

在来線車両の空気抵抗低減による省エネ技術

井門 敦志
環境工学研究部
(空気力学 主任研究員)

佐久間 豊
同
(同 主任研究員)



いど あつし



さくま ゆたか

はじめに

地球温暖化の対策の一つとして、エネルギーを有効に活用する省エネ技術の開発の必要性が高まっています。鉄道は、他の交通システムと比較すると環境負荷の少ないエネルギー効率の高い交通システムですが、今後は、さらに一層の省エネ化が求められると考えられます。

車両の省エネルギー化方策の一つに走行抵抗の低減があります。走行抵抗は、機械抵抗と空気抵抗（車両が走行する時に車両が空気から受ける進行方向逆向きの力）に分離できます。機械抵抗が速度の一次式で表されるのに対し、空気抵抗は速度の2乗に比例します。特に、高速化が進んだ新幹線では、そのほとんどを空気抵抗が占めるために、空気抵抗の低減が走行抵抗の低減に大きく寄与します。一方、新幹線と比較すると速度の低い在来線においても、徐々に高速化が進み、その最高速度は160km/hに達しています。開業時の新幹線の速度が210km/hであったことを考えると、在来線＝低速という図式は過去のものとなりつつあります。さらに、機械抵抗の低減が進んだため相対的に走行抵抗に占める空気抵抗の割合が大きくなっていま

す。10両編成の通勤型電車が130km/hで走行すると、走行抵抗の70%以上を空気抵抗が占めるという試算もあります。これらのことから、車両の省エネ化のためには、新幹線車両はもとより在来線車両においても車両の空気抵抗低減の必要性が高まっています。

本当に効果があるのか？

先ほど、在来線車両の省エネ化のためには空気抵抗低減が有効であると書きましたが、鉄道車両はかなりの重量物であることや、在来線車両は新幹線と比較して低速であることから、在来線車両の空気抵抗の低減が本当に省エネに効果があるか疑問を持たれるかも知れません。そこで、現実の在来線車両の形状を変更し、空気抵抗低減による走行抵抗の低減効果を確認する試験を行いました。ここでは、先頭部形状に注目しました。通勤型電車に多く見られるような切妻形状の先頭部では、先頭部での流れのはく離が空気抵抗増加の原因となります。このはく離を抑制するための簡易的な改良として、先頭の端部にフィンを取り付けました(図1)。実際の列車(2両編成)の一方の先頭にフィン

を取り付け、フィンの有る側が先頭になった場合および無い側が先頭になった場合の各々について、列車の走行抵抗(=機械抵抗+空気抵抗)を測定しました。その結果、先頭部にフィンを取り付けることにより走行抵抗が小さくなることがわかりました(図2)。機械抵抗は、列車の進行方向により変化しないと考えられますので、空気抵抗の低減

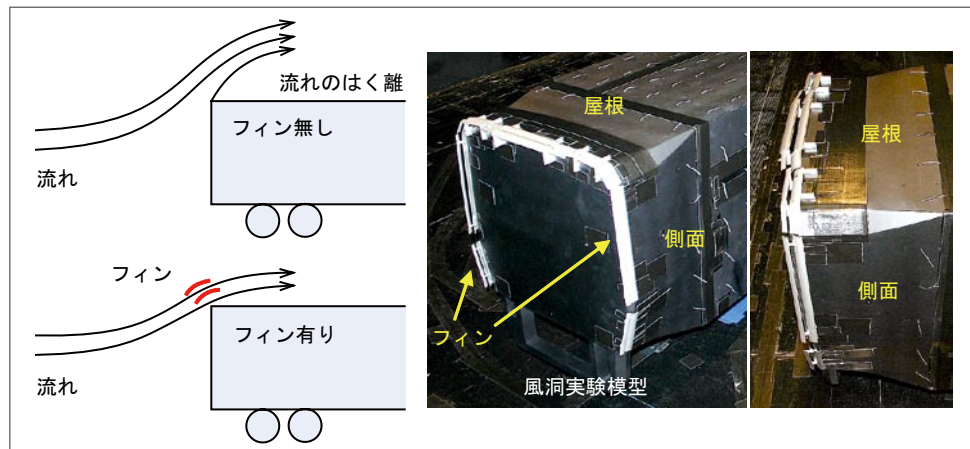


図1 先頭部フィンによる空気抵抗の低減

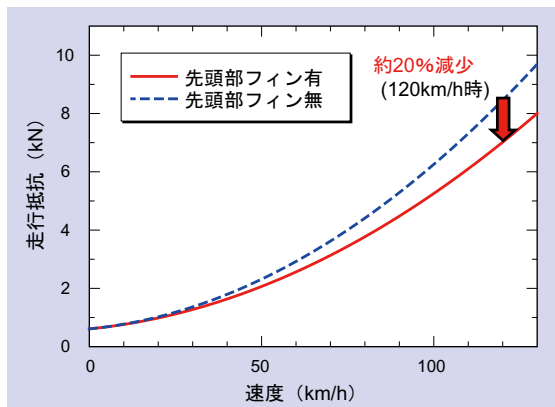


図2 走行抵抗(2両編成列車, 明かり区間)

により走行抵抗が低減したと考えられます。この2両編成の現車試験では、先頭部に空気抵抗低減のためのフィンをつけることにより、例えば、120km/hで走行した場合には20%程度の走行抵抗の低減となることがわかりました。

在来線車両の空気抵抗低減のためには

高速で走行する新幹線と比較すると、在来線車両の形状は非常に凸凹しています(図3)。在来線車両では、通勤型電車を筆頭に切妻型の先頭・後尾部形状の車両が多く見られます。また、屋根上の機器および床下の機器はむき出しのまま搭載されています。当然のことですが、在来線車両においても新幹線車両のように先頭部の流線形化や床下にカバーをかけること等によって車両表面を平滑化し、流れをスムーズに流してやれば空気抵抗を低減させる事ができます。しかし、このように空気抵抗低減方法が判っているにも関わらず、現実の在来線車両の流線形化や平滑化は決して十分ではありません。その理由は、先頭形状の流線形

化は製作費用の増加や客室の縮小につながり、また、床下カバーは製作費用の増加やメンテナンスコストの増加につながるというデメリットを生じるからです。車両形状は、これらのデメリットと空気抵抗低減による省エネ効果のメリットの両方を勘案して決定されることが望ましいのですが、現実にはそうなっていません。なぜなら、現実の車両形状の改良による空気抵抗の低減量を精度良く評価することが難しかったためです。それができて初めてコスト比較が可能となり、その結果、車両形状の改良が必要かどうかを判断することができます。社会的ニーズでもある「省エネ化」とはいえ、費用対効果を度外視することはできないのです。そのためにも、空気抵抗低減の研究では、その低減量を精度良く評価することが重要になってきます。

在来線車両の空気抵抗はどのくらい減らせるのか？

鉄道車両はその形状が細長いことおよび地面の近くを走行するという特徴を持っています。そのため、鉄道車両の空気抵抗の低減を考える場合には、先頭・後尾部、屋根上部、床下部というように車両の部位に分けて考えることが合理的です。前述したとおり、現在の在来線車両の多くは空気抵抗低減を考慮した設計になっていません。このことを裏返してみると、先頭・後尾部、屋根上部、床下部の全ての部位について、大きな空気抵抗低減の可能性があると言えます。空気抵抗低減の評価手法としては、現実の車両を用いた実験(現車試験)、風洞実験、数値計算等がありますが、費用や精度を考慮すると風洞実験が最も現実的な評価手法と考えられます。そこで、風洞実験を用いて、在来線車両の形状を改良した場合の空気抵抗の低減効果を、10両編

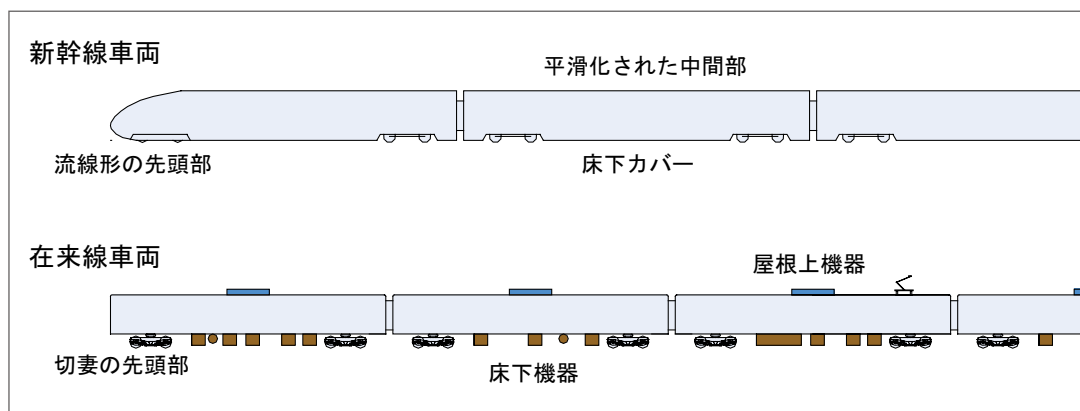


図3 新幹線および在来線車両形状

成の通勤型電車全体の空気抵抗を基準として、部位ごとに評価しました。

(1) 先頭・後尾部形状改良

通勤電車のような切妻型の先頭・後尾部を改良することによる空気抵抗低減量を評価しました。車内空間や出入口の確保を考慮して、先頭・後尾部の改良は2次元的な改良(上から見て先端の両側の角を改良)とし、改良部は最大値で車両幅の1/2という制限を設けました。風洞実験結果から、先端の両側の角部を丸める等の改良によって空気抵抗が大きく低減することがわかりました。その効果は、10両編成の通勤型電車全体の空気抵抗の20%に達すると見積もられます(前述の先頭部フィンより効果は大きい)。

(2) 床下部形状改良

車両の床下部の改良ですが、この空気抵抗を精度良く評価するためには、車両床下の流れを再現する必要があります。

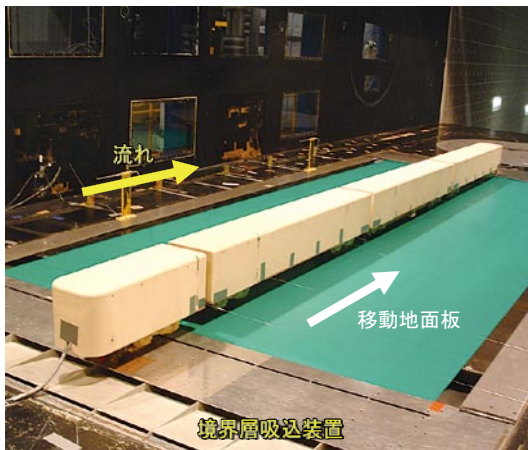


図4 米原風洞での実験の様子

そこで、境界層吸込装置および移動地板を装備した鉄道総研の米原風洞で実験を行いました(図4)。実験方法の精度の検証のために、現車試験と比較することにより、風洞実験において実際の車両床下の流れが再現されていることを確認しました。さらに、現車試験により評価した実際の車両の床下部を改良した場合の空気抵抗低減量と、現車試験に用いた車両を再現したモデルによる風洞実験結果から推定した空気抵抗低減量を比較した結果、両者はよく一致し、米原風洞での風洞実験により現車の空気抵抗低減量を精度良く評価できることがわかりました。

在来線車両の床下には様々な形状の機器が搭載されています。ここでは床下機器を一つのブロックとして考え、そのブロックの縦横比と位置を変化させることによる空気抵抗の増減量を評価しました(図5)。その結果、空気抵抗の増減幅は10両編成の通勤型電車全体の空気抵抗の±10%に達することがわかりました。このことは、床下機器の形状や配置を工夫することにより空気抵抗が低減する可能性が十分あることを示しています。

(3) 屋根上部形状改良

車両の屋根機器の空気抵抗を風洞実験により評価する場合にも、現車の周りの流れを再現することが重要です。物体の周りには、物体表面と空気との摩擦により風速の低い領域が存在します。この領域を境界層と呼びます。屋根上機器は車両の表面に発達した境界層の影響を受けるため、風洞実験により現実の屋根上機器の空気抵抗を評価する場合には、この境界層を再現する必要があります。モデル表面にも境界層は発達するのですが、現車と比較すると境界層の発達是不十分です。そこで、模型の上流にスパイ

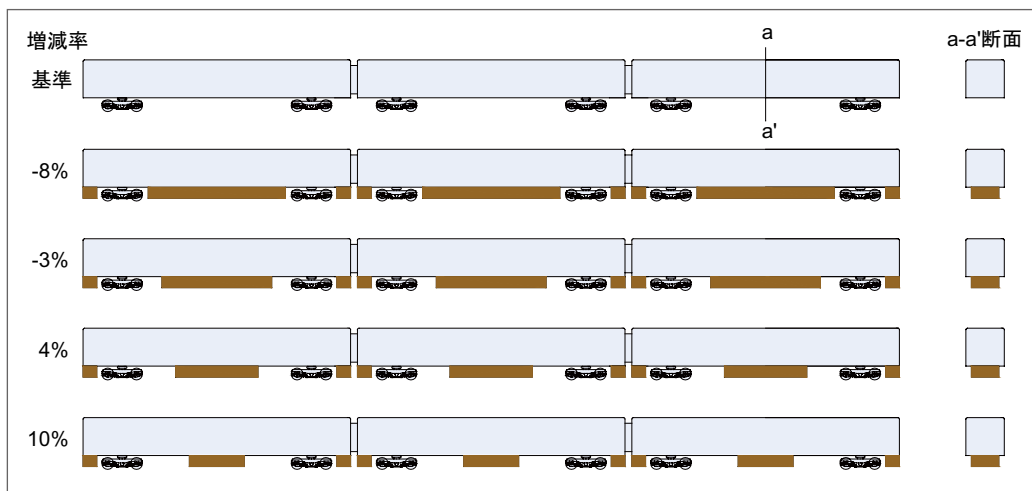


図5 在来線車両の床下機器(着色部)変更による空気抵抗の比較(機器無し形状からの増減量)

アという先の尖った三角形の板を取り付け、流れを乱して現車の屋根上の境界層を再現しました(図6)。屋根上の流れを模擬することにより、風洞を用いて現実の屋根上機器の空気抵抗をより高い精度で評価することが可能となります。

在来線車両の主な屋根上機器は、ユニットクーラーとパンタグラフです。ここでは、全車両に搭載され空気抵抗への寄与が大きいユニットクーラーに、単純な2次元形状(横から見て上側の角を落とす)のフェアリング(図6)を取り付け、その低減効果を評価しました。その結果、単純な形状のフェアリングでもかなりの空気抵抗低減効果が認められました。その効果は、10両編成の通勤型電車全体の空気抵抗を最大で9%低減させることがわかりました。

空気抵抗低減による省エネルギー効果

新幹線の場合には、駅間が長くほとんどの区間を最高速度で走行するために、空気抵抗の低減効果が省エネ効果に直結します。しかし、在来線の場合には、常に最高速度で走行しているわけではなく、駅停車や加減速を考慮する必要があるため、空気抵抗低減効果を消費エネルギーに換算して評価する必要があります。列車を運行するためには、空気抵抗や機械抵抗等により消費されるエネルギー以外にも、主電動機の損失等でエネルギーを消費します。ここでは、一例として、10両編成の通勤型電車(回生ブレーキ有り)を用いた近郊区間の在来線電車の走行シミュレーション(最高速度130km/h, 駅停車, 加減速を考慮してランカーブを設定)から、空気抵抗低減効果が、ある区間(198km)を走行した時に消費したエネルギーの削減に与える効果を評価しました(図7)。これまでに述べてきた在来線の空気抵抗低減効果のうち、床下機器については、機器形状が様々であり対象とする列車形式等を特定することが困難であるため、屋根上部および先頭・後尾部形状の改良による空気抵抗低減が、消費エネルギー低減に与える効果を評価しました。屋根上部および先頭・後尾部形状の改良(床下部分は含めない)による空気抵抗低減効果は、最大で29%であり、その空気抵抗低減により、消費エネルギーを11%削減できることがわかりました。

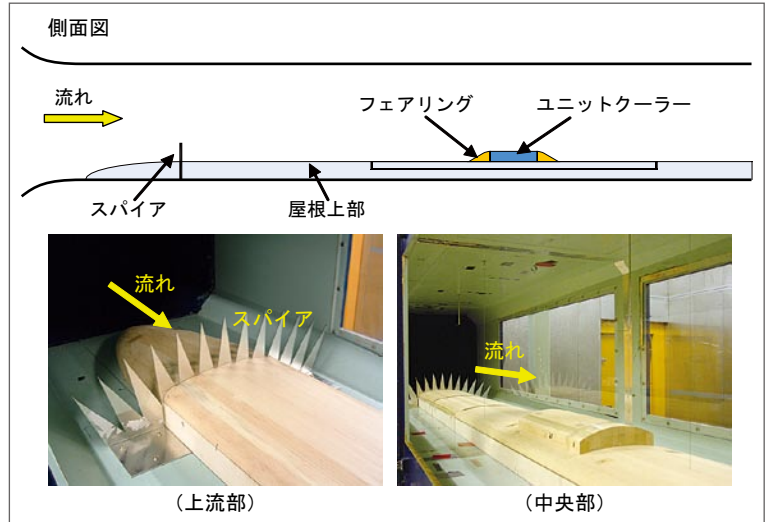


図6 屋根上機器(ユニットクーラー)の空気抵抗測定

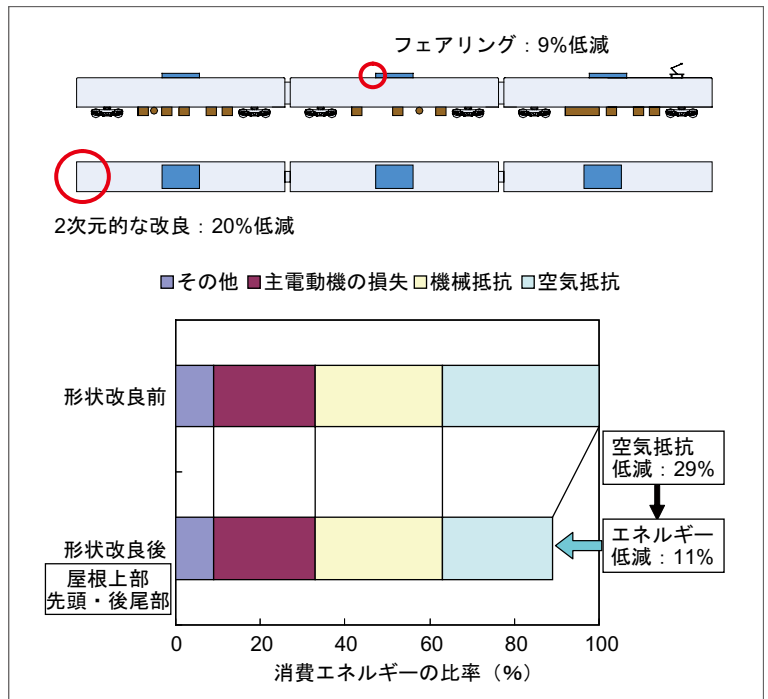


図7 在来線車両の消費エネルギー低減効果 (形状改良前の消費エネルギーを100%とする)

おわりに

在来線車両の空気抵抗の低減も十分な省エネ効果があります。ただし、実際に空気抵抗低減による省エネ車両の開発のためには、製作費用やメンテナンスコストを勘案する必要があります。そのためには、車両形状を改良した場合の空気抵抗低減効果の定量的な評価が必要です。今後は、実際に在来線車両の空気抵抗低減対策を実施できるように、より精度の高い研究を進めていきたいと考えています。

RRR