

三菱電機技報

9

2023
Vol.97 No.9

交通ソリューション
—サステナブルな交通インフラの構築—

No.9

特集	交通ソリューション — サステナブルな交通インフラの構築 —	Transport System Solutions — for Sustainable Transportation Infrastructure —
巻頭言		
持続的に発展する令和の交通技術 — 急速な人工知能の広がりを傍観しつつ — ……	1-01	Sustainable Development of Transportation Technology in the Reiwa-era — Feeling the Rapid Spread of Artificial Intelligence — Takafumi Koseki
古関隆章		
巻頭論文		
社会課題の変容と交通ソリューションの将来像 ……	2-01	Innovative Transport System Solutions toward New Social Issues on Railway Business Hideto Negoro
根来秀人		
交通事業のサステナビリティに貢献する “鉄道LMS on INFOPRISM” ……	3-01	"Railway LMS on INFOPRISM" Contributing to Sustainability of Transportation Business Kenji Hiroshige, Shunsuke Shiraishi, Masakazu Fukutomi, Yosuke Tsujita, Masafumi Yamada
弘重健司・白石俊介・福富正一・辻田陽介・山田将史		
持続可能な公共交通の実現に向けた 自動運転の取組み ……	4-01	Autonomous Driving Initiatives for Sustainable Public Transportation Masahito Chihira, Motonobu Jutori, Nariaki Kishishita, Takuji Tsuda, Taisei Sumitani
知平雅仁・十鳥基伸・岸下整明・津田琢士・住谷泰正		
鉄道事業者のサステナビリティに貢献する 無線解析ソリューション ……	5-01	Advanced Radio Analysis Solutions for Railway Applications Contributing to Sustainability of Railway Operators Kentaro Goto, Ryusuke Kawate, Takuro Mamiya, Yuji Kobayashi, Takeo Itaya
後藤健太郎・川手竜介・間宮拓朗・小林裕二・板谷建郎		
鉄道の運転電力削減による カーボンニュートラル実現の取組み ……	6-01	Carbon Neutrality Initiatives by Reduction of Operating Power of Railway Vehicles Yoshinori Yamashita, Koki Yoshimoto, Takuma Ishiyama, Kenta Kaneko, Yuki Akihara
山下良範・吉本剛生・石山琢麻・金子健太・秋原優樹		
駅を基点とした新ソリューション創出に向けた 共創事例 ……	7-01	Co-creation Activity for New Station-based Solutions Hidehiro Shimizu, Hiroyuki Serada, Kazufumi Yoshida, Hiroki Ikegami
清水英弘・世良田博幸・吉田和史・池上裕樹		

三菱電機では、サステナビリティ経営を実現する4つのビジネスエリアとして、「インフラ」「インダストリー・モビリティ」「ライフ」「ビジネス・プラットフォーム」を設定しています。

三菱電機技報ではこの4つのビジネスエリアに分類し特集を紹介しています。

今回の特集ではインフラ領域の“交通ソリューション — サステナブルな交通インフラの構築 —”をご紹介します。

巻頭言

持続的に発展する令和の交通技術 — 急速な人工知能の広がりを傍観しつつ —

Sustainable Development of Transportation Technology in the Reiwa - era
— Feeling the Rapid Spread of Artificial Intelligence —



古関隆章 Takafumi Koseki

東京大学 大学院 工学系研究科 教授

Professor, School of Engineering, The University of Tokyo

日本の鉄道開業150周年としての令和4年(2022年)には、多くの識者の技術展望を伺う機会があり、愚見を述べる機会もいただいた。そこでは、高齢化と急速な人口減少の中での持続可能社会に資するモビリティ論の通奏低音の上に、パンデミック対策とそれによる暮らし方や働き方の劇的な変化へ危機感・経験を経た安心できる公共交通、デジタル社会への対応、交通技術そのものの情報化をどうするかという共通の問題意識が見られた。

その翌年企画される本号も、ポストコロナ、サステナブル経営、カーボンニュートラルを視野においた省エネルギー技術、運用や保守の自動化・効率化、無線技術の応用、自動運転など、正統的開発課題への三菱電機の技術開発を具体的に記述する構成である。これらは時宜を得た技術解説となっている。

令和4年(2022年)の一連の議論の中で、筆者は、“SF(Science Fiction)プロトタイプ”という考え方を紹介し、軌道交通の持続的発展課題具体化のために、30年後軌道交通を抹殺する技術がSFの中でどのように描かれているかに着目してはどうかと、やや奇抜な提案をした。その際にあまり顕在化しておらず、今日パンデミックの影響以上に着目を集めているのが、いわゆる“生成型AI”の普及である。

それが未来をどう変化させるかが、SFではなく現実問題として論じられている。“ターミネーター”^(注1)や“エクス・マキナ”などのディストピアSF映画に見られるように、欧米の社会は、ロボットの生活空間への広がりやAIの普及に、強い懸念と警戒心を持つようだ。実際、OpenAI^(注2)最高経営責任者 Sam Altman氏やGoogle DeepMind最高経営責任者のDemis Hassabis氏といった人工知能界の代表者が、他の科学者らとともに、自ら推進してきた先進的なAIの一般社会への強い懸念を示し、開発のペースに一定の制限をかけること等を提言していることは瞠目(どうもく)に値する。

これに対し、我が国では、この技術を生産性向上や個別の顧客要求へのきめ細かな対応に活(い)かす肯定的な側面に注目し、その進歩にためらいなく邁進(まいしん)することが大切と捉え、上記に表明されたような深刻な懸念を感じる技術者はどうも少ないようだ。それは私たちの先進技術のイメージのものが、“鉄腕アトム”^(注3)や“ドラえもん”^(注4)だからではないかと、武田鉄矢氏がラジオで語っていた。それは確かな証拠に基づく議論ではないが、直感的に的を射た捉え方と筆者は感じる。先端技術の先にユートピアを見ることには慎重である中にも、システムの悪用や意図的妨害を考えるよりは、技術の進歩を善意で捉え、倫理感を持つ利用者の秩序ある行動を前提に、新しい技術の成果を活かすという大和魂を、私たちの多くは有しているのであろう。実際、列車運行管理への機械学習の応用も一部で進みつつある。

高速鉄道分野で、中国はその膨大なネットワークで急速に蓄積した経験に基づき、一帯一路構想とともに国際市場での存在感を高めている。一方、都市交通分野で、日本は1980年代に完全自動運転を世界に先駆けて新交通システムで実現しながらも、鉄道における自動運転の実用化で諸外国に大きく水をあけられ、危機感が強い。

しかし、我が国には、運行信頼性の高い新幹線の高頻度運転、長距離都市間高速磁気浮上鉄道としての中央新幹線、高度なATS(Automatic Train Stop)に基づく(前頭乗務員付き)ドライバーレス自動運転、無線式列車制御と自動運転を組み合わせた高頻度運転、自動運転を活用した精度と再現性の高い列車省エネルギー運転技術など、我が国固有の強みを持つ技術が育ちつつある。本特集の記事をお読みいただきながら、未来のモビリティへの明るい希望を感じていただきたい。

(注1) ターミネーターは、Studiocanal S.A.S.の登録商標である。

(注2) OpenAIは、OpenAI, Inc.の登録商標である。

(注3) 鉄腕アトムは、(株)手塚プロダクションの登録商標である。

(注4) ドラえもんは、(株)小学館集英社プロダクションの登録商標である。

社会課題の変容と交通ソリューションの将来像

Innovative Transport System Solutions toward New Social Issues on Railway Business



根来 秀人*
Hideto Negoro

* 上席執行役員 インフラBA 社会システム事業本部長

要 旨

新型コロナウイルス感染症(COVID-19)の拡大(以下“コロナ禍”という。)による生活様式の変容やカーボンニュートラルを目指す機運の高まりによって、人々の社会課題への認識は変わってきた。鉄道業界でも、省力化・経営効率化を目的としたDX(デジタルトランスフォーメーション)や、省エネルギー・環境負荷軽減を目指すGX(グリーントランスフォーメーション)の実現が優先度の高い課題になっている。

三菱電機は100年にわたって鉄道車両システムから各種地上設備まで国内外に幅広く事業展開し、保守・設備管理、自動運転、省エネルギー、駅・旅客サービスなどの分野でも経験を積んできた。今後も変容する社会課題を解決する交通ソリューションの開発を推進し、交通事業全体のサステナビリティの実現に貢献していく。

1. ま え が き

当社は1921年の創業以来100年にわたって、交通・電力・通信など社会インフラ整備の一翼を担い、社会の発展と各種課題の解決に取り組んできた。交通分野では車両用機器から地上設備まで鉄道システム全般について国内外へ幅広く事業を展開し、輸送力増強や省エネルギー化など、それぞれの時代に即した社会課題の解決に、顧客とともに取り組んできた⁽¹⁾。

近年、地球環境問題・エネルギー問題・人口問題などに加えて、2020年から2023年に経験したコロナ禍や緊迫する国際情勢などを反映して、社会課題は複雑かつ大規模なものに変容している。これらを背景に鉄道業界でも、省力化・経営効率向上のためのDXや、省エネルギー・環境負荷軽減のためのGXが進められている。同様に、当社でもサステナビリティを経営の根幹に据えて、循環型デジタル・エンジニアリング企業として持続可能な社会の実現を目指す方針を掲げている。

そこで本稿では、交通事業に関わる社会課題の変容を概観し、顧客と連携・協調して新たな社会課題の解決を目指す、当社の交通ソリューションの将来像(図1)について述べる。

2. 交通事業に関する社会課題の変容

鉄道は安全で信頼性が高く、都市鉄道や新幹線などは今日の生活・経済に欠かせない社会インフラである。高度経済成長期から輸送需要の増加に伴って輸送力増強を進めてきたが、1990年代のバブル崩壊以降からは低成長期に入り、人口減少や産業構造の変化、インターネット社会の進展などによって、旅客需要の伸びは鈍化した。さらに、2020年初からのコロナ禍は、インバウンドの減少、ビジネスや旅行の移動抑制、テレワークの普及など鉄道業界にも大きな影響を与えている⁽²⁾。コロナ禍以前から、生産年齢人口の減少や少子高齢化への対応として、鉄道業界では省力化や経営効率向上の取り組みが始まっていたが、コロナ禍によってその動きが加速された。今後も働き方や生活様式の変化によって旅客需要はコロナ禍前の水準には戻らないとの見立てもあり、鉄道業界は先に述べた効率化に加えて、地域と暮らしに密着し、公共



図1. 当社の交通ソリューションの将来像

交通としての価値を高めていくことが求められている。

一方、地球温暖化防止のためのカーボンニュートラルを目指す動きが活発化している中、鉄道は輸送効率が高く環境負荷が少ない輸送機関として期待されている。先進各国は2050年までにCO₂排出量実質ゼロの高い目標を掲げて、新たなエネルギー政策や産業政策を推進しており、自動車や航空機から鉄道輸送に移行するモーダルシフトや、鉄道の更なる省電力化と脱炭素化のため、非電化区間での燃料電池車両やバッテリーハイブリッド車両の導入などが進められている。欧州では、EU(欧州連合)の産業政策として鉄道産業の競争力強化を意図しており、欧州グリーンディール政策や、コロナ禍後の産業復興を掲げたグリーンリカバリー政策でも鉄道への投資が期待されている。国内では、2022年3月に国土交通省が“鉄道分野におけるカーボンニュートラル加速化検討会”を設けて、鉄道事業者と連携してカーボンニュートラルの実現を推進している。

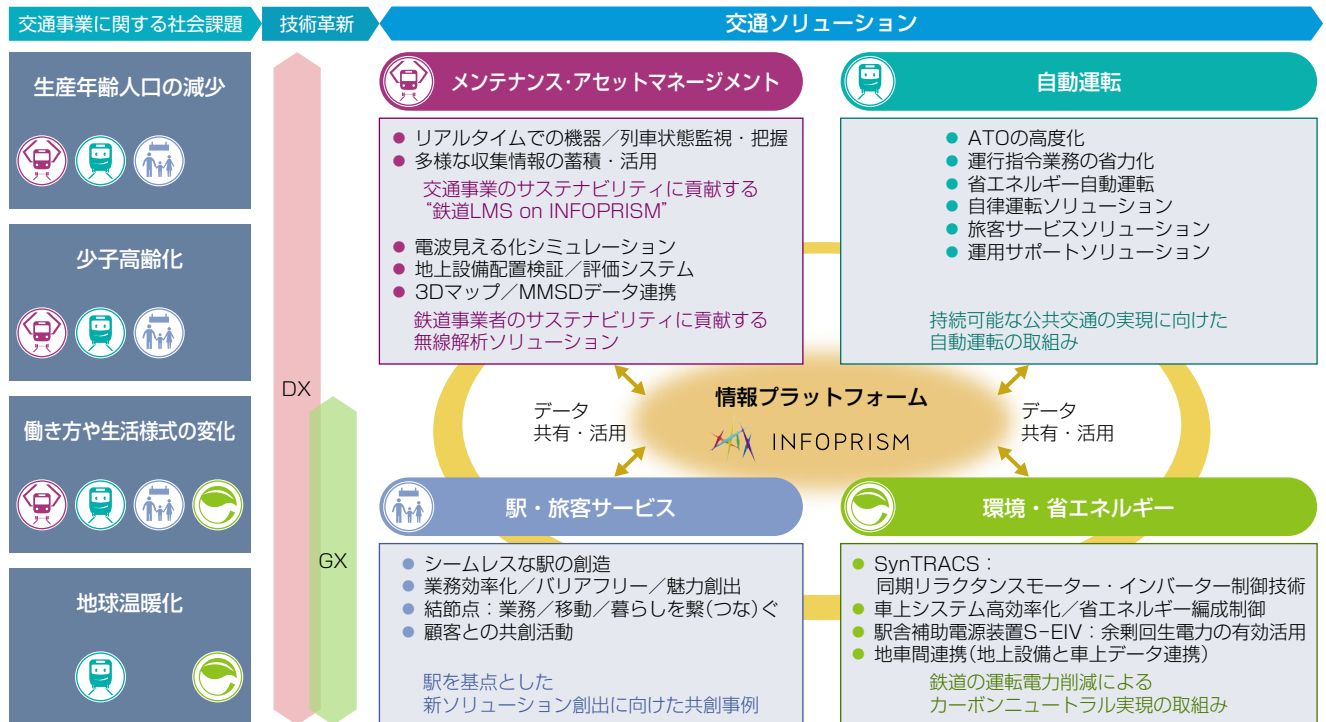
また、発展途上国では、アジアを中心に主要都市での人口増加や交通渋滞から都市鉄道の需要は多く、各地で新線開発が計画されているが、経済合理性と環境優位性の両立が重要になる。

このように鉄道業界では、生産年齢人口の減少、少子高齢化、地球温暖化などの問題、働き方や生活様式の変化を踏まえて、省力化・経営効率化のためのDX、省エネルギー化・環境負荷低減のためのGXの推進が課題になっている。

3. 変容する社会課題を解決する交通ソリューションの将来像

DXやGXの推進では、鉄道を含む多様なモビリティ及び駅など鉄道関連サービスをデータでつないで、鉄道と非鉄道の両分野を包含した新しい交通ソリューションを構想していくことが望ましい。当社では、顧客とともに長年にわたって培ってきたノウハウを活用し、交通業界全体のサステナビリティ実現に貢献していくことを目指す。

図2に示すように、交通ソリューションでは、主に“メンテナンス・アセットマネジメント”“自動運転”“環境・省エネルギー”“駅・旅客サービス”の領域で構想を進めている。それぞれのソリューションをデータで連携して保守や運行のデータを情報プラットフォーム“INFOPRISM”に蓄積・分析し、データを活用して変容する社会課題に対応できる新しいソリューションを顧客に提供する。例えば、保守・設備管理関係の鉄道LMS(Lifecycle Management Solution)と運行関係等のデータを連携し、顧客とともに新たな旅客サービスの提供やオペレーションの向上を目指す。



MMSD : Mitsubishi Mobile Monitoring System for Diagnosis, ATO : Automatic Train Operation, SynTRACS : Synchronous reluctance motor and inverter TRACTION System, S-EIV : Station Energy saving Inverter

図2. 社会課題に対する交通ソリューションの構想

この章では、顧客とともに交通事業のサステナビリティに貢献する各ソリューションを概観し、本号の特集論文で具体的な取組みを詳述する。

3.1 メンテナンス・アセットマネジメント

安全・安定輸送が求められる鉄道では、日々のメンテナンスによる機器・設備の故障防止は重要な業務である。鉄道システムには多くの機器・設備があり、そのメンテナンスには多大な労力が必要になる。一方、労働環境や少子高齢化による労働力確保の難しさも懸念されている。メンテナンスの労働力不足は鉄道経営のサステナビリティに関わる重要な課題であり、DXによるメンテナンス業務の効率化・省力化が有効と考える。

そこで当社は、IoT(Internet of Things)とAI技術によって、鉄道の運用・メンテナンス業務の効率向上に貢献する“鉄道LMS on INFOPRISM”を開発し、2019年からサービスを開始して実績を積んできた。列車の稼働情報を地上側に収集し、リアルタイムでの機器・列車の状態監視・把握を実現しており、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に貢献している。さらに、収集した多様な情報を蓄積して活用することで、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。

また、鉄道事業者では設備の削減やメンテナンス業務の省力化・省人化のためCBTC(Communications-Based Train Control)など列車制御システムにも無線技術の適用が進んでおり、運行管理やCBM(Condition Based Maintenance)などメンテナンスのデータ利活用でも無線による情報伝送が重要になっている。当社では無線式列車制御のほか、自営網無線の大容量化・干渉対策や5G(第5世代移動通信システム)／ローカル5Gとの連携動作の開発を進めている。鉄道用の無線システムの安定稼働に向けて、設計作業の効率化と無線品質の向上を目的に、“電波見える化”シミュレーション技術によって無線基地局の配置を検証・評価するシステムを開発した。このシステムは無線基地局設置後のフィールド試験や運用開始後の無線モニターとしても活用できる。さらに、3Dマップと当社のMMSDのデータとも連携させて無線解析に関するシミュレーションの高度化を図り、設計・試験・運用・保守のサイクルを一元的に対応する循環型の無線解析ソリューションを提供する。

3.2 自動運転

国内では生産年齢人口の減少に伴い、鉄道事業でも乗務員や駅係員等の鉄道要員の確保が懸念されている。特に運転士

の養成には相当の期間と熟練が必要であり、高度な自動運転のニーズは高い。自動運転は運転士の技量によらない効率的な運転にも適しており、今後、必要性が一層高まるソリューションである。そこで、DXによる運行の省力化や、GXに寄与する省エネルギーな自動運転の実現が有効と考える。

自動運転自体は、新交通システムの無人運転を始め、多くの実績があり普及しているが、当社では、単に列車を自動的に制御することにとどまらず、“より快適に”移動を楽しんでもらうために、そして、“より効率的な”列車運行を目指していくために、旅客サービスや運用支援の質的向上を進めている。この取組みの中心となるのが、次の三つのソリューションである。

- (1) 地上・車上間連携による列車群制御によって、ダイヤ乱れの際の回復や運転整理などにシステムが自律的に対応する“自律運転ソリューション”
- (2) AI技術を活用して、自動・無人運転の際に乗務員に代わって、指令とシステムで安全な旅客サービスを提供する“旅客サービスソリューション”
- (3) 情報プラットフォーム“INFOPRISM”によって、データに基づいて車両の健全性を把握し、故障が発生する前にいち早く対処して継続的な運用を実現する“運用サポートソリューション”

これらのソリューションを提供することで、サステナブルな公共交通の発展に貢献する。

3.3 環境・省エネルギー

鉄道は輸送効率が高く、環境優位性の高い輸送機関であるが、最近のエネルギー価格の高騰やカーボンニュートラルを目指す意識の高まりを背景に、一層の省エネルギー化やCO₂削減が求められている。そこで、GXに向けた機器効率向上やエネルギーの有効利用が効果的と考える。

当社では以前から、先進的なパワーエレクトロニクス技術を応用した省エネルギー化を推進しており、SiC(シリコンカーバイド)適用の推進制御装置や全閉形主電動機など、高効率な推進制御システムを提供してきた。2020年に鉄道車両では世界初^(注1)の同期リラクタンスマーターとインバーター制御技術を組み合わせた“SynTRACS”を開発し、2021年から営業車両に搭載して検証した結果、従来の高効率誘導電動機システムに対して18%減の省エネルギー効果を確認した⁽³⁾。SynTRACSは、技術の先進性と省エネルギー性能が評価され、“日本機械工業連合会会長賞”及び日本鉄道技術協会“坂田記念賞”を受賞した。

また、車上システムの高効率化や編成制御による省エネルギー制御などに加えて、エネルギーの有効利用には地上・車上間の連携がより効果的である。地上設備では回生ブレーキの余剰電力を駅舎内の照明や空調、エレベーター等に供給する“駅舎補助電源装置S-EIV”を実用化している。地上設備とINFOPRISMで収集・蓄積された車上データを活用することで、当社独自のエネルギー効率向上技術を適用して、交通事業のカーボンニュートラルの実現とサステナビリティに貢献する。

(注1) 2020年11月26日現在、当社調べ

3.4 駅・旅客サービス

少子高齢化や生産年齢人口の減少によって、鉄道利用者の減少や要員不足が想定される中、交通の結節点である駅の利便性を向上させて、魅力を高めることは一層重要になる。そこで、駅係員・旅客・市民が連携・協調して、DXによる省力化と新しいシームレスな駅を創造して、駅・旅客サービスの向上を図る。

良質な旅客サービスの提供には、駅での動きをスムーズにすることが重要になる。少人数の係員でも安全レベルやサービスレベルを低下させずに業務を円滑に行える仕組み作り、障がいを持つ人や高齢者を含む全ての旅客に使いやすいバリアフリーな駅の構築、街と連携して人が集まる魅力的なスペースの創出など、様々な取組みが考えられる。

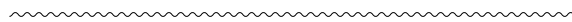
駅はサステナブルな社会を実現する重要な要素であり、鉄道事業者の“業務”と、利用者の“移動”や“暮らし”を繋ぐ結節点として、これらをシームレスに結ぶことを将来ビジョンとした。まず“業務”の視点で、当社独自調査によって導き出した省力化に向けたソリューションについて、鉄道事業者との共創によって有効性と優先順位を確認し、駅業務の見える化と情報共有・業務連携、情報発信の高度化の開発に取り組んでいる。今後、交通事業も輸送サービスから、より広範囲な生活サービスに移行すると想定され、INFOPRISM上のデータを利活用することで、鉄道事業者の“業務”と連携した、利用者視点での“移動”“暮らし”のソリューションの創出を目指している。

4. む す び

交通事業に関する社会課題の変容を踏まえて、これらの解決を目指す交通ソリューションの将来像について、“メンテナンス・アセットマネジメント”“自動運転”“環境・省エネルギー”“駅・旅客サービス”の領域の取組みを概観した。将来に向けて“連携・協調・共創”がキーワードであり、それぞれのソリューションで収集・蓄積したデータを利活用して、鉄道事業者、鉄道産業界、官公庁、大学、研究機関とも連携し協調することで、変容する社会課題に対応できる新しいソリューションを共創し、顧客とともに交通事業全体のサステナビリティを実現していく。

参 考 文 献

- (1) 福嶋秀樹：未来を創造する三菱交通システムの歩み，三菱電機技報，**94**，No.12，663～668（2020）
- (2) 根来秀人：鉄道システムのイノベーションへソリューションの取組み，JREA，**65**，No.7，46172～46173（2022）
- (3) 友松白英，ほか：同期リラクタン্সモータシステムの開発 世界初の営業車両への適用による省エネ効果の実証，第59回鉄道サイバネ・シンポジウム論文集（2022）



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。

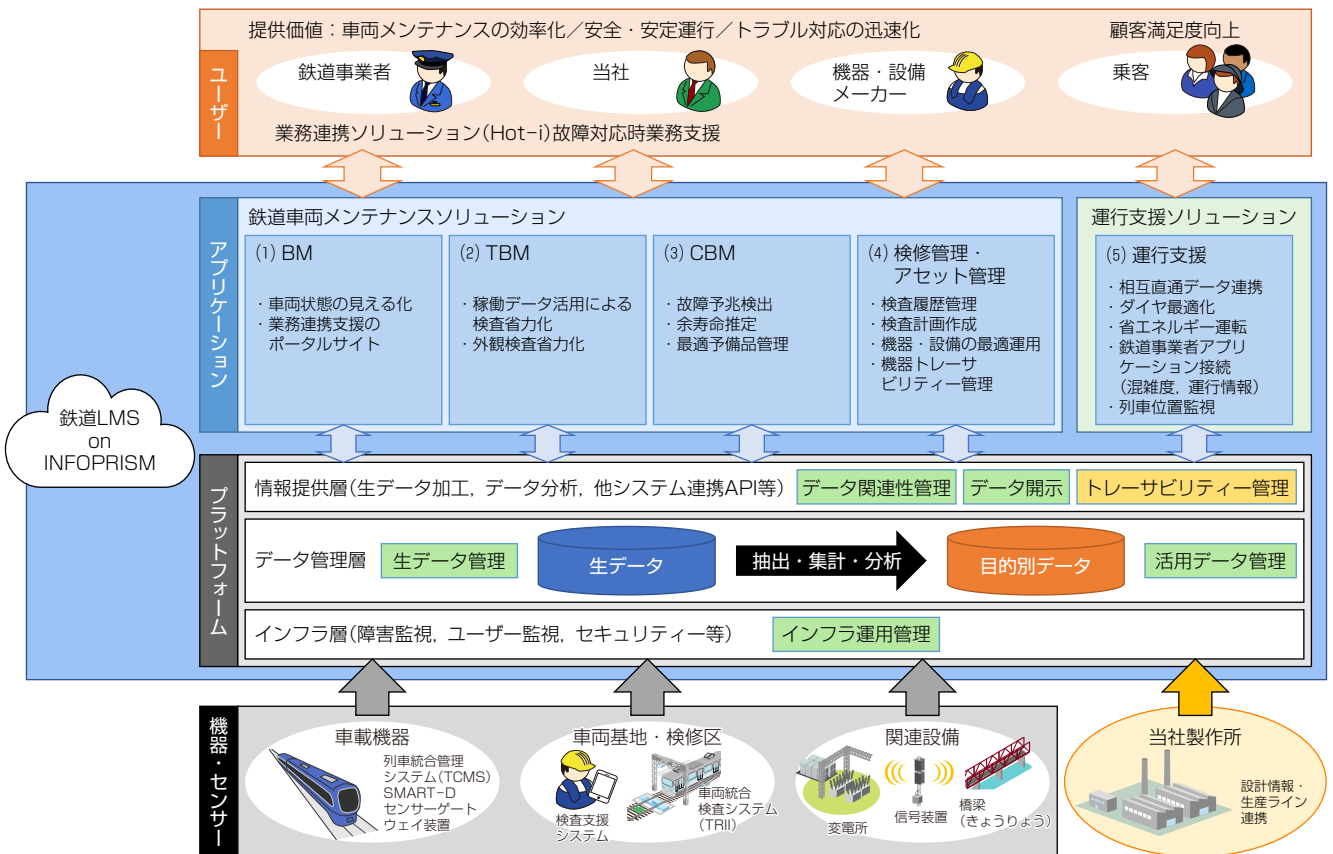
本稿では、鉄道LMS on INFOPRISMの開発・提供に関するこれまでの取り組みと成果を述べるとともに、今後の発展として、蓄積された様々なデータの活用によって鉄道の更なる経営効率化やアセットマネジメント最適化を図るソリューション拡張への取り組みを述べる。

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。

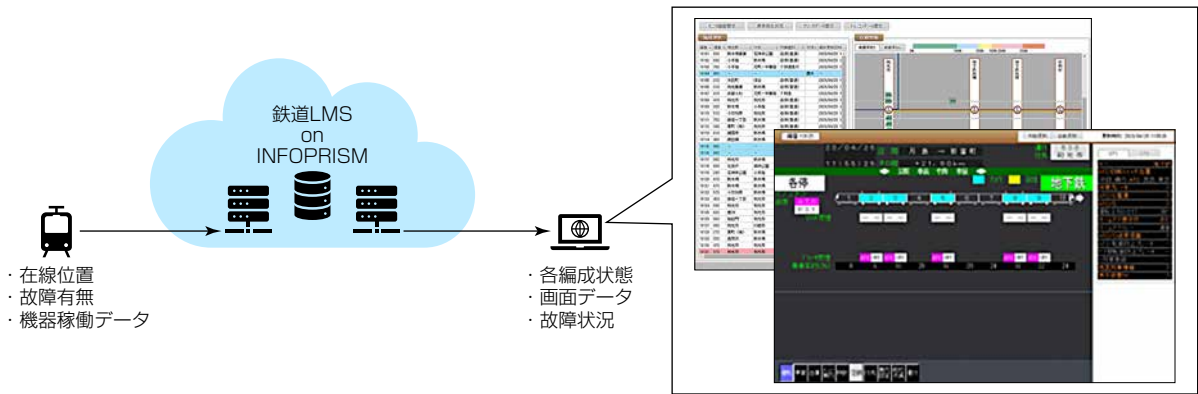


図2. 車両状態の見える化アプリケーションと画面例

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)。

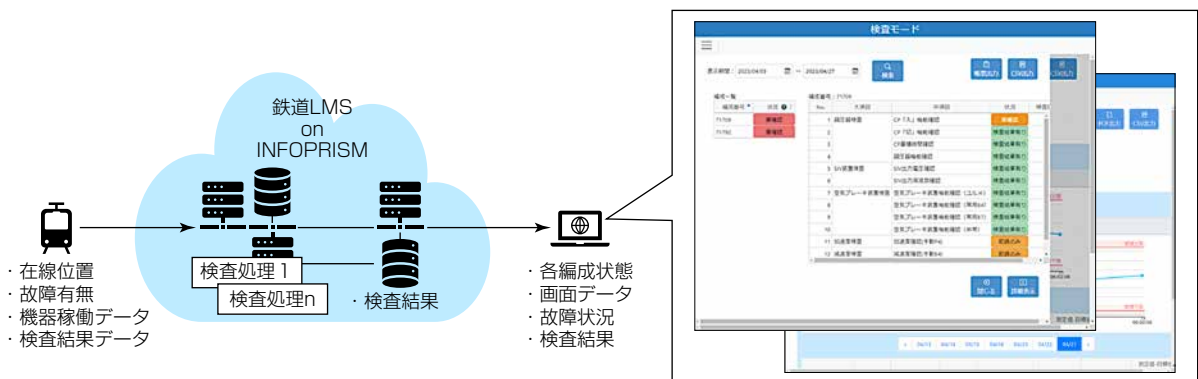


図3. TBMでの検査省力化アプリケーション

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。

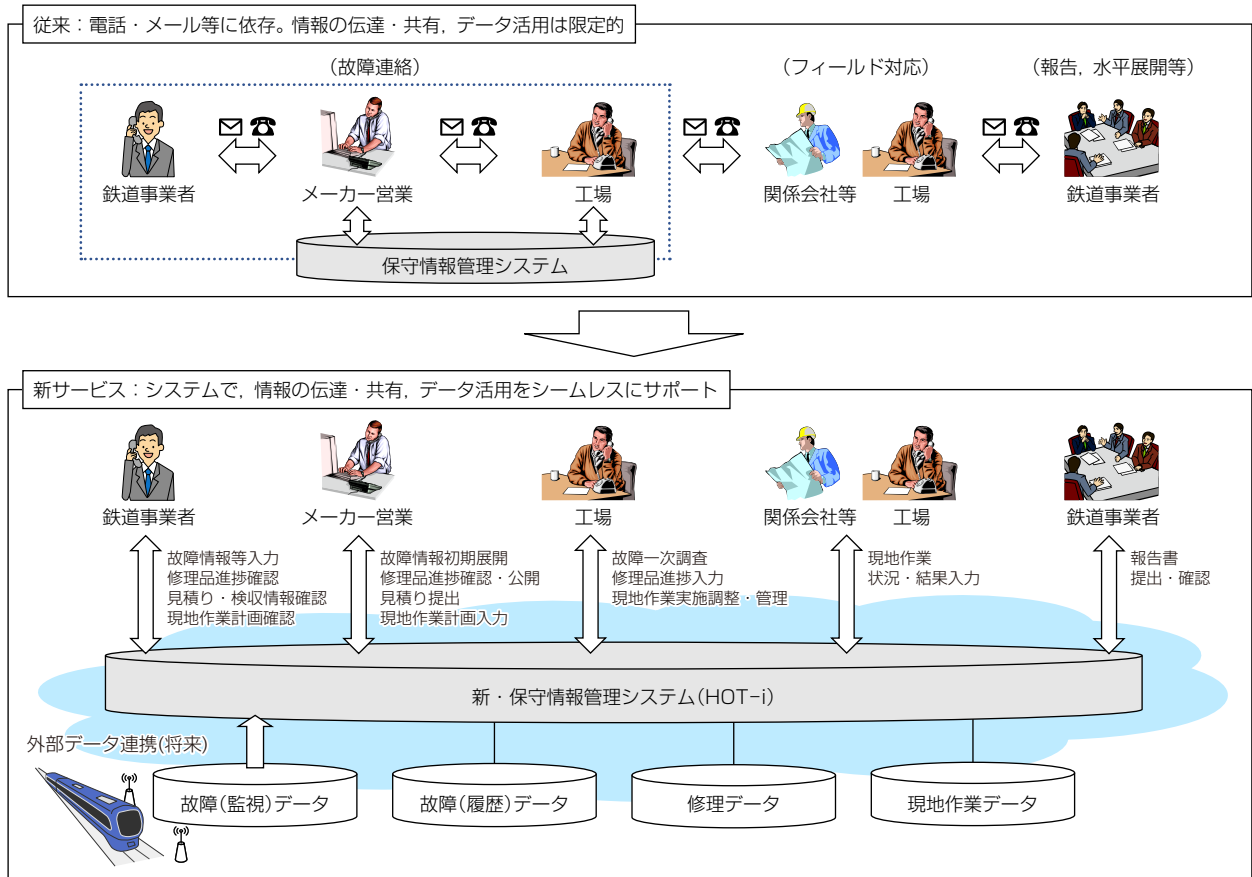


図4. 故障対応の業務連携：新・保守情報管理システム(HOT-i)

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実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。

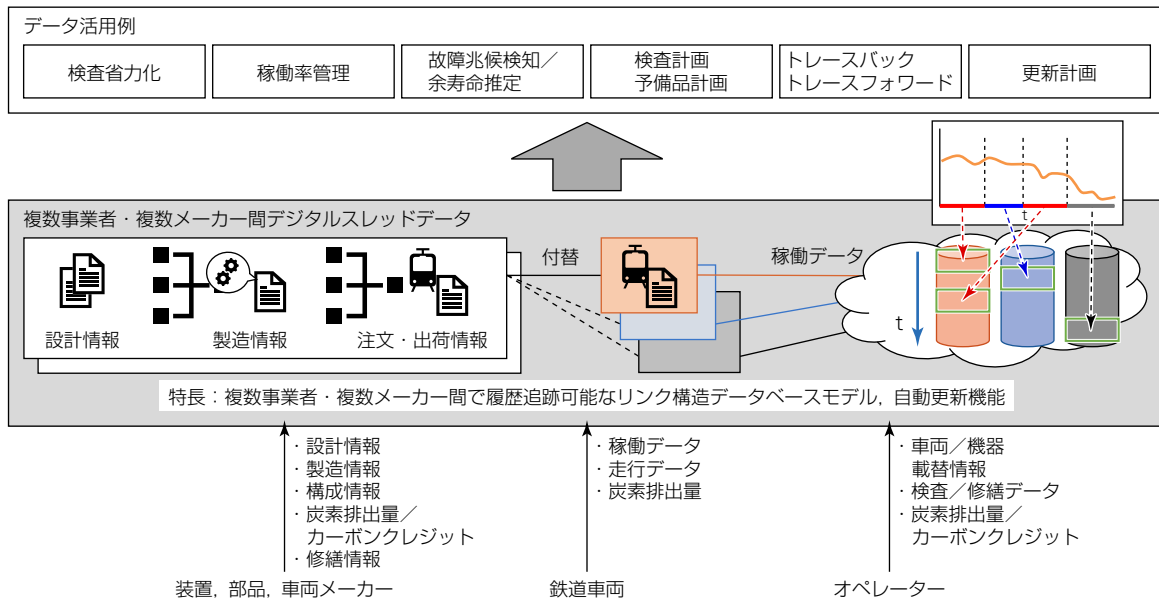


図5. トレーサビリティ管理機能での複数事業者・複数メーカー間デジタルスレッドデータ

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。

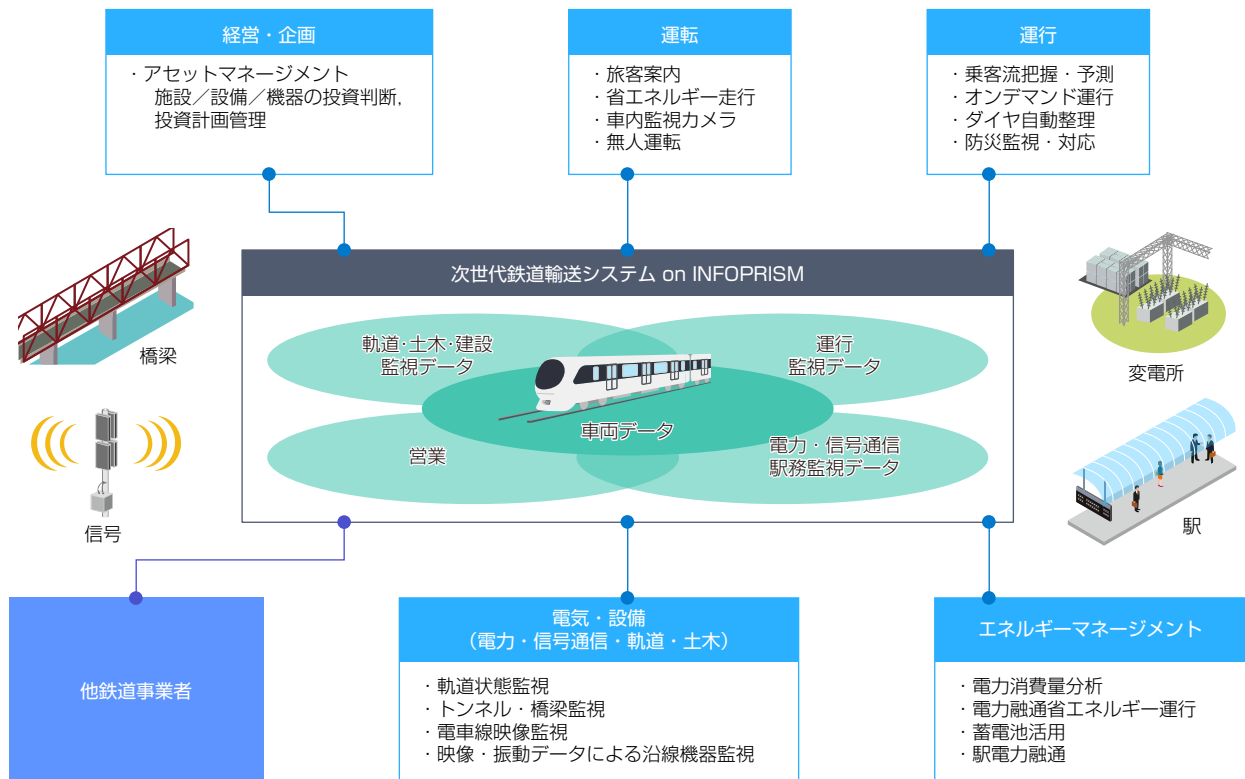


図6. データ活用による次世代鉄道システムへの発展 (構想)⁽¹⁾

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)

持続可能な公共交通の実現に向けた自動運転の取り組み

知平雅仁*
Masahito Chihira
十鳥基伸†
Motonobu Jutori
岸下整明‡
Nariaki Kishishita

津田琢士§
Takuji Tsuda
住谷泰正†
Taisei Sumitani

Autonomous Driving Initiatives for Sustainable Public Transportation

*交通事業部
†伊丹製作所
‡コミュニケーション・ネットワーク製作所
§神戸製作所

要旨

少子高齢化や生産年齢人口の減少によって鉄道業界でも労働力不足が懸念されており、運転士を必要としない自動運転のニーズが高まっている。

三菱電機は1980年代に新交通システムの無人・自動運転を実用化して以来、多くの実績を積んできた。さらに、乗務員の役割を分析し、最新の情報処理・情報伝送技術、AIやセンサー技術を適用して、運転の操作や状況判断、旅客サービス、異常時対応などのシステム化を目指す“自律運転ソリューション”“旅客サービスソリューション”“運用サポートソリューション”を開発・推進している。将来志向の自動運転のソリューションによって、コロナ禍後の鉄道事業者の経営効率化にも寄与する、より快適で効率的な自動運転を実現し、持続可能な公共交通の維持・発展に貢献する。

1. ま え が き

国内では少子高齢化や生産年齢人口の減少によって、鉄道業界でも労働力不足が懸念されている。特に運転士には高度な技術と経験が求められ、その養成には相当の期間と熟練が必要なため、運転士を必要としない自動運転のニーズは高い。さらに、コロナ禍によって鉄道事業者の収益は減少し、今後も働き方や生活様式の変化によって旅客需要はコロナ禍以前には戻らないとの見立てもあり、経営効率化の観点からも自動運転への期待が高まっている。

海外の都市鉄道では新線建設の際に、ホームドアを設置し専用軌道として無線式列車制御と併せて自動運転を導入するケースが多く、アジアの主要都市を中心に自動運転が普及している。国内では、1980年代に新交通システムの営業路線で世界初の無人運転を実現し、新交通システムでは自動運転が標準になっている。一方、踏切があり、ホームドアがない既存の普通鉄道では線路内侵入などの対策のため自動運転の普及が遅れているものの、技術開発や法制度の検討が進められており、今後の展開が期待されている。

当社は先に述べた世界初の新交通システムでの無人運転の実用化以来、無人・自動運転のバイオニアとして多くの実績を積んできた。より快適で、より効率的な自動運転の実現を目指して更なる技術開発を推進している。

本稿では、将来志向の自動運転のソリューションとして、当社の最新の情報処理・情報伝送技術、AIやセンサー技術等を適用した“自律運転ソリューション”“旅客サービスソリューション”“運用サポートソリューション”の取り組みを述べる。

2. 持続可能な公共交通を実現する三つのソリューション

都市鉄道では、駅での乗降人数が多いことに加えて、踏切などからの線路内侵入による安全・安定輸送への影響を回避するため、運転士や車掌の業務が多岐にわたる。当社では、踏切がある一般的な鉄道線区でのGoA2.5(Grades of Automation Level2.5:緊急停止操作等を行う係員付き自動運転)以上の自動運転の実現に向けて、乗務員の業務内容を詳細に分析した。分析結果から、乗務員の役割である、運転の操作や状況判断、旅客サービス、異常時対応などの業務をシステム化する自動運転の三つのソリューションについて開発を推進している。

(1) 自律運転ソリューション

主に列車の運転制御に関わる業務のシステム化を目指したソリューションである。運転士は刻々と変化する乗客の利用状況や列車状態、降雨や降雪などの路線環境などの情報から、状況に応じた運転制御や速度抑制、運転継続判断などを行っている。これらを地上・車上間(以下“地車間”という。)のシステムが連携して収集した情報を基に、与えられた役割ごとに自律的に判断を行うことで、最適運行を行うソリューションの実現を目指す。

(2) 旅客サービスソリューション

主に旅客サービスに関わる業務のシステム化を目指したソリューションである。運転士や車掌は旅客の安全を守る非常に重要な役割と責任を担う。例えば閉扉操作では、ダイヤ上の出発時刻を過ぎても乗降が続く場合や、旅客を挟み込む可能性が高い駆け込み乗車など、乗務員は様々なシーンを想定した対応を行っている。これらをIoT(Internet of Things)やAIなどの最新技術を活用することで、乗務員に代わって旅客サービスの維持・向上を目指す。

(3) 運用サポートソリューション

主に機器故障による車両トラブルなどの異常事態の対応に関わる業務のシステム化を目指したソリューションである。異常事態が発生した場合、乗務員が乗車しない自動運転では、不具合対応の係員を現場に派遣しても運転再開に時間を要するため、データに基づいて車両の健全性をリアルタイムに把握し、故障が発生する前にいち早く対処する取組みを進めている。

次に、これら三つのソリューションの取組み事例を述べる。

3. 自律運転ソリューション

列車を自動運転化するためには、これまで運転士や乗務員が行っていたオペレーションをシステムで実現し、列車を自動制御する必要がある。列車を最適に制御するためには、刻々と変化する乗客の利用状況や列車状態、降雨や降雪などの路線環境などの情報を収集し、状況に応じた運転制御や速度抑制、運転継続判断などが必要になる。

当社は、これまで培ってきた運行管理のノウハウや車両制御技術、地車間をつなぐ無線技術を持っている。さらに、自動運転化が進んでいる自動車技術の鉄道への応用も推進している。それらを高度にシステム連携させることで、システムが自律的に列車を制御し、最適運行を実現する“自律運転ソリューション”の実現に向けた取組みを加速している。

次に、自律運転ソリューションを構成する機能を述べる。

3.1 地車間システム連携による列車制御

これまで運転士や乗務員が行っていたオペレーションをシステム化する場合、どの装置にどのような役割を担わせるかが、最適運行を実現する大きな鍵になる。

ATO(Automatic Train Operation)地上装置は、単純に運行管理が持つダイヤ情報を列車個別に通知するだけでなく、路線全体を広く見渡して、路線全体を列車群として運行制御することによって、指令員による手動運転整理では難しかった列車間隔の調整や回復運転のための発着時刻微調整を実現する役割を担う。

一方、乗降用扉の再開閉などによって軽微な出発遅延が発生した場合、手動運転では運転士が自らの判断で回復運転を行うが、自動運転ではATO車上装置がドア閉制御以降の駅間走行で自律的に走行パターン切換制御を行うことで、ATO地上装置の意図した到着時分を守る役割を担う。

この役割分担イメージを図1に示す。このような役割分担とすることで、路線全体を俯瞰(ふかん)した運行制御と駅間走行での省エネルギー走行の両立が可能になる。

また、自動運転時には運転士が不在になるため、鉄道事業者では指令業務の増加が懸念されるが、運転士が行っていたオペレーションの大部分は、システムが自律的に運行制御を行うため、指令員が介在する業務は現行運転と同様に異常発生時だけになる。例えば運行に支障が発生した際には、現行の運用では指令員が運転士や乗務員から情報を収集し、復旧操作を指示した上で、最終的に列車運行可否の判断を行っているが、自動運転時には指令員が各列車に対して操作卓で遠隔指示を行い、車両で回復制御を行った後で、回復状態に合わせて自動運転の継続判断を行うことになる。その際にも、人間工学に基づくGUI(Graphical User Interface)を備える操作卓によってスムーズな操作が可能であり、業務効率化に貢献する。

3.2 列車群制御

ある列車に遅延が発生してダイヤ乱れが発生すると、列車間隔が開いた駅では、ホームに旅客が滞留して混雑が発生し、乗降時分が増加するため、更にダイヤ乱れが拡大してしまう。それを回避するために、現行運転でも指令からの無線指示によって列車間隔の調整を行っているが、対象列車数が多いため路線全体を対象に調整することは困難である。また、通常ダイヤに復旧するまでに要する時間が、指令員個人の経験やノウハウに依存することもあり、これらの課題を解決する

ために、列車群制御機能を開発している。これは、ATO地上装置とATO車上装置が無線で協調し、路線全体をまとめて最適化した制御を行うことで、駅ホームの混雑発生を回避し、ダイヤの早期回復を実現する機能である。

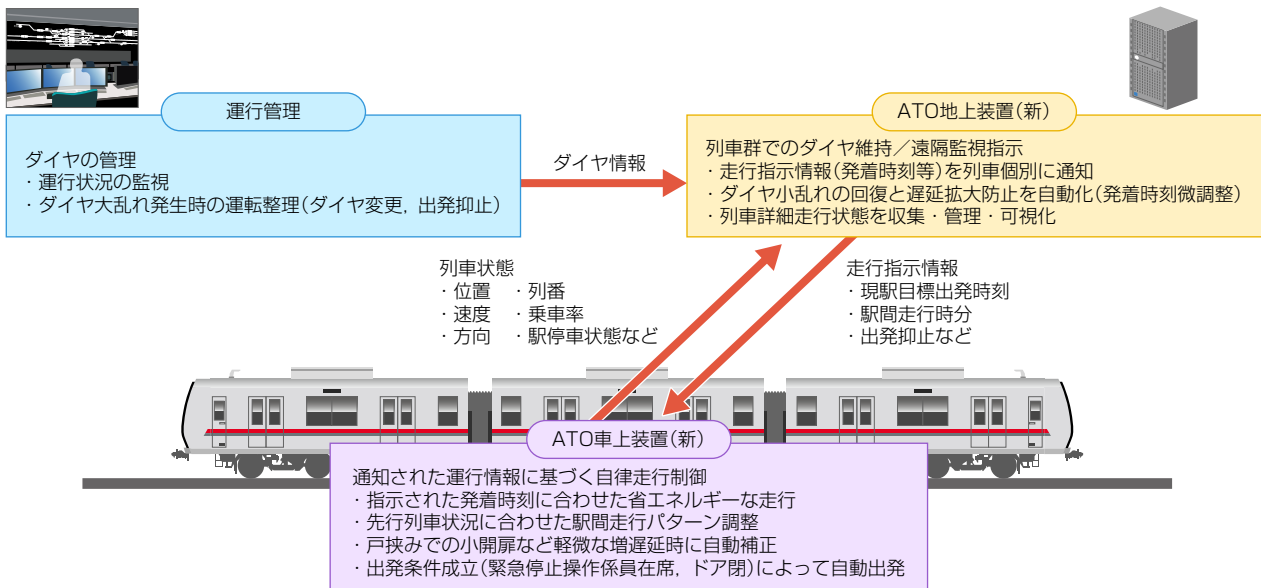


図1. 地車間システムの役割分担

図2、図3に、列車間隔を均等化することでダイヤの早期回復を実現する場合を例示する。なお、図2、図3共に、上側が指令員の口頭による列車制御、下側が列車群制御による新制御を示す。

図2は、左端の駅で乗降人数が増加したことによって、旅客の乗降時間を確保する必要があり、出発遅延が発生した直後の状態を示している。この時点では従来制御でも新制御でも、先行列車との列車間隔は等間隔である。

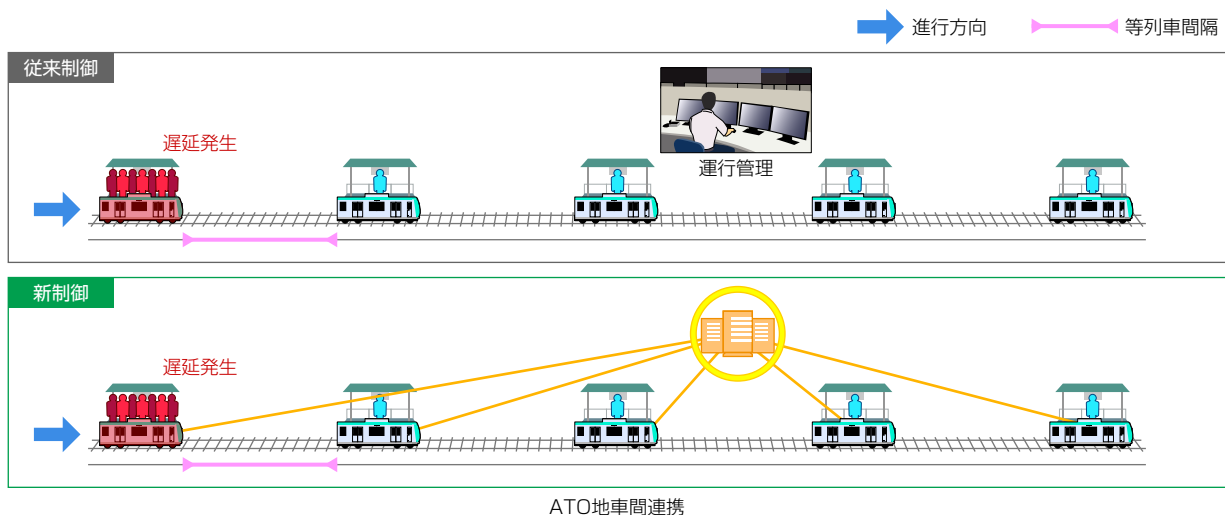


図2. 列車遅延直後の列車間隔状態

出発遅延の発生後、図3の上側に示すとおり、従来制御では指令員が先行列車に対して列車間隔の調整を指示することで、駅に滞留する旅客を先行列車に乗車させ、遅延した列車へ乗り込む旅客人数を抑制する対応を行う。しかし列車への指示が個別指令になるため、指令が届かない先行列車との列車間隔は広がってしまい、列車間隔を均等化するのに時間が掛かってしまう問題がある。

一方、図3の下側に示すとおり、列車群制御による新制御では地車間の装置が連携することで、駅を出発する全列車に対して出発時刻の調整を行うことが可能であり、迅速な列車間隔の均等化を行うことができる。そのため、従来制御では混雑が継続しているのに比べて列車遅延の早期回復が期待できる。なお、新制御は路線の特徴に合わせた制御が必要であり、追越し列車が存在する路線などでは、列車間隔の均等化制御をバランス良く行う必要がある。

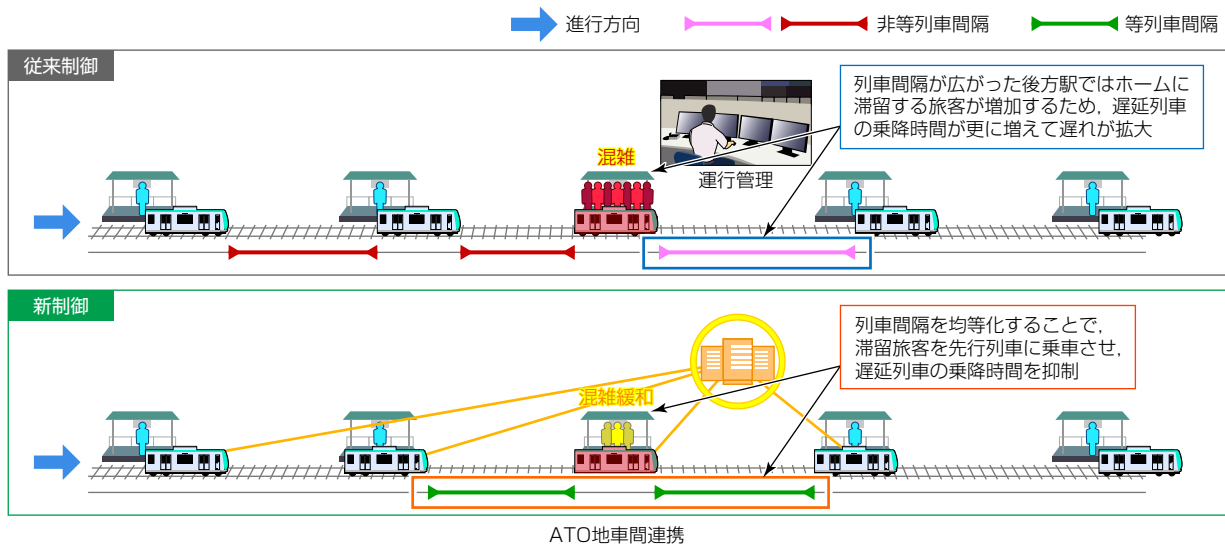


図3. 従来制御と新制御の混雑緩和タイミングの違い

3.3 乗務員状態モニタリング

自動車分野での自動運転は、各種センサーを使用した制御技術の開発が進められており、特定条件下での制御が既に可能になっている。当社でも各種技術開発を進めており、ドライバーモニタリング技術などを持っている。

鉄道分野でも、自動車分野のノウハウを活用しながら、鉄道への適用に向けた新規開発を進めている。次に、これらの技術の中から、ドライバーモニタリングシステムについて述べる。ここで、自動車用のドライバーモニタリングシステムは、鉄道への応用に当たって“乗務員状態モニタリング”として開発を進めている。なお、このソリューションは、自動運転ではGoA2.5での添乗員に向けた適用が想定されるが、GoA2(Grades of Automation Level2：半自動運転)以下の自動化レベルでも有用である。

自動車向けに開発されたドライバーモニタリングシステムは、自動車の速度やハンドルの向きなどの車両情報に加えて、ドライバーの表情や目の開眼度、顔の向きや視線などから危険度を判定し、ドライバーに通知を行うシステムである。

鉄道分野では自動運転・ワンマン化の拡大によって、国内鉄道事業者からの“運転士の健康状態の見守りニーズ”が高まっている。そこで、自動車分野のノウハウを活用しながら、鉄道特有の環境や運用条件を加味し、運転室に備えられた装置で得られる映像情報によって運転士の健康状態をモニタリングする。例えば、運転士の居眠り運転を防止するため、開眼度を図4のとおり数値化し、時系列処理を行うことで眠気を推定する。推定結果は音声で運転士に伝えられるとともに、運転指令と運転士の上司にも通知される。運転士の眠気レベルなどの数値データと映像によって、運転指令と運転士の上司が行う運転士交代の判断をサポートする。さらに、列車情報管理装置から受信する速度、位置、及び進行方向などの車両状態情報と連携し、眠気の過検知防止を図る。

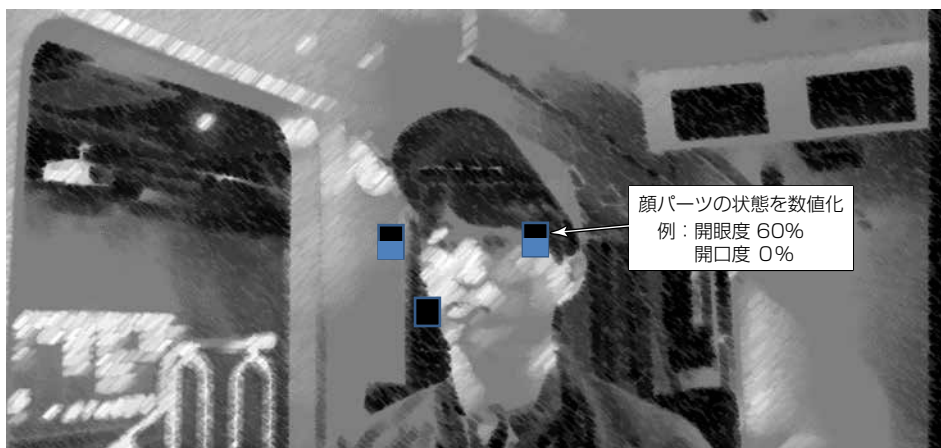


図4. 乗務員状態モニタリングの画像読み込みイメージ

4. 旅客サービスソリューション

列車での旅客サービスは、これまでは乗務員を中心に対応していた。自動運転が導入されると、乗務員が行っていたサービスを指令員とシステムが代替する必要がある。しかし指令業務は現状でも負荷が高く、限られた人員で全列車の旅客の様子を把握し、きめ細かな対応を行うことは困難である。

当社は、これまで培ってきた運行管理のノウハウや列車制御技術に、最新の高度なセンシング技術やAIを用いた映像解析技術、無線技術などを組み合わせて業務を自動化する。指令員とシステムが協働で業務を行うことで、自動運転を導入した場合でも指令所の業務量を大きく増加させず、より安全で充実した旅客サービスを維持する取組みを進めている。

そこで、様々な取組みの一例として“AIを活用した閉扉判断システム”について述べる。

列車運行で乗務員は非常に重要な役割を担っている。出発時刻を始めとした様々な運行条件を考慮して、適切なタイミングで閉扉を行うとともに、旅客の乗り心地を考慮した力行・制動制御を行うなど、乗務員の高度な技術によって鉄道の定時運行は維持されている。

都市鉄道では駅での乗降人数が多く、ダイヤ上の出発時刻を過ぎても乗降が続く場合や、旅客を挟み込む可能性が高い駆け込み乗車など、乗務員には様々なシーンを想定した対応が求められている。挟み込み等が発生し、扉の再開扉操作を行うことで出発遅延が発生した場合、定時運行に戻す必要性から出発後に列車の回復運転を行わなければならない。これは、省エネルギー運転を阻害する要因にもなるため、乗務員のような柔軟な閉扉判断・操作の自動化は列車を自動運転化する際の大きな課題である。

当社は、旅客の乗降状態やホーム上での混雑状況を始めとした複雑な状況を加味した閉扉判断業務の自動化だけでなく、列車制御と連携した閉扉操作自動化の取組みを進めている。閉扉判断業務の自動化では、従来、車掌や運転士が使っているホーム確認カメラの映像をAIが解析して、旅客の位置や状態から車両ドアの閉扉を行うことが可能か否かを判断している。

図5のとおり、ホーム確認カメラの映像を解析し、1列車分の解析結果を統合・判断することで、AIが列車としての閉扉可否を判断する。判断結果は無線通信によって当該列車に通知され、車上システムが出発時刻や信号システムなどの出発に関わる条件と合わせて閉扉可否を判断して、実際に自動閉扉を行う。このシステムでは、当社独自のAI技術であるMaisartによって、AIの解析を効率化することで閉扉判断の高速化を実現しており、駆け込み乗車等の急激な状況の変化にも対応可能としている。なお、このシステムは、実際に複数駅のホーム確認カメラの映像を使ったオフライン試験を実施しており、約90%の閉扉判断精度を達成している。

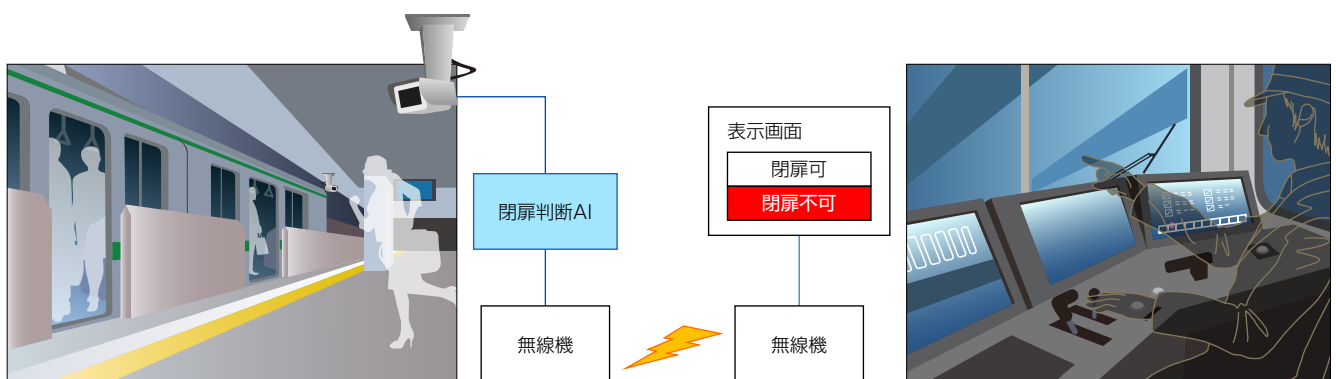
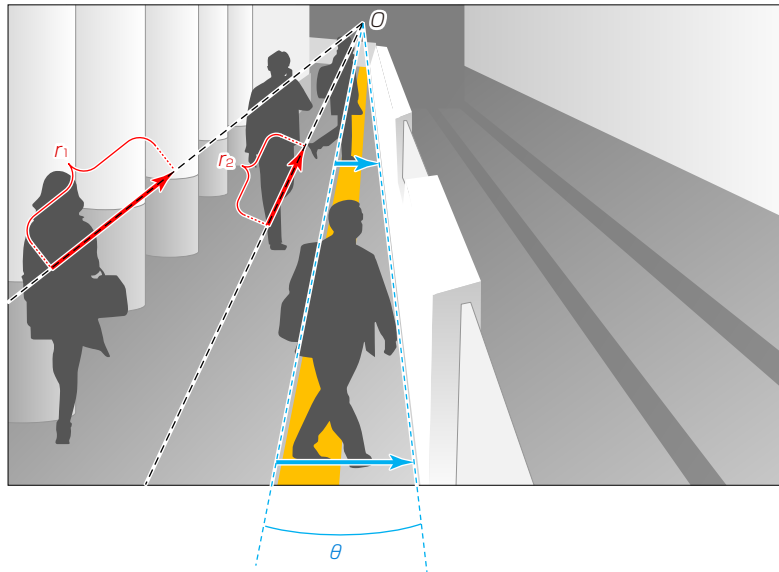


図5. 閉扉判断システムのイメージ

また、ホーム確認カメラ近傍の人物に比べて、見かけ上、遠方の人物の動きが小さくなり、AIの解析が難しいという課題に対しては、図6のように座標変換を使った移動量抽出方法を実装する対策を進めている。

今後は、複数路線へ容易に展開できるようなAI開発の効率化や実際のフィールドでの評価などを進めていく。



ホーム最奥を原点とする極座標に変換し、 θ 成分(原点周りを回る方向の長さ)を用いて移動方向を判定する。

図6. 座標変換を使用した移動量抽出方法

5. 運用サポートソリューション

機器故障による車両トラブルなどの異常事態が発生した場合、現状では乗務員が指令員と連絡を取り合って状況を確認した上で、最終的な判断は指令員が運用ルールに基づいて、機器リセット制御や手動操作による低速走行運転などの最適な対策を指示している。しかし、乗務員が乗車しない自動運転では、遠隔操作による車両の回復制御には限界があり、不具合対応や列車の運転が可能な係員を現場に派遣した場合でも運転再開までに相当な時間を要することが課題である。

現在、当社ではメンテナンス業務の改善に向けてCBM(Condition Based Maintenance)を実現するため、車上の各機器の稼働データを当社独自のIoTプラットフォームINFOPRISMに収集・監視し、機器の劣化傾向をとらえる分析システムを構築している。この分析システムを更に発展させて、データに基づいて車両の健全性をリアルタイムに把握し、故障が発生する前に車両交換を行うなど、いち早く対処することで、継続的な運用を実現するソリューションの確立を目指す。このソリューションによって、運用中での車両故障時の車両交換を回避して、運行障害の発生率を削減することなども可能になる。

6. む す び

当社が取り組んでいる自動運転システムに必要な将来志向のソリューションと、その中の一部機能について述べた。これらの技術は既に鉄道事業者と連携して実証実験を重ねており、データの蓄積や課題抽出、異常時の対応検討など、実用化に向けた取組みを加速している。特に安全性の検証については、継続した実証実験と第三者からの評価が必要であり、今後、重点的に取り組む課題であると認識している。

当社は、開発中の各種ソリューションについても実証実験や評価を継続的に実施して、データを蓄積している。鉄道事業者や旅客に安心して使ってもらえるソリューションを、いち早く提供できるように尽力する。

これらの実証実験は、鉄道事業者の協力の下、検証の場の提供を受けて実施した。今後も、鉄道事業者や車両メーカー、各種組織、団体の関係者との連携を強化し、都市鉄道、地方鉄道共に持続可能な公共交通の維持・発展に向けて貢献していく。

参考文献

- 1) 星子 遼, ほか: 映像解析と深層学習による鉄道の閉扉判断AIの研究, 第29回鉄道技術連合シンポジウム(J-RAIL2022)講演論文集, S4-1-1 (2022)

鉄道事業者のサステナビリティに貢献する無線解析ソリューション

後藤健太郎*
Kentaro Goto
川手竜介†
Ryusuke Kawate
間宮拓朗‡
Takuro Mamiya

小林裕二*
Yuji Kobayashi
板谷建郎§
Takeo Itaya

Advanced Radio Analysis Solutions for Railway Applications
Contributing to Sustainability of Railway Operators

*交通事業部
†通信システムエンジニアリングセンター
‡情報技術総合研究所
§コミュニケーション・ネットワーク製作所

要 旨

鉄道事業者では設備削減や保守省力化を背景に無線式の列車制御システムを採用している。運行管理や保守のデータ利活用でも無線による情報伝送が重要になっている。

三菱電機は無線式列車制御のほか、自営網無線の大容量化・干渉対策や5G(第5世代移動通信システム)／ローカル5Gとの連携動作の開発を進めている。また、鉄道用無線システムの安定稼働のため、設計作業効率化と無線品質確保を目的に“電波見える化”シミュレーションによって無線基地局配置を検証・評価するシステムを開発した。これは設置後の現地試験や運用時の無線モニターとしても活用できる。さらに、三次元マップと沿線点群データの連携・高度化や、設計・試験・運用・保守に対応した循環型の無線解析ソリューションの実用化を進めて、鉄道事業者のサステナビリティに貢献する。

1. ま え が き

鉄道システムでは、運行管理、列車制御、旅客案内などの情報の伝達は安全・安定輸送の確保に重要である。以前から、列車制御システムでは閉そく区間(安全確保のため、他の列車の進入を防止して列車の衝突を回避する線路上の一定区間)を確保して進路を制御し、また、鉄道沿線に自営の情報ネットワークを構築して情報伝送を行うなど、外部からの妨害防止も考慮して有線による情報伝送が広く行われている。

一方、地上・車上間の情報伝送は移動体のため有線での接続が難しく、1960年代から空間波やLCX(Leaky Coaxial Cable)による列車無線が普及している。また、列車保安装置のATC(Automatic Train Control)では、レールから速度制御情報の送信、地上のトランスポンダから位置情報の送信などを行い、車上の受信器で受信する伝送路も活用している。情報処理・伝送技術の進歩によって、1990年代に列車制御に無線を利用する取組みが進められ、米国のIEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers)で規定されたCBTC(Communications-Based Train Control)や、国内では東日本旅客鉄道(株)のATACS(Advanced Train Administration and Communications System)の開発が行われて、2000年代以降に実用化された。無線式の列車制御システムでは、地上設備が削減でき、メンテナンス業務の軽減も期待できるため、省力化・省人化のニーズから展開されている。

海外では、アジアの主要都市を中心に人口増加や交通渋滞から都市鉄道の需要は多く、各地で新線開発が進んでおり、CBTCによる自動運転が普及している。欧州では、ERTMS/ETCS(European Rail Traffic Management System/European Train Control System)のレベル3として無線式列車制御が計画され、また、鉄道用無線システムとして、従来のGSM-R(Global System for Mobile communications-Railway)の後継となるFRMCS(Future Railway Mobile Communication System)の開発が進められている。このように、鉄道では列車制御のほか、運行管理や機器の稼働状態監視、メンテナンスなどのデータ伝送の分野でも無線技術の適用が拡大している。

当社では、鉄道分野での無線技術の適用拡大のため、無線式列車制御システムのほか、自営網無線の大容量化・干渉対策や5G／ローカル5Gとの連携動作の開発を進めている。鉄道用無線システムの安定稼働のため、設計作業の効率化と無線品質の確保を目的に、“電波見える化”シミュレーション技術⁽¹⁾を活用して無線基地局などの設備配置を検証・評価するシステムを開発した。このシステムは無線基地局設置後のフィールド試験や運用開始後の無線モニターとしての活用も期待できるため、3Dマップと当社のMMSD(Mitsubishi Mobile Monitoring System for Diagnosis)⁽²⁾のデータとも連携させて、設計・試験・運用・保守を一元的に対応できる循環型の無線解析ソリューションとして実用化を進めている(図1)。

本稿では、鉄道事業者のサステナビリティにも貢献する無線解析ソリューションとして、“電波見える化”シミュレーション技術、電波伝搬シミュレーションの適用事例、無線解析に関するシミュレーションの高度化への取組みについて述べる。さらに、鉄道用無線解析技術の今後の展望について述べる。



図1. 鉄道事業者のサステナビリティに貢献する無線解析ソリューション

2. 無線解析ソリューションの技術

この章では、無線解析ソリューションを実現する技術として、“電波見える化”シミュレーション技術について述べて、電波伝搬シミュレーションの無線基地局の置局設計への適用事例を述べる。さらに、MMSDの点群データを活用した効率的なモデル作成など、無線解析に関するシミュレーションの高速化、高精度化への取組みについて述べる。

2.1 “電波見える化”シミュレーション技術

無線機器の電波伝搬損失を求める手法としては奥村-秦式⁽³⁾⁽⁴⁾のような実測データから構築された統計モデルが簡便であり、各種無線システムのエリア設計などに幅広く活用されている。奥村-秦式では、開放地／郊外／中小都市／大都市等の類型化された統計モデル(数式)を用いて電波伝搬損失を推定できる。しかし、実際に鉄道無線システムで推定を行う環境は、単一のモデルでは表せないほど多様で複雑であることが多い。具体的には駅周辺は都市開発によって大きなビルが立ち並んで、駅から離れるとビルが少ないといったケースなどである。そこで当社は、実環境の3Dモデルを作成・使用して電波伝搬損失を光線近似で計算し可視化する電波見える化技術(シミュレーション手法)を自社開発し、継続的に改良を加えて無線システムの設計、保守等に役立てている。

当社では、電波伝搬損失の計算方法にはレイトレーシング法⁽⁵⁾を用いているため、電波の波長に比べて十分大きな物体や空間に対して電磁界理論に基づき高精度に推定できる。レイトレーシング法では、図2に示すように、電波を光線で表現し、送信アンテナから電波を発射する代わりに光線を発射し、その軌跡を追跡する。また、地面や建物で電波が反射・回折する物理現象は、光線の反射・回折に近似して解析が実行される。さらに、地面や建物の電気特性や形状を考慮して電磁界の変化を算出しており、多種多様な実環境を反映した推定が可能である。レイトレーシング法で使用する実環境の起伏や建物等を考慮した3Dモデルの作成には、実環境を正確に模擬するデータが必要不可欠であり、地形データには国土地理院が発行する数値標高モデルを、建物データには市販の電子住宅データを用いている。なお、この3Dモデルの作成要領については、2.2節(1)で詳述する。

2.2 電波伝搬シミュレーションによる無線基地局の置局設計

無線式列車制御システムで、無線基地局の置局設計は、最も重要な設計の一つである。器具箱や機器室、アンテナを取り付ける鋼管柱、同軸ケーブル等は、敷設後に弱電界等の問題が判明した際、追加や移設に莫大(ばくだい)な費用や時間

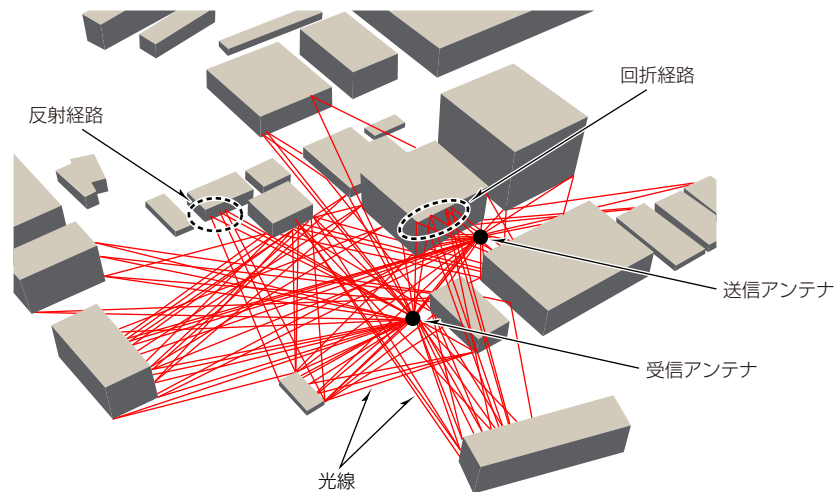


図2. レイトレーシング法の概要イメージ⁽¹⁾

が必要になる。敷設前の設計段階で、詳細な電波伝搬シミュレーションによる置局設計は、敷設後の問題を極力少なくすることを目指している。電波伝搬シミュレーションは、次の手順で実施している。

- (1) モデル作成
- (2) パラメーター設定
- (3) シミュレーション実施
- (4) 結果表示

図3に電波伝搬シミュレーションの手順の一例を示す。

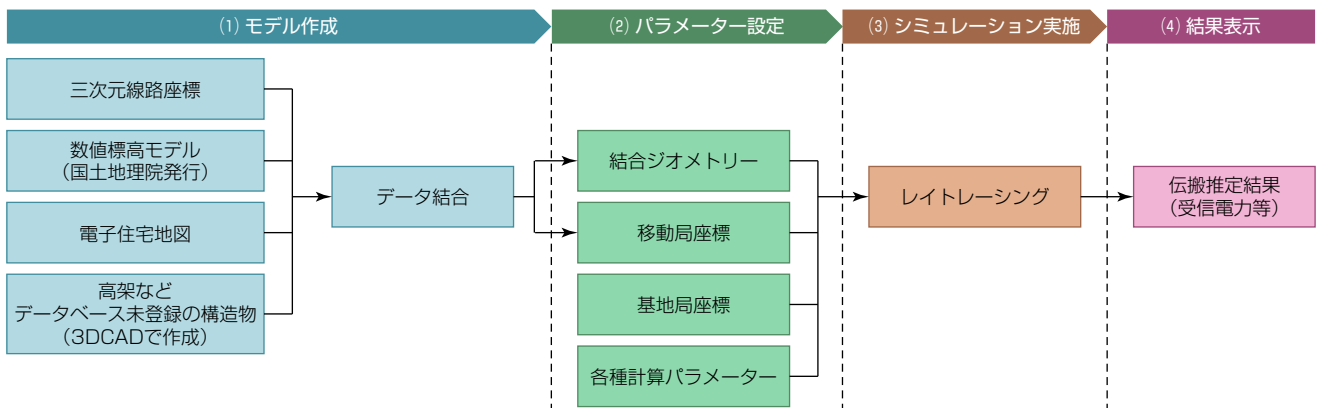


図3. 電波伝搬シミュレーションの手順の一例(市街地3Dジオメトリを用いたコンピュータシミュレーション)⁽¹⁾

(1) モデル作成

電子地図データ等を活用してジオメトリ(3Dモデル)を作成する。レイトレーシング法で使用するジオメトリは、電波伝搬モデルの精度を向上させるため、実環境を正確に模擬するデータが必要不可欠である。市街地3Dジオメトリは、地形、建物、線路などの要素から成り立っており、これらのデータを組み合わせてジオメトリを作成する。

地形は、図4に示すように、国土地理院が発行する5m解像度の数値標高モデルを用いる。

建物は、市販の電子住宅データを取り込んでいる。ただし、駅舎や線路上を跨(またが)る道路のデータは存在しないため、3Dモデル作成ツールを用いて、駅情報や航空写真等を参照して作成する。

線路は、図5に示すように、電子住宅データから線路の位置を抽出している。

(2) パラメーター設定

鉄道環境での電波伝搬では、アンテナの放射パターンやアンテナ設置角度等を反映することで様々な線路形状に対応しつつ高精度な電波伝搬の推定が可能である。さらに、実環境の電波伝搬特性に近づけるため、送信電力、距離減衰、反射係数、回折係数、建物の複素誘電率、送信周波数等の設定をすることを可能にしている。

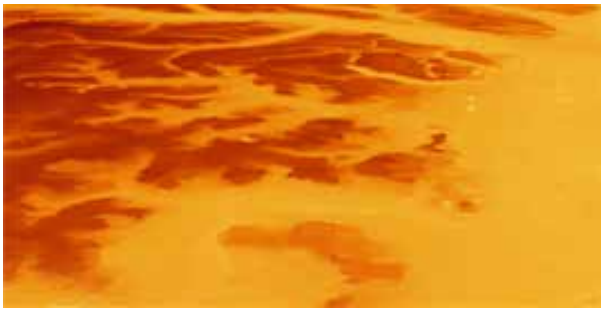


図4. 数値標高モデル(国土地理院)

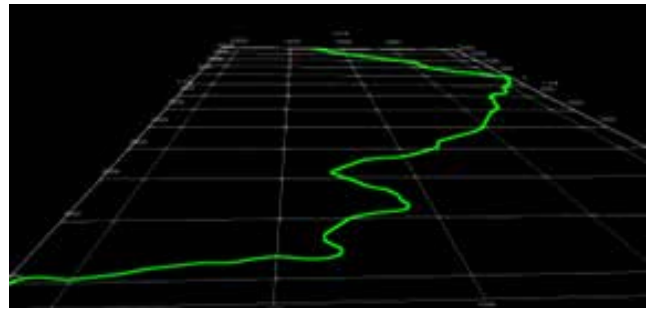


図5. 線路データ⁽¹⁾

(3) シミュレーション実施

図3に示すように、(1)(2)で作成したデータを用いて計算機によるシミュレーションを実施し、受信電力の結果を得る。

(4) 結果表示

シミュレーション結果の可視化方法は、図6に示すような電波の強弱を色彩で3D出力する方法と、図7に示すような横軸を列車の走行位置(キロ程)に変換し、縦軸を電波の強弱にしてグラフとして出力する方法がある。前者では、電波の強弱をジオメトリ上での位置で示すことができ、直感的に大まかな強弱の分布を把握するのに適している。後者では線路に沿って複数の地上側の無線機からの出力レベルを重ねてプロットし、受信電力の詳細を考慮した回線設計をすることが可能になる。

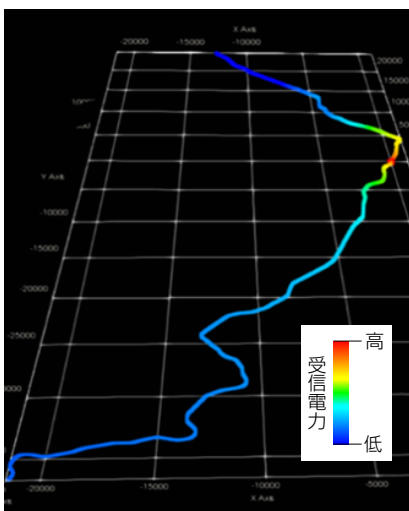


図6. 色彩でマッピングした3D市街地モデル⁽¹⁾

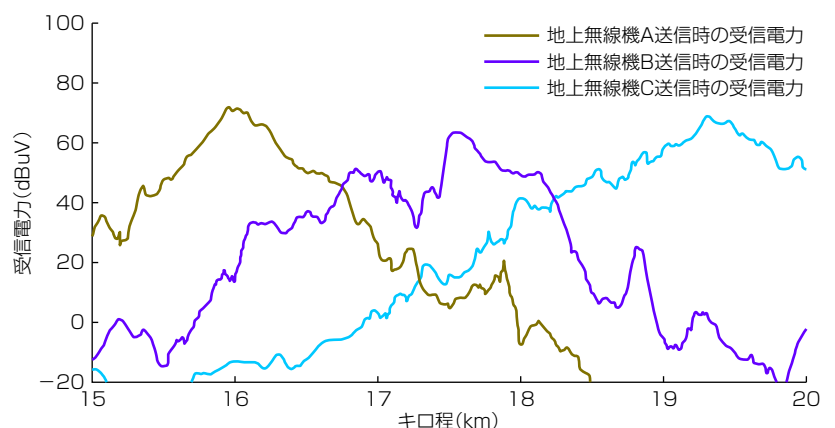


図7. 強度でマッピングしたキロ程グラフ⁽¹⁾

2.3 シミュレーションの高速化、高精度化への取組み

鉄道無線システムはエリアが広範囲に及ぶため、設計作業や保守作業の作業量が膨大になる。これらの作業時間の短縮にはシミュレーション技術の更なる高速化と高精度化が有効であり、その取組みを進めている。例えば、電波伝搬損失を計算するレイトレーシング法については、演算量が多いため、送信点から発射する光線群の角度範囲と角度分布の制御に更なる工夫を加えて高速化を試みている⁽⁶⁾。また、全受信点のうちレイトレーシング法で受信電力を計算する受信点を疎として点数を減らして、残りの大半の受信点の受信電力は、機械学習を活用した電波伝搬損失推定モデルで補間する高速化手法を開発中である⁽⁷⁾。

また、MMSDの点群データを活用して3Dモデルを効率的に作成し、シミュレーションを高度化する取組みも進めている⁽⁸⁾。ここでは、MMSDを活用した効率的で高精度な沿線モデルの作成と、ローカル5Gエリアシミュレーションの事例を述べる。

2.3.1 MMSDによる沿線モデルの作成

2.2節で述べたとおり、駅舎は電子住宅地図データには存在しないため、従来は航空写真等を参照してモデルを作成していた。しかし、航空写真や構内図等だけでは、正確な電波環境を再現できるモデルの作成には限界があった。駅構内には、売店や事務室、柱、階段、エレベーター、エスカレーター等の設備があり、これらは電波の遮蔽物になるため、高精度な電波伝搬解析を行うためにはこれら構造物を含めた3Dモデルを作成する必要がある。

そこで、当社のMMSDで走行して取得する3D点群データを活用して詳細な駅舎モデルを作成し、シミュレーションを実施した。図8に3D点群データを取得するMMSD車両を示す。図9に点群データを活用したシミュレーション用の駅詳細モデルの作成例を示す。図9(a)に示す点群データと駅詳細モデルAのデータを加工して、(b)に示すシミュレーション用に適した駅詳細モデルBを生成する。

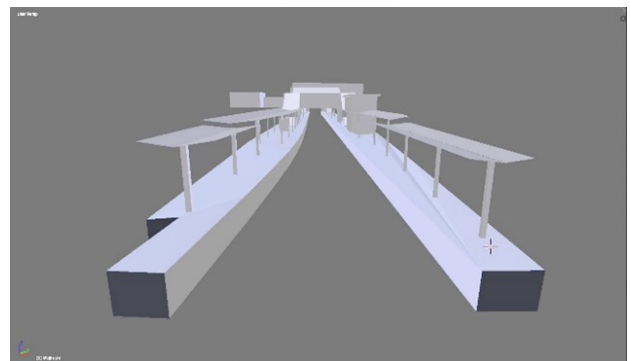
図10では、この駅詳細モデルBを利用してシミュレーションしている。駅ホーム区間での電界測定結果及び駅詳細モデルなし／駅詳細モデルありで比較したグラフを示す。駅詳細モデルがない場合、遮蔽物が少ないことから電界強度が高くなっていることが読み取れる。一方、駅詳細モデルがある場合、遮蔽物がある分電界強度が低く、電界測定結果にも近くなっていることが分かる。MMSDの点群データを活用した正確なモデル化によって、駅構内の詳細な電波伝搬シミュレーションが可能になり、より精度の高い置局設計が可能になる。



図8. 3D点群データを取得するためのMMSD車両



(a) 点群データ+駅詳細モデルA



(b) (a)から作成したシミュレーション用の駅詳細モデルB

図9. 点群データを活用したシミュレーション用の駅詳細モデルの作成例

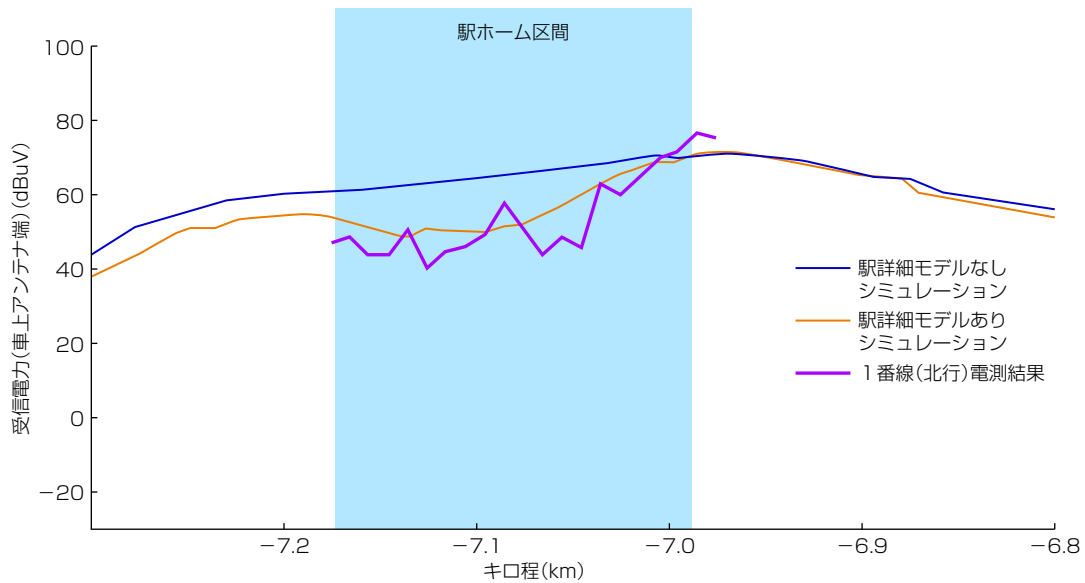


図10. 駅ホーム区間での電界強度グラフ

2.3.2 MMSDでのローカル5Gエリアシミュレーション

これまで述べてきたシミュレーション手法は、昨今、活用が注目されているローカル5Gのエリアシミュレーションでも適用できる。次にその事例を述べる。

ローカル5Gは基地局1局のカバーエリアが数百m程度と非常に狭く、基地局設置数が増える(=費用が増える)課題があることから、できるだけ少ない基地局で必要なエリアをカバーすることが求められる。また、ローカル5Gは自己の敷地内での使用が法律で義務付けられており、他者の敷地に電波が漏洩(ろうえい)しないようにカバーエリアを設計する必要がある。そのため、ローカル5Gエリアシミュレーションには、先に述べた要件を満たして、最小数の基地局での最適なカバーエリア設計が必要になる。

ローカル5Gエリアシミュレーションの手順を次に述べる。基本的なシミュレーション手順は、2.2節に述べた無線基地局の置局設計シミュレーションと同様で、以下の(1)~(3)の順にシミュレーションを実施する。

- (1) モデル作成
- (2) パラメーター設定
- (3) シミュレーション実施と結果表示

ローカル5Gの特徴として、それぞれ次の点に注意する必要がある。

- (1) モデル作成

鉄道向け無線システムのカバーエリアの設計は、線路上の受信位置(キロ程)とその位置での受信電界強度を使用して行うことが一般的である。しかし、ローカル5Gは他者の敷地に電波が漏洩しないようにカバーエリアを設計するため、線路以外の場所(他者の敷地)についてもエリアシミュレーションで受信電界強度を確認する必要がある。

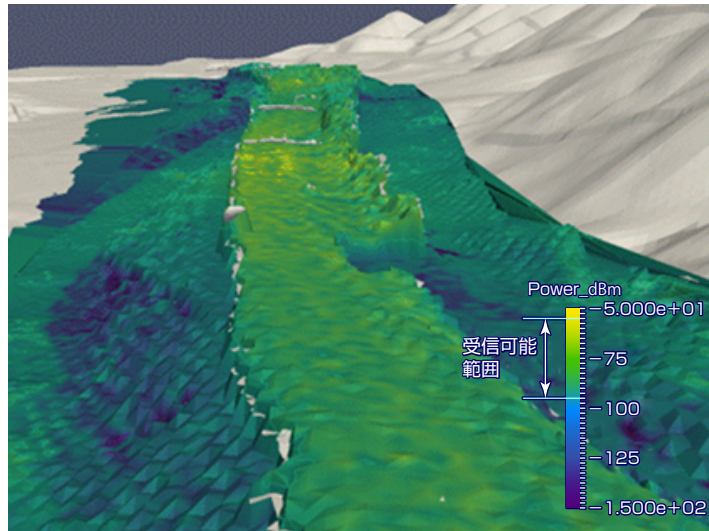
- (2) パラメーター設定

他者の敷地への電波の漏洩度合いを確認するため、線路とその周辺の地形に対して精度の高い3Dモデルを作成し、シミュレーションを行う必要がある。この条件を満たすため、MMSDによる線路内の点群データの活用や、構造物による反射・透過・回折のパラメーター設定を行い、3Dモデルを作成する必要がある。

- (3) シミュレーション実施と結果表示

シミュレーション結果は、線路以外の場所についても電界強度の可視化が必要になる。実際のシミュレーション結果を図11に示す(事例は道路上のローカル5Gエリアシミュレーション結果である)。

今後、鉄道向けにローカル5Gの導入が加速すると考えられ、効率的かつ高精度なローカル5Gエリアシミュレーションを実施する必要がある。当社はこのローカル5Gエリアシミュレーションを使用することで、最小数の基地局で最適なカバーエリアを提供する鉄道向けローカル5Gシステムの実現に貢献する。



出典：国土地理院ウェブサイト(<https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>)
 数値標高モデル(国土地理院)を基に当社作成

図11. シミュレーション結果(道路の事例)

3. 今後の展望

鉄道システムでの無線技術の応用は、列車制御のほか、運行管理やメンテナンスなどのデータ利活用でも重要性が増しており、今後も適用範囲が拡大していくと考えられる。無線は鉄道のような移動体通信に適している。技術革新によって伝送容量・伝送速度は飛躍的に向上し、サイバーセキュリティー対策など情報の秘匿性も高くなり、利便性も高まっている。

2章では、主に、設計や試験に活用できる鉄道用無線解析に関するシミュレーション技術を述べたが、これらの技術は設備稼働後の運用や保守への応用・展開も可能であり、現在、取り組んでいるところである。

今後、無線通信のログデータや現地環境データ(沿線設備状況や実際の電界測定データ)を精度良く取り込んで、データ分析することによって、電波環境監視や電波環境変化予兆への活用も期待できる。設計、試験、運用、保守をサイクルとして、設備設置後の運用、保守から得られるデータ・知見を、次の設計、試験にフィードバックすることで、循環型の無線解析ソリューションを実現し、更なる高度化を目指す。

4. むすび

鉄道分野での無線解析ソリューションとして、“電波見える化”シミュレーション技術、電波伝搬シミュレーションの適用事例、無線解析に関するシミュレーションの高速化・高精度化への取組みについて述べて、さらに鉄道用無線技術の今後の展望について述べた。

無線技術は、今後も鉄道の様々な業務領域に展開され、応用範囲が拡大することが見込まれる。通信品質を担保し、安定した稼働を維持するための無線解析ソリューションを提供し、持続的な鉄道の安全、安心、安定輸送を実現して、鉄道事業者のサステナビリティに貢献したい。

参考文献

- (1) 山形卓矢, ほか: 鉄道無線用電波見える化技術の開発, 第57回鉄道サイバネ・シンポジウム (2020)
- (2) 須合健一, ほか: “MMSD”を活用した鉄道沿線設備・施設の計測・解析サービス, 三菱電機技報, **94**, No.12, 674~677 (2020)
- (3) Hata, M.: Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services, IEEE Trans. Veh. Technol., **29**, No.3, 317~325 (1980)
- (4) 奥村善久, ほか: 移動通信の基礎, 社団法人 電子情報通信学会 (1986)
- (5) 今井哲朗: 電波伝搬解析のためのレイトレーシング法, コロナ社 (2016)
- (6) 岩谷茉衣子, ほか: 市街地環境におけるレイトレーシング法の高速度化の検討, 2023年電子情報通信学会総合大会, B-1-26 (2023)
- (7) 清水健矢, ほか: 市街地環境におけるセマンティックセグメンテーションを活用した伝搬損失推定, 2023年電子情報通信学会総合大会, B-1-48 (2023)
- (8) 清水健矢, ほか: 鉄道環境における点群データを用いた3次元モデリング, 2022年電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-1-9 (2022)

鉄道の運転電力削減による カーボンニュートラル実現の取組み

Carbon Neutrality Initiatives by Reduction of Operating Power of Railway Vehicles

山下良範*
Yoshinori Yamashita
吉本剛生†
Koki Yoshimoto
石山琢麻‡
Takuma Ishiyama

金子健太§
Kenta Kaneko
秋原優樹§
Yuki Akihara

*交通事業部
†先端技術総合研究所
‡神戸製作所
§伊丹製作所

要 旨

近年、世界的にカーボンニュートラル実現への意識が高まっており、鉄道分野でもカーボンニュートラルに向けた取組みが進められている。

三菱電機は車両の省エネルギー技術として、SiC(シリコンカーバイド)適用の推進制御装置や高効率の全閉形電動機を実用化した。また、鉄道車両では世界初(注1)となる同期リラクタンスモーター駆動システム(Synchronous reluctance motor and inverter TRAction System : SynTRACS)を開発して-18%の省エネルギー効果を実証した。さらに、編成での補助電源系統の高効率化、走行パターンの改善、データ分析に基づいて地上・車上間で連携した消費電力削減、余剰回生電力の有効利用など、車両を中心に多様な省エネルギー技術を展開して運転電力を削減し、鉄道分野でのカーボンニュートラル実現への取組みを推進する。

(注1) 2022年11月10日現在、当社調べ

1. ま え が き

地球温暖化防止に向けて、先進各国は2050年までにカーボンニュートラルの実現を宣言しており、世界的に脱炭素化への意識が高まっている。日本では2030年度に2013年度比で温室効果ガス46%削減の高い目標を掲げており、これに向けた動きが活発化している。

鉄道は輸送効率が高く環境負荷が少ない輸送機関として期待されており、自動車や航空機から鉄道輸送に移行するモーダルシフトや、鉄道の更なる省電力化と脱炭素化のための技術開発が進められている⁽¹⁾。当社は長年、交通事業で培ってきた先進的な技術によってカーボンニュートラル実現に向けた取組みを推進し、安心・安全・快適で持続可能な豊かな社会の実現を目指している。

鉄道分野でのカーボンニュートラルの実現に当たっては、現状、鉄道事業者のCO₂排出量のうち電車走行用によるものが約7割を占めており、これを削減することが有効である(図1)。そこで、当社は電車走行時の省エネルギー施策として、SiC適用の推進制御装置や高効率の全閉形電動機を主回路システムに適用し、駆動時の効率向上や、回生電力量の増大による省エネルギー化を図ってきた。さらに地上設備では、駅舎補助電源装置(以下“S-EIV”という。)を開発して、余剰回生電力の有効活用を促進してきた。

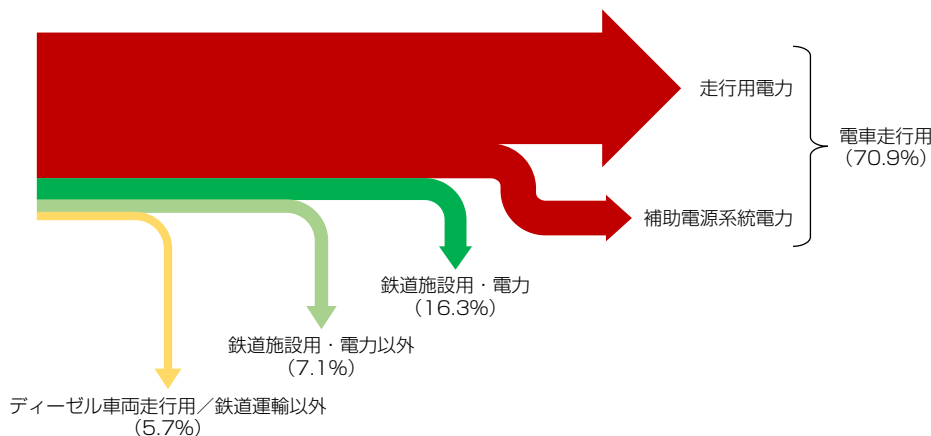


図1. 鉄道事業者のCO₂排出割合(2019年度)
(国土交通省鉄道局“鉄道分野のカーボンニュートラルが目指すべき姿”概要を基に作成
<https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001611572.pdf>)

今後の更なるCO₂排出量削減のためには、これらの取組みの更なる進展に加えて、き電システムを俯瞰(ふかん)した現状把握・分析をベースに、鉄道システムを構成する各サブシステム間で連携した取組みが必要になる。当社は車両に搭載した電機品から取得されるデータを活用し、地上・車上間でデータを連携して、省エネルギー効果を更に高める取組みを進めている。

本稿では、鉄道分野でのカーボンニュートラル実現に向けて、車上システムに関連する省エネルギー技術として、主回路システムの技術革新を応用した高効率化や列車統合管理システムを用いた編成の機器効率向上、地上・車上間の連携による省エネルギー技術として、変電所送り出し電圧の調整による回生エネルギーの利用効率向上などの取組みを述べる。

2. 車上システムに関連する省エネルギー技術

車上システムに関連する省エネルギー技術としては、車両の駆動制御に直接関わる主回路システムや補器用電源である補助電源システムの高効率化を始め、編成全体として軽負荷時には稼働する機器を減らして高効率な領域で運転する方法、大量な実績ランカーブのデータ分析によって線区に応じた最適な省エネルギー運転パターンを作成する方法などが考えられる。

2.1 主回路システムの技術革新による省エネルギー化

主回路システムの省エネルギー技術として、当社は2012年2月に高効率な全閉形誘導電動機とハイブリッドSiCパワーモジュール(スイッチング素子にSi(シリコン)-IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)を、フライホイールダイオードにSiC-Diodeを適用したハイブリッド構成のパワーモジュール)を適用したインバーター装置を組み合わせた主回路システムを世界に先駆けて^(注2)実用化し、営業線に投入した。このシステムでは、電力回生ブレーキが有効な領域の拡大や、高周波スイッチングでのモーター損失の低減など、主回路システム全体としての省エネルギー化に寄与している。

さらに、鉄道車両では世界初になる高効率な同期リラクタンスモーター(Synchronous Reluctance Motor : SynRM) (図2)及びその駆動システム(SynTRACS)を開発した。SynRMは、鉄道車両の駆動用モーターとして普及している誘導モーター(Induction Motor : IM)に比べて、発熱損失が少なく、高効率であることが特長である。鉄道車両用の高効率なモーターとしては、永久磁石同期モーター(Permanent Magnet Synchronous Motor : PMSM)があるが、PMSMは強力な希土類(レアアース)磁石を回転子に内蔵しており、将来的にレアアースの入手性に懸念があること、また、惰行時に起電力が発生するため異常時を考慮してモーターごとに開放接触器が必要になり、回路構成が複雑になることなどの課題があった。

SynTRACSは、SynRMとSiC適用の駆動制御用インバーターで構成され、レアアースを用いずに世界最高レベルの高効率化を実現した。モーターの最大出力は450kWとし、モーター単体の発生損失は従来の高効率IMの50%に削減した。また、2.1.2項で述べる営業車両での省エネルギー効果の検証の結果、推進制御システム全体として、SynTRACSの消費電力は従来IMシステムに対して18.1%低減できた⁽²⁾。このように、SynTRACSは今後の鉄道車両の省エネルギー化に大きく貢献するシステムである。

(注2) 2012年9月27日現在、当社調べ

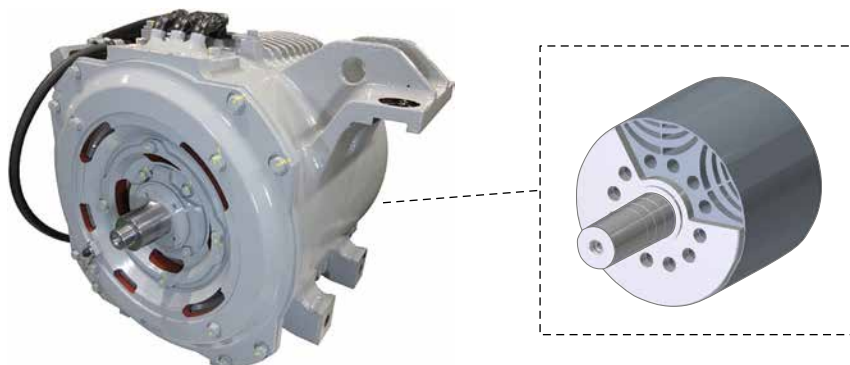


図2. 鉄道車両用SynRM及びモーター内部の回転子イメージ

2. 1. 1 SynTRACSの技術的特徴

先に述べたように、PMSMは回転子に希土類磁石を内蔵しており惰行時に起電力が発生する。一方、SynRMでは、回転子がIMと同様に鉄心だけで構成されるため、惰行時に起電力が発生せず、惰行時の取扱いはIM方式と同様で特段の考慮は必要ない。鉄道車両では、慣性が大きく走行抵抗が小さいため、駅出発後に加速して所定の速度に達すると、次駅停車前のブレーキ操作まで惰行することが多い。惰行時の誘起電圧対策や、駆動中のモーター内の磁束の変化で発生する鉄損を抑制する観点では、IM方式が有利とされている。一方、IM方式は、回転子導体へ通電が必要であり、回転子に電流が流れると巻線抵抗によって銅損が発生するため、原理的に効率面では同期モーター方式の方が有利である。SynRMは、このようなIMの利点と、同期モーターの高効率特性の両方の長を併せ持っている。

一般に、PMSMでは希土類磁石によって発生するトルクと回転子形状によるリラクタンストルクを合わせて回転力を発生させる。一方、SynRMはリラクタンストルクだけで回転力を発生させるため、鉄道車両の駆動用モーターとしての大容量化や、高トルクの可変速制御には多くの課題があった。そこで、①回転子鉄心形状の最適化、②SiC適用インバーターの特性の活用、という二つのアプローチによってこの課題を解決した。図3にSynRMの回転原理を示す。

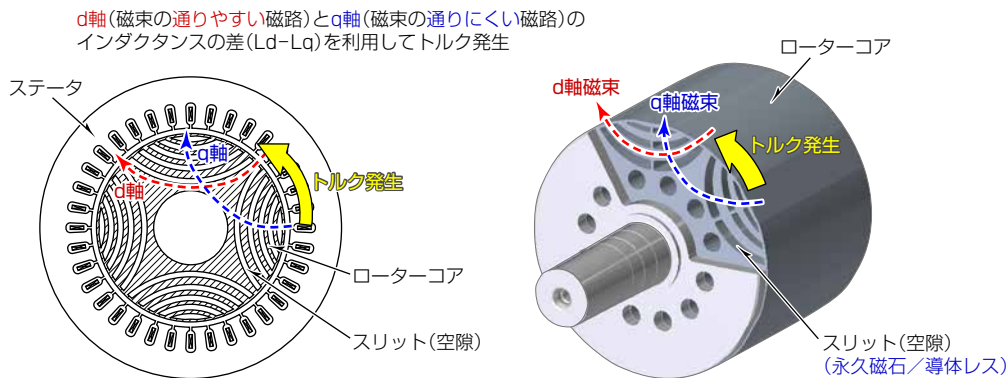


図3. SynRMの回転原理及び回転子イメージ

2. 1. 2 SynTRACSの省エネルギー効果の検証

SynTRACSを東京地下鉄(株)日比谷線13000系に搭載し、2021年12月から営業運行での使用を開始した。約1か月半の営業線走行での、SynTRACS搭載車の積算電力量を測定した。積算走行距離は11,157kmに及び、実消費の原単位は0.88kWh/(車・km)であった。SynTRACSの省エネルギー効果を確認するため、従来のIMシステムとの電力量の原単位比較を行った。各システムの搭載車系の車重が異なるため、車重を換算した比較を表1に示す。検証の結果、SynTRACSは従来のIMシステムと比較して、実消費で18.1%の改善になった。

表1. SynTRACSと従来IMシステムの原単位比較

	車重(t) (1両あたり)	原単位(kWh/(車・km))		
		力行	回生	実消費
SynTRACS 13000系試験搭載車両(車重換算後)	33.31	1.58	0.81	0.77
従来IMシステム 9000系大規模リニューアル工事車両	29.25	1.87	0.93	0.94

18.1%の改善

また、SynRMの高効率特性を活用して冷却構造を簡素化することによって、従来のIMと比較して軽量化(-7.1%)、かつ大容量化(+11%)を実現した。さらに、SynRMは惰行時に起電力が発生しないため、PMSMで異常時を考慮して設置しているインバーターとモーター間の故障時開放用の接触器が不要になり、SynRMではシステムの簡素化が可能になる。

2.2 列車統合管理システムを用いた編成制御による省エネルギー化

2.2.1 補助電源装置の軽負荷運転時の機器効率向上

補助電源装置(以下“SIV装置”という。)の機器効率は負荷率によって変化し、一般に軽負荷時には定格負荷時と比べて機器効率が低下する。そこで、編成内に複数のSIV装置を搭載し、並列同期運転(三相出力電圧の振幅・位相を合わせる制御)を行う場合に、起動・停止が無停電で可能である特長を生かして、編成全体の負荷率に応じてSIV運転台数を調整し、軽負荷時でも高効率領域での運転を可能にする。

具体的には、軽負荷時にSIV装置の運転台数を減らすことによって、運転中のSIV装置の負荷率を上げて、編成としてSIV装置の機器効率を改善する制御方法である(図4、図5)。休止中のSIV装置は約1秒で並列運転に復帰可能であり、急激な負荷変動にも対応可能である。また、列車統合管理システムが持つ他のSIV装置や負荷機器の動作情報(空調の冷暖房負荷や空気圧縮機の動作状況)をこの制御に用いることによって、きめ細かな休止・運転制御が可能になる。

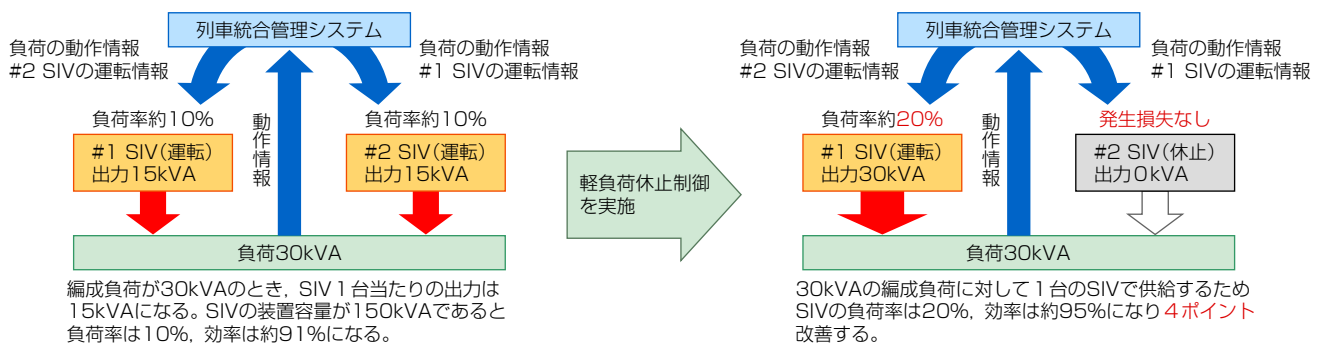


図4. 編成内のSIV装置の軽負荷休止制御による機器効率向上

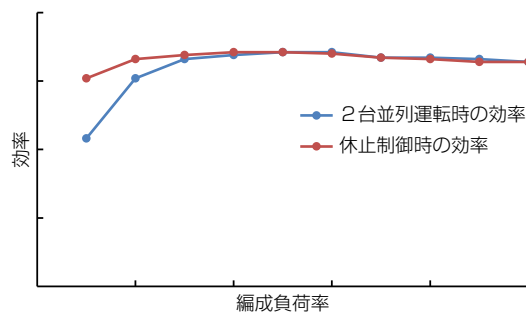


図5. SIV装置の2台並列運転時と休止制御時の効率比較

2.2.2 ATO運転での低引張力行走時の電動機効率向上

近年、多くの鉄道事業者でATO(Automatic Train Operation)運転が導入されているが、ATO運転では列車が目標速度に到達すると一定速度を保つために定速バランス走行制御が適用されることが多い。定速バランス走行中は走行抵抗や勾配の影響を打ち消す程度の低い引張力で走行し続けることになり、ATO運転では通常の手動運転に比べて、低い引張力で走行が多くなる。主電動機の効率は引張力の大きさによって変化し、一般に引張力が高いほど高効率になる特性であるため、ATO運転中の各主電動機は低効率領域で動作することが多くなる。

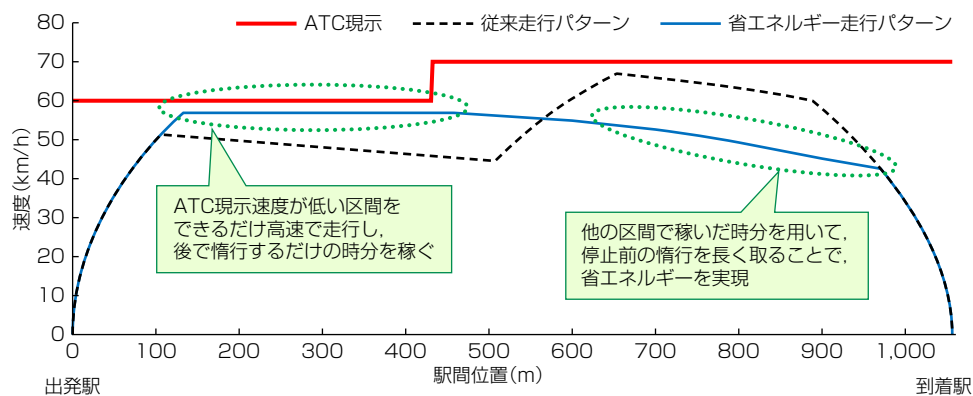
そこで、編成内の特定のM車(電動車)又はM軸(駆動軸)の電動機を選択して稼働させる制御(M車/M軸選択制御)を適用することで、編成として電動機の効率向上を図る。M車/M軸選択制御は、低い引張力指令を受けた場合に編成内の一部の主電動機の動作を停止し、編成全体の合計引張力が変わらないように、その他の主電動機の引張力を大きくする制御である。これによって、主電動機を高効率領域で動作可能になるため、全主電動機を動作させる場合に比べて、消費電力の低減が実現できる。

2.3 走行パターンの最適化による省エネルギー化

惰行などを有効活用して列車走行パターンを最適化することで、同一駅間走行時分でも消費電力量を大きく削減できることが知られている。当社でもATO走行パターンを最適化することで、大きな省エネルギー効果が生み出せることを実路線で確認している⁽³⁾。一方で、鉄道事業者が省エネルギーを目的とした走行パターン修正に投資判断するためにはデータの裏付けが必要になるが、そのデータ取得・分析には大きな労力が必要であった。しかし、クラウドを経由した車上データ収集が実現された現在では、大量なデータの収集・分析が容易になっている。当社で多数の実列車データに対する可視化・分析を実施した結果、次の二つの知見が得られた。

- ①ダイヤ乱れがなくてもATO回復モード(制限速度の範囲内で走行時間を極力短くするモード)を選択するケースがある。
- ②一部の駅間で無駄な加速などがあり、走行パターンの改善の余地がある。

①では、回復モードで走行時分を2秒短縮するために、消費電力量が10%以上増加する駅間があり、運用や回復走行パターンの見直しが有効と考えられる。また、②については図6に示すように、走行パターンを省エネルギー運転を意図して最適化することで、15%もの消費電力量改善が見込まれる駅間があることが分かった。このように、車上データの可視化によって、有効な施策を少ない労力で適切に選定することが可能になる。



	駅間走行時分(秒)	消費電力量(kWh)
従来走行パターン	88.0	12.5
省エネルギー走行パターン		10.6(15%削減)

ATC : Automatic Train Control

図6. 走行パターンの最適化による省エネルギー化推進の実施例

3. 地上・車上間の連携による省エネルギー技術

2章では車上システムに関連する省エネルギー技術について述べた。以前から、車載機器の高効率化に加えて、ブレーキ時に発生する回生電力の利用効率向上によって消費電力低減を図ってきた。回生電力は負荷車の状況や架線電圧変動などの影響を受けるため、これらの状況を把握して対応することが重要になる。また、負荷車が少ない状況では、回生電力が列車の運転電力として十分に利用できない場合があり、余剰な回生エネルギーを駅設備で有効活用するための検討を進めている。

3.1 変電所の送り出し電圧や車両の回生絞り込み電圧の見直しによる回生電力の利用効率向上

回生電力の有効利用には地上側のき電系統や変電所での状況把握が重要になるが、一つのき電区間に複数列車が存在する場合、変電所内の測定項目だけでは列車間の電力融通の状況を把握することは困難である。そこで、架線電圧など車両側で測定可能なデータ(車上データ)を用いることで、これら電力の状況を把握し、き電系統全体での最適化が可能になる。ここでは、車上データ分析に基づく変電所の送り出し電圧の最適化と回生電力の有効活用について述べる。

図7に架線電圧と力行車(力行中の車両)・回生車(回生中の車両)の電力融通の模式図を示す。変電所からの送り出し電圧が高い場合、回生時には架線電圧が一定値以上に上昇しやすくなり、回生車では過度な電圧上昇を避けるために回生電

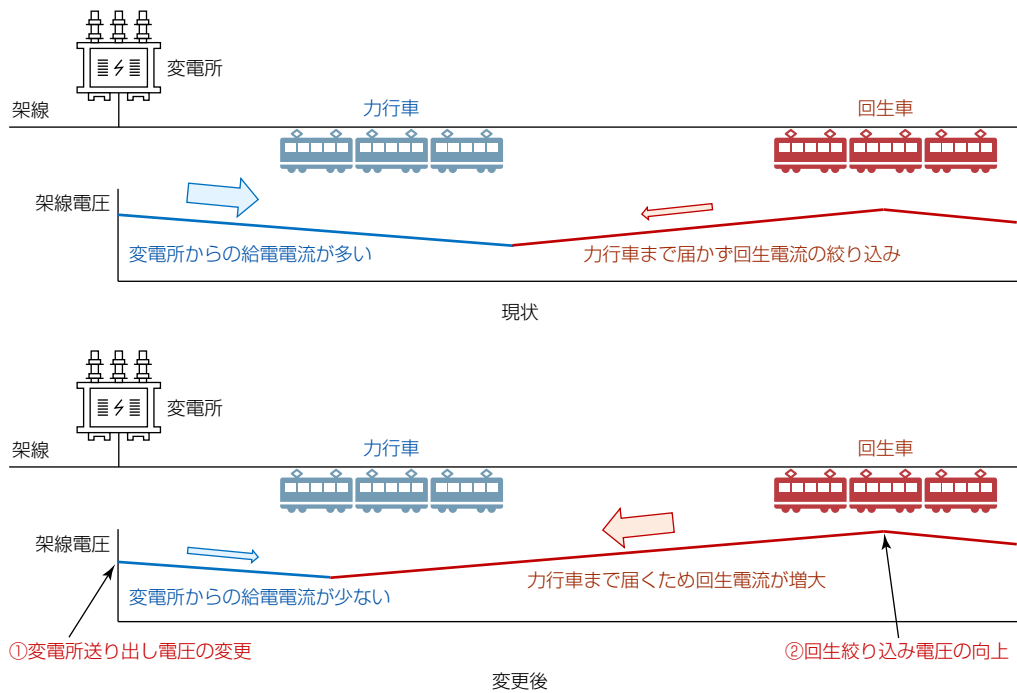


図7. 架線電圧と力行車・回生車の電力融通の模式図

流を絞り込んで、回生電力が少なくなる。同時に、力行車には回生車から供給される回生電力が少なくなるため、この分、変電所から供給する電力が増加することになる。このように、架線電圧や回生車の絞り込み特性の影響によって回生電力は増減する。ここで、車上で収集される架線電圧や回生電力の状況などのデータを分析することで、き電システム全体での運転電力の削減策の検討や効果の検証が可能になる。

運転電力の削減策としては、変電所の送り出し電圧を下げたり、回生絞り込み電圧を上げたりすることによって、回生車からの回生電力の供給範囲が拡大し、回生電力の利用率向上が期待できる。一方、変電所の送り出し電圧を下げることで、架線電圧が下がって、車両性能が低下して力行時間が増大する可能性もある。これは、車両側の機能として、力行時に架線電圧が規定値より低下すると、入力電流を制限して編成出力を抑えるためである。さらに、架線電圧を下げた際、車両は力行性能を維持するために架線電流が増大し、架線での電力損失が増大する懸念もある。このため、不必要に架線電圧を下げることは避けるべきであり、変電所の送り出し電圧の下げ幅については現状の車上でデータを観測した上での対応が必要になる。

3.2 駅舎補助電源による余剰な回生電力の有効活用

余剰な回生電力を吸収する省エネルギー設備であるS-EIVの設置検討に当たって、車上データを活用した取組みを行っている。特定期間での車上データから車両運転電力量、車両のパンタグラフ電圧を分析して、余剰回生電力量の発生状況を見える化し、回生絞り込み電力量の多い駅間を評価し、S-EIV設置場所の候補地として選定する(図8)。

車上データは当該区間を走行する全ての車両からデータを取得し、分析することが理想的であるが、現状、全車系のデータは取得できないため、全運行本数に対する取得割合を把握した上で検討している。実績として25%程度のデータでも各駅区間での余剰電力の傾向が把握できることを確認しており、路線内で余剰な回生電力の有効利用に適した設置候補地の選定材料になる。今後、車上データが取得できる車両が順次増加していくことで検討精度は向上していくと考えられる。

この検討で設置候補地を選定した上で、実際の省エネルギー効果を定量的に把握するため、導入効果実測機器(図9)を用いて導入効果を実測している。実測機器は屋外設置できるDCPT(Direct Current Potential Transformer)箱と導入効果測定箱で構成し、DCPT、S-EIV演算部、監視制御箱は実機と同一の機器を使用して、S-EIV実機と同等の構成で実測を行う。実測は最低9日間行い、平日・休日の平均から月平均を算出し、月平均から季節係数を乗じて年間回生電力量を推定する。実機導入前に実測による省エネルギー効果が評価可能であるため、S-EIVのスムーズな導入によってカーボンニュートラル実現を加速化させる。

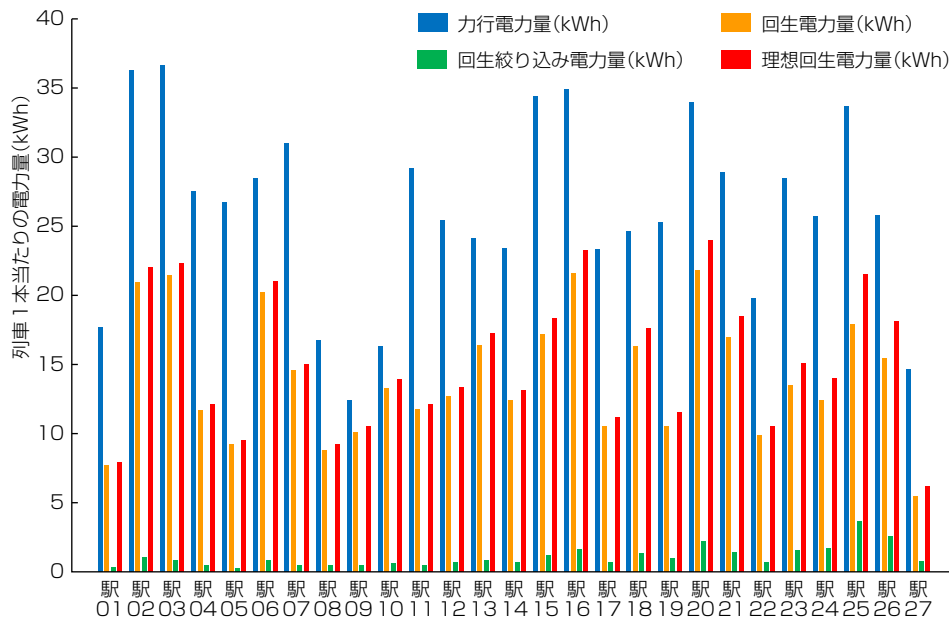


図8. 駅間ごとの力行・回生電力量の車上測定データ

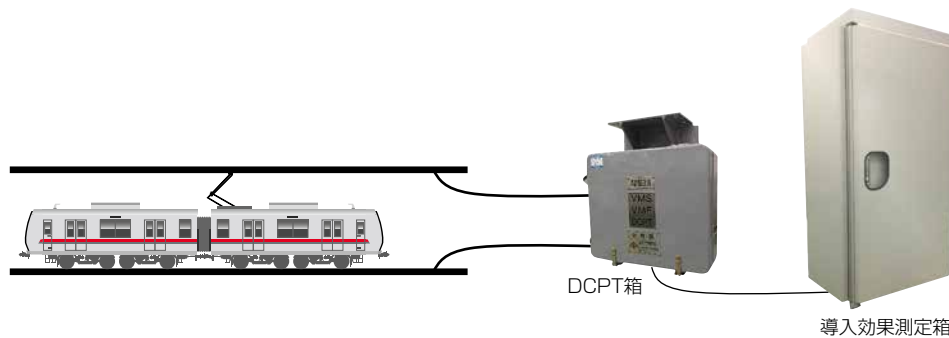


図9. 省エネルギー効果の導入効果実測機器

4. む す び

カーボンニュートラル実現への取組みとして、鉄道事業者でCO₂排出量の7割を占める電車走行用の電力削減を達成する様々な技術を述べた。鉄道車両の車上システムとして、これまでのSiC適用の推進制御装置に加えて、世界最高レベルの高効率化を実現するSynTRACSを開発し、消費電力量が従来のIMシステムと比較して、18.1%の改善になることを営業運用で確認した。また、補助電源系統では、並列同期運転時に編成全体の負荷率に応じてSIV運転台数を調整することで、高効率な運転が可能になる。さらに、省エネルギー編成制御として、特定のM車又はM軸を選択して稼働させる選択制御によって、主電動機を高効率領域で動作可能にして、編成全体の効率改善に寄与することが可能になる。

車上システムだけでなく、地上側のき電系統や変電所の最適化を図るため、車上データを用いることで、変電所の送り出し電圧の最適化と、駅舎補助電源の最適配置による回生電力の有効活用策について述べた。

今後は、更なるCO₂排出量削減に向けて、き電系統を俯瞰した現状把握・分析によって、システム間で連携した取組みが必要不可欠になってきている。当社は車両に搭載されている電機品から取得されるデータを活用し、省エネルギー効果を一層高める施策を展開することで、鉄道分野でのカーボンニュートラルの実現に向けて貢献していく。

参 考 文 献

- (1) 国土交通省：鉄道分野のカーボンニュートラルが目指すべき姿（2023）
<https://www.mlit.go.jp/tetudo/content/001611767.pdf>
- (2) 友松白英，ほか：同期リラクタン্সモータシステムの開発，第59回鉄道サイバネ・シンポジウム，503（2022）
- (3) 金子将大：ATO制御の改良による省エネ性と停止精度の向上，JREA，59，No.5（2016）

駅を基点とした新ソリューション 創出に向けた共創事例

清水英弘*
Hidehiro Shimizu
世良田博幸*
Hiroyuki Serada
吉田和史†
Kazufumi Yoshida

池上裕樹‡
Hiroki Ikegami

Co-creation Activity for New Station-based Solutions

*交通事業部
†統合デザイン研究所
‡インフォメーションシステム統括事業部

要旨

ニューノーマル(コロナ後の働き方や生活様式の変容)に突入し移動需要の減少と労働人口の減少が進んで、かつサービスの多様化が求められる中、駅業務の見直し、改革が各鉄道事業者で進められている。同時に、鉄道事業も輸送サービスだけでなく、より広範囲な生活サービスへと拡大が加速している。

三菱電機では持続可能な鉄道事業の重要な要素として、駅を基点とした業務改革と新サービスの創出に向けた検討を進めている。その将来のあるべき駅のコンセプトとして、駅員と旅客と沿線住民をつなぐ“シームレスステーション”構想を立ち上げて、実現に向けた新しい駅ソリューションの提供を目指している。

1. ま え が き

当社は以前から駅を基点としたソリューション創出に取り組んでおり、三菱電機技報2020年12月号⁽¹⁾では“持続可能な社会での駅への取組み”と題してSDGs(Sustainable Development Goals)に関わる駅の三つの要素“電力の流れ”“人の流れ”“仕事の流れ”について、それぞれの平準化の取組みを述べた。その中で仕事の流れについては、業務の自動化と遠隔支援、駅員や委託業者の配置を動的に変えるシフト管理によって、平常時・異常時の負荷を分配することを目指すことにした。鉄道事業や駅の抱えている課題は、少子高齢化に伴う労働人口減少及び消費活動の減少による経済の縮小、温暖化による異常気象及び災害対策、地方の過疎化及びインバウンド対策、コロナ終息後の景気回復等々、現代の社会課題の縮図と言える。

本稿では、特に駅業務の省力化にフォーカスして、市場調査の内容やソリューションイメージ、顧客との共創を通じたニーズの確認等の取組み事例を述べる。

1.1 Society 5.0による社会の変化

日本政府(内閣府)では社会課題や経済課題に対して科学技術による解決を目指して、Society 5.0を提唱している(図1)。Society 5.0とは“サイバー空間とフィジカル空間を高度に融合させたシステムによって、経済発展と社会的課題の解決を両立する人間中心の社会”とされている。1990年頃から始まったSociety 4.0の情報社会が抱えている課題は、情報が共有されず横の連携が不十分であること、あふれる情報の中から必要な情報を見つけて分析することの困難、少子高齢化や地方の過疎化、障がい者や高齢者の労働や行動範囲が制約されている点が挙げられる。Society 5.0では全ての人とモノがつながり、様々な知識や情報が共有され、今までにない新たな価値を生み出すことで、一人ひとりが快適に活躍でき、様々な社会課題を克服するとされている。

1.2 ニューノーマルでの価値観の変化

当社では、日本鉄道サイバネティクス協議会の会誌“サイバネティクス”2022年7月号で“変化していく社会と将来につながる鉄道”と題して、ニューノーマルでの価値観の変化について述べた⁽²⁾。コロナ禍を経て、SDGsや社会課題に対して自分のための行動だけではなく自分の周囲を含めた“私たちのため”の行動をとるように意識が変化してきており(図2)、Society 5.0を支えるキーになる社会全体の重要な価値観と考える。その価値観に基づいて、多くのステークホルダーが協調して意思決定を行うコンセプトを提唱した。

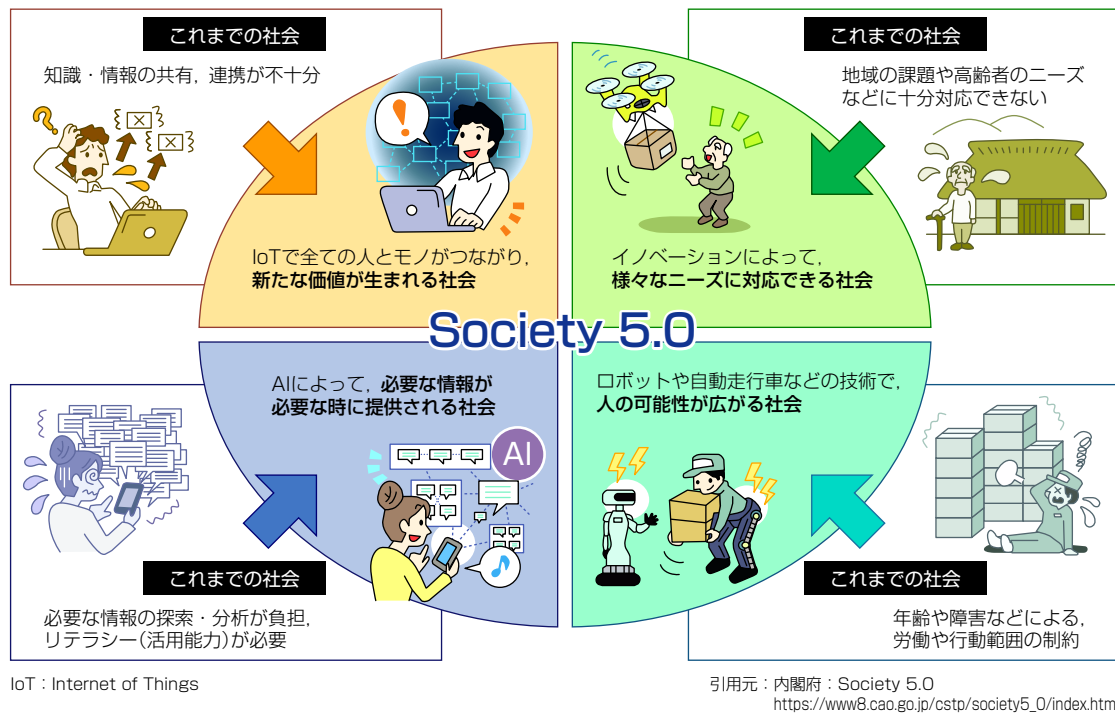


図1. Society 5.0で実現する社会

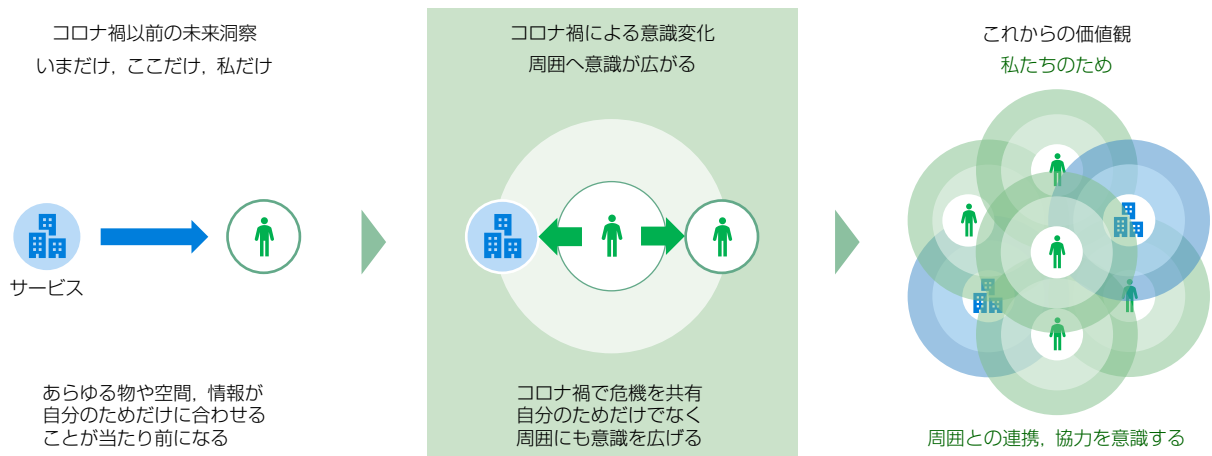


図2. ニューノーマルの価値観“私たちのため”

2. 将来の駅に向けた構想

2.1 鉄道事業の変化

鉄道事業者でもコロナ禍による旅客移動の減少に伴う収益の悪化が顕在化しており、収益改善に向けた事業構造の変革に取り組んでいる。例えば、東日本旅客鉄道(株)では以前からJR東日本グループ経営ビジョン“変革2027”で掲げていた輸送サービスから生活サービスへの移行を加速するため、収益源の具体的な数値目標と根拠を2021年に再提示した。鉄道事業全体でも、鉄道利用者の減少が常態化し収益改善が厳しい中、障がい者が安心して鉄道を利用できるための設備投資の財源確保を目的とした鉄道駅バリアフリー料金制度が鉄道事業法施行規則で策定され、またオフピークポイントなどの運賃改定を行い、サービスの維持・向上の施策を進めている。さらに、これまでシステム化やデジタル化が難しいとされてきた、旅客とじかに接する駅業務についても変革が求められるとともに、生活サービス事業との結節点としての駅の重要性も高まっており、駅の在り方が変わりつつある。1. 2節で述べたニューノーマルの価値観とも相まって、これまで以上に駅が街の中心になり、旅客だけでなく周辺地域との連携を深めて、沿線の発展の中心的役割を果たしていくと考える。

2.2 あるべき将来の駅コンセプト

当社では、ニューノーマルでのリモートワークの拡大や人口減による鉄道事業の収益が縮小する中、駅の輸送サービス業務のスリム化と生活サービスの拡大を目指して、新しい駅ソリューションの創出に取り組んでいる。駅員と旅客と市民のつなぎ目(業務、移動、暮らし)がシームレスになり、周辺の街と一体になって駅を発展させる“シームレス ステーション”(図3)がコンセプトテーマである。

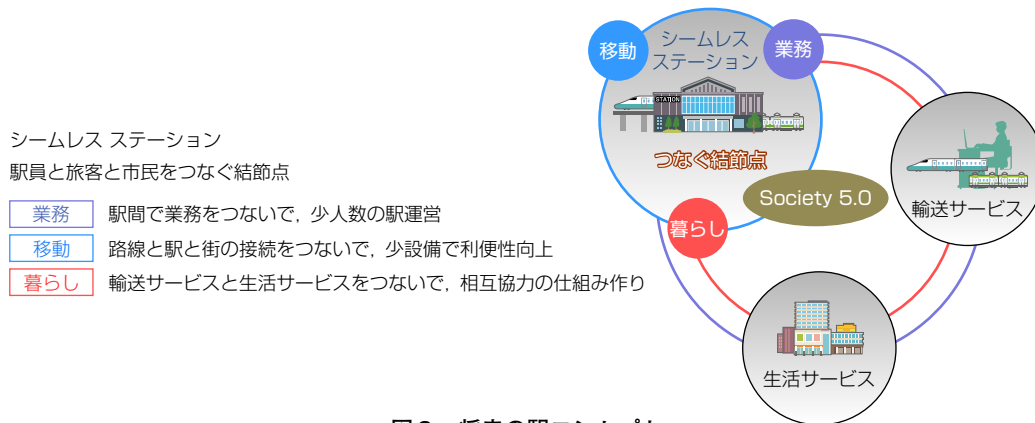


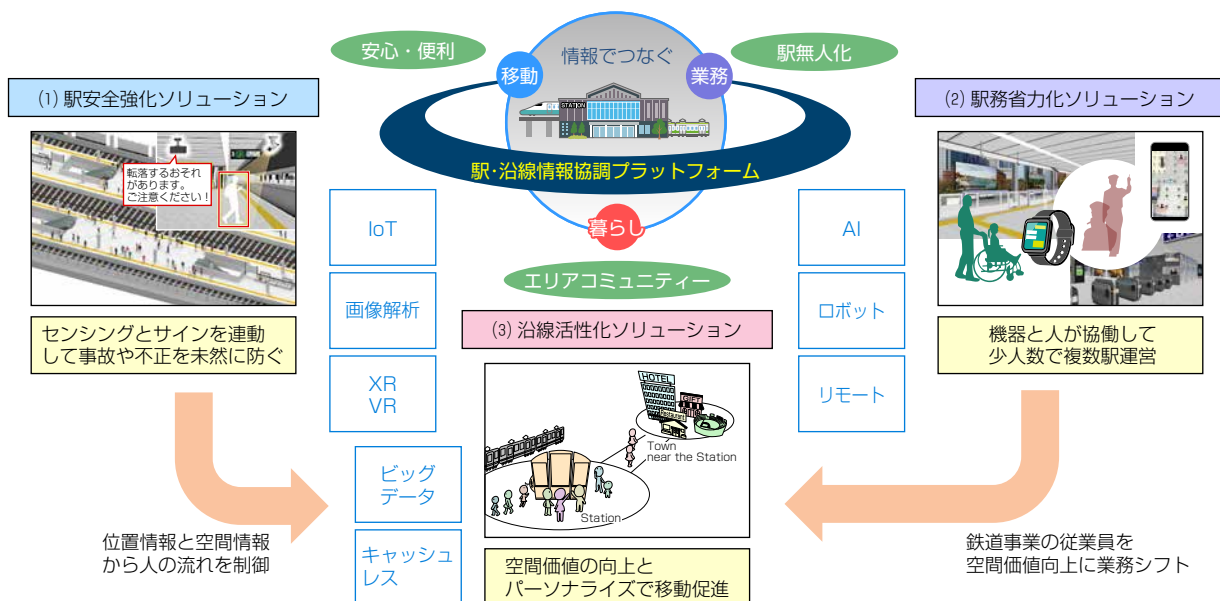
図3. 将来の駅コンセプト

2.3 当社が考える新しい駅ソリューション

当社では、シームレス ステーションの実現に向けて次の三つのテーマで駅ソリューション創出に取り組んでいる。

- (1) IoTや画像解析によって危険や人流を検知・予測し、効果的に旅客に伝える“駅安全強化ソリューション”
- (2) 移動制約者や災害など緊急事案への対応のリモート化による機能集約と、AIやロボットによる定型業務の自動化といった、人とAIの協働作業をサポートする“駅務省力化ソリューション”
- (3) 群集の流量と個人の移動データを掛け合わせたビッグデータ分析による予測をステークホルダー間で共有し、“私たちのため”のエリアコミュニティを形成して駅及び駅周辺の価値を向上する“沿線活性化ソリューション”

これらを実現するために、Society 5.0で有効とみられる先端技術を駆使して、駅と沿線の情報を協調させ活用する“駅・沿線情報協調プラットフォーム”(図4)を構築し、情報で駅の業務、旅客の移動、住民の暮らしをつなぐことを目指す。



XR : eXtended Reality, VR : Virtual Reality

図4. 当社が目指す駅ソリューション

3. 駅省力化に関する当社の取組み

2章で述べた当社が目指す駅ソリューションの中で、鉄道事業者でも検討が進んでいる駅業務の省力化についてソリューションイメージを述べる。このソリューションは、駅運用に関するデスクトップ市場調査や顧客ヒアリング等の当社独自調査を踏まえて導き出したものである。

3.1 駅運用の変化

国土交通省が定める“駅の無人化に伴う安全・円滑な駅利用に関するガイドライン”では、駅の無人化の課題として設備整備(窓口、段差解消、エレベーター設置)、窓口の一本化、視覚障がい者等への対応を挙げている。各鉄道事業者は、地方線区を初め駅の利用頻度に応じて駅業務の合理化を進めており、各駅に駅員が常駐せず決まった時間や必要ときだけ駅に従業員を派遣する運用でワンマン駅、時間帯無人駅、完全無人駅を増やしつつある。今後はより無人化の機運が高まることが予想される(図5)。しかし一斉に無人化することは現実的ではなく、移行期には設備・人の両面で様々な課題が出ることは容易に予想される。省人化・無人化したとしても、重要な判断・実行は人が行うため、AIやロボットによる自動化までの移行期や、個別対応が必要な交通弱者サポート、事故や災害時の緊急時対応などで、人によるフィジカルとメンタル両面のサポートが重要である。

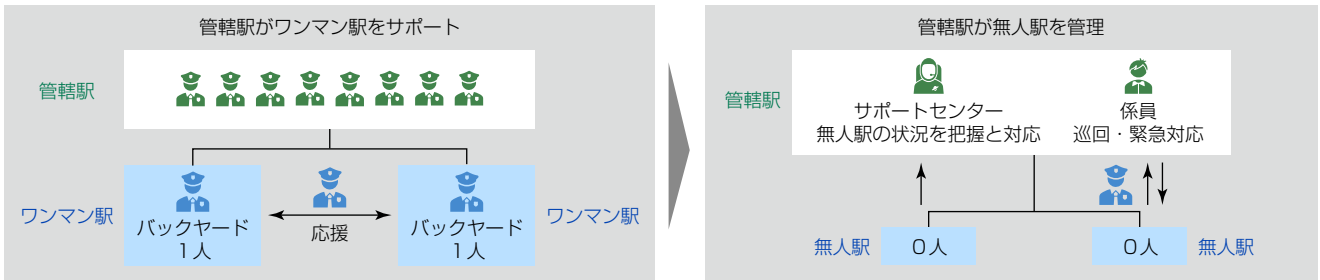


図5. 変化する駅運用の姿

3.2 駅務省力化ソリューションイメージ

将来的には3.1節に述べたような駅管轄の運用が更に拡大し、都市部や中規模以上の駅でも駅員の配置をよりフレキシブルに変えることが予想される。管轄駅が担当エリアの複数の駅(無人駅含む)を管理し、定期巡回や介助サポートのスタッフが駅を移動しながら個別対応の接客や点検業務を行う。また、問合せや緊急対応が必要な場合は、アバターによる自動応答やスタッフが遠隔で対応する。このような現在及び将来の駅運用をスムーズにするため、当社は駅の状態や駅員の状態を集約し、管轄駅と現場スタッフとで情報共有を密に行い協調して業務を遂行するソリューション(図6)を考案した。

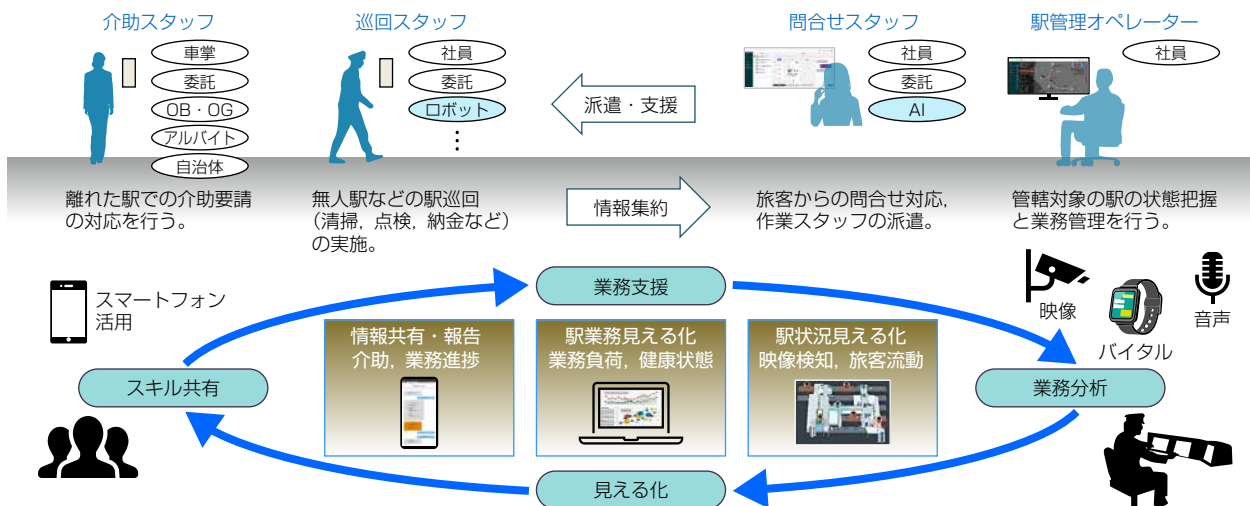


図6. 駅務省力化ソリューションイメージ

4. 共創によるニーズの確認

当社では、以前から鉄道事業者とともに勉強会や共同研究、実証実験を多く行っている。さらに、新しいソリューション及びその事業の創出に当たっては、製品・サービスの企画から社会実装に至るまでを、メーカーの営業や工場と顧客がお互いのエンゲージメントを確認・尊重し合いながら価値を探索し育てて、製品やソリューションを共同で作りに上げていく“共創活動”(図7)を推進している。

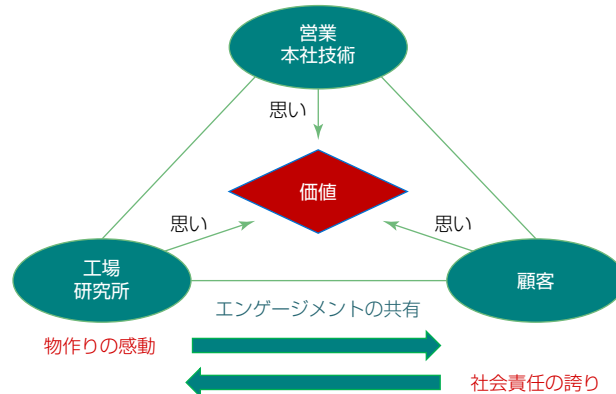


図7. メーカーならではの共創

4.1 駅構内情報発信

鉄道事業者へのヒアリング／アンケート調査を行った結果、駅業務の中で営業系業務(券売, 精算, 改札)の機械化は進んでおり、遠隔サポートで対応を進める方針であることが分かった。安全安定輸送を支えるホームの安全確認業務については、ホームドアの配備を進めながら監視カメラを使った遠隔集中監視へ移行しつつある。駅の無人化を行う際に残る課題として、“旅客からの問合せ対応”“運行障害時の対応”“交通弱者(白杖(はくじょう)者, 車椅子)対応”“忘れ物／遺失物対応”の四つの接客業務の自動化への期待が大きかった。

この中で、情報発信の高度化による解決が期待できる“旅客からの問合せ対応”と“運行障害時の対応”について某鉄道会社と共創ワークショップを行った。テーマとして、運行障害発生時に駅改札に設置する案内板(急告板)をデジタル化することで、輻輳(ふくそう)する業務の効率化と旅客への情報発信の強化を検討した。課題解決のアイデアと実現の難易度を軸にマッピングして、四つのステップアップで自動化を目指す将来像を描いた(図8)。ファーストステップとして、従来

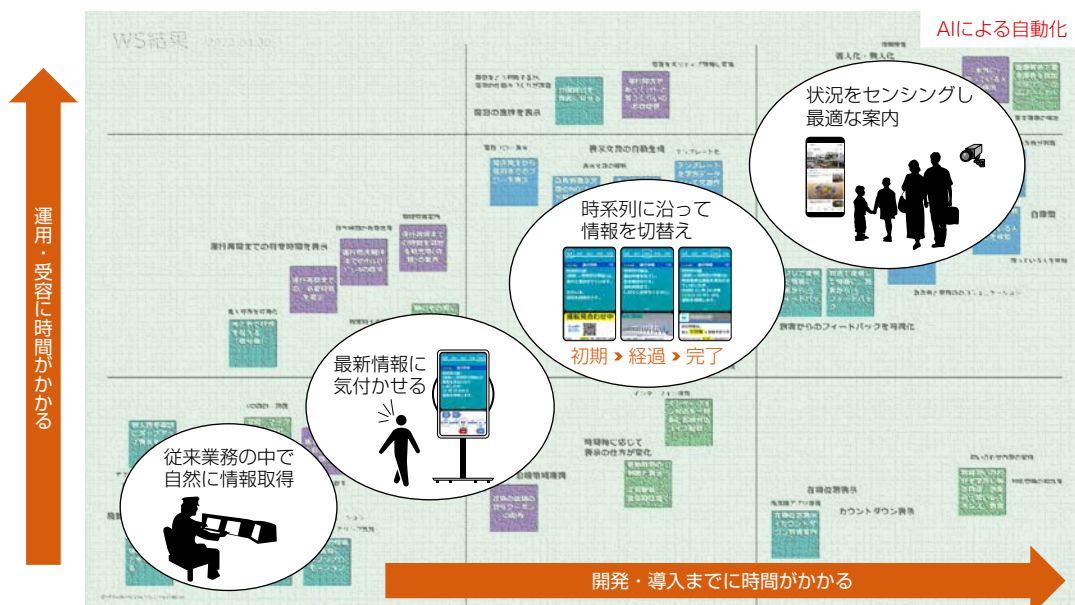


図8. ワークショップ結果

のアナログの急告板では難しかった遠隔からの表示内容更新や多言語対応に加えて、構内放送や旅客との問合せの情報からタイムリーな情報発信を可能にする機能の開発を行っている(2023年現在)。さらに、運行障害に応じた駅の周辺状況や二次交通の案内など、スマートフォンの情報発信の補完としてロケーションオリエンテッドな情報発信の実証実験・改善を行いながら実用化を目指していく。

4.2 駅務情報の可視化と共有

3.1節で述べたとおり、鉄道事業者では、国土交通省が定める駅の無人化のガイドラインに沿って将来の駅運営での需要に応じた体制の再構築を検討しており、少人数による駅運営が今後更に拡大すると思われる。少人数になることで一人に求められる仕事の幅が広がるとともに、一人ひとりの駅員への業務の集中と一人に対する活躍の期待が今まで以上に高まることが予想される。某鉄道事業者との共創で注目されたのは、少人数や一人になることによる駅員の業務負荷集中を原因とした離職増加の懸念に加えて、コロナによる経営悪化や近年多発している傷害事件から、労働力減少を上回る人材確保難が深刻になっていることが挙げられ、需要に対する人員の余剰と人材の不足が同時に課題になっていることが分かった。

ワークショップでは、駅運営の改革を計画する部署や実際に駅業務を経験した従業員を交えて、デザイン思考を用いて課題の洗い出しと取り組むべき対策の方向性を導き出した。まず、少人数運営については、業務負荷が集中することで業務遂行体制が破綻する懸念があるだけでなく、責任が集中することで強いストレスになりモチベーションの低下につながるおそれがある。そこで、旅客や駅員の状態を含む駅と沿線の状況を可視化することで、遠隔センターからタイムリーな後方支援を行うことができ、安心して業務遂行が可能になると考えた。また、駅員の個々人が主体的に工夫を凝らして旅客や周辺地域とのつながりを持つことで、よりモチベーションを感じることを理解した。これらを実現するためには、遠隔センターと現場との情報共有と、駅と沿線地域との情報共有が不可欠であり、当社が推し進める情報協調によるソリューションが有効手段として期待できる。

5. む す び

当社が考える駅ソリューション実現に向けて、複数の鉄道事業者との共創の結果から駅務省力化に必要な要件を洗い出すことができた。これら複数の鉄道事業者のニーズを基に、駅務省力化に有効な情報を管理する、駅・沿線情報協調プラットフォーム(図9)の開発を行っている。このプラットフォームは、情報共有や連絡手段の整備だけでなく、フィジカル空間の状況を映像や音声を含むIoTによってサイバー空間に取り込んで、AIを使った予測も含めた情報提供によって、人の行動に対する意思決定をサポートする仕組みを持っている。これによって、各ステークホルダーは統括的かつ横断的に情報を入手し、迅速な分析、評価、判断、決定、行動に移すことが可能になる。

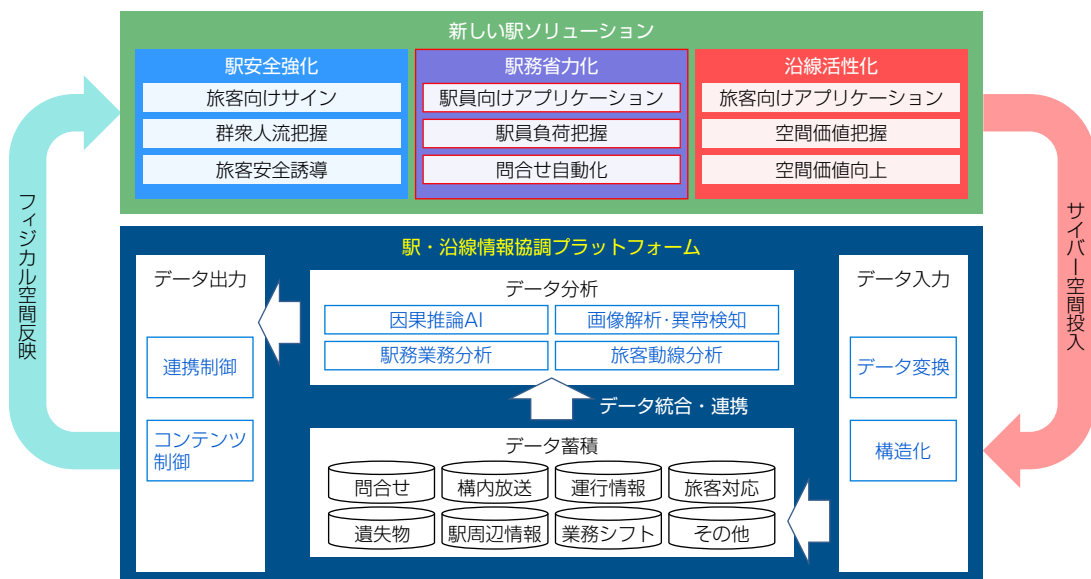


図9. 駅・沿線情報協調プラットフォーム

このプラットフォームには駅員の業務情報だけでなく、業務の対象になる駅及び駅周辺の旅客の状況も含まれるため、沿線活性化への活用も視野に入れている。一例として、当社が提供する駅と街のガイドブックアプリケーション“ekinote”を通して、鉄道事業者が駅と駅周辺の情報を整理し、企業との連携によって地域振興につながる情報発信をできるようにする。それによって駅員のモチベーションに関わる旅客や周辺地域とのつながりが強固になり、鉄道事業者が担う非鉄道事業領域の新しいサービスにも有用になるプラットフォームを目指している。

参考文献

- (1) 清水英弘, ほか: 持続可能な社会での駅への取組み, 三菱電機技報, 94, No.12, 689~693 (2020)
- (2) 石井恭介, ほか: 変化していく社会と将来につながる鉄道, サイバネティクス, 27, No.3, 16~19 (2022)



三菱電機株式会社