

事例紹介

新幹線の騒音低減技術の開発

Development of Noise Reduction Techniques for Shinkansen Trains

執筆者プロフィール



栗田 健
Takeshi KURITA

◎1990年早稲田大学大学院理工学研究科修士課程機械工学専攻修了, 同年東日本旅客鉄道(株)入社
◎研究・専門テーマは, 新幹線の騒音・振動低減技術およびパンタグラフの開発
◎正員, 東日本旅客鉄道(株) JR 東日本研究開発センター 先端鉄道システム開発センター 次長(環境・車両開発)
(〒331-8513 さいたま市北区日進町 2-479)
/E-mail: t-kurita@jreast.co.jp

1. はじめに

JR 東日本エリアには, 秋田および山形へのミニ新幹線(新幹線・在来線直通運転)を含めて5方面の新幹線があり, 今後もさらに路線延長が予定されている(図1)。加えて航空機などの他の交通機関との競争も激しくなっているため, JR 東日本では360km/hを目標速度として新幹線の高速化の研究開発に取り組んでいる。新幹線高速化の最大の課題の一つは, 世界的に見ても厳しい環境基準が定められている沿線騒音の抑制である。とくに2005年から約5年間は, 新幹線高速試験電車 FASTECH360(新幹線専用車 FASTECH360S と新幹線・在来線直通車 FASTECH360Z の2編成の総称)を用いた騒音低減技術の開発に取り組み, 360km/hには至っていないものの, 大幅な騒音低減を実現

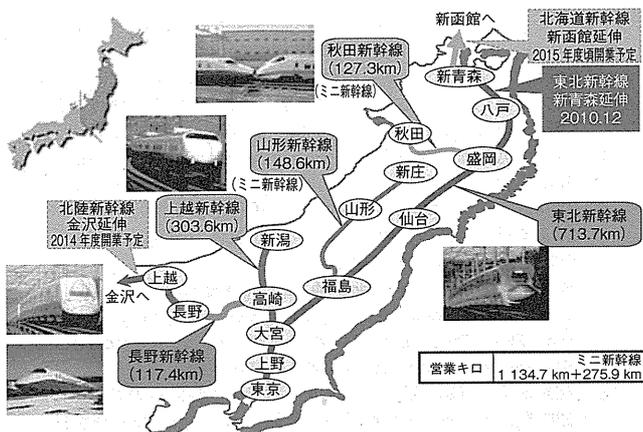


図1 JR 東日本エリアの新幹線ネットワーク

できた。その成果は2011年3月に東北新幹線にデビューした新型車両 E5 系に反映されている。また, さらなる騒音低減を目指して, 速度の6乗に比例して増大するため高速域では支配的になる空力騒音について, CFD (Computational Fluid Dynamics) による空力騒音発生メカニズムの解明に取り組んでいる。本稿では FASTECH360 を用いた新幹線騒音の低減技術の開発⁽¹⁾および今後のさらなる騒音低減に向けてのアプローチについて紹介する。

2. 新幹線の音源と音源別寄与度

新幹線走行時の騒音源は, その発生源別に集電系音(パンタグラフ空力音などの架線・パンタグラフ系から発生する音), 先頭部空力音, 車両上部空力音(車両連結部などの車両上部から発生する空力音), 車両下部音(転動音, 台車周りの空力音など), 構造物音(高架構造物からの振動放射音)に分類することができる(図2)。従来の営業車両 E2 系を用いて360km/hの走行試験を実施した結果をもとに音源別寄与度を評価すると, E2 系が275km/hから360km/hに速度向上した場合には, 全体騒音が約6.5dB増加し, 音源別寄与度は, 集電系音, 車両下部音の順に大きくなることがわかった(図3)。すなわち全体騒音の低減のためには集電系音対策と車両下部音対策が効果的であり, FASTECH360 ではこれらの対策を中心に実施した。

3. FASTECH360S の騒音低減対策の概要

本章では FASTECH360S (新幹線専用車) を例として車外騒音対策の概要を述べる。

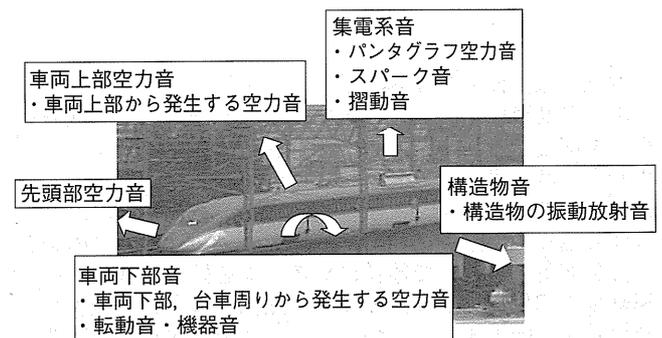


図2 新幹線の騒音源

3.1 集電系音対策

(公財) 鉄道総合技術研究所の大型低騒音風洞において、二次元アレイマイクロホンを用いて既存の PS207 型パンタグラフ (E2 系 1000 番代搭載, 図 4 (a)) の音源探査を行った⁽²⁾。図 5 に示すとおり、音源としてとくに目立つのが台枠中央部である。この部分は左右に分かれた台枠風防カバー間に位置し、台枠を構成する角パイプが前後 1 本ずつ露出し、さらにパンタグラフの主枠を支持するリンク機構など複数の部材が配置されている (図 4 (b)) ため、強い音源になっていると考えられる。

この台枠中央部の音源解消のため、これらの部品をすべて片側に集約し、主枠を片持ち支持した PS9037 型パンタグラフ (図 6 (a)) を開発した。また中間ヒンジも音源になることから、主枠の片持ち支持化に加え、下枠を風防カバー内に収納して上枠のみが外に露出する形状の PS9038

型パンタグラフ (図 6 (b)) も同時に開発した。PS9037 の音源探査結果 (図 7) から PS207 の台枠中央部の音源が小さくなっていることがわかる。

これら 2 種類の新型低騒音パンタグラフに加えて、集電系音の沿線への伝播経路対策としてパンタグラフ遮音板 (図 8) を併用している。さらに 1 編成当たり 2 基搭載しているパンタグラフのうち 1 基を折りたたんで走行することで遮音板による遮音効果を最大限に利用している。また、1 編成 1 パンタグラフ集電走行することになることから、離線によるアークの発生を抑えるために架線への追従性のよい多分割すり板を開発した (図 9)。

3.2 車両下部音対策

台車周辺から発生する空力音、転動音などに対する音源対策は容易ではない。そこで、車両下部音については伝播対策として、床下機器下面高さまでの台車側面カバーを装

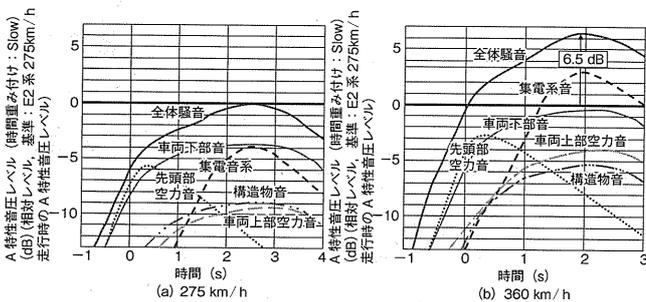


図 3 従来の営業車両 E2 系の音源別寄与度

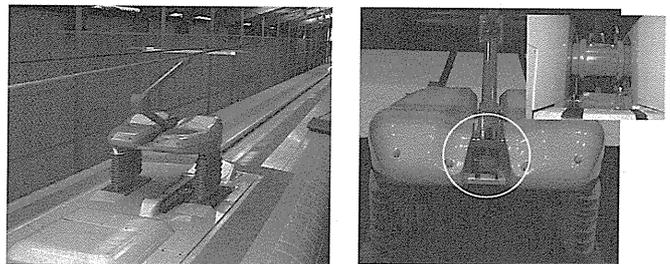


図 4 PS207 型パンタグラフ

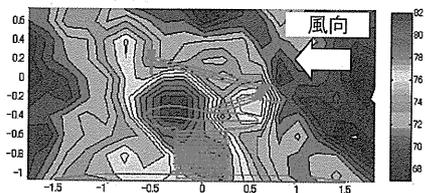


図 5 PS207 の音源探査結果 (1kHz 帯)

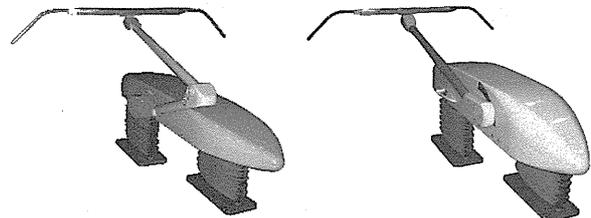


図 6 新型低騒音パンタグラフ

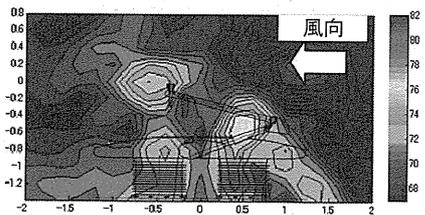


図 7 PS9037 の音源探査結果 (1kHz 帯)

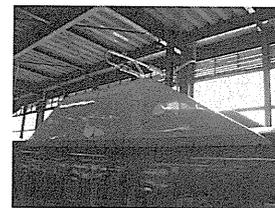


図 8 パンタグラフ遮音板

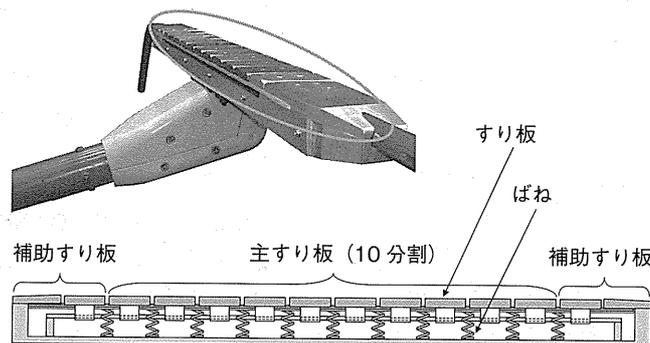


図 9 多分割すり板

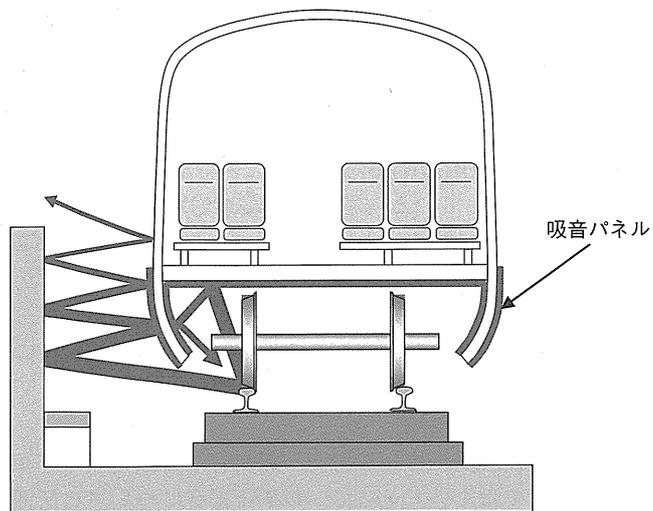
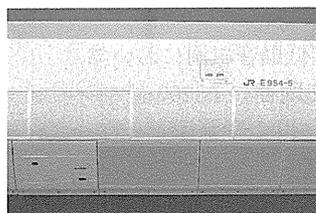
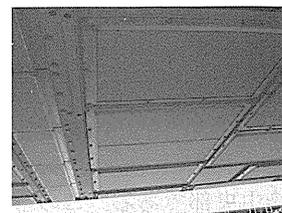


図 10 車両下部音の吸音イメージ



(a) 側スカート



(b) 床下フサギ板

図 11 車両下部吸音パネル

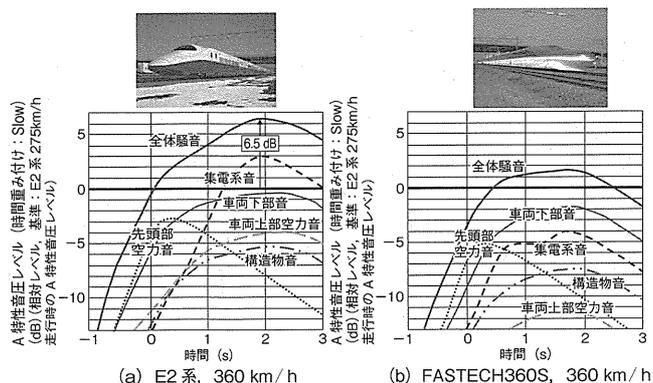


図 12 FASTECH360S の騒音性能 (360km/h)

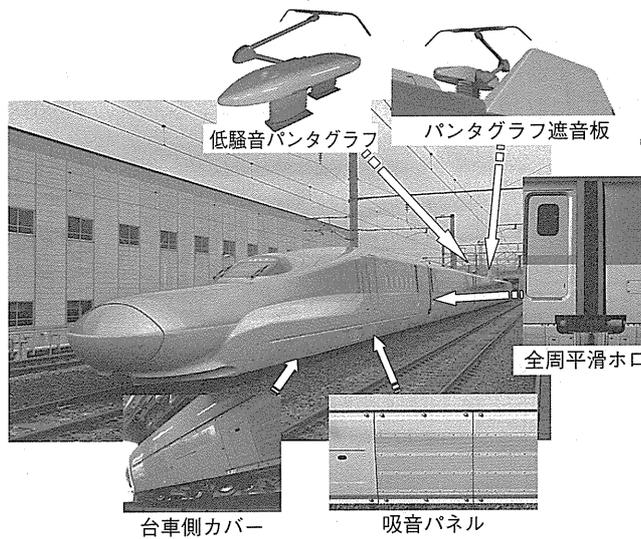


図 13 E5 系に採用された騒音低減技術

備するとともに、車体・防音壁間の多重反射の過程で吸音するために、台車側面カバーを含めた車体側スカートおよび床下フサギ板などの車両下部に吸音パネルを適用した(図 10, 図 11)。

3.3 その他の音源対策

先頭部空力音対策としては台車側面カバー、乗務員ドア手すり部の平滑化、スノープラウカバーなど、車両上部空力音対策としては車両連結部に全周平滑ホリコを使用し、その他の側引戸、窓などについても車体外板と平滑になるようにしている。

4. FASTECH360S の騒音性能

前章で述べた車両対策を FASTECH360S に適用し、走行試験を行った。その結果(図 12)、FASTECH360S は E2 系 360km/h 走行時に比べて、全体騒音については 5dB 程度低減し、音源別寄与度については、集電系音は 7dB 程度、車両下部音は 1dB 程度低減した。

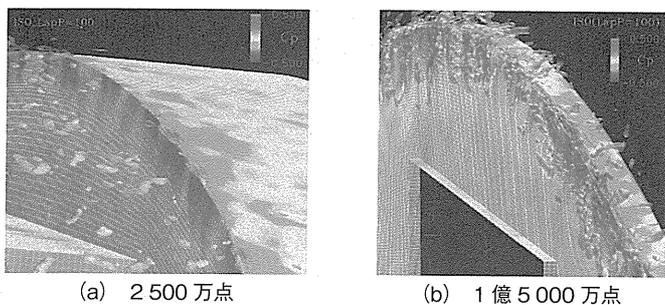
5. E5 系に採用された騒音低減技術

一連の開発結果およびコストと効果のバランスから E5 系の最高速度は 320km/h に決定し、車外騒音対策としては、図 13 に示すように、多分割すり板付低騒音パンタグラフ(PS9037 ベース)(1 パンタグラフ走行)、パンタグラフ遮

音板、車両下部吸音パネル(台車側面カバーを含む側スカート部のみ)、全周平滑ホリコが採用されている。E5 系は 2011 年 3 月より東北新幹線において最高速度 300km/h の運転を行っており、2012 年度末には国内最高となる 320km/h 運転を開始する予定である。

6. さらなる騒音低減に向けて

今後のさらなる騒音低減のためには、速度の 6 乗以上に比例して増大するため高速域では支配的になる空力音に対して、効果的な対策の開発がいつそう求められる。前述したとおり、これまで風洞実験や実車走行試験などの実験的手法を用いて低騒音化の開発を進めてきた。その結果、従来の PS207 における台枠中央部の音源は小さくなったが、PS9037 では比較的小さな音源が 3 カ所に分散して観測されるようになった(図 7)。PS9037 をさらに低騒音化するためには、これら 3 カ所の音源対策を同時に行う必要があり、これまでのように音源探索と試行錯誤による実験のみでは限界がある。今後の新幹線騒音の低減に向けたブレイクスルーのためには、空力音発生メカニズムを解明し、それに基づく低減対策の開発が必要であると考えている。次章では現在進めている CFD による空力音源の解析事例について紹介する。



(a) 2500万点 (b) 1億5000万点

図14 格子解像度による捉えられる渦構造の違い

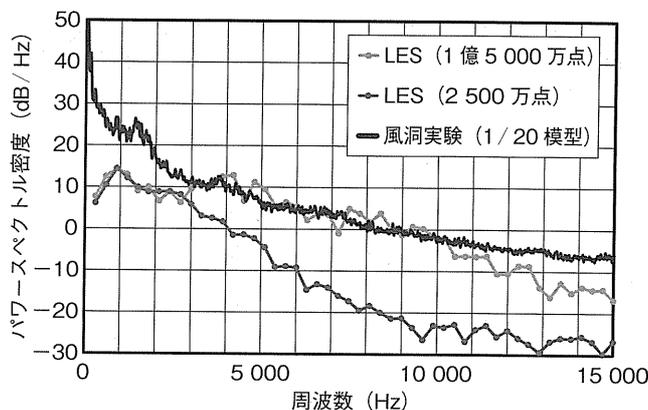


図15 騒音スペクトルの比較

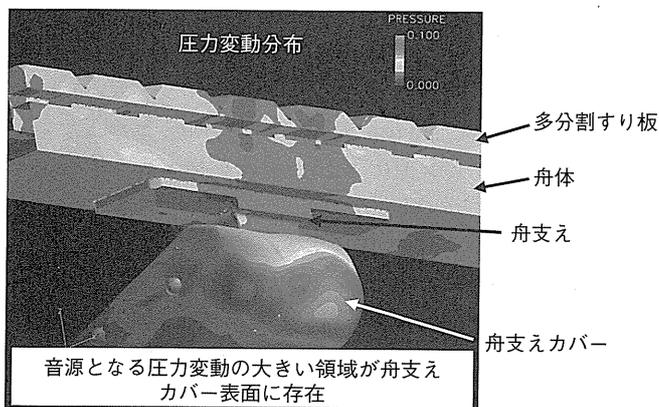


図16 舟体表面の圧力変動分布

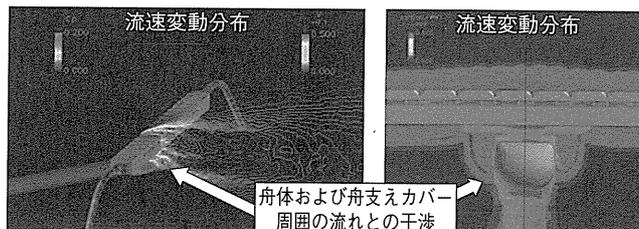


図17 舟体まわりの流速変動分布

7. CFDによる空力音源解析

空力騒音は、流体中の渦の変動に起因して発生する。とくに乱流から発生する広帯域の騒音を予測するためには、小さなスケールの渦まで解像する必要があり、非常に多くの格子点数が必要となる。そこで、新幹線の車両連結部(車間部)を解析対象として、地球シミュレータを用いてLES (Large Eddy Simulation) による非定常乱流解析を行った⁽³⁾。計算コードにはFrontFlow/blueを用いた。図14に格子解像度(約2500万点と約1億5000万点)によって捉えられる渦構造の違いを示す。1億5000万点の解析では、2500万点の解析では解像しきれない車間部の下流側エッジで衝突変形する渦の様子が詳細に捉えられていることがわかる。またLES解析の結果からCurleの式で予測した遠方観測点における騒音スペクトルの比較を図15に示す。1億5000万点の解析結果は、広帯域にわたって風洞実験結果とよく一致する結果が得られている。

大規模LES解析による空力騒音源の解析手法の有効性が確認できたことから、新幹線車両の中で最も強い空力音源であり、かつ複雑な形状を有するパンタグラフ舟体周りのCFD解析を実施した⁽⁴⁾。表面圧力変動分布(図16)から、舟体カバーの表面に音源となる圧力変動の大きい領域が存在することがわかった。また流速変動分布(図17)から、舟体および舟体カバー周囲の流れの干渉によりこの圧力変動が大きくなっていることもわかった。今後はこれらの結果に基づいてパンタグラフ空力騒音の低減対策を開発していくことになるが、一方でCFD解析結果を用いて計算した遠方場の音圧レベルは実験結果と一致するとは言いがたく、CFDを用いた空力騒音予測という意味では引き続き検討が必要である。

8. おわりに

本稿では新幹線騒音に関して、現状どこまでできていて、将来に向けて何に取り組んでいるか、ということについて、JR東日本における研究事例を紹介した。騒音対策はいわばモグラ叩きゲームのようなものであり、突出した音源がある場合には1匹のモグラを叩けば全体騒音が下がるが、最近の新幹線車両では目立つ音源は対策済みであり、数匹のモグラを同時に叩かなければ全体騒音の低減は期待できない。そのためには、まずどこからどれくらい音が発生しているか、さらにそれぞれの音源がどの程度全体騒音に寄与しているかを把握するとともに、音源ごとの発生メカニズムに基づいた騒音低減対策技術を開発することが求められる。

(原稿受付 2012年8月9日)

●文献

- (1) Kurita, T., Development of External-Noise Reduction Technologies for Shinkansen High-Speed Trains, *Journal of Environment and Engineering*, 6-4 (2011), 805-819.
- (2) Kurita, T., Hara, M., Yamada, H., Wakabayashi, Y., Mizushima, F., Satoh, H. and Shikama, T., Reduction of Pantograph Noise of High-Speed Trains, *Journal of Mechanical Systems for Transportation and Logistics*, 3-1 (2010), 63-74.
- (3) 水島文夫・栗田 健・山出吉伸・加藤千幸・上原 均・廣川雄一, 新幹線車両の空力騒音シミュレーション, 平成18年度先端大型研究施設戦略利用プログラム「地球シミュレータ戦略利用プログラム」成果報告書, (2007), 27-32.
- (4) 水島文夫・栗田 健・山出吉伸・加藤千幸・上原 均・廣川雄一, 数値シミュレーションによる次世代高速新幹線用低騒音パンタグラフの開発, 平成20年度先端研究施設共用イノベーション創出事業【産業戦略利用】「地球シミュレータ産業戦略利用プログラム」利用成果報告書, (2009), 37-47.