

## 車両外観検査装置の精度向上



久保田 遼\*1



宇野 昭秀\*2



和田 智樹\*1



藤井 威人\*3

### Accuracy improvement of outside inspection system for rolling stock

Ryo KUBOTA\*1, Akihide UNO\*2, Tomoki WADA\*1, and Takehito FUJII\*3

\*1 Assistant Chief Researcher, Technical Center, Research and Development Center of JR EAST Group

\*2 Researcher, Technical Center, Research and Development Center of JR EAST Group

\*3 Principal Chief Researcher, Technical Center, Research and Development Center of JR EAST Group

#### Abstract

In the verification test for the actual operation of the outside inspection system for rolling stock, it became clear that false positives that determine normal parts as abnormal occur frequently, which poses an operational problem. Since it was found that the cause was the image correction process and the threshold setting method for abnormality judgment, a new image correction process and a setting method for the abnormality judgment threshold were developed to improve the judgment accuracy.

●**Keywords:** Rolling stock, Under floor equipment inspection, Image processing, Line camera

\*1JR東日本研究開発センター テクニカルセンター 副主幹研究員

\*2JR東日本研究開発センター テクニカルセンター 研究員

\*3JR東日本研究開発センター テクニカルセンター 上席研究員

## 1. はじめに

テクニカルセンターでは、人が目視で行っている車両床下機器の外観検査（車体への取付状態や変形有無などの確認）を自動化すべく、車両外観検査装置の開発に取り組んでいる。2015年に開発した実験機による基礎検討を行った後、2017年に側面を対象とする装置のプロトタイプ機（以下、側面プロト機）を開発し、現在は実運用にむけて最終的な検証を行っている段階である。本稿では側面プロト機を用いた検証において明らかになった課題と、その解決法について報告する。

## 2. 車両外観検査装置の概要

本装置は、撮影装置（カメラおよび投光器）、画像処理装置、端末装置等から構成され（図1）、撮影装置で取得した画像に対して画像処理装置で補正・判定処理を行い（図2）、端末装置で結果を確認する仕組みとなっている。補正処理はラインセンサーカメラで取得した画像から速度変化・車体揺れ等の影響を除去する処理であり、判定処理は補正された「撮影画像」と「あらかじめ準備した正常状態の画像（リファレンス画像）」の2つの画像に対し、判定対象の部位ごとに抽出したエッジの輝度差分距離値（スコア）を計算し、異常有無の判定を行う処理である。

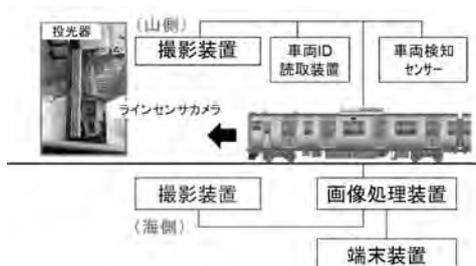


図1 車両外観検査装置の構成

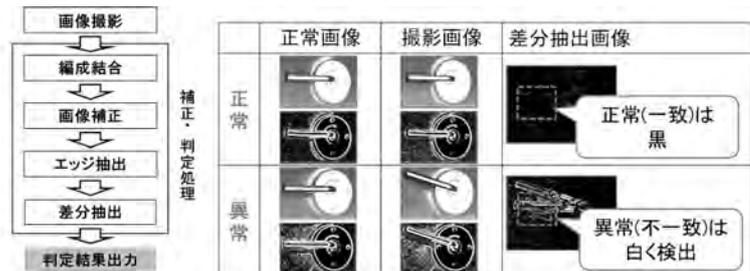


図2 補正・判定処理のフローとエッジ差分による判定の例

### 3. 実運用にむけた課題とその解決法

#### 3・1 側面プロト機を用いた検証試験

2019年11月～2020年1月の3か月間、側面プロト機を用いて実運用を想定した検証試験を実施した。その結果、異常のない部位を異常と判定してしまう偽陽性が多数発生し、その確認に1編成あたり約30分を要することがわかった。偽陽性を人が確認する作業に時間を要することは装置運用上の大きな課題であることから、偽陽性の発生原因を特定し、判定精度を向上する対策を実施した。

#### 3・2 異常偽陽性の原因

偽陽性が発生した部位について撮影画像から、偽陽性が発生する際の撮影画像には以下の特徴があることがわかった(図3)。

- ①撮影画像の一部に縦方向に画像のズレが発生している(補正崩れ)
- ②撮影画像の判定部位が拡大・縮小している場合がある(拡大・縮小)
- ③撮影画像から判定部位を切り出した際に位置が一致しない(位置ズレ)

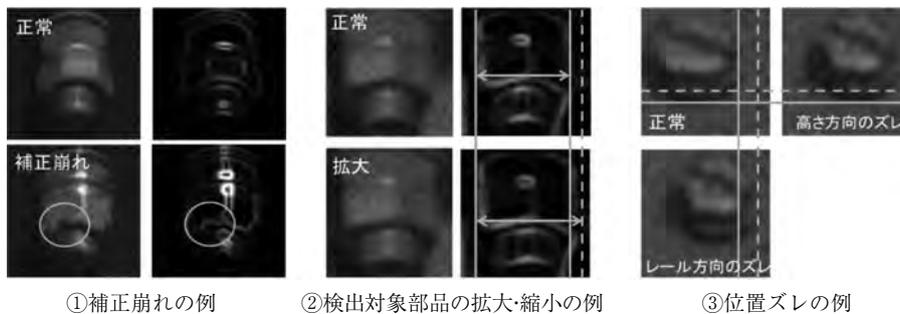


図3 偽陽性の原因

これらの特徴はいずれも撮影画像の補正処理に起因するものであることから、補正処理の内容を再評価したところ、従来の補正処理で採用しているDP (dynamic programming: 動的計画法) マッチングの弱点が原因であると推定された。DPマッチングは基本画像(リファレンス画像とは別に、補正処理用にあらかじめ用意した画像)と撮影画像の輝度差が最も小さくなるようなパターンで撮影データを拡大・縮小して補正する方法(図4)であり、基本画像と撮影画像の状態が近い画像の補正に高い効果があるが、経年による汚れや反射の揺らぎなどで基本画像と異なる状態の撮影画像に対しては無理な合わせ込みを行う場合があり、補正精度が低下するというものである。

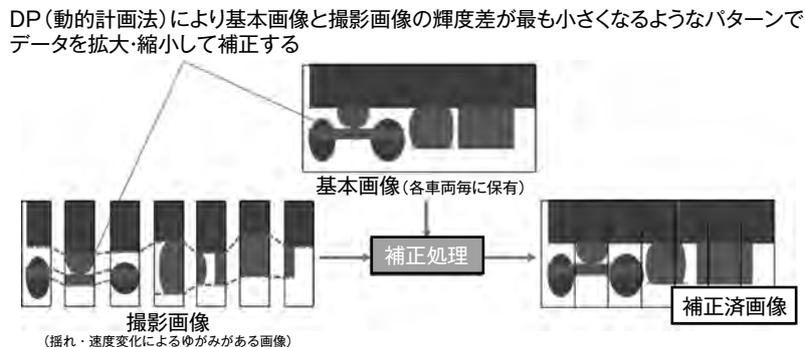


図4 DPマッチングによる補正処理の概念図

#### 3・3 局所特徴を用いた速度補正手法の確立

偽陽性の原因が基本画像と撮影画像の状態が異なることに起因することがわかったため、それらの変化が補正結果に影響しない手法として、局所特徴を用いた速度補正を考案した。これは2枚の画像間から抽出した特徴点の位置関係から速度変化を算出し、速度変化に合わせて撮影データを拡大・縮小する補正方法である。特徴点は基本画像と撮影画像で近い特徴を持った点のみが関連付けられ、変化した部位は無視されるため経年変化に強い補正手法となっている。(特徴点の関係は図5の2枚の画像間の直線で表され、そのx座標(レール方向)の変位量から速度変化を算出することができる。)

縮小画像(上)

基本画像(下)

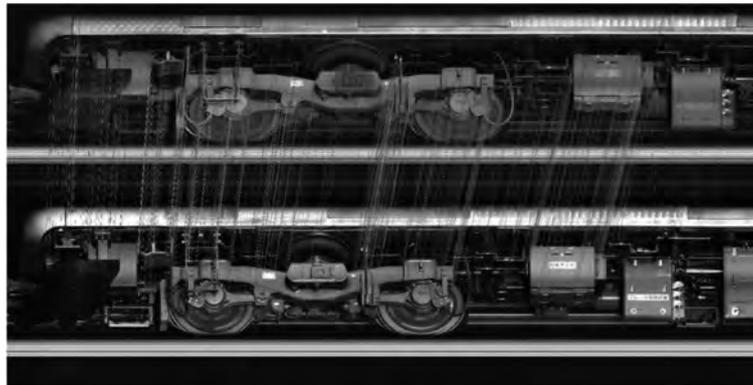


図5 局所特徴による特徴点の抽出例

なお、車体揺れに対する補正については局所特徴による特徴点を用いた補正手法でも補正崩れが発生する可能性があることから、画像全体を補正する手法ではなく、判定部位に注目したテンプレートマッチングを採用している。

### 3・4 新補正手法の効果

局所特徴を用いた新補正手法の効果について異常を模擬して撮影した画像を用いて確認した。DPマッチングを用いた旧補正手法に対して大幅な偽陽性抑制効果が得られている(図6)。しかし、新補正手法を用いても約2%の偽陽性が発生しているため、さらなる対策を検討した。

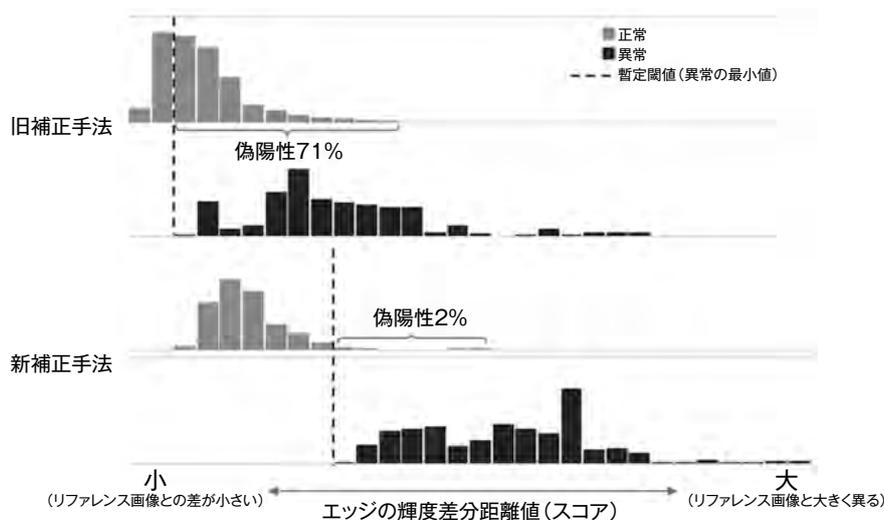


図6 補正手法による偽陽性発生頻度の比較

### 3・5 スコア補正係数を用いた良否判定基準の考案

新補正手法においても偽陽性が残る原因は、判定部位により異常と正常のスコア分布が異なるためであることがわかった。いずれの評価部位でも異常と正常の群は分かれているが、その境界は部位ごとに異なるため、異常模擬サンプルの最小スコアを閾値とすると一部の矩形ではほぼすべての正常サンプルが異常と判定されてしまう(図7)。これは、撮影対象の材質や塗装有無、カメラからの距離などにより撮影画像における明るさに違いが生じ、抽出したエッジの強さが異なるために起こる現象である(図8)。解決法として閾値を評価部位ごとに個別に設ける方法も考えられるが、正常と異常の境界を求めるためにすべての評価部位で異常を模擬した撮影を行う必要が生じるため、現実的ではない。そこで、それらの差を吸収するため元のスコアにスコア補正係数を乗じることでスコアを平準化する手法を考案した。

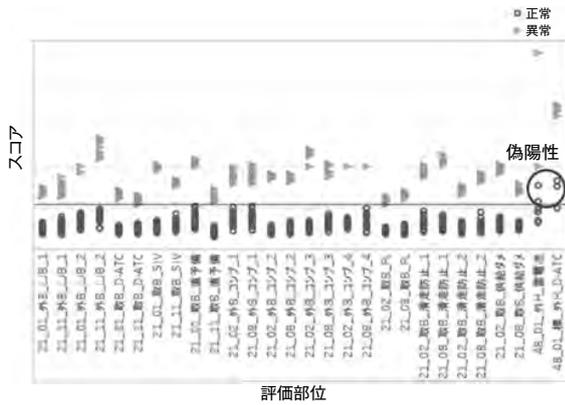


図7 評価部位ごとのスコア分布の例

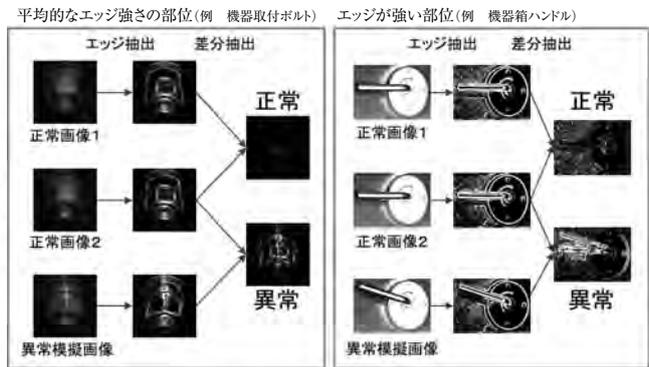


図8 評価部位ごとのエッジ強さの例

スコア補正係数は、評価部位ごとのエッジの強さを表す指標として定義したエッジ量(式(1))および、実験的に求めた水準係数を用いて式(2)に表される。なお、水準係数は評価部位によらず一定の値である。

$$\text{エッジ量} = \frac{\text{評価エリアに含まれる全画素の輝度値の和}}{\text{評価エリアに含まれる画素数} \times \text{輝度の最大値}} \quad (1)$$

$$\text{スコア補正係数} = \frac{\text{水準係数}}{\text{エッジ量}} - 1 \quad (2)$$

### 3・6 スコア補正係数の効果

3・4で補正手法の効果の確認に用いた異常模擬画像を用いてスコア補正係数の効果の確認を行った。スコア補正係数を用いて補正することにより、正常の分布範囲が一定値以下に抑えられ、十分な効果があることがわかる(図9)。

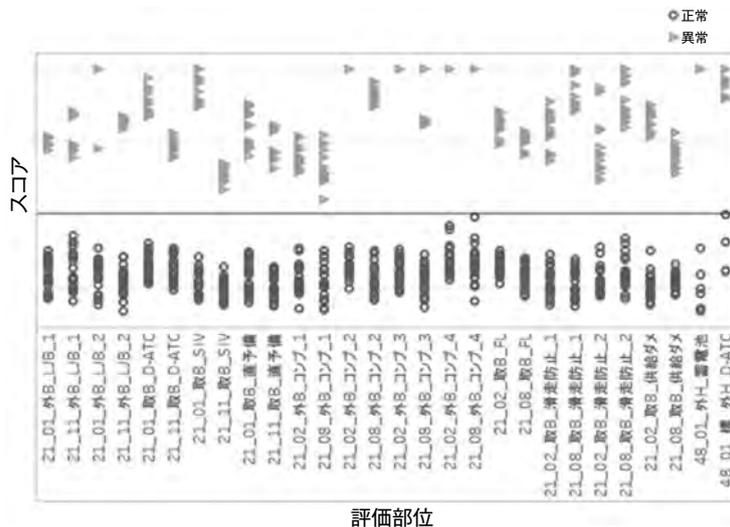


図9 評価部位ごとのスコア分布の例(補正スコア適用後)

## 4. まとめ

実運用を想定した検証試験で明らかになった判定精度の課題について、補正手法と判定手法の改善により解決を図った。現在、新手法を用いた検証試験を実施中であるが、偽陽性の発生は1%程度、確認に要する時間は1編成あたり5分以内に削減されており、現場での運用に耐える精度を実現することができた。引き続き関係箇所と連携し、早期の運用開始に向けて取り組んでいく所存である。