

“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
進士晃輔†
Kosuke Shinji
今村泰隆†
Yasutaka Imamura

石山琢麻†
Takuma Ishiyama

*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。

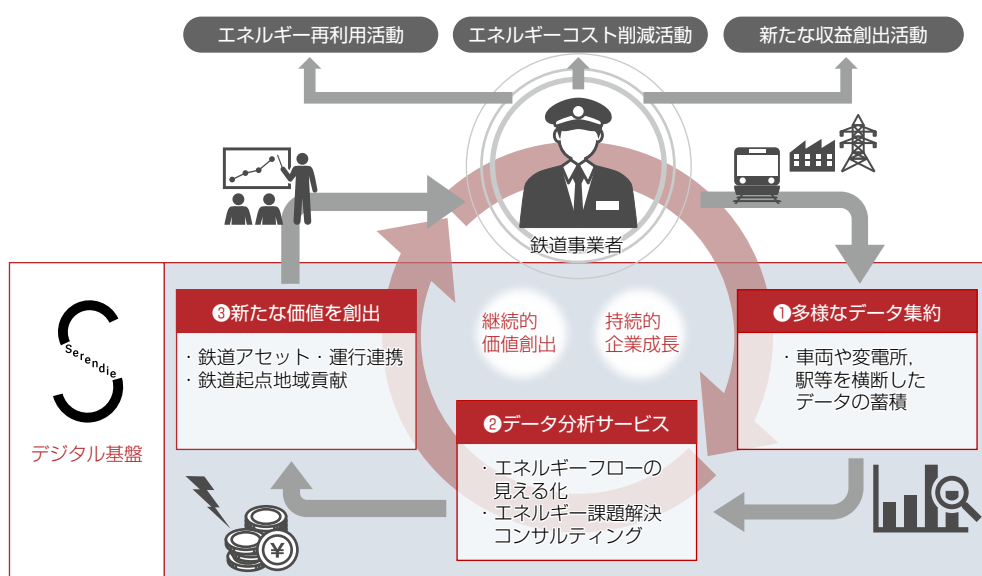


図1 - “鉄道向けデータ分析サービス”の体系図

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。

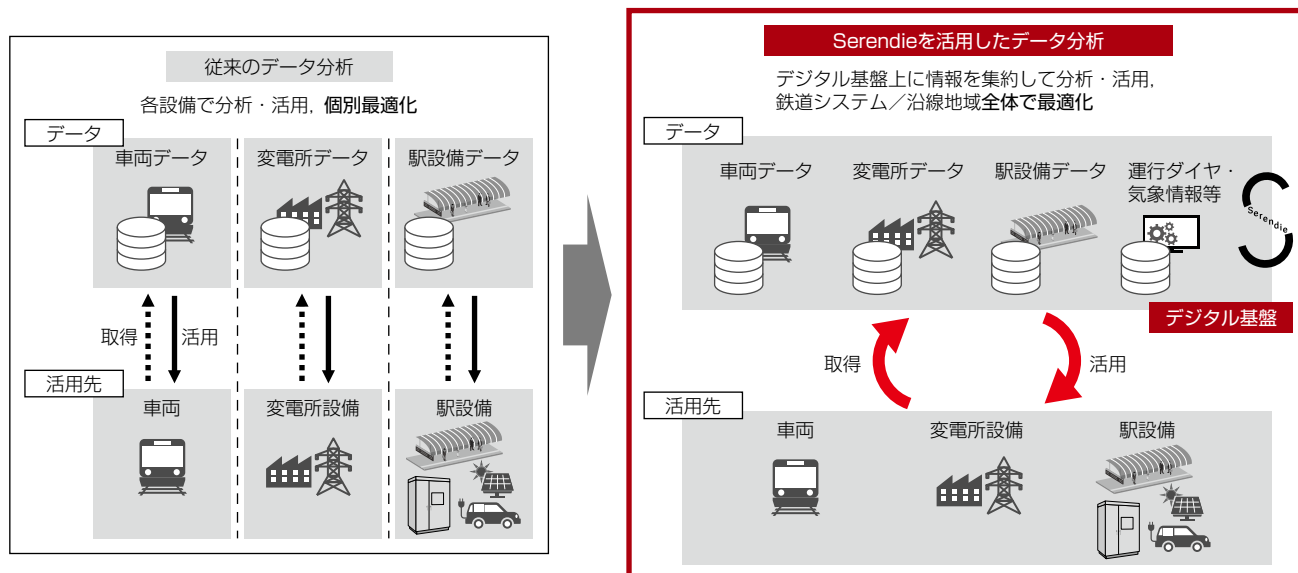


図2-データ分析の概念図

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。

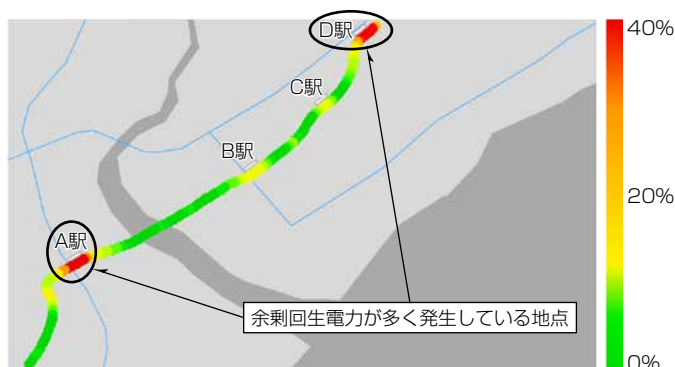


図3-余剰回生電力の地図上マッピング

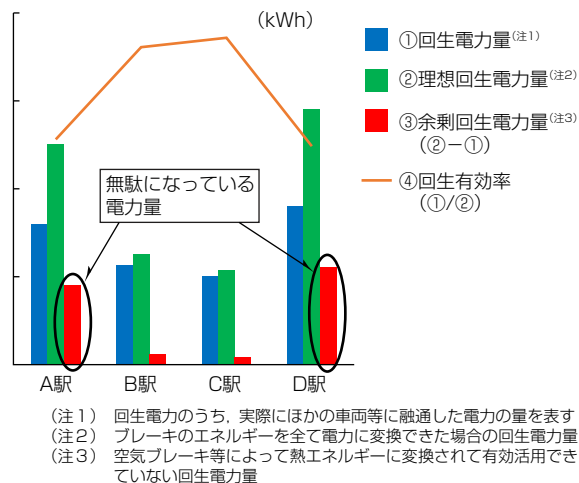


図4-回生電力の分析イメージ

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。

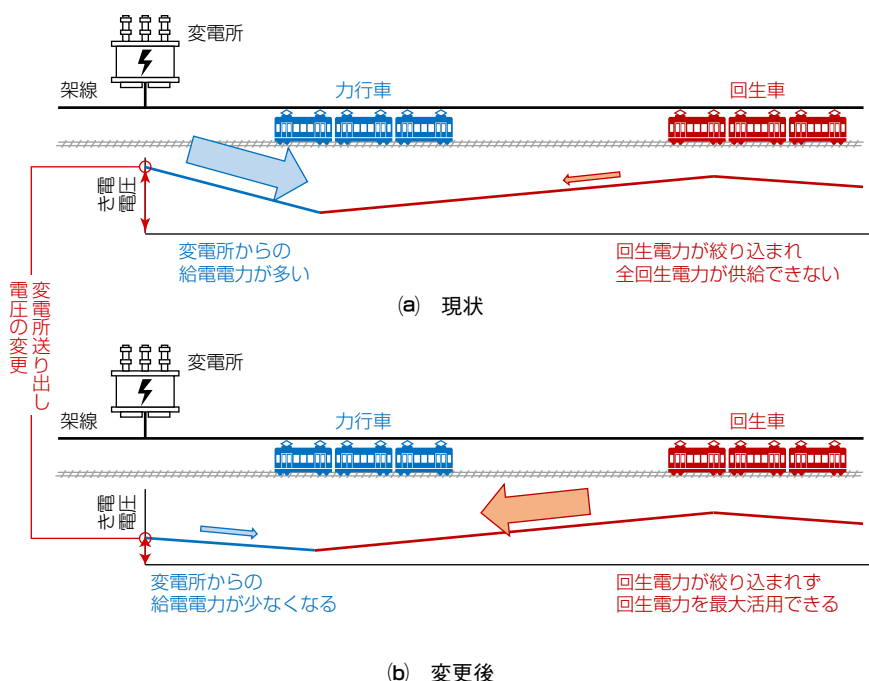


図5-き電電圧の最適化

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。

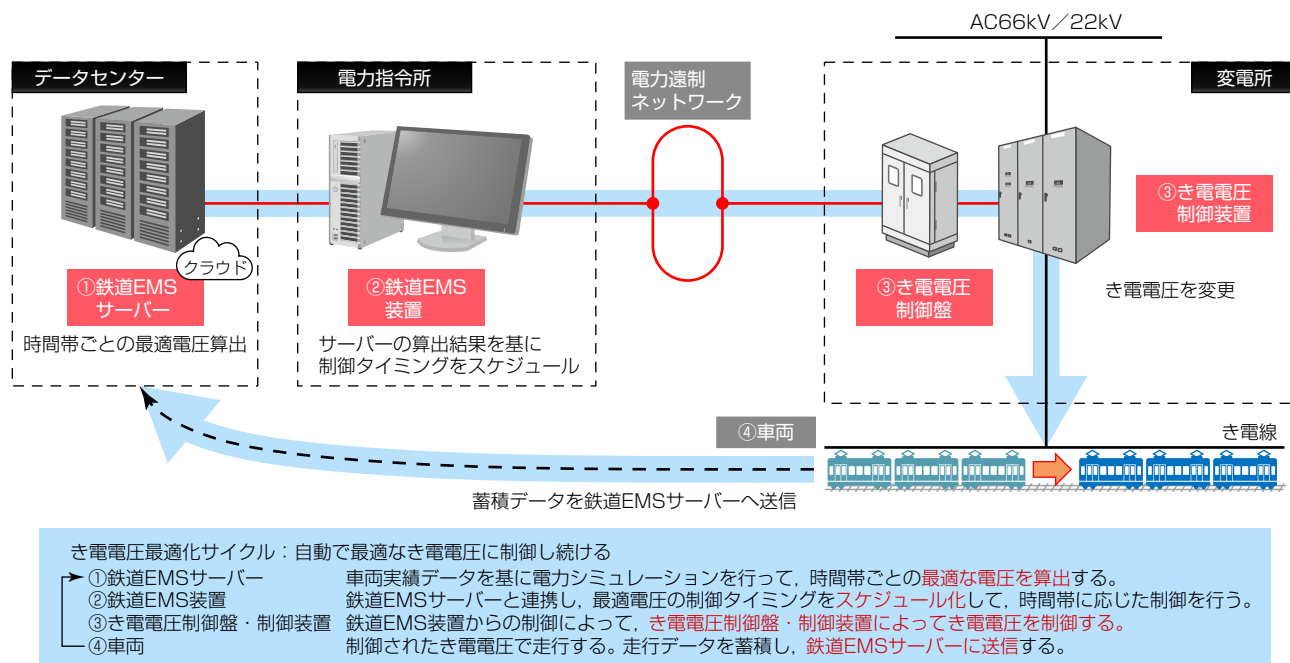


図6-き電電圧最適制御の構成例と最適化サイクル

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。

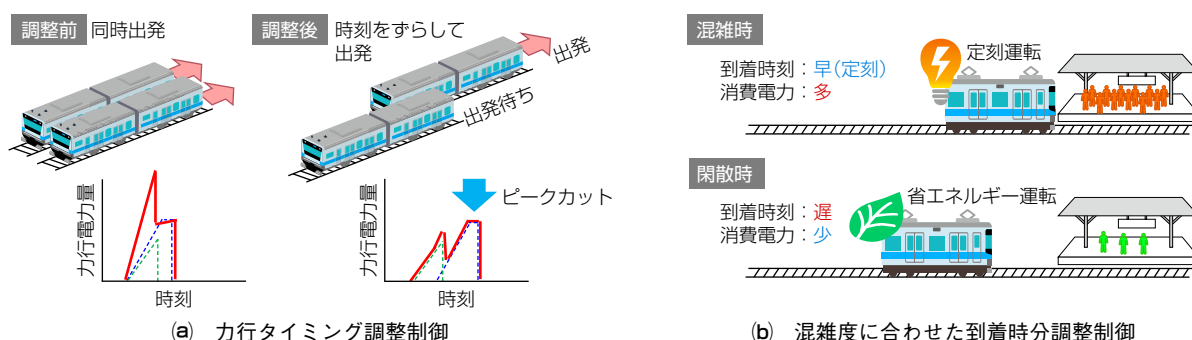


図7-列車の省エネルギー運行制御

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、架線を通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、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。

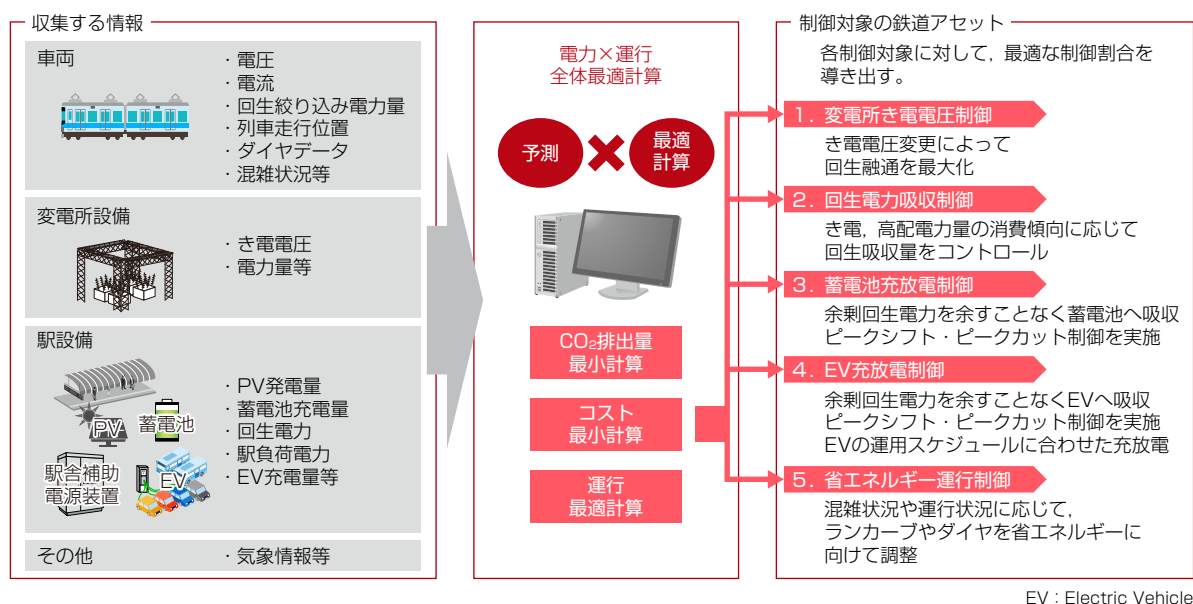


図8-鉄道事業全体のエネルギー最適化

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、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。

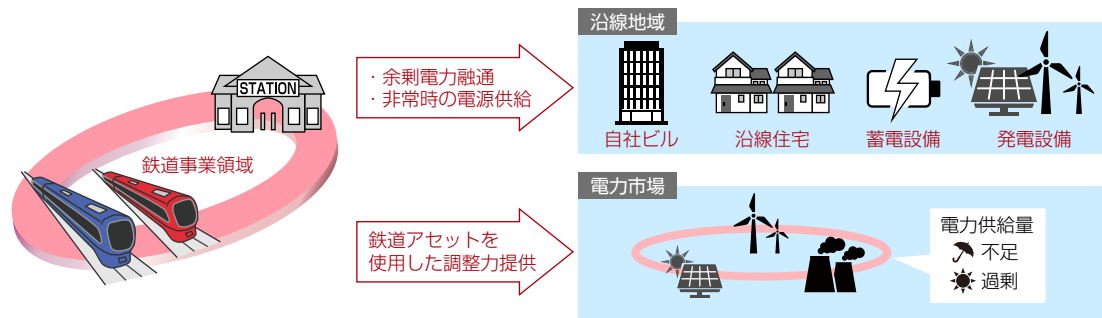


図9-鉄道事業領域外との連携

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り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）