

### 第5回

# 高速鉄道に向けた 電車線の変遷

## 電車線のはじまり

1872年に蒸気機関車による鉄道の営業が、新橋から横浜間で始まりました。その後、40年の間に諸外国を初めとして日本でも電気鉄道が芽生え始めます。例えば、1879年にドイツで電気鉄道が誕生しました。このとき、車両への電力は、送電が第三軌条と呼ばれる導体で行われ、受電が車両に取り付けられた集電靴で行われていました。このような電力の送受電に用いられるシステムを集電システムと呼び、特に、地上側の導体を電車線と呼びます。

表1に1872年の鉄道開業から1914年までの集電システムの変遷を示します。1890年に第三回内国勸業博覧会にて電気鉄道が国民に紹介されたのが、日本における電気鉄道の始まりと言われていています。1895年には電気鉄道での営業運転が始まります。しかし、このときの集電システムは、直接ちよう架式の電車線とトロリーポールの組み合わせでした。1912年には信越線の電化の際に横川駅構内と軽井沢駅構内にシンプル式が使用されています。しかし、現在のような集電システムであるシンプル式やコンパウンド式とパンタグラフの組み合わせが用いられたのは、1914

表1 集電システムの変遷(～1914年)

西暦	国内の出来事 < >内は海外の出来事を示し、( )内に集電システムの構成を示す
1872年	鉄道開業 < 1879年ドイツで電気鉄道が誕生(第三軌条・集電靴) > < 1880年アメリカでトロリーポール発明 > < 1881年ドイツで電気鉄道の営業運転開始(第三軌条・集電靴) >
1890年	電気鉄道が誕生(第三軌条・集電靴)
1895年	京都で電気鉄道の営業運転開始(直接ちよう架式・トロリーポール)
1904年	甲武鉄道 飯田町・中野間の電化(直接ちよう架式・トロリーポール)
1906年	国鉄が甲武鉄道を買収する。国鉄にとって初めての電化区間 < 1907年スイスでシンプル式が用いられる >
1912年	国鉄 信越線の電化(第三軌条・集電靴 一部でシンプル式・トロリーポール)
1914年	国鉄 京浜線の電化(シンプル式とコンパウンド式・パンタグラフ)

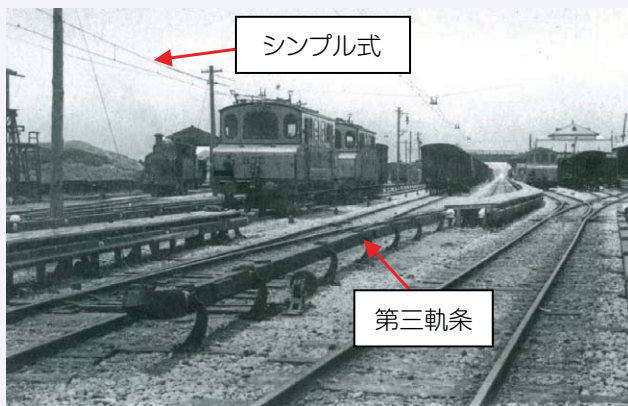


図1 第三軌条とシンプル式(信越線 軽井沢駅構内)  
出典：ネコ・パブリッシング「国鉄アプト式電気機関車」  
三宅俊彦所蔵絵葉書

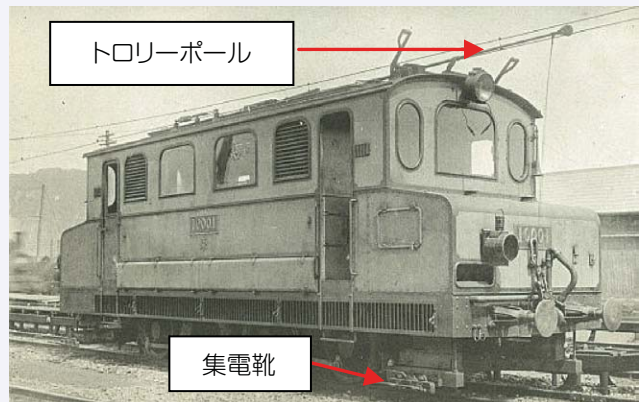


図2 集電靴とトロリーポールの例  
出典：鉄道省「日本鉄道史(下)」



図3 特急こだま号  
出典：イカロス出版株式会社「東海道線の名列車Ⅱ」



図4 1964年頃の東海道新幹線  
出典：交通協力会「国有鉄道」

年の京浜線の電化からとされています。なお、集電システムの例として、図1に第三軌条とシンプル式を、図2にトロリーポールと集電靴を示します。

### 【 高速鉄道への時代の流れ 】

鉄道的高速化のためには、集電システムとしてシンプル式やコンパウンド式（総称してカテナリちょう架式）とパンタグラフの使用が有利です。そのような観点で考えると、1914年にカテナリちょう架式とパンタグラフの組み合わせを最初に用いた時が、高速鉄道に向けた第1のターニングポイントであったと言えます。

1955年頃から東海道本線で電気鉄道的高速走行試験が始まります。また1956年には鉄道技術研究所に電車線研究室が発足し、1957年には、鉄道技術研究所創立50周年記念講演会で新幹線構想が提案され、1958年には、特急こだま号が東京－大阪間を110km/h、6時間50分で結びます（図3）。さらに、1959年には、特急こだま号による高速走行試験で最高時速163km/hが記録されます。この頃は、電車線の技術開発がいくつも行われており、高速鉄道に向けた第2のターニングポイントであったと言えます。

そして、第3のターニングポイントとして東海道新幹線が1964年に開業します。この時から本格的な高速鉄道の時代が始まります。図4に1964年頃の東海道新幹線の様子を示します。

### 【 高速鉄道のための電車線 】

特急こだま号の運転にともない、電車線にいくつかの課題が浮上しました。例えば、パンタグラフの破損が1年半

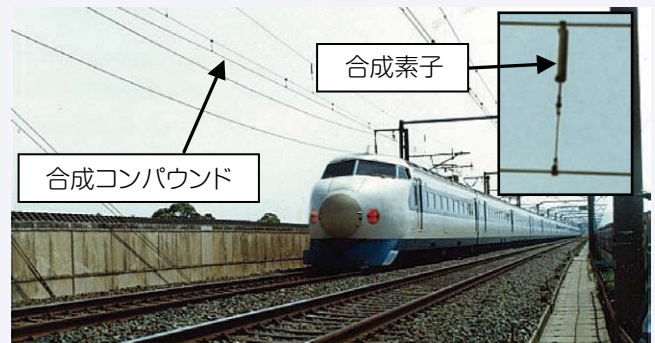


図5 合成コンパウンドの例

で十数件発生したために、電車線的高速運転に対する信頼性が低下したことやトロリー線の摩耗量が増加したことなどです。これらの課題の解決に向けて集電システムの解析法の研究や電車線金具の開発などが進められました。

#### (1) 集電システムの解析法の変遷

集電システムの力学的モデルは、これまでに、ばね・質点系モデル、両端支持弦モデル、弾性支床弦モデル、ばね支持弦モデル、区間弾性支床弦モデルと発展してきました。東海道新幹線の架線方式を決める際には、ばね・質点系モデルが用いられて検討が進められました。

#### (2) コンパウンド式(合成コンパウンド)

東海道新幹線の架線が決定されるまでには、いくつかの架線方式の提案があり、それぞれに対して理論的な観点、実験的な観点、工事や保守の観点などから多角的な検討が重ねられました。最終的に、東海道新幹線には、コンパウンド式の中でも図5のような合成素子（中にばねが入っているドロップ）を使用した合成コンパウンドが採用されました。

#### (3) その他の開発

東海道新幹線の電車線の開発に向けて、電車線を支持するビームや金具類などの開発、ならびに仕様決定も行わ



れました。例えば、現在の可動ブラケットは、可動ビームという名称で仙山線において試験と検討が重ねられ、東海道新幹線で合成コンパウンド用可動ブラケットとして採用されました。

### 東海道新幹線開業後の電車線の開発

1964年の東海道新幹線開業後、電車線の実用的な課題がいくつか明らかになりました。例えば、風の強い日に架線が大きく揺れる現象や、ハンガーなどの架線金具のボルトの緩みが発生したことなどが挙げられます。これらの課題を解決していく中で、以下で述べる新しい電車線が開発されます。

電車線は数十m毎に支持物でちょう架されています。この箇所を支持点と呼んでいます。ある一定の力で電車線を押上げると支持点付近で押上量が小さく、支持点間中央付近で押上量が大きい特徴があります。この力と押上量の関係から、電車線の支持点付近のばね定数と支持点間中央付近のばね定数に差があることがわかります。

東海道新幹線で使用されていた合成コンパウンドは、支持点付近のばね定数と支持点間中央付近のばね定数の差を小さくすることで、パンタグラフの振動を小さくし、これにより集電システムの性能向上を目指した電車線でした。しかしながら、後の研究から、ばね定数の差を小さくすることに加えて、張力を大きくすることも重要であることがわかってきました。このような理論的な知見を積み重ねた後、合成コンパウンドより太い線条を使用し、張力を大きくしたコンパウンド式の1つであるヘビーコンパウンドが開発されました。図6にヘビーコンパウンドの例を示します。この架線は1972年に開業した山陽新幹線 新大阪-岡山間、その3年後の岡山-博多間、1982年の東北新幹線 大宮-盛岡間などで採用されました。なお、東海道新



図6 ヘビーコンパウンドの例

幹線では1974年から1989年にかけて合成コンパウンドからヘビーコンパウンドへの変更工事が行われました。このヘビーコンパウンドの導入により、新幹線の電車線の安定性に対する評価が高まりました。

### ヘビーコンパウンド導入後の電車線

1990年頃から東日本旅客鉄道株式会社、西日本旅客鉄道株式会社、東海旅客鉄道株式会社で順次、新幹線の高速走行試験が始まります。

トロリー線にはパンタグラフのしゅう動にともない振動が励起されます。この振動が伝わる速度を波動伝播速度と呼びます。波動伝播速度は、軽量かつ高張力で架設されている方が速くなります。1990年頃からの高速走行試験の結果から、トロリー線の波動伝播速度の0.7倍以下を新幹線の最高速度になるように設定すると、集電システムの性能の悪化を防ぐことができることがわかってきました。

1997年には最初の整備新幹線として、北陸新幹線 高崎-長野間（以下、長野新幹線）が開業しました。この区間では、シンプル式の1つである高速用シンプルが採用されました。

シンプル式とコンパウンド式を、集電システムの性能の点で比較すると、支持点付近と支持点間中央付近のばね定数の差を小さくできるコンパウンド式の方が良いと言えます。このため、長野新幹線はヘビーコンパウンドで建設される予定でした。しかし、実際にはシンプル式が採用されました。これは整備新幹線区間の輸送密度に応じた設備の簡素化が必要であったことに加えて、既述した波動伝播速度に関する知見が深まっていたこと、高張力で使用することができるCS (Copper Steel) トロリー線が開発されていたこと、1991年以降で実施された東北新幹線 古川-くり



図7 CSトロリー線とCSシンプルの例

出典：日本鉄道電気技術協会「新幹線の連続アークはどのようにして解消されたか」

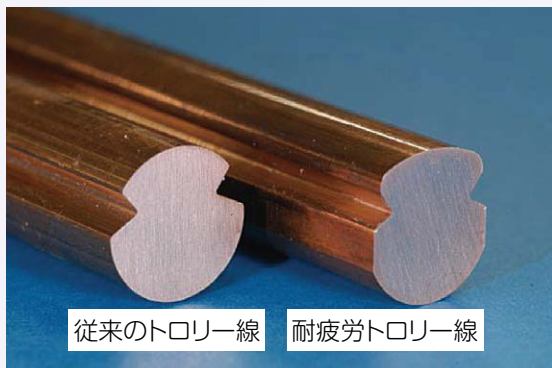


図8 従来のトロリー線と耐疲労トロリー線

こま高原間での試験で、CSトロリー線を用いた高速用シンプルの集電システムの性能が良好であったことなどの背景があると思われます。この長野新幹線以降、整備新幹線にはトロリー線の種類に違いがあるものの、高速用シンプルが採用されています。図7にCSトロリー線とCSシンプルの例を示します。

【 最近の電車線に関する研究開発 】

整備新幹線は長野新幹線以降、東北新幹線 盛岡-新青森間や九州新幹線 博多-鹿児島中央間が開業し、今後も北陸新幹線延伸や北海道新幹線の開業が予定されています。また東北新幹線での320km/h運転も予定されており、これにともなう研究開発も進められています。特に、今後は持続的な発展を可能とする研究開発、例えば、将来を見据えた研究開発や、電車線で生じる多様な現象を解明するための基礎的な研究が重要となっています。以下では、最近の電車線に関連する研究開発の概要を示します。

**(1) 集電系の高性能化と保守の高度化の研究**

鉄道の持続的な発展を目指すためには、新幹線のさらなる高速化に応えつつ、保守やメンテナンスに負担をかけない設備を構築する必要があります。そこで、電車線の架設状態を高精度に測定する技術の確立、その測定結果から集電システムの性能を高精度に予測するためのシミュレーションプログラムの開発、その結果を評価するための保守・架設基準の策定が進められています。

**(2) トロリー線の開発と電車線支持装置の開発**

パンタグラフはトロリー線に接触して電力を得ています。したがって、トロリー線にはパンタグラフが通過するたびに振動が励起されます。これが長い年月をかけて多くの回数が生じるため、疲労破断が発生しないような配慮をしています。しかし、将来的に新幹線の速度が上がると、トロリー線に加わる力も大きくなり、疲労に対する寿命が短く



図9 電車線支持装置の開発

なることが予想されます。そこで図8に示すような従来の形状と異なる耐疲労トロリー線の開発を進めています。また図9に示すような電車線の位置(高さ・偏位)の微調整を容易にすることで保守の負担を軽減するとともに、保守の高度化を可能とする金具の開発を進めています。加えて、支持点付近の集電システムの性能を向上させるための新しい曲線引金具の開発も進めています。

**(3) アーク放電現象や摩耗現象の解明**

集電システムの性能が低下すると、トロリー線とパンタグラフの接触が阻害され、アーク放電が発生するとともに集電システムで用いられている材料の摩耗量も増加することがわかっています。しかし、この摩耗量がどのようなパラメーター(例：電車の速度、電流など)に支配されているのかについては、まだ明確な答えを得ていません。そこで基礎的な研究を進めてこれらの解明を目指しています。

以上、過去から現在までの電車線の変遷を記しました。当然ですが、ここに記していない研究や技術開発は沢山あります。特に集電系騒音を低減する目的で、電車線やパンタグラフの技術者が一丸となった取り組みについて触れることができませんでした。これについては文献5)に詳しく書かれています。

(早坂高雅/電力技術研究部 電車線構造研究室)

**文 献**

- 1) 小林正義：国鉄アプト式電気機関車(上)、ネコ・パブリッシング、Vol.147、2011
- 2) 鉄道省：日本鉄道史(下)、1921
- 3) イカロス出版株式会社：東海道線の名列車Ⅱ、2005
- 4) 交通協力会：国有鉄道、1964
- 5) 下前哲夫、真鍋克士、網干光雄：新幹線の連続アークはどのようにして解消されたか、日本鉄道電気技術協会、2008