

特集「未来につながる鉄道技術—DX・AI—」

鉄道事業者における三菱インフラモニタリングシステム (MMSD[®]) を活用した DX 化への取り組み



☆

三菱電機(株) 神戸製作所
社会システムソリューション部
事業推進課
★ 森 大 輔
たき ぐち たい すけ
滝 口 隆 文
磯 崎 新

東急電鉄(株) 鉄道事業本部
工務部 施設保全課
いのや え よし ゆき
猪八重 由之
なが の ゆう や
長 野 祐 也

1. はじめに

日本の鉄道路線のトンネルや橋梁等は、建造後数十年～百年超経過した施設が数多く存在し、今後高年齢化した施設の増加により十分な維持管理が実施できず、事故等の発生につながる懸念される。しかし、鉄道事業においては施設の修繕や取り替えに伴う作業可能時間の確保や、列車運休による利用客への影響を鑑みると、抜本的な対応は困難であり、高年齢化した施設の増加に伴う維持管理コストの増大が課題となっている。

一方、2022年3月にデジタル庁が発出した「デジタル原則を踏まえた規制の横断的な見直しの進捗と課題について」¹⁾においては、“デジタル原則に基づいて、4万以上の法令等についてアナログ的な規制を洗い出し、3年間でデジタル原則への適合を実現”を目指すことと謳われており、5つのデジタル原則によって紙の介在業務と人の介在業務が見直される。具体的な例として、目視業務はカメラやセンサに置き換えられるケースが挙げられる。また、少子高齢化を背景にした労働力人口減少、アフターコロナや働き方改革といった動向からも、従来のTBM (Time Based Maintenance: 時間基準保全) からCBM (Condition Based Maintenance: 状態基準保全) への移行が加速するとみられる。

本稿では、これらの課題や動向を踏まえた鉄道事業者におけるDX化への具体的な取り組みについて述べる。

2. 鉄道施設維持管理業務における課題

鉄道施設の維持管理業務は、営業時間中の列車

間合いや終電から始発までの時間に行われることが多いが、いずれも作業可能時間が僅少であるため、業務内容によっては長期間にわたる作業となってしまう。また、専門的な知識を持った人員による鉄道沿線施設の目視や計測等、人手に頼る作業がいまだに多くを占めているが、少子高齢化による作業人員が減少するなか、これまでと同等の作業品質と作業効率化の両立が必要であり、技術継承や検査精度の確保が喫緊の課題である。

3. 鉄道事業者におけるDX化に向けた取り組み方針

こうしたなか、鉄道事業者では、点検ロボット等の活用による維持管理業務の一部置き換えや、収集した各種デジタルデータの活用・分析による保守業務の効率化・高度化等のDX (デジタルトランスフォーメーション) 化への取り組みが開始されている。DX化への取り組みには、業務効率化、プロセス変革、新たな付加価値の創出が求められる。例えば、沿線施設を三次元データで仮想空間に構築し、それを用いた維持管理業務・保守業務を実施するなどのDX化への取り組み等がある。

三菱電機では、鉄道をはじめとした重要社会インフラの維持管理業務の効率化・高度化を支援するため、三菱インフラモニタリングシステム (MMSD[®]: Mitsubishi Mobile Monitoring System for Diagnosis) を活用した計測・解析サービスを提供している。次節に、MMSDの概要・特長と、鉄道施設の維持管理業務へのMMSD適用事例を紹介する。

3.1 MMSD の概要と特長

(1) MMSD の概要

三菱電機は、レーザやカメラを活用した走行型計測車両と、計測車両で取得した各種データを解析するためのアルゴリズムやソフトウェア等を開発し、2015年度から三菱電機独自のセンシング・AI技術を活用した計測・解析サービスを開始した。

MMSD 計測車両で軌道上を走行する（写真-1）ことで、正確な位置情報を持つ三次元点群データと、高精細でゆがみの少ない8Kカメラ画像データを取得できる。さらに取得したデータを解析し、沿線施設の維持管理に必要なさまざまな形で適用できる。これまで、鉄道事業者においては、主に建築限界測定やトンネル検査、設備間距離測定等へのMMSD適用事例がある。



写真-1 計測走行中のMMSD計測車両

また、MMSD等で取得したデータや解析データを用いて沿線施設の現況を仮想空間に再現し、維持管理に必要なデータを統合管理する、多次元設備管理サービス（MDMD[®]：Mitsubishi Multi-dimensional Data Management for Diagnosis）も提供を開始している。

(2) MMSD の特長

① MMSD 計測車両の特長

MMSD 計測車両は、三菱電機が2007年から測量会社等に販売しているMMS（Mobile Mapping Systemの略、以降“MMS”と示す）計測車両をベースに鉄道計測を可能とするなどの高機能・高性能化を図ったものである。例えば、トンネル内等のGPS不可視状況下での計測走行を可能とする、計測前の初期化走行を不要とするなど、鉄道特有の厳しい計測条件にも適応している。これらは、計測車

両を構成するGPS、IMU（Inertial Measurement Unit：車両の姿勢情報を検出する装置）、速度計、レーザスキャナ、カメラ等の各種機器を統合制御する“中央処理部”を独自開発することで実現している。また、鉄道では計測のやり直しを容易には実施できないことから、計測の確実性を高めるため各種装置の多重化を図っている。

②解析サービスの特長

三菱電機では、MMSD 計測車両で取得した各種データを解析するためのソフトウェア、三次元点群データ・8Kカメラ画像データ等の大容量データ、および解析結果のデータ管理システム等、さまざまな機能を独自開発している。これによって鉄道事業者が長年の実績と経験から積み上げてきた事業者・部門ごとに異なる計測方法に容易に対応可能である。開発した主な解析サービスは表-1のとおりであり、その他も計画的に拡充している。

表-1 主要な解析サービス提供機能

機能	概要
建築限界測定	場所ごとに適切な限界枠を適用して三次元点群データから建築限界への抵触箇所を検出
トンネル展開画像生成	8Kカメラ画像をスパンごとに貼り合せ、三次元点群データから得られるトンネル形状データを基に縮尺調整したトンネル展開画像を自動生成
トンネル変状展開図生成	CAD形式のレイヤ付き変状展開図を生成 図面化することで、過去図との変化を検出可能 以下はレイヤの例： ・ひび割れ等各種変状の検出結果 ・各種比較（変化点抽出）結果 ①前回検査データとの比較 ②当該トンネルの平均断面との比較 ③設計図との比較
設備位置・距離測定	三次元点群データから地上子、信号機、絶縁、電力柱等の設備位置や設備間距離を計測
トロッコ線高さ・偏位測定	三次元点群データから電気検測車では計測困難なエアセクションやわたり線部の高さ・偏位を算出

3.2 MMSD を活用した東急電鉄の取り組み事例紹介

東急電鉄では、2018年度から、MMSを活用した鉄道沿線施設の三次元点群データ、トンネル壁面高精細画像データ等の取得、取得したデータの

解析・蓄積、および維持管理業務への活用を通じて、維持管理業務のDX化を推進している。

東急電鉄は、保有する鉄道路線に対し、2018年度の田園都市線での試計測を皮切りに、2019年度的全線建築限界測定、2023年度の特定区間での建築限界測定およびトンネル特別全般検査におけるトンネル壁面変状解析に至るまで、三菱電機のMMSDによる計測・解析サービスを適用している。(1)～(3)項に、東急電鉄の維持管理業務に対しMMSDを適用した事例を紹介する。

(1) 建築限界測定業務

建築限界は、車両運転の安全を確保するために必要な空間のことであり、鉄道に関する技術上の基準を定める省令の解釈基準²⁾において、“鉄道事業者は建築限界を定め、建築限界内には建物その他の構造物等を設けないこと”と規定されている。

東急電鉄では、この建築限界を対象施設ごとに検査周期を定め、現地で検査員が手計測や測定装置を使用して、抵触する施設がないかを定期的に確認している(写真-2)。



写真-2 建築限界定規を使用した手計測

2023年度は、MMSD計測車両で取得した三次元点群データを基に、三菱電機独自の解析アルゴリズムを用いて、建築限界の抵触有無や、抵触の可能性のある施設を検出した。また、検出した対象に関しては、建築限界定規を使用した手計測を実施し、適用性を評価した。

(2) トンネル検査業務(壁面変状解析)

鉄道におけるトンネル検査は、2年ごとの通常全般検査と20年ごと(新幹線は10年ごと)の特別全般検査に分類される。通常全般検査は遠方目視を中心とした検査で、特別全般検査は近接目視

と打音を中心とした検査である。

東急電鉄では、保有する鉄道路線中の全トンネルをグループ分けし、それぞれ10年ごとに特別全般検査を実施している。

2023年度は、2024年度および2025年度の特別全般検査対象のトンネル(総延長:7.3km)に対し、MMSD計測車両で取得した三次元点群データ、8Kカメラ画像データを基に、三菱電機独自の解析アルゴリズムを用いてトンネル壁面変状展開図等のトンネル検査結果に関する各種報告資料を作成した。

(3) データマネジメント

東急電鉄では、三次元点群データ、8Kカメラ画像データ等のデータ管理システムを2021年度から導入し運用している。

2023年度は、MMSD計測車両で取得した三次元点群データを同システムに登録し、データの閲覧・活用が可能かの適用性を評価した。また、2021年度に別のMMSで取得した三次元点群データと、2023年度に同一区間を三菱電機のMMSD計測車両によって取得した三次元点群データとで座標値を比較し、適用性を評価した。

3.3 適用結果と評価

前節3.1の(1)～(3)項の取り組みに対し、実業務の一部はMMSDで置き換えることが可能である。

(1) 建築限界測定業務

- ・MMSDで建築限界抵触のおそれのある箇所として検出された箇所について手計測を実施したところ、全箇所において、ほぼ解析値と差異がないことが確認できた。したがって、建築限界測定技術については実用レベルに達している。
- ・三次元点群データを活用した建築限界測定では、従来の定点での検査を、軌道に沿った連続的な面での検査とすることが可能であり、より高いレベルでの列車の安全運行の実現に向けた検査が可能となる。
- ・今後、運転保安設備や電気設備等の検査等、適用範囲の拡大が期待できる。

(2) トンネル検査業務(壁面変状解析)

- ・MMSDのトンネル画像解析技術を用いたトンネル検査業務についても、鮮明な画像で目視と同等程度の視認性が確保可能であり、ひび割れ

等の変状も問題なく抽出されていることから、
実用レベルに達している。

- ・トンネルの健全度に応じた効率的な打音検査範囲の絞り込みや検査費用全体の削減が期待される。

(3) データマネジメント³⁾

- ・MMSD で取得した三次元点群データをデータ管理システムに登録し、データの閲覧・活用が可能かの評価検証の結果、“点群データがビューワ上に網羅的に表示されること”をはじめとしたすべての項目で問題なくデータの閲覧・活用が可能であった。
- ・2021年度に別のMMSで取得した三次元点群データと、2023年度に三菱電機のMMSD計測車両で取得した三次元点群データとの座標値を比較した結果、XYZそれぞれの較差は最大でも6cm程度であった。これは「i-Construction推進のための3次元数値地形図データ作成マニュアル(令和5年3月、国土交通省、国土地理院)」⁴⁾で、地図情報レベル1000のオリジナルデータ(三次元点群データ)の要求精度を満たしている。

4. 今後の展望

前述の取り組み事例に対する評価結果からも、MMSDの導入による業務の置き換えや高度化は可能であり、データ利活用におけるMMSDの有効性が確認できた。今後は、以降に示すMMSDおよびMDMDによるデジタルデータの活用範囲を拡大し、鉄道事業者のさらなるDX化を推進していく。

4.1 MMSD および MDMD の業務適用範囲の拡大

三菱電機では、解析メニュー拡充や蓄積データの比較・分析等、継続的な新機能の提供を計画している。これにより、業務適用範囲を拡大し、さらなる業務効率化・高度化を目指す。一例として、施設の三次元点群データを経年比較することで、補修方法の選定の効率化に活用する。

4.2 新たな付加価値の創出

今後は、デジタル技術やAI技術の進歩により、多種多様なデータを仮想空間上にモデリングし、シミュレーションするためのデジタルツインが、維持管理業務では必要になると予想される。特に広域なインフラを管理する鉄道事業者では、位置情報を基準としたデジタルツインの構築が重要となる。三菱電機の正確な位置情報を持つMMSDの計測データやMDMDによる三次元データの管理機能を活用することで、デジタルツインの実現とそれを活用した新たな業務の確立を目指していく。

5. おわりに

本稿では、鉄道施設の維持管理業務における課題、DX化に向けた取り組み事例や今後の展望について述べた。公共交通機関の基本原則である“安全の確保”は、鉄道事業各社とも最重要事項として位置づけられており、安全の確保の一端として、維持管理業務におけるMMSDの利活用は効果的である。今後とも、“安全の確保”に向け、維持管理業務のDX化に取り組んでいく所存である。

参考文献

- 1) 牧島かれん: デジタル原則を踏まえた規制の横断的な見直しの進捗と課題について
https://www.digital.go.jp/assets/contents/node/basic_page/field_ref_resources/ee7c272f-084d-4e3f-b042-da94e150bb04/a5b644a5/20220413_meeting_administrative_research_working_group_outline_03.pdf
- 2) 国土交通省: 鉄道に関する技術上の基準を定める省令等の解釈基準
https://www.mlit.go.jp/tetudo/content/20240315_interpretation.pdf
- 3) 猪八重由之: 東急電鉄の土木構造物の維持管理におけるDXの取り組み、地理空間情報とDX、月刊「測量」2024.8 (2024)
- 4) 国土地理院: i-Construction推進のための3次元数値地形図データ作成マニュアル
<https://www.gsi.go.jp/common/000259826.pdf>