

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

# 高速車両の窓やドアの空気抵抗を減らす

最近の高速鉄道車両では平滑化が大幅に進んでおり、さらに空気抵抗を減らすためには、これまでは着目されなかった車両表面の細かな凹凸による空気抵抗を減らす必要があります。車両側面の窓やドアは車体の表面から凹んでいるため、数ミリから数十ミリの段差があります。車両の大きさ比べると小さな段差ですが、窓の数は車両数の多い列車では数百個にもなるため、この段差全体による空気抵抗は無視できない大きさになっている可能性があります。そこで、窓やドアの凹部の段差による空気抵抗の大きさを風洞試験で調べ、その段差を解消して平滑化した場合の車両全体の空気抵抗の低減量を評価しました<sup>1)</sup>。

## 高速車両の空気抵抗と平滑化

鉄道車両の走行抵抗は空気抵抗と機械抵抗とに分けることができます。新幹線のように車両の走行速度が大きくなると、空気抵抗が機械抵抗よりも何倍も大きくなり、走行抵抗の大部分を空気抵抗が占めるようになります。そのため、高速車両の走行エネルギーを効果的に低減するためには空気抵抗を減らすことが重要です。車両の空気抵抗低減対策として、台車部や車両連結部の凹凸部の平滑化に関する研究が行われてきました<sup>2)</sup>。また、最近の新幹線車両では、騒音低減対策のための台車側面カバーや車両連結部幌<sup>ほろ</sup>などが設置され、結果的に車両の空気抵抗低減対策にもなっていると考えられます。このように最近の新幹線車両では平滑化が大幅に進んでおり、さらなる空気抵抗低減のためには、これまではあまり着目されてこなかった車両表面の細かな凹凸が空気抵抗に及ぼす影響を評価する必要があると考えられます。そこで車両表面の細かな凹凸のうち、車両側面の窓およびドアの凹部に着目しました。

## 窓やドアの空気抵抗測定のための風洞試験

実車に設置されている窓やドアの空気抵抗の大きさを調べるために、実車試験を行うことも考えられます。しかし、窓の形状を変えて空気抵抗の小さな差を精度よく測定することは実車試験ではあまり現実的ではないことから、風洞試験を行いました。風洞試験を実車の条件により近づけるため、実物大の窓とドアの模型を使い、さらに、模型に当たる風の流れを実車の車両側面の風速分布になるべく近づけました。

図1に風洞試験の概略を示します。試験には鉄道総合技術研究所の大型低騒音風洞の開放型測定部(幅5m×高さ3mの平行ノズル)を使用しました。平行ノズル内の上流側の床面に設置した高さ200mmのアルミ製のバリアにより主流の床面付近の流れを乱して、実車の車両側面に発達する乱流境界層の風速分布を再現しました。風洞の主流風速は模型強度などを考慮して180km/h(50m/s)に設定しました。

車両表面から突き出して凸になっている台車やパンタグラフなどと比べて、車両表面からへこんでいる窓やドア自



佐久間 豊  
Yutaka Sakuma  
前 環境工学研究部  
車両空力特性研究室  
主任研究員(上級)  
(現 鉄道国際規格センター 調査)



中野 高志  
Takashi Nakano  
環境工学研究部  
車両空力特性研究室  
研究員



井門 敦志  
Atsushi Ido  
研究開発推進部  
風洞技術センター  
所長

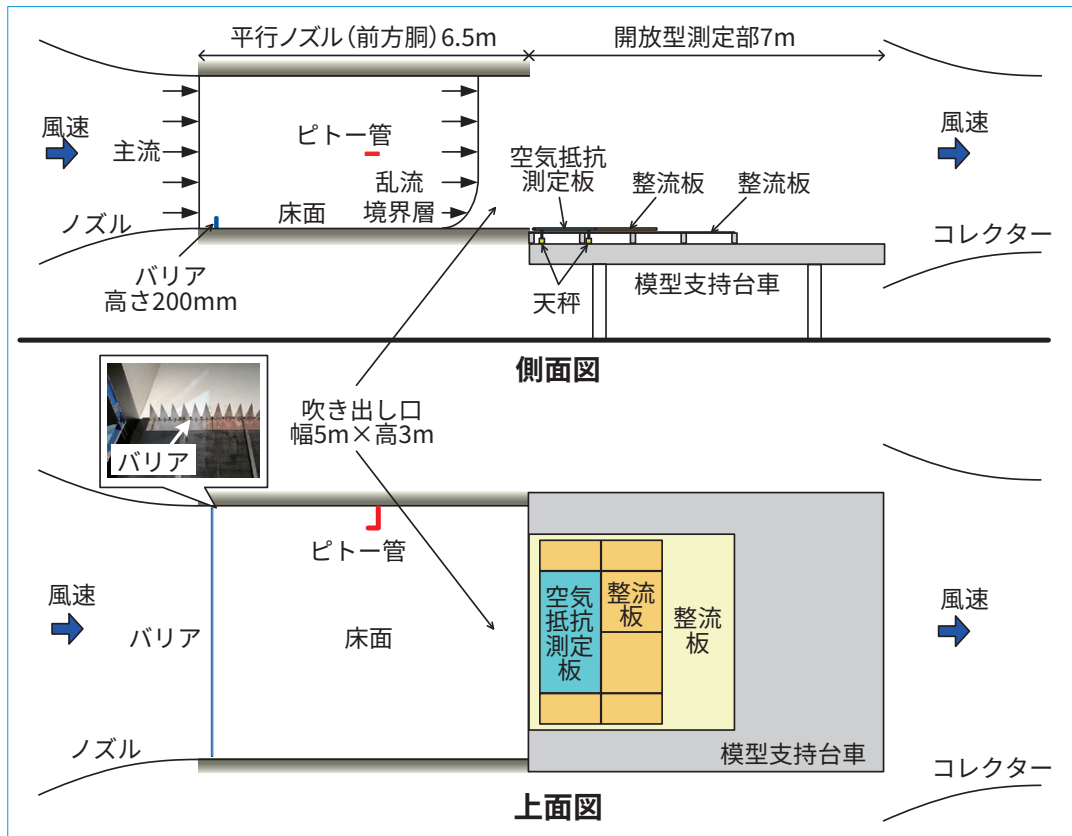


図1 風洞試験の概要

体の空気抵抗測定には工夫が必要であることもあり、過去にはほとんど行われていません。そこで、図2に示すように、窓とドアの模型を取り付けるための空気抵抗測定板、模型周りの流れの乱れを低減するための整流板、そして、力を測るための<sup>てんびん</sup>天秤から構成される空気抵抗測定装置を開発し、開放型測定部の模型支持台車上に設置しました。空気抵抗測定板は、その中央部分がへこんでおり、その凹部に実物大模型の窓、ドア、そして、比較基準用の平板へと順次交換できるような構造としました。凹部に組み込む部品を、平滑化された車両側面に相当する平板から凹形状の窓またはドアに変更すると、測定板全体の空気抵抗が増加します。ここでは、この増加分を窓およびドアの凹部による空気抵抗と見なしました。ところで、先行研究<sup>3)</sup>から現行タイプの新幹線の間車1両の空気抵抗が推定されています。そこで、この推定値と今回の風洞試験で得られた窓または

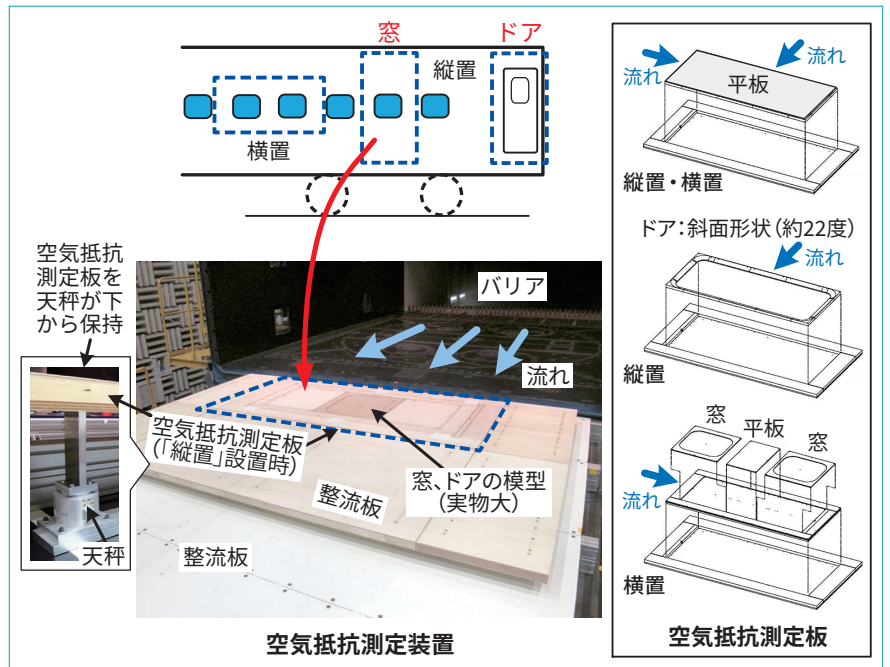


図2 空気抵抗測定装置および空気抵抗測定板の構成

ドアの1個あたりの空気抵抗との比を“空気抵抗増加率” (=窓またはドア1個の空気抵抗/中間車1両の空気抵抗)として定義し、今回の結果を評価しました。このように比をとることにより、

窓やドアの段差が車両側面にまったく無いツルツルの間車両に、へこみ段差のある窓またはドア1個が追加設置されたときに、中間車1両の空気抵抗が何パーセント増えるかがわかること

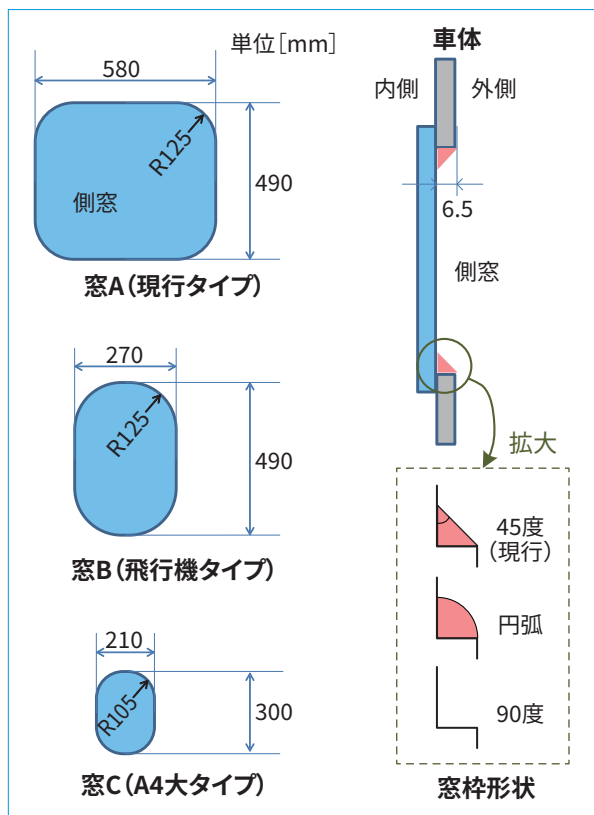


図3 窓および窓枠段差部の形状

になります。

図3に窓および窓枠段差部の形状を示します。今後のさらなる高速化における窓サイズの縮小が空気抵抗へ及ぼす影響を評価するため、現行の営業車で採用されている現行タイプ（窓A）よりも小さい飛行機タイプ（窓B）、A4用紙とほぼ同じ大きさのA4大タイプ（窓C）の2種類の実物大模型も製作しました。窓枠段差部の形状は、現行タイプの45度に加えて、90度および円弧も試験しました。以上のように、窓の大きさ3種類、窓枠段差形状3種類について、中間車両の空気抵抗に及ぼす影響を評価しました。なお、ドアについては、現行の営業車で採用されている形状の1種類とし、サイズは高さ1850×幅730×深さ35mm、その段差部は約22度の斜面形状となっています。

### 窓やドアの空気抵抗の測定結果

ここからは、窓やドア1個の空気抵抗、また、窓の大きさや窓枠段差形状を変えた時に空気抵抗がどのように変わるかについての結果を順番に示します。

図4に、ドアおよび現行タイプの窓形状である窓A（45度）の空気抵抗増加率の結果を示します。なお、図4以降、図中のエラーバーは平均値のばらつき（標準誤差）を表します。1個あたりの測定の平均値はドア0.458%、窓0.019%となっていて、中間車1両の空気抵抗からみると1%以下となっており非常に小さな割合になっていることがわかります。これまでは小さいことは予想されていましたが、今回の風洞試験によって、中間車1両の空気抵抗に対してどのくらいの割合なのかが定量的にわかりました。

ドアと窓の値を比べると、ドアのほ

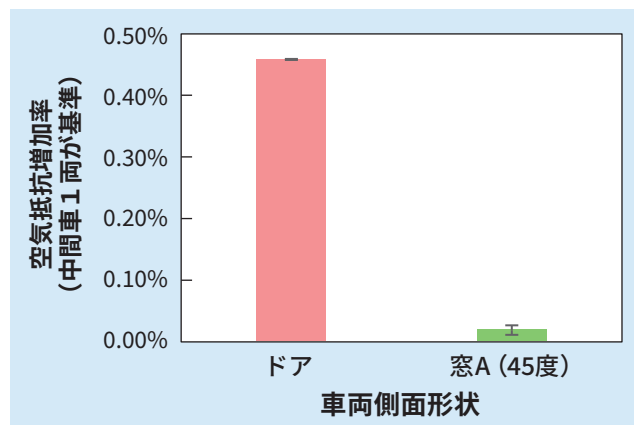


図4 ドアと窓（現行タイプ）との比較

うが一桁大きく、窓の20倍余りの大きさとなっていることがわかります。ところで新幹線車両において、中間車1両の片側面の窓数は車種や号車により異なりますが最大20個程度であることから、窓A（45度）による空気抵抗の合計がドア1個分にほぼ相当すると見なすことができます。

窓の大きさが空気抵抗に及ぼす影響について、図5に、窓A、窓B、窓Cの3条件における空気抵抗増加率の比較結果を示します。窓枠段差形状はすべて現行タイプの45度の場合です。図5より平均値はそれぞれ窓Aで0.019%、窓Bで0.017%、窓Cで0.004%となっており、窓の大きさが小さくなるにつれて空気抵抗が減少することがわかります。また、窓Aを基準（1.0）とすると、窓Bで約0.9倍、窓Cで約0.2倍となっており、窓Bと比較して窓Cのほうが空気抵抗は顕著に減少することが示されました。この結果より、窓枠に段差がある窓について、窓の幅よりも高さを小さくするほうが、窓に働く力が減少すると考えられます。このことから、同じ面積で縦横比の異なる矩形の窓を配置する場合、窓の高さが小さくなるように設置することが推奨されます。

窓枠段差形状が空気抵抗に及ぼす影

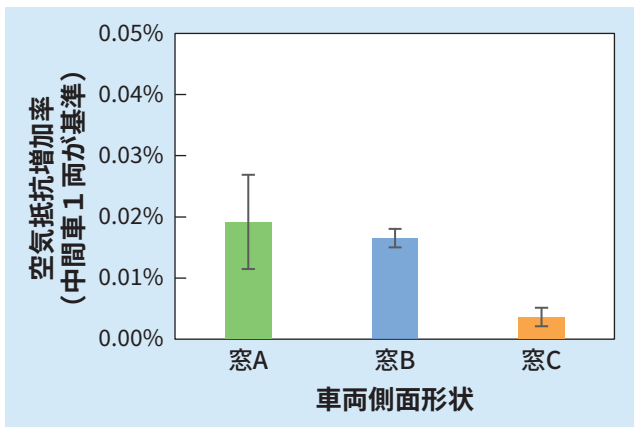


図5 窓の大きさの比較 (窓枠45度)

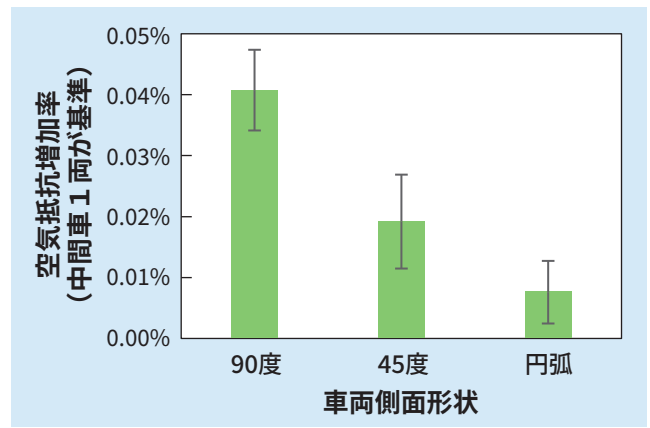


図6 窓枠段差形状の比較 (窓A)

響について、図6に、窓Aにおいて窓枠段差形状が90度、45度、円弧の3条件における空気抵抗増加率の比較結果を示します。平均値はそれぞれ90度で0.041%、45度で0.019%、円弧で0.008%となっており、段差部(とくに車両表面との接続部)がなだらかになるにつれて空気抵抗が減少することがわかります。現行タイプの45度を基準とすると、90度で約2.1倍、円弧で約0.4倍となっています。このことから、窓枠段差形状が45度の現行の新幹線について、段差形状を円弧に変更すれば、窓の空気抵抗は約0.4倍と半分以下に低減することが期待されます。

### 窓やドアの段差を解消した場合の車両の空気抵抗低減効果

以上の結果より、窓やドアの段差がまったくない車両側面がツルツルの中間車両に、へこみ段差のある窓またはドア1個が追加設置されたときに、中間車1両の空気抵抗が何パーセント増えるかがわかりました。では今度は、窓やドアの段差がある現行の新幹線でもし、中間車両のすべての窓やドアの段差を解消して、窓やドアと車両表面との接続部を滑らかにつなげた場合は何パーセントくらいの空気抵抗低減効果が得られるのでしょうか。ここでは、

その見積もりをしてみましょう。

前述のように、新幹線車両において車種や号車により異なりますが、中間車1両の片側面の窓数は最大20個程度となっています。そこで、ここでは中間車1両全体(両側面)でドア4個、窓40個の場合の空気抵抗を評価します。図4で示した結果を利用して、ドア4個では $0.458\% \times 4\text{個} = 1.83\%$ 、窓40個では $0.019\% \times 40\text{個} = 0.76\%$ より、合計で $1.83\% + 0.76\% = 2.59\%$ となります。このことから、窓およびドアの凹部の段差を解消して平らな車両側面とすれば、中間車1両あたりの空気抵抗を約2.6%低減可能と考えられます。列車編成全体では、上記例とは窓やドアの数が異なる中間車、また先頭車があるため、やや異なる見積りになりますが、低減の大きさは近い値になると考えられます。

### まとめ

ここでは、新幹線車両側面の窓およびドアの空気抵抗を評価するため、実物大の部分模型を用いた空気抵抗測定の実験について紹介しました。その結果から、本試験条件下において、窓およびドアの凹部の段差を解消して平らな車両側面とすれば、中間車1両あたりの空気抵抗を約2.6%低減可能

と考えられることがわかりました。この低減量が大きいとみるか小さいとみるかは、立場や考え方により異なることと思います。一方、平滑化が進み空気抵抗の大幅な低減が困難になりつつある新幹線車両において、ドアと窓の凹部の段差解消による平滑化が空気抵抗低減対策の検討課題になるのか、または、ならないのか、その判断材料となる定量的な数値がこれまではありませんでした。この数値は、鉄道事業者が車両の新造や改造時に窓およびドアの凹部による段差をなくして平滑化した構造とするかどうかについての、また、段差がある窓形状を採用する場合には空気抵抗がより低減する窓形状やその設置方法についての指針として利用できると考えています。RRR

### 文献

- 1) 佐久間豊, 井門敦志, 渡邊耕司, 立松知紘: 新幹線車両側面の窓および引戸の凹部による空気抵抗, 鉄道総研報告, Vol.32, No.11, pp.11-16, 2018
- 2) 井門敦志: 鉄道技術 来し方行く末 鉄道車両の空気抵抗, RRR, Vol.72, No.1, pp.28-31, 2015
- 3) 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, 2014