

新幹線車両の車内騒音低減に向けた研究開発

Research and development to reduce interior noise in Shinkansen vehicles



堀川 重成*



藤井 義博*



栗田 健*

With increase of train speed, noise inside Shinkansen cars increases. We have conducted considerable and development to reduce this interior noise, and successfully developed a new train with interior noise levels that are equal to or less than that of the previous trains even when the maximum speed increased from 275 km/h to 320 km/h. In this paper, we discuss the directionality of the development to further increase the speed of Shinkansen trains by reviewing past developments such as the effects of various types of products developed, and noise measurement results obtained through running tests.

●キーワード：新幹線車両、高速化、車内騒音

1. 緒論

車内騒音のエネルギーは一般的に鉄道車両の走行速度の2~6乗に比例して増加する。また、騒音低減に必要な遮音性能は重量に比例するとされている。すなわち、車両の速度向上に伴う車内騒音増加を抑制するためには、構体や窓の部材を厚くして車両重量を増加させることが効果的な対策手法と言える。一方で、高速新幹線車両は、高速化（速達性）、運用電力の低減、また地盤振動の低減が益々求められる傾向にあり、そのための有効な手段として車体の軽量化が図られてきた。「車内騒音の低減」と「車両の軽量化」は相反する関係にあるが、高速化に向けてはその両立が必要とされる。そのため、車両重量を増加させることなく車内騒音を低減する技術について、数多くの研究開発が現在まで検討され、実際に営業車にも採用されてきた。

本稿では、JR東日本研究開発センターが、これまで実施してきた車内騒音低減に関する研究開発結果をレビューする。

2. 車内騒音の要因と対策

車内騒音の音源は、車体から発生する風切り音や車輪の転動音、また台車の振動が車体に伝搬して上床や内装などを振動させることで発生する音など様々である。多様な音源から発生した音が、様々な経路で車内に侵入することにより車内騒音を形成する。これらは伝搬経路別に「空気伝搬音（透過音）」、「固体伝搬音」、「流路伝搬音（直接音）」に分類される。車内騒音の要因、伝搬経路別の対策例について図1に示す。

音源や伝搬経路を把握することで、車内騒音低減に向けた具体的な対応策を施すことが可能になる。特に高速化に

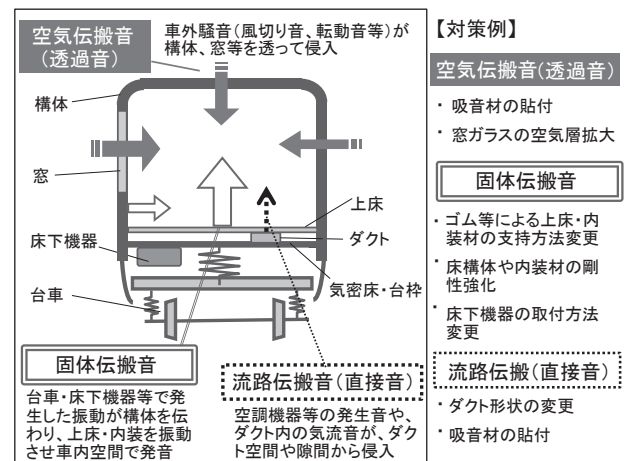


図1 車内騒音の要因と対策例

よる騒音対策では、車両重量の増加をできる限り抑える必要があり、音源から車内への伝搬経路、全体騒音への寄与度を正確に把握し、ターゲットを絞った対策を施すことが車内騒音の低減と車両の軽量化を両立させるための必要事項となる。

3. 車内騒音低減手法

3.1 車内騒音低減手法の流れ

車内騒音低減に向けた手法は数多くあるが、これまで実施してきた手法の一例について図2に示す。はじめに、定置試験や走行試験により騒音・振動測定を行い、車内騒音の現状を詳細に測定する。続いて、騒音測定で得られた結果から寄与度や音源からの伝搬経路を解析し評価する。その結果から、ターゲットを絞り込み、対策部位や手法に適した要素開発を進める。そして要素開発により得られた開発品を、重量やコストなどを考慮しながら実際に車両に搭載する方法

を検討する。最初に戻り、搭載した開発品の効果について再度定置試験や走行試験による騒音・振動測定で効果を確認する。このサイクルを繰り返すことで、車内騒音低減の深度化を図っていく。

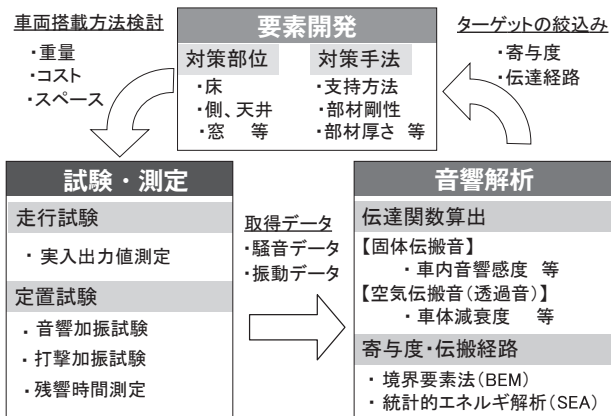


図2 車内騒音低減手法例

3.2 E2系による測定・解析例

3.2.1 試験・測定

車内騒音の測定結果例として、2003年3月から6月までに行われたE2系新幹線電車の走行試験における車内騒音の測定結果を図3に示す。車内騒音は速度の増加とともに増加し、280km/hから速度が40km/h上昇すると、明かり区間では車内騒音は約2dB(A)増加し、トンネル区間では約3dB(A)増加した。

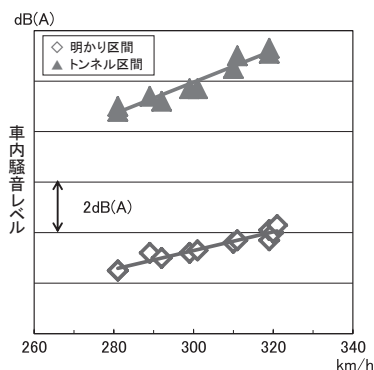


図3 E2系 台車直上騒音レベル測定結果

また、騒音値だけでなく床板、内装、窓などの振動測定も同時に実施した。その結果を図4に示す。床や側腰板など固体伝搬音の影響が大きいとされる部位は、トンネル内でも振動レベルの増加はあまり見られない。一方、窓や天井などの振動レベルは大きく増加した。これはトンネル内の反響により空気伝搬音(透過音)が増加した影響で振動レベルも増加しているためで、空気伝搬音(透過音)の影響が大きい部位の特徴である。

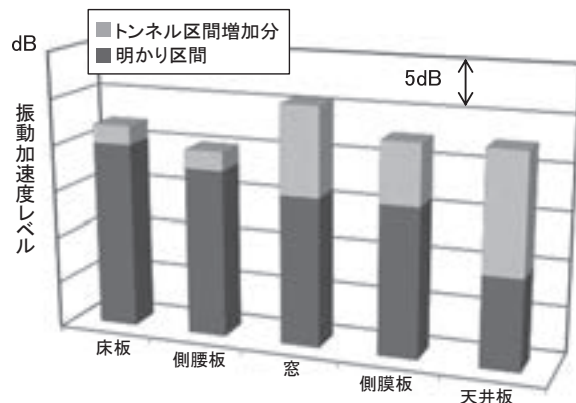


図4 E2系 台車直上振動測定結果 (275km/h)

以上は走行試験による結果であるが、定置でも音響加振、打撃加振などの測定方法により騒音データや振動データを取得した。

3.2.2 音響解析(寄与度分析)結果

走行試験および定置試験データの結果から、車外の騒音・振動が伝搬し車内騒音になる比率を表す伝達関数、またSEAとBEMによる騒音予測モデルを用いて寄与度や伝搬経路を算出した。ここでは部位別の寄与度について算出した結果を図5に示す。

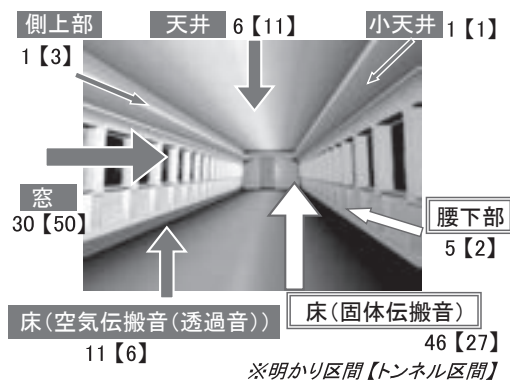


図5 E2系 台車直上騒音侵入割合 (%) (275km/h)

図中の括弧のない数値は、明かり区間での全体の騒音に対する部位別の寄与度、また括弧内の数値はトンネル区間走行時の寄与度を示す。明かり区間では、車内騒音の90%近くが床と窓からの空気伝搬音(透過音)と固体伝搬音であり、トンネル区間では床の固体伝搬音と窓の空気伝搬音(透過音)が逆転しているが、同様にこの2箇所から侵入してくる騒音が大きかった。

3.3 FASTECH360による車内騒音低減対策検証

E2系による測定結果をもとに騒音対策のターゲットを絞り要素開発を進めた。2005年6月から新幹線高速試験電車

FASTECH360を使用した走行試験を実施し、各種要素開発品の騒音低減効果を検証した。

3.3.1 床部対策

FASTECH360で検証した床部対策について図6に示す。上床構造については主に空気伝搬音（透過音）に効果が見込まれる。比較のためE2系でも使用されているアルミハニカム床板、新たに開発したゴム板入りアルミハニカム床板、発泡樹脂を芯材としたアルミ床板を搭載した試験を実施した。また固体伝搬音対策として、床板の取り付け部を2種類のゴム支持による浮き床構造とした。その他、床板受け（根太）の一部に切り欠きを設け気密床と床板受金との振動が伝搬しにくい構造とした。

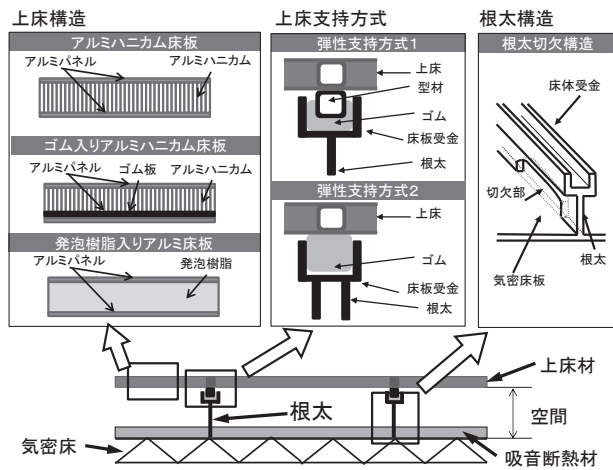


図6 床部対策

走行試験での評価結果、3種類の上床構造のうち、発泡樹脂入りアルミ床板が最も空気伝搬音（透過音）対策に効果があることが分かった。また弾性支持や根太の切り欠き対策により、固体伝搬音を大きく削減できることが確認できた。

3.3.2 側・天井対策

側・天井対策について図7に示す。空気伝搬音（透過音）対策として、吸音材の貼付の効果は以前から知られているが、吸音材を多く使用するほどに車両の重量増やコストアップに繋がる。そのため、FASTECH360では断熱材を兼ね

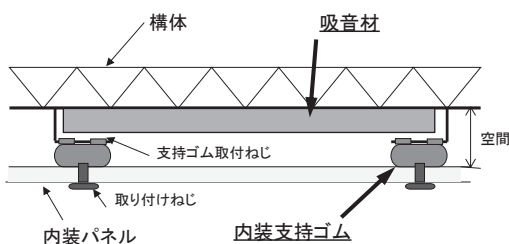


図7 側・天井部対策

た吸音材の種類や厚さを変えて効果を確認した。また固体伝搬対策としては、従来の新幹線の内装材は構体に固定していたが、内装材を弾性支持する方式についても検証した。

走行試験での評価結果により、空気伝搬音（透過音）対策として必要な吸音材の種類、貼付する部位や厚さについて知見を得ることができた。一方、内装弾性支持方式については、ほとんど効果が確認できなかった。

3.3.3 窓対策

客室窓ガラスは、車外側ガラスと室内側ガラスの間に空気層を設けた構造とし、要素開発の結果から車外側ガラスは複層ガラス（空気層あり、空気層なし）またポリカーボネイト単体の3種類をFASTECH360に搭載し検証した。図8に各種構造について示す。また遮音できる周波数帯域の拡大および強化を目的として、空気層は従来構造より厚くしている。その他、快適性を損なわないように配慮して従来の窓より小窓化を図った。

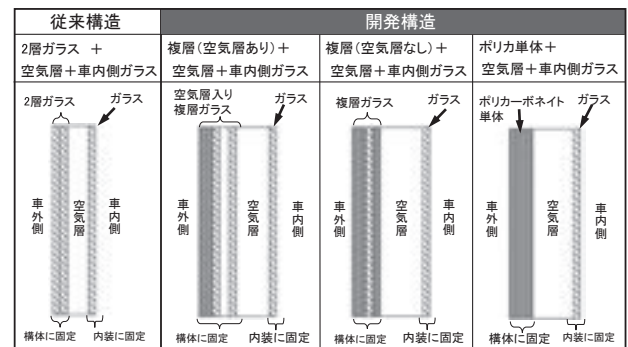


図8 窓部対策

走行試験での結果、各複層ガラスやポリカーボネイト単体と空気層拡大による空気伝搬音（透過音）の低減効果を確認できた。これにより営業車搭載へ向けた複層ガラスの構成および適正は空気層厚さの見直しを得た。

3.3.4 その他対策

前述の騒音対策のほか、以下の対策についても要素開発結果をもとに、FASTECH360による検証を実施した。

(1) 消音空調ダクト

騒音源の一因となっているダクト構造の見直しを図り、シンプルな構成かつ吸音材を追加するなどした消音空調ダクトを開発し効果を確認した。

(2) 床下機器（主変圧器）の弾性支持

高調波振動・騒音対策として主変圧器をゴムにより支持する構造とした。FASTECH360による検証の結果、振動絶縁、低騒音化の効果が確認できた。

4. E5系・E6系への展開と騒音低減効果

FASTECH360で確認できた車内騒音対策は、騒音低減効果と重量・コストなどを考慮して、320km/h営業運転をするE5系、E6系新幹線車両へ展開した。展開した騒音対策手法について図9に示す。

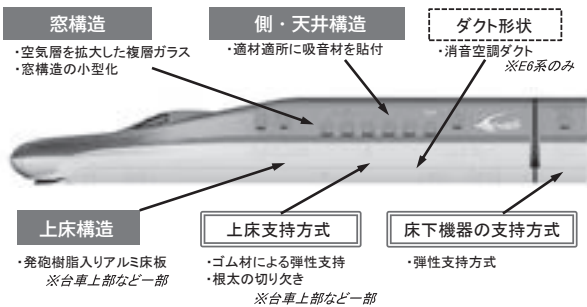


図9 E5系・E6系へ展開された開発成果

またE2系、E5系の車内の全体騒音レベルの比較結果を図10に示す。明かり区間およびトンネル区間ともに、275km/hから320km/hへ速度向上したものの各種開発品を搭載することで、車内騒音レベルは同等以下に抑えられたことが確認できた。

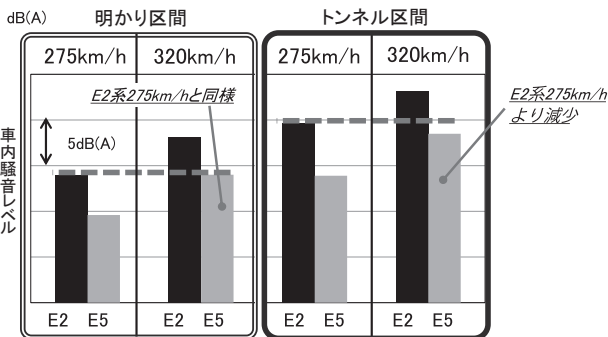


図10 車内騒音レベル結果比較(台車直上)

次に周波数分析結果を図11に示す。全体騒音レベルを決めている100Hz～200Hz帯域の音圧レベルが、E5系では明かり、トンネル区間ともに低く抑えられている。この周波数帯域は台車系の固体伝搬音が支配的であることがわかっており、固体伝搬音対策が全体騒音レベルを抑制している効果が確認できた。また300Hz～1000Hz帯域では、E2系では明かり区間とトンネル区間では10dB(A)の差があるが、E5系では6dB(A)の差となっている。この周波数帯域では空気伝搬音(透過音)が支配的であることから、空気伝搬音(透過音)対策が効果を発揮していることを示している。固体伝搬音および空気伝搬音(透過音)対策ともにバランスよく低減でき、全体の車内騒音を低減することができた。

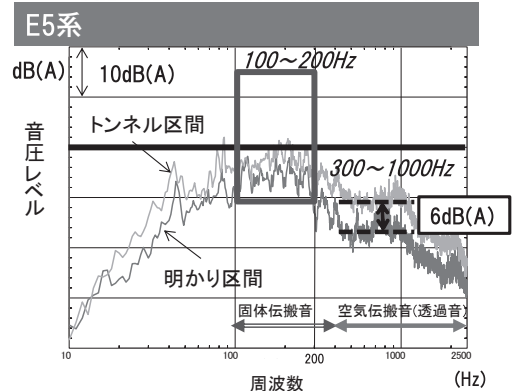
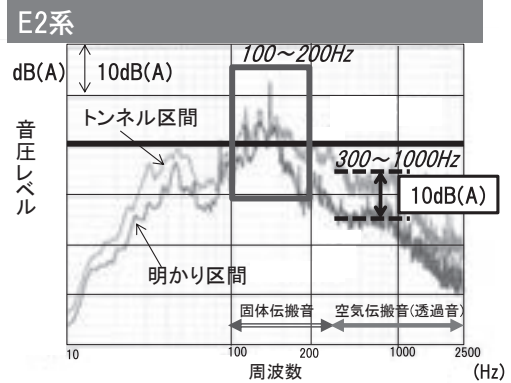


図11 周波数分析結果比較(275km/h、台車直上)

5. さらなる高速化に向けて

今回開発した技術により、275km/hから320km/hまで速度向上しても車両重量増加を極力抑えつつ車内騒音を低減させることができた。しかし、今後もさらに高速化が進むと、現在の技術だけでは車両重量や製造コストの増加、また車内空間を縮小させる結果となる。

次期高速新幹線の車内騒音低減に向けて、より詳細に伝搬経路や寄与度を把握するための新しい解析手法、また今までの鉄道車両技術の延長上でない車内騒音対策手法の開発に向けて選択肢を広げ取組んでいく。そして新たに開発した車内騒音低減対策の効果と重量、コスト、スペースなどの車両設計の制約条件とのバランスの取れた理想的な車両構造を検討していきたい。

参考文献

- 1) 武藤大輔, 橋本克史 他3名; 実験と数値解析を用いた高速鉄道車両の車内静音化, 環境工学総合シンポジウム講演論文集, pp96~99, 2004.7.
- 2) 秋山悟, 白石仁史 他3名; 高速鉄道車両用窓の遮音性能, 日本機械学会第12回交通・物流部門大会講演論文集, pp37~40, 2003.12.