

画像解析技術を適用した架線検測技術の動向

電力技術研究部 集電管理研究室
主任研究員 根津 一嘉

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、日本国内では 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メリットは、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、対象物に非接触で測定を行えるため、加圧された設備の測定が容易になるほか、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。

本発表では、電車線路設備の測定へ画像解析技術の更なる応用を期待し、国内外の技術動向をまとめたので報告する。

2. 光切断法による電車線位置測定

光切断法とは、測定対象物にスリット光を照射することにより、あたかも対象物を輪切りにしたようにして形状を認識し、そのスリット光を走査していく三次元形状測定手法である。電車線検測においては図 1 に示すように、検測車から電車線へ線路と直角方向のスリット光を照射し、その反射光を撮影して画像解析を行うことで、電車線の位置(高さ、偏位)を求めている。

架線相互離隔測定装置⁽¹⁾は、わたり線装置におけるトロリ線高低差と、オーバラップにおけるトロリ線の高さ・偏位、引留がいしの高さを測定するものである。撮影した映像は、トロリ線がだ円状、がいしが三日月状に写るため、画像解析手法の 1 つであるパターンマッチングにより目的の輝点を抽出し、その座標からトロリ線とがいしの位置を求めている。

この架線相互離隔測定装置は 2001 年に JR 東日本の新幹線電気・軌道総合検測車に導入され、

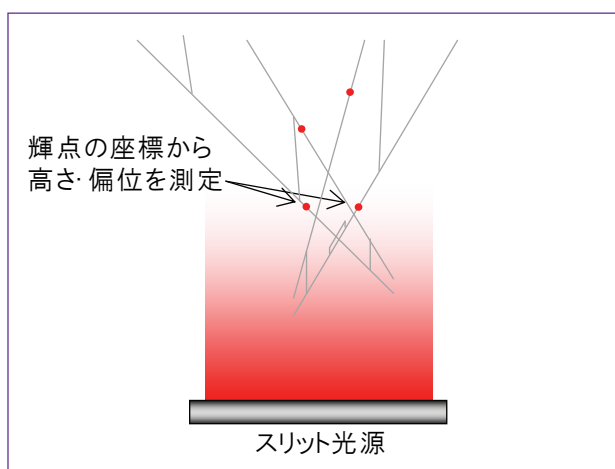


図1 光切断法によるトロリ線位置測定の実理

その後、同社の在来線用検測車にも導入されている。また、わたり線装置におけるトロリ線高低差の測定に特化して、投光部および撮影部を簡素化した、交差部高低差測定装置が一部民鉄の電気検測車に搭載されている。さらに、光切断法を応用して剛体電車線⁽²⁾あるいは第三軌条⁽³⁾の位置および断面形状を測定する検測装置が帝都高速度交通営団により開発されている。

3. 画像による架線検測装置

前章の架線相互離隔測定装置や交差部高低差測定装置、あるいは従来のトロリ線摩耗測定装置は光源にレーザを使用しているため、装置がやや大がかりになり、専用の電気検測車以外への搭載が困難であった。

JR 九州では 2004 年の九州新幹線 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。この検測装置を搭載したのが 800 系 U1 編成であるが、旅客設備を支障しないよう検測装置の大幅な小型化が必要になったため、画像による架線検測装置を採用した⁽⁴⁾。システム構成の概要は、屋根上のパンタグラフ近傍にカメラと照明を搭載し、車内は機器室内に制御・収録用の PC を設置している。データ収録は営業運転中に行うが、画像解析は事務所の PC にデータを移して行う。したがって検測中にリアルタイムに検測結果を把握することはできない。本システムは 2011 年に更新され、トロリ線摩耗測定機能や、無人検測を可能にする遠隔操作機能を追加して、現在は 800 系 U8 編成に搭載されている⁽⁵⁾。更新後の検測装置を図 2 に示す。

トロリ線の高さおよび偏位について、800 系 U1 編成ではパンタグラフ舟体とトロリ線が接触する点の座標を、左右 2 台のカメラの画像から三角測量の原理で求める、ステレオ解析手法が用いられていた。また、舟体は別にラインカメラで撮影し、詳細な高さを求めたうえで、この高さを 2 階微分することで舟体の上下方向の加速度、すなわち硬点を求めている。一方、800 系 U8 編成ではトロリ線摩耗測定用のラインカメラが追加されたため、偏位測定は摩耗測定と同時にラインカメラで行い、高さ測定についてはもともと硬点測定用に求めていた高さデータをそのまま使用している。これにより、高分解能化と解析の高速化が図られている。

トロリ線の摩耗測定は、ラインカメラによりトロリ線しゅう動面をスキャンし、画像解析によりしゅう動面幅を求めることにより行われている。当初は背景に写り込むノイズの除去が容易な夜間しか測定できなかったが、2011 年に導入された東京急行電鉄の総合検測車では、昼間の測定



図2 800系U8編成に搭載の架線検測装置

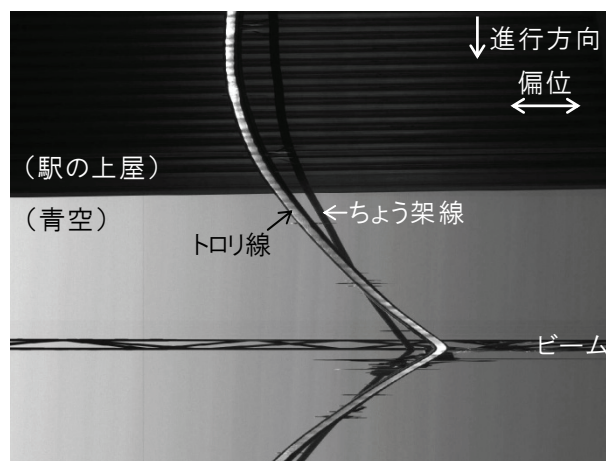


図3 トロリ線しゅう動面画像⁽⁶⁾

も可能になったことが報告されている⁽⁶⁾。開発中に撮影されたトロリ線しゅう動面の画像を図 3 に示す。

画像による架線検測装置は他にも、在来線の営業用車両，事業用車両，保守用車，軌陸車など，それぞれの鉄道事業者の事情に応じて導入範囲を広げている点が特徴である。

4. 海外の事例

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⁽⁷⁾。これは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、架線の連続画像を得たうえで、この画像を水平方向に走査して明度(白黒レベル)の分布を求めることで、金具の位置を認識している。また、鉛直方向に走査して明度の分布を求めることで、金具の種別が特徴付けられるとのことである。

シーメンス(ドイツ)は、画像解析による架線検測システムを搭載した検測車を紹介している⁽⁸⁾。この検測車は気動車であり、パンタグラフを上げずに走行しながらトロリ線の静的な高さ、偏位を測定可能である。また、検測用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、電車線金具の撮影画像を初期状態(正常状態)と比較することで、位置ずれや形状変化を画像解析により検出していることが報告されている。

5. 開発技術 ー架線・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、従来は舟体またはすり板を支えるばねや支持部材の変形をひずみゲージにより求め、支える力の大きさに換算するとともに、加速度計から慣性力を算出することで行っている。これに対し、舟体およびすり板の変位量を画像解析により求めることで、これらの力(ひずみ)および加速度の測定を置き換える手法を開発している。

試験の様子を図 4 に示す。変位量を測定したい部材にマーカーを貼り付け、そのマーカーをラインカメラで撮影し、得られた画像を解析して変位量を求めている。測定結果の例を図 5 に示す。ラインカメラで一度に撮影される画像は 1 ラインの画像であり、これを時間順に横に並べることで得られたのが図 5 の画像である。この画像は、縦軸はマーカーの位置を表すが、横軸は時間の経過を表している。マーカーはばねの上下に位置する部材にそれぞれ貼られており、両マーカー

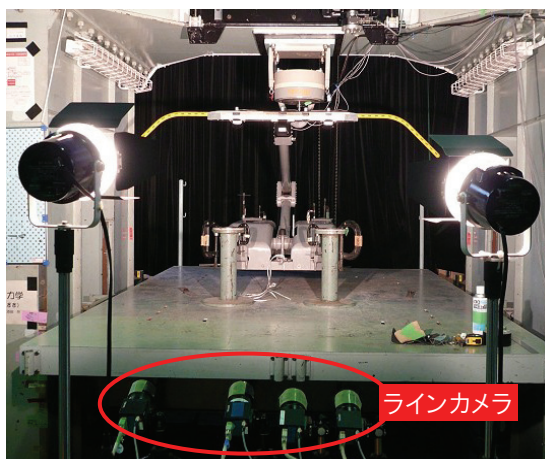


図4 画像による接触力測定の試験状況

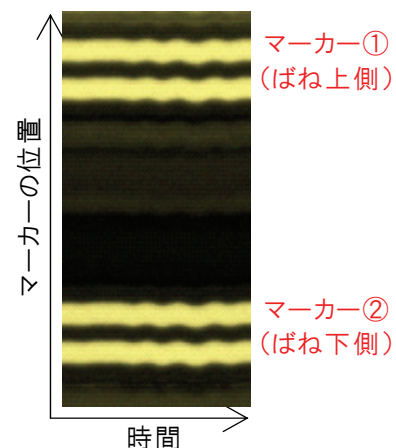


図5 マーカーの撮影結果

の変位の差を求めれば、ばねの伸縮、すなわちばねに加わる力の大きさがわかる。また、変位の2階微分からマーカーの上下加速度が求められ、等価質量を乗算することで慣性力が求められる。

画像解析による接触力測定の特長は、加圧部へのセンサの取り付けが不要なことである。これにより加圧部から非加圧部へのデータ伝送装置を搭載や、その電源となる電池を搭載することが不要となる。また、取り付けしたセンサや配線が、パンタグラフの空力特性や機械的追従特性に影響を及ぼすこともなくなる。ただし、マーカーの汚損、あるいは剥離に対する保守は必要である。

6. まとめと今後の展望

画像解析による架線検測の技術動向について調査した結果、次の点が明らかになった。

- (1) トロリ線の位置測定を中心に、国内外で実用化が進められている。
- (2) 営業用車両から軌陸車まで、導入事業者の事情に応じた柔軟な搭載環境と、従来の電気検測車と比較してコストダウンを達成している。
- (3) 画像解析に時間を要するため、リアルタイムに検測結果を得ることは難しい。
- (4) ハードウェアの大がかりな保守は不要であるが、マーカーの保守や窓ふきといった、日常の保守は必要である。

わたり線高低差の測定など、画像解析技術を用いることで新たに測定できるようになったものも有るが、現状で実現されているのは、従来の検測項目を画像解析に置き換えたものが大半である。今後の開発項目として、従来の検測装置では不可能であったトロリ線以外の設備に対する検測手法や、検測データを用いた設備診断システムの設計が挙げられる。また、結果出力がリアルタイム性に欠けることや、降雨時、逆光時など気象条件に測定精度が左右されることは、運用面での工夫が必要になるものと考えられる。

文献

- (1) 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
- (2) 渡辺政男, 丹精二, 武井正二郎: 営団地下鉄の新架線検測装置開発, 第40回鉄道サイバネ・シンポジウム, No.613, 2003
- (3) 横山二三夫, 中荒井一夫, 大越弘康, 服部幸治, 松井研治: サードレール検測装置の開発導入について, 第36回鉄道サイバネ・シンポジウム, No.607, pp.295-298, 1999
- (4) 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
- (5) 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
- (6) 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
- (7) 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 (フランス語)
- (8) Friedrich Kiessling, Roland Piff, Axel Schmieder, Egid Schneider: Contact Lines for Electric Railways (2 Rev.), Wiley-VCH, 2009 (英語)