

線路設備モニタリング装置の開発

～営業車搭載用試作品の開発および
試験車による走行試験～



寺島 令*



松田 博之**



瀧川 光伸*



小関 昌信*

現在、線路設備の検査は、検測専用の車両や保線技術者の目視などにより定期的に行われている。検査の信頼性の向上や効率化を図ることをめざして、営業列車に検測装置を搭載し、軌道の状態を高頻度に監視（モニタリング）する技術開発を進めている。軌道材料および軌道変位の状態をモニタリングする装置として、「軌道材料モニタリング装置」および「車体装架型慣性正矢軌道検測装置」を開発し、試験車MUE-Trainに搭載して営業線での走行試験を行っている。軌道材料モニタリング装置については、軌道材料の異常状態を自動判定する機能を開発した。また、車体装架型慣性正矢軌道検測装置については、差分法と併用することにより低速時の測定精度向上が図られることを確認した。

●キーワード：線路設備モニタリング、距離画像、慣性正矢法、差分法

1. はじめに

走行中の鉄道車両を支えている線路設備は、列車の繰り返し荷重を受けることにより劣化が進行するため、それらの状態を検査により的確に把握し、適切な時期に修繕することが重要である。現在当社における在来線では、3ヶ月に1回の頻度で、電気・軌道総合検測車（East-i）によって動的変位（列車荷重作用時の軌道変位）を測定するほか、保線技術者の目や検査機器によって定期的に材料の劣化の状態を点検している。軌道変位を例としてあげると、軌道変位が所定の閾値（修繕の目安値）を超えた時点で、過去の経験や動揺検査データを考慮したうえで修繕時期を策定し、計画的に修繕を行っている。しかしながら、検測時に閾値に達していない箇所であっても、道床や路盤の状態などによって軌道変位が急進し、緊急の修繕を必要とする場合がある。それとは逆に、閾値に達しても、その後の軌道変位がほとんど進まない箇所では修繕計画を立てると、非効率な修繕を招く場合もある。

このように検査精度の向上や安全性、線路設備の信頼性向上のため、当社では、営業列車に検測装置を搭載し、軌道の状態を高頻度に監視（モニタリング）し、その異常を自動判定することをめざして開発を行っている。これにより、軌道の状態をいつでも正確に把握できるため、最適なタイミングでの修繕作業が可能となり、より確実に効率的なメンテナンスの実現が期待できる（図1）。また、故障の予兆や故障が発見された場合の運転規制、他の列車への情報配信などの早期対応が可能になる。さらに、目視検査の自動化により、作業負担の軽減を図ることができる。

本稿では、開発試作品を試験車「MUE-Train」に搭載した「軌道材料モニタリング装置」および「車体装架型慣

性正矢軌道検測装置」の概要と、実用化へ向けた状況を述べる。

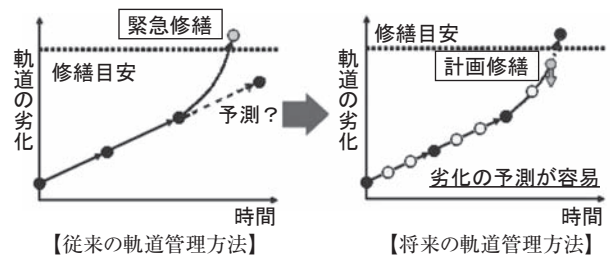


図1 高頻度な検査による軌道管理方法の変革

2. 軌道材料モニタリング装置

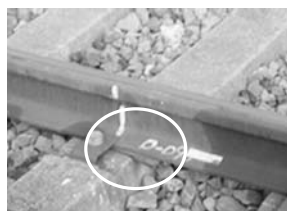
軌道材料モニタリング装置は、レール継目板ボルトやレール締結装置などの軌道材料を画像撮影し、その異常状態（図2）を自動判定する装置である。



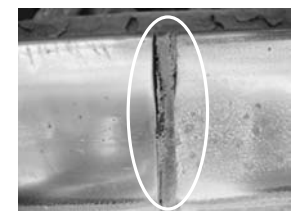
継目板ボルトの脱落



レール締結装置の緩み



軌道パッドのずれ



接着絶縁部のフロー

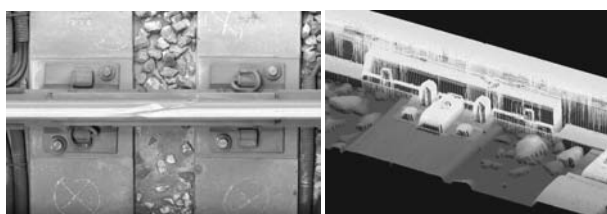
図2 軌道材料の異常状態の例

異常状態を高頻度に自動撮影、自動判定することができれば、線路設備の信頼性が向上するほか、定期検査や徒歩巡視の労力が軽減されると期待される。

2.1 軌道材料モニタリング装置の構成

開発を行った軌道材料モニタリング装置は、2つの収録装置で構成される。1つは、軌道材料の写真画像（2次元画像）を撮影するための濃淡画像撮影装置（ラインセンサカメラ）である。もう1つは、レール近辺の標高情報（3次元画像）を取得するための距離画像撮影装置（プロファイルカメラ）である。図3に各収録装置で得られる画像例を示す。

試作した床下ユニットの構成を図4に示す。試作にあたっては、営業車搭載を想定して、床下設置可能な寸法としている。内部には、ラインセンサカメラ、プロファイルカメラ、レーザプロジェクト、LED照明が内蔵されている。



濃淡画像 (2次元) 距離画像 (3次元)

図3 各収録装置で得られる画像

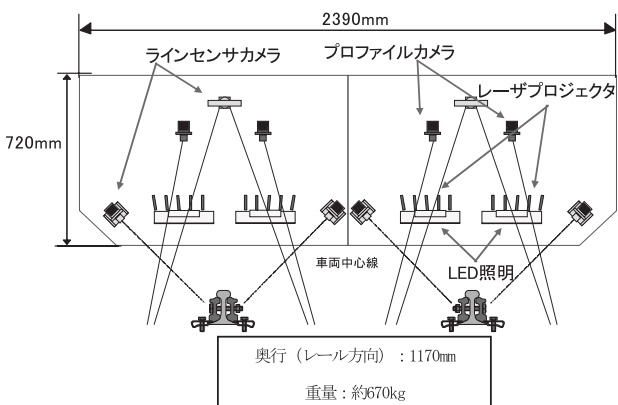


図4 床下ユニットの構成

2.2 MUE-Trainを使った走行試験

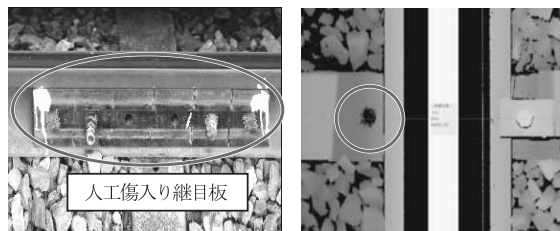
営業列車搭載を目的とした軌道材料モニタリング装置の精度確認を目的とし、2012年1月に試作した営業車搭載用検測装置をMUE-Trainに設置し（図5）、データ収録試験を行っている。

軌道材料の異常状態の自動判定抽出結果の例を図6に示す。濃淡画像は継目板のき裂や接着絶縁のフロー検出などに、距離画像は締結装置の脱落・緩みや軌道パッド抜け箇所などの抽出に使用されている。

異常判定の仕組みを距離画像による判定を例に図7に示す。図では、白色の箇所ほど標高が高く、黒色の箇所ほど



図5 材料モニタリング装置の設置状態



継目板のき裂(濃淡) 締結装置の脱落(距離)

図6 各画像での異常箇所抽出結果

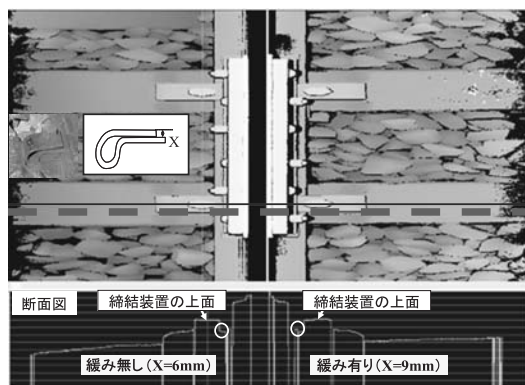


図7 距離画像における判定の仕組み

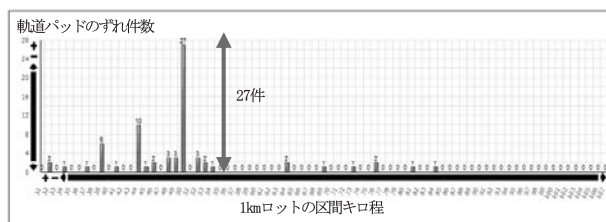


図8 軌道パッドずれの判定結果グラフ表示

標高が低いことを表している。ただし、レール頭頂面は今回は収録対象外としている。また、破線の断面図を下の画面に表示している。例えば、この図のようにボルトが緩むと高さが変化することを利用して、ボルトの緩みを検知することができる仕組みとなっている。これまでの走行試験の結果より、図のような軌道材料の濃淡画像・距離画像の収録が120km/hまでの速度域で可能であることを確認した。

また、レール締結装置の緩みや軌道パッドのずれなどを、キロ程ごとの検査結果グラフや、経年変化を表すトレンドグラフで表示することが可能である。図8は軌道パッドのずれの判定結果グラフ表示の例である。X軸が1kmロットの区間キ

口程、Y軸に軌道パッドのずれ件数を示している。また、キロ程を指定することで、指定位置の距離画像・濃淡画像を表示することも可能である。

3. 車体装架型慣性正矢軌道検測装置

車体装架型慣性正矢軌道検測装置は、軌道変位（高低、通り、軌間、水準、平面性）を営業列車から高頻度に測定し、変位進みをきめ細かく把握することをめざして開発している装置である。従来の電気・軌道総合検測車は、検測装置が台車に直接取付けられているほか、車上に演算処理装置が必要であり、全体的に複雑な構成となっている。そのため、現行検測車に搭載されている装置をそのまま営業列車に設置するのは難しい。営業列車に設置するためには車上の演算処理装置を含め、シンプルで車上搭載を必要としない構成とする必要があり、これを実現できる手法として慣性正矢法による軌道検測手法（（公財）鉄道総合技術研究所による開発）を選定した。

3.1 慣性正矢軌道検測装置の概要

図9に示すとおり、検測ユニットの内部には加速度計、光ファイバージャイロ、2軸レール変位検出装置などが内蔵されている。車体で加速度を測定し、それを積分することにより装置自体の絶対変位を慣性法により算出するとともに、装置とレールの相対変位を2軸レール変位検出装置により測定する。この両者の差を計算することにより、軌道変位が求められる。図10に従来の偏心矢法と慣性正矢法の測定の比較イメージを示す。

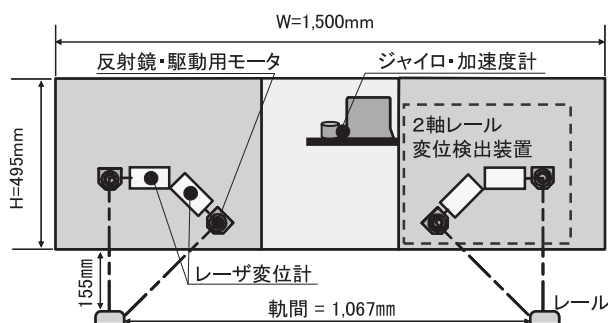


図9 床下装置の構成

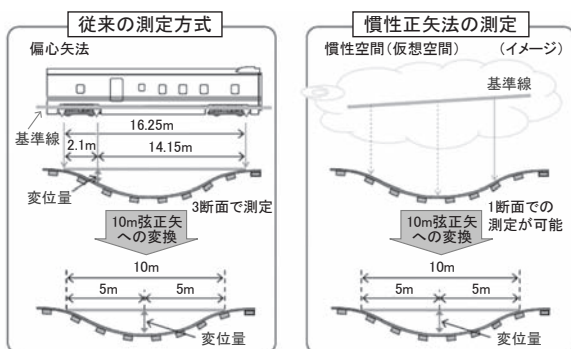


図10 従来の測定方式と慣性正矢法による測定の比較

3.2 実用化へ向けた検測精度向上の取組み

既存研究¹⁾により、高速走行（30km/h以上）時における、慣性法と現行検測車との整合性は確認されている（図11）。同様に、繰返し測定時の再現性についても実用精度は確認されている。しかし一方で、慣性法による測定は低速走行（30km/h以下）時に、適切な加速度域を得ることができないことから検測精度が低下することが知られており、実用化へ向けた課題となっている。そこで、低速時での精度を補償する手法として差分法²⁾を採用した。差分法とは、2点のレール変位検出器の値とジャイロ装置による角度補正にてレールの変位を検測する手法である。本開発では、速度域に応じて慣性法と差分法の測定結果をミックスし演算する方法を検討し、検測装置の試作を行った。図12に示すように、試作を行った検測装置を2012年1月にMUE-Trainに設置し、走行試験を実施している。

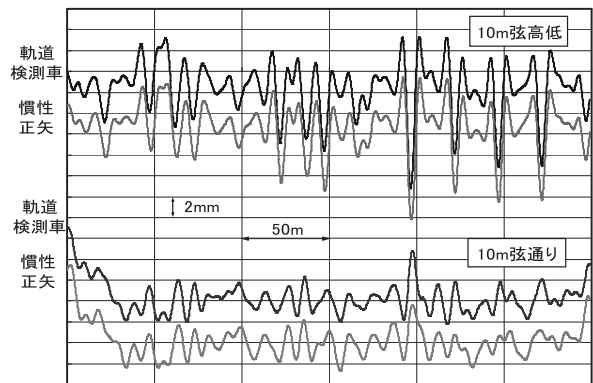


図11 現行検測車と慣性正矢の比較

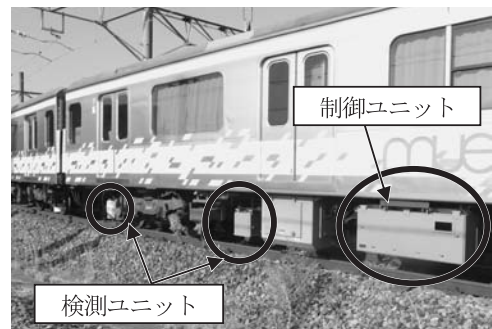


図12 慣性正矢軌道検測装置の設置状態

走行試験による測定値の再現性誤差を表1に示す。繰返し測定時の再現性誤差の標準偏差（ σ ）は在来線では0.5mm以内を目標としている。今回試作した慣性法と差分法の併用による検測装置は、慣性法のみとの σ に比べて小さくなっており精度は向上しているが、一部区間で0.5mmに収まっていない。

今後、ジャイロの性能・特質に着目し誤差低減ができる方法を検討し、引き続き実用精度を満足するよう検討を重ねていく。

表1 低速時における測定値の再現性誤差

検測項目	慣性法のみ	慣性法・差分法併用
10m弦高低	7.4~11.9(mm)	0.3~1.5(mm)
10m弦通り	12.9~17.5(mm)	0.3~1.5(mm)

4. データ伝送技術の開発

実運用を考えた際、図13のように、各現場から遠隔操作にて検測の開始と終了の操作を行う必要がある。また、安全・安定輸送に影響を及ぼすおそれのある著大な測定値が検出された場合にはただちに運転規制を発令したり線路の補修を行うことが要求されるため、車上でリアルタイム判定を実施し、その結果を地上へと伝送する機能が求められる。

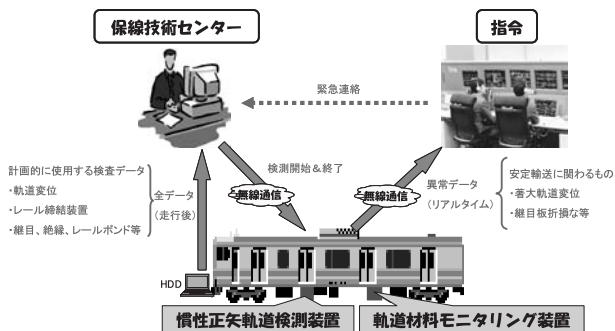


図13 実用化イメージ

4.1 遠隔操作技術の開発

営業列車での検測では、各保線技術センターで検測の開始や終了を操作する必要がある。そこで、今年度は軌道材料モニタリング装置・慣性正矢軌道検測装置共に遠隔での操作および収録を可能とする機能を追加した。これにより事務所内での遠隔操作が可能となり車両基地などでの作業は不要となった。

4.2 リアルタイム判定処理機能の開発

2010年度までの開発³⁾では、軌道材料モニタリング装置の自動判定処理システムは、データ処理能力の制約から地上での処理を前提にしていた。しかしながら、列車運行に大きな影響を与える可能性のある著大軌道変位や継目板ボルトの折損や継目板の損傷などについては、その不良箇所情報をリアルタイムに地上へ伝送することで、輸送のダウンタイムをできるだけ短くすることを目指している。そこで、安全・安定輸送に大きな影響を与える可能性のある測定項目については車上でリアルタイム判定を可能とする機能の開発を行った。

5. 今後の展開

今後本格的な導入を目指し、実際の営業列車での試験検測を実施し、最終的な確認を実施していく予定である。また、図14に示すように現在モニタリング機器と次世代車両制御システム「INTEROS」(以下、INTEROSと記す)との接続に向けた開発を進めている。INTEROSと接続することにより、車両の持つさまざまなデータ(線名・線別・経路・車輪径等)を入手することができ、現在、手入力している項目の大半が自動的に車両から取得できるようになる。入力ミス削減や変更情報を確実に反映させることで、操作性や検測の信頼性向上を図っていく。

また、上述のとおり実際の営業車での運用を目指し、無線での遠隔操作を可能としたほか、安全・安定輸送に関する項目の車上でリアルタイム判定し情報伝送する機能を開発した。2012年度以降は、現場での操作方法の容易さの検証・営業列車での試験・検測装置の検査体制の構築など、実導入へむけて、最終確認および調整の段階へ入る予定である。



図14 INTEROSとの接続試験

6. おわりに

軌道材料モニタリング装置については、濃淡および距離画像を用いて軌道材料の異常状態を自動判定する機能を開発した。また、車体装架型慣性正矢軌道検測装置については、差分法と併用する検測装置を開発し、課題となっていた低速時での検測精度向上が可能となる見通しを得た。

なお本開発では、車体装架型慣性正矢軌道検測装置の開発において、(公財)鉄道総合技術研究所に多大なるご協力を頂いた。この場を借りて厚く御礼申し上げる。

参考文献

- 1) 坪川, 矢澤, 小木曾, 南木: 車体装架型慣性正矢軌道検測装置の開発; 鉄道総研報告, 2012年2月号
- 2) 矢澤, 南木, 松田: 2次差分法による慣性測定時の低速時通り検測精度補償, 土木学会年次学術講演会講演概要集 第4部 Vol: 65巻 年: 2010年 頁: 407-408, IV-204頁
- 3) 松田, 片岡, 瀧川, 小関: 営業列車による地上設備モニタリング; JR EAST Technical Review NO32-Summer, 2010年