高速性能と経済性に優れた電車線

近年，新幹線をはじめ都市間を結ぶ在来線でも高速化が図られ，このため高速性能の優れた電車線が開発されてきました。一方で，建設コストの低減はもちろんのこと，メンテナンス性などを含めた経済的な要素もますます重要となっています。本稿では，これまで開発してきた整備新幹線用電車線や在来線高速用電車線の開発経緯を述べるとともに，最近開発した大容量の高速用電車線の構造やその特性を紹介します。

常本　瑞樹
Mizuki Tsunemoto
電力技術研究部
電車線構造研究室
副主任研究員
［専門分野］電車線・パンタグラフの相互作用

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・パンタグラフの相互作用

近成　健二
Kenji Chikanari
（独）鉄道建設・運輸施設整備支援機構
鉄道建設本部
電気部　電力課
総括課長補佐

電車線の高速性能

図1に，新幹線用として標準的に用いられている電車線の構造を示します。トロリー線とちょう架線の2本の電線で構成されるものをシンプル系と呼び，それに補助ちょう架線を加えて3本の電線で構成されるものをコンパウンド系と呼びます。

トロリー線とパンタグラフ間の接触力はできるだけ一定が望ましいのですが，一般的に高速走行になるほど変動が大きくなります。その主な要因としては，

①支持点間隔周期の運動によるもの
②ハンガー間隔周期の運動によるもの
③トロリー線の高さ不整によるもの

などがあります。

「①支持点間隔周期の運動によるもの」は，電車線の押し上がりやすさが径間内で一定でないため，走行時にパンタグラフが支持点間隔ごとに上下に振動することが原因です。これを抑えるためには，電車線全体の張力を大きくして押上量を小さくすることや，径

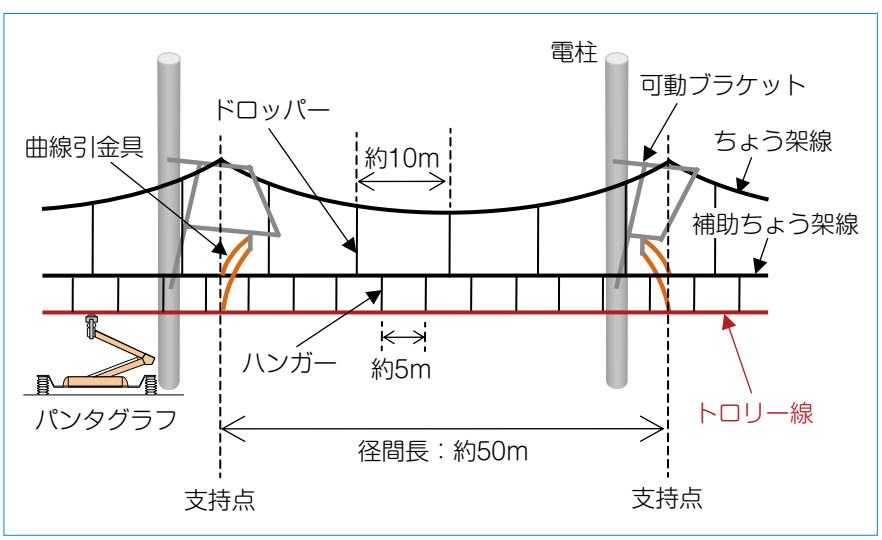

図1　電車線の構造例（コンパウンド系）

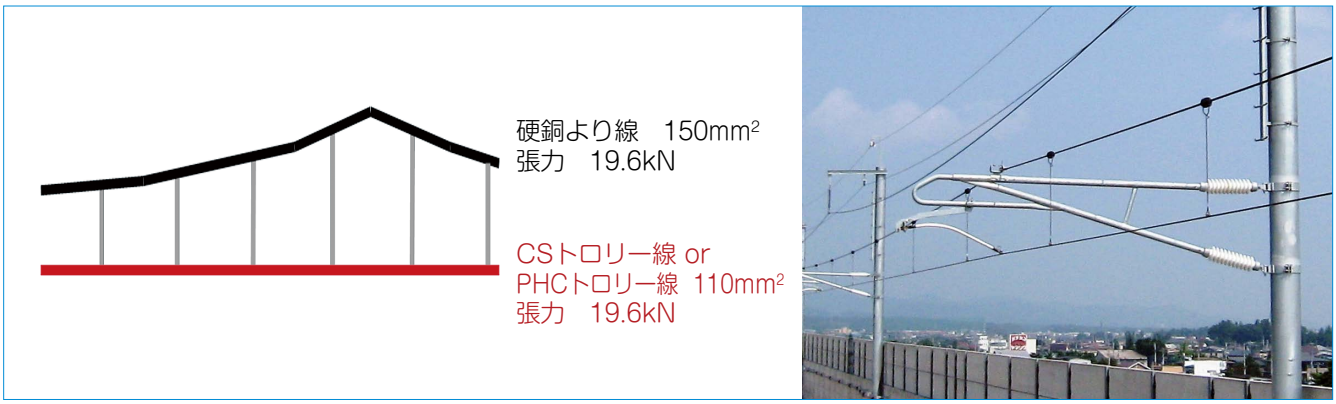

図2　整備新幹線用のシンプル系電車線

間内で押し上がりやすさをできるだけ均一にする素子や構造を採用することが有効です。

「②ハンガー間隔周期の運動によるもの」は，パンタグラフが接触することによって発生するトロリー線の波動がハンガー取付点で反射して，パンタグラフとの接触箇所で振動が発生することが原因です。これに対しては，ハンガー取付点で反射する波動を小さくする素子を用いたり，トロリー線の波動伝播速度を向上したりすることが有効です。

「③トロリー線の高さ不整によるもの」は，架設時の誤差に起因するものです。

整備新幹線用電車線の開発

東海道，山陽，東北（東京～盛岡），上越新幹線までは，開業時点の最高速度は210km/hであり，**図1**に示すような3本の電線で構成されるコンパウンド系電車線を採用しています。これは，前記①の支持点間隔周期の接触力変動を低減することと大きな電流容量に対応するのに有利だからです。

航空機や自動車との競争力を強化し鉄道の活性化を図るため，JRに移行する前後から，新幹線や在来線の速度向上が進められました。また，海外の高速鉄道開業と最高速度記録の更新が話題となっていた時期でもありました。電車線関係では，新しいトロリー線の開発や波状摩耗対策，波動伝播に関する理論解析などの研究開発が精力的に行われました。

このような情勢の中で，北陸新幹線などのいわゆる整備新幹線用の電車線の開発が行われました。計画速度は260km/hとされ，高速性能を高めるとともに経済性を向上させるために，軽量高張力トロリー線を採用して波動伝播速度を高めたシンプル系の電車線構造[1)]が開発されました（**図2**参照）。

列車速度がトロリー線の波動伝播速度に近づくと，前記②の接触力変動要因が相対的に大きくなることから，この対応を重視した構造です。トロリー線の波動伝播速度は500km/hを超え，わが国ではトップクラスです。一方，新幹線1編成あたりのパンタグラフ数が減少する方向にあったこと，整備新幹線の輸送需要が比較的少なく，電流容量を従来に比べて小さく設定できることも開発の背景にありました。そして，電線を従来の3本から2本にして建設コストを抑えるとともに，部品点数が少ないことから省メンテナンス性にも優れた電車線が誕生しました。

この電車線構造は，300km/hを超える高速走行にも対応することができます。

CSシンプル架線

はじめに開発された新幹線用のシンプル系電車線は，CSシンプル架線[2)]です。鋼心を銅で覆った銅覆鋼トロリー線（CSトロリー線）が採用されています。

CSシンプル架線は，1997（平成9）年に開業した北陸新幹線の高崎～長野間ではじめて採用され，その後，2002（平成14）年に開業した東北新幹線の盛岡～八戸間と2004（平成16）年に開業した九州新幹線の新八代～鹿児島中央間に採用されました。

PHCシンプル架線

環境保全や環境負荷軽減への社会的関心が高まってきたことから，CSトロリー線と同等の機械的強度がありながら，リサイクル性に優れた銅合金のトロリー線「PHCトロリー線（析出強化型銅合金トロリー線：Precipitation-

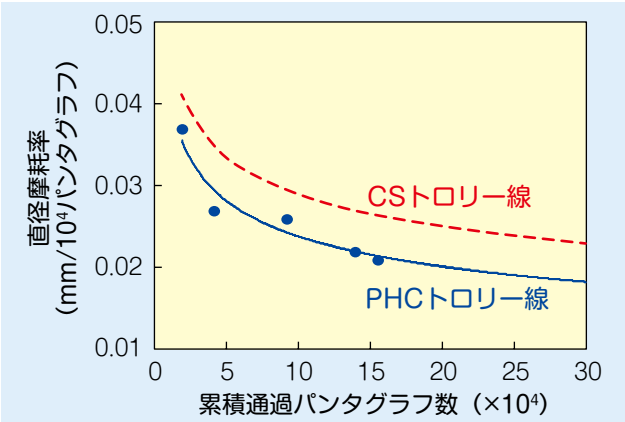

図3　トロリー線摩耗率

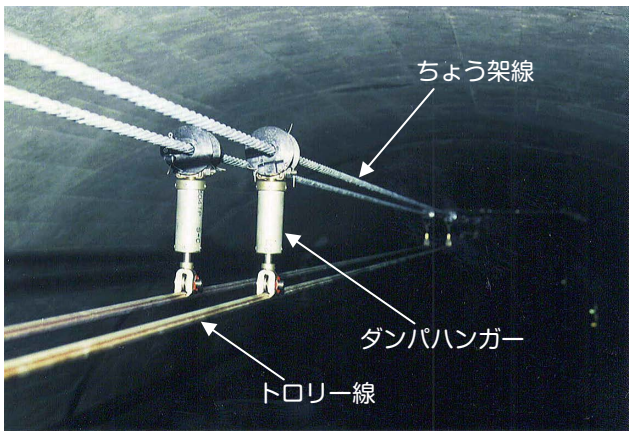

図4　160km/h走行に対応した狭小トンネル用電車線

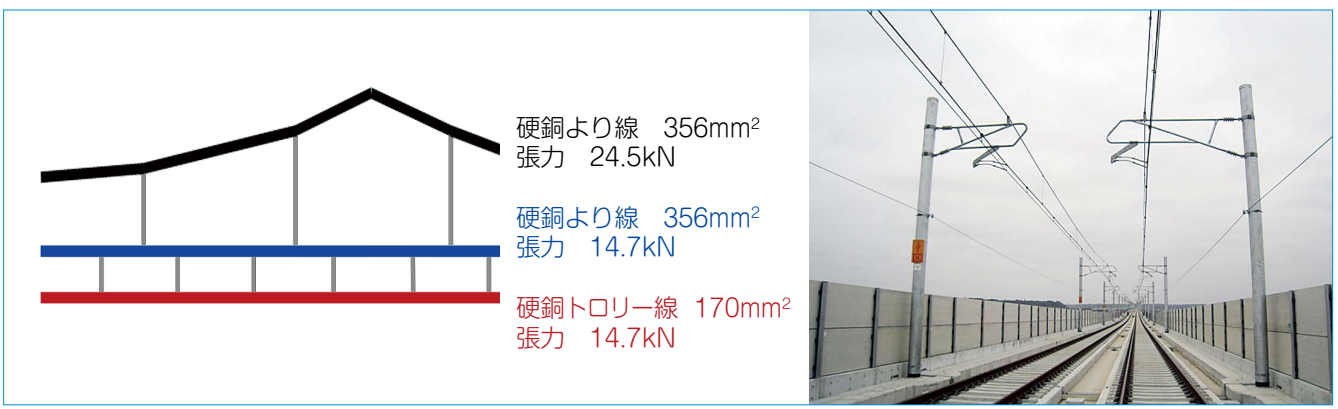

図5　コンパウンド系き電ちょう架方式電車線

Hardened Copper alloy contact wire)」[3]が開発されました。PHCシンプル架線は，このPHCトロリー線を採用した高速用シンプル架線で，CSシンプル架線と同等の高速性能を維持しながら，トロリー線のリサイクル性や導電性などを向上しました。さらに，CSトロリー線より摩耗率が比較的小さいことも確認されました（**図3**参照）[3]。

PHCシンプル架線は，2010（平成22）年に開業した東北新幹線の八戸～新青森間と2011（平成23）年に開業した九州新幹線の博多～新八代間で採用されました。さらに，今月開業する北陸新幹線の長野～金沢間，2016（平成28）年に開業予定となっている北海道新幹線の新青森～新函館北斗間でも採用されています。

在来線高速用電車線の開発

都市間を結ぶ在来線においても，新幹線と同様に速度向上が進められました。現在，踏切が無いなどの条件の整った路線では160km/h運転も行われています。

在来線では，新幹線と異なり集電電流の大きい直流電化区間があり，電気容量を確保するために断面積の大きい（重い）電線を使用する必要があります。一般的にこのような条件では高速性能が劣る傾向があるので，なんらかの対応が必要となります。

160km/h走行に対応した狭小トンネル用電車線

図4に，狭小トンネル用電車線構造を示します。パンタグラフによる押上量を抑えかつ速度160km/hで安定した走行を可能とするため，20m径間のシンプル系電車線を二重化して，さらにばね・減衰素子（ダンパハンガー）を用いています[4),5)]。

ばね・減衰素子は，前記①に起因する短径間電車線特有の共振現象を抑制することが主目的ですが，前記②③の接触力変動要因の抑制にも効果的で，電車線部材の長寿命化や省メンテナンス性の観点からも優れています。

160km/h走行に対応したコンパウンド系き電ちょう架方式電車線

き電ちょう架方式電車線は，ちょう架線にき電線の機能を兼ねさせること

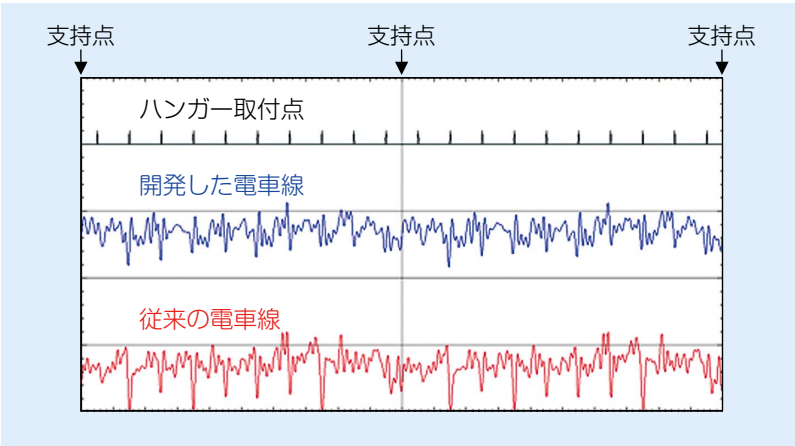

図6　パンタグラフ接触力波形の計算例（速度130km/h）

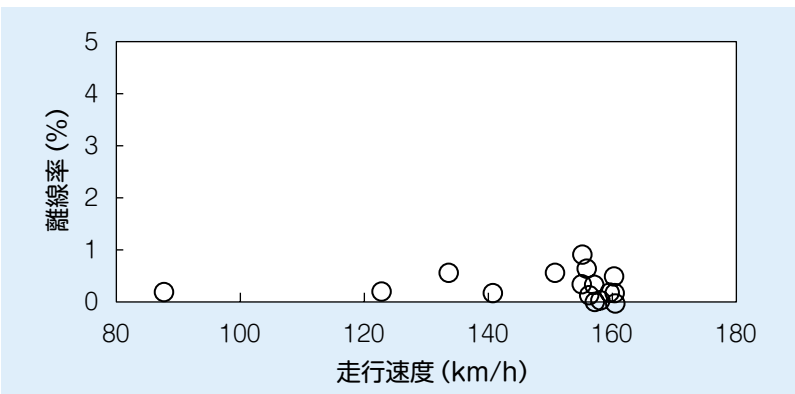

図7　現車試験結果

により，き電線を省略できる電車線です。き電線の他にそれに付随する架線金具などが省略できるので部品点数が減らせることや，柱上での高所作業を減らすことができることなどから，省メンテナンス性に優れた電車線方式として，近年では大都市圏において採用されています[6]。

一方，き電ちょう架方式電車線は，ちょう架線として断面積が大きい（重い）電線を高張力で架設するため，前記②のハンガー間隔周期のパンタグラフ接触力変動が大きいことが課題でした[7]。そのため，さらに運転速度の高い都市間路線などに適用するために，高速性能に優れたき電ちょう架方式電車線の開発が望まれていました。

そこで，コンパウンド系の構造にしてハンガー間隔周期の接触力変動を抑えることにより，大容量で高速用のき電ちょう架方式電車線を実現しました。

図5に，コンパウンド系き電ちょう架方式電車線を示します[8]。**図6**に，シミュレーションによるパンタグラフ接触力波形の計算例を示しますが，従来のき電ちょう架式電車線の課題であったハンガー間隔周期の接触力変動は，コンパウンド系に変更してトロリー線を吊っている電線の質量を小さくすることにより低減することができます。現車走行試験において，速度160km/hまで良好な集電状態であることが確認されました（**図7**参照）。

おわりに

今月，北陸新幹線が金沢まで開業します。北陸新幹線は，高崎～長野間にCSシンプル架線，長野～金沢間にPHCシンプル架線と今回紹介した電車線が架設されています。

今後も高速性能や経済性に優れているだけではなく，さまざまなニーズに対応し，安定した電力供給を行える電車線とパンタグラフの研究に取り組んでいきます。RRR

文　献

1) 金子誠：北陸新幹線の高速シンプル架線，鉄道と電気技術，Vol.7，No.7，pp.9-13，1997
2) 網干光雄，中井一成，円谷哲男，金子誠：整備新幹線用高速シンプル架線の開発，鉄道総研報告，Vol.9，No.9，pp.37-42，1995
3) 原田智，清水政利，池田国夫，佐藤純一，小谷野昭一，近成健二：PHCシンプル架線を用いた新幹線用シンプル架線の開発，鉄道総研報告，Vol.21，No.10，pp.35-40，2007
4) 君塚和夫，金子誠，川井重男，吉田真琴，奥谷民雄，芳村照士：北越北線160km/h高速走行の電気設備，鉄道と電気技術，Vol.8，No.4，1997
5) 網干光雄，清水政利：単径間架線の集電性能とその改善手法，鉄道総研報告，Vol.4，No.12，pp.9-16，1990
6) 島田健夫三：新しいき電ちょう架式電車線，RRR，Vol.62，No.4，pp.22-25，2005
7) 網干光雄，中井一成，木下弘一：高張力ちょう架方式架線の集電性能と改善手法に関する研究，電学論D，Vol.117，No.6，pp.704-711，1997
8) 常本瑞樹，早坂高雅，清水政利，近成健二，野口利雄：き電ちょう架式コンパウンド架線の開発，鉄道総研報告，Vol.27，No.8，pp.23-28，2013