

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

Development of track facility monitoring device installed on a commercial train and this future prospect



葛西 亮平*



矢作 秀之*



小野寺 孝行*

A track facility monitoring device installed on a commercial train consists of a device which measures track irregularity, and a device which detects failure of track materials. A test of the device installed on the Keihin Tohoku Line started in May 2013 and it is still ongoing. The device can catch a change of track irregularity, and detect fastenings which fall out with very high probability in the general fastening. Including a metropolitan area, we finally aim at the introduction of the track facility monitoring device to JR-East whole.

●キーワード：線路設備モニタリング、検測、軌道変位、軌道材料

1. はじめに

線路設備モニタリング装置は、2008年頃から開発に着手し、2012年度末まで多目的試験車（MUE-Train）に試作機を搭載し、走行試験及び装置の改良を行い、所定の目標を満足する成果を得ることが出来た。その後、実用化を目指し、2013年5月から営業列車に搭載し、最終的な研究開発を行っている。

本稿では、営業列車での試験の状況と今後の展望について述べる。

2. 線路設備モニタリング装置の概要

本装置は、線路の歪みを測定する軌道変位測定装置とレール締結装置などの軌道材料の状態を測定する軌道材料検査装置で構成している。測定原理については既存の技術を利用しており、軌道変位測定装置は、九州新幹線で導入されている（公財）鉄道総合技術研究所が開発した慣性正矢法、軌道材料検査装置は、様々な産業界で利用されている3次元距離画像撮影・解析技術を利用している。

測定原理面では斬新さに欠けるものの、車両の床下に設置するため設置スペースや高さを厳しく制限させるとともに、車両の床下機器類の配置の関係で、測定上最適な位置以外に設置せざるを得ない場合があるなど機器の配置や構成に様々な工夫をしている。さらに、走行時の車体の揺れや曲線での左右方向への偏倚などへの対応も行っている。

なお、装置の原理やMUE-Trainにおける試験状況については参考文献¹⁾によるものとし、今回は詳細な説明を省略する。

3. 営業列車を使用した走行試験に向けた取組み

営業列車への搭載に際し、既設床下機器に支障しないことを前提に、搭載車両の選定を進めたが、設置スペースを確保できる車両が見つからず、機器の移設が最小限となる付随車（サハ）を選定した。具体的な搭載車両選定は、営業列車の運用に影響を与えないように、装置保全のため、車両センターに入場する計画となっていた浦和電車区109編成の9号車（E233-1209）に装置一式を搭載することとした。図1及び図2に、設置状態を示す。

【搭載車両】サハ E233-1209（浦和電車区 E233 109 編成）

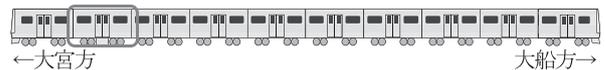


図1 搭載編成



図2 営業列車搭載型線路設備モニタリング装置の稼働外観

車両設計、鉄道事業法による設計確認等の手続きを行い、平成25年4月中旬に車両の改良及びモニタリング装置の搭載工事をおこなった。

また、測定機構についても全自動で測定が可能となる仕組みを開発した。これまでのMUE-Trainでの試験では、あらかじめ決められている試験走行ダイヤに基づき測定条件を無線伝送で車上機器に予約し、走行開始時に無線で機器の電源を投入し、測定を開始する機構としていた。

ところが、営業列車では、日々の運用により走行区間が異なる(図3)ことや、ダイヤが乱れた場合には運用変更が発生することから、測定条件を確実に車上機器に予約するには常に列車の走行位置等を把握する必要があり対応が困難であった。

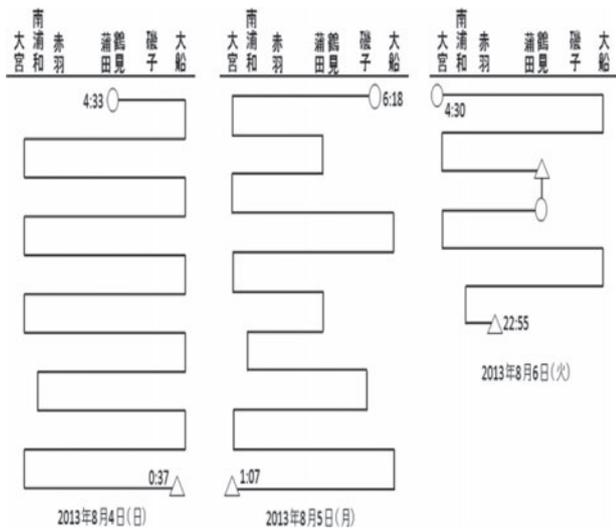


図3 列車の運用の一例

そこで、East-i等の測定で用いられているデータデポ(図4)を活用した全自動測定機構を付加した。具体的には、図5に示すように本線上に設置してあるデータデポを検知することにより、走行路線と現在位置を特定し測定を開始するものとした。データデポの活用により比較的安価に自動測定機構を開発出来たが、折返した駅前後では、列車の正しい位置の把握が困難であることから、測定不能区間が存在する欠点がある。



(左：車上子、右：地上子)

図4 データデポシステム



図5 測定開始デポの設置位置

4. 京浜東北根岸線での走行試験結果

走行試験開始時においては機器の初期不具合等の若干のトラブルが生じたが、想定内に収まり、その後は安定して稼働している。走行試験を開始した後、2014年2月末までの総走行キロは延べ11万9,200kmに達しているが(図6)、その後も、大きな装置の故障等もなく推移している。

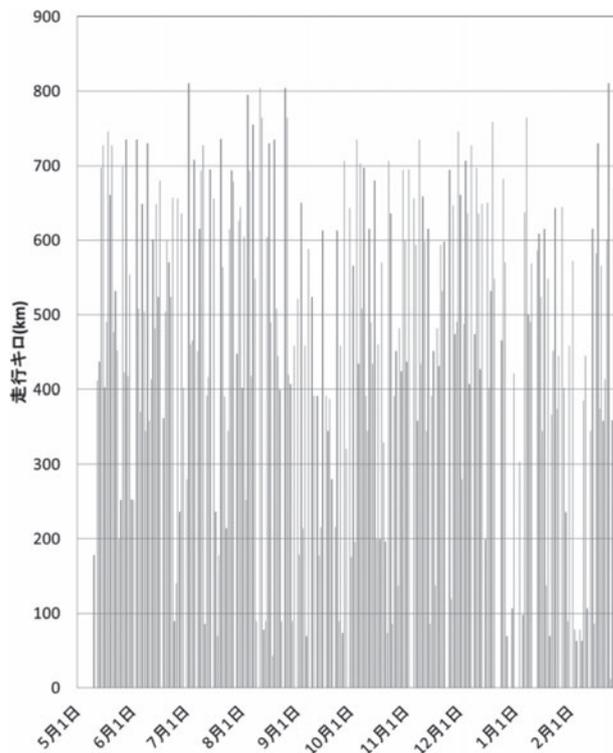


図6 日別走行キロ

4.1 軌道変位測定装置の状況

軌道変位測定装置は、走行中は常に測定しているので、莫大な量のデータを収集することが出来ている。図7に、East-iでの測定データとの比較を示す。

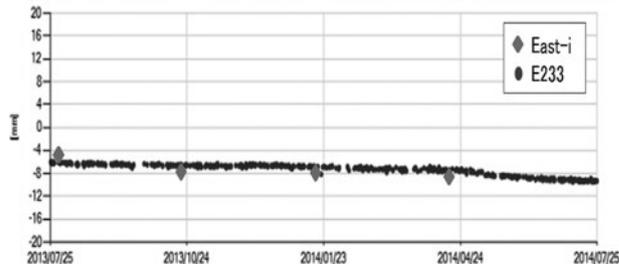


図7 営業列車による高頻度軌道変位測定例

測定データの活用法については、「高頻度データを活用した軌道状態推定手法の開発」の論文で報告するが、これまでの軌道検測車による測定周期では不可能であった軌道変位の推移を的確にとらえることが出来ている。図8及び図9に

軌道変位の推移の一例を示す。図8が大型機械 (MTT) による補修作業前後の推移、図9が人力作業 (タイタンパ) による補修作業前後の推移である。これまでは経験的にしか説明できなかった補修の効果の違いなどを数値ではっきりと確認することが出来る。

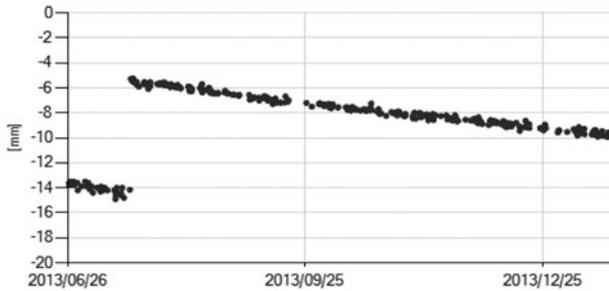


図8 大型機械 (MTT) による補修作業前後の推移

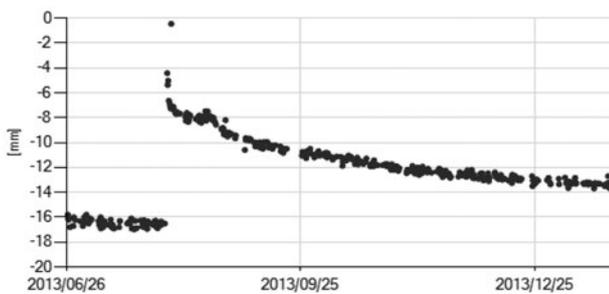


図9 人力作業 (タイタンパ) による補修作業前後の推移

4.2 軌道材料検査装置の状況

軌道材料検査装置についても順調に稼働している。ただし、収集している3次元距離画像データは、最新の伝送技術を駆使しても伝送が不可能なデータ量となっており、収録装置 (HDD) を手作業で交換しデータを収集しているため週一回程度の測定頻度となっている。図10にレール締結装置の脱落、図11に継目板ボルトの脱落を自動検知した例を示す。

試験開始直後は、満足する結果が得られなかったが、実測データを使用して画像データ解析手法の改良を重ねた結果、現在では、一般的な締結装置では非常に高い確率で締結装置の脱落を検知することが可能となっている。

4.3 リアルタイム測定 (異常検知と情報配信) 状況

軌道変位測定装置と軌道材料検査装置の双方に、異常を検知した場合には、直ちに情報を自動配信するリアルタイム測定機能を備えているが、この機能を活用するには解決すべき課題が多く、実用は困難であることがわかった。

軌道変位検査装置では、レーザー光を利用した測定原理の弱点である「光とび (レーザー光が反射してこない事象)」が、予測不能のタイミングで発生し、誤検知なのか異常値なのかの判断が不可能であることや、光とびを防止するための有効な対策が見つからなかった。また、今回の走行試験で



図10 レール締結装置の脱落画像

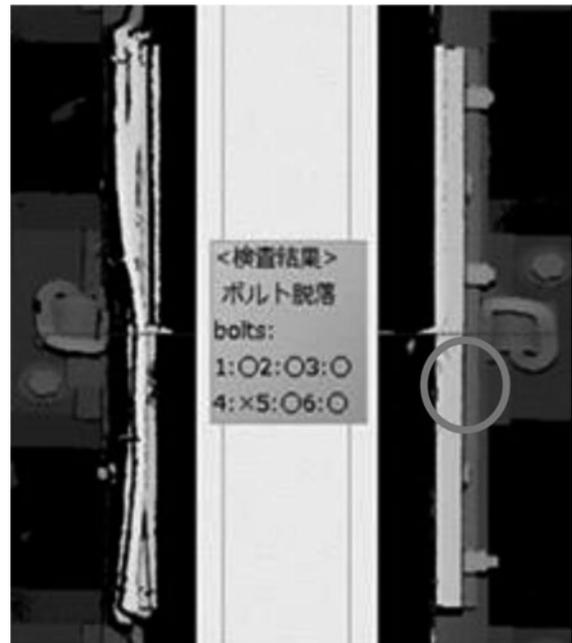


図11 継目板ボルトの脱落画像

自動配信された異常値は、全て誤検知であったことから、そのまま導入してしまうと、現場では、誤検知に振り回されることになる。

一方、軌道材料検査装置は、画像データ収集後直ちに解析を行い継目板のボルトの脱落等の異常を検知する仕組みであるが、画像処理能力の都合で、あらかじめ継目として登録されている位置に継目板の画像が写っている場合にのみ解析を行う仕組みとなっている。したがって、検査装置で認識した位置がずれているとボルトの脱落があっても解析されない場合がある。

また、画像の解析に一定の時間が必要であり短いレールが連続して敷設されている場合には、継目板ボルト全数の解析は困難であり、この点からも、ボルトの脱落を見逃す可能性がある。

よって、どちらの装置においても、「異常を全て検知し通知する」機能としてではなく、「明らかに異常と判断された場合のみ通知する」機能を有するリアルタイム測定装置として活用方法を探っていきたい。

5. 高頻度データがもたらす無限の可能性

軌道変位測定装置は、走行中すべてのデータを収集しているため、走行試験開始直後には、日々貯まり続ける莫大なデータを前に、「こんなに多くのデータを集めてどうしたらいいのだろうか?」と、苦悩した。しかし、データを分析していると高頻度データ活用の無限の可能性があることがわかった。

まず、測定不能や誤検知等の測定ミスのあるデータを除外しても、解析に必要なデータ数が確保できることである。測定ミスが許容できることは、機器の動作条件を緩和することにつながる。今回の開発においても、大雨時のレーザー光の不具合や、車輪の微小な滑走・空転でも速度発電機のパルス信号がずれることによる測定位置の不具合等の課題があった。これまでは、このような不具合の解消に向けて機器の改良を行うことが通例であったが、今回は、「不具合が発生したデータは使用しない」とのソフト対策によりハードの改良を行うことなく課題を解決することが出来た。

また、統計的な手法により測定機器の測定誤差をかなり高い確率で取り除くことが可能であることがわかった。

これは、機器の測定精度を大幅に緩和できる可能性を秘めている。現行の装置は、低速で走行した場合に測定精度が低下することを補うために、2種類の測定原理に対応した装置を搭載しているが、1種類の装置のデータだけで十分な精度を確保できる可能性がある。

1種類の測定原理の機器で測定が可能となれば、コストダウンだけでなく、機器の設置スペースの制約が大幅に緩和され、搭載可能な車両が増えることにつながる。

6. 今後の展望

今回の京浜東北・根岸線での走行試験結果が良好であることから、本格的な導入を前提として、本年度内に中央線と山手線のそれぞれ1編成の車両へ搭載する予定である。来年以降も、図12に示す首都圏エリアの路線の車両へ導入す



図12 首都圏導入イメージ

る計画を練っている。

また、並行して、地方幹線においても車両床下の限られたスペースに収めるために、今回開発した装置の一部機能を除いた装置を導入する計画を進めている(図13)。

一方、地方ローカル線においても、沿線住民や利用者が減少する中で路線を永続的に維持していくためには、営業列車による高頻度測定データを活用した管理手法の導入が不可欠である。そこで、測定項目の絞り込みと、床下スペースのより少ない車両であっても設置できる装置の小型・低廉化の開発を進め、早い時期に導入を図りたいと考えている(図13)。

最終的には、当社エリア全体の導入を目指している。

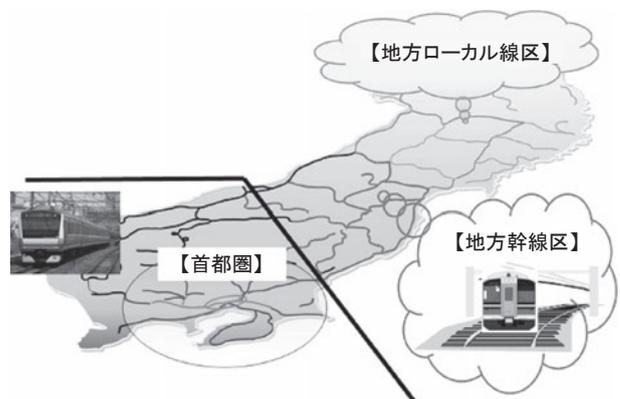


図13 線路設備モニタリング装置導入イメージ

参考文献

- 1) 寺島,松田,瀧川,小関:線路設備モニタリング装置の開発, JR EAST Technical review NO39-spring, 2012年