

車体下部吸音対策の 評価試験



山田 晴夫*



井門 敦志**



栗田 健*



堀内 雅彦*

新幹線高速試験電車「FASTECH360S・FASTECH360Z」には車体下部騒音の低減を目的として、吸音パネルを取り付けている。吸音パネルの騒音低減効果については、これまでシミュレーションや模型実験、営業車を用いた走行試験により確認している。しかしながら編成全体に吸音パネルを取り付けた状態での効果については確認しておらず、また取付範囲による騒音低減量の差異についても明確になっていない。そこで本研究ではFASTECH360Sに装備している吸音パネルを一定の範囲ごとに吸音材のないパネルに交換してその部分の吸音効果を無くし、全体騒音への影響度を調べることで効果的な取付範囲の検証を行った。その結果、吸音パネル取り付けにより、FASTECH360Sでは速度320km/h、25m点で約0.9dBの騒音低減効果があること、側スカート部に取り付けられた吸音パネルの寄与が最も大きいこと、台車端部、側ハリ部の吸音パネルについては寄与がほとんど見られないことを確認した。

●キーワード：新幹線、FASTECH360、騒音、車体下部騒音、吸音パネル

1. はじめに

新幹線高速試験電車「FASTECH360S・FASTECH360Z」には車体下部騒音の低減を目的として、床下部、側スカート部、側ハリ部、台車端部に吸音パネルを取り付けている。吸音パネルの騒音低減効果については、これまで2次元数値シミュレーション、縮尺模型実験、実物大模型実験、E2系1000代を用いた走行試験により確認している。¹⁾²⁾しかしながら、シミュレーションや模型実験は編成や周辺環境の一部を模擬したものであり、編成全体に吸音パネルを取り付けて走行した場合の新幹線騒音の基準測定点である25m点における低減効果については確認できていない。また4つの異なる部位に取り付けられている吸音パネルのうち、どの部位のパネルがどの程度騒音低減に寄与しているかについても、モデルや模型の制約から明確になっていない。

そこで本研究では、FASTECH360Sに装備されている吸音パネルを一定の範囲ごとに吸音材のないパネルに交換してその部分の吸音効果を無くし、全体騒音への影響度を調べることで効果的な取付範囲の検証を行った。

2. 吸音パネルの概要

2.1 吸音パネルの構造

図1に吸音パネルの構成、図2に外観を示す。表面はハニカム構造をパンチングメタル（ $\phi 1.5 \times 3.0t=1mm$ ）で挟んだアルミサンドイッチパネルからなる。穴あき構造にして共鳴効果を得るとともにハニカム構造を採用して面圧変動に対する強度を確保している。その下にはナイロンメッシュを挟んで吸音フォーム（フェノール樹脂発泡体）を挿入している。

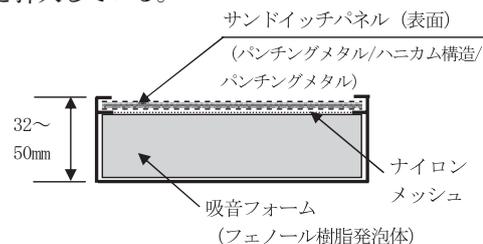


図1 吸音パネルの構成

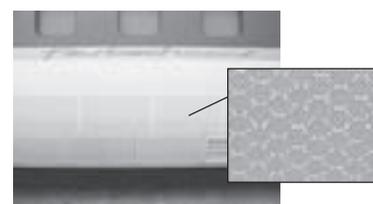


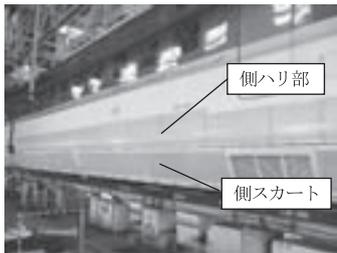
図2 吸音パネル外観

2.2 取付部位

図3に吸音パネルの取付部位を示す。吸音パネルは車両側面の側ハリ部、側スカート、床下のフサギ板、台車端部に取り付けている。

側ハリ部パネル上端までの高さはレール頭頂面から

1300mmとなっている。吸音パネルの面積については、各車両毎に形状、取付機器が異なるため差があるが、先頭車で約85㎡、中間車で約105㎡である。吸音パネルの有効吸音面積については、各車両毎に形状、取付機器が異なるため差があるが、側ハリ上端までの全面積に対する比率は約55%である。これは吸音材を取り付けられないパネルの縁や吸音パネルを取り付けていない部分があるためである。



(a) 側ハリ部・側スカート



(b) 床下フサギ板

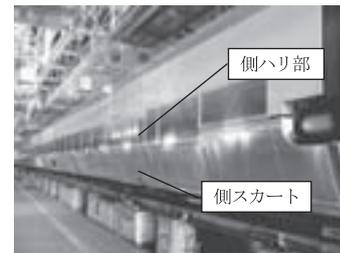


(c) 台車端部

図3 吸音パネルの取付部位

3. 吸音パネル性能評価試験

2006年4月13日より2006年6月2日にかけてFASTECH360Sによる吸音パネルの性能評価試験を行った。本章ではその概要について説明する。図4に示す吸音材のないパネルを表1に示すパターンで各部位に取り付け、騒音の測定を行い、各ケースごとに得られたデータを比較することで吸音パネルの性能評価を行った。騒音測定は東北新幹線387k750m地点で行った。概要を図5に示す。なお測定は下り線側で行うため、図5に示すように、測定に影響を及ぼさないと考えられる反対側の吸音パネ



(a) 側ハリ部・側スカート



(b) 床下フサギ板



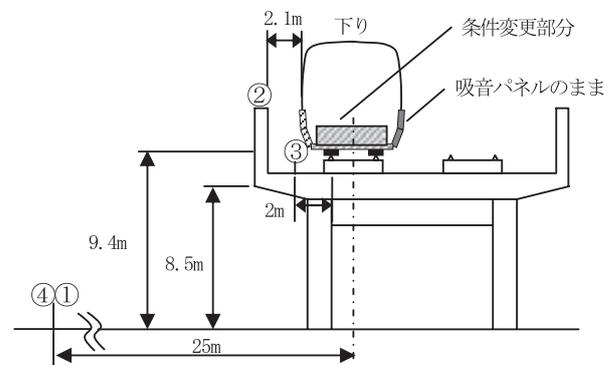
(c) 台車端部

図4 吸音材のないパネル（評価試験用）

表1 車両条件変更

	側ハリ部	側スカート	台車端部	床下フサギ板
case1	○	○	○	○
case2	○	○	×	○
case3	×	×	×	×
case4	×	○	○	×
case5	×	○	○	○

○：吸音パネルあり ×：吸音パネルなし



- ① 2.5m点（近接軌道中心基準）
- ② 防音壁天端
- ③ レール近傍
- ④ 超指向性マイクロホン

図5 387k750m地点騒音測定

ルについては車両条件の変更を行っていない。吸音パネルの評価においては、新幹線騒音評価指標となっている25m点を基準として用い、参考として防音壁天端、レール近傍、指向性マイクロホンの測定結果を用いた。

4. 25m点での吸音パネル性能評価

4.1 測定結果

25m点騒音の測定結果を図6に示す。なお各ケースごとの結果を比較するため、対象以外の影響が大きく、評価に影響を与えうる以下に該当するデータを除きプロットしている。

- ・上下線交差等、他の騒音の影響があったもの
- ・雨天時のデータ
- ・パンタグラフピーク音が著しく大きいもの

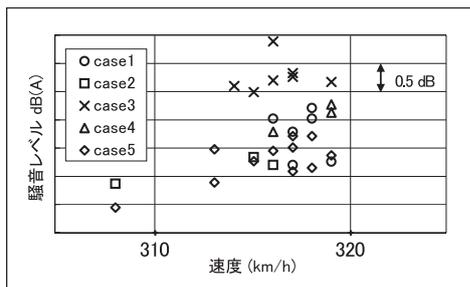


図6 25m点騒音測定結果

図6によると吸音パネルを取り付けていないcase3において顕著な騒音レベルの増加が見られるが、その他のケースについては、いずれのケースの測定結果とも、全ての吸音パネルが取り付けているcase1を基準に見ると、その騒音レベルの範囲に含まれる結果となった。

4.2 乗則による速度補正

今回の実験で得たデータの速度範囲は308～319km/hであるが、これらの測定値のみから各ケース間差異を分析すると、速度の低いデータを含むケースが有利になる。そこで以下に示す式(1)を用いて各データを320km/hでの値に補正した。

$$L_{pA,V=320} = L_{pA,V} + 10 \log \left(\frac{320}{V} \right)^n \quad (1)$$

V : 速度 (km/h) $L_{pA,V}$: 速度 V における騒音レベル

$n = 5.7351$

(2006年4月13日～6月24日のデータから算出)

4.3 ケース間の有意差比較

前節の方法により補正したデータを基に、各ケース間の各測定点における信頼度95% ($\alpha=0.05$) の有意差を自由度 ν の t 分布を使用して計算し^{3),4)}、吸音パネルの効果、取付部位による差異を分析した。今回の実験ではケースによってはデータ数が少なく、かつケース間で異なっていること、また測定におけるばらつきの影響も考慮して、平均値による差の比較ではなく、有意差を用いた差の比較を採用した。

$$\bar{x}_1 - \bar{x}_2 \pm t_{\alpha/2, \nu} Sp \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}} \quad (2)$$

ここで

$$\nu = n_1 + n_2 - 2 \quad Sp^2 = \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

であり、

n_1, n_2, s_1^2, s_2^2 はそれぞれ、各統計量のデータ数、分散を表す。

結果を表2の(1)列に示す。表においてw,x,y,zは、側ハリ部、側スカート、台車端部、床下パネルの吸音効果を表し、「正の場合吸音効果あり」と定義している。5つのケースから2つのケースを採って比較することにより、表2に示すように、ある部位単独あるいは組み合わせた場合の吸音効果を評価することができる。全部で10通りの結果が得られ、w,x,y,zの4つの変数に対して10個の方程式が得られるが、解は一意には決まらない。そこで以下に示すような方法で、各変数の取りうる範囲を推定し、これを吸音パネルによる効果とした。

まず表中①に着目すると、y(台車端部)の25m点での有意差は0、防音壁天端で0、レール近傍で0.16となっている。この結果から台車端部に吸音パネルを取り付けることにより、レール近傍において若干の吸音効果は得られるものの、その効果は限定的であり、25m点においては効果はないと考えることができる。②と③、④と⑤、⑦と⑧を比較した場合についても、y(台車端部)を付加することにより、吸音効果が増すケースはないことから、25m点での台車端部の吸音効果はないものと考えられる。

y=0とした上で、⑦、⑧の結果から、w(側ハリ部)についても吸音効果なしという結論が得られる。②と⑨、④と⑩の比較からもw(側ハリ部)を付加することにより、吸音効果が増すケースはないことから、25m点において側ハリ部についても吸音効果はないものと考えられる。なお側ハリ部を取り付けることにより防音壁天端、レール

近傍において、吸音効果がマイナス、即ち騒音が若干悪化するという結果が得られているが、これはcase5において車体下部音が比較的強く推移したことによるものと考えられる。

$y=w=0$ とした上で、 x, z の値について評価すると、④、⑤、⑩より z については $0 \leq z \leq 0.25$ と推定される。一方、②、③、⑨より $x+z$ については $0.67 \leq x+z \leq 1.16$ と推定される。 x については、⑥とこれら2つの不等式から $0.42 \leq x \leq 1.16$ と推定される。以上から x, z 即ち側スカート、床下吸音パネルの効果については、式(3)の範囲にあることがわかった。

$$\begin{cases} 0.42 \leq x \leq 1.16 \\ 0 \leq z \leq 0.25 \\ 0.67 \leq x+z \leq 1.16 \end{cases} \quad (3)$$

4.4 吸音パネル以外の影響を考慮した性能評価

前節では試験の結果からケース相互間に見られる有意差をもとに吸音パネルの性能評価を行った。しかしながら、前節でも述べたとおり、同期間内に測定されたデータには日々の変動成分が含まれていることが考えられる。

図7から図9にFASTECH360Sの測定結果に加えて、case1からcase5と同じ測定日に測定された営業車(E2+E3併合)の測定結果を時系列で示す。なお、営業車のデータも式(1)を用いて270km/hでの値に補正している。また図中に示す太線は $n=5$ とした場合の移動平均線であり、営業車測定結果の変動を表している。

これらの図からわかる通り、営業車のデータは日々変動しており、期間ごとに傾向が異なることがわかる。FASTECH360Sの測定データについては吸音パネルによる差が含まれるが、その他にこうした日々の変動分による差も含まれていると考えられ、図に示すとおり営業車と類似した傾向を示している。

そこで本節では、日々の走行条件の差が営業車、FASTECH360Sに関わらず現れるものと仮定し、営業車のデータを参考に、各ケースごとの走行条件による差異を推定し、その上で正味の吸音パネルの性能評価を行った。

前節と同様、営業車データにおける各ケース間の有意差を計算すると、表2の(2)列のとおりとなった。ここに現れる有意差が、日々の変動分であると仮定して、(1)列の結果から(2)列の結果を差し引くと(3)列のようになる。これを正味の吸音パネルの効果と考えて、前節同様の評価を行うと、次のようになる。

$$\begin{cases} 0.49 \leq x \leq 1.13 \\ 0 \leq z \leq 0.12 \\ 0.67 \leq x+z \leq 1.13 \end{cases} \quad (4)$$

式(3)および(4)を (x, z) 平面上に表現すると図10のような、平行四辺形の領域となり、斜線で示した領域が正味の吸音パネルの騒音低減効果となる。その代表点として重心を採用すると25m点における正味の吸音パネルによる騒音低減効果は図10の右側に示す表のとおり推定され、部位ごとに台車端部(y)、側ハリ部(w)の効果はなし、床下(z) 0.06dB、側スカート(x) 0.81dB、合計0.87dBとなる。

4.5 レール近傍・防音壁天端結果との比較考察

25m点と同様、レール近傍、防音壁天端における吸音パネルの効果を表2の結果をもとに推定すると、各測定点における各部位の騒音低減効果は図11のとおりとなる。

この結果から、台車端部、床下については、レール近傍では効果が現れるが、その効果は防音壁天端では薄れ、25m点においては、殆ど見られなくなることがわかる。側スカートについては、レール近傍において、台車端部、

表2 ケース間有意差計算結果

比較	評価	(1)FASTECH360S測定結果			(2)営業車測定結果			(3)正味の吸音パネル効果		
		25m	防音壁天端	レール近傍	25m	防音壁天端	レール近傍	25m	防音壁天端	レール近傍
① C2 - C1	y	0	0	0.16	0	-0.10	0	0	0	0.16
② C3 - C1	w+x+y+z	0.67	1.49	1.37	0	-0.31	-0.10	0.67	1.80	1.47
③ C3 - C2	w+x+z	0.94	1.72	1.13	0	0	0	0.94	1.72	1.13
④ C4 - C1	w+z	0	0	0	0	-0.22	-0.26	0	0	0
⑤ C4 - C2	w+z-y	0.21	0	0	0.09	0	0	0.12	0	0
⑥ C3 - C4	x+y	0.42	1.35	1.31	0	0	0	0.42	1.35	1.31
⑦ C5 - C1	w	0	-0.62	-0.98	-0.11	-0.39	-0.45	0	-0.23	-0.53
⑧ C5 - C2	w-y	0	-0.37	-1.37	0	-0.37	-0.16	0	0	-1.21
⑨ C3 - C5	x+y+z	1.16	2.59	2.81	0.03	0	0	1.13	2.59	2.81
⑩ C4 - C5	z	0.25	0.71	1.01	0.19	0	0	0.06	0.71	1.01

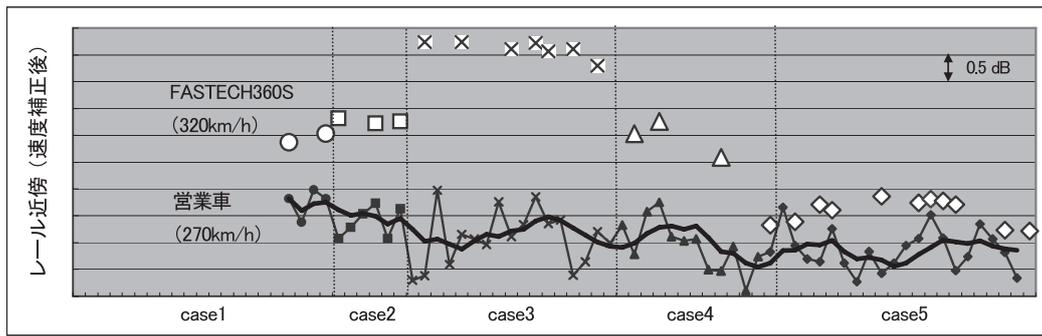


図7 レール近傍騒音レベル

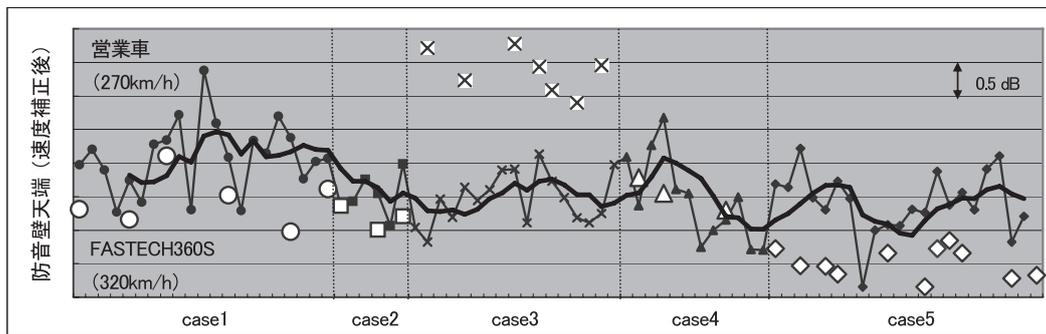


図8 防音壁天端騒音レベル

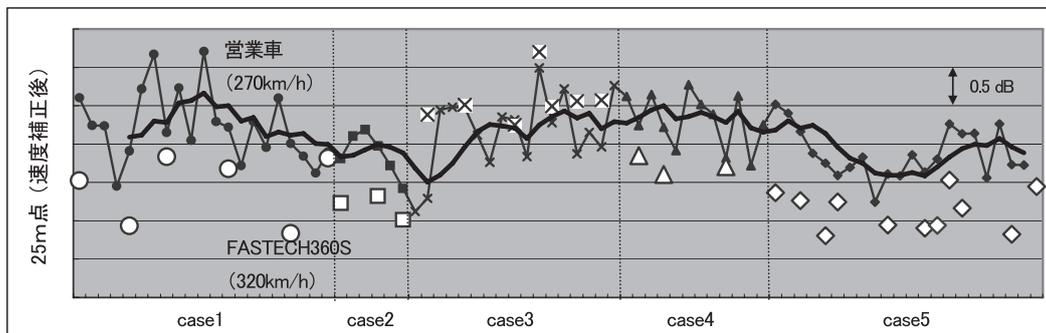


図9 25m点騒音レベル

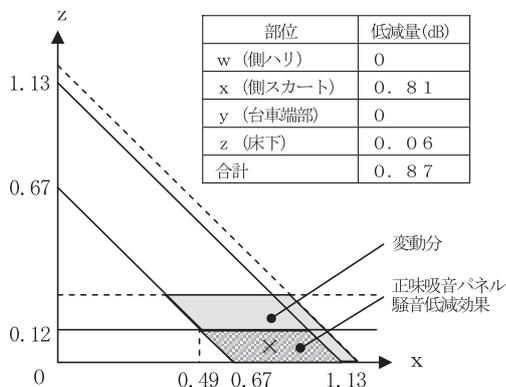


図10 25m点騒音低減効果 (320km/hレベル)

床下より効果を発揮し、さらに防音壁間での多重反射過程で吸音効果が得られることから防音壁天端においても大きな騒音低減効果があり、結果として25m点においても

吸音効果を発揮していることがわかる。

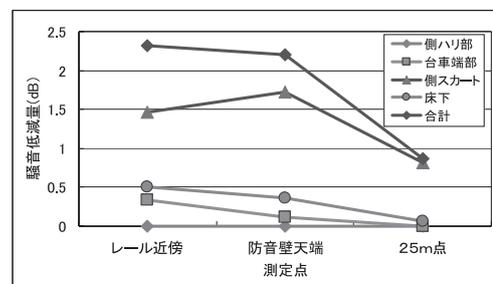


図11 各測定点における吸音性能 (320km/h)

床下パネルの効果が限定的であることは、超指向性マイクロホンの測定結果からも確認することができる。すべての吸音パネルを取り付けているcase1、側スカート、台車端部に吸音パネルを取り付けているcase4と取り付け

ていないcase3の超指向性マイクロホン測定波形の部位におけるP,Qレベル差を図12に示す。

側ハリ部の効果がないことから、case1とcase4の差は床下吸音パネルの有無ということになるが、図12から床下吸音パネルのあるcase1では各号車部における騒音低減量がcase4よりも高いことがわかる。しかしながら、各号車部の音源は超指向性マイクロホン測定波形（図13）からわかるとおり、パンタグラフピーク音や先頭部、車間部音源と比較して小さく、この部分で騒音低減が図られても、25m点における騒音低減効果は小さい。25m点における評価から床下吸音パネルの騒音低減効果は320km/hレベルで0.1dB程度という結果が得られたが、吸音面積に対して騒音低減効果が小さい結果となっているのは、こうした理由によるものと考えられる。

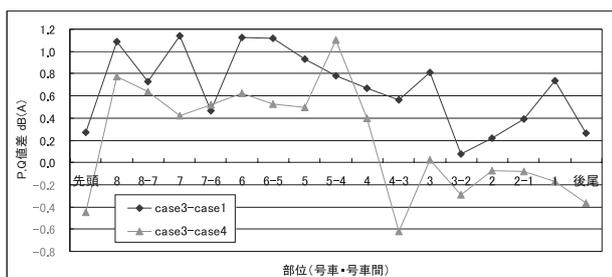


図12 P,Qレベル差比較

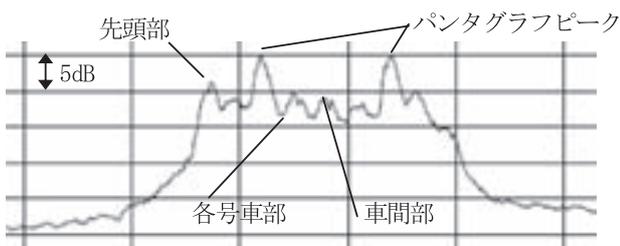


図13 超指向性マイクロホン測定波形 (FASTECH360S)

また図7から図9の各測定点での結果から以下のことがいえる。図7からわかるように、FASTECH360Sの320km/hレベルでのレール近傍音は、営業車の270km/hレベルに比べて大きく、営業車同様吸音パネルのない車両条件であるcase3と比較して、3dB程度の差が見られる。式(1)を用いて速度による騒音レベルの差を計算すると、約3.4dBになることから、レール近傍音についてはFASTECH360Sは営業車を若干上回るレベルであり、速度が上昇する分だけ騒音が悪化していることがわかる。一方、吸音パネルを取り付けた場合、いずれのケースにお

いても騒音は低減されるが、それでもレール近傍においては、営業車のレベルには及んでいないことがわかる。

これに対し、図8の防音壁天端のグラフを見ると、吸音パネルのないcase3以外は騒音レベルを営業車以下に抑えることができていることがわかる。これは、これまで述べたように、防音壁間の多重反射過程において側スカート

の吸音効果が発揮されるためである。図9に示す25m点騒音では、吸音パネルのないcase3においても、営業車との差は大幅に縮小している。これは主にパンタグラフ系の低騒音化により達成されているものであると見ることができる。しかしながら、それでもなお25m点騒音は営業車を上回っているのに対し、吸音パネルが取り付けられている他のケースでは、騒音レベルが営業車のレベルを下回っていることから、320km/hレベルにおいて現状非悪化を達成するためには、吸音パネルが必須であるということができる。

5. 結論

FASTECH360Sに装備されている吸音パネルを一定の範囲ごとに吸音材のないパネルに交換してその部分の吸音効果を無くし、全体騒音への影響度を調べることにより効果的な取付範囲の検証を行った。その結果、以下の見を得た。

- (1) 吸音パネルを車体下部に取り付けることにより、320km/h、25m点において約0.9dBの騒音低減が可能である。
- (2) 各部位吸音パネルの寄与度は、側スカート部の吸音パネルによるものが約0.8dB、床下部の吸音パネルによるものが約0.1dBである。
- (3) 側スカート部、床下部に加えて台車端部・側ハリ部に吸音パネルを取り付けても、25m点の騒音低減効果の向上には寄与しない。

参考文献

- 1) 村田香, 佐藤寿一, 佐々木浩一; 新幹線の集電系および車体下部騒音の低減対策, JR EAST Technical Review, No.1 Autumn 2002, pp.13-21
- 2) 井門敦志, 栗田健, 堀内雅彦; 車体下部音の吸音対策, JR EAST Technical Review, No.14 Winter 2006, pp.26-29
- 3) Douglas C Montgomery; Introduction to Statistical Quality Control 4th edition
- 4) Jerry Banks, et al; Discrete-Event System Simulation 3rd edition