸受及び軸受油切りに接触痕が確認された。
- 地震の影響によりタービンローターと接触し損傷したものである。



1号機



ジャーナル軸受の軽微な接触痕

5号機



ジャーナル軸受の軽微な接触痕

6号機

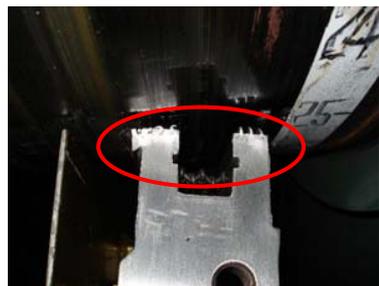


ジャーナル軸受の軽微な接触痕

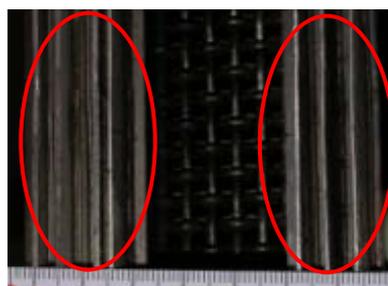
7号機



ジャーナル軸受の軽微な接触痕



軸受油切りの軽微な接触痕



軸受油切りの軽微な接触痕



軸受油切りの軽微な接触痕



軸受油切りの軽微な接触痕

2. 窒素ガス供給装置の損傷状況の比較

- 1、5号機 窒素ガス供給設備に地盤沈下の影響による損傷が確認された。

配管、サポートの変形等の同様な事象が確認されている。

号機		1号機 (2～4号機共用)	5号機 (6, 7号機共用)
地震発生時の状況	運転状況	運用中	運用中
	基礎構造	直接基礎 (杭無)	直接基礎 (杭無)
確認された主な損傷	配管、支持構造物	配管の変形 サポートの変形	配管の変形 サポートの変形
	液化窒素貯槽、 パージ用蒸発器他 基礎部のひび	グラウトのひび	グラウトのひび (液化窒素貯槽のみ)

1号機



5号機



配管・サポートの変形

1号機



5号機



グラウトのひび

2. 窒素ガス供給装置の損傷状況の比較

- 窒素ガス供給装置では、以下のような損傷が確認されている。
 - ✓ 窒素ガスタンクに接続される配管から供給へのラインで地盤変位にともなってサポートの位置が変わり、配管、サポートそれぞれに変形が確認されている。
 - ✓ グラウト部についても軽微ではあるものの、ひびが確認されている。
- 1号機、5号機いずれの窒素ガス供給装置も配管の変形、サポートの変形が確認され、これらは全て地盤変位にともなって、タンクが設置される構築物と配管サポートが設置される構築物が変位することで、変形を生じたものであった。
- これらの設備は、いずれも運転状態であったが、この変形によって、配管等の漏えいは確認されていない。

①-1 まとめ

- 「a. 地震動による損傷」で、主タービン、発電機は、各プラント共通で損傷が確認された建屋内の設備である。これらは機器は、内部構造物が重量物であることに加え、軸方向の加重はスラスト軸受のみで支持されていることが原因で損傷に至ったものと考えられる。
- また、変圧器は、各プラント共通に確認された屋外設備である。変圧器は、内部構造物の鉄心等の重量物が移動することが原因で損傷に至ったものと考えられる。
- 「b. 強制変位による損傷」で損傷が確認された設備は、いずれも屋外に設置されるもので、地盤変位による影響を受けたものであった。

1. 主発電機の損傷状況の比較
2. 変圧器の損傷状況の比較
3. その他の不適合事象

(参考資料1) 主発電機の損傷状況の比較

号機		1号機	5号機	6号機	7号機
発電機出力		110万KW	110万KW	135.6万KW	135.6万KW
地震発生時の状況	運転状況	停止中	停止中	停止中 (ターニング中)	運転中
	カップリング	切離し	結合	結合	結合
確認された主な損傷	軸受廻りの損傷	<ul style="list-style-type: none"> ・接触痕・変形 (回転子軸) ・強い打痕 (軸受メタル,油切り 等) 	接触痕・変形 (回転子軸, 油切り)	接触痕・変形 (回転子軸, 軸受メタル)	接触痕・変形 (回転子軸, 油切り, シールリング)
	ブラシホルダー廻りの損傷	<ul style="list-style-type: none"> ・接触痕・変形 (エアーク板) ・割れ (バイク板, コレクタファンリング 等) 	接触痕・変形 (エアーク板, コレクタファン 等)	接触痕・変形 (エアーク板, コレクタファン 等)	接触痕・変形 (エアーク板, ブラシホルダー)
	キー部・基礎部の損傷	<ul style="list-style-type: none"> ・キー等の変形 ・ライナーの飛出し 	<ul style="list-style-type: none"> ・キー等の変形 ・ライナーの飛出し 	<ul style="list-style-type: none"> ・キー等の変形 ・ライナーの飛出し 	<ul style="list-style-type: none"> ・キー等の変形 ・ライナーの飛出し

点検の状況による損傷の違いが見られる (1号機は軸受メタル等に強い打痕を確認)

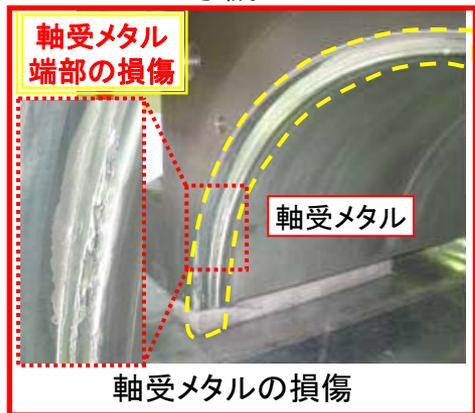
(参考資料1) 主発電機の損傷状況の比較

- 主発電機では、以下のような損傷が確認されている。
 - ✓ 主発電機の回転子は重量物であり、この荷重を軸受で支持していることから、地震時の回転子の揺れにより軸受廻りに損傷を受けた。
 - ✓ ブラシホルダー廻りにおいても、地震時の回転子の揺れにより、エアークラッチ等の接触、変形が発生した。
- 1号機の発電機は、地震時にカップリングが切離されていたことから、他号機より回転子の揺れが大きくなり、軸受廻りとブラシホルダー廻りの損傷の程度が大きくなった。

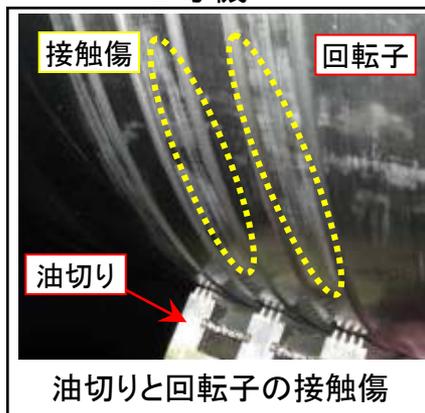
(参考資料1) 主発電機損傷箇所 (軸受廻り)

- 地震時に回転子が油切り、軸受メタルと接触し、油切りや軸受メタルに傷が発生。
- 1号機はカップリングが切り離されており回転子が大きく揺れたため、軸受廻りの構成品に他号機と比較して大きな損傷 (軸受け端部の損傷等) が発生。

1号機



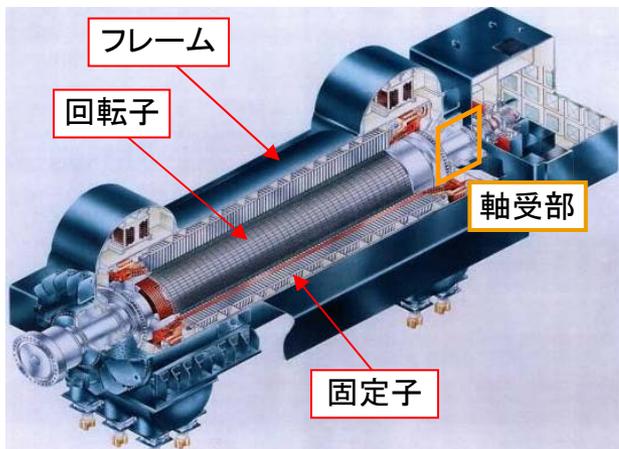
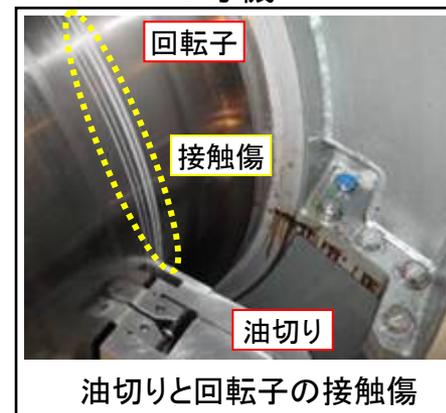
5号機



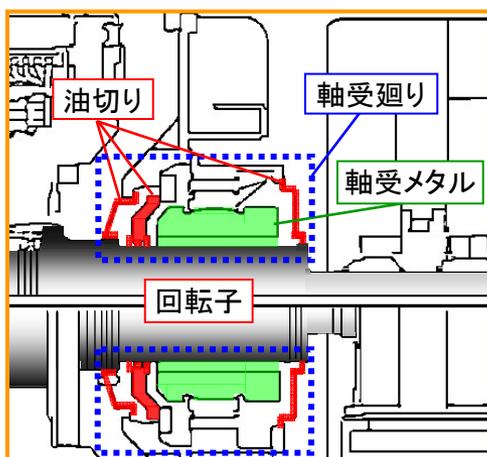
6号機



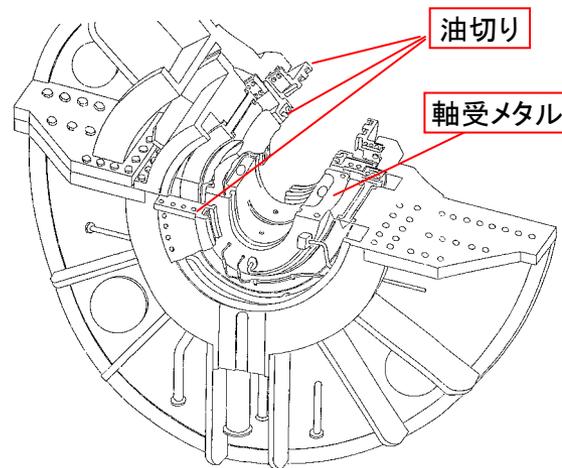
7号機



主発電機外形図



軸受廻り拡大図



軸受部構造図

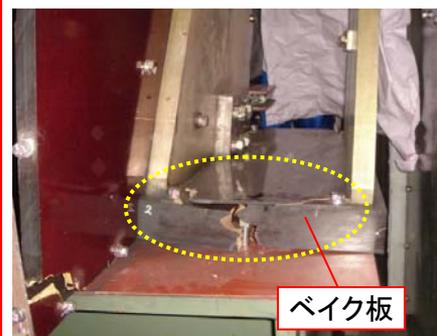
(参考資料1) 主発電機損傷箇所 (ブラシホルダー廻り)

- 地震時に回転子がブラシホルダー廻りの構成品と接触し、エア一切板等のブラシホルダー廻りの構成品に損傷が発生。
- 1号機はカップリングが切り離されており回転子が大きく揺れたため、他号機と比較してブラシホルダー廻り構成品に大きな損傷が発生。

1号機

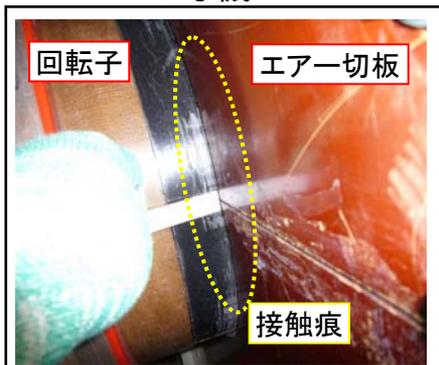


エア一切板と回転子の接触



ベイク板の損傷

5号機



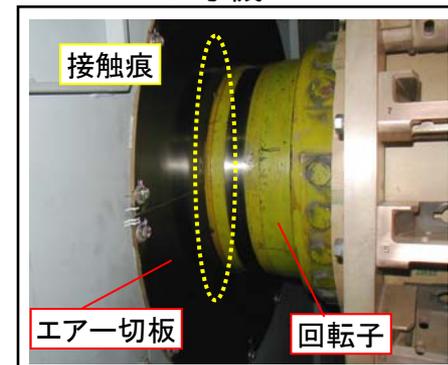
エア一切板と回転子の接触痕

6号機

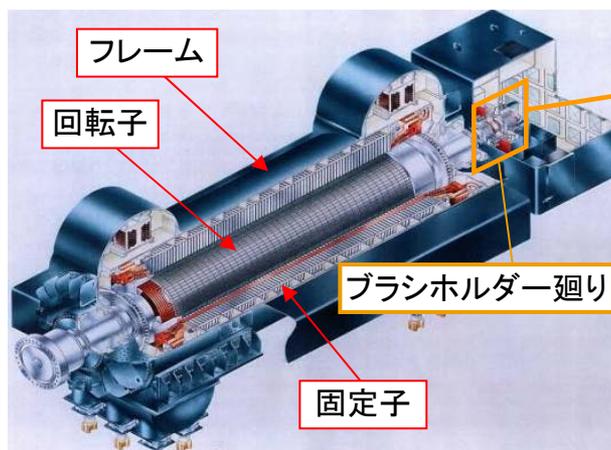


エア一切板と回転子の接触痕

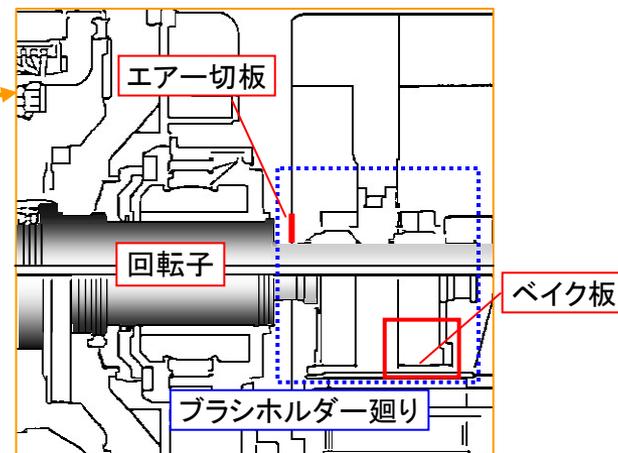
7号機



エア一切板と回転子の接触痕



主発電機外形図



ブラシホルダー廻り拡大図

(参考資料1) 主発電機損傷箇所 (キ一部・基礎ボルト部)

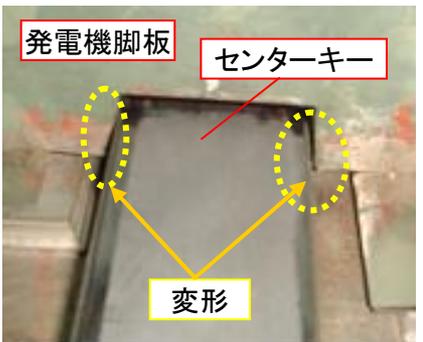
- 地震時に主発電機の固定子フレームが揺れたため、脚部に荷重が加わりキ一部の変形が発生。
- 各号機とも、同様の損傷状況を確認。

1号機



センターキー押さえ金具の変形

↓ (キー引き抜き)



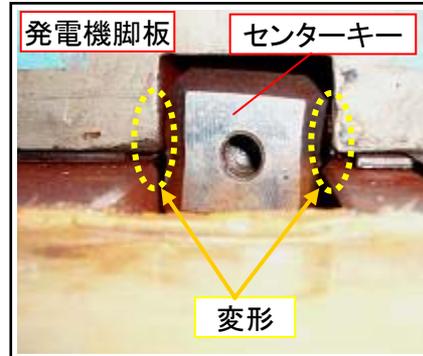
センターキーの変形
(キー引き抜き状態)

5号機



センターキーの変形

6号機

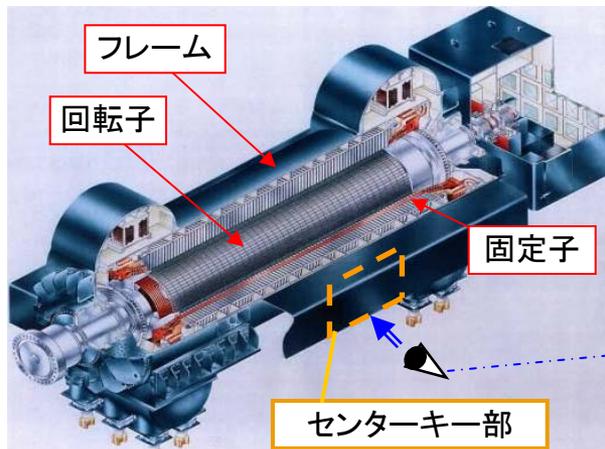


センターキーの変形

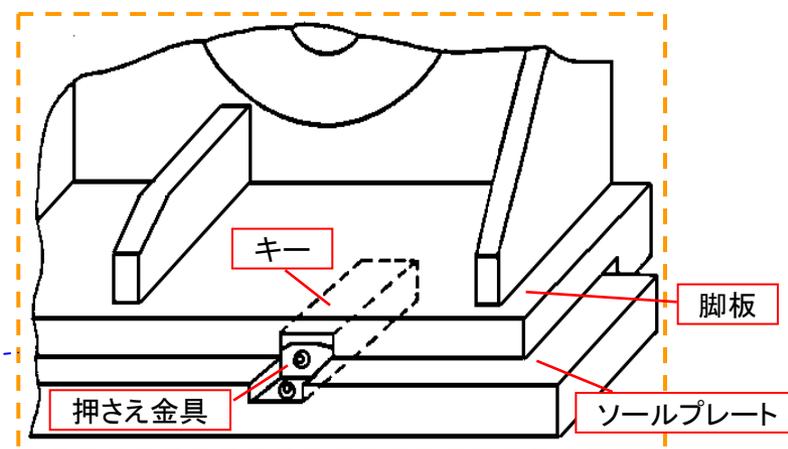
7号機



センターキーの変形



主発電機外形図



キ一部拡大図

(参考資料2) 変圧器の損傷状況の比較

号機		1号機	5号機	6号機	7号機	
地震発生時の運転状況		停止中	停止中	停止中	運転中	
確認された主な損傷	主変圧器	内部点検で確認された事象	・内部部品のずれ (絶縁物,内部固定金物)	・内部部品のずれ (内部構造物全体,巻線) ・鉄心固定金具の ボルト折損	・内部部品のずれ (絶縁物)	・内部部品のずれ (絶縁物)
		外部点検で確認された事象	放圧装置動作による漏油	放圧装置動作による漏油	放圧装置動作による漏油	放圧装置動作による漏油
		メーカー	A社	B社	B社	A社
		基礎構造	杭基礎	杭基礎	直接基礎(人工岩盤)	杭基礎(一部人工岩盤)
	所内変圧器	内部点検で確認された事象	異常なし	・内部構造物全体のずれ ・鉄心ブロックのずれ	絶縁物のずれ	異常なし
		外部点検で確認された事象	・放圧装置動作による漏油 ・基礎ボルト折損	異常なし ※	異常なし	異常なし
		メーカー	A社	B社	A社	B社
		基礎構造	杭基礎	杭基礎	直接基礎(人工岩盤)	直接基礎(人工岩盤)

※ 1号機所内変圧器では、基礎ボルトが折損したため、変圧器内部へ伝わる地震力が基礎部よりも小さくなり内部に異常が発生しなかった。これに対し、5号機所内変圧器では基礎部の損傷は無かったものの、基礎部の地震力が変圧器内部へ伝わったため内部に異常が発生したものと想定される。

 基礎構造の相違により損傷の違いが見られる

 メーカーの構造相違により損傷の違いが見られる

 運転状況による損傷の相違は見られない

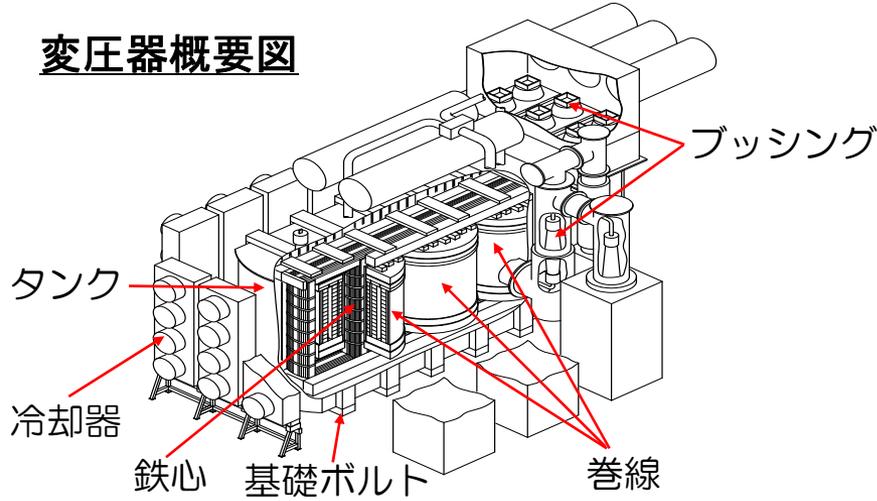
(参考資料2) 変圧器の損傷状況の比較

- 変圧器では、以下のような損傷が確認されている。
 - ✓ 変圧器は、鉄心や巻線等の重量物が変圧器内部に設置されており、地震時の鉄心や巻線等の揺れにより絶縁物のずれ等の損傷を受けた。
- 変圧器構造の相違により、基礎ボルト折損など、損傷に違いが見られた。
 - ✓ 1号機所内変圧器では、基礎ボルトが折損したため、変圧器内部へ伝わる地震力が基礎部よりも小さくなり内部に異常が発生しなかった。これに対し、5号機所内変圧器では基礎部の損傷は無かったものの、基礎部の地震力が変圧器内部へ伝わったため内部に異常が発生したものと想定される。

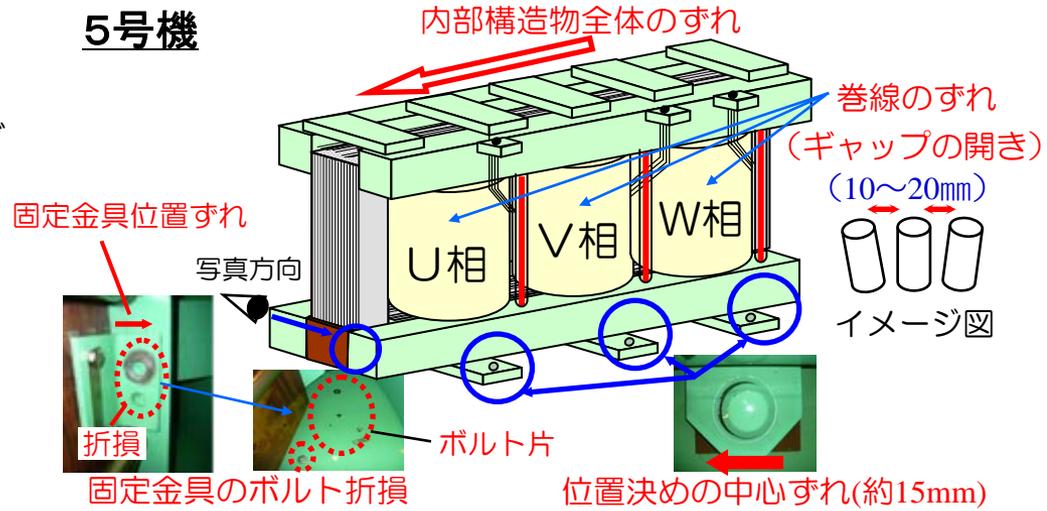
(参考資料2) 主変圧器損傷箇所 (内部点検で確認された事象)

■ 各号機とも、地震時に主変圧器内部構造物のずれ、損傷が発生。

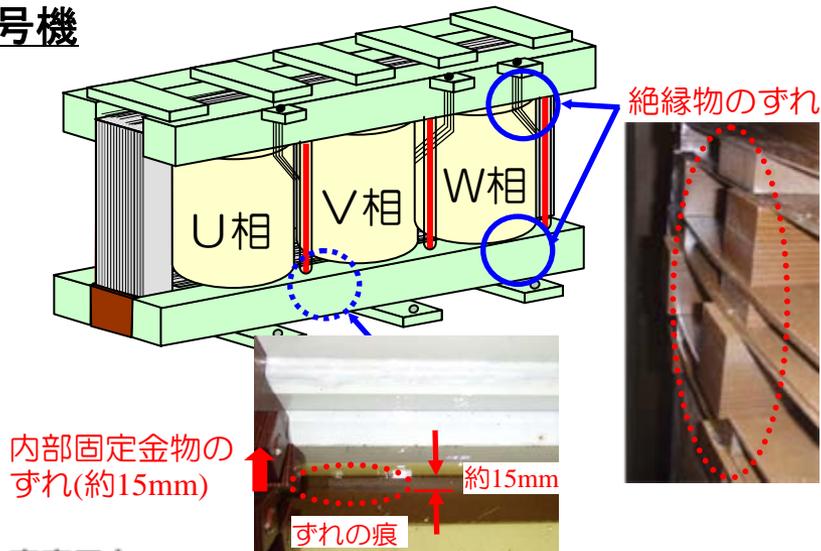
変圧器概要図



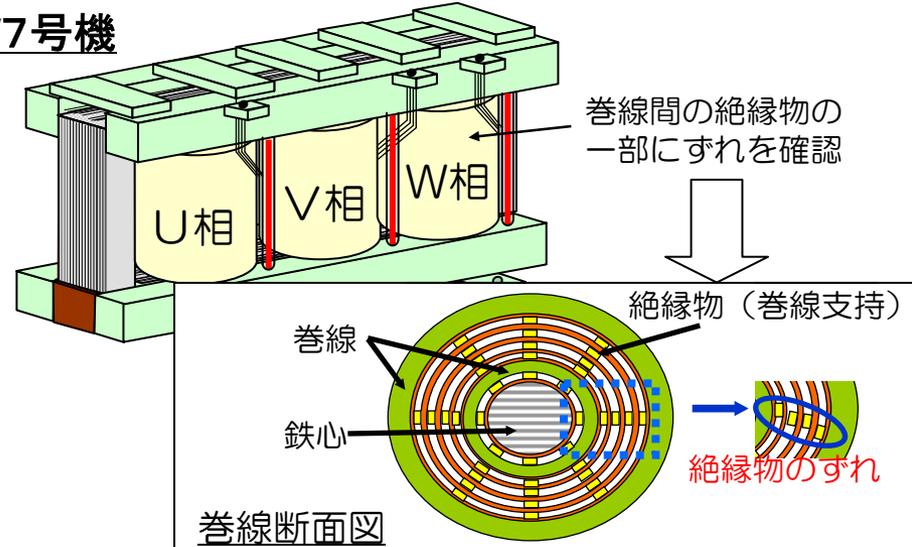
5号機



1号機



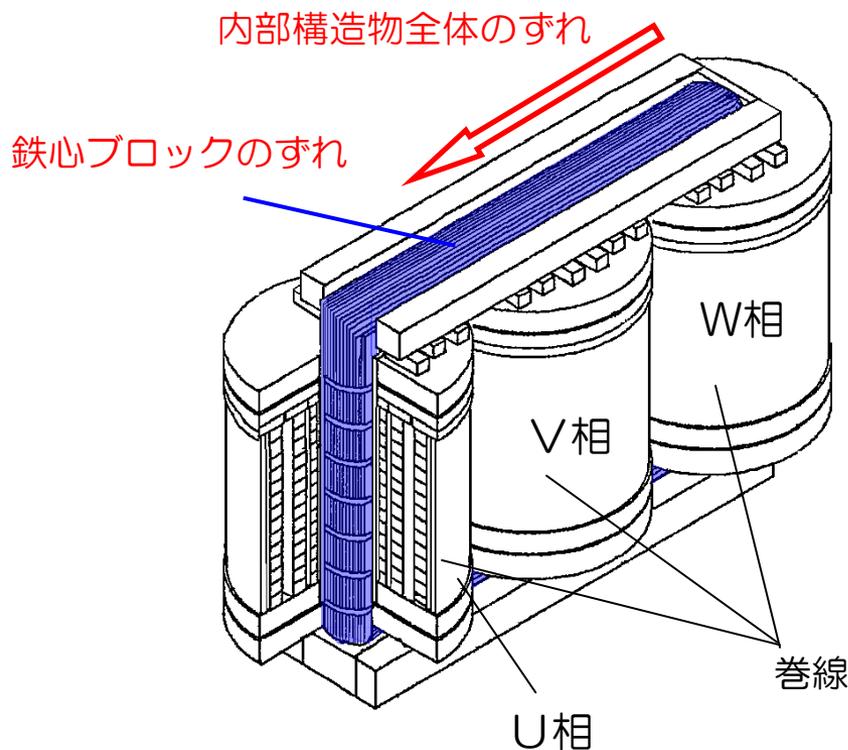
6/7号機



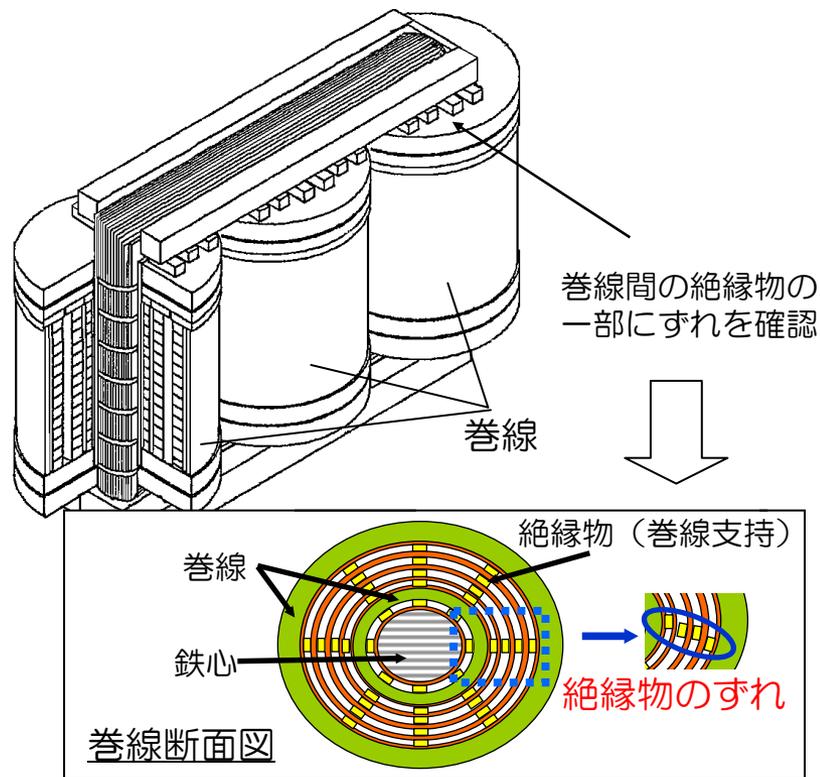
(参考資料2) 所内変圧器損傷箇所 (内部点検で確認された事象)

- 地震時に変圧器内部構造物のずれが発生。

5号機所内変圧器(A)(B)で確認された事象 (内部構造物, 鉄心ブロックのずれ)



6号機所内変圧器(A)(B)で確認された事象 (絶縁物のずれ)



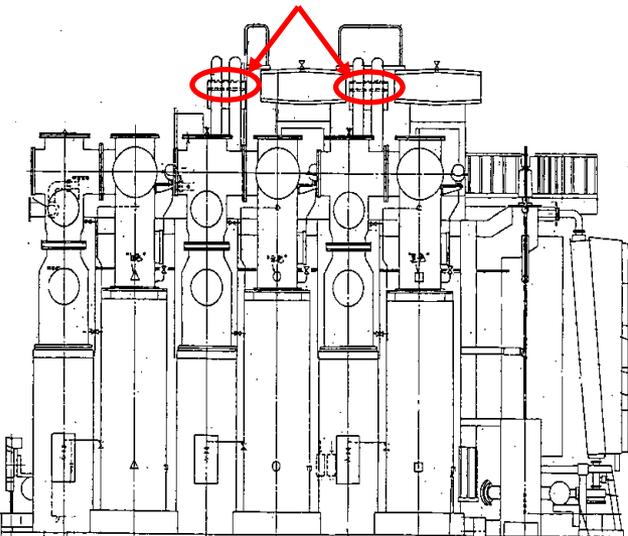
(参考資料2) 変圧器損傷箇所（外観点検で確認された事象）

- 地震時に放圧装置の動作、基礎ボルトの折損が発生。
- 基礎部の構造の違い等により、損傷度合いに差異を確認。

放圧装置動作

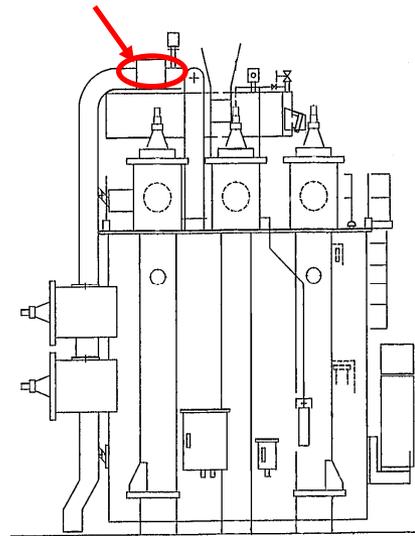
地震時の揺れにより、各号機の主変圧器および1号機所内変圧器で放圧装置が動作し、漏油が発生

放圧装置※



主変圧器外形図

放圧装置※



所内変圧器外形図

※放圧装置：

変圧器内部の事故等による異常圧力を検出し、タンク等に損傷を生じないようにガスおよび油を大気中に放出する装置(弁)

変圧器基礎ボルト折損

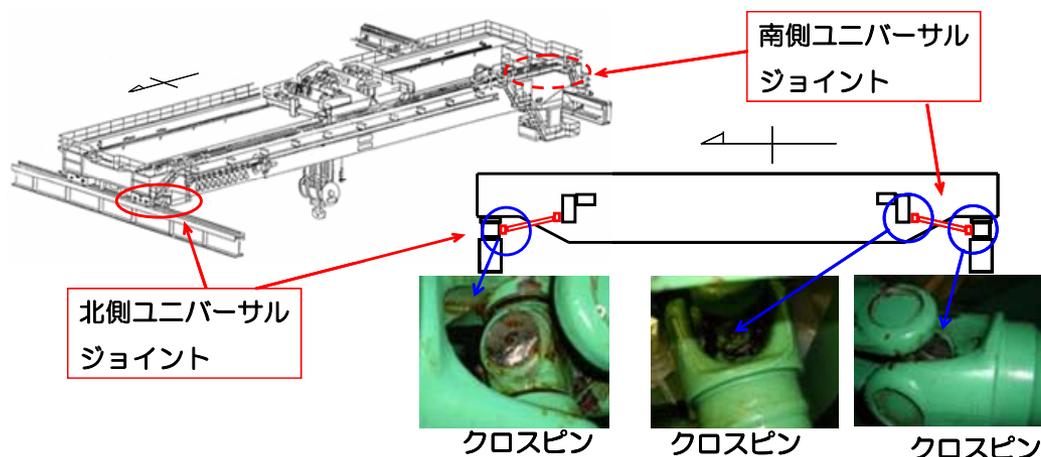
地震力過大により1号機所内変圧器(A)で基礎ボルトが折損



(参考資料3) その他不適合事象について

■ 6号機において「原子炉建屋クレーン走行伝動用継手の損傷※」が確認された。当該6号機の構造は1～3号機と同一であるが、同事象は他号機では確認されなかった。これは、6号機の上下方向の地震動が他号機と比較して大きかったため損傷が発生した事例である。

(H21.9.25第14回事象報告済)

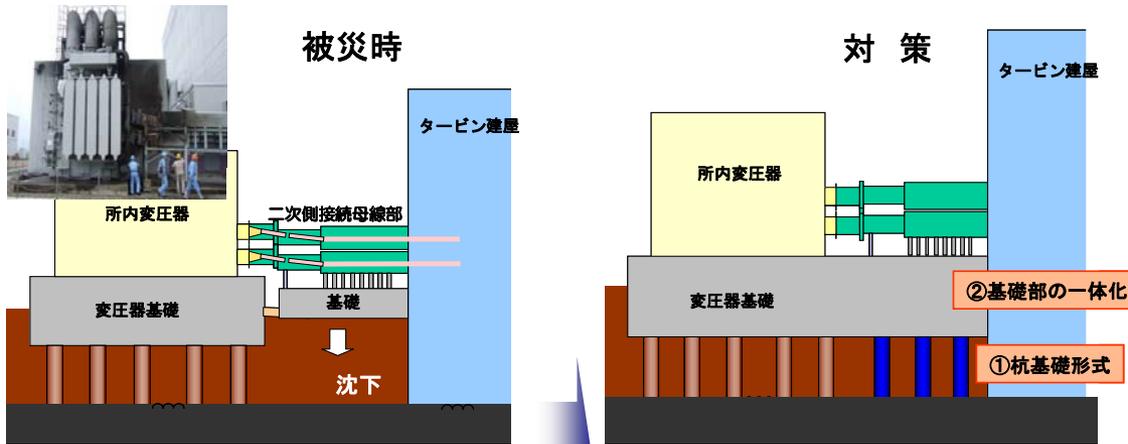


※原因は、上下方向地震動により、摩擦力が車輪に働き、駆動軸に過剰なトルクが発生し損傷したものである。

(参考資料3) その他の不適合事象について

■重要度が低い (B/C) クラスにおける地震影響に対する今後の対応について

耐震B/Cクラス設備については原形復旧を基本としているが、中越沖地震の知見を踏まえた対応も必要であり、消火配管の地上化や、火災を起こした変圧器については支持構造物の強化工事を実施した。また、今後も防災強化の観点から損傷したタンク等について、損傷原因の分析を進めていく。



変圧器及び関連設備の基礎部の不等沈下により火災が発生、屋外消火設備の損傷により、消火活動に支障をきたした。



埋設消火配管の損傷



消火配管の地上化

- 変圧器関連設備の基礎部について変圧器基礎版との一体化 等
- 屋外埋設消火配管の地上化 等



No1純水タンク

①-2 不適合事象の数量の比較について

不適合事象が確認された設備数について

- 確認された不適合事象は1号機が多いのは、定期検査中であったこと、消火系配管の損傷に伴って機器が水没した設備が多いことなどの理由が考えられる。
- また、共用設備における損傷についても1号機では共用設備が多いことから、これらを除いて数量の比較を行った。

単位：機器

分 類		1号機	5号機	6号機	7号機
		定検中期	定検末期	定検末期	運転中
点 検 設 備 数 [工事計画書対象設備]		約2000	約1790	約1540	約1360
a	地震動による損傷事象	30	25	27	16
b	強制変位による損傷事象	20	2	—	—
c	分解点検中の仮置き機器の転倒、 接触事象（1号機特有事象）	7	—	—	—
d	二次的事象による損傷事象 （1号機特有事象）	86	—	—	—
e	グラウトの微細なひび	11	6	12	13
合 計		154	33	39	29

各号機の特有の事象を考慮した不適合事象数について

- 1号機の特有の状況および共用設備を除くと、以下の数量となる。

分類		1号機	5号機	6号機	7号機
点検設備数 [工事計画書対象設備]		約2000	約1790	約1540	約1360
a	地震動による損傷事象	21 (30)	19 (25)	21 (27)	16 (16)
b	強制変位による損傷事象	4 (20)	— (2)	—	—
e	グラウトの微細なひび	5 (11)	2 (6)	12 (12)	13 (13)
共用設備で発生した事象と1号機特有の事象（cとd*1）を引いた不適合事象数		30	21	33	29

（ ）内の数値は、共用設備を含む総数

c：分解点検中の仮置き機器の転倒、接触事象

d：二次的事象による損傷事象

①-2のまとめ

- この結果、1号機の特有の事象や各号機の共用設備で発生した事象を除いた場合、不適合事象数に、大きな相違は見受けられなかった。

②地震に起因しない不適合事象について

地震に起因しない不適合事象の保全計画への反映について

- 今回の特別な保全計画では、地震後の設備健全性を確認する目的で、支持構造物や軸受部など、地震の影響を受けていると想定される部位に着目した点検を実施してきた。
- これらの点検によって、確認された不適合事象は、地震の影響による損傷のみならず、経年変化等の通常の保全計画への反映が必要な事象も確認されていることから、これらについて紹介をする。

今回の特別な保全計画の概要

■設備点検（基本点検、追加点検）項目

通常の保全活動による点検内容

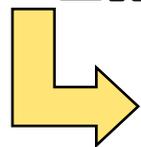
- ✓ 目視点検
- ✓ 作動・性能確認
- ✓ 漏えい点検
- ✓ 分解点検
- ✓ 非破壊試験 など

+

地震の影響を確認する観点から追加で実施した点検

- ✓ 基礎部トルク確認
- ✓ 基礎ボルト打診試験
- ✓ 配管硬さ測定 など

上記の点検手法の追加に加えて



全ての支持構造物点検を実施するなど、対象とする設備についても拡大して実施

- 地震の影響を加味した点検において、地震以外の不適合で新たな知見として得られた事象を抽出した。

特別な保全計画によって確認された地震以外の不適合事象

- 特別な保全計画を実施することによって、地震以外の原因で確認された不適合事象を以下に示す（通常の保全活動で確認可能な不適合事象を除く）。

今回の特別な保全計画によって確認された不適合事象	事象の概要	反映事項
1、6号機メカニカルスナッパ固着による動作不良（第16回事象報告済）	メカニカルスナッパに使用されるグリスが熱影響により劣化し、低速走行試験時に動作不良が確認された。	熱影響が大きい箇所や高サイクル疲労の可能性のある箇所等については、計画の見直し等必要に応じ実施する。
6号機主蒸気系配管レストレイントの溶接部のひび（第16回事象報告済）	静的レストレイントの溶接部に高サイクル疲労による割れが確認された。	
7号機気体廃棄物処理系排ガス再結合器他基礎ボルトのトルク値低下事象（第14回事象報告済）	締結力は確保されていたが、運転中の熱移動等により経年的な緩みが確認された。	運転中の熱移動等の経年的な影響を受ける設備に対して、本格点検等に合わせて、打診試験、締結管理等を実施するよう計画に反映する。
全号機、機器基礎のグラウト部の微細なひび	乾燥収縮によるものか地震によるものかが不明確であったが、機器基礎のグラウト部に微細なひびが確認されている。	グラウト部は構造強度に影響するものではないが、確認されたひびについて継続監視を行う。

- 特別な保全計画を実施することによって確認された、経年劣化事象等については、今後適切に保全計画に反映していく。

全体まとめ

総合評価の結果

地震による不適合事象

①機能への影響有り

機能への影響なし

②地震以外の不適合事象

今回紹介した内容

- ①-1 機能に影響を及ぼす損傷が確認された設備の不適合事象について
- ①-2 不適合事象の数量の比較について
- ② 地震に起因しない不適合事象について

これらで確認された知見については、今後の特別な保全計画および通常の保全計画に反映していく。

全体まとめ

①ー1 機能に影響を及ぼす損傷が確認された設備の不適合事象について

- 今回の特別な保全計画において、共通の損傷が確認された主タービン、主発電機および変圧器は、もともと追加点検を計画した設備であったが、今回の知見を踏まえ、追加点検対象設備の選定の考え方への反映・改善を図っていく。

①ー2 不適合事象の数量の比較について

- 不適合事象の数量については、共用設備等を除いた場合、各プラントで大きな相違は、見受けられなかった。

② 地震に起因しない不適合事象について

- 今回の地震後の特別な保全計画に基づき点検を実施したことで、新たな知見を確認した。これらについて今後の保全計画へ反映していく。
- また、通常保全でも確認出来るものではあったが、「6, 7号機低圧タービン動翼の翼付け根部の指示模様」などの新たな知見が確認されている。これらについて今後の保全計画へ反映していく。
- 一方、SCC、減肉などの経年劣化事象と地震の影響との重畳による損傷は確認されなかった。

1号機及び6号機的设计条件の相違

平成22年2月3日



東京電力

1号機及び6号機的设计条件の相違

■はじめに

1号機での観測記録が設計用震度を大きく上回ったが、設備点検と解析により設備は健全な状態を維持していると考ええる。

この要因について、設計条件の観点から1号機と6号機とを比較することにより考察する。

	1号機	6号機
建設着工	1978年12月	1991年9月
炉型	BWR-5	ABWR
原子力発電所耐震設計 技術指針	JEAG 4601-1970	JEAG 4601-1987 JEAG 4601・補-1984

1号機と6号機で異なる次の項目について比較する。

- 設計用震度
- 配管の設計用減衰定数

1号機及び6号機の設計条件の相違

■設計用震度

1号機及び6号機の機器は、下表の設計用震度を用いて設計された。

→設計用震度の考え方は、以下の通りである。

	耐震 クラス	機器に対する設計用震度			
		水平方向		上下方向	
		動的（加速度）	静的	動的	静的
1号機	As	安全検討地震（450Gal）	—	—	1.8 CV
	A	ILセント0, タト, ゴ-ルデ ヲグ-ト （300 Gal）	$3.6 C_H$		
	B	—	$1.8 C_H$		
	C	—	$1.2 C_H$		
6号機	As	S2（450 Gal）	—	$1/2 \times S2$	—
	A	S1（300 Gal）	$3.6 C_i$	$1/2 \times S1$	$1.2 C_v$
	B	—	$1.8 C_i$	—	—
	C	—	$1.2 C_i$	—	—

- C_H は、水平震度0.2に高さ方向の割り増しを行った震度に対して、地盤の種類及び建物、構築物の構造種別によるてい減率を乗じて求める。
- CVは、高さ方向に一定とし、基準震度0.2にてい減率を乗じて求める。
- C_i は、標準層せん断力係数を0.2とし建物・構築物の振動特性、地盤の種類等を考慮して求めた値を地上部分の水平震度と見なして求める。6号機の地下部分の水平静的震度は地下震度から求める。
- C_v は、震度0.3を基準とし、建物・構築物の振動特性、地盤の種類等を考慮して求める。

1号機及び6号機の設計条件の相違

■設計用震度

1号機及び6号機の機器に適用する原子炉建屋の設計用震度の値は下表の通り。

(1号機)

標高 (m)	設計用震度 [G]					
	水平方向 (NS/EW の包絡値)			上下方向		
	静的震度	動的震度 ※	Max	静的震度	動的震度	Max
TP 24.5	0.96	0.70	静的震度	0.29	—	静的震度
TP 18.0	0.90	0.62	静的震度	0.29	—	静的震度
TP 12.8	0.87	0.57	静的震度	0.29	—	静的震度
TP 5.3	0.81	0.49	静的震度	0.29	—	静的震度
TP -2.7	0.75	0.45	静的震度	0.29	—	静的震度
TP -9.7	0.70	0.41	静的震度	0.29	—	静的震度
TP -16.1	0.64	0.37	静的震度	0.29	—	静的震度
TP -25.1	0.58	0.32	静的震度	0.29	—	静的震度
TP -32.5	0.58	0.34	静的震度	0.29	—	静的震度

(6号機)

標高 (m)	設計用震度 [G]					
	水平方向 (NS/EW の包絡値)			上下方向		
	静的震度	動的震度	Max	静的震度	動的震度	Max
T.M.S.L. 38.2	0.78	0.50	静的震度	0.29	0.19	静的震度
T.M.S.L. 31.7	0.69	0.44	静的震度	0.29	0.19	静的震度
T.M.S.L. 23.5	0.62	0.39	静的震度	0.29	0.19	静的震度
T.M.S.L. 18.1	0.58	0.36	静的震度	0.29	0.19	静的震度
T.M.S.L. 12.3	0.44	0.32	静的震度	0.29	0.19	静的震度
T.M.S.L. 4.8	0.36	0.26	静的震度	0.29	0.19	静的震度
T.M.S.L. -1.7	0.29	0.25	静的震度	0.29	0.19	静的震度
T.M.S.L. -8.2	0.22	0.24	動的震度	0.29	0.19	静的震度

※ 300ガルに規格化したレベル、かつ、コンクリート構造の各地震動に対する応答加速度の最大値を1.2倍した値。

TP : Tokyo Peil
T.M.S.L. : Tokyo bay Mean Sea Level

原子炉建屋のAクラス機器の設計用震度

[水平方向]

- 1号機、6号機ともに、静的震度が動的震度より大きい傾向にある。
- 1号機の静的震度は、6号機の静的震度に比べて大きい。

[上下方向]

- 1号機は静的震度が設計に用いられ、6号機は静的震度が動的震度より大きい。
- 1号機、6号機ともに、静的震度は同じ値である。

1号機及び6号機の設計条件の相違

■配管の設計用減衰定数

1号機及び6号機の配管設計で用いた減衰定数を下表に示す。

設計用減衰定数の比較（配管）

1号機	0.5%		
	配管区分	保温材有	保温材無
6号機	I	2.5	2.0
	II	1.5	1.0
	III	1.0	0.5

配管区分Ⅰ：スナバ及び架構レストレイント支持主体の配管系でその支持具（スナバ又は架構レストレイント）数が4個以上のもの。

配管区分Ⅱ：スナバ、架構レストレイント、ロッドレストレイント、ハンガ等を有する配管系でその支持具（アンカ及びUボルトを除く）数が4個以上で、配管区分Ⅰに属さないもの。

配管区分Ⅲ：配管区分Ⅰ及びⅡに属さないもの。

- 1号機の配管は、小さい減衰定数（0.5%）を適用して設計



1号機の配管は6号機に比べて安全側の条件で設計されており、その耐震設計余裕は大きい。

1号機及び6号機的设计条件の相違

■まとめ

1号機での観測記録が設計用動的地震動を上回ったが、1号機設備が健全な状態を維持していることは、1号機的设计条件が以下のように設定されていたことが1つの要因であると考ええる。

- 1号機設備は、大きな静的震度を適用して設計されている。
- 配管的设计用減衰定数として、1号機は0.5%を適用している。