

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

離線測定により 集電性能を評価する

電車はパンタグラフを架線に押し当てることで、そこから電力を取り入れて、モーターを回したり、室内灯をつけたりします。しかし電車の速度が上がってくると、架線とパンタグラフの間の接触が不完全になり、電車が電力を受け取ることができなくなることもあります。そうならないよう、性能の良い架線とパンタグラフを開発していますが、その性能を確認するための1つの方法である「離線測定」について紹介します。



根津 一嘉
Kazuyoshi Nezu
電力技術研究部
集電管理研究室
主任研究員
[専門分野] 集電系の計測

「集電性能」とは

電車は図1のように、パンタグラフを架線に押し当てて、そこから電力を取り入れています。このことを「集電」といいます。電気回路としては図2のように、架線とパンタグラフを電氣的に接続することで、電車が必要とする電流がそこを流れる、というだけの話なのですが、昔の人には、パンタグラフが電車に必要な電気を集めているように見えたのでしょう。英語でも「集電」という言葉は「電流を集める」という意味の"current collection"といいます。

それでは集電の性能とは何でしょうか。集電とは、接続して電力の取り入れ口になるという点で、家電製品のコンセントに例えることができます。しかしコンセントと違うのは、パンタグラフは移動しながら接触していることです。パンタグラフはばねの力で架線に押し当てていますが、架線と

パンタグラフの間に働く力を「接触力」と呼んでいます。電車が走っていると、架線に凹凸があったり、パンタグラフが風を受けたりすることで、接触力が変動します。そして接触力が0になると、パンタグラフが架線から離れる「離線」が発生します。離線はちょうど、コンセントを引き抜いた状態に相当します。パンタグラフが架線からいったん離れた場合、またすぐにばねの力で架線に押し当てられますので、再び架線とパンタグラフが接触し、離線が解消されます。

ところで、家電製品の電源を入れた



図1 架線とパンタグラフ

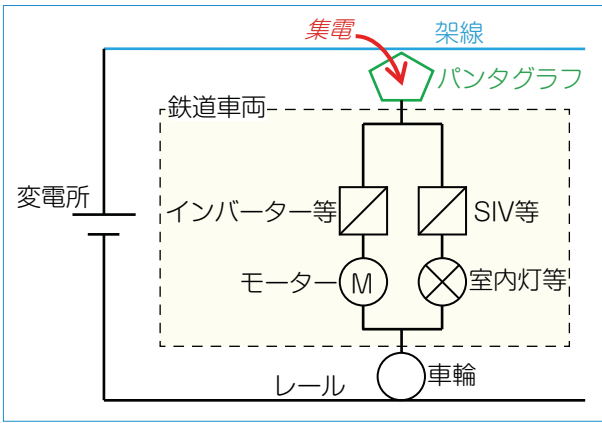


図2 「集電」を電気回路で表すと……

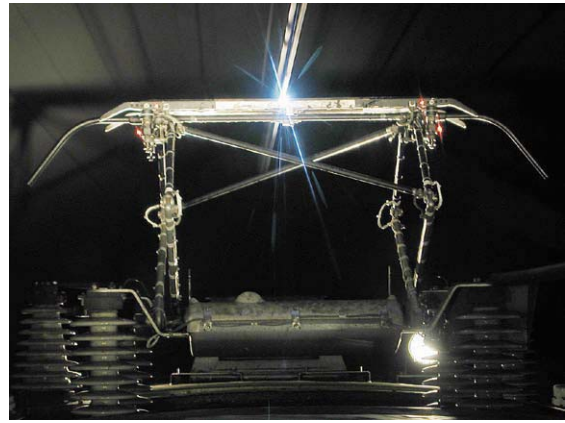


図3 離線アーク

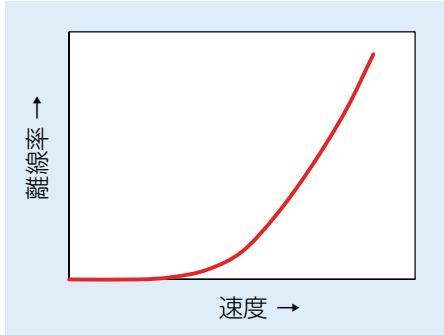


図4 走行速度と離線率の関係

表1 集電性能の代表的な測定項目

	測定項目	測定内容	測定目的
架線側	トロリー線押し上がり量	パンタグラフ通過時のトロリー線の上下動	・大きいとパンタグラフが他の設備にぶつかる
	トロリー線ひずみ	パンタグラフ通過時のトロリー線に加わる曲げの大きさ	・大きいとトロリー線が金属疲労で切れる
パンタグラフ側	離線	離線の発生頻度と大きさ	・大きいと電車への電力供給や、発生したアークによる問題が生じる
	接触力 ¹⁾	トロリー線とパンタグラフすり板の間に働く力の大きさ	・大きいとトロリー線の押し上がり量が増える ・小さいと離線する
	揚力	パンタグラフが走行中に風を切ることで受ける上下方向の力の大きさ	・揚力の大きさは接触力の大きさに影響する

ままコンセントを引き抜くと、パチッと火花が飛ぶことがあります。離線も同じで、**図3**のように架線とパンタグラフの間に「アーク」と呼ばれる火花(スパークと言うこともある)が発生します。アークに伴い発生する高い熱は、架線やパンタグラフの材料を溶かしたり、蒸発させたりして、大きな事故につながることもあります。また、電磁波が発生してテレビやラジオに電波雑音が入ることや、大きな音が発生して騒音の原因になることもあります。

このように離線には様々な問題があるため、なるべく離線が少ない方が「集電性能が良い」こととなります。そして、列車の走行速度と離線率(離線の発生頻度)の間には、一般的には**図4**のように、速度が高いほど離線率が高くなる関係があります。車両が高速で走行するためには、高速でもなるべく離線率が低い、つまり、集電性能が良い架線とパンタグラフを開発しなければなりません。この開発の効果を確認するため、集電性能の測定が行われます。

「離線測定」とは

集電性能の測定には、架線側で測定する方法とパンタグラフ側で測定する方法が、それぞれ何種類かあります。代表的な測定項目を**表1**にまとめます。この中で離線測定は、パンタグラフ側、つまり電車にセンサーを取り付けて行う集電性能の測定の中では、最も頻繁に行われています。

また、離線測定で得られる測定結果の特徴として、接触力など他の測定項目より非常に速い現象まで測定可能であることと、得られるデータが「離線なし」か「離線あり」かの、0か1かという情報になるということが挙げられます。特にこの、データが0か1かという点は、集電性能の良否が直接的にわかりやすい一方、一度に得られる情報量が少ないという特徴があります。しかし非常に速い現象まで測定が可能ですので、実際には離線測定を行うことで、多くの有益な情報を得ることができます。

表2 離線測定方法と使用条件

離線測定方法		①光学式	②電流式	③分圧式
検出装置		光センサー	クランプ式電流計	分圧器(抵抗器)
鉄道方式	新幹線(交流)	○	○	×
	在来線(直流)	○	○	○
	在来線(交流)	○	×	×
パンタグラフ	集電(母線有)	○	○	×
	集電(母線無)	○	×	△※1
	無集電	×	×	○
ノッチ	力行・回生	○	○	○
	だ行	△※1	×	○
昼夜	昼	△※2	○	○
	夜・トンネル	○	○	○

※1: 測定できるが精度が低くなる

※2: 可視光線用では測定不可

離線の測定方法

離線の測定方法は、目的に応じていくつかの方法が開発されています。このうち良く使われるのは、**表2**の3つの測定方法です。

①光学式離線測定

アークは光とともに大きな熱を発生しますが、パンタグラフを構成する部品の中でも架線に直接接する、すり板に損傷を与えます。このため、離線

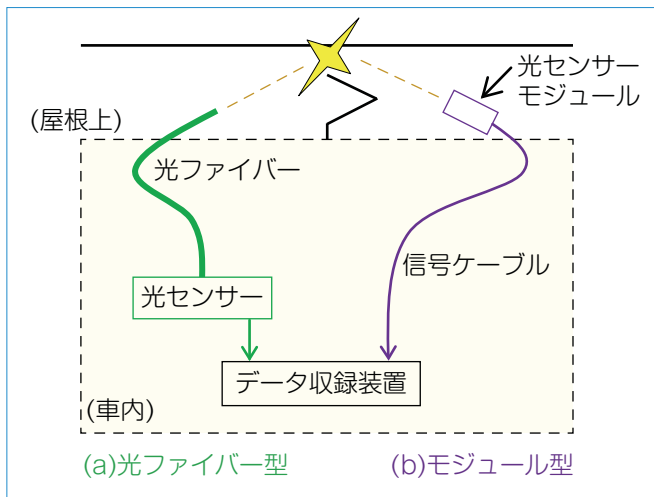


図5 光学式離線測定装置の2つのタイプ

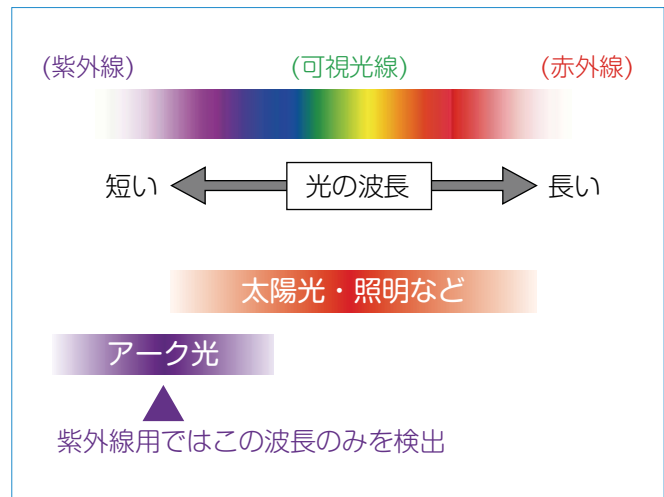


図6 光の波長と紫外線の検出

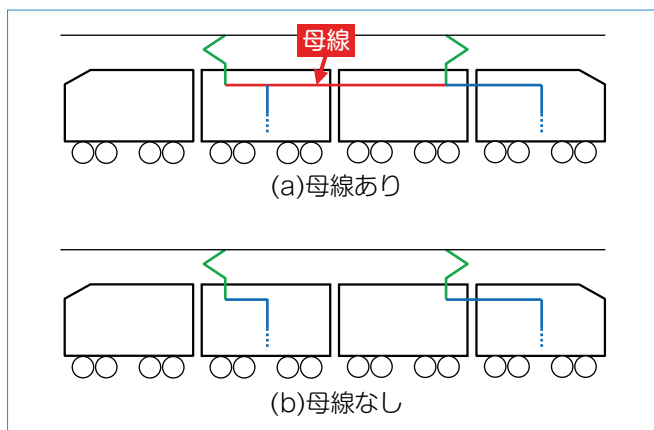


図7 母線引き通し

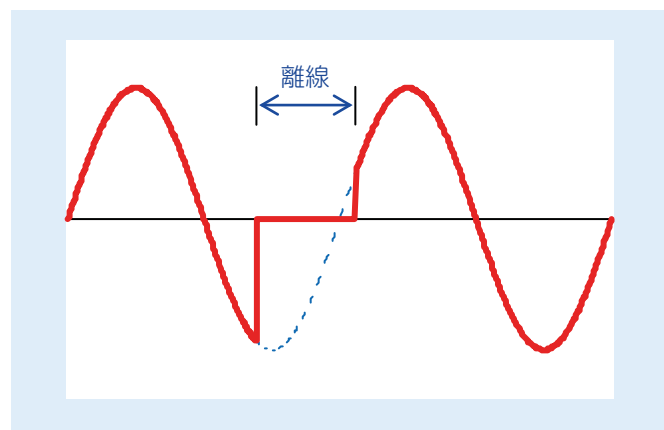


図8 離線時の電流波形

がすり板に与える影響を見たい場合、アークの発生状況を直接的に測定する、光学式離線測定が適しています。

離線したときに発生するアークの光を、光センサーで測定します。光センサーは、光が当たると電気信号が出力される光電子増倍管、光電管、フォトダイオードなどが使われます。

図5の「(a) 光ファイバー型」は、パンタグラフで発生したアークを光ファイバーで受光し、車内に置かれた光センサーにアークの光を伝えて測定する方法です。また、「(b) モジュール型」は、光センサーモジュールでアークの光を直接受光し、電気信号にした上で車内の測定器まで信号を伝える方法です。

光は図6のように、その波長に応じて紫～赤の色を持つ可視光線と、それ

より波長が短い紫外線、波長が長い赤外線に分類されます。太陽光や、蛍光灯などの照明の光は、紫外線よりも可視光線の方が強いのですが、アークの光は逆に、紫外線の方が非常に強くなっています。光学式離線測定装置には可視光線用と、紫外線用がありますが、可視光線用では、空の明るさや照明にも反応するため、昼間の測定が行えないという問題があります。紫外線用では、空の明るさや照明には反応せず、アークの光のみに反応するため、昼間の測定も可能です。

ただし、窓ガラスを通してアークの光を測定しようとする、通常のガラスやアクリル板は紫外線を通さない性質を持っているため、紫外線の測定が行えないという問題があります。この

ような場合には、可視光線用を使用して夜間に測定が行われます。

②電流式離線測定

ほとんどの新幹線車両や多くの在来線車両では、図7のように、複数のパンタグラフが母線と呼ばれる電線で接続されています。これを「母線引き通し」と言います。図7では別々の車両にパンタグラフが搭載されていますが、1両に2台のパンタグラフが搭載され、それらが電線で接続されている場合もあります。母線引き通しがある場合、例えば交流の電流では図8のように、離線している間はそのパンタグラフを流れる電流が0になりますので、これを利用して離線を測定することができます。この方法が電流式離線測定です。

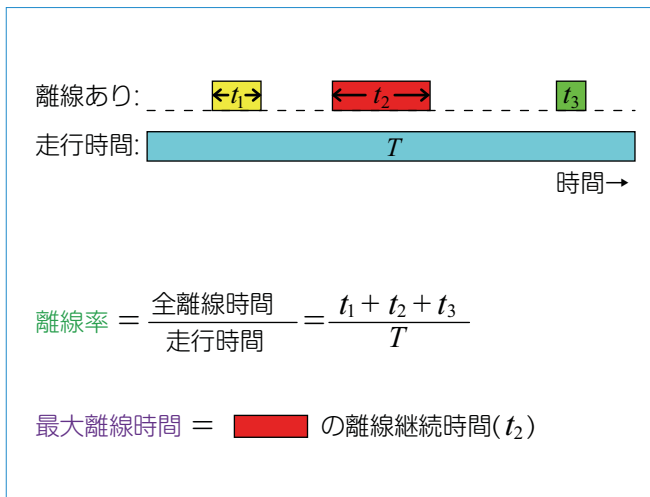


図9 離線率・最大離線時間とは

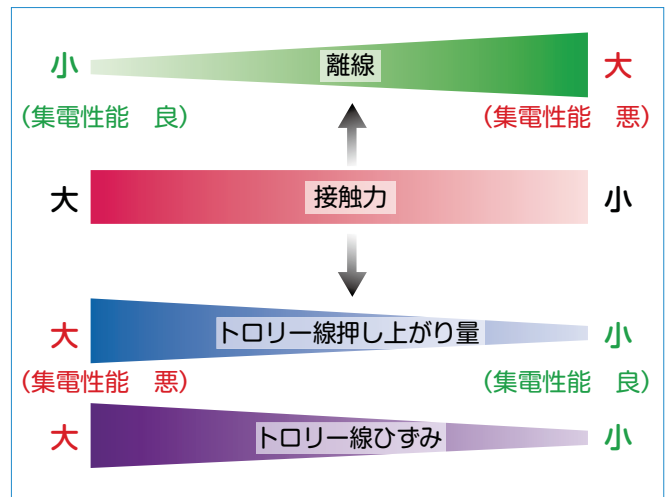


図10 離線とトロリー線測定量の一般的な関係

なお、母線引き通しが無い場合には、離線してもアークを通して空気中を電流が流れ続けるため、この方法では測定できません。また、だ行(加速も減速もしていない)状態では、離線していても電流が0に近いので、この方法ではうまく測定できません。

電流式離線測定では母線引き通しがある場合、架線とパンタグラフが機械的に離れている状況を光学式離線測定より高い精度で測定することが可能です。

③分圧式離線測定

パンタグラフの電圧は通常、架線電圧と一緒にありますが、離線すると電圧が低下するので、これを利用することで離線を測定することができます。電圧を検出する際、分圧器と呼ばれる抵抗器を使いますので、分圧式離線測定と呼ばれています。

この方法では、昼間でも、だ行状態でも測定できますが、測定するパンタグラフが他のパンタグラフやモーターなどとつながっていると測定精度が低くなるため、測定するパンタグラフは他の電気回路と切り離れた、無集電パンタグラフで測定することが基本となります。また、直流電化区間のみで使用することが可能です。

測定データの評価指標

離線測定データの定量的な評価指標として、図9の離線率と最大離線時間がよく用いられます。集計は架線のオーバーラップ(架線が切り替わる地点)を区切りとした、1.5km程度の区間(「ドラム」と呼びます)ごとに行うのが一般的です。

①離線率

集計区間を走行中、どの程度の時間比率で離線が発生していたかを示すものです。分母は走行時間、分子は離線継続時間(1回の離線の長さ)を全ての発生した離線について足し合わせた、全離線時間としたものです。結果は%単位で表します。

離線率は架線やパンタグラフの、ドラム全体にわたった状態を平均化して表していると言えます。このため、架線やパンタグラフの全般的な性能を評価するときには有効な指標となります。

②最大離線時間

集計区間の中で、離線継続時間の最大値を示すものです。結果はms(ミリ秒)単位で表します。

最大離線時間は区間内のある1点の状態を表すため、一般的に大きな離線が発生するオーバーラップにおける架線の状況や、架線金具の影響を評価する時などには有効な指標となります。

評価結果の活用

離線測定は、集電性能を評価する1つの方法として行われます。そして、離線率は低いほど、また、最大離線時間は短いほど良いと言えます。

しかし一般には図10のように、接触力が大きい方が離線は小さくなるため、離線の測定結果を良くしようと接触力を大きくすると、トロリー線の押し上がり量やひずみまで大きくなり、トロリー線の測定結果は逆に悪くなります。このように、離線とトロリー線の測定量は相反する性能を持つことがあるため、架線とパンタグラフの各種特性を総合的に考えて、最適な状態を作らなければなりません。

たとえば新型車両を導入したり、スピードアップをするとき、離線測定は、開発の行われた架線やパンタグラフが期待どおりの性能を満たしていることを最終確認し、お客様にご乗車いただく営業運転が技術的に可能かを判断する、重要な測定項目となっています。

RRR

文献

- 1) 小山達弥・池田充：電車線とパンタグラフの接触力を測る,RRR,Vol.69, No.4,2012.4