三菱電機技報　99巻7号(通巻1121号)　ISSN 0369-2302/CODEN:MTDNAF

MITSUBISHI ELECTRIC
Changes for the Better

三菱電機技報

7
2025
Vol.99 No.7

持続可能な社会を実現するモビリティインフラの変革

目 次 Contents

三菱電機技報 Vol.99 No.7 2025

No.7

特 集 持続可能な社会を実現するモビリティインフラの変革 Innovation of New Mobility Infrastructure towards Sustainable Society

巻 頭 言

人工知能技術の最大のリスクは使わないことにある… 1−01
鳥海不二夫
The Greatest Risk of AI Is Ignoring It
Fujio Toriumi

巻頭論文

持続可能な社会を実現する
モビリティインフラの変革…… 2−01
成松延佳
Innovation of New Mobility Infrastructure towards Sustainable Society
Nobuyoshi Narimatsu

“Serendie”による鉄道EMSの展開と将来構想 …… 3−01
樋口竜太・進士晃輔・今村泰隆・石山琢麻
Future Vision of Railway EMS with “Serendie”
Ryuta Higuchi, Kosuke Shinji, Yasutaka Imamura, Takuma Ishiyama

次世代蓄電モジュール“MHPB”での
バッテリー&エネルギーソリューション…… 4−01
森岡達也・原田領太郎・横堤 良
“MHPB” Module: Driving Innovation in Future of Battery Solutions
Tatsuya Morioka, Ryotaro Harada, Ryo Yokozutsumi

自然冷媒(R290プロパン)を使用した
欧州向け鉄道車両用空調装置…… 5−01
井上武志・祖川泰之・藤木克洋・新宮和平・小窪 聡
Railway Air Conditioning Systems for European Market Using Natural Refrigerant R290 (Propane)
Takeshi Inoue, Yasuyuki Sogawa, Katsuhiro Fujiki, Wahei Shingu, Satoshi Kokubo

鉄道情報提供プラットフォーム“トレインコネクト”
と新たな旅客サービス創出の可能性…… 6−01
奈良淳一・茂地顕一郎・川股正和
New Train Information Platform “Train Connect” and New Passenger Information Services
Junichi Nara, Kenichiro Moji, Masakazu Kawamata

自動運転モビリティ管制技術の
リゾート施設への適用…… 7−01
石田貴仁・村山 修・河合克哉
Application of Autonomous Driving Mobility Control Technologies in Resort Facilities
Takahito Ishida, Shu Murayama, Katsuya Kawai

執筆者の所属は執筆時のものです。
本号に記載されている会社名，製品名はそれぞれの会社の商標又は登録商標です。

三菱電機では，サステナビリティ経営を実現する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」を設定しています。

三菱電機技報ではこのビジネスエリアを中心に特集を紹介しています。

今回の特集ではインフラ領域の“持続可能な社会を実現するモビリティインフラの変革”をご紹介します。

巻頭言

人工知能技術の最大のリスクは使わないことにある

The Greatest Risk of AI Is Ignoring It

鳥海不二夫 *Fujio Toriumi*

東京大学大学院 工学系研究科 システム創成学専攻 教授

Professor, Department of Systems Innovation, School of Engineering, The University of Tokyo

人工知能ブームは過去に２回訪れている。最初の人工知能ブームは1950年代までさかのぼる。“人工知能＝AI(Artificial Intelligence)”という言葉自体が使われるようになったのは1956年に行われた“ダートマス会議”からである。世界初の汎用コンピュータENIACの誕生が1946年であることを考えると，それからわずか10年で人工知能の開発に挑み始めたと言える。ただし，この当時の人工知能は推論や探索を行う程度であり，現在でいえばアルゴリズムの一種と捉えられるレベルのものであった。そのため，当初の期待に反して実用化が進まず，研究資金が削減されるなどの“冬の時代”と呼ばれる停滞期に入った。その後，コンピュータの能力の向上とともに第２次人工知能ブームが1980～90年代に起きた。ニューラルネットワークやエキスパートシステムなどの開発が進んだが，データ不足などによって限界が生じ，再び冬の時代が訪れた。

そして，2010年代の第３次人工知能ブームである。インターネットの発展とコンピュータ技術の発展により大量のデータが手に入るようになったことによって，機械学習が著しく発展し，ニューラルネットワークから進化した深層学習(ディープラーニング)が広まっていった。さらに2022年からChatGPT(注1)をはじめとするLLM(Large Language Model)すなわち大規模言語モデルが登場し，新たに生成AIブームが始まった。

2025年現在も生成AIの発展はとどまることを知らない。LLMは単に自然言語を扱えるというだけではなく多くの知識を内部に蓄えていることから，様々なタスクを自然に行えるようになった。すでに多くの画像認識や翻訳等多くの分野で人間の持つ能力を凌駕(りょうが)する性能を出している。2025年にはついに東京大学の入学試験をChatGPTなどのLLMに解かせ，合格点を獲得したことは記憶に新しい。

人工知能技術の全体像はわかりづらく，その時代時代で中心となるものが異なる。10年前は深層学習こそが人工知能だったが，現在ではChatGPTなどの生成AIを人工知能と呼んでいる。しかし，実際には人工知能技術の幅は広い。その用途も単に対話を行ったり知識を得るだけではない。予測，認識・推定，生成，分析，設計，協働と様々な用途に利用する人工知能が考えられる。特に大量に存在するデータを使った人工知能は産業界と親和性が高い。例えば，大量データからの需要予測や，深層学習を用いた製品のデザイン設計などは生成AIよりも利用用途は多いだろう。また画像認識などは生産現場での要望も多い。

現在は最先端のWebやIT業界での利用が目立つ人工知能技術であるが，人工知能技術を正しく理解することでその利用を加速していくことが今後様々な産業分野で求められていることだろう。その時は生成AIだけではない人工知能技術にも目を向けていただきたい。

日本では人工知能技術の利用が遅れているという調査結果がある。新しい技術を使うリスクに慎重である現れかもしれないが，現在は新しい技術を使わないこと自体がリスクとなりうる速度で技術革新が進んでいる。人工知能技術には“一般化すると人工知能と呼ばれなくなる”というAI効果と呼ばれる性質がある。これまでなかった革新的な技術が“人工知能”と呼ばれ，普及するにつれただの技術として扱われていくという現象である。普段自然に使っている技術がかつては“人工知能”と呼ばれていたものであることも多い。そう考えれば，いずれは人工知能とは呼ばれなくなる単なる技術に臆することなく，人工知能を積極的に活用することが今後の産業界には求められていくのではないだろうか。

もちろん，新しい技術を導入するには膨大なコストが必要になるように思える。しかし，例えば大学などは常に最新の技術を研究開発し，その応用先を求めているのである。大学の研究室と連携をしながら人工知能技術を導入していくことは，双方にとって有益な協力関係を築くきっかけになるのではないだろうか。

(注１)　ChatGPTは，OpenAI OpCo, LLCの登録商標である。

巻頭論文

持続可能な社会を実現する モビリティインフラの変革

Innovation of New Mobility Infrastructure towards Sustainable Society

成松延佳*
Nobuyoshi Narimatsu

*モビリティインフラシステム事業部長

要　旨

モビリティ関連の社会課題の解決に当たり，欧州のSUMP(Sustainable Urban Mobility Plan)など，人間中心の都市計画に合わせてモビリティインフラを変革する動きがある。都市内・都市間の人流・物流を担う輸送機関として，環境負荷が小さく，輸送効率が高く，安全で誰でも利用しやすい，新しいモビリティインフラへの期待は高い。

そこで，三菱電機はデジタル空間を利用して効率化を図るDX(デジタルトランスフォーメーション)と，技術革新によって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)を適用し，100年にわたる鉄道事業での知見・経験とデジタル基盤“Serendie”(注1)(セレンディ)を活用した顧客との価値共創によってモビリティインフラを変革して，持続可能な社会の実現に貢献する。

(注1)　“Serendipity”と“Digital Engineering”を掛け合わせた造語であり，データ活用を通じて事業横断型のサービスを創出するためのデジタル基盤である。異なる領域の機器やシステム，サービスから集約されたデータのこれまでにない巡り合い(＝Serendipity)と，培ってきた技術と限りない創造力(＝Digital Engineering)によって，顧客と社会に新しい価値を提供し，活力とゆとりある社会の実現に貢献する。

1. ま え が き

当社は1921年の創業以来100年にわたり，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貢献してきた。モビリティインフラ関連では，鉄道システムを中心に国内外に幅広く事業を展開し，顧客とともに，安全・安定輸送の確保，輸送力の増強，省エネルギー化など時代に即した社会課題の解決に取り組んできた(1)。

近年，地球環境問題，エネルギー問題，人口問題，緊迫する国際情勢などに伴って社会課題は複雑かつ大規模になり，持続可能な社会の実現が重要な課題になっている。モビリティインフラの分野でも省力化・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が進められており，これらは持続可能な社会の実現にも貢献している(2)。当社は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。この変革を加速するため，2024年５月に，当社独自のデジタル基盤Serendieを活用した価値共創プログラムを開始した(**図１**)。

持続可能な社会の実現に当たり，欧州のSUMPなど，人間中心の新たな都市計画に合わせて，交通計画やモビリティインフラを変革する動きが見られる(3)。都市内・都市間の人流・物流を担う輸送機関として，環境負荷が小さく，輸送効率が高く，安全で誰でも利用しやすい，新しいモビリティインフラへの期待は高い。

本稿では，持続可能な社会を実現するモビリティインフラの変革に向けた課題と当社の取組みについて述べる。

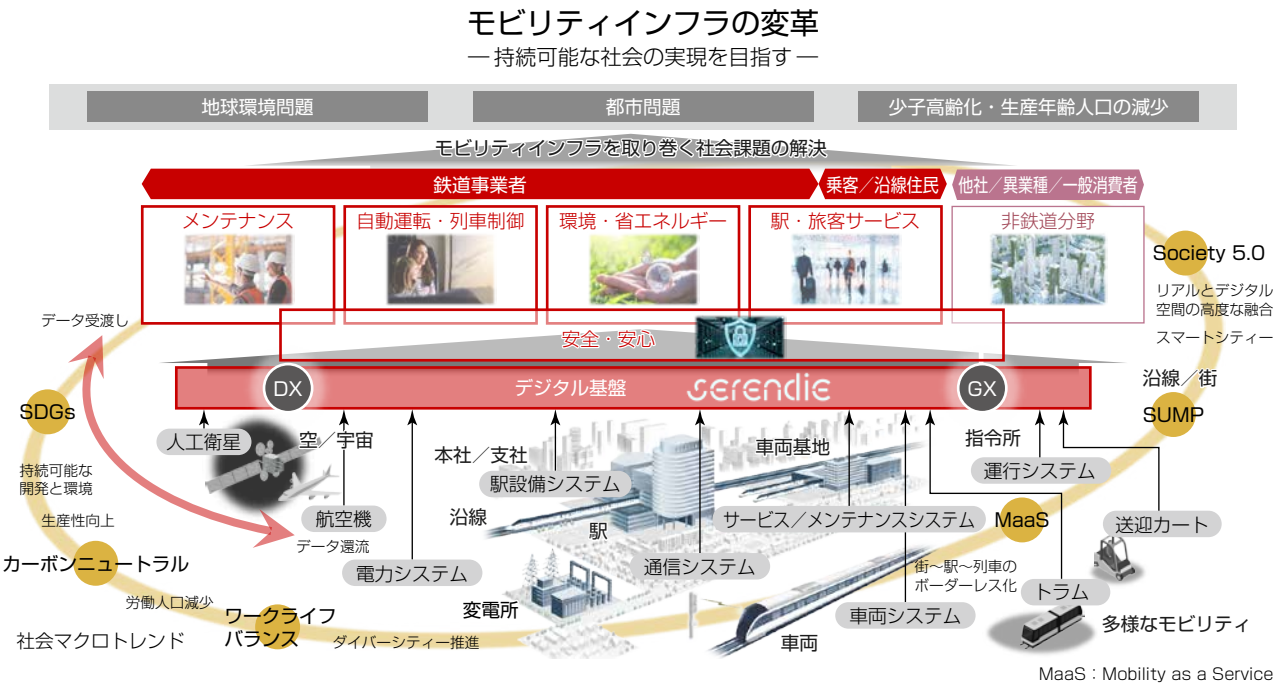


図１−モビリティインフラの社会課題と対応

2. 持続可能な社会の実現に向けたモビリティインフラの課題と期待

持続可能な社会の実現に当たり，モビリティインフラの分野では大きく三つの課題が挙げられる。一つ目は地球環境問題であり，カーボンニュートラルの実現に向けて，モビリティの電動化，機器の効率向上，回生エネルギーの有効利用などが推進されている。二つ目は都市問題であり，都市部の人口集中に伴って交通渋滞や交通事故，大気汚染が深刻化し，自動車依存からの脱却や地域活性化のために，新たな手法で都市の交通計画やモビリティの検討が進められている。三つ目は少子高齢化・生産年齢人口の減少であり，都市部では人手不足，地方では高齢化と過疎化によって，公共サービスの維持が難しくなる懸念もあり，保守・運転作業の省力化・自動化，効率化が喫緊の課題になっている。昨今，高齢ドライバーの自動車事故も問題になっており，高齢者や交通弱者が安全に利用できるモビリティインフラの実現が望まれる。

そこで，これら三つの大きな課題に対して，モビリティインフラの革新が解決策の一つになり得ると考える。

2.1　地球環境問題

地球環境問題に対して，鉄道は輸送効率が高く，環境負荷が少ないモビリティインフラとして期待されている。先進各国は2050年までにCO_2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を進めている。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９月に国土交通省が“鉄道脱炭素官民連携プラットフォーム”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。

2.2　都 市 問 題

都市問題に対しては，自動車依存からLRT(Light Rail Transit)などの公共交通の利便性を高めて利用を促進することで，都市部の交通渋滞や大気汚染の解消が期待される。都市の交通計画として，欧州ではSUMPが提唱されている[4]。公共交通の衰退が地域の衰退と自動車依存を高めて，結果として交通渋滞，交通事故，大気汚染などが増加して社会的費用が増大する懸念があり，持続可能なまちづくりのためのモビリティ政策が必要になっている。長期的な取組みであるが，オーストリアのウィーンでは，2010年代からスマートシティー戦略(Smart City Vienna Framework Strategy)の一環

として都市交通計画(Urban Mobility Plan)を策定し，公平な移動の権利(Fair)，健康維持(Healthy)，移動距離の短縮(Compact)，環境優位性(Eco-Friendly)，交通インフラの確保(Robust)，エネルギー効率(Efficient)の各項目について数値目標を設定して推進し，実績として公共交通の利用者が増加し成果を上げている[5]。EUでは欧州横断輸送ネットワーク(Trans-European Transport Network：TEN-T)の結節点になる431都市を対象に，2027年までにSUMPの計画作成が義務づけられており，今後の展開が期待される。国内でも，2023年８月に，宇都宮芳賀ライトレール線(愛称：ライトライン)が開業した。開業後の利用状況は好調で，当初想定を上回り，地域のモビリティインフラとして定着している[6]。また，MaaSの進展，駅設備などのバリアフリー化の推進や，デジタルサイネージ，チケットレスサービスなど最新のデジタル技術を活用して公共交通の利便性を高めて，利用促進を図る取組みも進められている。

2.3　少子高齢化・生産年齢人口の減少

少子高齢化・生産年齢人口の減少に対しては，モビリティの分野でもデータとデジタル技術を活用した稼働状況などの見える化，省人化・省力化，自動化や，AI活用によるデータ分析などが進められている。例えば，当社は鉄道LMS(Lifecycle Management Solution)として鉄道車両メンテナンスソリューションの事業展開を進めている。鉄道LMSでは，二次元コード等による機器識別と搭載位置の追跡，故障・修理履歴・鉄道車両稼働監視などの保守業務データによる機器の稼働状態・劣化状況の見える化，さらに機器改修作業や予防保全計画等の効率化に加えて，リスク評価も踏まえて機器更新計画を支援する鉄道車両向けアセットマネージメントの開発に取り組んでいる。また，自動・自律運転によってドライバーレス化を実現して，人手不足の解消と，快適かつ効率的な省エネルギー運転も可能になる。自動・自律運転の普及によって，高齢者や交通弱者が安全に移動可能になり，誰もが移動の自由を享受して行動範囲が広がることも期待でき，地域の活性化にも貢献できる。

このように，モビリティインフラの分野では，地球環境問題，都市問題，少子高齢化・生産年齢人口の減少などの社会課題を踏まえて，省力化・経営効率化のためのDXと，省エネルギー化・環境負荷低減のためのGXを活用して持続可能な社会の実現を目指した取組みが進められている。

3. モビリティインフラシステム事業の取組み

モビリティインフラシステム事業では，環境・省エネルギー，メンテナンス，自動運転・列車制御，安全・安心，駅・旅客サービスなどの各分野でDXやGXを推進して，社会課題の解決に取り組んでいる(**図２**)。当社は，鉄道システムを中心に顧客とともに長年にわたって培ってきたノウハウを生かして，デジタル基盤Serendieを活用した顧客との価値共創を通じてモビリティインフラ全体の持続的成長に向けて継続的に活動していく。

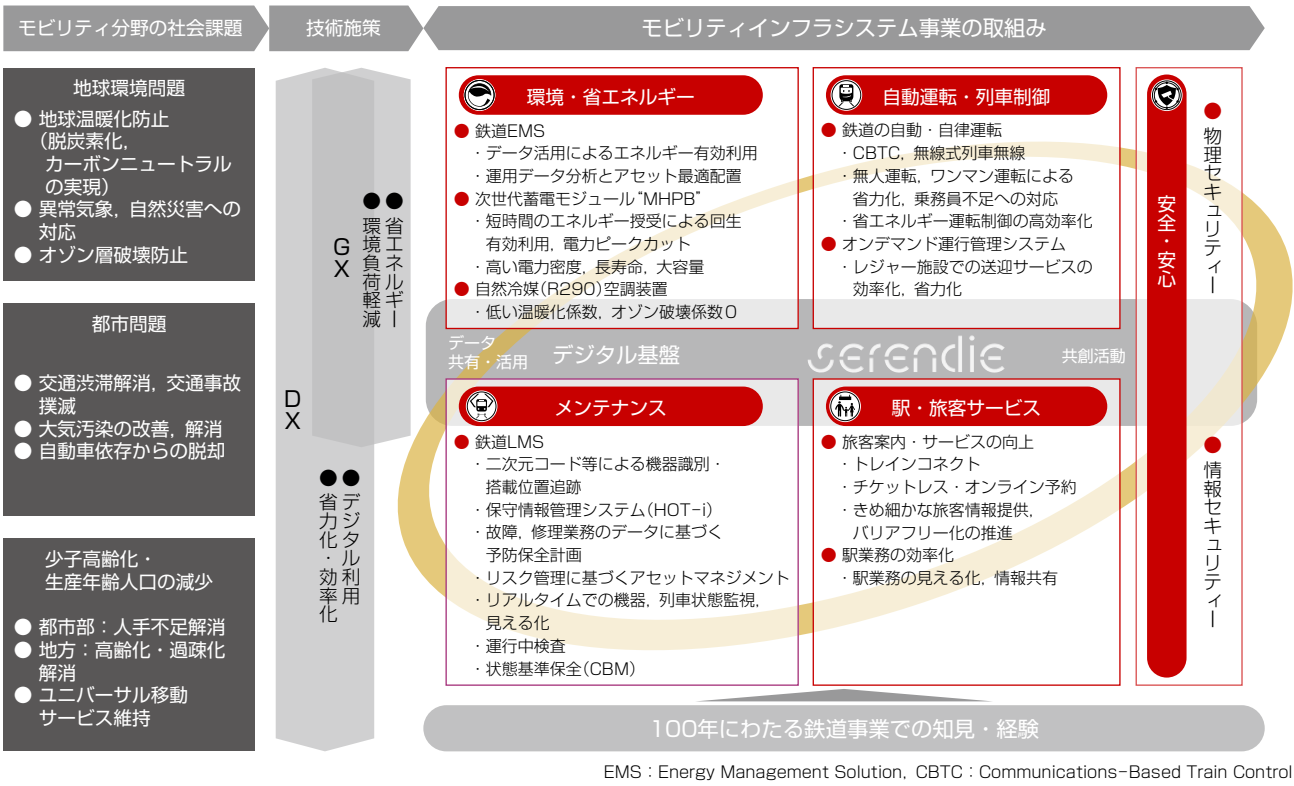
この章では，DX，GXを適用して持続可能な社会の実現を目指す，当社の取組みの体系と最近の事例を述べる。なお，詳細については各特集論文を参照されたい。

3.1　DX関連の取組み

(1)　Serendieのデータ分析による鉄道EMS(Energy Management Solution)の展開

先に述べたデジタル基盤Serendieを活用して，鉄道事業でのエネルギーの最適利用や鉄道アセットの最適配置，運用に向けたデータ分析サービスを提供し，モビリティインフラのGXにも寄与しつつDX施策としての鉄道EMSを展開している。

モビリティインフラのカーボンニュートラル実現に向けて，太陽光発電等の再生可能エネルギーの活用や環境配慮型の車両機器導入などの施策が進められている。これを加速するためには，運行情報などの運用データを活用し，変電所や駅の鉄道アセットと列車運行を連携させてエネルギーを全体で最適化することが有効である。デジタル基盤Serendieによって車両，変電所，駅の電力使用量や列車運行状況等のデータを組み合わせて分析することで，脱炭素化の最適な解決策や活用方法を提案できる。例えば，鉄道車両のブレーキ時の回生エネルギーの余剰電力を見える化したマッピングデータを基に，駅舎補助電源装置(S-EIV)の適切な配置や，駅の混雑度，運行ダイヤ，運行状況に応じた鉄道アセットの最適な運用方法を提案する。このように鉄道事業者の設備導入や列車の省エネルギー運用を継続的にサポートすることで，鉄道アセット連携と省エネルギー運転を融合してエネルギーの運用最適化を図る。さらに，収集したデータを分析・活用し，沿線地域の電力システムとの連携によって，沿線地域全体でのエネルギー供給の最適化を実現して脱炭素化に貢献する(本号の特集論文“‘Serendie”による鉄道EMSの展開と将来構想”参照)。



EMS：Energy Management Solution，CBTC：Communications-Based Train Control

図2-持続可能な社会を実現するモビリティインフラシステム事業の取組み

⑵　自動運転モビリティのリゾート施設での利用

安全で誰でも利用しやすいモビリティインフラによって移動の自由を拡大する，自動・自律運転への取組みも推進している。当社は自動運転モビリティの展開を推進する民間施設・公共施設をターゲットに，自動運転モビリティの運行業務の効率化と安全性向上を実現するため，自動運転モビリティ管制システムを開発した。近年，コロナ禍後のインバウンドの回復や国内旅行需要の拡大を背景にリゾート施設の拡充，新規開設が増加しており，レストランと宿泊棟の間など広大な敷地内の移動に送迎サービスを提供する施設も増えている。リゾート施設では，この送迎サービスを手動運転カート等のモビリティで提供しているが，昨今の労働力不足とコロナ禍後の需要急増によって，運転手の確保と効率的な予約管理などが課題になっている。そこで，これら喫緊の課題を持つリゾート施設向けに当社の自動運転モビリティ管制システムを導入して課題解決を図っている。リゾート施設への適用に当たり，複数車両の同時運用による利用者の利便性向上と安全・安心を実現するため，施設内狭路で自動運転モビリティがすれ違うためのモビリティ調停機能を新たに開発した。

リゾート施設内の円滑な移動を実現するオンデマンド運行管制システムを整備し，送迎業務の省人化を実現して，人手不足が深刻なホテルや観光業界でのDXを推進するとともに，将来の自動運転モビリティの展開にも貢献できる（本号の特集論文“自動運転モビリティ管制技術のリゾート施設への適用”参照）。

⑶　旅客情報プラットフォーム“トレインコネクト”による利便性向上

旅行者などモビリティインフラ利用者の利便性向上による利用促進に当たり，列車と乗客をつないで新たな旅客サービスを実現する情報提供プラットフォームであるトレインコネクトを提供している。

近年，鉄道利用者向けに列車の運行状況や走行位置などの情報提供サービスや，新たなモビリティサービスとしてMaaSの展開などが進んでいる。さらに，運転状況の変化に応じた更にきめ細かい情報提供や，個々の利用者のニーズに合わせた案内や誘導のため，乗車している列車の詳細情報と連携した新たなサービスが考えられる。そこで当社は“列車統合管理システム”や“トレインビジョン”の技術を応用した情報提供プラットフォームであるトレインコネクトを新たに開発した。トレインコネクトは，ビーコン装置とソフトウエア開発キットで構成されて，車上の列車統合管理システムで管理される列車情報を乗客が所有するスマートデバイスに対して発信できる。

トレインコネクトによって，乗客のスマートデバイス上にトレインビジョンと同等の次駅案内や走行位置の情報提供が可能になる。また，列車の行き先や走行位置に応じて，個々の乗客の指向に合わせた沿線のイベント情報を提供するなど，新たな顧客接点を創出し，利用者ニーズに応じたきめ細かな新しい旅客サービスを提供して利便性向上に貢献する（本号の特集論文“鉄道情報提供プラットフォーム“トレインコネクト”と新たな旅客サービス創出の可能性”参照）。

3.2　GX関連の取組み

⑴　次世代蓄電モジュールMHPB（Mitsubishi High Power Battery）によるエネルギー有効利用

鉄道は輸送効率が高く，環境優位性の高いモビリティインフラであるが，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CO_2削減が求められている。

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，鉄道車両用にSiC（炭化ケイ素）適用の推進制御装置や全閉形主電動機，同期リラクタンスモーター駆動システム“SynTRACS”など，高効率な推進制御システムを開発，実用化してきた。さらに，車両の加速・減速に伴う負荷変動が大きい鉄道システムでは，電力需給の平準化や回生エネルギーの有効利用のために蓄電技術の活用が有効である。現在，大容量の蓄電デバイスとしてはリチウムイオン電池（Lithium-ion Battery：LiB）が主流であるが，当社はLiBよりも短時間のエネルギー吸収に優れた次世代蓄電モジュールであるMHPBを開発した。MHPBはLiBの大容量特性と，電気二重層キャパシターの長寿命で高い電力密度の特長をバランス良く実現している。MHPBは短時間のエネルギー授受が必要な回生エネルギーの有効活用に適しており，また，力行時の最大電力を抑制する電力ピークカットに適用して電力設備の軽減（アセットライト化）にも貢献できる。さらに，都市部で駅間距離の短いLRTに適用して，駅停車中の短時間充電によって架線レス化を図り，快適な都市景観を提供できるなど，モビリティインフラでも様々な可能性が期待できる（本号の特集論文“次世代蓄電モジュール“MHPB”でのバッテリー＆エネルギーソリューション”参照）。

⑵　自然冷媒（R290プロパン）を適用した車両用空調装置の実用化

地球温暖化防止に向けて，温暖化係数が小さい自然冷媒の車両用空調装置（Heating，Ventilation and Air Conditioning：HVAC）への適用も新たな潮流である。欧州では，鉄道車両用HVACの熱交換に用いる冷媒を従来のR134aやR407Cなどの代替フロンHFC（Hydro Fluoro Carbon）から自然冷媒に転換する動きがある。HFCは塩素を含まず，オゾン破壊はないものの温暖化係数が高いため，段階的に使用制限が行われている。自然冷媒としてはR744（CO_2）を適用したHVACも開発されているが，冷却性能や機器の小型・軽量化に課題があり，鉄道車両用としてはR290（プロパン）の適用検討が進められている。R290は温暖化係数は小さいが可燃性（強燃性）のため，車載機器として車両火災防止の安全対策や法規制への対応が必要になる。そこで，当社は冷媒充填量の抑制，小型冷凍サイクルのマルチ搭載化，室内領域での冷媒配管のロウ付けレス化や漏洩（ろうえい）冷媒の排出対策などの安全対策を実施して実用化に成功した。当社は日系企業として初めて(注2)，自然冷媒R290を採用したHVACを製品化し，Siemens Mobility社からドイツ（ミュンヘン）の近郊車両S-Bahn新型車両向けのHVACを受注した。温暖化係数の小さい自然冷媒の適用によって，地球温暖化防止に貢献する（本号の特集論文“自然冷媒（R290プロパン）を使用した欧州向け鉄道車両用空調装置”参照）。

（注２）　2024年９月19日現在，当社調べ

4. む　す　び

持続可能な社会の実現に向けて，デジタル空間を利用して省力化・効率化を図るDXや，技術革新によって省エネルギー・環境負荷軽減を目指すGXを活用して，モビリティインフラを変革する取組みについて述べた。都市内・都市間の人流・物流を担う輸送機関として，環境負荷が小さく，輸送効率が高く，安全で誰でも利用しやすい，新しいモビリティインフラへの期待は高い。欧州で広がりつつある，SUMPの先進的な取組みも参考になると考えられる。

当社は100年にわたって鉄道を中心としたモビリティインフラの分野で経験を積んできた。さらに，将来に向けたデジタル人財の育成や，新たな交流拠点として横浜に開設した“Serendie Street Yokohama”を活用した価値共創の取組みを通じて，モビリティインフラとデジタル技術を融合し，鉄道事業者，鉄道産業界，官公庁，大学，研究機関とも連携・協調して，持続可能な社会の実現に貢献していく。

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：社会課題の変容と交通ソリューションの将来像，三菱電機技報，**97**，No.9，2-01～2-05 (2023)
(3) 宇都宮浄人，ほか：持続可能な交通まちづくり ―欧州の実践に学ぶ，筑摩書房 (2024)
(4) 一般財団法人 地域公共交通総合研究所：SUMP「持続可能な都市モビリティ計画の策定と実施のためのガイドライン」(2022)
https://chikoken.org/information/sump/
(5) Urban Development Vienna, Vienna City Administration：STEP 2025 – Urban Mobility Plan Vienna (2014)
(6) 矢野公久：宇都宮市のまちづくりと芳賀・宇都宮 LRT(ライトライン)，Urban・Advance，**82**，25～33 (2024)

特集論文

“Serendie”による鉄道EMSの展開と将来構想

Future Vision of Railway EMS with "Serendie"

樋口竜太*
Ryuta Higuchi
石山琢麻‡
Takuma Ishiyama
進士晃輔†
Kosuke Shinji
今村泰隆†
Yasutaka Imamura

*モビリティインフラシステム事業部
†伊丹製作所
‡神戸製作所

要　旨

三菱電機は当社独自のデジタル基盤“Serendie”(セレンディ)を活用して，データ分析サービスの提供を皮切りに，鉄道事業者の鉄道アセットの最適配置や最適制御の導入，複数編成の運行制御，さらにこれらを組み合わせた鉄道システムのエネルギー運用の全体最適化を進めている。また，将来的には鉄道で収集したデータを分析・活用し，沿線地域とも連携することで，沿線地域全体でのエネルギー供給の最適化を図る。これら一連のソリューション(鉄道EMS(Energy Management Solution))展開によって，カーボンニュートラルの実現に貢献する。

1. ま え が き

地球温暖化は，早急に取り組むべき社会課題の一つである。気候変動に関する政府間パネルの報告書では，地球の平均気温の上昇によって，異常気象や海面上昇など，将来にわたり地球環境への深刻な影響が予見されている。そこで，2015年に採択されたパリ協定で地球温暖化対策の国際的な枠組みが合意され，世界各国でカーボンニュートラルの実現に向けた取組みが加速している。

エネルギー分野では，太陽光発電(PhotoVoltaics：PV)等の再生可能エネルギーの導入拡大とエネルギー効率の向上が重要な柱になっている。鉄道業界でも，鉄道分野のカーボンニュートラルの実現に向けて，再生可能エネルギーの活用や環境配慮型の車両機器の導入などが進められている。さらに，この取組みを加速させるためには，運行情報などの鉄道に関連する様々な運用データを活用し，変電所や駅の鉄道アセットと列車運行を連携してエネルギーを路線全体で最適化することが有効である(**図1**)。

本稿では，データ分析サービスをはじめとして，路線全体のエネルギー最適化，さらに沿線地域の最適化に寄与するソリューションの展開構想を述べる。

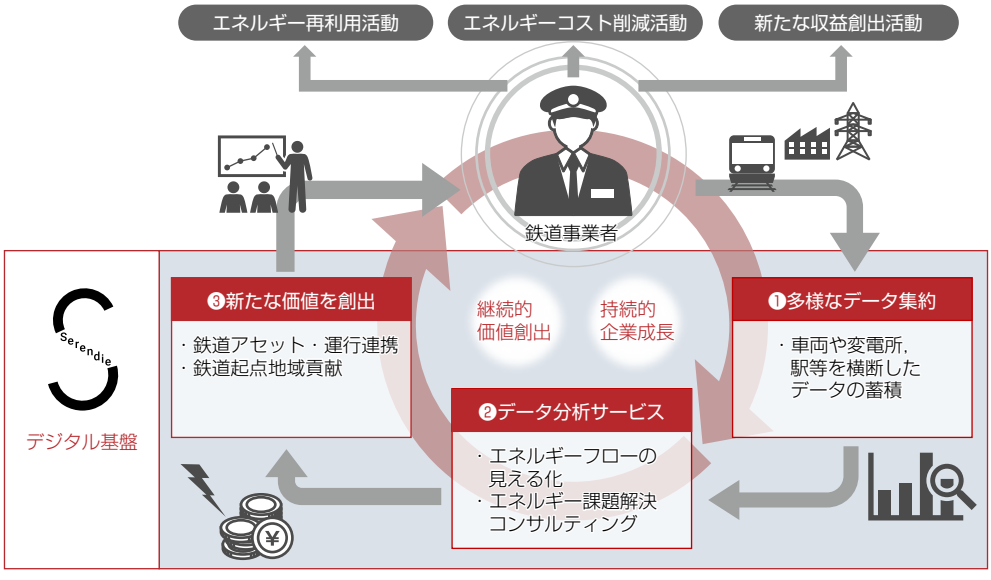


図1－“鉄道向けデータ分析サービス”の体系図

2. Serendieを活用した鉄道システムのデータ分析

この章では，鉄道分野でのデータ分析を個別最適から全体最適に深化させる取組みを述べる。

当社は鉄道分野で，以前から車両データを用いたデータ分析と最適化に取り組んできた。例えば，運用中の鉄道車両から取得したデータを用いて制御装置の設計や制御パラメーターの最適化を行うことで，車載電機品の効率向上やブレーキ時に発生する回生電力の増加など，省エネルギー化を実現してきた実績がある(1)。

しかしながら，更なるカーボンニュートラルの実現のためには，従来の個別最適化では限界があり，鉄道システム全体でのエネルギー運用の最適化が望ましい。そこで，当社は第一歩として，鉄道システムの運用データ(車両・変電所・駅の電力使用量や列車運行状況等のデータ)をデジタル基盤Serendieを活用して迅速かつ明解に分析することで，全体最適化を提案する“鉄道向けデータ分析サービス”を開始した(**図２**)。

鉄道向けデータ分析サービスでは，鉄道システム全体の最適化に寄与する分析が可能であり，例えば複数の車両のデータを組み合わせて，電力系統全体の電力量の無駄の実態を定量的に明らかにできる。鉄道事業者特有の課題に対して，余剰な回生電力を吸収する省エネルギー設備である駅舎補助電源装置などの鉄道アセットの適切な配置場所や，駅の混雑度・運行ダイヤ・運行状況に応じた鉄道アセットの最適な運用方法の提案が可能である。

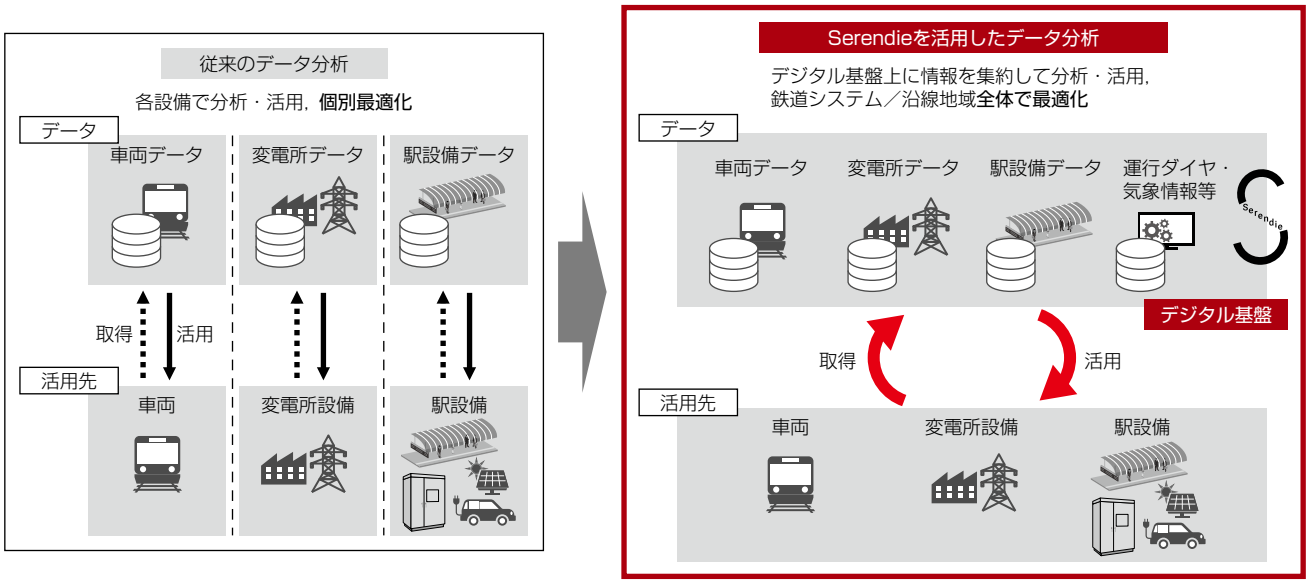


図２-データ分析の概念図

3. 鉄道システムの最適化

この章では，データ分析に基づいた鉄道アセットの最適配置・最適制御，列車の省エネルギー運行制御の事例を示す。

3.1　アセットの最適配置

回生電力の有効利用に当たって，地上設備の位置や余剰回生電力を把握することは重要である。そこで，データを活用して余剰回生電力の見える化を実施した。**図３**，**図４**に余剰回生電力の分析イメージを示す。**図３**，**図４**では，余剰回生電力がA駅とD駅で集中して発生していることを視覚的に確認できる。このように，特定の地点に余剰回生電力が集中している場合，地上に省エネルギー機器を設置することが効果的である。車両の余剰回生電力を地上設備に融通する駅舎補助電源装置や，余剰回生電力を吸収して再利用する電力貯蔵装置を設置して局所的な対策を施すことで，消費電力の改善を期待できる。

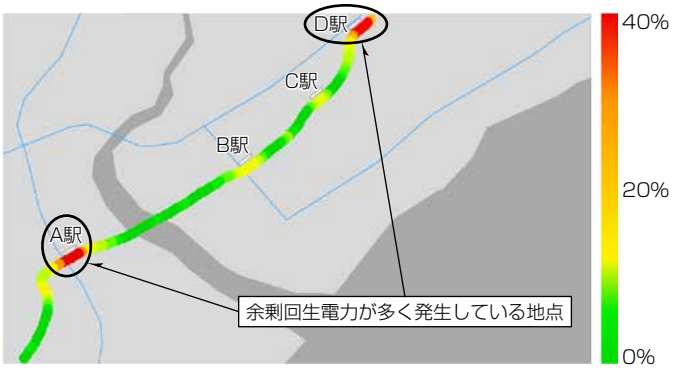
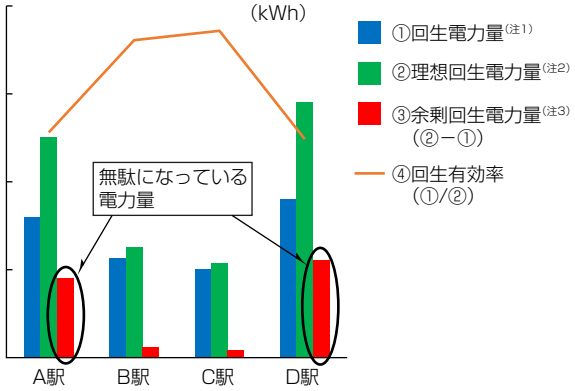


図３−余剰回生電力の地図上マッピング



（注１）　回生電力のうち，実際にほかの車両等に融通した電力の量を表す
（注２）　ブレーキのエネルギーを全て電力に変換できた場合の回生電力量
（注３）　空気ブレーキ等によって熱エネルギーに変換されて有効活用できていない回生電力量

図４−回生電力の分析イメージ

3. 2　変電所のき電電圧制御

既存の設備の運用による更なる省エネルギー施策として，現在，き電電圧最適制御の検討を進めている。

鉄道は一般的に，時間帯によって列車密度が異なって，ラッシュ時間帯と閑散時間帯が存在する。閑散時間帯は列車密度が低く，ブレーキ時に電車線に返す回生電力が車両間で十分に融通できず，回生電力の出力を制限する回生絞り込みが多く発生する。回生電力の供給距離はき電電圧が低いほど長くなるため，変電所のき電電圧は低く設定した方が回生融通量の更なる増加を見込める。一方，ラッシュ時間帯では列車密度が高いため，回生電力は車両間で融通されて，回生絞り込みは少なくなる。こういった状況の場合，変電所のき電電圧を高く設定することで変電所や架線の損失を低減できて，車両のインバーター，モーターの効率を向上できる。

そのため時間帯によって**図５**のように変電所のき電電圧を変更，最適化することが有効である。しかしながら，現在の変電所設備は時間帯によるき電電圧の変更を前提としておらず，終日，受電電圧に対して一定電圧比のき電電圧を送り出している。また，変電所ごとに設備容量，台数，供給距離が異なるため，変電所ごとに最適なき電電圧を把握し，運用することが理想である。

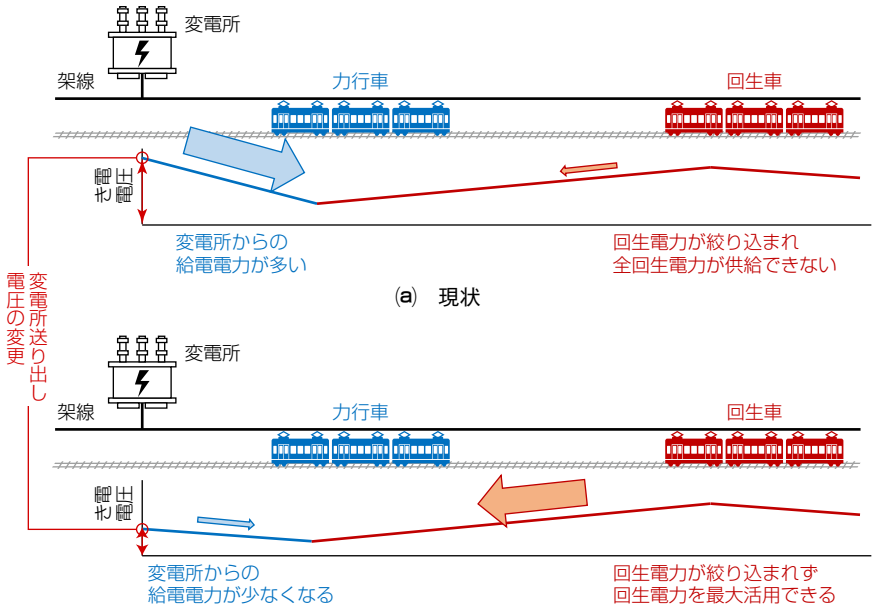


図５−き電電圧の最適化

これらの運用を実現するため，**図６**に示す“き電電圧最適制御の構成”を策定した。

このき電電圧最適制御の構成によって，時間帯ごとの最適なき電電圧の算出と制御が可能になり，余剰回生電力の有効利用を促進できる。これによって，鉄道運行エネルギーの最小化と電気料金の低減のトレードオン(両立)を果たし，カーボンニュートラルの実現に貢献する。現在，当社独自のき電電圧最適化アルゴリズムの構築を進めており，更に効率的に最適電圧を算出できるように取り組んでいる。

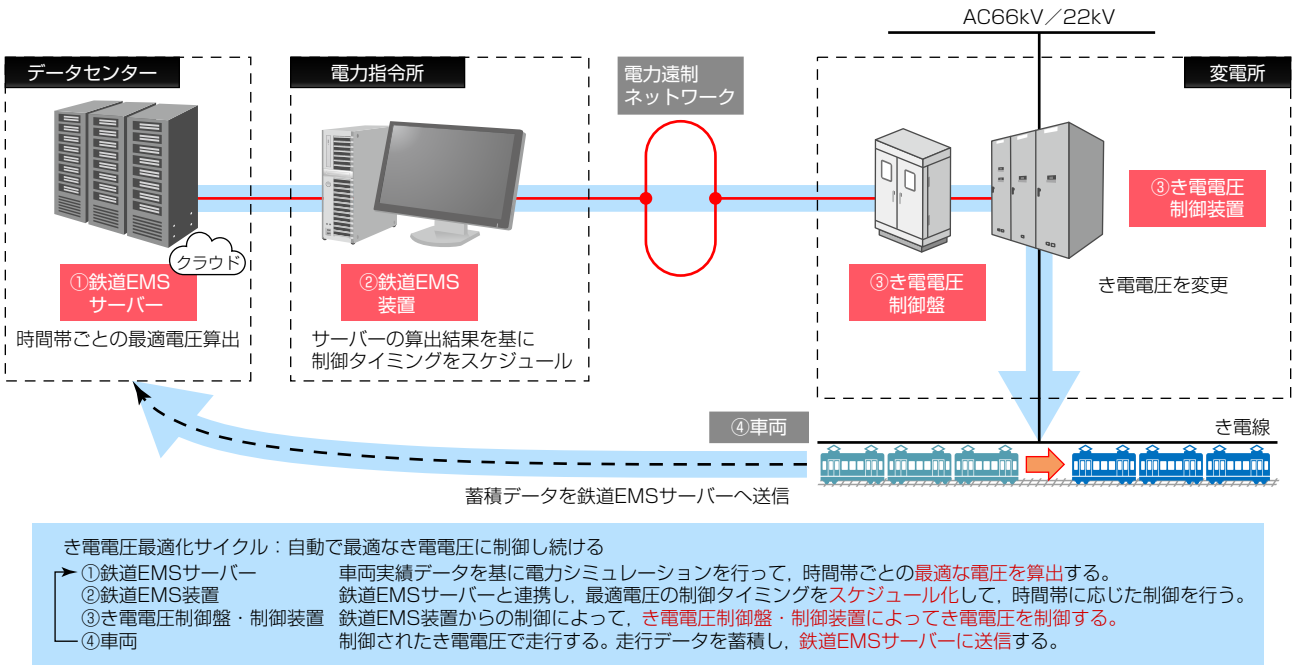
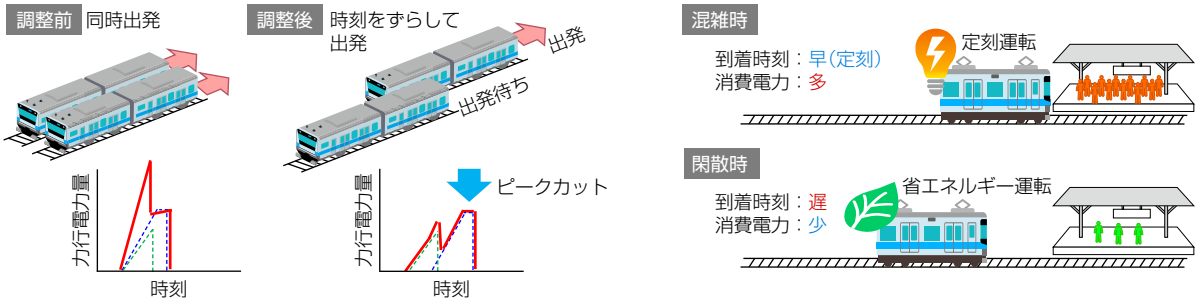


図６−き電電圧最適制御の構成例と最適化サイクル

3.3　列車の省エネルギー運行制御

従来，省エネルギーランカーブの検討など編成単独での省エネルギーに向けた取組みを実施していたが，現在，複数編成の運行制御を考慮した全体最適による省エネルギーソリューションについても取組みを進めている。例えば，**図７**のような架線の電圧降下を抑えるための力行タイミング調整制御や，駅や車内混雑度に合わせた到着時分調整制御の検討を行っている。



(a)　力行タイミング調整制御　　(b)　混雑度に合わせた到着時分調整制御

図７−列車の省エネルギー運行制御

力行タイミング調整制御では，特定区間での力行のタイミングが重ならないようにダイヤを調整する。その結果，架線を流れる電流を平準化してピークを抑えられるため，架線での送電ロスを削減できる。また，電圧低下による車両機器の効率低下，加速性能低下も抑えられて，省エネルギーに寄与できる。

混雑度に合わせた到着時分調整制御では，乗客の利便性を損なわない範囲で，省エネルギー優先の運転を採用するか，ダイヤどおりの運転を採用するかを決定する。例えば，乗客の少ない時間帯・区間では，駅での乗降時間に余裕があるため，更に省エネルギーになるランカーブを採用し，電力量削減を実現する。

このように，列車運行にエネルギー削減の観点を加えた取組みを進めている。

4. 鉄道事業全体のエネルギー最適化

この章では，**3章**で述べたアセットの最適配置，変電所のき電電圧制御，列車の省エネルギー運行制御等，全てのソリューションを組み合わせて，**図8**のような鉄道全体の電力最適化と，乗客の利便性向上につながる運行最適化を両立する構想について述べる。

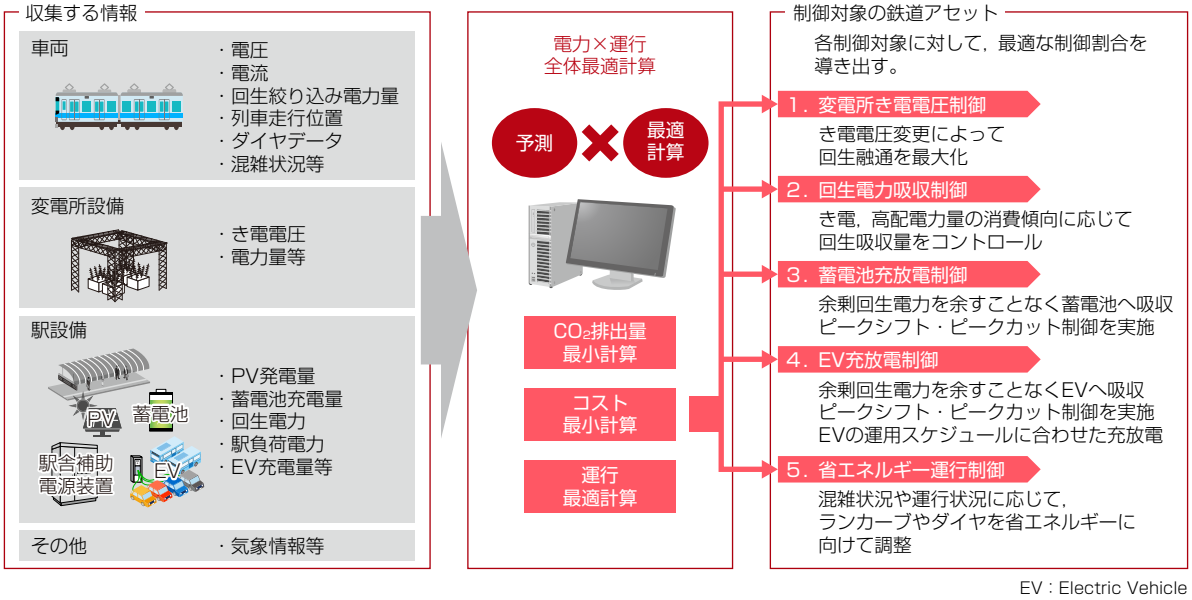


図8-鉄道事業全体のエネルギー最適化

数年程度の中期的な視点では，新車投入，都市開発による人流変化などによって，運行計画やそれに伴う電力需要が変化する。また，一年程度の短期的な視点でも，ダイヤ改正，気象状況，各種イベント開催等によって運行計画や電力需要は変化する。これらの変化に対応し，乗客の利便性を維持しつつ，車両，変電所，駅，気象情報等のデータを活用して，電力の最適化を実現するシミュレーションを実施する。

このように，個別の省エネルギーソリューションを組み合わせて，全体最適を実現するシミュレーション技術の確立を目指す。

5. 将来の展望

将来的には，**図9**に示すように，鉄道を起点に沿線地域と連携し，更なるエネルギー最適化の実現を目指す。例えば，駅を中心とした沿線地域にマイクログリッドを構築することで，鉄道事業を超えた範囲でのエネルギー最適化を実現する。また，大規模災害等の非常時に鉄道アセットを活用し，非常電源の供給によって沿線地域に貢献するなど，電力レジリエンス強化による沿線価値向上にも寄与する。さらに，鉄道事業領域の電力消費は大きいため，必要によって鉄道の電力需要を抑えて，鉄道アセットを調整力とすることで，電力市場での電力不足に対するデマンドレスポンスへの対応を実現する。これらによって，鉄道事業領域を超えた範囲でのエネルギー最適化を目指している。

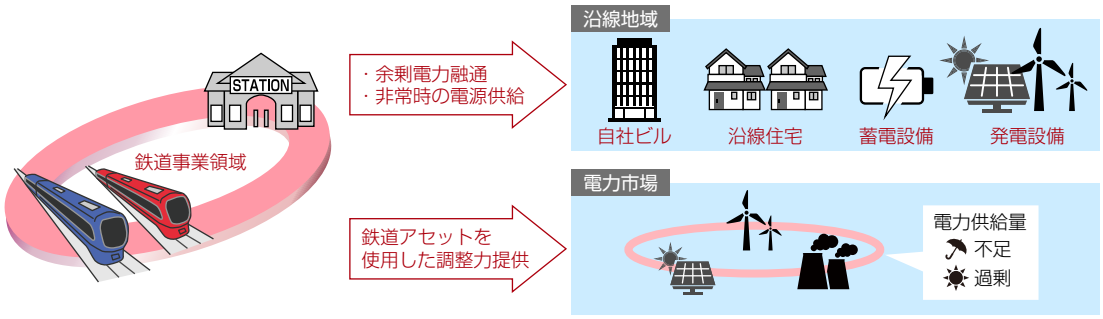


図９−鉄道事業領域外との連携

6. む　す　び

地球温暖化防止は持続可能な社会の実現に向けた重要な課題であり，世界各国でカーボンニュートラル実現のための取組みが進められている。本稿では脱炭素化に向けて，デジタル基盤Serendieによるデータ分析をはじめとした当社の具体的なソリューションについて述べた。

今後は，各種ソリューションによって得られた知見を新たなソリューションに活用することや，鉄道領域を超えた様々な事業領域と連携したソリューションの実現に取り組むことで，カーボンニュートラル実現の更なる加速に貢献する。

参 考 文 献

(1) 生方伸幸，ほか：省エネ最適車両システムへの取り組み，鉄道サイバネ・シンポジウム論文集，No.48，503（2012）

特集論文

次世代蓄電モジュール“MHPB”でのバッテリー＆エネルギーソリューション

"MHPB" Module: Driving Innovation in Future of Battery Solutions

森岡達也*
Tatsuya Morioka
原田領太郎*
Ryotaro Harada
横堤　良*
Ryo Yokozutsumi

*伊丹製作所

要　旨

脱炭素社会の実現に向けて，再生可能エネルギーの活用や電動化の推進に当たり蓄電技術の進歩が重要になっている。電動化の鍵を握るバッテリーは，製品によって出力，容量，寿命などに異なる特長があり，用途に応じて使い分けている。また，急速充電やワイヤレス充電といったバッテリー関連の新技術も進歩して，その可能性を広げている。例えば鉄道業界では，非電化区間用や非常走行用として鉄道車両へのバッテリー搭載が進んでいるが，出力・容量確保のため多数のバッテリーが必要になること，また，相当の充電時間が必要になることなどの課題がある。三菱電機は高電力密度，長寿命，大容量化に優れた次世代蓄電モジュール“MHPB”を新たに開発し，エネルギーソリューションによって脱炭素化の推進に貢献する。

1. ま え が き

本稿では，社会課題の解決に当たり，当社の蓄電技術の進歩とエネルギーソリューションの展開を述べて，新たに開発した次世代蓄電モジュールの可能性を示す。当社では，バッテリーを中心としたコアテクノロジーとライフサイクル全体を支援する統合エンジニアリングを，当社独自のデジタル基盤“Serendie”を通じて融合することによって，顧客のエネルギー課題や潜在ニーズ・シーズを解決するバッテリー＆エネルギーソリューションを提供する（**図1**）。

API：Application Programming Interface，AS：After Service，BA：ビジネスエリア
（注1） Snowflakeは，Snowflake Inc.の登録商標である。　（注2） MuleSoftは，Salesforce, Inc.の登録商標である。
（注3） ZUORAは，Zuora, Inc.の登録商標である。　（注4） TREASURE DATAは，Treasure Data, Inc.の登録商標である。

図1－当社が提供するバッテリー＆エネルギーソリューション

2. バッテリー＆エネルギーソリューション

図1に示すように，当社では，バッテリーを中心としたコアテクノロジーとライフサイクル全体を支援する統合エンジニアリングを，当社独自のデジタル基盤Serendieを通じて融合させることで，バッテリー＆エネルギーソリューションを提供している。

この章では，このソリューションを構成するコアテクノロジー，デジタル基盤，統合エンジニアリングについて述べる。

2.1　コアテクノロジー

図2に当社のコアテクノロジーを示す。鉄道事業で培った高効率パワーエレクトロニクス技術によって，消費電力を削減し，効率的なエネルギー利用を可能にする。当社が社内で培ってきた，エネルギーマネージメントソリューション

(EMS)，サイバーセキュリティー技術，SoC(バッテリーの充電状態)／SoH(バッテリーの劣化状態)推定技術などを結集することで，ソリューションの価値を高めるコア技術群を構成している。また，社外連携技術として，2024年５月，武蔵エナジーソリューションズ㈱と，次世代蓄電モジュール及びバッテリーマネージメントシステム(BMS)に関する業務提携を締結した。武蔵エナジーソリューションズ㈱が次世代バッテリーセルの設計，開発，製造を担当し，当社が次世代蓄電モジュールとBMSの設計，開発，製造を担当する。次世代蓄電モジュールについては**３章**で述べる。

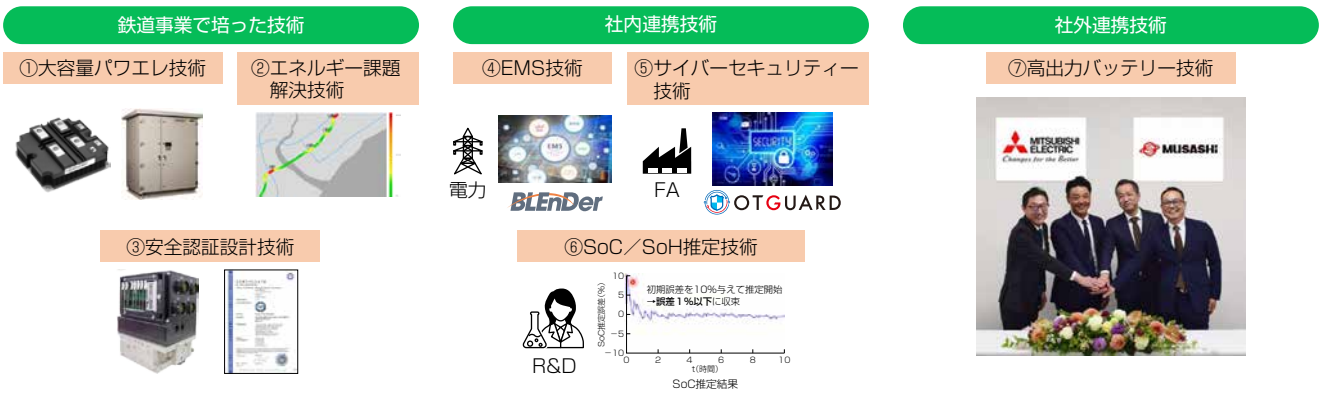


図２-当社のコアテクノロジー

2.2　デジタル基盤

当社は，データから新たな価値を生み出すために，当社独自のデジタル基盤Serendieを構築した。Serendieは，多様な人材が技術力と創造力を発揮し，新たなサービス・ソリューションを提供するためのプラットフォームである。

鉄道のエネルギーソリューションでは，デジタル基盤Serendieによって，運用中の車載MHPBの充放電状態のデータを収集し，大量のデータ分析によって，線区に応じた最適な充放電パターンやバッテリー搭載量を提案する。また，高価なバッテリーの交換時期の判断は鉄道事業者にとっても重要である。実運用中の車載バッテリーのデータ分析によって高精度でSoHを推定し，精緻な劣化判断が可能になる。

2.3　統合エンジニアリング

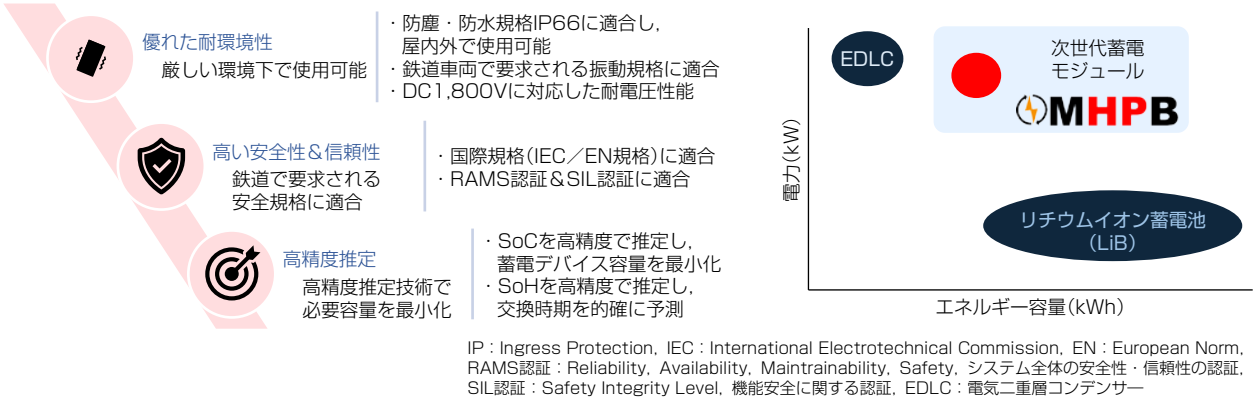
当社の各分野での技術を基に，製品・システムの導入，運用・保守・アフターサービス，システム更新をトータルでサポートし，各ライフサイクルフェーズのデータを活用することで，顧客の持続的価値向上に貢献する統合エンジニアリングを実現している。統合エンジニアリングの観点では，システム全体の最適設計が求められる。例えば，MHPBモジュールを鉄道車両に適用する場合は，運行管理システムと連携し，バッテリーの状態に応じた運行管理システムを実現することで，鉄道システム全体のエネルギー最適化を実現する。

3.　次世代蓄電モジュールMHPBの特長

次世代蓄電モジュールMHPBの特長を**図３**に示す。MHPBは鉄道車両に搭載するため，必要な規格対応はもとより，振動や外気温変化など厳しい使用環境を考慮した，安全性，耐久性，信頼性を確保している。

また，高電力密度，長寿命，高温動作可能の三つの特長も持つ。高電力密度に関しては，**図３**の右部に示すとおり，一般的なリチウムイオン蓄電池と比較して最大で６倍程度の出力密度を持ち，大電力の急速充放電が可能であるため，バッテリーシステムの小型軽量化につながる。また，最長寿命は16年と長寿命であるため，バッテリー交換の回数を減らすことができ，ライフサイクルコスト(LCC)の削減が可能になる。さらに，高温及び低温環境下でも動作可能であり，－40℃から70℃の範囲で安定した運用ができる。

これらの特長によって，30秒～１分程度の大電力吸収・出力が得意であり，電力ピークカットによる設備のスリム化や回生電力吸収による省エネルギー化等に最適なモジュールである。



IP：Ingress Protection，IEC：International Electrotechnical Commission，EN：European Norm，RAMS認証：Reliability，Availability，Maintrainability，Safety，システム全体の安全性・信頼性の認証，SIL認証：Safety Integrity Level，機能安全に関する認証，EDLC：電気二重層コンデンサー

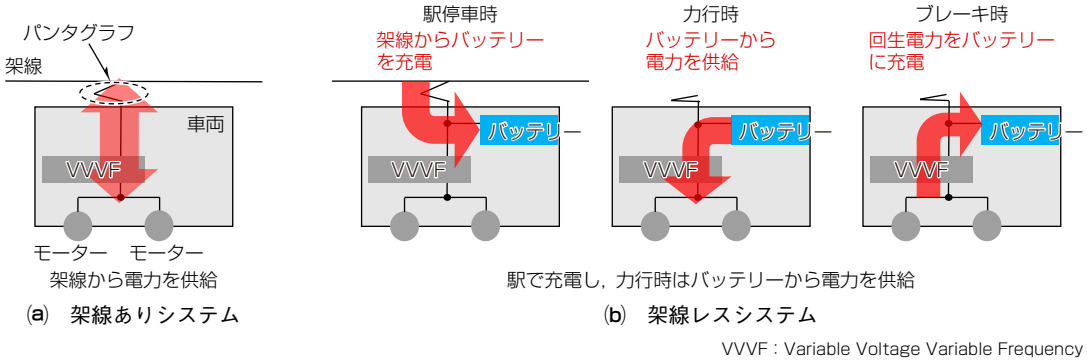
図３-次世代蓄電モジュールMHPBの特長

4. 次世代蓄電モジュールMHPBの適用事例

３章で述べた次世代蓄電モジュールMHPBの特長を生かして，適用事例として，架線レストラムへの適用，電力ピークカットでの利用，物流倉庫用クレーンの電源配線レス化の三つのケースについて述べる。

4.1　鉄道車両向け架線レストラムでのバッテリー導入

鉄道車両にバッテリーを搭載して，力行時にはバッテリーから電力を供給し，ブレーキ時には回生電力をバッテリーに充電することで，電力を供給する架線を不要にした架線レス走行を実現できる。架線レスシステムの概要を**図４**に示す。架線レスシステムでは，架線がなくなり，快適な都市景観の提供や保守作業の軽減などのメリットがある。



VVVF：Variable Voltage Variable Frequency

図４-架線レスシステム

架線レストラムは，高電力密度，長寿命，高温動作可能の三つの特長を持つMHPBのアドバンテージを発揮できるアプリケーションである。架線レストラムでのバッテリー導入に対する当社のソリューションを**図５**に示す。なお，このソ

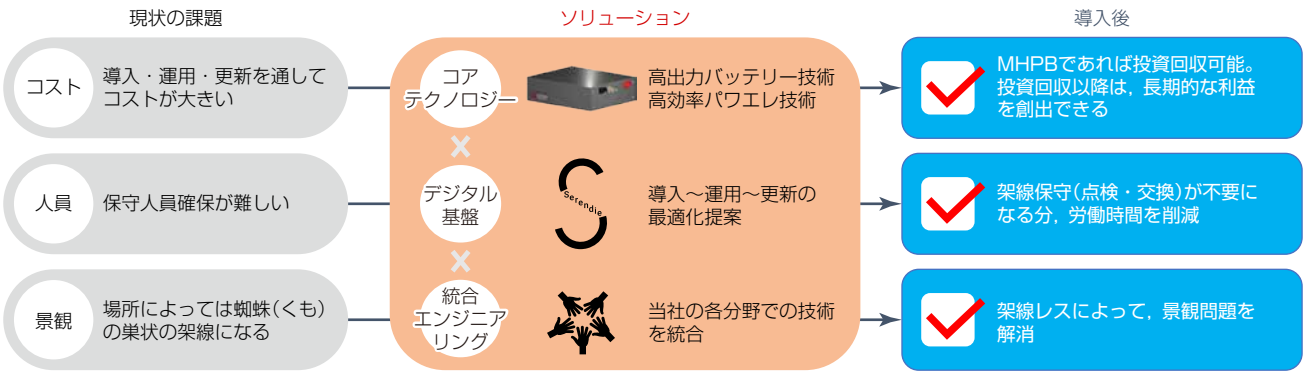


図５-架線レストラムでのバッテリー導入に対する当社のソリューション

リューションは，架線レストラムだけではなく，水素燃料電池等とMHPBモジュールを組み合わせるようなハイブリッドシステムにも適用可能である。

4.2　電力のピークカット用途でのバッテリー導入

従来の電力システムにバッテリーを適用し，“高負荷時にはバッテリーから放電して，従来の電源とバッテリーから負荷に電力を供給することで，電源の負荷のピークを小さくする”というピークカットの制御がある。この制御は工場の電源容量低減など様々な用途があるが，ここでは鉄道向け制御について述べる。鉄道のピークカットシステムについて**図６**に示す。

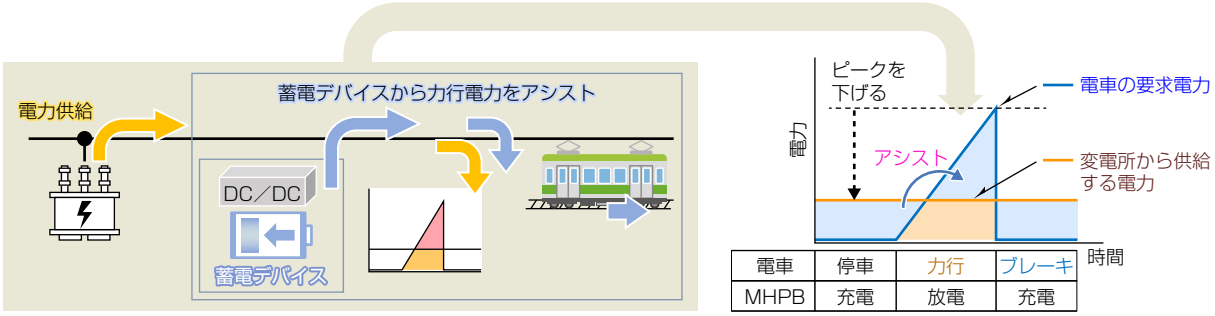


図６−鉄道のピークカットシステム

ピークカットでは，まず，停車時に架線から車載のバッテリーに充電しておく。その後，力行時に電車の要求電力が大きくなったときに，バッテリーからも放電してアシストすることで，変電所から供給する最大電力を小さくできる。また，ブレーキ時には回生電力をバッテリーに充電し，その後の力行時に備える。ピークカット用途でのバッテリー導入に対する当社のソリューションを**図７**に示す。

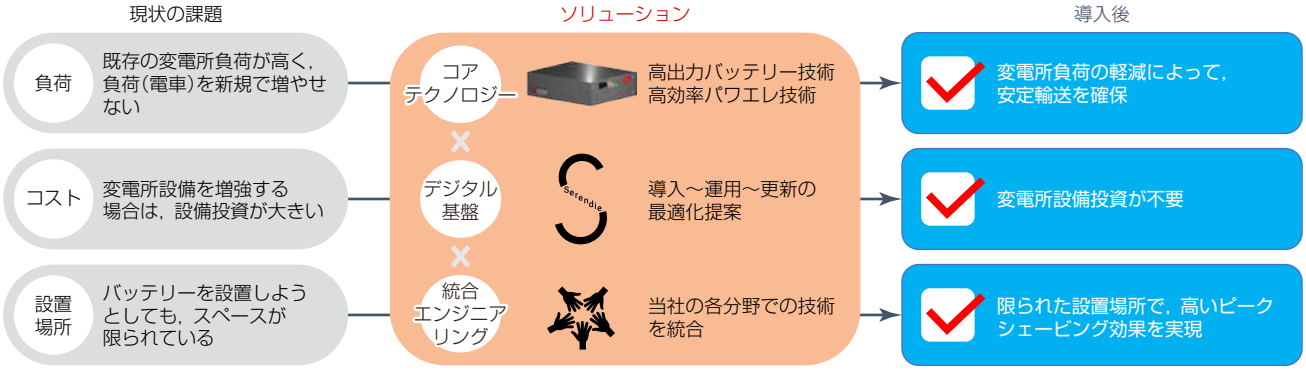
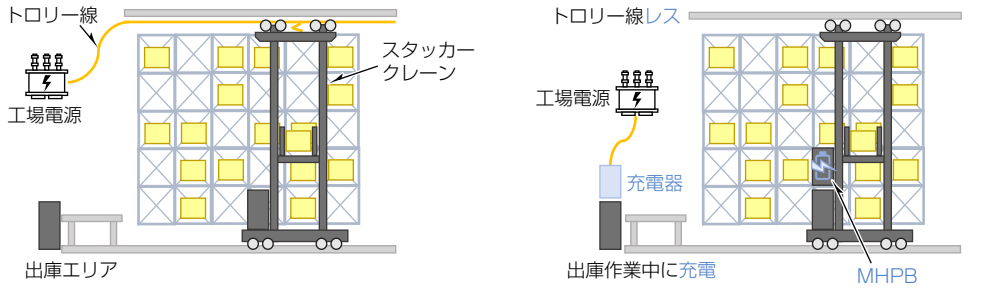


図７−ピークカット用途でのバッテリー導入に対する当社のソリューション

4.3　スタッカークレーンでのバッテリー導入

この節では，鉄道用途以外の活用事例について述べる。スタッカークレーンは，物流倉庫などで荷物の出し入れを行うために，上下及び左右に移動しながら動作する。現在，多くのシステムではトロリー線を用いているが，新たにバッテリーを導入することで，トロリー線の撤去が可能になる。また，下降時の運動エネルギーをバッテリーに回収することで，エネルギー効率の向上が期待できる。スタッカークレーンでのバッテリーシステムの概要を**図８**に示し，また，当社のソリューションを**図９**に示す。



(a)　既存システム　　(b)　バッテリー導入システム

図8−スタッカークレーンでのバッテリーシステム

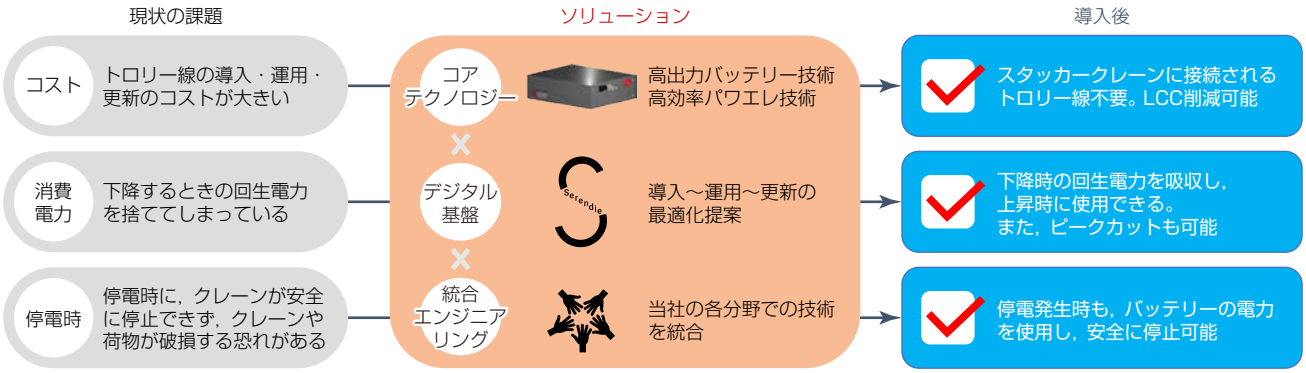


図9−スタッカークレーン用途でのバッテリー導入に対する当社のソリューション

5. む　す　び

脱炭素化やエネルギー問題などの社会課題の解決に当たって，当社が新たに開発したMHPBを活用したバッテリー・エネルギーソリューションの展開について述べた。これによって，交通部門においても，電動モビリティの普及と利用拡大が加速し，エネルギーの有効利用やCO_2削減などの効果が期待できる。

今後もたゆまぬ技術革新と限りない創造力により，社会課題の解決に向けた取組みを推進し，持続可能なエネルギー社会の実現を目指す。

特集論文

自然冷媒(R290プロパン)を使用した欧州向け鉄道車両用空調装置

Railway Air Conditioning Systems for European Market Using Natural Refrigerant R290 (Propane)

井上武志* *Takeshi Inoue*
新宮和平* *Wahei Shingu*
祖川泰之* *Yasuyuki Sogawa*
小窪　聡† *Satoshi Kokubo*
藤木克洋* *Katsuhiro Fujiki*

*三菱電機㈱ 伊丹製作所
†三菱電機クリマット・交通システム㈱

要　旨

持続可能な社会の実現に向けて，冷媒規制の強化が進む中，鉄道空調業界では低GWP(地球温暖化係数)で環境負荷が少ない自然冷媒が求められている。R290(C3H8(プロパン))は優れた冷却性能と低環境負荷を備えた冷媒として注目されている反面，強燃性を持つため，その導入にはリスクアセスメントと火災対策が不可欠である。そこで三菱電機は，欧州規制に適合した安全かつ信頼性の高い鉄道車両用空調装置を開発し，R290を用いた冷凍サイクルを設計・検証した。省冷媒化設計，小型独立冷凍サイクルの複数搭載，ロウ付け部の最適配置，漏洩(ろうえい)冷媒の迅速排出機構を採用することで，環境性能と安全性を両立させ，鉄道車両用空調装置としての実用性を確立した。この成果は，ドイツ(ミュンヘン)の近郊車両用空調装置に採用され，鉄道空調業界でのR290の適用拡大に貢献するものである。

1. ま え が き

イタリアの子会社である三菱電機クリマット・交通システム㈱は，ドイツ(ミュンヘン)の近郊車両向けに自然冷媒R290を使用した鉄道車両用空調装置を受注した。鉄道車両向けにR290を使用した空調装置を受注するのは，日系企業として初になる(注1)。近年，温暖化ガス削減の観点から冷媒の見直しが進む中，環境に配慮した冷媒の導入が求められている。この開発は，鉄道空調業界での環境負荷の少ない冷媒R290の採用を探るものであるが，R290は強い可燃性を持つため，冷媒漏洩や火災リスクを低減させる対策が必要になる。本稿では，欧州規制に適合する安全かつ信頼性の高いR290を用いた空調システムを開発するために用いた冷凍サイクルの設計とその安全対策について述べる。

(注1)　2024年9月19日現在，三菱電機調べ

2. 従来冷媒から自然冷媒への流れ，規制の変遷

持続可能な開発目標(SDGs)は，2015年に国連加盟国が採択した指針であり，2030年までに貧困，不平等，環境悪化といった課題の解決を目指す。17の目標と169のターゲットを掲げて，経済・社会・環境のバランスを図りながら，誰一人取り残さない社会の実現を追求するものである。そして企業はSDGs達成で重要な役割を担い，温暖化防止や環境汚染対策のためにビジネス戦略を見直す必要がある。特に，脱炭素化の推進やフロン冷媒規制によって，CO_2排出量の削減と環境負荷の低減が求められている。

欧州でのフロンガス規制(通称“Fガス規制”)(1)は，HFC(ハイドロフルオロカーボン)，PFC(パーフルオロカーボン)，SF_6(六フッ化硫黄)の排出削減を目的として2006年に公布され，2015年に施行された。製品や機器への規制に加えて，HFCの総量規制によって販売量が段階的に削減されている。

モントリオール議定書キガリ改正(MOP28)は，オゾン層保護及び温暖化対策の一環として，フロン冷媒の生産・使用を段階的に削減する枠組みである。これによって，冷媒及び空調機器メーカーは，低GWP冷媒への移行を迫られている。

また，有機フッ素化合物であるPFAS(Per- and Polyfluoroalkyl Substances)は環境中に長期間残留し，生物への影響が懸念されており，欧州ではPFAS規制によって使用を制限している。2023年の新たな規制案では，一部のフロン冷媒も対象に含まれており，移行期間終了後は使用禁止になるため，今後の動向を注視する必要がある。

かつて国内の空調業界ではR22冷媒が主流であったが，モントリオール議定書改正に伴い，2020年までに生産が段階的に削減され，R407C及びR410Aへの移行が進んだ。家庭用・業務用空調ではR410Aが使用され，また，鉄道車両用空調では国内で407C，海外でR134aが使用されている。

近年の規制強化によって，家庭用・業務用空調では比較的GWPの低いR32への切替えが進んで，更なる低GWP冷媒へ

の転換も検討されている。また，欧州の鉄道業界では環境負荷軽減の観点から，自然冷媒であるR290を用いた空調装置の需要が拡大している。冷媒の比較については**表１**に示す。

表１-冷媒比較

	R22	R134a	R407C	R410A	R32	R290
用途	旧式エアコン	カーエアコン	エアコン(R22代替)	エアコン	エアコン	プロパンガス
ODP(オゾン破壊係数)	0.055	0	0	0	0	0
GWP	1810(注2)	1430(注2)	1774(注2)	2088(注2)	675(注2)	0.02(注3)
PFAS規制	対象外	対象	対象	対象外	対象外	対象外

（注２）　IPCC第４次報告書による評価基準[2]
（注３）　IPCC第６次報告書による評価基準[3]

3. 可燃性冷媒のリスクマネージメント

２章に述べたとおり，空調業界では環境負荷低減を目的とした各種冷媒規制への対応が求められているが，R32やR290は燃焼性の冷媒であり，特にR290は強燃性に分類される冷媒である。これらの燃焼性冷媒を安全に使用するためには，着火に対する安全性の確保が必要である。

冷媒は，①急速漏洩，②着火源の存在，③可燃域の生成，の三つの条件が全て揃(そろ)った場合に着火する。そのため，燃焼性冷媒のリスクアセスメントは，これら三つの条件のそれぞれの確率を掛け合わせることで着火率を求めて，各機器の安全判断基準に従って判定される。このリスクアセスメントは，製品の納入から廃棄(物流・据付け・使用・メンテナンス・廃棄)のライフサイクル全体にわたって評価されるべきである。

冷媒への着火率＝①急速漏洩×②着火源の存在×③可燃域の生成

強燃性冷媒であるR290を使用する場合には，このリスクアセスメントに基づいて，十分な安全対策が必要である。具体的には，冷媒の急速漏洩の発生確率を低減させ，着火源との遭遇率を減少させ，さらに可燃域が生成されないように冷媒量の低減や漏洩冷媒の排出といった対策を講じる必要がある。

4. 欧州向け鉄道車両用空調装置の特徴

公共性の高い鉄道車両用空調装置にR290を導入するに当たって，漏洩冷媒の着火リスクへの対策は不可欠である。特に欧州では，安全対策の一環として，冷凍システムでの冷媒充填量の上限が欧州規格EN(European Norm) 378-1[4]によって規定されている。この上限値は，使用冷媒の可燃性(LFL：下限燃焼限界)及び空調装置の設置環境に基づいて定められており，これを超える場合は，**３章**で述べたような使用環境に応じたリスクアセスメントに基づく追加の安全対策が求められる。

標準的な鉄道車両用空調装置は，**図１**に示すように，室内機と室外機が一体になったユニットタイプであり，車両の屋根上に搭載される。その冷凍サイクルは，関連部品が全てロウ付けによって接合された全密閉構造になっている。

本稿で述べるR290を使用した開発機は，この屋根上搭載型ユニットに，次の三つの安全対策を施したことを特徴とする。

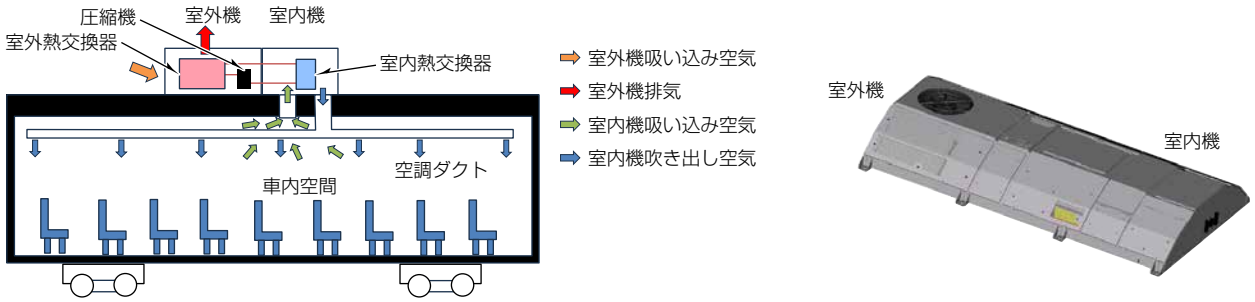


図１-屋根上搭載型ユニットタイプ鉄道車両用空調装置

4.1　小型冷凍サイクルのマルチ搭載化

R290を欧州向けの鉄道車両用空調装置に採用するに当たって，EN 378-1[(4)]への適合が求められる。本稿で述べる空調装置は，ドイツ向けの全長約17m，床面積約40m^{2}の鉄道車両の屋根上に搭載されるものであり，その設置環境に基づいて，R290の充填限界m_{max}は次のEN 378-1に示された算出式によって求められる。

$$m_{max} = 2.5 \times LFL^{5/4} \times h_o \times A^{1/2}$$

・LFL(R290下限燃焼限界)：0.038kg/m^3
・h_o(空調装置設置高さ)：2.2m
・A(設置空間の床面積)：40m^2

この計算によるとR290の充填限界は583gになる。

また，欧州地区のこのクラスの鉄道車両１両当たりに必要な冷房能力は一般的に約32kWであるが，従来のR407Cを使用した冷凍サイクルと同様の設計を適用した場合，１台の空調装置に必要なR290の量は，充填限界の約９倍に相当する5,000gになる。そこで，熱交換器の設計を改良し省冷媒化を実現した。具体的には**表２**に示すように，熱交換器のチューブを細管化しその配列ピッチを拡大することによって熱交換器の内容積を従来の約1/4に削減した。この設計によって冷媒量を削減し，従来と同等の性能を維持しつつ，１両当たりの必要冷媒量を2,000gまで抑制した。

さらに，この冷媒を独立した四つの小型冷凍サイクルに500gずつ分割して充填することで，EN 378-1の規定内に収めて，下限燃焼限界未満とした。これによって火災のリスクに対する特別な安全対策やリスクアセスメントが不要となり，空調装置の高い安全性を担保できた。

表２-熱交換器の諸元比較

		R407C(従来機)	R290(開発機)
チューブ径の細管化(mm)		外径６(厚さ0.21)	外径５(厚さ0.36)
チューブ列ピッチの拡大(mm)		13.00	17.32
チューブ段ピッチの拡大(mm)		15.00	20.00
フィンピッチの縮小(mm)		3.50	2.00
室内熱交換器容積(ℓ)		80.5	62.1
	内チューブ内容積(ℓ)	10.1	2.6
室外熱交換器容積(ℓ)		98.3	62.0
	内チューブ内容積(ℓ)	12.3	2.6

それに加えて，四つの冷凍サイクルを搭載する設計は，安全性確保だけでなく，次の点でも鉄道車両用空調装置に適している。

(1)　客室温度の快適制御

各冷凍サイクルのON／OFF制御によって，0%，25%，50%，75%，100%の５段階で冷房能力を調整できるため，客室温度を適切に維持することが可能になる。

(2)　高い冗長性と信頼性

４系統の独立した冷凍サイクルが高い冗長性を確保し，列車の安定運行にも貢献する。地球温暖化の進行に伴って外気温が高くなり，車内快適性向上のため，空調装置の重要性は一層高まっている。公共性の高い鉄道車両では，空調装置の冗長性の高さが列車の健全な運行に直結する重要な要素になる。

この開発機は，これらの要件を満たす設計になっており，安全性・快適性・信頼性のバランスを兼ね備えた空調装置である。

4.2　室内領域での冷媒配管のロウ付けレス化

空調装置内の室内領域で冷媒が漏洩した場合，リターン口と吹き出し口を介して室内領域と客室が連通しているため，漏洩した冷媒が客室へ流入する可能性がある。冷媒の充填量は安全基準で定められた限界値未満とするが，客室への冷媒漏洩リスクは可能な限り低減すべきである。

そこで，更なる安全性向上のために，**図２**に示すように空調装置内部のレイアウトの設計を改良した。従来は室内領域に含まれていた室内熱交換器のヘアピンチューブと配管の接続エリアを，新たに“第２室外領域”として設けて，さらに第１室外領域と第２室外領域に挟まれた室内領域を貫通する配管にはロウ付け接合のないシームレス配管を採用した。

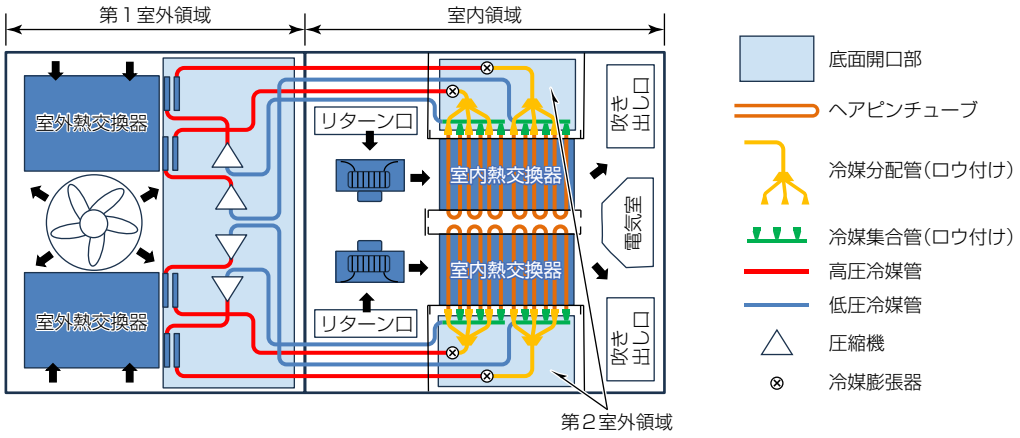


図２-冷凍サイクル部品のレイアウト図

この設計変更によって，冷媒漏洩リスクの高いロウ付け箇所を室内領域から完全に排除し，客室への冷媒漏洩リスクを極めて低く抑えることができる。

4.3　ロウ付けエリアでの漏洩冷媒の排出対策

ロウ付けエリアを室内領域の外に配置したものの，そのロウ付けエリアで冷媒が漏洩した場合でもエリア内に滞留しない対策が必要である。そこで，開発機ではロウ付けされた部品が配置されている領域の底面に開口部を設けた。**図２**に示す水色のエリア(底面開口部)がその開口部に該当する。

R290は空気よりも比重が大きいため，ロウ付けエリアで漏洩しても装置底面に移動し，開口部を通じて外部へ放出される。鉄道車両用空調装置は，屋根上に設置されて周囲は開放空間であり，漏洩した冷媒は拡散されて濃度が可燃領域まで上昇することはなく，安全が担保できる。

5. む　す　び

地球温暖化防止の観点から，鉄道車両用空調装置へのR290の適用に当たり火災対策を検討し，安全かつ信頼性の高い冷凍システムの設計方法を提案した。特に，欧州の冷媒規制EN 378-1[4]に基づいた充填量の抑制，小型冷凍サイクルのマルチ搭載化，室内領域のロウ付けレス化，冷媒漏洩時の迅速な排出機構など，実用性と安全性を兼ね備えた設計が有効であった。これによって，鉄道空調業界でのR290の適用拡大に向けた重要な一歩を踏み出すことができた。今後は，更に広範な実地試験と運用データを基に，安全性と効率の更なる向上を目指した研究を続けていく。

参 考 文 献

(1) European Union：Regulation(EU)2024/573
https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/573/oj/eng
(2) 気候変動に関する政府間パネル(IPCC)：第４次評価報告書（2007）
(3) 気候変動に関する政府間パネル(IPCC)：第６次評価報告書（2021）
(4) European Standards：EN 378-1 Refrigerating systems and heat pumps - Safety and environmental requirements - Part 1: Basic requirements, definitions, classification and selection criteria

特集論文

鉄道情報提供プラットフォーム“トレインコネクト”と新たな旅客サービス創出の可能性

New Train Information Platform "Train Connect" and New Passenger Information Services

奈良淳一*
Junichi Nara
茂地顕一郎*
Kenichiro Moji
川股正和*
Masakazu Kawamata

*伊丹製作所

要　旨

三菱電機は鉄道情報提供プラットフォーム“Train Connect”(トレインコネクト)を新たに開発し，2024年１月から鉄道事業者やITベンダー向けに提供を開始した。トレインコネクトは，乗車中の列車固有の情報を乗客が持つスマートフォンやタブレット，スマートウォッチ等のスマートデバイスに発信して列車と乗客をつなぎ，乗車や列車情報をトリガーとした新しいサービスを創出できる。トレインコネクトのユースケースを検討することで，情報提供プラットフォームとしての利用を促進し，新たな旅客サービスの展開につなげていく。

1. ま え が き

近年，鉄道利用者向けに運行情報や列車の走行位置などを表示するサービスが鉄道事業者などから提供されている。新たなモビリティサービスとしてMaaS(Mobility as a Service)の実現・普及に向けた取組みも進められており，運転状況の変化に応じた更にきめ細かい情報提供や，鉄道利用者一人一人のニーズに合わせた案内や誘導を行うために，乗車している列車の詳細情報と連携した新たなサービスへの期待が高まっている。この状況に対応するため，当社では多くの鉄道事業者に納入実績がある“列車統合管理システム”や，鉄道車両向けデジタルサイネージ“トレインビジョン”の技術を応用した情報提供プラットフォーム“トレインコネクト”を新たに開発した。この情報提供プラットフォームは，ビーコン装置とソフトウエア開発キットで構成され，車両に搭載されている列車統合管理システム(モニター装置など)で管理される列車情報を乗客が持つスマートデバイスに対して発信できる。乗車している列車の走行位置や停車駅などの列車固有の情報(列車情報)は，これまでは経路検索サービス，列車位置，時刻表などを個別に検索することでしか確認できなかった。さらに乗車列車と検索情報の紐(ひも)付けは鉄道利用者自身が行うため，情報リテラシーの有無によっては目的の列車に乗車できたかの確認が大変困難であった。トレインコネクトは，従来は利用困難であった列車情報を取得・提供するプラットフォームであり，鉄道事業者や，経路検索アプリケーションなどを開発する様々なITベンダーに提供していく。

2. トレインコネクト

トレインコネクトの概要を**図１**に示す。トレインコネクトは，列車統合管理システムで管理される様々な列車情報を列車内に設置したビーコン装置を介して発信し，乗客が持つスマートデバイスで列車情報を受信可能にするプラットフォームである。鉄道事業者やITベンダーが列車情報を活用することで，乗客のスマートデバイス上でトレインビジョンと同

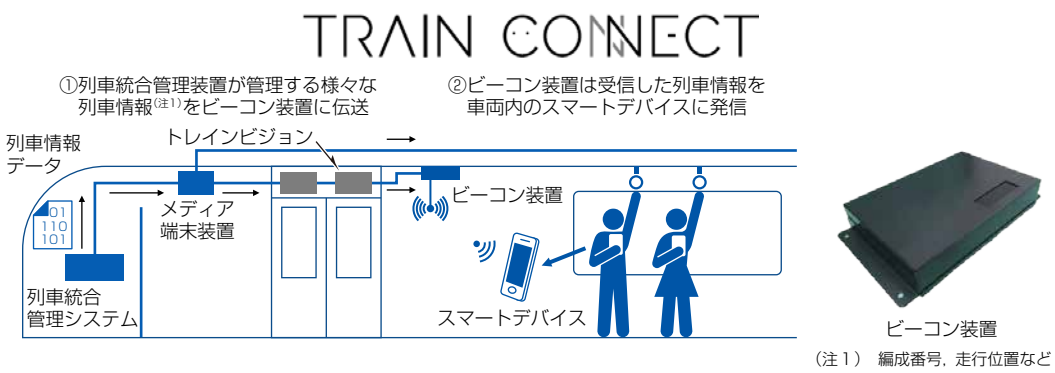


図１－トレインコネクトの概要

等の次駅案内や走行位置を確認できるほか，列車の行き先や現在の走行位置に応じて周辺のイベント情報を提供するなど様々な新規の情報提供サービスを実現できる。

2.1　トレインコネクトの特徴

(1)　新開発のビーコン装置によって列車情報を共通フォーマットに変換してスマートデバイス向けに提供

列車統合管理システムが管理する列車情報は多岐にわたり，また鉄道事業者や車両形式によって列車情報及び伝送フォーマットは異なる。今回，鉄道車両向けに開発したビーコン装置では，旅客サービス向けに提供可能な情報の抽出を行い，鉄道事業者や車両形式によって異なる列車情報を共通フォーマットに変換して発信可能にした。スマートデバイスへの列車情報の発信には，Bluetooth(注2) Low Energy通信を利用している。Bluetooth Low Energy通信を用いることによって，ビーコン装置とスマートデバイス間のペアリングを実施せずに列車情報を取得できる。スマートデバイスで取得できる内容は，列車の行き先，現在駅や列車種別(普通・急行など)，現在の走行位置などの列車情報と，ビーコン装置の情報で識別した乗車位置(号車)であり，それらの情報を活用することで鉄道事業者やITベンダーは，乗客一人一人に最適化した案内や，更に利便性の高い新たな旅客サービスの提供を実現できる。

(2)　ソフトウエア開発キットの提供によってトレインコネクト対応アプリケーションの開発を容易化

ITベンダーがトレインコネクトを用いたアプリケーションを更に容易に開発できるように，ビーコン装置から発信される情報に対するアプリケーションインターフェースドキュメントやサンプルコード，ライブラリー等をまとめたソフトウエア開発キットを当社から提供する。このソフトウエア開発キットを用いることで列車統合管理システムを習熟していないITベンダーでも，鉄道事業者や路線，車両形式に依存せず，ビーコン装置を搭載する全ての列車に対応したアプリケーションを容易に開発できる。

(注２)　Bluetoothは，Bluetooth SIG，Inc.の登録商標である。

2.2　サービスの全体像

図２にトレインコネクトを活用したサービスの全体像を示す。開発した鉄道車両向けのビーコン装置は，鉄道事業者や車両形式によって異なる情報を共通フォーマットに変換し，列車情報としてBluetooth Low Energy通信でスマートデバイスに発信する。また，ITベンダーはソフトウエア開発キットをアプリケーションに組み込むことで，容易に列車情報を受信でき，列車情報を活用した新機能やサービスを創出できる。鉄道利用者はITベンダーが開発したトレインコネクト機能付きアプリケーションをスマートデバイスにインストールすることで，乗車している列車情報を活用した様々なサービスを利用できる。

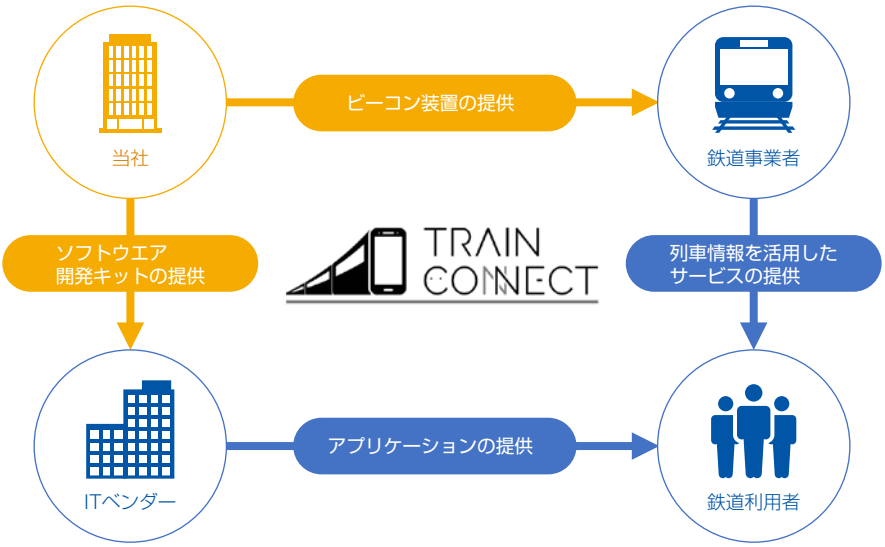


図２-トレインコネクトを活用したサービスの全体像

3. トレインコネクトを用いることで実現できるユースケース

トレインコネクトで得られる列車情報を活用することで，鉄道事業者やITベンダーは様々なサービスを鉄道利用者に対して提供・実現できる。この章ではトレインコネクトを活用したユースケースについて述べる。

3.1　列車情報を活用した鉄道利用者目線の新しい旅客案内

現在，スマートデバイス上で乗換案内・経路検索を行うサービスは数多く存在するが，現状のサービスではスマートデバイス上の案内と鉄道利用者の実際の行動が一致しているかを判断できない。そのため，鉄道利用者は乗車する前にスマートデバイスで経路検索を行い，乗換案内アプリケーションで提示された列車情報と駅構内に設置されたサインや旅客案内表示装置の表示情報を目視で照合して目的の列車であるかを確認している。このように，目的の列車か否かの判断は鉄道利用者自身が判断するしかなく，特に不慣れな駅や出張・旅先では目的の列車に正しく乗れているか利用者が不安に感じるシーンが多々ある。

トレインコネクトを旅客案内に活用した場合のソリューションイメージを**図３**に示す。トレインコネクトで得られる列車情報を活用することで，経路検索アプリケーションに提示された列車と実際に乗車する列車とを自動的に照合できる。**図３**に示すように，照合結果を乗客の移動に合わせて提示することで経路案内の内容と鉄道利用者の実際の行動が合っているかをリアルタイムに“判定”し，内容を知らせながら目的地までの移動を支援することで，更に安心感のある移動方法を提供できる。

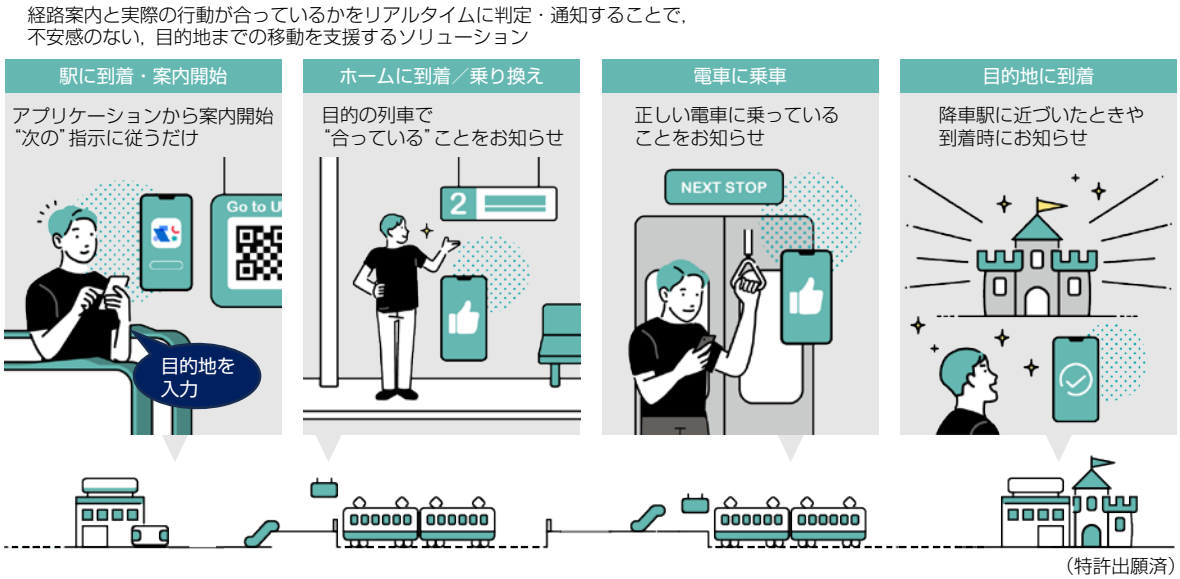


図３−トレインコネクトを活用した鉄道利用者目線の旅客案内イメージ

3.2　鉄道利用者との新たな個客(注3)接点の創出

現状，鉄道利用者のほとんどが乗車中にスマートデバイスを使用している。一方，改札情報や従来のGPS(Global Positioning System)による測位では，乗客がたどった経路や乗車した号車などの判別までは難しく，これまで鉄道事業者やITベンダーは，鉄道利用者の乗車をトリガーとした魅力的なサービスを創出できなかった。

また昨今，ビッグデータを分析することで，鉄道利用者一人一人と鉄道事業者が提供する多様なサービスをつなぐ取組みが進んでいる。鉄道利用者のサービス利用方法などをデータ分析から網羅的に把握し，データマーケティングによる仮説検証から，商品・サービスの開発をアジャイル的に進めて，個客体験の再構築やグループシナジーの最大化を図る試みが行われている。マーケティングの強化には，鉄道利用者(カスタマー)ジャーニーに基づいたデータマーケティング，個客接点の獲得及びサービスの日常化が重要になるが，乗車情報については判別手段がなく，個客接点上の空白地帯(**図４**)であった。

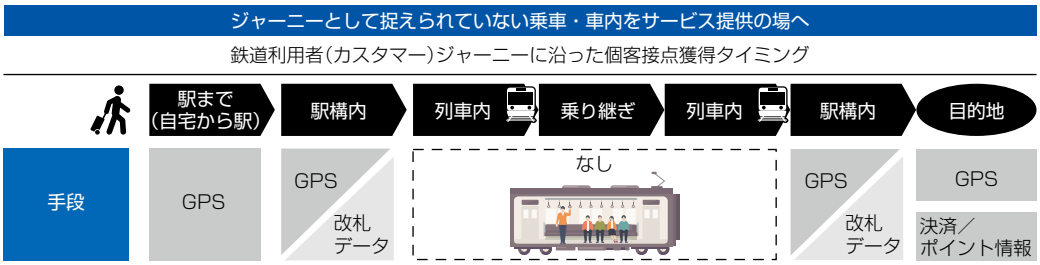


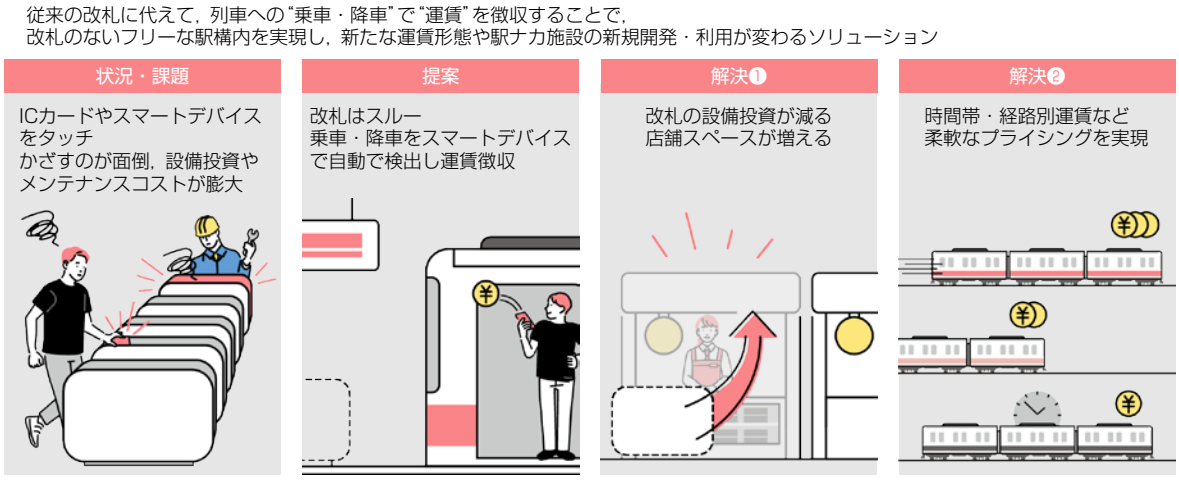
図４−トレインコネクトを活用した個客接点の創出

トレインコネクトを用いることによって，鉄道事業者やITベンダーは鉄道利用者が持つスマートデバイス内のアプリケーションで鉄道利用者の乗車を検出できて，乗車という新たな個客接点を獲得できる。また，得られた乗車情報は乗車したことだけでなく号車も得られるため，女性専用車，出口に近い号車，すいている号車の利用などの乗客の選択行動や利用状況の分析にも応用できる。さらに，各事業者は得られた乗客特性や行動パターンに応じて最適なサービス(例えば，コスメ情報，乗車スタンプやコレクション，ゲーム上のアイテム配布)の提供も可能になる。つまり，乗車を新たな体験創出や鉄道利用者の特性調査の場として活用できる。

(注３)　ここでは一般的な“顧客”よりも，一人一人の顧客に合わせた個別対応を重視する意味で“個客”としている。

3. 3　乗降判定結果を活用することによる乗車証明や改札レス化への貢献

図５にトレインコネクトで得られる列車情報を乗降判定及び改札レス化に活用した場合のイメージを示す。現在，鉄道では鉄道利用者の乗降を把握し，乗車区間の特定を行うために，多くの鉄道駅に自動改札機等のゲート装置が設置されている。また，鉄道利用者は乗車駅及び降車駅で交通系ICカード等をゲート装置に読み取らせることで運賃を確定し交通系ICカードからの徴収を受ける。



(特許出願済)

図５−トレインコネクトを活用した改札レス化のイメージ

ここで，トレインコネクトで得られる列車情報を用いることによって，鉄道利用者が持つスマートデバイス内のアプリケーションで乗車駅及び降車駅を自動的に判定・記録できる。乗車駅及び経路，降車駅の記録によって鉄道利用者の乗車区間及び運賃を確定し，事前の決済システムとの紐付け(登録)を行うことで利用実績に応じた運賃を徴収できる。つまり，従来，乗降を判定する場所は改札であったが，その判定を列車乗降のタイミングに変えて，“乗車・降車”したことで“運賃”を徴収することによって，改札レスやダイナミックプライシングの実現が期待される。

改札レスのフリーな駅構内を実現することで，設備投資の削減及び駅構内の柔軟な店舗利用や開発を促すことに加えて，時間帯や経路別の運賃などフレキシブルな運賃設定にも寄与する。また，鉄道利用者は，ゲート装置に交通系ICカードやスマートデバイスをかざして入場するという煩わしさが減り，更にスマートな移動を体験できる。

4. む　す　び

トレインコネクトの概要及びプラットフォームの特徴・全体像に加え，トレインコネクトを情報提供プラットフォームとして活用することで創出可能になる新しい旅客サービスについて述べた。当社は，鉄道事業者やITベンダーへの提案を進め，トレインコネクトの普及を目指す。これによって，社会インフラを支える一員として，MaaSの推進や，更にスマートな移動体験の実現，移動の目的(列車に乗る理由)の創出，必要な情報が必要なときに提供されるアンビエント社会の実現に貢献していく。

特集論文

自動運転モビリティ管制技術のリゾート施設への適用

Application of Autonomous Driving Mobility Control Technologies in Resort Facilities

石田貴仁*
Takahito Ishida
村山　修*
Shu Murayama
河合克哉†
Katsuya Kawai

*モビリティソリューション事業推進部
†先端技術総合研究所

要　旨

旺盛なインバウンド需要，国内旅行需要の拡大によって，近年，リゾート施設の拡充や新規開設が増加しており，広大な敷地内の各種建物間で利用者の送迎サービスを提供している施設も増えている。一方，昨今の働き手不足やインバウンド需要の急増に対応するため，従業員の確保と予約の効率的な管理などが課題になっており，それら喫緊の課題を持つリゾート施設向けに自動運転モビリティ管制システムを導入し，課題解決を図った。また，自動運転モビリティの配車に関する考え方を整理するとともに，自動運転モビリティ管制システムによる複数台のモビリティを対象にした新たな調停機能を開発し，適用した。

1. ま え が き

三菱電機は2024年５月に発表したインフラビジネスエリアの経営戦略の中で，世界の重要インフラの安定稼働とカーボンニュートラルを実現する新たな三つのソリューション事業を展開することを宣言している。モビリティインフラソリューションはその一環であり，リゾート施設での狭域自動運転サービスの開始を予定している。

リゾート施設を含むホテル・観光業界が抱える働き手不足，コロナ禍後の観光需要急増に対応するため，施設運営で効率化，省人化等の喫緊の課題を持つリゾート施設向けに自動運転モビリティ管制システムを適用することで課題解決を図ったので，その技術と事例について述べる。

2. 自動運転モビリティ管制システム

自動運転モビリティ管制システムを適用したサービスの概念図を**図１**に示す。

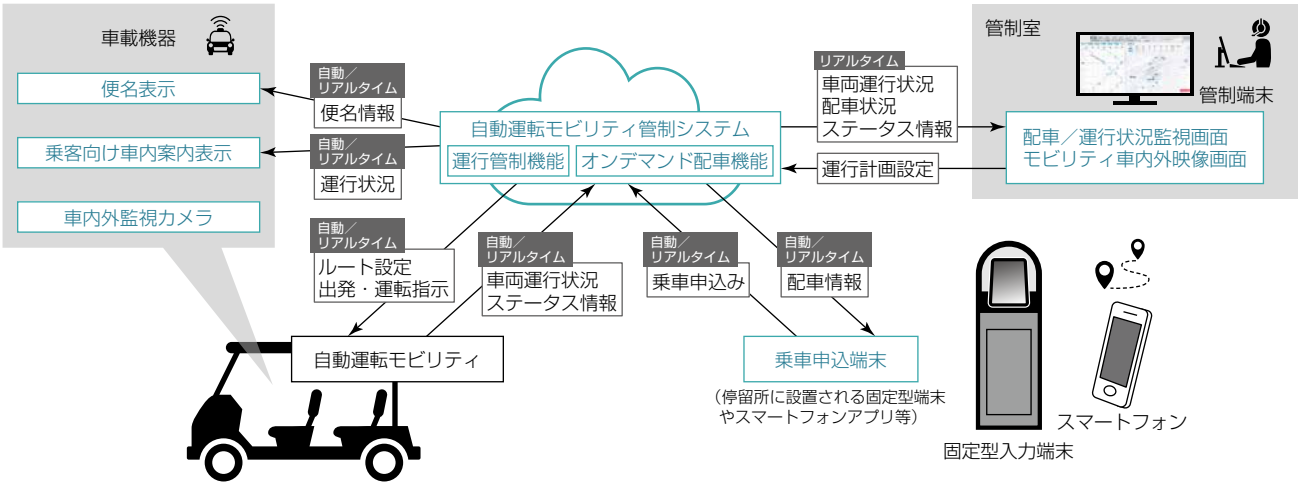


図１－自動運転モビリティ管制システムのサービス概念図

この管制システムは，複数人の乗降と複数拠点の巡回を想定した自動運転モビリティ（カート等）の運行管制機能とオンデマンド配車機能を持つ。運行管制機能は，利用者からの乗車申込みや自動運転モビリティから送信される自車位置等の車両ステータスを常時監視し，複数の自動運転モビリティへの運行ルート設定や運転指示を実施する。

オンデマンド配車機能は，乗車申込数や目的地などの状況に応じた運行便数の増減や運行ルートの柔軟な変更をリアルタイムに実施する。利用者の乗車申込件数が増加した場合は，自動的に運行車両を増便する。また，利用者の申込情報を分析し，満員かつ利用者の目的地が同一などの条件下で，下車する人がいない停留所はスキップして最短の運行ルートに変更する。

この管制システムは，自動運転モビリティの車内に設置される車載機器と管制システムの間，及び管制室に設置される管制端末と管制システムの間で双方向の通信機能を持ち，管制員は遠隔からリアルタイムで車内映像及び音声の確認や車内と通話ができる。この遠隔監視機能によって，車両運行状況，乗客の乗降状況，車両の設備等の稼働状態を遠隔から確認することが可能になる。車載機器は，利用者の予約／乗車状況を基に，管制システムで生成された目的地や，各停留所での乗降者数等を表示する。

3. リゾート施設向け自動運転モビリティ管制システム

自動運転モビリティ管制システム適用のユースケースとして，リゾート施設で運用されるカートへの事例を述べる。

3.1　リゾート施設のオペレーション分析

自動運転モビリティ管制システムをリゾート施設に提供するに当たって，課題を持つリゾート施設の協力を仰いで，リゾート施設利用者(宿泊客)のチェックイン，施設滞在中，チェックアウトまでの利用者の施設内での移動及び施設従業員の利用者送迎業務のオペレーションについて観測と分析を実施した。その結果，利用者１グループ当たり，１回の施設滞在中に，施設内のセンター棟(レセプションやレストランが入居)と数百メートル離れた場所に複数点在している宿泊棟(宿泊施設)の間での建物間移動を目的としたカートによる送迎が６回あった。利用者が宿泊棟とセンター棟間の移動のためにカートを利用する際のオペレーションの流れは次のようになる。

①利用者がカートによる送迎を電話等で依頼
②施設従業員はカートの空き状況と送迎可能な従業員の有無を確認
③利用者に対して到着時間を電話等で伝達
④施設従業員によるカート送迎
⑤送迎完了後，施設従業員はカートを所定の駐車位置に戻す

通常，施設には複数組の利用者が滞在しており，食事時間帯やチェックイン／チェックアウト時間帯は，送迎リクエストが集中すると想定される。実際，今回の調査に協力を仰いだリゾート施設は６台のカートを持ち，送迎集中時間帯は６台のカートがフルで運用されており，施設側の送迎業務に対する課題が確認できた。

3.2　リゾート施設向け自動運転モビリティ管制システム

実際のリゾート施設での送迎オペレーション分析や現地でのサービス提供環境確認といった実地確認，施設運営者からの要望といった生の声を聴くことによって，リゾート施設に提供する自動運転モビリティ管制システムに求められる要件を詳細に定義した。リゾート施設の課題は，送迎オペレーションの完全無人化を実現し省人化を実現した上で，従業員を運転業務から解放し，ホスピタリティー向上やユーザーエクスペリエンス向上のための宿泊客対応(本来やるべき業務)へのリソースシフトを進めることである。オペレーションの完全無人化を実現するために，オンデマンド配車機能を核として，遠隔から従業員が利用者との円滑なコミュニケーションを支援するための運行管理・遠隔監視UI(User Interface)と，従業員を介さず利用者自身で車両の乗降／発車を実現する利用者UIとで構成される，リゾート施設向け自動運転モビリティ管制システム(オンデマンド運行管制システム)を構築した。**図２**にシステム構成図を示す。

このシステムを用いた完全無人時のオペレーションの流れは次のようになる。

①利用者がスマートフォン等のUIを用いてカート送迎を予約
②システムは，空きカートを利用者から指定された場所，時間で予約(アサイン)
③システムは，利用者(予約者)に対して，予約成立の情報を送信
④システムは，アサインされたカートに対して，自動的に発車指令を送り，指定された時間，場所に配車する
⑤利用者は，カートに乗車して，利用者UIの出発ボタンを押下し，目的地に向かう

なお，利用者が目的地までの移動時にカートが自動停止した場合，利用者は利用者UI上の通話ボタンを押下し，施設

従業員と通話が可能である。施設従業員は，運行管理・遠隔監視UIを通して，利用者が乗車しているカートの車内，車外の状況を確認し，利用者に対して復帰対応指示ができる。

図２−リゾート施設向け自動運転モビリティ管制システムの構成図

4. リゾートに適用するための技術

リゾート施設では，施設特有の走行環境条件(狭路や見通しの悪い交差点等)があり，その環境下で複数のカートが運用される。例えば，狭路に複数のカートが同時に進入すれば，すれ違いができず車両が身動きが取れなくなる可能性がある。スムーズで安全なカート運行のためには，複数のカートの間で車両調停を行う必要がある。

この章では，路線バス等で提供される“定路線型”運行，タクシー等で提供される“個別輸送型”運行それぞれの特徴，メリット・デメリットを述べた上で，リゾート施設での自動運転モビリティの配車に関する考え方，及びリゾート施設でのスムーズで安全な自動運転モビリティ運行のための車両調停の技術を述べる。

4.1　自動運転モビリティの配車の考え方

３章で述べたとおり，リゾート施設では，センター棟と宿泊棟の２地点間の移動をする場合，利用者(宿泊客)がカートによる送迎を従業員に依頼しており，カートの運行では，この依頼が利用者UIを通して管制システムに入力される移動需要(オンデマンド)になる。

バス等による大量輸送型交通は，運行開始前に入力された予約を対象としており，突発的な移動需要への対応に課題があった。そこで当社ではあらかじめ定義された運行計画を基本にして運行しつつ，移動需要の発生・消失に合わせて柔軟に自動運転モビリティを配車するよう運行方式を変更することを提案[(1)]し，実証等を実施してきた。

例えば，**図３**に示したような棟・ルート配置の場合，あらかじめ地点A，地点B，地点C，地点Dの順に巡回する路線を設定し，地点Aから地点Dへの移動を希望している利用者だけを乗せる場合は，**図４**に示すように，地点Bや地点Cをスキップして地点Aから地点Dに直行する。移動需要が特定の区域にまとまっており現実的な走行路線を引きやすいフィールドで，このような定路線型の運行方式の有効性を確認してきた。

一方，エリアが広く移動需要が分散しているフィールドでは，先に述べた定路線型の配車方式は，路線の設定や運用が複雑になるという課題があった。このようなフィールドではタクシー等のように，路線をあらかじめ定めず移動需要に応じて目的地へ直接向かう個別輸送型(２地点間移動型)の方が運行の自由度が高くなる。

ただし，適切な運行方式はエリアの広がりやエリア内の移動需要の分散だけで決められるものではなく，走行エリアの物理的制約，環境的制約などの要素も影響する。これらの制約が運行方式の選択，決定に影響を与える例として，個別輸送型では複数の車両の乗降が集中する停留所(リゾート施設ではセンター棟前)で，車両の入替えやすれ違いのための待機が発生する可能性がある。この場合，定路線型で等間隔に車両を走行させるとスムーズな運行が期待できる。また，閑散時間帯では個別輸送型の方が移動需要に対する即応性が高い傾向にあるが，繁忙時間帯で配車の待ち時間が発生すると即応性が低下し，個別輸送型と定路線型の間に差はさほど生じないことから，時間帯によって適切な運行方式を選択するといった方策が考えられる。

個別輸送型が優れている点としては，任意の２地点間の乗降場所を組み合わせた柔軟で自由度が高い運行が実現できることが挙げられる。他方，定路線型でも，２地点間の運行自体は可能だが，目的地でない地点も運行ルートに含まれることになり，移動需要が分散すると運行効率の低下が顕著になる。リゾート施設で宿泊棟とセンター棟間だけでなく，宿泊

棟間の移動への対応も必要になり移動需要が分散する場合には，任意の乗降場所の組合せに柔軟に対応可能な個別輸送型の運行方式は親和性が高いと言える。

当社は，様々な施設特有の走行環境条件を持つリゾート施設敷地内で運行される，自動運転モビリティによる送迎サービスでは，このような走行空間に関連する制約が特に顕著に表れると考えている。今後，シミュレーションや実環境での評価を通して適切な運行方式の選択と，自動運転モビリティ管制システムの機能面・運用面での改良・調整を行い，リゾート施設の課題解決に貢献していく。

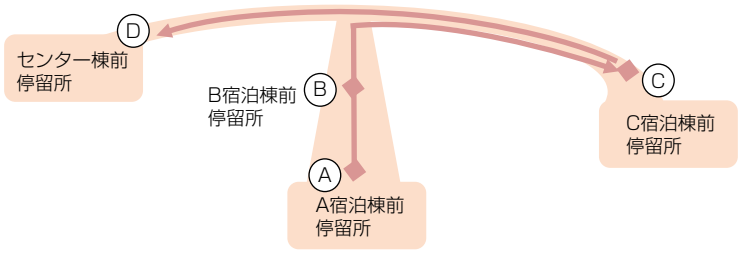


図３-施設内の定路線イメージ図

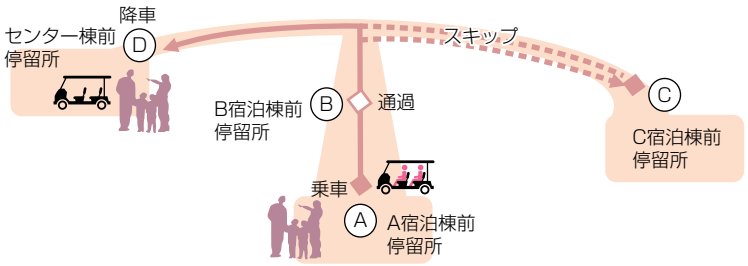


図４-施設内で停留所をスキップするイメージ図

4.2　自動運行モビリティの車両調停

施設内にはセンター棟と複数の宿泊棟が存在しており，食事時間帯等は複数のカートが同時にセンター棟と各宿泊棟を行き来している状況が発生する。例えば，**図５**のA地点からD地点に向かうカートと，B地点からD地点に向かうカートが同時間帯に運行する場合，途中の交差点Cで，車両調停を行わないと，同時に交差点に進入し車両が身動きが取れなくなる可能性がある。

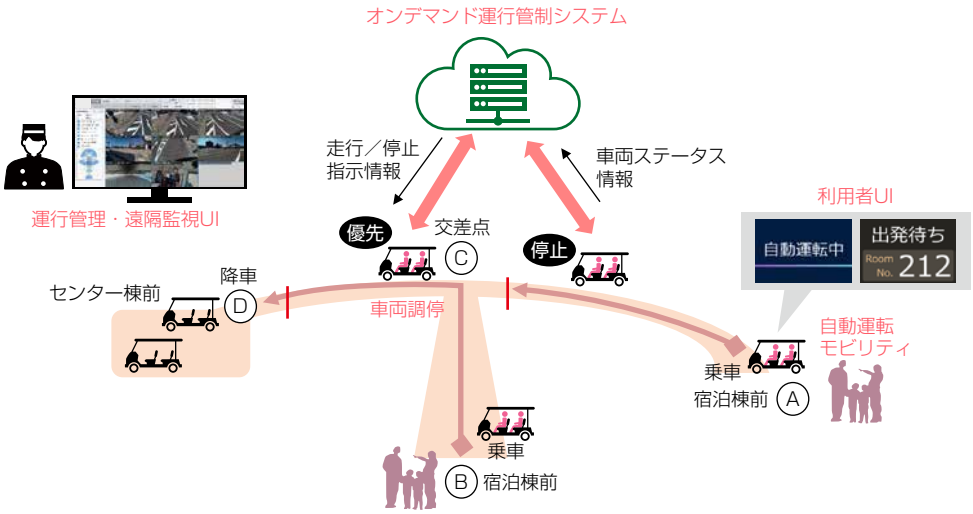


図５-施設内で複数カートが運用されるイメージ図

このような状態になることを防止するため，運行管制システムは先行させるカート(優先車)，停止させるカート(非優先車)を決定し，非優先車には停止を指示し，交差点手前で優先車が通過するまで停止させる。

図６に車両調停時のシステム構成図を示す。自動運転モビリティ管制システムに実装されたエリア進入・退出検知部がカートの車両ステータス情報を基に，管制対象のカートが狭路や交差点等の調停エリア内への進入・退出を判定し，管制機能部は，その情報を基に，カートに対して出発・停止を指示する。

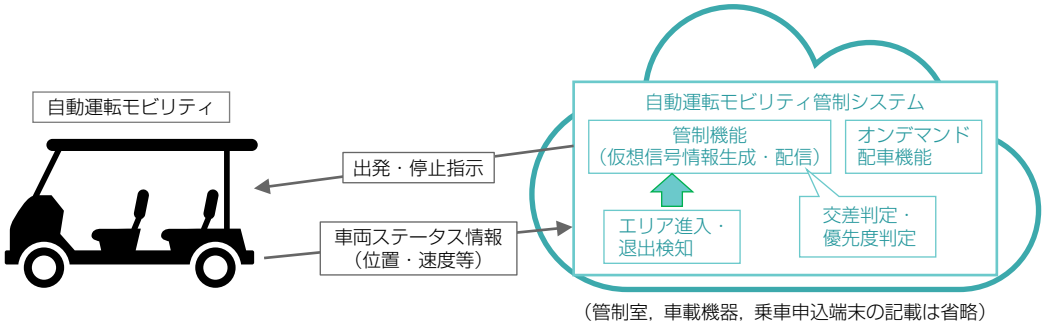


図６-自動運転モビリティ管制システム構成図(車両調停時の機能抜粋)

このとき管制機能部では，調停エリアに先に進入する車両を優先させ，後に進入する車両に停止を指示することを基本とするが，より円滑なカート運行の実現のため，他の情報も活用した出発・停止指示も行う。具体的には，複数の調停エリアの中でも一定程度の道幅を持っている場所については管制機能部の内部に交差判定処理部を設けて，車両の位置だけでなく進行方向の情報も考慮して車両同士が交差するかどうかを判断する。これによって一方は直進，他方は右左折する場合など交差する場合でだけ，どちらかの車両を停止させるようになるため，過度に車両を停止させずに済む。

さらに管制機能部の内部に優先度判定処理部を設けて，この交差判定処理部で車両同士が交差すると判断された後，どちらの車両を優先させるかを決定する。先に述べたとおり，調停エリアに先に進入する車両を優先する以外にも，車種の情報を利用して業務用車両より利用者を乗せる車両を優先させるほか，利用者を乗せる車両同士の場合には配車情報も活用して実際に利用者が乗っている車両を優先させることで，利用者の利便性を向上させることが可能になる。

5. む　す　び

当社は，リゾート施設内の敷地内移動でオンデマンド運行管制システムを整備し，乗車申込みから配車，運転までの送迎業務の省人化を実現する。自動運転モビリティは現在国内で販売されている電動カートをベースに改良し，リゾート施設に適したソリューションを提供する。2025年度に国内で事業化し，人手不足が深刻なホテル・観光業界などでのデジタル変革(DX)を支援していく。

参 考 文 献

(1)　河合克哉，ほか：移動需要の動的な変化に対応するデマンド型交通の基礎的検討，第22回ITSシンポジウム2024，1-B-13 (2024)

三菱電機株式会社