

車両メンテナンスの効率化と安定運行に貢献する“鉄道LMS on INFOPRISM”

吉本剛生*
Koki Yoshimoto
佐藤尚也†
Naoya Sato

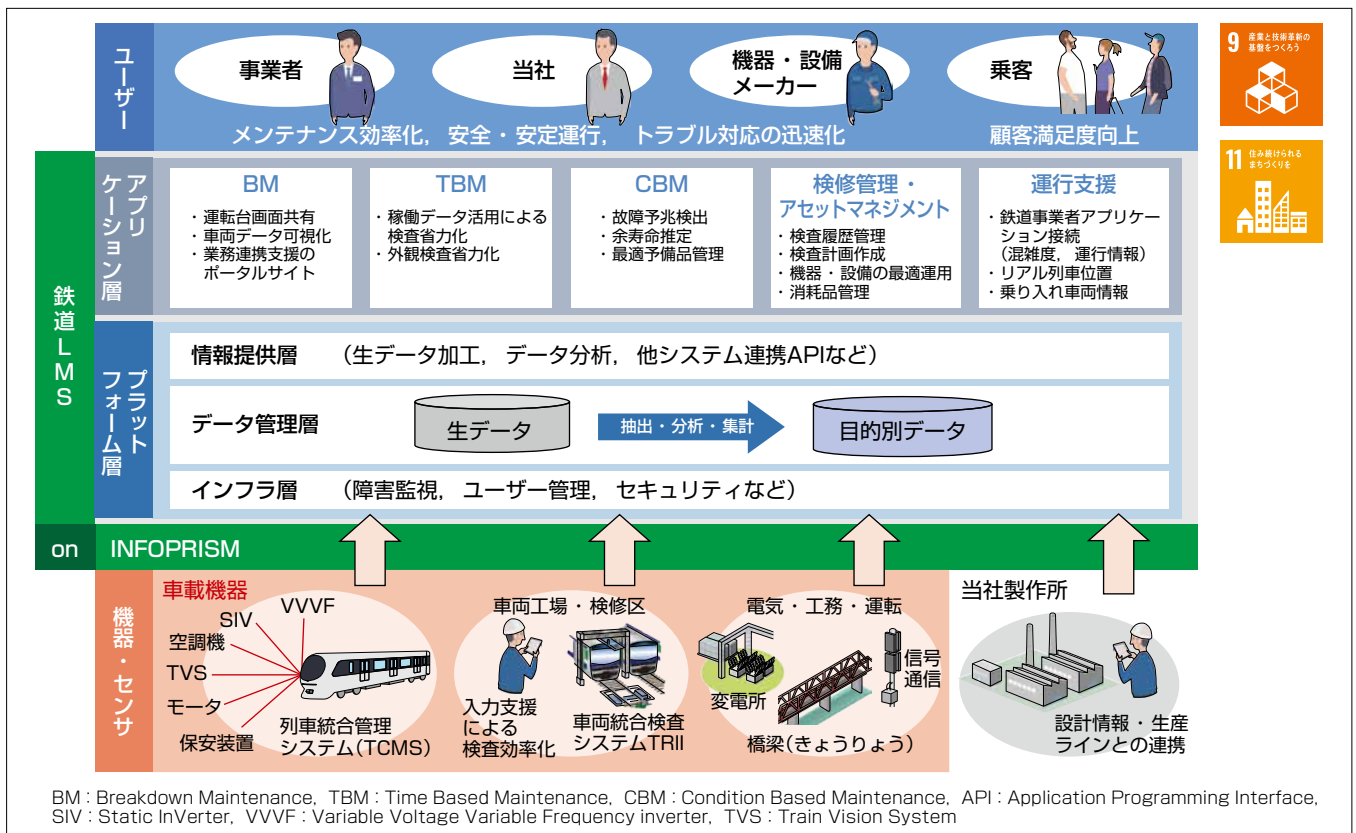
"LMS on INFOPRISM" Contributing to Efficient Train Maintenance Work and Stable Operation

要旨

国連SDGs(Sustainable Development Goals)の17の目標の中で、“産業と技術革新の基盤をつくろう”と“住み続けられるまちづくりを”では、交通インフラ整備や安全性改善と持続可能な輸送システムの提供をターゲットの一つにしている。日本では鉄道輸送網が発達し、公共交通機関の柱として運営されている。それを支えている重要な業務の一つが、メンテナンスである。一方で、少子高齢化によってメンテナンスを支える人員の不足や技術継承の困難さが懸念されている。このため、メンテナンス精度を高めることで、メンテナンスを省力化しつつ、安定輸送を維持する取組みが期待されている。

一方、鉄道事業を取り巻く技術動向として、地上と列車間の無線通信環境の発展、クラウド、AI(Artificial Intel-

ligence)技術の急速な浸透があり、車両機器が生成する大量の稼働データを地上で蓄積・解析することで、メンテナンスに寄与できるようになってきた。三菱電機はこれまで、様々な車両機器に加え、それらを束ねる列車統合管理システム(Train Control and Management System : TCMS)、それらに連なる機器検査装置、無線システム、車両統合検査システム“TRII(TRain Integrated Inspection system)”などを提供してきた。それらをクラウド上の当社独自のIoT(Internet of Things)プラットフォームである“INFOPRISM”と連携させることで、車両メンテナンスの高度化・運行安定化、関連する業務の効率化、さらにはデータ利活用を支援する“鉄道LMS(Lifecycle Management Solution) on INFOPRISM”の開発・提供に取り組んでいる。



“鉄道LMS on INFOPRISM”の全体構成

車両機器の稼働データをTCMS経由で収集し、無線を経由してクラウド上のプラットフォームであるINFOPRISMで管理する。地上から車両機器の稼働データの確認を始め、故障監視、運転画面の共有を実現する。さらに、車両基地での外観検査を遠隔実施し、それらの検査情報と当社の機器設計情報などの情報も統合して、故障対応の迅速化とメンテナンス省力化を始めとして、鉄道システム全体の業務効率化を支援する。

1. ま え が き

国連SDGsの17の目標の中で、“産業と技術革新の基盤をつくろう”と“住み続けられるまちづくりを”では、交通インフラ整備や安全性改善と持続可能な輸送システムの提供をターゲットの一つに挙げている。公共交通の大きな柱である鉄道で、安定した運行を支える極めて重要な業務が、メンテナンスである。日々のたゆまぬメンテナンスによって、運行中の故障・事故を削減し、安全性向上や運行安定化を実現している。

しかし、そのコストは鉄道事業者の大きな負担になっている。また、少子高齢化による輸送需要の低下とメンテナンス要員の減少、さらに働き方改革、コロナ禍などで進む様々な社会環境の変化も相まって、メンテナンスの一層の効率化は、鉄道を持続可能とする上で重要課題の一つになっている。

鉄道事業でのメンテナンスの効率化、故障発生時の対応迅速化などを支援するため、当社は鉄道事業者との共同研究を通じて、メンテナンス支援システムを開発した。このシステムは、IoTプラットフォームINFOPRISM上に構築し、鉄道車両メンテナンスソリューション“鉄道LMS on INFOPRISM”として2019年10月に提供を開始し、複数の鉄道事業者を採用されている。

本稿では、鉄道LMS on INFOPRISMで実現されるアプリケーションや、その土台になるINFOPRISM、さらには将来の展望について述べる。

2. 鉄道車両のメンテナンスの現状と期待

国内で、鉄道車両のメンテナンスは鉄道事業者主体で実施されている。その主流である時間基準保全(TBM)は、故障や劣化、損傷の可能性のある部位を定期的に検査・補修して事故や運行障害の発生を未然に防ごうとするもので、鉄道車両では国の定めた省令及び告示に従った月(交番)検査、重要部検査、全般検査といった定期検査がある。車両基地や車両工場などで行われるこれらの業務は、かつて3Kとも言われた労働環境や作業品質の改善のため、自動試験装置やメンテナンス支援システムによる省力化や自動化がなされてきた。しかしながら依然として人の経験・スキルへの依存や、高所作業、狭所作業など負担になる作業が残っているのが実態である。

メンテナンスの更なる効率化と、深刻化が懸念される要員不足に対する一つの解決策として期待されているのが、近年発展著しいICT(Information and Communication Technology)やデジタル技術の活用である。鉄道車両は、

TCMSによる車上ネットワークと地上システムとの常時接続によって、営業運転中の各機器の詳細データを地上指令員や保守員が取得し、状態を連続的に監視できるようになってきた。さらに、2001年度に行われた省令改正によって、鉄道事業者が証明すれば、検査の実施基準を改定し、独自にメンテナンス体系を定めることが可能になった。これらを背景に、一部の鉄道事業者では、既定の定期検査の項目を営業運転中の機能確認で代替するようなメンテナンス実施基準等の見直しも検討されている。また機器の連続的な監視によって、故障や劣化の正確な実態把握ができれば検査周期延伸にも貢献が期待される。このように車上からの車両状態監視によるTBM省力化の検討が進む一方、地上で鉄道車両外部からの目視や計測を伴う検査ではカメラやレーザ等を用いた画像認識や3D自動計測の技術が高所・狭所での人作業を代替するソリューションとして期待されている。

また、新たなメンテナンス方式として状態基準保全(CBM)の検討・施行が進みつつある⁽¹⁾。CBMは稼働中の個々の機器状態をリアルタイムに監視し、時系列データや相関分析による分析・判定結果に基づいて最適な処置を行う方式である。検知した故障予兆に基づいて臨時メンテナンスを実施する、又は寿命予測によって計画された定期検査を延ばすなど、機器ごとにメンテナンスのタイミングを最適化することで、ダウンタイムの低減と同時に、過剰なメンテナンス作業や部品交換等の抑制によるコスト削減が期待できる。鉄道車両のCBM適用の取組みは比較的早くからあったが、大量データの収集・処理のためのICTの性能やコストが障壁になっていた。現在ではクラウドサービスやセンサ、無線通信の高速化・低廉化、IoT・AIなど近年の急速なデジタル技術の進化がCBM実現の追い風になっている。

3. 鉄道LMS on INFOPRISMの機能

この章では、鉄道LMS on INFOPRISMで実現されるメンテナンス支援と省力化のためのアプリケーションについて述べる。

3.1 運転台画面の共有と車両データの可視化

車両機器が生成する稼働データは、TCMSによって一旦集約された後、地上と列車間の無線を通じてリアルタイムにINFOPRISM上に送信・蓄積される。このとき、車両機器の稼働データに加えて、列車の在線位置・乗車率や、故障の有無などの情報も収集し、地上の指令員からリアルタイムに確認可能にしている。

さらに、図1に示すように、運転士が見ている運転台画

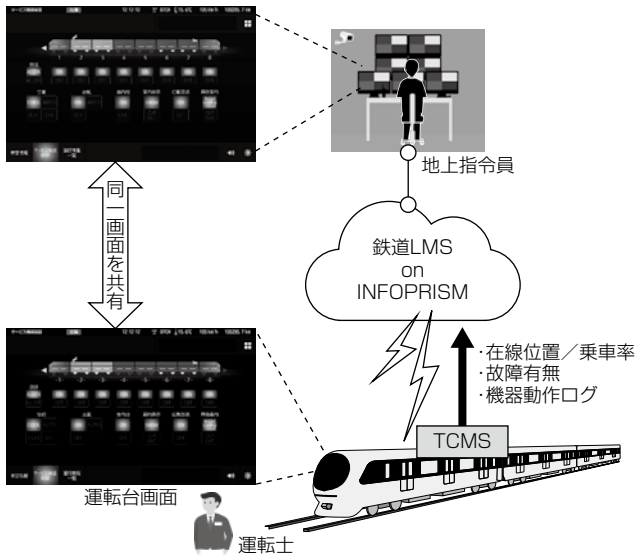


図1. 運転台画面の共有と車両データの可視化

面を地上指令員がそのまま確認することも可能である。これらの機能によって、車両機器故障の発生を地上から即時把握できることに加え、地上の指令員と車上の運転士が連携した適切かつ迅速な故障対応が実現できる。

3.2 稼働データ活用による故障予兆検出

INFOPRISM上に蓄積した、電流値や電圧値など詳細な機器稼働データを、INFOPRISM上のデータ分析サーバが常時監視としきい値判定を行うことで自動的に故障予兆を検出する。故障予兆を検出した場合は、原因追究を可能にするグラフや帳票を出力するとともに、アラームを表示することが可能になる。これによって、いち早く故障予兆をとらえ、営業運転中に故障が発生する前に対処することで、旅客サービス低下を回避し、安定輸送に貢献する。また、これらの情報は車両機器メーカーへ簡単に展開可能であり、問題発生後の初動開始を迅速化できる。

現在、ブレーキ制御装置及び電動空気圧縮機を対象にしたシステムが稼働中である。今後は対象機器を拡大し、更なる鉄道輸送安定化に貢献する。

3.3 外観検査の省力化

現状のメンテナンスで中心に位置付けられているのは、車両基地や車両工場で実施される各種定期検査である。車両統合検査システムTRIIは、その定期検査項目を中心に、車両構成機器の摩耗度や形状を非接触で自動計測し、目視による外観検査などを代替することで、事務所などから遠隔で鉄道車両全体を一括して検査するシステムである。現在、図2に示す各項目の自動検査・遠隔検査が、3D自動計測や画像によって実用化されている。屋根上の点検や車輪に関する計測の自動化などによって、メンテナンスの効率化とともに作業の安全性向上と負担軽減に寄与している。

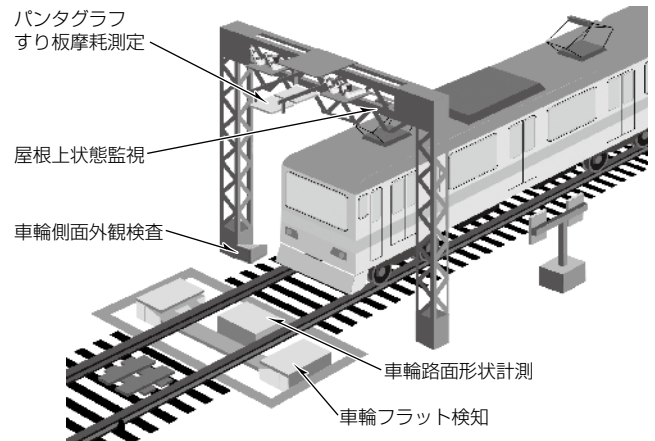


図2. 車両統合検査システムTRII

さらにTRIIでは、通常では一定周期ごとに検査される機器状態を入区ごとに計測・蓄積でき、よりきめ細かな時間間隔で摩耗度や形状等の変化を把握できる。各機器の状態変化・兆候を早期に発見して分析することで、通常の期間や走行キロに依存した検査業務(TBM)から、状態基準保全(CBM)に発展させることができる。

また、現状のTRIIは特定の基地に閉じたシステムであり、他の基地とデータ連携等はしていない。しかしTRIIによって収集したデータをINFOPRISM上に蓄積して相互にデータ連携することで、より精度の高いCBMの実現が可能である。例えば、複数の基地に出入りする編成に対して、複数の基地の検査結果を共有し、連続的に観察・分析できる。また、装置の状態変化は、編成の走行距離や期間に依存することはもちろんだが、その走行環境や運行状況、例えば、乗車率、気温、地域(カーブや勾配の多少)等と因果関係があると考えられる。さらに、例えば車輪摩耗の傾向などであれば、力行やブレーキ回数の多少とも因果関係があると考えられるので、今後の走行環境(カーブが多い地域かどうか等)の情報を付加することによって、車輪摩耗の状態予測精度は上がると考えられる。

今後はTRIIによって計測できる項目の拡充を図るとともに、INFOPRISM上でより様々な情報(走行環境や運行状況など)と組み合わせて分析を進めることでより精度の高いCBMを目指していく。

3.4 検修管理

鉄道車両の機能性能を維持するための定期及び臨時の検査・修繕業務を総じて“検修”と呼ぶ。検修管理システムは、車両とその構成機器の台帳情報を中心に、検査の年間計画・月間計画・日々の作業計画、要員計画、必要設備割当ての立案と計画に基づいた検査実施結果及びそのエビデンスになる測定データのほか、故障、部品交換実績や予備品などの資材情報を管理するシステムである。

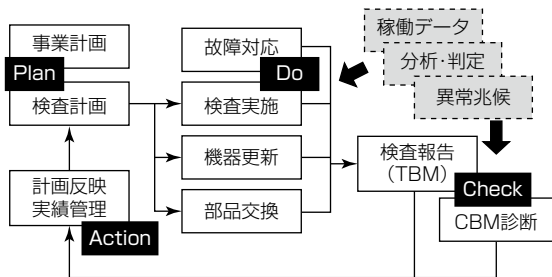


図3. 検修管理システムの対応業務

計画立案のベースになる前回検査日等の検査情報や、故障履歴や設計図面等、機器個体に関する全ての情報を検修管理システムが一元管理することによって、過去事例からの故障原因類推や水平展開処置対象機器抽出等、故障発生時対応の迅速化が可能になる。

この検修管理システムをINFOPRISM上に構築することで、図3に示すように、走行時の機器稼働データと当該機器の過去の検査・修繕・故障履歴や将来の定期検査予定など検修管理データの連携が容易になる。これによって、これまで車両基地で実施していた検査項目の一部を、TCMSが持っている自動検査の結果や機器稼働データを基に分析・状態判定した結果を用いて代替することが可能になり、車両基地での検査作業を軽減でき、TBM省力化に貢献できる。

また、稼働データを用いた故障や劣化検知に基づいて発生する臨時検査、修繕の計画への反映や、機器ごとの検査周期最適化、それらを含めた全体計画を再策定する機能の提供によってCBMに基づく新たなメンテナンス体系の実現にも貢献できる。さらには、鉄道LMSで用いる様々なデータを検修管理システムと連携させることで、メンテナンス省力化に貢献する統合システムの実現を目指す。

4.2 プラットフォーム階層

INFOPRISMのプラットフォームは主に、情報提供層、データ管理層、インフラ層で構成される(図4)。

4.2.1 情報提供層

プラットフォームの情報提供層の稼働情報基盤では、TCMS経由で機器から集められた生データ群から必要な情報を抽出、値として扱うためのデータ変換、時刻キーで再配置して時系列データにする。データ分析基盤では、稼働情報基盤が生成した機器稼働データを用いて、機器設計者のノウハウを生かした判定ロジックに基づき、異常判定に最適な条件で稼働データを抽出、判定処理を行う。検修管理基盤では、日々の検修計画・実績に加えて、データ分析基盤が作成した機器異常兆候判定結果を定期的に集計することで、定期検査の一部項目を営業走行時の機器稼働データで代替することを可能にする。連携API基盤には、他システムと連携するためのAPIを備えている。インターネット上の情報の取り込みや、運行管理などとの連携によって、分析高度化や運行支援への貢献が期待できる。さらには、鉄道事業者間で提供可能な範囲を定めて、相互提供することで、相互直通運転を行う鉄道事業者間で、自路線に乗り入れ走行している他鉄道事業者の列車情報等を共有することが可能になり、より高度な運行支援に貢献できる。

4.2.2 データ管理層

プラットフォームのデータ管理層は、収集された生データと、情報提供層の各基盤によって目的に応じて整形された目的別データを管理する。

4. IoTプラットフォーム INFOPRISM

4.1 概要

3章で述べた鉄道LMS on INFOPRISMのアプリケーションを実現するには、列車の運行情報、列車に搭載された機器の稼働情報、検査情報等、様々なデータが必要になる。INFOPRISMは、これらのデータを蓄積・活用するためのプラットフォームである。

INFOPRISMの大きな特長として、クラウドの活用が挙げられる。従来のオンプレミスのシステムでは、サービス開始時から高性能かつ大容量のサーバを用意する必要があった。一方、クラウドではスモールスタートが可能であり、性能や容量を必要に応じて拡張できる。

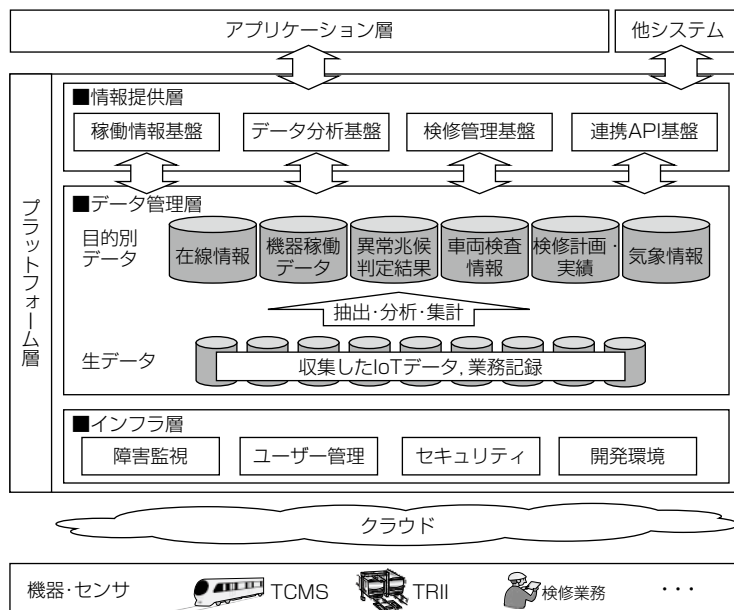
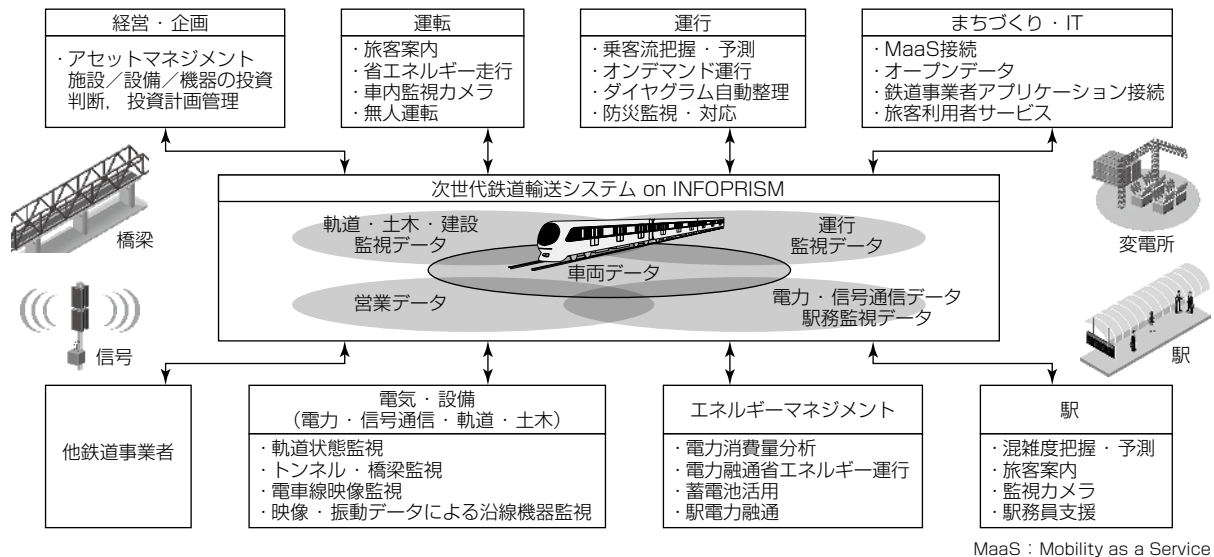


図4. INFOPRISMの構成



MaaS : Mobility as a Service

図5.次世代鉄道輸送システム on INFOPRISM

4.2.3 インフラ層

プラットフォームのインフラ層は、システムの継続的な開発・運用管理を行うための共通的な機能を提供している。インフラ層の障害監視機能では、アプリケーションやプラットフォームの稼働状況を一元的に集約監視する。ユーザー管理機能では、アプリケーションで認証処理を行うためのアカウント情報や、アクセス範囲を制御するため役割情報等を管理するとともに、通信制御、暗号化、脆弱(ぜいじゃく)性対策等のセキュリティ機能や、バックアップ管理を行い、安全で効率的なシステム運用を行う。また、開発・運用サイクルを高めるために、クラウド上での開発環境や、各種支援ツールも提供する。

4.3 INFOPRISMの適用拡大

現在、鉄道LMS on INFOPRISMは、主に鉄道事業者の車両部門で活用されているが、このIoTプラットフォームとしてのINFOPRISMは、鉄道事業全般で活用可能である。さらには、公共施設、道路、上下水道、電力などの社会設備の運用・保全業務を効率化するためのプラットフォームとしても活用可能である。各分野の最新技術を反映させ、相乗効果を高めることが可能であり、鉄道事業者の様々な部門間、また他分野の事業者とのコラボレーションも可能になる。

5. 鉄道LMSから次世代鉄道輸送システムへ

ここまで、鉄道LMS on INFOPRISMとして鉄道車両及び基地を中心としたメンテナンスの改善について述べてきたが、収集したデータは、メンテナンス以外の分野での活用も可能である。在線位置・乗車率・空調温度など、近

年鉄道事業者が旅客向けスマートフォンアプリケーションで積極的に公開しているデータも、INFOPRISMを活用すると簡単に収集可能である。

図5に示すように、鉄道車両や基地のメンテナンス関連データに加えて、運行監視データ、電力・信号通信データ、駅務監視データ、軌道・土木・建設監視データ、営業データなどを統合し、さらには他鉄道事業者のデータとも連携させることを目指す。これによって、鉄道システム全体の業務効率化に加え、省エネルギー、自動・自律運転、旅客サービス向上、MaaS連携といった次世代鉄道輸送システムのプラットフォームへの発展を目指す。

6. むすび

鉄道車両メンテナンスソリューション“鉄道LMS on INFOPRISM”の機能と将来展望について述べた。

安定・安全な公共交通機関である鉄道を今後も持続し、“住み続けられるまち”を実現するためにはメンテナンスの効率化・自動化と、それによる運行の安定化は不可欠である。

当社は、車両機器メーカーならではの設計・製造ノウハウを生かしたメンテナンス支援アプリケーション、及びそれに対応した機器やTCMSの開発に引き続き尽力していく。さらに、総合電機メーカーとしてそれらを統合するICTプラットフォームを整備し、メンテナンスだけでなく、鉄道システム全体を改革・効率化することで、鉄道の魅力と安定性を向上させて、公共交通としての地位を高め、ひいてはまちづくりに貢献できるような技術開発に取り組んでいく。

参考文献

- (1) 興石逸樹：鉄道メンテナンスの課題と今後の展望，JR東日本テクニカルレビュー，No.48，5～8（2014）