

## 送着ボンドモニタリングの基礎開発



工藤 由康<sup>\*1</sup>



鈴木 雅彦<sup>\*1</sup>



金田 敏之<sup>\*1</sup>

### Fundamental development of monitoring for Signal Bonds

Yoshiyasu KUDO<sup>\*1</sup>, Masahiko SUZUKI<sup>\*1</sup> and Toshiyuki KANEDA<sup>\*1</sup>

<sup>\*1</sup> Technical Center, Research and Development Center of JR EAST Group

#### Abstract

When the signal bond for track circuits drops out, the train operation will be suspended. East Japan Railway Company regularly conducts visual inspection and checks the state of signal bonds many times. However, it takes a lot of labor and it is very hard. We study the anomaly detection of the signal bond by the image recognition in order to reduce the number of periodic inspections.

●**Keywords:** Signal Bond, Monitoring, Anomaly detection, Histogram of Oriented Gradients Feature

## 1. はじめに

当社が日々、メンテナンスを行っている信号設備には信号機や電気転てつ機、連動装置などがあり、そのほとんどが列車の安全・安定運行に重要な役割を担っている。これら設備は、種類・数も多いことから、多くの労力がかかる。特に、レール間を電氣的に接続するために取付けられている軌道回路用信号ボンド(以下、送着ボンド)は、脱落などが起きると列車運行に支障を及ぼすため、年1~3回の目視検査を行っており、検査員の負担も大きい。過去の研究において、画像処理技術を活用して送着ボンドの異常を検出できる可能性があることがわかった<sup>1)2)</sup>ことから、本稿では、効率的な検査を実現するため、送着ボンドの取付けられている画像をモニタリングすることによる正常/異常判定アルゴリズムの検討および左記アルゴリズムを実装した異常判定装置の試作・評価を行った。

## 2. 軌道回路と送着ボンドについて

軌道回路は、図1に示すように2本のレールが列車の輪軸(車輪と車軸)で電氣的に短絡することを利用して列車検知するものである。本稿の対象である送着ボンドは、軌道回路電流をレールに流すために必要な設備であり、通常はレールに溶接されているが、経年による劣化などによりボンドがレールから脱落することや配線切れなどが発生することもあるため定期的な検査が必要である。

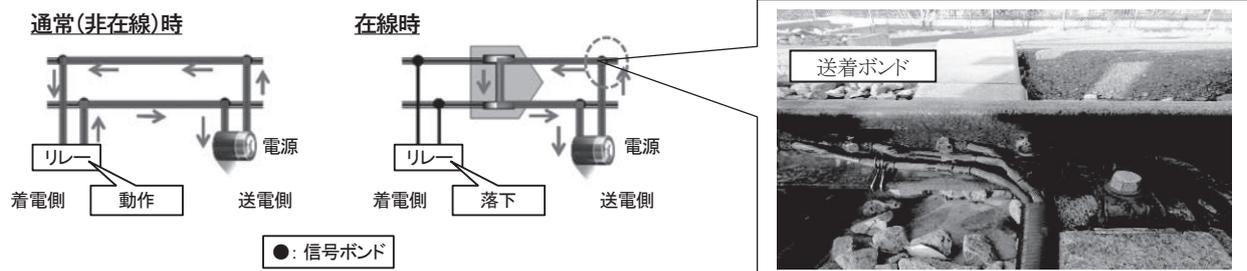


図1 軌道回路と送着ボンド

## 3. 線路モニタリング画像について

画像による正常／異常判定の検討を行うにあたり、当社で導入している線路設備モニタリング装置<sup>3)</sup>にて取得した画像を用いることとした。線路設備モニタリング装置とは、軌道の状態を高頻度で監視(モニタリング)する装置で、営業列車に取付けられている。レール側面に取付けられている送着ボンドは、同装置にて撮影している画像(以下、線路モニタリング画像)の一部に写っていることから、これらの画像は有効であると判断した(図2参照)。

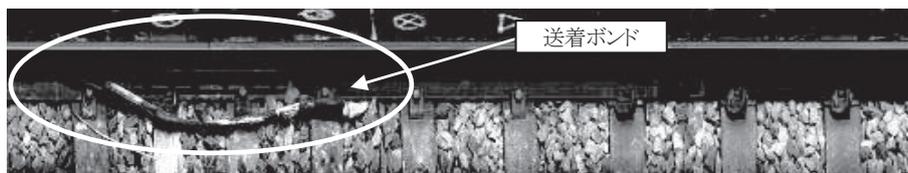


図2 線路設備モニタリング装置で撮影した画像の例

## 4. 異常判定アルゴリズム

### 4・1 全体処理フロー

送着ボンドの正常／異常判定処理フローの全体イメージを図3に示す。使用する画像は、撮影日ごとに線路を連続で撮影した状態で保存されている。そのため、入力する画像の大部分は「ボンドが写っていない画像」となるため、「ボンド抽出処理」にて評価対象とするボンドのみを選択する。その後、「位置合わせ処理」にて同一送着ボンドの対応付けおよび撮影日ごとの角度補正を実施する。最後の「異常判定処理」では、選択された送着ボンドの基準撮影日画像と対象撮影日画像の差分比較を行ない、算出された差分値が設定したしきい値より大きければ「変化大=異常」と出力するものである。

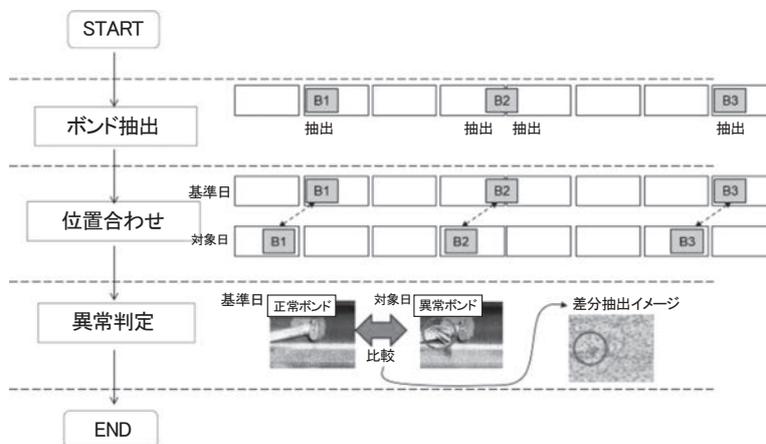


図3 送着ボンド 正常／異常判定処理フロー (全体イメージ)

### 4・2 ボンド抽出

ボンドの抽出には、画像から物体の形状を抽出する局所特徴量の一つである「CoHOG (Co-occurrence Histogram of Oriented Gradients: 輝度勾配方向共起ヒストグラム) 特徴量」とパターン識別用の教師あり機械学習方法の一つである「SVM (Support Vector Machine: サポートベクターマシン)」を用いることとした。

CoHOG特徴量は、HOG特徴量(4.4異常判定を参照)をベースにした特徴量で、ピクセル単位の輝度勾配情報(周囲の輝度変化を方向で表したもの)とその周囲のピクセルの輝度勾配情報との共起関係を用いることで形状の類似した物体を区別することが可能となる(図4参照)。図5は、SVMのイメージを2次元で表記した例で、学習データの中で最も他グループ(▲から見ると■、■から見ると▲)に近い座標にいるデータ(サポートベクトル)を基準として、その距離(マージン)が最大になるように識別面を設定するものである。

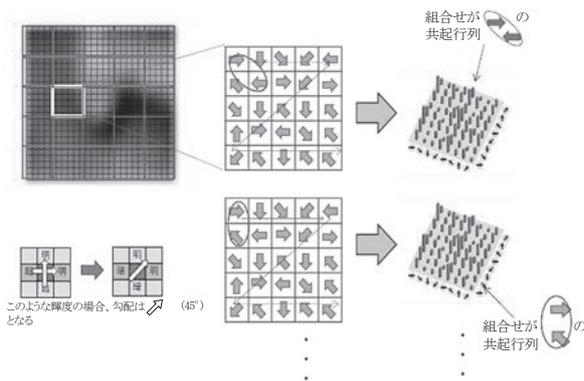


図4 CoHOG特徴量の例

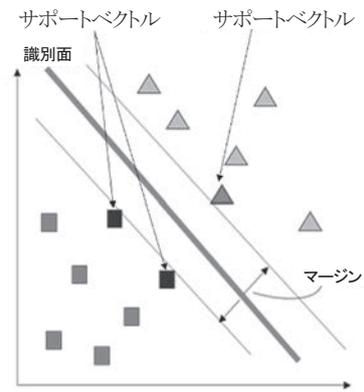


図5 SVMの概要 (2次元で表記した例)

上記2つの方法を用いた送着ボンド抽出の流れを図6に示す。学習する段階では、学習元となる画像から送着ボンド部分を手で切り出し、それぞれ切り出した画像のCoHOG特徴量を計算し、これらの計算した特徴量にSVMを用いて識別面を設定し、判別に利用する。送着ボンドを抽出する段階では、入力画像の全領域に対して、手で切り出した送着ボンド部分と同じ大きさの画像を切り出し、その部分のCoHOG特徴量を計算する。そして計算した特徴量が識別面のどちらにあるかを計算し、ボンドかどうかを判別する。

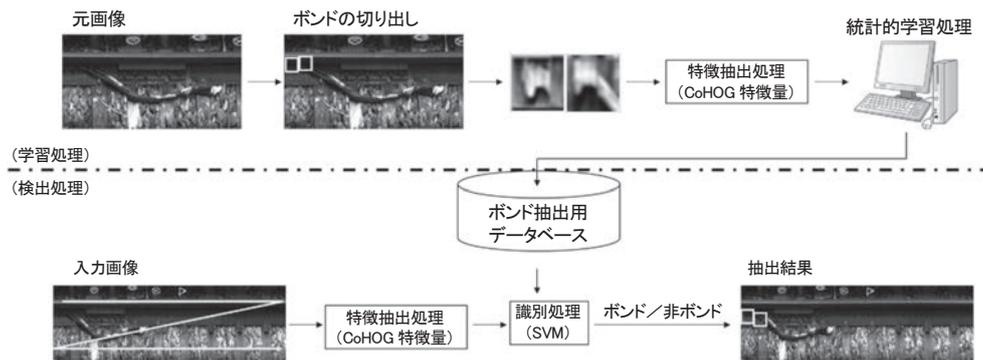


図6 送着ボンド抽出の流れ

### 4・3 位置合わせ

送着ボンドの位置合わせは、「概略位置合わせ」と「詳細位置合わせ」の2つの処理で構成されている。

概略位置合わせとは、基準撮影日と対象撮影日の同一ボンドの位置同定を行うものであり、詳細位置合わせとは、概略位置合わせで対応付けた各送着ボンドに対して撮影角度などの微細な補正を実施することである。概略位置合わせに関する基本的な考え方を図7に示す。まず、基準日画像と対象日画像に対して、ボンド抽出処理で検出された複数の対象ボンド間の各区間長 $L$ を計算する。そして、基準日の複数の区間長 $L$ と、対象日の複数の区間長 $L$ が得られた後、同図の斜め二重線に示すように同一の区間長 $L$ 同士を対応づけることで、基準日と対象日とのズレ量を求める。このズレ量を対象日に反映させることで基準日の各送着ボンドとの位置同定を行う。

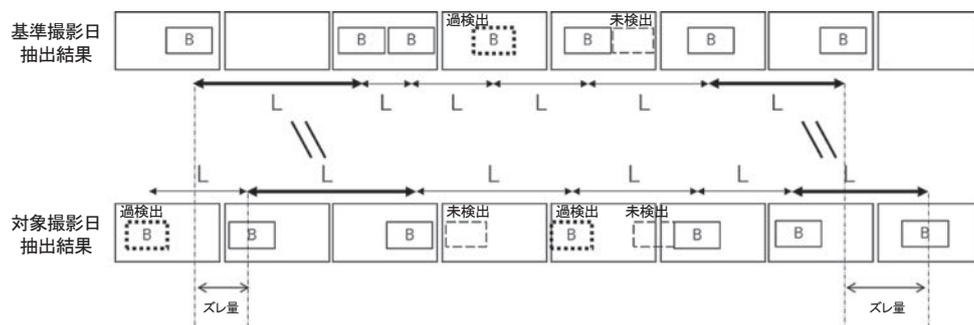


図7 概略位置合わせの考え方

## 4・4 異常判定

異常判定処理では、HOG (Histograms of Oriented Gradients: 輝度勾配方向ヒストグラム) 特徴量を用いた差分検知にて正常／異常を判定する。HOG特徴量とは、局所領域の輝度勾配 (周囲の輝度変化を方向で表したものの) のヒストグラムを特徴量としたもので、幾何学的変形に強く、照明の変動に頑健として人物検出や物体認識に用いられている。図8は本稿で使用しているHOG特徴量に関する説明図であり、局所領域 (セル) を設定し、その領域の輝度変化方向を量子化しヒストグラムを作成する。方向については8方向に量子化することとし、輝度勾配画像は方向ごとに色を違わせて8個のビン (グラフ内の棒状のもの) をもつヒストグラムで表現する。

詳細位置合わせ終了後の基準日画像と対象日画像の各信号ボンドについて、ノイズ除去等の前処理を行った後、HOG特徴量を用いて対応するセルごとに相違度を求める。各セルの相違度を画像全体で平均化し、その平均値がしきい値を超えるか否かで判定する。

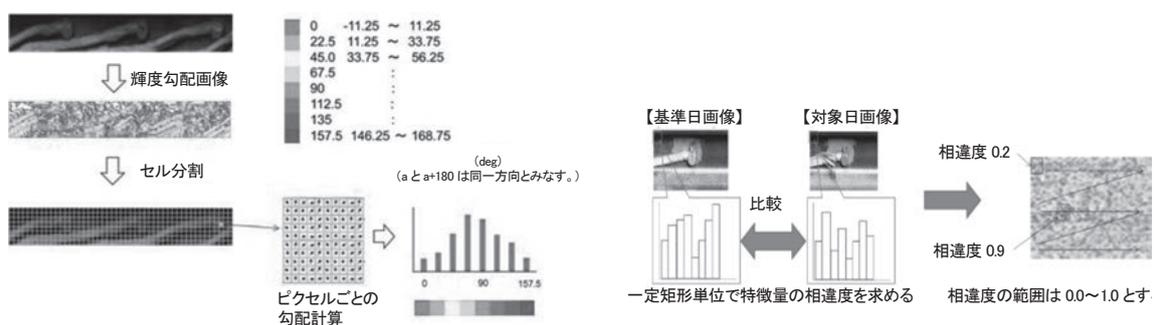


図8 HOG特徴量の使用例

## 5. 送着ボンド異常判定装置の試作および評価

前章で示したアルゴリズムを実装した「送着ボンド異常判定装置」を試作した。本装置では、各処理で自動計算された結果に対して、手動による「未検出となった送着ボンドの追加」および「判定結果の修正」などを実施できる機能をもっている。試作した異常判定装置を使用して、当社3路線の線路モニタリング画像を用いた性能評価を行ったところ、2018年3月時点において、ボンド抽出率は83%となり、全ての送着ボンドを自動で検出することはできなかった。さらに、位置合わせは89%の成功率であった。また、人がモニタリング画像を目視で確認して“異常” (今回は素線切れ8割以上の変化) と認識するボンドについては毎回正しく“異常”と出力され、“異常を正常と誤判定”する事例はみられなかった。

## 6. まとめ

本稿では、送着ボンド異常検出アルゴリズムを検討し、そのアルゴリズムを実装した「送着ボンド異常判定装置」を試作した。試作機に対して幾つかの路線で撮影された線路モニタリング画像によって性能検証を行ったところ、手動によるボンド自動抽出や位置合わせの修正等を行うことで、素線切れ8割以上の大きなボンド変化を検出できることを確認した。今後は、異常判定の各処理における精度向上を行い、改良したアルゴリズムを実装した試験機にて現地性能評価を実施する予定である。

### 参考文献

- 1) 工藤由康、鈴木雅彦、小林巧、軌道回路用信号ボンドの異常検出に関する研究、平成28年電気学会産業応用部門大会、5-32 (2016)、V-257-260
- 2) Yoshiyasu Kudo, Masahiko Suzuki, Takumi Kobayashi, STUDY ABOUT ABNORMAL DETECTION OF A SIGNAL BOND FOR TRACK CIRCUITS, In RailwayEngineering2017 (2017)、0018
- 3) 葛西亮平、西藤安隆、小松佳弘、小木曾清高、矢作秀之、小西俊之、線路設備モニタリング装置の概況と今後の方向性、JR EAST Technical Review (in Japanese)、No.55 (2016)、pp.21-24