東北電原運第 35 号
平成２５年１１月 21 日

原子力規制委員会　殿

宮城県仙台市青葉区本町一丁目７番１号
東北電力株式会社
取締役社長　　海輪　誠[redacted]

女川原子力発電所第１号機　原子炉建屋天井クレーン走行部の損傷に関する
原子炉施設故障等報告書の提出について

平成２４年６月７日に確認しました女川原子力発電所第１号機　原子炉建屋天井クレーン走行部の損傷事象について、「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則」第１９条の１７（現行第１３４条）の規定に基づき、平成２４年６月１５日付東北電原運第１０号において報告しておりましたが、その詳細がまとまりましたので、別紙のとおり報告いたします。

以上

別紙：原子炉施設故障等報告書

別紙

原　子　炉　施　設　故　障　等　報　告　書

平成２５年１１月２１日　　東北電力株式会社

件　　名	女川原子力発電所第１号機 原子炉建屋天井クレーン走行部の損傷について
事象発生の日時	平成２４年6月７日（木）　１１時００分 （「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則」第１９条の１７（現行第１３４条）に定める報告事象に該当すると判断した日時）
事象発生の場所	女川原子力発電所第１号機
事象発生の原子炉施設名	原子炉建屋天井クレーン
事象の状況	女川原子力発電所第１号機（沸騰水型、定格電気出力５２万４，０００ｋＷ、平成２３年９月１０日より第２０回定期検査中）は冷温停止中のところ、原子炉建屋５階に設置している原子炉建屋天井クレーン（以下、「当該クレーン」という。）について、平成２３年９月１２日に実施した東北地方太平洋沖地震後の走行確認運転において、異音が確認された。 その後、異音発生の原因調査として、当該クレーンの点検を実施していたところ、平成２４年5月２９日に、４箇所ある当該クレーンの走行部のうちの１箇所（南西側走行部）において、走行部内部に設置されている油受けに軸受の一部と思われる異物を確認した。 このため、当該走行部内部の詳細点検を実施した結果、平成２４年６月７日に、当該走行部の軸受が損傷していることを確認した。 当該クレーンは、経済産業省告示３２７号に定める安全上重要な機器等に該当することから、「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則」第１９条の１７第１項第３号（現行は、第１３４第１項第３号）に基づく報告対象に該当するものと判断した。 なお、本事象による外部への放射性物質の放出はなく、環境への影響はなかった。
事象の原因	１．損傷状況調査結果 地震後の走行確認運転において確認された当該クレーン軸受の損傷について、４箇所ある走行部のうち軸受損傷を確認した南西側走行部を分解し、軸受損傷の状況を調査した。 調査の結果、南西側走行部に８個ある軸受（３列軸受×４個、２列軸受×４個）全数について、損傷が確認された。損傷は、軸受コロを押さえる軸受側面のつば部に多く確認され、内輪および外輪の一部および軸受コロにも損傷が確認された。 また、当該走行部以外の走行部（３箇所）の分解調査を実施した結果、南西側と同様に損傷が確認された。 ２．原因調査結果 地震後の走行確認において確認された当該軸受の損傷について、軸受損傷の要因分析表を検討するとともに調査項目を抽出し、調査を実施した。 ２．１　使用環境による影響調査 （１）軸受内潤滑剤注入確認 軸受内の潤滑剤供給不足による軸受内の磨耗影響を確認するため潤滑剤注入確認を実施した結果、潤滑油が適切に注入されたことから、潤滑剤の供給は十分であったと判断した。 （２）設計確認 軸受の過大回転速度による軸受内の磨耗影響を確認するため設計確認を実施した結果、当該クレーン運転速度上限（回転数）10.17rpm に対し、軸受の許容回転速度 536rpm であり、問題ないことを確認した。 （３）異物混入確認 軸受内異物混入による軸受内の磨耗影響を確認するため異物混入確認を実施した結果、軸受内部に、有意な異物は確認されなかった。 （４）外観確認 軸受内部の結露による腐食影響を確認するため外観確認を実施した結果、軸受内部に潤滑剤が充填されていたことを確認したことから、結露等による腐食環境ではなかったと判断した。

（５）金属調査

ａ．調査結果

軸受部品の金属調査（腐食状況確認）を実施した結果、軸受部品に有意な腐食は認められなかった。

ｂ．破面観察結果

軸受に付加される繰返し荷重による疲労割れ影響を確認するため損傷した軸受（外輪および内輪）の破面観察（走査型電子顕微鏡（以下、「ＳＥＭ」（Scanning Electron Microscope）という。）による観察）を実施した。

観察の結果、疲労破面の特徴であるストライエーション模様*1やビーチマーク模様*2は確認されなかったことから、今回の損傷は疲労によるものではなかったと推定される。

＊１ ストライエーション模様：縞模様で、疲労破壊を起こした破面に見られるミクロ的特徴

＊２ ビーチマーク模様：縞模様で、疲労破壊を起こした破面に見られるマクロ的特徴

（６）点検・使用状況確認

ａ．当該クレーンの点検状況

当該クレーンについては、東北地方太平洋沖地震発生以前、平成２２年９月６日～１０月２５日の期間でクレーン等安全規則*3に基づく年次点検において走行部の点検を実施し、異常は確認されていない。その後も、クレーン等安全規則に基づく月例点検を毎月実施し、走行状態に異常ないことを確認していた。

＊３ クレーン等安全規則：労働安全衛生法に基づき、クレーン等の使用および検査に係る基準を定めた厚生労働省令

ｂ．当該クレーンの使用状況

当該クレーンは、定期検査等機器点検の都度、資機材の移動のために使用するが、定格荷重（１００ｔ）以上の吊荷は吊っていない。また、東北地方太平洋沖地震発生時は使用しておらず、停止位置にブレーキを掛けて停止している状態であった。

平成２３年９月１２日に、東北地方太平洋沖地震後の走行確認運転を初めて実施したところ異音が確認されたことから、異音発生の原因調査のため、軸受の損傷が確認されるまで、延べ１６日間の走行確認を実施した。なお、東北地方太平洋沖地震後は、重量物等の吊上げ実績はなかった。

２．２　設計、製作、メンテナンスによる影響調査

（１）設計確認

ａ．型式選定

軸受の構造不良の影響を確認するため軸受型式の設計仕様を確認した結果、ラジアル荷重およびスラスト荷重ともに当該クレーンの要求仕様を満たしていることを確認した。

ｂ．材料強度

軸受の材料強度不足影響を確認するため軸受材料の設計仕様を確認した結果、当該クレーンの要求仕様を満たしていることを確認した。

（２）金属調査

ａ．化学成分分析調査結果

材料相違による材料不良を確認するため、損傷した軸受（外輪、内輪およびコロ）材料（SUJ2*4）について成分分析を実施した結果、いずれの部材においても設計仕様のＪＩＳ規格（JIS G 4805）を満足することを確認した。

＊４ SUJ2：高炭素クロム軸受鋼鋼材（JIS G 4805）

ｂ．金属組織観察結果

製造時の材料不良の影響を確認するため損傷した軸受（外輪、内輪およびコロ）材料のマクロおよびミクロ組織観察を実施した。

観察の結果、いずれの部材においても内部および表面に割れ等の有意な材料欠陥は認められず、金属組織上も異常は確認されなかった。

	ｃ．硬さ試験結果 製造時の材料不良の影響を確認するため損傷した軸受（外輪、内輪およびコロ）材料についてビッカース硬さ*5測定を実施した。 測定の結果、いずれの部材においても要求仕様を満足することを確認した。 ＊５ ビッカース硬さ：材料の硬さを表す尺度の一つで、ダイヤモンドを材料表面に押し込んだ際の圧痕形状より硬さを測定する。 （３）寸法計測確認 製造不良の影響を確認するため、形状が保持されている軸受の寸法を測定した結果、設計値と比較し有意な差は確認されなかった。 （４）点検・使用状況確認 落成検査およびクレーン等安全規則に基づく年次点検、月例点検において、異常は認められていなかった。 ２．３　地震の影響調査 （１）金属調査 損傷した軸受（外輪および内輪）の破面観察（ＳＥＭによる観察）を実施した。 観察の結果、破面全体に延性破断の様相を示すディンプル模様*6が認められた。これにより、今回の損傷は大きな荷重が付加されたことによるものと推定できる。 ＊６ ディンプル模様：穴ぼこ状の模様で、延性破壊を起こした破面に見られる特徴。 （２）地震荷重評価 当該クレーンには、クレーンの落下による重要な機器の損傷を防止するために脱線防止ラグを取り付けている。点検の結果、脱線防止ラグとランウェイガータ（建屋に設置された走行レールの架台）に接触跡が確認されたことから、今回の地震により過大な荷重が付加され、当該クレーン本体の脱線防止ラグがランウェイガータに接触したものと推定される。 このことから、当該クレーンに付加された過大な水平方向の地震荷重が当該軸受に加わり、軸受損傷に至ったものと推定される。 ３．その他の部位の健全性確認 軸受以外の走行部構造部材について点検を実施した。 （１）車輪ギア、ピニオンの点検結果 損傷した軸受の破片が接触・通過した際に発生したと推定される傷が確認された。 （２）車輪軸の点検結果 損傷した軸受の破片が接触・通過した際に発生したと推定される傷が確認された。 （３）車輪の点検結果 変形、破損がないことを確認した。 （４）走行部ケーシングの点検結果 損傷した軸受の破片が接触・通過した際に発生したと推定される傷が確認された。 （５）ピニオン軸の点検結果 変形、破損がないことを確認した。 （６）カラーの点検結果 損傷した軸受の破片が接触・通過した際に発生したと推定される傷が確認された。 （７）スペーサの点検結果 損傷した軸受の破片が接触・通過した際に発生したと推定される傷が確認された。 （８）他号機の状況 ２、３号機の原子炉建屋天井クレーンは、東北地方太平洋沖地震以降に点検を実施し、

	作動状態に異常ないことを確認した。 　なお２、３号機の軸受については、製作時期の違いにより１号機の当該軸受と構造が異なり、水平方向の荷重影響を受け難い構造となっている。 ４．推定原因 当該クレーン走行部（南西側に限る）軸受損傷の原因は以下のとおりと推定した。 ①　東北地方太平洋沖地震に伴い、水平方向（南北方向）の過大な地震荷重が走行レールから車輪に伝達された。 ②　車輪に伝達された地震荷重が軸受を通じてクレーン本体に伝達された際、２列軸受（固定型）のつば部に過大な水平荷重が付加され、軸受つば部が損傷した。 ③　軸受内部に混入した軸受つば部の破片が軸受コロに挟まれ、当該クレーンの地震後走行確認運転において軸受の回転不良が発生した。（異音発生） ④　その後の当該クレーン異音調査走行に伴い、軸受に過大荷重が付加され、軸受が損傷した。 ⑤　損傷した破片が走行部内部の隙間から走行部内部に設置されている油受けに落下した。 （別添参照）
保護装置の種類及び動作状況	該当せず
放射能の影響	な　し
被　害　者	な　し
他に及ぼした障害	な　し
復旧の日時	平成２５年１２月予定
再発防止対策	当該クレーンの走行機能を有している軸受については、損傷した軸受を含む走行部一式を交換して復旧した。なお、軸受については、現状のメーカ標準品である水平方向の荷重の影響を受け難い軸受（２、３号機と同一仕様。）に変更した。

別　添

女川原子力発電所第１号機
原子炉建屋天井クレーン走行部の損傷について

平成２５年１１月
東北電力株式会社

目　　次

１．件　　名　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　1
２．事象発生の日時　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　1
３．事象発生の原子炉施設名　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　1
４．事象発生時の運転状況　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　1
５．事象の概要　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　1
６．損傷状況調査結果　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　2
７．原因調査結果　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　2
７．１　使用環境による影響調査　・・・・・・・・・・・・・・・・　2
（１）軸受内潤滑剤注入確認　・・・・・・・・・・・・・・・・・　2
（２）設計確認　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　2
（３）異物混入確認　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　2
（４）外観確認　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　2
（５）金属調査　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　3
（６）点検・使用状況確認　・・・・・・・・・・・・・・・・・・　3
７．２　設計、製作、メンテナンスによる影響調査　・・・・・・・・　4
（１）設計確認　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　4
（２）金属調査　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　4
（３）寸法計測確認　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　4
（４）点検・使用状況確認　・・・・・・・・・・・・・・・・・・　5
７．３　地震の影響調査　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　5
（１）金属調査　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　5
（２）地震荷重評価　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　5
８．その他の部位の健全性確認　・・・・・・・・・・・・・・・・・　5
９．推定原因　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　6
１０．再発防止対策　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　7

添付資料　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　8

１．件　　名

女川原子力発電所第１号機

原子炉建屋天井クレーン走行部の損傷について

２．事象発生の日時

平成２４年６月７日　１１時００分

（「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則」第１９条の１７（現行１３４条）に定める報告事象に該当すると判断した日時）

３．事象発生の原子炉施設名

燃料取扱設備　原子炉建屋天井クレーン

４．事象発生時の運転状況

冷温停止中（平成２３年９月１０日より第２０回定期検査中）

５．事象の概要

女川原子力発電所第１号機（沸騰水型、定格電気出力５２万４，０００ｋＷ、平成２３年９月１０日より第２０回定期検査中）は冷温停止中のところ、原子炉建屋５階に設置している原子炉建屋天井クレーン（以下、「当該クレーン」という。）について、平成２３年９月１２日に実施した東北地方太平洋沖地震後の走行確認運転において、異音が確認された。

その後、異音発生の原因調査として、当該クレーンの点検を実施していたところ、平成２４年５月２９日に、４箇所ある当該クレーンの走行部のうちの１箇所（南西側走行部）において、走行部内部に設置されている油受けに軸受の一部と思われる異物を確認した。

このため、当該走行部内部の詳細点検を実施した結果、平成２４年６月７日に、当該走行部の軸受が損傷していることを確認した。

当該クレーンは、経済産業省告示３２７号に定める安全上重要な機器等に該当することから、「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則」第１９条の１７第１項第３号（現行は、１３４条第１項第３号）に基づく報告対象に該当するものと判断した。

なお、本事象による外部への放射性物質の放出はなく、環境への影響はなかった。

（添付資料－１、２、３）

６．損傷状況調査結果

地震後の走行確認運転において確認された当該クレーン軸受の損傷について、４箇所ある走行部のうち軸受損傷を確認した南西側走行部を分解し、軸受損傷の状況を調査した。

調査の結果、南西側走行部に８個ある軸受（３列軸受×４個、２列軸受×４個）全数について、損傷が確認された。損傷は、軸受コロを押さえる軸受側面のつば部に多く確認され、内輪および外輪の一部および軸受コロにも損傷が確認された。

また、当該走行部以外の走行部（３箇所）の分解調査を実施した結果、南西側と同様に損傷が確認された。

（添付資料－４）

７．原因調査結果

地震後の走行確認において確認された当該軸受の損傷について、軸受損傷の要因分析表を検討するとともに調査項目を抽出し、調査を実施した。

（添付資料－５）

７．１　使用環境による影響調査

（１）軸受内潤滑剤注入確認

軸受内の潤滑剤供給不足による軸受内の磨耗影響を確認するため潤滑剤注入確認を実施した結果、潤滑油が適切に注入されたことから、潤滑剤の供給は十分であったと判断した。

（２）設計確認

軸受の過大回転速度による軸受内の磨耗影響を確認するため設計確認を実施した結果、当該クレーン運転速度上限（回転数）10.17rpm に対し、軸受の許容回転速度 536rpm であり、問題ないことを確認した。

（３）異物混入確認

軸受内異物混入による軸受内の磨耗影響を確認するため異物混入確認を実施した結果、軸受内部に、有意な異物は確認されなかった。

（４）外観確認

軸受内部の結露による腐食影響を確認するため外観確認を実施した結果、軸受内部に潤滑剤が充填されていたことを確認したことから、結露等による腐食環境ではなかったと判断した。

（５）金属調査

ａ．調査結果

軸受部品の金属調査（腐食状況確認）を実施した結果、軸受部品に有意な腐食は認められなかった。

ｂ．破面観察結果

軸受に付加される繰返し荷重による疲労割れ影響を確認するため損傷した軸受（外輪および内輪）の破面観察（走査型電子顕微鏡（以下、「ＳＥＭ」（Scanning Electron Microscope）という。）による観察）を実施した。

観察の結果、疲労破面の特徴であるストライエーション模様*1やビーチマーク模様*2は確認されなかったことから、今回の損傷は疲労によるものではなかったと推定される。

（添付資料－６）

＊１ ストライエーション模様：縞模様で、疲労破壊を起こした破面に見られるミクロ的特徴

＊２ ビーチマーク模様：縞模様で、疲労破壊を起こした破面に見られるマクロ的特徴

（６）点検・使用状況確認

ａ．当該クレーンの点検状況

当該クレーンについては、東北地方太平洋沖地震発生以前、平成２２年９月６日～１０月２５日の期間でクレーン等安全規則*3に基づく年次点検において走行部の点検を実施し、異常は確認されていない。その後も、クレーン等安全規則に基づく月例点検を毎月実施し、走行状態に異常ないことを確認していた。

＊３ クレーン等安全規則：労働安全衛生法に基づき、クレーン等の使用および検査に係る基準を定めた厚生労働省令

ｂ．当該クレーンの使用状況

当該クレーンは、定期検査等機器点検の都度、資機材の移動のために使用するが、定格荷重（１００ｔ）以上の吊荷は吊っていない。また、東北地方太平洋沖地震発生時は使用しておらず、停止位置にブレーキを掛けて停止している状態であった。

平成２３年９月１２日に、東北地方太平洋沖地震後の走行確認運転を初めて実施したところ異音が確認されたことから、異音発生の原因調査のため、軸受の損傷が確認されるまで、延べ１６日間の走行確認を実施した。なお、東北地方太平洋沖地震後は、重量物等の吊上げ実績はなかった。

７．２　設計、製作、メンテナンスによる影響調査

（１）設計確認

ａ．型式選定

軸受の構造不良の影響を確認するため軸受型式の設計仕様を確認した結果、ラジアル荷重およびスラスト荷重ともに当該クレーンの要求仕様を満たしていることを確認した。

ｂ．材料強度

軸受の材料強度不足影響を確認するため軸受材料の設計仕様を確認した結果、当該クレーンの要求仕様を満たしていることを確認した。

（添付資料－７）

（２）金属調査

ａ．化学成分分析調査結果

材料相違による材料不良を確認するため、損傷した軸受（外輪、内輪およびコロ）材料（SUJ2*4）について成分分析を実施した結果、いずれの部材においても設計仕様のＪＩＳ規格(JIS G 4805)を満足することを確認した。

（添付資料－８）

＊4　SUJ2：高炭素クロム軸受鋼鋼材（JIS G 4805）

ｂ．金属組織観察結果

製造時の材料不良の影響を確認するため損傷した軸受（外輪、内輪およびコロ）材料のマクロおよびミクロ組織観察を実施した。

観察の結果、いずれの部材においても内部および表面に割れ等の有意な材料欠陥は認められず、金属組織上も異常は確認されなかった。

（添付資料－６）

ｃ．硬さ試験結果

製造時の材料不良の影響を確認するため損傷した軸受（外輪、内輪およびコロ）材料についてビッカース硬さ*5測定を実施した。

測定の結果、いずれの部材においても要求仕様を満足することを確認した。

（添付資料－９）

＊5　ビッカース硬さ：材料の硬さを表す尺度の一つで、ダイヤモンドを材料表面に押し込んだ際の圧痕形状より硬さを測定する。

（３）寸法計測確認

製造不良の影響を確認するため、形状が保持されている軸受の寸法を測定した結果、設計値と比較し有意な差は確認されなかった。

（添付資料－10）

（４）点検・使用状況確認

落成検査およびクレーン等安全規則に基づく年次点検、月例点検において、異常は認められていなかった。

７．３　地震の影響調査

（１）金属調査

損傷した軸受（外輪および内輪）の破面観察（ＳＥＭによる観察）を実施した。

観察の結果、破面全体に延性破断の様相を示すディンプル模様*6が認められた。これにより、今回の損傷は大きな荷重が付加されたことによるものと推定できる。

（添付資料－６）

＊6 ディンプル模様：穴ぼこ状の模様で、延性破壊を起こした破面に見られる特徴。

（２）地震荷重評価

当該クレーンには、クレーンの落下による重要な機器の損傷を防止するために脱線防止ラグを取り付けている。点検の結果、脱線防止ラグとランウェイガータ（建屋に設置された走行レールの架台）に接触跡が確認されたことから、今回の地震により過大な荷重が付加され、当該クレーン本体の脱線防止ラグがランウェイガータに接触したものと推定される。

このことから、当該クレーンに付加された過大な水平方向の地震荷重が当該軸受に加わり、軸受損傷に至ったものと推定される。

（添付資料－11）

８．その他の部位の健全性確認

軸受以外の走行部構造部材について点検を実施した。

（１）車輪ギア、ピニオンの点検結果

損傷した軸受の破片が接触・通過した際に発生したと推定される傷が確認された。

（２）車輪軸の点検結果

損傷した軸受の破片が接触・通過した際に発生したと推定される傷が確認された。

（３）車輪の点検結果

変形、破損がないことを確認した。

（４）走行部ケーシングの点検結果

損傷した軸受の破片が接触・通過した際に発生したと推定される傷が確認さ

れた。

（５）ピニオン軸の点検結果

変形、破損がないことを確認した。

（６）カラーの点検結果

損傷した軸受の破片が接触・通過した際に発生したと推定される傷が確認された。

（７）スペーサの点検結果

損傷した軸受の破片が接触・通過した際に発生したと推定される傷が確認された。

（８）他号機の状況

２、３号機の原子炉建屋天井クレーンは、東北地方太平洋沖地震以降に点検を実施し、作動状態に異常ないことを確認した。

なお製作時期の違いにより、２、３号機の軸受については、３列軸受が自由形である１号機の軸受と構造が異なり、水平方向の荷重影響を受け難い構造（３列軸受が固定型）となっている。

（添付資料－12）

９．推定原因

当該クレーン走行部軸受損傷の原因は以下のとおりと推定した。

① 東北地方太平洋沖地震に伴い、水平方向（南北方向）の過大な地震荷重が走行レールから車輪に伝達された。

② 車輪に伝達された地震荷重が軸受を通じてクレーン本体に伝達された際、２列軸受（固定型）のつば部に過大な水平荷重が付加され、軸受つば部が損傷した。

③ 軸受内部に混入した軸受つば部の破片が軸受コロに挟まれ、当該クレーンの地震後走行確認運転において軸受の回転不良が発生した。（異音発生）

④ その後の当該クレーン異音調査走行に伴い、軸受に過大荷重が付加され、軸受が損傷した。

⑤ 損傷した破片が走行部内部の隙間から走行部内部に設置されている油受けに落下した。

（添付資料－13）

１０．再発防止対策

当該クレーンの走行機能を有している軸受については、損傷した軸受を含む走行部一式を交換して復旧した。なお、軸受については、現状のメーカ標準品である水平方向の荷重の影響を受け難い軸受（２、３号機と同一仕様。）に変更した。

以　　上

添　付　資　料

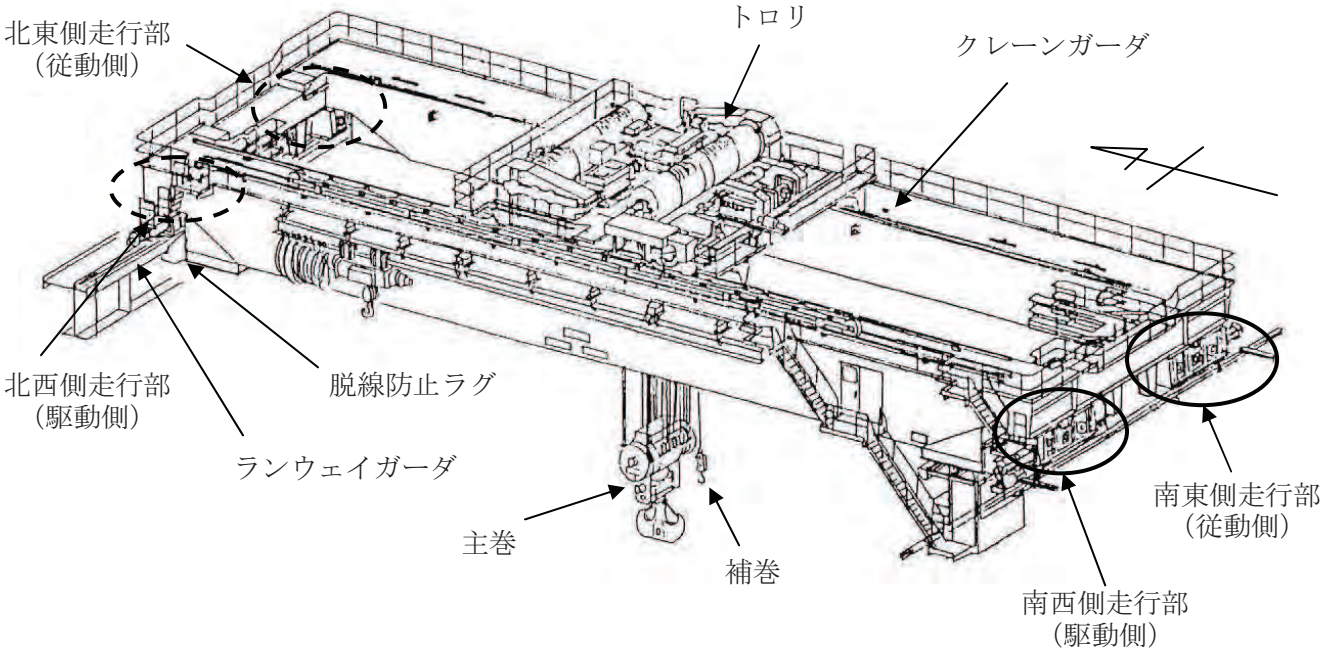
添付資料－１　原子炉建屋天井クレーン 仕様
添付資料－２　原子炉建屋天井クレーン停止位置および全体写真
添付資料－３　原子炉建屋天井クレーン走行部構造図および損傷箇所
添付資料－４　軸受損傷状況
添付資料－５　原子炉建屋天井クレーン軸受損傷 要因分析表
添付資料－６　金属調査（軸受破面観察）結果
添付資料－７　軸受設計仕様
添付資料－８　金属調査（化学成分分析）結果
添付資料－９　金属調査（硬さ試験）結果
添付資料－10　軸受寸法測定結果
添付資料－11　地震荷重評価結果
添付資料－12　他号機軸受比較
添付資料－13　軸受損傷推定メカニズム

原子炉建屋天井クレーン 仕様

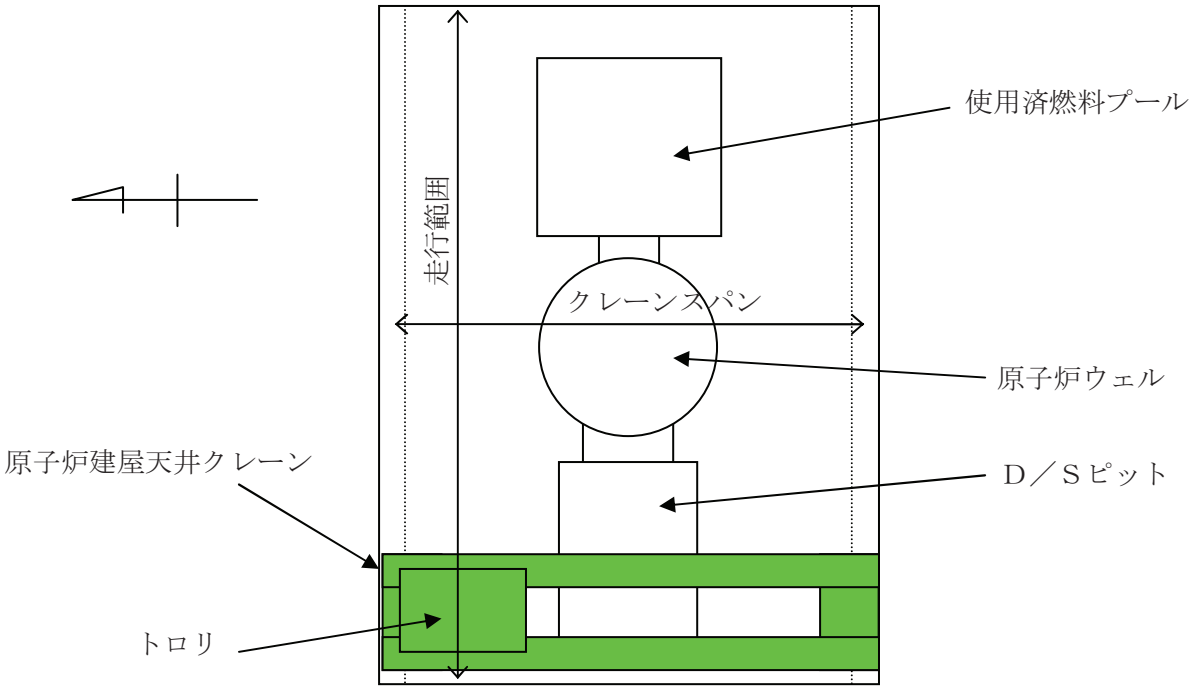
名　　称	原子炉建屋クレーン	
種　　類	天井走行式	
定　格　荷　重	主巻	１００ｔ
	補巻	５ｔ
総　　重　　量	約２１１ｔ	
クレーンスパン	約３１ｍ（南北方向）	
走　行　範　囲	約３０ｍ（東西方向）	
耐 震 ク ラ ス	Ｂクラス （Ａクラス地震に対し落下しないことを確認）	

走　　行　　部	駆動側（南西側、北西側）	従動側（南東側、北東側）
走　行　速　度	最大 ２０ｍ／min	
車　　輪　　径	φ ６３０ｍｍ	
車 輪 回 転 数	最大 １０．１７ｒｐｍ	
電　　動　　機	２台（南西、北西各１台）	－
数　　量	２台（南西、北西各１台）	２台（南東、北東各１台）
走　行　車　輪	４輪（南西、北西各２輪）	４輪（南東、北東各２輪）
車輪軸受（材質：SUJ2）	２セット※／１輪	２セット※／１輪

※１セットあたり軸受数量：３列軸受×１個、２列軸受×１個

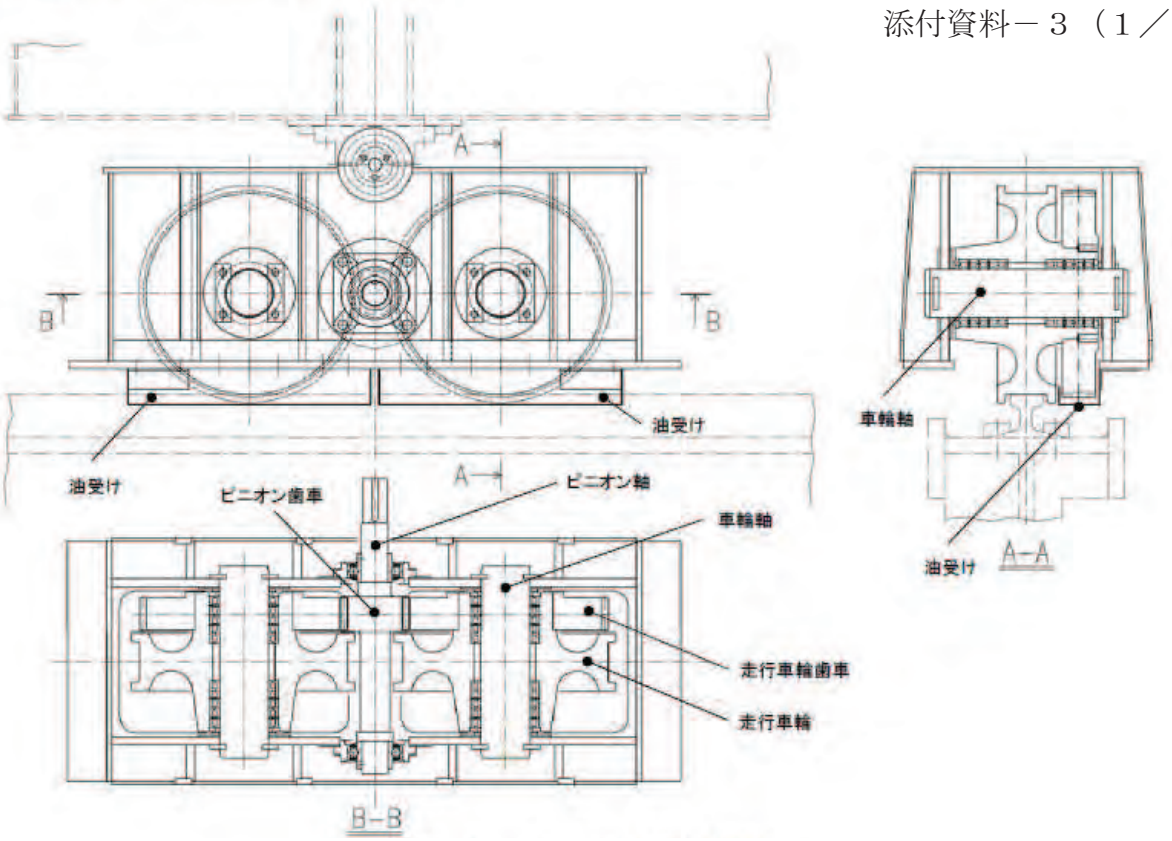


原子炉建屋天井クレーン外観図

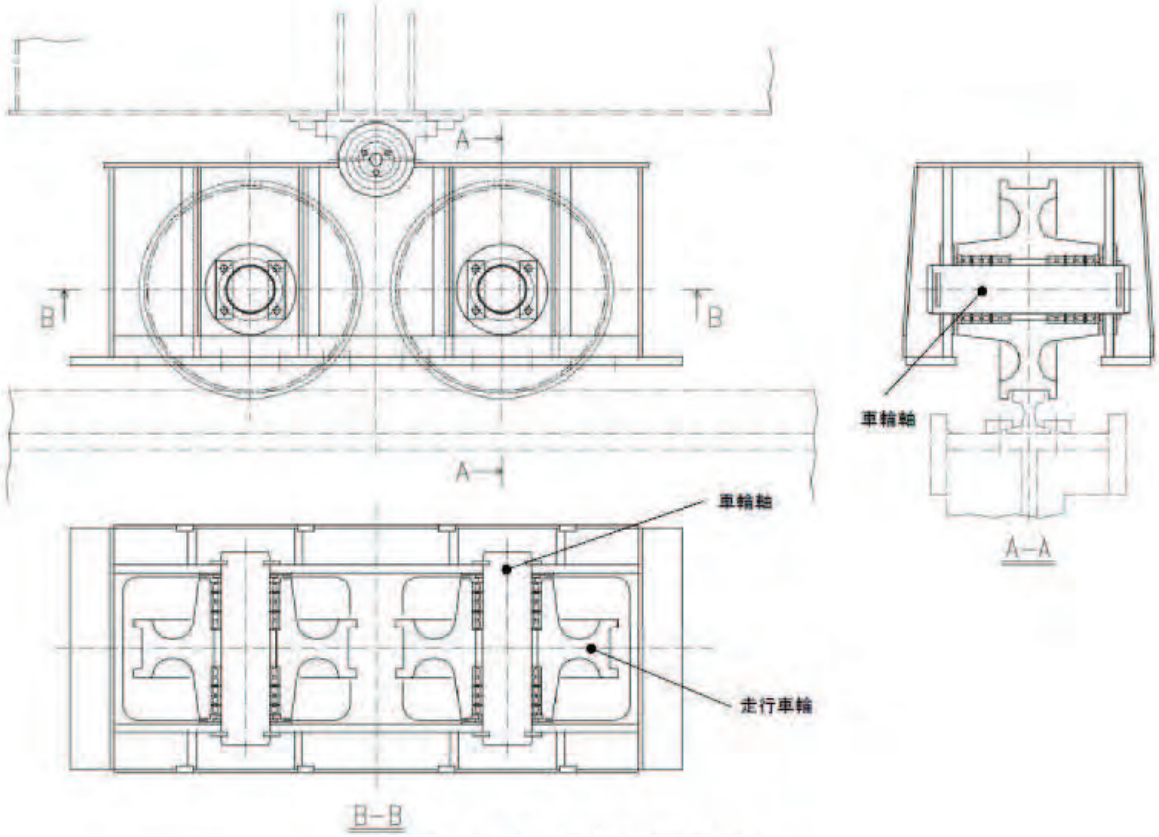


原子炉建屋天井クレーン停止位置
（東北地方太平洋沖地震時）

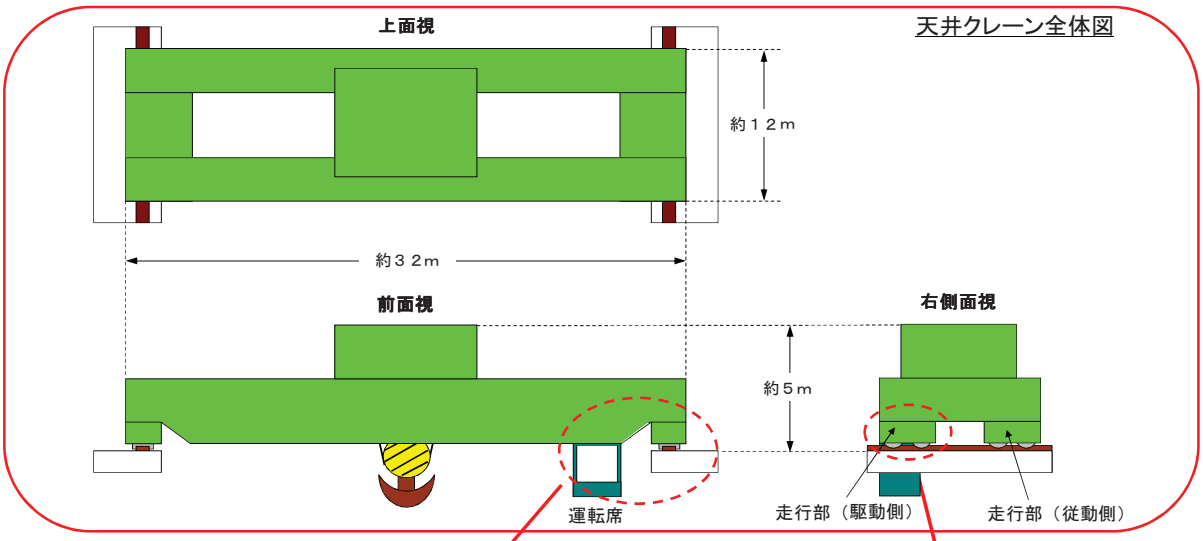
原子炉建屋天井クレーン全体写真

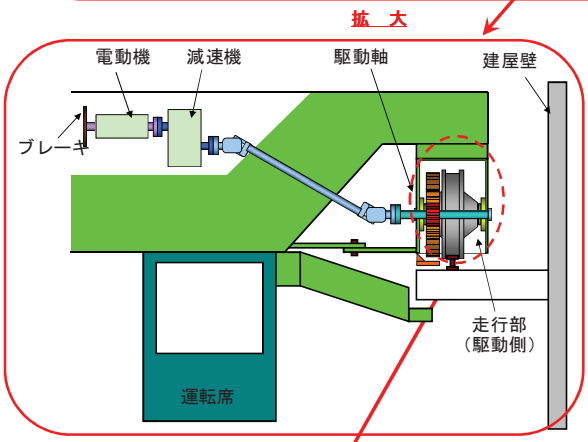


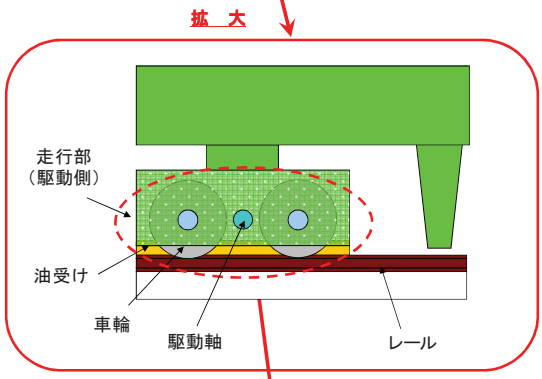
原子炉建屋天井クレーン走行部構造図（駆動側）

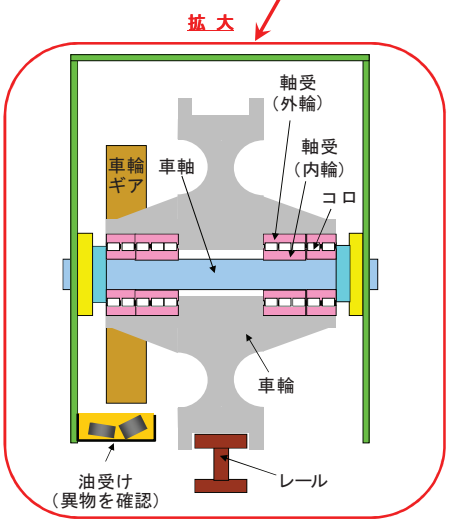


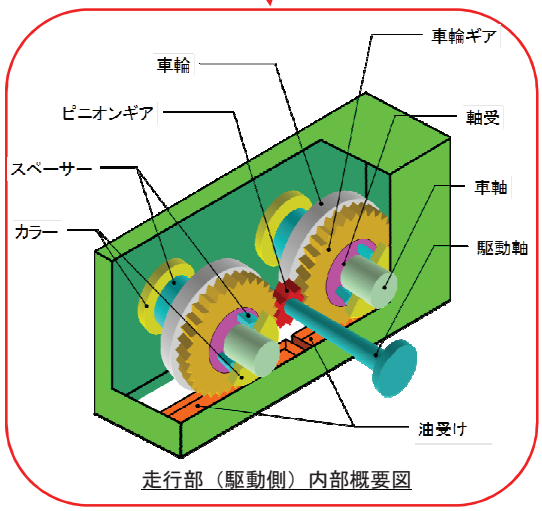
原子炉建屋天井クレーン走行部構造図（従動側）











損傷軸受写真（内輪，外輪）

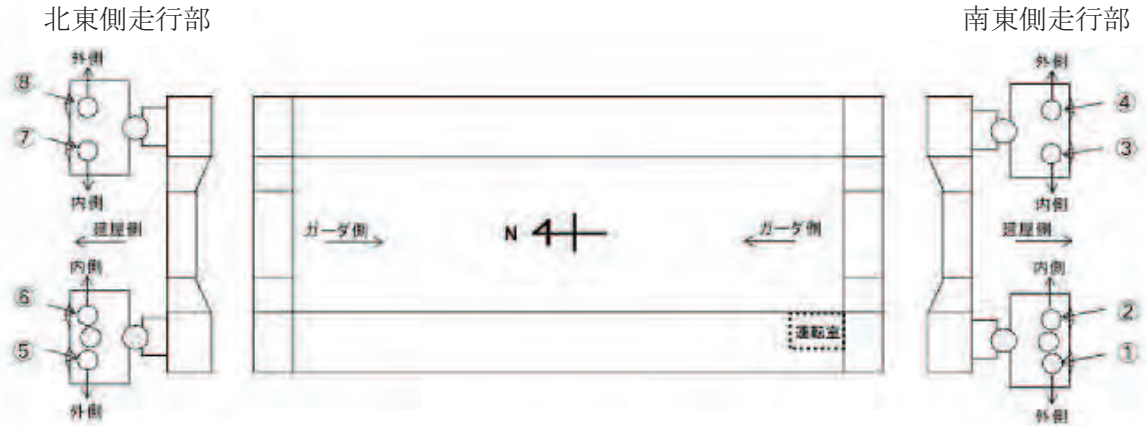
損傷軸受写真（コロ）

原子炉建屋天井クレーン走行部構造および損傷箇所

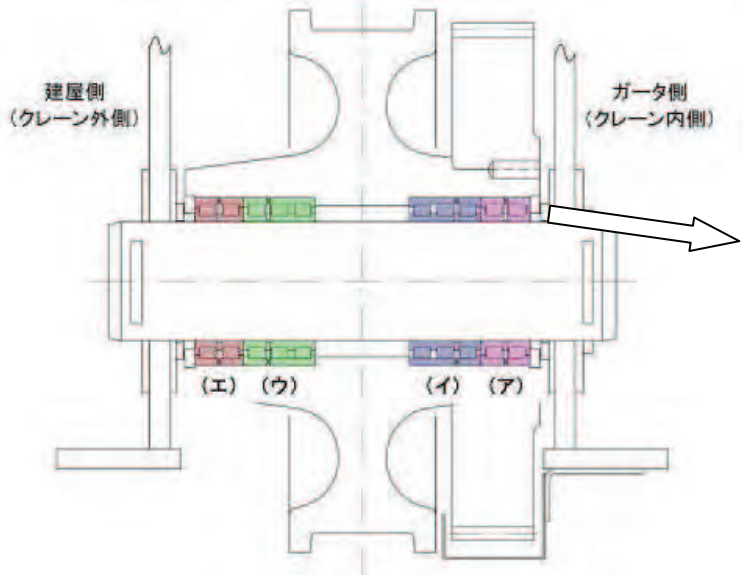
軸受損傷状況

走行部		軸　受			
		（ア） ２列軸受	（イ） ３列軸受	（ウ） ３列軸受	（エ） ２列軸受
南西側	①	×	×	×	×
	②	×	×	×	×
南東側	③	×	○	○	×
	④	×	×	×	×
北西側	⑤	×	×	×	×
	⑥	×	○	×	×
北東側	⑦	×	×	×	×
	⑧	×	×	×	×

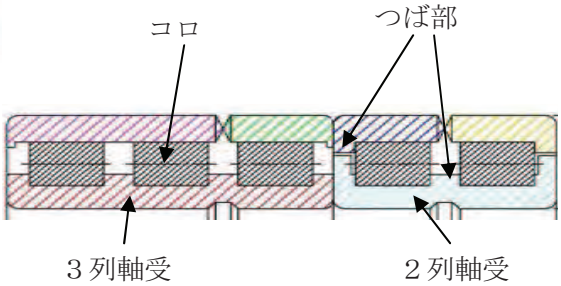
○：異常なし　　×：異常あり（損傷）



クレーン展開図



走行部断面

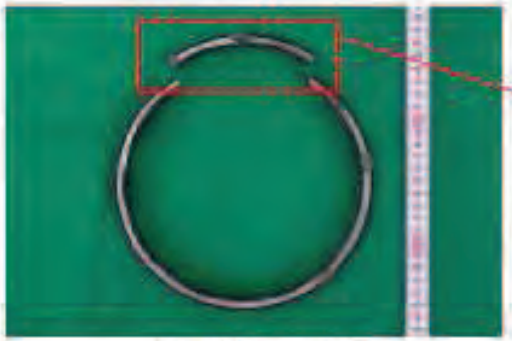


軸受詳細

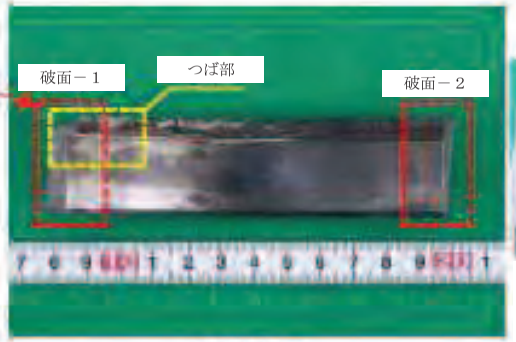
原子炉建屋天井クレーン軸受損傷 要因分析表

事　象	要 因 1	要 因 2	要 因 3	調査内容	調査結果	判定	添付資料
車輪軸受が破損	(7.1)使用環境による影響	軸受内の磨耗	潤滑剤供給不足	(7.1(1))軸受内潤滑剤注入確認	(7.1(1))潤滑剤を注入した結果、適切に注入されたことから、潤滑剤の供給は十分であった。	×	
			過大回転速度	(7.1(2))設計確認	(7.1(2))軸受の許容回転速度(536rpm)に対して、運転速度回転数上限(10.17rpm)であり問題ないことを確認した。	×	
				(7.1(3))異物混入確認	(7.1(3))軸受内部に有意な異物は確認されなかった。	×	
		腐食	軸受内部の結露	(7.1(4))外観確認	(7.1(4))軸受内部に潤滑剤が充填されていることを確認したことから、結露による腐食はない。	×	
				(7.1(5))金属調査(腐食状況)	(7.1(5))軸受部品に有意な腐食は認められなかった。	×	
		疲労	繰返し荷重	(7.1(6))点検・使用状況確認	(7.1(6))定期点検で異常は認められていない。	×	
				(7.1(5))金属調査(破面観察)	(7.1(5))破面観察の結果から、疲労が原因と推定される破面は認められなかった。	×	添付資料－6
		吊荷過大荷重	軸受の変形	(7.1(6))点検・使用状況確認	(7.1(6))使用開始以降、クレーンの最大許容荷重(100t)以上の吊荷は吊っていない。	×	
			車輪・車輪軸の変形	(7.1(6))点検・使用状況確認	(7.1(6))定期点検で異常は認められていない。	×	
	(7.2)設計、製作、メンテナンスによる影響	構造不良	設計選定不良	(7.2(1))設計確認	(7.2(1))軸受の許容荷重上限(ﾗｼﾞｱﾙ:63t、ｽﾗｽﾄ12.6t)に対して、運転時荷重(ﾗｼﾞｱﾙ27.9t、ｽﾗｽﾄ4.2t)であり問題ないことを確認した。	×	添付資料－7
		材料不良	材料強度不足	(7.2(1))設計確認	(7.2(1))軸受材料仕様を確認した結果、当該クレーンの要求仕様を満たしていることを確認した。	×	添付資料－7
			材料の相違	(7.2(2))金属調査(化学成分分析)	(7.2(2))軸受各部から分析試料を採取し、成分分析を実施した結果、いずれも部品材料(SUJ2)のJIS規格を満足することを確認した。	×	添付資料－8
			製造不良	(7.2(2))金属調査(組織観察)	(7.2(2))軸受各部の金属組織観察の結果、いずれも内部および表面に割れ等の有意な材料欠陥は認められなかった。	×	添付資料－6
				(7.2(2))金属調査(硬さ試験)	(7.2(2))軸受各部の硬さ測定の結果、いずれも要求仕様を満足する値であった。	×	添付資料－9
				(7.2(3))寸法計測確認	(7.2(3))形状が保持されている軸受の寸法を確認した結果、設計値と比較し、有意な差はなかった。	×	添付資料－10
		組立不良	初期組立不良	(7.2(4))点検・使用状況確認	(7.2(4))落成検査時に異常は認められていない。	×	
			メンテナンス不良	(7.2(4))点検・使用状況確認	(7.2(4))年次点検，月例点検および使用状況において異常は認められていない。	×	
	(7.3)地震の影響	地震荷重により破損	軸受の変形、破損	(7.3(1))金属調査(破面観察)	(7.3(1))延性破壊の様相を示すディンプル模様が確認されたことから、地震荷重等大きな荷重が軸受に付加されたものと推定される。	○	添付資料－6
				(7.3(2))地震荷重評価	(7.3(2))地震荷重伝播(水平方向荷重)により強度上損傷する可能性が高いと推定される。	○	添付資料－11

金属調査（軸受破面観察）結果（１／３）

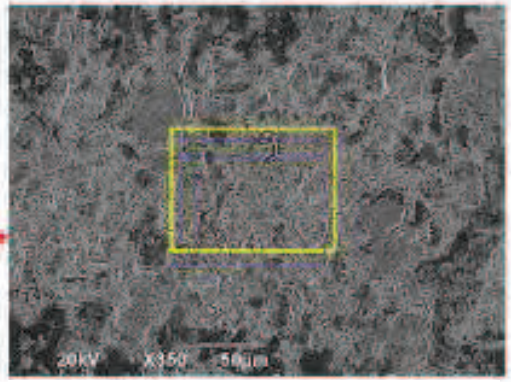


全景（車輪内面からの視野）

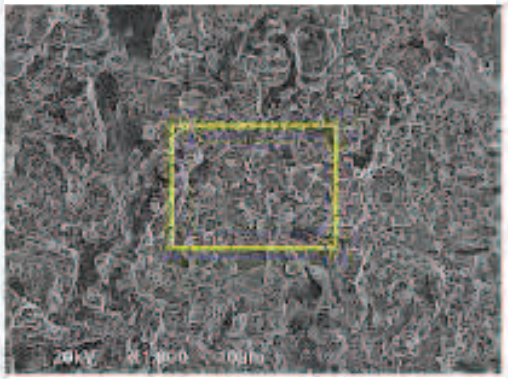


観察対象部位

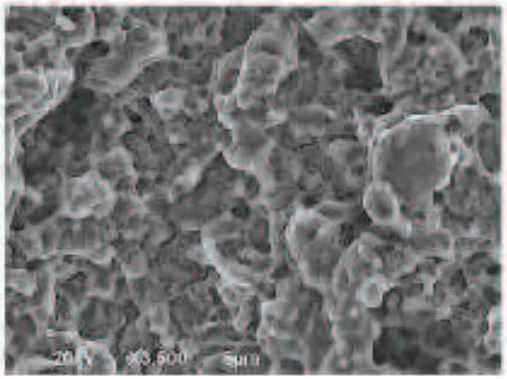
ＳＥＭ撮影範囲
（つば部）



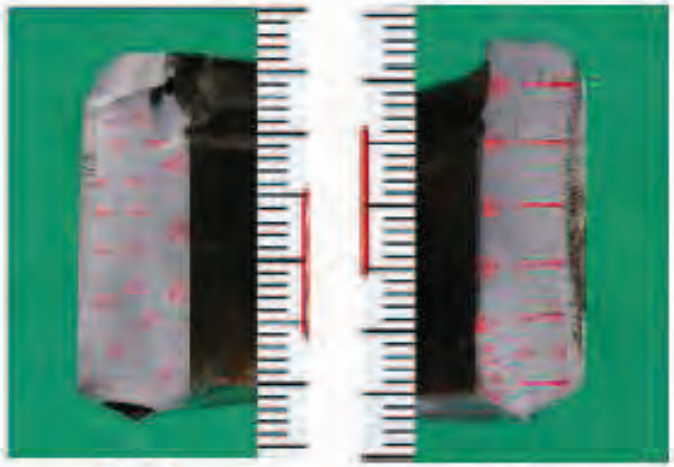
破面ＳＥＭ観察個所　　×３５０



同上拡大　　×１０００



同上拡大　　×３５００

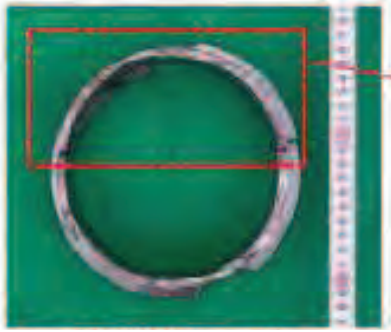


破面－１　　破面－２

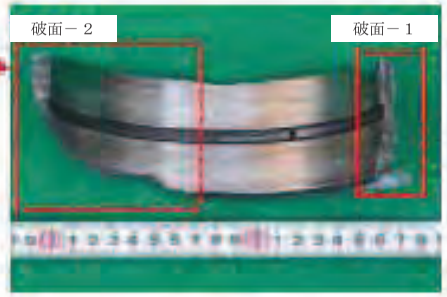
き裂の流れ図

２列軸受外輪（南西側走行部：②－ア）

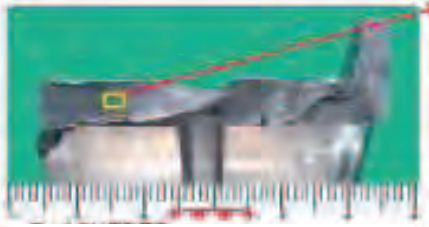
金属調査（軸受破面観察）結果（２／３）



全景（車輪内面からの視野）

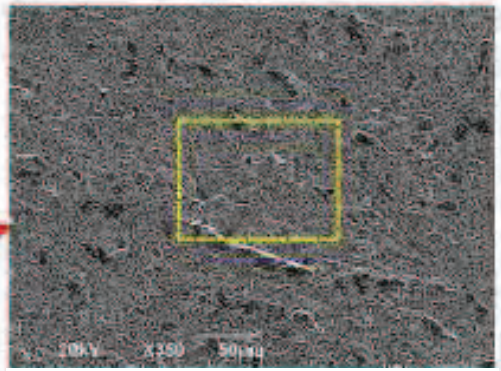


観察対象部位

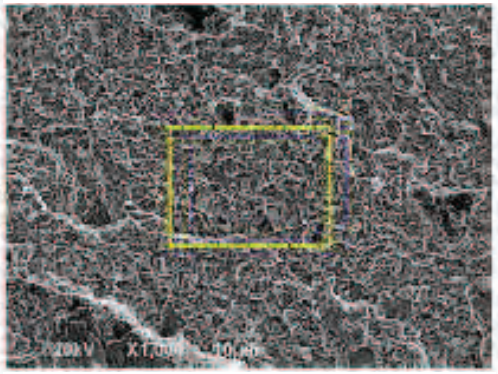


ＳＥＭ撮影範囲
（破面－１）

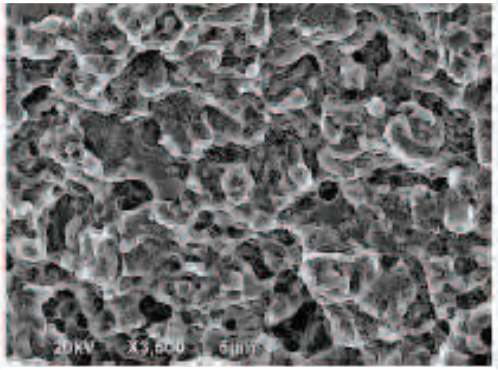
（破面－２）



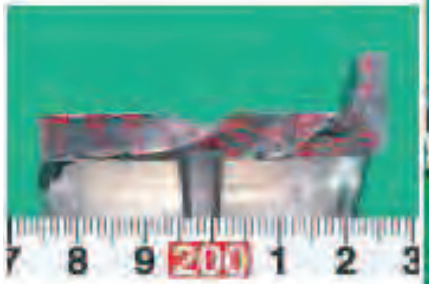
破面ＳＥＭ観察個所　×３５０



同上拡大　×１０００



同上拡大　×３５００



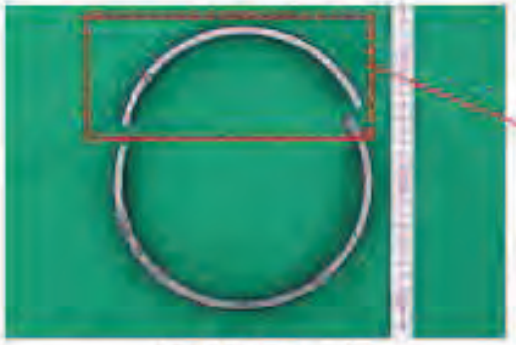
破面－１

破面－２

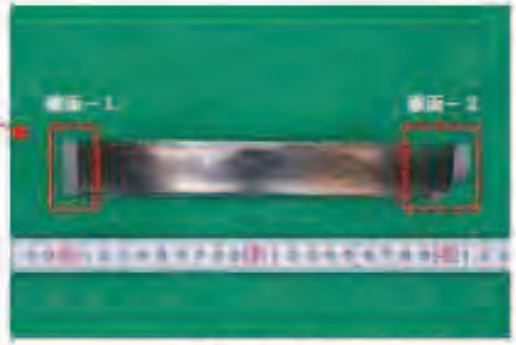
き裂の流れ図

２列軸受内輪（南西側走行部：①－エ）

金属調査（軸受破面観察）結果（３／３）

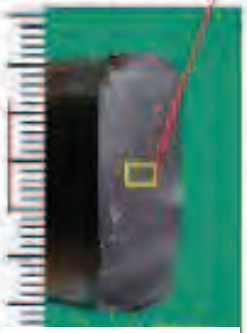


全景（車輪内面からの視野）

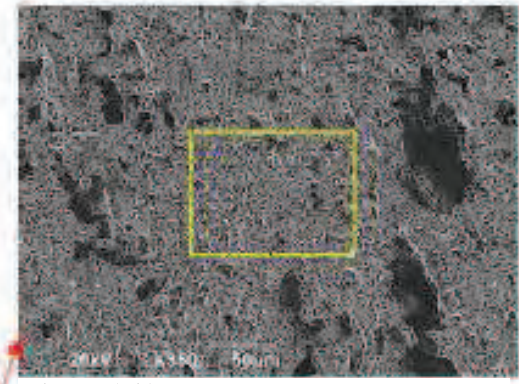


観察対象部位

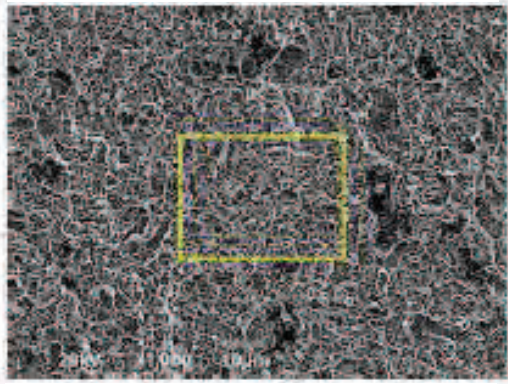
（破面－１）



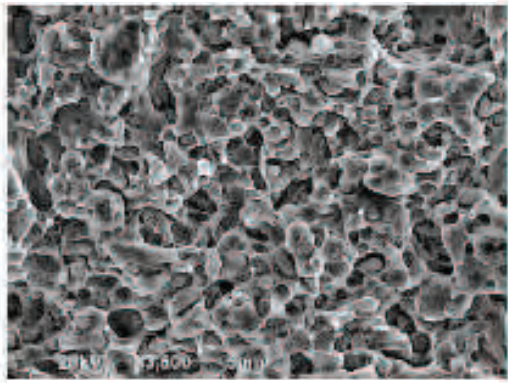
（破面－２）



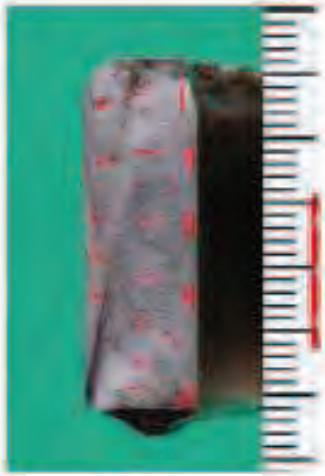
破面ＳＥＭ観察個所　×３５０



同上拡大　×１０００



同上拡大　×３５００



（破面－１）

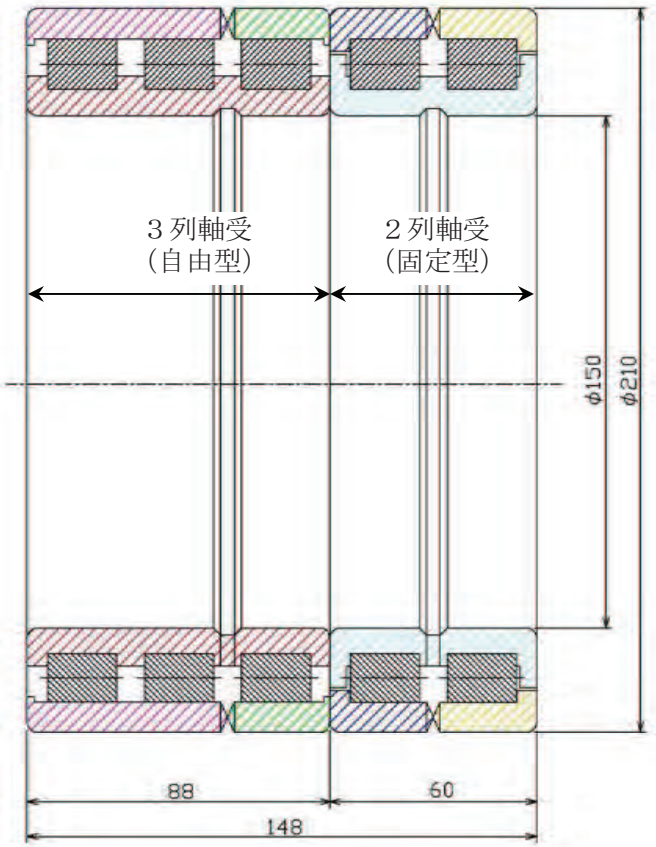
（破面－２）

き裂の流れ図

３列軸受外輪（南西側走行部：①－ウ）

軸受設計仕様

	２列軸受	３列軸受
軸受型式	固定型	自由型
基本動定格荷重	８３０ｋＮ	
基本静定格荷重	２１６０ｋＮ	
許容回転数	５３６ｒｐｍ （２列／３列組合せ）	
内径×外径×幅	φ１５０ｍｍ×φ２１０ｍｍ×１４８ｍｍ	
ラジアル内部隙間	[redacted]	
アキシアル内部隙間		
材質	ＳＵＪ２（JIS G4805）	
硬さ（ＨＶ）	内輪、外輪：６７４～８００ コロ：６９７～８３２	

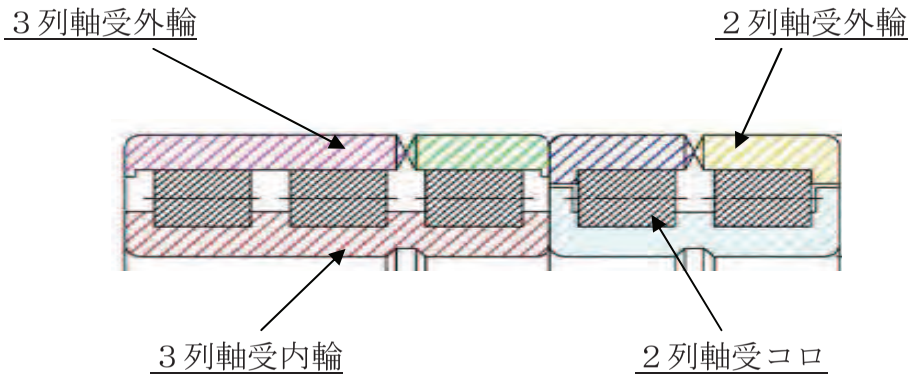


金属調査（化学成分分析）結果

（単位：ｗｔ％）

名　　称	材　　質	規格値	C	Ｓｉ	Ｍｎ	Ｐ	Ｓ	Ｃｒ	Ｍｏ
			0.95 ～ 1.10	0.15 ～ 0.35	≦0.50	≦0.025	≦0.025	1.30 ～ 1.60	≦0.08
２列軸受外輪	ＳＵＪ２		0.99	0.29	0.45	0.017	0.011	1.46	0.02
３列軸受外輪	ＳＵＪ２		0.99	0.22	0.39	0.006	0.010	1.38	0.02
３列軸受内輪	ＳＵＪ２		1.00	0.30	0.46	0.011	0.023	1.53	0.01
２列軸受コロ	ＳＵＪ２		0.96	0.19	0.41	0.005	0.012	1.36	0.02

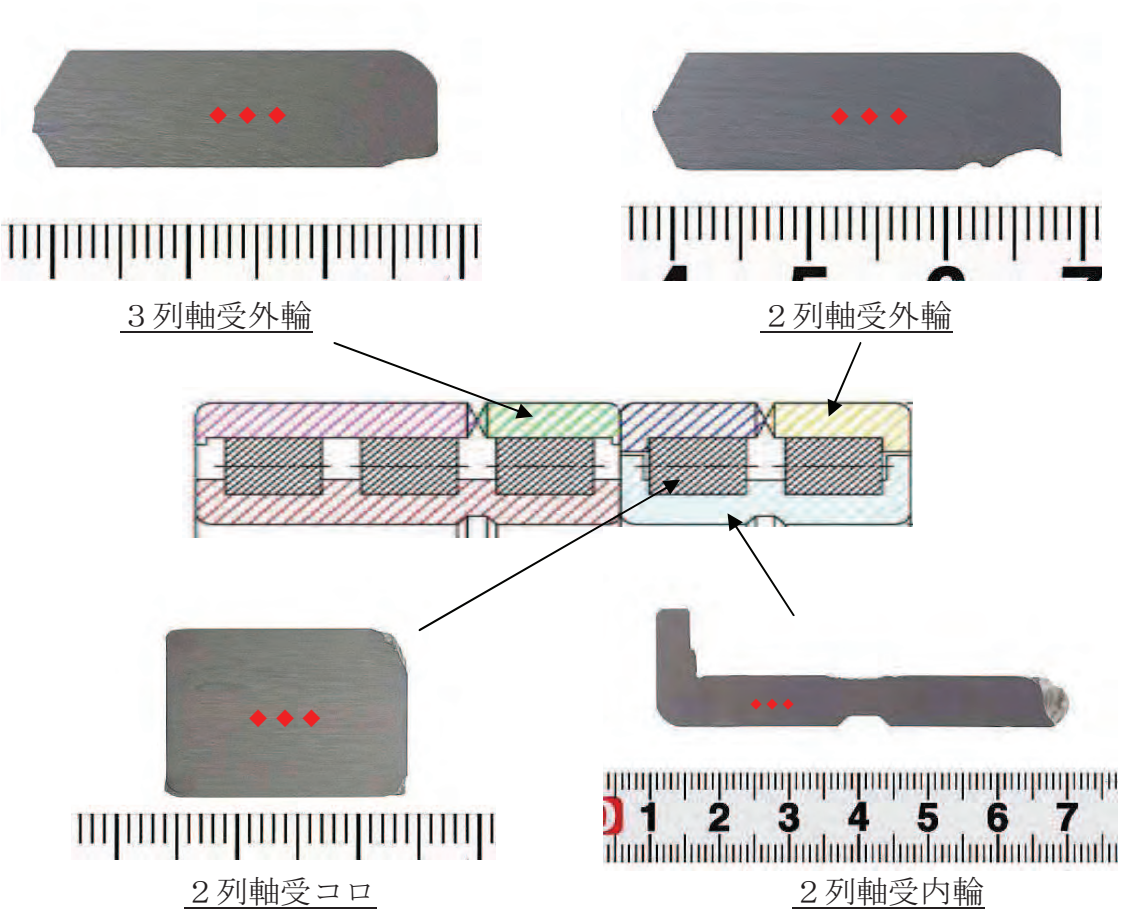
※ＳＵＪ２：高炭素クロム軸受鋼鋼材（JIS G 4805）



金属調査（化学成分分析）採取箇所
（南西側走行部）

金属調査（硬さ試験）結果

調査部位	ビッカース硬さ　ＨＶ１０				軸受メーカ規定値
	1	2	3	平均	
２列軸受外輪	724	720	720	721	674 ～ 800
２列軸受内輪	711	711	715	712	
３列軸受外輪	720	715	720	718	
２列軸受コロ	757	762	752	757	697 ～ 832



◆：測定箇所

硬さ測定位置
（南西側走行部）

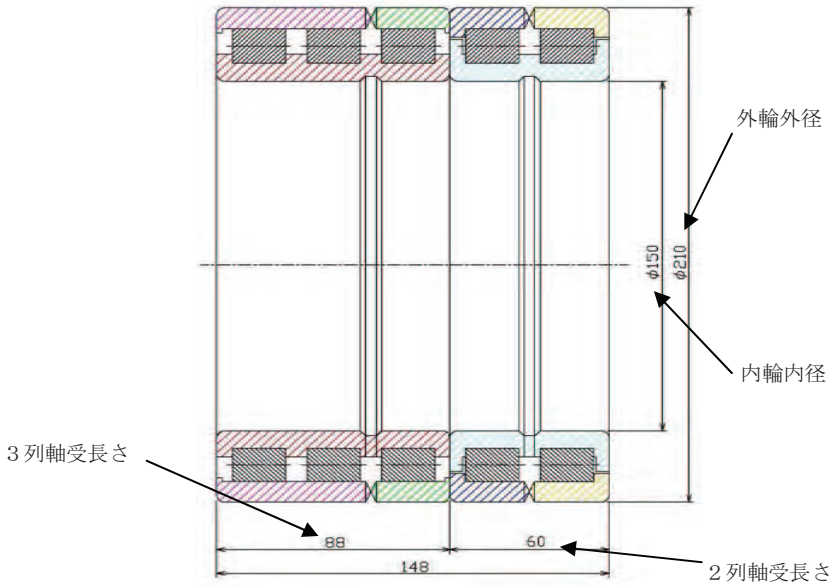
軸受寸法測定結果

（単位：ｍｍ）

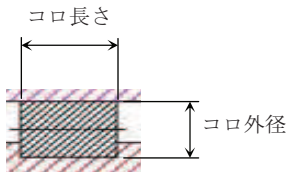
計測箇所			設計値	製作公差	測定結果※1	
2列軸受	外輪	外径	210	[redacted]	209.91※2	209.92※2
		長さ	60		59.92	59.95
	内輪	内径	150		150.00	149.98
		長さ	60		59.94	59.94
	コロ	外径	14	公称値	14.000	13.999
		長さ	20	公称値	19.993	20.000
3列軸受	外輪	外径	210	[redacted]	209.90※2	209.86※2
		長さ	88		87.99	87.96
	内輪	内径	150		149.98	150.00
		長さ	88		87.94	87.94
	コロ	外径	14	公称値	14.000	14.000
		長さ	20	公称値	19.990	19.994

※１　測定は、径（直行２方向）、長さ（１８０°ピッチ）で行った。

※２　製作公差から外れているが、分解時に生じた変形によるものと推定され、軸受損傷の直接的な要因となる可能性は極めて低いと判断。



外輪、内輪



コロ

寸法計測箇所

（北西側走行部）

地震荷重評価結果

１．地震による水平荷重伝達の推定

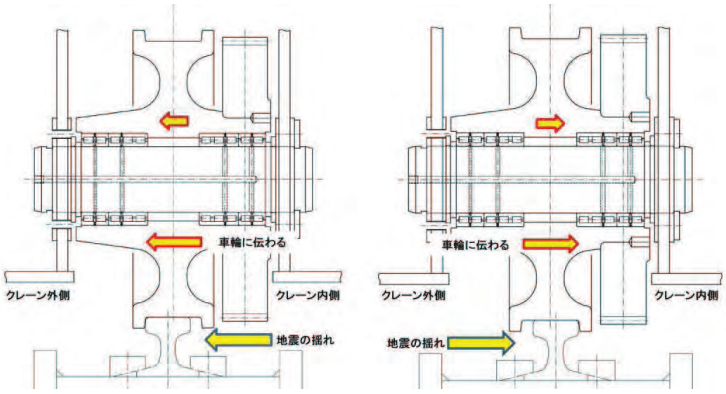
東北地方太平洋沖地震後の点検において、当該クレーンに取り付けている脱線防止ラグに接触跡が確認された。よって地震に伴い、過大な水平荷重が当該クレーンに作用したと推定する。

水平荷重が作用した場合の当該軸受への伝達について以下に示す。

脱線防止ラグ接触状況

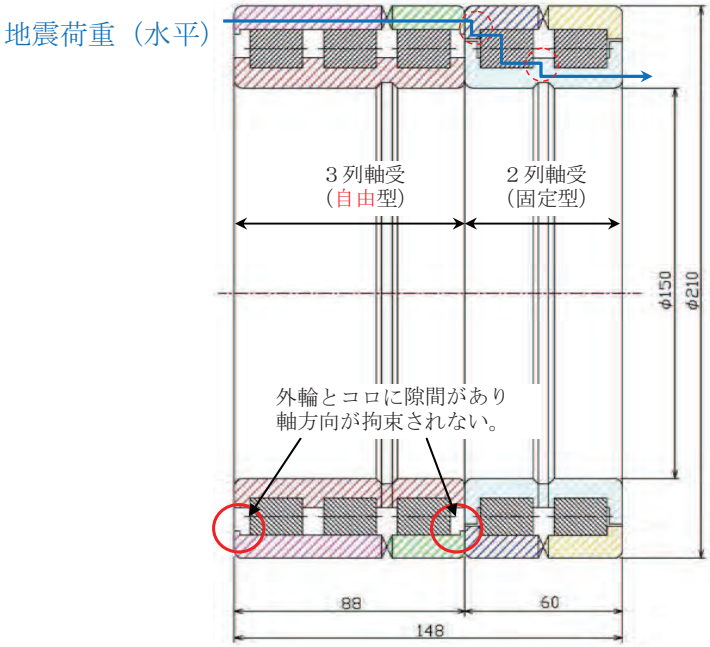
（１）走行レールから軸受への水平荷重の伝達

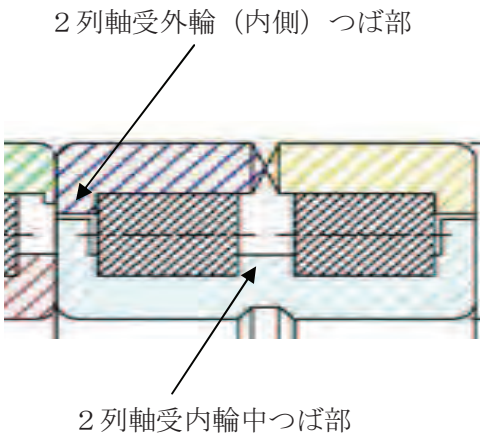
レールとクレーン本体は分離されているが、地震の揺れが大きい場合は、レールと車輪の接触面を通じて、車輪とクレーン本体を接続する軸受に水平荷重が作用する。



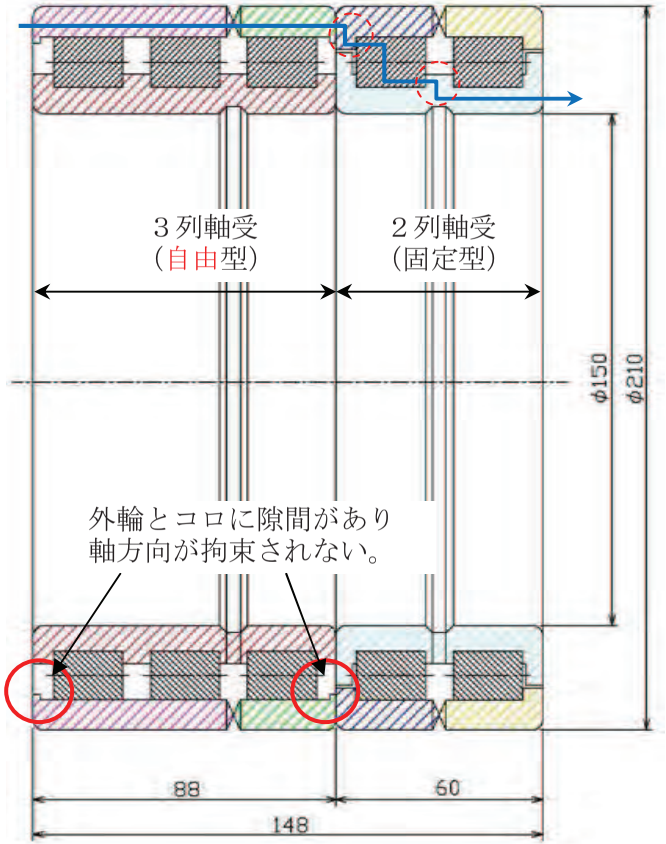
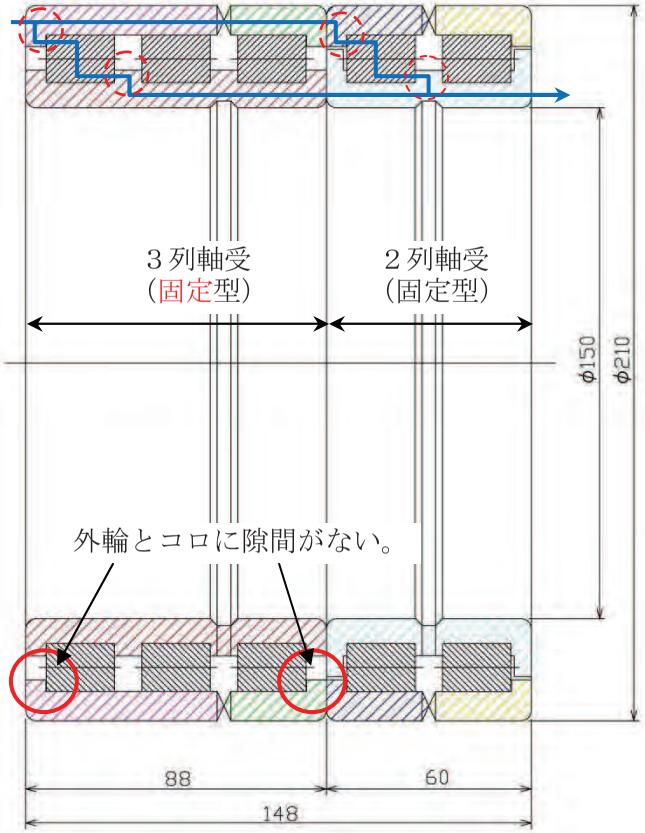
（２）軸受内部の水平荷重の伝達

軸受は２列（固定型）と３列（自由型）の組合せであることから、車輪から伝達される水平荷重は、３列軸受外輪⇒２列軸受外輪（内側）つば部⇒２列軸受コロ（内側）⇒２列軸受内輪中つば部の順に伝わるものと推定され、軸受つば部に過大な水平荷重が作用する。



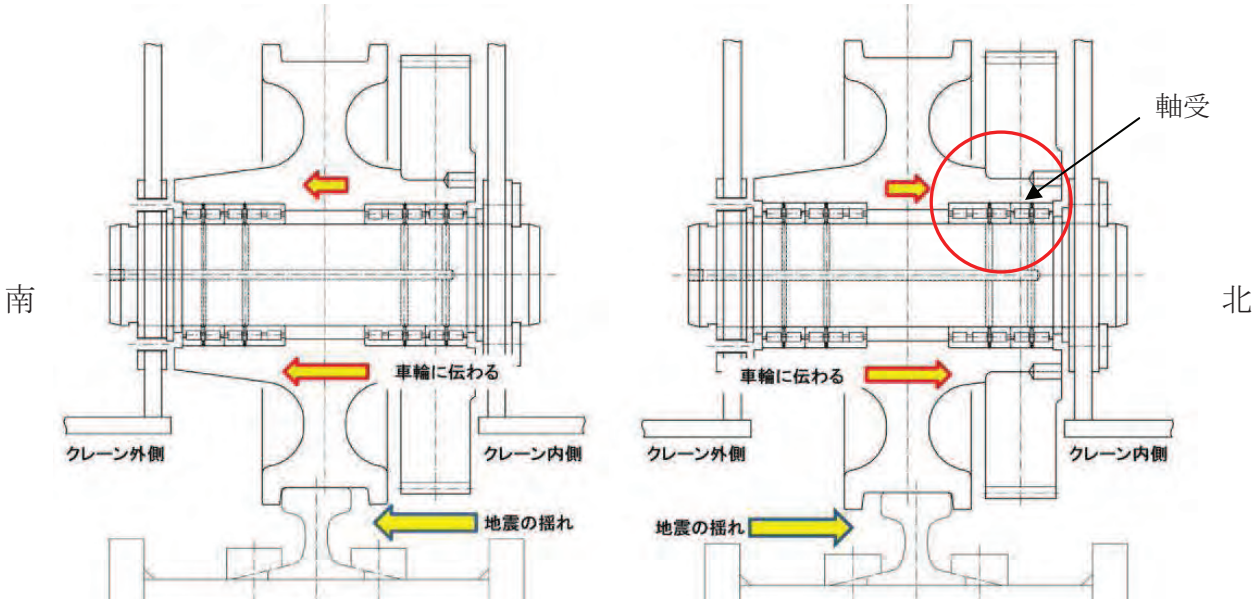


他号機軸受比較

女川１号機	女川２、３号機
 ：水平荷重伝達部	１号機と比較し、３列軸受が固定型であるため、水平荷重の伝達が分散される。  ：水平荷重伝達部

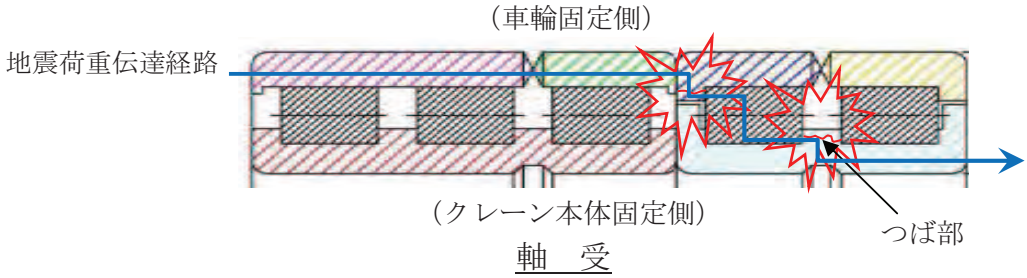
軸受損傷推定メカニズム

① 東北地方太平洋沖地震に伴い、水平方向（南北方向）の過大な地震荷重が走行レールから車輪に伝達された。



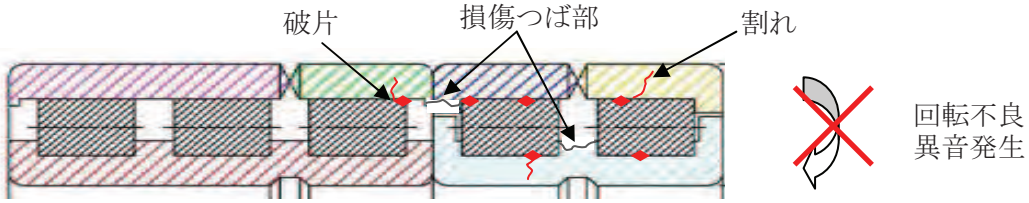
南西側走行部

② 車輪に伝達された地震荷重が軸受を通じてクレーン本体に伝達される際、２列軸受（固定型）のつば部に過大な水平荷重が付加され、軸受つば部が損傷した。



③ 軸受内部に混入した軸受つば部の破片が軸受コロに挟まれ、当該クレーンの地震後走行確認運転において軸受の回転不良が発生した。（異音発生）

④ その後の当該クレーン異音調査走行に伴い、軸受に過大荷重が付加され、軸受が損傷した。



⑤ 損傷した軸受が、走行部内部の隙間から走行部内部に設置されている油受けに落下した。