

交通事業のサステナビリティに貢献する “鉄道LMS on INFOPRISM”

弘重健司*

Kenji Hiroshige

白石俊介*

Shunsuke Shiraishi

福富正一†

Masakazu Fukutomi

辻田陽介†

Yosuke Tsujita

山田将史§

Masafumi Yamada

"Railway LMS on INFOPRISM" Contributing to Sustainability of Transportation Business

*交通事業部

†伊丹製作所

‡神戸製作所

§情報技術総合研究所

要 旨

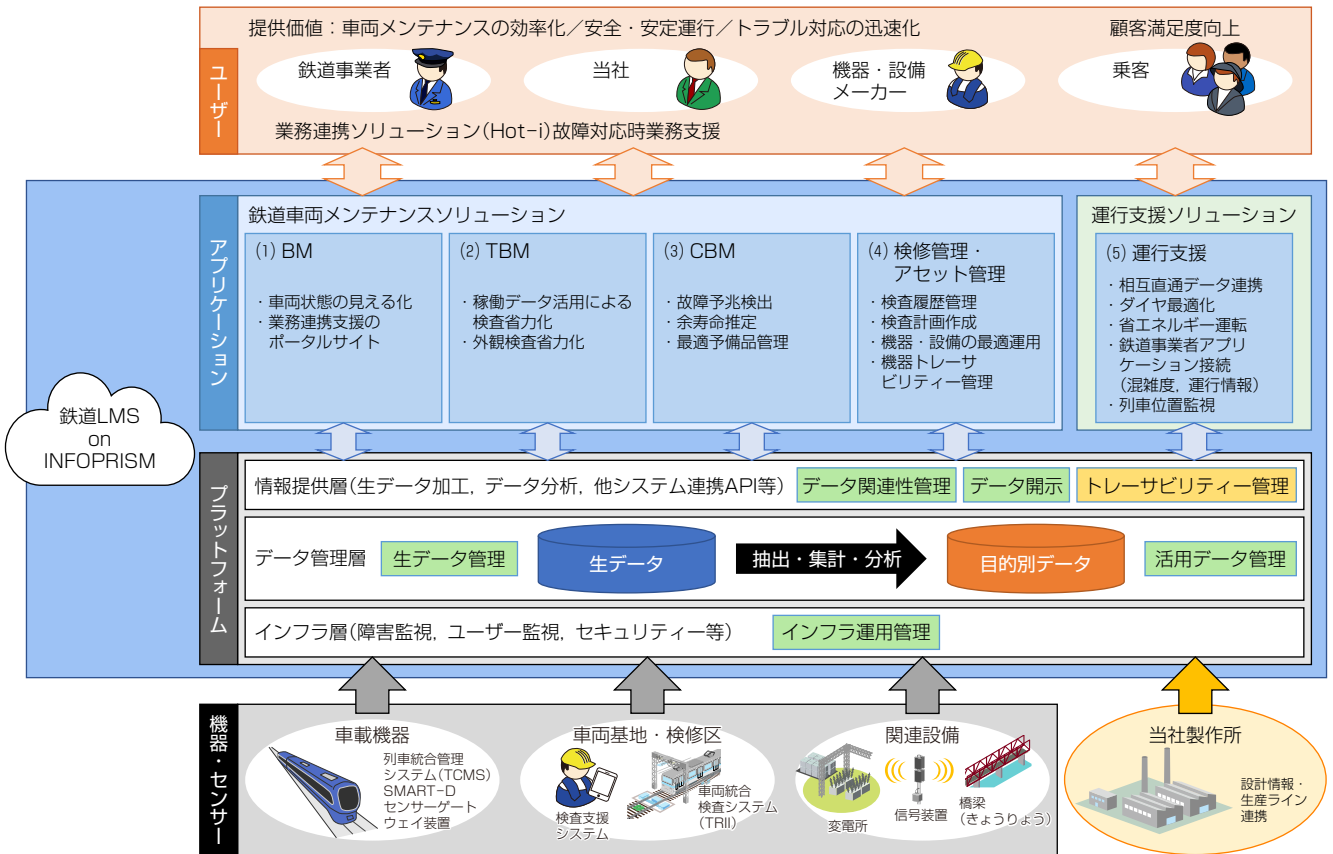
鉄道事業者では、デジタル技術の活用などによるメンテナンス業務の効率化や検査の高度化といったニーズが高まっている。三菱電機では、IoT(Internet of Things)とAI技術で、鉄道の運用・メンテナンス業務のライフサイクルにわたって継続的な効率向上に貢献する“鉄道LMS(Lifecycle Management Solution) on INFOPRISM”の開発・提供に取り組んでいる。当社はこれまでに培った車両機器や検査に係る知見を活用し、車両状態の見える化やTBM(Time Based Maintenance)省力化などの機器稼働データを活用した鉄道車両メンテナンスソリューションや運行支援ソリューション、メンテナンス業務データを活用した業務連携ソリューションの開発を推進してきた。今後は、蓄積した様々なデータを活用して鉄道の経営効率化やアセットの最適化に向けたソリューションを提供し、交通事業のサステナビリティに貢献していく。

1. ま え が き

鉄道事業者では、デジタル技術の活用によるメンテナンス業務の効率化や検査の高度化などのニーズが高まっている。当社は、IoTとAI技術で、鉄道の運用・メンテナンス業務のライフサイクルにわたって継続的な効率向上に貢献する“鉄道LMS on INFOPRISM”を開発し、2019年からサービスを提供して実績を積んでいる。列車の稼働情報を地上側に収集することで、リアルタイムでの機器・列車の状態監視・把握を実現し、故障によるサービス停止の軽減、メンテナンス作業の効率化、運行支援、また鉄道事業者や機器・設備メーカーの持つデータを活用した業務の効率化に貢献している。さらに収集した多様な情報を蓄積・活用することで、鉄道の経営効率化やアセットマネジメントの最適化に向けたソリューションに拡張し、交通事業のサステナビリティに貢献する。本稿では、鉄道LMS on INFOPRISMの開発・提供に関するこれまでの取り組みと成果を述べるとともに、今後の発展として、蓄積された様々なデータの活用によって鉄道の更なる経営効率化やアセットマネジメント最適化を図るソリューション拡張への取り組みを述べる。

2. 鉄道LMS on INFOPRISM

鉄道LMS on INFOPRISMは、当社独自のIoTクラウドプラットフォームであるINFOPRISM上に構築されており、車両メンテナンスの効率化、安全・安定運行、車両故障などのトラブル対応の迅速化などの価値を提供するソリューションである(図1)。鉄道LMS on INFOPRISMのアプリケーションの一つである“鉄道車両メンテナンスソリューション”は、列車統合管理システム(TCMS)経由で収集した車両機器の稼働データを蓄積・活用し、地上側からの車両機器の稼働状況の確認や運転台画面の共有、車両故障の検知や予兆監視、車両基地での外観検査の遠隔実施など、様々な機能を提供する。“運行支援ソリューション”は、相互直通を行う事業者間での乗り入れ車両状態の見える化、乗車率によるダイヤの最適化、省エネルギー運転支援等の機能を提供する。その他、“業務連携ソリューション”は、鉄道LMS on INFOPRISM内のアプリケーションではないものの、データを相互に活用して密接に連携することで、鉄道事業者や機器・設備メーカーの持つメンテナンス関連データを活用した故障対応等現場業務の効率化を支援する。将来は、鉄道LMS on INFOPRISMに蓄積された様々なデータを活用することによって、鉄道輸送サービスのライフサイクル全体でのアセットマネジメントの最適化や、運行業務全体に係る消費エネルギー分析などの鉄道の経営効率化に寄与するプラットフォームとソリューションに機能を拡張していく。



BM : Breakdown Maintenance, CBM : Condition Based Maintenance, API : Application Programming Interface, TCMS : Train Control and Monitoring System, SMART-D : Small Monitor Analyze Record Terminal-Depot, TRII : TRain Integrated Inspection system

図 1. 鉄道LMS on INFOPRISMの全体構成⁽¹⁾

3. これまでの取り組みと開発成果

3.1 機器稼働データを活用した鉄道車両メンテナンスソリューション

鉄道車両のメンテナンスは機器の故障や劣化によって運行障害を起こさぬよう、国の定めた省令に従って、月検査、重要部検査、全般検査などの定期検査を、鉄道事業者が主体で実施している。しかしながら、車両機器の高機能化や新たな装置の搭載に伴ってメンテナンス範囲が増加する一方で、少子高齢化などによる労働人口減少で検査要員の不足が懸念されており、安全・安定運行を確保しつつ、メンテナンス業務の更なる省力化が課題になっている。この課題を解決する手段としてICT(Information and Communication Technology)やデジタル技術の活用が期待されており、当社では、鉄道車両メンテナンスソリューションとして、機器稼働データを活用したメンテナンス業務の省力化を推進してきた。

3.1.1 車両状態の見える化による事後保全の効率化

営業運転中の車両に異常が生じた場合、これまでは乗務員室内の表示器に出力される故障検知情報を基に乗務員が状況を把握して、口頭で指令員と連携しながら復旧作業を行っていた。迅速に復旧作業を行うためには正確な情報伝達が必要になるが、乗務員からの情報不足や相互の理解不足などによって、復旧に時間を要することが懸念される。そこで、車両機器が生成する稼働データを常時、鉄道LMS on INFOPRISM上に送信・蓄積することで、列車の在線位置や故障発生の有無などをリアルタイムに把握可能な車両状態の見える化アプリケーションを構築した(図2)。これによって、地上の指令員は素早く正確に車両の故障状況等を把握できるようになり、車両復旧対応の迅速化が図られて、事後保全(BM)の効率化が可能になった。

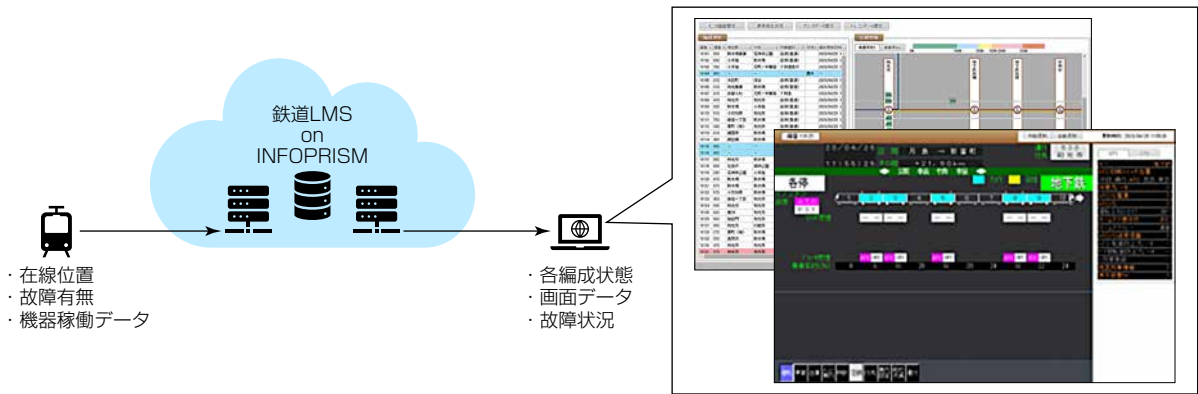


図2. 車両状態の見える化アプリケーションと画面例

3. 1. 2 時間基準保全での検査省力化

鉄道分野では現在、時間基準保全(TBM)の考え方に基づいて車両の定期検査を実施することで、鉄道の安全・安定輸送が担保されている。定期検査では、ブレーキシューなどの消耗品交換、フィルターが目詰まり清掃などの補修、また、車両のドア開閉動作やブレーキ緩め操作後のブレーキシリンダー圧力の状態といった機器の動作確認が含まれている。このうちドア開閉操作などの一部の動作は、営業運転中の車両で乗務員の操作によって稼働するため、蓄積した稼働データを用いることで検査の一部を代替することもできると考えられる。そこで当社では、車両メンテナンスソリューションの一つとして、蓄積した機器の稼働データから検査と同等の操作履歴を探し出して、その動作結果を検査結果として提示する検査省力化アプリケーションを開発した(図3)。

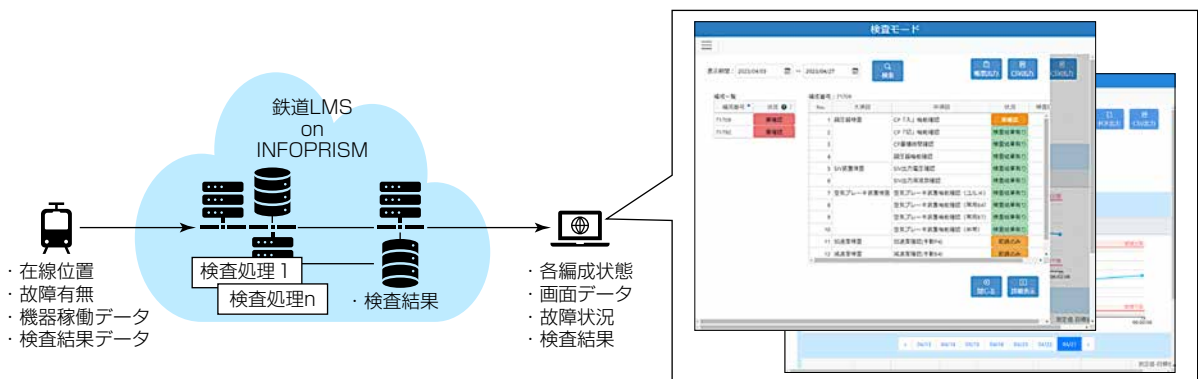


図3. TBMでの検査省力化アプリケーション

ここで、検査対象の編成数や分析対象になる(検査ロジックに該当する)機器操作の回数が増えるにつれて扱うデータが増加するため、この分析アプリケーションの運用コストが上昇する懸念がある。この対策として、分析対象を検査周期に近い編成だけに絞り込むことや、稼働データの収集時に機器側で検査判定処理を実施して検査結果だけを鉄道LMS on INFOPRISMに蓄積することなどで、データ量の適正化を図った。

3. 1. 3 状態基準保全実現のための故障予兆監視

現在の車両メンテナンスは、BMと、TBMに代表される予防保全(PM: Preventive Maintenance)が主流であり、3. 1. 1項、3. 1. 2項でその効率化、迅速化ソリューションについて述べた。

一方、今後のメンテナンス業務では、コスト削減等への期待から、機器の劣化状態に応じてメンテナンスを実施する状態基準保全(CBM)が注目されている。CBMを実現するには、3. 1. 2項までに述べた稼働データの蓄積に加えて、機器の稼働状況を常に監視する必要がある。そこで、鉄道LMS on INFOPRISMに蓄積した各機器の稼働データを監視してその劣化傾向を捉える分析システムを構築した。この分析システムでは、あらかじめ定義した“注意”や“異常”のしきい値に従ってアラートを発出し、各アラートの発生回数によって機器の劣化度合いを確認できるようにした。

3.1.4 外観検査業務負荷軽減のためのシステム

車両メンテナンス業務のうち、外観検査等の人手による作業では、高所や狭い箇所などでの作業者の負担軽減や、属人的な五感・経験に起因するばらつきの排除が課題である。これに対しては、検査業務の一部を自動化する車両統合検査システム(TRII)を提供することで、検査業務の更なる省力化と計測の高精度化を実現する。当社では現在、主に屋根上(パンタグラフ)と車輪の検査を中心に製品展開しており、例えばパンタグラフ検査装置は、レーザーとカメラを併用した光切断方式での計測によって高い計測分解能を実現している。また、TRIIはデータを収集するエッジ部としての役割も担っており、TRIIの計測データを鉄道LMS on INFOPRISM上で検修管理システムと連携することで、検査や修繕の計画立案にも活用できる。

3.1.5 小型状態監視記録装置／車載センサーゲートウェイ装置

車両状態のモニタリング機能や車両の制御伝送機能を中心とした従来のTCMSは、国内外の多くの鉄道車両に搭載されている。TCMSは機能の拡充とともに信頼性の向上が図られて、安心・安定輸送への貢献だけでなくLCC(Life Cycle Cost)削減へと発展してきた。しかし、鉄道LMS on INFOPRISMの能力を十分に発揮するために必要な状態監視データはデータの種類が多く、その記録機能は従来のTCMSの機能にはないため、必要データの選択とデータ記録、及び地上への伝送手段が必要となる。そこで、これらの要求を満たして、車体改造を極力抑えてTCMSのデータ収集を可能にする小型状態監視記録装置SMART-Dを開発した。

また、2020年から当社が出資したEKE-Electronics Ltd.(エケ・エレクトロニクス社)では、近傍にある車載センサー信号を集約して地上に伝達するセンサーゲートウェイ装置や、振動解析による台車・線路の異常兆候検知の実績(知見)を持っており、これらと当社の車両機器技術の統合による、CBMワンストップサービスの開発を進めている。

3.2 安全・安定運行に貢献する運行支援ソリューション

車両状態の見える化に対応した車両では、地上からの車両状態監視が可能になった。しかし、首都圏には各鉄道事業者が持つ車両が相互に乗り入れている(相互直通運転)路線も多く、自路線内で他社車両を運転中に故障が発生した際には、現状、システム上での連携がされていないため、口頭での連絡が必要になる。そこで、乗り入れ車両が見える化に対応している場合には、鉄道LMS on INFOPRISMを介して機器稼働データを共有して、乗り入れ車両の状態も各社指令員が把握できる相直データ連携のシステムを開発した。

また、車両運用の最適化のため、鉄道LMS on INFOPRISMで収集している機器稼働データや乗車率、車内温度、消費電力などのデータの活用が注目されている。例えば、乗車率データを活用することで、ダイヤ改正後の混雑緩和効果などが分析でき、また、消費電力が見える化することで、省エネルギーを目的とした運転パターンの最適化にも貢献できる。

3.3 業務データを活用した業務連携ソリューション

鉄道事業者での車両のメンテナンス業務では、検査以外にも、故障発生時の対応や不具合情報の共有など様々な業務があり、その効率化が課題である。それを支援するものとして、当社では、鉄道LMS on INFOPRISMと連携し、鉄道事業者や車両関係メーカーの持つメンテナンス業務データを共有・活用した業務連携ソリューションを開発している。この開発は鉄道事業者との共創活動を通じて段階的に進めている。現在取り組み中のテーマの一つとして、車両機器故障対応の迅速・効率化を図る業務連携支援ソリューションについて述べる。

車両故障発生時の対応では、営業運転の速やかな回復と確実な再発防止が必須である。そのためには、鉄道事業者と当社を始め車両機器メーカーの密接な連携が求められる。しかし、これまでは、情報伝達の多くが電話やメールなどの人手中心の手段に依存し、また問題解決に必要な各種のメンテナンス関連情報の管理は各々独立に行われてきた。そこで、当社が提供する新・保守情報管理システム(HOT-i)を鉄道事業者者に利用してもらうことで、故障対応に関する各種の情報伝達・共有とシームレスな業務連携を支援するサービスを構築した(図4)。現在、故障発生初動時の情報伝達や判断支援、修理品進捗状況の共有、故障と見積り・検取情報の一元化、メーカー現地作業情報の共有など、一部の機能を実際の業務で試行中である。

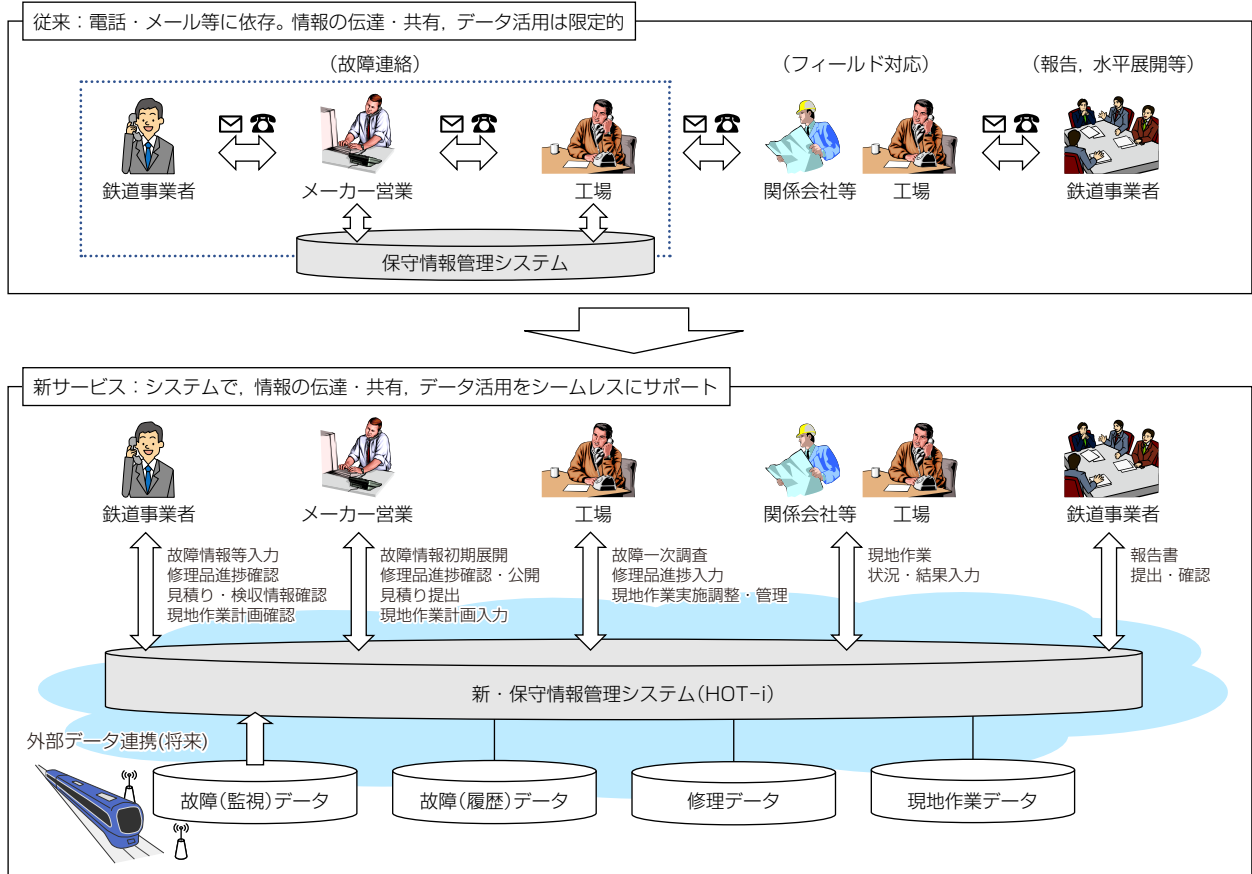


図4. 故障対応の業務連携：新・保守情報管理システム(HOT-i)

3.4 鉄道LMS on INFOPRISMを実現するプラットフォーム

これまで述べた各ソリューションを実現するための鉄道LMS on INFOPRISMのプラットフォームは、図1に示すように情報提供層・データ管理層・インフラ層で構成され、その中で、インフラ運用管理・生データ管理・活用データ管理・データ関連性管理・データ開示の五つの機能を実現している。

これらの五つの機能に加えて、今後アセットマネジメントの高度化を図っていく上で必要なものとして、車両及び車両機器の情報を結び付けるための“トレーサビリティ管理機能”を情報提供層上に開発中である。その機能について述べる。

鉄道LMS on INFOPRISMで提供する各種ソリューションは、車両及び車両機器の設計・製造から運用、廃棄までに生成される様々な情報(設計、製造、運用来歴、稼働データ、検査・修繕情報など)を結び付けて活用することで実現する。この各種データを結び付けて管理・活用するトレーサビリティ管理機能では、まず複数事業者・複数メーカー間で履歴追跡可能なリンク構造データベースモデルで構成した“デジタルスレッドデータ”で、来歴にまつわる各種データの変換・蓄積を行う。これによって、車両機器のオーバーホール計画の立案や不具合事象の水平展開迅速化といった業務効率化及びアセットマネジメントの高度化に寄与する(図5)。

車両に関連するデータは、編成単位で管理するデータ(運用、検査、稼働データなど)と機器・装置単位で管理するデータ(設計・製造・載替、修繕など)がある。これらを活用して車両又は機器の健全性を評価するには、車両の構成情報(各機器の搭載場所)と各機器の真正な来歴情報が必要になる。トレーサビリティ管理機能では、ブロックチェーン技術の活用によって、デジタルスレッドデータでの来歴情報の真正性担保とアクセス制御を実現している。現在は、主に運用来歴(機器搭載データ)の蓄積・活用を行うプロトタイプの試行評価を行うとともに、拡張開発を進めている。

先に述べたように、鉄道LMS on INFOPRISMでは、車両及び車両機器のライフサイクル全体をサポートするソリューションを提供し、交通サービス利用者、鉄道事業者及び業界関係企業間の継続的な連携・パートナーシップと持続可能な鉄道運営への寄与を目指している。この目標を実現するため、複数の事業者及び複数のメーカーと協調して多種多様なデータを扱い、そのデータから価値を創出・提供する取組みを支えるプラットフォームを提供していく。

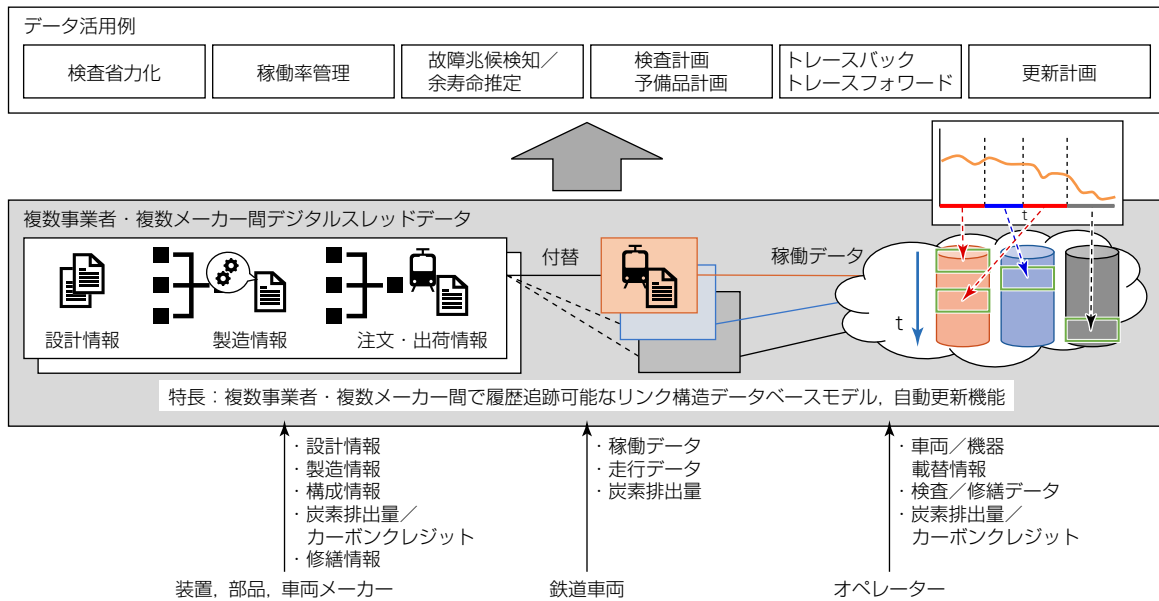


図5. トレーサビリティ管理機能での複数事業者・複数メーカー間デジタルスレッドデータ

4. 今後の取組み

4.1 鉄道車両メンテナンスソリューションの発展

今後の鉄道車両のメンテナンスでは、機器の稼働データを用いた将来のメンテナンス実施基準の見直しに向けて、3. 1. 2項の検査省力化アプリケーションや、3. 1. 4項の車両統合検査システムの対応機器や検査項目のラインアップを増やすことで、更なるTBM検査業務の効率化に貢献していく。また、3. 1. 3項の故障予兆監視を適用した機器の稼働データを蓄積し、AIを活用した分析等によって、CBMを実現していく。

4.2 車両アセット全体の運用最適化

故障対応の業務連携支援では、状態監視システムから取得する故障時監視データや過去の故障事例データを活用して初期対応判断の更なる迅速化を支援するソリューションの開発を進める。また、トレーサビリティ管理機能を活用し、自動識別技術によるデータ取得の省力化(自動化)、基板単位での追跡の実現、メーカー保有の機器設計・製造データとの連携等を進めて、より広範かつきめ細かくメンテナンス業務の効率化に貢献する。さらに、これらの成果を基盤として、鉄道事業者との共創活動を継続しながら、車両アセット全体の運用最適化に貢献するアセットマネジメントソリューションへ発展させていく。

4.3 データ活用による次世代鉄道輸送システムへの発展

データ活用の観点では、現在、鉄道LMS on INFOPRISMに持っている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て、省エネルギー、自動・自律運転、旅客サービス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(図6)。

4.4 プラットフォームのオープン化

今後、4. 1節、4. 2節、4. 3節で述べた内容を実現していくために、鉄道LMS on INFOPRISMを支えるプラットフォームでは、複数の事業者及び複数のメーカーと協調して新しい価値を創出・提供する取組みを深度化する必要がある。そのため、システムの出力結果やシステムが扱うデータに対する説明性、追跡可能性、アクセス性、透明性を向上させるとともに、オープン化を進めていく。プラットフォームのオープン化では、複数の事業者及び複数のメーカーがデータを

共有・管理するために必要になるデータや機能・サービスへのアクセス制御とともに、統一的なインターフェースでのアクセスを可能にする。また、各事業者やメーカーがこのプラットフォーム上で新たな機能・サービスを開発・展開することによるプラットフォームの活性化も視野に入れて開発を進める。

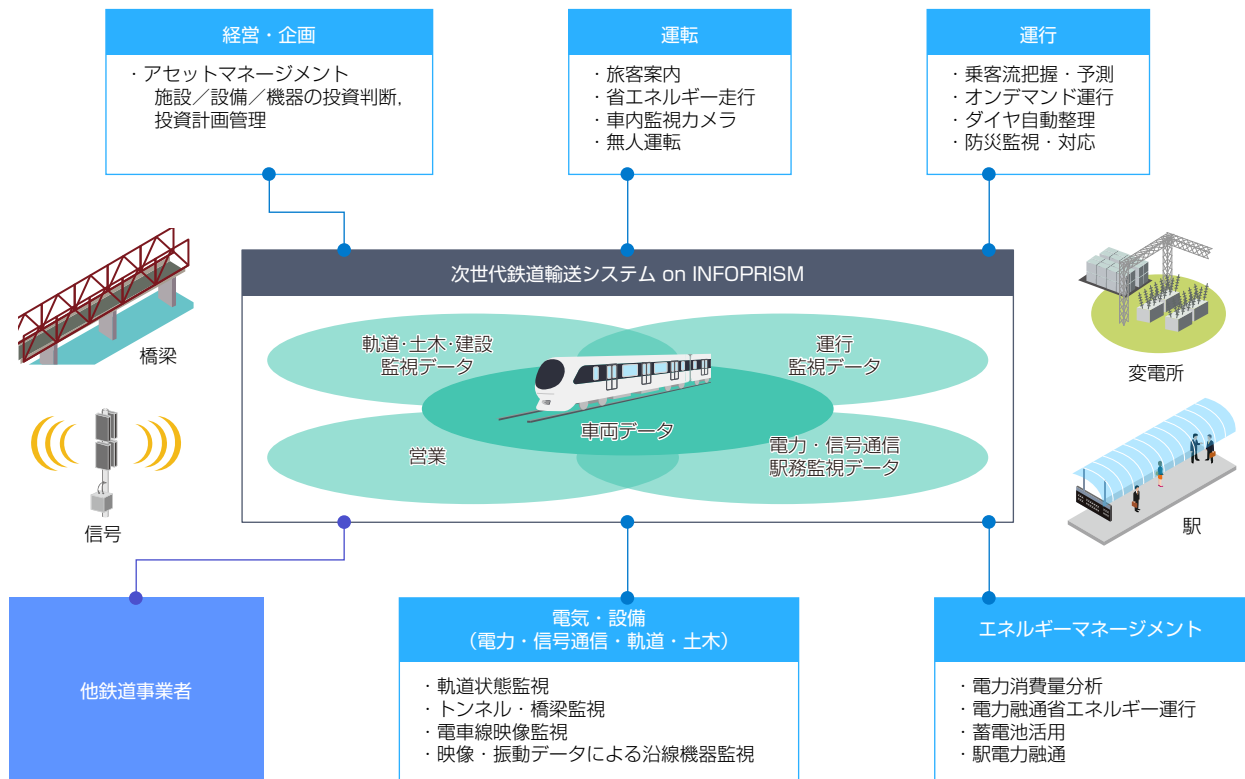


図6. データ活用による次世代鉄道システムへの発展(構想)⁽¹⁾

5. む す び

鉄道LMS on INFOPRISMのこれまでの取組みと開発成果、また今後の取組みについて述べた。当社はこれまでに培った車両機器や検査に係る知見を活用し、車両状態の見える化やTBM省力化などの機器稼働データを活用した鉄道車両メンテナンスソリューション、メンテナンス業務データを活用した業務連携ソリューションの開発を推進してきた。

今後は、鉄道メンテナンスソリューションでの対応機器や検査項目のラインアップの追加やCBMの実現に向けた取組み、車両アセット全体の運用効率化に貢献するアセットマネジメントソリューションへの発展、更なるデータ活用による次世代鉄道システムへの発展を目指すとともに、その実現のためのプラットフォームのオープン化の開発を推進する。それによって、鉄道の経営効率化やアセットの最適化に向けたソリューションを提供し、交通事業のサステナビリティに貢献していく。

参 考 文 献

(1) 吉本剛生, ほか: 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”, 三菱電機技報, 94, No.12, 669~673 (2020)