

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

電車線とパンタグラフの性能を評価できる集電試験装置

電車線とパンタグラフなどの集電装置を用いた集電系において、集電にともなう現象（※参照）を把握することは最も基本的で重要です。しかし、営業線でこの現象を観測するためには多くの時間と労力を要し、また各種制約も受けてしまいます。集電試験装置は、実物の電車線を設置して、速度200km/hで走行可能な走行台車に搭載したパンタグラフを走行させ、両者の振動現象などを観測することが可能な試験装置です。ここでは、集電試験装置の設備概要ならびに本装置を用いた成果を紹介します。



佐藤 宏紀
Koki Sato
電力技術研究部
電車線構造研究室
研究員
【専門分野】電車線・パンタグラフの相互作用



原田 智
Satoshi Harada
電力技術研究部
電車線構造研究室
主任研究員
【専門分野】電車線・パンタグラフの相互作用

はじめに

電車が消費する電力は地上側の電力設備から供給されています。電車が電車線からパンタグラフなどの集電装置を介して電力の供給を受けることを集電と呼びます。電車線が線路上空に設置されて電車の屋根上に装備されたパンタグラフによって集電する架空式、電車線に相当するレールが走行レール側方に設置され、台車に装備された集電靴によって集電する第三軌条式などに分類されます。ここでは架空式電車線とパンタグラフの場合について述べます。

電車線は断線などの故障時に代替設備がない一重系の設備であり、電気鉄

道の安定輸送には安定した集電を行うことが必要不可欠です。したがって、電車線とパンタグラフの間の集電性能（トロリー線押上量、トロリー線ひずみ、離線）を把握し、許容値以下であることを確認しておくことが重要です。

集電性能の評価には理論解析によるものと実験によるものがありますが、最終的には必ず実物を用いた実験による確認が必要です。しかし、実車両による営業車での実験は多くの時間と労力を要し、また各種の制約も受けるため、効率的に性能評価を行うことは困難でした。

そこで、営業線と同じ集電設備を用いて集電にともなうさまざまな現

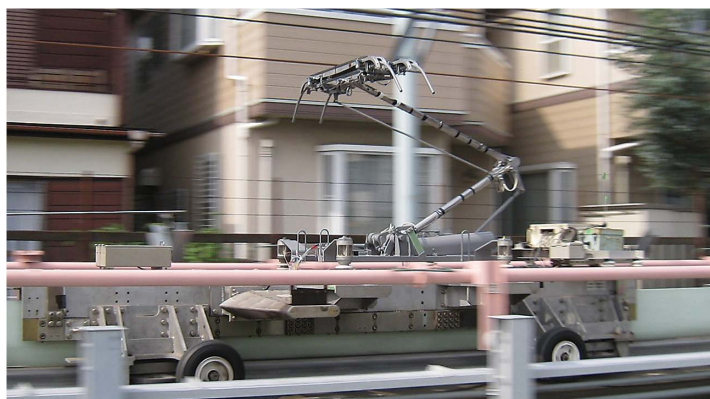


図1 集電試験装置

象を観測できる集電試験装置(図1)が、1974年3月に鉄道総研国立研究所(当時は旧国鉄・鉄道技術研究所)内に設置されました。

集電試験装置の概要

本装置は、実物のパンタグラフを搭載した走行台車がリニアモーター駆動により走行し、その時の電車線とパンタグラフとの間の集電にともなうさまざまな現象を観測することのできる装置です。当初、走行台車の最高速度は100km/hでしたが、後述する地上コイルおよび走行台車の磁力強化により現在では200km/hの走行が可能となっています。

走行台車の構成を図2に、走行路の構成を図3に示します。加速区間では、走行路に固定された推進コイルと走行台車に設置した永久磁石で構成されるリニアモーターにより走行台車は推進力を得て加速します。ここで、地上の推進コイルと走行台車の永久磁石はモーターで例えればそれぞれ電機子と界磁に相当するものです。ブレーキ区間では走行路に金属板(ステンレス板およびアルミ板)が設けられており、走行台車の永久磁石との作用を利用した渦電流ブレーキ(☞参照)で停止します。

加速区間とブレーキ区間の間に設

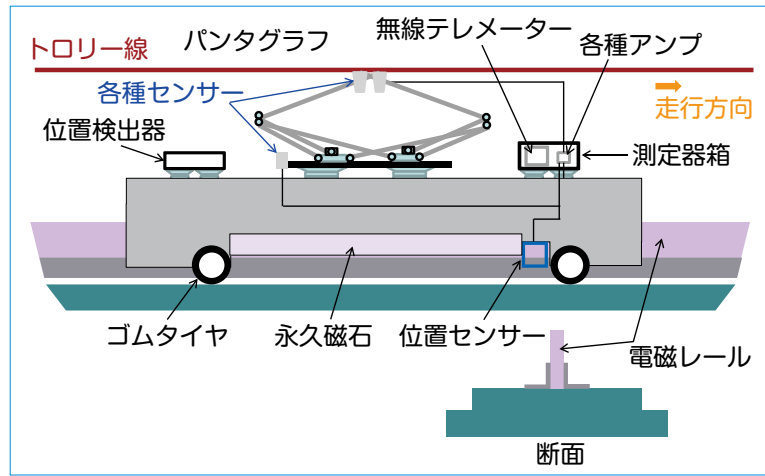


図2 走行台車の構成

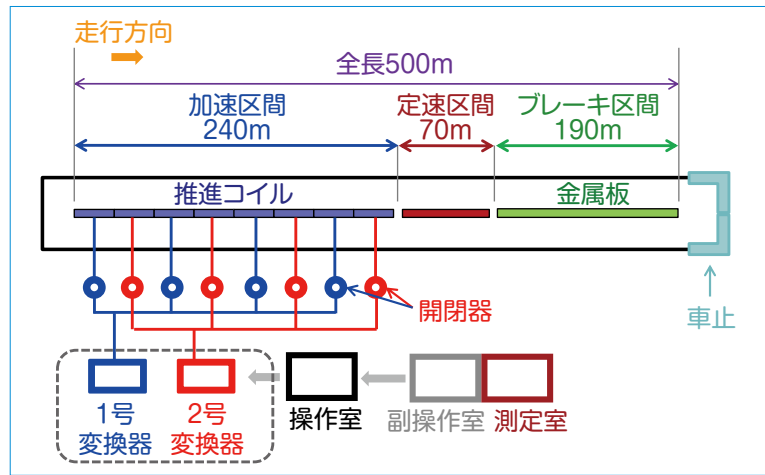


図3 走行路の構成

けられた約70mの定速区間において、電車線とパンタグラフ間の集電にともなう現象を観測します。定速区間のトロリー線にあらかじめ変位計やひずみゲージを取り付け、これを配線することでトロリー線の押上量やひずみを測定できます。トロリー線とパンタグラ

フの間の離線はトロリー線に数十ボルトの電圧を印加し、パンタグラフとトロリー線の接触の有無を電圧の変化により検出します。走行台車には無線テレメーターが設備されており、パンタグラフに設置した加速度計や変位計などの各種センサーからのデータは無線により取得できます。

集電試験装置では電車線の左右偏位や静高さ、ならびに走行速度やパンタグラフの静押上力を任意に設定できるほか、走行路に沿って5mおきに電柱が設置されているため電車線の径間も任意に設定することができます。

さらに、カテナリー式電車線以外にも剛体電車線とパンタグラフの組み合わせやサードレールと集電靴の組み合わせの実験も可能で、さまざまな条件に対応した集電性能の評価が可能です。

☞ 集電にともなう現象

パンタグラフはトロリー線としゅう動しながら走行し、相互に力を及ぼし合い、電車線とパンタグラフはそれぞれ振動します。集電時の、支持点におけるトロリー線の押上量や、トロリー線の押し上げにより生じるトロリー線のひずみは集電の状態を表す指標(集電性能)としてよく測定されます。また、トロリー線とパンタグラフの接触力変動の増大により、接触力が0になると離線が生じます。走行時間に対する離線発生時間の割合を離線率と呼び、集電性能の評価指標の1つとしてよく測定されます。

☞ 渦電流ブレーキ

磁束が変化する場に導体を置くと、電磁誘導により導体内で渦状の誘導電流(渦電流)が発生します。渦電流は、磁束の変化を妨げる方向に磁力を生じ、この特性をブレーキに利用したものを渦電流ブレーキと呼びます。集電試験装置では走行台車に取り付けられた永久磁石の移動が磁束の変化に相当し、走行路のブレーキ区間に設けた金属板が導体の役割をしています。

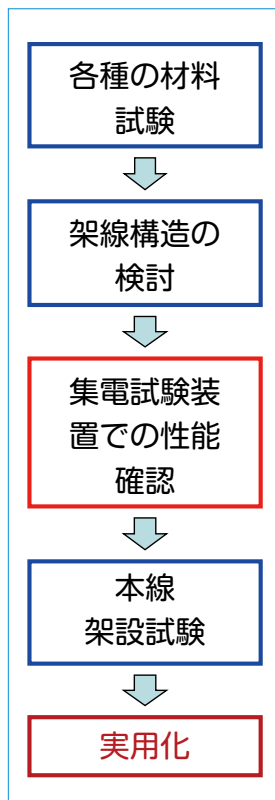


図4 新しい電車線実用化までの流れ

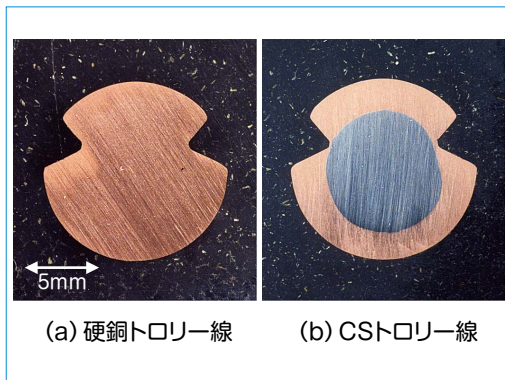


図5 トロリー線断面



図7 き電ちよう架式コンパウンドカタナリー

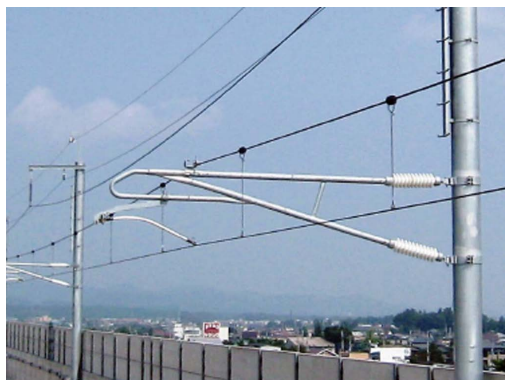


図6 PHCシンプル架線



図8 狭小トンネル用剛体電車線

集電試験装置を利用した試験

集電試験装置は、さまざまな電車線構造とパンタグラフの組み合わせにおける試験を容易に実施することができ、これまで集電現象に関する各種試験に利用されてきました。ここでは集電試験装置を用いて得られた主な成果を紹介します。

高速シンプル架線の開発

新しい電車線実用化までの流れを図4に示します。冒頭に述べたように、電車線とパンタグラフの間の集電性能を把握しておくことは重要なことです。材料試験における単体での性能やすり板との組み合わせによる摩耗試験が良好であっても、パンタグラフとの組み合わせによっては、集電性能が良好ではない可能性があります。そのため、効率的に電車線とパンタグラフの間の集電性能を確認する手段として集電試験装置を使用しています。ここでは、例として新幹線用高速シンプル架線の

開発について述べます。

全国新幹線鉄道整備法に基づいて計画・設備される整備新幹線では、東海道新幹線などと比べて輸送量が少ないことが予想されたことから、高速性と経済性を両立した電車線方式が求められていました。

新幹線の速度向上のためにはトロリー線の波動伝播速度向上が求められます¹⁾が、そのためにはトロリー線の引張強度の向上が必要です。そこで図5 (b) に示す鋼心で強度を向上させたCSトロリー線が開発されました²⁾。CSトロリー線をシンプル架線に採用することで高速区間の運用に耐えられるようになり、高速性と経済性を両立した電車線が実現化されました。一方、複合構造のCSトロリー線は導電性やリサイクル性に課題がありました。そこで硬銅トロリー線 (図5 (a)) と同じ単一の材料で、CSトロリー線と同程度の機械的強度を保ちつつ、リサイク

ル性、高導電性を実現したCr-Zr系析出強化型銅合金を適用したPHCトロリー線が開発されました³⁾。これらのトロリー線の開発の過程では集電試験装置による各種試験を繰り返し、性能の確認を行っています。

図6はPHCトロリー線を採用したPHCシンプル架線の写真です。現在PHCシンプル架線は東北新幹線の八戸～新青森 (2010年開業)、九州新幹線の博多～新八代 (2011年開業)、北陸新幹線の長野～金沢 (2015年開業)、北海道新幹線の新青森～新函館北斗 (2016年開業) で採用されています。

在来線用電車線の開発

在来線では近年、とくにメンテナンス性の向上や景観への配慮が求められ、都市圏ではき電ちよう架方式の電車線の導入が進んでいます。

鉄道総研と鉄道・運輸機構は共同で高速走行に対応したき電ちよう架方式コンパウンド架線を開発しました⁴⁾。

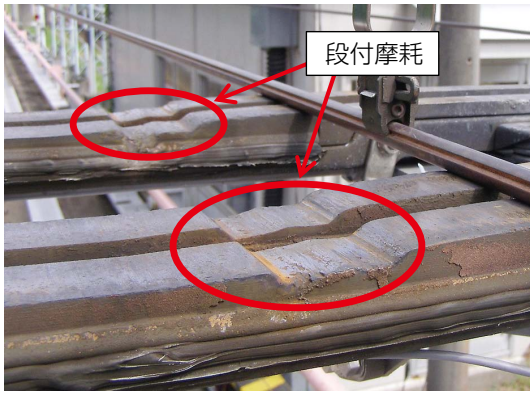


図9 すり板の段付摩耗

数値シミュレーション，集電試験装置による走行試験，ならびに実車両による走行試験により，160km/hの高速域においても，き電ちよう架式コンパウンド架線は良好な集電性能を有することが確認されました。現在では，成田スカイアクセス線に採用されています(図7)。

また，集電試験装置では前述したように剛体電車線が架設可能で，これに対して各種の試験を行うことができます。たとえば，狭小トンネル用剛体電車線(図8)は集電試験装置における走行試験結果から，採用の可能性が示され，現在ではJR篠ノ井線の一部山岳トンネルに導入されています⁵⁾。

すり板段付摩耗の検知手法の開発

トロリー線としゅう動するすり板は走行距離の増加にともない徐々にかつ滑らかに摩耗することが望ましいですが，まれにすり板に局所的に段差状の摩耗が生じることがあります(図9)。すり板の段付摩耗は急速に発展し，すり板の割損や電車線の損傷に至る危険をはらんでいます。そこで，すり板の段付摩耗を検知できる手法を開発しました⁶⁾。

電車線にはすり板の局所摩耗を防ぐために左右偏位が設けられています。このため，すり板から見るとトロリー線はまくらぎ方向に移動しているように見えます。すり板に段付摩耗が生じていると，トロリー線のまくらぎ方向

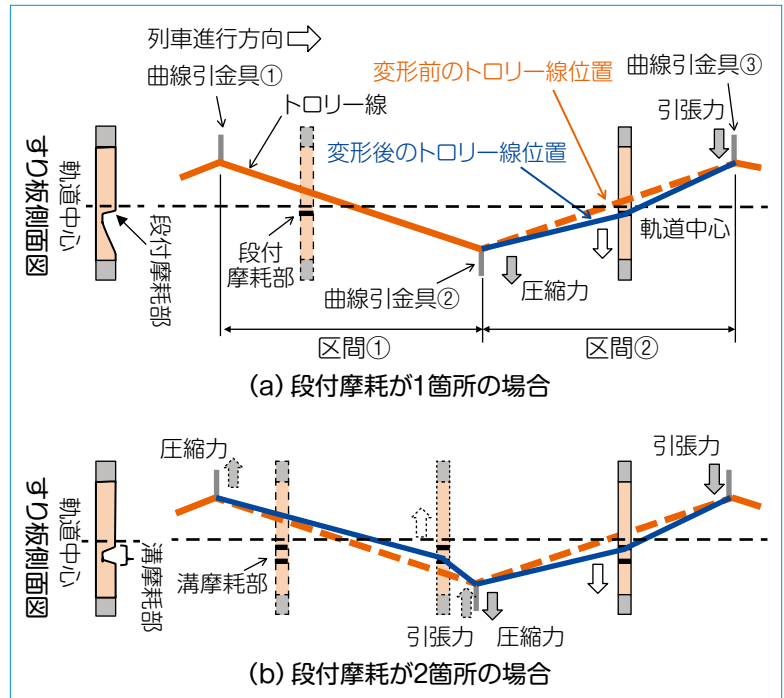


図10 段付摩耗があるパンタグラフが通過した際のトロリー線の挙動

への動きが段付摩耗の箇所で拘束され，まくらぎ方向の力を受けます(図10)。この力は電車線の左右偏位を与えるために支持点に設けられている曲線引金具に伝播します。この力を曲線引金具に設置したセンサーでモニターすることによってすり板段付摩耗を検知します。

本手法の検知精度を確認するために集電試験装置で検証試験を行いました。検証試験では段付摩耗の有無や段付摩耗の位置，パンタグラフ通過速度などの条件を替えて合計86通りの試験を実施し，全ての条件において正確に段付摩耗の有無を検知することができました。

ここに示したように，集電試験装置は集電現象の把握だけでなく，各種試験装置の検証にも使用されています。

おわりに

集電試験装置の設備概要と本装置を用いて得られた研究成果の例を紹介しました。電気車を運行するにあたって集電現象の把握は重要なことですが，営業車での実験には多くの制約があり

ます。集電試験装置ではさまざまな条件下で電車線と集電装置を組み合わせる実験を行うことができ，各種の試験に対して効率的にデータを得ることができます。

今後とも集電試験装置を活用して，引き続き安全かつ安定した集電に向けた技術開発を続けていきます。[RRR]

文献

- 1) 網干光雄，真鍋克士：架線・パンタグラフの接触力変動解析，鉄道総研報告，Vol.13，No.7，pp.7-12，1999
- 2) 長沢広樹，小比田正，青木純久，片山信一：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
- 3) 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
- 4) 常本瑞樹，早坂高雅，清水政利，近成健二：高速用き電ちよう架方式架線の開発，電気学会論文誌D，Vol.135，No.4，pp.362-367，2015
- 5) 萬代毅，清水政利，佐藤文久，鶴野順一：在来線トンネル区間への剛体電車線の適用，鉄道総研報告，Vol.18，No.6，pp.5-10，2004
- 6) 小山達弥，臼田隆之，池田充：パンタグラフの異常を検知する，RRR，Vol.74，No.5，pp.8-11，2017