

# パンタグラフの舟体・舟支え部の空力音を低減する

現在、新幹線は最高速度320km/hで営業運転を行っています。今後、新幹線のさらなる高速化を実現するためには沿線騒音の低減が必須であり、なかでもパンタグラフからの空力音を低減することは重要な課題の一つとなっています。パンタグラフ各部のなかでも、舟体・舟支え部は主要な空力音源ですが、良好な集電性能を実現するうえでも重要な部材であるため、空力音低減だけでなくさまざまな性能要件を満たして開発を進める必要があります。ここでは、この舟体・舟支え部の空力音低減策について紹介します。

## はじめに

ここでは、パンタグラフに求められる性能要件を概説したうえで、舟体・舟支え部の実機レベルの空力音低減策として提案した多分割平滑化舟体、改良舟支え、多孔質材付き頂点カバーの3つの対策について紹介します。

## パンタグラフの性能要件

パンタグラフは架線としゅう動し、車両に電力を供給する装置です。そのため、パンタグラフに求められる性能要件としては、高速走行時においても架線と良好な接触状態を維持すること、すなわち、良好な集電性能を実現することが必須の要件となっています。そのうえで、新幹線パンタグラフには低騒音であることが求められます。これは、日本では沿線騒音に対して世界的にみても厳しい環境基準が定められているためです。以下、これらの性能要件を実現するうえで重要となる、追従性能、揚力特性の安定化、空力音の低減について説明します。

### 性能要件①追従性能

パンタグラフの集電性能を考えるうえで、図1に示す舟体・舟支え部は重

要な部材となっています。一般に、舟体には架線に追従するためのばね機構が備えられており、架線に対して良好な追従性能を有することが重要となります。ばね機構の例としては、舟体（図1赤色部分）に対してすり板（図1緑色部分）を上下動作させる機構（可動式すり板機構とよばれます）が広く用いられています。とくに、国内最高速度で営業運転をしているE5系、E6系では、すり板をまくらぎ方向に細かく分割して可動部の質量を低減し、高い集電性能を実現する機構（多分割すり板機構とよばれます）が採用されています。これにより、通常、1編成で2台搭載されているパンタグラフのうち、1台のみで走行を行うことができ、その結果、騒音が小さくなるなびき方向（図2参照）でのみパンタグラフを使

### パンタグラフの向きについて

シングルアームパンタグラフの場合、図1のように中間ヒンジが上流側に位置する向きを「なびき方向」、その逆を「反なびき方向」と呼びます。一般には、「なびき方向」の方が騒音（空力音）が小さくなる場合が多いことが知られています。



光用 剛  
Takeshi Mitsumoji  
鉄道力学研究部  
集電力学研究室  
主任研究員



臼田 隆之  
Takayuki Usuda  
前 鉄道力学研究部  
集電力学研究室長  
(現 総務部 広報課長)



平川 裕雅  
Hiromasa Hirakawa  
元 鉄道力学研究部  
集電力学研究室  
副主任研究員



長尾 恭平  
Kyohei Nagao  
前 鉄道力学研究部  
集電力学研究室  
研究員



小林 樹幸  
Shigeyuki Kobayashi  
鉄道力学研究部  
集電力学研究室  
主任研究員

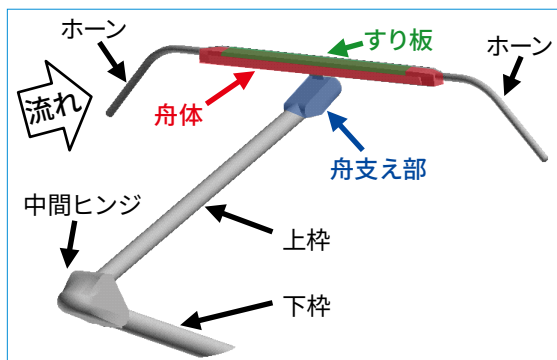


図1 新幹線用パンタグラフの構成

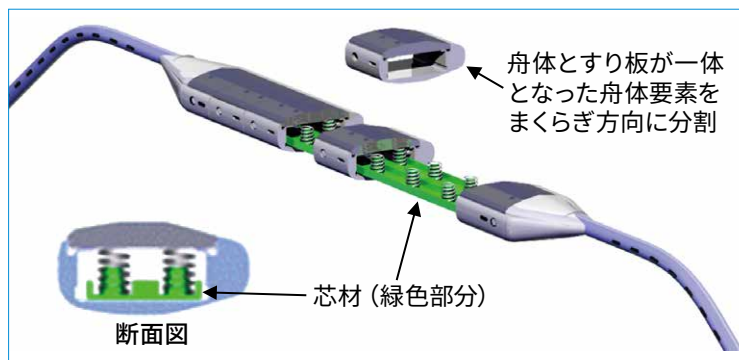


図3 多分割舟体機構の概要図

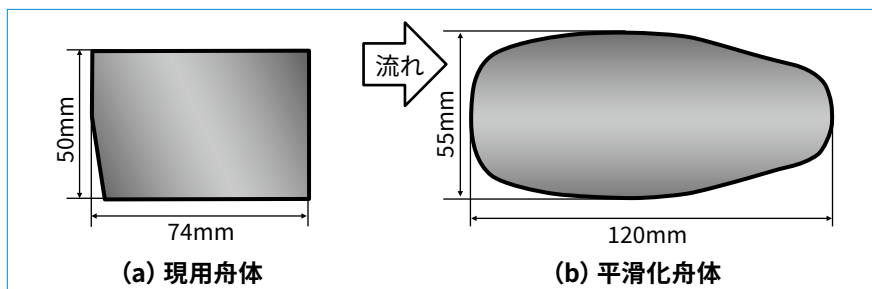


図2 舟体の断面形状

用することが可能となっています。

#### 性能要件②揚力特性の安定化

パンタグラフは車両の屋根上で高速の気流にさらされるため、揚力が発生します。良好な集電性能を実現するうえでは、パンタグラフの揚力特性を安定化させることが重要です。ここで、揚力特性の安定化とは、架線としゅう動するうえでつねに適切な値に揚力が維持されることを意味しています。特に、揚力特性への影響が大きい舟体については、舟体から見た時の上下方向の風向変化（迎角変化）やすり板摩擦による断面形状変化に対しても、揚力が大きく変化しないことが求められます。これらのことを考慮して、現在用いられている舟体の断面形状の例としては、図2 (a) のような矩形を基本とした形状のものが用いられています。

#### 性能要件③空力音の低減

パンタグラフの騒音の中でもっとも寄与が大きいものは、物体が空気中を高速で走行する際に生じる風切り音（以下、空力音とよびます）です。空

力音は列車速度の6乗から8乗に比例して大きくなることが知られており、列車速度が大きくなるほど顕在化する性質があります。空力音は物体が空気中を高速で走行する際に生じる渦や乱れによって発生するため、その低減には物体の形状を流線形化することが有効です。しかし、パンタグラフには、単純に形状を変更することが困難な部材があります。とくに、空力音への寄与が大きい舟体については、断面形状の流線形化によって揚力特性の安定化が損なわれる傾向があり、断面形状を改良することが容易ではありません。そこで、過去の研究では、数値流体解析（CFD解析）と最適化手法を組み合わせ、一方向走行を前提として揚力特性の安定化と空力音の低減を両立する舟体断面形状（図2 (b)、以下、平滑化舟体とよびます）を提案しています。

#### 空力音低減策

これまで説明したパンタグラフに求められる性能要件を踏まえ、以下では

今回提案した3つの空力音低減策について紹介します。

#### 対策①多分割平滑化舟体

舟体の空力音を低減するうえでは、平滑化舟体（図2 (b)）のような断面形状を用いることが有効です。しかし、架線への追従機構として、一般的に用いられている可動式すり板機構を平滑化舟体に適用すると、すり板の上下動作にともなって舟体の断面形状が変化し、安定な揚力特性が損なわれる可能性があります。そこで、新たな追従機構として、図3に示す多分割舟体機構を提案しました。多分割舟体機構では、舟体に対してすり板を上下動作させるのではなく、舟体とすり板が一体となった舟体要素を構成し、これを芯材に対して上下動作させる機構としています。このとき、舟体要素をまくらぎ方向に分割することで、可動部の質量を低減し、良好な追従性能が得られるようにしています。

図4に多分割舟体機構を平滑化舟体に適用して開発した、多分割平滑化舟体を示します。すり板にはカーボン系すり板を、舟体には軽量・高強度な樹脂材料をそれぞれ用いることで、可動部の質量低減を図っており、定置でのしゅう動試験などにより良好な集電性能が得られることを確認しています。また、舟体の断面形状については、すり板の製造コストを考慮して直線的な断面形状のすり板を採用したことによ

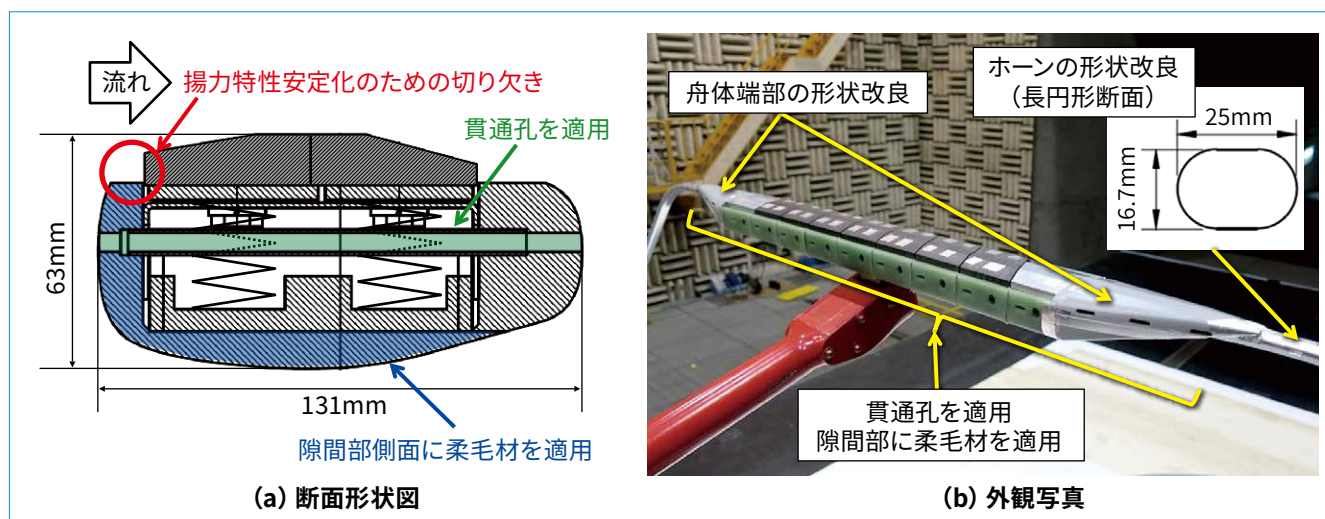


図4 開発した多分割平滑化舟体

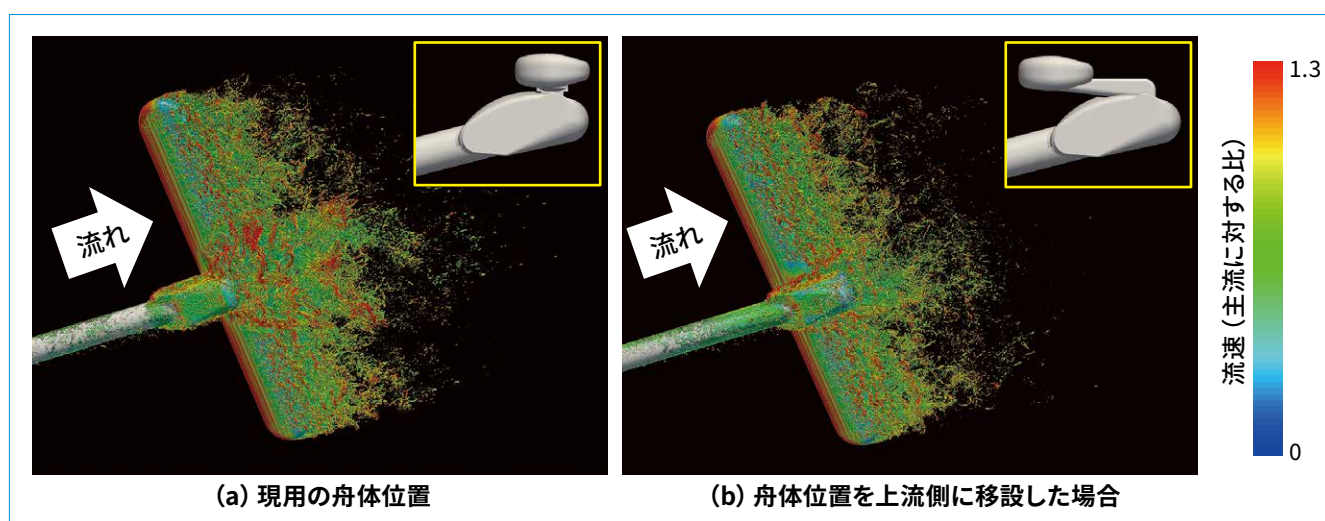


図5 舟体位置を変更した場合の渦の様子 (CFD解析)

り揚力特性に影響が及んだため、その対策として舟体上面の前縁部を切り欠く対策を行っています(図4(a))。さらに、空力音の低減のため、各舟体要素には前後に貫通する穴(貫通孔)を設けるとともに、舟体要素間の可動用の隙間部を塞ぐ柔軟な部材として柔毛材を適用しています。このほか、舟体端部においてホーンと滑らかに接合するような形状改良を行うとともに、ホーンの断面形状も円形から長円形へと改良して、空力音の低減を図っています(図4(b))。

## 対策②改良舟支え

舟体・舟支え部の空力音を低減するためには、舟体の形状改良だけでな

く、舟体・舟支え部における流れの干渉を緩和してスムーズな流れにすることもまた重要です。図5は舟体と舟支えの位置関係を変更した場合の流れ場の解析結果を表しています。現用の舟体位置(図5(a))では、舟支え部周辺から強い渦が発生しているのに対して、舟体位置を上流側に移設した場合(図5(b))には、舟支え部周辺から発生する渦が弱まり、スムーズな流れになっている様子がわかります。この知見を基に、パンタグラフとしての機構や部材の強度などを考慮して実機の改良舟支え(図6)を開発しました。この改良舟支えについては、定置でのしゅう動試験などにより、集電性能や部材強度

に影響がないことを確認しています。

## 対策③多孔質材付き頂点カバー

過去の研究において、部材表面に多孔質材を適用することで空力音を低減する手法を提案しています<sup>1)</sup>。多孔質材とは、図7に示すように多数の気孔を有する部材のことであり、空力音を低減するうえでは、隣り合う気孔同士が連通した構造を有し、多孔質材表面で流れの流入・流出が生じることが重要であることがわかっています。また、多孔質材については、過去に金属製多孔質材をパンタグラフのカバー類に適用して走行試験に供した実績があり、実用化に向けて一定の目途が立った技術と考えています。これらを踏まえ、

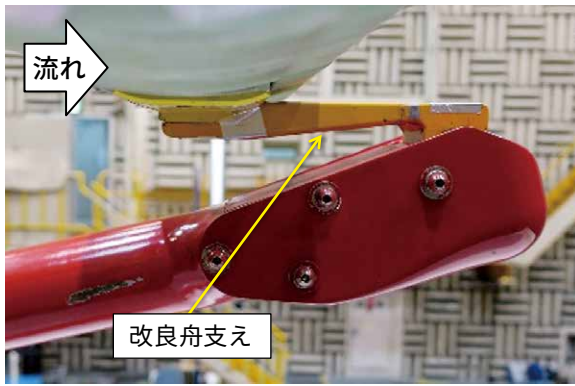


図6 開発した改良舟支え

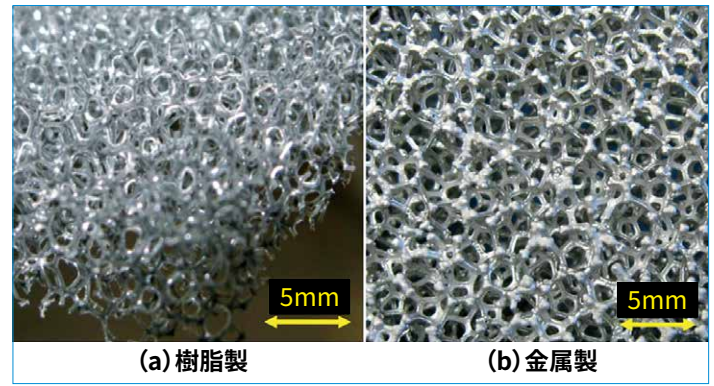


図7 多孔質材

多孔質材を舟体・舟支え部の流れの干渉を緩和する手法として適用しました。

このとき、従来の手法では、図8 (a)に示すように、舟支え部全体を多孔質材で覆うように適用していましたが、金属多孔質材を適用する場合、舟支え部の複雑な三次元曲面に沿って多孔質材の曲げ加工を行うことは困難です。そこで、新たな適用手法として、埋込部分適用を提案しました。この手法では、図8 (b) 上段に示すように、空力音低減に効果的な部位に限定して多孔質材を埋め込んで適用することにより、取り付け強度の向上と、適用領域の縮小が可能となります。図8 (b) 下段は、形状が単純な現用の舟支え部の側面において平面的に多孔質材を埋込部分適用した例であり、この適用方法においても、舟支え部の全周に多孔質材を適用した場合に近い空力音低減効果が得られることを確認しています。

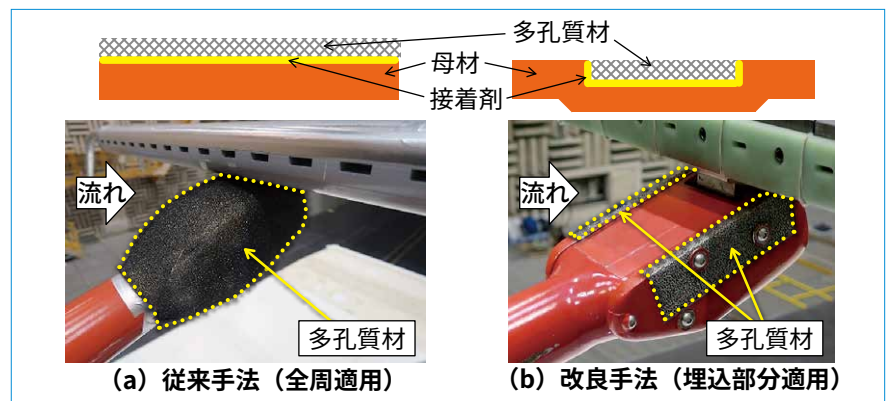


図8 多孔質材の適用手法

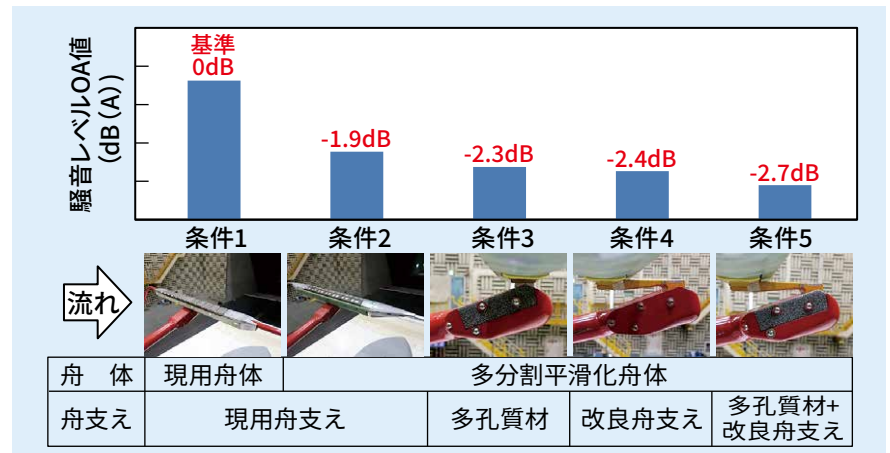


図9 空力音低減効果(風洞試験, 360km/h)

### 空力音低減効果

これまでに紹介した多分割平滑化舟体、改良舟支え、多孔質材付き頂点カバーを実機パンタグラフに適用した場合の空力音低減効果を図9に示します。本図より、多分割平滑化舟体を適用することで騒音レベルを1.9dB低減できること、また、改良舟支えおよび多孔質材付き頂点カバーを組み合わせることで、騒音レベルを最大で2.7dB低減できることを確認しました。

### おわりに

ここではパンタグラフの主要な空力音源である舟体・舟支え部の空力音低減手法を紹介しました。舟体・舟支え部の空力音低減は、さまざまな性能要件との両立が必要な難度が高い課題であり、今後も継続的に研究開発を進めていく予定です。[RRR]

### 文献

- 1) 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
- 2) 光用剛, 臼田隆之, 平川裕雅, 磯野達志, 長尾恭平, 若林雄介: 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, 鉄道総研報告, Vol.34, No.8, pp.11-16, 2020