

- 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

車内の騒音を低減する

新幹線をはじめとした鉄道車両の高速化に伴って、車内環境の向上に対する要求が高まっている中で、車内騒音の低減は乗客の快適性向上の重要な課題の一つです。ここでは、現在取り組んでいる台車からの固体伝搬音への対策として、分割床板とつり床構造について、さらに、透過音や反射音への対策として、圧電材料を用いた騒音低減システムと微細穿孔パネル(MPP)について紹介します。



朝比奈 峰之
Mineyuki Asahina
車両構造技術研究部
車両振動研究室
副主任研究員
[専門分野] 音響工学,
車内騒音



山本 克也
Katsuya Yamamoto
車両構造技術研究部
車両振動研究室
室長
[専門分野] 音響工学,
車内騒音



石森 章純
Akiyoshi Ishimori
車両構造技術研究部
車両振動研究室
研究員
[専門分野] 音響工学,
車内騒音



秋山 裕喜
Yuki Akiyama
車両構造技術研究部
車両振動研究室
研究員
[専門分野] 機械力学,
振動工学, 車体弾性振
動, 振動解析

はじめに

現在、鉄道車両の高速化に伴って、車両内外の環境に関するさまざまな研究開発が進められています。その中でも車内騒音の低減は、乗客の快適性向上の重要な課題の一つです。しかし、車内騒音は騒音源とその伝搬経路が多く存在し、さらに、車内の音場は非常に複雑で十分に解明されていません。また、車両に対する質量やコストなどの制約が厳しいことから、これまでは十分な騒音低減対策が必ずしもとられていないのが現状です。

鉄道車両の主な騒音源を図1に示します。台車やパンタグラフ、床下機器などで発生する振動や台車のモーター

やギヤから発生する音、車輪とレール間で発生する転動音、パンタグラフと架線間で発生するしゅう動音、空力音など多岐にわたります。

新幹線をはじめとした高速鉄道車両では、図2に示すような台車や床下機器などの騒音源から振動として車体に伝搬し車内に放射される「固体伝搬音」と、車外の音が車体構体を透過して車内騒音となる「透過音」が支配的です。ほかには、車内で反射する「反射音」や側扉や窓などの隙間から侵入する「空気伝搬音」があります。

車内騒音の低減対策としては、騒音源対策と伝搬経路対策の2つに分けることができます。騒音源対策は最も効

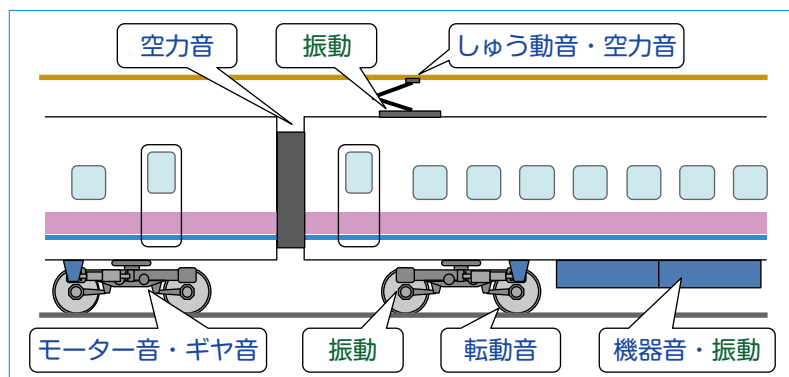


図1 鉄道車両の主な騒音源

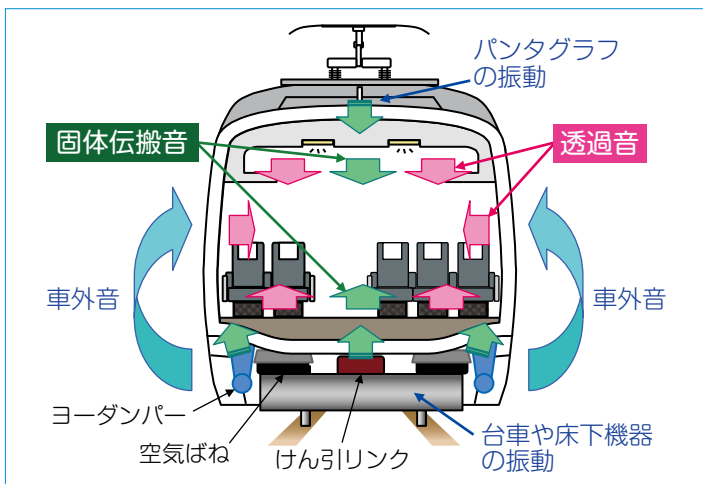


図2 伝搬経路による車内騒音の分類 (固体伝搬音と透過音)

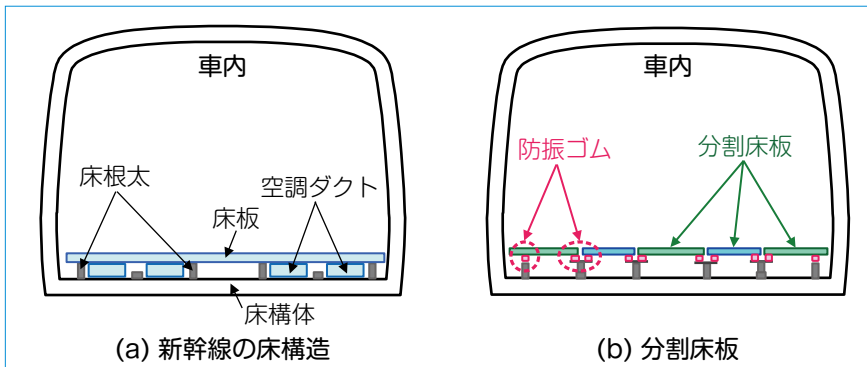


図3 新幹線の床構造と分割床板

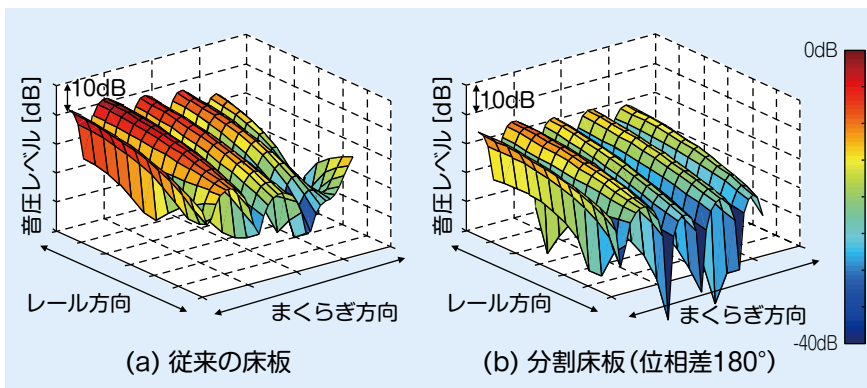


図4 音圧分布の比較

(186Hz, 加振点直上の高さ1.2m位置における床板(3m×1.2m)範囲)

果的ですが、有効な手法が見いだせない場合もあり、実際には伝搬経路対策も多く実施されています。したがって、騒音低減対策を効率よく検討するためには、伝搬経路を把握することが非常に重要です。

ここでは、現在取り組んでいる台車からの固体伝搬音への対策として、分割床板とつり床構造を紹介します。さらに、その他の取り組みとして、圧電材料を用いた騒音低減システムと微細

せん穿孔パネル(MPP)についても触れます。

台車からの固体伝搬音対策

(1) 新幹線の床構造

最近の新幹線車両では、図3(a)に示すように、床構体(床構造のうち、客室床板を除く構体部分を、ここでは「床構体」と呼びます)と床板の間に空調ダクトがレール方向に配置され、床板は床根太と呼ばれるレール方向にのびる梁状の部材に支持されています。

そのため、台車からの固体伝搬音は、台車内で発生した振動が床構体、床根太を伝搬し、床板から車内に放射されると考えられます。これまでの床構造に関する固体伝搬音対策の代表的なものとして、床板と床構体(床根太)の間に防振ゴムなどを挿入して弾性支持する浮床構造が挙げられ、最近の新幹線車両にも採用されています。

(2) 分割床板

新たな固体伝搬音対策として、図3(b)に示すように、床板を分割して弾性支持することにより床板からの放射音を低減する手法を提案しました¹⁾。新幹線車両の床板は腰掛1列ごとに1枚の床板を並べています。このように面積が大きい床板の場合、台車からの振動は、図2に示すように、けん引リンクやヨーダンパーなどの車体と台車を結合している部品を伝搬するため、結合箇所付近が局所的に大きく振動し、さらに、床板全体が複雑に振動します。これに対し、床板を小面積に分割した上でそれぞれを弾性支持し、分割床板と防振ゴムの特性を調整し、隣り合う分割床板同士の振動に位相差をつけることで、放射音同士の打ち消し合いにより、放射音を低減します。また、この手法では振動の大きい範囲のみを局所的に対策することが可能となります。

床板からの音響放射パワーが最小となる位相差を求めたところ、隣接する床板が逆位相(180°)で振動する条件であることが分かりました。従来の床板と分割床板による客室空間の音圧分布の比較を図4に示します。音圧分布を求めた範囲は、加振点(けん引リンク受)直上の床上高さ1.2m位置における床板1枚分です。従来の床板に対して、分割床板にした場合、音圧分布が全体的に低減されていることが分かります。

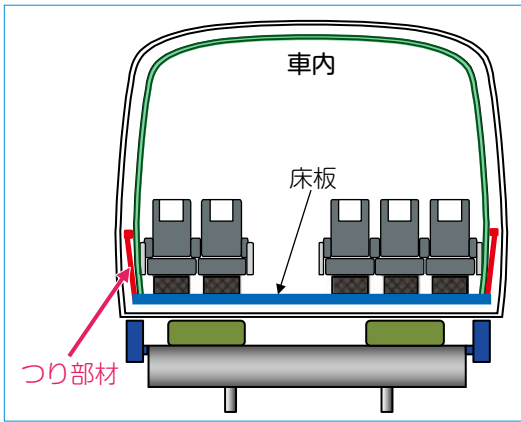


図5 つり床構造

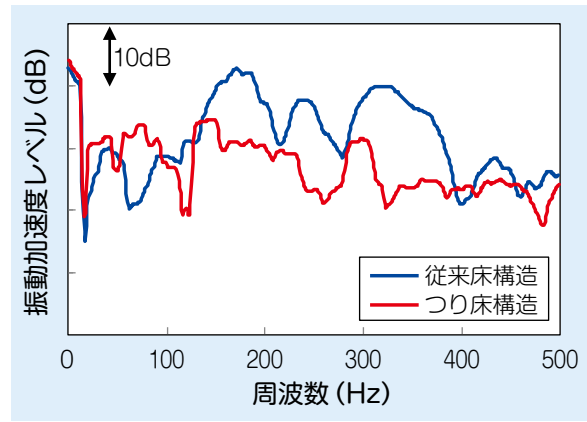


図6 従来床構造とつり床構造の床板振動の比較

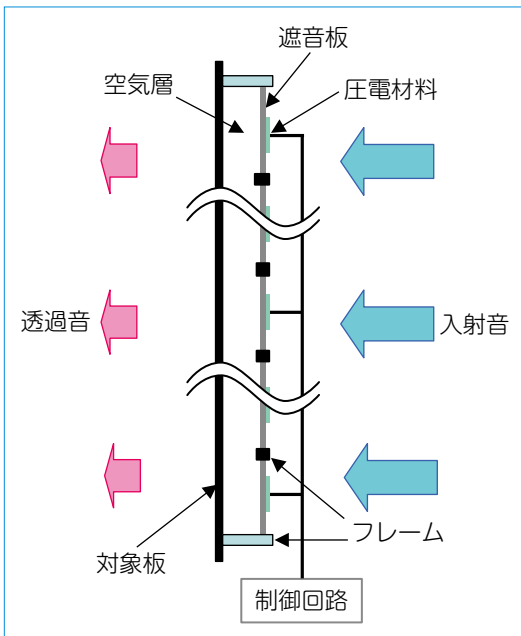


図7 騒音低減システムの概要

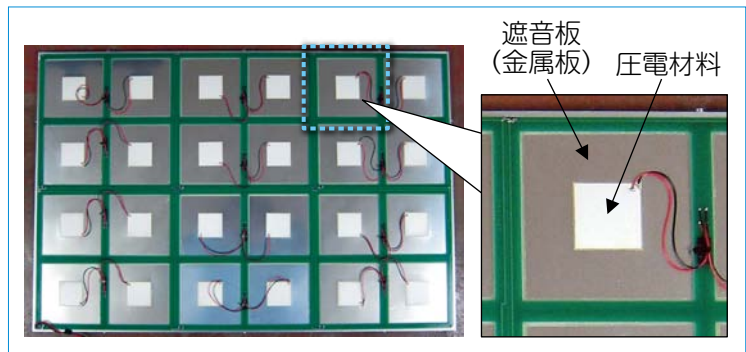


図8 騒音低減パネルの一例

このような構造は、床板だけでなく天井や側等の内装パネルにも適用できる可能性があると考えています。

(3) つり床構造

試験車両の車体を加振し、改めて車体構体の振動特性を解析すると、側構体の上下振動は、床構体中央部の上下振動より小さいことが分かりました。そこで、床板から放射される台車からの固体伝搬音を低減する手法の一つとして、台車直上の床板を側構体からつり下げる「つり床構造」を考案しました²⁾。つり床構造の概要図を図5に示します。これまで、床根太を介し床構体に固定されていた床板を、側構体か

ら「つり部材」によってつり下げます。これにより、床板は床構体から浮いた状態になり、床構体から伝搬する振動が完全に絶縁されます。その結果、床板への振動入力も側構体からのみとなり、床板の振動が低減されることで放射音が小さくなります。つり部材としては、棒状の部材あるいはワイヤーなど、側構体と内装パネル間に配置可能な構造を検討する必要があります。

図6に、試験車両の定置加振試験における従来床構造とつり床構造の床板振動特性を比較した結果を示します。車内の騒音レベルが大きい200Hz～400Hz帯域を中心に、10dB前後の低減効果が確認できました。

その他の車内騒音低減への取り組み

(1) 圧電材料を用いた騒音低減システム

鉄道車両においては、停止中や低速走行時などに、主変圧器や換気・空調装置から発生する音が車内に侵入し耳障りとなる場合があります。これらの機器の騒音特性を確認すると、離散的なピーク音が発生していることが多くあります。このようなピーク音に対する低減対策として、圧電材料を用いた騒音低減システム（以下、「騒音低減システム」と呼びます）の開発を行っています。騒音低減システムの概要を図7に示します。このシステムは、圧電材料を貼付した小面積の金属板（以下、「遮音板」と呼びます）をフレームに取り付けて平面状に配列したパネル（一例を図8に示します）と、アナログの制御回路で構成されています。このパネルを図7のように、音が透過してくる壁面（対象板）に空気層を設けて取り付け、圧電材料の静電容量と制御回路のインダクタンスとの間で共振回路を構成し、共振周波数付近の透過音を抑えます。

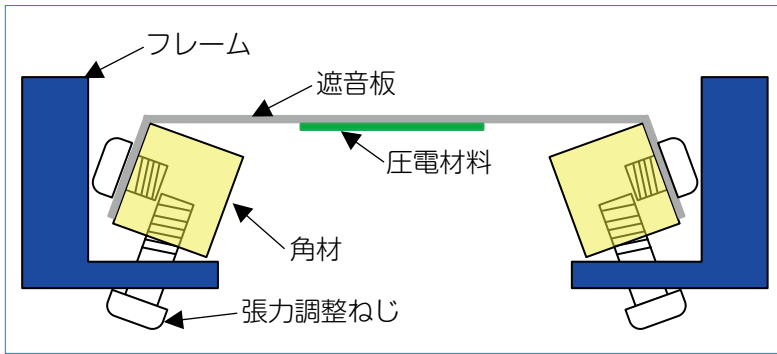


図9 新型騒音低減ユニット

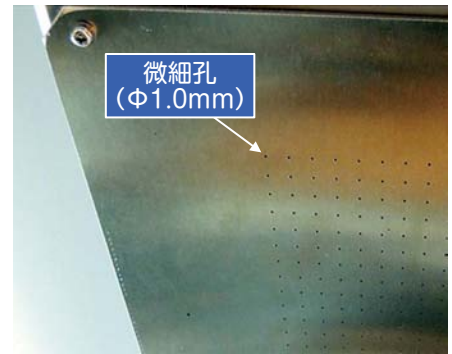


図10 微細穿孔パネル(側天井パネル用)

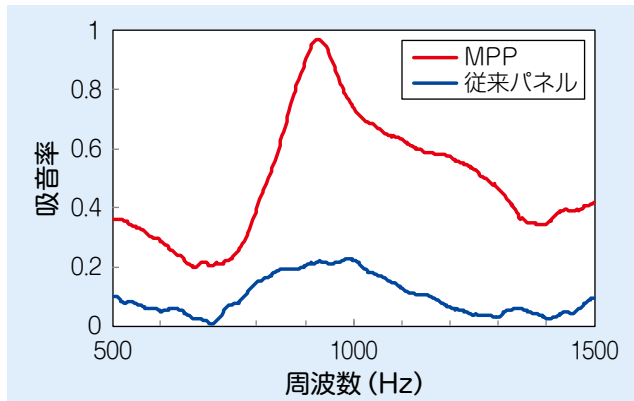


図11 天井パネルの吸音率の比較

これまでに、新幹線車両の天井パネルや変圧器直上の床に設置して走行試験を実施し、それぞれ制御対象とした周波数および周辺の帯域で騒音低減効果を確認しました³⁾。現在は、実用化に向けた改良を進めています。例えば、図9に示すように、これまで接着剤で固定していた遮音板を、フレームにねじで取り付け、その締付トルクにより遮音板の張力を変更可能な構造を検討しています。これにより、遮音板の振動特性が改善され制御効果が大幅に向上するとともに、制御対象周波数が調整可能になりました。

(2) 微細穿孔パネル (MPP)

鉄道車両の客室は、閉空間であるため、床や内装パネルの反射音による音の定在波(☞参照)が発生し音圧が増大する場所ができます。また、直方体の閉空間では、理論上壁面位置が音圧の腹となります。このような定在波に対しては、反射音を壁面で吸音

することが有効です。吸音率を向上する手法としては、床にグリーン車のようにカーペットを敷くことなどが考えられますが、内装パネルの数百Hz帯域における吸音率を向上するための新たな手法として、直径数mm以下の微細孔を開けた微細穿孔パネル(Microperforated panel: MPP)の適用を検討しています⁴⁾。微細穿孔パネルの吸音特性は、既に基礎的な理論は確立されており、孔径や開口率、背面の空気層厚さなどから吸音率の特性を設計することが可能です。そこで、図10に示すような試験車両の側

☞ 定在波

波長や周期などが等しく進行方向が逆向きの波同士が重なり合うことによって、進行しない波のこと。閉空間において、定在波が発生すると、常に振幅が最大となる「腹」と振幅が最小となる「節」となる場所ができます。

天井パネル用の微細穿孔パネルを試作し、従来の天井パネルと吸音特性を比較しました。図11に吸音率の測定結果を示します。従来の内装パネルでは、1000Hz以下の吸音率が最大0.2前後であったのに対し、微細穿孔パネルの吸音率は約910Hzをピークに最大1.0近くとなる吸音特性が得られました。

おわりに

今回、ご紹介した車内騒音の低減に関する取り組みは、いずれも伝搬経路対策です。これらの騒音低減対策を適用する上では、騒音源からの伝搬経路を正しく把握することが重要です。

今後は、騒音低減対策の開発とともに、車内騒音の伝搬経路の把握に関する研究に取り組んでいきます。[RRR]

文献

- 1) 朝比奈峰之ほか：分割床板による高速鉄道車両の車内騒音低減対策，鉄道総研報告，Vol.29，No.9，pp.29-34，2015
- 2) 山本克也ほか：吊り床構造による鉄道車両の固体伝搬音低減対策，No.S5-1-4，第21回鉄道技術・政策連合シンポジウム(J-RAIL2014)，2014
- 3) 朝比奈峰之ほか：圧電材料を用いた騒音低減システムの実車両への適用，鉄道総研報告，Vol.26，No.10，pp.23-28，2012
- 4) 山本克也ほか：車内騒音低減に向けた近年の取り組み，No.1712，第22回鉄道技術連合シンポジウム(J-RAIL2015)，2015