

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

車内騒音を探る

鉄道車両の車内騒音は、乗客の快適性に影響を与えます。車内騒音を低減するさまざまな取り組みが行われていますが、騒音の特性や侵入経路を把握することは、効率的な対策を施すために非常に大切です。走行車両の騒音の評価は、騒音計により音圧の変化や周波数特性を測定することから始まります。近年は、測定技術の向上と新たなデバイスの開発により、音響エネルギーの流れを広い範囲で可視化できるようになってきました。そのデバイスの一つである全方位音源探査システムを用いた走行車両の騒音の評価方法などを紹介します。



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、
振動工学



石森 章純
Akiyoshi Ishimori
前 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、
振動工学



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、
振動工学

はじめに

鉄道車両に乗り、ガタンゴトンという音を聞きながらのんびり旅行するのが楽しみ、という人も多いのではないのでしょうか。このような時に聞こえてくる音は、心地良さを覚えます。しかし、もしかすると同じ車両の音でも、うるさく感じている人がいるかもしれません。少しでも多くの方が快適に鉄道を利用していただけるよう、車内の音を小さくする研究開発を行っています。

このように車内に発生する音を「車内騒音」（※参照）と言います。騒音をいかに小さくするかは、鉄道に限らずさまざまな分野で研究開発が行われていますが、いずれの場合も、まずは騒音がどこから来ているかを正しく把握することが重要です。

騒音をどのように評価すれば正しく

※「音」とは空気などを伝搬する粗密波で、人間は20Hz～20kHzの音を聴覚で感じることができます。その中で人間が不快に感じる音を「騒音」と言います。本稿では、一般的な特性を述べる際は「音」、鉄道車両の客室内に発生する音に関しては「騒音」と記しています。

把握できるか、これは「音の特性を見えるようにする」ということと言えるでしょう。言わば聴覚情報を視覚情報に変換することです。ここでは、騒音の特性である大きさと流れを見ることができると、騒音の侵入方向を探る手法を紹介します。

鉄道車両の車内騒音

鉄道車両の車内騒音について、その概要を説明します^{1,2)}。車内騒音は、図1に示す通り、車輪がレールを転がることにより発生する振動や騒音、あるいは車両の周囲で発生する空力的な騒音などが車内に伝搬し発生します。窓、屋根あるいは床など、あらゆる方向から騒音が侵入し、それらが重なり合うため、すぐにはどの方向から大きな騒音が侵入しているのか、というのが分かりにくくなります。

しかし、最近さまざまな新しい測定器が開発されていることから、多様な測定が可能になってきています。

騒音の大きさをみる

車内騒音評価の第一歩は、音の大きさである音圧特性を把握することです。

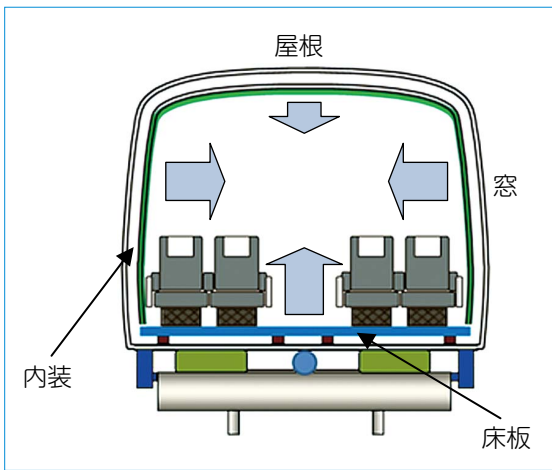


図1 車内騒音の発生状況



図2 車内騒音測定の様子

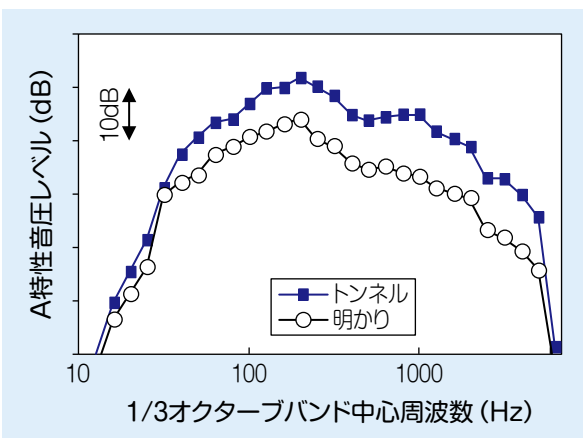


図3 車内騒音特性の一例

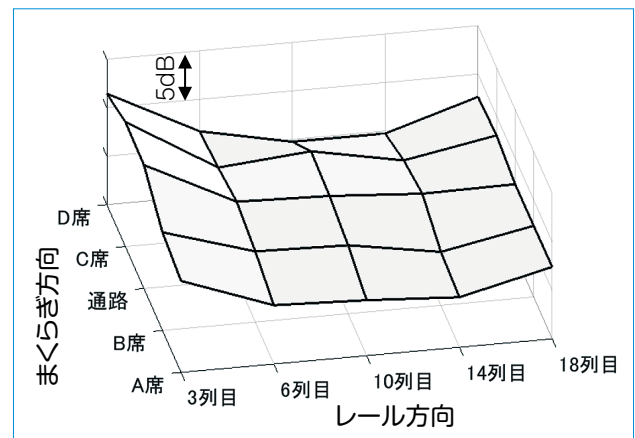


図4 車内の音圧分布(200Hz帯)

音圧の特性としては、周波数ごとの音圧を表す周波数特性と、全周波数帯域の音圧を足し合わせたオーバーオール値(O.A値)を求めることが一般的です。鉄道車両の車内騒音測定方法は、JIS E 4021に規定されており、騒音計を用いて測定することができます。そこには、使用する騒音計の種類、測定位置、測定量などが記されています。

車内騒音の測定の様子を図2に示します。三脚にマイクロホンを取り付け、床上高さ1.2m位置の測定を行います(デッキなどの立席部では床上1.6m)。新幹線車両の音圧の周波数特性の一例を図3に示します。私たちが新幹線に乗っていても、トンネルに入ると音が大きくなることはよく分かりますが、走行区間や走行速度ごとに騒音特性を

比較検証することで、どの周波数の音がどれ位変化するかなど、騒音特性が量的に見えてきます。

客室中央部や客室端部の騒音を測定するだけでなく、複数の騒音計を用いてメッシュ状に測定することで、客室全体の騒音分布を把握することができます。図4に客室内の25点を測定した時の200Hzにおける音圧分布を示します。この結果より、客室端部の音圧は高く、中央部は低い様子が確認できます。客室端部は、台車やパンタグラフなど騒音源に近いため騒音が大きくなりやすく、中央部はこれらの騒音源より離れるためやや静かになります。このような音圧分布は、多数の騒音計を用いて全位置の測定を一度に行うか、騒音計の位置を変えながら同じ走行条

件(速度、走行方向、可能であれば走行区間)で測定することで得られます。

騒音の流れを見る

図3、図4は騒音計のマイクロホンを設置した位置における音圧特性のため、どこから来た音なのかは分かりません。車内には、床や天井や窓など、あらゆる方向から騒音が侵入するため、「音の流れ」を見ることができれば、大きく侵入する部位を見つけることができます。

「音の流れ」を見ることが出来る測定方法は既にいくつかあります。代表的な手法の一つは「音響インテンシティー」を測定することです。「音響インテンシティー」とは、単位面積あたりを通る音響エネルギー(W/m²)で、

音の流れの大きさを表す指標です。専用の測定装置を用いることで、測定位置における音響インテンシティーを1次元から3次元方向のベクトル値で求めることができます。なお、複数の大きな音源があるところで、2次元あるいは3次元の音響インテンシティーマイクロホンを使用して測定する場合、音響インテンシティーのベクトル合成値が音源の中間方向を指し示すことがあるため注意が必要です。

別の手法として、複数のマイクロホンを面状に配列し(「マイクロホンアレイ」といいます)、マイクロホンに入る音波の時間差から、方向別に侵入音の大きさを求めることができます。測定装置に小型カメラを取り付けることで、対象物の映像と音のデータを重ねて示すことができるようになりました。

騒音の侵入方向を探す

マイクロホンアレイにおけるマイクロホンの配列は平面状のものと球面状のものがあります。騒音の侵入方向がおおむね分かっている、より細かく探索する場合は、平面のマイクロホンアレイが適しています。それに対し、マイクロホンを球面状に配置したマイクロホンアレイは、あらゆる方向からの騒音を同時に測定することができます。

図1に示した車内騒音の侵入のイメージ図をご覧ください。車内には天井や床、あるいは窓など、上下左右どの方向から大きな騒音が侵入しているの分かりません。すなわち、マイクロホンを球面状に配置したマイクロホンアレイで、全方位からの騒音を一度に測定できることは非常に有効です。そこで、全方位音源探査システム(日本音響エンジニアリング株式会社「ノイズビジョン」³⁾)を用い、車内騒音の侵入音に関する評価を行いました^{4,5)}。

全方位音源探査システムとは、金属

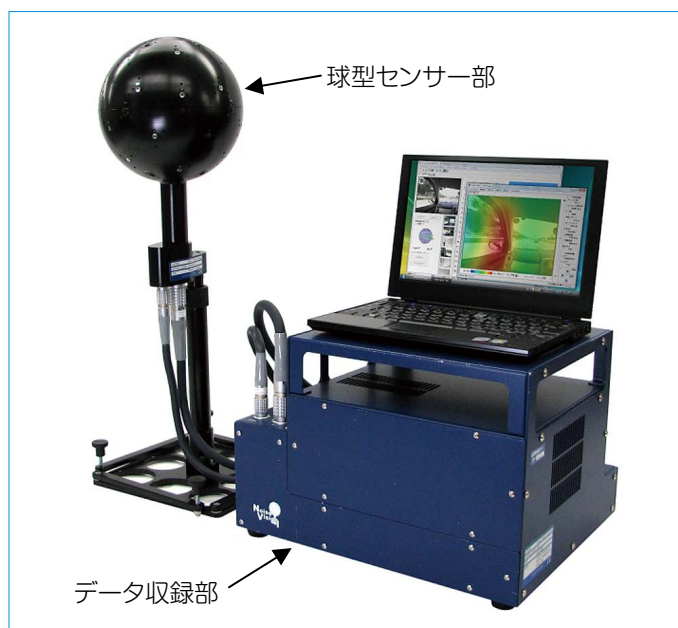


図5 全方位音源探査システムの外観

製の球に31個のマイクロホンと12個のCCDカメラを埋め込んだ球型センサー部と、データ収録部で構成されています。図5にシステムの外観を示します。

収録したデータから、侵入方向ごとに色で音の大きさを示します。このデータをCCDカメラで撮影した12枚の分割映像と重ねて表示することで、直感的に騒音の侵入方向を評価することができます。

全方位音源探査システムで、走行中の車内騒音の特性を測定することにより、これまで以上にさまざまな特性が分かるようになりました。図6に明かり区間における、客室端部と客室中央の200Hz帯の測定結果を示します。表示レンジはいずれも表示範囲における最大値から-6dBです(絶対値は異

なります)。最大値から-6dB以下の範囲には色が付かず、背景の写真がそのまま表示されます。

図6(a)の客室端部では、床を中心に赤くなっていることから、この方向からの音が最も大きいことや、また窓付近からは大きな騒音が侵入してきていることが分かります。客室端部は、台車直上にあるため、台車からの振動が床板に伝わり車内に放射される固体伝搬音が大きいと考えられます。

次に図6(b)の客室中央では、全体的に色が付いており、その中でも天井方向からの音が最も大きくなっていることが分かります。客室中央は台車から離れているため、台車からの固体伝搬音の影響は小さくなり、相対的に天井から車内に侵入する空力音などの透過音が大きくなる様子が表れています。

☞ 客室内は床や内装パネルなどの壁面で囲まれた閉空間です。そのため、車内に侵入した騒音は、これらの壁面で反射します。よって、測定結果は、厳密には「侵入音+反射音」です。

例えば図6(a)、図7(a)では、床以外に天井付近にも色が付いています。これは、天井から侵入した騒音に、床からの騒音が天井で反射する成分が加わっています。

反射音の影響は、壁面の反射率や侵入音との関係などから検討する必要があり、無視できる場合もあると考えられます。

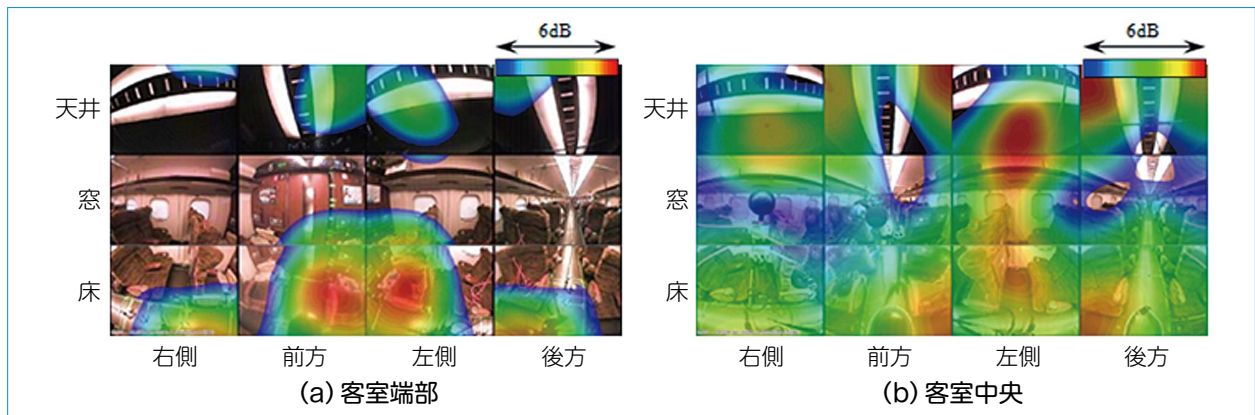


図6 走行中の新幹線車両客室内における測定結果(明かり区間, 200Hz帯) (参考)

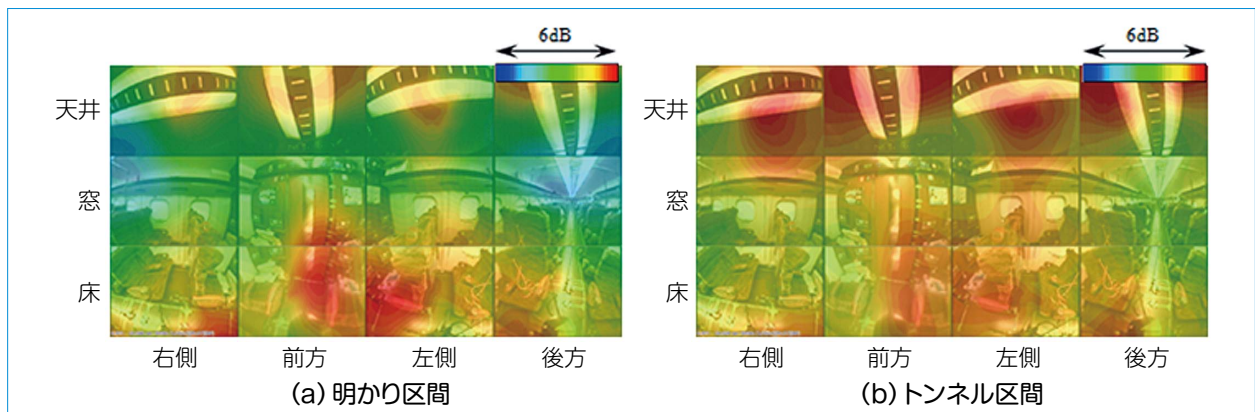


図7 走行中の新幹線車両客室内における測定結果(客室端部, 500Hz帯) (参考)

今度は、客室端部の500Hz帯における特性を見てみましょう。図7(a)の明かり区間を図6(a)の200Hz帯の結果と比べると、全体的に色が付いています。すなわち、周波数帯域が異なると、同じ明かり区間でも騒音侵入の特性が異なると言えます。その中で、床と天井は赤色になっていることから、その範囲からの騒音侵入が大きいことが分かりました。また、図7(a)の明かり区間と図7(b)のトンネル区間を比較すると、天井の赤色の範囲が広がっています。これは、トンネル内の騒音は壁面の反射により一様な分布となり、天井からの透過音が増大する様子がよく表されています。

おわりに

ここでは、鉄道車両の車内騒音を探るための手法について紹介しました。

音は人間になじみ深い物理現象の一つですが、見えないこともあり、なかなか扱いにくいことがあります。騒音の低減対策を検討する際において、事前の評価が間違っていると、苦労して対策を行っても全く騒音が低減しないこととなります。

騒音をさまざまな測定装置でデータを得るだけでなく、それらのデータをさらに解析を行うことで、徐々に騒音のさまざまな特性が分かるようになってきます。騒音の特性が分かれば、取るべき対策手法も見えてきます。

車内騒音に関する取り組みは、乗客の快適性向上という点で終わりはありません。これらの取り組みは、運転士や車掌など乗務員の職場環境の改善にも生かされると考えられます。工夫を重ねながら、引き続き車内騒音に関する研究開発を進めていきます。[RRR]

文献

- 1) 山本克也, 朝比奈峰之: 鉄道車両の車内騒音と低減法, JREA, Vol.57, No.4, pp.7-10, 2014
- 2) 山本克也, 朝比奈峰之, 石森章純, 秋山裕喜: 車内騒音低減に向けた近年の取り組み, J-RAIL2015, USB講演論文集(講演番号1712), 2015
- 3) 日本音響エンジニアリング株式会社ホームページ, <https://www.noe.co.jp/product/pdt2/nv/nv01.html>
- 4) 山本克也, 山本大輔, 間々田祥吾, 佐藤大悟, 小池宏寿, 倉光拓馬, 中川博: 全方位音源探査システム(ノイズビジョン)による車内騒音侵入経路調査法について, J-RAIL 2009 講演論文集, pp.201-204, 2009
- 5) 石森章純, 山本克也, 朝比奈峰之, 小池宏寿: 全方位音源探査システムを用いた車内騒音特性の評価, 鉄道総研報告, Vol.29, No.9, pp.23-28, 2015