

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

# 在来線車両の空気抵抗低減による省エネ化

鉄道車両の空気抵抗を低減することは、走行抵抗の低減、さらに、鉄道車両走行時の省エネルギー化につながります。高速で走行する新幹線車両の空気抵抗低減は重要ですが、すでに、空気抵抗の小さな形状になっています。一方で、在来線車両は、徐々に進んできた高速化や車体の軽量化により、近年、走行抵抗に占める空気抵抗の割合が増大しています。そのため、車両走行時の省エネルギー化のための空気抵抗低減が現実味を帯びてきています。ここでは、在来線の空気抵抗低減の研究から、在来線車両の走行時の省エネルギー化の可能性について紹介いたします。



井門 敦志  
Atsushi Ido  
環境工学研究部  
車両空力特性研究室  
上席研究員  
[専門分野] 空気力学

## はじめに

物体が空気中で移動する場合に、物体が空気から受ける進行方向と反対向きの力が「空気抵抗」です。空気抵抗は決して特別なものではなく、皆さんも感じる場合があります。例えば、自転車に乗って進む場合に、向かい風が吹くと、ペダルを踏む足に無風状態で走行するとき以上の力を込める必要があります。これは、自転車の移動速度に加えて、向かい風の速度が加わるために、空気に対する自転車の相対速度（自転車が静止していると考えたと空気の流速）が増すためです。つまり、速度が増すと空気抵抗が大きくなるのです。実際、空気抵抗は流速の2乗に比例して大きくなります。

省エネルギーの観点から見た場合に、高速で走る新幹線の空気抵抗を低減することは非常に大切です。空気抵抗を低減させるためには流速を低くする、つまり、速度を落とせば良いのですが、高速で走行するように設計された新幹線の速度を省エネのために減速するような選択は、現実的ではありません。新幹線では、車両の形状を改良することにより空気抵抗を小さくす

る工夫がされており、流線形の先頭部や平滑化された中間部を持っています。一方で、新幹線と比較すると速度の低い在来線では、これまで省エネに対する空気抵抗の寄与度が大きくないと考えられ、空気抵抗を考慮した車両設計が積極的には行われてきませんでした。しかしながら、在来線車両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。さらに、車両の軽量化などによる機械抵抗の低減が進み、相対的に走行抵抗に占める空気抵抗の割合が増大しています。その結果、空気抵抗を低減させることによる省エネルギー化の可能性が大きくなっています。

## 在来線車両の空気抵抗低減

高速で走行する新幹線車両の形状と比較すると、在来線車両は凹凸が目立つ形状です。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、また、床下の機器および屋根上の機器はむき出しのまま搭載されており、既存の在来線車両の流線形化や平滑化は必ずしも十分ではありません。その理由は、先頭部

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。新幹線というお手本があるわけですので、在来線車両の空気抵抗を低減させること自体は決して難しくないので、そのため

には、先に述べたような形状改良によるデメリットと、空気抵抗低減がもたらす省エネルギー効果のメリットを比較して、メリットが大きいという判断がなされなければなりません。つまり、在来線の空気抵抗低減の研究開発においては、①現実的で効果的な空気抵抗低減方法(形状の改良方法)を提案すること、②形状改良による空気抵抗低減量を精度良く評価すること、③空気抵抗低減による省エネルギー効果を定量的に評価すること、の3つが重要となります。ここでは、在来線車両の屋根上部、床下部に注目し、各部の形状改良による空気抵抗の低減効果の評価方法および低減量を求め、それによる省エネルギー効果の評価例を示します<sup>1)</sup>。

### 鉄道車両の空気抵抗低減効果の評価方法

鉄道車両の空気抵抗低減効果の評価手法としては、実際の車両を用いた実験(現車試験)、風洞実験、数値計算などがあります。それぞれの方法には一長一短がありますが、空気抵抗の低減効果を評価するための費用や評価精度を考えた場合、風洞実験が最も現実的な手法であると考えられます。鉄道総研では、1996年に風洞実験設備(米原風洞)を滋賀県米原市に建設しまし

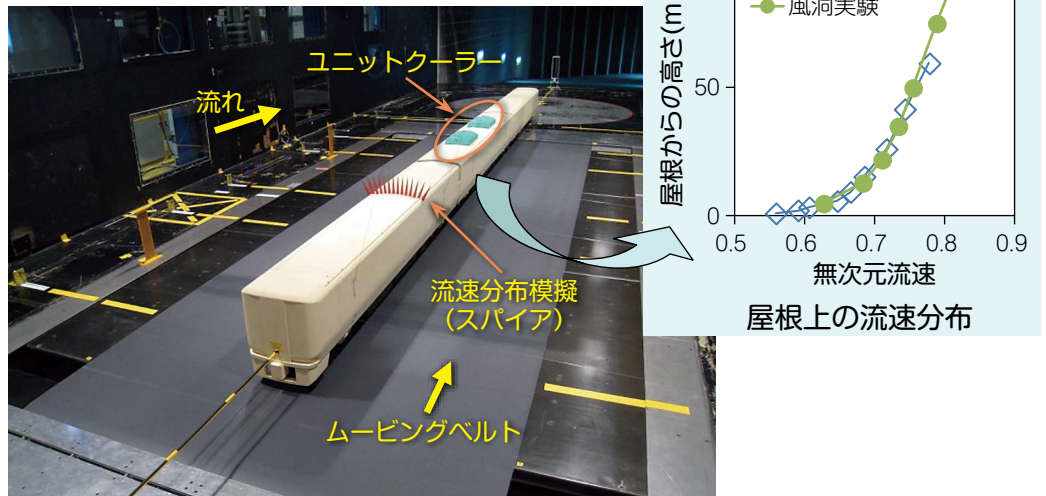


図1 風洞実験の様子(屋根上機器)

た<sup>2)</sup>。ここで紹介する風洞実験は、この風洞の密閉型測定部を用いて行いました。鉄道車両の形状は、航空機や自動車のような他の乗り物と比較して、細長いという特徴があります。航空機の模型や自動車では一体での実験が可能ですが、鉄道車両の場合には編成全体の風洞実験を行うことは困難です。そこで、1両分の風洞実験結果から、編成全体の空気抵抗の低減効果の評価することにしました。

### 風洞を用いた空気抵抗の測定

風洞実験の目的は、車両形状を改良した場合の空気抵抗の低減効果の評価することにあります。風洞実験において、空気抵抗の低減効果を「精度良く」評価するためには、幾つかの要件があります。模型を用いた風洞実験結果から現実の車両の空気抵抗を評価する場合には、模型のスケールと流速を実際の車両に近づけることが望まれます。そのため、これまで、鉄道の空気

抵抗低減の研究のために用いられてきた風洞と比べて米原風洞の測定部は大きく、また高い流速での風洞実験が可能となっています。また、鉄道車両や自動車のような地面付近を走る乗り物の場合には地面の流れを、さらに、鉄道車両では車両編成の効果を、風洞実験で再現する必要があります。米原風洞では、地面流れの再現のために境界層吸込装置やムービングベルト(参照)を備えています。さらに、車両編成の効果を再現するために、屋根上や床下に、車両周りの流速を模擬するためのスパイア(三角形を並べたギザギザ: 図1参照)というものを取り付け、実際に走行している車両周りの流れの分布を風洞実験において再現しています。このような風洞実験の技術により、空気抵抗の低減効果を精度良く評価することが可能になります。

### 屋根上機器の空気抵抗の低減

図1に屋根上機器の空気抵抗低減の

#### 境界層吸込装置・ムービングベルト

風洞実験では、風洞壁面に境界層という速度の低い領域があります。鉄道のように模型と地面(風洞壁面)が近い場合には、風洞壁面の境界層の影響を取り除かなければなりません。これらはそのための装置で、境界層吸込装置で境界層を排除し(測定部の外に吸い出す)、ムービングベルトで地面を動かすことにより、境界層の発達を抑えます。

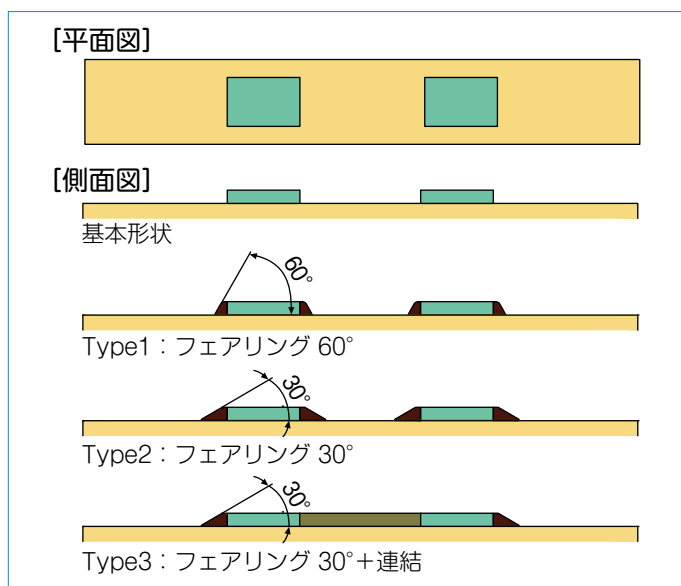


図2 ユニットクーラーの空気抵抗低減策

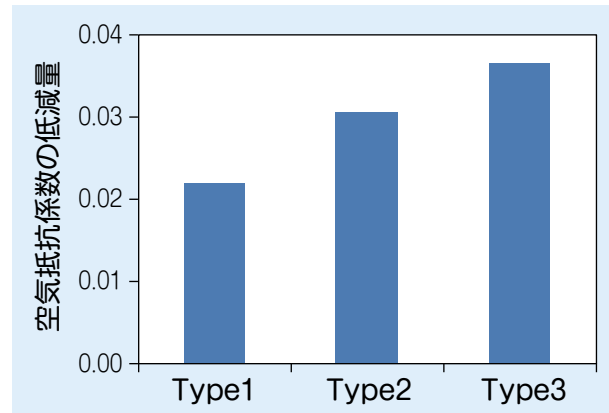


図3 ユニットクーラーの空気抵抗低減効果

ために実施した風洞実験の様子を示します。ここでは、屋根上のユニットクーラーに注目し、空気抵抗低減方法を提案し、それによる空気抵抗低減効果を評価しました。風洞実験では、中間車両にユニットクーラーを取り付けて空気抵抗を測定しました。上述したように、評価精度を高めるために、先頭車両にスパイアを取り付け、風洞実験模型の中間車両の屋根上で、現車の流速分布を再現しました。ユニットクーラーの空気抵抗を低減するために、ユニットクーラー前後へのフェアリングの取り付けや、ユニットクーラーの連結を提案しました(図2)。風洞実験結果を図3に示します。この結果から、ユニットクーラーへのフェアリングの取り付けにより空気抵抗係数が低減すること、また、フェアリングの角度が小さいほど空気抵抗の低減効果は大きくなること、ユニットクーラーを連結するとさらなる空気抵抗低減が可能であることがわかりました。

### 床下機器の空気抵抗の低減

図4に床下機器の空気抵抗低減のために実施した風洞実験の様子を示しま

す。床下の機器に影響する流れを再現するために、境界層吸込装置、ムービングベルトに加えて、屋根上同様に先頭車両の床下にスパイアを取り付けました。これらの装置により、現車の中間車両の床下の流れを再現しました。

在来線車両の床下機器は様々ですが、ここでは図5に示すような床下機器の車両(基本形状)を選定し、床下機器の形状改良による空気抵抗の低減効果を調べました。床下には、様々な機器箱が取り付けられていますが、これらの機器箱は、大きさや取り付け位置が統一されていないため凹凸を生じ、そのことが空気抵抗が増大する原因となっています。凹凸を無くすためには機器箱の断面を統一することが重要であると考え、断面形状が統一された機器箱の中に機器を納める床下構造を提案しました(図5)。

図6に機器箱の大きさと空気抵抗係数の増減量の関係を示します。短い機器箱の場合には、台車、機器箱ともに速い流れが当たり、かえって空気抵抗が増大することがわかります。一方で、機器箱が長い場合には空気抵抗が低減します。これは、機器箱が台車の

下流側にあるときには、台車が機器箱に、逆の配置の場合には機器箱が台車に当たる流れを緩和し、長い機器箱を取り付けた場合には、このような流れが緩和される効果が生じ空気抵抗が低減するためです。さらに、流れ方向に垂直な面の空間(隙間)が必要な機器もあることから、流れ方向の隙間を確保した形状についても、空気抵抗の評価を行いました。隙間が大きくなるほど、空気抵抗の低減効果は小さくなりますが、それでも、基本形状と比較して空気抵抗が低減することがわかりました。

### 編成としての空気抵抗の低減

上述の風洞実験で求められるのは車両1両分の空気抵抗低減量です。多くの列車は複数車両による編成として運転されます。そこで、風洞実験で得られた空気抵抗低減量を両数倍することにより、編成としての空気抵抗低減量を評価しました。さらに、先頭や後尾部を延伸し流線形の形状にすれば空気抵抗が低減することがわかっています<sup>3)</sup>が、先頭形状の改良は、定員数の削減や列車連結や切り離しの運用など

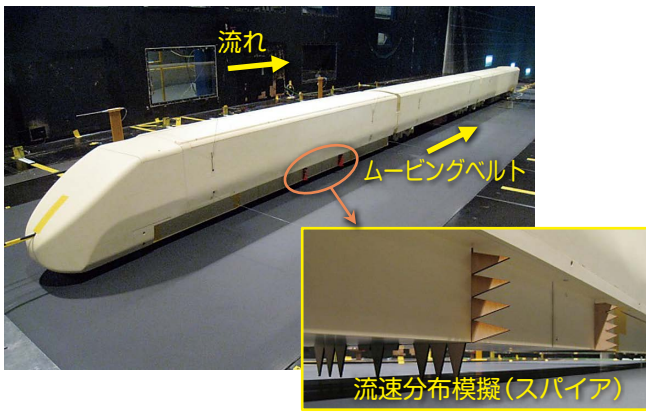


図4 風洞実験の様子(床下機器)

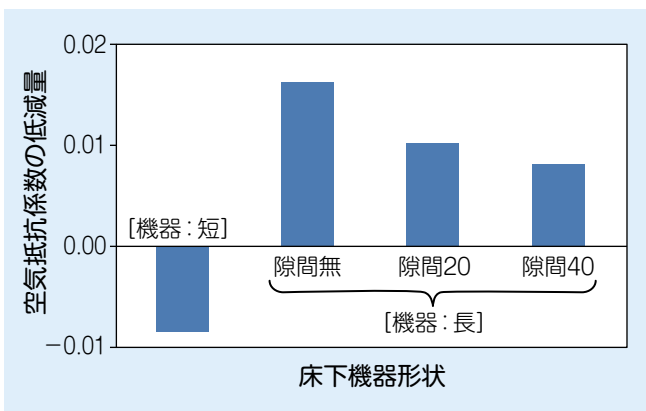


図6 床下機器の空気抵抗低減効果

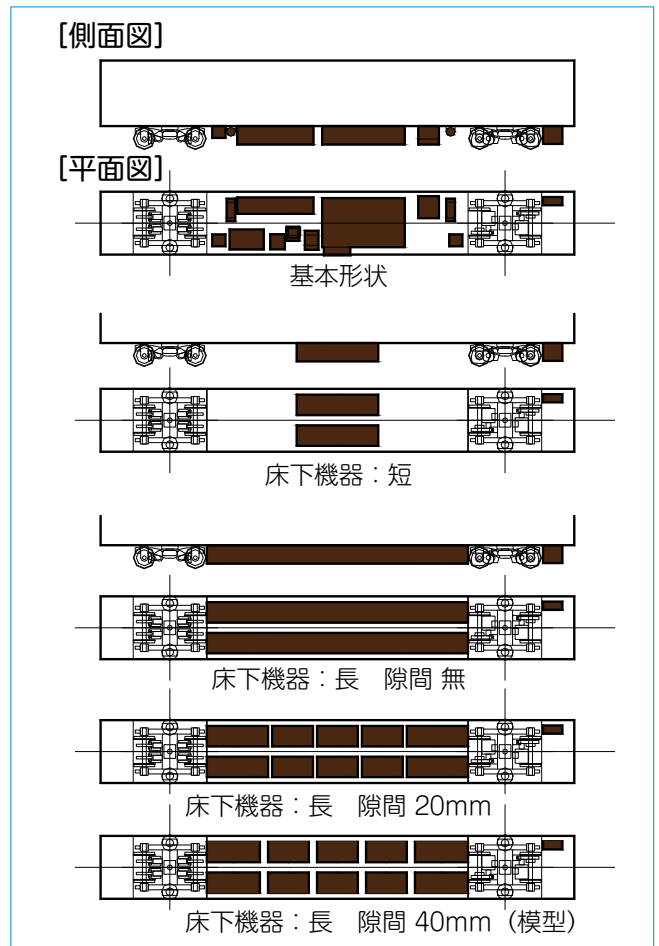


図5 床下機器の空気抵抗低減策

他の条件にも関わるために、ここではその効果は考慮しないことにします。一例として、8両編成の近郊型電車について評価してみます。その電車に屋根上機器と床下機器形状で最も効果の大きかった空気抵抗低減効果をあてはめると、編成全体の空気抵抗が22%低減することがわかりました。

### 空気抵抗の低減による省エネルギー効果

走行抵抗は機械抵抗と空気抵抗からなるのですが、機械抵抗が列車速度の一次式で表されるのに対して空気抵抗は列車速度の2乗に比例します。つまり、列車速度が低ければ空気抵抗の占める割合が小さいのですが、列車速度が高くなると空気抵抗の占める割合が大きくなります。このことは、走行パ

ターン(列車速度)により空気抵抗の占める割合が異なり、省エネルギー効果が異なることを意味しています。つまり、空気抵抗の低減による省エネルギー効果を評価する場合には、走行パターンを考慮することが必要となります。ここでは、編成としての空気抵抗低減効果を試算した8両編成の近郊型電車が、実際の営業線を想定した走行パターン(走行距離200km, 最高速度130km/h)で走行した場合に、空気抵抗低減による省エネルギー効果を試算しました。その結果、空気抵抗が22%低減すると消費エネルギーが5%低減すると試算されました。

### おわりに

この研究により、在来線車両の空気抵抗低減策によって5%の省エネ

ルギー効果があることが試算されました。この省エネルギー効果(5%)は、現実の車両の設計に反映させるかどうかを検討するに値する数値であると思います。今後とも、新幹線および在来線車両の空気抵抗低減対策の実用化のための研究開発を推進して行く予定です。

### RRR

### 文献

- 1) 井門敦志, 宮地徳蔵, 井上達哉, 蝦名弘太, 岩崎誠: 在来線車両の形状改良による空気抵抗低減と省エネルギー効果の評価, 鉄道総研報告, Vol.27, No.1, pp.41-46, 2013
- 2) 前田達夫, 近藤善彦: 大型低騒音風洞と風洞試験, 鉄道総研報告, Vol.13, No.12, pp.1-4, 1999
- 3) 井門敦志: 車両を取り巻く技術の動向(6) 空気抵抗の低減, R&m, Vol.15, pp.59-63, 2007