

柏崎刈羽原子力発電所における 新潟県中越沖地震による 損傷に対する対応状況

平成20年3月7日
東京電力株式会社



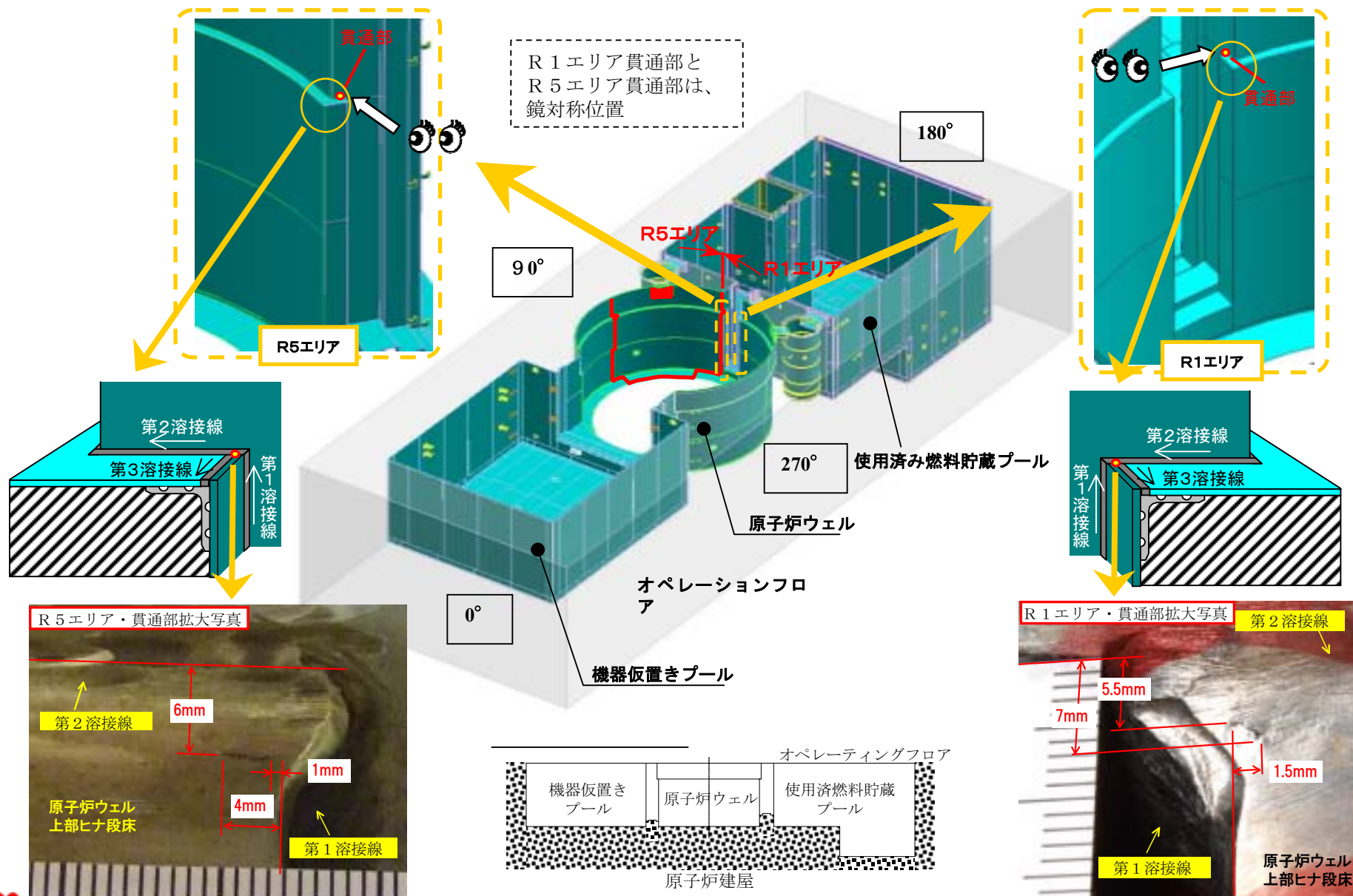
東京電力

目次

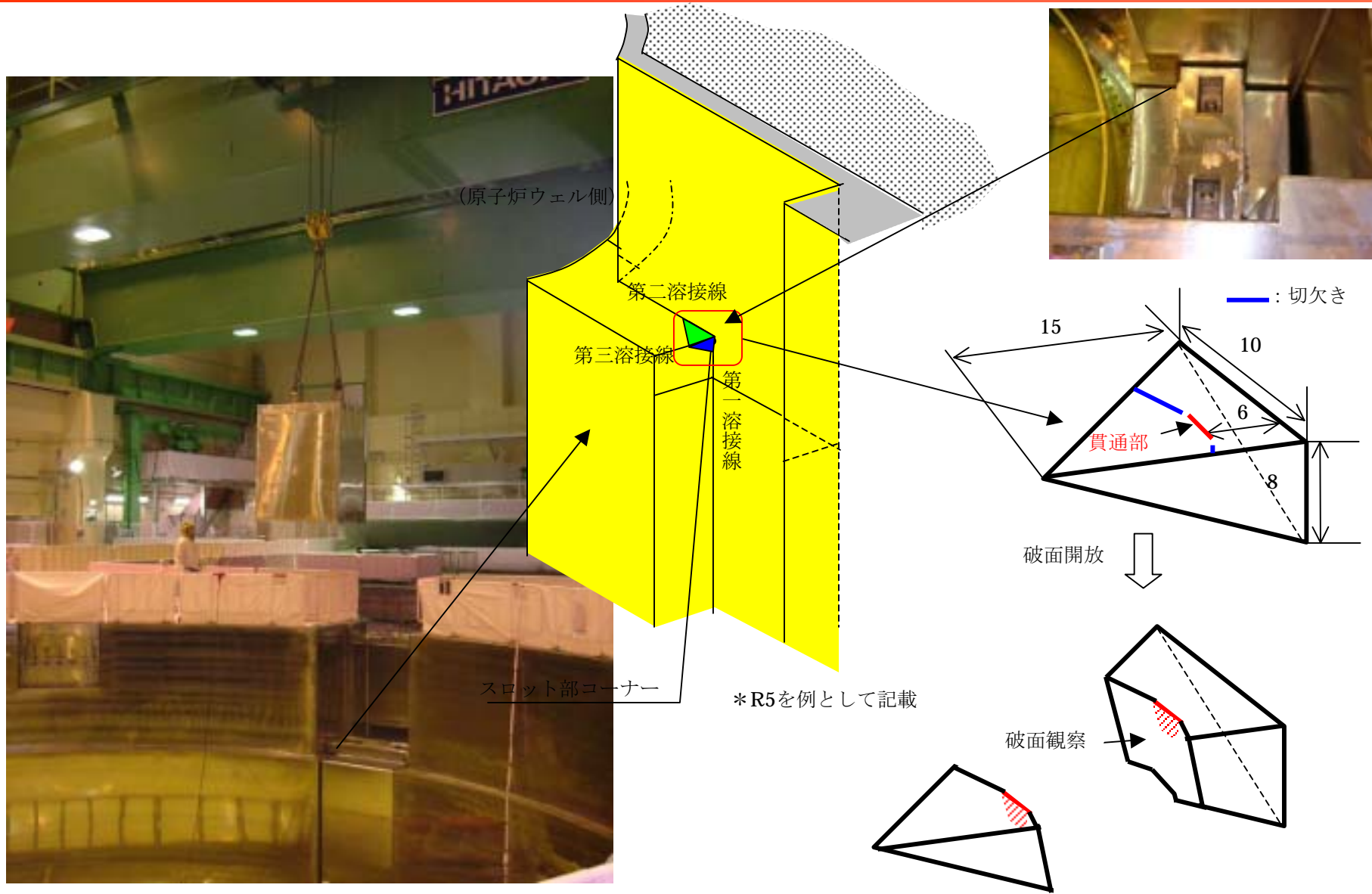
- (1) 7号機 ウェルライナーの損傷
について
- (2) 7号機 低圧タービン（C）
翼付け根部の損傷確認について
- (3) 6号機 原子炉建屋天井クレーンを
駆動させる軸の継手の破損について

(1) 7号機ウェルライナーの
損傷について

貫通傷発生箇所

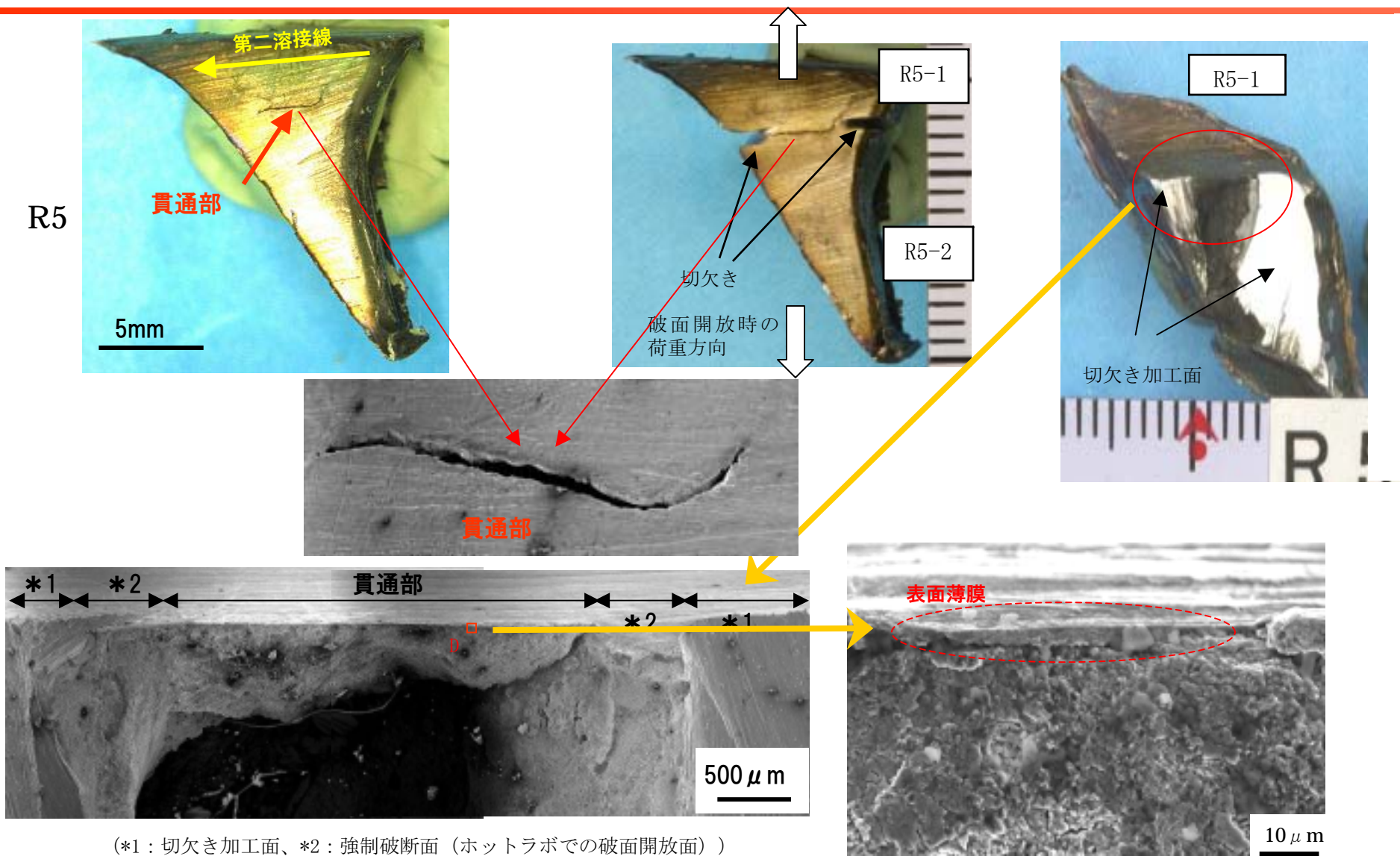


当該部切り出し (ボートサンプル観察)



スロットプラグ玉掛け作業写真 (イメージ)

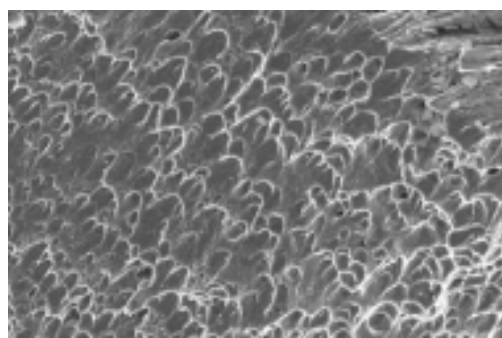
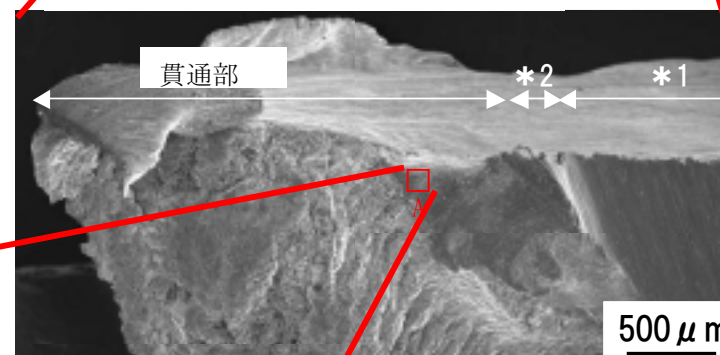
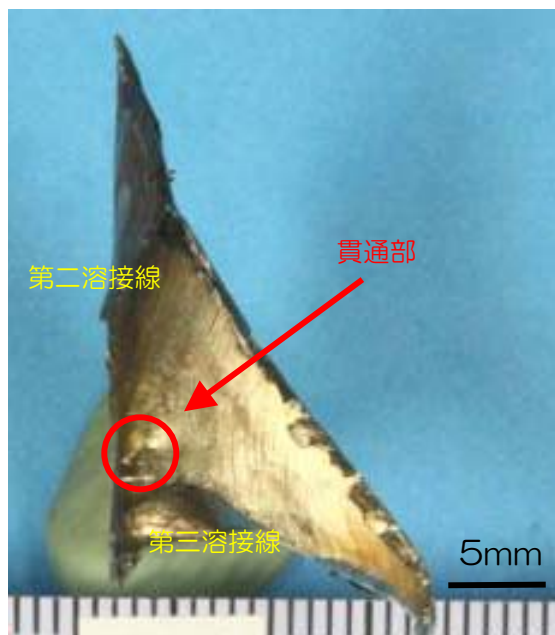
当該部切り出し調査結果（ボートサンプル観察結果）



(*1: 切欠き加工面、*2: 強制破断面 (ホットラボでの破面開放面))

貫通部表面に薄膜が見られた

当該部切り出し調査結果（ボートサンプル観察結果）



強制破断面
が見られた

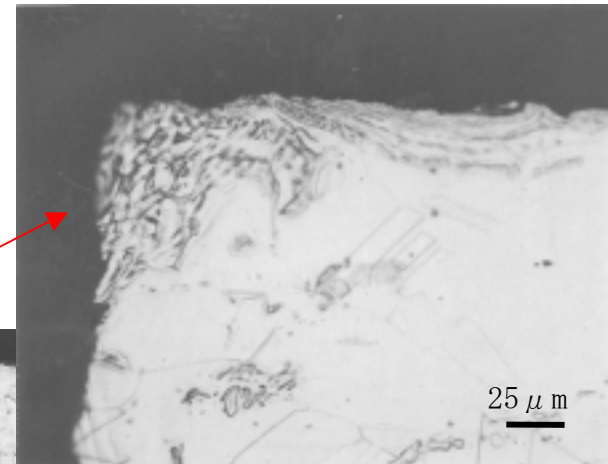
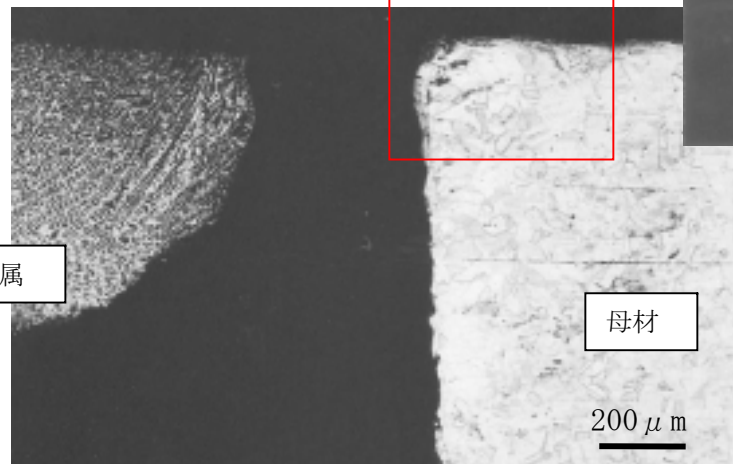
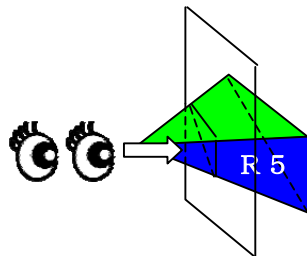
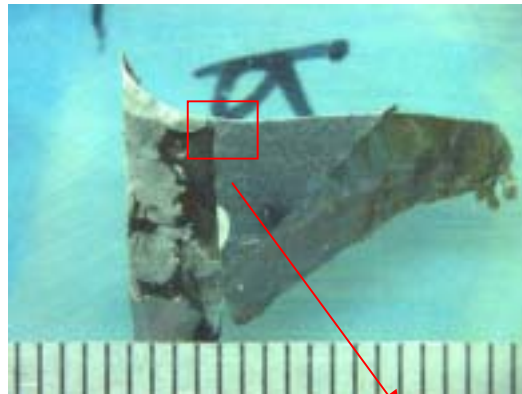
ディンプル:
ほぼ全面

*1: 切欠き加工面
*2: 強制破断面

10 μm

当該部切り出し調査結果（ボートサンプル観察結果）

断面観察



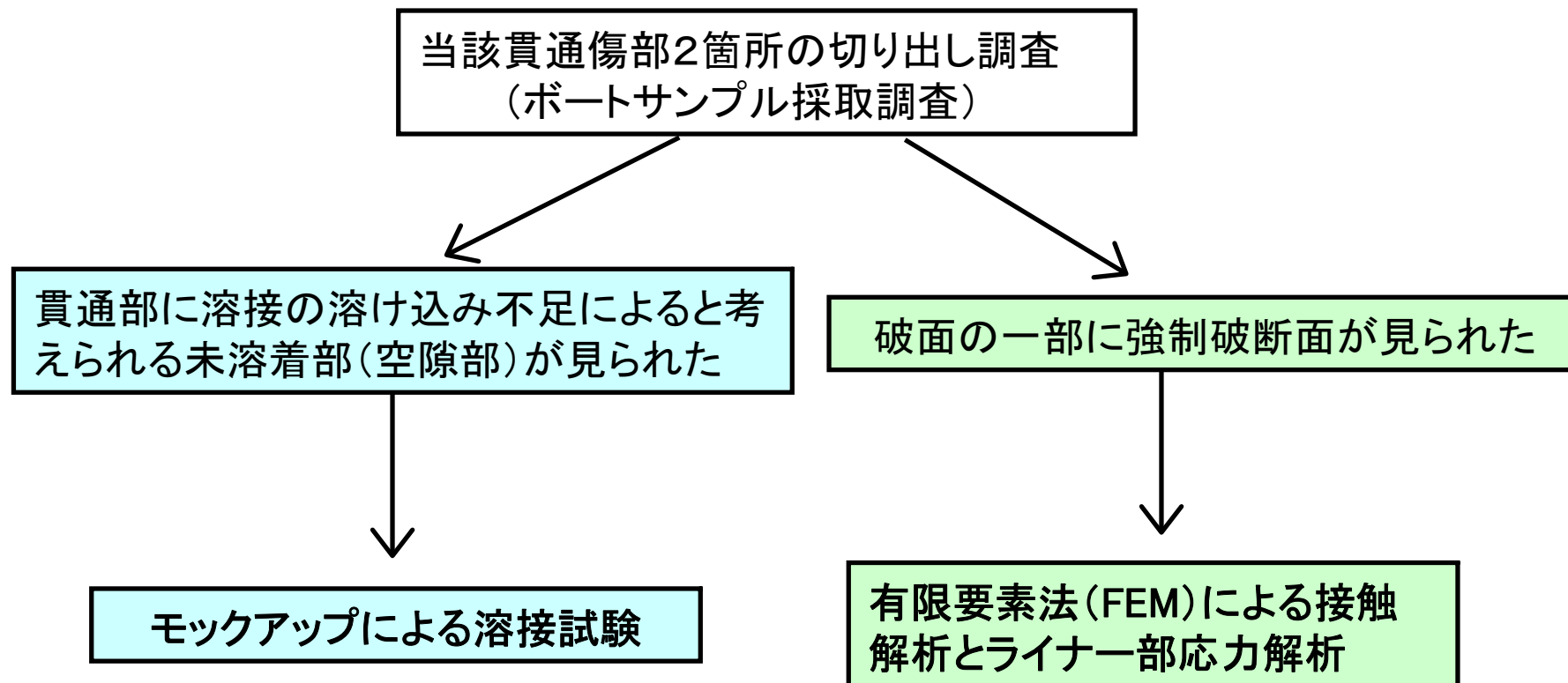
貫通部に溶け込み不足と考えられる未溶着部が確認された。

貫通部表層部近傍に母材溶け込み部が確認された。

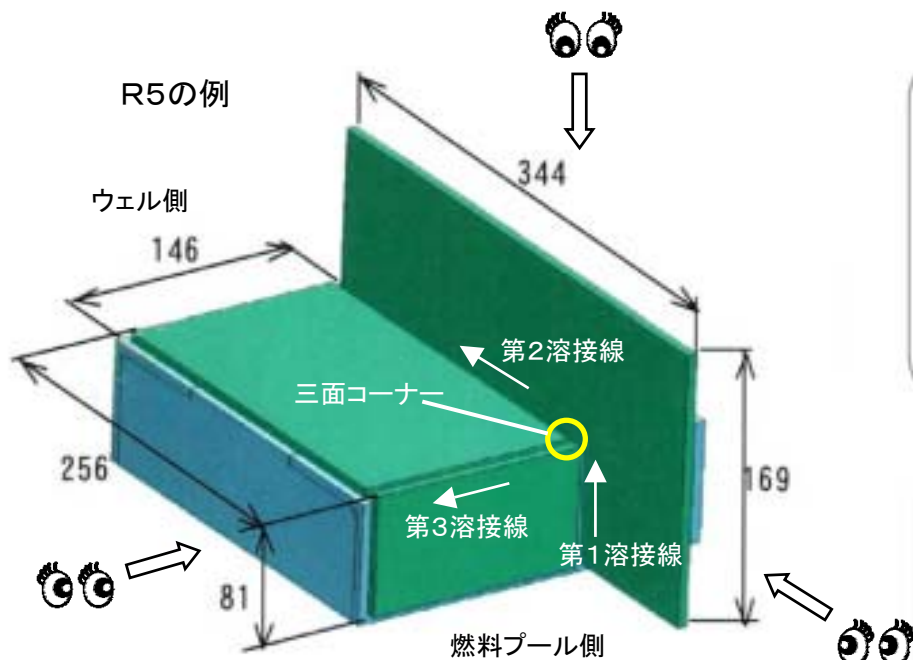
a) R5

図4 断面観察

調査概要



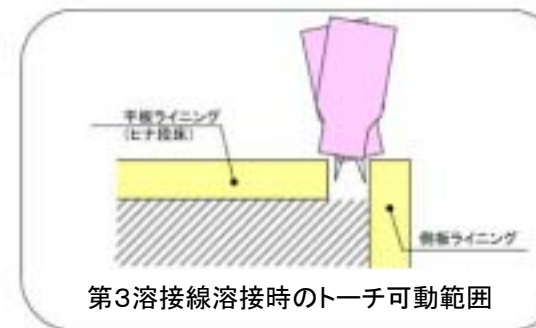
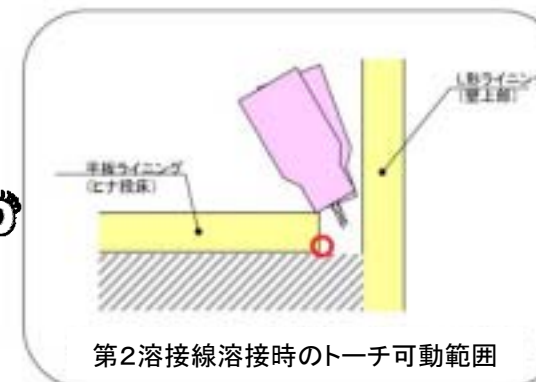
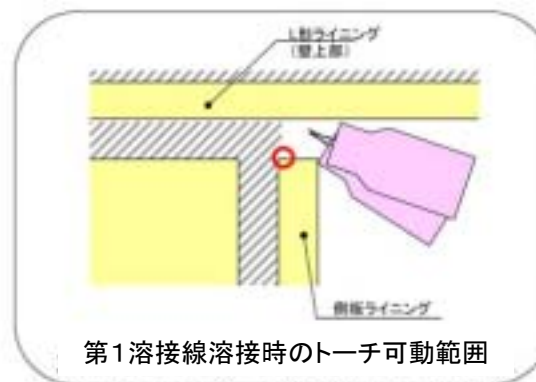
モックアップによる溶接試験結果



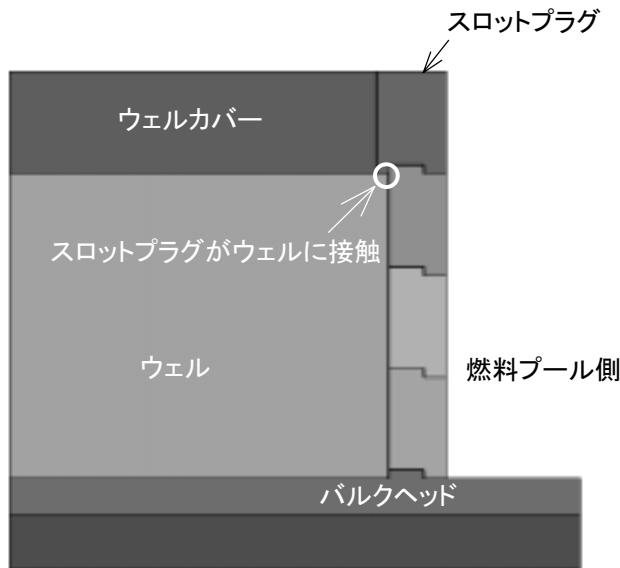
溶接トーチ可動範囲に制限があることによつて、第1溶接線終端部と第2溶接線始端部（R1では終端部）の結合部（黄丸部）に未溶着部（空隙部）を生じてしまう可能性がある。



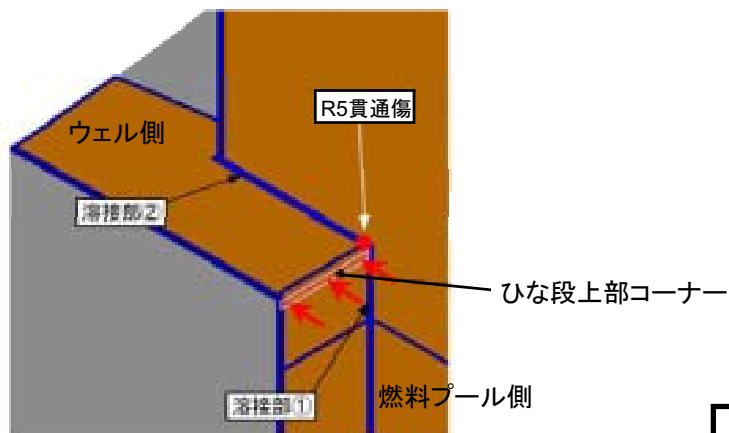
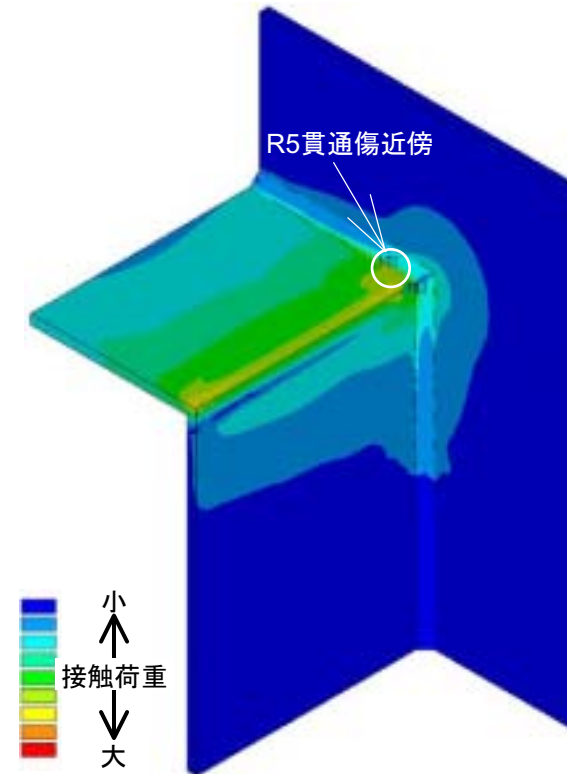
モックアップにより実際に溶接を実施した結果、当該部は未溶着部（空隙）が生じる可能性が比較的高いことがわかった。



有限要素法 (FEM) による接触および応力解析結果



R5を代表として解析



有限要素法 (FEM) による接触解析の結果、地震によりスロットプラグがひな段上部コーナーに接触した可能性があることがわかった。

有限要素法 (FEM) によるライナー部応力解析の結果、地震によりスロットプラグがひな段上部コーナーに接触した場合、当該貫通傷近傍に過大荷重がかかることがわかった。

調査結果

- ・ ボートサンプル採取により、当該溶接部には溶接溶け込み不足による残存板厚の薄い箇所が存在し、外力による過大な荷重によって一部に強制破断した形跡が観察された。

さらに、モックアップ溶接試験により、当該部のような三面コーナーではその形状から溶接溶け込み不足が発生しやすいことが確認された。

なお原子炉ウェルは停止作業時に水張りをする非耐圧部であり、初層PTの要求はなく7号機は実施していなかった。

また7号機は建設時に、当該部の溶接余盛り部を平滑化のためにグラインダで除去していた。

FEM解析より、地震によってスロットプラグがひな段上部コーナーに接触した可能性があり、この場合、当該部に過大応力が発生することを確認した。

推定原因

調査結果からの推定

R1, およびR5の三面コーナー溶接部に, 形状が複雑で溶接が難しいことにより, 溶接溶け込み不足が存在していた。さらに建設時に溶接余盛り部を平滑化のためにグラインダで除去していたため, より残存板厚が薄くなり, 薄膜部が形成されていた。

新潟県中越沖地震発生により, スロットプラグがひな段上部コーナーに接触し, 薄膜部に過大な荷重がかかったことにより, 薄膜部が貫通した。

当該部補修

漏えいのあった2箇所は、開先形成後に以下の要領で補修を行う。

- ① 初層溶接後にPTを行い、溶け込みを確実に確認する。
- ② 補修後の漏えい確認のため、最終層PTおよび真空発泡試験を行う。

溶接後のグラインダ仕上げは、スロットプラグと接触する部位に最小限行うこととし、残存板厚を極力多くする。

類似箇所調査

原子炉ウェルに加えて、使用済み燃料プール、蒸気乾燥器・気水分離器ピットおよびこれらを接続するライニングに対して、以下3条件重畳箇所を抽出した。

- ① 三面コーナ一部に位置する溶接部
- ② 地震時にスロットプラグ等の外力を受ける溶接部
- ③ 初層溶接後のPT検査が行われておらず、かつ溶接余盛り部を除去している溶接部

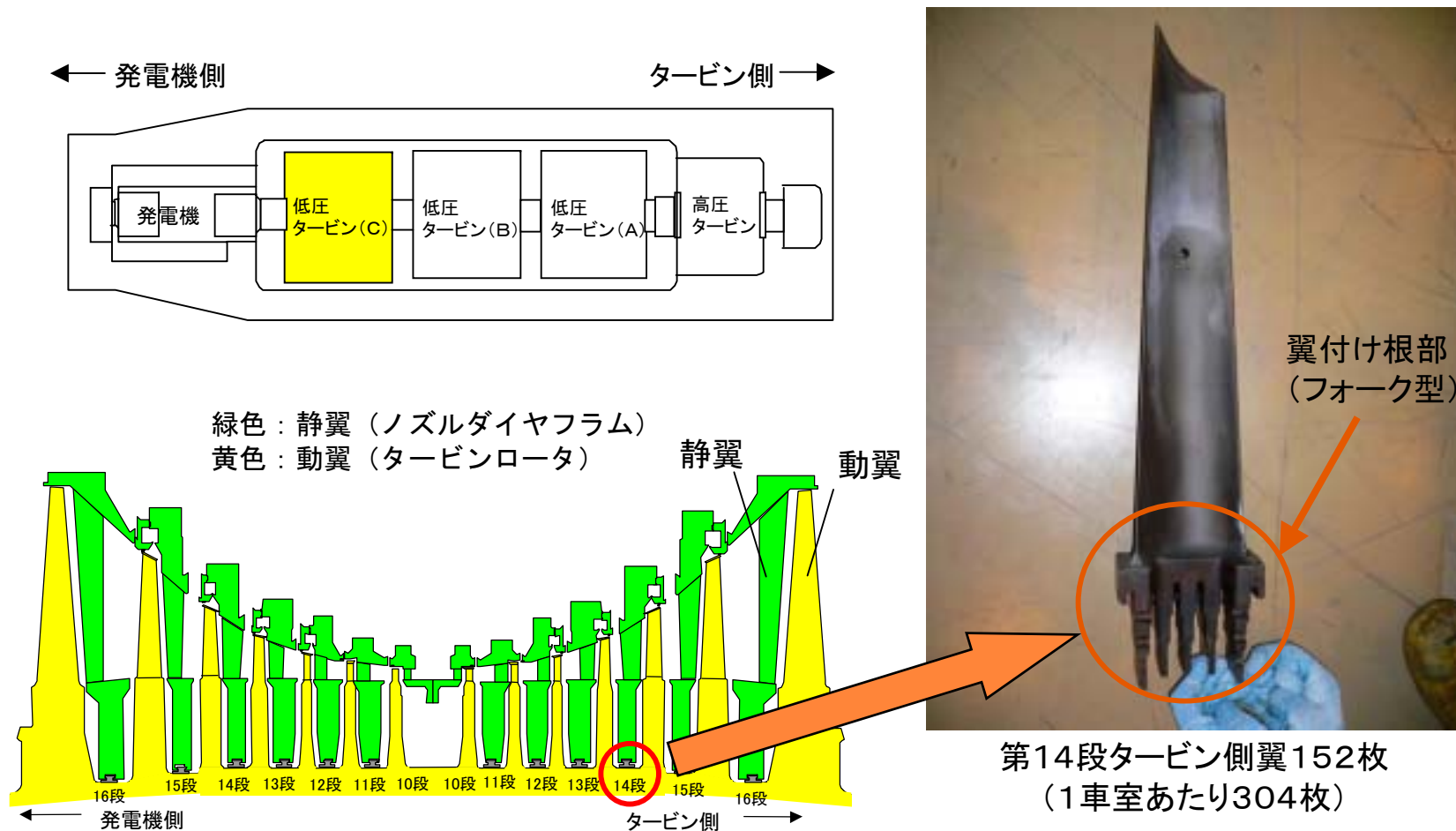
調査の結果7号機における類似箇所は32箇所抽出された。

類似箇所に対してUTによる非破壊検査を実施することによって溶接部の板厚調査を行い、残存板厚3mm以下と検出された箇所については当該貫通傷のあった箇所と同様の補修溶接を行う。当該号機において、補修溶接対象箇所はR5ひな段角部(当該貫通傷R5に対してウェル側)に1箇所であった。

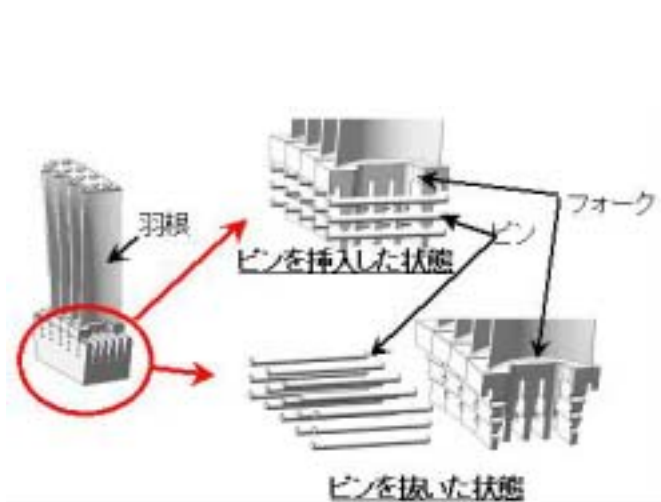
(2) 7号機 低圧タービン (C) 翼付け根部の損傷確認について

7号機 タービン動翼損傷状況

- 7号機の低圧タービン（C）の点検を行っていたところ、第14段（L-2）動翼付け根部が損傷していることを確認



7号機 タービン動翼損傷状況



フォーク型付け根部 概略図

シュラウド
(1群は翼4枚をシュラウドにて固定)



第14段タービン側翼抜取部

固定ピン差込み穴部で損傷



フォーク健全部(118枚目)



フォーク損傷部(119枚目)



フォーク損傷部(119枚目)

7号機 タービン点検状況

■ 7号機のタービン点検状況は以下のとおり

＜超音波探傷結果＞

- 低圧タービン（C）第14段タービン側動翼119枚目（当該翼）のフォークピンに有意な指示を確認した。
- それ以外の動翼のフォークピンについては、高圧・低圧タービンともに有意な指示は確認されていない。

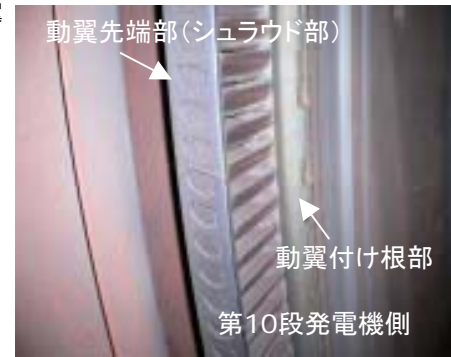
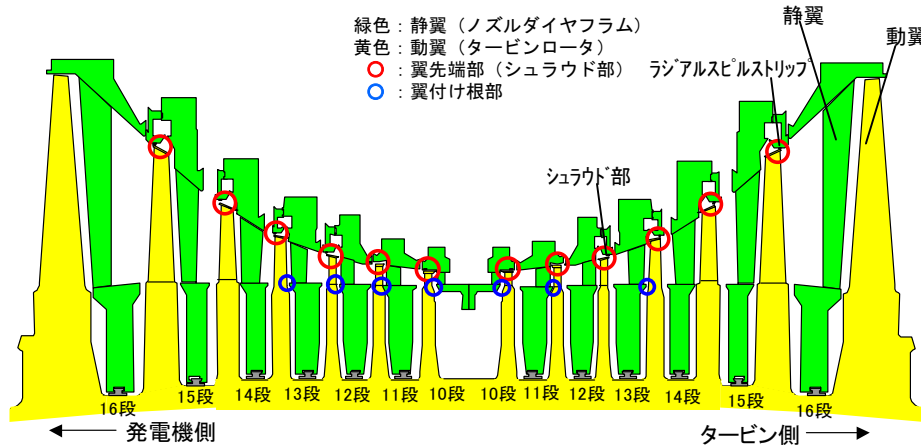
＜目視点検：動翼取外し後＞

- 当該翼のフォーク部（付け根部）を目視確認したところ、フォークに損傷がみられた。

■ 今後の予定

- 損傷部の破面観察を行い、損傷原因の特定を行う予定。

7号機 低圧タービン (A) 目視点検状況



	段数	接触部位		状況
		動翼	静翼	
タービン側	10	シュラウド部	左記対応部位	摩耗
		翼付け根部	〃	摩耗
	11	シュラウド部	〃	摩耗
		翼付け根部	〃	接触痕(光沢のみ)
	12	シュラウド部	〃	摩耗
		翼付け根部	〃	接触痕(光沢のみ)
発電機側	10	シュラウド部	左記対応部位	摩耗
		翼付け根部	〃	摩耗
	11	シュラウド部	〃	摩耗
		翼付け根部	〃	摩耗
	12	シュラウド部	〃	摩耗
		翼付け根部	〃	摩耗
13	湿分分離翼部※1	〃	摩耗	
	翼付け根部	〃	摩耗	



第13段発電機側 シュラウド部



第13段発電機側 湿分分離翼部

※1 第13段～15段は湿分分離翼であり、湿分分離翼は構造上シュラウドより蒸気入口側に突出している(写真上参照)。翼等の修理方法については今後検討予定。

注) 動翼シュラウド部と静翼ラジアルスピルストリップ部との接触痕(光沢のみ)はタービン側、発電機側12～15段にある。

7号機 タービン点検状況

- 7号機のタービン点検状況は以下のとおり

＜目視点検結果＞

- 高圧タービン

軽微な接触痕を確認している

- 低圧タービン（A）

動翼先端部および付け根部に摩耗を確認している

- 低圧タービン（B）

動翼先端部に摩耗を確認している

- 低圧タービン（C）

動翼先端部および付け根部に軽微な接触痕を確認している

<参考> 7号機 タービン動翼諸元（フォーク型）

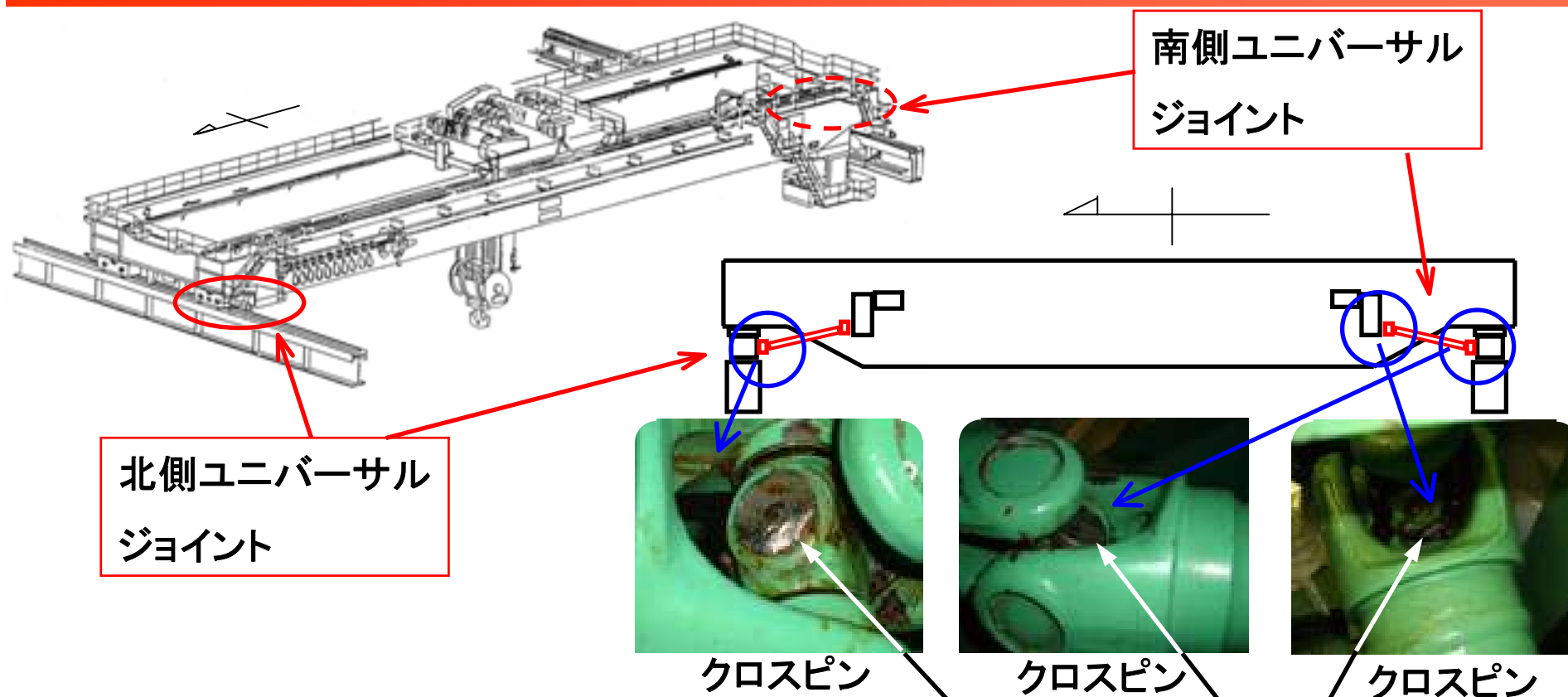
	第14段 (L-2)	第15段 (L-1)	第16段 (L-0)
動翼枚数 (フロー当たり)	152	130	126
動翼材質	12Cr鋼		
フォーク数	5	5	7
フォークピン 材質	Cr-Mo-V鋼		
翼長 (mm)	486.4	835.2	1310.6
タイワイヤ本数	1本	1本	2本
シュラウド有無	4枚綴り	7枚綴り	無
運転開始	1997年7月 (タービン累積運転時間：70313時間)		
製造メーカー	米 ゼネラルエレクトリック社		

<参考>他プラントの点検状況

号機 (運転状況)	項目	高圧タービン	低圧タービン (A)	低圧タービン (B)	低圧タービン (C)
1号機 (定検中)	内部状況確認	地震発生時車室開放状態	地震発生時車室開放状態	地震発生時仮組込状態 軽微な接触痕あり [平成19年11月30日完了]	地震発生時車室開放状態
	詳細点検	点検時期調整中			
2号機 (起動中)	内部状況確認	軽微な接触痕あり [平成19年12月21日完了]	軽微な接触痕あり [平成19年12月21日完了]	対象外*	
	詳細点検	点検時期調整中			
3号機 (運転中)	内部状況確認	軽微な接触痕あり [平成19年12月14日完了]	摩耗箇所あり (公表区分Ⅲ) [平成19年12月14日完了]	対象外*	
	詳細点検	点検時期調整中			
4号機 (運転中)	内部状況確認	軽微な接触痕あり [平成19年12月14日完了]	摩耗箇所あり (公表区分Ⅲ) [平成19年12月14日完了]	対象外*	
	詳細点検	点検時期調整中			
5号機 (停止中)	内部状況確認	軽微な接触痕あり [平成19年12月14日完了]	軽微な接触痕あり [平成19年12月14日完了]	対象外*	
	詳細点検	点検時期調整中			
6号機 (定検中)	内部状況確認	軽微な接触痕あり [平成19年10月25日完了]	軽微な接触痕あり [平成19年10月25日完了]	対象外*	
	詳細点検	点検時期調整中			
7号機 (運転中)	内部状況確認	軽微な接触痕あり [平成19年11月30日完了]	摩耗箇所あり (公表区分Ⅲ) [平成19年11月30日完了]	対象外*	
	詳細点検			摩耗箇所あり (続報)	破損箇所あり (公表区分Ⅲ)
[平成19年12月1日～平成20年3月末]					

(3) 6号機原子炉建屋天井クレーンを
駆動させる軸の継手の破損について

概要

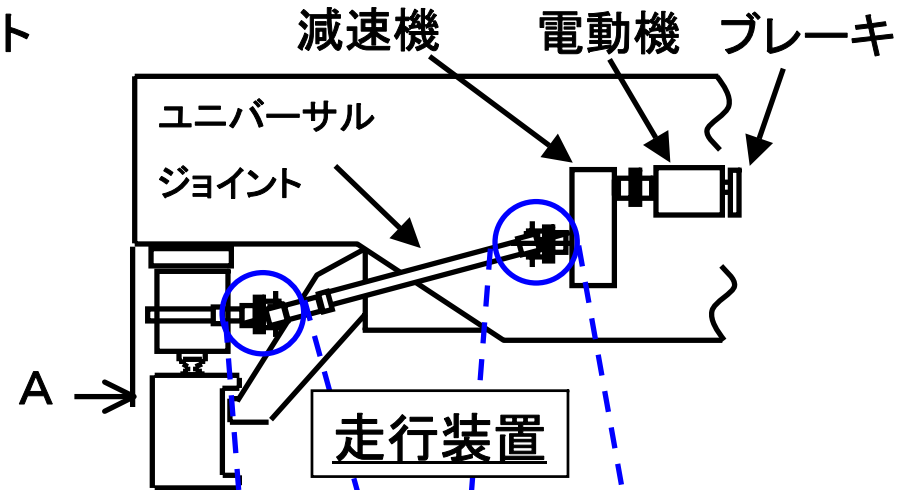
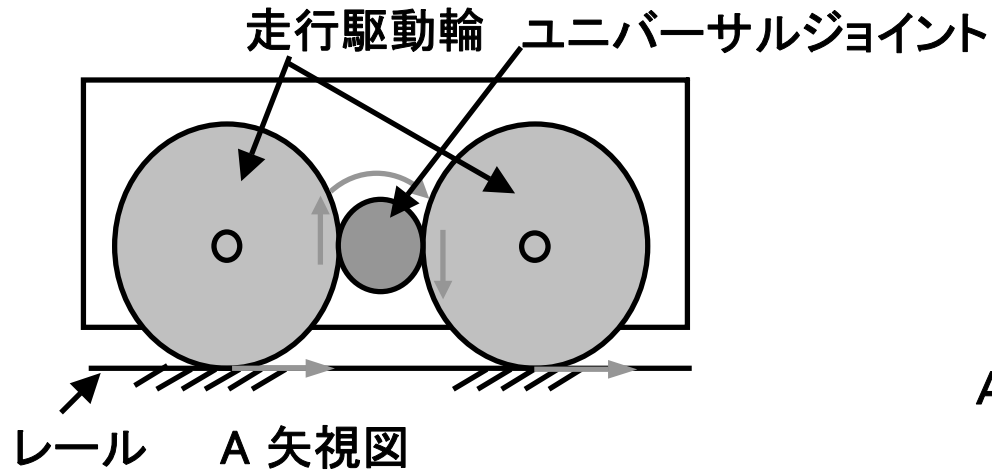


ユニバーサルジョイント	クロスピン	状態
北側	車輪側	×
	電動機側	○
南側	車輪側	×
	電動機側	×

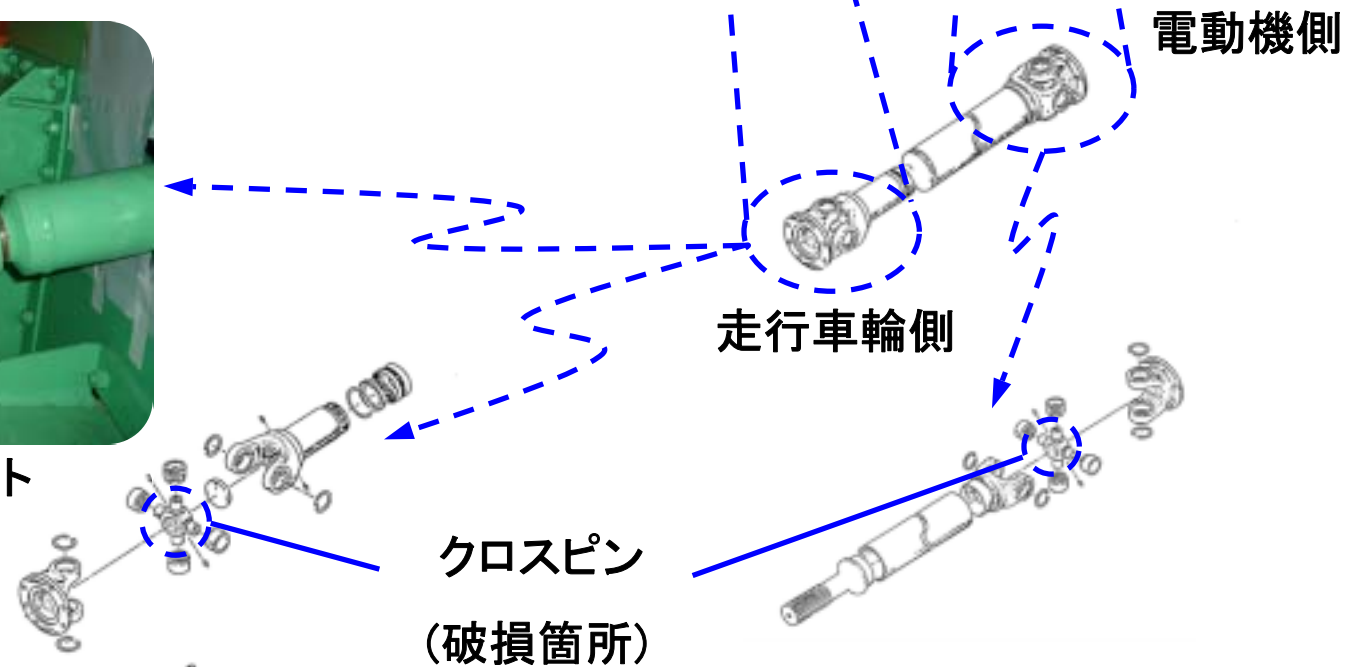
○ : 正常

× : 異常

概要



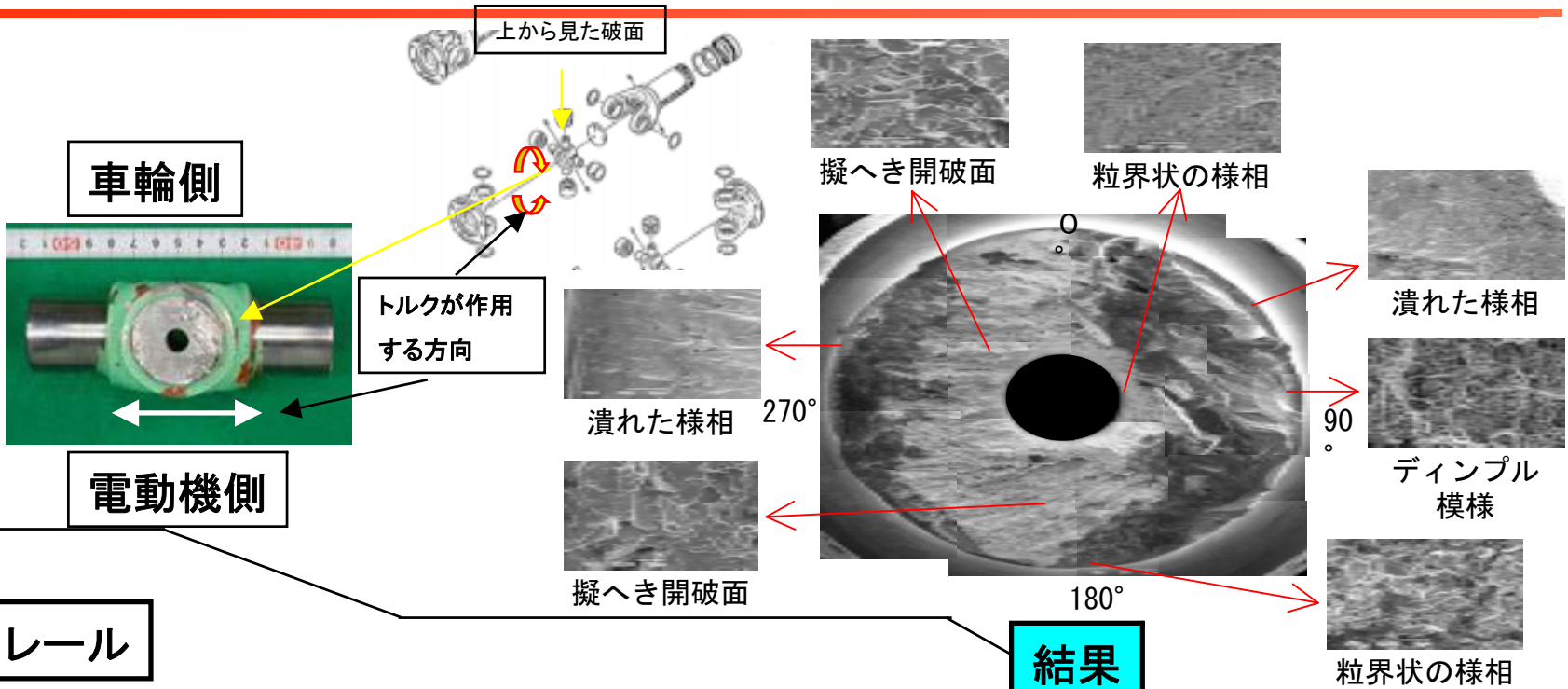
ユニバーサルジョイント
(南側車輪側)



調査結果

破面

SCM420H
(低合金鋼)



結果

破断面同士が接触したことによるものと考えられる「潰れ」が多いが、破面の大半は若干の延性破面が混在した擬へき開破面*1であった。

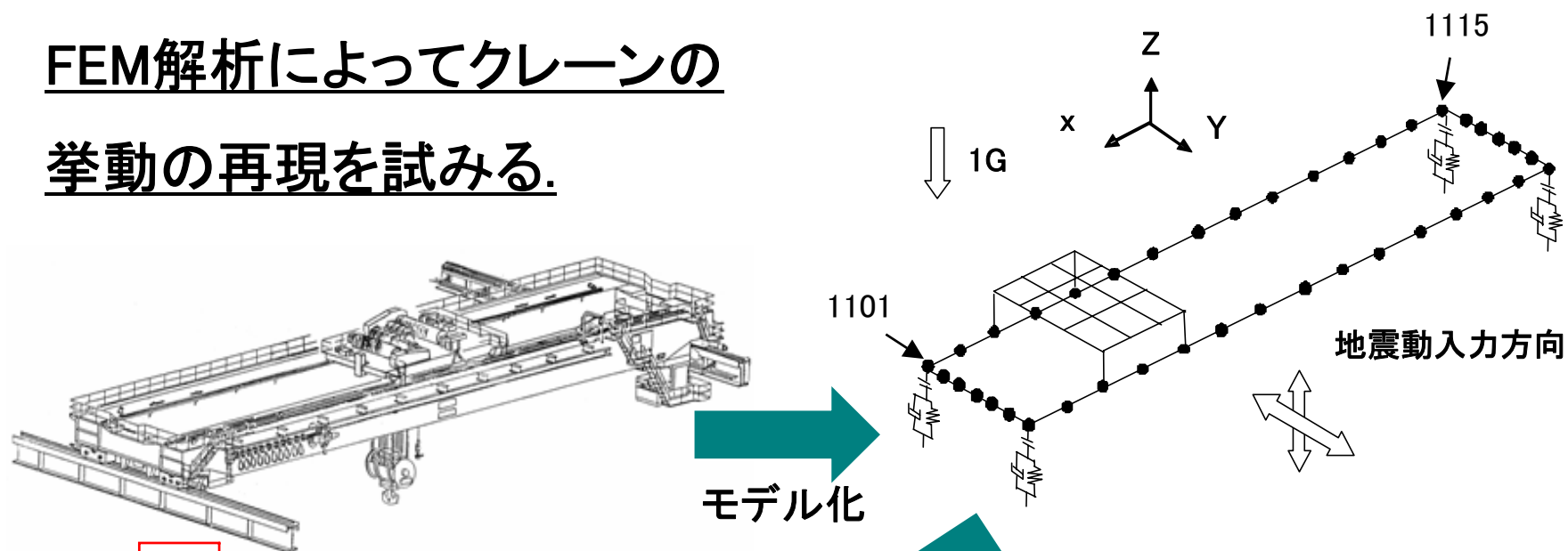
また、延性破断の様相を示すディンプル*2模様が認められた。これらより今回の破断はいずれも大きな荷重が負荷されたことによるものと判断される。

*1：擬へき開破面：若干の塑性変形を伴った過大荷重等により脆性的に破壊が生じた際に見られる破面形態。

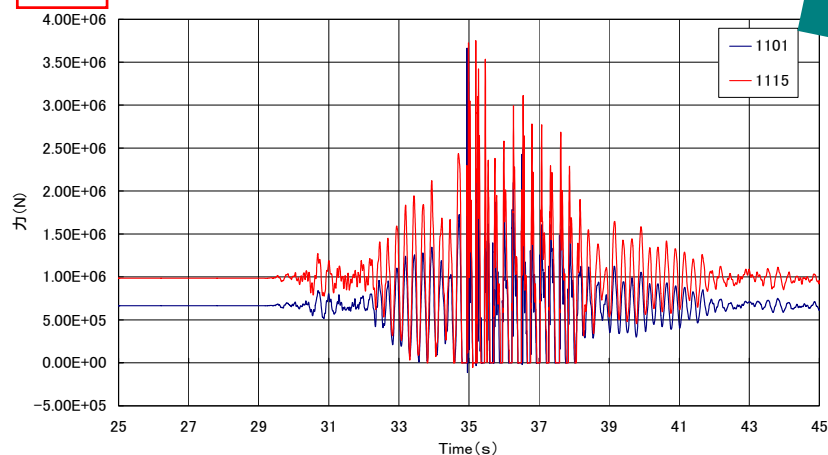
*2：ディンプル：多数の凹みが観察される、延性破面のミクロ的特徴

解析

FEM解析によってクレーンの
挙動の再現を試みる.



例



出力

観測波を用いた原子炉建屋の応答解析
により破断点での荷重を計算する.

推定原因

地震発生時、原子炉建屋天井クレーンは停止している状態であり、走行車輪はブレーキ（電動機側に設置されている）が掛かっている状態であった。

地震動により、原子炉建屋天井クレーンの走行車輪にブレーキが掛かった状態で、強制的にクレーンの走行方向（東西方向）の力が発生した。

クレーンの走行方向（東西方向）の力により走行車輪に回転しようとする力が作用したが、電動機側の回転を阻止する力（ブレーキ）の相反する作用により、走行車輪と電動機の間位置するユニバーサルジョイントに過大なトルクが発生し、クロスピンが破損した。

他号機との構造上の違い

ユニバーサルジョイントの使用、未使用

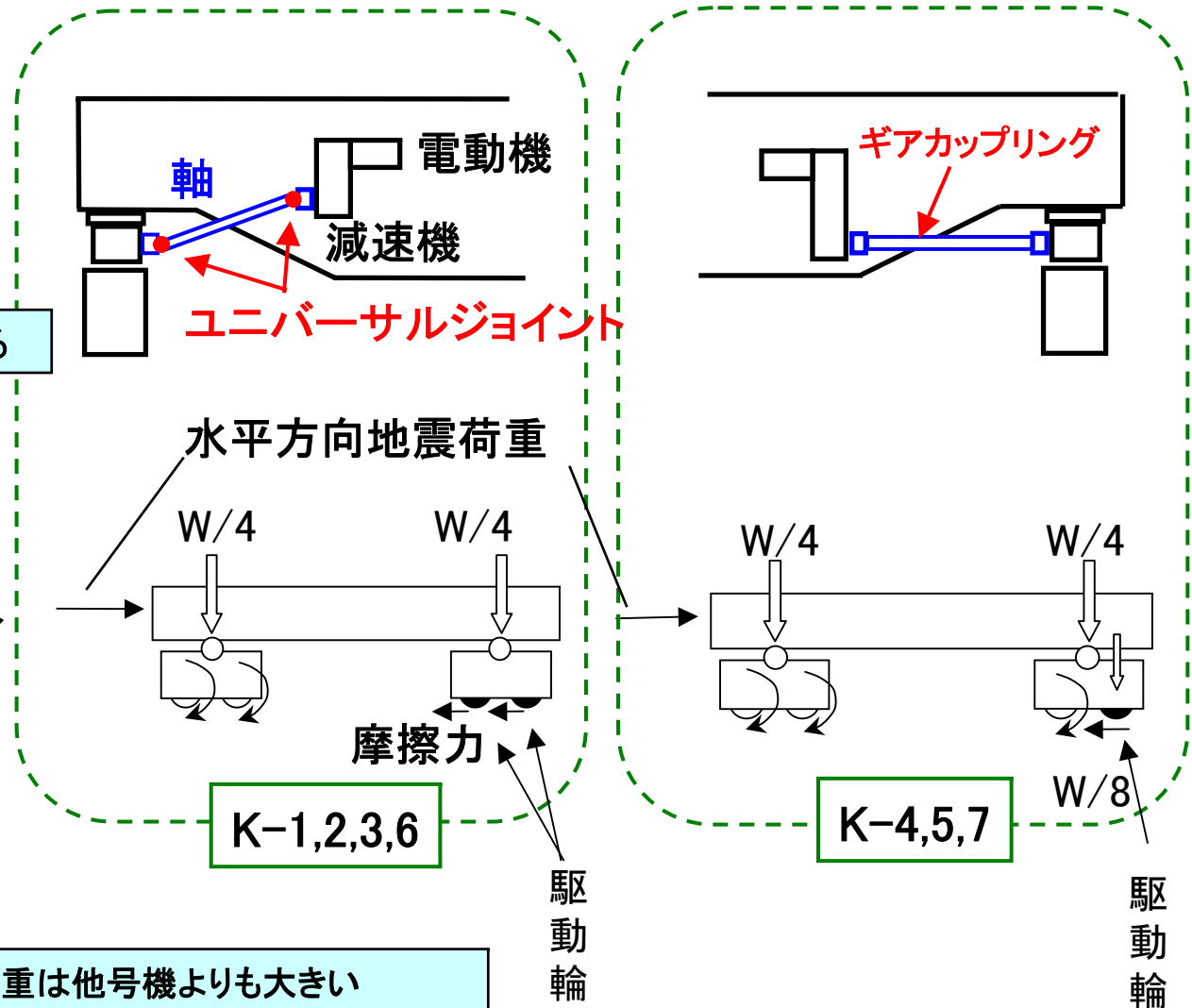
応力が構造上脆弱な部位のユニバーサルジョイントに集中した。

1軸で2車輪または1車輪を駆動している

2車輪を駆動させる K-1,2,3,6号機の軸は1車輪を駆動させる K-4,5,7号機の軸に比べ2倍の力を受けている。

■ K-4, 5, 7号機の軸は、K-2, 3, 6号機の軸よりも太い

K-6号機の上下方向の地震荷重は他号機よりも大きい



他号機の状況

- 他号機のクレーンの解析を現在実施中