トレンド

鉄道システムにおけるDX化の動向と東芝の取り組み

Railway System Digital Transformation Trends and Toshiba's Approaches

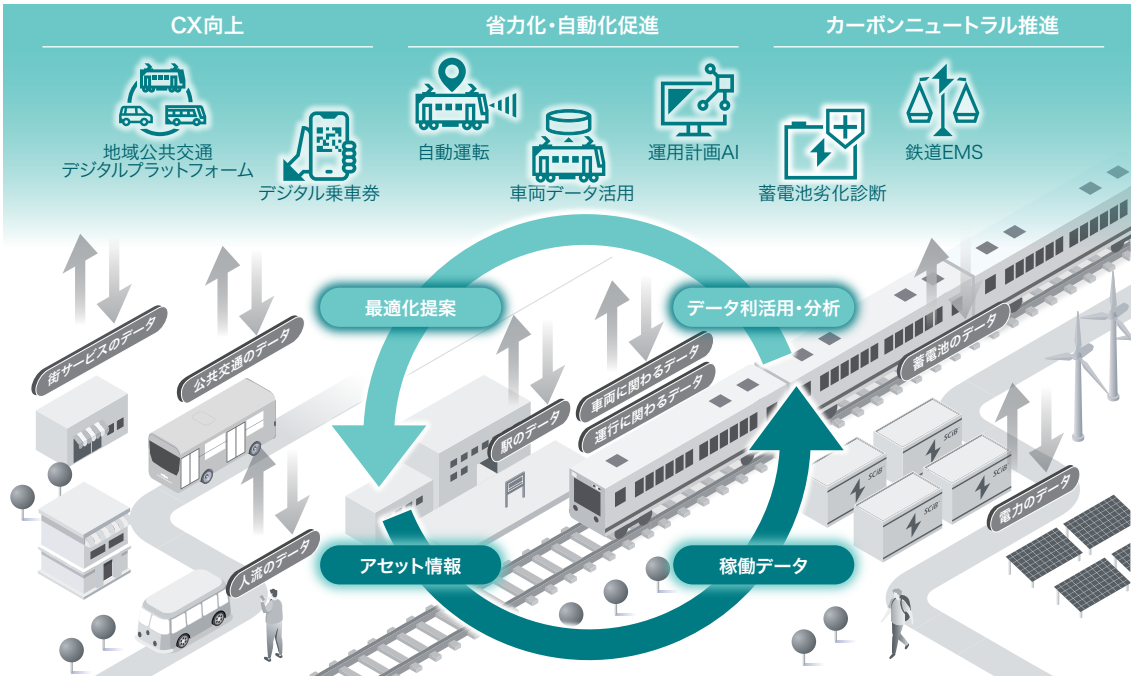
角谷　彰彦 SUMIYA Akihiko

鉄道業界は，労働人口の減少による保守・運行要員不足への対応，カーボンニュートラルの実現，多様化する利用者ニーズへの対応といった課題に直面している。これらの解決に向けて，AI，IoT（Internet of Things），クラウドシステム，デジタルツインなどのデジタル技術を活用したDX（デジタルトランスフォーメーション）が重要な役割を担っている。鉄道DX関連技術への期待は世界的に高まっており，予兆保全，自動運転，運行最適化，エネルギーマネジメント，MaaS（Mobility as a Service）などの幅広い分野で導入が進展している。

東芝は，長年培ってきた鉄道システムに関する豊富な知見と実績を生かし，当社が持つCPS（サイバーフィジカルシステム）技術を基盤として，鉄道システムを取り巻く社会課題の解決に向けた様々な技術開発を行ってきた。これらの取り組みを通じて，鉄道システム全体の最適化と持続可能な社会インフラの実現に貢献していく。

Digital transformation (DX) through the use of digital technologies, including artificial intelligence (AI), the Internet of Things (IoT), cloud computing, and digital twins, plays an important role in addressing various issues faced by the railway industry, such as critical shortages of maintenance and operational personnel, the need to achieve carbon neutrality, and the need to respond to diversifying customer needs. The movement toward introducing railway DX technologies in various fields, including predictive maintenance, autonomous train operation, train schedule optimization, energy management, and mobility as a service (MaaS), has recently accelerated worldwide.

Toshiba Corporation has been taking the initiative in developing new technologies to address issues related to railway systems, based on its extensive development experience in this field and proprietary cyber-physical system (CPS) technologies. Our approaches to the DX of railway systems are expected to contribute to the optimization of entire railway systems and the realization of sustainable social infrastructure systems.



CX：顧客体験　EMS：エネルギーマネジメントシステム

特集の概要図．鉄道システムのデータ活用を核としたDX化の全体像

Overview of data-driven DX of railway systems

1. はじめに

近年，鉄道業界は，少子高齢化に伴う生産年齢人口の減少への対応，脱炭素社会の実現に向けた環境負荷低減，多様化する利用者ニーズへの対応などの課題に直面している。これまでの鉄道事業は，安全性・安定性を最優先としながら，高度な設備保守や運行管理を，人の経験と技能に支えられて発展してきた。しかし，熟練技術者の高齢化や人材不足が進む中，従来と同じ方法による維持管理やサービス提供の継続は，困難になりつつある。

一方で，AI，IoT，クラウドシステム，ビッグデータ解析，デジタルツインなどのデジタル技術は急速に進展しており，これらを活用したDXが，鉄道業界の課題解決に向けた有力な手段として期待されている。DXは単なる業務のデジタル化にとどまらず，業務プロセスや，組織文化，サービス提供などのあり方そのものを変革し，新たな価値創出を実現する取り組みである。鉄道業界でも，設備状態の見える化，予兆保全，自動運転，省エネ運行，利用者向けデジタルサービスなど，多様な分野でDX化の検討や導入が進んでいる。

2. 鉄道業界におけるDX化の動向

2.1　市場規模及び動向

鉄道DX市場規模の評価は，調査会社によりばらつきはあるが，Fortune Business Insightsのレポートによると，2025年の世界市場規模は834億4,000万ドルと推定されている。2034年には1,831億2,000万ドルまで拡大し，2025年から2034年の年平均成長率（CAGR）は9.13 %と予測されている。また，市場を地域別に見ると，欧州，アジア太平洋地域，及び北米が大半を占めており，特に中国は，高速鉄道網の拡大と政府主導のデジタル投資を背景に，デジタル鉄道市場における主要国の一つと評価されている[(1)]。

2.2　技術動向

技術的観点では，高度なシミュレーション技術，デジタルツインの普及が重要なポイントの一つになると考える。鉄道システムは，車両，軌道，電力，信号といった複数の要素が密接に連携する複雑系であるため，これらを仮想空間上に再現し，リアルタイムで状態を把握・予測する技術が注目されている。デジタルツインにより，設備の状態監視，故障予兆の検知，更には運行シミュレーションが可能となり，従来は経験や勘に依存していた意思決定の高度化が実現される。

また，AIの適用領域も急速に拡大している。特に重要な領域は，予兆保全，運行最適化，自律化といわれている。予兆保全では，センサーデータと機械学習を活用することで，設備の劣化や故障の兆候を早期に検知し，計画的な保守を実現する。これにより，ダウンタイムの削減と保守コストの最適化が可能となる。運行最適化では，AIが複雑な制約条件を考慮しながらダイヤ作成や運行制御を支援し，効率的かつ安定した運行を実現する。更に，自律化の分野では，画像認識やセンサーフュージョン技術（複数のセンサー情報を統合して認識精度を高める技術）を活用し，設備点検や異常検知の自動化に関する取り組みが進められている。

2.3　国内鉄道業界のDX化動向

我が国の鉄道業界におけるDX化は，単なるIT（情報技術）化ではなく，鉄道システム全体の効率化と省人化を目的として進められている。国土交通省も「鉄道分野におけるDXの推進」を重要施策として位置付け，生産性向上，維持管理コスト削減，人手不足対策を目的とした技術開発などを進めている[(2)]。

比較的検討が進んでいる分野は予兆保全である。車両や，変電設備，信号設備，軌道設備などにIoTセンサーを設置し，状態監視データを収集することで，故障発生前に修繕を実施する状態基準保全（CBM：Condition Based Maintenance）の導入と検討が進められている。特に，保守員不足が深刻化する中，AIによる異常診断や寿命予測への期待が高まっている。

また，鉄道は元々環境性能の高い交通機関であるが，更なるカーボンニュートラルへの貢献を目指し，デジタル技術を活用したエネルギーマネジメントシステム（EMS）の検討と開発が進められている。

自動運転や運行管理の高度化も進んでいる。前方監視技術，ATO（自動列車運転装置），無線式列車制御システム（CBTC：Communications-Based Train Control）を活用した自動運転技術の導入に加え，AIを用いたダイヤ作成支援や運転整理支援の実証が進められている。将来は，運転業務だけでなく，指令業務や設備保守を含めた，統合的な運行マネジメントへの発展が期待されている。

サービス面でも，顧客接点におけるDX化が進展している。MaaS，キャッシュレス決済，スマートチケット，リアルタイム案内サービスなどが普及しつつあり，利用者の利便性向上と鉄道事業者の収益拡大の両立が進められている。

3. 技術開発の取り組み

東芝は，これまで開発してきたCPS技術で社会課題に応える製品やサービスを創出し，提供し続けることを目指して，様々な技術開発を行っている。

この特集では，鉄道システムのDX化に貢献する主な取り組みとして，省力化・自動化促進，カーボンニュートラル推進，及び顧客体験（CX）向上につながる当社の技術開発に

ついて述べる(**特集の概要図**)。

3.1　省力化・自動化促進

労働人口減少による保守人員・運転士の不足，熟練技術者の減少など，安全・安定な鉄道システム維持の課題を解決する技術開発に取り組んでいる。

3.1.1　鉄道自動運転に向けたセンサー技術の高度化とデータベース生成技術

鉄道分野における自動運転の実現に向けて，安全性を維持しながら運行の効率化・省力化を実現するため，センサー技術を適用したステレオカメラ，長距離LiDAR(Light Detection and Ranging)，高度な位置検知技術，及び運転支援技術の開発に取り組んでいる。

開発した遠近対応ステレオカメラは遠距離監視と近距離監視を両立し，長距離LiDARは車載化に向けて大幅な小型化を実現した上で，300 m先の人型模擬支障物を昼夜問わず安定して検知できることを確認した。また，全球測位衛星システム(GNSS)と慣性センサーなどを組み合わせた高度な位置検知技術により，目標である0.5 m以内の位置計測誤差を達成し，これらのセンサー情報を活用した運転支援装置による自動走行試験で，有効性を検証した。

更に，自動運転導入時の大きな課題である地図データベース構築の効率化に向けて，実走行データから線路中心線や設備情報を生成する技術を開発している。加えて，熟練運転士の加減速操作や運転ノウハウを学習し，自動運転用データベースへ反映する取り組みも進めている(この特集のp.8–12参照)。

3.1.2　輸送計画における車両及び乗務員の運用計画業務の効率化に向けた最適化AI技術

公共交通における輸送計画業務の効率化・高度化を目的として，当社の輸送計画ICT(情報通信技術)ソリューションTrueLineに搭載する最適化AI技術の開発を進めている。

輸送計画は，車両運用，乗務員運用，検査・配車計画など多岐にわたり，多数の制約条件を考慮する必要があるため，熟練者への依存や計画変更時の再調整負荷の低減が大きな課題である。これに対しTrueLineは，統合データベースを基盤として各計画工程を連携し，数理モデルに基づく最適化AIにより計画立案を支援する。車両運用分野では，検査清掃計画AI，配車計画AI，留置提案AIを組み合わせることで，法定検査周期や基地容量などの制約を満たしながら，検査計画から配車計画，基地構内作業計画までを一貫して自動化できる。これにより，計画品質向上と業務省力化を実現する。

また，乗務員行路計画では，勤務時間，休憩時間，公平性など複雑な条件を満たす行路を自動生成するAIを開発した。更に，乗務員の便乗移動についても柔軟な条件設定を可能とし，事業者ごとの運用ルールに適応できる仕組みを実現した(同p.13–16参照)。

3.1.3　車両検査時期決定の基準となる累積走行距離の車上収集データ活用による自動算出技術

鉄道車両の検査時期を決定する条件として走行距離が用いられる。従来の走行距離算出は計画ダイヤを基に行われており，ダイヤ乱れや運休が発生した場合には，運行情報を用いた手作業での補正が必要になるなど，多大な工数を要していた。

当社は，鉄道事業者向けクラウドサービス“車両データ活用ソリューション”の開発を進めている(**図1**)。車両データに含まれる駅コード，速度情報，衛星利用測位システム(GPS)情報を活用して実績ダイヤを自動推定し，走行した駅間の規定距離を加算することで走行距離を算出する手法を開発した。これにより，速度積算距離を算出する方法で問題となる車輪径誤差や，空転・滑走，データ欠損による誤差を回避できる。更に，駅コード異常や回送走行，GPSが利用できない地下区間にも対応するアルゴリズムを実装し，高い実用性を実現した。

実運用データを用いた評価では，大きなデータ欠損がない場合，従来のダイヤ情報に基づく方法とほぼ同等の精度で走行距離を算出できることを確認した。また，この機能の

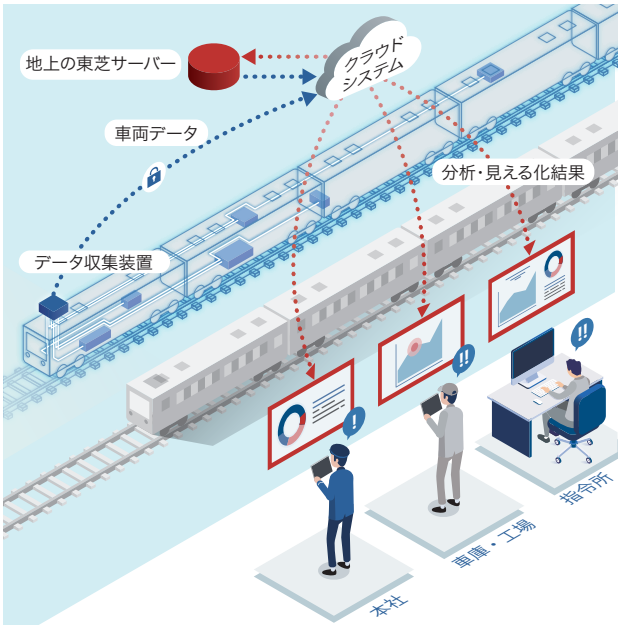


図1. 車両データ活用ソリューションのシステム構成と概念
走行車両データの見える化や車両機能検査の省力化を支援する。
Concept and system architecture of solutions using rolling stock data

リモートモニタリングシステムへの実装を進めており，走行距離だけでなく推定した実績ダイヤも可視化できる。将来は，車庫内移動や引き上げ線での走行距離も反映することで，更なる精度向上を図る（同p.17–20参照）。

3.2　カーボンニュートラル推進

当社は，当社保有の蓄電池技術を応用した車上蓄電池システムや，回生電力貯蔵装置（TESS：Traction Energy Storage System）など，これまでもカーボンニュートラルに貢献する製品を開発し，提供してきた。この特集では，これまで開発した製品に更なる付加価値を生み出す鉄道EMS，及びキーコンポーネントである蓄電池の劣化診断に関する技術開発について述べる。

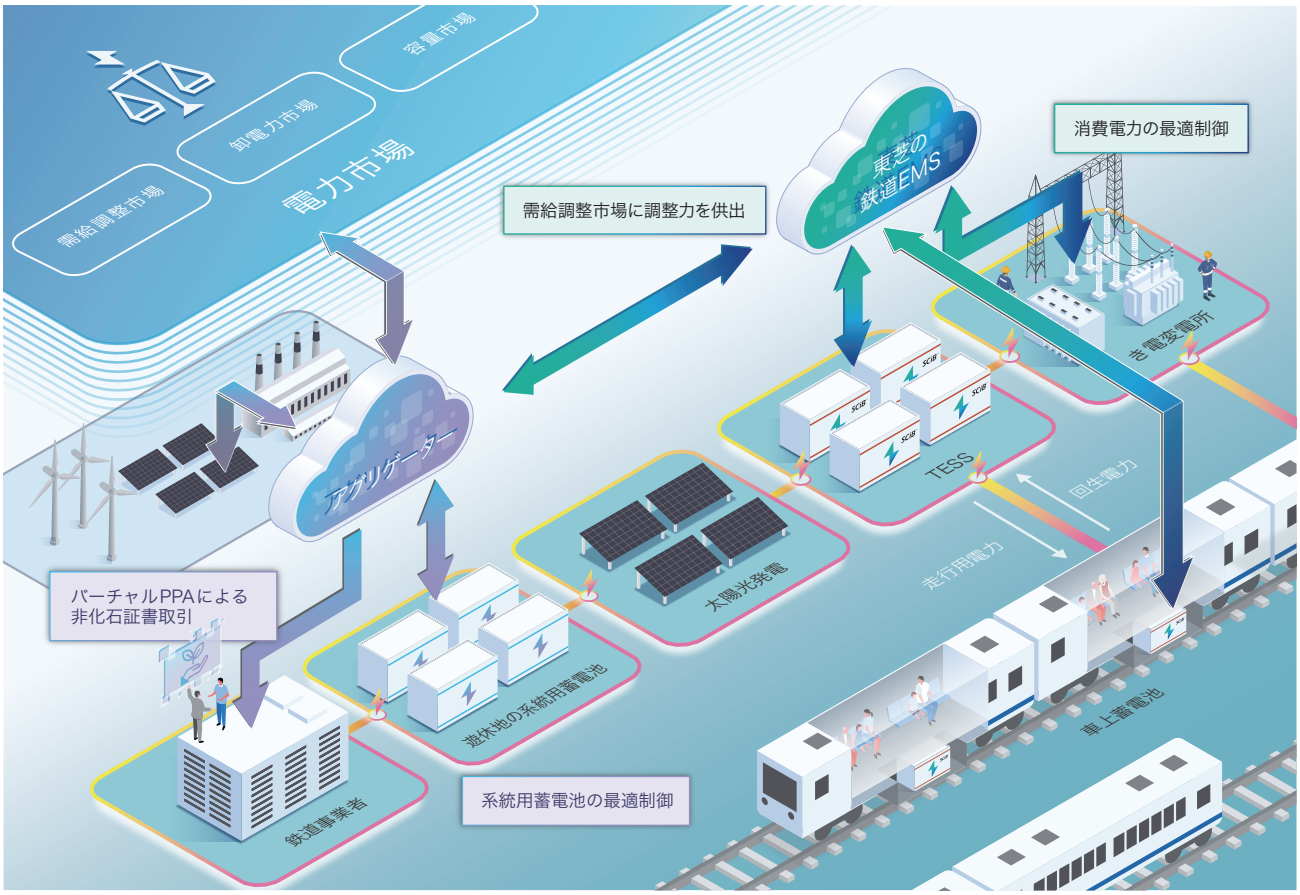
3.2.1　回生電力の有効活用を実現する鉄道EMS

2050年のカーボンニュートラル実現や脱炭素化政策を背景に，鉄道システムにも更なる環境負荷低減とエネルギー利用高度化が求められている。当社は，省エネ用途としてTESSを開発・提供してきたが，そのTESSの充放電を適切に制御することにより，電力系統の調整力としても活用可能にする鉄道EMSを，新たに開発した。

TESSは，列車の減速時に発生する回生電力を貯蔵し，他列車の加速時や非常時に利用する装置である。鉄道EMSは，高出力化したTESSをエネルギーリソースとしてVPP（Virtual Power Plant）に組み込み，アグリゲーター（複数のエネルギーリソースを統合的に制御する事業者）と連携して需給調整市場へ調整力を供出する。定格出力3,000 kWの高出力TESSを開発し，市場参入要件を満たすとともに設置スペース効率も向上させた。

また，調整力供出に必要な受電電力予測は，外気温を説明変数とした平滑化スプライン手法を開発し，需給調整市場で一般的に使われるHigh4of5手法よりも予測誤差を低減できることを確認した。更に，アグリゲーターからの指令調整力に応じてTESSの充放電を制御し，電力需給バランス維持に貢献する仕組みを実現した（同p.21–24参照）。

今後は，鉄道システムが持つTESS・車上蓄電池・駅設備



PPA：発電事業者と小売電気事業者又は需要家との間の電力購入契約

図2. 鉄道EMSによるエネルギーの有効活用

蓄電池や再生可能エネルギーを活用し，鉄道システム全体の電力を最適制御する。

Effective energy utilization through railway energy management system (EMS)

負荷といった，調整力として活用可能なエネルギーリソースを鉄道EMSに統合することで，より大規模なVPPを構築し，需給調整市場への参加を拡大していく（**図2**）。

3.2.2　車両IoTデータを活用した車上蓄電池劣化診断クラウドシステム

鉄道車両に搭載される車上蓄電池は，回生電力の貯蔵や非常走行電源としての活用など，鉄道運行を支える重要機器である。蓄電池の劣化速度は運用条件によって異なるため，従来の定期交換中心の保守では過剰保守や寿命の有効活用不足が発生していた。

当社は，搭載状態で取得可能なSOC（State of Charge）・電圧・電流・温度などの車両IoTデータをクラウドシステム上で解析し，電池容量と内部抵抗を推定する車上蓄電池劣化診断クラウドシステムを開発した。これにより，状態に応じて必要なときに保全するCBMを実現し，効率化と安全性向上の両立を図る。

このシステムでは，劣化診断に必要なデータだけを抽出して送信することで通信量を大幅に削減し，全データ量の約7 %まで圧縮した。劣化診断には，温度やSOC履歴から劣化を推定するDegRate-SOH法，SOC変化量と充放電量から容量を求めるDSOC法，電圧変化と電流変化から内部抵抗を推定するΔV/ΔI法の3手法から，用途に応じて選択し，適用する。

約2.5年分の実運用データを用いた検証では，電池容量の推定誤差が+0.72 %，内部抵抗の推定誤差が−2.71 %と，いずれも目標である±5 %以内を達成した。また，多数セルから構成される車上蓄電池についても，最大値・最小値情報だけを活用してセル間ばらつきを評価する手法を確立し，通信量を抑えながら劣化状態を把握できることを確認した（同p.25–28参照）。

3.3　CX向上

鉄道を含む公共交通の利便性向上や，駅のスマート化，単なる移動手段にとどまらないサービス提供などによるCX向上に貢献する様々な技術開発に取り組んでいる。

3.3.1　持続可能な地域公共交通の実現に向けたデジタルプラットフォーム構想

人口減少や，運転者不足，特に地方圏での利用者減少・運行コスト増加などにより，路線バスや鉄道の維持が難しくなっている。地方公共団体主導で地域公共交通計画の策定が進められているが，現状は地域データや交通データが分散管理されており，計画・実行・評価を継続的に支援する仕組みが不足している。

当社は，これを解決するために，地理情報システム（GIS：Geographic Information System）や，人流データ，GTFS（General Transit Feed Specification）などのデータ基盤を活用し，地域や交通に関する情報を統合するデジタルプラットフォームの構築を進めている。デジタルプラットフォームは，現実空間の交通サービスをデジタル空間上で再現し，計画結果を実運用へ反映し，その実績データを再び分析・評価へフィードバックする仕組みを特徴とする。

主な機能として，地域交通の現状を可視化するGIS機能，需要推定に基づく交通サービスの再設計機能，ダイヤ・車両・乗務員運用を作成する運行計画機能，更に利用実績や収支を評価する管理機能を備える。これにより，需要と供給の最適化や，交通資源の有効活用，乗り継ぎの利便性改善，KPI（Key Performance Indicator）に基づく評価が可能になる。

更にこのデジタルプラットフォームは，エビデンスに基づく政策立案（EBPM：Evidence-Based Policy Making）を支援し，地域MaaSや外部サービスと連携することで，利用促進や需要創出にも貢献する（同p.29–32参照）。

3.3.2　乗車券のデジタル化による改札機コスト削減及びデジタル乗車券のマーケティングへの活用

近年，鉄道業界では乗車券のデジタル化が進んでおり，磁気券搬送機構の維持コスト削減やサービス拡張を目的として，QRコードを利用したQR乗車券への移行が注目されている。当社は，ABT（Account-Based Ticketing）方式を採用し，乗車券情報をサーバーで一元管理する交通チケットオープン化プラットフォーム どこチケを開発した。これにより，紙券やスマートフォン表示など媒体に依存しない柔軟な乗車券運用と，利用データの活用基盤を実現した。

どこチケは，QRコード複製による不正利用防止や，通信障害時のオフライン運用，読み取り性能向上などに対応し，券売機・改札機・窓口機器を含めた駅務システム全体でABT方式によるQR乗車券の運用を実現した。磁気券廃止により，券詰まりや誤投入などの機械的トラブルが解消され，保守費用は約20 %削減されたほか，消費電力や券紙コストの低減も確認された。

更に，乗車券のオープン化という新たなコンセプトを提案し，鉄道事業者以外のサービス事業者がAPI（Application Programming Interface）を通じて乗車券を発行できる仕組みを構築した。実証実験では，ラグビー試合来場者約1万人にQR乗車証を配布し，約1,100件の利用を確認した。また，発着駅や利用経路などの乗車データを分析することで，移動データをマーケティングに活用できる可能性を示した。これにより，デジタル乗車券は単なる移動手段から，集客促進や地域活性化を支える新たなデジタルサービス基盤へ発展することが期待されている（同p.33–36参照）。

4. 今後の展望

鉄道システムのDX化は，鉄道事業そのものを変革する取り組みへと進化している。省力化・自動化による持続的な運営，カーボンニュートラル実現への貢献，そして顧客満足の向上は，それぞれ独立したテーマではなく，データを中心とした統合的な価値創出として密接に結び付いている。

今後は，AI，デジタルツイン，クラウド技術を核とし，鉄道システム全体を最適化する動きが加速すると予想される。

そのような中で当社は，鉄道インフラを支える機器・システムの供給者にとどまらず，DXを通じて鉄道事業者が抱える経営課題や社会課題の解決を支援するパートナーとしての役割を担うために，デジタル技術と長年培ってきた鉄道システム技術の融合を推進し，安全・安定で持続可能な鉄道インフラの実現に貢献していく。

文　献

(1) Fortune Business Insights. “自動車と輸送／デジタル鉄道市場”. <https://www.fortunebusinessinsights.com/jp/デジタル鉄道市場-106982>, (参照 2026-07-21).

(2) 国土交通省. “第2節 デジタル技術の活用によるイノベーションの推進 7 鉄道分野におけるDXの推進”. 国土交通白書 2025. <https://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/r06/hakusho/r07/html/n2927000.html>, (参照 2026-07-21).

・QRコードは，(株)デンソーウェーブの登録商標。



角谷　彰彦　SUMIYA Akihiko
モビリティ・インフラソリューション事業部
電気学会会員
Mobility & Infrastructure Solutions Div.