

2709 騒音低減システムによるパンタグラフ部車内騒音低減試験

正 [機] ○山本 克也 (鉄道総研)

正 [機] 山本 大輔 (鉄道総研)

藤野 謙司 (JR東日本)

正 [機] 田中 信雄 (首都大学東京)

Verification test of a Reduction Effect to the Interior Noise under Pantagraph by the Noise Reduction System

Katsuya YAMAMOTO, Railway Technical Research Institute 2-8-38, Hikari-cho, Kokubunji City, Tokyo

Daisuke YAMAMOTO, Railway Technical Research Institute

Kenji FUJINO, East Japan Railway Company

Nobuo TANAKA, Tokyo Metropolitan University

With respect to the progress in the ride comfort of passengers, a system to reduce the interior noise of railway vehicle using piezoelectric material has been developed. The noise level below a pantagraph is higher than other area running high speed, so, we carried out the verification test that the noise reduction system applied on the back of the ceil panel to suppress the transmitted noise from the pantagraph. The reduction effect was about 5dB around 200Hz, which was target frequency, by the control, we confirmed the availability of the system.

Keywords: interior noise, noise control system, piezoelectric material, pantagraph noise,

1. はじめに

鉄道車両の車内騒音低減のため、これまでの音源対策や吸音材あるいは遮音材等を用いたパッシブ対策に対し、数100Hz以下の低周波域の内装透過音を対象とした騒音低減システムの開発を進めてきた^{1),2)}。

その中で、圧電材料を貼付した平板を配列したパネルの透過音を、アナログ制御回路を用いて低減する遮音板配列型騒音低減システムを開発し、新幹線車両のデッキ部外装壁やパンタグラフ部の天井パネルの下側に設置することで、走行中にデッキ部やパンタグラフ部の車内騒音を低減できることを実証した。この試験においては、汎用の圧電スピーカを遮音板として用いたため、遮音板の大きさや振動特性等を調整することはできなかったため、この騒音低減パネルが持つ騒音低減効果とデッキ部およびパンタグラフ部騒音の特性から、対象とする周波数等を決定せざるを得なかった。

そこで本研究では、対象とする周波数帯域をあらかじめ決定し、それに応じた騒音低減システムを適用する手順をとることとした。よって、新幹線車両のパンタグラフ部下における騒音の周波数特性に合わせて騒音低減システムを設計・製作した。さらに、実用時に近い条件で検証するため、天井パネルの背面に騒音低減システムを取り付け、走行中の騒音低減効果を評価した。

2. 新幹線車両パンタグラフ部騒音特性

新幹線車両のパンタグラフ部では、高速走行の際に、車体上面の空気の流れがパンタグラフの部材等により乱れ、数100Hzの空力騒音が増大する³⁾。一方で、架線と車体屋根間にパンタグラフの設置空間を確保するために、パンタグラフの屋根取り付け面は、それ以外の場所より若干下がっている。そのため、車両では車体屋根と客室の天井パネル間が狭くなり、吸音材などを用いた対策が

充分でなくなる。このため、パンタグラフ部の車内騒音は、一般部より大きいことが明らかとなっている。図1にパンタグラフ部と客室中央部の車内騒音の比較を示す。パンタグラフ部の騒音レベルは明かり区間では概ね5~10dB、トンネル区間では概ね3~10dB、客室中央と比べて大きく、両区間とも200Hz近傍にピークがあった。

この結果より、制御対象周波数を200Hzに設定し、遮音板の寸法等を制御対象周波数に合わせた遮音板配列型騒音低減システムを設計・製作することとした。

3. 遮音板配列型騒音低減システムの概要

3.1 構成及び動作原理²⁾

本研究で用いた遮音板配列型騒音低減システム（以下単に「騒音低減システム」という）については、これまでの既報で詳述している^{1),2),4)}。よって、ここでは基本的な構成と動作原理を述べ、騒音低減システムの設計に必要な特性に関し一部再掲する。

図2に騒音低減システムを内装板等の対象板に取り付けた状態の断面図を示す。騒音低減システムは、圧電材料を貼付した小型平板（以下「遮音板」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）と制御回路から構成される。入射音が騒音低減パネルに印加されると、遮音板が振動し、同時に圧電材料から電圧が発生する。この時、制御回路をインダクタンス回路にすると、圧電材料が持つ静電容量との間に共振回路が構成され、共振周波数を中心に、圧電材料から発生した電圧に対し逆位相の制御電圧が得られる。その結果、遮音板に逆位相の振動が発生するため、両者が相殺し合うことで遮音板の振動が抑制され、透過音が低減する。

騒音低減パネルを内装板等の対象板に適用する際、両者間に密閉した空気層を設けて取り付ける。これは、対

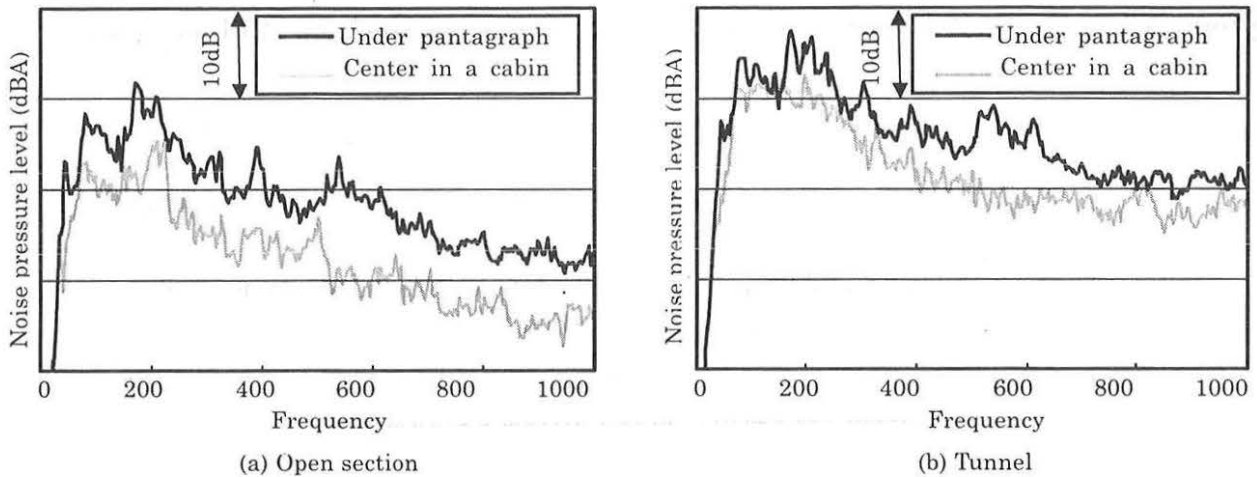


Fig.1 Characteristics of the interior noise under a pantagraph

象板の振動状態の影響を受けずに透過音が低減できるようにするためである。空気層内の音響エネルギーは、騒音低減パネルを透過した音響エネルギーであるが、同時に対象板の入射音である。よって、遮音板の振動が制御により抑制されると空気層内の音響エネルギーが小さくなるため、対象板への入射音響エネルギーも小さくなる。その結果、対象板の振動状態に関わらず、透過音が低減できる。

3.2 遮音板および制御特性の設計

あらかじめ設定した周波数の騒音を低減するのにあたり、遮音板を(1,1)モードで振動する大きさに設定し、その振動の腹である中心部を圧電材料の制御力で低減することを図る。遮音板を矩形とすると、遮音板並びに制御回路のインダクタンス値は以下の通り計算できる。

遮音板の振動特性は、材料特性と周囲の支持条件等により決定される。それぞれの遮音板は、騒音低減パネル

のフレームに取り付けられることから、周辺固定とみなすことができる。遮音板が辺長 a の正方形の時、 m 次の固有角振動数 ω_m は、次式で記述できる。

$$\omega_m = 2 \left(m + \frac{1}{3} \right)^2 \frac{\pi^2}{a^2} \sqrt{\frac{D}{\rho h}} \quad (1)$$

よって、1 次の固有角振動数 ω_1 を対象周波数 f と一致させることにより、辺長 a は次式で求めることができる。

$$a = \frac{4}{3} \sqrt{\frac{\pi}{f} \sqrt{\frac{D}{\rho h}}} \quad (2)$$

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \quad (3)$$

ここで ρ, h, E, ν は、それぞれ遮音板の密度、板厚、縦弾性係数、ポアソン比を表す。

次に、制御回路のインダクタンス値の設定法である。まず、遮音板の圧電材料の合成静電容量 $\hat{C}$ を求めると、静電容量 C の圧電材料が N 枚直列に接続する場合は $\hat{C} = C/N$ 、並列接続する場合は $\hat{C} = NC$ である。ここで、圧電材料の合成静電容量 $\hat{C}$ と制御回路のインダクタンス L を接続すると共振回路が構成される。この時の共振角振動数（以下「電気共振周波数」という）を ω_e とすると、次式の関係がある。

$$L\omega_e = \frac{1}{\hat{C}\omega_e} \quad (4)$$

よって、この電気共振周波数 ω_e が遮音板の(1,1)モード固有角周波数、すなわち対象周波数と合うようにインダクタンス値 L を設定する。

4. 新幹線走行試験における騒音低減効果

4.1 新幹線車両の適用範囲と騒音低減パネルの形状

過去に実施した新幹線車両でのパンタグラフ部騒音低減試験では、騒音低減パネルを天井パネルの下面に仮設したのに対し、本試験ではより実用に近い状態で騒音低減効果を検証することを目的に、天井パネルの背面に取り付けることとした。天頂部には照明灯やスピーカおよび配線ダクト等があるため、図3の通り、客室端部から線路方向に約3350mm、枕木方向に約500mmの左右2列を騒音低減パネルの設置範囲とした。これは、線路方向にはほぼパンタグラフ取り付け範囲を網羅している。

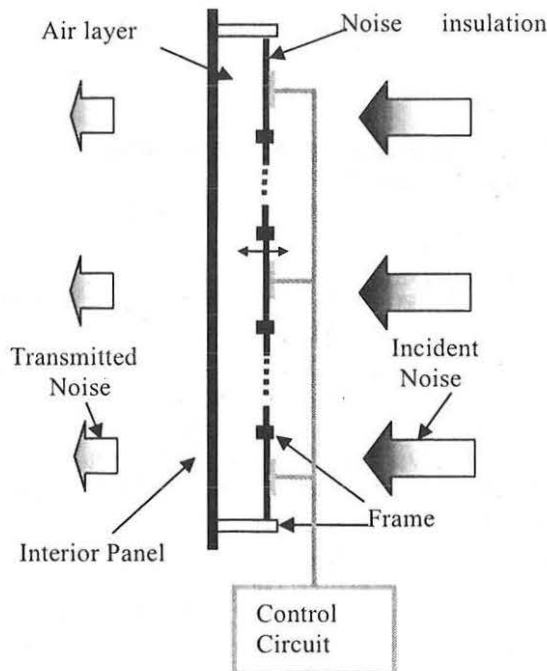


Fig.2 Coordinate system of the target panel with the noise control system
(Cross section view)

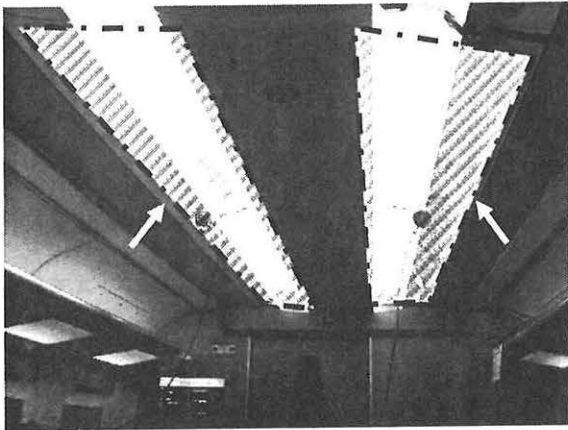


Fig.3 Installed area

天井パネルと車体屋根間のスペースや天井パネル背面の状態から、それぞれの騒音低減パネルは $730 \times 490 \times 25\text{mm}$ の大きさとした。図4に外観の写真を示す。遮音板は薄アルミ板の中心に圧電材料を貼付し、4枚を一つのユニットとし、 $2 \times 3 = 6$ ユニットの結合して1枚の騒音低減パネルとした。

4.2 定置試験における透過音低減効果

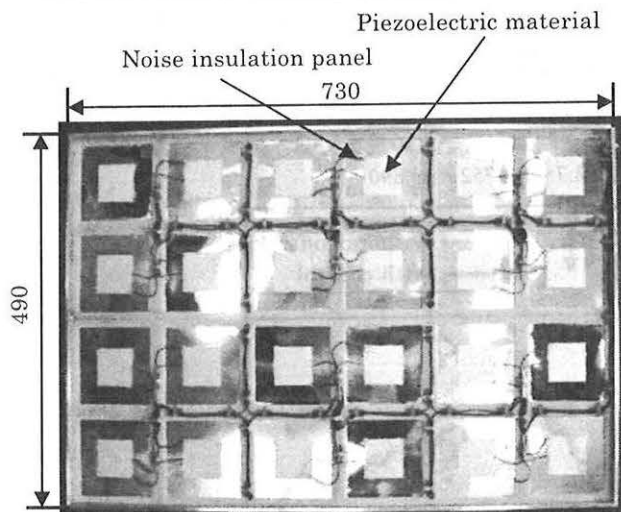


Fig.4 Photograph of a noise control panel

騒音低減パネルの騒音低減効果を検証するため、図5に示す防音室に取り付け、透過音の低減効果を検証した。防音室内に設置したスピーカから広帯域音を印加し、透過音をマイクロホンで測定した結果を図6に示す。制御なしにおいてピークが約190Hzにあることから、遮音板の(1,1)振動モードがおおよそ200Hzに設定できていることが確認できた。

次に、制御回路のインダクタンス値を調整し、電気共振周波数を190Hzとして制御を行うと、図6(a)の通り、最大約20dBの騒音低減効果が得られた。続いて、制御対象周波数である200Hzに電気共振周波数を調整し直したところ、図6(b)に示す通り、約14dBの騒音が低減した。これらの試験結果から、騒音低減パネルは、ほぼ設計通り200Hzの透過音を低減できることを確認し、その低減量も十分と判断した。合わせて、約30Hzの帯域で騒音低減効果が得られていることから、天井パネルの透過音のピークが200Hzから若干変動しても、低減できる見込みを得た。

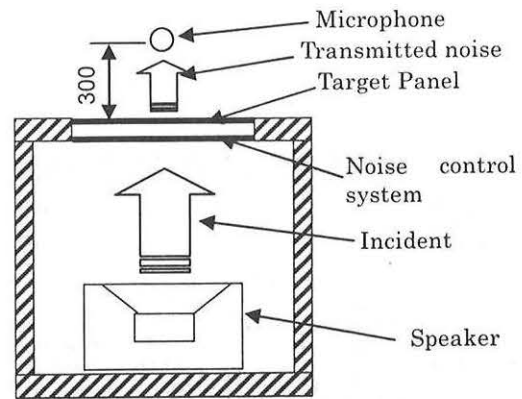
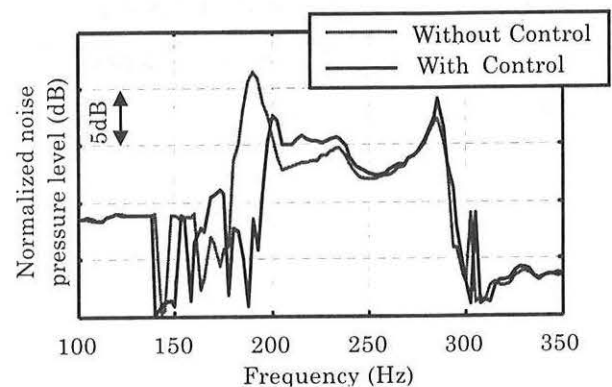
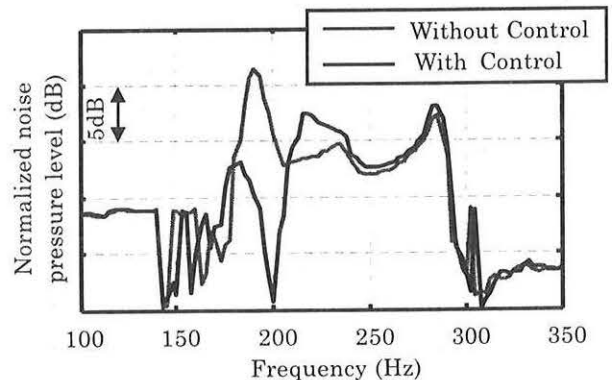


Fig.5 Experimental setup



(b) Resonance frequency : 190Hz



(a) Resonance frequency : 200Hz

Fig.6 Noise reduction effect

4.3 現車試験におけるパンタグラフ部騒音低減試験結果

今回製作した騒音低減パネルを新幹線車両の天井パネルに適用し、走行時のパンタグラフ部の騒音低減効果を検証した。図7に騒音低減パネルの設置状況を示す。既存の天井パネルを一旦外し、背面に騒音低減パネルを取り付け、可能な限り天井パネルとの隙間をふさぎ、図2に示す空気層を構成した。さらに、それぞれの騒音低減パネルと天井パネルの接面にはスポンジを入れ、振動伝搬を抑制した。

図8の通り、天井パネル近傍と床上約1200mm高さ位置に騒音計を設置し、走行中の騒音特性をデータレコーダに記録した。また、走行試番毎に制御ありとなしを設定し、それぞれの周波数特性の差を騒音低減効果として評価した。

図9に、明かり区間走行時における制御ありとなしのパンタグラフ部騒音特性を示す。図9(a)の天井パネル近傍、同図(b)~(d)の床上1200mm位置のいずれの騒音にお

いても、制御なしでは 200~220Hz にピークが現れた。また、制御ありとすると、200Hz 近傍のピークにそれぞれ低減効果が得られ、最大で約 5 dB 低減したことを確認した。



Fig.7 Installed condition of the noise control panels on the back of interior ceil panel

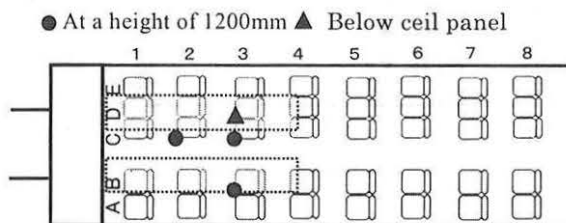
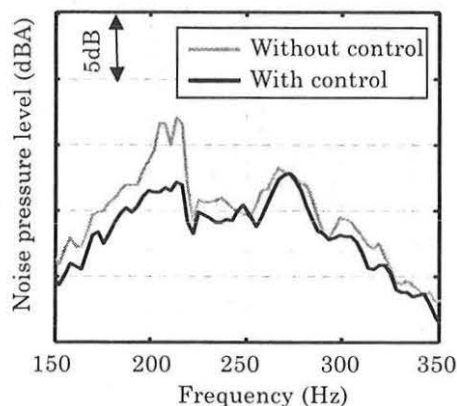
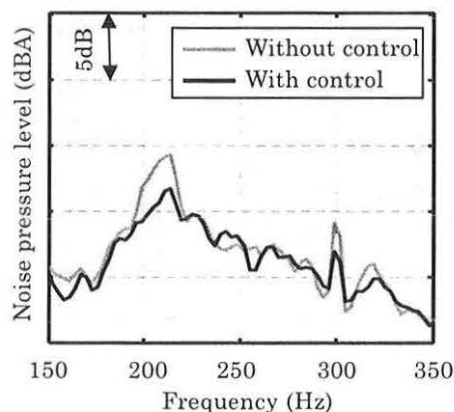


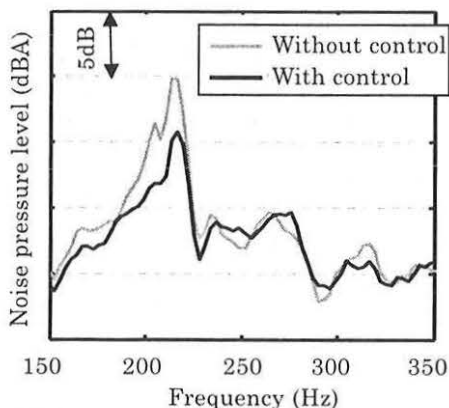
Fig.8 Measurement point of the interior noise



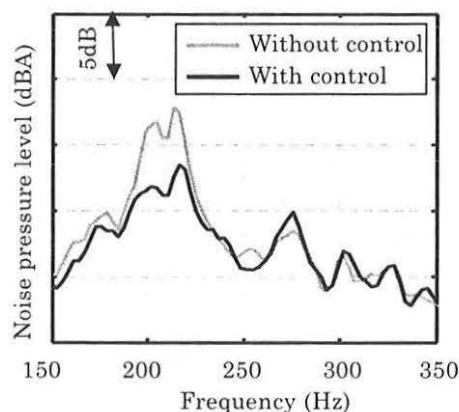
(a) At seat 3D near ceil panel



(b) At seat 3B of height 1200mm from floor



(c) At seat 3C of height 1200mm from floor



(d) At seat 2C of height 1200mm from floor

Fig.9 Noise reduction effect of the interior noise running in open section

5. 結論

圧電材料を用いた遮音板配列型騒音低減システムによる、新幹線車両のパンタグラフ部騒音低減試験を実施した。本研究の成果は次のとおりである。

- (1) 新幹線車両のパンタグラフ部に発生する約 200Hz のピーク音を対象とした騒音低減システムの設計・製作した。
- (2) 定置試験において、200Hz の透過音を約 14dB 低減できることを確認し、設計手法の妥当性を実証した。
- (3) 新幹線車両の天井パネル背面に騒音低減システムを設置したところ、制御を行うことにより、約 200Hz のピーク音が最大約 5 dB 低減できた。

以上の結果より、より実用化に近い状態で本システムの有効性を実証することができた。

参考文献

- 1) 山本克也、朝比奈峰之、永野克幸、中山耕介：車内騒音制御システムの開発とデッキ部騒音への適用、J-RAIL2007 講演論文集，pp.147-150，2007。
- 2) 山本克也、山本大輔：鉄道車両車内騒音低減システムの性能向上、J-RAIL2008 講演論文集，pp.85-88，2008
- 3) 池田充、小山達弥、光用剛、花房裕吾：舟体と枠組の空力干渉緩和構造による実機パンタグラフの空力音低減効果、J-RAIL2006 講演論文集，pp.109-112，2006。
- 4) 山本克也、田中信雄、朝比奈峰之：鉄道車両の内装透過音制御システムの開発（第2報、遮音板配列型騒音制御システムの提案）、日本機械学会論文集C編 Vol.75, No.752, pp.890-897