

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

パンタグラフの集電性能と環境性能を両立する

新幹線用パンタグラフの舟体から発生する空力騒音を低減するためには、舟体の断面形状をなめらかな平滑化断面とし、舟体の後流側で渦ができにくくすることが有効です。一方、パンタグラフがトロリー線に追従する性能を向上するためには、トロリー線の高さ変化に対して追従する部位の質量を軽量化する必要があるため、新幹線用パンタグラフでは舟体の最上部に取り付けられたすり板を弾性支持するような追従機構も使用されています。しかし、極端に平滑化した断面を持つ舟体に対し、すり板が独立して動くような追従機構を設けると、すり板の上下位置変化にともなって揚力特性が敏感に変化することがあります。ここでは、このような問題を解決するため、鉄道総研が提案している多分割舟体を紹介し、試作機でパンタグラフの追従性を検証した結果について示します。

はじめに

架線とパンタグラフは、移動体である車両を駆動するためのエネルギー（電力）を供給するための装置です。エネルギーの授受は、架線の中で最も下方に位置するトロリー線と、パンタグラフの舟体最上部のすり板がすべり接触によって電気接点を形成することで行われます。いったんトロリー線とパンタグラフのすり板とが離れると、両者の間にアーク放電が発生し、トロリー線およびすり板の両方の損耗を引き起こします。このため、パンタグラフには十分な集電性能（追従性や安定した揚力特性）が必要となります。さ

らに、新幹線用パンタグラフの場合は高い環境性能も有している必要があります。しかし、これらを高い次元で両立することは容易ではありません。ここでは、パンタグラフの集電性能と環境性能を両立させるための最近の研究について、紹介します。

パンタグラフの追従性

パンタグラフの集電性能を議論する際に、追従性は重要な項目です。追従性を評価する指標の一つに、コンプライアンスというものがあります。コンプライアンスとは周波数ごとの動きやすさを示す指標で、この値が高いほどパンタグラフの追従性が高いということになります。パンタグラフの機構を図1のようなばね・質点系でモデル化して計算したコンプライアンスの例を図2に示します。ここで、黒の実線は一般的な新幹線用パンタグラフのコンプライアンスです。本結果から、3Hz以下の周波数帯の追従性が比較的高いことがわかります。これは電車線の支持点周期の高さ変動の周波数帯に相当します。また、20Hz周辺で追従性が高くなっていますが、この周波数帯は

	<p>臼田 隆之 Takayuki Usuda 鉄道力学研究部 集電力学研究室 室長 【専門分野】 架線／パンタグラフ系の動的相互作用</p>
	<p>光用 剛 Takeshi Mitsumoji 鉄道力学研究部 集電力学研究室 主任研究員 【専門分野】 架線／パンタグラフ系に係る空力現象</p>
	<p>長尾 恭平 Kyohei Nagao 鉄道力学研究部 集電力学研究室 研究員 【専門分野】 架線／パンタグラフ系の動的相互作用</p>
	<p>磯野 達志 Tatsushi Isono 鉄道力学研究部 集電力学研究室 研究員 【専門分野】 架線／パンタグラフ系に係る空力現象</p>
	<p>久保田 喜雄 Yoshitaka Kubota 材料技術研究部 摩擦材料研究室 主任研究員 【専門分野】 架線／パンタグラフ系のトライボロジー、電気接点</p>

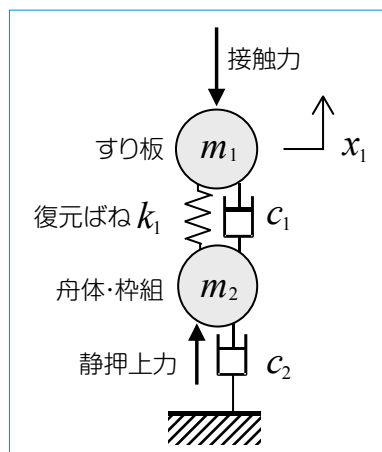


図1 パンタグラフモデル

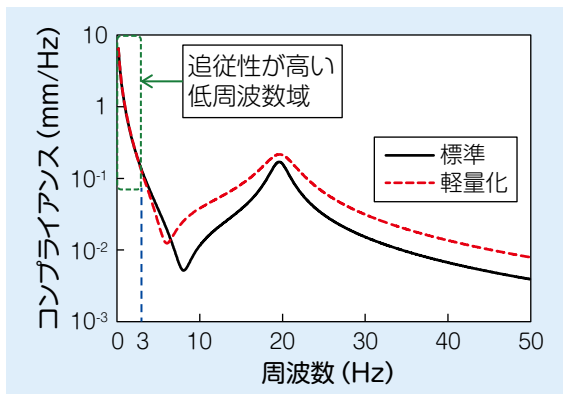


図2 追従性の計算例

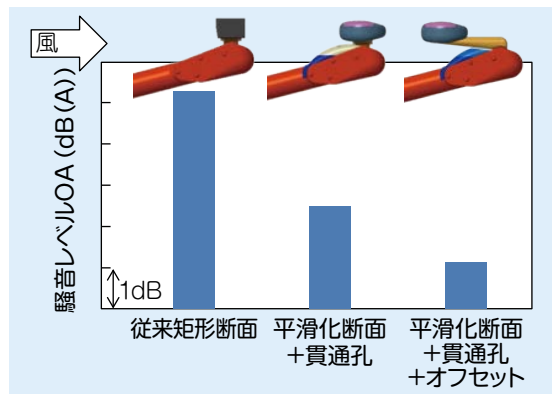


図4 騒音測定結果(模型試験)

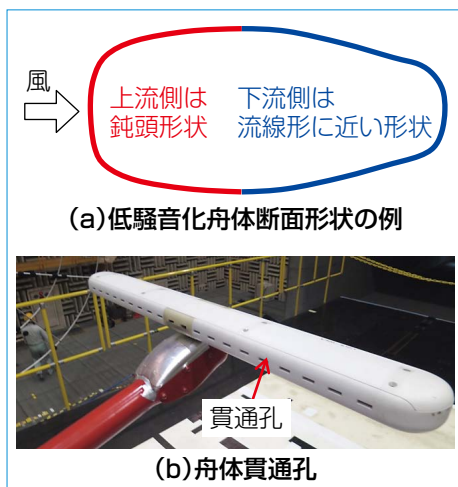


図3 舟体低騒音化の例

高速で走行する際の電車線のハンガー周期の高さ変動の周波数に相当します。この周波数帯におけるコンプライアンスのピークはすり板と復元ばねとの共振現象によるものですが、この共振周波数よりも高い周波数ではコンプライアンスは単調減少となります。ではここで、10Hz以上の周波数帯で全体的に追従性を上げるためにはどうしたらよいでしょうか。このためにばね質点系の最も上部の質点(図1の場合ではすり板質量 m_1)を軽量化することが非常に効果的です。図2の赤色の破線はすり板部の質量を標準条件の50%とし、共振点のピーク周波数が標準条件と同じとなるよう復元ばねのばね定数 k_1 を調整した結果です。このようにトロリー線と接触する部位の質量を軽量化することで、パンタグラフの追従性を飛躍的に高めることが可能となります。この対策は、舟体に対してたわみ板で

支持されたすり板のみが上下に可動するたわみ板方式や、さらにすり板がまくらぎ方向に分割支持された多分割すり板¹⁾などのすり板支持方式の採用に相当します。

パンタグラフの揚力特性

走行中の気流に対するパンタグラフの揚力特性も集電性能に関連する特性です。パンタグラフの揚力が著大となると、支持点のトロリー線の押上量の増加、トロリー線のひずみ量の増加などの弊害が発生し、最悪の場合には架線設備を破損させる可能性があります。また、揚力が小さすぎると、パンタグラフがトロリー線との良好な接触を維持できなくなるため、離線が増加しパンタグラフとトロリー線の双方が損耗します。そのため、揚力は大きすぎず小さすぎず、つねに適度な値に収まっている必要があります。かつ、対向風の風向変化やすり板摩耗による断面形状変化に対して、揚力が大きく変化しないよう安定化させることが重要です。揚力特性の安定化のためには舟体断面を鈍頭形状とすることが有効ですが、鈍頭形状は次節で述べる空力騒音が発生しがちであるため、工夫が必要です。

パンタグラフの空力騒音特性

パンタグラフ環境性能の中でもとくに重要なものは空力騒音特性(☞参照)

であり、新幹線用パンタグラフにおいて非常に重要な特性です。パンタグラフから発生する空力騒音のエネルギーはパンタグラフが受ける気流速度の6~8乗に比例するため、走行速度が上がるほど大きな問題となります。パンタグラフの空力騒音を低減するためには翼型のようななめらかな舟体断面が望ましいのですが、翼型は揚力特性が不安定化しやすいという短所があります。そこで、パンタグラフの走行方向を限定し、図3(a)のように上流側の舟体断面は鈍頭形状、下流側の舟体断面は流線型に近い形状で平滑化し、図3(b)のように舟体へ貫通孔を設置することで、従来のパンタグラフ(図4左側)から、低騒音化が可能です(図4中央)。また、舟体の設置位置を改良することで低騒音化をはかることも可能です(図4右側)。

集電性能と環境性能両立時の問題

前記のような方策で集電性能(追従性と揚力特性)と環境性能(空力騒音特性)はそれぞれ個別には向上可能ですが、高度に両立しようとする新たな問題に悩まされます。それは、空力騒音低減のために舟体形状を平滑化し

☞ 空力騒音

高速の気流中に物体があるとその後流でさまざまなスケールの渦が発生し、騒音(風切り音)となります。

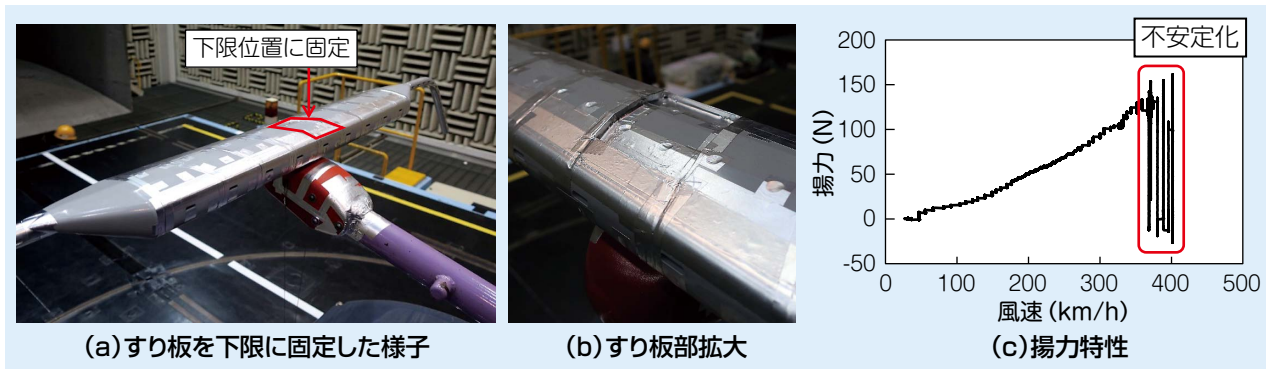


図5 揚力不安定化の例

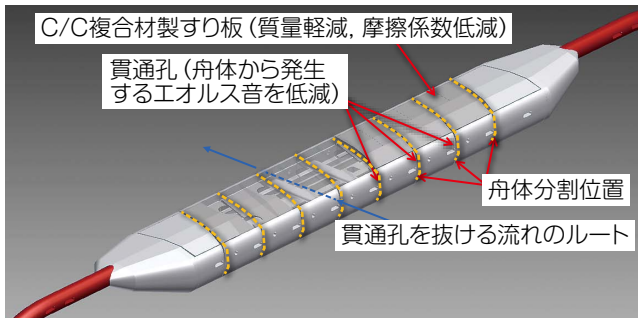


図6 多分割舟体のイメージ図

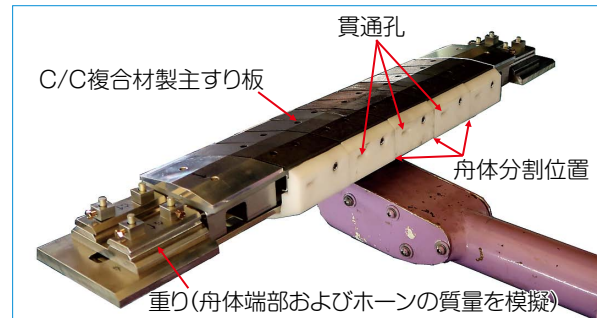


図7 多分割舟体試作機

た舟体に対し、追従性向上のためにたわみ板方式などによりすり板を可動とすると、すり板の上下位置の変化にともなう舟体断面形状が変化することで、揚力特性が敏感に変化する可能性があるという問題です。図5は平滑化した断面の舟体に対し、一部のすり板を下限に固定した際に、風速350～400km/hにおいて、揚力が不安定化した例です。図5(a)は試験時の舟体の様子、図5(b)は下限位置に固定したすり板の拡大図、図5(c)は同条件における揚力の速度特性です。なお、本試験結果はすり板の上下位置が固定されている条件において発生しましたが、実際の舟体の場合には、走行時にすり板が上下動することで、揚力が不安定化する懸念もあります。

て、鉄道総研では図6に示す多分割舟体を開発しています²⁾³⁾。多分割舟体はトロリー線と着線する舟体質点の軽量化により架線への追従性を維持しつつ、追従機構動作時の舟体断面の変化を避けるため、図6のオレンジ色の破線部分で舟体全体をまくらぎ方向に9個に分割し、それぞれの舟体をばね支持しています。このような機構とすることで、すり板の上下位置の変化にともなう発生する揚力特性の変化を抑えることができます。また、通常の新幹線用舟体は比重の大きい鉄系焼結合金製のすり板を使用していますが、本舟体では追従機構の可動部の質量低減と、トロリー線とのしゅう動摩擦係数低減により、トロリー線への接触性能を向上させる目的から軽量のC/C複合材製のすり板(☞参照)を適用しています。さらに、舟体後流の上下に交互に発生する渦(カルマン渦)を抑制するため、舟体に9個の貫通孔を設けています。このようなコンセプトの舟体を検証するために多分割舟体試作機(図7)を製作し、追従性能についての確認を行いました。なお、多分割舟体

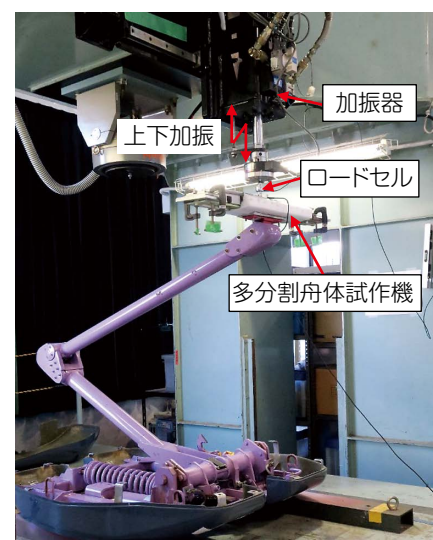


図8 加振試験の様子

試作機は多分割舟体の中央付近のみを可動部として製作し、偏位端部およびホーンは舟体端部に重りを固定することで模擬しました。以下では、多分割舟体試作機の追従性を検証した結果について説明します。

コンプライアンスの確認

製作した多分割舟体試作機の追従性を確認するため、すり板を油圧加振器で上下に加振する試験を実施し、加振

多分割舟体

以上のような問題に対する対策とし

☞ C/C 複合材製のすり板

炭素 (Carbon) の母材を炭素繊維 (Carbon Fiber) で補強した材料に導電性を補うため銅合金を含まれています。

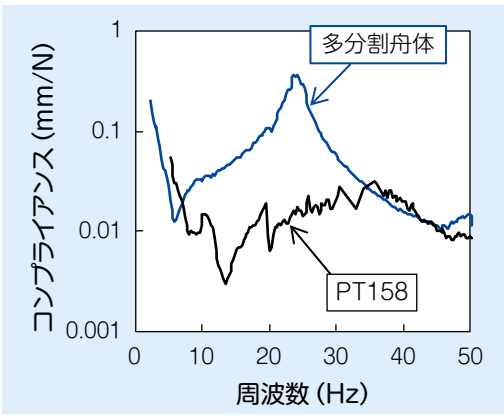


図9 追従性確認結果²⁾

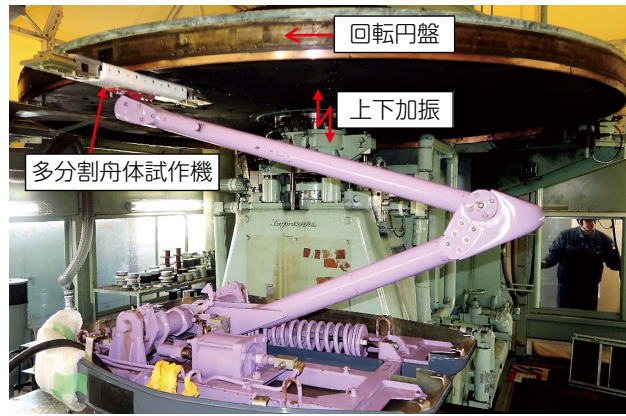


図10 パンタグラフ総合試験装置での試験の様子

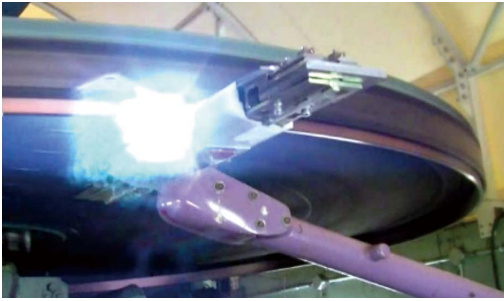


図11 アークが発生している様子

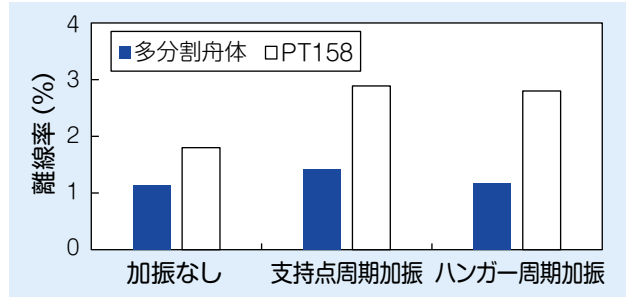


図12 離線率測定結果 (300km/h)²⁾

力とすり板変位を測定しました。試験の様子を図8に、試験データから前記のコンプライアンスを計算した結果を図9に示します。図9には比較対象として、新幹線用パンタグラフPT158のコンプライアンスもあわせて示します。なお、両条件ともパンタグラフの枠組はPT158の枠組を使用しています。本結果から、多分割舟体は、320km/h以上の速度におけるハンガー周期の高さ変動の周波数に相当する20Hz前後において、高い追従性を有していることが確認できます。

離線率の確認

製作した多分割舟体試作機の離線率を測定するため、図10に示すように、鉄道総研のパンタグラフ総合試験装置でしゅう動試験を実施し、その際の離線率を測定しました。試験はパンタグラフに通電させた状態で、回転円盤を周速度300km/hで回転させ、円盤の加振条件として、加振なし、支持点周期で上下加振した条件、ハンガー周期で上下加振した条件の3条件で試験し

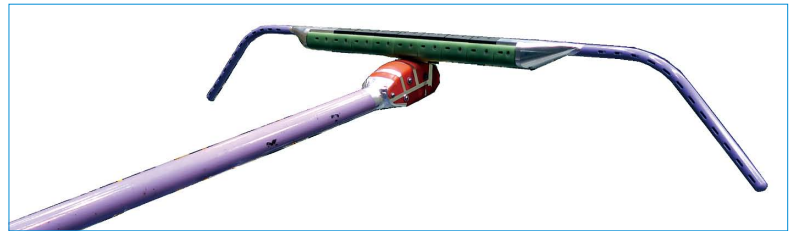


図13 開発中の多分割舟体

ました。回転円盤とパンタグラフのすり板とが離線する際に発生するアーク(図11)に含まれる紫外線を測定し、離線率を集計しました。また、前節と同様に、比較対象として新幹線用パンタグラフPT158についても同様の試験を実施しました。各条件における離線率集計結果を図12に示します。本結果から、多分割舟体試作機の離線率は加振条件によらず、PT158のおよそ50%となっており、多分割舟体試作機が良好な追従性を有していることが確認できます。

おわりに

試作した多分割舟体を使用して追従性の検証ができたため、図3(a)の断面形状をベースに、図13に示す多分

割舟体を製作し、集電性能と環境性能の両立のために各種試験に取り組んでいます。また、集電性能と環境性能の両立だけでなく、集電系の諸問題解決のための研究にも引き続き取り組んでまいります。[RRR]

文献

- 1) 栗田健：新幹線のパンタグラフに関する技術の変遷，鉄道車両と技術，Vol.19, No.4, pp.9-14, 2013
- 2) 白田隆之，光用剛，長尾恭平，久保田喜雄：外形平滑化を施したパンタグラフ舟体試作機の接触性能向上手法，日本機械学会2018年度年次大会，G1800104, 2018
- 3) 白田隆之，光用剛，長尾恭平，久保田喜雄，若林雄介：多分割舟体による接触性能向上手法，鉄道総研報告，Vol.33, No.6, pp.41-46, 2019