

## 線路設備モニタリング装置の概況と今後の方向性

Development outline of track facility monitoring device and future prospects



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\*

Development of track facility monitoring device has been started in fiscal 2008. Then from May 2013, the devices have been installed on a commercial train on six lines starting with Keihin-Tohoku line. And we have studied and developed the device to put it into practical use. In this paper, we will describe development outline of devices at first. Next we will discuss a possibility of a usage of the data collected by the developed device with referring some results of analysis. Then we describe development outline of CBM support system for decision making. Finally we will discuss future prospects.

●キーワード：スマートメンテナンス、軌道管理、モニタリング

### 1. はじめに

線路設備モニタリング装置は2013年度の京浜東北線を端緒として、現在中央本線、山手線、日光線、東北本線、越後線の計6線区をモデル線区として導入されている。

線路設備モニタリング装置導入の目的の一つはCBMを通じたスマートメンテナンスの実現である。ここでCBMとは一定周期 (Time Based) の検査に基づく修繕から設備状態に応じた (Condition Based) 保全への変革を行うものであり、その業務サイクルを図1示したものが図1である。

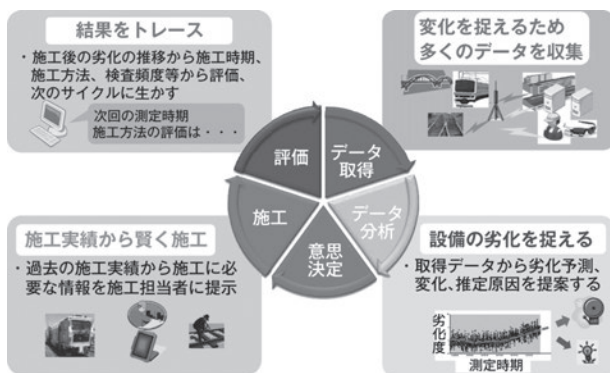


図1 CBM (Condition Based Maintenance) 業務サイクル

本稿ではCBMの業務サイクルに従い、『データ取得』・『データ分析』・『意思決定』の各段階における現在の開発状況と今後の展望について述べる。

### 2. データの取得

#### 2.1 線路設備モニタリング装置

線路設備モニタリング装置は、軌道の歪み (変位) を測定する『軌道変位測定装置』及びレール締結装置等の軌道材料状態を判定する『軌道材料モニタリング装置』から構

成され、営業列車に搭載することで高頻度にデータ取得可能な点が最大の特長である。

現在、線路設備モニタリング装置は6線区をモデル線区として先行導入し、取得した高頻度データを分析しCBMの確立を目指しているところである (図2)。

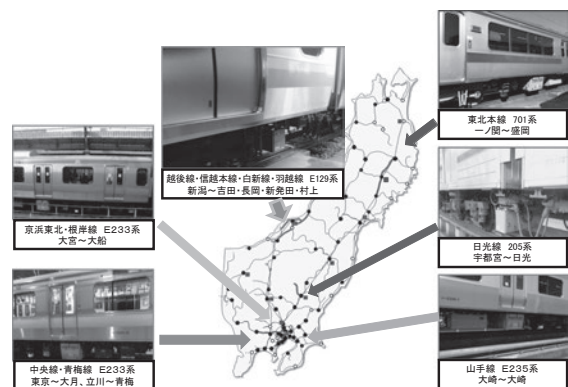


図2 線路設備モニタリング装置導入モデル線区

#### 2.1.1 軌道変位測定装置

##### (1) 概要

軌道変位測定装置は (公財) 鉄道総合技術研究所において開発した慣性正矢法を用いた測定方法を採用した装置であり<sup>1)</sup>、これまでは列車で測定する場合、専用の車両においてのみ軌道変位の測定が可能であったが、同装置により営業列車に搭載し軌道変位を測定することが可能となり (図3)、高頻度に軌道変位データが取得できるようになった。



図3 East-iと営業列車での軌道変位測定装置

## (2) 開発状況

### ①自動測定機構のバージョンアップ

2008年より実施した試験走行では、パッシブ型のRFIDの一種であるデータデポを活用し、測定開始のトリガ信号を認識することにより自動測定を行ってきた<sup>2)</sup>。

今回、さらに詳細に測定制御を行い、かつ正しい位置の把握を行うために、車庫等における測定終了や駅構内における番線の認識、単線における測定開始のロジックを構築し、自動測定機構のバージョンアップを図った。

### ②各測定データの位置合わせ機能

軌道変位測定装置の位置情報は、前述のデータデポと速度発電機（車輪の回転数）により取得しているが、空転・滑走等によりズレが生じる場合があるため、（公財）鉄道総合技術研究所において開発した軌道保守管理データベースシステム「Labocs」の相互相関法コマンドによる位置合わせ機能を用いることとした（図4）。本機能により、各測定データ間に位置ズレが生じないため、同位置の時系列データの分析がさらに高精度に行えるようになった。

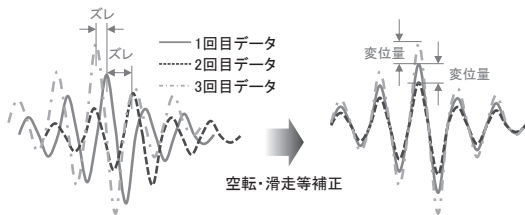


図4 測定データのズレと位置合わせイメージ

## (3) 今後の課題と展望

営業列車への軌道変位測定装置の搭載について、電車の場合概ね現行の装置が搭載可能である一方で、気動車については車両の床下スペースが少ないため現行の装置は搭載不可能である。現在、海外の技術も視野に入れ、気動車に搭載可能な測定装置の検討を進めているところである。

## 2.1.2 軌道材料モニタリング装置

### (1) 概要

軌道材料モニタリング装置は、2008年から当社で開発を進めてきた。営業列車の床下に搭載され、最高130km/hで3次元距離画像（図5）、及び2次元濃淡画像を取得する車上装置と、取得された3次元画像を用いて、レール締結装置の脱落判定、及び継目板ボルトの脱落判定を行う地上処

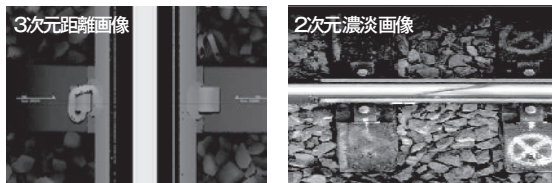


図5 軌道材料モニタリング装置取得画像

理装置で構成されている。高3次元距離画像はモノクロ256階調で高さ情報を示すものである。

取得した画像はSSD（大容量媒体）に保存され、車両センターに入区するタイミングで取り出し、事務所に配備している地上処理装置において材料状態を自動的に判定する（図6）。また地上処理装置は、指定した箇所の2次元濃淡画像を詳細に確認する機能も有り、撮影した範囲内のものであれば、現場に行かなくても画像により軌道材料等の状態確認をすることが可能である（図7）。



図6 軌道材料モニタリング装置判定結果例

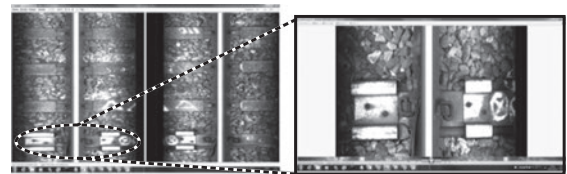


図7 2次元濃淡画像の拡大機能

## (2) 開発状況

### ①レール締結装置の判定精度向上

3次元距離画像はレーザーを用いた撮影を行っているため、直射日光や雨等の影響を受け判定精度が低下する場合があった。そこで、車上装置、地上処置端末双方に対策を実施し、判定精度の向上を行った。

#### a) 車上装置対策

直射日光が存在しない条件下で取得した画像（19:00以降に取得した画像）を優先的に保存することとし、さらに複数回測定した画像を車上装置で分析を行い、画像質が良好なものを優先的に保存することとした。

#### b) 地上処理装置対策

3次元距離画像の画素が欠落した場合は、周囲の取得画像の画素から補完し解析することとした。

a) と b) の対策を実施した結果を表1に示す。表1は機械判定を行った78,165箇所のレール締結装置について全数

表1 機械判定と目視判定の比較

	目視判定					合計
	○	×	判別不能			
			ケーブル	草	バラスト	
機械判定 ○	78,100 (99.94%)	15 (0.02%)	0 (0.00%)	23 (0.03%)	6 (0.01%)	78,144 [99.75%]
×	45 (37.50%)	75 (62.50%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	
▲	20 (25.64%)	44 (56.41%)	4 (5.13%)	10 (12.82%)	0 (0.00%)	
合計	78,165 99.77%	134 0.17%	4 0.01%	33 0.04%	6 0.01%	

視判定を行い照合したものである。表1のとおり、正常な状態の締結装置は99%以上の判定精度を得ることができた。

### ② 継目板ボルトの判定精度向上

継目板ボルトの脱落判定は、軌間外側の継目板について行っている。継目板ボルトは図8右に示すように、互い違いに挿入されており、画像上でボルトの頭部が不明瞭となる場合がある。そのため、実際には正常に挿入されているにもかかわらず脱落判定される場合があった。

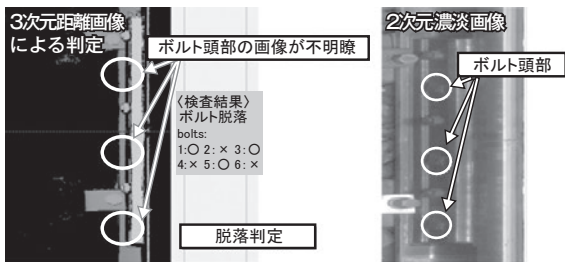


図8 継目板ボルトの誤判定例

そこで、3次元距離画像を取得するためのレーザーの配置を見直し、ボルト頭部からのレーザー反射強度の向上を試みた結果、図9に示すように、これまでボルトの頭部が検出できていなかった箇所においても検出可能となった。その結果、これまで正常に判定できていなかった143本のボルトにおいて、改良した結果全数正常に判定できるようになった。

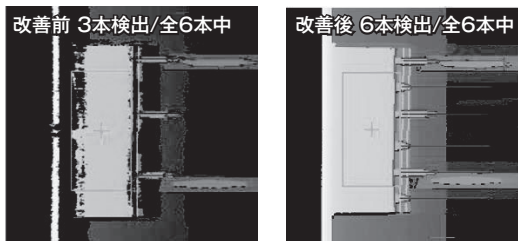


図9 レーザーの配置・反射強度改良前後における継目板ボルトの検出可否比較

### (3) 今後の課題と展望

これまでの改善により自動判定の精度は、大幅に向上したが、取得画像には他の軌道材料も含まれるため、更なる自動判定項目の拡大にむけた開発を進めていく。

## 3. データ分析

### 3.1 軌道変位の時系列分析

ある線区の過去1年間の軌道変位測定装置から取得された10m弦高低変位データについて位置合わせを行った後に、同一箇所の3か月間の継時的な軌道沈下データを図10に示す。年4回の周期で軌道検測している車両 (East-i) とのデータを比較すると、ほぼ同じ値を取得できていることが確認できた。また、既往の研究によると、軌道補修の直後は、指数

関数的に劣化しその後直線的に劣化する<sup>4)</sup>ことが示されているが、今回の高頻度データからも、グラフと良く対応しているが、今回の高頻度データからも、グラフと良く対応しているが、同じ傾向にあることが証明された (図10中の予測式)。

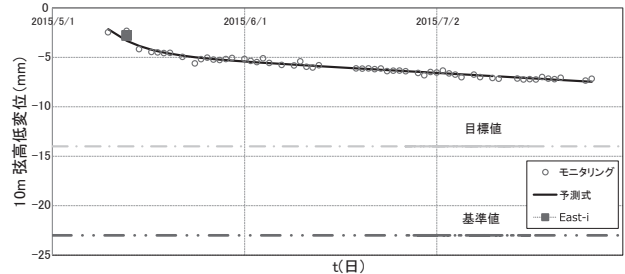


図10 軌道保守後における軌道沈下特性の例

さらに軌道沈下データを、継時的に詳細分析したところ、軌道保守作業の1つである総つき固めを行った後の10m弦高低変位の劣化特性は、図11のように4つに分類できることが明らかとなった。

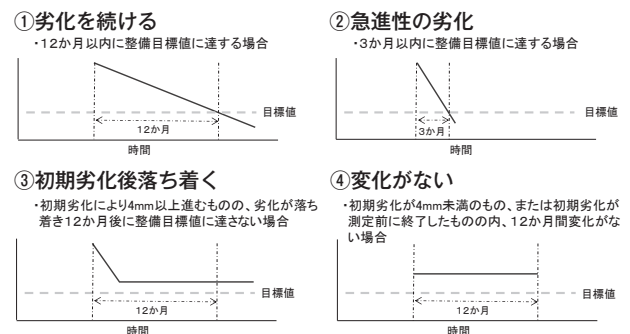


図11 総つき固めの10m弦高低変位の劣化傾向分類

### 3.2 MTT施工前後の軌道状態の分析

MTT施工区間の10m高低変位の指標 (P値:10m弦高低変位が3mm以上の割合であり軌道状態評価指標の1つ) を時系列分析した結果、図12の施工区間においては施工後にP値が大幅に良化したとともに、その後の劣化の傾きが緩やかになった。あらかじめ設置されたMTTレコーダから得られたMTT施工データと軌道状態を分析したところ、スキズ時間 (つき固めている時間) の増加が、施工後の軌道の良化状態の維持に寄与した要因であると推定された。一方、実作業で、スキズ時間と施工延長とは相反する関係にあるため、一律にスキズ時間を長くするのではなく、施工区間毎に効率的な施工方法を提案できるようにしたいと考える。

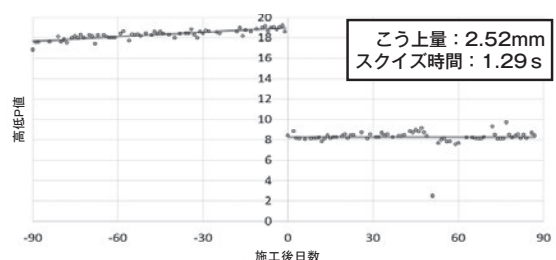


図12 MTTにより大幅に軌道状態が改善した例



## 4. 新たな意思決定支援の構築

### 4.1 意思決定支援システム

#### (1) 概要

意思決定支援システムは、線路設備モニタリング装置等より取得される大量データを活用し最適な修繕時期や修繕方法を提案することで、現場技術者が日々行っているメンテナンス業務をサポートするシステムを目指し開発を進めている<sup>5)</sup>。これまでプロトタイプシステムが完成し、試行導入を行っている。

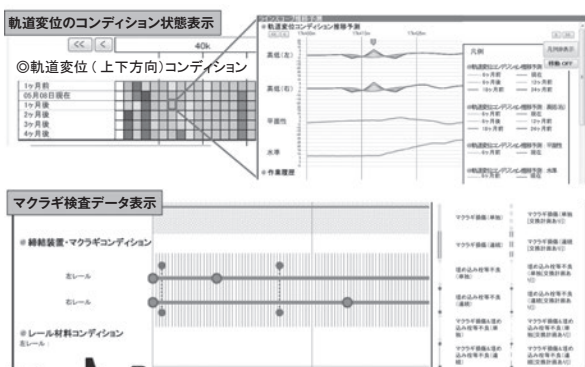


図13 現状のCBM支援システム機能例

今後は、当社の共通プラットフォーム化を見据えて、意思決定支援システムをクラウド環境に対応する必要がでてきた。そこで、次に現在開発中の新たな意思決定支援システム(以下、CBM支援システム)について述べる。

#### (2) 開発状況

現在更なる意思決定の機能向上に向けて開発を進めている。主な開発内容を以下に示す。

##### ①急進性把握機能の開発

CBM支援システムにて軌道変位の約1週間前の測定データからの移動量を算出し、移動量の大きな箇所を急進箇所として算出する機能。

##### ②レール締結装置ロット評価機能

軌道材料モニタリング装置データを活用し、レール締結装置の不良率に関するロット評価を表示する機能の開発を進めている。

##### ③MTT計画支援システムの機能向上

現在活用されているMTT計画支援システムは、軌道変位データから目標の軌道状態に向けた年間のMTT運用計画算出が可能一方で、支社の端末にのみインストールされていることや複数エリアのMTT運用計画を一度に算出が厳しく、操作性が必ずしも十分と言える状況ではない。そこで、より効果的な計画算出が出来るよう、視認性と機能の向上に取組む。

##### ④画像処理による軌道材料の異常検知機能

軌道材料モニタリング装置で取得される画像を解析することで、レールやレールボンド等の軌道材料の異常の有無が検知可能な機能の開発を進める。

### 4.2 今後の方向性について

線路設備モニタリング装置やその他デバイスから得られるさまざまなデータを統合すると共に、現場技術者の意見や要望を反映し、よりスマートなシステムを目指す。

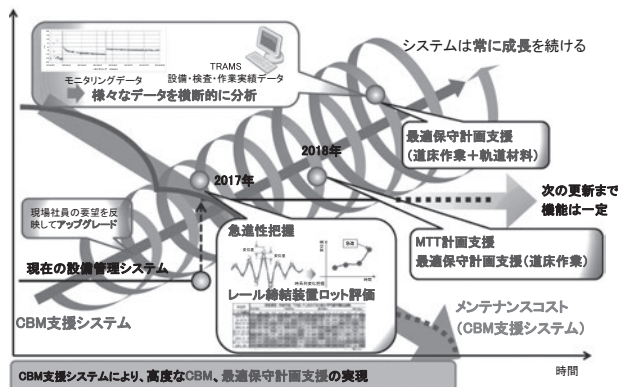


図14 CBM支援システム開発イメージ

## 5. おわりに

本稿で紹介した取組により、当社管内の電化区間の全ての線区を対象に、線路設備モニタリング装置の導入が計画されている。今後は、順次導入される線路設備モニタリング装置の現場支援を進めるとともに、大量のモニタリングデータを活用したCBM(状態監視保全)の深度化とメンテナンスの最適保守を実現する支援ツールの開発を推進する。また、非電化区間へのモニタリング装置の導入も含め、対象線区を拡大するための技術開発を引き続き行っていく。

### 参考文献

- 1) 三和, 矢澤, 佐野 山口; 高頻度の検測で軌道の状態変化を診る, RRR, Vol.73, No.2, pp.12~15, 2016.2.
- 2) 葛西, 矢作, 小野寺; 営業列車搭載型線路設備モニタリング装置の開発状況と今後の展望, JR EAST Technical review NO48-summer, 2014年
- 3) 佐藤, 矢作, 小野寺; 高頻度データを活用した軌道状態推移予測手法の開発, JR EAST Technical review NO48-summer, 2014年
- 4) 佐藤吉彦, 梅原利之; 線路工学, 日本鉄道施設協会, 1984.2
- 5) 西藤, 矢作, 小野寺; 意思決定支援システムの構築, JR EAST Technical review NO48-summer, 2014年