

乗り心地向上の取り組み



岩波 健* 加藤 博之* 浅野 浩二*

速度の向上により、車両に発生する振動は増大する。しかし、乗り心地の基準は速度とは無関係であり、高速走行車両でも従来以上の乗り心地を確保する必要がある。また、360km/h域での高速走行では、曲線通過時の左右加速度の増大など、従来の新幹線では問題とならなかった新たな課題への対応が必要になる。

本稿では、新幹線高速試験電車の乗り心地向上への取り組みについて、主に高速新幹線用台車の開発の観点から、台車、アクティブ動揺防止制御装置、車体傾斜制御装置の開発について、その概要を紹介する。

●キーワード：新幹線高速試験電車、台車、乗り心地向上、動揺防止制御、車体傾斜制御

1 はじめに

台車は、車体を支え、駆動・制動力を発生させてレール上を安定して走行するとともに、走行に伴って車体に発生する振動を抑制するための装置であり、特に高速走行時には、その特性が安全性、快適性を決定する重要な装置である。

新幹線高速試験電車（E954形式）では、従来の275km/hから360km/h域まで大幅に速度を向上する。このため、曲線通過時の左右加速度増大など、新たな乗り心地上の課題を解決する必要がある。さらに、速度が向上しても、乗り心地を損なわない、つまり従来と同等以上の乗り心地を確保する必要がある。

本稿では、新幹線高速試験電車の乗り心地向上に関する取り組みについて、主に高速新幹線用台車開発の観点から、その概要について説明する。

2 乗り心地向上に関する開発概要

新幹線高速化の技術開発を推進するにあたり、試験電車の製作に先立って、現有車両（E2系1000番代およびE3系車両）による高速走行試験を実施した。その結果、高速走行時の乗り心地上の課題として、以下について取り組む必要性が認識された。

- ・ 車体振動（動揺および車体の微小変形を伴う車体弾

性振動）の低減

- ・ 曲線通過時に発生する左右加速度の抑制
- ・ 勾配が変化する地点で発生する上下衝撃の抑制

特に、曲線や勾配変化点で発生する事象は、従来の275km/hではほとんど体感されないものであったが、今回の360km/h域までの速度向上に伴い初めて顕在化した項目である。

これらの課題を解決するために、高速走行用新幹線車両の乗り心地向上策として、以下について開発を進めることとした。

- (1) 防振性能を向上した高速新幹線用台車の開発
- (2) 新たな高性能動揺防止制御（電磁式フルアクティブ制御）装置の開発
- (3) 車体傾斜制御装置の開発

それぞれの開発項目について、以降に概説する。

3 高速新幹線用台車の開発

3.1 台車の開発方針

高速走行用台車が具備すべき基本的特性には、以下のものがある。

- ・ 走行安全性

地上設備への影響や脱線の危険性を評価する指標である輪重・横圧や脱線係数などが、目安値の範囲内におさまる必要がある。

・走行安定性

高速走行では、だ行動が発生しやすくなり、高速走行時の安全性を損なうことがある。そこで、台車の軸箱支持剛性、ヨーダンパ等の特性を検討し、だ行動が発生しない台車とする必要がある。

さらに新幹線用車両は、鉄道車両の中でも特に優れた快適性を有する必要がある。そこで今回の開発では、走行速度を向上しつつ、車両に発生する振動を従来車両よりも小さくすることを目指した。具体的には、乗り心地上の目標を、「360km/h走行時に乗り心地レベル80dB以下」と設定した。乗り心地レベルとは、鉄道車両の乗り心地を評価する指標のひとつで、その数値から乗り心地を表1のように評価するものである。

表1 乗り心地レベル値と評価

乗り心地レベル値	評価
83dB未満	非常によい
83dB以上88dB未満	よい
88dB以上93dB未満	普通
93dB以上98dB未満	悪い
98dB以上	非常に悪い

しかし、たとえば走行安定性を向上させることが乗り心地面では不利にはたらく場合があるなど、高速新幹線用台車に要求される特性の中には互いに相反する部分も存在する。そこで、事前に数値解析などによる詳細な検討を行い、それぞれの必要特性が高次元で達成可能な諸元を見出した。

今回の開発では、高速新幹線用台車の乗り心地向上に関する方針を以下のように設定し、台車のさまざまな諸元を根本から見直した。

- ・ 上下振動の低減
- ・ 左右振動の低減
- ・ ロール振動の抑制
- ・ 曲線通過時の左右加速度抑制
- ・ 勾配変化点での上下衝撃抑制
- ・ 部品の特性劣化対策

開発方針の詳細を表2に、開発項目を図1に示す。併せて、車体弾性振動の影響を抑制するため、車体剛性も大幅な向上を図ることとした。

3.2 試作台車による検証試験の実施

以上の方針のもとに開発を進め、細部構造の異なる3

表2 乗り心地向上に関する方針と内容

方針	内容
上下振動の低減	特に、人間の感覚が鋭い10Hz付近の上下振動を低減するため、空気ばね、軸ばねの剛性を従来より大幅に柔らかくするとともに、減衰特性を見直す。
左右振動の低減	動揺防止制御を使用しない状態で、可能な限り左右振動を低減できる特性とする。さらに、動揺防止制御装置を適用することで、総合的な乗り心地向上を図る。
ロール振動の抑制	空気ばねを柔らかくすることにより発生しやすくなるロール振動に対して、これを抑制するアンチロール装置の取り付けを考慮する。さらに、車体傾斜制御との両立を図る。
曲線通過時の左右加速度抑制	車体傾斜制御を搭載する。アンチロール装置の装備を併せて考慮する。
勾配変化点での上下衝撃抑制	空気ばねストローク量を適正化するとともにストッパを工夫して、衝撃の発生を抑制すること。
部品の特性劣化対策	オイルダンパの特性劣化による乗り心地悪化を回避するため、高速走行による負荷増大を考慮した十分な耐久性を有するものとする。

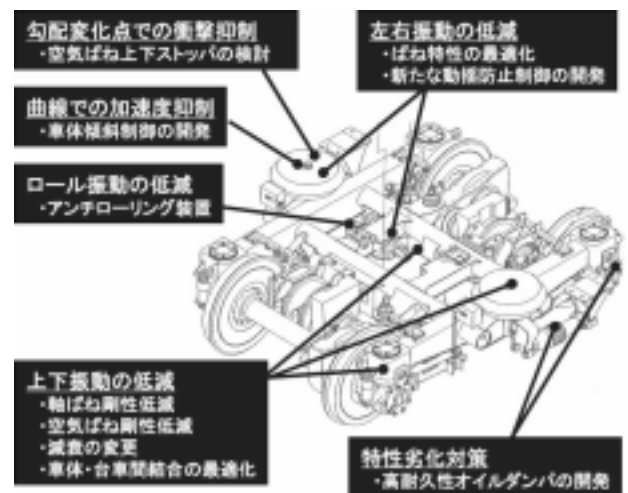


図1 乗り心地向上に関する開発項目

種類の台車を試作して、当社の台車試験装置などの試験台による400km/hまでの試験（図2）により高速走行時の特性（走行安定性、乗り心地）を評価した。また、車体についても新たに試作して、台車・車体を組み合わせた車両としての試験も行い、乗り心地向上面からの課題を明確化するとともに、車内騒音低減など、車両の快適性向上に関する数多くの知見を得た。

特性劣化が走行安定性や乗り心地に大きく影響するオ



図2 開発台車の試験台試験（台車試験装置）



図3 オイルダンパ定置耐久試験

イルダンパについては、360万キロ（3全検相当）非解体で特性劣化を起こさないことを目標として新たな開発を行い、従来品と開発品の同時定置加振試験（図3）によりその耐久優位性を確認した。

3.3 高速試験電車用台車

高速試験電車用として、上記試験台試験の結果等を踏まえ、構造の異なる3種類の台車（図4）を製作し装備した。現在、乗り心地や走行安全性・安定性、台車強度やメンテナンス性等を含めた最適な仕様を決定するために、走行試験による評価を進めている。



(1) A方式台車



(2) B方式台車



(3) C方式台車

図4 高速試験車両用台車

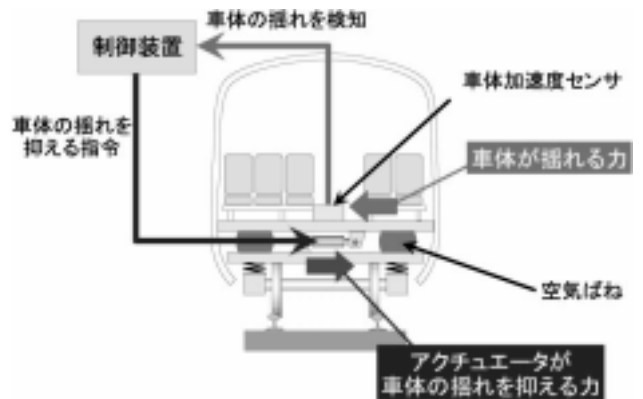


図5 動揺防止制御の概要

4 新たなアクティブ動揺防止制御装置の開発

クティブ動揺防止制御（図5）とは、車体に発生する左右振動、特に1Hz付近の動揺に対して、台車と車体間に設置したアクチュエータにより振動を打ち消して、乗り心地向上を図るものである。すでに、当社のE2系、E3系新幹線電車には、一部を除き空気アクチュエータまたは可変減衰ダンパによるアクティブ動揺防止制御装置が搭載され、走行時の左右振動を低減して、大幅な乗り心地向上を実現している。

新幹線高速試験電車は、走行速度が大幅に増大することから、より性能のよいアクティブ動揺防止制御装置の開発を進めてきた。数種類のアクチュエータ方式を車両試験台試験により比較した結果、最良の制振性能を発揮した電磁式アクチュエータを採用することとした。この方式は、動作指令に対する応答性が高く、制振可能周波数範囲が広いなどの優れた特徴を有している。

E954形式には、制御やアクチュエータ構成が異なる2種類の電磁直動式アクティブ動揺防止制御装置を搭載して、各種比較試験を実施している。

5 車体傾斜制御装置の開発

高速で曲線を通過する際には、曲線の外側方向に左右加速度が発生する。特に今回は大幅な速度向上を目標としているため、何らかの対策を講じない限り、乗り心地上の基準（着席前提とした基準は、左右加速度 0.9 m/s^2 以下）を超過する。そこで、当社の新幹線車両では初めて車体傾斜制御を装備することとした。

従来の在来線車体傾斜制御方式には、最大5度程度傾斜する振り子方式などがあるが、新幹線は在来線よりも曲線の条件がよい（曲線半径、カントが大きい）ため、必要な傾斜角度は最大2度程度である。そこで、必要な性能を有し、構成がシンプルで台車構成を変更する必要の無い空気ばねストローク式車体傾斜制御（図6）を採用した。

車体傾斜制御は、あらかじめ準備した曲線情報を元に、車両の走行地点から曲線を判断して、その際の速度から必要な傾斜角度を計算する。そして、曲線外側の空気ばねを膨張させて、車体を曲線内側に傾斜させる。

開発にあたり、傾斜動作パターン（傾斜速度や傾斜開

始タイミングなど）を十分に検討するとともに、フェイル時の安全性を確保するために、必要なセンサの設置、センサ情報を基にした状態監視方法およびフェイル検知閾値等を慎重に検証した。さらに、試験台試験や車両完成時に行った実車両特性に合わせた最終調整により、走行試験に備えた。

E954形式には、制御内容や電磁弁装置構成の異なる2種の車体傾斜制御装置を搭載している。

6 おわりに

乗り心地向上に関する取り組みを中心に、高速新幹線用台車の開発について述べてきた。現在は高速走行試験において調整を進め、性能を評価している段階である。

今後は走行試験により得られた知見をもとに、より安全で快適な高速車両の実現を目指していく。特に、線形やお客さまが実際に感じる乗り心地を考慮した制振制御などについて、さらなる検討を進めていく。

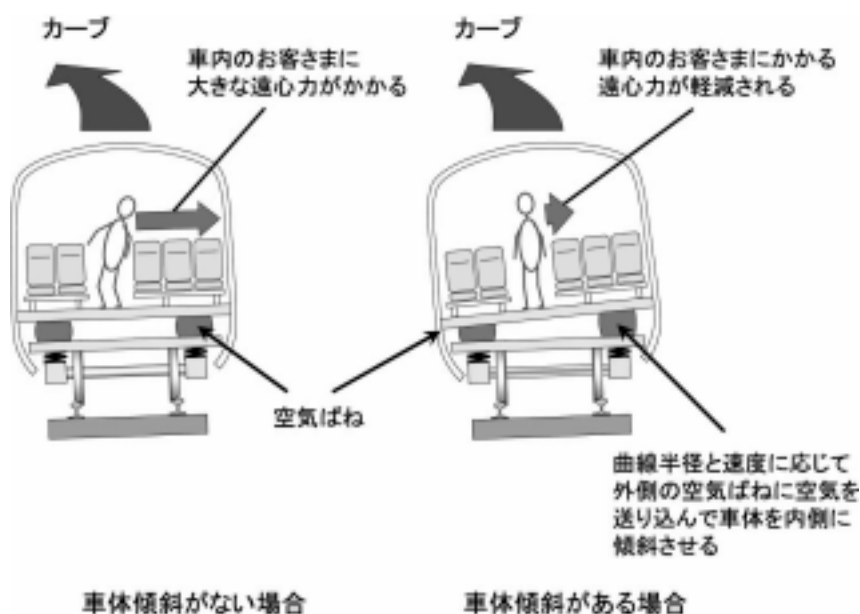


図6 車体傾斜制御の概要