

- 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

集電装置の変遷と動向

電気鉄道において、集電装置の発明とその発展は、安定した運行の実現に重要な役割を果たしてきました。そこで本稿では、日本の電気鉄道の黎明期から新幹線電車に至るまでの120年にわたる集電装置の発展経緯を、信頼性向上、高速化、環境対策などの技術的課題に対してどのように対応してきたのか、という観点を中心として、ご紹介します。

日本の電気鉄道の前史

電気鉄道の実用化には、鍵となる二つの技術が必要でした。一つは電気エネルギーを列車の駆動に用いるための技術、言い換えれば、電気エネルギーを運動エネルギーに変える技術です。もう一つは電気エネルギーを必要とする場所に供給する技術です。電気鉄道の起源をどこに求めるのか、諸説あるところですが、一般には1835年にダベンポートが作った電車模型がその起源だと言われています。彼は世界で初めて実用的なモーターを発明したことでも有名で、自ら製作した直流モーターを電車模型に搭載し、ボルタ電池によって電力を供給して電車を走らしました。このように、電気エネルギー

を運動エネルギーに変換する技術であるモーターと、電気エネルギーを供給する技術であるボルタ電池の二つがそろったとき、電気鉄道が誕生したのです。

しかし、世界最初の電気鉄道の営業運転は集電装置と電車線設備の出現により実現します。これは、電池によるエネルギー供給は当時まだ実用に耐え得るものではなく、これに代わる仕組みとして電力供給用の導体（電車線）を線路に沿って敷設し、車両に搭載した集電装置により電車線から車両へと電力送電を行う技術、すなわち集電技術の発明が、電気鉄道の実用化には必要であったからです。この仕組みを考案したのはシーメンスで、1879年に開催されたベルリン工業博覧会において、



池田 充

Mitsuru Ikeda
鉄道力学研究部
部長

【専門分野】架線・パンタグラフ系の相互作用、パンタグラフの低騒音化



臼田 隆之

Takayuki Usuda
鉄道力学研究部
集電力学研究室長

【専門分野】架線・パンタグラフ系の相互作用

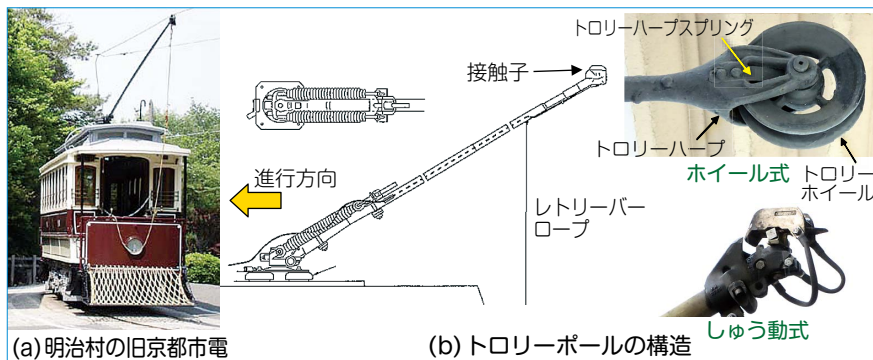
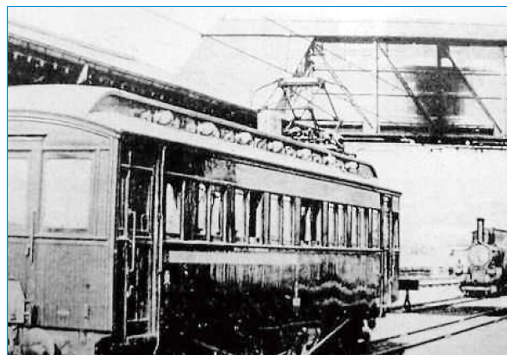


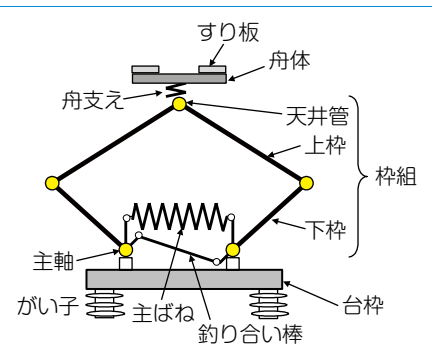
図1 トロリーポール



図2 ビューゲル(東京都電)



(a) 日本最初のパンタグラフ



(b) パンタグラフの基本構造

図3 パンタグラフ

現在のサードレール方式の原型となる集電方式を採用した電気機関車を公開し、人を運ぶデモ走行を行いました。

続く1881年、シーメンスはベルリン郊外において電車による世界初の営業運転を開始します。ただし、2本のレールをそのまま電車線として使用したため、馬の感電が絶えなかったようです。そこで、より安全性の高い集電方式として、米国のスプレークにより架空電車線(架線)が考案されます。彼は1888年に架線による路面電車の営業運転を開始し、大成功を収めます。架線による電気鉄道の運行はまたたく間に世界に広がり、わずか2年後の1890(明治23)年、東京・上野公園で開催された内国勸業博覧会において、日本で初めて電気鉄道のデモ走行が行われました。このときに用いられていた集電装置はトロリーポールです。

トロリーポールとビューゲル

1895(明治28)年、日本最初の電車による営業運転が京都で始まりました(京都電気鉄道)。この車両にもトロリーポールが搭載されていました。

図1に示すように、トロリーポールは1本のポールの先端に接触子(ホイールもしくはスライダ)を取り付け、ポール基部を回転自在としたものです。車両動揺などにより接触子がトロリー線から外れることを離かんといいますが、これを防ぐために接触子が架線を押上げる力(押上力)はおお

むね100~150Nに設定されていました。これは、今日のパンタグラフの標準的な押上力の約2倍に相当します。トロリーポールは構造が簡便で、架線を比較的自由に架設することができる代わりに離かんが発生しやすく、しかも分岐通過時には乗務員がポールに取り付けられたレトリーバーロープ(引きひも)を操作して、接触するトロリー線を変更する操作が必要でした。そのうえ、押上力が大きい割には架線張力が低かったことから、トロリー線の疲労破断がしばしば発生していました。

こうした欠点を解消するため、トロリーポールに替わってビューゲルが普及していきました(図2)。1902(明治35)年に輸入されたシーメンス社製ビューゲル(江之島電気鉄道、宮川電気)が日本最初のものとしてされています¹⁾。トロリーポールに対する最大の相違点は、トロリー線との接触子のまくらぎ方向寸法が大きいため、接触子が架線から外れる可能性が大幅に低下したことです。そのため、トロリー線に対する押上力を、トロリーポールの約半分程度に設定できるようになり、架線事故の抑制に大きく寄与しました。例えば、路面電車のトロリーポールをビューゲルへ換装した結果、月平均50~60回であった架線事故が月平均2回程度に減少した、という報告²⁾があります。

パンタグラフと集電靴

国鉄の電化は、1904(明治37)年に

行われた甲武鉄道の電化(飯田町~中野)に端を発しています。この路線は1906(明治39)年、鉄道国有法により国有化されました(現中央線)。当時は、トロリーポールを2基搭載した車両を2両連結して運行されていました。トロリーポールが2基必要だった理由は、電車線が現在一般的な架空単線式ではなく、架空複線式であったためです。つまり、プラス側とマイナス側の2本のトロリー線が張られており、それぞれに対してトロリーポールが必要だったのです。この方式は1909(明治42)年の山手線電化にも適用されています。

1914(大正3)年12月、東京駅の開業に合わせて東京~横浜間で電車運転が開始されました。このとき、架空単線式電車線が導入され、国内で初めてパンタグラフが導入されました(図3)。GE社製のひし形パンタグラフで、すり板部はローラー式でした。しかし、ローラー式のためにしゅう動部が重く、しかも押上力が100N以上に設定されていたことから、曲線区間においてパンタグラフが架線から外れる事故がたびたび発生し、わずか1週間で運転が中止されました。その後、現在と同じすべり接触式に変更され、翌年5月に運転が再開されました。

安定したしゅう動をするため、トロリーポールやビューゲルは常になびき方向(枠組の回転中心に対してすり板が進行方向後方に位置する方向)で使用する必要があります。この操作は乗



図4 EC40電気機関車の集電靴

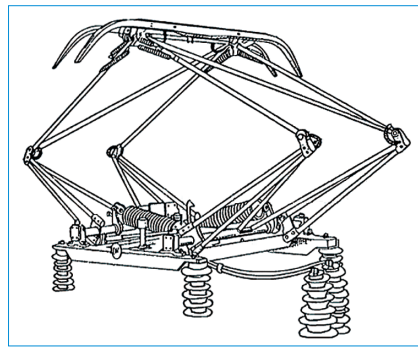


図6 PS16パンタグラフ

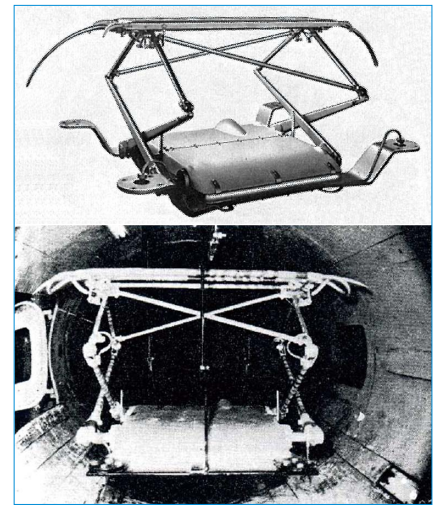


図7 0系新幹線用PS200パンタグラフとその風洞試験の様子

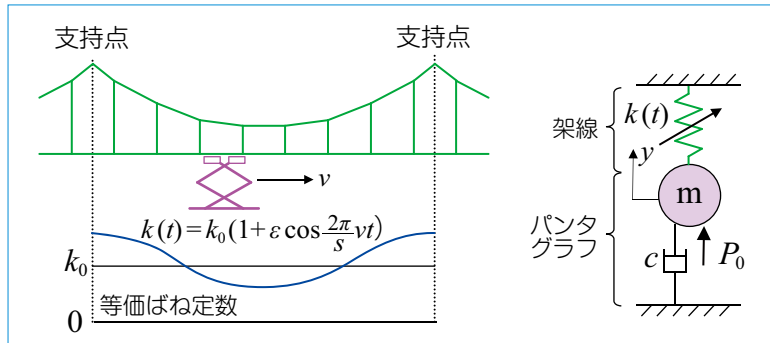


図5 架線・パンタグラフ系の解析モデル(ばね質点モデル)

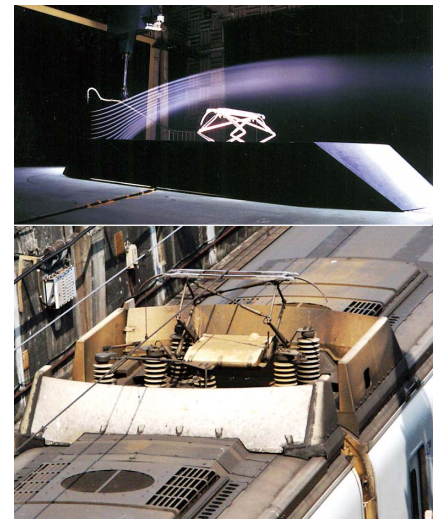


図8 パンタグラフカバーの風洞試験と200系用パンタグラフカバー

務員が行いますが、雨の日には大変な作業です。東京～横浜間で使用が始まったパンタグラフはこうした方向転換が不要でしたので、1918(大正7)年に山手線や中央線についても架線が架空単線式に変更され、翌1919(大正8)年には集電装置がトロリーポールからパンタグラフへと換装されました。

一方、国鉄の幹線で最初に電化された区間は信越線の横川～軽井沢間でした。この区間は碓氷峠を越える急こう配区間で、しかもトンネルが連続していましたので、蒸気機関車のばい煙対策として1912(明治45)年に電化されました。既設トンネルにそのまま架線を架設できなかったため、サードレール方式が採用されましたが、横川と軽井沢の駅構内だけは感電防止のために架線が用いられています。そのため、電気機関車にはトロリーポールと集電靴が両方搭載されています。電化開業当時に用いられていたEC40電気機関車の集電靴を図4に示しますが、日本では珍しい下面接触式(集電靴がサードレールの下面をしゅう動する)でした。1963(昭和38)年、この区間に別

ルートの新線が開業し、国鉄からサードレール電化区間がなくなりました。

パンタグラフの高速化対応

日本に初めてパンタグラフが輸入されてから7年後の1921(大正10)年、国産第1号のA形パンタグラフが東洋電機製造より出荷されます。この後、追従性能の向上を目指して部材の軽量化や押し機構の改良が逐次進められます。なお、この頃のパンタグラフのすり板は純銅製でした。しかし、太平洋戦争が始まると金属資源が不足したため、純カーボン製のすり板が使われるようになります。当時の純カーボンはもろく、使用中の破損が多かったうえ、電気抵抗率が高いことから停車中にトロリー線温度が高くなって断線する事故も多発したため、1949(昭和24)年に鉄道電化協会内に電気車すり板改良研究委員会が設置され、銅系焼結合金すり板の開発が進められました。また、1952(昭和27)年には、同じく鉄道電化協会内に集電研究委員会が設置され、東海道本線で計画されていた電車による110km/h運転の実現に向け

て、架線、パンタグラフに関わる技術的検討が開始されます。いずれの委員会も、鉄道技術研究所、大学の研究者を中心に構成されていました。

集電研究委員会では、架線とパンタグラフの動的挙動を理論的に扱う最初の解析モデルが東大の藤井先生により提案されました(図5)。このモデルは1自由度系の簡易なモデルですが、速度向上のために必要な集電系の改良方針を明快に示すことができる、有用なモデルです。こうした理論解析と、その検証のための各種走行試験が行われ、高速用パンタグラフとしてPS16(図6)が開発されました。すり板には銅系焼結合金すり板が採用されています。

1958(昭和33)年に東海道本線におい

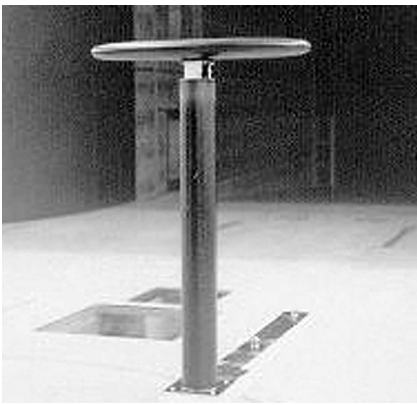


図9 低騒音パンタグラフの初期の風洞実験



図10 500系用T型パンタグラフ

てPS16を搭載した特急こだま号(151系)の運行が開始され、最高速度が従来の95km/hから110km/hに引き上げられました。PS16は1960(昭和35)年の狭軌世界記録175km/hの達成にも貢献し、その後の国鉄のパンタグラフの標準形式として多くの車両に採用されました。

1964(昭和39)年の東海道新幹線開業は、パンタグラフに大きな変化をもたらします。200km/hを超える速度では空気力の影響が大きくなるため、その対策が必要です。そこで、図7に示すようにパンタグラフの風洞試験が繰り返し実施され、枠組の小型化により空気力の影響を小さくすること、枠組や舟体支持部のガタやゆがみをできるだけ避けるとともに舟体断面形状を箱形とすることによって空力安定性を確保すること、などの設計方針が定められ、下枠交差式のパンタグラフPS200(図7)が開発されました。また、高速走行の実現には、新しいすり板の開発も重要な開発項目でした。約20種類の試作品に対して各種室内試験ならびに現車試験が実施され、新た



図11 N700系とE5系の低騒音パンタグラフ

に鉄系焼結合金すり板が開発されました。鉄系焼結合金すり板は、さまざまな改良が施されつつ、現在でも新幹線の標準すり板として使用されています。

低騒音パンタグラフ

新幹線は最高速度210km/hで開業しましたが、その後の速度向上により、現在の最高速度は320km/hとなっています。その間、パンタグラフに関する最大の課題は騒音対策でした。

パンタグラフの走行に起因して生じる騒音を集電系音といいます。集電系音に関してまず問題となったのは離線に伴うアーク音でした。そこで、架線の改良と平行して、すり板と舟体との間にばねを設けて追従性能を向上させる微動ばね方式が開発され、200系、次いで100系に適用されました。さらに、き電方式の改良によりパンタグラフ相互の高圧母線接続とパンタグラフ数削減が可能になり、アーク音は抜本的に解消されました。

アーク音の問題が解消されると、今度はパンタグラフから発生する空力音の低減が大きな課題となりました。パンタグラフの空力音対策としてまず実用化されたのはパンタグラフカバー(図8)です。パンタグラフ近傍の流速低減効果と遮音効果とにより、空力音を効果的に低減できます。しかし、最高速度が300km/hに近付くと、より根本的な空力音低減策が求められます。そこで鉄道総研では、パンタグラフの形状平滑化ならびに部材点数削減によりパンタグラフそのものの空力音低減を図る、低騒音パンタグラフを提案しま

した(図9)。そのアイデアは、1997(平成9)年に営業を開始した500系に搭載されたT型パンタグラフにより具現化されました(図10)。また、同年に営業を開始したE3系用に、シングルアームパンタグラフをベースとした低騒音パンタグラフが開発されました。これ以降、新幹線では低騒音パンタグラフが標準となり、さまざまなタイプの低騒音パンタグラフ(図11)が開発されて高速運転の実現に貢献しています。なお、こうした鉄道車両の空力音低減に関わる研究開発を推進するため、鉄道総研では1996(平成8)年に大型低騒音風洞を米原に建設し、JR各社の低騒音パンタグラフの開発に大きく寄与しています。

おわりに

本稿では、トロリーポールから新幹線用低騒音パンタグラフに至る集電装置の変遷をご紹介しました。現在、新幹線のさらなる高速化実現のため、パンタグラフに対してより一層の低騒音化が求められています。しかし、従来手法だけで空力音の大幅低減を実現することはもはや容易ではありません。そこで鉄道総研では、新しい発想に基づく低騒音化技術の研究を進めています。こうした研究開発により、より高い速度で使用可能な集電装置の実現が期待されています。RRR

文献

- 1) 吉川文夫：日本電車発達史，保育社，pp.112-113，1989
- 2) 松浦明孝：ビューゲル使用上の諸問題，電気鉄道，第2巻，第6号，pp.320-322，1948