

- 鉄道一般
- 車両
- 施設
- 電気
- 運転・輸送
- 防災
- 環境
- 人間科学
- 浮上式鉄道

新幹線の発展に資する 鉄道総研の車両技術

新幹線がこれからも発展していくためには、高速化、安全性や快適性の向上、省エネルギーおよび保守の省力化などさまざまな領域での継続的な技術開発が求められます。車両技術分野においては、空気抵抗の削減による騒音やトンネル微気圧波の低減など沿線環境への適合、安全性向上に向けた地震時のブレーキ距離の縮減、乗り心地の向上などの技術開発が必要と考えられます。ここでは、新幹線の発展に対して車両技術分野での貢献が期待される研究開発事例を紹介します。



石毛 真
Makoto Ishige
車両構造技術研究部長
【専門分野】台車構造



山本 貴光
Takamitsu Yamamoto
車両制御技術研究部
主管研究員
【専門分野】鉄道車両の省エネルギー化、燃料電池鉄道車両の開発、鉄道車両用電気機器



長倉 清
Kiyoshi Nagakura
環境工学研究部長
【専門分野】音響工学



小美濃 幸司
Koji Omino
人間科学研究部長
【専門分野】人間工学

はじめに

新幹線が今後も発展していくために、車両技術分野での貢献が期待される研究開発事例として、沿線環境への適合、ブレーキシステム、省エネルギー、快適性の向上に関する取り組みを紹介します。

沿線環境への適合

騒音

新幹線車両が走行するとさまざまな種類の騒音が発生しますが、現地試験データを用いた解析結果から、300km/hを超える速度域では車両まわりの空気流に起因して発生する空力音が車輪・レールの振動により発生する転動音を上回ることで、空力音の中でも

台車部やパンタグラフからの音がとくに大きいことが明らかになっています。そこで、これらの部位から発生する空力音の低減策の開発に取り組みました。

台車部空力音については、台車部の前後に車両床下の空気の流れの方向を変えるための跳ね上げ材を取り付ける対策、主電動機や駆動装置の設置位置を上方に移す対策、台車カバーの下面を車体内側に折り込む対策などを提案し、250Hz～2kHz帯で騒音レベルが約2dB低減することを確認しました。パンタグラフ空力音については、空力音の低減と揚力特性の安定化を両立する多分割平滑化舟体¹⁾、舟体位置を上流側に移設する改良舟支え、頂点カバー

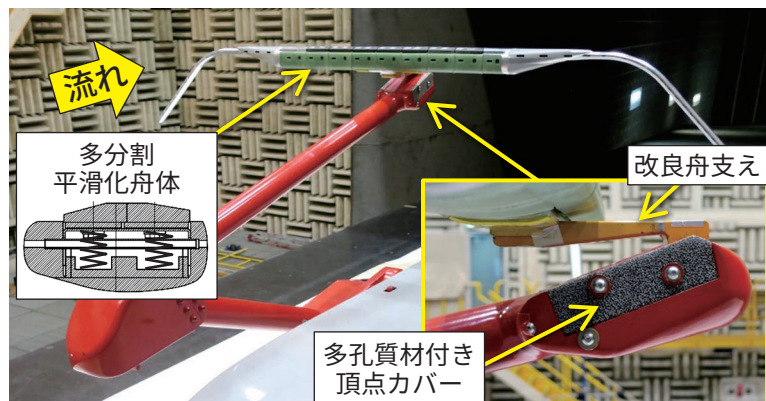


図1 パンタグラフ空力音の低減策

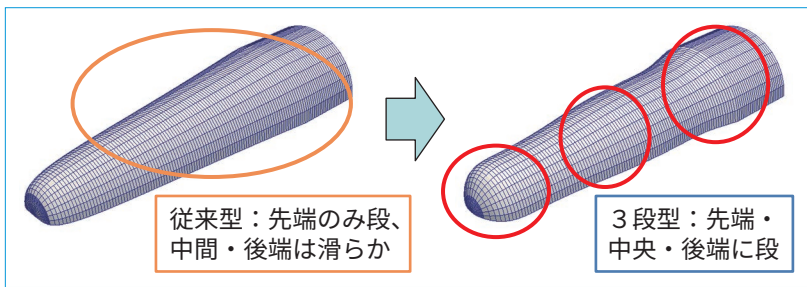


図2 3段階最適先頭部の例

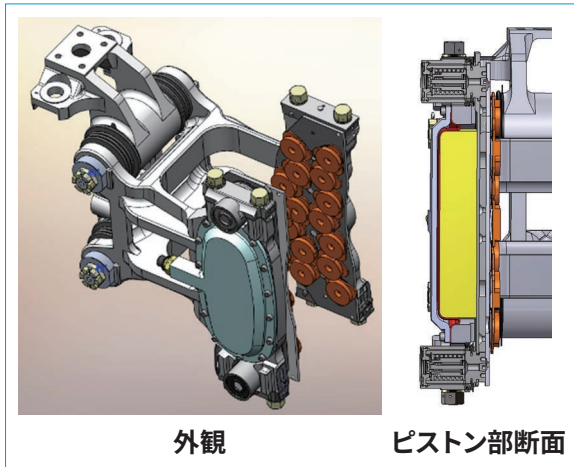


図3 空圧キャリパー

への多孔質材の埋込部分適用などの対策を提案し(図1), これらの対策を組み合わせることで, 現在使用されているパンタグラフに比べて騒音レベルを2.7dB低減できることを確認しました。

トンネル微気圧波

列車がトンネルに突入するとトンネル内に圧縮波が形成され, これが反対側の坑口に到達すると外部へパルス状の圧力波が放射されます。このパルス波はトンネル微気圧波とよばれ, 坑口付近において発破音や家屋の建具のたつきなどの環境問題を引き起こすことがあります。

微気圧波の車両側の対策としては, 列車先頭部形状の改良が行われてきました。従来の先頭部形状設計では, 先端部の断面積の変化率を大きくし, 中間部以降では断面積の変化率を一定にする滑らかな形状が推奨されてきました。ところが, 新しい音響理論に基づいてさらに研究を進めたところ, トンネル断面の半径程度の長さごとに断面積が変化する多段階先頭部形状にする

ことで, 微気圧波をさらに低減できることがわかってきました。以上の理論的知見に基づき, 数値流体解析によって各段の位置や大きさを決定し, 微気圧波がより低減される3段階形状先頭部を提案しました(図2)。この効果を模型実験で確認し, 従来型先頭部に比べて微気圧波の圧力のピーク値を5%程度低減できることを示しました。

ブレーキシステム

空圧キャリパー

ディスクブレーキは, ディスク, ライニング, はさみ装置から構成されます。新幹線のはさみ装置には, 押付力を発生するアクチュエーター部分とライニングを支えブレーキ力を受ける部分が一体となったブレーキキャリパー(以降, キャリパーという)が用いられています。現在の新幹線では一部を除き油圧式のキャリパーが用いられています。運転台からの電氣的なブレーキ指令などによりブレーキ制御装置が空気を制御し, その空気圧は増圧シ

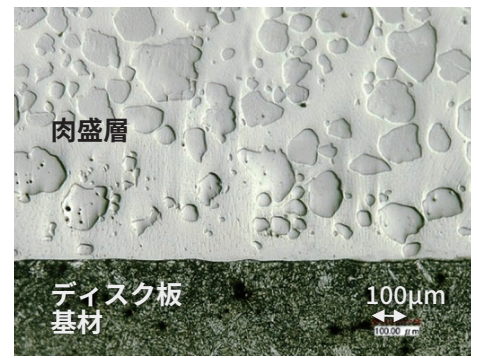


図4 ディスク板の肉盛層

リンダーとよばれる空-油圧変換装置で油圧に変換されキャリパーを動作させます。しかし, 空気圧で直接キャリパーを動作させれば油圧系の装置や部品が不要となり, システムの簡略化ならびにメンテナンスの簡素化につながります。在来線で培った空気圧を制御する高度な滑走制御技術を新幹線に適用して, 空圧キャリパーを開発しました(図3)。このキャリパーの特徴は楕円形ダイヤフラムを用い押付面積を大きくすることで, ピストンを直動で押すという単純な構造です²⁾。ピストンに断熱性をもたせるなどの工夫により, 熱がダイヤフラムに悪影響を与えないようにしています。従来の油圧式フローティングキャリパーと大きさ重量ともほぼ同等で取り付け互換性を有し, 増圧シリンダーが不要となるため, 1台車あたり60~100kg程度の軽量化が図れます。そういった観点からも今後新幹線で広く用いられるようになると思われます。

ディスクブレーキの性能向上

新幹線用ディスクブレーキは車輪に2枚(表側および裏側)のディスク板が取り付けられた構造となっています。このディスク板は鍛鋼材でできていますが, 耐熱性向上を図るため, ディスク板の表面に最新のレーザー溶接技術により高融点金属の肉盛層を形成しました(図4)³⁾。このディスク板を取り付けたディスクブレーキ装置に対して台上試験を実施し, ブレーキ初速度400km/hから使用できることを確認しました。

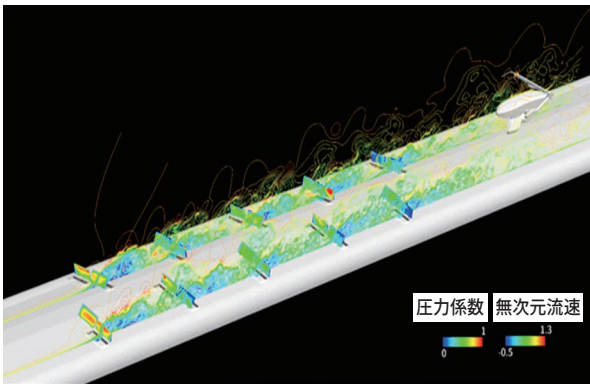


図5 空力ブレーキ千鳥配置の流れ場解析例

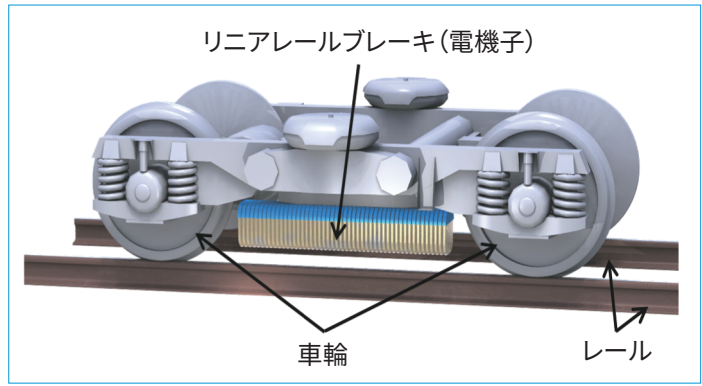


図6 リニアレールブレーキ

空力ブレーキ⁴⁾

新幹線の速度向上においては、地震発生時などの緊急時の安全性能確保のため、現行以上の高速域から現行と同等以下の距離で停止することが求められます。緊急時の制動方法として、ディスクブレーキの性能向上が進んでいますが、さらに高速域の性能を安定化するため、空気抵抗を利用した空力ブレーキ装置の開発に取り組みました。装置を車体の屋根上に搭載可能なように薄型・小型化したうえで、列車全体に装置を分散させる方式を考案しました。開発した装置は2枚1組の抵抗板に掛かる空気圧力の差を利用して走行風で空力ブレーキが作動する機構を組み込んでおり、これにより装置厚さ65mm、装置質量36kgの小型・軽量の構成を実現しました。装置の屋根上への配置を風洞試験と数値解析から検討し、装置を複数台搭載する際には左右方向に交互配置とするのが抗力の向上に有効であることを示しました(図5)。

リニアレールブレーキ

レールブレーキは、台車に搭載された電磁石に電力を供給して直流磁界を発生させ、その磁界によりレールに渦電流を誘導し、これらの電磁相互作用によりブレーキ力を得るものです。しかし、停電時には使えず、動作時は走行中の運動エネルギーが渦電流によるジュール発熱となってレールの温度上昇を引き起こすため、日本の高速鉄道車両では採用されませんでした。そこ

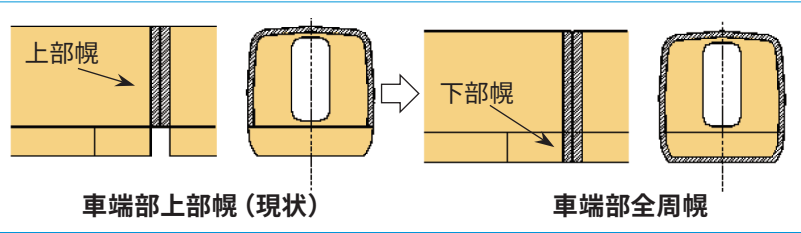


図7 車端部幌の全周化

で、走行中の運動エネルギーから回生ブレーキと同様の原理によりレールブレーキ自身が電力を発電することによって停電中でも使用可能とし、レール温度上昇を小さく抑えることが可能な「リニアレールブレーキ」を開発しました(図6)⁵⁾。

省エネルギー

空気抵抗

高速で走行する新幹線車両では、走行抵抗の大部分を空気抵抗が占めるため、走行エネルギーをより少なくするためには、空気抵抗の低減が重要となります。新幹線車両は、長大編成であり、先頭・後尾部が流線形化されていることから、空気抵抗の大部分は中間車両部が占めており、その低減のためには車両各部の平滑化が有効です。近年は、騒音低減などの目的から屋根上や床下の平滑化、車端部幌の天井部への拡張、台車側面カバーの設置などが進められています。これらの対策は騒音低減に加えて、空気抵抗の削減にも寄与しています。

今後の速度向上に向けて、さらなる空気抵抗低減の可能性を探るため、車

端部幌の下部への延長(全周化、図7)、台車底面カバーを提案し、風洞試験により効果を検証しました。車端部の幌の延長については中間車両の空気抵抗に対して20%を超える低減効果が得られること、台車底面カバーについては底面を覆う面積が増えるほど低減効果が大きくなり、台車の底面を25%程度覆うと中間車両の空気抵抗が10%程度低減されることが示されました⁶⁾。

快適性の向上

乗り心地評価

乗り心地とは旅客が走行中に生じる振動をどう感じているかということ、大まかに言うと振動が小さい方が乗り心地は良いということになります。ただし、人間の感覚は振動の周波数によって感じ方が変わるので、強く感じる周波数の振動を抑えることが乗り心地の改善には効果的です。新幹線や在来線の乗り心地管理に広く使われている乗り心地レベルは、走行中の車内床面で計った振動(加速度)に、人間の感覚に応じた周波数帯域ごとの重みづけをして評価します。この乗り心地レベルは旧国鉄時代から使われてきたも

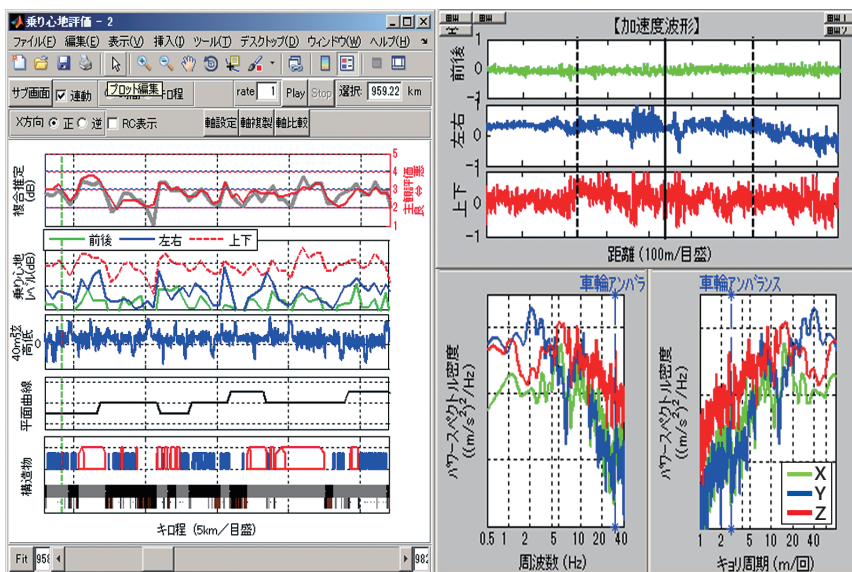


図8 乗り心地情報一元表示システムの画面例 (左:メイン画面, 右:サブ画面)

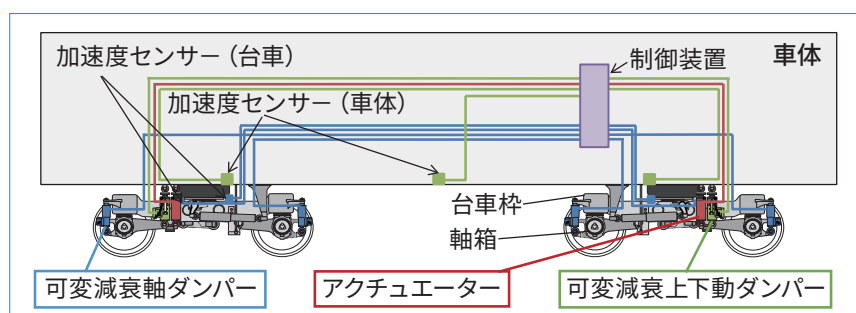


図9 上下制振制御システム

のですが、近年の列車高速化にともない人間の感覚との乖離が生じるようになってきました。そこで、振動に対する人の感覚を調べ直したところ、以前の重みづけは高周波成分に対する人間の感じ方を過小評価していることがわかり、その重みづけの補正を提案し、乗り心地評価がさらに人間の感覚に合うようになりまし⁷⁾。

また、乗り心地評価を支援する目的で乗り心地情報一元表示システム(図8)を開発しました。このシステムは乗り心地評価を時間と距離どちらの単位でも表示でき、同時に車両・軌道分野のデータ、線路線形や構造物も表示可能で、両分野とも容易に乗り心地改善ポイントが把握できます。さらにはこれまでデータ管理違いなどで両分野の連携が難しい面もありましたが、それが容易になり高品質な乗り心地の実現が期待されます。

乗り心地向上⁸⁾

新幹線の最高速度は、1990年代に車両の大幅な軽量化とともに200km/h台後半に向上されました。それとともない、長波長の軌道変位やトンネル内空力動揺による車体振動が増加し、乗り心地の悪化が課題となりました。こ

のため、オイルダンパーの減衰係数を振動状態に応じて切り替えるセミアクティブサスペンションや、能動的に振動を抑制する力を発生させるアクティブサスペンションが実用化され、乗り心地の向上に貢献しました。左右系の振動制御装置が新幹線車両においてほぼ標準備になるにつれて、相対的に上下方向の振動が目立つこととなりました。上下系の振動を抑制するための装置として、可変減衰軸ダンパーと、空気ばねと並列に取り付ける可変減衰上下動ダンパー、上下アクチュエーターを組み合わせた上下制振制御システム(図9)や、牽引リンクやヨーダンパーを介して台車から車体に伝わる振動を抑える緩衝ゴムの開発を進めています。また、車体の局所的な振動の抑制効果が期待できるアクティブマスタダンパーの開発にも取り組んでいます。

おわりに

新幹線の発展に対して車両技術分野での貢献が期待される研究開発事例を紹介しました。これらの技術の実用化に向けた取り組みを進めるとともに、さらに新幹線を発展させるための研究開発にも継続的に取り組んでいきたいと考えています。[RRR]

文献

- 1) 白田隆之, 光用剛, 長尾恭平, 磯野達志, 久保田喜雄: パンタグラフの集電性能と環境性能を両立する: RRR, Vol.76, No.9, pp.20-23, 2019
- 2) 狩野泰, 大河原義之: 空圧式フローティングキャリバの開発, 第16回鉄道技術連合シンポジウム講演会論文集, pp.183-184, 2009
- 3) 辰巳佳宏, 嵯峨信一, 阿部信行, 坂口篤司, 宮部成央, 米山三樹男, 松井祥司: レーザクラディング表面機能化技術による次世代高速鉄道用ブレーキディスクの開発, レーザ加工学会誌, Vol.25, No.1, pp.24-29, 2018
- 4) 高見創: 新幹線速度向上に向けた空力ブレーキ装置の開発, 鉄道総研報告, Vol.34, No.3, pp.5-10, 2020
- 5) 依田裕史, 坂本泰明, 浮田啓悟, 笹川卓: 高速車両に向けたリアールブレーキの小型軽量化の検討, 鉄道総研報告, Vol.31, No.1, pp.41-46, 2017
- 6) 井門敦志, 岩崎誠: 新幹線車両の空気抵抗低減の研究, 第21回鉄道技術・政策連合シンポジウム講演論文集, 2014
- 7) 中川千鶴: 鉄道分野の振動乗り心地評価研究とその活用, バイオメカニズム学会, バイオメカニズム学会誌, Vol.41, No.1, pp.15-20, 2017
- 8) 菅原能生, 小島崇: 車内の振動を低減する, RRR, Vol.73, No.4, pp.8-11, 2016