

画像処理による架線とパンタグラフ間の 接触力測定技術の開発

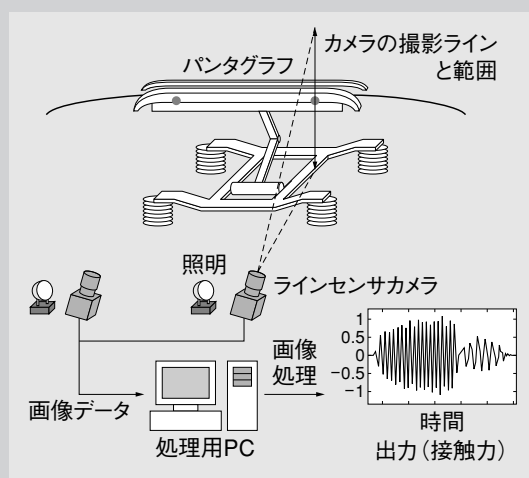
🔊 パンタグラフ、接触力測定、EN規格、画像処理、架線検測

* 藤澤貴雅 Takamasa Fujisawa * 庭川 誠 Makoto Niwakawa * 渡部勇介 Yusuke Watabe

概要

電気鉄道において、走行中のパンタグラフと架線との間に生じる接触力は一定であることが求められる。そのため接触力を測定・評価することは保守や運用管理の上で重要である。既に、海外では接触力測定が規格化されており、架線検測では必須項目となっている。こうしたニーズに応えるために、ラインセンサカメラによるパンタグラフの撮影画像から接触力を測定する新しい技術を(財)鉄道総合技術研究所と共同で開発した。

海外規格である接触力測定機能を、当社の総合架線検測装置 カテナリーアイ CATENARY EYE に追加した。従来の装置構成のまま実現できたことにより、小形という従来装置の特長が維持でき、作業車と営業車の両方に搭載可能である。



画像処理を用いた接触力測定

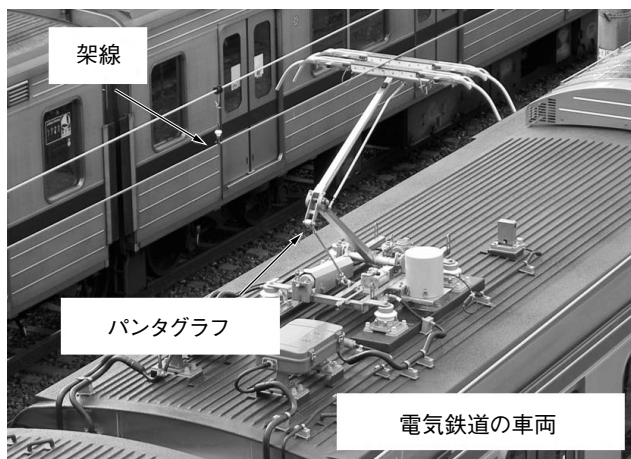
1. ま え が き

電気鉄道の車両の屋根上には、第1図で示すように集電装置であるパンタグラフが設置され、架線と接触している。これにより車両走行時でも、架線からパンタグラフを通して電気を供給している。走行中のパンタグラフは、架線と離れないように一定の力で架線を押上げており、この押し上げる力のことを接触力という。

接触力の変動は、車両の集電性能に悪影響を与える。集電性能への影響は以下の3点である。

- (1) 接触力が大きい箇所では、架線の摩耗の進行が通常よりも早くなる。
- (2) 接触力が小さい箇所では、架線とパンタグラフが離れ、アークと呼ばれる放電現象が発生する。このアーク発生時の熱によって架線が損傷する。
- (3) 架線とパンタグラフが離れてしまった場合、車

*基礎技術開発部



第1図 架線とパンタグラフの例
車両の屋根上にある集電装置パンタグラフと架線が摺動することで電気が供給され、走行している。

両に安定した電力供給ができなくなる。

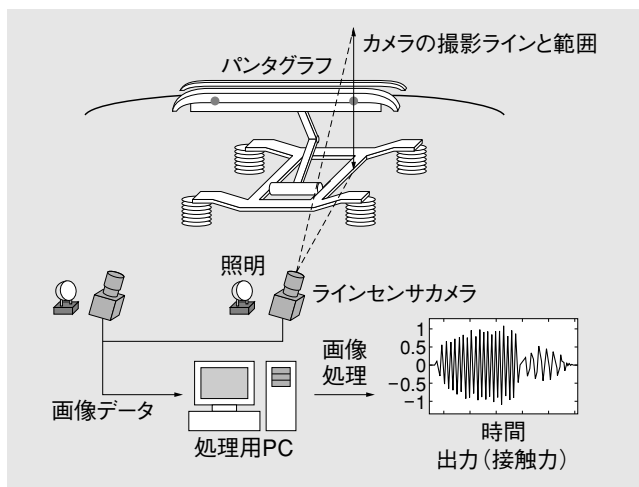
従って、接触力を測定・評価し、上記(1)~(3)の問題箇所を早期に発見して、継続的に保守するこ

とは、運用管理する上で重要である。既に、海外では接触力測定が規格化されており、架線検測では必須項目となっている。また、上記の理由により、国内においても接触力測定の重要性が認識されつつある。

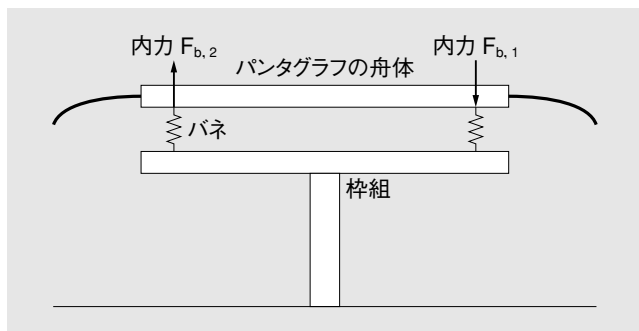
当社は、こうしたニーズに応えるために、新たにラインセンサカメラによるパンタグラフの撮影画像から接触力を測定する技術を(財)鉄道総合技術研究所と共同で開発した。本稿では、画像処理による接触力測定の概要と特長、性能評価実験の結果について紹介する。

2. 画像処理による接触力測定の概要

第2図に画像処理による接触力測定の概要を示す。まず、車両の屋根上に設置されているパンタグラフ周辺にラインセンサカメラを設置する。ラインセンサカメラの周辺には照明を設置し、夜間の場合や車両がトンネル内に入った場合でもパンタグラフを撮影できるようにしている。ラインセ



第2図 画像処理を用いた接触力測定の概要
ラインセンサカメラでパンタグラフを撮影し、その映像を画像処理することで接触力を求める。



第3図 パンタグラフの内力
パンタグラフの舟体を支持するバネの反力のことを内力と呼ぶ。

ンサカメラとは、受光素子が1列に並べられたカメラであり、高解像度の1次元画像を取得することができる。また、サンプリング周波数が高いという特長もあるので、高精度の測定が可能となる。このラインセンサカメラで走行中のパンタグラフを撮影し、画像をいったん車両内に設置してある処理用パーソナルコンピュータ(処理用PC)に保存する。

次に、処理用PCに保存された画像を処理して、接触力を計算する。接触力は式(1)によって計算することができる⁽¹⁾。

$$F_c = F_{ine} + F_{aero} + \sum_{j=1}^m F_{b,j} \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 F_c は接触力、 F_{ine} は慣性力、 F_{aero} は揚力、 $F_{b,j}$ ($j=1\dots m$) は内力を表す。内力とは、第3図で示すようにパンタグラフの舟体を支持するバネの反力のことである。また、 m はパンタグラフ内で内力が掛かった箇所の数であり、第3図では $m=2$ の例である。

接触力は式(1)より、慣性力・揚力・内力の3つの力を合計することで求めることができる。この3つの力の中で、内力と慣性力は当社の画像処理技術を用いて計算し、揚力に関しては実際の走行位置や速度などのデータを基にして、他の試験データを用いて推定する。

慣性力と内力を計算するためには、単位時刻ごとにパンタグラフの高さを正確に求める必要がある。そのために、走行開始前にラインセンサカメラの画像上のピクセル位置と実際の高さの関係式を求めておく(キャリブレーション)。次に画像処理技術を用いて、撮影した画像上のパンタグラフの位置を正確に検出する。ピクセル位置が検出できれば、キャリブレーションにより求めた変換式を用いて高さに変換できる。これにより、パンタグラフの高さを正確に計測することが可能になるので、慣性力や内力を計算して、接触力を計測することができる。

3. 画像処理による接触力測定の特長

画像処理による接触力測定の特長を以下に紹介する。

3.1 画像処理による非接触測定

従来の接触力測定方法は、パンタグラフに加速度

センサなどの計測器を取り付けて測定していた²⁾。パンタグラフにセンサを取り付けてしまうとその部分に余計な揚力が発生する。そのため、他のセンサを設置していないパンタグラフの接触力よりも、測定結果に余計な揚力が加算されてしまうという問題がある。

これに対して、当社の画像処理技術を用いた接触力測定方法は、ラインセンサカメラで撮影した画像を処理しているため、パンタグラフに余計な揚力を発生させることなく接触力を測定することができるため、上記のような問題点がない。

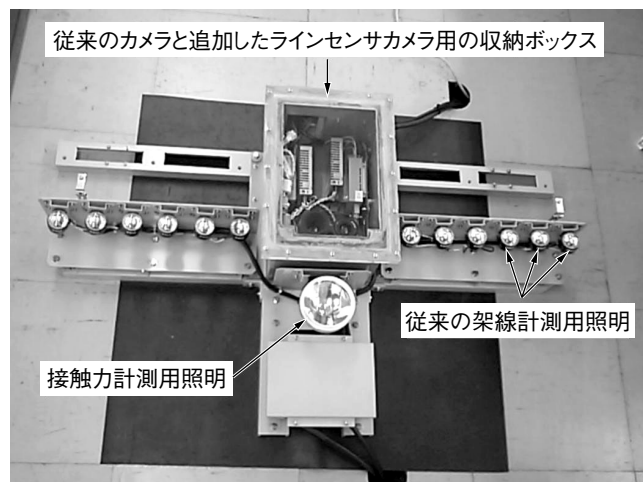
3.2 検測車・営業車へ搭載可能

一般に架線の保守・点検は、専用の検測車を使用している。検測車は営業車が走行していない夜間に走行し、検測を行っている。

第4図に当社の製品である総合架線検測装置 カタナリーアイ CATENARY EYEを示す。本製品はコンパクトであるため、車両への搭載が簡単にでき、従来の検測車だけでなく営業車にも搭載することができる。更に営業車に搭載すれば常時検測を行うこともできる。このように、営業車が利用できれば、高価な専用の検測車を購入する必要がなくなるという利点もある。

3.3 海外規格に対応

ヨーロッパの一般的な規格であるEuropean Norm規格（EN規格）など、海外の架線検測装置では接触力測定が必須項目になっている。今回の開発により、接触力測定の機能をCATENARY



第4図 CATENARY EYEの外観

当社製品のCATENARY EYEの外観。従来のカメラ、ラインセンサカメラと照明のみのコンパクトな構成のため、車両への搭載が簡単である。

EYEに追加することができたため、小形という従来装置の特長を生かしつつ、海外規格にも対応することができた。

3.4 営業速度への対応

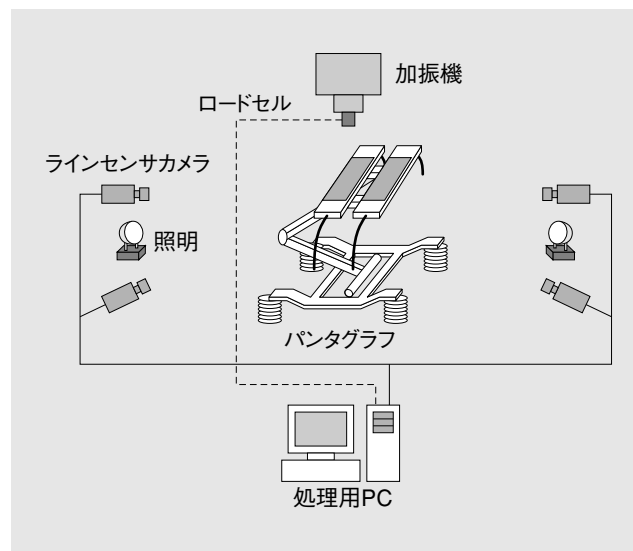
EN規格において、接触力の測定データを200Hz以上で取得する必要がある。画像処理によって200Hz以上のデータを取得するためには、サンプリング周波数を200Hz以上にして撮影する必要がある。

一般的なCCDカメラのサンプリング周波数は30Hzである。これに対して、CATENARY EYEに搭載されているラインセンサカメラのサンプリング周波数を1000Hzとした。CCDカメラは時間分解能が低いため、慣性力を測定するために必要な時間精度のデータを取得することができない。一方、ラインセンサカメラは時間分解能が高いため、微小な変化も高速に検出することができる。そのため、高速な営業速度でも計測することができる。

また、1000Hzというサンプリング周波数はあくまで本製品の標準設定値であり、ラインセンサカメラの性能限界まで高速化できるため、更なる要求仕様に対応することもできる。

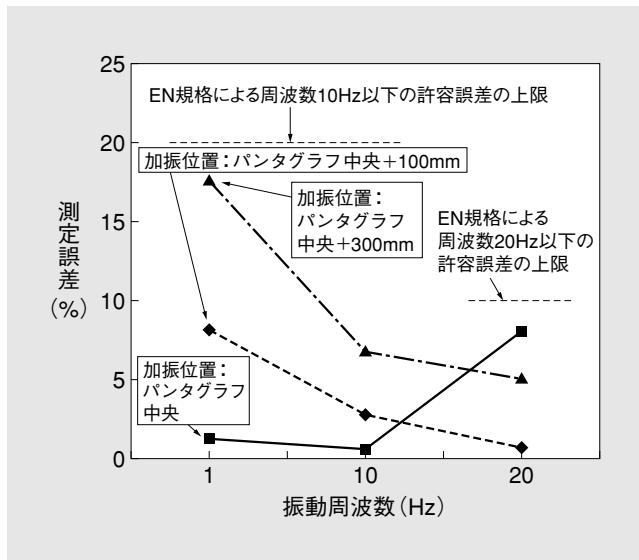
4. 性能評価実験

(財)鉄道総合技術研究所の施設を使用して、画像処理による接触力測定の性能評価実験を行った。第5図に実験に用いたシステムを示す。まず、加振機を使ってパンタグラフを上下に振動させた。



第5図 性能評価の実験システム

画像処理による接触力測定の性能評価の実験システム構成を示す。加振機に取り付けたロードセルを接触力の真値として、画像処理で求めた接触力との比較を行った。



第6図 性能評価実験の結果
周波数10Hz以下で誤差20%以内、周波数20Hz以下で誤差10%以内という海外規格であるEN規格の基準を満たしている。

振動周波数を1~20Hzに変化させ、加振位置もパンタグラフ中央と中央から100mm、300mmに変化させて、様々な条件について測定を行った。そして、ラインセンサカメラで振動しているパンタグラフを撮影し、この撮影画像から接触力を計算した。また、加振機先端にはロードセルを設置し、このロードセルの計測値を接触力の真値とみなし、画像処理の結果とロードセルのデータ（真値）を比較することによって性能評価を行った。

第6図に画像処理による接触力とロードセルから得た接触力を比較した結果を示す。図中の縦軸は真値と画像処理によって計算した接触力との測定誤差%である。測定誤差%は、画像処理の結果が真値と近くなると0%に近い値になる。

EN規格で定められている測定誤差は、振動周波数10Hz以下で20%以内、20Hz以下で10%以内である。第6図は横軸に振動周波数を取り、縦軸に測定誤差をとったものであり、加振点を変化させた3条件をグラフ化したものである。海外規格の制限値として、EN規格の振動周波数10Hz以下と20Hz以下の許容幅も点線で示している。この結果、画像処理による接触力測定は10Hzと20Hzの規格値を満足していることが確認できた。また、時間分解能を高めたことにより、低速での慣性力も精度良く計測できており、1Hzにおいても10Hzの規格値以内に納まっている。これにより、今回開発した

画像処理による接触力測定は、EN規格を満たすことを検証することができた。

5. む す び

今回、画像処理による架線とパンタグラフの接触力測定技術の開発を行った。そして、性能評価実験によって、開発した接触力測定技術が海外規格であるEN規格を満たすことを示した。今後は、実際に走行試験などを実施し、キャリブレーションの簡易化などを実施して製品化を行っていく予定である。そして、世界の鉄道へ当社のCATENARY EYEが搭載されることを期待し、開発する所存である。

最後に、本報告における性能評価実験は、(財)鉄道総合技術研究所のご協力によって行われたものであり、深く感謝の意を表する次第である。

《参考文献》

- (1) 池田：「架線・パンタグラフ間の接触力測定手法に関する研究（第1報、パンタグラフの慣性力評価方法の改善による接触力測定可能周波数範囲の拡大）」、日本機械学会論文集、70巻、694号、2004-6、pp.92~99
- (2) 真鍋，網干：「接触力測定装置」，公開特許公報，特開平11-194059，1999-7

《執筆者紹介》



藤澤貴雅 Takamasa Fujisawa
コンピュータビジョンの開発に従事



庭川 誠 Makoto Niwakawa
コンピュータビジョンの開発に従事



渡部勇介 Yusuke Watabe
コンピュータビジョンの開発に従事