

大型低騒音風洞における 鉄道の技術開発の変遷



井門 敦志
Atsushi Ido

研究開発推進部
風洞技術センター所長

鉄道総研は、鉄道の空力音、空気力学的諸課題の研究開発を目的として、1996年6月に大型低騒音風洞を建設しました。名称に含まれる「低騒音」性能は、新幹線の高速化にともなう空力音低減の研究には必須のものでした。また、風洞は、鉄道の安全運行に直結する横風の研究に必要となる大きな測定部も有しています。空力音や横風の課題を含めて、完成以来25年間にわたり、さまざまな鉄道の技術開発が行われてきました。ここでは、鉄道の技術開発に寄与してきた大型低騒音風洞のさまざまな実績を紹介いたします。

はじめに

今から四半世紀前、鉄道総研は、鉄道の空力音、空気力学的諸課題の研究開発を目的として、滋賀県坂田郡米原町（現、米原市）に大型低騒音風洞（以下、米原風洞）を建設（1996年6月）しました。1990年代のはじめ

は、国鉄が民営化された直後でしたが、東海道新幹線で270km/h運転（のぞみ、1992年）が開始され、本州3社では、今後の新幹線の高速化に向けた機運が高まっていた時代でした。その高速化のために克服しなければならない大きな課題の一つが、列車の高速走行

時に風を切ることにより発生する空力音の低減でした。そして、空力音低減の研究開発のためには、風洞そのものから発生する騒音が小さく、空力音の実験が可能となる風洞設備が必要でした。鉄道総研では、空力音を含む鉄道の空気力学に関連する研究開発に寄与

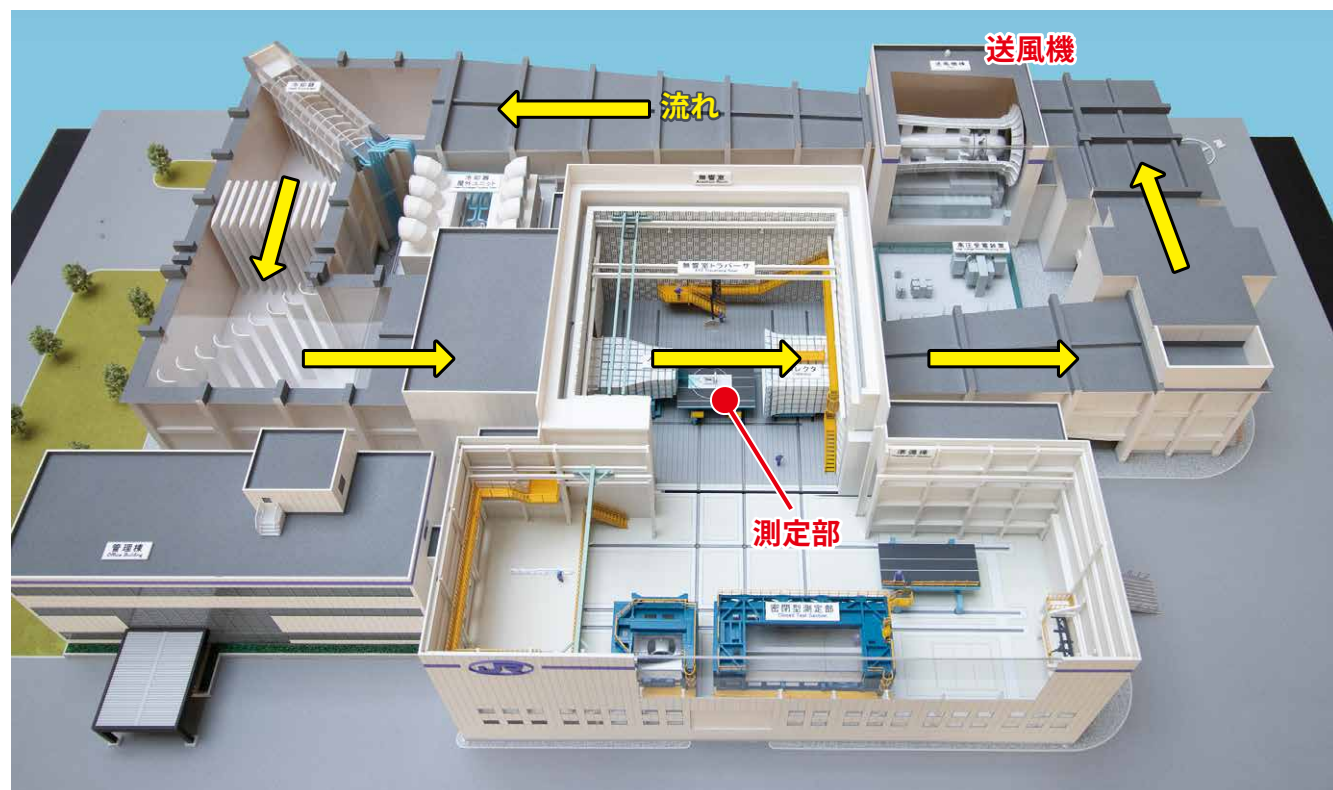
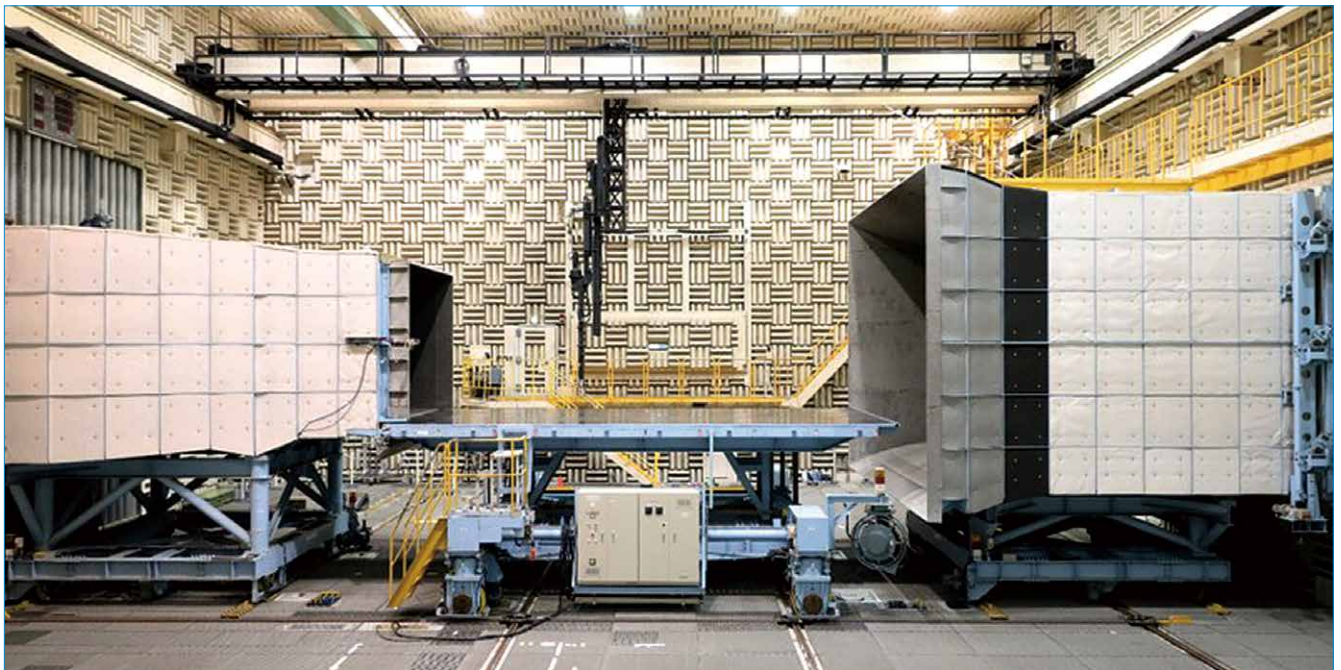


図1 米原風洞全景



開放型測定部



密閉型測定部

図2 米原風洞の測定部

できるような風洞の仕様を決定するために、1992年に部内外の専門家による技術検討委員会を立ち上げ、そこでの審議結果を反映させた風洞仕様をとりまとめ、米原風洞を完成させました。

米原風洞は、鉄道の技術開発のために特別に設計、新たに建設され、その実験目的に応じて、開空間に風を吹かせる開放型測定部と壁面で仕切った空間に空気を流す、密閉型測定部の切り

替えが可能です(図1, 図2)。開放型測定部は、最高風速:400km/h、大きさ:幅3m×高さ2.5m×長さ8mで、実機のパンタグラフの実験が可能です。密閉型測定部は、最高風速:300km/h、大きさ:幅5m×高さ3m×長さ20mで、測定部が長く車両の床下の流れを再現する装置(風洞床面の遅い流れを吸い出す境界層吸込装置や風速に連動して動くムービングベルト)を装備してい

ます。これらの基本設備に加えて、鉄道の風洞実験に有用な新たな計測システムの開発や導入を絶え間なく進めることで、鉄道の技術開発のニーズにつねに対応してきました。ここでは、米原風洞における鉄道の技術開発の変遷について、空力音低減や横風というような技術開発分野ごとに紹介します。

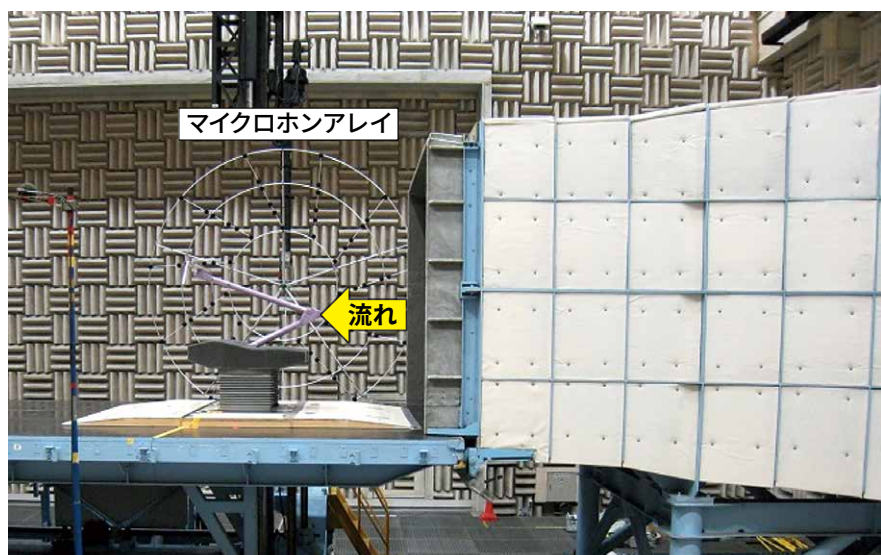


図3 集電機器の音源探査測定

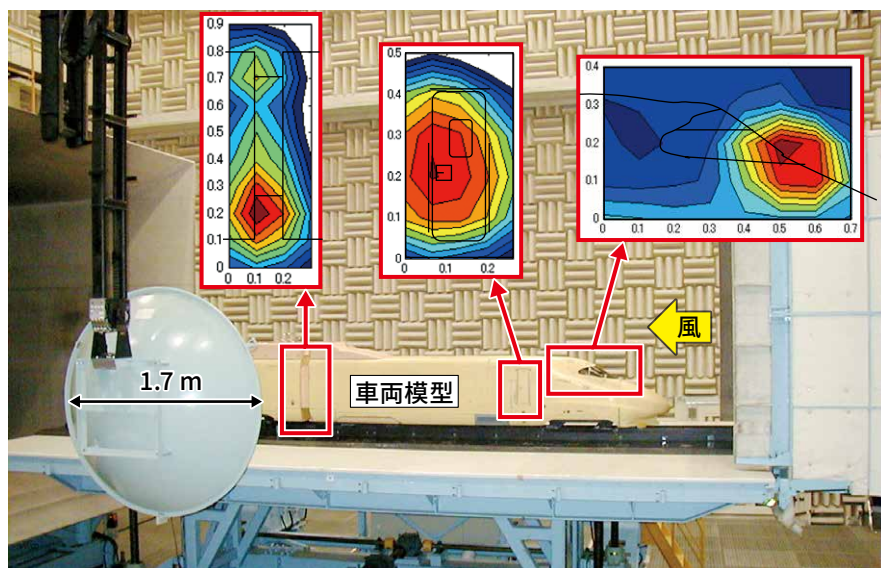


図4 車体の音源探査測定

空力音低減

新幹線が高速で走行する際には、パンタグラフやががいしなどの集電装置や車体から発生する空力音が支配的となります。そのため、新幹線の高速化のためには、これらの空力音を低減させる必要があります。米原風洞が建設される以前より、他の会社の低騒音風洞を使用して技術開発が進められていました。しかしながら、その当時は、新幹線の空力音低減の研究開発を行ううえで、大きさ、低騒音性能、最高風速のすべてを十分に満足させるような風洞はありませんでした。米原風洞は、優れた低騒音性能に加えて、大きな測定部と新幹線の最高速度を上回る風速を実現しています。

米原風洞では、パンタグラフやががいしなどの集電装置の実機から発生する空力音を測定することができます。風洞実験では、実車両を用いた走行試験（現車試験）と比較して、空力音の低減対策効果を短時間で評価することができます。さらに、最新の音源探査装置を適用することで、空力音の音源分布とその周波数特性を明らかにすることができます（図3）ため、空力音の低減対策法の開発が効率的に進められます¹⁾。

一方で、車体から発生する空力音は、米原風洞での音源探査測定（図4）や現車試験結果から、とくに、台車部からの空力音の占める割合が大きいことがわかってきました。台車部の空力音低減の研究では、上述した最新の音源探査装置や低周波を測定対象として開発したリニアアレイマイクロホンを活用した空力音低減の技術開発が進められています。

横風

車両に作用する横風による空気力は、鉄道の最重要課題の一つである安全な運行に直結する課題です。車両の横風

に関わる風洞実験は1960年頃から行われていましたが、系統だった研究はなされていませんでした。しかしながら、1986年に発生した余部鉄橋での横風による列車転覆事故の原因調査研究において、車両に作用する空気力は、車両形状に加えて線路構造物の影響も大きく受けることが明らかになりました。当時の鉄道総研の風洞では測定部断面積が小さいため、比較的大きな測定部断面積を持つ外部の風洞を使用して構造物の影響を含めた横風の風洞実験を実施しました。

横風の風洞実験では、測定される空気力の評価精度の向上がつねに求められてきました。米原風洞の密閉型測定部は、車両に加えて、さまざまな線路構造物を再現できる大きな断面を持ち、また、現実の風環境を再現するために、測定部内に自然風を再現することができます²⁾(図5)。ただし、米原風洞の測定部は大型であるものの、車両の実寸を考慮すると実物の車両を用いることはできず、風洞実験は縮尺模型(縮尺1/40)で行われています。そこで、屋外に実物大スケールの模型を設置した試験を実施し、風洞実験結果と比較検証することで、米原風洞での縮尺模型による風洞実験でも精度の高い空気力の評価が可能であることを確認しました。

これらの風洞実験は、車両を静止させての実験でしたが、米原風洞の開放型測定部を活用して、模型を走行させた風洞実験(図6)を行い、静止模型と走行模型の風洞実験結果を比較した結果、その差は小さいことを確認しました。

また、近年では、横風に対する車両の転覆リスクを低減させるハード対策として用いられる防風柵の効果をあらかじめ推定できるよう、防風柵に関する風洞実験が精力的に行われています。

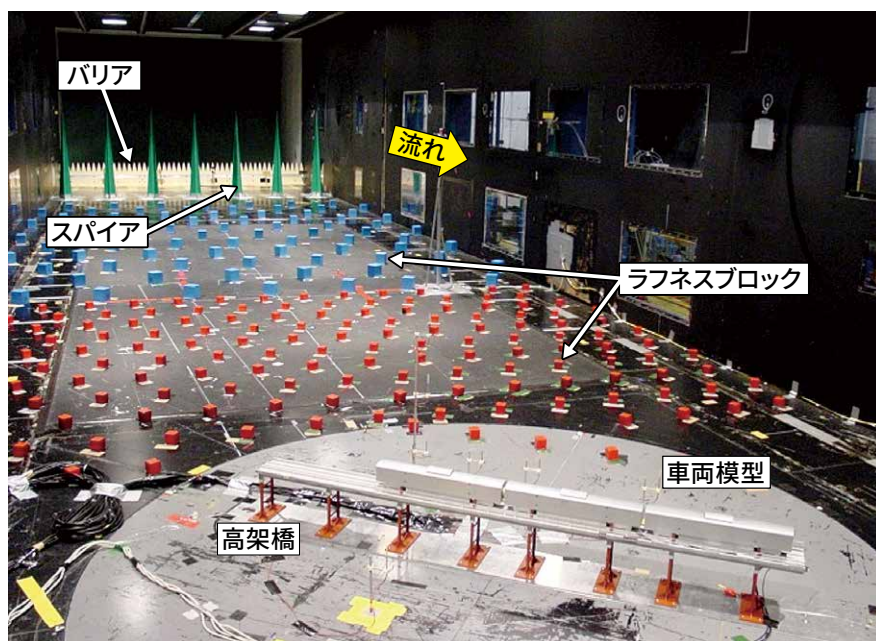


図5 自然風を再現した風洞実験



図6 模型走行実験

空気抵抗低減

鉄道車両の空気抵抗低減の風洞実験は、すでに100年近く前から行われており、抵抗低減の対策および効果についても報告がなされています。しかしながら、当時の風洞は、測定部の大きさ、最高風速、地面の模擬方法などが十分でなく、空気抵抗の評価精度はあまり高くなかったと考えられます。

米原風洞は鉄道用の風洞として建設されており、目的に合致した測定方法の開発、活用により長大編成の列車全体の空気抵抗を高い精度で評価することができます。先頭部が流線型で車体の凹凸の少ない新幹線でも、米原風洞が完成した頃は、車両の連結部には顕著な凹凸があり台車部の側面を覆うような側スカートもありませんでした。

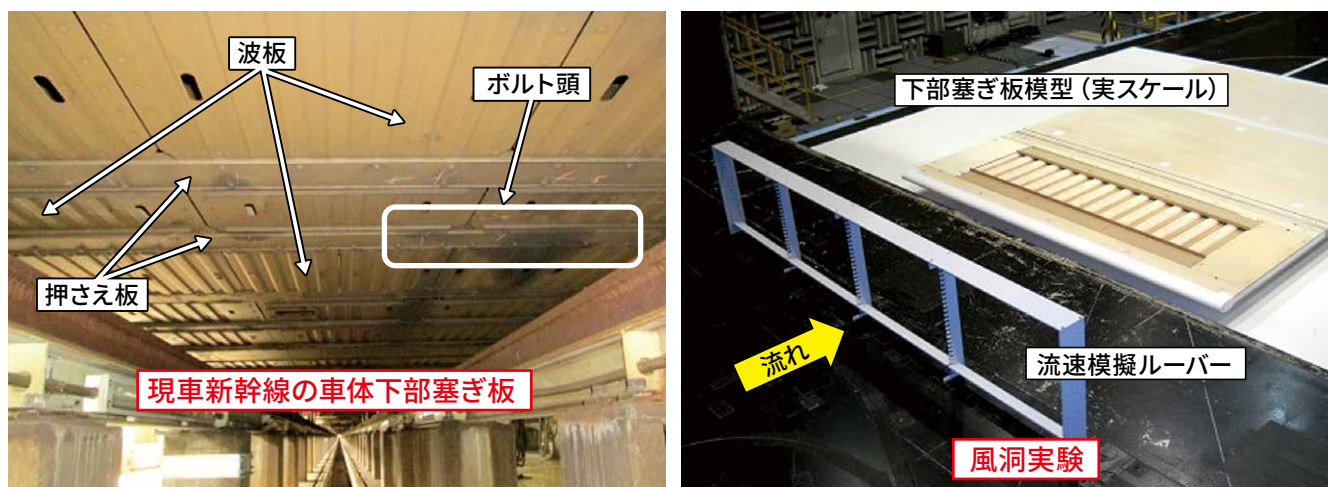


図7 車体下部表面凹凸の空気抵抗評価

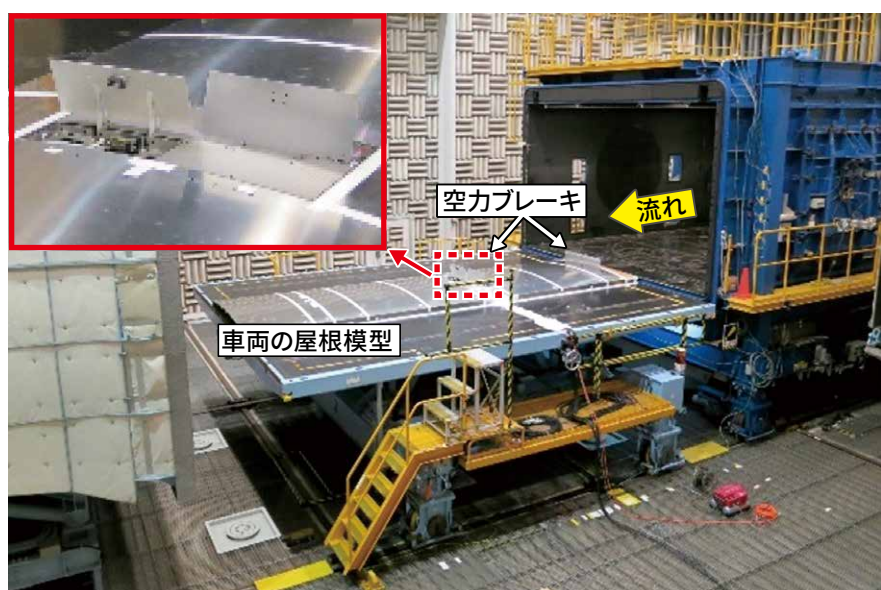


図8 空力ブレーキ風洞実験

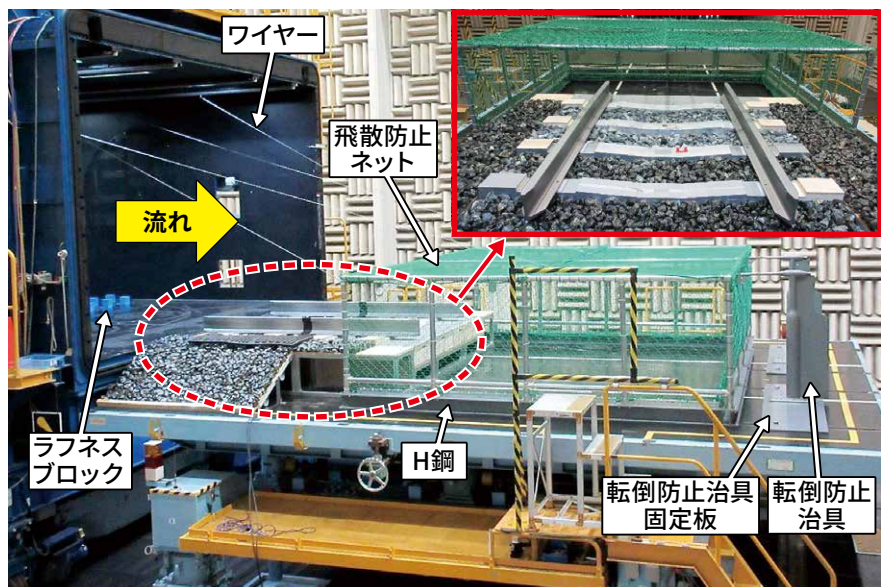


図9 バラスト飛散の風洞実験

米原風洞を用いて、それらの部位の平滑化による空気抵抗低減効果について研究開発を行いました³⁾。一方で、在来線については、屋根上機器や床下部の形状改良による空気抵抗低減効果を評価してきました。在来線では、新幹線と比べて機械抵抗（走行抵抗＝機械抵抗＋空気抵抗）の占める割合が大きいため、シミュレーションにより空気抵抗の低減による省エネルギー効果も評価しました。

さらに近年は、新幹線車両の平滑化が進んだため、今後の空気抵抗低減策として考えられる、台車下部カバーや車体下部塞ぎ板の継ぎ目の凹凸の平滑化による空気抵抗低減効果についても風洞実験（図7）で評価しています。

空力ブレーキ

空力ブレーキは、列車の表面から抵抗板を外に出し、板に作用する空気抵抗によって列車を直接減速させるブレーキです。これまで空力ブレーキが営業車に搭載された実績はありませんが、東海道新幹線の開業前にも模型を用いた基礎的な風洞実験が行われるなど、以前からその有効性が認識されていました。しかしながら、ブレーキ力の効果や車両への適用の技術開発が十分に進んだとはいえませんでした。

しかし、近年、新幹線車両の高速化や地震などの非常事態時に使用する高減速ブレーキの必要性から、空力ブレーキの技術開発が進んでいます。

実用的な小型分散型の空力ブレーキ(図8)について、米原風洞を活用して開発が進められました。米原風洞の開放型測定部は新幹線走行速度を超える送風が可能です。さらに、実物の空力ブレーキを実験できるだけの測定部の大きさ(幅3m×高さ2.5m×長さ8m)があり、実機を用いた実験が可能で、精度の高いブレーキ力の評価や高速の流れの中での実機の空力ブレーキの挙動についての技術開発を行うことができました⁴⁾。

おわりに

米原風洞が建設されてからの25年の間には、車両のさらなる高速化、車両の走行安全性の向上、環境負荷の軽減など、鉄道に対する社会的要望も、さまざまに変化してきました。上述した鉄道の技術開発以外にも、実バラストを用いた軌道模型によるバラスト飛散(図9)、列車風が人に与える影響(図10)、風から受ける力を低減できる防音板(図11)に関する技術開発など、技術開発ニーズに応じて、さまざまな風洞実験を行ってきました。米原風洞において鉄道の技術開発が25年の長きにわたり継続されてきたことは、すなわち、米原風洞が、これまでの鉄道の技術開発の変遷に対応してきた証左でもあります。さらに、2016年に風洞設備の心臓部といえる送風機用モーターの更新を実施するなど、つねに設備機器の更新を行ってきました。今後は、スーパーコンピューターのような風洞以外の研究設備との連携も含め、鉄道の技術開発に有用な実験設備であり続けられるよう、米原風洞を進化させ続けていきたいと思ひます。[RRR]

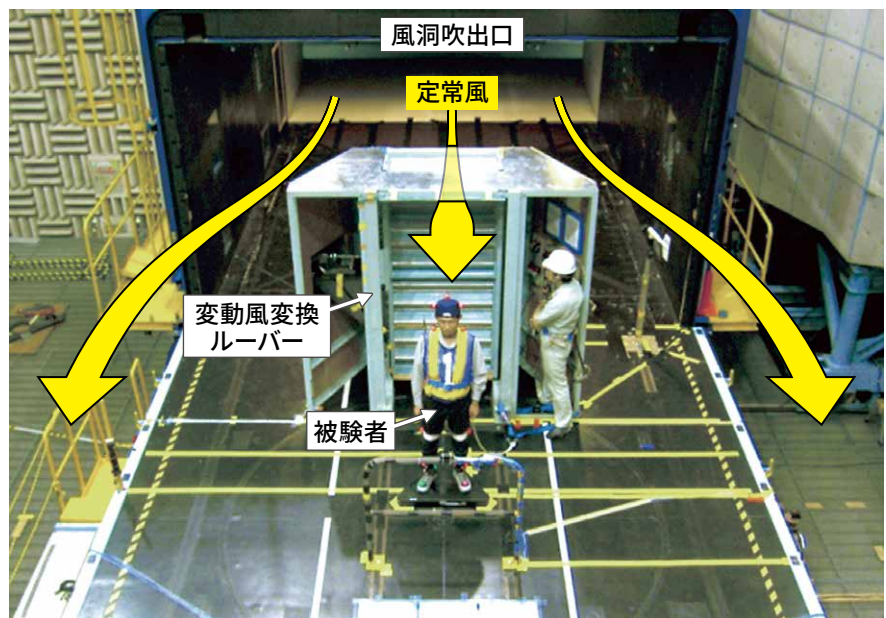


図10 風の体感実験

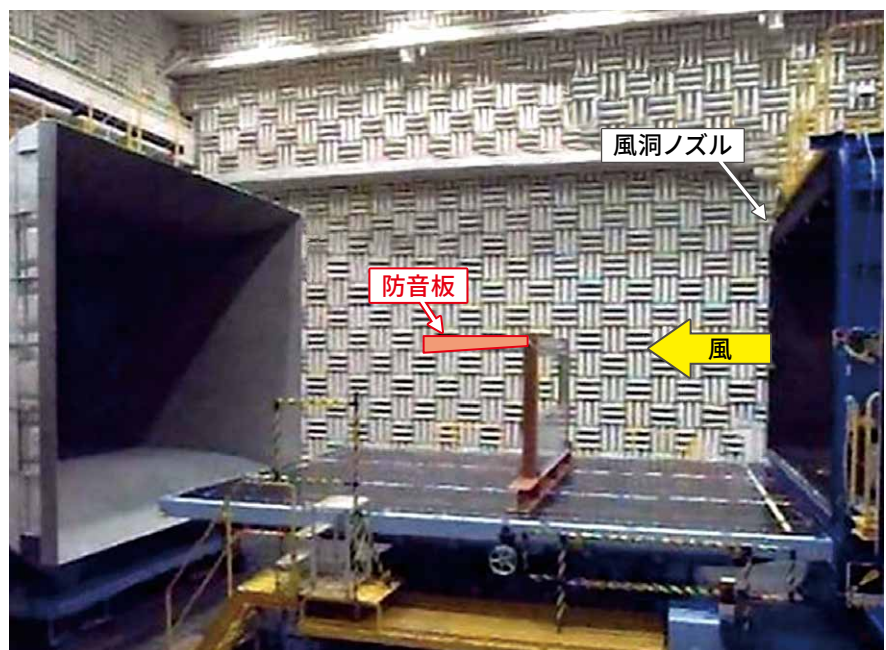


図11 防音板の風洞実験

文献

- 1) 池田充, 末木健之, 光用剛: 部材間干渉緩和と多孔質材貼付によるパンタグラフ空力音低減, 鉄道総研報告, Vol.24, No.4, pp.43-48, 2010
- 2) 種本勝二, 鈴木実, 斎藤寛之, 今井俊昭: 強風下での車両に働く空気力と低減対策に関する風洞試験, 鉄道総研報告, Vol.18, No.9, pp.17-22, 2004
- 3) 井門敦志, 岩崎誠: 新幹線車両の空気抵抗低減の研究, 第1回鉄道技術・連合政策シンポジウム公演論文集, 2014
- 4) 高見創: 新幹線速度向上に向けた空力ブレーキ装置の開発, 鉄道総研報告, Vol.34, No.3, pp.5-10, 2020