

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

高速鉄道車両の台車部空力音の音源を可視化する

高速走行する鉄道からは大きな空力音が発生します。空力音とは空気の流れから発生する音の総称で、高速走行時の新幹線車両の場合はパンタグラフや車間部・台車部などがおもな空力音源です。ここでは、高速気流を人工的に発生させる風洞実験において、台車部から発生する空力音の音源を詳細にとらえる測定手法とその発生メカニズムに迫る分析結果を紹介します。



澤村 陽一
Yoichi Sawamura
環境工学研究部
騒音解析研究室
研究員



宇田 東樹
Toki Uda
環境工学研究部
騒音解析研究室
主任研究員



小方 幸恵
Yukie Ogata
環境工学研究部
騒音解析研究室長

はじめに

高速走行する新幹線車両のまわりでは、空気が車体に引きずられて大小さまざまな大きさの渦が形づくられます。これらの渦が車体表面の影響を受けて変形することで音が発生します。この音のことを空力音とよびます。

新幹線車両から発生する騒音には、転動音（車輪がレールの上を転がる際の車輪とレールの振動が原因で発生する音）、構造物音（車両の走行にともない、高架橋が振動することで発生する音）、そして空力音に分けられます。新幹線の騒音に関する報告によれば、時速300km以上で走行する新幹線から発生する騒音の半分以上が空力音

によるものと試算されています¹⁾。また、新幹線が時速360kmに高速化した場合は全体音の7割以上を空力音が占めると試算されています(図1)。空力音のおもな発生源はパンタグラフ(集電系音)や車両上部(車間部、先頭部)、車両下部(車間部、台車部)であり、中でも台車部から発生する空力音(台車部空力音)がもっとも大きくなります。ここでは、その発生メカニズムに迫る独自の測定手法について紹介します。

風洞実験による音の可視化

一般に、音の発生メカニズムを解明し、低減対策を講じるためには、どの部分が音源になっているのかを特定する必

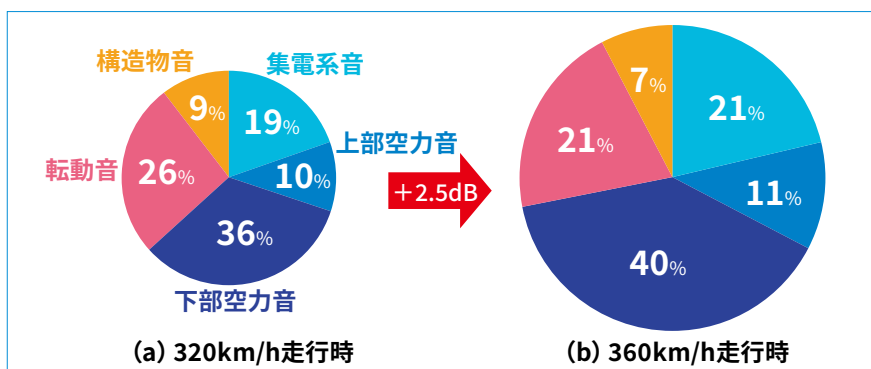


図1 新幹線速度向上時の音源別寄与度 (青系の色が空力音)



図2 側方からの測定の概況

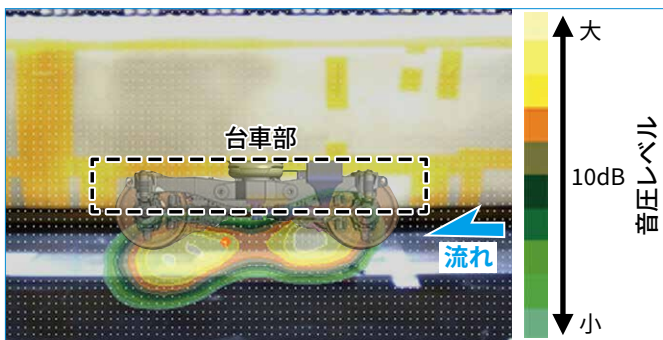


図3 台車部空力音の測定例(予め撮影した画像と合成)

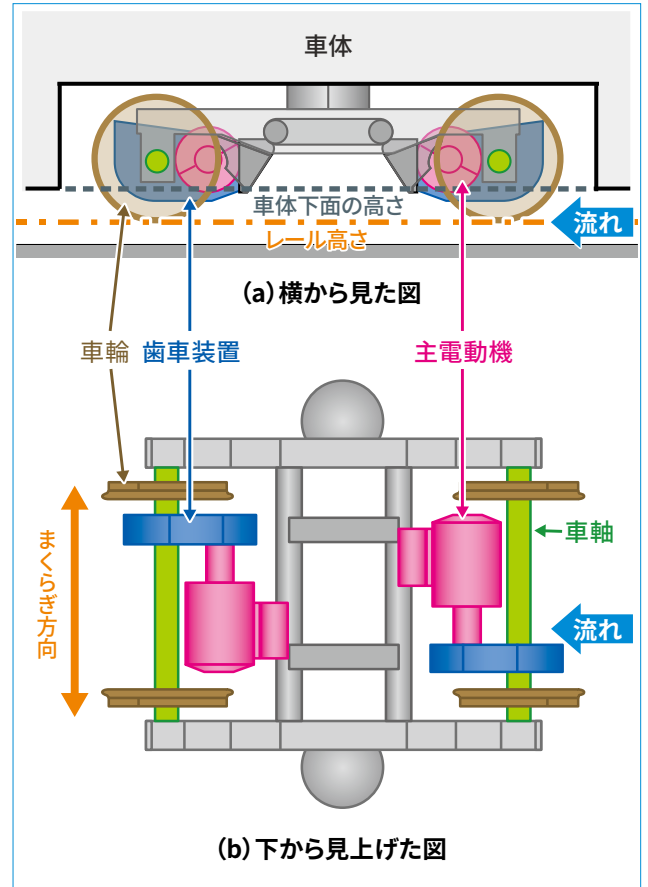


図4 台車の構成機器

要があります。このセオリーは空力音でも同じです。しかし、実際に走行している車両の台車部空力音を直接測定しようとした場合、転動音や構造物音、上部空力音などの着目している音以外が含まれてしまいます。また、台車部空力音の低減対策を開発するためには、さまざまな方向性の低減対策を考案し、短時間で効率的に検討を重ねる必要があります。そこで、風洞を活用し、台車部から発生する空力音を模型実験で模擬し、低減対策の検証を行います。

鉄道総研は、滋賀県米原市に、最高400km/hで送風することができる大

型低騒音風洞を所有しています。大型低騒音風洞には空力音の音源位置を特定するためのマイクロホンアレイ(☞参照)とよばれる計測設備が備えられており、台車部空力音だけでなく、パンタグラフの音源可視化や低減対策の比較検討などに活用されています。

台車側方からのマイクロホンアレイによる測定

マイクロホンアレイによる台車部空力音の測定の概況を図2に示します。供試体は一般的な新幹線の形状を再現した車両模型で、大きさは実車の1/7、長さは1.5両分です。車体の側方にマイクロホンアレイを設置しています。マイクロホンアレイによって測定した空力音の音源分布の例を図3に示します。この図から、台車付近から空力音が発生していることがわかります。

一方で、台車側方からの測定にはい

くつかの課題があります。1つは、側方からの測定では音源のまくらぎ方向の位置がわからないことです。台車は車輪・車軸、モーターとなる主電動機、主電動機の回転を車輪に伝える歯車装置など、多くの機器から構成されています(図4)。そのため、側方からの測定ではどの機器が音源になっているか、詳細な音源位置を知ることが困難です。また、一般に測定対象にマイクロホンアレイを近づけることでマイクロホンアレイの解像度が向上し、詳細な音源分布がわかります。しかし、側方からの測定では、マイクロホンアレイと高速気流の距離を十分離さなければならず、マイクロホンアレイを台車部に近づけることが難しいという問題があります。図5に示すように、台車部とマイクロホンアレイは3m以上離れていますが、これを近づけようとすると、高速気流がマイクロホンにあた

☞ マイクロホンアレイ

多数のマイクロホンを並べて同時測定する装置。それぞれのマイクロホンが測定した音波の時間差を考慮して計算することで、音の発生源を推定することができます。

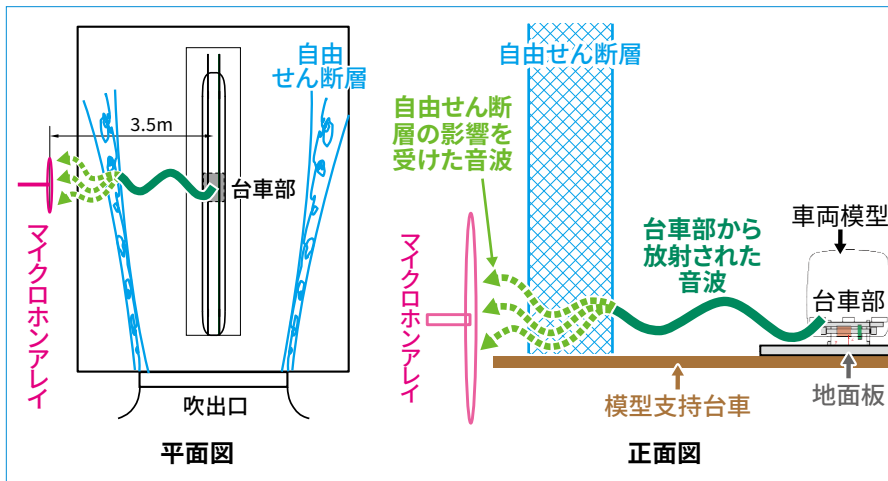


図5 側方からの測定の模式図と自由せん断層の影響の概略

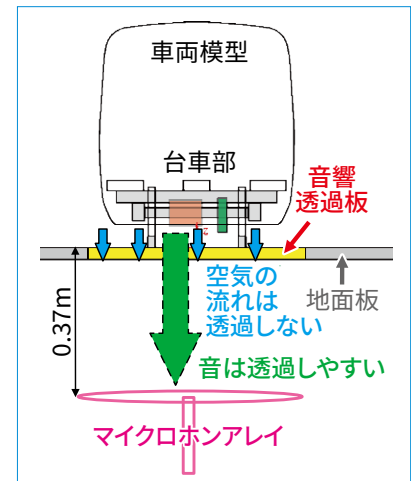


図6 台車下方からの音源探査法 (正面図)

るため、測定精度が悪化します。また、風洞の吹出口の端部からは自由せん断層(☞参照)が発生しており、台車部空力音がマイクロホンアレイに到達するまでに影響をうけて、測定精度が悪化する可能性があります。

台車下方からのマイクロホンアレイによる測定

台車部の空力音源を詳細に把握することを目的として、台車装置の下方からマイクロホンアレイを用いて詳細な音源探査をする計測手法を開発しました。手法の概要を図6に示します。台車装置の下方にマイクロホンアレイを設置した場合、マイクロホンアレイと台車装置の間の地面板が音を遮蔽してしまい、正確に測定することができません。一方、地面板を取り外した場合は流れが入り込んでしまい、車両の走行にともなう流れを模擬することがで

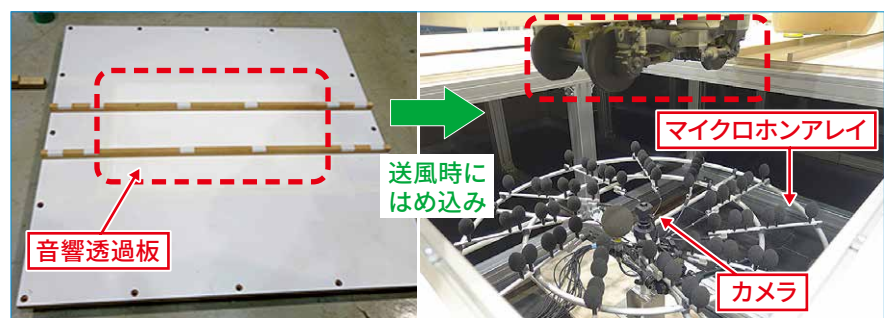


図7 台車部下方からの音源探査の適用例

きません。そこで、台車とマイクロホンアレイの間には、流れを通しにくい音波を通しやすい性質をもった多孔板(以後、音響透過板とよびます)を設置します。この測定方法によるメリットは以下のとおりです。

- ①まくらぎ方向の音源分布を可視化
- ②自由せん断層の影響を抑制
- ③マイクロホンアレイと台車部の距離が0.37mとなり、側方からの測定と比較して、音像の空間解像度が約8倍に向上

開発した手法の適用状況を図7に示します。台車部の下にマイクロホンアレイを上向きに設置します。あらかじめマイクロホンアレイ中央部のカメラで、台車部を下方から撮影します。送風時には音響透過板をはめ込んで測定を行い、音源探査結果と合成します。開発手法による騒音測定の結果を、

台車部空力音が新幹線走行時の全体音に占める割合が大きい100Hzから500Hzまでの周波数ごとの音の発生部位とともに図8の上段に示します。100～125Hzまでの比較的低い周波数では、下流側の主電動機付近が音源になっていることがわかります。250～315Hzでは台車格納部の下流側付近から大きな音が発生していることがわかります。また、400～500Hzでは上流側主電動機付近、流側主電動機の上流側、下流側歯車装置に音源が集中しています。この理由は、歯車装置や主電動機が車体下面よりも下に出ており、流れが直接衝突することで大きな音が発生しているためと考えられます(図4(a))。

このように、本測定法により、台車部から発生する周波数ごとの空力音の詳細な音源を把握することができました。

☞自由せん断層

風洞の吹出口から出てくる速い流れと、そのすぐ外側の遅い流れの速度差より、流れが強く乱れる領域が発生します。この領域を自由せん断層とよびます。大型低騒音風洞では、吹出口の外側にも流れを送り込むことで自由せん断層を小さくしていますが、なくすることはありません。

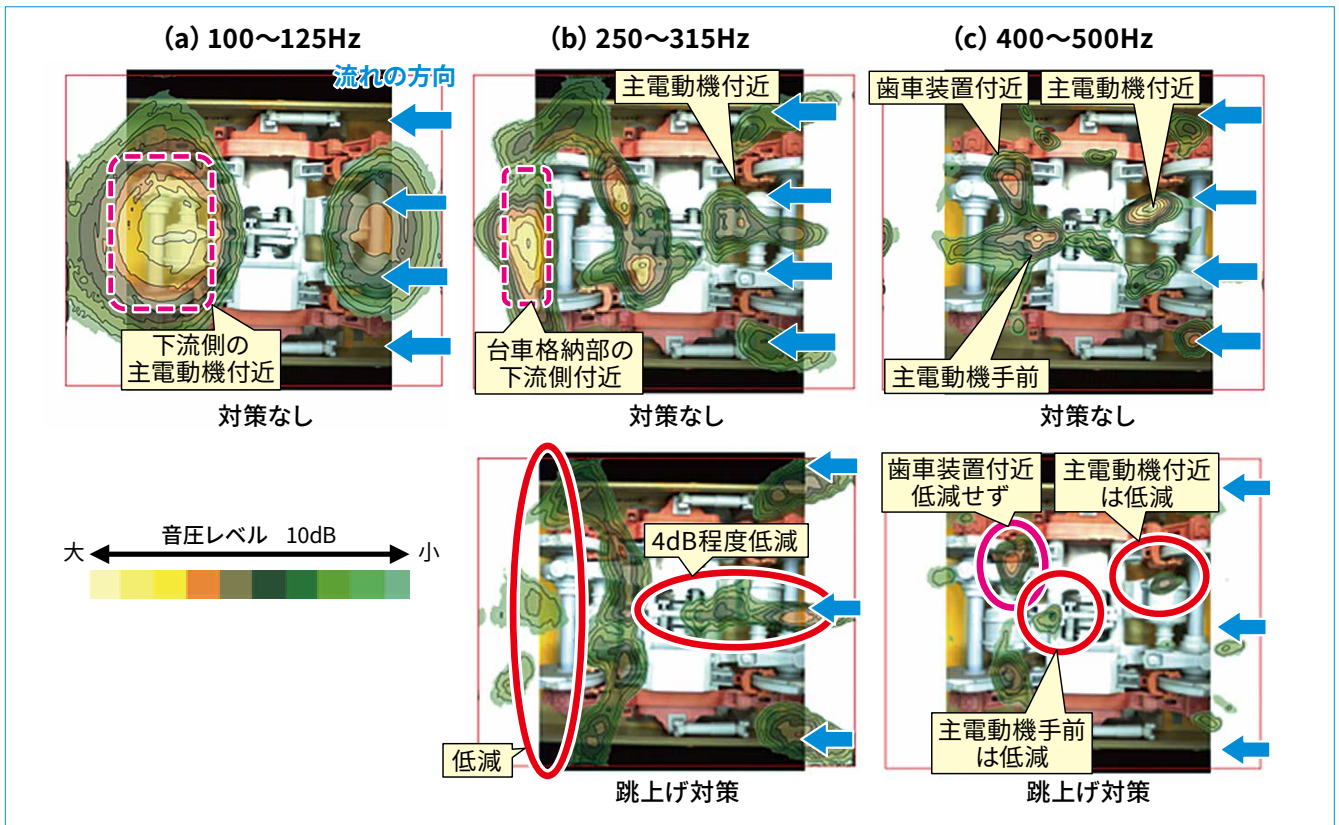


図8 台車部空力音の測定例(周波数は実車スケールに換算後)

台車部空力音の音源可視化による対策効果の検証

台車部空力音の低減対策による空力音の変化を検証します。今回検証するのは跳上げとよばれる対策です。対策の概要を図9に示します。台車部の上流側に三角形の断面を持つ部材(跳上げ材)を取り付けます。この対策は、流れを下向きに偏向させることで、主電動機や歯車装置に直接風が当たるのを防ぐことを目的としています。跳上げ対策を行った場合の測定結果を図8の下段に示します。跳上げ対策を行った場合、250~315Hzでは下流側の主電動機や歯車装置付近の音のパワーが4dB程度小さくなり、台車格納部下流側の音も小さくなりました。また、400~500Hzでは、上流側の歯車装置付近の音や下流側の主電動機付近の音は低減していますが、下流側の歯車装置付近の音源はそのまま残っています。このことから、跳上げによる流速の低減

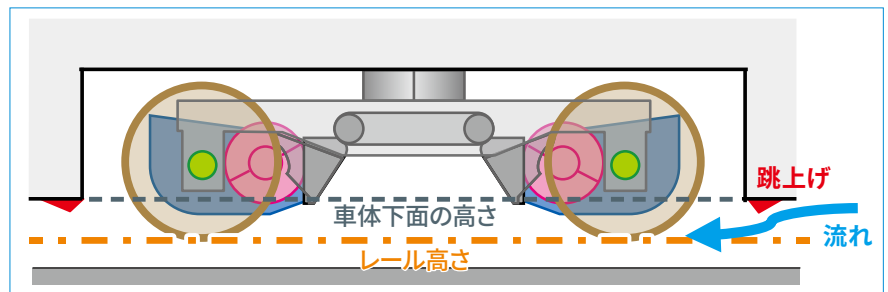


図9 跳上げ対策と対策による流れの偏向のイメージ

が、台車部の下流側まで及んでいない可能性が考えられます。台車下方からの測定により、低減対策による効果の範囲が明らかになりました。今回明らかになった知見は、今後の台車部空力音の低減対策の開発に活用されます。

おわりに

音響透過板とマイクロホンアレイを用いて、高速走行する鉄道から発生する台車部空力音の音源を可視化する新しい手法を開発しました。本測定法により、台車部空力音のおもな音源位置

が明らかとなり、低減対策によりどの部位の音が低減するのが明らかになりました。本成果は、台車部空力音の低減メカニズムの解明や、実用化可能な低減対策の開発に活用されます。

RRR

文献

- 1) 飯田雅宣：高速化のための沿線環境の評価・対策，RRR，Vol.72，No.7，pp.44-47，2015
- 2) 宇田東樹，北川俊樹：音響透過板を用いた台車部空力音の測定および評価手法，鉄道総研報告，Vol.34，No.3，pp.29-34，2020