

高速化に向けた 車両開発(台車)



押越 啓介*



新井 浩*



加藤 博之*



浅野 浩二*

新幹線の高速化に向けて、走行安全性・安定性、乗り心地、信頼性の向上などをめざした新たな台車の開発を行った。この台車の駆動装置・車軸軸受などには新たな構成要素を採用しており、事前に先行試作品を製作し試験台試験による性能試験および、長期耐久性評価を行い、新幹線高速試験電車FASTECH360に搭載して走行性能の確認を行った。

●キーワード：高速新幹線用台車、駆動装置、軸継手、車軸軸受

1. はじめに

高速新幹線用台車の開発においては、走行速度の大幅な向上に対応する性能（走行安全性・安定性、乗り心地）とともに、高速走行時の信頼性確保、営業使用を前提とした長期耐久性、メンテナンスの容易性についても考慮する必要がある。このため、台車の主な構成部品は、新たな構成要素の採用も含めた構造の見直しを行った。その検討段階においては数値解析などにより強度や性能を十分に検討するとともに、先行試作品を製作して試験台試験による性能および長期耐久性の評価を実施した。

このようにして開発した台車を、新幹線高速試験電車FASTECH360に搭載して、実際の走行試験による性能確認を行った。ここでは、高速新幹線用台車の開発内容と開発プロセスについて、台車およびその主要部品である駆動装置、車軸軸受を中心に紹介する。

2. 開発内容

2.1 開発台車の構成

最高運転速度 360km/h での安定した走行を実現するために、駆動装置、車軸軸受、ブレーキ部品などの重要構成部品に新規要素を採用するとともに、台車全体としては、走行安全性・安定性、乗り心地の向上、さらに信頼性・耐久性向上、メンテナンス性向上などをめざして開発を進めた。目標速度が現在の営業最高速度を大幅に上回るため、設計の必要な負荷条件は過去に製作した試験車両で得られたデータなどをもとに設定した。

開発台車の主な特徴には、以下の項目があげられる。

- (1) 走行安全性・安定性向上のために、軸箱支持剛性の最適化を図った。

- (2) 上下乗り心地向上のために、軸ばねおよび空気ばねを柔らかくした。
- (3) 左右乗り心地向上のために、空気ばねの左右剛性の最適化を図った。
- (4) 左右乗り心地向上のために、新型アクティブ動揺防止制御装置を装備した。
- (5) 曲線通過速度向上のために、空気ばねストローク式車体傾斜制御装置を装備した。

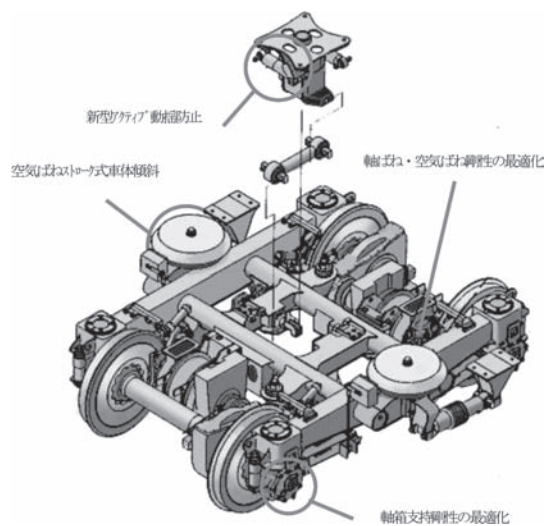


図1 台車構成

技術的な目標が同一であっても、それを実現するための方策はひとつには定まらないため、今回の開発では細部構造の異なる3種類の台車を製作し、高速試験電車に装備して、実際の走行試験で比較評価を行った。

2.1.1 開発 A 方式台車

台車枠と軸箱を軸箱と一体の腕で結合する方式（軸はり

支持方式)とし、アクティブ動揺防止制御用電磁式アクチュエータは2本配置の構成である。従来の車体側構造部材の一部(枕はり)を台車側の構造部材(車体支持はり)とし、車両全体の軽量化と台車着脱作業の容易化を図っている。



図2 開発A方式台車

2.1.2 開発B方式台車

軸箱支持方式はA方式台車と同様の軸はり式とし、アクティブ動揺防止制御用電磁式アクチュエータは1本配置の構成である。



図3 開発B方式台車

2.1.3 開発C方式台車

台車枠と軸箱を板ばねで結合する方式(支持板方式)とし、アクティブ動揺防止制御用ローラーねじ式アクチュエータは1本配置の構成である。



図4 開発C方式台車

2.2 駆動装置

2.2.1 歯車装置

走行速度の向上に伴って、モータの回転を車輪に伝える駆動装置の負荷も増大する。そこで信頼性の向上と低騒音化をねらい、歯車装置にはトルク伝達時にも軸方向の力が発生しない「ヤマバ歯車」を採用した。従来の「ハスバ歯車」では、トルク伝達時に軸方向の力が発生するため、組立て時に微妙なすきま調整を要する円錐ころ軸受を用いざるを得なかったが、「ヤマバ歯車」を使用することで軸受も軸方向の負荷から解放され、すきま調整の不要な円筒ころ軸受とすることができた。そのため、微妙な軸受すきま調整が必要な「ハスバ歯車」では、低温下で軸受すきまが収縮し、軸受の焼き付きに対する限界温度があるのに対し、軸受すきまが大きい「ヤマバ歯車」は、寒冷地に対して有利な形状となっている。

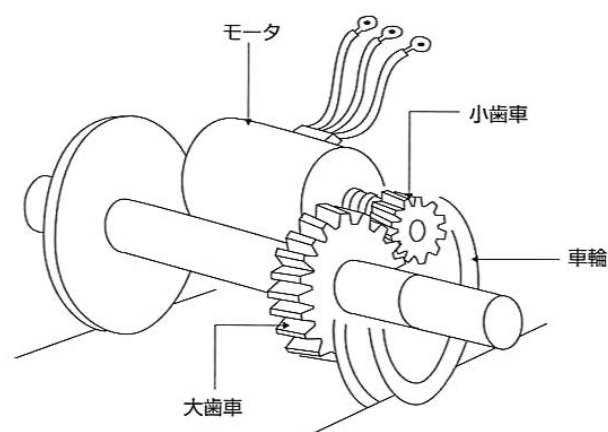
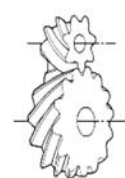


図5 駆動装置構造

ハスバ歯車(従来)

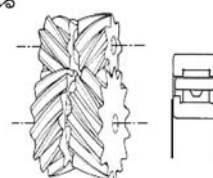
軸方向に荷重が発生



スラスト荷重を負担する軸受が必要
・円錐ころ軸受: スキマ調整が必要

ヤマバ歯車

軸方向の荷重発生がなく、軸受負荷を軽減できるとともに、かみあいの安定化による低騒音化も図られる



軸受でスラスト荷重を負担する必要がない
・円筒ころ軸受: スキマ調整が不要

図6 歯車構造¹⁾

2.2.2 軸継手

前述のように、今回の開発台車は上下方向の乗り心地を向上するために軸ばねを柔らかくしているため、主電動機軸と小歯車軸の変位量も大きくなる。このため、この変位量に対応するとともに回転時の騒音低減を図った2種類の軸継手（歯車式軸継手、TD継手）を開発した。

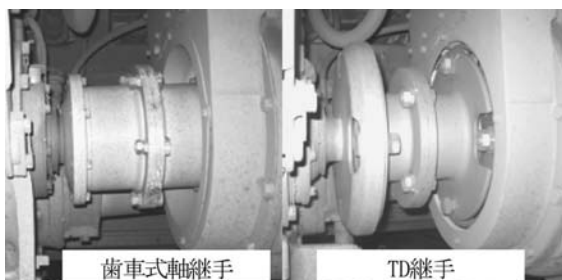


図7 軸継手形状

2.3 車軸軸受

走行速度が275km/hから360km/hに向上すると車軸軸受が受ける振動加速度の大きさは約2倍となる。これにより従来の軸受のままでは耐久性が低下するため、軸受の信頼性および耐久性の向上は高速化のために必須であり、また事前にその性能を確認することが重要である。

今回の開発では、油浴潤滑式、グリース潤滑式を含む数種類の軸受を試作し、後述の定置試験台による性能試験を実施した。その結果、油浴潤滑式は温度上昇と潤滑油のシール性に課題が残るためグリース潤滑式を選択し、併せて車軸への攻撃性を抑制する構造とした。

グリース潤滑式の軸受では、保持器の材質が金属製とポリアミド製の2種類で試験を行い、図8のように、グリースへの鉄分含有量抑制を確認した。図9に採用した軸受構成を示す。

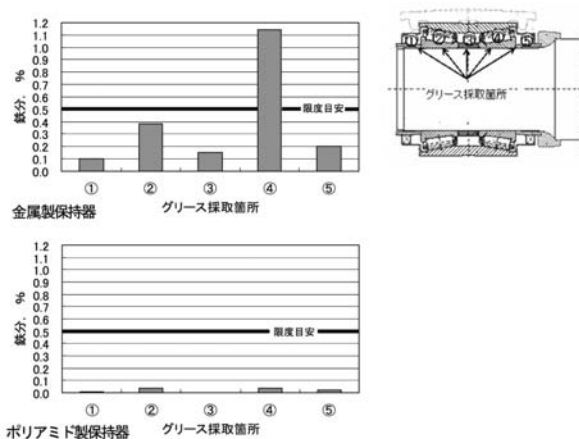


図8 グリース汚損状況

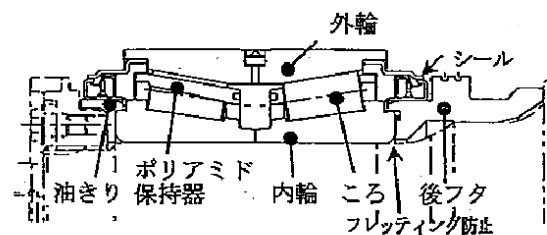


図9 車軸軸受の構成

3. 性能試験

従来から駆動装置や車軸軸受などの単体性能試験は試験台試験で実施しているが、台車全体の性能試験は多くの場合実際の車両を走行させて行ってきた²⁾。しかし近年では、走行性能の確認（事前確認）も台車状態または車両状態での試験台試験³⁾で実施する例が増えている。今回の台車開発においても、大幅に走行速度が向上することから、先行試作品を製作し試験台試験での性能試験を重視して進めた。

試験台試験による性能試験結果は以下のとおりである。

3.1 台車性能試験結果

台車特性の評価は鉄道総研の車両試験台を主体に実施して、走行安定性および乗り心地について確認した。

その結果、いずれの開発台車とも速度400km/h超まで走行安定性に問題ないことを確認した。併せて乗り心地についても確認し、改良が必要な項目については試験電車用台車の諸元に反映した。



図10 車両試験台試験（鉄道総研）

3.2 駆動装置性能試験結果

温度関係試験（低温急加速試験、常温温度試験）および近傍騒音測定を定置試験で行った。温度関係試験では360km/h域においても現行車両の駆動装置と同等以上の良好な特性であること、近傍騒音も現行車両と比べて図11のような低減効果があることが分かった。

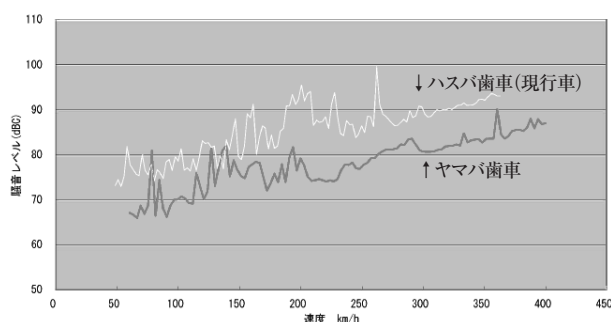


図11 駆動装置構造と騒音

騒音低減効果は、「ヤマバ歯車」を採用したことで、ねじり角によって発生する軸方向の負荷から解放されるため、ねじり角を大きくして、かみ合い率を最適化し、かみ合いによる騒音を低下できた結果である。

3.3 車軸軸受性能試験結果

図12に示す軸受試験装置を製作し、油浴潤滑式および、グリース潤滑式車軸軸受の温度特性を比較した結果、400km/h走行では油浴潤滑式の油温度が劣化温度の120℃程度となる一方、グリース潤滑式はその半分程度の温度であることが分かった。また、油浴潤滑式では油漏れが発生（3万キロ相当）し、シール構造として高速走行に対応が困難であることが分かった。しかし、その後の開発で軸受構成の改良と新型シールを採用することによって、油浴潤滑式での320km/h走行が可能となった。

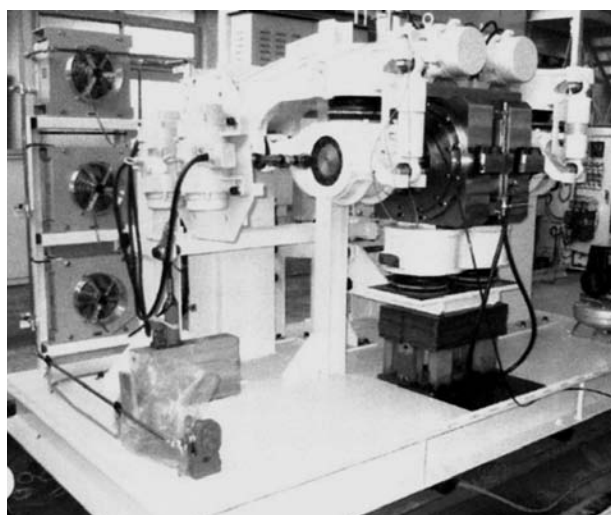


図12 軸受試験装置

4. 長期耐久試験

長期にわたる車両使用期間中の高速走行を安全・確実に達成するためには、台車の性能のみならず、各部品の信頼性、耐久性についても事前に十分な確認を行うことが必要で

ある。しかし、近年まで走行時にかかる負荷の下で長時間の試験を実施できる試験装置は一部を除き存在せず、耐久性の評価は実際の車両に装備して一定期間走行させて行う以外に方法はなかった。

今回の高速対応開発台車には新規要素を数多く取り入れており事前の十分な検証が必要である。そこで、JR 東日本研究開発センターが大宮に新設した図13の台車試験装置を活用して、負荷吸収機構を用いた主電動機駆動および実軌道加振条件下における試作台車の65万キロ耐久走行試験を実施し、信頼性、耐久性を評価した。これは、最高速度400km/h、昼夜兼行で124日間走行し続けるという非常に過酷な試験であった。



図13 長期耐久試験（台車試験装置）

耐久試験終了後は駆動装置、車軸軸受などを分解調査し、根本に関わる不具合がないことを確認した。

5. 走行試験

新規要素を取り入れた3方式の開発台車を、新幹線高速試験電車に装備して、実際の走行試験で性能を評価した。

5.1 E954形式新幹線高速試験電車の走行安全性

E954形式新幹線高速試験電車では、走行安全性に関しては横圧、輪重、脱線係数を測定したが、398km/hまでの範囲でいずれも速度向上判定における目安値以下であり、良好な結果であった。

ヨーダンパフェイル時の走行安全性を確認するために、ヨーダンパフェイル試験を実施した。試験は、台車あたり2本あるヨーダンパのうち1本を無効（減衰力なし）とし、PQ軸および台車枠振動加速度にて、だ行動発生の有無を観察するという方法で行った。その結果、各方式の開発台車とも、速度360km/hまでだ行動の発生はなかった。

5.2 E955 形式新幹線高速試験電車の走行安全性

E955 形式新幹線高速試験電車では、在来線区間の曲線通過性能を確保するため、ヨーダンパの減衰力を新幹線区間と在来線区間で変えられる切替式ヨーダンパを採用している。新幹線区間の走行安全性に関しては横圧、輪重、脱線係数を測定し、398km/h までの範囲でいずれも速度向上判定における目安値以下であり、良好な結果であった。その後、在来線区間の小曲線通過時の横圧低減のために、台車諸元を変更し、365km/h までの走行安全性を確認した。

ヨーダンパフェイル時の走行安全性を確認するために、台車諸元変更後にヨーダンパフェイル試験を 3 方式の開発台車で実施した。その結果、1 方式で不安定な振動が発生したことにより、新在直通用台車では、ヨーダンパ 1 本フェイル時においても、適切な減衰を確保できるヨーダンパ構成を選択するのが必要との結論に達した。

在来線区間の小曲線通過時の横圧低減対策として、車体間の連結構成の変更は効果が認められず、支持剛性の変更による横圧低減効果が確認できた。

また、車体の上下振動低減対策として、ヨーダンパ取付高さ位置の適正化が有効であることを確認した。

5.3 E954 形式新幹線高速試験電車の耐久性

E954 形式新幹線高速試験電車では、開発台車の耐久性を検証するため、約 60 万 km の耐久走行試験を行った。耐久試験終了後、新規部品や従来と構造が異なる部品、速度向上による負荷増大が考えられる部品などについて、状態調査を行った。その主な結果は次のとおりである。

(1) 台車枠

寸法測定と高応力部位の磁粉探傷を行った結果、いずれも耐久性に問題がなかった。

(2) 輪軸

はめ合い部品をすべて解体し、目視検査および、磁粉探傷を行った結果、いずれも耐久性に問題がなかった。

(3) 車軸軸受

摺動部調査、グリース性状分析を行った結果、いずれも問題がなかった。

(4) ヤマバ歯車式駆動装置

歯車の磁粉探傷、潤滑油の性状調査、軸受などの状態調査を行った結果、いずれも耐久性に問題がなかった。

(5) 軸継手

軸継手について、歯車式継手の歯車の磁粉探傷、グリース性状分析および、TD 継手のタワミ板の状態調査を行った結果、いずれも耐久性に問題がなかった。

(6) 各ダンパ類

軸ダンパ、ヨーダンパ、左右動切替ダンパについて、減

衰特性のサンプル測定を行った結果、いずれも耐久性に問題がなかった。

(7) 各ゴム類

一本リンク、軸ゴム、ヨーダンパゴムについて、外観調査および、静ばね定数のサンプル測定を行った結果、いずれも耐久性に問題がなかった。

(8) 空気ばね

外観調査、ばね定数のサンプル測定を行った結果、いずれも耐久性に問題がなかった。

(9) 軸ばね

磁粉探傷および、自由高さ、ばね定数のサンプル測定を行った結果、いずれも耐久性に問題がなかった。

6. おわりに

高速走行台車関係の開発内容について紹介したが、開発した台車の構成部品は、次期新幹線電車（E5 系）用台車の仕様に反映されている。

今後も、新幹線の更なる高速化をめざして、高速性能はもとより、安全性、信頼性、メンテナンス性に優れた台車および、構成部品の開発を継続していく計画である。

参考文献

- 1) 機械工学便覧,B応用編,B1機械要素設計・トライボロジー p81-108.
- 2) たとえば,佐々木ほか,新幹線用台車開発における試験台の活用について,機構論,No.02-50 (2002),p175-178.
- 3) たとえば,岩波ほか,E2系1000番代新幹線車両による乗り心地向上対策試験,機構論,No.02-50 (2002),p169-170.