

| |
|-------|
| 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 |

画像とレーザーを用いて 電車線を検測する

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空電車線を定期的に測定し、異常がないか検査しています。一部の鉄道事業者では、検測車が導入され、トロリー線の摩耗などの測定が自動化されていますが、人の目によって検査される項目も数多く残っており、検査を自動化し、人の負担を軽減するメンテナンスの効率化が求められています。ここでは、現在開発を進めている、画像とレーザーを用いて電車線の3次元位置を測定する手法を紹介するとともに、画像処理を用いた設備の検査手法も紹介します。



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
【専門分野】電車線の検測



根津 一嘉
Kazuyoshi Nezu
電力技術研究部
集電管理研究室
室長
【専門分野】集電系の計測

はじめに

電車の線路の上には架空電車線と呼ばれる電車に電気を送るための設備があります（☞参照）。安定して電車を走らせるためには、この設備を定期的に検査し、異常が見つかった場合は速やかに修繕する必要があります。

現在、各鉄道事業者では、ドクターイエローやEast iのような検測車によって、走行する車両からトロリー線（☞参照）の摩耗（すり減り具合）などを検査しています。

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、トロリー線をつり下げる金具（ハンガー）や、電線同士を電氣的に接続する金具（コネクター）などは、係員

が徒歩で沿線を巡回しながら目で見て検査をしたり、夜間に保守用車などを使用して至近距離から検査をしたりしています。安定した電力供給のためには、このような人の目による検査を行い、故障を未然に防ぐことが必要ですが、多くの手間がかかります。

そこで、人の目に頼っている検査を自動化するために、検測車から検査できる項目を増やし、人の負担を軽減した効率的なメンテナンスを実現するための研究を進めています。

電車線の検測とは

検測車の「検測」とは、「検査」と「測定」のことをさします。電車線の「検査」や「測定」としてどのようなことが

☞ 電車線

電車に電力を供給するため、線路に沿って敷設された電線路を「電車線路」と呼び、そのうち、とくにトロリー線や、これを上からつるすちょう架線、これらを接続する金具などを含めた設備のことを「電車線」、とくに上空に架けられたものを「架空電車線」と呼びます。「架空電車線」は一般に「架線」とも呼ばれています。

☞ トロリー線

電車線のうち、車両の屋根上にあるパンタグラフと接触し、電力を受け渡す電線をトロリー線と呼びます。レールの5m程度上空に敷設されています。パンタグラフはトロリー線をこすするため、トロリー線は徐々にすり減ります。

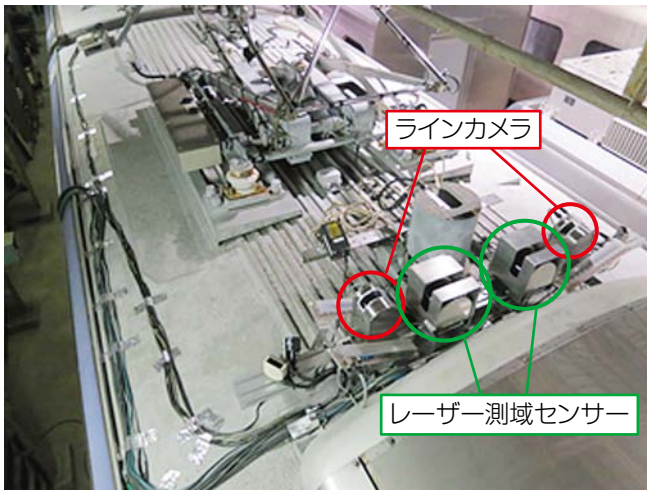


図1 開発中の電車線測定装置

行われているか説明します。

たとえばトロリー線は、先に述べたように、すり切れてしまうことのないよう摩耗を測定し、基準値以上にすり減っていないかどうか検査をする必要があります。また、トロリー線が車両のパンタグラフから外れることのないよう、高さや偏位（横方向の位置）を測定し、定められた範囲に敷設されているかどうかを検査することも重要です。検測車では、これらのトロリー線の摩耗や高さ、偏位を、走行しながら自動で測定し、検査しています。

新しい測定手法

このように、トロリー線に関する測定が自動化されている一方で、人の目による巡回検査では、長距離にわたり徒歩で移動する必要があります。また、電車線は、高い電圧がかかっているため、人間が至近距離で検査を行うためには、夜間、電車が走っていない時間帯に電気を止めて行わなければなりません。しかし、これを検測車による測定に置き換えることができれば、人間の徒歩による移動や夜勤の負担が減り、検査のために電気を止める必要もなくなります。

そこで、現在トロリー線に関するものに限られている検測車の測定項目を拡大し、トロリー線以外の線や金具も含めて、電車線の状態をより精密に測

定することで、人の負担を軽減したメンテナンスを実現できると考え、新しい測定手法を検討しました。

従来は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。しかし、パンタグラフは上向きの力でトロリー線を押し上げながら走行するため、電車線の位置が動いたり揺れたりして、精密な位置の測定が困難です。そこで、非接触の手法で電車線を測定できれば、パンタグラフの影響のない精密な測定が可能となります。

また、車両のパンタグラフはトロリー線のみと接触して走行するため、トロリー線以外のものを検測車から測定するには、非接触による測定が不可欠です。そこで、この非接触測定手法について、さらに検討を進めました。

非接触で電車線を測定する

非接触の測定手法の代表例として、画像処理とレーザー計測があります。表1にこれらの性能比較を示します。

画像処理では、車両にカメラを搭載して走行しながら測定する場合、高速かつ高精度な測定を行うことができます。一方で、レーザー計測では速度や精度の面が不十分です。このため、画像処理の電車線測定への適用を目指しました。

しかし、電車線は、線や金具を組み合わせたはしご状の構造をしており、

表1 電車線の測定における画像とレーザーの性能比較

| | 画像 (ラインカメラ) | レーザー (レーザー測域センサー) |
|---------|----------------|----------------------|
| 対象物の識別 | × | ○ |
| 測定範囲の広さ | ○ | ○ |
| 精度 | ○ | × |



図2 産業用ラインカメラの例

駅の構内などの電車線が入り組んだ場所では、画像を撮影しても、それぞれの線を自動で識別することが困難です。一方で、レーザー計測は3次元的な構造を直接測定できるため、線の識別が容易です。

そこで、現在、画像処理による計測とレーザー計測を組み合わせた非接触の電車線検測システムの開発を進めています。線の識別が難しいという画像の短所をレーザーで補うことで、対象物を自動認識して精密に測定できます。

図1に開発中の測定装置を車両に搭載して試験を行った際の写真を示します。ここでは、この装置による測定の基本原理を簡単に紹介します。

電車線の画像を撮影する

電車線は、線路と同じく連続した長大な設備であり、これを切れ目なく検査するため、通常のカメラではなく、ラインカメラと呼ばれる産業用のカメラを使用しています(図2)。なお、通常のデジカメなどは、ラインカメラに対してエリアカメラと呼ばれています。

ラインカメラは、画像センサーが一列に並んでいて、コピー機の読み取り

部のような構造となっています(図3)。エリアカメラと比べて1列の画素数が多く、高精細な画像が得られます。なお、そのままでは画素1列分の画像しか得られませんが、カメラを車両に搭載し、移動させながら撮影することで、連続した2次元の画像が得られます。

ところで、電車線は左右にジグザグに敷設されているため、カメラでとらえるためには広い視野が必要となります。また、トロリー線やちょう架線など、違う高さにある線を同時に撮影するために

は、「被写界深度」と呼ばれるピントが合う奥行き範囲が広い必要があります。これらは、魚眼レンズ(註1)を用いることで解決できます。

図4に鉄道総研所内の試験線でラインカメラを使用して撮影した画像を示します。高精細で切れ目のない画像が得られることがわかります。

ただし、トロリー線やちょう架線などの、電車線を構成する複数の線条が映っており、そのままではこれらを自動的に抽出し、線条の種類を識別するのは非常に困難です。

レーザーを使って線を探す

レーザー光は、直進性が高い光で、光を対象物に当てて跳ね返ってくるまでの時間を計測することで、対象物までの距離を測定できます。しかし、電車線のような丸い線を計測すると、曲面での反射や、線の細さの問題から、精密な測定が困難です。

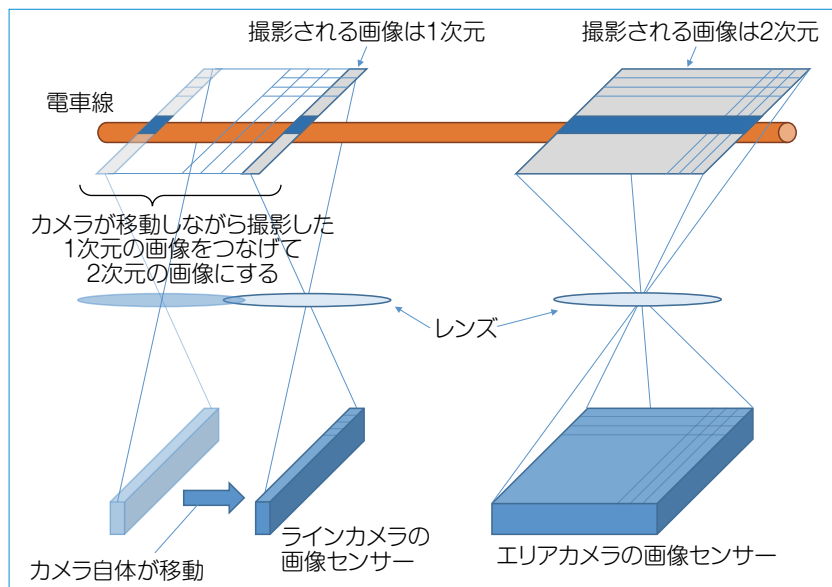


図3 ラインカメラの仕組み

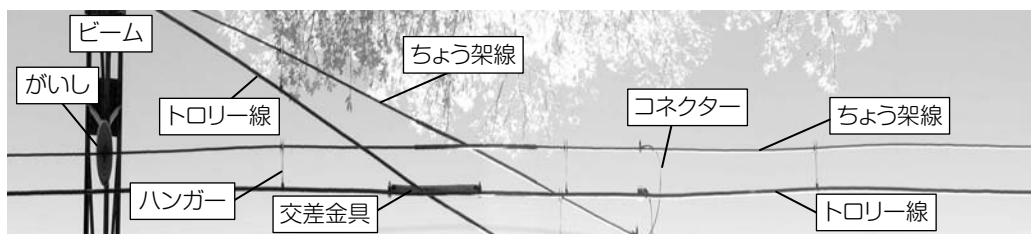


図4 撮影した画像の例

一方で、自らが発した光の反射光を受光するという点で、周囲の明るさの変化に強く、また、背景に影響されずに線条の位置が測定可能であるという利点があります。

そこで、レーザー光で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探し出すことで、線条の識別と精密な測定を実現する手法を提案しました。ここでは、レーザー光による測定にレーザー測域センサーを使用しました。図5にこのセンサーの仕組みを示します。回転方向にスキャンして、電車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。

線条を見分ける

つづいて、レーザー測域センサーの測定データと画像とを組み合わせる手法を説明します。レーザーで測定した線条の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、といったように分類します。そして、各線の位置関係から撮影された画像のどのあたりに映っているかを予想します。その領域に着目して、画像処理を行うことで、効率よく線条を抽出できます。

線条同士が近接している場合などは、太さの違いを使ってこれらを見分けます。線条の種類を特定できると、直径がわかり、レーザーで測定した3次元位置のデータから、カメラとの距離も大まかにわかっているので、画像内で各線条がどのくらいの太さで写っているかを予想できます。

このように、対象物の識別が難しい

註1 魚眼レンズ

魚が水中から空を見上げたとき、光の屈折により実際の視野より広い範囲が見えるように、通常のレンズと違う方式を用いて超広角を実現しているレンズは魚眼レンズと呼ばれています。

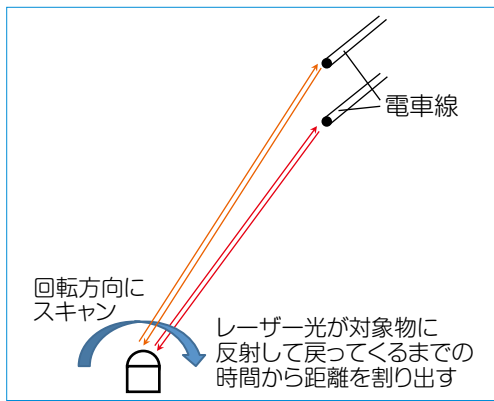


図5 レーザー測域センサーの仕組み

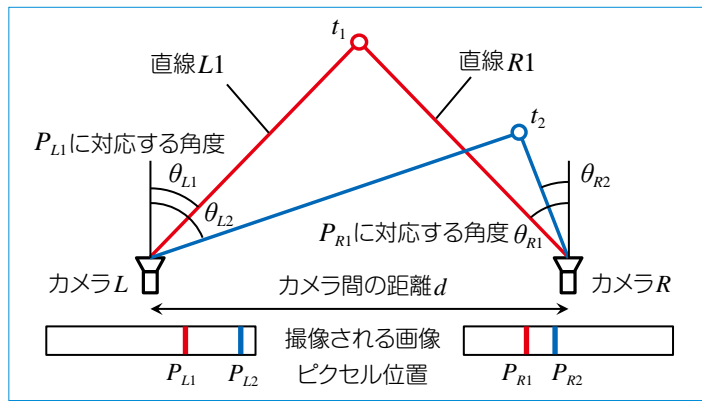


図6 ラインカメラ画像を用いたステレオ法による電車線位置

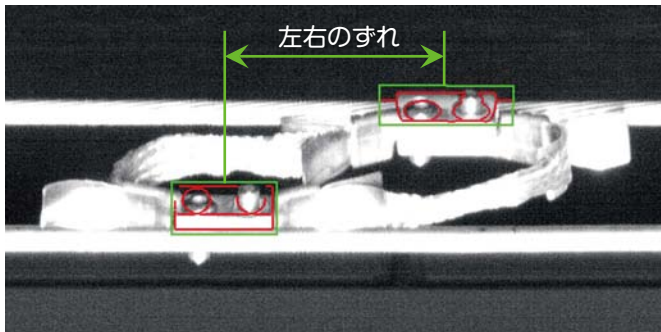


図7 電車線金具の自動検出

画像に対して、レーザー計測を組み合わせることにより、電車線の非接触測定に画像処理を適用することができました。

ステレオ法で位置を測定する

画像の中から線条を見つけたら、次に3次元位置をステレオ法で測定します。ステレオ法とは、2台のカメラの画像を用いて、三角測量の原理(☞参照)で対象物の位置を測定する手法です。近年では自動車の障害物検知などにも用いられています。この手法は、エリアカメラで撮影した画像を用いるのが一般的ですが、ラインカメラで撮影した画像を用いることもできます。

ラインカメラで撮影した画像から、ステレオ法により電車線の3次元位置を求める手順を、図6を用いて説明し

ます。たとえば、動抽出した例を図7に示します。この例では、本来は同じ左右方向の位置にある二つの金具が左右にずれて取り付けられています。画像の中の金具の位置が特定できると、たとえば金具のずれ具合や、金具が取り付けられた線条から外れていないかなどがわかります。現在は、カメラを低速で移動させて撮影した画像から、電車線金具を検出する基礎実験を行っている段階ですが、将来的には検測車に搭載し、人の目に代わる異常検出の実現を目指しています。

画像処理による電車線異常検出

はじめに述べたように、電車線にはハンガーやコネクターなどさまざまな金具が取り付けられています。そして、画像の中から線条を見つけ出すと、その線条を手がかりに金具を探し出すことができます。このようにして、線条の位置を手がかりにテンプレートマッチング(☞参照)手法により金具を自

ます。たとえば、動抽出した例を図7に示します。

この例では、本来は同じ左右方向の位置にある二つの金具が左右にずれて取り付けられています。画像の中の金具の位置が特定できると、たとえば金具のずれ具合や、金具が取り付けられた線条から外れていないかなどがわかります。

現在は、カメラを低速で移動させて撮影した画像から、電車線金具を検出する基礎実験を行っている段階ですが、将来的には検測車に搭載し、人の目に代わる異常検出の実現を目指しています。

おわりに

電車線設備の検査の効率化を目指して開発した、電車線を非接触で測定する手法を紹介しました。今後は検測車から電車線の総合的な診断の実現を目指し、高速走行への対応や検査対象の拡大を進めていきます。

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) 根津一嘉, 松村周, 網干光雄: 電車線路検査・状態監視への画像技術適用に関する動向調査, 鉄道総研報告, Vol.25, No.4, pp.47-50, 2011

☞ 三角測量の原理

三角形の1辺の長さや、その両端に位置する頂点の角度が既知であれば、残りの頂点の位置が定まることを利用して測定を行います。

☞ テンプレートマッチング

あらかじめ用意したテンプレート画像と、探索対象となる画像とを比較し、類似度が高い領域を画像の中から探し出す画像処理技術です。