

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

# 架線・パンタグラフの状態を 接触力や振動から診断する

架空電車線（※参照）は長大な鉄道インフラの一つであり、その保守コストの低減が強く要請されています。そのため、必要な箇所に対して適切な時期に適切な保守作業を行うことにより、最小限のコストで最大限の効果をあげることが求められています。ただし、その実現には架線設備の状態をきちんと把握しておくことが重要です。そこで鉄道総研では、営業速度で走行する検測車において計測した情報をもとに、架線設備の状態を診断する手法の開発を進めています。本文では、こうした研究開発について最近の成果も踏まえながら紹介します。



池田 充

Mitsuru Ikeda

鉄道力学研究部  
部長

【専門分野】架線/パン  
タグラフ系の動的相互  
作用、パンタグラフの  
空力音低減

## はじめに

鉄道は、車両、インフラ、運行管理からなる巨大なシステムであり、これらの健全性を維持することによって、安全・安定輸送が実現されています。健全性を維持する作業のことを保守作業といいますが、鉄道インフラは長大ですので、インフラの保守には多額の費用を要しています。少子化による人口減が現実となった日本において、健全な鉄道経営を続けるためには、インフラの健全性を維持しつつ、いかにしてその保守コストを低減するのかということが、鉄道事業者にとって重要な課題の一つとなっています。

架線（架空電車線）は長大な鉄道インフラの一つですので、当然ながらその保守コストの低減が強く要請されています。そのためには、必要な箇所

に対して適切な時期に適切な保守作業を行うことができれば理想的ですが、その実現には架線設備の状態を迅速かつ正確に把握する技術が不可欠です。

そこで鉄道総研では、検測車において計測された情報をもとに、架線設備の状態を診断する手法について研究を進めています。ここでは、こうした研究について、最近の成果も踏まえながら紹介します。

## 検測車による架線検測

現在JR各社では、新幹線では10日に1回程度、在来線では半年に1回程度、それぞれ検測車による架線検測が行われています。架線検測とは、架線の架設状態を測定することをいいます。架線だけでなく、軌道や信号設備などについても検測が実施されており、これ

### ※ 架空電車線

電気鉄道において、車両に対して電力を供給するために線路に沿って設けられた電線路のうち、電気を流すための電線類とその支持金具のことを総称して電車線といいます。この電車線を線路上空に架設したものが架空電車線（架線）です。図1に示すように、50m程度の間隔に設けた電化柱によりちょう架線を支持し、ちょう架線からハンガーと呼ばれるつり金具によってトロリー線をつり下げる（ちょう架する）方式が一般的です（シンプルカテナリー式架空電車線）。なお、新幹線ではちょう架線とトロリー線の間に補助ちょう架線を設け、高速性能を向上させた方式（コンパウンドカテナリー式架空電車線）も多く用いられています。

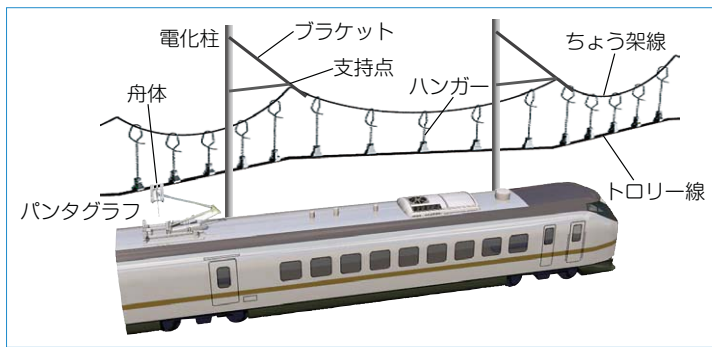


図1 架線・パンタグラフ系

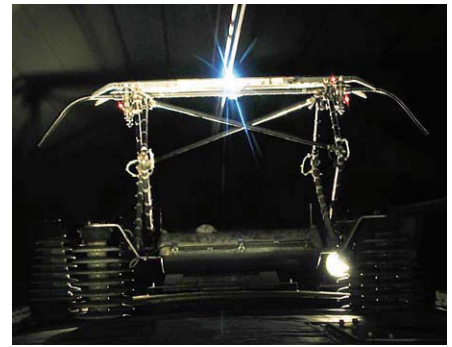


図2 離線に伴うアーク

らを行うための専用車両のことを検測車と称しています。

架線検測では、トロリー線摩耗、トロリー線左右偏位（まくらぎ方向の位置）、パンタグラフ高さ、硬点、衝撃、支障物、離線などが測定されています。トロリー線摩耗とは、パンタグラフがしゅう動することによって生じるトロリー線の摩耗量をレーザー式測定装置により測定したものです。硬点、衝撃とは、パンタグラフの最上部に取り付けられた舟体（トロリー線としゅう動するためのすり板）が取り付けられている部材、**図1**参照）に生じた鉛直方向ならびにレール方向の加速度のことで、トロリー線に何らかの拘束があって動きにくくなっている箇所では大きな値を示します。また、パンタグラフ高さは舟体の鉛直方向変位のことであり、架線側からみた場合にはパンタグラフの通過により上方に押し上げられた状態におけるトロリー線の高さを測定していることに相当します。離線とは、パンタグラフがトロリー線に追従できず、両者が離れることをいいます（**図2**）。離線が発生するとアークを伴う場合が多いのですが、アークはトロリー線やすり板を損耗させるため、離線発生割合（離線率）の小さい状態を維持することが望まれています。このように、トロリー線の摩耗と左右偏位を除けば、架線検測の評価項目はいずれもパンタグラフの動きに注目して測定された量に基づくものです。

架線とパンタグラフの挙動は、パンタグラフの通過速度に大きく依存しま

す。それは、架線とパンタグラフの動きやすさが同程度であるため、両者の運動の間には強い相互作用が働くためです。そのため、架線とパンタグラフの運動を考える場合には、両者を一つのシステムとしてとらえ、架線・パンタグラフ系と称しています。架線検測で評価されているものは、架線・パンタグラフ系の動的挙動そのものであるといえます。

### 架線の保守作業

架線保守作業では、摩耗に伴うトロリー線の張り替え作業や電車線構成部材の点検・経年取り換え作業、ならびに架線・パンタグラフ系の動的挙動を良好に維持することを目的としたトロリー線の高さ調整作業などが主に実施されています。このうち、トロリー線の張り替え作業については、検測車において測定したトロリー線摩耗データに基づいて作業計画が策定されるなど、検測データが積極的に活用されていますが、それ以外の作業については検測データを十分活用しているとは言い難いのが実情です。

検測車による検測データに基づいて、トロリー線の静的位置、特にトロリー線の静的な高さ（トロリー線静高さ）を適切に調整し、架線とパンタグラフの接

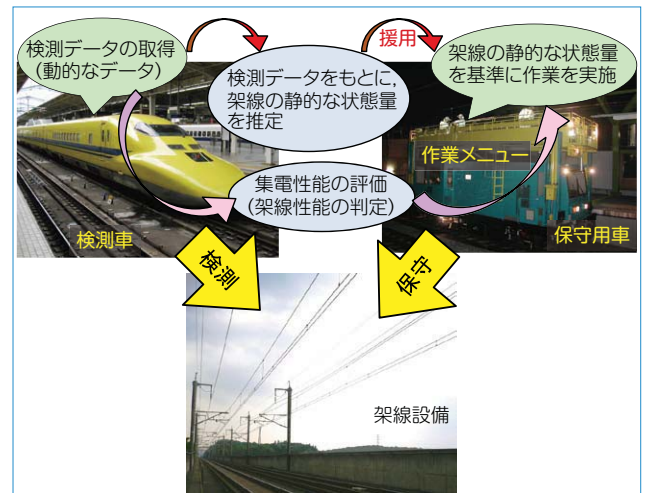


図3 架線の状態診断による保守作業の効率化

触を良好な状態に保つことができるようになれば、トロリー線の局所的な摩耗の発生が抑止され、結果として設備の長寿命化を実現することができます。

トロリー線はおおむね1.5km程度毎に区分（これを1ドラムと呼びます）されていますが、新幹線の場合にはトロリー線1ドラムのうち一部でも所定の摩耗量を超過した時点で、ドラム全体のトロリー線を新品に張り替えます。したがって、トロリー線の局所的な摩耗を抑止できれば、保守コスト低減に大きく寄与することになります。

ただし、現在の架線検測では、トロリー線の摩耗のモニタリングは行われていますが、架線の静的な情報が得られていないため、なぜトロリー線に局所的な摩耗が発生したのか、どうすればその進行を抑止することができるのか、ということを明確に示すことが容易ではありません。そのため、架線検測によりトロリー線の静的状態を推定する技術の確立が強く求められているのです（**図3**）。

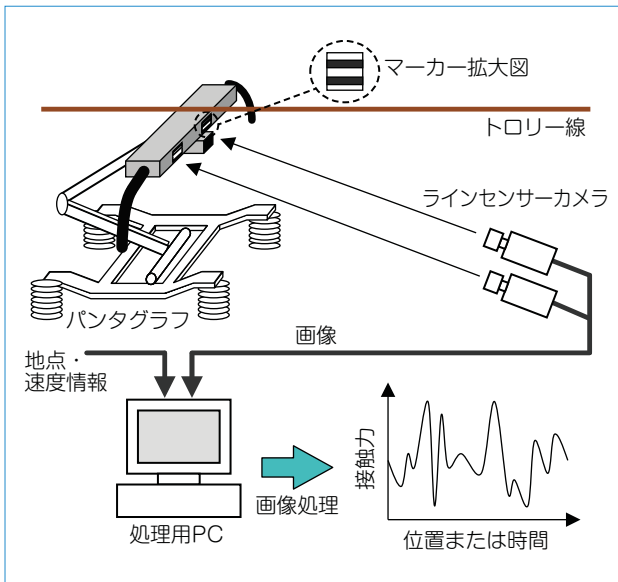


図4 画像情報に基づく接触力測定法

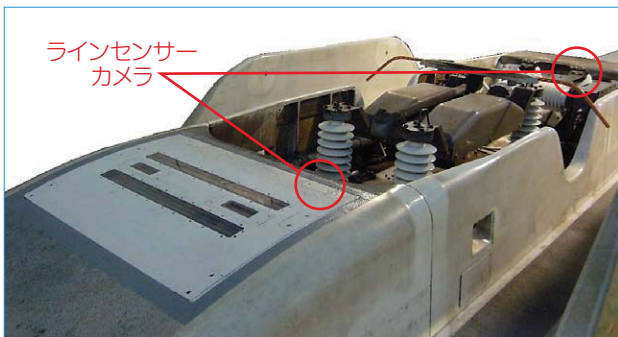


図5 画像情報に基づく接触力測定装置の実装例

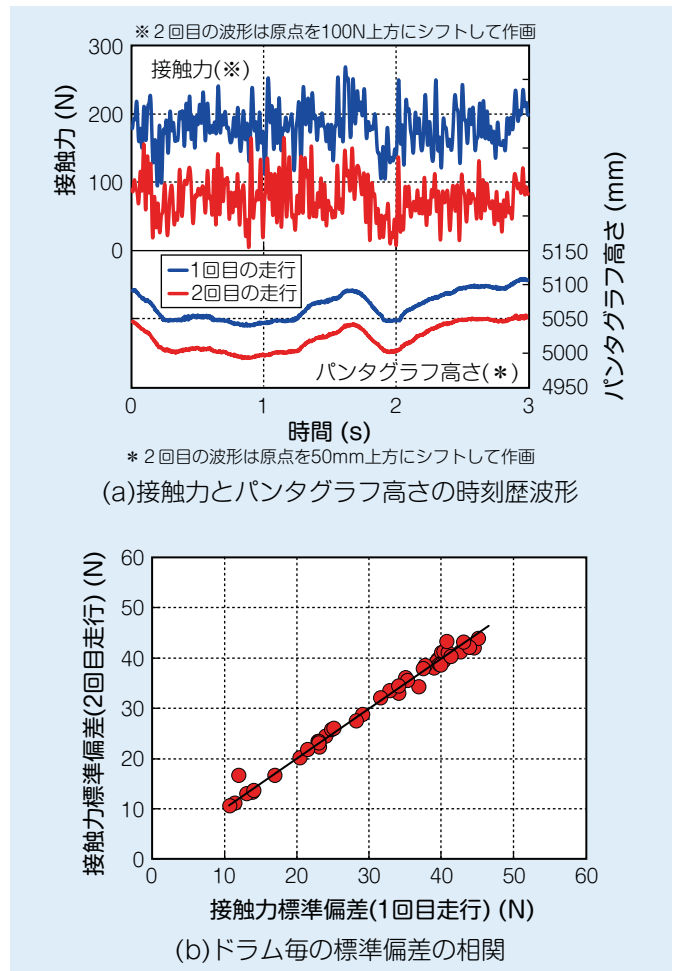


図6 異なる日に同一区間を同一速度で走行した場合の接触力測定波形の再現性

### 架線・パンタグラフ間の接触力

架線・パンタグラフ系の動的挙動を良好に維持するための架線保守作業を積極的に行うためには、架線とパンタグラフの接触状態を詳細に把握することが必要です。そのための手段として、架線とパンタグラフの間に作用する接触力の測定が有効です。

一般に、接触力はパンタグラフにセンサーを内蔵することによって測定します。ただし、トロリー線にはジグザグの左右偏位が与えられているため、パンタグラフから見たときのトロリー線の接触位置は常に変化します。こうした状況下においてパンタグラフがトロリー線から受ける力を正確に測定することは、意外に大変です。鉄道総研では、センサー配置ならびに計測アルゴリズムを工夫することによって、高い周波数まで精度よく接触力を測定で

きる手法を開発しています<sup>1)</sup>。また最近では、図4～図5に示すように、パンタグラフ近傍に設置したカメラにより取得したパンタグラフ画像をもとに、接触力を測定する手法も提案しています<sup>2)</sup>。架線検測の測定項目に接触力を追加すれば、接触力変動の大きな箇所を抽出することができますので、「どこを保守するのか」を明確に示すことが可能となります。ただし、測定波形の再現性が保証されていることが前提となりますので、異なる日に同一区間を同一速度で走行して測定した接触力波形の再現性を調査しました。その結果を図6に示します。図6(a)は接触力とパンタグラフ高さの時刻歴波形を、図6(b)はドラム毎の接触力変動(標準偏差)を、それぞれ2回の走行に対して比較したのですが、接触力は良好な再現性を有していることが理解で

きると思います。

### トロリー線の静的状態量の推定

以上のように、接触力のモニタリングによって「どこを保守すればよいのか」ということを示すことが可能になれば、次は「どのように保守すればよいのか」を提示することが求められます。鉄道総研では、異なる2つのアプローチによりこの問題に取り組んでいます。一つ目のアプローチは、先述した接触力とパンタグラフ高さの測定結果をもとに、トロリー線の静的な状態量を推定する方法です。その具体的な方法にもいくつかのものがありますが、ここでは最も単純な方法として、架線の等価剛性を均一と見なしたうえで、接触力の値からパンタグラフによるトロリー線の押上量を推定し、その値をパンタグラフ高さから減じることによ

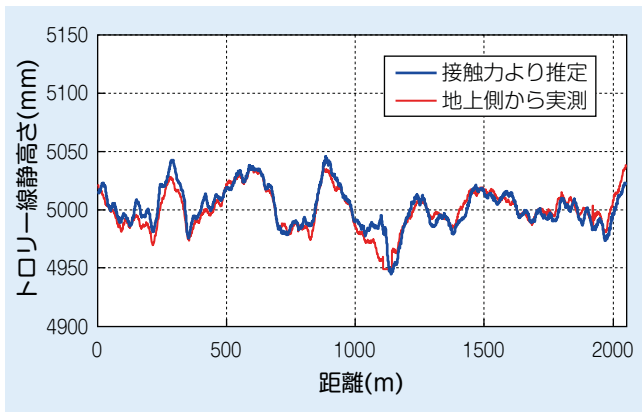


図7 トロリー線静高さの比較

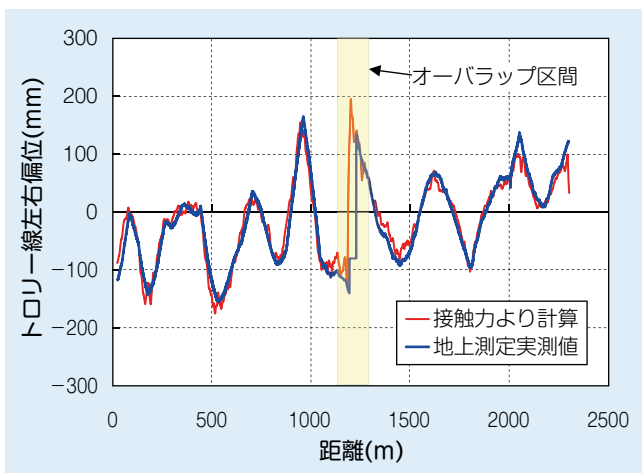


図8 トロリー線左右偏位の比較

てトロリー線静高さを推定した結果を図7に示します。この図は、パンタグラフで測定した接触力ならびにパンタグラフ高さをもとに推定したトロリー線静高さを、架線近接作業によって実測したトロリー線静高さと比較したものです。この図からわかるとおり、トロリー線静高さの推定値は実測値に対して比較的良好に合致しており、検測データからトロリー線の静的高さを概観することは十分可能であることがわかります。ただし、こうした簡易な方法によって、高周波数域における接触力変動に大きな影響を及ぼすハンガ間のディップ（重力による弛み）を精度よく評価することは難しいことから、より厳密な数学モデルに基づく推定方法について現在検討を行っているところです。

次に、接触力波形をもとにトロリー線の左右偏位を推定した結果を図8に

示します。図7と同様に、架線近接作業によって実測したトロリー線左右偏位と比較していますが、両者はよく合致していることがわかります。さらに、接触力から推定したトロリー線左右偏位波形は、オーバーラップにおけるパンタグラフの移行位置を明瞭に示しており、オーバーラップ部の構成を評価するうえで有用な情報を提供することが可能です。

以上に述べた、接触力波形を活用したトロリー線の静的位置の推定法の開発と並行して、鉄道総研では2つ目のアプローチとして検測車の屋根上にカメラを設置してステレオ画像を取得し、これをもとに架線を構成する各線條の位置を非接触で測定する試みも進めています。その一例を図9に示しますが、パンタグラフがしゅう動しているトロリー線だけでなく、パンタグラフのしゅう動していないわたり線側のトロリー

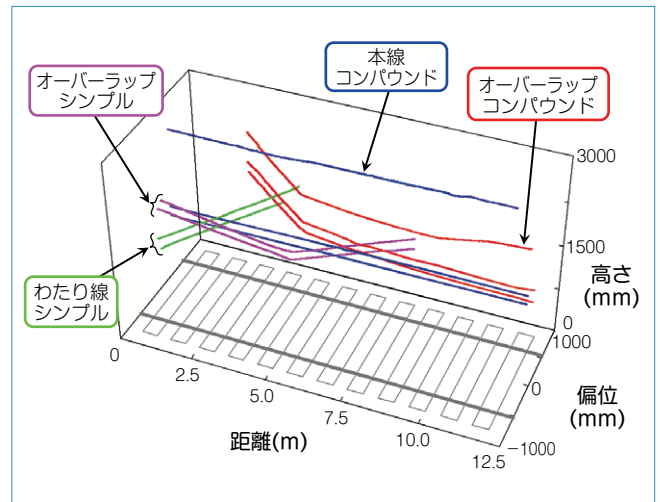


図9 画像による架線静的位置の測定結果

線やちょう架線などの各線條の位置も測定可能であることが理解頂けると思っています。現時点ではまだ営業速度での測定を試みるまでには至っていませんが、今後さらに開発を続ける予定です。

### おわりに

架線保守作業の効率化を実現するうえで必要な技術として、検測車による架線設備の状態把握手法に関わる鉄道総研の開発状況についてご紹介しました。ここで示した手法をブラッシュアップすることにより、保守の効率化に貢献していきたいと思っています。

なお、図4～図5に示した画像による接触力測定法の開発、ならびに図9に示した画像による架線静的位置測定法の研究は、いずれも（株）明電舎との共同研究において実施したものです。

RRR

### 文献

- 1) 池田, 長坂: 接触力の測定手法と架線設備診断への応用に関する研究, 鉄道総研報告, Vol.16, No.6, pp.45-50, 2002
- 2) 池田, 小山, 田林, 庭川: 画像情報を活用したパンタグラフ接触力測定, 鉄道と電気技術, Vol.24, No.2, pp.36-40, 2013
- 3) 池田, 臼田: 架線・パンタグラフの接触力測定法, 検査技術, Vol.15, No.10, pp.74-79, 2010