保線分野における IoT と AI

東日本旅客鉄道株式会社　正会員　○竹田　一隆
東日本旅客鉄道株式会社　正会員　佐久間浩二
東日本旅客鉄道株式会社　正会員　嘉嶋　崇志

1．はじめに

本稿では、JR 東日本の保線部門で取り組んでいる IoT の導入状況について概説する。まず、保線分野における IoT の特徴を整理したうえで、新たに導入した線路設備モニタリング装置を活用した業務変革の内容を紹介する。その上で、開発、試験、導入のプロセスで得られた保線分野の IoT に関する課題を述べ、今後の指針を示す。

2．保線分野における IoT の特徴

IoT とは、「モノ」の状態をセンシングして、その結果をインターネットにつなぐことと定義すれば、具体的には、以下のような流れで実務に反映することができる。①センシング、②データ伝送（インターネット接続）、③データ蓄積、④データ分析、⑤（実務への）フィードバック。IoT の本質は、センシングやデータ蓄積、分析にあるのではなく、データによる分析結果を実務にフィードバックすることである。この点は、保線分野であろうとも変わらない。保線分野における特徴は、センシングの方法と代替性が低い軌道を対象としている点である。

2.1 センシングの方法

一般にセンシングは、変化のある「モノ」自体にセンサーを取り付けてデータを取得する場合が多い。しかし、このような方法は保線分野ではあまり得策ではない。JR 東日本だけでも軌道延長は 10,000 キロを超えており、レールの長さは 30,000 キロもある。マクラギも 2,000 万本超あり、レールとマクラギを留めるレール締結装置は約 4,000 万個に及ぶ。また、列車運行中に線路周辺に立ち入ることは、安全上の観点から容易ではなく、センサーが故障した場合に復旧することは非常に困難である。つまり、このような線状の構造物に対しては、列車という移動体でセンシングすることが有利である。

移動体でセンシングする技術自体は専用車によるものであれば、実用化されてから久しく、デジタル測定で測定速度も 275km/h まで対応可能である。しかし、専用車による測定は、営業列車の合間や本来は軌道の補修を行う終電初電間の時間帯に走行させる必要があり、制約条件が大きい。また、1 編成あたり数十億円と非常に高価であり、限られた編成で全ての線区を測定するため、高頻度の状態監視は難しい。そのため、営業列車を用いてセンシングするという帰結となるが、長く技術的に困難であった。近年のデバイス技術と通信技術の進展により、営業列車による軌道検測が可能となっており、JR 東日本でも本邦初となる在来線営業列車による軌道検測 ―線路設備モニタリング― の実用化に目途をつけている。

2.2 代替性の低い軌道

軌道は、供用を開始すると置換えが困難であり、その代替品や予備品もないため常時使用となる。さらに、140 年間かけて形成された鉄道網は、その強度や精度も時代の技術を反映している。従って、軌道の沈下量は、場所ごとの違いが大きく、同じ路盤構造、軌道構造、列車本数であっても、十数ミリ以上異なる（図-1）。さらに、これら沈下量を目視点検で予測することは困難で、専用車による検測結果に周辺環境や材料状態を踏まえた経験則を加味して補修時期を判断している。一方で、列車が安全かつ安定的に走行するために許容されている変位量は小さく、鉛直方向の沈下量では、5cm 程度でも悪条件が重なれば脱線の恐れがある。

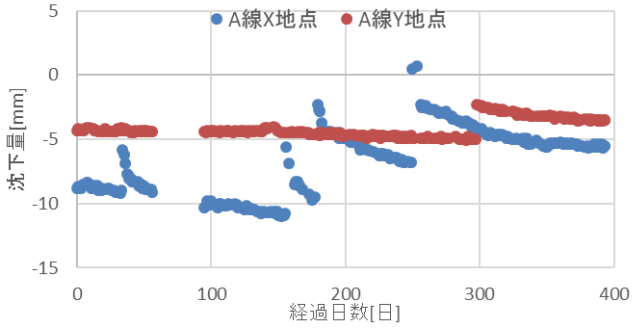

図-1　沈下量の推移

このように、保線の実務は膨大な数の構成材料からなる線状の構造物を常時使用する前提で、周期的なデ

キーワード　線路設備モニタリング、CBM、位置合わせ、スクリーニング
連絡先　〒151-8578　東京都渋谷区代々木 2-2-2　東日本旅客鉄道株式会社設備部線路技術革新 PT

ータを基に、高い精度で維持することが求められている。このため、保線分野における IoT の導入は軌道の状態を時間的かつ空間的に連続して把握することを可能にし、状態監視を踏まえた補修の最適化が図られる大きな可能性を持っている。

3． IoT の実用化

3.1 フィードバック内容

導入を進めている線路設備モニタリング装置は、線路の歪みを把握する軌道変位モニタリング装置と軌道材料の状態を把握する軌道材料モニタリング装置に大別される（図-2）。これら装置を営業列車の床下に搭載してデータを取得している。軌道変位モニタリングのデータは携帯電話回線経由で、軌道材料モニタリングのデータは SSD に保存した上でクラウドに伝送し、分析を行う仕組みとしている（図-3）。これらモニタリングデータは大きく 2 つの目的で実務にフィードバックを行っている。

① 軌道の目視点検の支援や回数の効率化

② CBM の導入

軌道のメンテナンスサイクルは非常に短いため、高頻度な徒歩による目視点検で状態を把握している。モニタリングによりこれら目視点検の精度向上と労力軽減が可能となる。CBM は、軌道変位を高頻度に把握することで、定量的な劣化予測に基づく補修計画の策定によってコストダウンを図るものである。

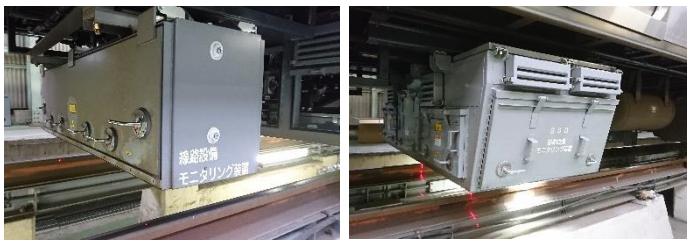

図-2 線路設備モニタリング装置

3.2 実用化の課題

これら営業列車による IoT の実用化には、3 つの大きな課題があった。

一つ目は、データの位置合わせである。列車による測定では、車輪の回転で距離を測定する特性上、滑走や空転等により取得データの位置がずれる特徴がある。走行する列車の位置を高精度に特定することは実務上難しく、取得したデータを処理して位置を合わせる必要がある。

二つ目は、スクリーニングである。軌道材料モニタリング装置のデータは 1 年間で 500 テラを超える。これら大量の画像データから軌道材料の不具合を特定し実務で活用するためには、画像処理に工夫が必要であることに加え、保線技術者が判断する前段にスクリーニングの仕組みが求められる。

三つ目は、走行経路に対応することである。営業列車は、ダイヤグラムに基づいて運行されるが、事故等の対応のために、着発線変更や折返し運転、別線運転等が実施され、走行経路が変更されることが頻繁にある。走行経路が変更になると、センサーデバイスが対応しきれずに異常値や欠測が発生するため、これらを自動的に処理することが必要になる。

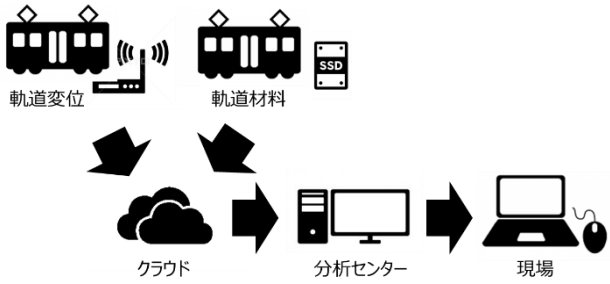

図-3 モニタリングデータの流れ

4． データセンシングとデータフィードバックに関する課題

軌道変位モニタリング装置は、床下に搭載した装置に演算装置を組込み、データ処理を車上で実施している。測定のリアルタイム性を意図した設計であるが、振動や温度変化といった非常に厳しい条件下にある列車の床下で測定から処理まで行うには装置のロバスト性を高める必要がある。ここ数年の通信技術の進歩やクラウドの汎用化を踏まえると、データ取得と処理を分離し、よりシンプルな構成の床下機器を実現することが次期開発の課題の一つである。

また、軌道の補修には、塑性変形した軌道を元に戻す「総搗き固め」と材料の補修及び交換がある。これら総搗き固めと材料の補修交換は相互影響があるため、どのような組合せで補修を行うかは技術的な経験に基づいて判断している。大量のデータと複雑な制約条件の中で、経験則も交えて解を求めるには、AI の活用の期待が大きく、補修計画の最適化、意思決定に AI を導入していくことも課題である。

さらに、軌道材料モニタリング装置によるデータ画像から、レール損傷や各種部材の劣化予測を画像処理技術や AI 技術によって行うことが、実務へのデータフィードバックの次の目標となると捉えている。カメラ性能の向上も必要だが、十分に潜在的な発展余地がある。