

鉄道あれこれ6

鉄道の電化はエネルギー資源の少ない日本のまさに国策であり、その後日本の電子工学の発展に大変役立った～鉄道は鉄だけでなく、銅、そしてアルミニウムの精錬の技術開発に貢献した～

香川大学医師会 原 量 宏

電化に必要な架線の設置は非常に繊細な技術の上に初めて成り立ち、単なる技術を越えたまさに芸術ともいえます。

21. 電化のための時代的背景、技術的な問題点

電車王国の話が出ましたので、鉄道を電化する際の時代的背景、技術的な問題点に関して考えてみたいと思います。

- 1) 国策で始まった鉄道の電化とそのための発電所の稼働、現在でも首都圏の鉄道の60%は信濃川小千谷発電所の電気で動いている。

本来、鉄道の電化は、電気機関車、電車の性能向上に伴い導入されたのですが、そもそも日本では、明治時代末期から国策として、水力発電を主体とする、いわゆる水主火従の方針が確立しており、当時鉄道においても電化が積極的に推進されました。

そのため、国鉄は1931年に鉄道専用の信濃川小千谷発電所の開発工事を開始して1969年によく完成（実に38年間）させました。小千谷発電所で発電された電気は、すべてJR東日本管内で消費されており、現在でも管内で消費する電力の実に6割近くをまかなっています。首都圏の交通の大動脈である山手線、京浜東北線、中央線などの電車は、水力発電のクリーンな電気で動いていることになり、カーボンニュートラルが強調される現在、とてつもなくすごいことです。小学生の頃、小千谷発電所の「おぢや」がなかなか読めなかったことが懐かしいです。

- 2) 高速で走行する電気機関車や電車にどうやって安定して電流を流すか。

本来モーターは三相交流で動かす方式が構造が簡単でしかも効率がよいことは、以前書きました。そのため、ごく初期の電化では、空中に設置する電線（架線、かせん）が3本の時代がありま

した。ただし空中の架線が複数だと、レールが分岐（ポイント）するところで、不都合が生じる事から、空中の架線を1本にして（直流のプラス）、もう1本はレールに電流を流す（マイナス）ことにして、すなわち直流電化にすることで解決しました。昔は電気で動くトロリーバスがありましたが、レールを使えないので、2本の架線からトロリーポールで集電していました。市電でも2本のトロリーポールで集電していた時代がありましたが、その後レールを使うことにより一本になり、はずれやすいポールからビューゲル、そしてパンタグラフに変更されました。

それまでレールは重い車両を安全に、しかも高速で走らせることだけを考えていればよかったのですが、大電流（直流、後に交流も）だけでなく、後に述べますが、信号用の電流（低圧の交流）まで流す必要が生じて、レールも仕事が増える一方です。

レールは鉄なので空中の架線に使う銅線にくらべて電気抵抗が大きい（銅の約6倍）のですが、幸いレールの断面積が大きいので大電流を流せてよかったです。ただしレールの継ぎ目では、電流をしっかりと流すために太い電線（銅線のレールボンド、鉄と銅の溶接は大変難しい）を溶接しています。昔は、レールボンドの接続が悪いと、地中の金属の配管等に直流の電流が流れ電気分解により腐食が生じて、思わぬ事故が起こることがありました。

（いわゆる新交通システム、神戸新交通ポートアイランド線等では3本の線から電流を得ていますが、最近はお存じのVVVFインバータ制御が主流となり三相交流のメリットは減っています。）

- 3) 実際に電化するためには莫大な資材と資金が必要になる。

例えば、高徳線のように、これまで電化されていなかった線路を、新たに電化すると決めた場合

に、何が必要かと考えると、如何に電化は大変で資金がかかるかがわかります。

まず、電力は四国電力から得るとして、直流電化の場合には、沿線の5-10kmごとに変電所が必要（交流電化では30-60kmごと）なので、高德線では10か所程度の変電所が必要になります。次に電車に電流を流すために、空中に電線（架線）を張る必要があるのですが、そのための電柱が必要で、実際には電柱を約50m間隔（カーブではさらに短い間隔）で立てているので、高德線（75km、単線）の区間を電化するためには、駅の付近を除いても最低限1,500本の電柱が必要になります。次に、空中に架線を張ることになりますが、一定の高さ（標準5.1m）にはほぼ水平に張る必要があり、パンタグラフを介して電車に安定して電流を供給するためには、技術的にもクリアすべき問題がたくさんあります。

4）鉄道用の架線（吊架線とトロリー線）とは

架線は、上側の吊架線（ちょうかせん、銅線）、下側の水平に張られるトロリー線（銅線）の2本から構成されます。

野原を走る送電線や町なかの電線を見ると、電柱と電柱の間が下方に向かって緩やかにカーブを描いています。瀬戸大橋や明石大橋のワイヤロープも同じ様に、きれいなカーブをしています。この曲線はカテナリー曲線（懸垂曲線）と呼ばれます。町なかでふと電柱を見上げると、目に入る電線はもちろんですが、洗濯物を干すロープから神社のしめ縄まで、世の中至る所にカテナリー曲線があることに気が付きます。放物線と似ていますが数学的には異なるカーブで、大学の数学で少しだけ習った三角関数に似た双曲線関数（ハイパボリックコサイン）と呼ばれます。見慣れた屋島の麓のゆるやかなカーブは、純粋なカテナリー曲線ではありませんが、高松に住む鉄道ファンとしては、大変親しみを感じています。

吊架線もカテナリー曲線の形になりますが、そのままではパンタグラフがカーブにうまく追従できないので、吊架線の下に適切な長さのハンガー（吊り下げる器具）を約5m間隔で設置してトロリー線を水平に保持しています。吊架線はトロリー線の重みがかかるので、丈夫な銅線（より

線）を使います。パンタグラフが直接接触するトロリー線は、電気伝導性が高い硬銅線（スズを添加）を使っています。

- ・トロリー線の高さは、レールの上面から5.1mが標準で、在来線の場合最低4.4mから最高5.4m、新幹線では最低4.8mから5.3mとなっています。ただし中央線など古い時代に掘られたトンネル内などではこれよりも低くしています。
- ・トロリー線の断面の下側はほぼ円形になっていて、振り子電車等でパンタグラフが少し斜め下から接触しても着実に電流が流れる様になっています。
- ・トロリー線に大電流を流すためのき電線

トロリー線からパンタグラフに流れる電流は、直流区間で実に1,000アンペアから2,000アンペア（交流電化では500アンペア程度）になるので、トロリー線（太さ、新幹線15.4mm）だけで長距離電流を流すには無理なため、線路にそって、太い電線（き電線）を設置して、約250mごとにトロリー線に給電しています。何かの原因でこの給電部分に不具合が生じると、トロリー線が過熱溶断して架線の切断事故につながります。

最近では、き電線の負担を減らす目的で、上の吊架線と次に述べるコンパウンドカテナリーでは補助吊架線にも電流を流す方向になっています。

また、き電線は以前は銅線が利用されましたが、最近ではアルミニウムを使うことが多くなっている様です。

注：アルミニウムは銅線より抵抗が1.6倍（鉄は約6倍）あるが、重さが1/3なので、同じ重さならアルミニウムの方が電流をよく通す。最近では価格もアルミニウムの方が安価になっている。そのため、送電線やき電線はアルミニウム線が使われている。ただし現在でも、家庭用の電線は加工しやすく扱いやすい銅線が使われている。

- ・架線の種類、シンプルカテナリー、コンパウンドカテナリー

架線は、通常は吊架線とトロリー線の2本から構成されていますが、高速走行時にも安定して水平を保つために、吊架線とトロリー線の間にもう1本の線（補助吊架線）を引いて、その下にトロ

リー線を設置して、合計3本で構成するのがコンパウンドカテナリーです。子供の頃、東京駅などでコンパウンドカテナリーの架線をしげしげ見て、さすが東海道線や新幹線は素晴らしいと憧憬の眼差しで見ていた覚えがあります。

お茶の水付近など、長編成の電車が頻回に走行する線路では、シンプルカテナリーでは十分電流を流せないの、シンプルカテナリー2本を並べて（間隔約10cm）設置するのがツインシンプルカテナリーです。2本並んだ架線を見るだけでとても重厚な感じがして、さすが日本の通勤の大動脈中央線だと思います。

・トロリー線1本だけの直吊架線方式

この他に、なんだかさびしい感じがしますが、吊架線なしのトロリー線だけの直吊架線方式があります。1本だけだと、支柱の所（二つのカテナリー曲線が交わる部分）でパンタグラフが離線しやすいので、その部分に逆Y字型の補助の線を追加して水平を保っています。

土讃線の多度津－琴平間（11.3km）は、電化の経費の節減のために、このトロリー線だけの直吊架線方式になっています。そのため、2700系振子型ディーゼルト急は120kmの速度を出すのに、電車は85kmに制限されています。また琴平駅までの電力を、多度津の変電所1か所のみで賄っているため、この区間は同時に電車1編成しか走れません。多客期に「寝台特急サンライズ瀬戸」が琴平駅まで行く時には、本来は電車だった列車がディーゼルカーに変更されます。

・剛体架線

地下鉄等で少しでも天井を低くしたい場合に使われます。最近は鋼材の他アルミニウム材に直接トロリー線（銅線）をつけたものも利用されています。ただし、通常のトロリー線に較べて柔軟性が無いために、パンタグラフがバウンドして離線しやすく、高速走行には不向きです。

5）トロリー線は高さは水平に、横方向には左右にジグザグになる様に設置されている。

トロリー線とパンタグラフが接触する面が1か所に偏らない様に、トロリー線は直線区間では、

電柱の位置（約50m）ごとに留め金具（ブラケット）で左右にジグザグ（ほぼ20cm幅）になる様に張られています。カーブの区間では外側に引っ張る様に固定します。

トロリー線はできるだけ水平になり、横方向はジグザグになりなさいと言われているわけではなかなか大変なことと思います。この部分があるために、トロリー線は約50mごとに硬い部分（硬点）が出来て、後にパンタグラフのところで説明しますが、新幹線など高速で走行する場合にパンタグラフの離線が生じやすくなります。

もちろん剛体架線でもパンタグラフと接触する部分は微妙に左右に変化する様になっています。

6）架線の張力を一定に保つ balans ー（自動張力調整装置）

吊架線は適度なカーブのカテナリー曲線に、トロリー線は水平でしかも支柱ごとにジグザグの形を保てる様にするには、両者を適切な力（張力）で牽引する必要があります。そのための装置が balans ーです。

balans ーには我々が想像する通り、錘（オモリ）と滑車を利用する「滑車式」とスプリングの弾性を利用した「ばね式」があります。以前は、本線の比較的長い距離の架線（800m前後）には「滑車式」が、構内の比較的短い距離の架線には、「ばね式」が用いられてきました。長い距離の場合、銅線はレールの鉄以上に伸びる（約1.5倍）ため、ばねでは十分その伸びを吸収しにくいので「滑車式」が使われます。ただし最近では、高張力の鋼を用いることにより性能が向上して、「ばね式」が多くなってきました。「滑車式」は装置が大きいこともあり、吊架線とトロリー線をまとめて牽引していますが、「ばね式」では小型になったこともあり、吊架線とトロリー線を別々に牽引しています。高松駅は終端駅のため、駅構内で「ばね式」の balans ーをたくさん見ることができます。張力の関係のためか、吊架線とトロリー線の balans ーが同じ大きさの場合と、なぜか大きさが異なる場合（トロリー線の方が大きい）があつて興味がつきません。

（次回も思いつくまま鉄道のテーマに関して書きたいと思いますのでご期待ください。）