

1506 近距離場音響ホログラフィの鉄道車両の車内騒音解析への適用

○倉光 拓馬 (日東紡音響)

小池 宏寿 (日東紡音響)

正 [機] 山本 克也 (鉄道総研)

正 [機] 朝比奈 峰之 (鉄道総研)

Application of a near-field acoustic holography to the interior noise analysis of a railway vehicle

Takuma KURAMITSU, Hirohisa KOIKE, Nittobo Acoustic Engineering, 1-21-10 Midori, Sumida-ku, Tokyo

Katsuya YAMAMOTO, Mineyuki ASAHINA Railway Technical Research Institute

It is important to figure out the penetration path from the noise source into the cabin to implement countermeasure of the interior noise of railway vehicles. This paper describes a new method using sound source analysis system (Noise vision), that analyses the sound intensity by the near field acoustic holography. We carried out a measurement test of interior noise of a test vehicle, and confirmed that the analysis method is useful to the verification of the penetration path of railway vehicles.

Keywords: near-field acoustic holography, interior noise, penetration path, visualization

1. はじめに

音源探索システム(ノイズビジョン)は、球パッフルマイクロホンアレイを用い、全方位の音源探索が可能なシステムである^{1)~2)}。既報においてノイズビジョンのビームフォーミング法を用いた音源探索手法が新幹線車両の車内騒音の伝搬経路の把握に有効性であることを報告した³⁾。しかし、車内騒音の周波数特性から、100~200Hzのより低周波域の音源探索手法の確立が必要であることも課題として残っていた。

同じ球パッフルマイクロホンアレイを用いた音圧データは、ビームフォーミング法の他に、最近開発された近距離場音響ホログラフィ法にも使用することができ、対象とする騒音源の分析したい周波数に応じて使い分けることができる。そこで、ビームフォーミング法では比較的難しい低周波域の音源探索の分析を目的に、近距離場音響ホログラフィ法の鉄道車両の車内騒音への適用性について、定置の試験車両において基礎的な検証を行った。

本論文ではノイズビジョンにおける近距離場音響ホログラフィ法の適用方法と、ビームフォーミング法による音源探索の分析結果との比較、および鉄道車両における検証結果について報告する。

2. 新幹線車両の騒音特性

鉄道車両の車内では、台車あるいは車体周辺で発生する騒音が固体伝搬音および透過音として車内に侵入し、車内騒音になっている。騒音源から車内までの騒音伝搬経路は複雑であり、かつ走行速度や走行区間により変化する。

図1に新幹線車両が明かり区間を高速走行している時の、客室中央の床上1200mm位置における音圧の1/3オクターブバンドの周波数特性(A特性)の一例を示す。この時、最大の音圧は160Hz帯であり、100~250Hz帯が最も音圧が高い。このような帯域の音圧が高い傾向は、高速鉄道車両において一般的に見られ、総じて500Hz以下の音圧低減が求められることが多い。また、低速走行時などでは、主変圧器などの車両搭載機器からの発生音が現れることがあり、その場合、商用電源周波数(東日本で

は50Hz)の2倍の周波数を基本とした離散的な騒音が観測される。

以上より、鉄道車両においては、100Hzまでの低周波域の騒音対策が重要であり、そのために騒音伝搬経路をより簡単にかつ直感的に捉えやすい手法が求められている。この時、車内の空間は内装パネルや床板などで囲まれた閉空間であるため、観測点に対する車内の内装から発生する直接音と他の部位からの騒音の反射音の両者が影響し、これらを正しく評価できることが重要と考えられる。

3. 球面近距離場音響ホログラフィ法について

これまで、ノイズビジョンを用いた音源探索ではビームフォーミング法を用いていた。ビームフォーミングとはマイクロホン間の音圧レベル差、位相差から特定の方向から到来する音の強さを計算する方法である。

それに対し、今回の検証で用いた球面近距離場音響ホログラフィは、近距離場音響ホログラフィを球型のマイクロホンアレイに特化した分析手法であり、球の周囲“全方位”に渡って音圧・粒子速度を再現できる分析手法である⁴⁾。またそこから音の強さと向きを示す音響インテン

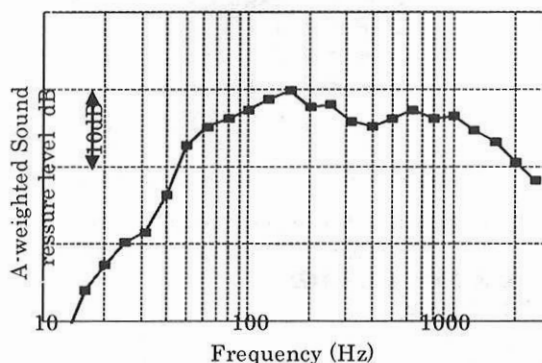


Fig.1 An example of an A-weighted frequency characteristics of cabin noise of a railway vehicle

シティを導出することができる。

なお“近距離”という名が示すようにセンサーの近傍が分析対象範囲となり、具体的には今回使用した標準センサー（直径26cm）では、球の中心から距離40cm程度までが対象である。得られる音響インテンシティは音の強さ、向きを示す“ベクトル量”であるため、解析結果は三次元の音の流れとして表示される。

また、本手法では、ビームフォーミング法とは異なり、音源分解能が周波数に依存しないため、ビームフォーミング法では不向きであった低周波域の分析も可能となっている。

ノイズビジョンでは、球面近距離場音響ホログラフィ法とビームフォーミング法の両方の解析手法を備えることにより、適用できる分析周波数範囲を広げ、活用できるフィールドを増やしている。

図2に、既報で検証した鉄道車両の車内にて測定した200Hz(1/3オクターブバンド)の騒音データを、ビームフォーミング法と球面近距離場音響ホログラフィ法の2つの手法で分析した結果を示す。これをみると、図2(a)のビームフォーミング法で分析した水平方向の分析結果の図の左側面の音圧が高いことを示すコンターと、球面近距離場音響ホログラフィ法の左から右前方向に進むベクトルの向きなどはほぼ一致している。

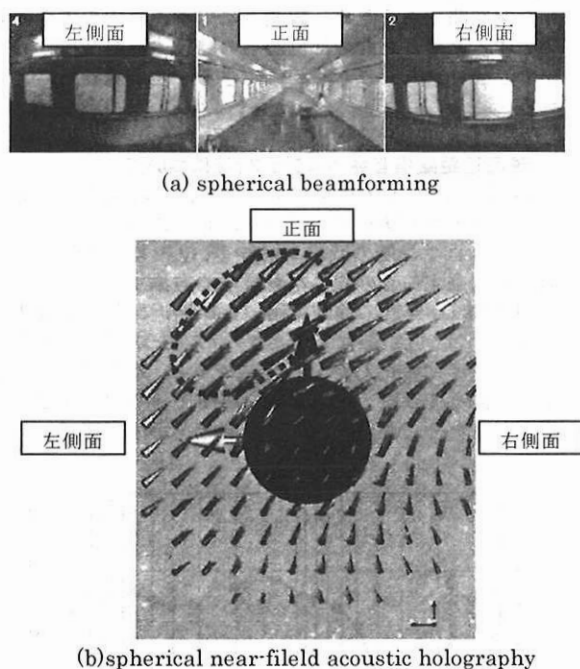


Fig.2 Comparison between spherical beamforming and near-field acoustic holography

4. 鉄道車両における検証

4.1 測定車両

球面近距離場音響ホログラフィ法の鉄道車両への適用について、鉄道総研が新たに製作した試験車体で基礎的な検証を実施した。車内の写真を図3に示す。

本車体は主に高速車両の振動と騒音を対象とした研究開発に使用することを目的としており、車体断面形状、車両長さ、構体構造は既存の標準的な新幹線車両と同一である。構体はアルミ合金製ダブルスキン構造



Fig.3 Photograph of cabin in the test vehicle

であり、車体の振動特性が複雑にならないよう、両端のデッキ部を同一形状とするなど車体の長手方向と左右方向の構造が対称となっている。

客室内には、側面、天井、妻壁などの内装パネルが取り付けられ、別途弾性支持等に変更可能になっている。現状、腰掛は未設置であるが、床板に取り付け用のネジ穴を設けている。腰掛けが未設置であり、荷棚が省略されているという特殊な状態であるため、車内空間は概ね直方体に近い形状と言える。

4.2 音源発生条件

ノイズビジョンによる検証試験にあたり、試験車体のヨーダンパ受に動電型加振器を設置し、床板等から固体伝搬音を発生させた。加振信号は20~500Hzのバンドランダム波である。加振位置および測定点を図4に示す。加振器はPoint5のほぼ真下に設置した。

加振時のPoint5の車内床1200mm位置における車内騒音の周波数特性を図5に、ノイズビジョンを車内に設置した時の様子を図6に示す。発生した車内騒音は、200Hzにピークを持っている。この時、車内全体の騒音分布としては、加振位置近傍の床板が最も大きく振動し、同時に加振される内装パネルと共に車内に騒音を放射し、概ねB方向からA方向に向けて騒音が伝搬しているものと考えられる。

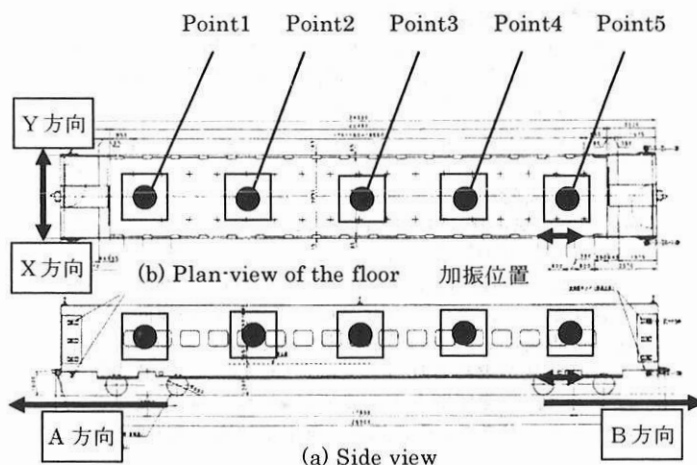


Fig.4 Excited point and measurement points

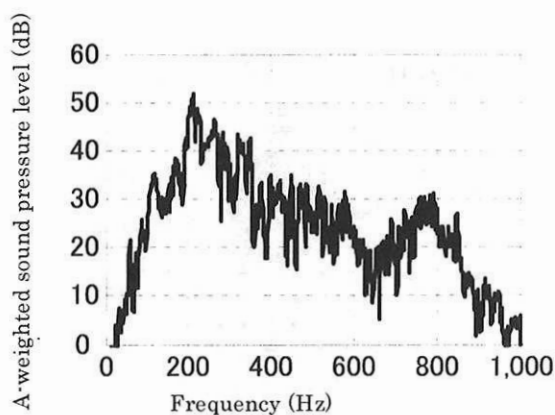


Fig.5 Characteristics of the interior noise in cabin

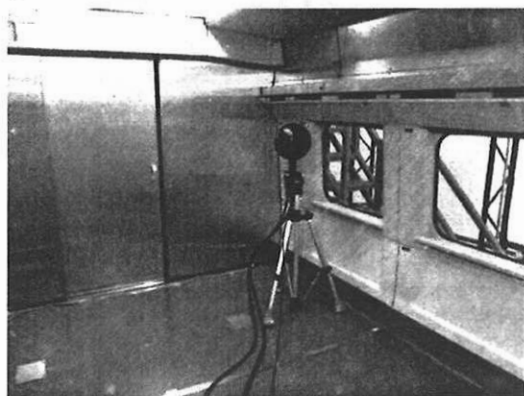


Fig.6 Set up of the NoiseVision in cabin

4.3 音源探査分析結果

ノイズビジョンで測定した結果を、球面近距離場音響ホログラフィの分析手法を用いて音源探査分析を行った。測定点及び各図の見方を図7に示す。なお、ベクトルの長さの上限から下限までは20dBである。

100Hz～200Hzの音源探査分析結果を図8に示す。各分析点における音響インテンシティのベクトルを、図8(a)は上から(Plan-view)、図8(b)は横から(Side view)見た図となっている。

全体的な傾向として、Point5からPoint1の順にベクトル長さが小さくなっており、音源から遠ざかるに従い減衰していることが分かる。その中で、Point2, 3では加振位置から離れているため、音が長手方向に進行していることが示されている。加振位置に近いPoint4では、加振部位から斜め後方に向けて騒音が放射されており、加振部位との位置条件と一致している。

また、加振している位置に近いPoint5では、図8(a)より渦巻き型の騒音の流れが見られると共に、図8(b)では下方からと上方からの騒音が現れている。これは、大きく加振している床からの放射音と共に、天井あるいは妻壁での反射音の影響と考えられる。このように、音源以外の壁面での反射の影響や室内固有の低在波の影響が分析結果に表れるため、評価する際には注意が必要である。

5. 結論

200Hz以下の車内騒音の伝搬経路の特定を目的に、球面近距離場音響ホログラフィの適用性について検証を行

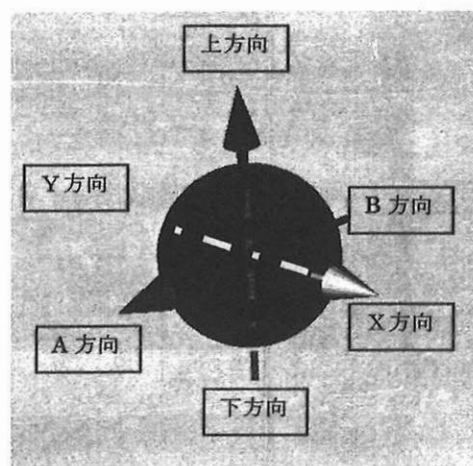


Fig.7 Direction of analyzed data

った。定置の試験車両における検証試験結果などから、以下のことが明らかとなった。

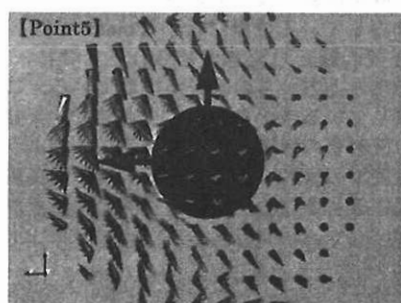
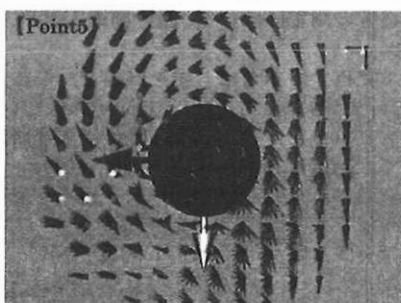
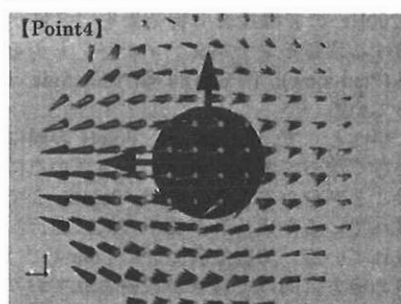
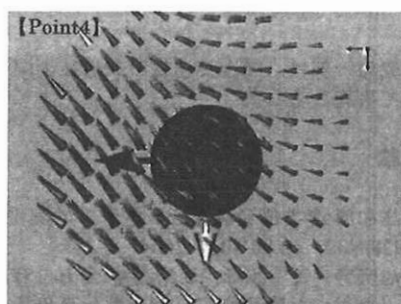
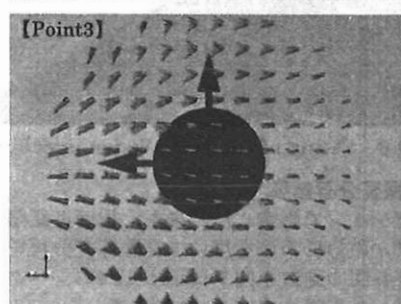
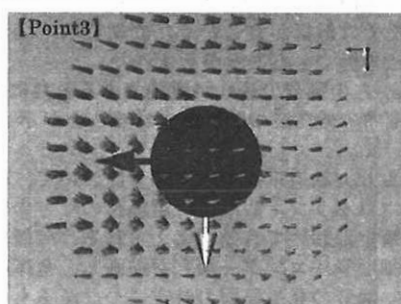
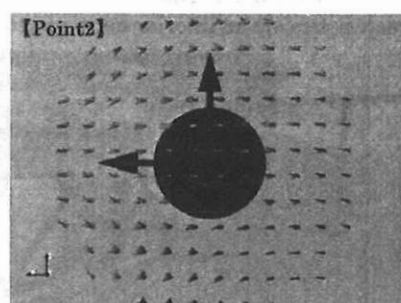
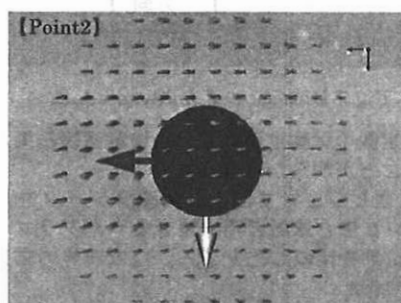
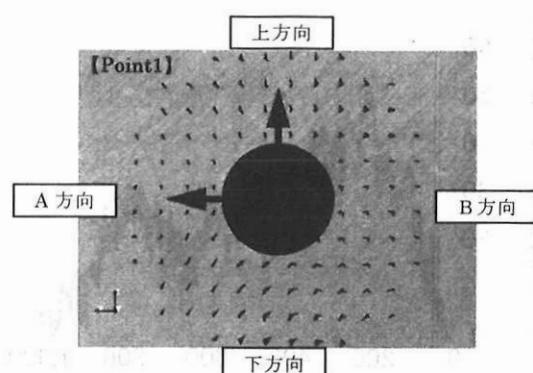
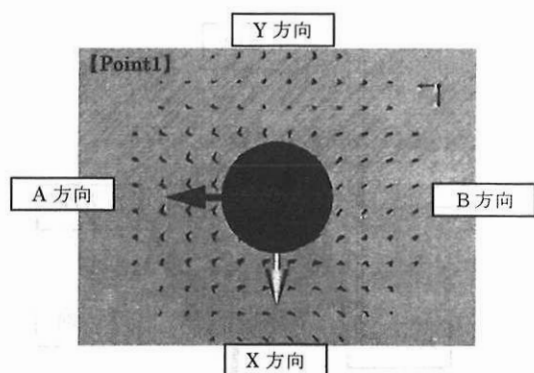
- (1)ノイズビジョンで測定した騒音データをビームフォーミング法と球面近距離場音響ホログラフィ法で分析した結果を比較したところ、ほぼ同等の結果を得ることができた。
- (2)鉄道車両の定置試験において、従来のビームフォーミング法では解析が難しかった低周波域の騒音源についても、分析できることが示された。
- (3)音源からの騒音の流れが観測できると共に、室内の反射・室内の低在波の影響が表れることが示された。

以上より、鉄道車両の車内騒音において、球面近距離場音響ホログラフィ法は、伝搬経路のなどの特定および対策の策定において有効と考えられる。今後は、車両全体の詳細な音圧コンターなどを描画し、全体の騒音状況の把握、騒音の発生要因の特定につながるものと思われる。

本研究の一部は、国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施しました。

参考文献

- 1) 高島和博:全方位音源探査システムの実現, 騒音制御 Vol.28.No2, pp.98-101, 2004
- 2) 小池宏寿, 青木雅彦, 高島和博:全方位音源探査システムを用いた騒音測定(第一報)事務所における不思議音の測定について, 騒音制御工学会, pp.45-48, 2006
- 3) 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-RAIL2009, pp.201-204, 2009.
- 4) 中島弘史, 山中高章, 中川博:不定項を用いた任意配置マイクロホンによるビームフォーミング, 日本音響学会講演論文集, pp.527~528, 2002



(a) Plan-view

(b) Cross section-view

Fig.8 Analysis result by near-field acoustic holography to interior noise in railway cabin