

走行する車両に絶やさず電気を流す

根津 一嘉

電力技術研究部(集電管理 副主任研究員)



ねづ かずよし

はじめに

架線とパンタグラフは、電力を供給する変電所と、走行する車両の間のインターフェースの役割を担っており、電気の流れをたどる上で重要な部分になります。しかも、時速数百キロでこすりながら、数百～千アンペアという大きな電気を流すという、他に例を見ない過酷な環境で用いられる電気接点であることが特徴です(図1)。

ここでは、電気回路の一部としての架線とパンタグラフについて、構造や特徴を紹介していきたいと思います。なお、パンタグラフの中で架線に直接触れる部分である「すり板」については、次の記事「車両への電気の取り入れ口」で詳しく紹介します。

架線に求められる条件

架線には、電気を流す電線としての電気的特性のほか、パンタグラフと良好な接触を保つための機械的特性、破断することの無いよう材料的特性も求められます。

これらの条件をまとめると次のとおりとなります。

- 1.【電気的特性】列車の走行に十分な大きさの電気を流せること。(断面積=大, 電気抵抗=小)
- 2.【機械的特性】パンタグラフ接触時の接触力変動が小さい、良好な接触性能が得られること。(質量=小, 張力=大)
- 3.【材料的特性】摩耗しにくく、断線しないこと。(耐摩耗性=大, 引張強度=大, 耐熱性=大)

これらの要求される特性には相反するものもあり、また、コスト面の要求もあるため、それらを総合的に勘案しながら、各種の架線方式が開発されてきました。

架線の構造と電気の流れ

図2は直流区間の架線の例です。各電線の役割と要求される性能を表1に、また各金具の役割を表2にまとめます。

「き電線」はいわゆる送電線です。変電所からの電力を車両のそばまで送ります。そのため、電気抵抗の低いアルミニウムまたは銅を材料とし、細い電線をより合わせた「より線」になっています。また、周りを絶縁物で覆われたケーブルを用いることもあります。

「ちょう架線」はトロリ線をつるすための電線です。一般には安価で強度の高い、鉄(鋼)のより線を用います。

「トロリ線」はパンタグラフが直接こすって電気を取り入れるための電線です。銅100%のもののほか、0.3%程度のすず(元素記号Sn)を混ぜて合金にすることで強度を高めた「SNトロリ線」、銅線(Copper)の中心に鋼心(Steel)を入れて強度を高めた「CSトロリ線」も広く用いられています。いずれも後述のハンガを固定するための溝が線の上部に付いているのが特徴です。

「き電分岐」はき電線から枝分かれして、トロリ線、そして車両に電気を流します。なお、交流き電回路(前記事「変電所から車両までの電気の流れ」を参照)では、き電線の役割が異なるため、このようなき電分岐はありません。

「ハンガ」はちょう架線からトロリ線をつるすための金具です。ちょう架線は電柱による支持点どうしの間では、



図1 架線とパンタグラフ



図2 架線の例(直流区間)



図3 架線の電気の流れ(直流区間)

表1 各電線の役割と特性

名称	役割	主な材質	特に要求される性能			
			導電性	電流容量	強度	耐摩耗性
き電線	送電線	アルミニウム, 銅	○	○		
ちょう架線	トロリ線をつるすための電線	鉄			○	
トロリ線	パンタグラフがこする電線	銅	○	○	○	○

表2 各金具の役割と特徴

名称	取付位置	取付間隔	主な役割
き電分岐	き電線—トロリ線の間	標準250m	トロリ線に電気を流す ※直流区間のみ
ハンガ	ちょう架線—トロリ線の間	標準5m	トロリ線を平らにつるす
M-Tコネクタ	ちょう架線—トロリ線の間	50~200m	ちょう架線とトロリ線の電圧を等しくする

自重にトロリ線の重さが加わり、下にたるんだ形になっています。そこでハンガの長さを調整し、トロリ線は一定の高さになるよう工夫されています。ハンガにも電気が流れますが、ちょう架線との接合部に絶縁材の保護カバーを付けたり、ハンガの途中にがいし(絶縁材)を入れるなどして、電気が流れないようにすることもよく行われています。

「M-Tコネクタ」はちょう架線(Messenger wire)とトロリ線(Trolley wire)を電気的に接続するための金具です。トロリ線に流れる電気の一部がちょう架線にも分かれて流れるための経路になるとともに、ちょう架線とトロリ線の電圧を等しくすることで、両者の接触が不完全であった場合に発生する微小な放電の発生を抑制する役割を持ちます。

以上の各部分の電気の流れを図3に示します。

電気回路として注意すること

架線は電気回路として注意しなければならない点がいくつかあります。

- (1) 電圧降下：架線に電気が流れると、架線の持つ電気抵抗により、架線の電圧が低くなってしまいう現象が生じます。これを電圧降下と言い、電圧降下があまり大きいと車両が走れなくなります。
- (2) トロリ線の温度上昇：電気抵抗で電圧降下したぶん、電気エネルギーは熱に変換され、電線の温度が上がります。トロリ線は温度が上がると軟らかくなり、断線の原因となるため、温度が90℃以上に上がらないよう発熱を抑える必要があります。
- (3) 不完全接触による微小放電の発生：電気が流れている金属どうしを引き離すとき、その金属間で放電が発生します。コンセントプラグを引き抜くとき、パチッと火花が飛ぶのが、まさにその現象です。架線や金具は随所に電気が流れていますが、金属どうしが接触したり離れたりを繰り返す不完全接触の場合、そこで放電を繰り返すこととなります。放電時に発生する火花(アーク)は非常に高温のため、徐々に金属を損傷してしまいます。こ

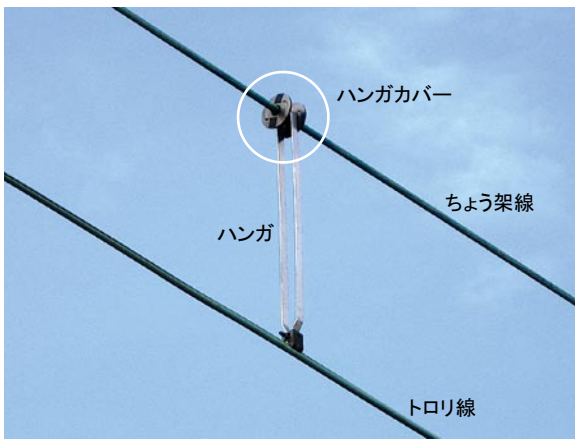


図4 ハンガの保護カバー

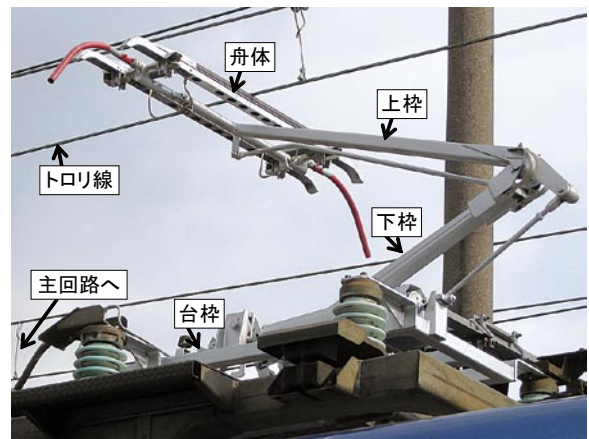


図6 シングルアームパンタグラフ



図5 曲線引金具の均圧線(矢印)

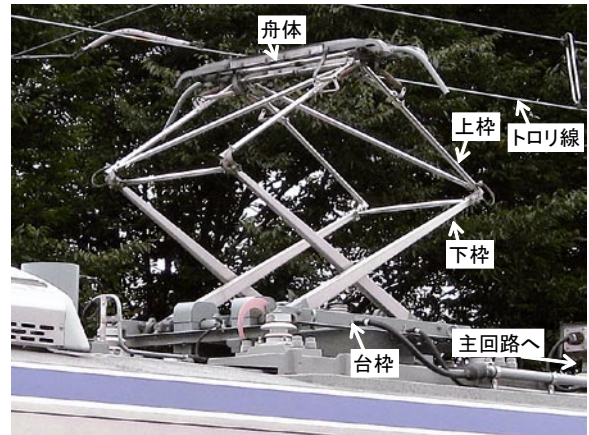


図7 ひし形(下枠交差形)パンタグラフ

のため、ハンガとちょう架線の間には絶縁材の保護カバー(図4)を入れて電気が流れないようにしたり、曲線引金具と呼ばれる金具の可動部分に均圧線(図5)を付けて電気の流れをバイパスさせるなど、不完全接触を起こさない配慮がされています。

パンタグラフに求められる条件

パンタグラフも架線と同様に、電気的特性、機械的特性、材料的特性が要求されるほか、空力的特性も求められます。

- 1.【電気的特性】列車の走行に十分な大きさの電流を流せること。
- 2.【機械的特性】架線へ良く追従することによって、良好な接触性能が得られること。一般にはパンタグラフが軽量なほど、架線への追従性能は良くなります。
- 3.【材料的特性】すり板は摩耗しにくく、破損しないこと。また、トリ線を摩耗させにくいこと。
- 4.【空力的特性】風を受けることで発生する揚力(上へ浮き上がる力)が適切であること。また、風を切ることによる騒音が小さいこと。

パンタグラフの形状は、最近のほとんどの車両がシングルアームパンタグラフ(図6)を採用しています。これは、

特に新幹線では走行時の風切り音を減らせることが大きな理由です。しかし架線への追従性能は従来のひし形パンタグラフ(図7)でも劣るものではありません。また、ひし形パンタグラフでは走行時に発生する揚力が前後どちら方向でも同じ大きさですが、シングルアームパンタグラフは形状が前後非対称なため、走行方向によって揚力特性が大きく異なるように、設計時に注意を払う必要があります。

このようにパンタグラフも相反する特性から最適な条件を見つけて設計しなければならず、全ての特性で最適な、究極のパンタグラフはいまだにできていません。

パンタグラフの構造と電気の流れ

シングルアームパンタグラフ(図6)と、ひし形パンタグラフ(図7)、いずれのパンタグラフでも電気の流れは同様に、架線→「すり板」→「舟体」→「上枠」→「下枠」→「台枠」→車両の主回路へ、という順序になります。

材質は、軽量で電気抵抗の低いアルミニウムが使われることが多かったのですが、JR以外では枠組にさびにくいステンレスを使うのが一般的であり、最近ではJRでもステンレス製の枠組が増えています。また舟体は、軽量のアルミニウム製がほとんどですが、さらに軽量のCFRP(カー

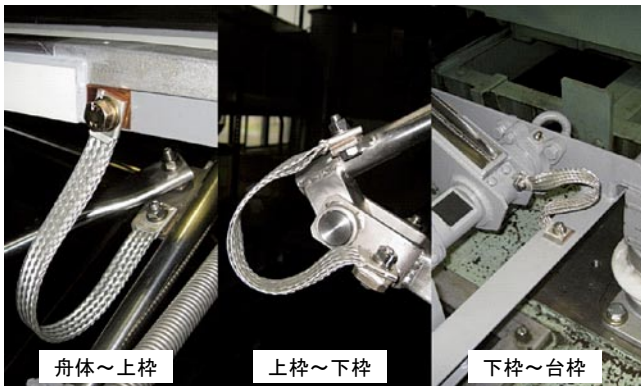


図8 電流バイパス用の電線

ボン繊維強化プラスチック)も一部で使われています。ただしCFRPは電気を流しにくいので、別に導体を取り付けて、そちらに電気を流すようにしています。

パンタグラフは可動部分が多く、そこに電気を流すと不完全接触となって損傷を引き起こすのは架線と一緒に。このため、図8のように可動部分をバイパスする電線を取り付け、そちらを電流の経路としています。

車両に電気が流せなくなるとき

タイトルの「走行する車両に絶やさず電気を流す」ですが、それでは逆に、電気の流れが絶えてしまうのはどのような場合でしょうか。大きく2つの原因が考えられます。

- (1) 架線またはパンタグラフが損傷したとき
- (2) 走行中にトロリ線とすり板が離れた(離線した)とき

特に日常的に問題になるのは、(2)の走行中にトロリ線とすり板が離れてしまう場合で、これを離線(りせん)と言います。離線すると、電気が流れている金属どうしが引き離れることとなりますので、放電が発生し、図9のような強い光が発生します。この光の正体は「アーク」と呼ばれる、空气中を電気が流れる現象です。アークは強い光のほか、数千℃の熱と大きな音を発生します。アークの発生がごく一瞬であれば、すぐに冷めてしまい、大きな問題はないのですが、アークの発生が続くと、すり板や舟体を損傷したり、トロリ線を切ってしまうたり、あるいは騒音の原因になることもあります。

ところで電気の流れから言えば、アークが発生しても、空气中とは言え電気は流れていますので、車両には電力が供給され続けます。ところが離線した状態でアークが消えると、車両は電気を絶たれ、加速ができなくなったり、照明が消えるなど、走行に支障が生じるようになります。

離線を測る

架線とパンタグラフの性能を知る手段として、離線の発生状況を測定することが良く行われます。離線が少なけれ

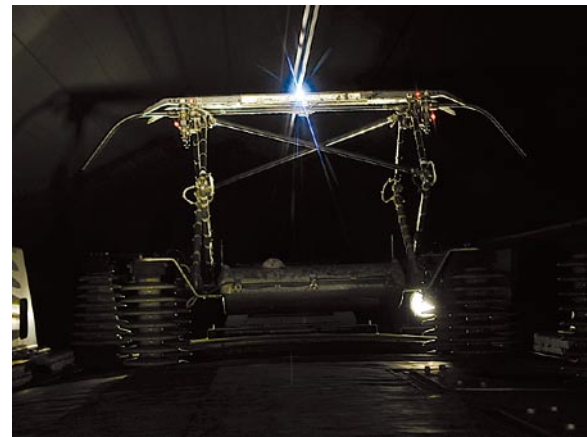


図9 離線アーク

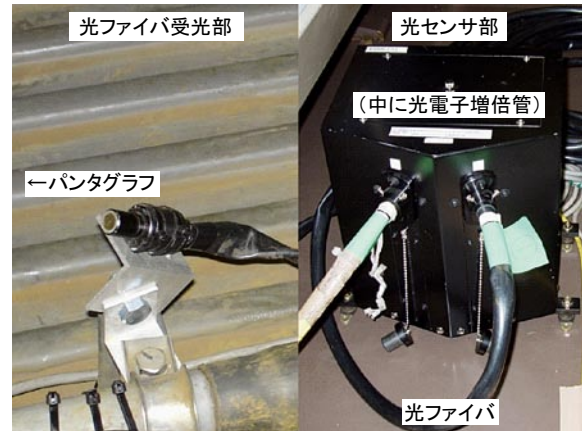


図10 光学式離線測定装置

ば車両に安定して電力が供給され、アークによる架線やパンタグラフの損傷も少ないと評価できるのです。

図10は離線の測定方法の一つである、光学式離線測定装置です。図9のようなアークの光を捕らえ、どの程度の頻度でアークが発生しているかを測定します。

例えば新しい路線が開業するとき、新型車両を導入するとき、あるいはスピードアップをするときなどに離線測定を行い、架線やパンタグラフの性能に問題が無いことを確認しています。

おわりに

架線とパンタグラフは、電気の流れから見れば、単なる電線と1つの電気接点にすぎません。そして、電気の流れる経路として要求される性能は「絶やさず電気を流すこと」に尽きます。しかし、実際には単なる電気接点ではなく、いろいろな制約条件のある中で性能が確保されていることを簡単にご紹介いたしました。

今後とも、より高速、より低騒音、より低コスト、より低環境負荷など、様々な要求に応えつつ、車両に安定した電気を流せる架線とパンタグラフの研究を進めていきたいと思っています。RRR