

# 新

Aerodynamic Themes for High-speed Pantographs

## 幹線用パンタグラフの空気力学的課題

### はじめに

鉄道車両を構成する主要部品の一つとして、パンタグラフの認知度は比較的高いものと思われる。しかし新幹線用パンタグラフに関わる工学的課題についてはあまり知られていないのが実情であろう。一見すると地味な装置であるパンタグラフにも、興味深いテーマが多く含まれている。本稿では新幹線用パンタグラフに関する空力的課題的を絞り、簡単な紹介を行いたい。

### 新幹線用パンタグラフに求められる性能

パンタグラフは架線とともに、地上設備から走行車両への電力供給のためのインタフェースを構成する。車両がその走行性能を十分に発揮するためには安定した電力供給が不可欠であり、この意味においてパンタグラフの基本性能とは架線に対する安定な接触を維持して必要な電流を車両に供給すること（これを集電性能という）につきる。ところで、新幹線用パンタグラフの

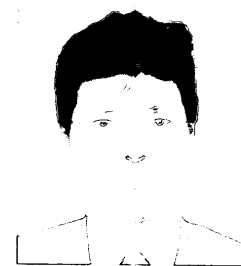
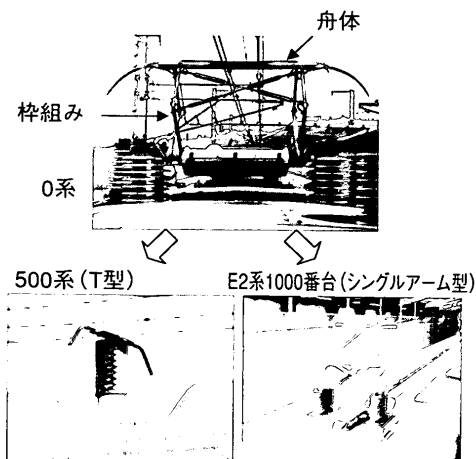
形態はここ10年間で急速な変貌を遂げてきた（図1）。しかしこれは集電性能を追求した結果ではなく、主としてパンタグラフの騒音問題を解決するための施策として行われたものである。新幹線の最高速度は210km/hから300km/hへと段階的に引き上げられてきたが、騒音低減は常に最重要課題の一つであった。現在、新幹線騒音のかなりの部分は空力音で占められている。それは、空力音のエネルギーが流速の6~8乗に比例するという高い速度乗則を有しているためである。パンタグラフは屋根から突出した形で取り付けられるため空力音が発生しやすく、新幹線騒音の主要音源の一つとなっている。以上のことから、パンタグラフの低騒音性能が強く求められているのである。

### 空力的課題の位置づけ

集電性能と低騒音性能とは、一見すると無関係のようであるが、パンタグラフの空力特性を仲立ちとして密接に関連している。

図1 新幹線用パンタグラフの変遷

10年前までは菱形パンタグラフが全盛であったが、現在ではいろいろな種類の低騒音パンタグラフが実用化されている。



池田 充

Mitsuru IKEDA

1963年12月生まれ

1986年早稲田大学理工学部機械工学科卒業

1988年早稲田大学理工学研究科（機械）修了

■主として行っている業務・研究

・架線・パンタグラフ系の動力学現象の解明

・新幹線用パンタグラフの低空力音化

■所属学会および主な活動

日本機械学会、可視化情報学会

■勤務先

（財）鉄道総合技術研究所 鉄道力学研究部 集

電力学研究室 主任研究員

（〒185-8540 国分寺市光町2-8-38/

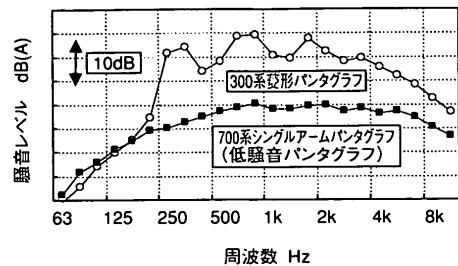
E-mail : mikeda@rtri.or.jp）

良好な集電性能を維持するためには、架線とパンタグラフ間の接触力を適正範囲に保つことが不可欠である。新幹線の場合、走行中の平均接触力がおおむね60~100Nの範囲となるように設計される。ここで「おおむね」と記したのは走行中の平均接触力が一定ではないためである。平均接触力にはパンタグラフに作用する空気力（揚力）の寄与が含まれており、300km/hでは平均接触力の約30~40%が揚力によるものである。したがって良好な集電性能を発揮するためには、パンタグラフの空力特性が非常に重要である。

一方、空力音とは結局のところ物体の周りの空気の乱れ（渦度変動）により発生するものであるから、パンタグラフが発生する空力音の大きさと空力特性には密接な関係がある。強い渦度変動は物体まわりに発達する境界層内部に局在するが、境界層内の圧力分布が物体に作用する空気力を決定づけて

図2 低騒音パンタグラフと従来の菱形パンタグラフの空力音比較 (風洞実験)<sup>(1)</sup>

従来の菱形パンタグラフに比べると10dB以上の空力音低減が実現されている。また、菱形パンタグラフで認められる顕著なエオルス音の発生が低騒音パンタグラフでは皆無であることがわかる。



いるからである。

パンタグラフを構成する部材のなかで、舟体（トロリ線と直接しゅう動する弓形の部材）は揚力と空力音の両方に対し大きな寄与を有している。したがって舟体断面形状は、パンタグラフの揚力特性と低騒音性能とを決定づける重要なファクタである。舟体の空力音低減のためには、空気中に大規模な乱れ構造を誘起しないことが基本であり、この目的に対してははく離の生じにくい断面形状が望ましい。ところがパンタグラフは常に上下運動するうえ、しゅう動部材の摩擦による形状変化や、走行条件（トンネル通過など）による迎角変化もある。これらがなるべく舟体の揚力に影響しないようにするためには、逆に特定の位置で大きなはく離を起こすような形状のほうが有利である。このように、低騒音性能と集電性能とは二律背反の関係にあることが、問題を複雑にしている。

## 低騒音パンタグラフ

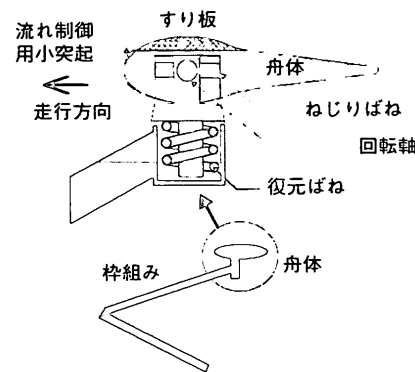
低騒音性能を最重視して設計されたパンタグラフを低騒音パンタグラフと称しており、「のぞみ」や「こまち」ですでに使用されている（図1）。

現在実用化されている低騒音パンタグラフにはいくつかの種類があるが、その基本設計方針は、①部材点数をできるだけ減らす、②部材形状を工夫して低騒音でありながら安定した揚力特性を持たせる、の2点である。

低騒音パンタグラフの舟体断面形状

図3 PEGASUSの揚力抑制機構

舟体が回転可能な構造となっており、揚力が発生すると舟体がパッシブに迎角を変え、大きな揚力の発生を防ぐ。



には、安定した揚力特性を得るためにある程度の角部を有する形状が用いられる。ただしカルマン渦のような大規模渦構造の発達がないよう、断面のアスペクト比を従来の1から、その数倍以上に大きくとっている。さらに枠組部についても単純な外観を持つシングルアーム型やT型が採用され、従来の菱形から比べると大幅な部材数低減が達成されている。

低騒音パンタグラフでは、従来のパンタグラフに比べて約10dB(A)以上の空力音低減が実現されており、速度向上の実現に大きく寄与している<sup>(1)</sup>（図2）。

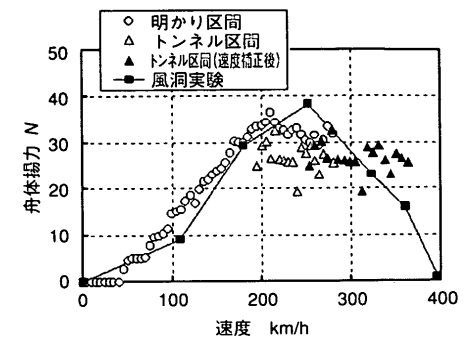
## 今後の技術動向

航空機や車に対する競争力を維持するため、新幹線のさらなる速度向上が計画されているが、現在の低騒音パンタグラフの改良では低騒音化に限界が見え始めており、新しい手法の開発が求められている。

筆者らは300km/hを超える速度域で使用するパンタグラフとして、舟体の姿勢をパッシブに制御することで、低騒音化と安定な揚力特性の両立を可能にしたパンタグラフ(PEGASUS)の開発を進めてきた<sup>(2)</sup>。これは舟体に回転自由度を与え、風見鶏の原理により大きな揚力が作用しないように舟体の迎角をパッシブに変化させるものである（図3、4）。この機構を導入することにより、舟体の断面形状に対する設計上の自由度が高くなることから、よ

図4 PEGASUS舟体揚力の速度特性

風洞実験および現車試験により、高速域では揚力が速度の2乗に比例して増大せず、大きな揚力を発生しないことを確認した。



りいっそうの低騒音化が実現できるものと期待している。

一方、パンタグラフの接触力をアクティブに制御する研究も進められている<sup>(3)</sup>。この場合、最も重要なのは接触力を正確にセンシングすることであるが、実はこれが意外と難しい。逆に言えばこの課題を克服すればアクティブ制御の実現性が高まるため、現在この課題に取り組んでいるところである。

さらに急速に進むCFD（計算流体力学）の発展に伴い、パンタグラフの開発にもCFDが用いられ始めている<sup>(4)</sup>。今後、CFDの援用は加速的に進むものと思われ、その威力が期待されている。

## おわりに

パンタグラフの空力的課題の克服は、鉄道高速化の鍵を握る技術の一つである。拙稿によって少しでも多くの方がこの分野に関心を持っていただければ幸いである。

### 文献

- (1) 成瀬 功, JR東海における新幹線用シングルアームパンタグラフの開発, 鉄道車両と技術, 70 (2002), 15-19.
- (2) 池田 充・真鍋克士, 迎角可変機構による低空力音パンタグラフ舟体の揚力低減効果, 鉄道総研報告, 13-12 (1999), 37-42.
- (3) 例えば Baidauf, W. ほか, Development of an Actively Controlled, Acoustically Optimized Single Arm Pantograph, WCRR2001.
- (4) 阿部行伸・ほか, 低騒音碍子カバーの開発, 日本機械学会2001年度年次大会講演論文集Ⅶ, No.01-1 (2001), 581-582.