

パンタすり板計測装置の開発



酒井 雄人^{*1}



藤井 威人^{*1}



中島 啓行^{*1}

Development of measuring equipment for slider of pantograph

Yuto SAKAI^{*1}, Takehito FUJII^{*1} and Hiroyuki NAKAJIMA^{*1}

^{*1} Researcher, Technical Center of Research and Development Center of JR EAST Group

Abstract

We developed the measuring equipment for slider of pantograph by stereo camera. Two pictures filmed by stereo camera are analyzed for searching edges of slider. Thickness of the slider is calculated from the edges by triangulation. With this system, inspection is executed when the train passes through this equipment. Inspection result is automatically displayed on the monitor and inspection staff can check the condition of the slider by the picture.

●**Keywords:** Image processing, Stereo camera, Triangulation, Measuring equipment, Pantograph, Slider

1. 緒言

当社では、鉄道車両メンテナンスの省力化や作業リスクの低減を目的として、超音波式パンタすり板計測装置（以下、現行品とする）を導入し、すり板厚さ計測の自動化を行ってきた。近年、画像処理技術が大幅に発展していること、多様なパンタグラフすり板に対応できる柔軟性とさらなるコストダウンが装置に望まれていること等から、ステレオカメラ方式のパンタすり板計測装置（以下、開発品とする）の開発を行った。開発品は、車両の進入を自動で検知し、ステレオカメラによりパンタグラフの画像を自動撮影する。取得した画像を、三角測量法と画像解析を用いて摩耗量を算出する。算出結果より、取替が必要な場合は端末装置に自動で警報を発する機能を有する。また、当該の画像を端末装置に表示することで、検査員がパンタグラフの状態を確認することも可能である。長期耐久試験を行い、十分な測定精度を有することを確認した。季節による太陽光や雪等の環境影響を評価し、改良を行うとともに、形状の異なるパンタグラフへの適用を可能とした。長期耐久試験の結果から、開発品を実用化可能と判断した。

2. 開発品概要

開発品は、ステレオカメラ（一つの躯体に二つのカメラを内蔵）で撮影した画像から、三角測量法を用いてすり板の摩耗量を算出する装置である¹⁾。図1に開発品の機器構成図を示し、下記に装置動作手順を示す。

- (1) 車体検知センサが車両を検知
- (2) システムが撮影モードへ移行（照明装置点灯、パンタ検知センサおよびRFIDが起動）
- (3) パンタ検知センサがパンタグラフを検知したタイミングで、ステレオカメラでパンタグラフを撮影（パンタ検知ごとに撮影）
- (4) RFIDのデータから編成番号を読み取り
- (5) 車両通過後、車体検知センサが検知していない条件が一定時間継続後、システムは待機モードへ移行
- (6) 画像の処理が行われ、技術管理室の端末装置に結果を自動で表示、異常検知時はアラーム鳴動

図2に、開発品の摩耗量算出概要について示す。ステレオカメラで撮影した2枚の画像から、すり板のエッジを検出する。検出したエッジの位置から三角測量法を用いてエッジの三次元座標を算出する。エッジ両端の基準点を結んだ直線とエッジとの距離から、摩耗量を算出する。摩耗量は、枕木方向に約0.4mm間隔（画素数2900万画素、撮影距離約4.8m地点での条件において）で算出しており、高分解能を実現している。

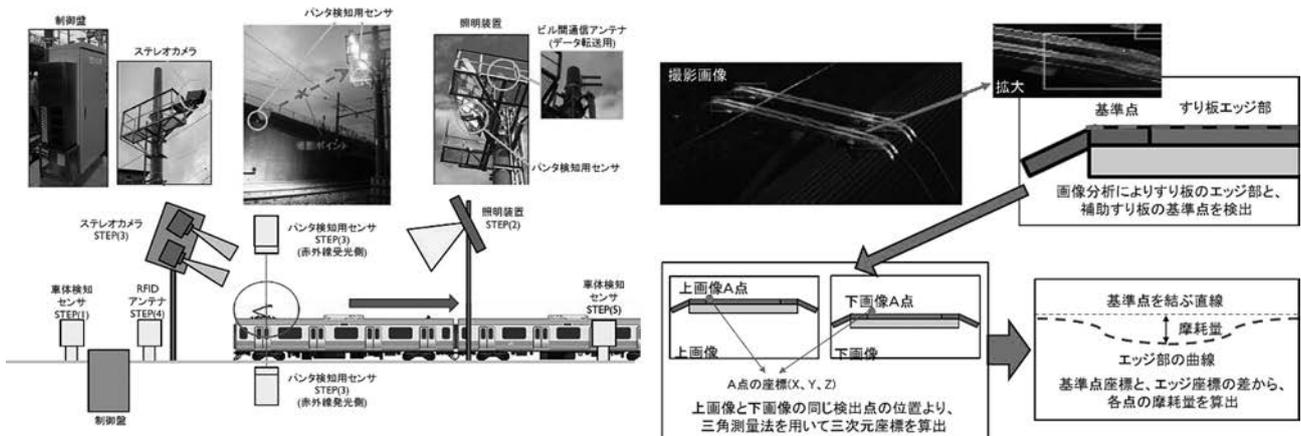


図1 開発品機器構成図

図2 摩耗量算出概要

3. 開発品の計測精度

開発品の計測精度を評価するため、レーザ式測定装置により手動で実測した値と本装置による計測値を比較した。図3に、計測精度の検証に用いた評価点を示す。評価点は、すり板の最薄部位置と、枕木方向に設定した以下の5点の計6点にて評価した。17台のパンタグラフをサンプルとし、開発品摩耗量（負の値）－実測値摩耗量（負の値）を誤差として算出した。

- (1) 最薄部：主すり板領域の中で最も摩耗量の大きい位置
- (2) 点①：すり板中心から左側に350mmの位置で、補助すり板1上の点
- (3) 点②：すり板中心から左側に135mmの位置で、主すり板1上の中央位置の点
- (4) 点③：すり板中心点（主すり板1と主すり板2の接合点）
- (5) 点④：すり板中心から右側に135mmの位置で、主すり板2上の中央位置の点
- (6) 点⑤：すり板中心から右側に350mmの位置で、補助すり板2上の点

図4に、実測値と比較し算出した全評価点（6点）の誤差分布を示し、表1にそれぞれの評価点における誤差の平均値、及び標準偏差を示す。図4より、誤差分布が正規分布に類似した形状であることが確認できる。

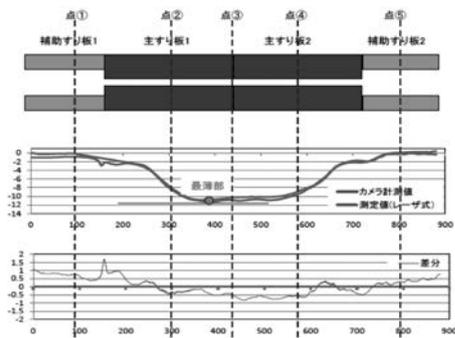


図3 計測精度の評価点

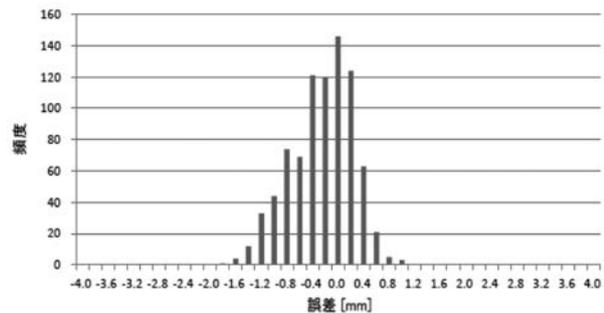


図4 全評価点における誤差分布

表1 各評価点における誤差の平均値及び標準偏差

	最薄部	点①	点②	点③	点④	点⑤	合計
平均値(mm)	-0.51	0.06	-0.09	-0.62	-0.31	0.11	-0.23
標準偏差(mm)	0.46	0.29	0.41	0.48	0.42	0.31	0.49

表1より、各評価点における誤差の平均値は、補助すり板部では正の値を示し、すり板中心に近づくほど平均値は負の値へ推移する。また、標準偏差においては、すり板中心部に向けて大きな値を示している。

すり板最薄部で平均値が -0.51mm と負の値を示すことは、摩耗量を過大に測定することとなり、摩耗限度を超過する可能性は低くなる傾向にあると考える。また、最薄部の標準偏差において、 3σ にて評価を行った場合、

$$-1.89\text{mm} < \text{平均値} \pm 3\sigma < 0.87\text{mm}$$

となり、最大で 0.87mm となる。リスク側(すなわち、すり板厚さが実際より過剰に計測される)への誤差が 1mm 以下であることから、測定精度として十分であると考えられる。

4. 天候影響について

4.1 照明調整による太陽光影響の低減

ステレオカメラ方式の欠点として、外乱光の影響を受けやすい点が挙げられる。画像解析におけるエッジ検出は、すり板の側面と上面の明度差からエッジを認識しており、太陽の位置や高度がエッジの検出精度に影響を及ぼす。開発品では、6台の照明を適切な位置に照射することで、影響の解消を図った。図5に、照明調整用に開発した照明調整用治具、及び照明ターゲットを示す。照明調整用治具は、位置合わせ用のレーザポインタと、照明を絞って照射する絞り板を搭載し、照明調整の際に取り付ける構造となっており、照射位置の特定を容易にする。照明ターゲットは、適切な照明受光位置を示すとともに、照度測定可能な構造である。図6に、照明調整後の照度結果を示す。適切な照明条件は、シミュレーションを用いて算出し、評価点9点(A~I)において実測値と比較して評価した。図6の結果より、すべての照度測定点において、シミュレーション値より高い値を示すことを確認した。上記に従って照明調整を行い、エッジの検出精度が向上することを確認した。

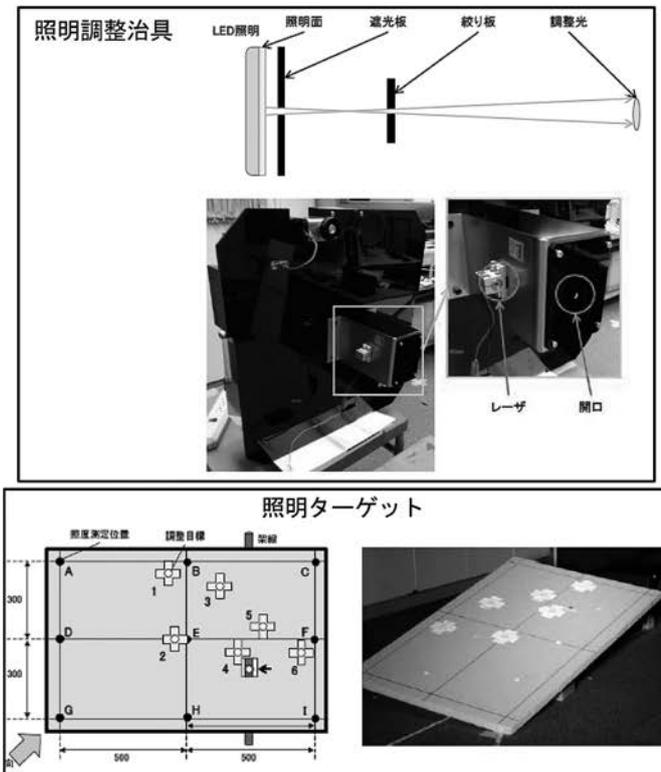


図5 照明調整治具・照明ターゲット

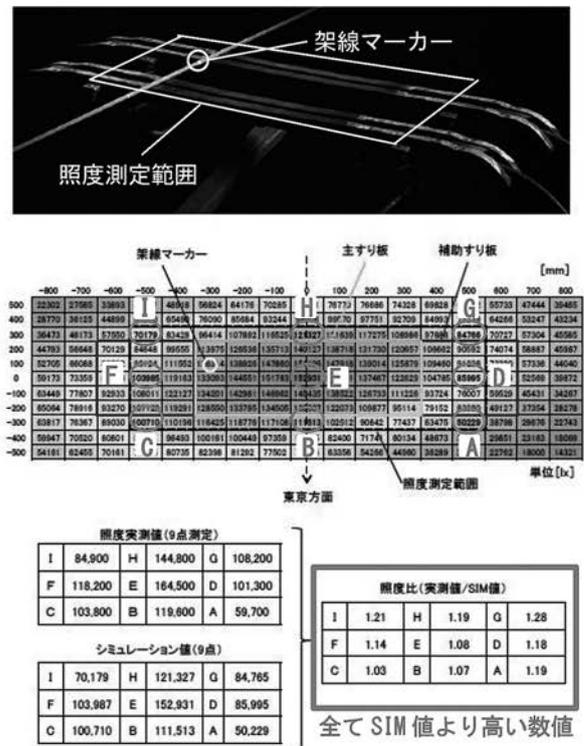


図6 照明調整後の照度結果

4・2 雪によるパンタ検知センサ誤動作への対策

降雪時において、パンタグラフがない状態での画像撮影（空撮）が発生した。これは、パンタグラフを検知するパンタ検知センサの誤動作であり、パンタ検知センサの赤外光が雪粒によって遮断されることが原因と判明した。図7に、改良したパンタ検知センサの概略を示す。パンタ検知センサの発光器および受光器の両方にレンズユニットを搭載し、発光器からの光路を広げ、受光器側で収束させる構造とした。降雪試験において、雪粒等の大きさで光路が遮断されないようになり、誤動作が発生しないことを確認した。

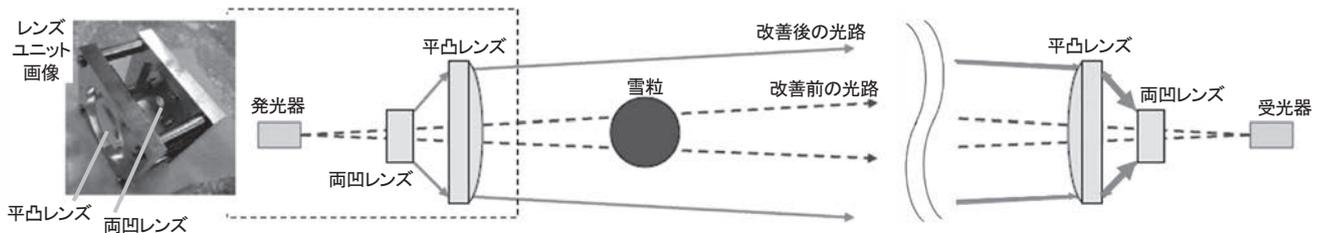


図7 改良型パンタ検知センサ概略

5. 他形式への展開

図8に、EV-E301系のパンタグラフのエッジ部検出処理結果を示す。EV-E301系のパンタグラフは、2本のすり板間にさらにすり板が配置されている特殊な形状であり、すり板の間隔が狭いために現行品ではエッジ検出が難しい構造であったが、開発品では十分なエッジ検出精度であることを確認した。また、他形式のパンタグラフを追加する場合、現行品では装置改修等が必要となるが、開発品はエッジの情報を教師データとして追加するのみで行えるため、追加時等に迅速かつ低コストで対応することが可能である。

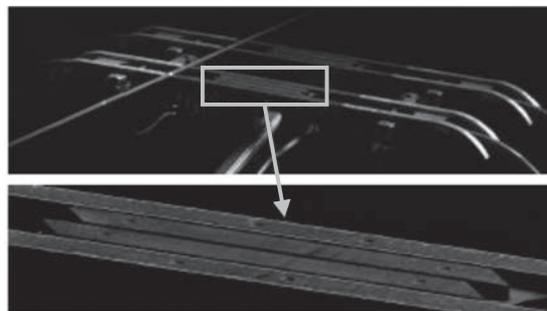


図8 EV-E301系におけるすり板エッジ検出処理結果

6. 結言

今回開発したステレオカメラ式パンタすり板計測装置は、実用化に十分な測定精度を有するとともに、天候の影響を受けにくく、拡張性の高い仕様となっている。また、特殊なセンサ等を使用せず汎用のカメラを用いるため、部品の低コスト化による設備維持費の低減が期待される。今後、早期の実導入を図り、パンタグラフに関するメンテナンス作業の省力化と設備維持費の低減に貢献していきたい。

参考文献

- 1) 三島潤一郎、一木剛、杉浦芳光、画像によるパンタグラフすり板計測装置の開発、JR EAST Technical Review-No.55. pp.17-18