

# 平滑化舟体と舟支え部の改良による パンタグラフの空力音低減

光用 剛\* 白田 隆之\* 平川 裕雅\*  
磯野 達志\* 長尾 恭平\* 若林 雄介\*\*

## Aerodynamic Noise Reduction of Pantograph by Applying Smooth Profile Pantograph Head and Improving Pantograph Head Support

Takeshi MITSUMOJI Takayuki USUDA Hiromasa HIRAKAWA  
Tatsushi ISONO Kyohei NAGAO Yusuke WAKABAYASHI

Reduction of aerodynamic noise emitted from a pantograph is an important subject for reducing environmental impact and improving speed of high-speed trains. The previous study has proposed several aerodynamic noise reduction methods: smoothing pantograph head cross section, shifting pantograph head position, and applying porous material. This study for practical application of these aerodynamic noise reduction methods is carried out to develop an improved pantograph head and its support. On the basis of a wind tunnel test result, it is clarified that a pantograph using these aerodynamic noise reduction methods can reduce aerodynamic noise by 2.7dB compared with the currently used pantograph.

キーワード：パンタグラフ，空力音，多分割平滑化舟体，改良舟支え，多孔質材

### 1. はじめに

新幹線の更なる高速化を実現するうえで、沿線騒音、特に空力音の低減が重要な課題となっている。新幹線車両の構成機器のうち、パンタグラフは主要な空力音源のひとつとなっており、特に舟体・舟支え部（図1）についてはその寄与が大きいことがわかっている。ここで、舟体は厳密には架線としゅう動するすり板を取り付ける部材のことであるが、本論文では舟体およびすり板を総称して単に舟体と記すこととする。

空力音は物体後流に生じる渦の非定常運動に起因して発生することから、舟体から発生する空力音を低減するためには、舟体に翼型のような流線形断面形状を採用し、舟体周りの流れの剥離を抑制して後流の渦の巻込みを弱めることが望ましい。一方、舟体には、空力音が小さいことだけでなく、高速走行中に安定した揚力が作用することもまた重要な特性として求められる。ここで言う安定した揚力とは、集電系にとって適切な値に揚力が維持され、迎角変化やすり板摩耗による形状変化に対する揚力変化量が小さいことを意味している。流線形断面の舟体は迎角変化やすり板摩耗時の形状変化に対して揚力が敏感に変化する傾向があり、空力音低減のために舟体形状を単純に流線形化することは容易ではない。こうした

制約から、現在、舟体としては図2(a)に示すような鈍頭断面形状のものが用いられる場合が多い。

過去の研究では、CFD解析と形状最適化手法を組み合わせた手法を用い、走行方向を一方に限定したうえで空力音の低減と揚力特性の安定化を両立する舟体断面形状（図2(b)、以下、平滑化舟体）が提案されているほか、貫通孔の適用により、さらなる空力音の低減が可能であることが確認されている<sup>1)</sup>。また、舟体・舟支え部の空力音低減においては、舟体と舟支え部の流れの干渉を制

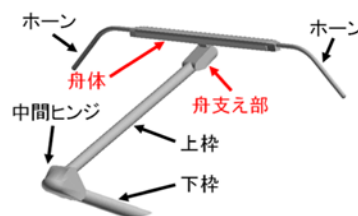
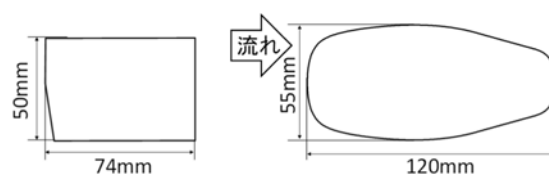


図1 新幹線パンタグラフの構成



(a) 現用舟体の例

(b) 平滑化舟体

図2 舟体断面形状

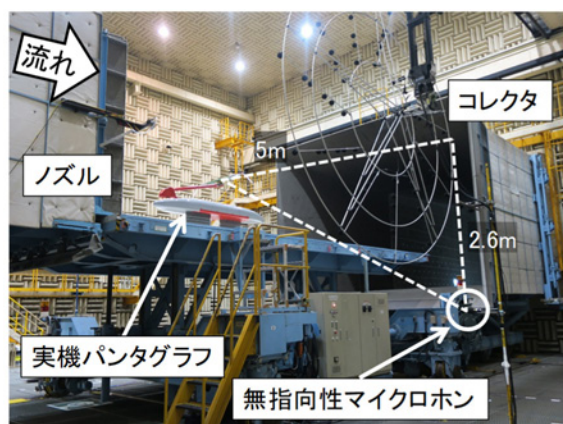
\* 鉄道力学研究部 集電力学研究室

\*\* 東日本旅客鉄道株式会社

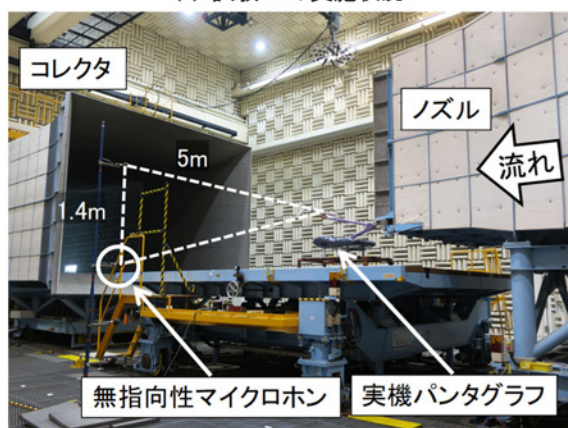
御することも重要であり、過去の研究において、舟体位置の変更や舟支え部への多孔質材の適用による空力音低減手法が提案されている<sup>2) 3) 4)</sup>。これらの手法を実用化するうえで、空力音の低減に加えて、部材強度の確保や高い追従性能、安定な揚力特性など、パンタグラフに必要な性能要件を満たすよう開発を行うことが重要である。そこで、本研究では、なびき方向での走行を前提として、過去に提案された平滑化舟体、舟体位置の移設、多孔質材の適用の3つの手法について実用化に向けた検討を行い、実機への適用が可能な改良部材を製作したうえで、それらの空力音低減効果を風洞試験において確認した。

## 2. 風洞試験方法

風洞試験は新幹線用実機パンタグラフを供試体として、鉄道総研の大型低騒音風洞（開放型計測部、吹出口3m×2.5m、最大風速111m/s）において実施した。図3に風洞試験の実施状況を示す。本研究では、図3(a)に示す試験Aにより空力音を評価することを基本としたが、一部の試験においては、試験時の制約から図3(b)に示す試験Bにより空力音の評価を実施した。どちらの試験も、試験風速は100m/s（360km/h）であり、舟体厚さに基づ



(a) 試験Aの実施状況



(b) 試験Bの実施状況

図3 風洞試験の実施状況

いて算出した試験時のレイノルズ数は $4.2 \times 10^5$ である。

試験Aはパンタグラフ全体が気流にさらされる状態で実施し、パンタグラフの側方斜め下位置に設置した無指向性マイクロホンにより空力音を評価した。無指向性マイクロホンの流れ方向位置は舟体中心位置から356mm上流側、左右方向位置は、舟体中心位置から5m側方、高さ方向位置は舟体上面から2.6m下方位置に設定した。

試験Bはパンタグラフの枠組以上の領域が気流にさらされる状態で、パンタグラフの側方斜め下位置に設置した無指向性マイクロホンにより空力音を評価した。このとき、パンタグラフ本体は試験Aで使用したものとは別の型式のものを使用した。また、無指向性マイクロホンの流れ方向位置は舟体中心位置から356mm上流側、左右方向位置は舟体中心位置から5m側方、高さ方向位置は舟体上面から1.4m下方位置に設定しており、試験Aとはパンタグラフに対する無指向性マイクロホンの高さが異なっている。これは、パンタグラフの設置方法の違いに起因する、無指向性マイクロホンからパンタグラフへの見通しの違いを考慮したためである。

どちらの試験においても、騒音レベルは空力音測定波形に対して1/3オクターブバンド周波数分析を実施し、A特性補正を施して算出した。以下では、騒音レベルのオーバーオール値をOA値と記す。また、試験A、試験Bともに、暗騒音に相当する条件として舟体を取り外した条件での試験を実施しており、以下では必要に応じて空力音測定結果に併記することとする。

## 3. 舟体の空力音低減

### 3.1 多分割平滑化舟体の概要

舟体は架線とのしゅう動を担う部材であり、空力音の低減だけでなく、安定な揚力特性と高い追従性能を有している必要がある。これを踏まえ、舟体の新しい追従機構として多分割舟体機構を提案し、平滑化舟体に適用した多分割平滑化舟体（図4）を開発した<sup>5)</sup>。多分割平滑化舟体は、舟体が左右方向に9つの要素に分割され、このうち、中央部の7つの要素が芯材に対して断面形状を維持した状態で上下動作する可動機構を構成している（図4(a)）。これにより、可動機構の動作による舟体断面形状の変化を回避し、揚力特性の安定化を図るとともに、すり板や舟体要素に軽量の材質を用いることで、追従性能の向上を図っている。

多分割平滑化舟体の断面形状は平滑化舟体（図2(b)）を基本としたが、追従機構を実装するために寸法をレール方向、高さ方向ともに拡大している。また、すり板については、製造コストを考慮し、曲線状の断面形状から直線状の断面形状に変更している。また、揚力特性を調

整する目的で舟体上面側の前縁部に切り欠きを設けている。なお、後縁側の切り欠きはすり板および舟体の製造上の制約により設けている。

このほか、空力音低減を目的として、各舟体要素に外形寸法が5mm×17mmの長円形断面を有する貫通孔を多分割平滑化舟体に配置した。また、舟体の左右端部には過去の研究<sup>4)</sup>に基づいた平滑形状を採用するとともに、ホーンについても、断面形状を円形から長円形に変更している(図4(b))。

多分割平滑化舟体の集電性能については、文献5において検討がなされており、現用舟体と同等の集電性能を有することを確認している。

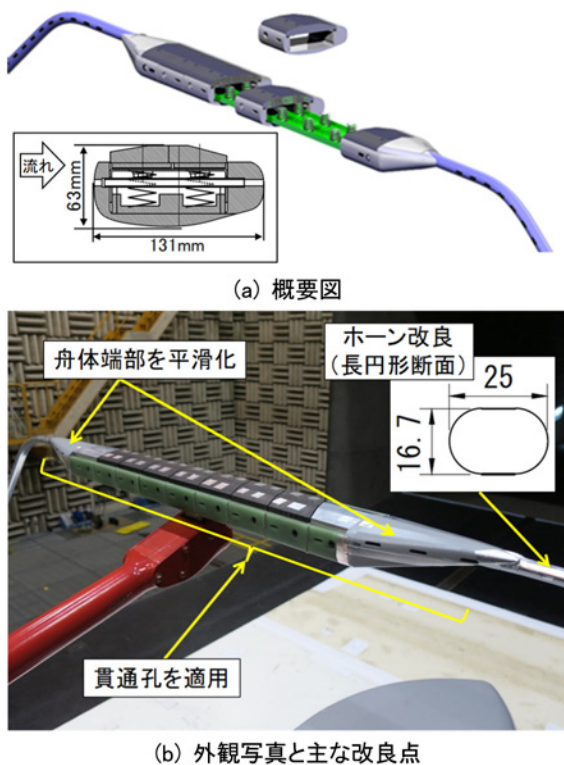
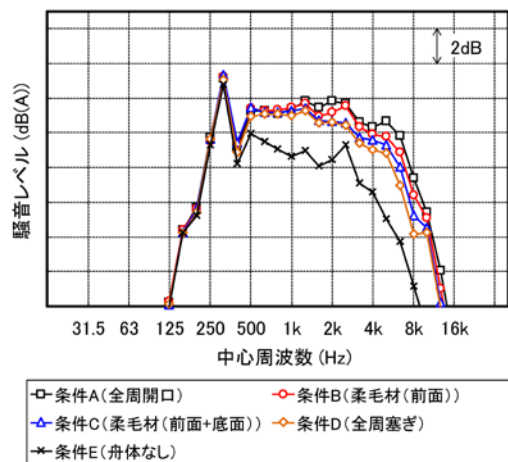
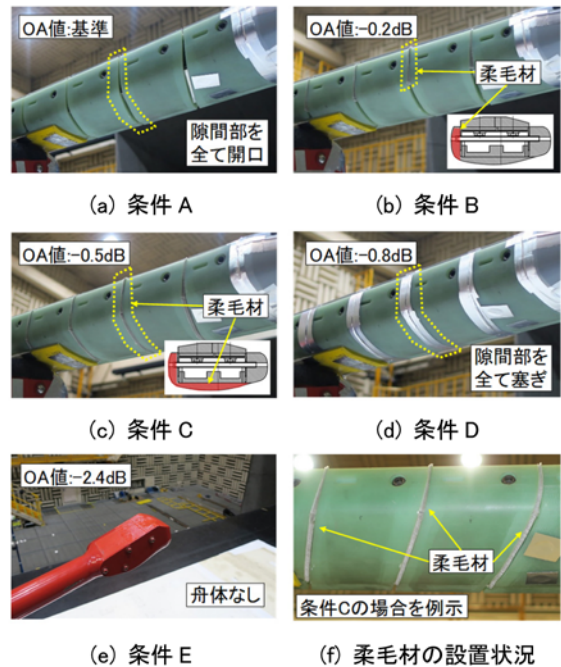


図4 多分割平滑化舟体の概要と外観

### 3.2 多分割平滑化舟体の空力音低減

多分割平滑化舟体には、舟体要素間に可動用の隙間が設けられている。風洞試験の結果、この隙間部に起因して広帯域音が発生することがわかったため、その低減対策について検討を行った。この広帯域音は舟体要素の内部に流入した流れが芯材やばねなどの部材に衝突して発生しているのではなく、隙間部に流れが流入すること自体がその発生要因であることが確認された。また、隙間部の稜角部を丸める、稜角部に流れの流入を抑制するような段差を設ける、隙間部内壁に吸音材を設置するなどの検討を行ったものの、効果的に広帯域音を低減することはできなかった。これらの検討の結果、広帯域音の低減には、隙間部の外周を塞ぐことが重要であることが

わかってきた。一方で、隙間部は分割された舟体要素が上下動作を行ううえで必要なものであり、舟体要素の上下動作を阻害することなく、隙間部を塞ぐ対策が必要となる。そこで、隙間部への流れの流入を抑制する対策として、隙間部の内壁に柔毛材を設置した。図5に隙間部に柔毛材を適用した場合の試験条件と空力音測定結果を示す。図5(a)～図5(e)は試験条件を示し、各図の左上に、隙間部を全開とした条件Aを基準とするOA値の変化量を記載している。本試験は試験Aにおいて実施し、頂点カバーについては、平滑な形状の頂点カバーの上面側稜角部に多孔質材を適用した条件とした。ただし、暗騒音に相当する条件として設定した条件E(図5(e)、舟体なし)については、現用の頂点カバーを使用した。



(g) 空力音測定結果(100m/s)

図5 多分割平滑化舟体の試験条件と空力音測定結果(試験A)

空力音測定結果（図 5(f)）を参照すると、隙間部を全開とした条件 A（図 5(a)）に対して、舟体の前縁側の隙間部内壁に柔毛材を適用した条件 B（図 5(b)）では、主として 1.6kHz 以上の周波数帯において騒音レベルが低減しているものの、図 5(a)(b) より OA 値の低減量は 0.2dB に留まっている。これに対し、舟体の前縁から底面にかけての隙間部内壁に柔毛材を適用した条件 C（図 5(c)）では、隙間部を全開とした条件 A（図 5(a)）に対して、1.6kHz 以上の周波数帯において騒音レベルが大きく低減し、隙間部を全周にわたって塞いだ条件 D（図 5(d)）に近いレベルまで騒音レベルが低減している。OA 値の低減量についても、条件 C については 0.5dB（図 5(c)）であり、条件 D の OA 値の低減量 0.8dB（図 5(d)）に近いレベルであることがわかる。以上の結果から、多分割平滑化舟体の隙間部の条件として、条件 C を選定した。

#### 4. 舟支えの改良による空力音低減

過去の研究により、舟体と舟支え部の流れの干渉に起因する空力音を低減するための舟体・舟支え部の位置関係として、舟体を上流側に移設する、あるいは、下流かつ下方に移設することが有効であることが確認されている<sup>4)</sup>。本研究では、このうち、パンタグラフの機構の構成などを考慮して、舟体を上流側に移設する舟体位置（図 6(a)）を選定し、実機の舟支え金具を製作した。舟支え金具の製作においては、パンタグラフの機構や金具の強度を考慮し、図 6(b) に示す改良舟支えを製作した。改良舟支えによる空力音低減効果については、6 章に記載する。

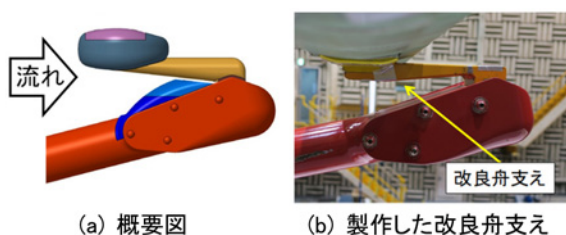


図 6 改良舟支え

#### 5. 多孔質材の適用による空力音低減

##### 5.1 埋込部分適用

多孔質材をパンタグラフのカバー類に適用する場合には、図 7(a) に示すようにカバー表面に多孔質材を接着する方法や、カバーを構成する FRP を積層する際に多孔質材を一体成形する方法が過去の研究において提案されており、それぞれ十分な取り付け強度が確保できることが確認されている。一方で、今後の実用化の推進においては、空力音の低減に効果的な必要最小限の領域に、さらに信頼性の高い方法で多孔質材を取り付ける必要が

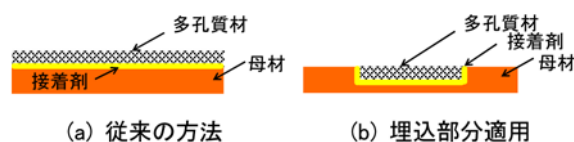


図 7 多孔質材の適用方法

ある。そこで、図 7(b) に示すように、母材に対して多孔質材を埋め込んで適用する方法（以下、埋込部分適用）を提案し、本手法を舟支え部の頂点カバーに適用する場合について検討を行った。

##### 5.2 頂点カバーへの多孔質材の埋込部分適用

頂点カバーへの多孔質材の埋込部分適用による空力音低減効果を確認するため、図 8 に示す 2 種類の頂点カバーを使用した。このうち、図 8(a) の平滑形状 1 は、頂点ヒンジを全周にわたって三次元的な曲面形状で平滑に覆うように構成されたカバーである。これに対し、図 8(b) の平滑形状 2 は、多孔質材の適用を考慮して、カバーの上下面について、平面と単一寸法の R 形状により、頂点ヒンジを全周にわたって平滑に覆った形状である。どちらの頂点カバーも、厚さ 3mm の内層の上に厚さ 5mm の外層を被せた二重構造となっており、外層を部分的に厚さ 5mm の樹脂製多孔質材（イノアック社製モルトフィルター、MF-13）に置き換えることで、多孔質材を埋込部分適用する構造とした（図 8）。

風洞試験は試験 B（図 2(b)）において実施した。この時の舟体は、多分割平滑化舟体の実物大の模型（揚力調整用の切り欠きなし）を使用し、舟体要素間の隙間部は塞いだ状態とした。

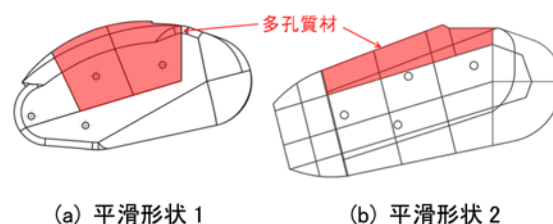


図 8 頂点カバーの外形状  
（上面側の稜角部に多孔質材を適用した場合を例示）

図 9 に、試験 B で得られた騒音レベル OA 値の比較図を示す。平滑形状 1 の結果に着目すると、頂点カバーの上面側の稜角部を含む領域に多孔質材を埋込部分適用することで、多孔質材を適用しない場合と比べて OA 値が 0.5dB 低減している。この場合の OA 値は、多孔質材を頂点カバー全周にわたって適用した場合の OA 値よりも 0.3dB 大きいものの、多孔質材の適用領域を縮小しても大きな空力音低減効果が得られることが確認できる。平滑形状 2 についても同様に、多孔質材を頂点カ

バーの上面側の稜角部に埋込部分適用することで OA 値が 1.3dB 低減しており、多孔質材を頂点カバー全周にわたって適用した場合の OA 値の低減量 1.5dB に近い空力音低減効果が得られている。また、平滑形状 1 と平滑形状 2 の OA 値を比較すると、多孔質材を適用しない場合は、平滑形状 2 の方が OA 値が 0.7dB 大きい一方で、多孔質材を埋込部分適用した場合や全周にわたって適用した場合には、両者の OA 値はほぼ同等のレベルに低減していることがわかる。

以上より、頂点カバーへの多孔質材の適用については、適切な領域に多孔質材を埋込部分適用することで、全周に適用した場合に近い空力音低減効果が得られることがわかった。また、多孔質材を適用しない状態で騒音レベルに差異がある頂点カバーでも、多孔質材を適用することで騒音レベルを同等のレベルにまで低減できる場合があることが確認された。

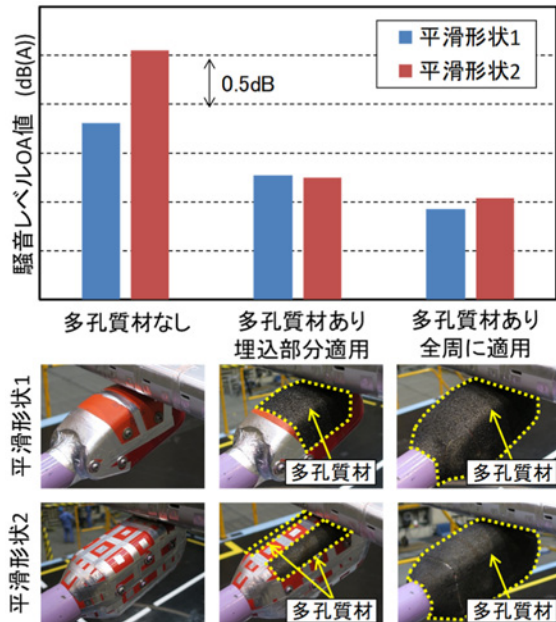


図9 多孔質材の埋込部分適用による空力音低減効果 (試験 B, 風速 100m/s)

### 5.3 製作性を考慮した頂点カバーの改良

前節の試験結果を踏まえ、頂点カバーや金属多孔質材の製作性を考慮して、頂点カバー形状のさらなる改良を行い、試験 A により空力音低減効果を確認した。試験条件と空力音測定結果を図 10 に示す。なお、試験においては、舟体は多分割平滑化舟体を使用し、舟体要素間の隙間の条件は図 5(c) の条件 C とした。本試験では、現用の頂点カバー (図 10(a)) に対して、カバーを左右方向に 10mm ずつ拡幅し、上面側の稜角部を含むように、厚さ 10mm の金属多孔質材をカバー側面に平面的に埋込部分適用する改良を施した (図 10(b), 以下、改良形状と記す)。また、比較対象として、平滑形状 2 の稜角部に樹

脂製多孔質材を埋込部分適用した条件 (図 10(c)) についても試験に供した。なお、多孔質材の素材の違いについては、空力音特性に影響を及ぼさないことが文献 2 において確認されている。空力音測定結果 (図 10(d)) を参照すると、改良形状、平滑形状 2 とともに、現用カバーと比べて 500Hz 以上の周波数帯において騒音レベルが低減しており、OA 値の低減量は改良形状で 0.4dB、平滑形状 2 で 0.6dB である。また、改良形状と平滑形状 2 を比較すると、2kHz から 8kHz にかけての周波数帯において、改良形状の方が騒音レベルが大きいものの、OA 値については 0.2dB の差に留まっており、製作性を考慮して頂点カバー形状を変更した場合でも、一定の空力音低減効果が得られることを確認した。

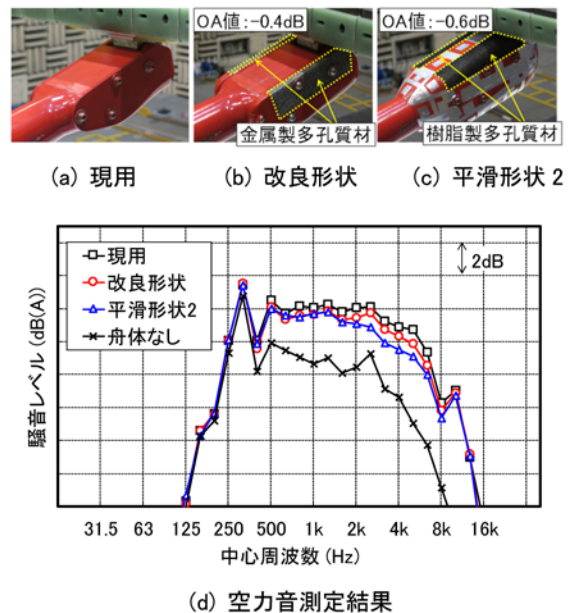


図 10 多孔質材による空力音低減効果 (試験 A, 100m/s)

## 6. 空力音低減効果

本研究で開発した多分割平滑化舟体、改良舟支え、金属多孔質材付き頂点カバーを実機パンタグラフに段階的に適用した場合の試験条件を図 11 に、空力音低減測定結果を図 12 に示す。現用パンタグラフ (図 11(a), 条件 1) に対して、多分割平滑化舟体を搭載した条件 2 (図 11(b)) では、630Hz 以上の周波数帯において騒音レベルが大きく低減し、OA 値が 1.9dB 低減していることが確認できる。この状態に対して、舟支え部に改良舟支えを適用した条件 3 (図 11(c)) および金属多孔質材付き頂点カバーを適用した条件 4 (図 11(d)) においては、630Hz 以上の周波数帯において騒音レベルがさらに低減し、OA 値も 0.5dB 程度低減することが確認できる。さらに、多分割平滑化舟体、改良舟支え、金属多孔質材付き頂点カバー

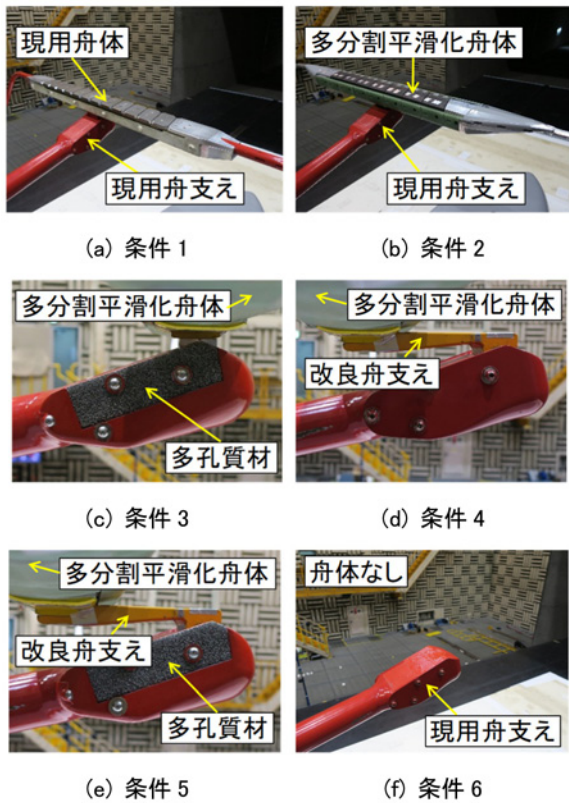
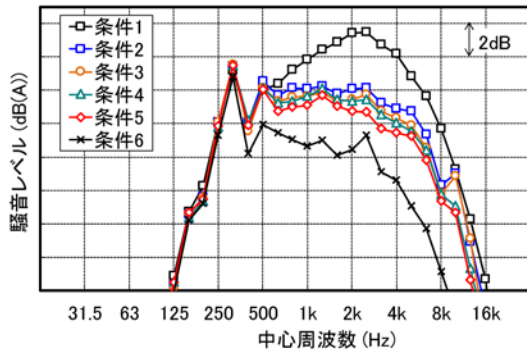
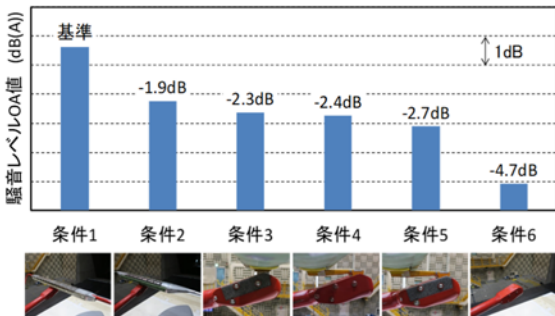


図 11 舟体・舟支え部の試験条件



(a) 空力音のスペクトルの比較



(b) 騒音レベル OA 値の比較

図 12 空力音低減対策による効果  
(試験 A, 100m/s)

の3つの対策を全て組み合わせた条件5(図11(e))では、630Hz以上の周波数帯において騒音レベルが最も低減しており、OA値が現用パンタグラフに対して2.7dB低減することが確認できる、以上より、本研究で提案した舟体・舟支え部の空力音低減対策により、効果的に空力音を低減できることを確認した。

## 7. まとめ

本研究では、なびき方向走行を前提とした舟体・舟支え部の実機適用可能な空力音低減対策として、多分割平滑化舟体、改良舟支え、金属多孔質材付き頂点カバーを開発した。これらの対策を適用した場合の、風速100m/sにおける空力音低減効果を風洞試験において確認した結果、以下のことがわかった。

- (1) 多分割平滑化舟体を適用することで、現用パンタグラフに対してOA値を1.9dB低減できる。
- (2) 多分割平滑化舟体に加え、改良舟支えまたは金属多孔質材付き頂点カバーを適用することで、OA値をさらに0.5dB程度低減できる。
- (3) 多分割平滑化舟体、改良舟支え、金属多孔質材付き頂点カバーを全て組み合わせて適用することで、現用パンタグラフに対してOA値を2.7dB低減できる。

今後は、本研究で開発した空力音低減対策について、高速域での追従性能の検証や揚力特性のさらなる安定化についての検討を進める。

## 文献

- 1) 吉田和重, 鈴木昌弘, 池田充: 揚力特性および低騒音性を考慮した舟体形状最適化の基礎検討, 鉄道総研報告, Vol. 19, No. 9, pp. 23-28, 2005
- 2) 末木健之, 池田充, 高石武久: 多孔質材の表面貼付による空力音低減効果と集電装置への応用, 鉄道総研報告, Vol. 22, No. 5, pp. 11-16, 2008
- 3) 池田充, 末木健之, 光用剛: 部材間干渉緩和と多孔質貼付によるパンタグラフ空力音低減, 鉄道総研報告, Vol. 24, No. 4, pp. 43-48, 2010
- 4) 光用剛, 佐藤祐一, 白田隆之, 山崎展博, 宇田東樹, 若林雄介: 舟体・舟支え部の形状改良によるパンタグラフの空力音低減, 鉄道総研報告, Vol. 31, No. 4, pp. 5-10, 2017
- 5) 白田隆之, 光用剛, 長尾恭平, 磯野達志, 若林雄介: 多分割舟体実機による集電性能検証試験, 第26回鉄道技術連合シンポジウム (J-RAIL2019), 2019
- 6) 光用剛, 長尾恭平, 白田隆之, 若林雄介: パンタグラフの舟支え部への多孔質材適用による空力音低減, 第28回環境工学総合シンポジウム, 2018