

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

高速走行する列車の 台車部空力音を低減する

高速走行する列車では、台車部付近から発生する空力音が全体騒音の3割以上を占めると試算されています。このため、沿線環境の負荷低減あるいは速度向上を目指すうえで、台車部空力音の低減は大きな課題の1つと位置づけられています。ここでは、鉄道総研が取り組んでいる台車部空力音の研究開発事例として、台車部付近の流れの性質を把握する基礎試験と台車部から発生する空力音の低減技術について紹介します。



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
[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
Toshiaki 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

はじめに

新幹線に代表される高速鉄道の営業上の最高速度は向上を続けています。新幹線開業当時の営業最高速度は210km/hでした。その後、1997年に山陽新幹線で500系が300km/h、2013年に東北新幹線でE5系が320km/hでの営業運転を行っています。国外においても、フランスのTGV、ドイツのICE、スペインのTalgo350、中国のCRHなど、高速鉄道の車両開発が盛んです。

日本の新幹線は住宅の密集した地域を走ることが多く、沿線環境の負荷低減の観点から環境基準が定められています。これまでの新幹線の新線開業や速度向上はこの環境基準を遵守して進められています。たとえばE5系は国内最高速度である320km/h走行を実現するために、パンタグラフ・車両下部・車両連結部などにさまざまな騒音対策が施されています。

今後の沿線環境の負荷低減や将来的

な高速化を見据えるためには、車両の各部位の音源が全体騒音に与える影響の度合い（寄与度）を十分に把握しておくことが重要です。図1は鉄道総研が開発した新幹線沿線の騒音予測手法など¹⁾をもとに、新幹線車両の音源別寄与度²⁾を評価した結果です。青系の色で示した領域が空力音（参照）の成分を示しています。列車速度が320km/hから360km/hに向上すると、空力音の寄与度が増大傾向にあることがわかります。空力音の中で寄与の大きな音源は台車部付近を発生源とする下部空力音（以下、台車部空力音）とパンタグラフからの空力音です。このため、列車の高速化には台車部空力音の低減対策が必要です。鉄道総研では10年ほど前から台車部空力音の研究開発を本格的に実施しています。

ここでは、台車部空力音の発生メカニズムを探り、低減対策を講じるために行っている2種類の風洞を用いた研究開発について紹介します。

空力音

空気力学的な要因によって発生する音。新幹線では、列車まわりの高速気流がパンタグラフや台車に衝突して空力音が発生します。

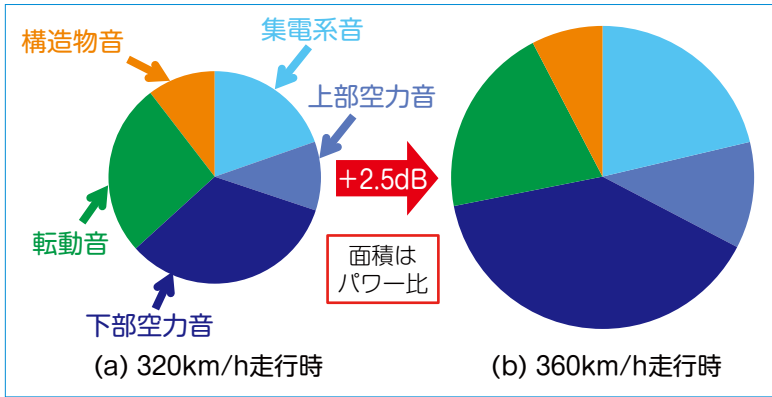


図1 新幹線速度向上時の沿線騒音の音源別寄与度

表1 鉄道総研が所有する2種類の風洞設備

風洞種類	小型低騒音風洞	大型低騒音風洞
最大風速	300km/h	400km/h
ノズル	幅 0.48m × 高さ 0.4m	幅 3m × 高さ 2.5m
計測部長さ	最大 1.6m	最大 8m

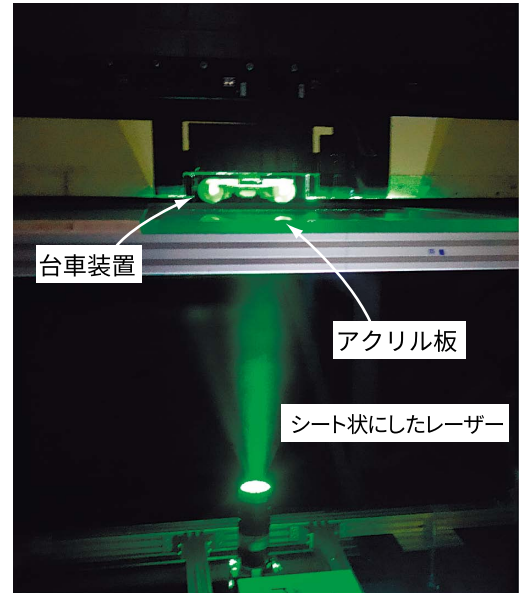


図2 小型低騒音風洞におけるPIV測定の様子

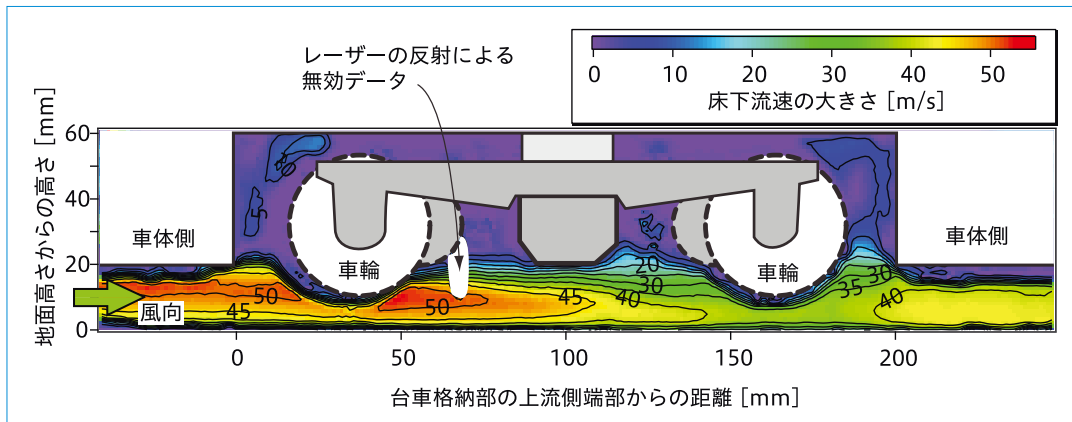


図3 台車格納部付近の流れの速度分布
(小型低騒音風洞におけるPIV測定, 測定断面はまくらぎ方向台車中心, 風速56m/s)

風洞実験の進め方

鉄道総研には小型と大型の2種類の低騒音風洞があります。表1は両者の基本性能を比較したものです。大型低騒音風洞では小型低騒音風洞の最大1.3倍の風速、6倍以上の大きさの供試体を用いることができ、より実車両に近い条件で高精度な試験を行うことが可能です。

台車部空力音の研究開発においては、

両風洞の特長を活かして効率的に進めています。小型低騒音風洞では簡易の台車部模型を用いた予備試験を行い、台車部付近の基本的な流れの性質を把握しました。大型低騒音風洞では、小型低騒音風洞で得られた知見をもとに、台車部空力音を高精度に計測し、低減対策の有効性について検証を行いました。以下では、小型低騒音風洞において実施した台車部まわりの流れの分布

と、大型低騒音風洞において実施した空力音の測定結果や台車部空力音の対策例を紹介します。

台車部まわりの流れの様子

空力音が発生する原因は物体周辺の空気の流れの物体への衝突です。このため、台車部付近の流れの様子をとらえることが重要です。そこで、粒子画像流速計測法(PIV) (参照)³⁾⁴⁾とよばれる流れの測定手法を用い、2次元の面的な速度分布を計測しました(図2)。風速は56m/s(200km/h)、台車装置には1/20縮尺模型を使用しました。図3は台車部付近の流れの速

粒子画像流速計測法(PIV)

測定したい領域に数mm程度の薄いシート状にしたレーザー光を照射し、気流中に導入した微細な粒子の像を高速カメラで撮影することで流れ場を取得する光学的な流速測定手法。

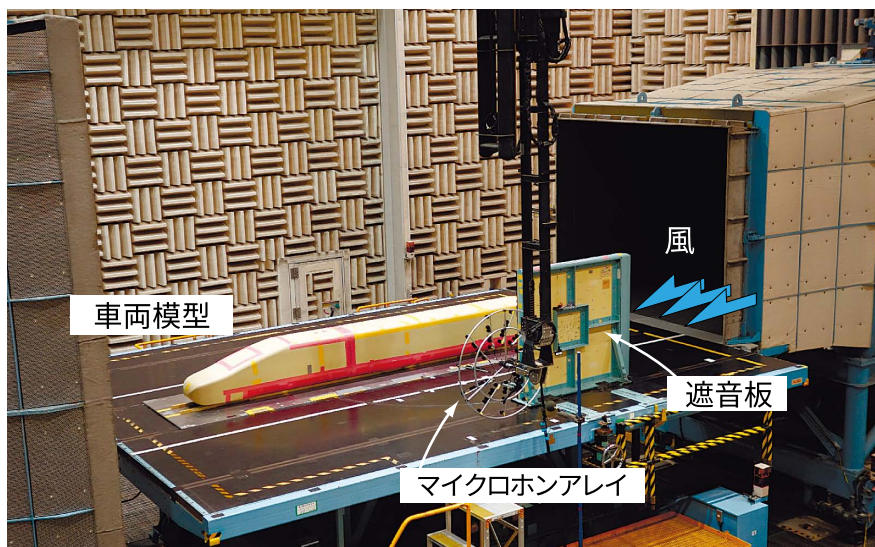


図4 大型低騒音風洞における台車部空力音の測定

度分布を示したものです。台車装置の内部まで高速の流れが入り込む様子がわかります。この結果から、台車部空力音の低減指針は①台車装置に流れが入り込まないようにすること、②流れの速度を低くすることであるとわかりました。

大型低騒音風洞における空力音計測

小型低騒音風洞で得られた知見をもとに、大型低騒音風洞において、より実車両に近い1/7縮尺の台車部模型(小型風洞用の約3倍の大きさ)を用いて、測定を実施しました(図4)。

小型低騒音風洞で台車装置の内部まで高速の流れが入り込んでいることがわかったため、台車装置そのものから発生する空力音が大きいと予想されます。そこで、細部の形状を作り込んだ模型(精密台車)を製作し、簡易台車と精密台車で発生する空力音の違いについて確認しました。図5はマイクロホンアレイを用いて測定した両者の音源分布を比較した結果です。精密台車から発生する空力音は簡易台車より7dB以上大きくなっています。これは、空力音を正確に評価するには細部まで作り込んだ精密な台車模型を使用する必要があることを示しています。また、台車装置そのものから発生している空力音の周波数は400Hz前後で最も大きくなることもわかりました⁵⁾。

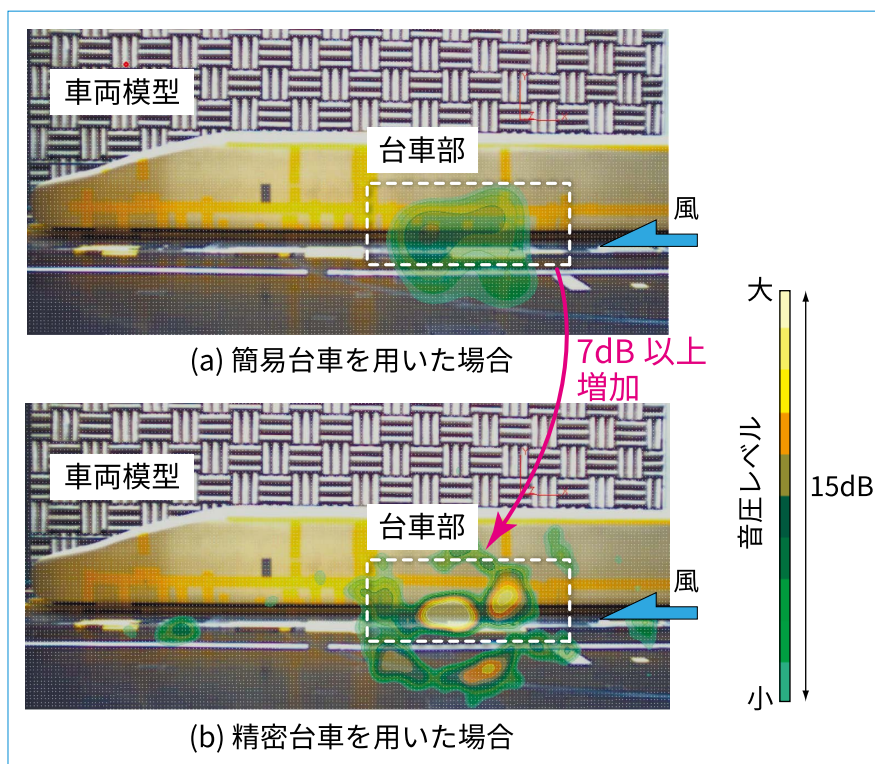


図5 台車装置模型の細部作り込み度合いの違いによる台車部空力音への影響(現車換算後の周波数400Hz)

台車部空力音の低減対策①

台車部空力音の低減指針の1つは台車装置に流れが入り込まないようにすることです。このコンセプトにもとづき、台車キャビティ部の前後に三角形のデバイス(以降、跳ね上げ材)を取り付けて台車装置付近の気流を下方に偏向させる対策を考案しました(図6中の対策①)。図7は側方からマ

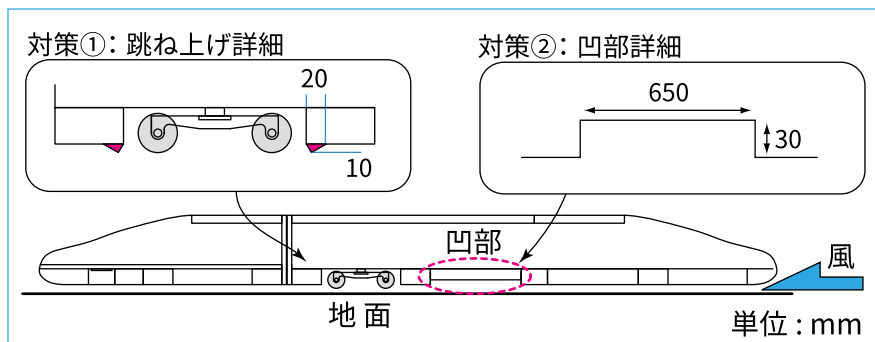


図6 跳ね上げ材および車両床面の凹化

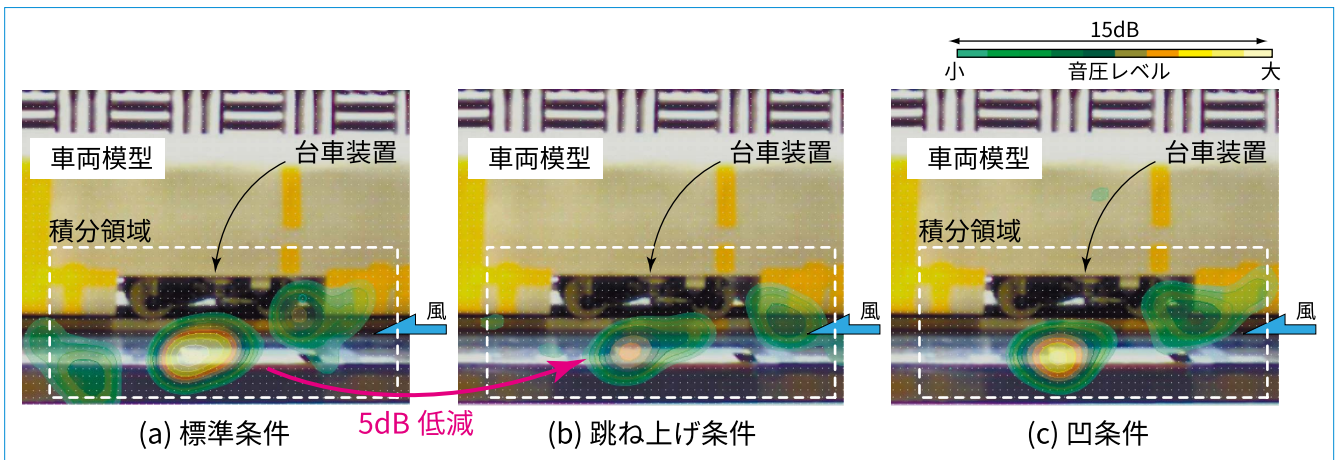


図7 台車部の空力音源の分布の比較
(風速330km/h, 実際の測定時は側力バーを取り付け, 現車換算後400Hz)

マイクロホンアレイによる音源探査により、跳ね上げ材の効果を検証した結果です。図の(a)と(b)を比べると、跳ね上げ材を装着することにより、台車部付近の空力音源の音圧レベルが5dB程度低減していることがわかります。さらに、台車部付近から発生する空力音全体の大きさを評価するために、台車部を取り囲む領域で音圧レベルを積分して観測点における周波数分析を実施しました(図8)。これより、跳ね上げ材は300Hz~1kHzの周波数帯において台車部空力音を低減する効果があり、その低減量は400Hz~500Hzにおいて3dB程度であることがわかりました。

台車部空力音の低減対策②

もう1つの低減指針は、台車部付近の流速を下げることです。この考え方にもとづき、図6中の対策②のように、台車部の上流側に凹みを設けることによって車両床面と地面の間の圧力を増大させ、気流が台車部に入りにくいように対策を施しました(以下、凹条件)。図7(a)と(c)を見比べると、跳ね上げ材と同様、台車部空力音が低減することが確認できます。さらに、凹条件で音源分布を積分した結果(図8)を参照すると、標準条件からの低減量は最大2dB程度ですが、200Hz~2kHzの

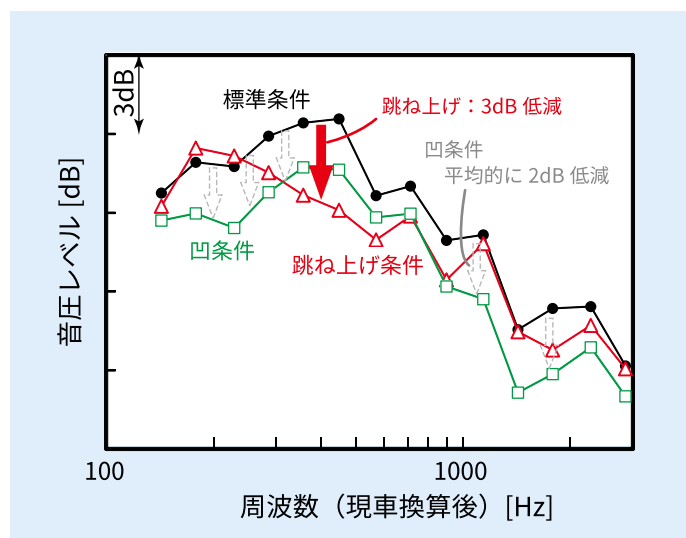


図8 領域積分後の周波数分析結果

広範な周波数帯にわたって台車部空力音を効果的に低減できることがわかりました。

おわりに

高速走行する列車の台車部から発生する空力音を対象に、流れの基本的な特性と低減技術を紹介しました。鉄道の台車装置は安全に直結する非常に重要な構成要素であり、容易に設計変更を加えることはできません。多くの制約条件が課される中、現象に対する理解を深めつつ、最も効果的な台車部空力音の低減技術の開発を進めています。

RRR

文献

- 1) 長倉清, 善田康雄: 新幹線沿線騒音予測手法, 鉄道総研報告, Vol.14, No.9, pp.5-10, 2000
- 2) 飯田雅宜: 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
- 3) 光用剛: PIVを用いた流速測定システム, RRR, Vol.72, No.10, p.40, 2015
- 4) 宇田東樹, 山崎展博, 高石武久: 風洞試験における流れ場の非正常測定と音源構造の推定, 鉄道総研報告, Vol.24, No.9, pp.17-22, 2010
- 5) 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