

- 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

新幹線速度向上における 基盤技術の開発



山本 貴光
Takamitsu Yamamoto

車両制御技術研究部 部長

【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

はじめに

鉄道総研では新幹線の最高速度400km/hまでの速度向上を目指して2015年度から2019年度の5年間、将来指向課題として取り組んできました。新幹線の速度向上には、新幹線車両自体を速く走行させるための技術と周囲への騒音・振動を増大させないための技術が必要です。ここでは前者について述べることにします。新幹線車両を速く走行させる際の課題として、最初に思いつくのは「加速するための技術」です。最高速度400km/hまで加速するためには、速度の上昇にともなって増加する走行抵抗に打ち勝つための「トルク(=加速力)」とこれをレールに伝えるための「粘着」(☞参照)の確保が必要ですが、速度400km/hまで

☞ 粘着

列車を加減速するための駆動力やブレーキ力の伝達を可能にするレール・車輪間の摩擦現象。粘着で得られる力を高めるには増粘着剤(砂、セラミックスなど)のレールへの噴射や、レール削正でレール面を、または鋳鉄系制輪子で車輪踏面を粗面化するなどの方法があります。

新幹線の400km/hまでの速度向上における大きな課題としてブレーキシステムと集電システムの性能向上があります。鉄道総研ではこれらの課題について2015年度から2019年度の5年間、将来指向課題として取り組んできました。ブレーキシステムについてはディスクブレーキの耐熱性およびブレーキ力向上、空力ブレーキおよびリニアレールブレーキの開発を行いました。集電システムについてはパンタグラフの低騒音性と追従性向上を目指した多分割舟体方式の開発および速度向上に対応した電車線構造の検討を行いました。

であればこれまでの技術の延長線上で対応できるとの検討結果を得ました。

次に考えられる課題は「減速する、止まるための技術」です。地震発生などの非常時においても従来と同様の停止距離を確保するためにはブレーキの強化が必要です。そこで、400km/hの速度から現行と同じ停止距離4,000mを実現するブレーキシステムの開発を目標としました。

最後に考えられる課題は「安定して集電するための技術」です。400km/hまで速度が向上するとトロリー線の波動伝搬速度に対する相対的な速度の比率が高くなることや、空力的な影響が大きくなることで安定した集電が困難になることが想定されます。

取り組んだ研究テーマ

「減速する、止まるための技術」の向上として取り組んだ研究テーマの一つ目は「新幹線速度向上対応ディスクブレーキの開発」です。現在、営業運転している新幹線には電気ブレーキとして回生ブレーキ、機械ブレーキとしてディスクブレーキが搭載されています。通常のブレーキでは回生ブレーキ

が多く使われますが、地震のような停電時には回生ブレーキが使用できません。この時でもディスクブレーキで最高速度から安全に停止できるように、耐熱性能の向上が要求されます。また、現行と同じ停止距離を実現するにはブレーキ力も向上する必要があります。このブレーキ力向上分を車輪・レール間の粘着を使って得ようとする高速度ほど粘着が低下する特性があるという制約を受けるため、うまくブレーキ力を得ることができません。そこで、粘着を使用しないブレーキとして「新幹線速度向上対応空力ブレーキの開発」を行いました。また、もう一つの粘着を使用しないブレーキとして台車に電機子を搭載し、レールに磁界を発生させ、その磁界と電機子間の電磁力によりブレーキ力を得る「新幹線速度向上対応リニアレールブレーキの開発」を行いました。

「安定して集電するための技術」の向上として取り組んだ研究テーマは、低騒音性と集電性能を両立した「新幹線速度向上対応パンタグラフの開発」と、このパンタグラフの性能を考慮した「新幹線速度向上に対応した電車線

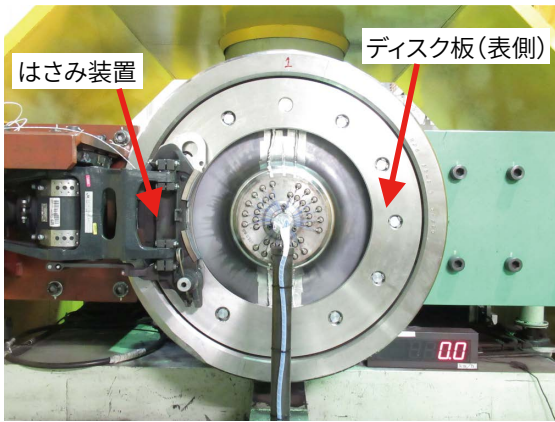


図1 ディスクブレーキ装置例



図3 小型空力ブレーキ

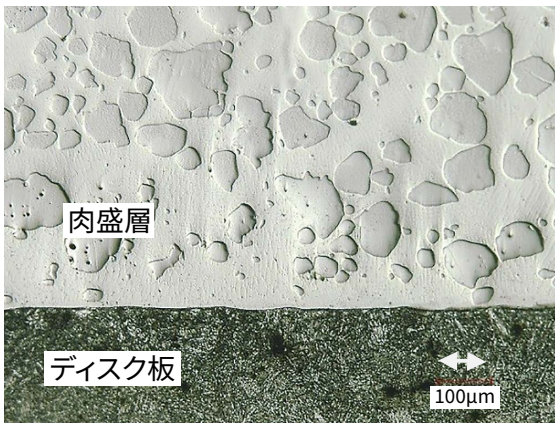


図2 ディスク板の肉盛層

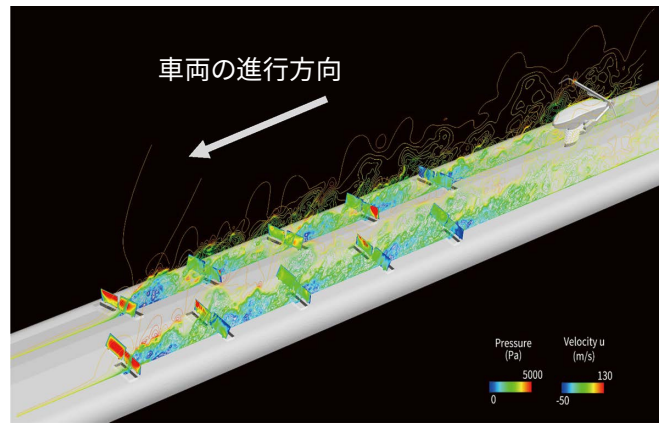


図4 千鳥配置時の流れ場解析例

構造の開発]を行いました。

これらの研究テーマの成果について以下に紹介します。

新幹線速度向上対応ディスクブレーキの開発

新幹線用ディスクブレーキ(例: 図1)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になっており、はさみ装置でブレーキパッドをこのディスク板に押し付けて摩擦させ、ブレーキ力を得る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、今回は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(図2)を形成しました¹⁾。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。

新幹線速度向上対応空力ブレーキの開発

これまでの空力ブレーキは新幹線高速試験電車E954形「FASTECH 360 S」(この車両に使われているものの通称: 「ネコミミ」)やリニアモーターカーに採用されており、屋根上に板をせり上げ、空気抵抗を増大させてブレーキ力を得るもので1車両に1か所搭載されるものですが、大形なため空気抵抗板や動作機構が大掛かりで、通常時には車両内に格納しておくため、客室空間の一部を占有してしまうという課題がありました。

今回開発した空力ブレーキ(図3)は開く向きが進行方向に180°異なる抵抗板がギヤで接続されています。動作時はロックを外すとわずかに開口し、2枚の空気抵抗板に作用する空気抵抗力の差によって完全に開く大変簡素な機構としました。また、空気抵抗

板を小型化することにより通常時も客室空間に影響することなく格納できます。車両の屋根上にこの装置を枕木方向に2台、進行方向に複数台搭載し専用のブレーキ力を得るものですが、千鳥配置(図4)にすることにより空気抵抗が増大することもわかりました。

新幹線速度向上対応リニアレールブレーキの開発²⁾

レールブレーキはドイツの高速鉄道ICEなどに採用されており、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。従来は、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。

そこで鉄道総研では、車両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」(図5)を開発しました。

以上、紹介した新幹線速度向上に対応したディスクブレーキ、空力ブレーキ、リニアレールブレーキを組み合わせた走行シミュレーションを行い、明かり区間の条件(走行抵抗が小さく、厳しい条件)で初速度400km/hからブレーキ距離4,000m以内となる目途を得ました。課題としては、高速域で粘着条件が厳しいため、増粘手法を併用する必要があること、高速域で高減速度となることを許容する必要があることなどがわかりました。

新幹線速度向上対応パンタグラフの開発

新幹線用パンタグラフには優れた空力音特性と集電性能が必要です。ここでは空力音特性に有利な平滑化形状の舟体を前提として高速化した際の集電性能の確保を目指しました。

高速時の追従性の向上には、舟体のばね上質量を軽量化することが重要であり、舟体自体を左右方向に分割して、それぞれをばねで支持する多分割平滑化舟体³⁾を開発しました(図6)。さらに高速時に舟体に働く揚力を安定化させる必要もあります。平滑化舟体形状は、空力騒音の低減には有効な形状ですが、すり板の摩耗や迎角の変化にともなう断面形状の変化が揚力の変動に大きく影響します。この課題に対して、パンタグラフの平均揚力の推定値と空気シリンダーによる押し付け力の調整値の合計を安定化する揚力補償手法の開発を行いました。パンタグラフの平均揚力は原理的に舟体表面の多数点で

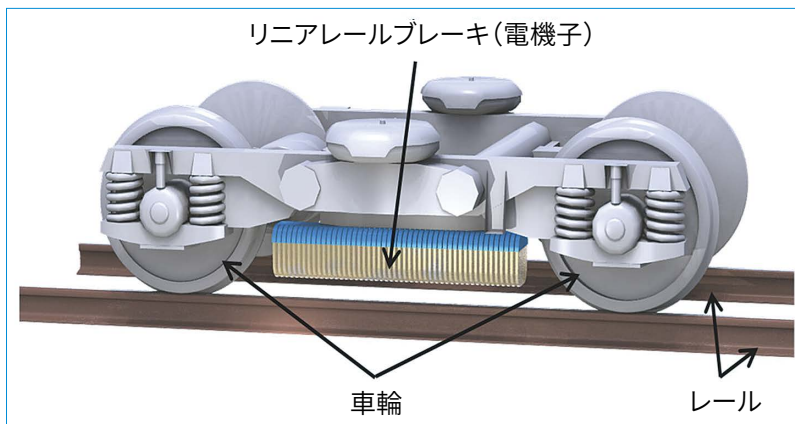


図5 リニアレールブレーキ

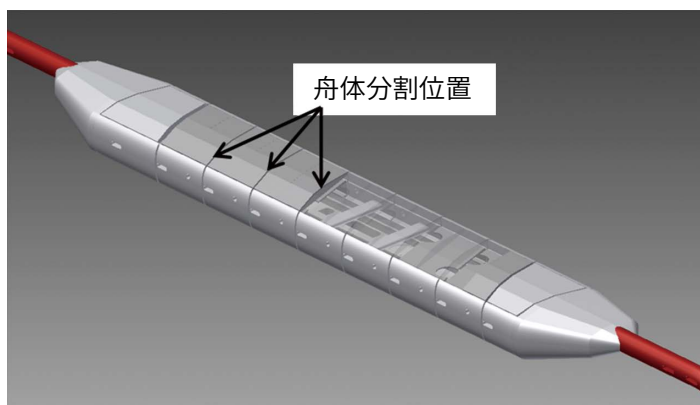


図6 多分割平滑化舟体の例

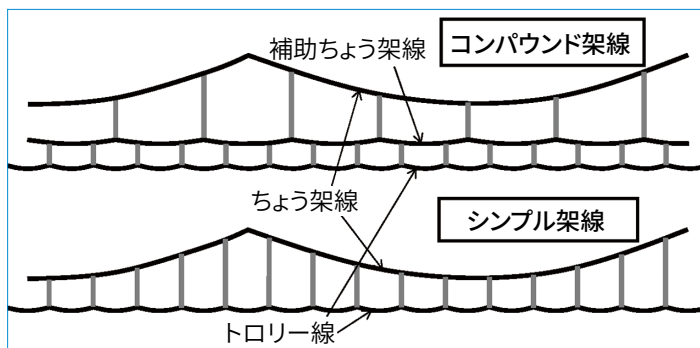


図7 コンパウンド架線とシンプル架線の例

圧力を測定することで推定できますが、多数の圧力測定は実用上現実的ではありません。そこで、測定点の部位の選定と推定のための係数を決定する過程にスパースモデリング(☞参照)を適用し、数点測定するだけで平均揚力を推定可能な手法を開発しました。この

揚力補償手法を適用したパンタグラフを鉄道総研の大型低騒音風洞に設置して、補償効果の確認試験を行い、補償制御なしの場合と比較して揚力変動が1/4に抑えられることがわかりました⁴⁾。

☞ スパースモデリング

大規模なデータにおけるスパース性(データサイズが大きくても有意なデータは少なく、本質的な関係がもっと少ない変数でも表現可能である状態)を仮定して、少ない情報により状態量を評価するためのモデル化手法。

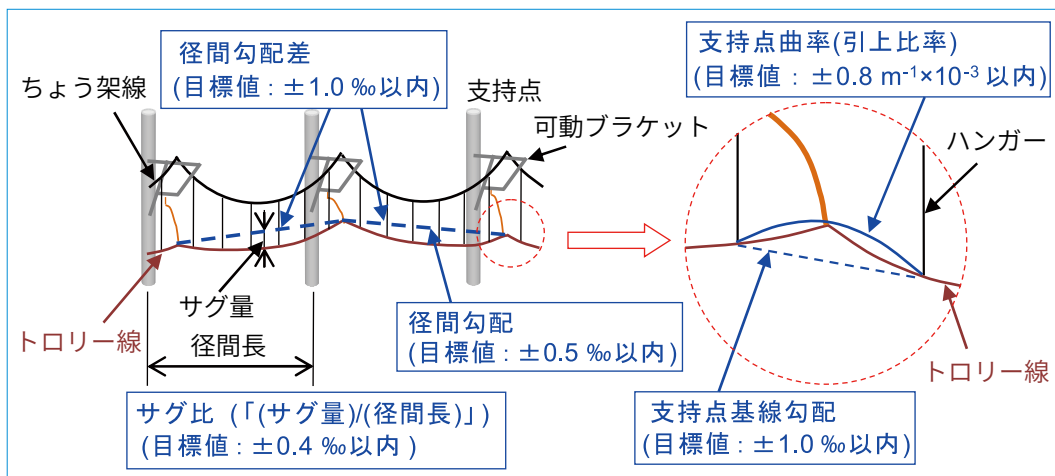


図8 400km/h走行対応の架設基準

新幹線速度向上に対応した電車線構造

新幹線開業時からの電車線構造として複数パンタグラフの通過による架線の振動を抑制することが可能なコンパウンド系の架線(図7)が用いられてきました。当時は1編成当たり最大8基のパンタグラフが搭載されていましたが、近年は、1~4基の搭載となったため、部品点数が少なく、保守コストの削減が期待できるシンプル架線への更新の機運が高くなってきました。このような状況を踏まえて400km/hに対応した電車線構造においてもシンプル系の架線で検討することとしました⁵⁾。

パンタグラフとトロリー線との良好な接触を維持するためには走行速度をトロリー線の波動伝搬速度の7割程度以内とする必要があります。したがって、走行速度を向上するためには、波動伝搬速度を向上する必要があります。これはトロリー線の張力の1/2乗に比例するため、トロリー線の引張強度の向上が必要です。現在、高強度トロリー線としてクロム、ジルコニウム系析出強化合金のPHCトロリー線が実用化されていますが、さらに引張強度を向上した析出強化銅合金よるトロリー線の開発を行っています。この引張強度を向上したトロリー線(張力29.4kN)

と多分割平滑化舟体を適用したパンタグラフの使用を前提として、走行速度400km/hに対応した高速シンプル架線について動的挙動シミュレーション⁶⁾により架線・パンタグラフの動特性評価を実施し、集電性能が良好であることを確認しました。このほか、速度400km/h化に向けて「耐久性を向上した曲線引金具」、「温度変化による架線の状態変化が集電性能に与える影響の低減方策」、「400km/h走行に対応する架設基準の策定」などの開発を行いました。一例として、400km/h走行に対応する架設基準を図8に示します。

以上、新幹線速度向上に対応したパンタグラフ、電車線構造の開発について紹介しました。課題としては、パンタグラフについては集電特性と両立するさらなる空力音特性の改善、電車線構造については速度400km/hに対応したさらに高強度のトロリー線の完成などがあげられます。

おわりに

新幹線の400km/hまでの速度向上を目標としてブレーキシステムと集電システムの性能向上について取り組んできた研究開発の成果を紹介しました。それぞれの技術は実用が見込めるものから研究開発の継続が必要なものまで

さまざまな段階ですが、後者については2020年度から始まる鉄道総研の基本計画RESEARCH 2025において引き続き検討を実施します。また、途中段階で派生した成果の一部には現行新幹線の性能向上や低コスト化に有用なものもあり、これらの成果が実用に供され、新幹線技術の向上に貢献していくことを期待しています。RRR

文献

- 1) 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, 2018
- 2) 依田裕史, 坂本泰明, 浮田啓悟, 笹川卓: 高速車両向けタリニアレ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
- 3) 臼田隆之, 磯野達志, 光用剛, 長尾恭平, 若林雄介: 多分割舟体実機による集電性能検証試験, 第26回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集, S1-1-2, pp.3-6, 2019
- 4) 臼田隆之, 小林樹幸, 山下義隆, 光用剛, 磯野達志, 平川裕雅: スパースモデリングによるパンタグラフの揚力補償手法, 日本機械学会, 第28回交通・物流部門大会, 3004, 2019
- 5) 常本瑞樹, 清水政利, 入倉佳祐, 森本大観, 山下主税, 池田国夫: 速度300km/h超に対応した高速シンプル架線の開発, 鉄道総研報告, Vol.33, No.6, pp.17-22, 2019
- 6) 網干光雄: 動特性計算による架空電車線凹凸の評価法, 電気学会論文誌D(産業応用部門誌), Vol.126, No.7, pp.983-988, 2006