

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

根津 一嘉* 松村 周* 網干 光雄**

Trend Investigation of Image Technology Application to Contact Line Inspection and Condition Monitoring

Kazuyoshi NEZU Itaru MATSUMURA Mitsuo ABOSHI

Recently, the practical use of a contact line inspection system which uses an image technology has increased. The advantage of the measurement by the image technology is that necessary hardware can be simplified because data can be obtained only with a camera and a light. As a result of application of the image technology, measurements with a commercial train or a road railer has extended, reducing an initial cost and an operation cost of the measurement. We investigated image technology trends by documents and actual conditions with respect to a part of advanced cases, and report the results of the investigation in this paper.

キーワード：画像解析，画像処理，電車線路，検測，状態監視

1. はじめに

電車線路設備の検査や状態監視に画像解析技術を用いることは1980年代から検討事例があるが、画像解析用コンピュータの高性能化と相まって、近年、検測装置としての実用化件数が増加しつつある。

画像解析による測定の特長は、基本的にカメラと照明があればデータの取得ができるため、従来の検測装置と比較すると、必要なハードウェアが大幅に簡素化できることである。これにより営業列車での検測や軌陸車での検測など、導入コストや運用コストを抑えた新しい応用を広げることが可能となった。

また、他の大きなメリットとして、対象物に非接触で測定を行えることが挙げられる。これにより絶縁を気にすることなく加圧された設備の測定が可能になるほか、ちょう架線、き電線、さらには支持物など、車両から離れた場所の設備を車両から測定することも可能になる。

一方、測定に対するニーズの高さや、検出のしやすさといった点から、トロリ線に対する測定の実用化が先行しており、その他の設備に対する測定は、今後の開発が待たれるのが現状である。

本稿では、電車線路設備の測定へ画像解析技術のさらなる応用を期待し、国内外の文献で技術動向を調査するとともに、先進的な一部の事例は実態調査を行ったので報告する。

2. 画像解析技術の文献調査

2.1 トロリ線位置測定

電車線路設備の検査や状態監視への画像解析技術の適用については、トロリ線の位置測定に関する検討事例が一番多い。文献1) はパンタグラフを撮影する1台のカメラの映像から舟体とトロリ線を抽出し、トロリ線偏位(左右方向の位置)の測定を試みたものである。ここでは斜め下方から照明を当てることで、ちょう架線など他の線条には舟体の影が生じることを利用して、トロリ線のみを選択的に抽出している。ただし照明の影を利用するため、昼間の測定は行えない。

文献2) の架線相互離隔測定装置は、線路と直角方向に帯状のレーザー光を投光し、レーザー光の当たった部分をカメラで撮影して位置を求める、光切断法を用いたものである。これにより、オーバーラップ箇所とわたり線において、トロリ線と引留がいしの位置を測定している。

文献3) は2台のカメラで左右の異なる方向から架線を撮影し、三角測量の原理で対象物の三次元位置を測定するステレオ計測の手法を取り入れたものである。ただし、トロリ線などの測定対象物の自動抽出については触れられておらず、架線の画像データの取得に開発の主眼が置かれていたようである。

文献4)、5) は九州新幹線で実用化された架線検測装置について紹介されたものである。本装置の特徴は、新幹線電車の屋根上にカメラと照明を搭載し、営業運転中に映像の収録が行えることである。カメラはパンタグラフの斜め下方から左右2台で撮影し、図1⁵⁾のような画

* 電力技術研究部 (集電管理)

** 電力技術研究部

像が得られる。得られた画像からは、まずパターンマッチングにより舟体を抽出する(図1の点線)。また、舟体と交差する直線(図1の実線)を複数検出する。そして、両方の画像で舟体上の同一点(図1の●)で交差する直線をトリ線と決定し、三角測量法により●点の高さ方向の位置をパンタグラフ高さ、左右方向の位置をトリ線偏位として計測する。また文献4)では、このほかに図1の画像を用いて支障物検出と、パンタグラフ変形の検出も行っていることが紹介されている。さらに、ラインカメラで舟体を高さ方向に高解像度で撮影することにより、舟体の高さを求め、その2階微分から舟体の上下方向加速度(検測項目としては「硬点」と呼ばれる)の測定も行っている。

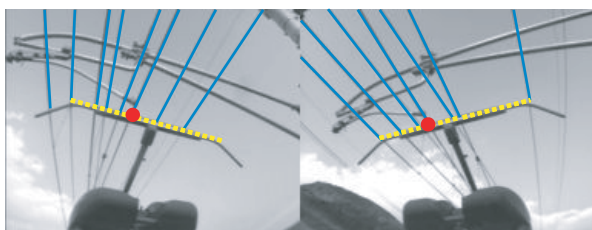


図1 カメラ画像から抽出した舟体とトリ線⁵⁾

2.2 トリ線摩擦測定

これまでの新幹線電気軌道総合試験車や電気検測車では、文献2)に併せて紹介されているようなトリ線摩擦測定装置を用い、トリ線のしゅう動面にレーザ光を走査して反射光からしゅう動面幅を求め、トリ線の摩擦測定を行う方法が主流であった。これに対し文献6)では線路と直角方向に受光素子を並べたラインカメラでトリ線しゅう動面を撮影し、画像処理によりしゅう動面幅を求める方法が紹介されている。これにより検測装置が従来よりコンパクトになり、営業用車両への搭載も可能であることが特徴としてうたわれている。

さらに、文献7)では従来は測定が難しかった剛体電車線でも測定が行えることや、文献8)では昼間に背景が写り込んでも測定が行えることが報告されており、検測装置として機能が拡張されつつあることがうかがえる。なお図2は文献8)に示されているトンネル出入口付近のトリ線しゅう動面の画像で、トンネル内、明かり区間ともはっきりとしゅう動面を認識できる画像が得られていることがわかる。

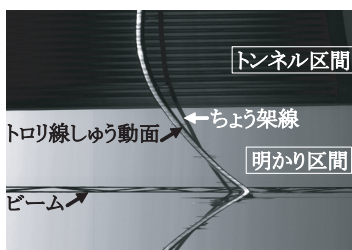


図2 トンネル出入口付近のトリ線しゅう動面画像⁸⁾

2.3 架線金具の測定

曲線引金具の角度を画像処理により求める方法は、初期の段階から検討されている。文献9)は前後方向からパンタグラフを撮影するカメラで、支持点通過時に支持点の画像を撮影し、画像処理により曲線引金具の角度を求めるものである。

文献10)は光切断法の考え方を用いたもので、照射したレーザ光が曲線引金具に当たった点を画像解析により求め、曲線引金具の角度を求めている。この際、曲線引金具に当たるレーザ光は3本のみとして、画像解析の高速化を図っているのが特徴である。

2.4 架線・パンタグラフ間の接触力測定

架線とパンタグラフの間に働く接触力の測定は、従来はひずみゲージで求めたばねの変位から枠組と舟体の間に働く力を、そして舟体に取り付けた加速度計から舟体の慣性力を、それぞれ算出することで行われていた。文献11)ではこれらの変位や加速度の測定を画像解析に置き換える手法が紹介されている。撮影はラインカメラで上下方向の動きを検出するが、測定点ごとに1台のラインカメラが必要なため、一見すると従来と比較してハードウェアが大幅に簡素化されているような印象は薄い。しかし、パンタグラフの加圧部にセンサを取り付ける必要が無いため、取り付けたセンサやケーブルがパンタグラフの特性に影響を与える可能性が排除できると、加圧部から測定データを伝送または蓄積する装置が不要であることが大きな利点である。

2.5 海外の事例

2.5.1 SNCFのIRIS320向けシステム

SNCF(フランス国鉄)では、320km/h走行が可能な検測車IRIS320向けに、画像解析により電車線金具の異常を検出するシステムを開発していることが文献12)、13)で紹介されている。これによると、車両の屋根上に搭載したラインカメラで架線を斜め下方から撮影し、図3¹²⁾のような架線の連続画像を得る。この画像を水平方向に走査して明度の分布を表したのが図4(a)¹²⁾であり、金具の位置が認識できる。さらに、鉛直方向に走査した明度の分布が図4(b)¹²⁾であるが、明度の2つのピークがちよう架線とトリ線を表し、その間の明度の波形が金具の種別を特徴付けている。

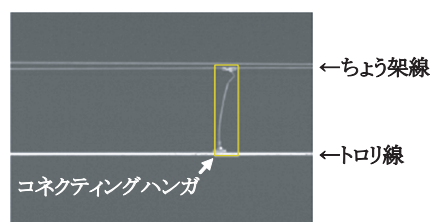


図3 架線の連続画像(一部)¹²⁾

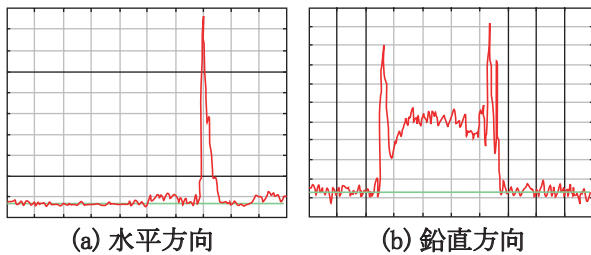


図4 走査した明度の分布¹²⁾

試験の結果、トロリ線:96%, ちょう架線:72%, 支持点:92%, コネクティングハンガ:60%, 通常のハンガ:97%という認識結果が得られたことが文献13)に報告されている。なお、照明は赤外線レーザとのことである。

2.5.2 シーメンスの検測車向けシステム

シーメンス(ドイツ)が出版した文献14)では、画像解析による架線検測システムを搭載した検測車(図5)が紹介されている。この検測車は気動車であり、パンタグラフを下げた状態で走行しながらトロリ線の静高さ、偏位を測定可能である。また、パンタグラフを上げて走行すれば動的高さの測定も可能であり、両者の差を取ればトロリ線押し上がり量を連続的に把握することができる。

また、この検測車では電車線金具の位置ずれや形状変化を画像解析により検出している。一例を図6¹⁴⁾に示す。可動ブラケットのパイプに沿った緑のフレームが初期状態と形状が一致している箇所、赤のフレームが一致していない箇所を示している。



図5 検測車両と検測装置¹⁴⁾

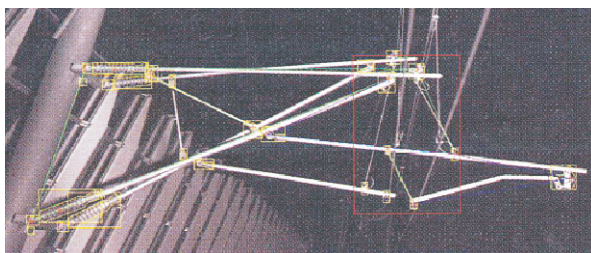


図6 可動ブラケットの形状変化の検出例¹⁴⁾

3. 画像解析技術を応用した検測装置の実態調査

画像解析技術を適用した電車線検測装置については、新幹線の営業用車両^{4), 5)}, 在来線の営業用車両¹⁵⁾, 在来線の事業用車両¹⁶⁾, 保守用車¹⁷⁾, 軌陸車¹⁸⁾と各種の車両に搭載しての実用化事例が報告されている。

この中で、国内では初期の実用化事例であり、旅客が

乗車する営業列車で検測を実施している唯一の事例である新幹線に搭載したタイプ^{4), 5)}と、軌陸車に搭載することで高い機動性を持たせつつ導入コストを低減したタイプ¹⁸⁾について実態調査を行ったので報告する。

3.1 新幹線の架線検測装置

九州新幹線は2004年の新八代～鹿児島中央間の部分開業にあたり、他新幹線のような電気軌道総合試験車の導入は行わず、営業列車による検測を実施することとした^{4), 5)}。営業用車両に検測装置を搭載するにあたり、装置の大幅な小型化が必要になったため、電車線の検測装置には全面的に画像解析によるシステムが導入された。

図7は屋根上カメラの設置状況、図8は舟体にラインカメラ撮影用マーカーを刷毛で塗布している状況である。摩耗粉で汚れるため、カメラ・照明の窓ふきと舟体へのペンキ塗布は検測走行前に毎回実施される。データ収録用PCは車内配電盤スペースに他系統の検測装置と共に収められており、検測走行中はそこに電力社員1名が添乗する。図9は地上処理PCで、一式がテーブル一つに収まる大きさである。

測定は夜間に限られるため、当該編成が夜間運用に入る日を狙って検測計画を立てること、データ移動用テープカートリッジへのデータ転送に実収録時間の2倍の時間がかかるため、それを翌日中の営業走行中に添乗して行っていること、そして新八代～鹿児島中央間1往復分のデータ処理に約2日かかることなど、初期のシステムでもあり使い勝手の面で苦労はあるが、大きなトラブルも無く順調に運用しているとのことであった。

本調査後、トロリ線摩耗測定機能を付加した新システムに更新されたことが文献19)で報告されている。2011年3月の九州新幹線全線開業後は、博多～鹿児島中央間の全線で新システムを用いた検測走行が行われるとのことである。

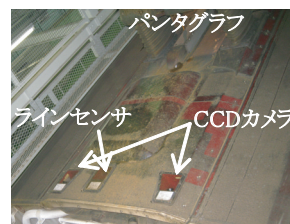


図7 屋根上カメラ



図8 舟体へのマーカー塗布



図9 地上処理PC

3.2 軌陸車搭載の架線検測システム

文献18)では、画像解析を用いた架線検測システムを軌陸車に搭載したものが報告されている。

図10は検測車の外観であり、室内にデータ収録用機器、屋根上に図11のようなカメラ・照明と検測用パンタグラフが搭載されている。このシステム構成は、前節の新幹線搭載のものとはほぼ同一である。

本システムは複数の鉄道事業者で共同利用されているが、検測車と画像解析用PCを保守会社が所有し、解析後のデータが各事業者へ引き渡されるようなスキームが構築されている。

この検測車は標準軌と狭軌の2軌間に対応しており、軌陸車の高い機動性を存分に生かしていることがうかがえた。一方で軌陸車特有の課題として、レール走行時に車輪が空転しやすく、走行距離の検出が正常に行えない場合があるため、今後、位置の補正機能を強化していきたいとのことであった。



図10 検測車の外観



図11 屋根上の搭載機器

4. おわりに

画像解析技術を適用した電車線検測装置について、トロリ線の位置測定・摩耗測定を中心に実用化が進みつつある現状を報告した。特に、営業列車での検測や、軌陸車への搭載など、新しい応用が広がりつつある点が注目された。

今後は非接触測定の特長を生かし、トロリ線以外の線条や金具、支持物等への適用拡大が期待される。また、コンピュータ、カメラ、照明などの高性能化と相まって、一層の測定精度や使い勝手の向上が期待される。

文 献

- 1) 吉田洋, 道下文雄: 画像処理を利用した電車線の偏位測定法について, 近鉄技報, Vol.24, pp.77-81, 1993
- 2) 佐藤裕樹, 塚原元義, 佐藤宗雄, 金谷元就: 新幹線電気軌道総合検測車電力測定装置の開発, 平成14年電気学会産業応用部門大会, No.272, pp.1407-1410, 2002
- 3) 近間大志, 芦田望, 武内一男, 石井順, 阿部一美: 3次元画像解析による電車線設備測定システムの開発, J-RAIL2002, S2-5-3, pp.29-32, 2002
- 4) 木下信夫, 庭川誠, 恩田寿和: 九州新幹線高速架線検測装置

の開発, 第41回鉄道におけるサイバネティクス利用国内シンポジウム, No.607, 2004

- 5) 庭川誠, 恩田寿和, 木下信夫: ステレオ解析手法を用いた九州新幹線のパンタグラフと架線の状態計測, 電気学会論文誌D, Vol.127, No.2, pp.118-123, 2007
- 6) 渡部勇介, 庭川誠, 田林精二, 渡邊秀夫, 佐藤文雄, 菅井直樹: 画像処理を用いたトロリ線摩耗検測装置, 平成18年電気学会産業応用部門大会, No.3-15, pp.III-191-III-192, 2006
- 7) 渡部勇介, 庭川誠, 松田耕治, 吉川励: 剛体ちょう架式電車線区間におけるトロリ線摩耗量の計測, 平成19年電気学会全国大会, 第5分冊, No.5-192, pp.295-296, 2007
- 8) 和泉栄一, 飯田信彦, 田林精二, 渡部勇介: 画像処理による昼間架線計測技術開発の取組み, 鉄道と電気技術, Vol.21, No.2, pp.37-42, 2010
- 9) 長沢広樹, 市川松太郎, 仲摩文雄, 楠山英男: 曲線引金具取付角度検出用画像処理装置の試作, 鉄道技術研究所速報, No.A-83-86, 1983
- 10) 今井章雄, 吉沢孝夫, 日野良幸, 佐藤宗雄: トロリ線支持金具取付角度測定装置, 公開特許公報, 特開2000-343986, 2000
- 11) 堀貴雅, 庭川誠, 渡部勇介, 小山達弥, 白田隆之, 池田充: 画像処理を用いた架線・パンタグラフ間の接触力測定手法, 平成20年電気学会産業応用部門大会, No.3-15, pp.III-175-III-178, 2008
- 12) Pascal CHARPENTIER, Vincent DELCOURT, Philippe DEMANCHE: De nouveaux outils pour la surveillance caténaire à grande vitesse, Revue Générale des Chemins de Fer, avril 2006, pp.23-33, 2006.
- 13) Guillaume FOUILLET, Frederic COUDERT, Vincent DELCOURT: IRIS 320 is a global concept inspection vehicle merging engineering and R&D tools for infrastructure maintenance, WCRR 2008, No.I.3.1.3.1, 2008.
- 14) Friedrich Kiessling, Roland Piff, Axel Schmieder, Egid Schneider: Contact Lines for Electric Railways (2 Rev.), Wiley-VCH, 2009.
- 15) 白滝彰男, 向井洋: 営業車両搭載式電車線検測装置の導入—山陽電鉄の電車線管理効率化への取組み—, 鉄道と電気技術, Vol.22, No.2, pp.28-34, 2011
- 16) 西日本鉄道(株)納入架線検測装置 CATENARY EYE, 明電時報, Vol.326, p.18, 2010
- 17) 首都圏新都市鉄道(株)納入架線検測装置 CATENARY EYE, 明電時報, Vol.318, p.8, 2008
- 18) 白川裕美, 谷口正人: 架線検測システムの更新と複数事業者での共同利用, 鉄道と電気技術, Vol.19, No.12, pp.35-39, 2008
- 19) 相良忠昭, 井形亮, 渡部勇介, 田林精二: 九州新幹線高速架線検測車装置の開発, 鉄道と電気技術, Vol.22, No.1, pp.35-39, 2011