

- 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

# 電車線設備の変遷と動向

電気鉄道において、車両と地上の間で電力の授受を行うことを「集電」といいます。集電を行うことで走行用の動力源を車両に搭載する必要がなく、車両重量に比べて出力を大きくできることは電気鉄道の大きなメリットです。電池を搭載した電車が実用化の緒に就いたところですが、集電は今後も電気鉄道のキーテクノロジーであり続けると考えられます。本記事では、集電のための地上設備、つまり電車線設備の発展経緯と今後の動向を紹介します。

## 電気鉄道のはじまりと電車線方式の変遷

1895（明治28）年に国内初の電車による営業運転が京都電気鉄道株式会社による路面電車を実現しました。開業時の電車線は、直流500Vの架空単線式で、

集電装置はトロリーポールが使用されていました<sup>1)</sup>。架空単線式は、車両上空に正極側の接触電線（電車線）を設け、レールを負極（帰線）として用いる方式です。その後、水道管の電食や電話線への誘導障害の懸念から、路面電車では車両上空に正極、負極の2本の電線を設けてレールへ電流を流さない架空複線式が大正初期まで原則となりました<sup>2)</sup>。

国有の電気鉄道は1906（明治39）年の鉄道国有法実施にともなって買収された甲武鉄道がはじまりで、当初は直流600Vの架空複線式でした。その後、専用軌道を持つ電気鉄道に対しては帰線の条件が緩和されたため、1914（大正3）年の京浜線電化では、架空単線式の電車線とパンタグラフが本格的に採用されました。電車線方式は、東京・ハッ山間がドイツ式のコンパウンドカタナリー、ハッ山・横浜間はアメリカ式のシンプルカタナリーで、輸送量増加に伴う電圧降下を救済するため、電圧は直流1200Vが採用されました<sup>2)</sup>。現在では、架空単線式が在来線から新幹線まで広く採用されています。



**清水 政利**  
Masatoshi Shimizu  
電力技術研究部  
電車線構造研究室  
室長  
[専門分野] 電車線とパンタグラフの相互作用



**菅原 淳**  
Atsushi Sugahara  
電力技術研究部  
集電管理研究室  
室長  
[専門分野] 集電系の材料

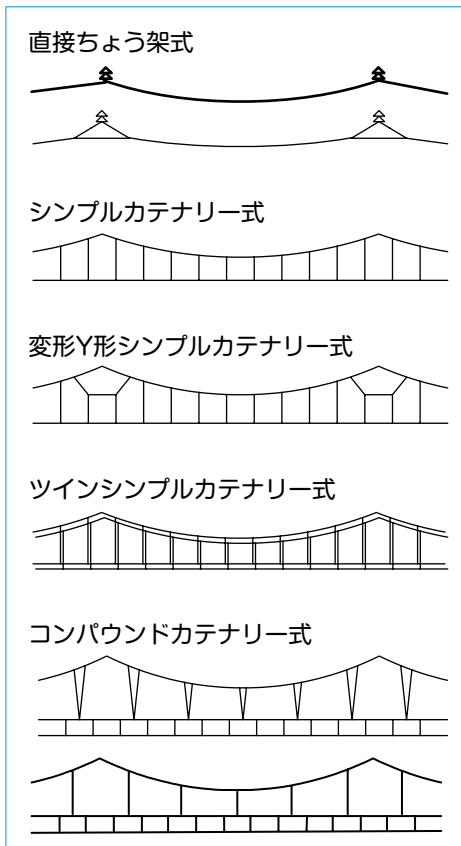


図1 架空単線式電車線の例

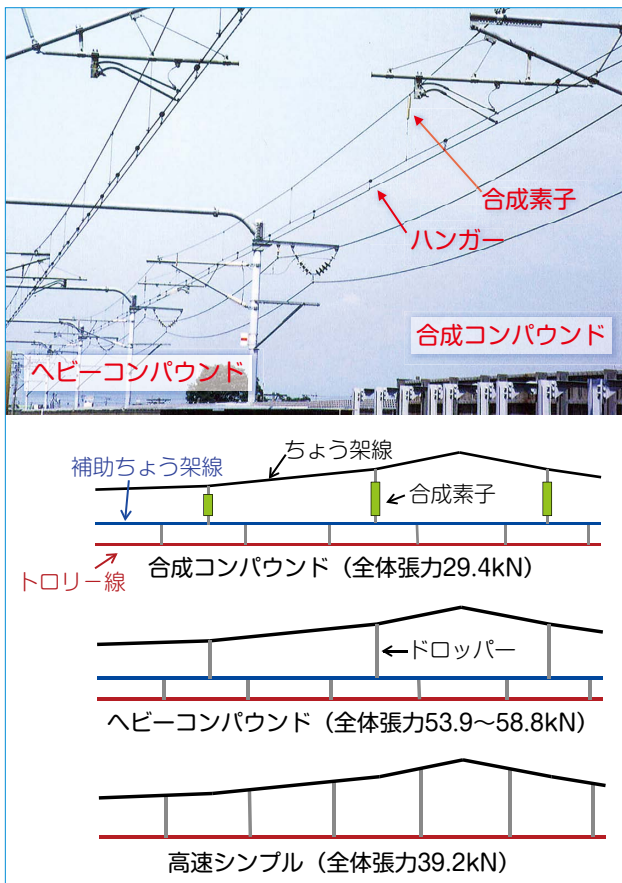


図2 新幹線用電車線の変遷

図1に架空単線式電車線の例を示します。

### 在来線電車線の高速化

東海道本線全線電化から2年後の1958(昭和33)年11月に、特急電車列車こだま号が運転を開始し、最高速度が95km/hから110km/hに引き上げられました。これに先立ち、昭和20年代から電車線の高速化に関する本格的な研究が進められ、対策として支持点間の等価的なばね定数の均一化、平均ばね定数の増加、パンタグラフの軽量化とパンタグラフダンパーの使用が有効であることが示されました<sup>3)</sup>。これらの研究から東海道本線では、シンプルカタナリーを2組平行に配置したツインシンプルカタナリーが採用されました。ツインシンプルカタナリーの場合、ばね定数を均一にすることはできませんが、シンプルカタナリーに比べてばね定数を2倍にできるため、パンタグラフの上下振動を抑えることが

東北本線、山陽本線電化時の基本形として広く採用されました。しかし、支持点付近のトロリー線の押し上がり量が大きいことなどによる不具合や保守面での懸念があったため、その後が開発されたヘビーシンプルカタナリーに置き換わり、現在ではほとんど見られなくなりました。

ヘビーシンプルカタナリーは、シンプルカタナリーに比べてちょう架線やトロリー線を太くして張力を増加させたもので、昭和50年代以降の国鉄の高速運転区間の標準方式となりました。

### 新幹線電車線の開発と高速化

1964(昭和39)年に開業する新幹線に向けて、電車線についても最高速度を200km/h以上と大幅に引き上げるための研究が行われました。

図2に新幹線用電車線の変遷を示します。東海道新幹線開業に合わせ、ばね定数の均一化の観点から合成コンパウンドカタナリーが開発されました。

できます。

もう一つの対策であるばね定数の均一化の観点からは、支持点付近に別の電線を設けた変Yシンプルカタナリーが開発されました。この方式はシンプルカタナリーとほとんど建設費が変わらないため、

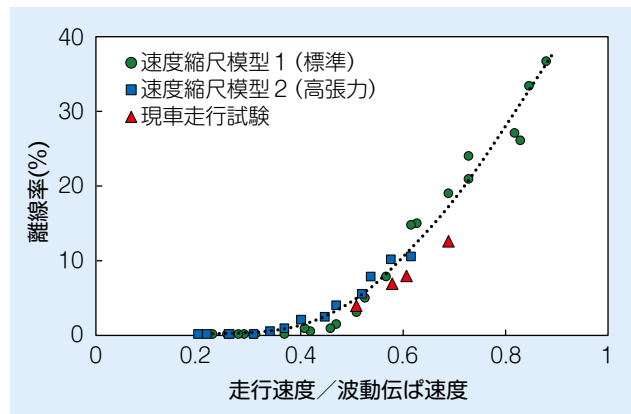


図3 離線率の特性

これは、ばねとダンパーで構成された合成素子を全てのドロッパーに挿入することにより、全てのハンガー点ではばね定数を同一にしたものです。

1972(昭和47)年開業の山陽新幹線以降は、さらに安定した集電の実現や電流容量の確保のため、全体の張力を29.4kNから53.9kNまで向上させたヘビーコンパウンドカタナリーが標準方式となり、東海道新幹線でも平成2年に合成コンパウンドカタナリーからの変更が完了しました。

東海道新幹線開業以降も電車線の高速化に関する研究が進展し、トロリー線の波動伝ば速度の向上が、トロリー線とパンタグラフ間の接触性能を良好に保つために有効であることが示されました。ここでの波動伝ば速度とは、パンタグラフの接触などによって生じた波がトロリー線を伝わる速度のことで、張力が強いほど、軽量なほど速くなります。図3は、速度縮尺模型による走行実験や現車走行試験による離線率の特性です<sup>4)</sup>。離線とは、パンタグラフとトロリー線が接触を維持できず離れる現象のことで、離線率とは、走行時間に対する離線時間の割合です。図のように、パンタグラフの走行速度がトロリー線の波動伝ば速度に近づき、その比が1に近づくほど離線率が悪化します。これらの研究結果から、トロリー線の波動伝ば速度の7割程度までの走行速度が良好な接触性能を維持できる目安とされました。

新幹線で使用されている断面積170mm<sup>2</sup>のトロリー線の波動伝ば速度は、張力が14.7kNの場合355km/hで、その7割は249km/hとなります。このため、新幹線の270km/hへの速度向上を契機に、高速区間では断面積170mm<sup>2</sup>のトロリー線張力を17.6kN～19.6kN程度とし、波動伝ば速度の7割を270km/h以上とすることが一般的となりました。



図4 CSシンプル架線

### 整備新幹線の電車線

一方、整備新幹線では、高速性と経済性を両立した電車線方式が求められ、高速シンプルカテナリーが開発されました。高速シンプルカテナリーは、従来のトロリー線に比べて引張強度が高いトロリー線を採用し、波動伝ば速度を向上することにより速度300km/h域までの集電性能を確保しています。後述するCSトロリー線を用いたCSシンプル架線(図4)が開発され、北陸新幹線の高崎～長野間(1997(平成9)年開業)から九州新幹線新八代～鹿児島中央間(2004(平成16)年開業)までの整備新幹線に採用されています。その後、保守性やリサイクル性の高いPHCトロリー線を用いたPHCシンプル架線が開発され、東北新幹線八戸～新青森間(2010(平成22)年開業)以降の整備新幹線の標準電車線方式として採用されています。

### トロリー線の材料

トロリー線は張力を加えた状態で、屋外で長期間架設され、パンタグラフとしゅう動しながら大電流の授受を行うので、導電性、引張強度、耐摩耗性、耐熱性、耐腐食性が求められます。また、パンタグラフ通過時に振動が生じるので耐疲労性も求められ、さらに、近年では環境保護意識の高まりからリサイクル性も求められます。その全て

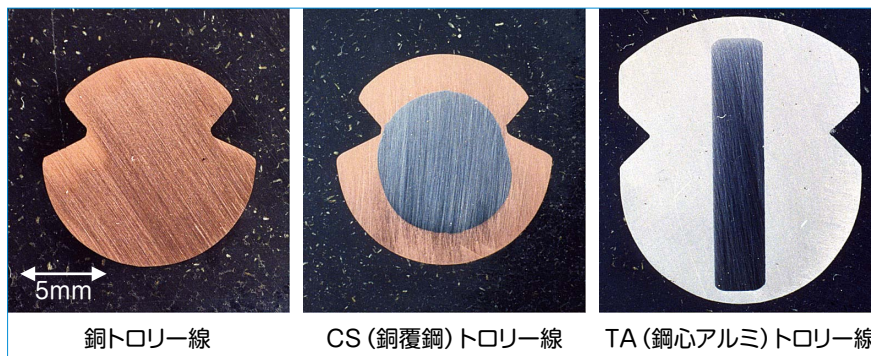


図5 各種トロリー線の断面

を満足するのは困難ですが、要求にかなうものとして、電気鉄道のはじまりの頃からトロリー線材料には銅が用いられ、現在もお主流を占めています。日本では、太平洋戦争中に銅資源枯渇のため、アルミ合金、軟鋼、および銅・アルミ複合構造のトロリー線が検討され、試作・試験架設が行われましたが、いずれも戦後撤去され、実用化には至りませんでした<sup>5)</sup>。

1950年代半ば(昭和30年頃)、電化工事中に蒸気機関車の煙突から出る熱によってトロリー線が軟化するのを防ぐため、銅に銀を0.1%強添加して耐熱性を向上させたトロリー線(銀入り銅トロリー線)が実用化されました<sup>5)</sup>。また、1970年代半ば(昭和50年頃)、当時の国鉄で摩耗によるトロリー線取り替え数量が増大したため、硬さを増し、耐摩耗性を向上できる銅合金の検討が行われました。一般に、合金成分を添加することによって導電性は低下しますが、試作・試験により添加する

成分と量を検討したところ、すずを0.3%添加するのが適当と考えられました。これは「すず入り銅トロリー線」または「SNトロリー線」と呼ばれ、現在も広く使われています<sup>5)</sup>。

### 高張力トロリー線

既に述べたとおり、新幹線の速度向上のためには、トロリー線の波動伝ば速度を向上する必要がある、そのためにはトロリー線の引張強度の向上が必要になります。銀入り銅やすず入り銅トロリー線でも銅トロリー線に比べ5%程度強度は向上しますが、新幹線の速度向上にはより大幅な強度向上が必要になります。そこでまず開発されたのが、図5に示す銅心で強度を向上させたトロリー線です。銅心アルミトロリー線(TAトロリー線)は試験架設にとどまりましたが、銅覆鋼トロリー線(CSトロリー線)<sup>6)</sup>は整備新幹線に実用化されました。また、断面積に占める銅の割合を増やし、導電性を向上



図6 き電ちよう架式コンパウンドカタナリー

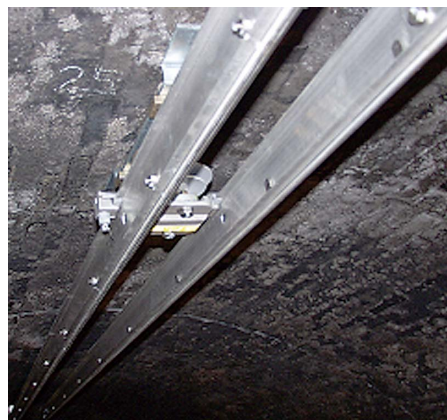


図7 狭小トンネル用剛体電車線

させたもの（CSDトロリー線）が東海道新幹線で使われています。

しかし導電性やリサイクル性では、鋼心入りよりも銅または銅合金の単一材料の方が有利です。そこで、銅にクロムを約0.3%、ジルコニウムを約0.1%加え、熱処理を施すことで強度と導電性を両立した銅合金トロリー線である「PHCトロリー線」<sup>7)</sup>が開発されました。銅合金トロリー線はこのほかにも、メーカー独自、または鉄道会社との共同で開発されたものがあります。

### 新幹線電車線の開発動向

新幹線の試験最高速度は、東海道新幹線において300X車両が記録した443km/hです。このときの電車線はヘビーコンパウンドカタナリーで、軽量のTAトロリー線を19.6kNで使用し、その波動伝ば速度は579km/hでした。

現在の新幹線の営業最高速度は東北新幹線の320km/hで、断面積170mm<sup>2</sup>のトロリー線張力を19.6kNとしたヘビーコンパウンドカタナリーが標準的に採用されています。さらに高速域を狙い、断面積110mm<sup>2</sup>のPHCトロリー線を使用し、張力を19.6kNとしたヘビーコンパウンドカタナリーも開発されています。また、東海道新幹線では、次世代の電車線として、断面積170mm<sup>2</sup>のトロリー線を24.5kNの張力で使用したシンプルカタナリー方式の電車線が開発され、

ヘビーコンパウンドカタナリーからの代替が進められています<sup>8)</sup>。

このように、電車線の高速化には、軽量で高強度のトロリー線の開発が欠かせません。鉄道総研では、電車線の構造の開発とともに、前章のような材料特性の観点からもさらに性能の高いトロリー線の開発を進めています。また、保守性の向上の観点からも、電車線の施工精度が集電特性に与える影響やその評価方法、精度向上方法などの開発も進めています。

### 在来線電車線の開発動向

在来線でも新幹線と同様な手法により高速化が可能ですが、要求される性能や設備の制約がさまざまであり、個別の条件に応じた電車線構造の開発が必要です。近年では、特にメンテナンス性の向上や景観への配慮が求められており、都市圏ではき電ちよう架式の電車線の導入が進んでいます。

成田スカイアクセス線の新線建設区間では、き電ちよう架式のコンパウンドカタナリー式とすることにより高速性を高め、160km/h走行を可能としています（図6）。

また、メンテナンス性の向上の観点から地下鉄以外でも剛体電車線の導入が進められています。剛体電車線の走行速度は、旧普通鉄道構造規則により90km/h以下に制限されていましたが、これに代わる「鉄道に関する技

術上の基準を定める省令」が2001（平成13）年に新たに公布され、その解釈基準では、剛体電車線の適用基準として最高速度130km/h、支持点間隔7m以内の2項目が示されました。これらを受け、東京急行電鉄目黒線の地下区間では90km/hを超える速度で走行可能な剛体電車線が開発され、採用されています。また、JR篠ノ井線の一部山岳トンネルでは、図7のように狭小なトンネル内にも設備でき、速度130km/hまで走行可能な剛体電車線が開発され、採用されています。さらに、JR東西線などでは、腐食に強い銅架台を用いた剛体電車線が開発され、採用されています。**RRR**

### 文献

- 1) 鉄道電化協会：鉄道電化と電気鉄道のあゆみ、1978
- 2) 日本鉄道電気技術協会：電車線技術発展の経緯、2012
- 3) 有本弘：こだまからひかりへ、大阪電業株式会社、1976
- 4) 真鍋克士：架線パンタグラフ系の高速性能、日本機械学会論文集C編、Vol.54, No.504, 1988
- 5) 鉄道電化協会：電気鉄道技術発達史、pp.243-247, 1983
- 6) 長沢広樹ほか：銅被覆鋼線のトロリー線への適用、鉄道総研報告、Vol.5, No.5, pp.31-38, 1991
- 7) 菅原淳：高強度と高導電性を兼ね備えたPHCトロリー線、RRR, Vol.66, No.4, pp.14-17, 2009
- 8) 竹内寛人：東海道新幹線「電気」の50年、鉄道経営、交通問題研究社、第11号第59巻、pp.17-19, 2014