

# フリーゲージトレインの不具合対策と 今後の技術開発の進め方について

平成28年11月18日

**独立行政法人 鉄道建設・運輸施設整備支援機構**

軌間可変技術調査は、整備新幹線建設推進高度化等事業費を活用して行われているものであり、本資料は、3モード耐久走行試験において確認された不具合の対策案等について、JR九州、鉄道総研及びメーカー等の協力のもとにとりまとめたものである。

# フリーゲージトレインの不具合対策と 今後の技術開発の進め方について

## 資料の構成

1. 車軸の摩耗対策について
2. 高速走行安定性について
3. 経済性の検討について
4. FGTの不具合対策と今後の技術開発の進め方(まとめ)
5. 今後のスケジュール(案)

### 【参考資料】

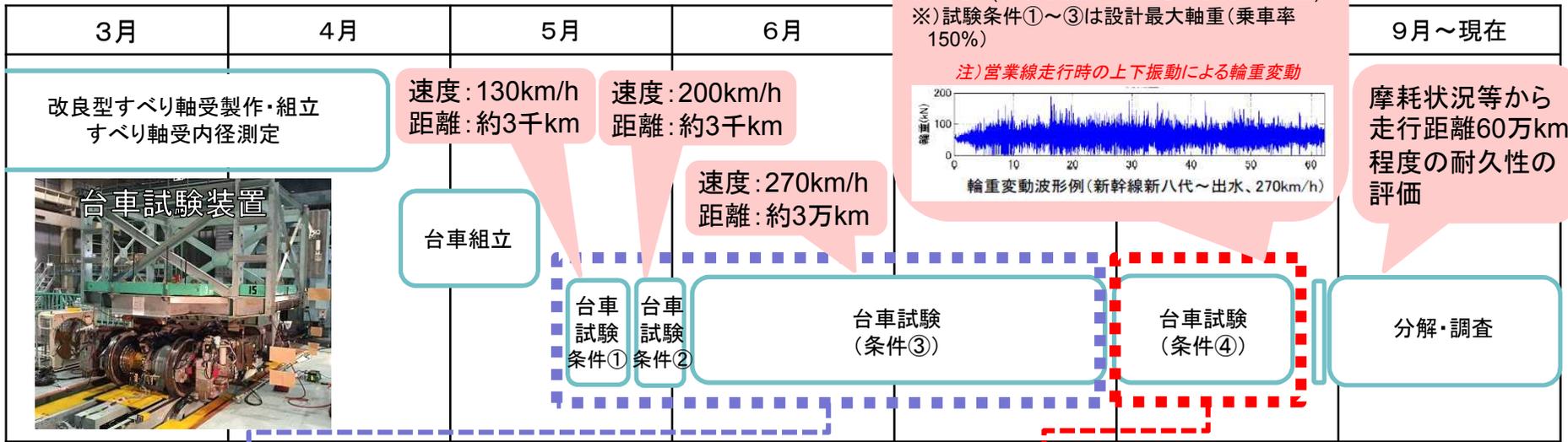
参考1. 検証走行試験と耐久走行試験について

参考2. 不具合の発生及び対策検討に関する経緯

参考3. 前回(平成27年12月)の技術評価委員会の評価結果

# 1. 車軸の摩耗対策について

## 検証試験(改良台車による室内台車回転試験)

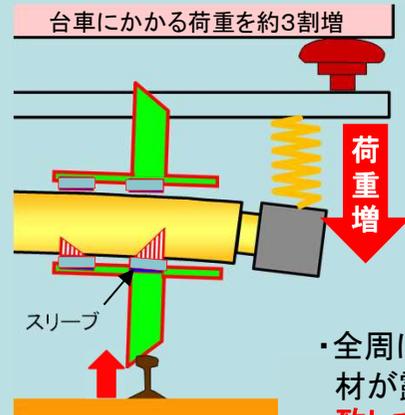


試験条件①～③を終えた後の車軸  
【走行距離: 約37,500km】



・車軸表面が鏡面化しているものの摩耗は確認されない。【一定の摩耗対策効果は確認】

試験条件④を終えた後の車軸【走行距離: 約9,000km】



・全周にわたり摩耗し(最大33 $\mu$ m(0.033mm))、メッキが剥げ、母材が露出している。【今回の試験条件④が実際の走行環境と一致しているかどうかを厳密に検証するのは困難】

- 今回の摩耗対策に一定の効果は認められるが、営業線における高速走行時の上下振動により摩耗が促進される可能性も否定できず、現時点で60万km相当走行できる耐久性を有すると判断するのは難しい。
- 従って、実際の営業線で検証走行試験を行うことにより、摩耗の対策効果を最終的に確認してまいりたい。

## 2. 高速走行安定性について

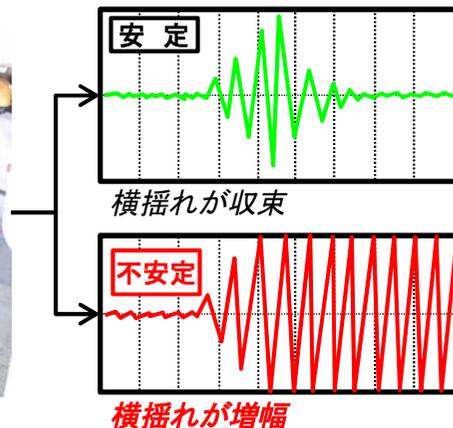
### フリーゲージトレインの高速走行安定性

- 高速走行安定性試験とは、高速で回転中の台車を横方向から強制加振することにより、台車の横揺れ及びその収束状況を確認する試験であり、新幹線台車の性能評価において重要なもの。
- フリーゲージトレインは、コロを介してモータの回転力を車輪に伝達していることから、車輪の回転ガタ(部品間の僅かな隙間によるズレ)が高速走行安定性に及ぼす影響について慎重に評価する必要がある。
- 鉄道総研の試験装置を用いて実施した高速走行安定性試験の結果、一定の条件(横方向の動揺を抑止する機能を有するヨーダンパ4本のうち、1本を外した状態)では、時速280kmで台車の揺れが顕著となった。
- 列車の走行に伴うコロや車輪等の摩耗による回転ガタの拡大は、高速走行安定性に影響を与える可能性があることから、耐久走行試験の実施にあたっては、事前に回転ガタの拡大が高速走行安定性に及ぼす影響について詳細に検討する必要がある。



横方向の動揺を抑えるヨーダンパ

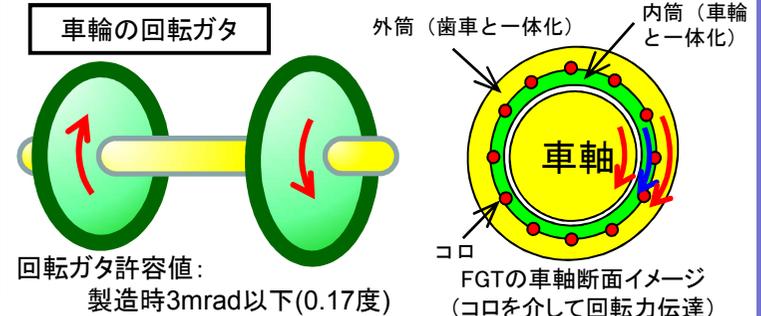
### 高速走行安定性試験



車輪と一体化された内筒(スリーブ)



コロ



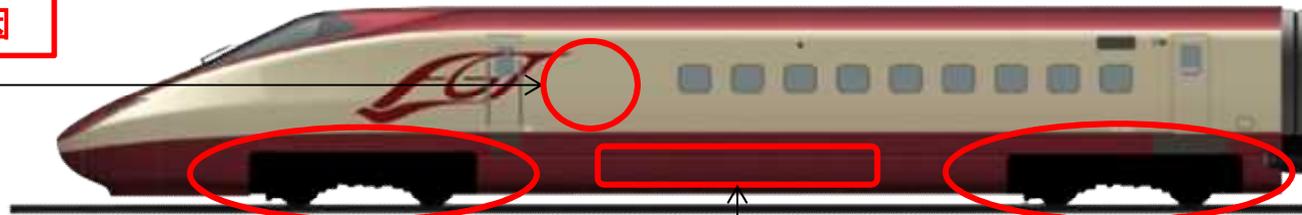
- 高速走行安定性は、コロの摩耗に伴う回転ガタの増大等により悪化する傾向にあるため、耐久走行試験の実施にあたっては、回転ガタの拡大等と高速走行安定性の関係を検証しておく必要がある。
- 従って、検証走行試験でモニタリングしながら、詳細な調査と必要な対策を検討してまいりたい。

### 3. 経済性の検討について(1)

#### フリーゲージトレイン車両の特殊性

- FGT台車は、車輪の幅を変換するための軌間可変輪軸(下図1)やロック機構(下図2)など特有の機構を備えている。
- その他、新・在共用走行のための運転保安設備等の2系統化<sup>※</sup>、車両の軽量化対策として高価な部品を採用している。

#### 主なコスト高騰要因



#### 車体

- ・軽量化対策(炭素繊維強化プラスチック製先頭部、アルミ部材の採用)
- ・車体上昇降下装置(軌間変換時等に必要)

#### 台車

- ・軌間可変輪軸(駆動装置付車軸等)
- ・ロック機構(車輪を固定する装置)
- ・軌間変換に対応したブレーキ装置

#### 電気機器他

- ・軌間変換制御装置
- ・新・在共用走行対応<sup>※</sup>  
(20kV-25kV対応、ATC/ATS)

注)※印は、E3系、E6系新幹線で実績あり

#### メンテナンスにおける特殊性

- FGT特有の軌間可変輪軸(下図1)やロック機構(下図2)は可動部を有し、摩耗するため、定期的な点検箇所や部品交換が増加。
- 今回の不具合対応により、車軸等を定期的に交換する必要が生じ、メンテナンスコストが増加。

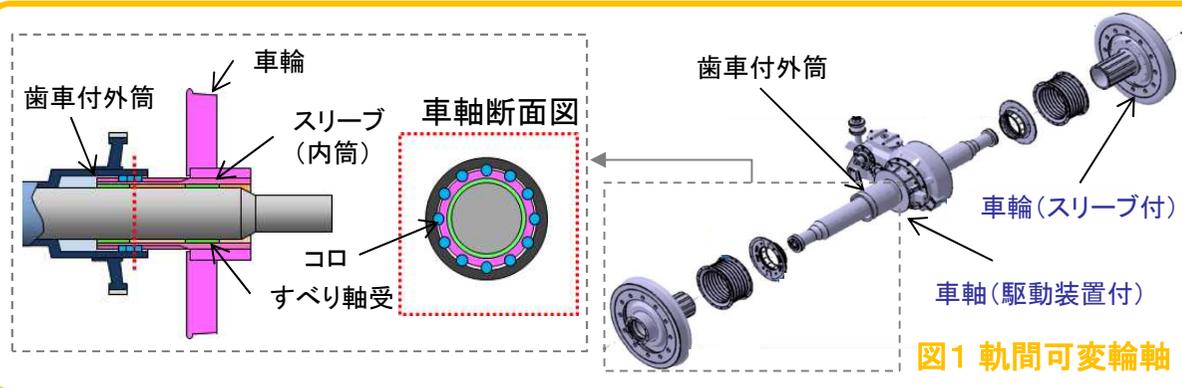


図1 軌間可変輪軸

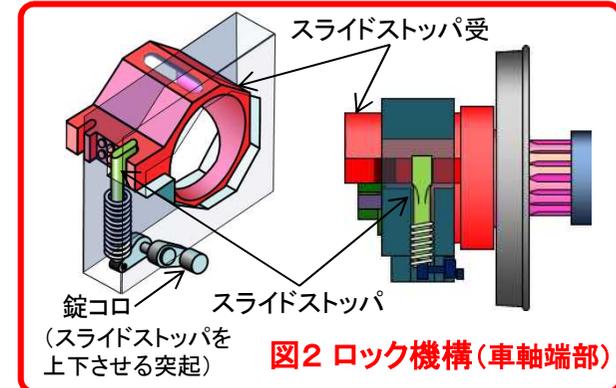


図2 ロック機構(車軸端部)

### 3. 経済性の検討について(2)

#### フリーゲージトレインの経済性の試算結果

	車軸の交換周期(想定)		備 考
	240万キロの場合	60万キロの場合	
一般の新幹線との比較	およそ2.5倍程度	およそ3倍程度	

注) 今回の不具合への対応を踏まえて、車軸等の交換周期を60万キロとするケース、240万キロとするケースの2パターンで試算。なお、一般の新幹線の場合、車両の供用期間中に車軸や駆動装置(歯車等)を計画的に交換することはない。

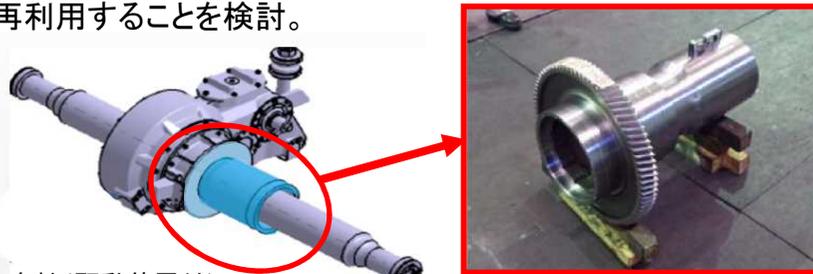
- 営業車としての使用を前提としたフリーゲージトレイン車両の経済性の検討の結果は、今回の不具合への対応も影響して、一般の新幹線のおよそ2.5~3倍程度のコスト増となると試算された(引き続き精査)。
- 今後、実用化に向けてフリーゲージトレイン特有の高価な部品の再利用など、低コスト化のための検討を推進してまいりたい。

#### 主なコスト削減検討メニュー(今後検討予定のもの)

安全性の検証を十分に行いながら、フリーゲージトレイン特有の高価な部品の再利用などメンテナンスコストを削減するための技術開発を推進する。

##### 案1) 歯車付外筒の再利用

車軸を定期的に変換する場合でも、駆動装置(歯車付外筒等)を再利用することを検討。



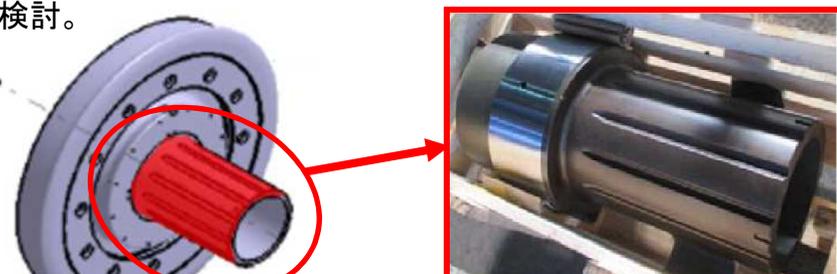
車軸(駆動装置付)

歯車付外筒(単体)

※) 駆動装置付: 歯車付大筒、ギアケース等)

##### 案2) スリーブの再利用

車輪を定期的に変換する場合でも、スリーブを再利用することを検討。



車輪(スリーブ付)

スリーブ(単体)

# 4. FGTの不具合対策と今後の技術開発の進め方(まとめ)

## ここまでの検討結果

### 車軸の摩耗対策

改良台車による室内回転試験の結果、通常状態(設計荷重載荷状態)では、約37,500km走行後も摩耗は確認されず。一方、実走行時の車両振動を模して荷重を増加させた条件では約9,000km走行した段階で摩耗が発生した。

従って、今回の摩耗対策に一定の効果は認められるが、営業線での高速走行時の上下振動により摩耗が促進される可能性も否定できず、現時点で60万km相当走行できる耐久性を有すると判断するのは難しい。

### 高速走行安定性の評価

高速走行安定性試験(高速回転中の台車を横方向へ強制加振した際の台車挙動の確認試験)を実施したところ、一定の条件では台車の揺れが顕著となった。

高速安定性は、関連する部品等の摩耗の進展に伴い悪化する傾向にあるため、耐久走行試験の実施にあたっては、より詳細な検討が必要。

### 経済性の検討

営業車としての使用を念頭に、フリーゲージトレインの経済性の検討を行ったところ、今回の不具合への対応も影響して、一般の新幹線に比較して、およそ2.5~3倍程度(車軸の交換周期に依存)のコスト増と試算された。

従って、収支採算性の観点から、フリーゲージトレインの実用化に向けたコスト削減が必要。

以上から、現時点においては、このまま耐久走行試験に移行する条件は満たされていない。

実際の営業線において、約1万km程度の検証走行試験を行うことにより、摩耗対策効果を最終的に確認してまいりたい。

部品摩耗の進展が高速走行安定性に及ぼす影響について、検証走行試験でモニタリングをしながら、詳細な調査と必要な対策を検討してまいりたい。

フリーゲージトレイン特有の高価な部品の再利用など、低コスト化のための検討を推進してまいりたい。

検証走行試験等の実施  
約半年間:約1万km程度

コスト削減策の検討

## 今後のスケジュール案

上記について、検証走行試験の結果等を踏まえて、改めて軌間可変技術評価委員会に評価していただいたうえで、3モード耐久走行試験を再開したい。

なお、検証走行試験の結果等については、今後の試験実施状況等にもよるが、来年初夏を目途にとりまとめたい。

## 5. 今後のスケジュール(案)

○『検証走行試験』等を実施する場合の工程変更(案)は、以下のとおり。



# 【参考1】検証走行試験と耐久走行試験について

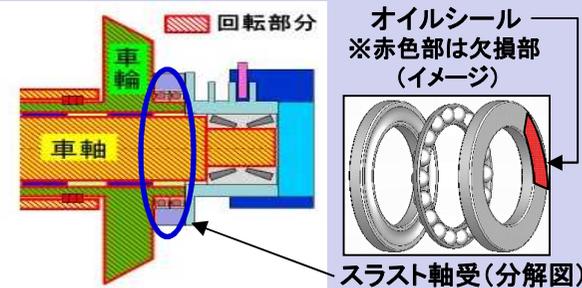
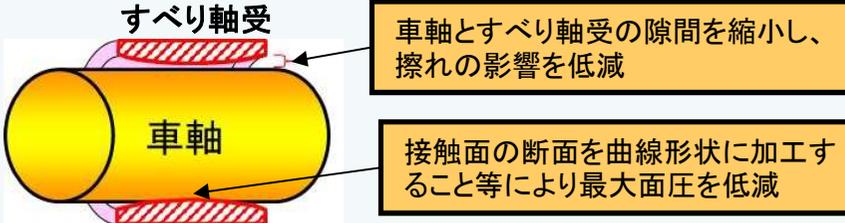
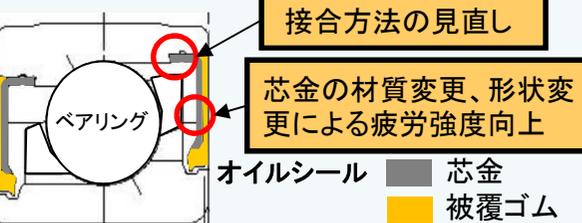
	車軸の摩耗対策	高速走行安定性
<p>検証走行試験 約1万km (半年間程度)</p>	<p>○実際の走行環境下で摩耗対策の効果をきめ細かく確認する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・車軸表面の目視・触診による状態確認及び超音波検査装置を用いた車軸の摩耗量測定(数<math>\mu\text{m}</math>単位) 注)<math>\mu\text{m}=10^{-6}\text{m}</math></li> <li>・潤滑油の適切な給脂頻度を設定するため、定期的に車軸等に給脂(最初は数日に1回の頻度)</li> <li>・約1万km走行後は台車を分解し、車軸等の詳細調査を実施</li> </ul>	<p>○車輪の回転ガタ(部品間の僅かな隙間によるズレ)等が高速走行安定性に与える影響を確認する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・定期的に(頻度は検討中)車輪のガタを測定し、高速走行安定性に与える影響を検証</li> </ul> <div style="text-align: center;"> <p>車輪の回転ガタ</p> <p>回転ガタ許容値: 製造時3mrad(0.17度)以下</p> <p>コロ FGTの車軸断面イメージ (コロを介して回転力伝達)</p> </div>
<p><b>耐久走行試験再開の判断</b></p>		
<p>耐久走行試験 60万km (約3年間注) ※)検証走行試験の結果により変更があり得る</p>	<p style="text-align: center;">摩耗対策効果の確認と 点検頻度、給脂頻度を設定</p> <p>○60万km連続して走行することで、部品の長期耐久性や交換周期を検証</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・10万km走行毎に台車を分解して詳細検査(初期段階は数万km毎に実施予定)</li> <li>・超音波検査装置により定期的に車軸の摩耗を調査【頻度は検証走行試験の結果により設定】</li> </ul>	<p style="text-align: center;">安全に高速走行できることを確認</p> <p>○60万km連続して走行することで、車輪の削正周期や回転ガタの補修周期を検証</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・10万km走行毎に台車を分離して、回転ガタや車輪の摩耗を測定するとともに、回転台試験で高速走行安定性を確認(初期段階は数万km毎に実施予定)</li> </ul>

※ 走行ルートは、いずれも、九州新幹線(熊本～鹿児島中央間)、新八代接続線(軌間変換)、鹿児島本線(熊本～八代間)である。

## 【参考2】不具合の発生及び対策検討に関する経緯

時 期	状 況
平成26年10月	・九州新幹線、軌間変換、在来線(鹿児島本線)を繰り返し走行し、60万kmを走行する3モード耐久走行試験を開始。
平成26年11月	・約3万km走行した時点で車軸に摩耗が確認されたこと等から、走行試験を休止し、原因究明のための詳細調査を実施。 <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 車軸とすべり軸受の接触部に微細な摩耗痕の発生</li> <li>○ スラスト軸受のオイルシールの部分的な欠損</li> </ul>
平成27年12月	・学識経験者による「軌間可変技術評価委員会」において、不具合の原因と対策案が了承される。 <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 今後、改良台車等による検証試験を行い、対策の効果を確認する。</li> <li>○ 今回の不具合を踏まえて、営業車としての使用を念頭に、メンテナンスの検討を行う。</li> <li>○ 次回(平成28年秋頃)の技術評価委員会において、耐久走行試験の再開を判断する。</li> </ul>
(参考) 平成28年3月	・九州新幹線(西九州ルート)について、武雄温泉～長崎間の施設が完成する平成34年度に、武雄温泉駅での対面方式乗換え方式により開業すること等を、関係者間で合意。
平成28年5月	・長崎県、佐賀県等に対して、不具合対策の検討状況、耐久走行試験再開の条件を説明。 <div data-bbox="495 1043 2022 1299" style="border: 1px solid black; background-color: #ffffcc; padding: 10px; margin: 10px 0;"> <p><b>【耐久走行試験再開の条件】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 車軸摩耗対策については、走行距離60万km程度の耐久性を有すると認められること。</li> <li>○ 車軸の健全度の判定のための摩耗限度値等の設定と、その検査技術等が確立すること。</li> <li>○ 検査周期や部品交換周期、メンテナンスコストを含む維持管理費が、一定の水準に収まる見通しが立つこと。</li> </ul> </div>
平成28年11月	・ <b>軌間可変技術評価委員会</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 摩耗対策を講じた改良台車による室内台車回転試験の結果、営業車としての使用を想定したメンテナンスや経済性の検討結果等を報告。</li> </ul>

# 【参考3】前回(平成27年12月)の技術評価委員会の評価結果

	車軸の摩耗	スラスト軸受オイルシールの欠損
<p><b>不具合の原因</b></p> <p>いずれの不具合も、高速域(時速260km)での耐久走行試験により新たに確認された事象に起因する</p>	<p>○ 面圧分布の偏りと輪重変動によって過大な面圧が作用したこと、並びに、車軸とすべり軸受との擦れ等が原因と考えられる。</p>  <p>隙間0.1~0.2mm</p> <p>直径差0.3mm</p> <p>すべり軸受</p> <p>車軸</p> <p>すべり軸受中心</p> <p>車軸中心</p> <p>面圧(P)</p> <p>スリーブ</p> <p>車軸のたわみによりスリーブが追従せず、車軸直下の軸端側に応力が集中</p> <p>相対速度: <math>V = v_2 - v_1</math> (直径の差による)</p> <p>相対速度(V)について</p> <p>車軸に働く荷重と面圧分布のイメージ</p>	<p>○ 高速域での耐久走行に伴う振動により、オイルシールの芯金に疲労き裂が発生し、欠損に至ったと考えられる。</p>  <p>回転部分</p> <p>車輪</p> <p>車軸</p> <p>スラスト軸受(分解図)</p> <p>オイルシール</p> <p>※赤色部は欠損部(イメージ)</p> <p>注) オイルシールとは、スラスト軸受(ベアリング)内の潤滑油の流出を防止する部品</p>
<p><b>主な対策案</b></p>	<p>○ すべり軸受の曲面加工等による面圧の低減、車軸とすべり軸受の隙間の縮小による擦れの影響の低減 など</p>  <p>すべり軸受</p> <p>車軸</p> <p>車軸とすべり軸受の隙間を縮小し、擦れの影響を低減</p> <p>接触面の断面を曲線形状に加工すること等により最大面圧を低減</p>	<p>○ オイルシールの材質・構造の見直しによる疲労強度向上 など</p>  <p>接合方法の見直し</p> <p>芯金の材質変更、形状変更による疲労強度向上</p> <p>ベアリング</p> <p>オイルシール</p> <p>芯金</p> <p>被覆ゴム</p>
<p><b>今後の進め方</b> (対策案の検証)</p>	<p>○ すべり軸受の曲面加工など面圧低減策等を講じた台車で台車回転試験を行い、改良効果を確認する。</p>	<p>○ 改良部品を用いた加振試験等を行い、改良方針を明確化する。</p>
<p><b>当面のスケジュール</b></p>	<p>○ 検証試験の結果等を踏まえて、本年秋頃を目途に軌間可変技術評価委員会を開催。</p> <p>○ 今後の検討が順調に進んだ場合、耐久走行試験の再開は平成28年度後半予定。</p>	
<p><b>その他</b></p>	<p>○ 今回の不具合を踏まえて、営業車としての使用を念頭に置いたメンテナンスの検討を行う(軌間可変技術評価委員会での指摘事項)。</p>	