

線路設備診断システム(在来線)の導入に向けた取り組み

西日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○渡邊 達郎
 西日本旅客鉄道株式会社 門之園 尚也
 西日本旅客鉄道株式会社 辻野 雅博
 西日本旅客鉄道株式会社 正会員 藤原 武実

1. はじめに

将来の労働人口減少を見据えた効率的な線路設備のメンテナンス体制の構築は喫緊の課題である。現在実施している徒歩巡回や各種線路の点検等の人力による地上検査について、車上化による生産性の向上を目的に線路設備診断システム(以下、「診断システム」という)を導入することとした。本稿においては、診断システムの装置概要や、在来線に導入するにあたっての様々な取り組みとその結果等について紹介する。

2. 診断システムの装置概要

診断システムは、軌道画像等をカメラ等のセンサーで取得し、データを解析、判定することにより軌道の材料や保守状態の不具合を検出(欠陥検知)する画像診断システムである。

2.1. データ取得装置

診断システムのデータ取得装置は V-Cube(軌道検査・計測システム)と FPIS(継目板検査システム)があり、それぞれの外観を図 1、図 2 に示す。V-Cube は、①軌道全体の画像を取得するラインセンサカメラ 3 台(TIS)、②レーザーを用いた三角測量により軌道全体の形状データを取得するカメラ 3 台(TMS)、③レール頭頂面の画像を取得するラインセンサカメラ 2 台(RHIS)により構成される。一方、FPIS は、軌道の左右内外用にラインセンサカメラと非接触レール温度計を有しており、画像とレール温度を取得可能となっている。また、車上には各センサーからのデータを保存・処理するための処理装置等が搭載されている。



図 1 V-Cube (軌道検査・計測システム)

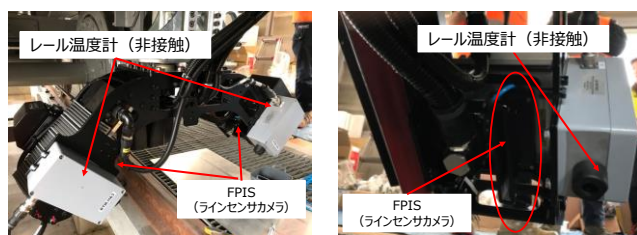
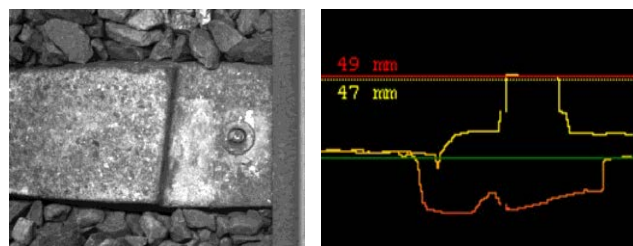


図 2 FPIS (継目板検査システム)

2.2. 欠陥検知機能

診断システムは 2.1 項の各センサーによりデータを取得しながら、リアルタイムで軌道部材の欠陥検知や計測を行う。その対象部材は、レール・締結装置・まくらぎ・道床・継目板等多くの項目があるが、本稿においては、一部機能を紹介する。

締結装置については、種別に応じて画像や形状データから予めモデル化を実施し、取得データと照合して種別を認識し、欠陥検知を行う。項目として、締結装置脱落・ボルト緩み検知機能を有している(図 3 参照)。締結ボルト緩みについては、TMS データにより、レール底部高さを基準として、ボルト上部までの距離を測定し、基本寸法との閾値判定を行っている。

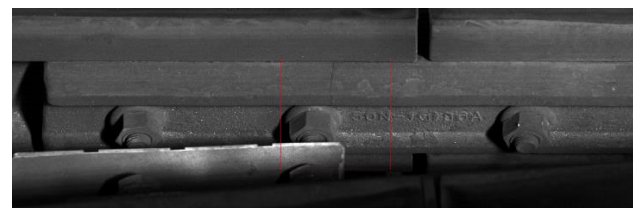


締結装置脱落

締結装置緩み

図 3 締結装置の欠陥検知例

継目部の欠陥検知機能については、継目板の長さ等に応じて予めモデル化を実施し、取得データと照合して種別を認識し、FPIS 画像によって欠陥検知を行う。欠陥検知項目として、継目板亀裂・ボルト脱落検知機能を有しており、それぞれディープラーニングによる判定を行っている(図 4 参照)。



継目板亀裂検知例

継目板ボルト脱落検知例

図 4 継目部の欠陥検知例

キーワード 生産性向上 ラインセンサカメラ 画像診断 ディープラーニング

連絡先 〒530-8341 大阪市北区芝田 2 丁目 4 番 24 号 西日本旅客鉄道(株) 施設部 施設技術室 TEL 06-6375-2156

3. 欠陥検知機能構築

3.1. データコレクション

2.2 項に記載の検知機能構築のため、軌道の正常な状態(正例)と欠陥を有する異常な状態(負例)のデータを取得した。

締結装置の負例に関しては、締結装置種別毎に締結装置脱落、及び締結ボルト緩みの状態を 5 箇所程度作成し、データ取得を行った。締結ボルト緩みについては、ワッシャー等を余分に取り付けることで緩み状態を模擬した(図 5 参照)。正例に関しては、締結装置毎に 200 個以上のデータを取得した。



図 5 締結ボルト緩みの人工欠陥例

継目板亀裂、及び継目板ボルト脱落についても、継目板種別毎にそれぞれ5箇所程度の負例を作成してデータ取得を行った。継目板亀裂については、亀裂を有する継目板に加え、テープによって亀裂を模擬したものを用いた(図 6 参照)。正例に関しては、継目板毎に 5 箇所以上のデータを取得した。

これらのデータをもとに各種機能の調整を行い、欠陥検知機能を構築した。



図 6 継目板亀裂の人工欠陥例

3.2. 評価指標

検知機能の評価指標として、表 1 に示す 3 つの指標を用い、検知機能項目毎に目標値を設定した。

表 1 評価指標

評価指標	内容
欠陥検知率	検知負例数 ÷ 負例総数 (%)
誤検知数	誤検知数 / km (個 / km)
再現性	同じ負例を複数回測定した場合の欠陥検知率 (%)

3.3. 精度検証

構築した検知機能の評価するために、新たに負例を作成してデータ取得を行い、表 1 の指標に基づき精度検証を行った。2019 年度においては、締結装置 22 種類(評価総延長 13.8 km)、継目 5 種類(評価総延長 15.6 km)を対象として精度検証を行った。表 2 に各検知機能の精度検証結果を示す。

締結装置脱落と継目板ボルト脱落に関しては、実用可能な精度を有していると判断した。一方で、締結ボルト緩みと継目板亀裂に関しては、誤検知数が非常に多く、実用性に課題を認めたため、欠陥検知機能を改良することとした。

表 2 各検知機能の精度検証結果

検知機能	欠陥検知率 %	誤検知数 個/km	再現性 %
締結装置脱落	85.4	9.9	100
締結ボルト緩み	92.3	26.1※	100
継目板亀裂	83.3※	30.7※	69.4※
継目板ボルト脱落	100	5.8	100

3.4. 精度向上

表2中の※印の項目については、実用上の基準に達しなかったため、精度向上を目的として検知結果の内容を確認した。締結ボルト緩みの誤検知結果に関しては、締結装置の形状が類似しているが、レール底部からボルト上面までの距離が異なる締結装置を正しく区別できていないことが支配的であることが判明した(図 7 参照)。この類似した締結装置は、50N レール用と 60K レール用という違いがあったため、レール高さから両者を区別する機能を追加した。その他の改修も行い、締結装置モデルの認識精度が向上し、欠陥検知率を 96.7%、誤検知数を 18.8 個/km に改善することができた。

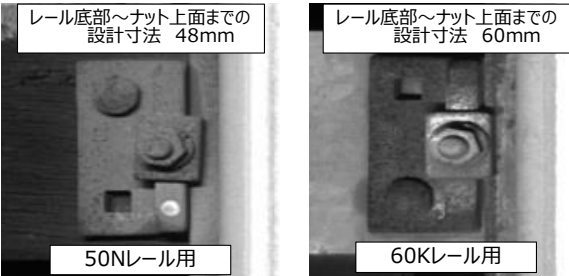


図 7 形状が類似した締結装置の例

一方、継目板亀裂の誤検知結果を確認すると、レールボンドの素線切れや草、埃等が亀裂として誤検知されている場合が多いことが分かった(図 8 参照)。加えて、継目板以外の範囲でも亀裂検知がなされていた。そこで、これらの誤検知数を低減させるために、ディープラーニングの調整や、亀裂検知範囲の見直しを行った。その結果、欠陥検知率を 88.2%、誤検知数を 8.3 個/km、再現性を 96%に改善することができた。



図 8 継目板亀裂の誤検知例 (レールボンド素線切れ)

4. まとめと今後の展望

今回の取り組みの結果、締結装置・継目部を含む各欠陥検知機能を、実用可能なレベルまで構築することができた。今後は診断システムを保守用車編成により一部線区、一定頻度で運用し、地上検査の車上化による生産性向上に向けた検証を行う。また、新たに検測車にも診断システムを搭載することで運用範囲の拡大、及び効率的な運用の実現に努め、適用拡大を実施する予定である。