

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

# 空力音に関する試験に活用する

大型低騒音風洞は、ノズル（吹出口）やコレクター（吸込口）への柔毛材や風路全面にわたる吸音コンクリートの採用などによって、300km/h送風時の暗騒音が75.6dBという優れた低騒音性能を有する風洞試験設備です。この特長を活かし、開設以来20年間、空力音に関する数多くの試験を実施し、基礎研究や鉄道車両の技術開発に役立ててきました。ここでは、新幹線の代表的な空力音源である、パンタグラフ・台車部・車間部について風洞試験事例を紹介します。また、空力音源の分析に必要不可欠な音源探査技術の進歩と変遷も紹介します。

## はじめに

東海道新幹線の開業時点で210km/hであった営業最高速度は、1997年に山陽新幹線区間で300km/h、2013年には東北新幹線で320km/hを達成するなど、段階的に向上を続けています。一方、日本の新幹線は民家の近くを高速で走行することが多く、住宅地域で70dB、商工業地域で75dBと世界的にみても厳しい環境基準（1975年7月当時の環境庁告示）が定められています。鉄道事業者は、営業速度の向上を図りながらも環境基準を遵守するため、優れた低騒音性能を有する新幹線車両の開発や防音壁の設置・かさ上げなど、

騒音の低減対策を講じてきました。

図1は、新幹線の主な騒音源を模式的に表したものです。新幹線騒音は、パンタグラフまわりから発生する集電系音、車両の台車部や車間の間隙部付近から発生する車両下部音、高架橋などの構造物の振動に起因して発生する構造物音などで構成されています。

高速走行時には集電系音や車両下部の台車部から生じる空力音（※参照）の寄与が大きくなります。これは転動音・構造物音のパワーが列車速度の2～3乗に比例して増加するのに対し、空力音は6乗に比例する性質をもつからです。したがって、車外騒音をさらに低減するためには、車両から発生す



**宇田 東樹**  
Toki Uda  
環境工学研究部  
騒音解析研究室  
副主任研究員  
【専門分野】 鉄道騒音



**山崎 展博**  
Nobuhiro Yamazaki  
環境工学研究部  
騒音解析研究室  
主任研究員  
【専門分野】 鉄道騒音



**北川 敏樹**  
Toshiki Kitagawa  
環境工学研究部  
騒音解析研究室  
室長  
【専門分野】 鉄道騒音

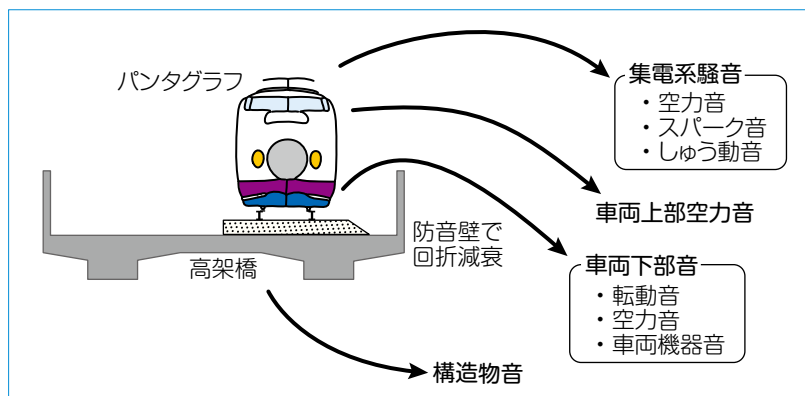


図1 高速走行時における新幹線車外騒音の主な部位別構成

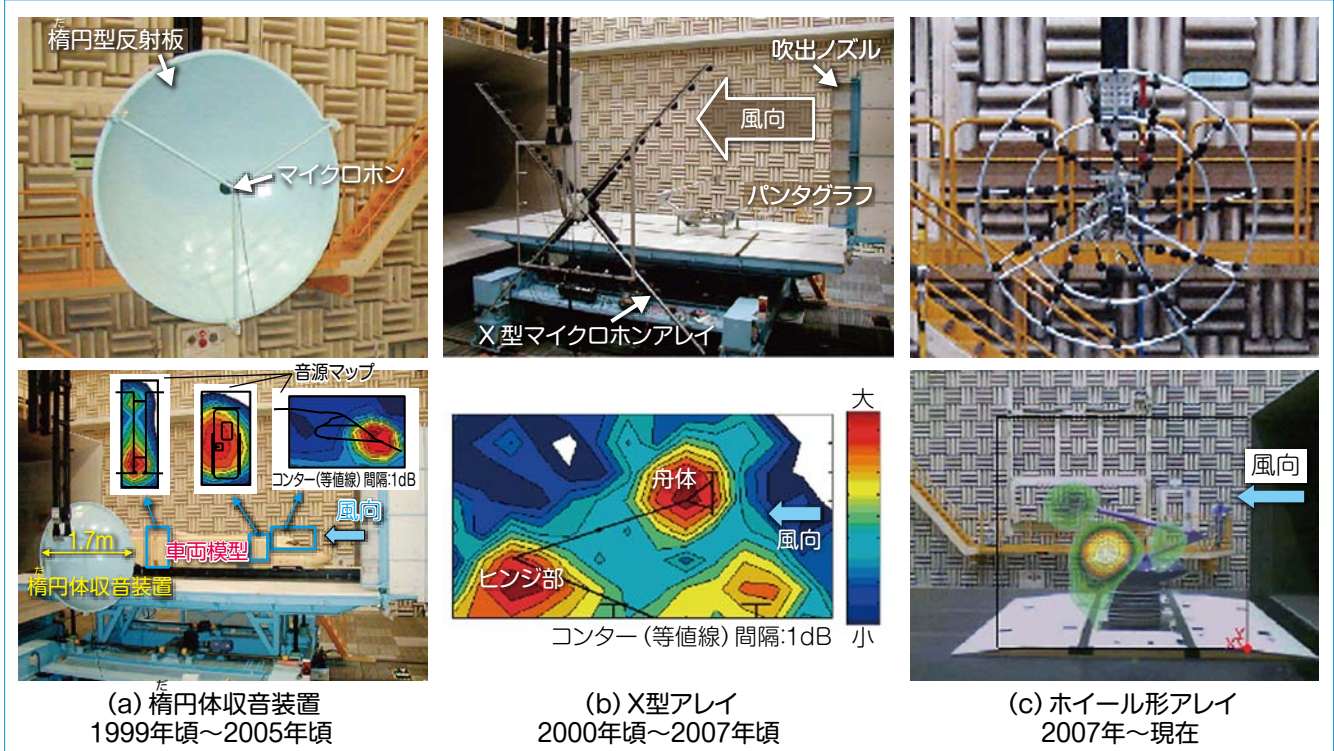


図2 大型低騒音風洞における音源探査装置の変遷

る空力音をいかに低減できるかが重要なポイントになります。

ここでは、車両から発生する空力音の低減あるいは評価する研究開発を進めるうえで、中心的な役割の1つを担ってきた大型低騒音風洞における空力音の試験事例を紹介します。

### 音源探査技術の進歩

空力音を効果的に低減するためには、車両のどの部位からどの程度の音が発生しているかを把握して、寄与の大きな音源から優先的に対処していく必要があります。ここでキーになる測定解析技術は「音源探査」です。

図2は大型低騒音風洞で使用した歴代の音源探査装置です。初期の頃は、図2(a)の楕円体装置を使用していました。この装置は、腕状の回転楕円体の反射板とその焦点位置に設置されたマイクロホンで構成されています。回転楕円体の幾何学的な性質から、2つある焦点のうち、片方の焦点(音源)から放射された音波は反射板で反射され、マイクロホンの設置されたもう1

つの焦点に集まります。楕円体装置の位置を順々に移動させながら測定を繰り返すことによって、音の強さの分布を可視化した音源マップを得ることができます。風洞における音源探査技術が一般的でなかった当時、先頭車両のワイパー部やドア部、車間部などの空力音源を明らかにしたことは画期的でした。しかし、この装置は図2(a)のマップを1つ得るのにかなり時間がかかってしまうことが欠点でした。

多数のマイクロホンを手易くしてくると、測定時間と指向特性に優れた、マイクロホンアレイ(参照)を用いて音源探査を行う方法に技術の流れがシフトしました。そこで鉄道総研では、多数のマイクロホンを一列に並べた2本の一次元マイクロホンアレイを交差させて構成したX型のアレイを開発しました(図2(b))。この装置により測定に必要な時間はわずか数秒になりました。試験効率も大幅に向上し、供試体の条件変更を次々と行いながら音源探査測定を実施し、音源ごとに優劣を比較することができるように

なりました。また、X型アレイ導入以後、空力音に関わる現象の理解が大きく進みました。

現在、大型低騒音風洞で使用されている最新のマイクロホンアレイは図2(c)です。近年、マイクロホンアレイによる音源探査は一般的な計測技術となったため、市販の製品を風洞用にカスタマイズして使用しています。また、マイクロホンアレイによる音源探査技術の進歩のために、マイクロホン配列の最適化や新しい演算手法を積極的に取り込むなどの研究開発も行っています。

#### 空力音

風の強い日に電線がヒューヒューと鳴る風切り音など、空気の乱れによって生じる音。高速走行する新幹線では列車まわりの空気の流れが車体の凹凸によって乱されることで発生します。

#### マイクロホンアレイ

多数のマイクロホンを並べた装置。各マイクロホンからの音圧出力に信号処理を行うことによって音源の空間的な情報を出力します。

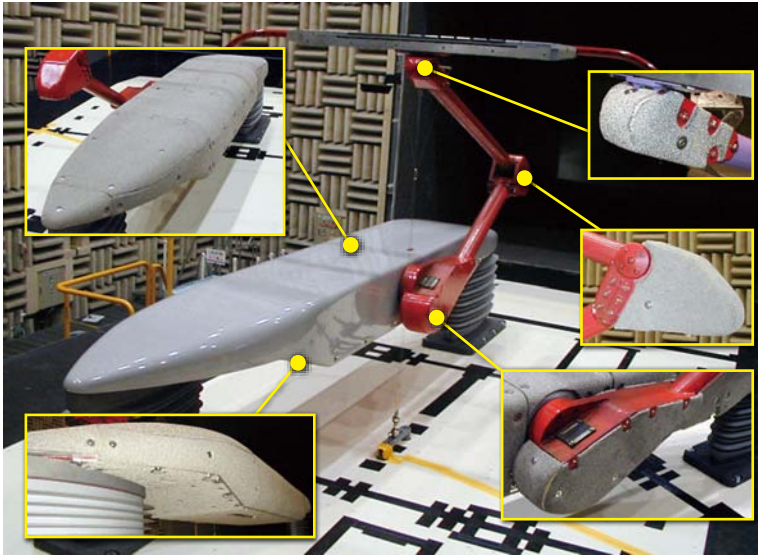


図3 多孔質材を貼り付けたパンタグラフ

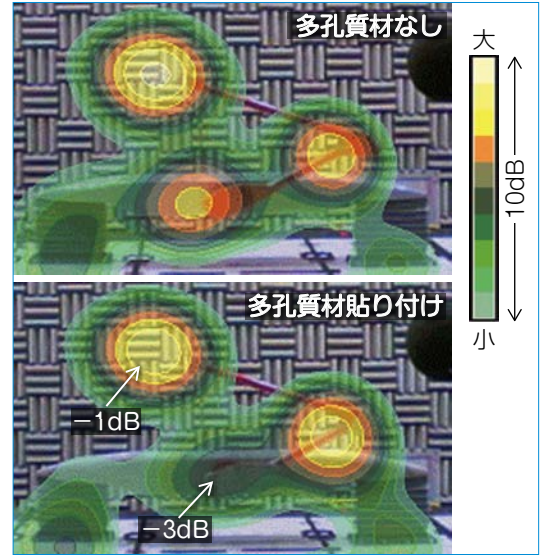


図4 空力音源の分布  
(風速360km/h, 1k~1.25kHzバンド)

### 新幹線車両の空力音源

これまでの風洞試験、現地試験の分析などにより、高速走行する新幹線車両の主要な空力音源はパンタグラフ、車間部、台車部であることがわかっています。次に、これらの空力音源について、大型低騒音風洞で実施した試験を紹介します。

### パンタグラフ空力音

新幹線に搭載されるパンタグラフは屋根上の高速気流に直接さらされるため、大きな空力音源となります。これまでも舟体形状の最適化や流れの干渉低減など、低騒音化を目的とした多くの形状が検討されました。しかし、パンタグラフ本来の役割である集電性能を維持しながら低騒音化を進める必要があるため、形状変更を行う上での制約条件も少なくありません。そこで、形状変更以外の低騒音化技術の1つとして、「多孔質材」と呼ばれる多数の孔を持った金属材料を利用したパンタグラフ空力音の低減に取り組みました<sup>1)</sup>。物体表面に貼付した多孔質材は、流れの時間変動を弱め、空力音を低減し

ます。既存のパンタグラフの貼付可能な箇所へ試験的に適用した例が図3です。空力音源の分布を多孔質材の有無で比較した結果が図4です。多孔質材を各部位に適用することにより、パンタグラフから発生する空力音を低減できることが確認できました。

### 台車部空力音

台車部空力音の風洞試験を紹介します<sup>2)</sup>。単独の音源の強さでは、台車部よりパンタグラフから生じる空力音の方が大きいのですが、台車部は1両あたり2カ所ずつ存在します。このため、360km/h走行では、全体騒音の7割程度を占める空力音のうち、台車部空力音の大きさはパンタグラフ空力音と同程度以上となります。

空力音の発生源は空気の流れ自体です。したがって、空力音を定量的に推定するには、流れ場を正しく把握する必要があります。新幹線の台車部付近は車両床下の凹凸やレール・地面の影響などにより複雑な流れ場が形成されています。そこで、まず現地試験による車両床下の流れ場の実測を行

い、その結果から1編成の中間部分では、台車部付近の流速が列車速度の60~70%程度に低下していることがわかりました。そこで風洞試験において、この流れ場を再現する試験方法を開発し、台車部空力音を評価しました(図5)。

図6は台車部空力音、転動音+車両機器音、それらを合算した車両下部音の評価結果です。また、あわせて比較用として、車両下部全体音の実測値も示しています。車両下部音全体について、予測評価値と実測値はおおむね一致しており、流れ場を忠実に再現した台車部空力音の評価手法が妥当であることがわかりました。

### 車間部空力音

車間部についても新幹線車両の縮尺模型を用いて空力音源の測定および低減対策を検討しました(図7)<sup>3)</sup>。測定に際しては、音源位置の同定精度を高めるために、独自開発したマイクロホンアレイを設置しました。

図8は、車間部の側ホロがない条件および車両の肩部の高さまで部分的に

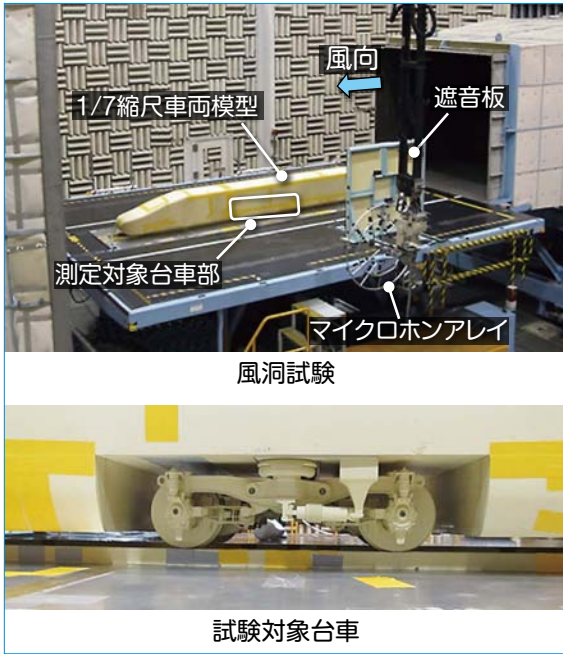


図5 台車部空力音の風洞試験

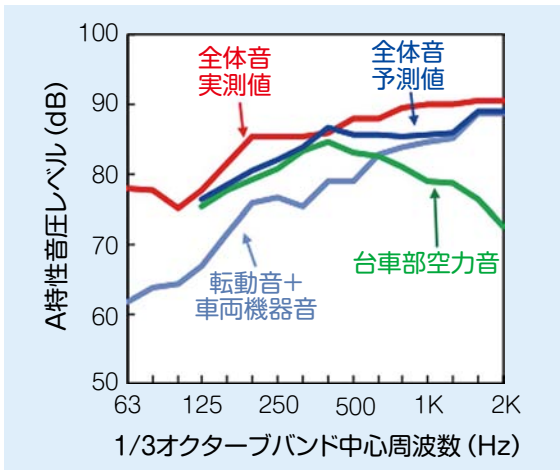


図6 車両下部音の音源別寄与度(レール近傍点)

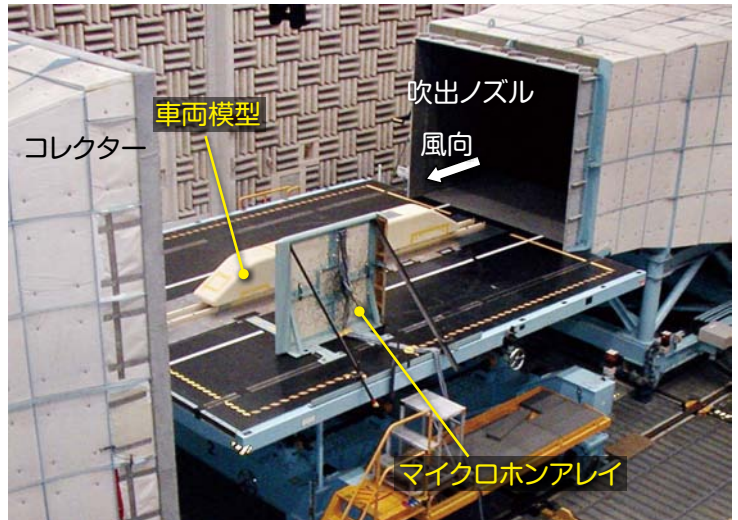


図7 マイクロホンアレイを用いた車間部空力音の風洞試験

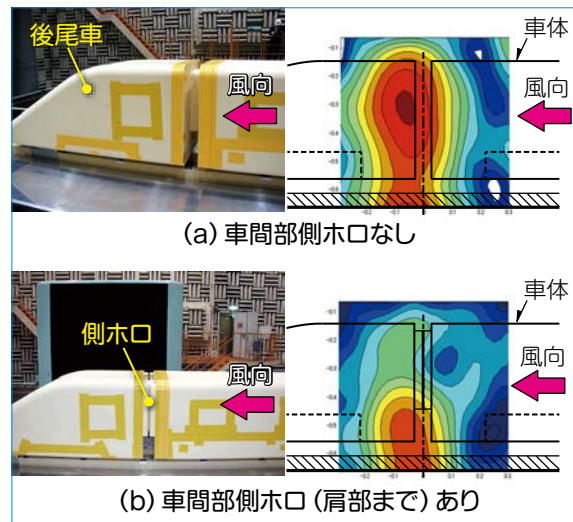


図8 車間部の音源分布と低減効果(現車換算後315Hzバンド)

側ホロを設置した条件における音源探査結果です。側ホロがない図8 (a) の場合、後尾車の端部に沿って強い音源が分布しています。これは、先頭車両の表面に沿って流れてきた高速の気流と車間部内の低速の気流の間のせん断層(☞参照)で、渦が形成され、その渦が後尾車側の角部に衝突して強い空力音が発生したためと考えられます。一方、図8 (b) のように部分的に側ホ

ロを設けると、強い音源位置は後尾車の側ホロがない下端部に移動し、その大きさも小さくなるのがわかります。

おわりに

大型低騒音風洞における空力音の測定事例としてパンタグラフ・車間部・台車部の風洞試験を紹介しました。今後も新幹線をはじめとする高速鉄道の技術開発において、大型低騒音風洞の重要性はますます高まっていくと考えられます。これまで同様、品質の高い計測技術・評価手法を創り続けるとともに、実用化につながるアウトプット

となるよう、研究開発を進めていきたいと考えています。RRR

文献

- 1) 末木健之, 光用剛: パンタグラフ空力音の新たな低減手法を探求する, RRR, Vol.71, No.5, pp.16-19, 2014
- 2) 山崎展博, 長倉清, 北川敏樹, 宇田東樹, 若林雄介: 風洞試験を用いた新幹線車両下部から発生する空力音の評価手法, 鉄道総研報告, Vol.29, No.5, pp.17-22, 2015
- 3) 高石武久, 山崎展博: 風洞試験による車間・台車部空力騒音の抑制技術の検討, 鉄道総研報告, Vol.21, No.3, pp.11-16, 2007

☞ せん断層

高速の流れと低速の流れの境目に形成される速度変化の大きな領域。