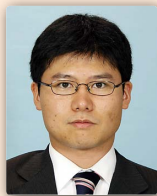


鉄道一般
車両
軌道
構造物
防災
電力
信号通信情報
材料
環境
人間科学
浮上式鉄道

# パンタグラフ空力音の 新たな低減手法を探究する

新幹線のパンタグラフから発生する空力音は、新幹線沿線騒音の主要な音源の一つとなっています。ここでは、これまでに行われてきたパンタグラフ空力音の低減方法と、物体表面への多孔質材貼り付けやプラズマアクチュエーターなど新たな観点から研究を進めている空力音の低減手法について紹介します。



**末木 健之**  
Takeshi Sueki  
環境工学研究部  
騒音解析研究室  
副主任研究員  
【専門分野】 鉄道騒音



**光用 剛**  
Takeshi Mitsumoji  
鉄道力学研究部  
集電力学研究室  
副主任研究員  
【専門分野】 集電部空力現象

## はじめに

現在の新幹線の営業最高速度は東北新幹線宇都宮～盛岡間の320km/hです。東海道新幹線が開業した当初の最高速度は210km/hでしたので、実に100km/h以上アップしたことになります。

新幹線の速度向上を実施するうえでの技術的なハードルのひとつとして、沿線騒音問題が挙げられます。沿線騒音問題を解決するために、沿線騒音の要因となっている音源(☞参照)のパワーを小さくする対策や、防音壁のように音を伝わりにくくする対策がこれ

まで行われてきました。

パンタグラフに起因する騒音には空力音やしゅう動音、スパーク音がありますが、現在の新幹線では空力音が主な音源となっています。パンタグラフは車両の屋根上に設置されるため、防音壁による遮音効果も小さく、沿線騒音への寄与は大きくなります。

## パンタグラフ空力音低減の歴史

空力音は物体周りの空気の流れに発生する渦の時間的な変動によって引き起こされることがわかっており、列車



図1 初期の新幹線パンタグラフ



図2 1990年頃のパンタグラフとその周囲

### ☞ 新幹線鉄道騒音の音源

現在の新幹線鉄道騒音の主な音源には、車輪・レールの振動から発生する転動音、コンクリート高架橋などの構造物の振動から発生する構造物音、パンタグラフや台車、車両表面の不整などに起因して発生する空力音、歯車装置などの車両機器音があります。例えば、転動音では車輪・レールを削り表面の凹凸を小さくすることで振動を抑え、騒音を低減する対策が行われています。これらの具体的な内容は参考文献1)にて紹介しています。



図3 2000年頃～現在のパンタグラフとその周囲

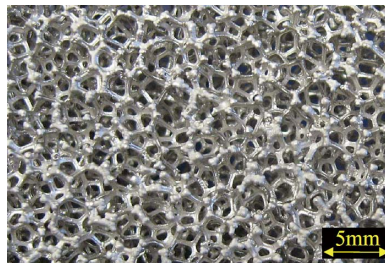


図4 多孔質材(金属製)

速度の約6乗に比例してそのパワーが増加します。これは、列車速度を210km/hから320km/hにすると、10dB以上も空力音が大きくなることを意味します。

それでは、列車速度を上げた場合に、パンタグラフから生じる空力音の増加を抑制するにはどのようにしたら良いでしょうか。この方法としては次の3つが考えられます。

- ①パンタグラフに当たる風を和らげる
- ②渦が発生しにくい形状とする
- ③渦が発生したとしても、渦の強さや時間変動を極力抑える

パンタグラフ空力音の低減手法は、これらの方法を念頭に開発されてきました。

図1は初期の新幹線に搭載されていたパンタグラフの写真です。パンタグラフの枠組部は細い枠管で構成され、しかも屋根上にむき出して設置されていたため列車速度とほぼ同じ速さの風にさらされ、大きな空力音が発生していました。

図2は1990年頃の新幹線に搭載されていたパンタグラフとその周囲の写真です。パンタグラフの基本構造は図1に示したものとほぼ同じですが、パンタグラフの周りに大きな囲い(パンタグラフカバー)が設けられています。これは先ほど述べた①の考え方に沿い、パンタグラフに当たる風を和らげることによる空力音低減や横壁による遮蔽を目指したものです。この方法によりパンタグラフからの空力音は減ったものの、パンタグラフカバーから発生する空力音などいくつかの課題

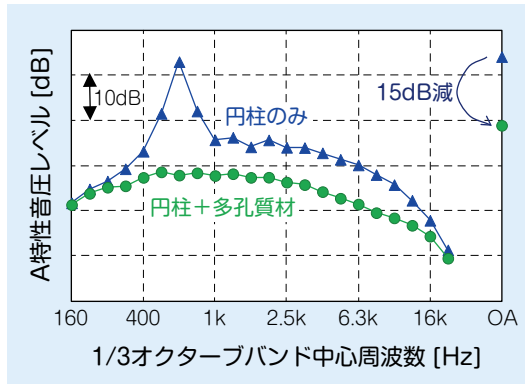


図6 円柱から発生する空力音の測定結果(円柱から5mの位置で測定, 風速300km/h)

が残されました。

図3は2000年頃のパンタグラフとその周囲の写真です。この頃からパンタグラフ自体の空力音が小さくなるように改良され、パンタグラフカバーも小型化されました。これらは、形状の平滑化や風にさらされる部分の部材点数削減による単純化を行ったもので、先ほど述べた②や③を満たすように工夫されています。

2000年頃からの考え方は現在も踏襲されており、新型のパンタグラフでも平滑な形状や部材点数の少ない単純な構成が基本となっています。

### パンタグラフ空力音低減のための新たな試み

空力音の低減には平滑形状や単純構成が基本と述べてきましたが、さらなる低減のためには新たな方法を考える必要があります。そこで、鉄道総研ではこれまでとは異なる新たな方法の開発に取り組んでいます。

#### (1) 多孔質材による空力音の低減

多孔質材と呼ばれる孔を持つ材料

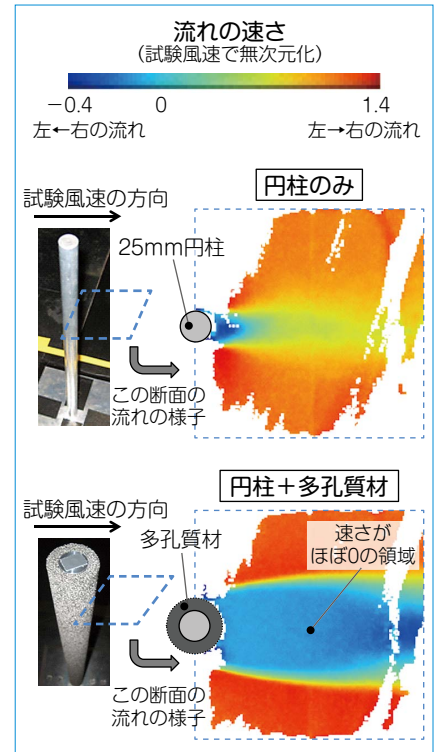


図5 円柱背面の流れの速さ

(図4)を利用すると、空力音を低減可能であることが近年の研究でわかってきました<sup>2)</sup>。

多孔質材の中を空気が流れると骨格が抵抗となりますが、これによって多孔質材の中と外で圧力差が生じます。その結果、多孔質材とその周囲との間で空気流れが生じ、物体まわりの流れが変化します<sup>3)</sup>。図5の写真のように多孔質材を直径25mmの円柱表面へ設置し、風洞と呼ばれる風を発生させる装置を用いて、円柱背後の流れの様子を調べました。図5に示すカラーマップは、粒子画像計測法(PIV)と呼ばれる方法を使用して測定を行った結果です。多孔質材の有無による違いをみると、多孔質材が表面に存在する場合は円柱の後ろ側に流れの速さがほぼゼロの領域が広がっていることがわかります。また、多孔質材が表面に存在する場合、空力音の原因である渦の時間変動が少ないことも判明しています。

図6は、図5と同様に直径25mmの円柱表面へ多孔質材を設置し、風洞を用いて円柱から発生する空力音を調べ

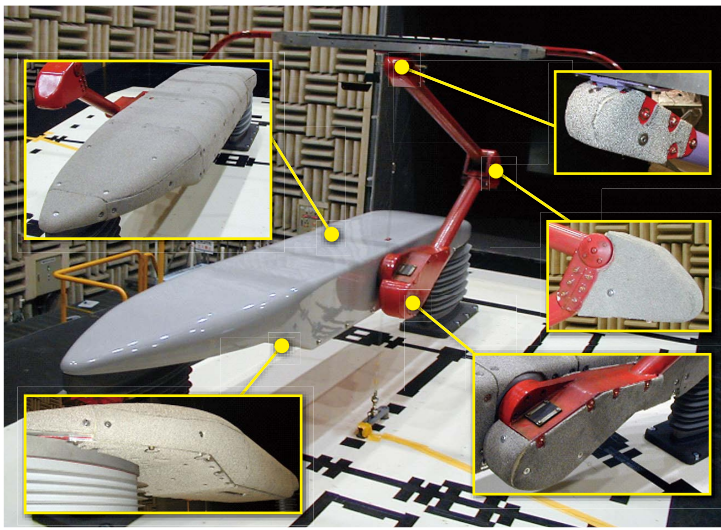


図7 多孔質材を貼り付けたパンタグラフ

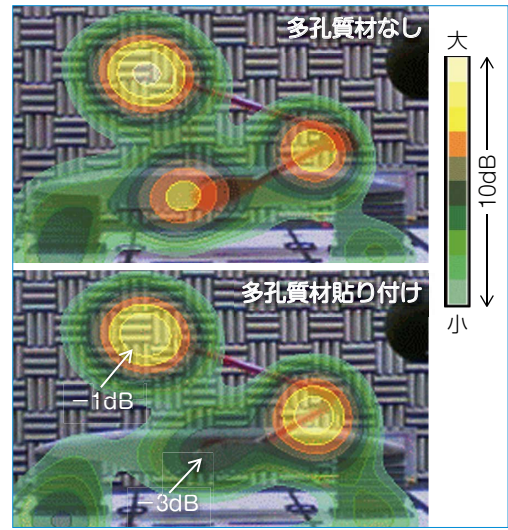


図8 空力音の分布(風速360km/h, 1kHz~1.25kHzバンドの結果)

た結果です。多孔質材が無い場合は、630Hzバンドにピークのある空力音(エオルス音)が観測されていますが、多孔質材を表面に設置するとエオルス音の発生が抑制され、全体音としても15dB低減されることがわかります。

多孔質材を利用する方法の利点として、部材の表面に貼り付けるだけで空力音の低減が得られるため、大きな設計変更を伴うことなく適用が可能という点があります。実際に既存のパンタグラフへ試験的に適用した例が図7です。多孔質材をFRP製カバーの上に貼り付けました。図8は風洞を用いてパンタグラフから発生する空力音の分布を調べたものです。多孔質材を適用することにより、パンタグラフから発生する空力音を低減できていることが確認できます。

## (2) 積極的に流れを制御する手法

流れを積極的に制御することにより、空力音を低減する手法として取り組んでいるものを2つ紹介します。

### ・プラズマアクチュエーター

プラズマアクチュエーター(PA)とは、物体表面にプラズマを発生させ、その作用によって物体表面に沿う方向に流れを誘起するとともに、周囲の流体を引き寄せる作用を持つアクチュエーターです。このPAを流れが表面から剥離する位置の近くに取り付けると、流

れの剥離が抑制できることが知られており、近年、航空分野などを中心に流れの制御デバイスとして適用するための研究が盛んに行われています<sup>4)</sup>。流れの剥離の抑制は渦の抑制につながり、空力音の低減が見込めることから、鉄道総研では慶應義塾大学深淵研究室と共同でパンタグラフの主要な空力音源の一つである舟体にPAを適用する研究に取り組んでいます<sup>5)</sup>。

図9にPAの概要図を示します。PAは誘電体を電極で挟んだ構造をしており、電極間に高電圧の交流電力を印加することによってプラズマを発生させます。PAの利点の一つは構成が簡単なことであり、例えば誘電体や電極の材料には市販のテープ(カプトンテープや銅はくテープ)を使用することができ、模型表面にこれらのテープを順に貼り付けることで簡単にPAを構成することができます。図9の写真はテープ類で構成したPAの写真であり、表面で紫色に光っている部分がプラズマです。

図10に示すように、舟体の剥離点付近にPAを取り付けて流れの様子を調べたところ、空力音の原因となるカルマン渦の生成が抑制される様子が確認できました。ただし、現在のところPAの出力はまだそれほど大きくはないため、高風速域では十分な効果を発揮することができません。そこで、数

値計算によりPAによる舟体からの空力音低減効果について検討を行ったところ、図11のようにカルマン渦に起因するピーク音を大幅に低減できることがわかりました。

現在は、PAの流れ場制御メカニズムを参考に、高風速域でも同様の効果が得られるような他の手法についての検討も進めています。

### ・シンセティックジェットアクチュエーター

先ほども述べましたが、流れの剥離を抑制すると空力音を低減することができます。流れの剥離を抑制する方法として、流れに乱れを与える方法があります。これは、PAのように物体表面に沿って流れを誘起する方法とは異なります。乱れを与える方法としては、ボルテックスジェネレーターといった物体表面に突起を設ける手法が一般的ですが、鉄道総研では乱れの性状を任意に調整可能な機構として、シンセティックジェットアクチュエーター(SJA)を利用して流れを制御する方法について取り組んでいます<sup>6)</sup>。

SJAは、子供向け理科番組などでしばしば紹介されている空気砲と同じ原理で、流れの中に輪状の渦(渦輪)を断続的に生成して流れに乱れを与えます。SJAは図12に示すように、穴の空いた容器の容積を変化させることで

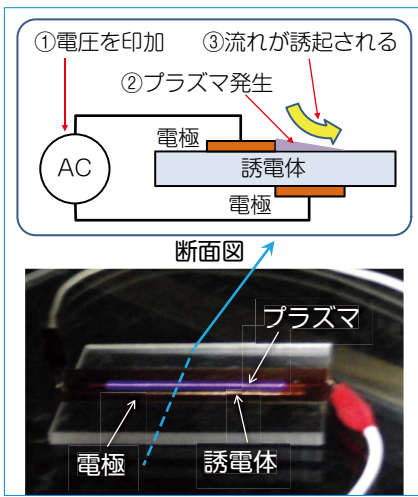


図9 プラズマアクチュエーター (PA) の概要図および写真

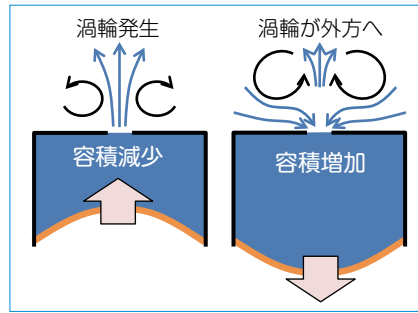


図12 シンセティックジェットアクチュエーター (SJA) の概要図

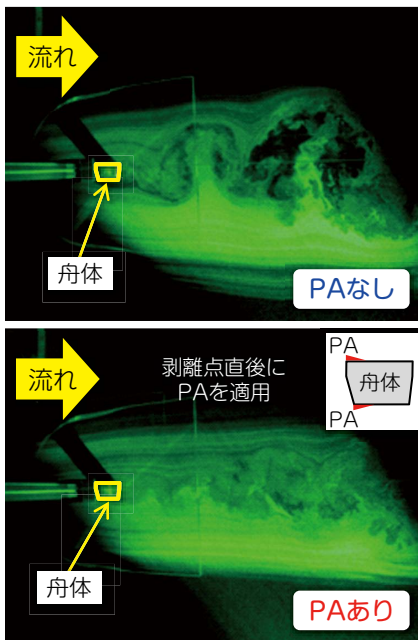


図10 可視化結果(風速5m/s)

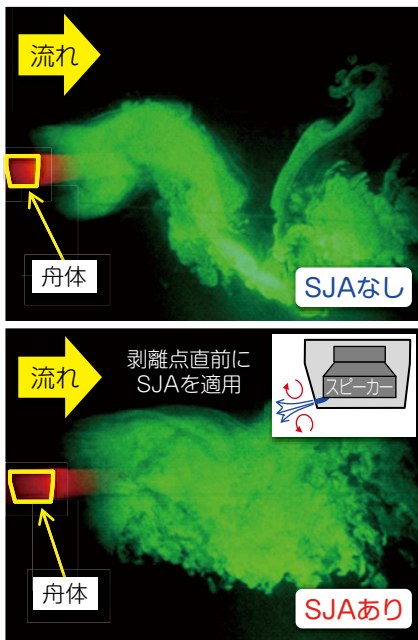


図13 可視化結果(風速5m/s)

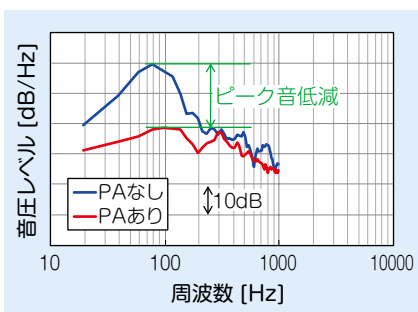


図11 空力音予測結果(風速36m/s)

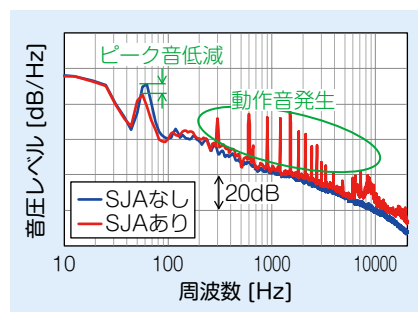


図14 空力音測定結果(風速25m/s)

動作し、流れが穴から外へ吹き出す際に渦輪が生成され、流れが穴から容器へ吸い込まれる過程で渦輪が外へ押し出されます。この動作を繰り返すことで断続的に渦輪を生成します。

SJAは、例えば、スピーカーの上に穴の空いた蓋をすることで容易に構成

することができます。また、外部から流体を供給することなく乱れを生じさせることができるうえ、振動の周波数を変更することで乱れの周波数を、穴の形状を変えることで乱れの広がり方を変更することができます。

図13は、スピーカーで構成した

SJAを舟体に内蔵した場合の舟体周りの流れの様子を示したものです。SJAの動作によって、後流領域に細かい乱れが広がるようになる一方で、カルマン渦のような大規模な渦の巻き込みが抑制される様子がわかります。

図14に空力音の測定結果を示します。SJAの動作によってカルマン渦に起因するピーク音が低減されています。しかしながら、SJAの動作音が大きな騒音源となっており、動作音を低減することも課題となっています。

### おわりに

パンタグラフ空力音の低減方法について、これまで行われてきた方法や最新技術の研究を紹介しました。最新技術には基礎研究段階のものも多く、実装の面では課題も残されていますが、これらの研究の発展・改良や、さらにはより新しい方法の探究を行い、パンタグラフ空力音の一層の低減を目指していきます。[RRR]

### 文献

- 1) 森藤良夫：鉄道騒音の音源解析と対策の動向、鉄道総研報告、Vol.10, No.2, pp.1-4, 1996
- 2) 池田充, 末木健之, 光用剛：部材間干渉緩和と多孔質材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
- 3) 高石武久：空力音発生を予測する、RRR, Vol.67, No.8, pp.26-29, 2010
- 4) 深湯康二, 山田俊輔, 石川仁：プラズマアクチュエータの基礎と研究動向、ながれ、Vol.29, pp.243-250, 2010
- 5) 光用剛, 佐藤祐一, 池田充, 高石武久, 末木健之, 深湯康二：プラズマアクチュエータによるパンタグラフ舟体の空力音低減手法の基礎検討、鉄道総研報告、Vol.27, No.10, pp.11-16, 2013
- 6) 佐藤祐一, 池田充, 光用剛：スピーカー駆動型シンセティックジェットによるパンタグラフ舟体の空力音低減、鉄道総研報告、Vol.26, No.8, pp.5-10, 2012