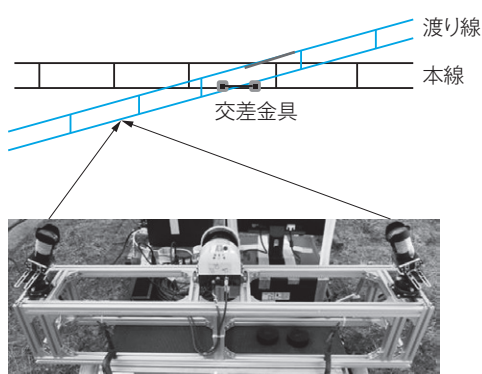


架線検測装置 カテナリー アイ CATENARY EYE の新規機能開発

田林精二 Seiji Tabayashi
川畑匠朗 Takuro Kawabata
深井寛修 Hironobu Fukai

キーワード 電気鉄道、架線検測装置、画像処理、線条計測、渡り線離隔、測定位置自動補正、自己位置推定手法

概要



渡り線線条計測概要図

架線検測装置 カテナリー アイ CATENARY EYEは、1号機の開発から継続して機能増強を実施してきた。その背景には、電車線設備が多様な設備から構成されていることと、お客様の新たな設備が開発導入されてきており、それに適応した検測装置が求められてきたことがある。当社では、最新の機能として「線条計測による本線と渡り線の離隔計測」と「自己位置推定手法による測定位置の自動補正」を開発した。前者は、電車線線条計測手法を使った本線と渡り線間の偏位及び高さの離隔やパンタグラフとの接触位置をカメラで正確に計測する機能であり、いずれも従来の接触形の計測から非接触形として開発したものである。後者は、これまでの架線検測では、測定位置の補正を手動で行ってきた作業を自動で補正するもので、測定位置補正作業を大幅に合理化する機能である。

1 まえがき

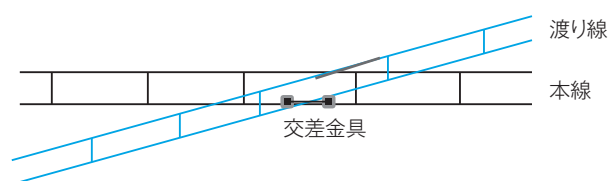
架線検測装置1号機を九州旅客鉄道(株)に納入後、多くの鉄道事業者に継続して納めながら、架線の摩耗計測や接触力計測、離線計測など多くの機能を増強し現在に至っている。また使用する機材の高寿命化、精度向上を目指したハードウェアの更新や既開発計測機能の精度向上といった装置全体の品質向上も並行して実施してきた。

本稿では、これまでに測定していなかった「渡り線箇所を線条計測する機能」と「自己位置推定手法による測定位置の自動補正機能」を開発したので紹介する。いずれの機能も昨年度の実証試験を踏まえて次期架線検測装置 カテナリー アイ CATENARY EYE に実装する予定である。

2 線条計測による本線・渡り線相互の離隔計測

2.1 目的

本機能は、電車線設備の中で架線構成が複雑な渡り線（第1図）の線条計測を行い、本線と渡り線の相互離隔を計測して列車通行時のパンタグラフとの接触時の安全度を図る。



第1図 渡り線箇所略図

トロッコ線の渡り線交差箇所は、パンタグラフの離線の可能性が高くなるため、交差金具を用いて渡り線側の高さを低くして離線する距離を短くしている。本線側のトロッコ線は、交差箇所では下側に設置する。

2.2 測定方式

(1) 非接触計測 LSカメラ2台を使用し、非接触計測で本線と渡り線の高さ・偏位を同時に計測する。

(2) 測定原理 新幹線営業速度での計測が可能であることと高精度での計測を目的として2台のLSカメラによる三角測量方式を適用した。また、本線の偏位を計測するLSカメラを同時に使用し、同じ位置で計測している。これにより、本線から900mm位置での渡り線高さの離隔計測を正確に行うことができる。第2図に線条計測実験装置を示す。

パンタグラフとの接触位置の計測は、パンタグラフの高さの軌跡と渡り線がパンタグラフに向かい進入してくる際の高さと偏位の軌跡から最初の接触位置を求める。本機能については、明電時報333号で掲載しているのご参照いただき、ここでは第3図の概要紹介のみとする。

(3) 営業速度での計測 在来線から新幹線の営業速度での計測を可能とする。

(4) 基本測定項目

- (a) 渡り線の高さ・偏位
- (b) パンタグラフすりあげ箇所的位置

(5) 目標精度

渡り線 高さ・偏位 3mm以内

精度は、適用車両の設置条件、架線高さの変動幅などに応じて変動するため、上記目標に近づくようカメラレンズの選定・設置検討が必要である。

2.3 測定試験

渡り線線条計測試験は、第2図に示す線条計測実験装置で実施した。

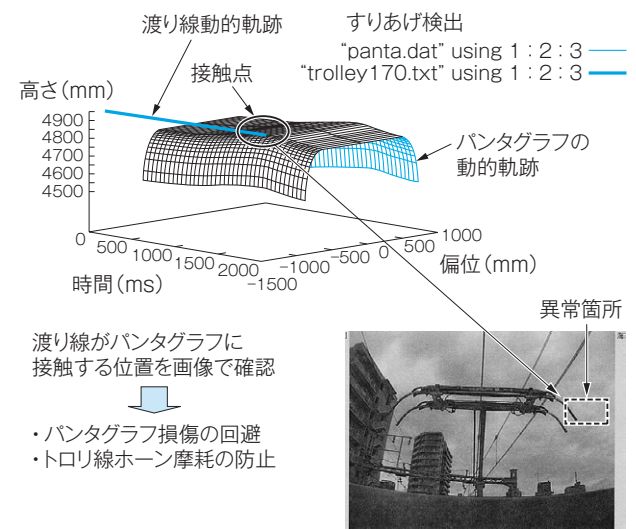
(1) 検証用の架線構造 本線と渡り線の高低差を30mm以内の架線と30mm以上の高低差をつけた架線を用意した。

(2) 検証方法 あらかじめ架設した本線と渡り線の測定箇所を定めて、手計測で高さ・偏位を真値として計測した。その後、装置を走行しながら計測し、その実測定との比較で測定誤差を検証した。なお、測定前にLSカメラ2台での三角測量の



第2図 線条計測実験装置

左右にLSカメラを配置して三角測量を行い、線条を計測する。センタの機材は、測域レーザ距離計測器で試験の補助として使用した。



第3図 線条計測 渡り線すりあげ検出

3次元画像処理による渡り線（トロリ線）とパンタグラフ間の接触位置を計算する方式を示す。

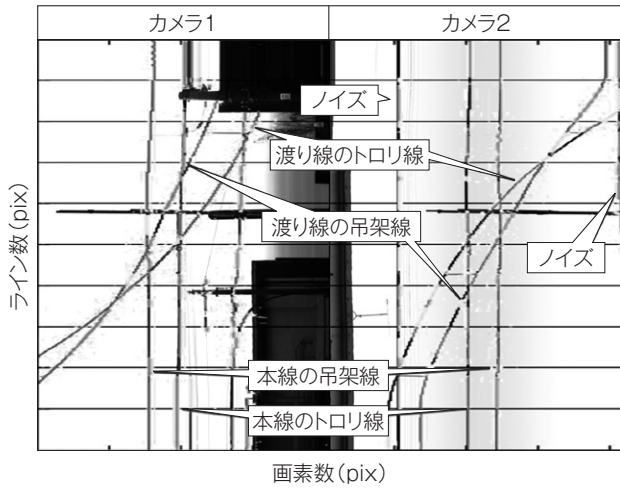
キャリブレーションを行い、基礎的な精度を確認し、以下の結果を得た。

- (a) 偏位の平均誤差：0.428mm
- (b) 高さの平均誤差：0.842mm
- (c) 距離の平均誤差：0.995mm

上記は、装置が停止した状態でキャリブレーション治具を使った結果で、本ステレオ計測の静的精度は1mm以下であった。

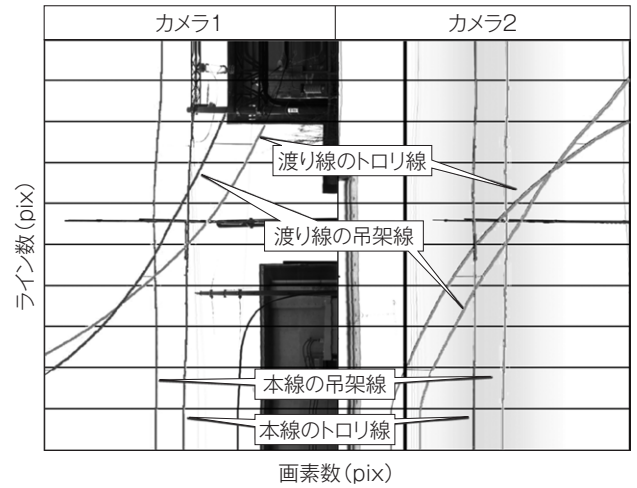
(3) 測定結果 第4図に線条計測の測定結果を示す。LSカメラ2台で計測した渡り線の線条画像で、左右の2台のLSカメラで捉えた本線と渡り線画像を示している。

第5図に線条計測の渡り線元画像を、第6図に線状計測の渡り線測定結果を示す。元画像から三角測量をして得た結果を基に、本線及び渡り線の中心位置を求めた線条を示している。この中心



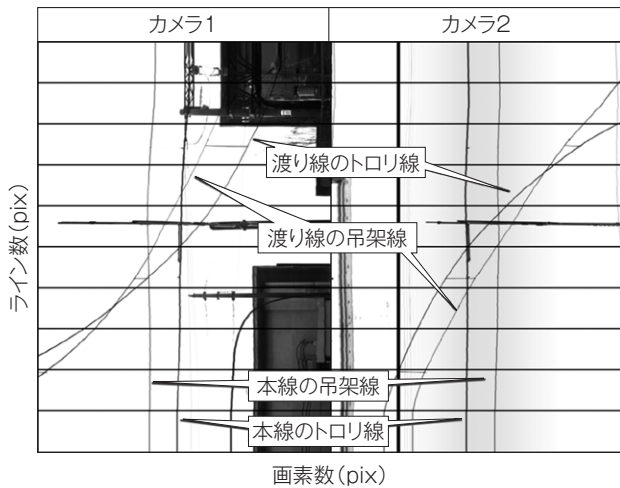
第4図 線条計測 測定結果

渡り線の線条計測した画像で本線・渡り線以外の他の設備も含まれている。これらの画像はノイズとして除去する。



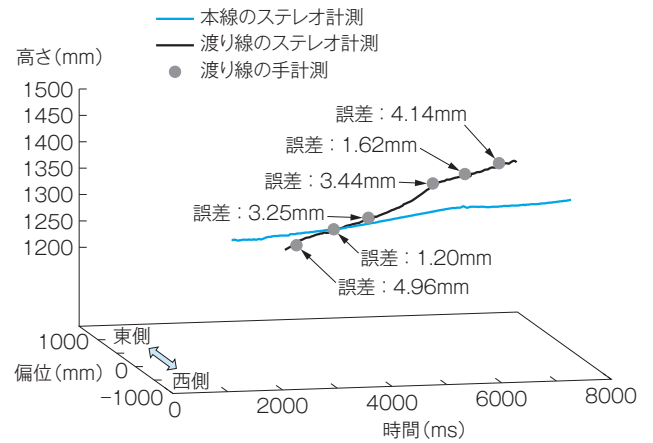
第6図 線条計測 渡り線測定結果

渡り線の線条計測した元画像から本線、渡り線の線分から中心座標を割り出した結果を示す。その座標から高さ・偏位を記録する。



第5図 線条計測 渡り線元画像

渡り線の線条計測した元画像で本線・渡り線以外の他の設備も含まれている。これらの画像は、ノイズとして除去する。



第7図 線条計測 渡り線測定結果

第5図で測定した結果を3次元でプロット表記した。6点の誤差値は手計測値との比較値を示す。

第1表 線条計測 渡り線測定結果

本線と渡り線の手計測値と実計測した差異を示す。6点の平均誤差は3.10mmであった。

| | | 西側 | | | 東側 | | |
|-----------------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | 偏位926mm | 偏位638mm | 偏位351mm | 偏位245mm | 偏位531mm | 偏位825mm |
| 高低差 (mm) (わたり線-本線) | 手計測 | 37 | 38 | 33 | 36 | 35 | 36 |
| | ステレオ計測 | 41.96 | 39.20 | 29.75 | 32.56 | 33.38 | 31.86 |
| 手計測と実計測との誤差 (mm) | | -4.96 | -1.20 | 3.25 | 3.44 | 1.62 | 4.14 |

平均誤差 : 3.10mm

位置の座標から本線とわたり線の高さ・偏位を求める。第7図は、その結果を3次元座標として表記したものである。誤差値がプロットされている

箇所は、あらかじめ手計測で計測した位置の測定結果を表している。第1表に手計測した値とステレオ計測した値の比較を示す。この結果、本

ケースでの平均誤差は3.10mmとなった。なお、本事例での試験は、高さ離隔を30mm以上に設定した異常な架設事例の検測結果で、偏位が大きい箇所の測定誤差が大きい傾向が見られる。

(4) まとめと今後の課題

(a) キャリブレーション結果 LS2台での静的精度としては、1mm以内の精度が得られることが判明した。ただし前項に記載したように、架線の高さ・偏位条件や車両の屋根上条件で使用するレンズが異なる場合があり、適用前の精度計算で静的精度を求めておく必要がある。

(b) 測定精度結果 偏位が大きい箇所での誤差は大きくでる傾向にあった。この解決策として、カメラレンズの特性を吸収する補正処理をキャリブレーション時に適用することで、平均化した誤差範囲に入ることが分かっている。また、本線と渡り線の交差金具のある箇所では、本線に金具が重なり、架線が太く見える現象があり、その結果誤差が大きくなる。この解決策としては、下側に設置されている本線の摺動面画像(摩耗)を利用して補完することで対処可能と考える。

また今回の測定速度は、車両動揺の影響がないように低速で計測した。営業車での計測は、高速化対応や車両動揺の補正処理が必要となる。高速化対応は、使用するLSカメラのサンプリング周波数を速度に応じて変動し、300km/hまでの計測が可能である。また車両動揺補正は既存技術として適用しており、LSカメラの画像と同期して補正することで、より正確に測定できる。

3 自己位置推定手法による測定位置の自動補正機能

3.1 目的

これまでの架線検測装置では、測定位置を車輪のエンコーダやATC信号のキロ程によって定めていたが、その誤差などで実際の位置とずれてしまうことが大きな課題であった。

その結果、測定ごとのデータを過去比較する際

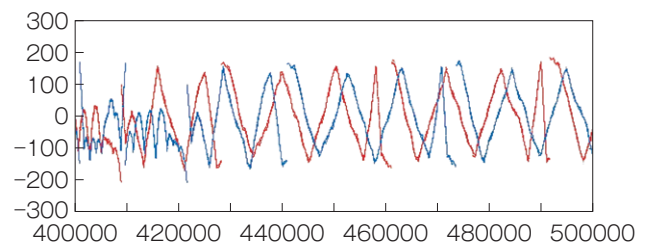
や径間ごとの統計処理をする際に、径間補正を手動で行う必要があり大きな手間がかかった。本機能は、径間補正を自動で行うための新しい手法「自己位置推定手法」を開発し径間補正の作業を大幅に低減することを目的とする。

3.2 自己位置推定手法の方式

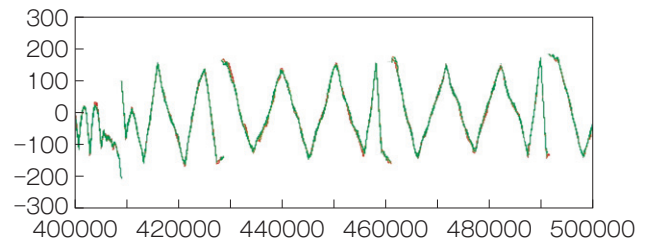
自己位置推定手法では、車両速度の変動によってデータの位置が伸縮することを考慮して、伸縮マッチング手法で校正する方式を採用している。測定ごとのデータのマッチングを行う事前準備として、基準となるデータを用意し、その後の測定結果をこの基準データとマッチングし、その結果から径間補正を自動で行う。

3.3 検証結果

本手法による検証は、架線検測で得た実データを使用して行った。第8図と第9図は、2回分の偏位解析結果を使い本手法による自動径間補正を行った結果である。上段の赤線と青線が2回の偏位チャートを示し、それに対して下段のチャートは、本手法を適用して自動補正をした結



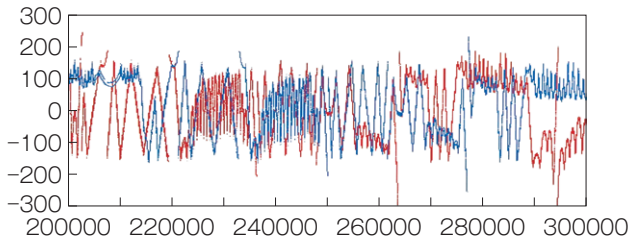
(a) 補正前の偏位チャート(赤：1回目 青：2回目)



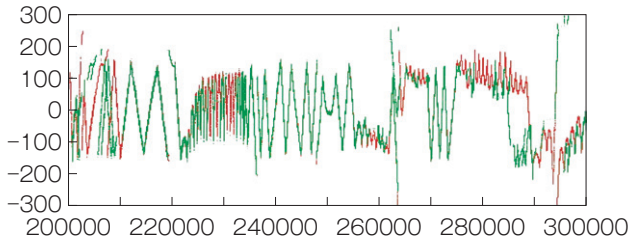
(b) 補正後の偏位チャート(赤：1回目 緑：2回目)

第8図 測定値自動補正 偏位事例1

上図のチャートは2回計測した偏位チャートで、双方の位置の差異がある。そのチャートを自動補正した結果が下図で、2回の計測位置がほぼ一致している。



(a) 補正前の偏位チャート(赤：1回目 青：2回目)

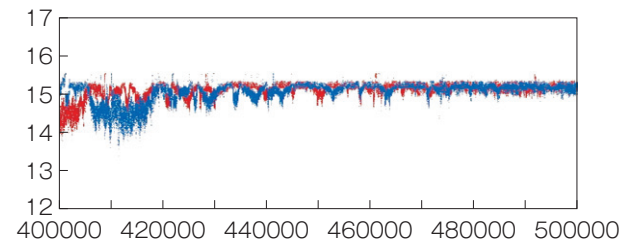


(b) 補正後の偏位チャート(赤：1回目 緑：2回目)

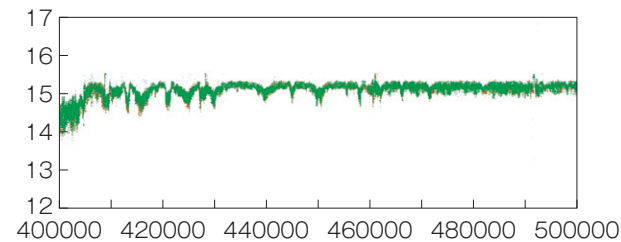
第9図 測定値自動補正 偏位事例2

上図のチャートは2回計測した偏位チャートで、双方の位置の差異がある。そのチャートを自動補正した結果が下図で、2回の計測位置はほぼ一致しているが、測定値の差異によって重なっていない箇所がある。

.....



(a) 補正前の摩耗チャート(赤：1回目 青：2回目)



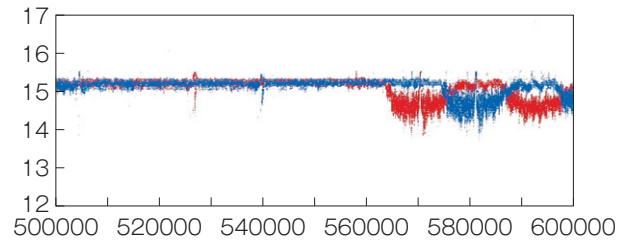
(b) 補正後の摩耗チャート(赤：1回目 緑：2回目)

第10図 測定値自動補正 摩耗事例1

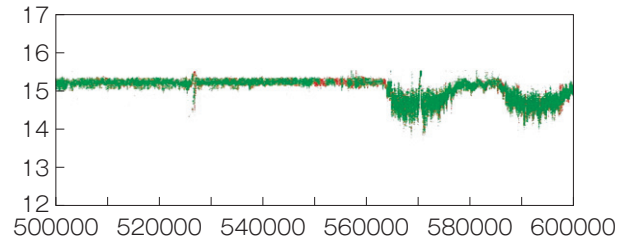
上図のチャートは2回計測した摩耗チャートで、双方の位置の差異がある。そのチャートを自動補正した結果が下図で、2回の計測位置がほぼ一致している。

果である。

また第10図と第11図に2回分の摩耗解析結果を示す。摩耗・偏位の測定は、車両速度に合わせてサンプリング周波数をダイナミックに変動しており、さらに測定ピッチが数cmと非常に短い幅



(a) 補正前の摩耗チャート(赤：1回目 青：2回目)



(b) 補正後の摩耗チャート(赤：1回目 緑：2回目)

第11図 測定値自動補正 摩耗事例2

上図のチャートは2回計測した摩耗チャートで、双方の位置の差異がある。そのチャートを自動補正した結果が下図で、2回の計測位置がほぼ一致している。

で計測しているため、測定位置は伸縮されている状態にあり、相互の位置を重ね合わせるのは非常に難しい。本結果から、双方の位置がほぼ一致しており、本手法での自動位置補正機能が有効であることを確認した。これによって、径間単位での統計処理や異常箇所までの電柱からの距離をより正確に出力することができる。

4 むすび

架線検測装置 CATENARY EYEの新規機能を紹介した。渡り線離隔の計測は、これまで自動で計測できないことから夜間に個別に手動で計測していたが、今回の方式によって他の計測項目と同時に計測できるようになり、夜間作業の低減に寄与できる。また自動位置補正機能については、測定レポートに出力される異常箇所の電柱からの位置や径間ごとの最小値・最大値・偏差といった管理的なデータの補正作業に要してきた多くの手間を低減できる。いずれも運用に携わる方に負担となっていた課題であり、この実用化によって大幅な負担低減が期待できる。できる限り多くの実

データをサンプルとして検証試験を重ね、より精度の高い機能として提供する所存である。

- ・本論文に記載されている会社名・製品名などは、それぞれの会社の商標又は登録商標である。

《執筆者紹介》



田林 精二
Seiji Tabayashi
電鉄システム事業部技術部
架線検測装置の製品計画・技術・開発に従事



川畑 匠朗
Takuro Kawabata
製品開発部
架線検測装置の製品開発に従事



深井 寛修
Hironobu Fukai
製品開発部
架線検測装置の製品開発に従事
