

# 圧電材料による鉄道車両車内騒音低減システム

車両構造技術研究部 車両振動  
主任研究員 山本克也

## 1. はじめに

高速化が進む鉄道車両において、車内における快適性向上への要求はますます高くなっている。車内環境の一つである車内騒音の対策は、これまで質量則を根拠としたパッシブ対策が主な方法であったが、軽量化が進む鉄道車両にさらなる重量追加は困難である。そこで、新たな騒音対策法として、圧電材料を用いた騒音低減システムを開発した。本発表では、鉄道車両に適した騒音低減システムの形態について考察し、今回開発した騒音低減システムの概要と新幹線車両のデッキ部や天井部に適用した際の騒音低減効果について紹介する。

## 2. 鉄道車両に適した騒音低減システムの検討

新幹線の客室は大よそ長さ20m×幅3.3m×高さ2.2mと大きな空間であり、さらに乗客数とその乗車位置が停車駅毎に変化する。また、内装振動は走行速度、走行区間（トンネル区間、明かり区間、橋梁区間等）で逐次状態が変化する。すなわち鉄道車両は、能動騒音制御の適用にとって非常に厳しい条件と言える。

これらの状況を踏まえ鉄道車両に適した騒音低減システムの形態を考えると、制御用スピーカを設置し逆位相の制御音を印加しても、車内空間が大きいため、一般に騒音低減は特定範囲に限定され、全体的な騒音低減は見込めない。しかし、車内空間に内装から入射される固体伝播音と透過音の音響エネルギーを低減することができれば、車内空間の大きさと無関係に全体の音響エネルギーを低減することができ、乗客の有無や乗車位置の変化にも影響を受けず、一定の騒音低減が望める。よって、内装板と車体構体間の隙間に透過音を低減するシステムを取り付け、車内全体の音響エネルギーを抑制する方式が、鉄道車両に適していると考えられる。

次に、騒音・振動の伝播経路の一つである内装板の振動状態について考察する。図1は、新幹線車両の内装板に振動加速度センサーを取り付け、走行中の振動状態をトンネル区間外（以下「明かり区間」という）とトンネル

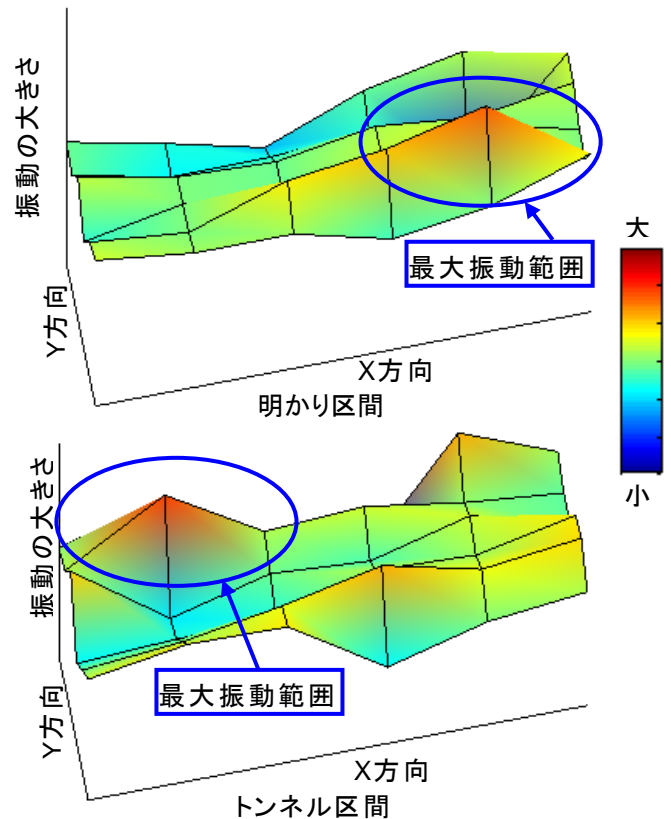


図1 明かりとトンネル区間における内装板振動状態の変化

区間で比較したものである。振動の腹と節の位置および振動レベルが変化し、最大振動範囲も移動することがわかる。すなわち、内装板の振動を直接抑制して透過音を低減するような既存の手法では、振動状態に合わせて制御力の印加位置も変化させるなど複雑な制御システムとなるため実車への適用は困難である。

### 3. 圧電材料による騒音低減システムの概要

本研究においては、内装板に入射する音響エネルギーを抑制することで、透過音を低減する騒音低減システムを開発した。

騒音低減システムは、圧電材料を貼付した小面積の平板（以下「振動板」という）を平面状に配列したパネル（以下「騒音低減パネル」という）である。図2に騒音低減システムを内装板に適用した場合の断面図を示す。ここで、騒音低減システムは、内装板（以下、一般化するために「制御対象板」という）の入射音側に取り付けられ、さらに制御対象板の振動状態の影響を受けないように空気層を設ける。各振動板の圧電材料は互いに接続され、一つの制御回路に接続される。制御回路から振動板の振動を抑制する制御力を印加することにより、振動板の透過音が低減する。その結果、制御対象板と騒音低減パネル間にある空気層内の音響エネルギーが抑制され、制御対象板への入射音響エネルギーが小さくなり、制御対象板の透過音を低減することができる。ここで制御回路では、圧電材料の電気-機械エネルギー変換特性を利用し、振動板の剛性を向上させる制御を行う。この制御方法は各振動板のパッシブな遮音性能を向上させるもので、安価なアナログ回路で構成できる。

この騒音低減システムの特徴は次の通りである。

- ①間に空気層を設けて制御対象板と騒音低減パネルを取り付けることにより、制御対象板の振動や透過音特性の影響を受けずに騒音低減が可能である。
- ②制御対象が音響エネルギーであるため、制御力および消費電力が小さい。
- ③オペアンプを使用した簡単なアナログ制御回路で制御可能である。
- ④騒音低減パネルおよび制御回路ともに大量生産が可能であり、量産効果による低コスト化が図れる。

### 4. 新幹線車両デッキ部への適用

近年新幹線車両では、客室の他にデッキにおける静粛性も求められている。そこで、数値計算を用いてデッキ部騒音を解析し、外妻壁からの侵入音が10dB低減した場合の騒音変化量を予測した。さらに、走行車両の外妻壁に騒音低減システムを取り付け、実際のデッキ部騒音低減効果を検証した。

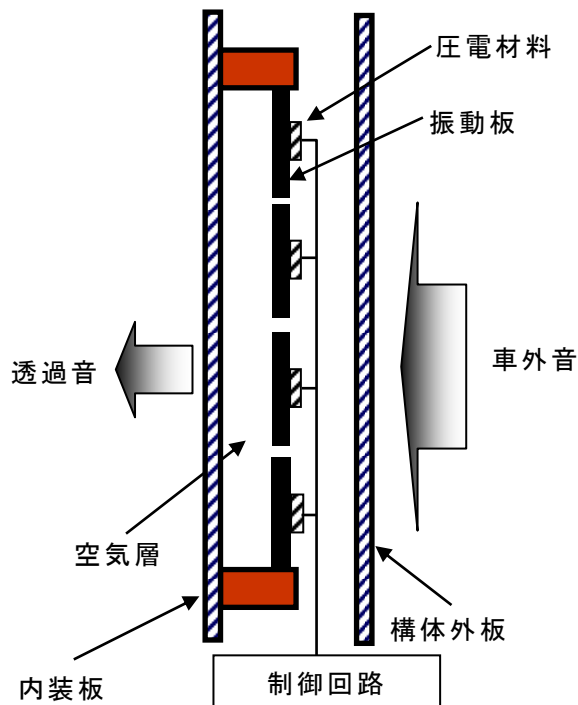


図2 圧電材料による騒音低減システム断面図

#### 4.1 デッキ部騒音解析結果

デッキ部騒音の解析ではデッキ部の3次元モデルを作成し、まず外妻壁や床、天井などからの入射音として走行中に測定した各内装板振動を入力した時の評価面における騒音分布を計算した。次に、外妻部のみ内装板振動を10dB低減して評価面の騒音分布を求め、内装板振動低減なしとの差を騒音変化量として評価した。評価面は乗客の立位状態を前提に床上1500mmに設定し、騒音低減パネルの騒音低減特性を考慮し250Hzを解析周波数とした。

外妻壁の振動速度が10dB低減した時の騒音変化量（音圧差）を図3に示す。その結果、明かり区間及びトンネル区間ともに広い範囲で騒音が低減できることが確認できた。騒音変化量が-5~-3dBの範囲が多いものの、一部範囲においては外妻からの入射音低減レベルと同等の-10dBの騒音低減効果が得られている。騒音低減効果の大小は、外妻壁からの入射音の寄与度に依存し、他部位からの入射音の影響が大きい範囲では、騒音低減効果は小さくなり、外妻からの影響が大きい範囲では、騒音低減効果も大きくなる。また、一部で騒音レベルが増加する範囲が見られるが、これは内装振動低減の前にすでに騒音レベルが低い範囲と一致している。すなわち、外妻壁からとその他の部位からの入射音が打ち消し合っている状態から、外妻からの入射音を低減することで打ち消し合いのバランスが崩れ、結果的に増加したものと考えられる。

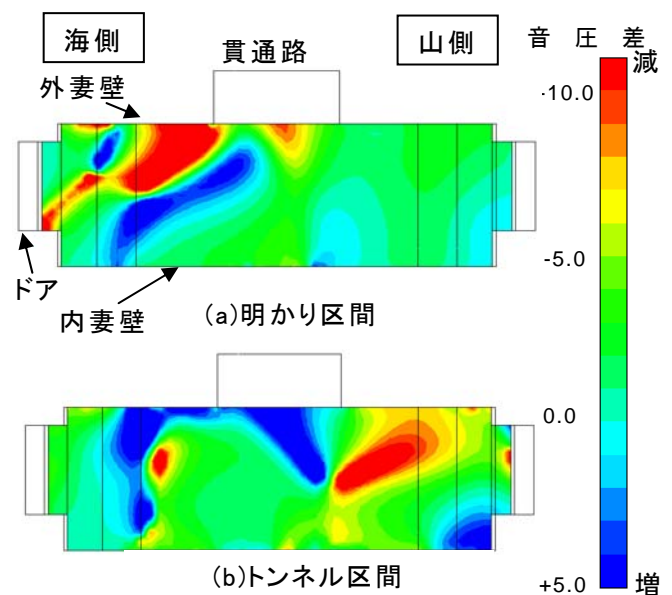


図3 騒音低減効果分布解析結果  
(外妻壁10dB低減時)

#### 4.2 走行車両における騒音低減試験結果

新幹線デッキ部の外妻壁に取り付け可能な、騒音低減パネルを2種類（大：幅780×高さ850mm、小：幅640×高さ800mm）をそれぞれ2枚ずつ製作し、実際の新幹線車両のデッキ外妻壁の海側と山側に取り付けた。仮設状況を図4に示す。



図4 パンタグラフ部騒音低減試験（明かり区間）

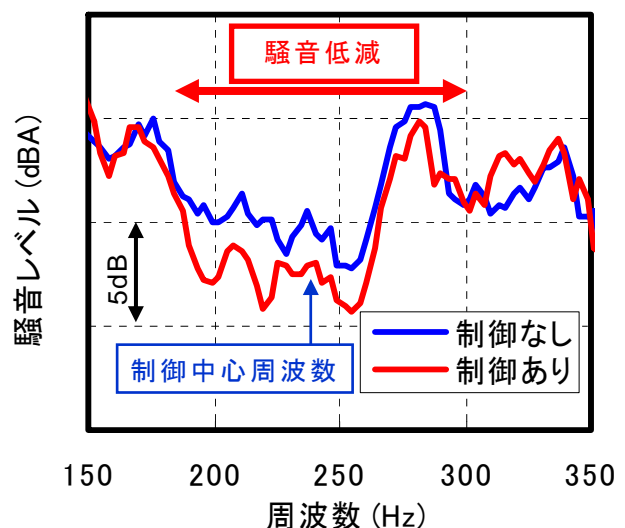


図5 デッキ部騒音低減試験（トンネル区間）

300km/h等速走行時のトンネル区間におけるデッキ中央の制御ありと制御なしの騒音レベルを図5に示す。制御中心周波数を240Hzに設定したところ、180～300Hzにおいて騒音が低減し、約220Hzでは約4 dB小さくなった。

## 5. 新幹線車両パンタグラフ部への適用

次にパンタグラフ部近傍の客室騒音低減を図るために、パンタグラフ設置位置の天井板下に騒音低減パネルを4枚取り付け、騒音低減効果を検証した。客室内に仮設用のヤグラを組み、騒音低減パネルを天井パネルの下側に取り付けた。図6に仮設状況を示す。デッキ部騒音低減試験と同様約240Hzが制御中心周波数となるよう制御定数を設定したところ、図7に示す通り約180～300Hzにおいて最大約5 dBの騒音低減効果が得られた。

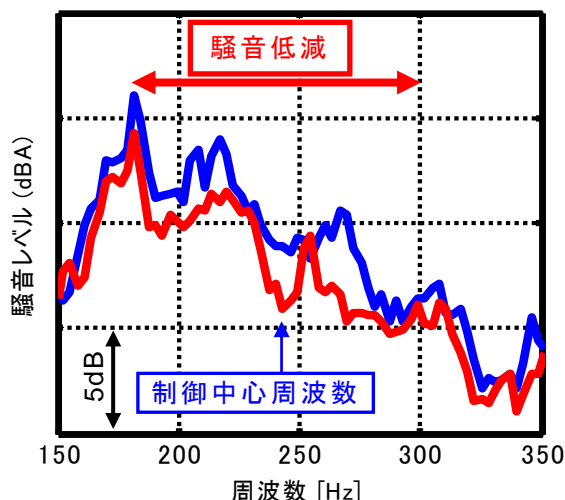


図6 パンタグラフ部騒音低減試験(明かり区間) 図7 パンタグラフ部騒音低減試験(明かり区間)

## 6. 結論

本研究では、鉄道車両に適用可能な新しい騒音低減システムを開発し、デッキ部あるいはパンタグラフ部の騒音を対象にその有効性を検証した。

- (1) 鉄道車両の車内騒音の伝播特性において、騒音伝播経路である内装板の振動状態が逐次変化していることが明らかとなった。そこで、圧電材料を貼付した振動板を配列したパネルを空気層を設けて取り付け、振動板の振動を抑制する制御を行なうことで、内装板の状態の影響を受けずに内装透過音を低減できるシステムを開発した。
- (2) 新幹線車両のデッキ部騒音について3次元放射音解析を行い、外妻壁からの入射音を低減すると、広い範囲で騒音低減効果が得られることが明らかとなった。そこで、外妻壁に本騒音低減システムを取り付け制御を行なったところ、デッキ部中央で180～300Hzの騒音レベルが最大4 dB低減した。
- (3) 本騒音低減システムを新幹線のパンタグラフ部天井に取り付けたところ、180～300Hzにおいて最大5 dBの騒音低減効果を得ることができ、本システムの有効性が実証できた。