

# フリーゲージトレインの不具合対策①(原因究明等のための調査)


参考資料

H26年10月  
11月末

**3モード耐久走行試験(2年半で60万km走行予定)**

**約3万km走行時点で不具合を確認し、走行試験停止**

・車軸とすべり軸受の接触部に微細な摩耗痕(32箇所中24箇所)  
・スラスト軸受オイルシールに部分的な欠損等(32箇所中、欠損10箇所、き裂4箇所)  
参考) 走行距離3.7万km(新幹線軌間2.6万km、在来線軌間0.8万km)、軌間交換回数400回



車軸摩耗  
オイルシール欠損部

H26年12月  
~H27年2月

**鉄道総研及び各メーカーにおいて調査を実施**

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

**1.台車分解調査**

2台車を分解して車軸、すべり軸受、オイルシール等を詳細調査  
・車軸及びすべり軸受 : 外観調査(表面粗さ、グリス状態等)、摩耗量測定、摩耗粉分析、残留応力、断面硬さ等  
・オイルシール : 外観調査(欠損、き裂発生状態等)、破断面調査、隣接部品との接触状態調査等

**2.分解調査の結果から明らかになったこと**

○車軸の摩耗痕は、片側2箇所あるすべり軸受のうち外側(軸端側)との接触面(標準軌及び狭軌)に円周状に発生。  
○狭軌側側面への摩耗量が大きく、最大値は約0.2mm(標準軌側軸端部)となっており、き裂等の発生は認められない。  
○すべり軸受の摩耗は、車軸直下で大きく、最大約0.4mm。  
○摩耗痕のある箇所は、接触部のグリスが枯渇し、摩擦による摩耗粉が発生しているが、外部からの異物の混入はない(摩耗粉の成分は、Fe、Cu、Ni)。また、車軸の硬度変化を引き起こす200℃以上の温度履歴も認められない。  
○オイルシールの破断面には、疲労破壊に特徴的な編織様相が確認されている。

H27年3月~

**原因究明及び対策検討のための試験及び解析を実施**

**1.車軸摩耗に関する模型駆動試験(3月~11月)**

車軸及びすべり軸受を模擬した供試体(上下方向の繰り返し荷重を再現する)と、摩耗の発生状況を再現することで摩耗発生メカニズムや摩耗発生速度について検証した。  
その結果、摩耗発生過程として、まず、すべり軸受が摩耗し、その後、車軸が摩耗することが再現された。また、耐久走行試験中にも発生した面圧は許容面圧を超えていた可能性が高いことがわかった。

**2.車軸摩耗に関する模型回転試験(3月~11月)**

車軸及びすべり軸受を模擬した供試体に回転曲げ荷重を与え、面圧や回転による摩耗発生への影響を検証した。  
その結果、車軸とすべり軸受の面圧と摺れとの複合作用(PV)により摩耗が発生した可能性が高いことがわかった。

**3.台車高速回転試験(9月~11月)**

給脂機能を追加した軌間可変台車を高速回転試験(最高速度290km/h、上下方向加振あり)を行い、摩耗発生状況を検証した。  
その結果、摩耗の発生とみられる車軸表面のざらつきが認められたため、約3000kmで台車分解調査を実施した。この車軸表面のざらつきは原因は車軸とすべり軸受の摺れと面圧との複合作用(PV)によるものと考えられ、また、摩耗防止策としては、給脂機能の追加に加え、面圧低減及び摺れを発生させる車軸とすべり軸受との相対速度を減らす対策を合わせて講じる必要があることがわかった。

**4.スラスト軸受加振試験(3月~11月)**

オイルシール単体、並びに、オイルシールを組み込んだスラスト軸受及び周辺部品を加振することで、破損に至る過程など輪重変動がオイルシールに与える影響を把握するとともに、オイルシール芯金の材質を見直すことによる対策効果を検証した。  
その結果、上下方向の振動が軸方向の振動を誘起し、オイルシールが疲労破壊すること、オイルシールの材質を見直すことにより疲労耐力が向上することがわかった。

**5.車軸及びすべり軸受に発生する面圧に関するFEM解析(3月~11月)**

構造体としての軌間可変軸について、有限要素法(FEM)解析により車軸等各部位に発生する面圧を計算し、摩耗発生原因等を分析するとともに、すべり軸受の形状変更と摩耗防止対策の有効性を検討した。  
その結果、曲げ剛性の相違により、車軸荷重による車軸のたわみにより、曲げ変形が誘起される。外側すべり軸受の軸端側に応力が集中するため、この応力集中により耐久走行試験中にすべり軸受に発生した面圧は許容面圧を超えていた可能性が高いことがわかった。また、すべり軸受の位置や形状を見直すことにより、面圧が低減することが確認された。

# フリーゲージトレインの不具合対策②(不具合原因と対策案: 前回の技術評価委員会)

H27年12月

**現時点で想定される原因と対策**

これまでの調査結果によると、今回の不具合は高速域(時速260km)での耐久走行により新たに確認された事象に起因するものと考えられる。

**1.車軸とすべり軸受の接触部における輪重変動**

**現時点で想定される原因**

○車軸のたわみによる面圧分布の偏り、高速域での耐久走行に伴う輪重変動によって、大きな面圧(P)が作用。  
○面圧(P)と、高速域での耐久走行に伴う車軸とすべり軸受との摺れ(V)が複合的に作用。  
○これらの結果、すべり軸受が摩耗し、その際に発生した摩耗粉が、車軸とすべり軸受の接触面に介在したことにより、車軸が摩耗したと考えられる(潤滑状態の悪化により、すべり軸受の摩耗発生を促進させたものと考えられる)。

**対策案(今後の検証試験を踏まえて決定)**

1. すべり軸受の配置、形状変更による面圧の低減(面圧最大値を約7割低減)  
2. 部品間の接合方法の見直しによるオイルシールの変位抑制  
3. オイルシール近接部品の形状変更(逃げ加工)による部品間の接触防止

給脂機能の追加等による油膜維持効果も期待

・車軸とすべり軸受の隙間を低減し、摺れの影響を低減  
・外側すべり軸受の位置を軸端側へ25mm移動させることにより最大面圧を低減  
・グリスを中央側に行き渡らせるため、すべり軸受の幅を135mmから145mmに拡大

**2.スラスト軸受のオイルシールにおける部分的欠損**

**現時点で想定される原因**

○高速域での耐久走行に伴う輪重変動により発生した上下方向の振動が、スラスト軸受に軸方向の繰り返し力を誘起し、これによってオイルシールの芯金に疲労発生が進展し、欠損等に至ったと考えられる。

**対策案(今後の検証試験を踏まえて決定)**

1. オイルシール芯金の材質、形状変更による疲労強度の向上、発生応力の低減  
2. 部品間の接合方法の見直しによるオイルシールの変位抑制  
3. オイルシール近接部品の形状変更(逃げ加工)による部品間の接触防止

・オイルシール芯金の材質変更による疲労強度向上  
・接合方法の見直しによる変位抑制  
・オイルシール芯金先端部の形状変更による発生応力低減

○ゴム嵌合  
○金属嵌合  
オイルシールのゴム部が外輪に固定  
オイルシールの芯金が外輪に固定

・セボール(玉)のたわみによる力の伝達  
③外輪が左右方向に歪みし、オイルシールに伝達  
④オイルシール芯金、弾力性低下による発生  
⑤軸重変動による上下振動  
疲労発生メカニズム(推定)  
・オイルシール近接部品との接触防止(逃げ加工)

注) MPa(メガパスカル)=10<sup>6</sup>N/m<sup>2</sup>

H27年12月による評価のまとめ

- 不具合の原因と対策案について了承。
- 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。
- 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。
- 上記の検討を進めたうえで、次回(平成28年秋頃)の軌間可変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(耐久走行試験の再開は、今後の検証試験等が順調に進んだ場合には、平成28年度後半を予定している)。

# フリーゲージトレインの不具合対策③(改良台車による検証試験の結果等)

H27年12月~  
(改良台車の検証等)

**車軸摩耗対策**

**1.改良台車による室内台車回転試験**

すべり軸受の曲面加工など面圧低減策等を講じた台車を用いて、段階的に速度を上げながら回転試験を行い、改良効果を確認する

3月	4月	5月	6月	7月	現在
改良型すべり軸受作組 すべり軸受内径測定	速度:130km/h 距離:3千km	速度:200km/h 距離:3千km	速度:270km/h 距離:3万km	速度:270km/h、距離:9千km 営業走行時の上下振動の影響を評価するため、台車にかかる荷重を試験条件①~③の設計値(標準) (※試験条件①~③は設計値(標準)乗車率150%)	速度:270km/h、距離:9千km 営業走行時の上下振動の影響を評価するため、台車にかかる荷重を試験条件①~③の設計値(標準) (※試験条件①~③は設計値(標準)乗車率150%)

・時速130kmから時速270kmまで、段階的に試験速度を上げながら室内試験を実施

**2.車軸等の健全度の判定について**

車軸等が安全な状態を維持していることを確認するため、以下の2点について検討

**1.車軸摩耗の限度値等の設置**

車軸に曲げ応力への耐性、一昨年の耐久走行試験において摩耗した車軸の分析結果(残留応力、表面硬度等)、一般の新幹線車軸の補修実績等を踏まえて検討した結果、車軸摩耗の限度値は0.1mm程度と考えられる。管理値については、検証走行試験における摩耗の進展状況や検査周期を踏まえて、引き続き検討。

**2.検査装置の導入**

車軸中の空洞部に超音波検査装置を導入することにより、台車を解体することなく、車軸の摩耗状態を測定する検査装置を開発。  
今後、検証走行試験において定期的に車軸の摩耗量を測定。

**スラスト軸受オイルシール対策**

前回の技術評価委員会の評価を踏まえて、オイルシール単体加振試験、オイルシール単体引張強度試験、スラスト軸受加振試験、台車回転試験などを継続して実施。その結果は以下のとおり。

○ 芯金材質の見直し(SPCC-SPFC)や形状変更により、振動に対する耐力の向上を確認  
⇒ 検証走行試験における改良台車に装着  
○ 接合方法については、これまでのころ、ゴム嵌合(かんごう)に比べ金属嵌合の方が良好な結果が得られているものの、実際の走行時の振動特性によっては共振点に変化することも考えられるため、検証走行試験時には、金属嵌合とゴム嵌合の2タイプを装着し、走行試験中の比較検討により、より耐久性の高いタイプを選定する。

**高速走行安定性の検討**

○ 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(軌方向の動荷重抑制する機能を有するゴダンバ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。  
○ 列車の走行に伴うゴロや車輪等の摩耗による回転軸の拡大、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、詳細な調査と必要対策を検討する必要がある。

# フリーゲージトレインの不具合対策④(経済性の検討と今後の取組)

H27年12月~  
(経済性の検討)

**フリーゲージトレインの経済性の検討**

**1.フリーゲージトレインの検査・部品交換のイメージ**

一般の新幹線の定期検査例

2日以内	3万km又は30ヶ月以内	60万km又は18ヶ月以内	120万km又は36ヶ月以内
仕業検査 (目による)	交番検査 (床下カバー等を取り外し、動作等の確認)	台車検査 (台車を分解し、各部品を詳細に検査)	全車検査 (ほとんどの機器を取り外し、詳細に検査)

注) 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(大歯車等)を計画的に交換するとはしない。

FGTの定期検査イメージ(車軸を60万km毎に交換するケース)

**2.フリーゲージトレイン台車の特有部品について**

軌間可変軸輪(車軸+車輪)  
車輪(駆動装置付)  
車輪(スリプ付)  
車輪(スリプ付)  
車輪(駆動装置付)  
車輪(スリプ付)  
スライドストップ  
ロック機構

注) 軽量化のためのアルミ合金を使用

**フリーゲージトレインの今後の技術開発の進め方について**

**車軸の摩耗対策**  
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  
より詳細な検討が必要

**高速走行安定性の評価**  
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**  
一般の新幹線のおよそ2.5~3倍程度と試算され、実用化に向けたコスト削減が必要

**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**

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おらず、検証走行試験、コスト削減策の検討等を行う。これらの結果を踏まえて、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。