

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

レーザーセンサーと画像解析技術で架線の検査を省力化する

電気鉄道では、車両の動力源となる電気を安定して送り届けるために、その伝送路である架線の検査が欠かせません。鉄道事業者では、係員が徒歩で沿線を巡回しながら架線を目視で検査したり、夜間に架線を停電させて至近距離で検査したりしていて、多くの手間がかかっています。このような検査業務を省力化するため、レーザーセンサーと画像解析技術を組み合わせて架線の線条位置を測定するとともに画像を連続的に撮影可能な架線の非接触測定装置を開発しましたので紹介します。あわせて、現在開発を進めている、架線金具の異常検出手法も紹介します。



松村 周
Itaru Matsumura
電力技術研究部
集電管理研究室
副主任研究員



根津 一嘉
Kazuyoshi Nezu
前 電力技術研究部
集電管理研究室長
(現 企画室(企画)課長)

はじめに

電車の線路の上には架線(架空電車線)とよばれる電車に電気を送り届けるための設備があります(図1)。安定して電車を走らせるためには、安定して架線から電気を送り届けられるように、架線の検査や修繕といった保守作業が欠かせません。

トロリー線は車両のパンタグラフと擦れることですり減るため、すり切れないよう摩耗(すり減り具合)を検査することが重要です。一部の鉄道事業者では、ドクターイエローやEast iのような検測車によって、トロリー線の

摩耗の検査を自動化して省力化を実現しています。しかし、このような検査の自動化はトロリー線に関するものに限られており、架線の検査には未だに多くの手間がかかっています。

トロリー線の摩耗以外にも、トロリー線が車両のパンタグラフから外れてしまわないように、トロリー線の設置位置を検査する必要があります。検測車ではトロリー線の位置の測定も行っていますが、パンタグラフがトロリー線に接する高さを測定して、トロリー線の高さを測定する方式が主流です。

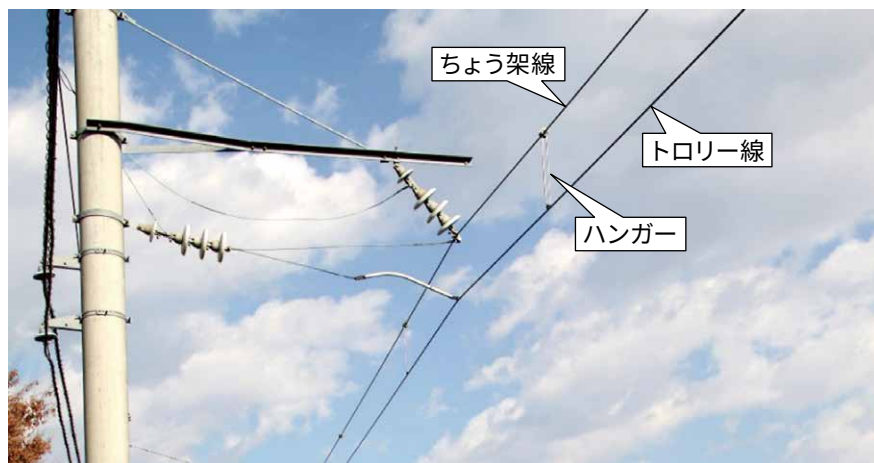


図1 架線の例

トロリー線の位置がずれてしまっていたときに、修繕作業を行うためには、パンタグラフの影響を受けない静的な状態でトロリー線やちょう架線（ハンガーによってトロリー線をつり下げるための線条）の位置を把握する必要があります。しかし、検測車ではパンタグラフが上向きの力でトロリー線を押しながら走行するため、架線の位置が動いたり揺れたりして、静的な位置の測定が困難です。

また、トロリー線をつり下げる金具（ハンガー）や、電線同士を電気的に接続する金具（コネクター）などに変形や断線といった異常があると、トロリー線が所定の位置からずれる、パンタグラフの正常な通過が困難になるなどの問題につながります。これらの金具について、係員が徒歩で沿線を巡回しながら行う目視検査や、夜間に架線を停電させて行う至近距離検査を行っています。

架線の検査をさらに省力化するためには、トロリー線やちょう架線などの線条の静的な位置の測定を自動化することと、架線金具の検査を自動化することが重要です。

架線の非接触測定装置

架線は線路沿いに長距離にわたって敷設されているため、走行する車両の上から非接触で測定と検査を行う手法が有効です。そこで、鉄道車両の屋根上に搭載可能な非接触測定装置（図2）を開発しました。この装置は、レーザーセンサーと画像解析技術を組み合わせることで、架線の線条の抽出の自動化と静的な位置測定を実現¹⁾²⁾しています。また、架線の画像を連続的に撮影して架線金具を自動的に検査する手法について開発を進めています。

架線の非接触測定装置は、時速130kmでの測定に対応し、進行方向に

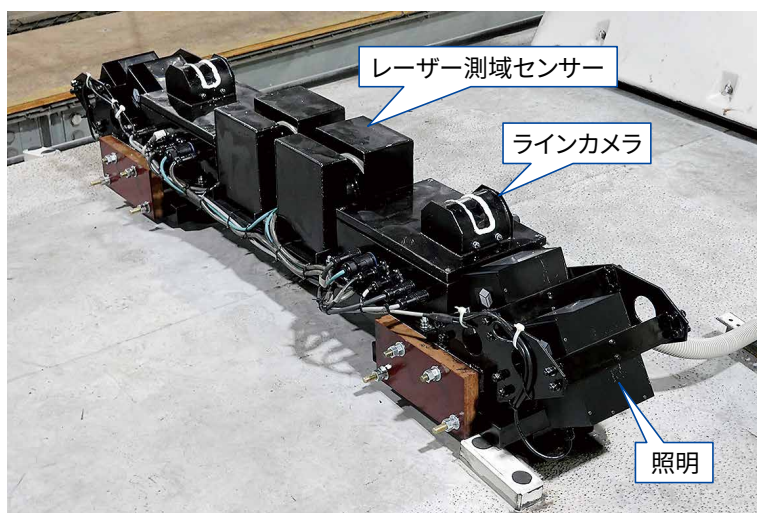


図2 車両屋根上に搭載可能な架線の非接触測定装置の外観

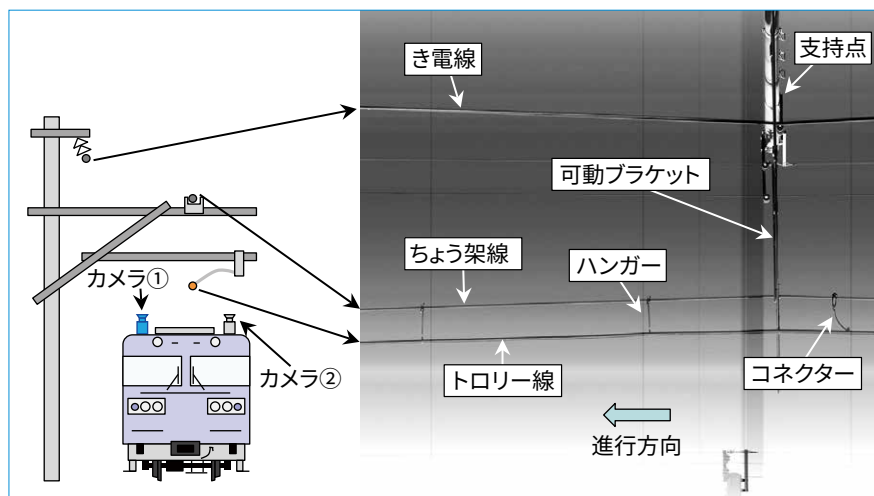


図3 架線の非接触測定装置で撮影した画像の例（カメラ①から撮影）

対して2mmピッチで画像を取得することができます。また、魚眼レンズを使用することにより、180度近い広い視野を実現しています。図3に本装置で撮影した架線の画像を示します。画像解析技術を用いて架線や金具の検査を自動化すれば、係員が目視で検査していた項目を置き換えられるとともに、異常が見つかった場合に係員が現地へ行くことなく状態を確認できます。なお、装置自体は防水構造ですが、雨天時は水滴の影響によって画像がゆがんでしまうため、測定できません。

以降では、線条と金具の検査原理について説明します。

線条の静的な位置の測定を自動化する

架線はトロリー線やちょう架線など複数の線条が組み合わせられており、さらにポイントがある駅構内などでは複雑に入り組んでいます。また、背景にさまざまな構造物も映り込むため、架線の画像から線条を自動的に抽出し、線条の種類を識別するのは非常に困難です。そこで、3次元計測が得意なレーザーセンサーの一種である「レーザー測域センサー」を用いて線条の大まかな位置を測定し、その結果をもとに解析範囲を絞って画像の中から線条を探し出し、線条の識別と精密な測定を

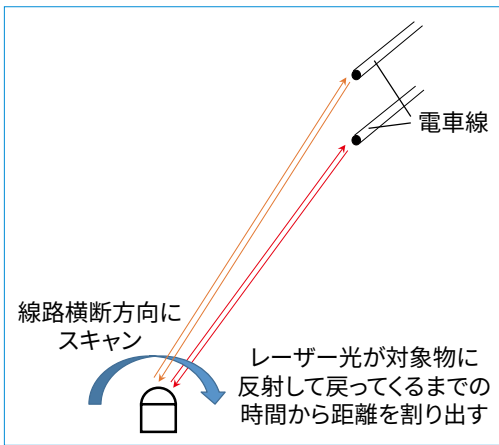


図4 レーザー測域センサーの仕組み

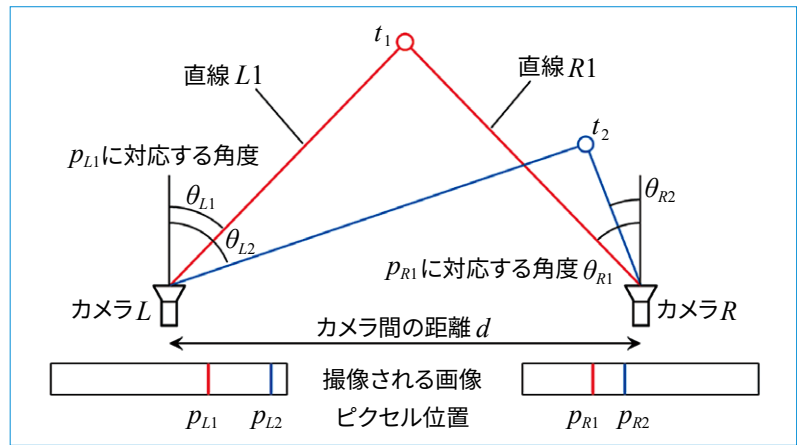


図5 ラインカメラ画像を用いたステレオ法による架線位置計測

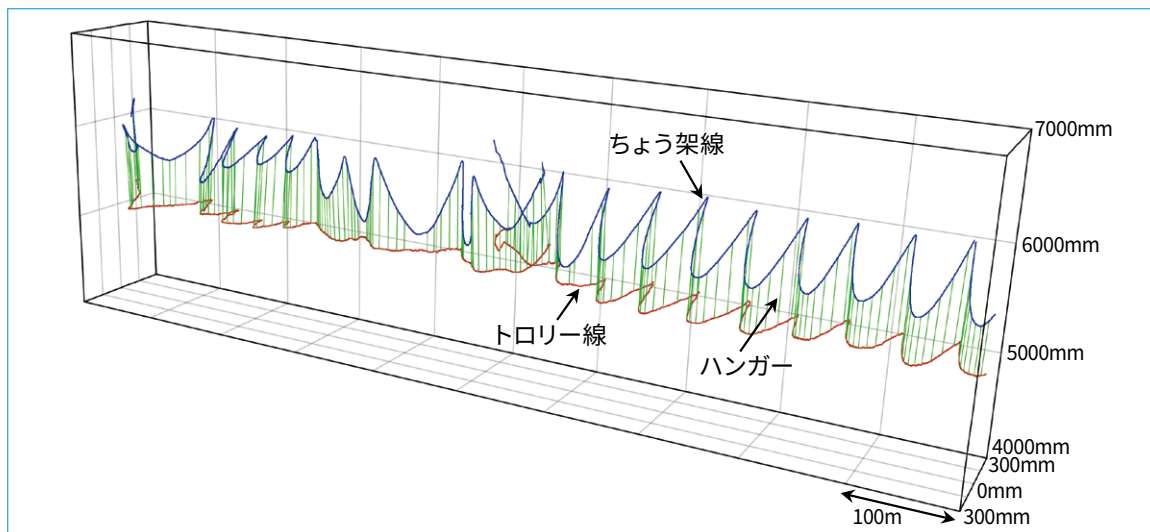


図6 架線3次元構造の測定結果³⁾

現する手法を開発しました。

(1) レーザーセンサーを使って線条を抽出する

図4にレーザー測域センサーの仕組みを示します。このセンサーを線路横断方向にスキャンして、架線を進行方向に輪切りにした断面図を得ることができます。

次に、レーザー測域センサーで測定した3次元位置のデータを解析し、一番下にある線はトロリー線、その真上にある線はちょう架線、といったように線条を分類します。そして、各線条の位置から撮影された画像のどのあたりに線条が映っているかを予想します。その領域に着目して、画像解析を行い、効率よく線条を抽出します。

(2) 画像解析技術を使って線条の位置を精密に測定する

ラインカメラとよばれる産業用の高解像度のカメラを使用することで、長大な架線設備を切れ目なく撮影することができます。

線条を抽出できれば、2台の高解像度のカメラ画像をステレオ法により解析して、対象線条の三次元位置を精密にとらえることが可能です。ステレオ法により架線の3次元位置を求める手順を、図5を用いて説明します。

例えば、点 t_1 にある線条の位置を求める場合、撮影される画像の中で線条が映っているピクセル位置 p_{L1} 、 p_{R1} がわかると、2台のカメラそれぞれから線を見上げたときの角度 θ_{L1} 、 θ_{R1} が

わかります。カメラLから角度 θ_{L1} で延ばした直線L1とカメラRから角度 θ_{R1} で延ばした直線R1との交点 t_1 に線が存在するので、カメラ間の距離 d と θ_{L1} 、 θ_{R1} を用いてこの交点の座標を計算します。このようにして、架線の各線条の高さと線路横断方向の位置を求めます。

架線金具の検査を自動化する

図3のような撮影画像を係員が目視で確認することでも、現地を巡回することなく架線金具の外観検査を行うことが可能となり、効率化が図れます。

しかし、さらなる省力化のためには、金具の状態の良否を自動的に判定することが求められます。このための第一

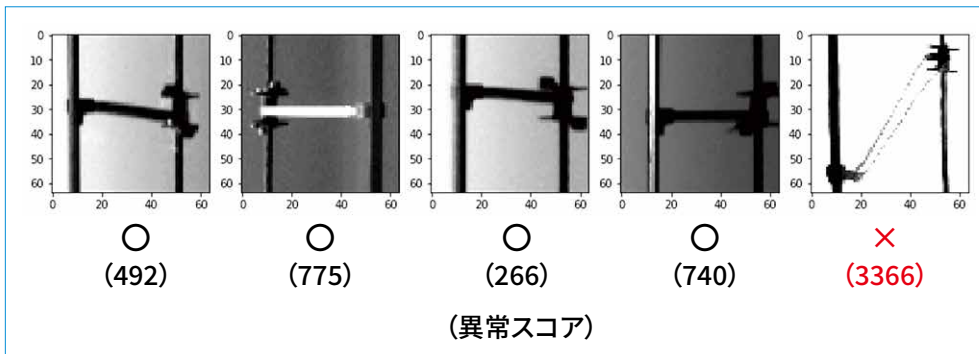


図7 ハンガーの異常検出例



図8 変形したハンガー

ステップとして、撮影した架線の画像から、架線金具の位置を検出し、第二ステップとして検出した金具の良否を判定する手法を検討しました。

(1) 架線金具の検出

ハンガーやコネクターなどの架線金具は、大きさが一定ではなく、取り付けられる位置によって変わります。また、天候やトンネルなどの構造物で背景もさまざまに変化します。このような条件下で架線金具の検出を行うには、教師あり機械学習(☞参照)の使用が有効です。教師データとして架線金具の画像を大量に用意し、機械学習アルゴリズムにハンガーやコネクターなどそれぞれの種類の架線金具の特徴を学習させ、架線金具を検出する手法を開発しました。

架線金具を検出することで、その金具の取り付け位置の測定が可能になるとともに、図3に示した画像から架線金具の異常検出を行うための画像を切り出すことができるようになります。

(2) 架線金具の異常検出

次に、架線金具の検査を自動化するために、切り出した画像から金具の変

形を検出する手法を開発しました。

変形を異常として検出するためには、形状が正常か正常ではないかを判別することが必要です。正常でないものには、未知の形状のものも含まれる可能性があります。そこで、教師なし機械学習を用いてその判別を行っています。

教師なし機械学習では、正常な架線金具の画像を大量に学習させることで、正常な金具の特徴を計算機が自動的に抽出します。それをもとに、正常な金具の特徴を基準として判別する画像の特徴との差分を示す「異常スコア」を算出します。正常な金具との差分が大きいと、異常スコアが大きくなります。正常な金具の異常スコアの分布をもとにしきい値を決定することで、正常か正常ではないかを判別し、架線金具の異常の検出を実現しました。この方法では、学習のために異常な画像を用意する必要がないことが大きな利点です。

架線3次元構造測定とハンガーの異常検出の例

架線の非接触測定装置により、トロリー線やちょう架線の位置と、ハン

ガーの位置を測定した例を図6に示します。レーザーセンサーと画像解析技術を組み合わせることで、トロリー線高さの繰り返し測定精度が10mm以内の高精度な測定を実現しました。

また、教師なし機械学習によりハンガーの異常検出を行った例を図7に示します。図8のような変形したハンガーを異常として検出することができました。

おわりに

架線の検査の省力化を目指して開発した非接触測定装置を紹介しました。今後は検査対象となる架線金具種別の拡大や、検査精度を向上させるための画像解析手法の開発を進めていきます。

なお、この研究の一部は株式会社明電舎と共同で実施しました。[RRR]

文献

- 1) 根津一嘉, 松村周, 網干光雄, 庭川誠, 川畑匠朗, 田林精二: ステレオ画像計測とレーザー測距を併用した架線の非接触位置測定手法, 鉄道総研報告, Vol.28, No.10, pp.29-34, 2014
- 2) 松村周, 根津一嘉: 画像とレーザーを用いて電車線を検出する, RRR, Vol.74, No.7, pp.16-19, 2017
- 3) 松村周, 根津一嘉, 薄広歩, 川畑匠朗, 渡部勇介: 電車線非接触測定装置の在来線車載試験による性能検証, 鉄道総研報告, Vol.34, No.9, pp.11-16, 2020

☞ 機械学習

機械学習は、計算機が事前に与えられたデータから学習し、問題を解決する技術です。ここで学習とは、あるデータをアルゴリズムに与えたときに、得られた計算結果が所望の結果と一致するように、アルゴリズムの途中の計算式の係数を修正することです。多くのデータについて学習を進めることで、計算の精度を向上させることができます。