

線路設備の点検・検査の自動化と現場適用

新幹線線路設備モニタリング車の開発

須藤 雅人・星野 真澄・中郷 智

高速で走行する新幹線の安全・安定輸送の実現には、線路の状態を適正に保つことが極めて重要である。また、線路の状態を適正に保つためには、線路設備の点検・検査の品質を向上させ、線路の状態を高精度に把握する必要がある。特に軌道材料の状態は、これまで技術者が線路を歩いて目視・目測で点検したり、手押し式の機械や専用の器具を用いて検査したりしていたが、労働人口減少による働き手不足等により機械化、省人化が求められている。本稿では、線路点検・検査の品質の向上と自動化、省人化を目的として開発した新幹線線路設備モニタリング車と業務システムについて紹介する。

キーワード：線路メンテナンス、保守用車、画像認識、AI、MMS、省人化

1. はじめに

高速で走行する新幹線の安全・安定輸送の実現には、線路の状態を適正に保つことが極めて重要である。また、線路の状態を適正に保つためには、線路設備の点検・検査の品質を向上させ、線路の状態を高精度に把握する必要がある。線路設備の点検・検査の項目は多岐にわたるが、大別すると線路のゆがみ(以下、「軌道変位」という)と軌道材料の状態がある。軌道変位は、レールの幾何学的なずれ(軌間、高低、通り、水準、平面性)であり、従来から軌道検測車で測定している。一方、軌道材料の状態は、レールやマクラギなどの線路を構成する材料の保守状態や機能状態であり、技術者が線路を歩いて目視・目測で点検したり、手押し式の機械や専用の器具を用いて検査したりしていた。しかしながら、昨今、労働人口減少による働き手不足や、熟練の技術者の退職による技術力の低下への懸念により、線路メンテナンスにおいても機械化、省人化が求められている。本稿では、線路点検・検査の品質の向上と自動化、省人化を目的として開発した新幹線線路設備モニタリング車と業務システムについて紹介する。

2. 新幹線線路設備モニタリング車

写真-1に、新幹線線路設備モニタリング車の外観を示す。新幹線線路設備モニタリング車は、線路設備の種類に応じて、軌道材料モニタリング装置、分岐



写真-1 新幹線線路設備モニタリング車

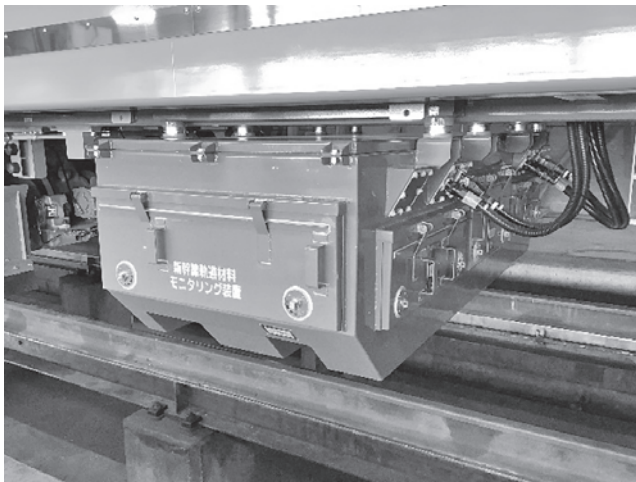
器モニタリング装置、点群データ取得装置という3種類のモニタリング装置を搭載する保守用車である。この保守用車は、線路上を最高70 km/hで走行しながら線路設備の点検・検査に必要な数値データや画像データを測定できる。また、延長にすると1日で最大100 km程度を測定できるため、1日最大10 km程度が限界であった従来の徒歩等による方法と比べると、圧倒的に効率的なデータ収集が可能となる。

3. 軌道材料モニタリング装置

軌道材料モニタリング装置の概要を以下に示す。

(1) 機器構成

写真-2に、軌道材料モニタリング装置の外観を



写真一 2 軌道材料モニタリング装置

示す。軌道材料モニタリング装置は、車体下部の台車間に搭載されている。対象物の位置座標を点群として収録するプロファイルカメラ5台と色彩の濃淡を表す画像を収録するラインセンサカメラ7台を搭載している。各カメラで取得できる画像を、距離画像、濃淡画像と呼ぶ。撮影は車両が走行することで軌道材料を上方向から連続的に行う。距離画像と濃淡画像を用いて、これまで目視等で実施していた線路点検・検査の一部の項目の自動判定を行う。

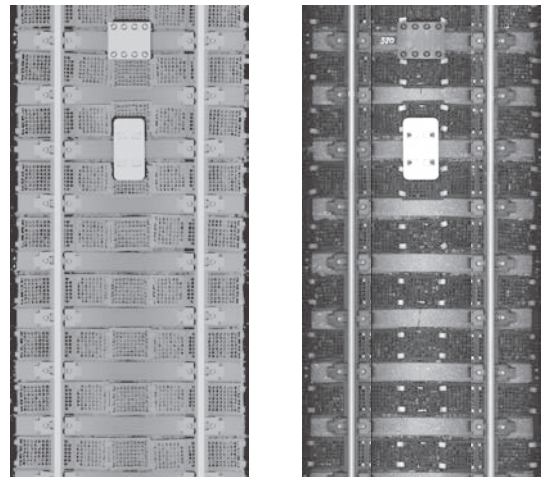
(2) 取得画像

図一 1 に、バラスト区間の距離画像と濃淡画像を示す。距離画像は、対象物までの距離情報を持った画像(画素数：2,500×5,000, 長手方向の解像度：1.0 mm)である。レーザーを対象物に照射し、そのレーザーに対してプロファイルカメラの角度を付けて撮影することで、三角測量の原理によって奥行き(距離情報)を付加している。本装置ではカメラから対象物までの距離を画像として記録することで、レールとマクラギを留める金具である締結装置の脱落などの自動判定ができる。

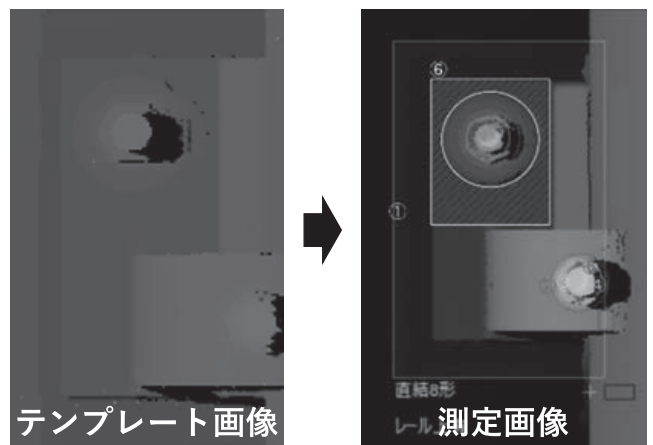
濃淡画像はデータ容量などの観点から256階調(画素数：1,024×10,000, 長手方向の解像度：0.5 mm)である。本装置では軌道面全体を撮影し、軌道材料のシステム上での目視確認等に活用する。

(3) 自動判定手法と精度

本装置の判定項目のうち、締結装置の脱落の判定方法を紹介する。まずあらかじめ撮影した画像を用いて、ソフトウェア上で判定対象となる締結装置にマーカーを付与し、判定の基本となる情報(締結装置の種類や位置、判定時の閾値)を付加した基準データを作



図一 1 距離画像(左)と濃淡画像(右)



図二 テンプレートマッチング

成する。次に判定用に新たに撮影した画像の位置を基準データとあわせ、図一 2 に示すように、判定用の距離画像を締結装置の種類ごとに準備されたテンプレート画像(距離画像)とマッチングさせる。そして、マッチングスコアが閾値より低かった場合に締結装置の脱落と判定する。新幹線本線における試験の結果では、99.7% (N=17,449) の精度で判定できており、判定不良となった箇所は、全てレールボンド等の支障物の介在によりマッチングスコアが低くなった箇所であった。

4. 分岐器モニタリング装置概要

分岐器モニタリング装置の概要を以下に示す。

(1) 機器構成

図一 3 に、分岐器モニタリング装置の構成を示す。台車中央に搭載する分岐器モニタリング装置は、左右ボックス、基本レール測定用ボックス、慣性ユニット

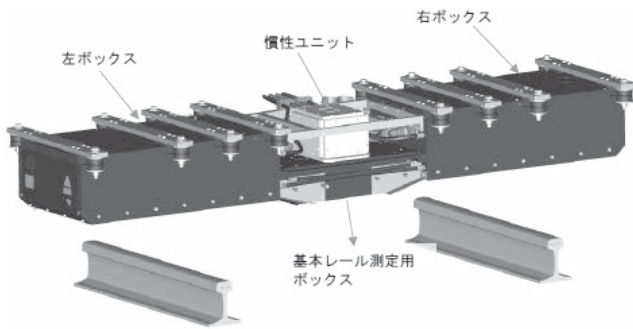


図-3 分岐器モニタリング装置

で構成される。左右ボックスおよび基本レール測定用ボックスには、光切断法により対象物の位置座標をとらえるプロファイルカメラが12台、レーザーが8台搭載されている。これらと慣性ユニットに搭載されたジャイロスコープ、加速度計のデータを合わせて慣性測定による軌道変位の測定ができる。また、レールの摩耗等を算出するためのレール断面画像の取得ができる。

(2) 測定概要

(a) 軌道変位測定

軌道変位は慣性測定で取得しており、軌間、高低、通り、水準、平面性等を測定できる(図-4)。測定間隔は250 mm ピッチで、測定中は車上で軌道変位チャートを確認でき、設定した閾値を超過した変位を検出した場合は、超過値の情報を出力して検測者に知らせることができる。

(b) 分岐器測定

分岐器区間では、10 mm ピッチでレール断面画像を取得し、事後処理により分岐器各部のレール摩耗やフランジウェイ幅を測定する。なお、図-5に示すように、レール摩耗については基準となるレール断面(設計断面等)に対して測定したレール断面を重ね合わせ、その差分を摩耗量として算出する。

(3) 精度検証

(a) 軌道変位測定

複数の大きさの分岐器について繰り返し測定による再現性の確認を行った。再現性の目標精度(1 σ)は手押し式の装置の精度(高低・通り:2.0 mm, 軌間・水準:1.0 mm)とした。検証の結果、欠線部のない分岐器については最大1 σ =0.32 mm(軌間)であり目標精度を満たした。一方、欠線部のある分岐器については、欠線部でレールが途切れていることが原因の異常値が発生しており、軌間の目標精度を満たさなかった。そこで、欠線部についてはレール頭部内側でレール断面形状を直線補間する処理を実装し1 σ =約

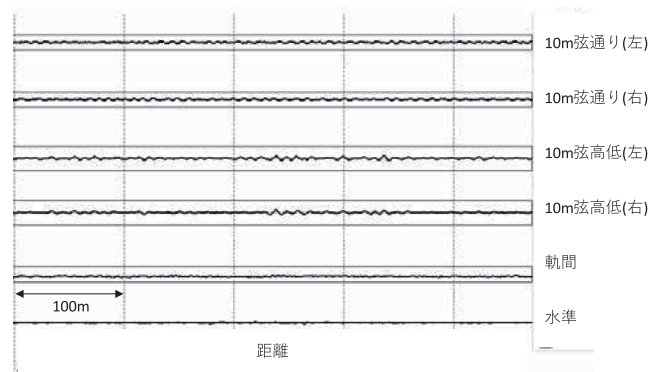


図-4 軌道変位チャート

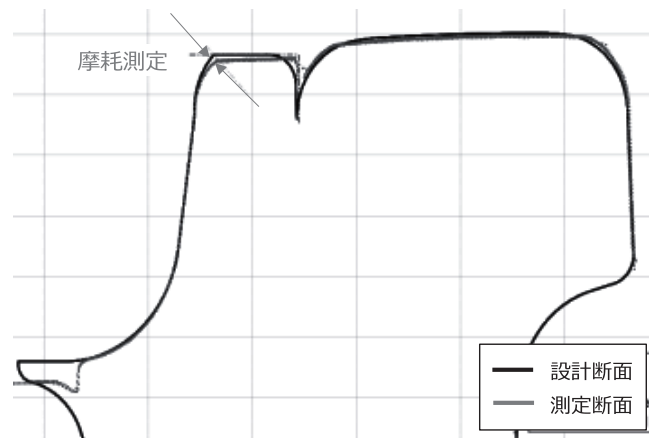


図-5 分岐器内レールの摩耗測定

0.4 mm まで改善した。

(b) 分岐器測定

分岐器内のレール摩耗についても同一の分岐器の繰り返し測定による再現性の確認を行った。こちらも再現性の目標精度(1 σ)は手押し式の装置の精度(1.0 mm)とした。分岐器のポイント部とクロッシング部それぞれで垂直・斜め・水平の摩耗量を測定した結果、最大1 σ =0.35 mm であり目標精度を満たした。

5. 点群データ取得装置概要

点群データ取得装置の概要を以下に示す。

(1) 機器構成

写真-3に、点群データ取得装置の外観を示す。屋根上にレーザープロファイラ2台、IMU 1台とGNSSアンテナ2台、その他にデジタルカメラ、LED照明、降雨センサを搭載している。レーザープロファイラのスキャン回転数は、200 Hz 以上であり、設置角度は鉛直方向45°、水平方向は左右にそれぞれ45°である。降雨センサにより降雨等を検知した場合には、自動で



写真-3 点群データ取得装置

雨除けカバーが閉じてレーザプロファイラを保護する機構である。

点群データ取得装置は、MMS (Mobile Mapping System) の技術を活用して走行経路周辺の空間情報 (点群データ) を取得するシステムである。GNSS および IMU から算出した詳細な位置・姿勢情報とレーザスキャナで取得した照射点の相対座標を同期することで、点群データを取得する。

(2) 取得データの処理と解析システム

本装置で取得した計測データの処理は、1次処理と2次処理に大別される。1次処理は、計測した位置データとレーザデータから点群データを生成する処理である。2次処理は、専用に開発した点群データ処理システムで点群データを読み込み、図-6に示すように、レールや2対のレールの中心である軌道中心線を算出したり、キロ程や線区・線別IDの付与を行ったりする。さらに、下り線と上り線の離れ量である軌道中心間隔や線路上の構造物の建築範囲の限界である建築限界への干渉物等の自動判定処理の機能を実装しており、線路の点検・検査等に活用できる。

(3) 軌道中心間隔の測定精度

図-7に示すように、軌道中心間隔は、点群データから抽出された隣り合う2つの軌道の軌道中心線の最短距離として任意の間隔で自動的に算出できる。ここで算出された値を規定値と比較して判定を実施する。

精度検証では、新幹線本線の直線100mの2区間を速度25km/hおよび50km/hで各6試番走行して計測した点群データから、上記の方法で軌道中心間隔を10m間隔で算出して評価を行った。同区間について治具を用いた従来の手法で検出した結果を真値とし



図-6 軌道中心線の抽出

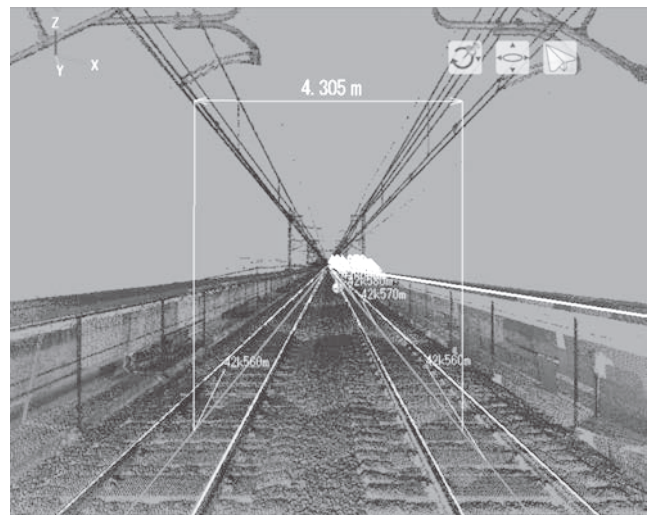


図-7 軌道中心間隔の自動判定

た場合、速度によらず全試番での最大誤差は6.5mm、標準偏差は2.0mmであり実務上十分な判定精度であった。

6. 業務システムと現場適用

新幹線線路設備モニタリング車を線路メンテナンスの業務に適用するため、本保守用車で測定したモニタリングデータで線路の点検や検査ができる業務システムを開発した。表-1に、本システムで確認できる項目を示す。システム上には、各項目の自動判定の結果が不良となった項目のみが表示される。技術者は表示された不良箇所について、写真-4に示すように線路画像 (濃淡画像) を確認しながら最終的な判定結果 (良または不良) を入力する。新幹線線路設備モニタリング車および本システムの導入により、従来は徒歩等で定期的に現地へ赴いていた時間を削減できる。

表一 業務システムの確認可能項目

No.	測定項目	測定装置
1	締結装置の脱落	軌道材料モニタリング
2	締結装置の緩み	軌道材料モニタリング
3	軌道パッドの飛び出し	軌道材料モニタリング
4	レール踏面状態（表面傷）	軌道材料モニタリング
5	接着絶縁部の不良（頭面フロー、開口）	軌道材料モニタリング
6	接着絶縁部の不良（ボルト脱落）	軌道材料モニタリング
7	下部建築限界の支障	軌道材料モニタリング
8	伸縮継目のストローク／照り面状態	軌道材料モニタリング
9	ロングレール移動量	軌道材料モニタリング
10	分岐器トングレールの左右食い違い	軌道材料モニタリング
11	分岐器のバックゲージ／フランジウェイ幅	分岐器モニタリング
12	分岐器レール摩耗	分岐器モニタリング
13	軌道変位	分岐器モニタリング
14	軌道中心間隔	点群データ



写真一 業務システム

一方、削減した時間を繰り返しの確認を要していた不良箇所の入念な確認や対策の立案等の分析・修繕計画策定業務に充てることができるため、生産性の向上も実現できる。

7. おわりに

本稿では、線路点検・検査の品質の向上と自動化、省人化を目的として開発した新幹線線路設備モニタリング車と業務システムについて紹介した。自動判定できる項目は今後の開発により増えていく見込みであり、さらなる判定精度向上にも取り組む。これらの取り組みにより、新幹線の安全安定輸送のさらなるレベルアップと線路メンテナンス業務の生産性向上を実現する。

JCMA

【筆者紹介】



須藤 雅人（すとう まさと）
東日本旅客鉄道㈱
新幹線統括本部
新幹線設備部 保線ユニット
主務



星野 真澄（ほしの ますみ）
東日本旅客鉄道㈱
八王子支社 八王子保線設備技術センター
主任



中郷 智（なかごう さとし）
東日本旅客鉄道㈱
JR東日本研究開発センター
線路技術メンテナンスユニット
主任