

最近のパンタグラフの低騒音化技術

池田 充

鉄道力学研究部(集電力学 研究室長)



いけだ みつる

はじめに

現在、国内の鉄道の営業最高速度は山陽新幹線の300km/hですが、ヨーロッパや中国ではすでに300km/hを越える速度での営業が行われています。このように、新幹線が最高速度の面で海外の高速鉄道にやや先を越されている理由は、技術的に劣っているためではなく、日本の環境基準、特に騒音に関わる基準が非常に厳しいため、速度向上を実施する上での技術的ハードルがより高いことに由来します。とはいえ、着実な技術開発の積み重ねにより、東北新幹線における320km/hの営業運転開始がすでにアナウンスされているところです。

パンタグラフは新幹線の主要音源の一つとなっていることから、常に騒音低減のための研究開発が進められ、その形態を進化させてきました。その結果、海外の高速列車と比較したとき、パンタグラフおよびその周辺機器は新幹線の外観を特徴付ける大きなポイントの一つとなっています



図1 TGVと新幹線の集電装置
新幹線には、パンタグラフに由来する騒音を低減するための種々の工夫が施されています

(図1)。本稿では、新幹線用パンタグラフの低騒音化技術について、特に最近の動向を中心に紹介します。

アーク音とその対策

パンタグラフに起因して発生する騒音のうち、特に問題となるのはアーク音と空力音です。このうちアーク音についてまず説明します。

パンタグラフは架線としゅう動することによって電気エネルギーを車両に供給します。大きな電流が流れているパンタグラフが架線との接触を維持できず架線から離れてしまう(これを「離線」といいます)と、離線アークが発生します。この離線アークが消滅する際に生じる音がアーク音です。アーク音は「バシャ」という耳障りな音で、しかも大きなエネルギーを有するため、離線アークが連続的に発生すると沿線騒音を大きく押し上げてしまいます。

アーク音を防ぐため、主に二つの方策が実施されています。一つは離線そのものを防ぐことです。これは、架線・パンタグラフ系の接触性能を向上させることと同義ですから、ある意味で非常に本質的な技術課題です。パンタグラフの性能向上だけで解決できるものではなく、架線とパンタグラフとを協調させることによって集電性能の向上を図ることが重要です。もう一つの方策は、編成に搭載された複数のパンタグラフの間を高圧母線で電気的に接続することです(図2)。高圧母線があると、あるパンタグラフで離



図2 離線アーク(左)とアーク音対策としての高圧母線(右)

線が発生しても、高圧母線で接続されている別のパンタグラフが架線との接触を維持できていれば、離線に伴うアークの発生・成長を抑制することができます。これら二つの方策の実施により、現在では新幹線のアーク音はほとんど問題にならないレベルにまで低減されています。

なお、交流で駆動する電気鉄道において複数パンタグラフを高圧母線で接続できることは、実は新幹線の大きな特徴でもあります。交流電化区間では、隣接する変電所間で位相が必ずしもそろっていないため、図3に示すように電源系統の境界部に異相電源区分装置が設けられます。海外で一般的なニュートラルセクション方式の場合、セクションの長さが車両編成長と同等かそれよりも短いため、複数パンタグラフ間を電氣的に接続すると異なる電源系統間を短絡する恐れがあるため、高圧母線の接続ができません。一方、新幹線では切替セクション方式が採用されているため、パンタグラフ間の高圧母線接続を行っても異電源間短絡が発生しません。なお、切替セクションは本来、異相電源区分装置を力行で通過するために導入されたものです。ニュートラルセクションは必ず惰行で通過しなくてはなりません。

JR東日本が300km/h超の営業運転を目指して開発した高速試験車FASTECH360では、後述するパンタグラフ空力音を低減するため、基本的に1編成1台のパンタグラフ

で集電します。したがって、高圧母線引き通しによるアークの抑制ができません。そこで、パンタグラフと架線との接触性能を大幅に向上するため、パンタグラフのすり板を1板あたり50mm程度の長さ分割し、その各々を弾性支持した多分割すり板(図4)が採用されるとともに¹⁾、架線系の改良も実施されています。

空力音とは

前節で説明した方策によってアーク音の寄与が小さくなった現在、パンタグラフに起因する騒音は空力音が支配的となっています。空力音とは風切り音とも称されますが、その名のとおりに、物体が空気中を移動する、あるいは物体が空気の流れ(風)にさらされることによって発生する音です。私たちの身近にも様々な空力音が存在します。たとえば、オフィスのOA機器から生じる音の大半は空冷ファンから生じる空力音ですし、縄跳びをするときに聞こえる「ヒューン」という音も空力音です。

物体が空気の流れの中におかれたとき、物体近傍で発生した空気の渦の加速度運動が空力音の発生をもたらします。そのエネルギーは風速の6~8乗に比例するため、在来線では空力音はあまり問題にはなりません。高速鉄道では空力音の存在が顕在化します。パンタグラフについても例外ではなく、高速領域では空力音が大きな問題となります。そこで新幹線では、空力音の低減に主眼を置いて設計された低騒音パンタグラフが使用されています。

すでに述べたように、空力音は物体近傍に発生した渦により引き起こされますから、渦の発生をいかに減らすのか、という点が低騒音パンタグラフを設計する上での最重要ポイントです。これを要約すると、①パンタグラフを構成する部材の数を減らすこと、②部材間の空力的干渉を減らすこと、③部材の形を平滑化すること、④渦の発生を積極的に抑制すること、などとなります。次章において、これらを具体的に説明します。

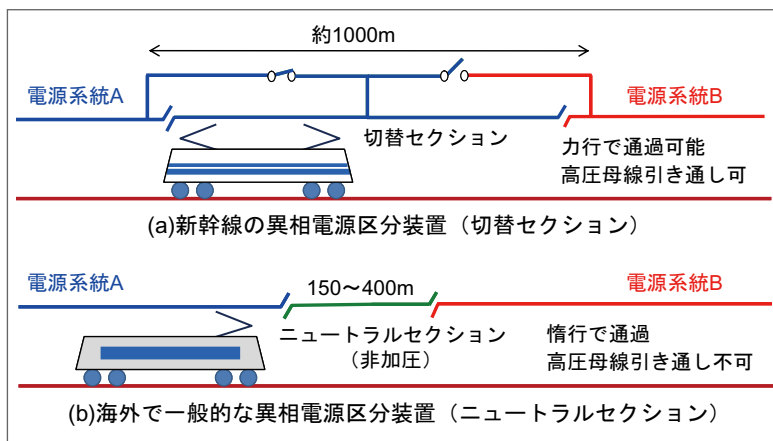


図3 異相電源区分装置

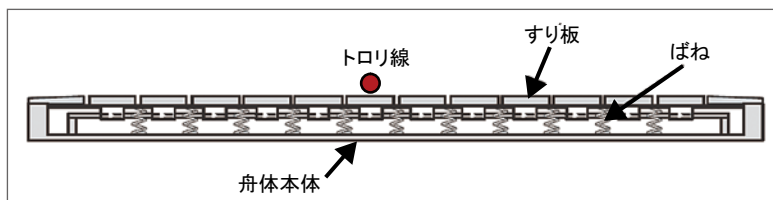
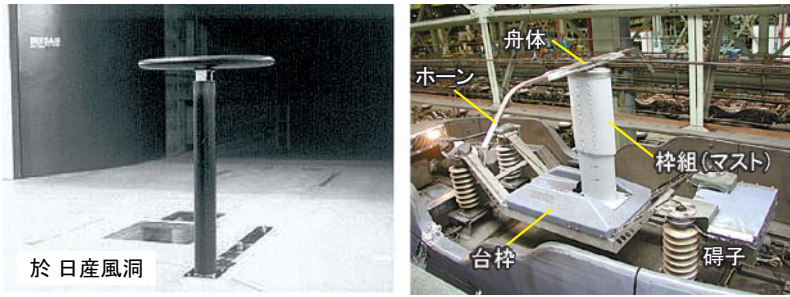


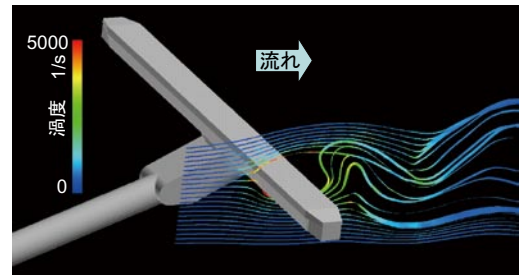
図4 多分割すり板方式舟体¹⁾

パンタグラフ空力音の低減手法

パンタグラフの部材点数削減は、空力音の音源の数そのものをできるだけ減らすことが目的です。さらに、部材を減らすことができれば複数の部材が流れ方向に直列配置されることを防ぐことも容易です。部材間の空力干渉抑制



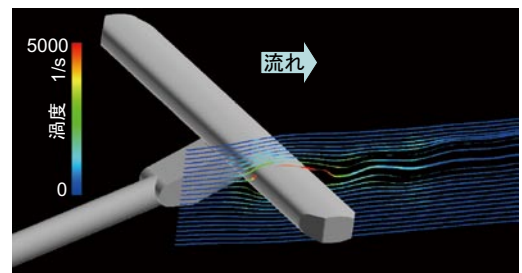
(a) T型パンタグラフの基礎実験(1990年) (b) 500系用パンタグラフ
図5 低騒音パンタグラフ(T型パンタグラフ)



(a) 矩形に近い形状の舟体の場合



(a) シングルアームパンタグラフの基礎試験(1989年) (b) 700系用パンタグラフ
図6 低騒音パンタグラフ(シングルアームパンタグラフ)



(b) 平滑化された形状の舟体の場合

図7 舟体近傍の流れ場の様子(数値計算)

に対しても有効です。現在までに実用化されている低騒音パンタグラフをその外観で大別するとT型パンタグラフ(図5)とシングルアームパンタグラフ(図6)の2種類に分けられますが、そのいずれも、部材数を減らすとともに、部材間の空力干渉抑制を目指している点では共通です。

部材レベルでは形状平滑化の追求が重要です。流れが物体によってその向きを急激に変化させられるときに強い変動渦が発生するため、部材形状の平滑化は渦の発生抑制に対して非常に有効です。図7に舟体形状の違いによる流れ場の相違を示します。矩形に近い形状をもつ舟体と比較すると、平滑化された舟体では後流に生じる渦が明らかに弱くなっていることが確認できます。

ただし、部材の平滑化を進めると、部材に生じる空気力が過大となったり、あるいは部材の姿勢変化に対する空気力変化が大きくなったりする可能性があります。このような場合、パンタグラフが架線を大きく押し上げて架線にダメージを与えたり、逆に架線を押し上げる力が急激に低下して離線が発生するなど様々な問題が生じるため、空力音が小さく、しかも安定した空気力特性を有する部材形状を見出すことが重要です。そこで従来は、風洞試験による試行錯誤を通じて形状改良が進められてきました。しかし、これでは開発効率が悪いので、鉄道総研では数値計算技術を援用した形状最適化手法の提案も行っています。

一方、形状平滑化だけに頼ることなく渦の発生を抑制する手法の研究も進められてきました。たとえば、低騒音パンタグラフのホーンには主として円管部材が用いられますが、円管部材ではエオルス音と呼ばれる純音に近い空力音の発生が問題となります。そこで、ホーンに一定間隔で孔を設け、空気が部分的にホーンを貫通できるようにしてエオルス音の発生を抑制する手法が適用されています。図8は、円柱後流の流れの様子を、間欠孔の有無によって比較したものです。間欠孔がない場合、円柱の上下に渦が交互に発生していますが、間欠孔を設けると規則的な渦が生じていないことが確認できます。

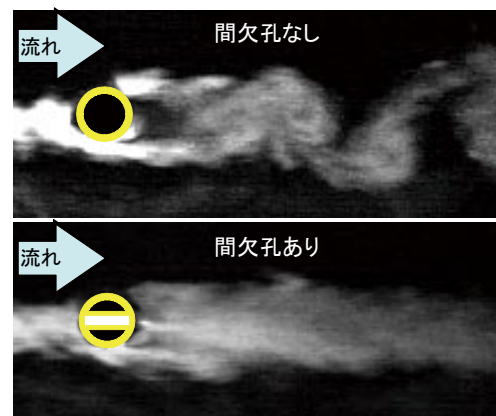


図8 円柱後流の流れの様子(間欠孔有無による比較)

しかし、部材によっては間欠孔を設けることが困難なものも多くあります。そこで、部材表面に多孔質金属材料を貼付することによって空力音を低減する手法の検討も進めています。図9は、パンタグラフの台枠や枠組関節部の風防カバーに多孔質金属材料を貼付した例ですが、台枠や枠組下部の空力音が低減している様子がわかります²⁾。この方法は部材形状を変更することなく空力音低減が可能であることから、可動部など部材形状の変更が強く制約される場合に特に有効だと考えています。

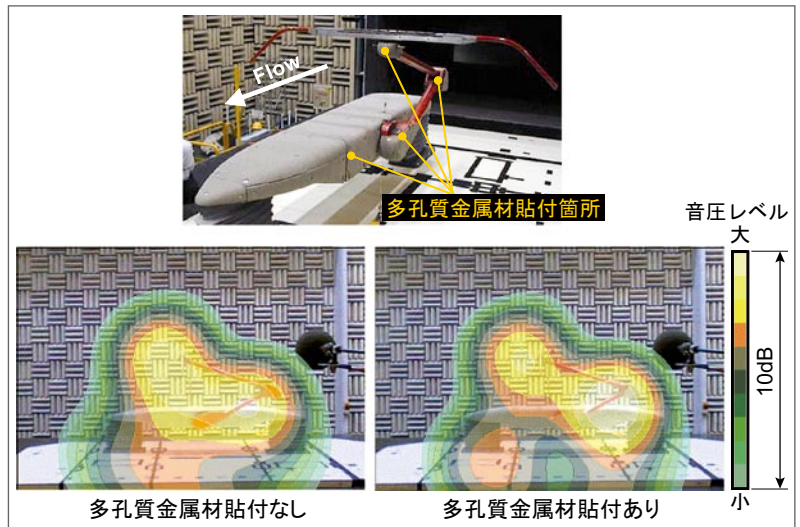


図9 多孔質金属材料貼付によるパンタグラフ空力音の低減効果
(風洞実験による音源探査結果)

パンタグラフ周辺機器の空力音対策

パンタグラフは車両屋根上に碍子を介して取り付けられます。また、パンタグラフ周辺には集電電流を車内に取り入れるための碍子(ケーブルヘッド)や、緊急時に運転台から強制的にき電停止させるための保護接地装置などが設置されます。これら周辺機器からの空力音を低減する方法として、図10に示す二つの方法が開発されています。一つは碍子オオイとよばれるフェアリングでパンタグラフ下部を覆う方法です。パンタグラフの上部(枠組、舟体)だけが高速気流にさらされるため、碍子や保護接地装置などの空力音を考慮する必要がありません。その代わりに、パンタグラフを搭載するためのバスタブ状の空間で共鳴音の一種であるキャビティ音が発生しますので、その抑制が碍子オオイ設計上の重要なポイントになります。

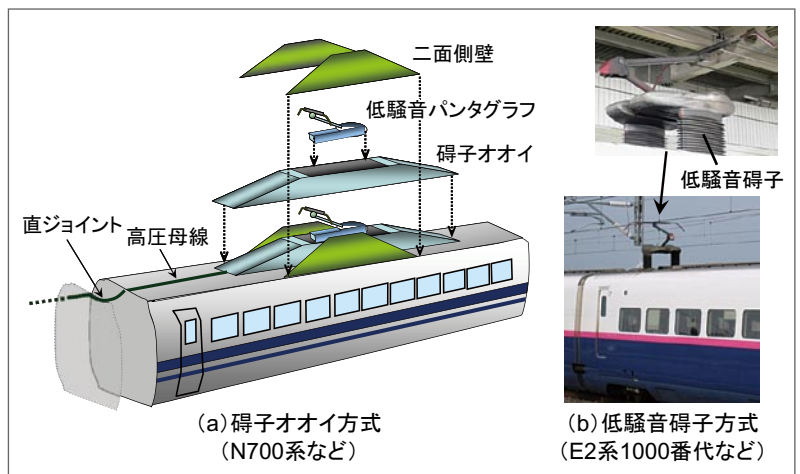


図10 パンタグラフ周辺機器から発生する空力音に対する対策

もうひとつの方法は、パンタグラフの支持碍子として、空力音が発生しにくい特殊な形状を採用した低騒音碍子を用いる方法です。ケーブルヘッドは支持碍子と一体化され、保護接地装置も屋根面からできる限り突出しない形状とします。この方法の利点の一つに、碍子オオイが不要となるため軽量化が可能であることがあります。九州新幹線800系では低騒音碍子方式が採用されていますが、急勾配が連続するため車両軽量化に対する要求が厳しいことが採用の大きな理由の一つでした。

なお、図10(a)に二面側壁が示されています。これは、パンタグラフで発生した空力音が沿線に直接伝搬することを防ぐため、遮音板として取り付けられるもので、パンタグラフ空力音低減には非常に有効です。JR東日本の高速試

験車FASTECH360は低騒音碍子方式ですが、このような遮音板も合わせて用いられています。

おわりに

パンタグラフの低騒音化技術について、最近の技術を中心に紹介しました。騒音低減を追求した結果、新幹線のパンタグラフには多くのバリエーションが生まれています。新幹線にご乗車の際、ぜひ一度屋根上にも興味を向けてみて頂ければと思います。RRR

文献

- 1) 栗田, ほか3名: 高速試験車「FASTECH360」における騒音低減の取組み, JR East Technical Review, No.22, pp.15-20, 2008
- 2) 末木, ほか4名: 金属製多孔質材付き高速用パンタグラフの空力音低減効果, 第18回環境工学総合シンポジウム, CD-ROM, 2008