

- 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

風洞技術センターの概要と風洞を活用した研究開発

大型低騒音風洞は、鉄道の空力音や空気力学的諸課題の研究開発のために、風洞自体の騒音が十分に低い、測定部が長い、地面付近の流れを模擬できる、などの特徴を備えた、風洞設備です。風洞技術センターは、大型低騒音風洞の運用開始以降、風洞実験の際の風洞のオペレートや継続的な風洞設備の維持管理を行っています。この風洞を安定的に稼働させることで、風洞を用いた鉄道の研究開発に貢献してきました。ここでは、大型低騒音風洞のこれまでの歴史や特徴的な設備を概説するとともに、風洞を用いた最近の研究開発について紹介します。



井門 敦志
Atsushi Ido
研究開発推進部
風洞技術センター
所長
【専門分野】 空気力学、
風洞実験

はじめに

大型低騒音風洞（以下、米原風洞）は、1996年に滋賀県米原市に建設されました。米原風洞は、空力騒音を含む鉄道の空気力学的諸課題の研究開発のために、暗騒音（風洞自体の騒音）が十分に低い、測定部が長い、地面付近の流れを模擬できる、などの特徴を備えています。米原風洞は完成から現在に至るまで、積極的に活用され数多くの研究開発に貢献してきました。ここでは、米原風洞の歴史、設備および米原風洞を用いた最近の研究開発成果について紹介します。

究は1950年代から始められ、たとえば、空気抵抗に関する研究成果は、新幹線車両の開発に貢献しました。一方で、空力騒音の本格的な研究が開始されたのは1980年代後半からです¹⁾。鉄道総研は1991年度から、環境に調和した新幹線の速度向上を重要な柱として位置づけた研究開発を開始しました。そのためには、空力騒音を始めとする空気力学的諸課題の解決が必要でした。これには理論解析、数値シミュレーションとともに、風洞による実験が不可欠です。しかし、当時の鉄道総研には、空力騒音の研究開発を行う低騒音風洞がありませんでした。このため、当初は自動車用の低騒音風洞など外部の低騒音風洞を借用し研究開発を行っていましたが、新幹線の低騒音化技術

米原風洞の歴史と実績

建設の経緯

国鉄における鉄道の空力に関する研

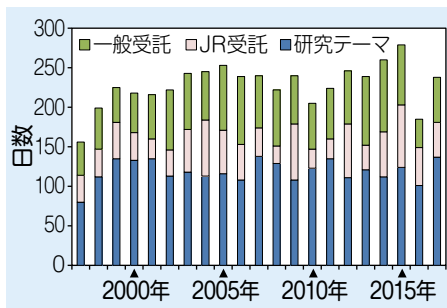


図1 大型低騒音風洞の稼働実績

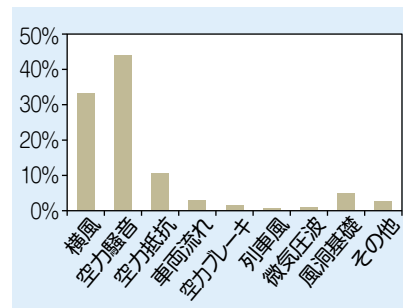


図2 鉄道関連の研究開発分野の割合



図3 モーターの更新

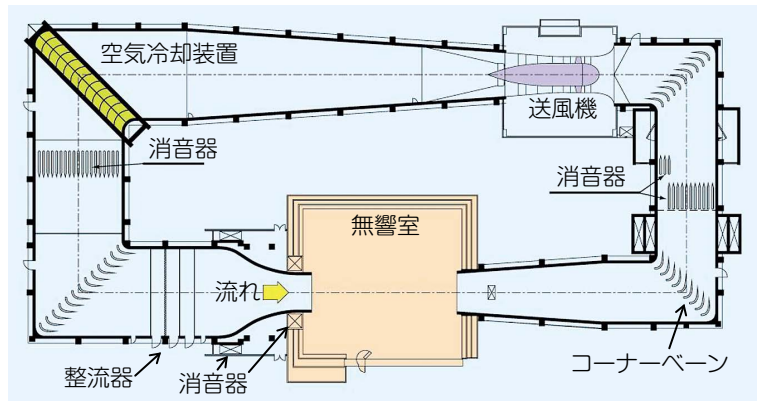


図4 風洞全体図(平面図)

表1 風洞諸元

項目	形式および性能	
風洞形式	ゲッチング型水平単帰還方式	
測定部形式	開放型	密閉型
測定部寸法	幅 3.0m × 高さ 2.5m	幅 5.0m × 高さ 3.0m
測定部長さ	8.0m	20.0m
最高風速	400km/h(111m/s)	300km/h(83m/s)
縮流比	16:1	8:1
風速分布	±0.7%以下: 324km/h(90m/s)	±0.4%以下: 288km/h(80m/s)
乱れ度	0.2%以下: 360km/h(100m/s)	0.2%以下: 198km/h(55m/s)
暗騒音レベル	75.6dB(A): 300km/h(83m/s)	
主な計測装置	音響計測用 マイクロホン	ターンテーブル付き 6分力天秤
	ビームフォーミング式 マイクロホンアレイ φ1m, φ4m	吊線式 6分力天秤
	楕円体集音装置 φ1.3m	多点圧力計
主な付帯設備	無響室 (幅 20m × 長さ 22m × 高さ 13m)	ムービングベルト (幅 2m × 長さ 6m, 0~60m/s)
	トラバース装置 ターンテーブル付き 模型支持台車	境界層吸込装置
	流れの可視化装置	
全体寸法	全長: 94m, 全幅: 42m, 全高: 10m, 風路長: 228m	
主送風機	直径: 5m, 羽枚数: 動翼: 12枚, 静翼: 17枚, 回転数: 590rpm(最大), 主電動機: 7MW, 三相誘導電動機	

の研究開発においては、低騒音性能、速度性能が十分ではありませんでした。

そこで、鉄道総研は1992年に大型低騒音風洞の建設を決定し、内外の専門家による技術開発委員会を開催しました(1992~93年)。その審議結果を基本仕様に反映させ、1994年6月に着工し、1996年3月に竣工しました²⁾。

稼働実績

図1に米原風洞の稼働実績を示します。風洞実験日数は、運営開始時は年間150日程度でしたが、3年目の1998年度に200日となり、その後は220~250日で推移しています。ところで、風洞を稼働することができる日

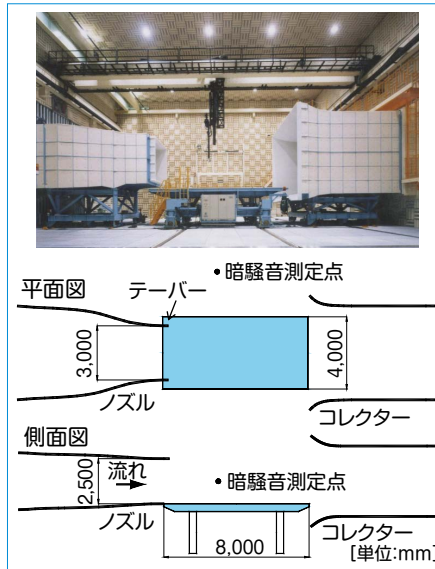


図5 開放型測定部

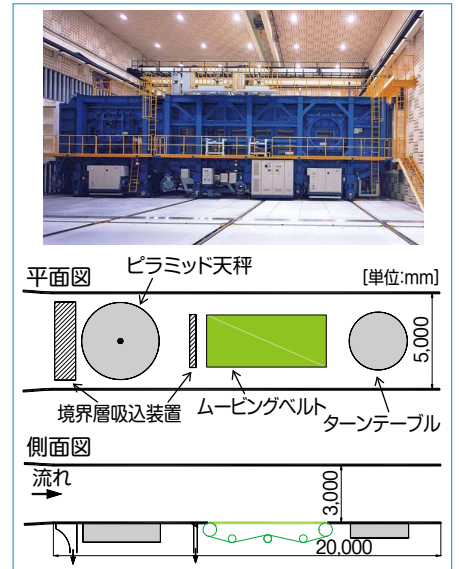


図6 密閉型測定部

数は、休日および風洞の定期点検を除いた、年間220日程度です。米原風洞は、1999年以降、ほぼ100%の稼働率となっています。その内訳は、鉄道総研の研究テーマ、JR会社からの受託、一般企業からの受託に大別できます。研究テーマは年間110~130日程度、JR受託は20~80日程度、一般受託は50~70日程度です。

図2にこれまでに実施してきた鉄道関連の風洞実験(研究テーマおよびJR受託)について、各々の研究開発分野の占める割合を示します。横風の研究開発が35%弱、空力騒音の研究開発が45%弱で、2項目で全体の80%弱を占めます。鉄道における最重要課題である“安全”と“環境”の研究開発分野に、米原風洞が積極的に活用されてきたことがわかります。このほかにも、

空気抵抗、車両周りの流れ、空力ブレーキなど、米原風洞は他の多様な分野の研究開発に活用されてきました。

大型更新工事

米原風洞は、運用開始以来大きなトラブルもなく、安定的に稼働してきました。しかしながら、時間の経過とともに機械設備の経年劣化により故障が増加する可能性が大きくなります。突然の故障で米原風洞を長期間止めると、各種の研究開発に大きな影響を与えてしまいます。そこで、「予防保全」の考えに基づき、主要機器については、故障する前に交換を進めています。風洞の心臓部ともいえる、送風機を駆動させるモーター、およびモーターに電気を供給するインバーターについては、風洞が完成して20年目の2016年3~7月にかけて、更新工事を行いました(図3)。

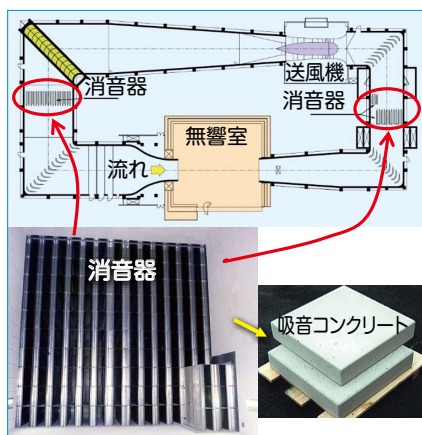


図7 風路内の低騒音化技術

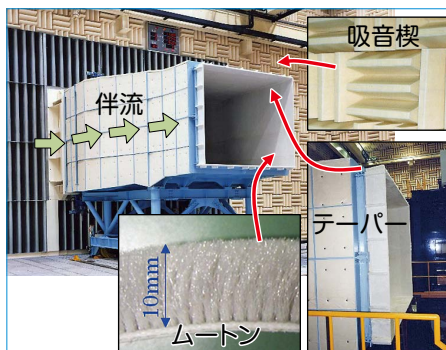


図8 測定部の低騒音技術

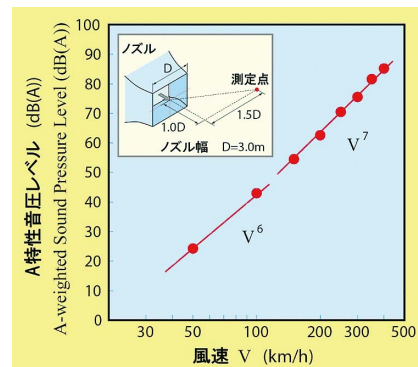


図9 暗騒音測定結果

風洞実験設備

米原風洞の平面図を図4に、風洞の主だった諸元を表1に示します。米原風洞は、鉄道車両の風洞実験を行うことを目的として建設されており、鉄道車両の空力騒音および空力特性の実験を実施するために必要な設備を有しています。

風洞測定部

米原風洞は、風洞実験の目的に応じて、開放型と密閉型という二つの測定部(図5、図6)を使用することができます。開放型測定部の大きさは幅3m×高さ2.5m×長さ8mです。パンタグラフのような車両の一部であれば、実物大で実験を行うことができます。最高風速は、新幹線の営業速度を上回る400km/h(111m/s)であり、新幹線の空力騒音の研究開発に余裕をもって対応できる風速性能を有しています。一方、密閉型測定部の大きさは幅5m×高さ3m×長さ20mです。高さに対して非常に長い測定部を持ち、車両編成としての風洞実験が可能です。また、長い測定部を用いて自然風の境界層を再現した実験を行うことができます。最高風速は300km/h(83m/s)です。

低騒音化技術

高速車両から発生する空力騒音は、おもな沿線環境問題の一つであり、米原風洞を建設するモチベーションでもありました。米原風洞が建設される以前の風洞の多くは、風を流すために発生する音(暗騒音)が大きく、供試体か

ら発生する空力騒音とのS/N比(信号対雑音比)が十分確保できず、空力騒音に関わる実験が困難でした。米原風洞の建設においては、風洞の低騒音化のためにさまざまな技術³⁾が導入されています。以下に、おもな低騒音化技術を示します。

①風路内の低騒音化技術(図7)

- 送風機の騒音が測定部に影響しないように、送風機の上流側および下流側の風路内断面に消音器を設置しました。
- 風路内の騒音を下げするために、送風機付近など一部を除きすべての風路内壁を吸音コンクリートで覆いました。

②測定部の低騒音化技術(図8)

- 供試体および風洞から発生する音の測定部壁面での反射を防ぐために、測定部の全壁面(下面を含む)を吸音楔^{くさび}で覆いました。
- 主流と外側の速度差を緩和することでノズルからの噴流騒音を低減させることができます。そこで、速度差を緩和するために、ノズル内面にムートン^{つり}を貼ることやノズルの先端をわずかに広げる(テーパをつける)ことによりノズル表面の境界層を厚くしました。また、ノズルの外側で外気を取り入れる伴流を作りました。

これらの低騒音化技術の採用により、風速300km/hの暗騒音レベルが75.6dB(A)という低騒音性能を実現しました(図9)。

地面流れの模擬

鉄道車両は、地面近くを走行しているため車両下部の流れは地面の影響を受けます。走行している車両と地面の間の流れを風洞実験で再現するためには、風洞床面に発達する境界層を排除する必要があります。米原風洞では、床面に発達した境界層を吸い取る境界層吸込装置、また、主流と同じ速度で移動することで、境界層の発達を抑えるムービングベルト(図6)を装備しています。

計測機器

風洞実験では、供試体に作用する空気力、圧力、供試体周りの流れ、供試体からの空力騒音などさまざまな測定を行います。そのため、米原風洞では、さまざまな測定のために各種計測機器を装備しています(表1)。空気力測定の測定機器として、密閉型測定部上流側に、ターンテーブル付きピラミッド天秤^{びん}が装備され、ムービングベルトを用いた実験のために吊線式6分力天秤^{つり}が装備されています。また、模型に内挿する天秤^{びん}による空気力測定も可能です。空力騒音測定では、無指向性マイクロホンのほかに、一度の測定で音源の特定が可能となるビームフォーミング式マイクロホンアレイがあります。ほかにも、多点圧力計や熱線風速計などの計測機器を装備し、空気力測定、騒音測定、圧力測定、風速測定などの風洞実験の基本的な計測に対応しています。近年では計測機器の発達も目覚

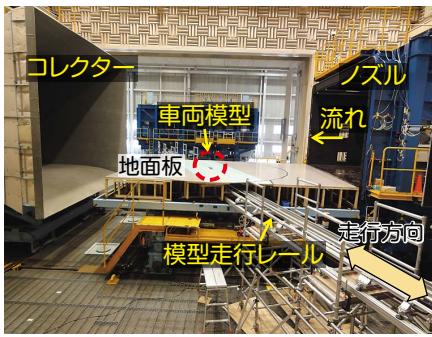


図10 車両模型走行装置

ましく、新たに開発される計測技術の中で、鉄道の風洞実験に有用であると考えられる技術をいち早く取り入れ風洞実験に役立てています。

研究開発

米原風洞は、建設以来、空力騒音や空力特性の研究開発に活用されてきました。ここでは、最近の鉄道の安全と環境の研究に関連する、横風および空力騒音の最近の研究開発について紹介します。

横風の研究

車両に働く風による転覆を防止するための研究は、昭和30年代から始められていました。最初は、一様流れ中に車両のみを設置した風洞実験でしたが、1986年に発生した余部鉄橋列車転落事故以降は本格的な研究がなされるようになりました。これまでの研究から、車両に働く空気力は、車両の形状に加えて地上構造物形状の影響や風洞実験での風速分布や乱れ強さなどの影響を受けることなどが明らかになっています。そこで、風路（測定部）内に地上構造物を再現し、自然風を模擬した風洞実験でこの空気力を測定しています。これまでに、代表的な5種類の車両形状と7種類の線路構造物を組み合わせて、空気力係数の評価を行いました。さらに近年では、この7種類とは形状が大きく異なる線路構造物（たとえば、盛土と切取を組み合わせた地形）での空気力の評価や、防風柵ではないものの防風効果のある、たと

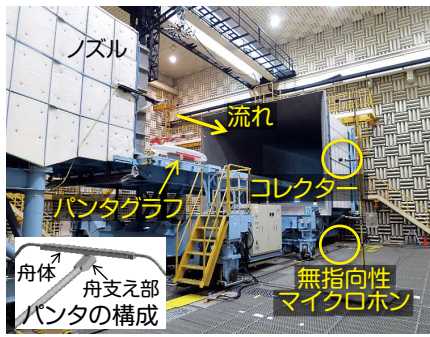


図11 パンタグラフ空力騒音低減の風洞実験

えば防音壁の効果の評価も行っています。加えて、横風により車両に働く空気力の研究の深度化を目的として、車両走行による空気力に対する影響の評価（図10）や車両のばね系を再現した車両模型の風洞実験で横風が車両運動に与える影響について研究を進めています。また、効果的な横風対策の一つに防風柵の設置のようなハード対策があります。実際にハード対策を検討する際には、対策前後の空気力係数から、その低減効果を評価する必要がありますが、そこでも米原風洞が大いに活用されています。

空力騒音の研究

新幹線の高速化のためには集電装置機器をはじめ車両各部から発生する空力騒音の低減が重要な課題であり、その低減法の開発が米原風洞建設の最大の目的でした。これまでに、パンタグラフや碍子オオイなどさまざまな部位について、米原風洞を用いた空力騒音低減の研究開発がなされ、新幹線の高速化に大いに貢献してきました。現在でも、パンタグラフは主要な空力騒音源のひとつであり、とくに、舟体周辺の寄与が大きいことがわかっています。その舟体には、高速で走行する際に舟体に働く揚力が安定していることも求められます。最近では、舟体の断面形状や舟体と舟支え部の位置関係に注目し、空力騒音の低減と安定した揚力特性を両立するパンタグラフの研究開発を進めています（図11）。

一方で、これまでの研究開発により

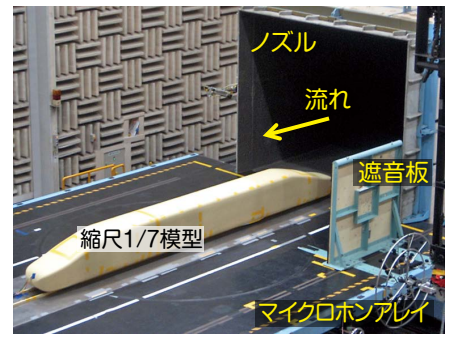


図12 車両下部の空力騒音測定

集電機器の空力騒音が低減したことや現地試験結果をもとにした新幹線沿線の騒音予測により、高速走行する車両では、集電機器に加えて車両の台車部も大きな空力騒音の音源であることがわかってきました。そのため、10年ほど前から台車部の空力騒音の研究開発を本格的に実施しています（図12）。米原風洞を用いた最近の研究では、台車部のキャビティーの前後に跳ね上げ材を取り付け台車部への流れの流入を抑制することで、台車部の空力騒音が効果的に低減することがわかりました。

おわりに

大型低騒音風洞は、完成以来今日まで22年間にわたり、鉄道総研やJR会社が行う鉄道車両の研究開発に貢献してきました。2016年にはモーターインバーターの更新工事を無事終わりました。今後とも、世界トップクラスの風洞性能と安定的な稼働によって、鉄道の空力学的諸課題に関わる研究開発に貢献してゆきたいと思っています。[RRR]

文献

- 1) 大山忠夫, 前田達夫, 森藤良夫, 真鍋克士: 大型低騒音風洞をどう利用するか, RRR, Vol.51, No.7, pp.12-15, 1994
- 2) 丸岡昭: 大型低騒音風洞, 鉄道総研報告, Vol.10, No.2, pp.11-16, 1996
- 3) 西村正治, 工藤敏文, 中川敬三, 丸岡昭, 善田康雄, 西岡通男: 大型低騒音風洞の開発, 日本機械学会第74期全国大会講演論文集(Ⅲ), pp.725-726, 1996