

新幹線車両における走行抵抗低減手法の開発

1. はじめに

鉄道は他の輸送機関に比べて環境にやさしい乗り物ですが、東日本大震災に端を発した原発問題等による電力供給能力の低下や、環境負荷軽減の重要性が増している近年においては鉄道分野においても更なる省エネルギー化が必要となっています。当社の鉄道オペレーションに伴って発生するエネルギー消費量は列車運行がその大半を占め、在来線と新幹線ではほぼ同程度の割合となっています。

鉄道車両のエネルギー消費には走行抵抗による損失、電気機器による損失、車内客室機器（空調、電灯など）のエネルギー消費があり、高速で走行する新幹線車両は走行抵抗によるエネルギー損失が大部分を占めています。

本研究では新幹線車両の走行抵抗に着目し、走行抵抗によるエネルギー損失の低減手法を開発しました。

2. 鉄道車両のエネルギー消費

一般的に列車の走行抵抗は機械抵抗と空気抵抗の和で表されます（図1、式（1））。機械抵抗とはレールと車輪間の摩擦抵抗と主電動機の軸受や車軸等の駆動系回転部品による粘性抵抗を指します。また、空気抵抗とは列車が走行するときに列車の先頭・後尾部に発生する圧力抵抗、中間部の車体表面摩擦による摩擦抵抗や台車部、車間部などによる圧力抵抗を指します。

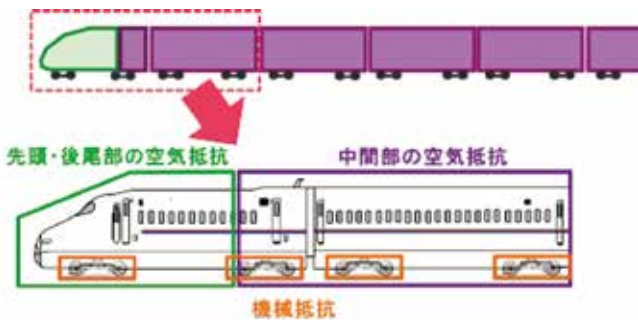


図1：走行抵抗の発生部位

$$Rr = (a + b \cdot V)W + (c + dL)V^2 \dots (1)$$

Rr：走行抵抗、V：列車速度、W：列車重量、L：列車長、
a、b、c、d：定数

式（1）の第一項は機械抵抗、第二項は空気抵抗を指しています。空気抵抗は列車速度の二乗に比例して増大するため、列車速度が高くなるにしたがって、走行抵抗に占める空気抵抗の寄与が大きくなります¹⁾。そのため、高速走行する新幹線車両の走行抵抗を低減するためには空気抵抗を低減することが重要となります。

3. 空気抵抗低減手法の検討

(1) 空気抵抗の現状把握

長大な新幹線車両においては消費エネルギーの半分程度を中間車の空気抵抗が占めています。そこで、中間車に占める空気抵抗（車体表面摩擦の摩擦抵抗、台車部、車間部などの圧力抵抗）の寄与度を測定しました（図2）。中間車の空気抵抗の測定には大型低騒音風洞装置の密閉型測定部において3両編成の新幹線車両模型（1/8スケール）を用いて実施しました（図3）。

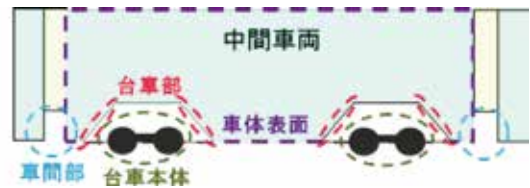


図2：空気抵抗の測定部位（中間車）



図3：風洞試験の試験風景

（左：風洞装置密閉型測定部 右：供試体仮設状況）

風洞試験によって中間車に発生する空気抵抗の寄与度を測定した結果、車体表面に発生する空気抵抗の寄与が最も大きく、続いて、台車部、車間部、そして台車本体の順となりました。最新の新幹線車両においては車体表面である屋根や側面は平滑化が進み、空気抵抗の更なる低減の可能性が低いいため、本研究では空気抵抗の低減が期待できる台車部及び車間部に着目して、開発を進めることとしました。

(2) 台車・車間部の空気抵抗

まず、列車走行時の台車部と車間部の流れ場を詳細に把握するため、数値流体シミュレーション（以下、CFD解析）による流れ場を解析しました。図4には現行形状の台車部による圧力分布と流線の計算結果を示します。この結果、台車部の流れ場は以下の通りであることが推察されます。

【台車部周りの流れ場（図5）】

- ①台車部の前縁より流れが剥離して、剥離渦が台車部内に巻き込まれる。
- ②台車部の流れ方向背面部は剥離した流れの影響により、圧力が大きく低下する。
- ③台車部の流れ方向正面部は流入した剥離渦が衝突するため、圧力が大きく増大する。

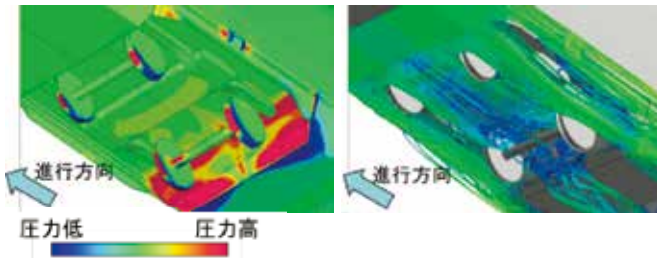


図4：現行台車周りのCFD解析結果
(左：圧力分布 右：流線)

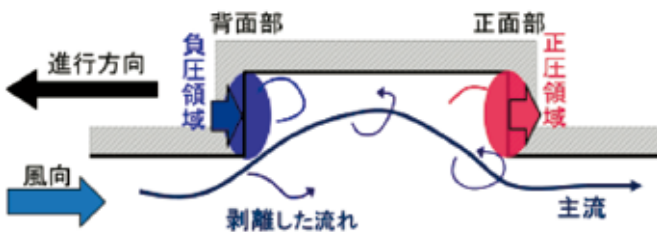


図5：台車部周りの流れ（イメージ）

(3) 空気抵抗の低減策

台車部、車間部の空気抵抗低減策としてキャビティ部への流れが抑制できる構造を開発するため、以下、三つの方針を立てて検討を進めました(表1)。

- 【方針①】台車・車間部の側面カバー
- 【方針②】台車底面カバー
- 【方針③】台車・車間部の側面突起

表1：空気抵抗低減策の方針

	現行形状	改良形状
方針①		 フルカバー
方針②		 台車プレート
方針③		 突起フィン

まず、方針①～方針③のうち最も有効な空気抵抗の低減策を風洞試験により検討しました。その結果、台車・車間部に側面カバーを取り付ける条件で最も低減しましたが、メンテナンス性を考慮して車体側面に突起フィンを取り付けることとしました。

続いて、台車部、車間部に取り付ける突起フィンの形状や取り付け位置の最適化を図るため、CFD解析により検討を行いました。突起フィンの取り付け位置は台車部の側面及び底面、車間部の側面の3箇所とし、各部位に取り付ける突起フィンの基本形状を選定し、寸法や取り付け位置をパラメータとした計算を行いました(図6)。その結果、車間部フィンが空気抵抗を最も低減できました。



図6：突起フィンの基本形状と取り付け位置

4. 走行試験による検証

これまで風洞試験やCFD解析などを実施し、走行抵抗の低減手法を開発してきましたので、最適な低減手法を試験車両に仮設し、走行試験により性能評価を行いました。また、風洞試験の結果から、車間部へ流入する風量を抑制することが走行抵抗の低減に効果的であることがわかりましたので、車間底面部にはホックを取り付けました(図7)。

走行試験によって走行抵抗の低減量を評価した結果、車間部形状を変更することで現行形状に対して4%程度の低減を実現しました。



図7：試験車両の仮設状況

5. 今後の展開

新幹線車両の省エネルギー化を実現するため、走行抵抗の低減に向けた開発を実施し、走行試験においてその効果を確認しました。今後は、次期車両への導入を見据えて、メンテナンス性等を考慮した最適な構成の開発を進めてまいります。

参考文献

- 1) 前田達夫, 木下真夫, 梶山博司, 種本勝二:(0系, 200系, 100系)の空気抵抗, 鉄道技術研究報告, 1371, 1987