

トレンド

鉄道インフラの強靱化とカーボンニュートラルの実現に向けた鉄道システム技術の取り組み

Progress in Developing Railway System Technologies Enhancing Robustness of Railway Infrastructure and Attaining Carbon Neutrality

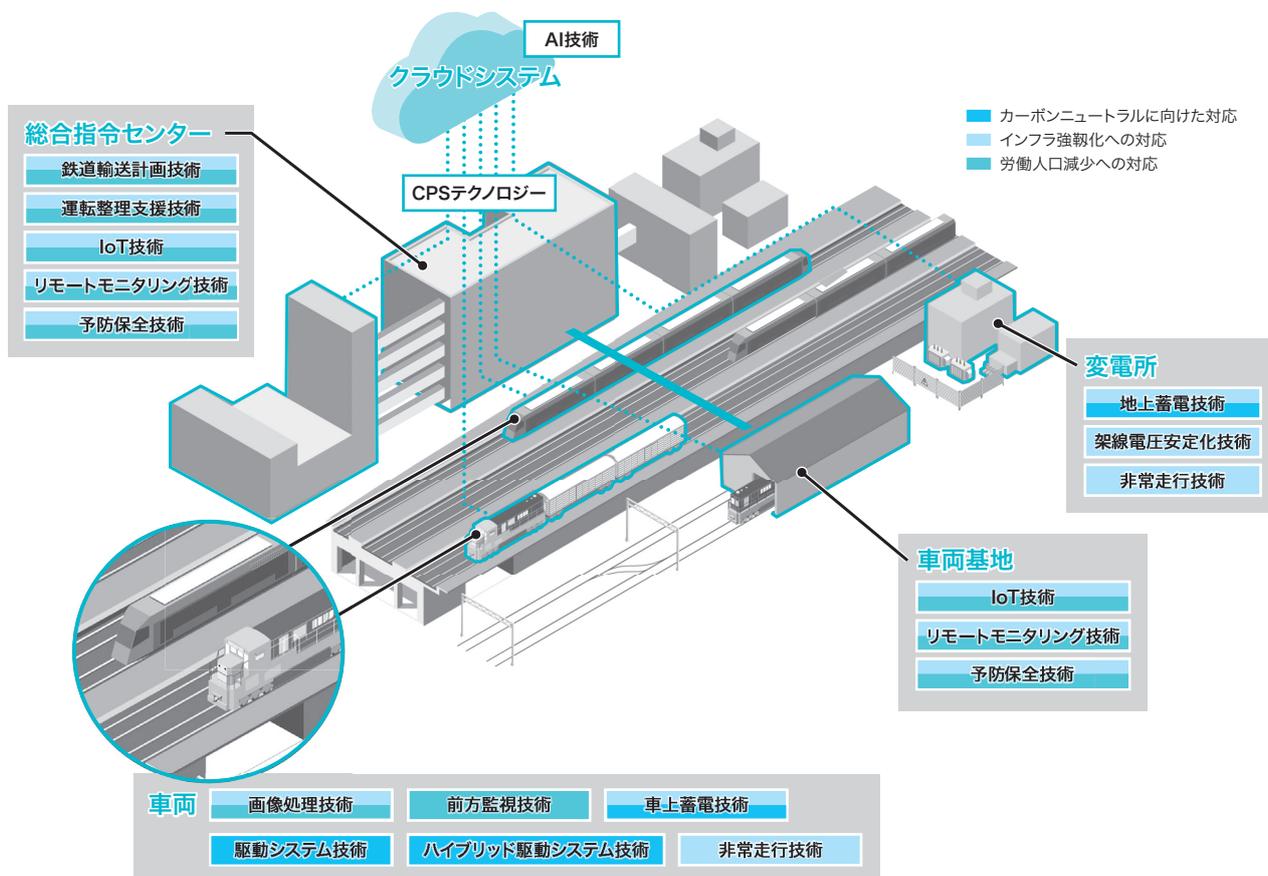
中沢 洋介 NAKAZAWA Yosuke

近年、鉄道事業者並びに鉄道利用者からは、安全性や、環境性能、快適性、省エネ性などに優れた鉄道システムが求められ、このようなニーズに応えるための技術革新が不可欠となっている。

東芝グループは、鉄道システム技術の開発で長年培ってきた知見や実績と、最新のCPS（サイバーフィジカルシステム）テクノロジーを駆使して、強靱（きょうじん）な鉄道インフラの構築とカーボンニュートラルの実現に貢献するソリューションの創出に取り組んでいる。

The further advancement of railway systems through technological innovations aimed at enhancing safety, environmental friendliness, comfort, and energy saving has become increasingly important from the standpoint of both railway companies and passengers in recent years.

The Toshiba Group has been incorporating its cyber-physical systems (CPS) technologies into the development of railway systems, as well as applying its accumulated knowledge and experience in the development of systems and components in this field, with the objective of offering improved robustness of railway infrastructure and attaining carbon neutrality. We are making intensive efforts to provide solutions integrating these railway system technologies for the benefit of both railway companies and passengers.



IoT: Internet of Things

特集の概要図。様々な社会課題に応える鉄道システム技術の広がり

Railway system technologies contributing to improvement of safety, environmental friendliness, comfort, and energy saving

1. まえがき

東芝インフラシステムズ(株)は、これまで車両電気品や、機関車、電力機器、情報管理システムなどの分野で、鉄道事業者が求めるライフサイクルコストの低減に取り組み、安全性、正確性、快適性を追求するとともに、環境に配慮した製品を開発し、国内外の鉄道システム向けに製品を提供してきた。

更に、東芝グループが目指すCPSテクノロジーで社会インフラに貢献するという方針ののっとり、鉄道事業におけるコンポーネント製品の開発と適用で長年培ってきた豊富な知見と実績を生かしながら、東芝グループならではのCPSテクノロジーで、鉄道システムに関連した様々な社会課題に応えるインフラサービスを創出し提供している。

現在直面している社会課題としては、新型コロナウイルス拡大に伴う“ニューノーマル対応”をはじめとして、地球温暖化と異常気象の増加を抑制する“カーボンニュートラルの推進”や、自然災害の激甚化・頻発化とインフラシステムの老朽化への対応として“インフラ強靱化”，少子高齢化に起因して顕在化する“労働人口減少への対応”などがあり、これらのマクロトレンドに対応するシステムや技術の創出、構築が必要である(特集の概要図)。

特に、SDGs (Sustainable Development Goals：持続可能な開発目標)や、ESG (Environment, Social, Governance)の観点から、近年、従来にも増して省エネ性が高く、安定した鉄道システムの構築が社会的要請として重要になってきている。現状よりも更にエネルギー効率が高く、かつ災害などにも対応できる強靱性を持った、車両システム、電力供給システム、運行管理システムが求められるようになっている。

鉄道システムは、以前から、ほかの交通輸送機関との対比において、輸送におけるエネルギー効率や安全性に優れていることが多く論じられてきた。また、近年の物流需要の増大と労働人口の減少により顕在化している物流トラックドライバー不足の問題も、種々の技術的・制度的課題を克服することを前提に、鉄道輸送への転換を進めることで改善する方向へ進むと考えられる。

鉄道システムにおいても、これらの社会課題・マクロトレンドを克服する技術開発を進めることの重要性が、更に増している。

2. カーボンニュートラル実現、インフラ強靱化に向けた取り組み

これまで車両電気品については、高効率、省エネを徹底

的に追求した特徴あるコンポーネント製品を、常に提供し続けてきた。従来の誘導電動機に比べて飛躍的に高効率化を実現できる永久磁石同期電動機とそのインバーター駆動システムをはじめとして、SiC (炭化ケイ素)素子を適用したモーター駆動用インバーターや東芝製リチウムイオン二次電池SCiB™を適用した蓄電池システムなどを開発し、製品展開している。

その中でも、カーボンニュートラル、インフラ強靱化を実現するシステム手段の一つとして、蓄電池を用いたソリューションの創出、製品化に注力している。

鉄道システムにおいては、鉄道車両がブレーキを掛けたときに回生電力を発生させる仕組みがあり、この電力をいかに活用していくかがポイントとなる。一方で、自然災害などにより大規模停電が発生すると、安定した鉄道運行ができなくなるリスクがある。特に、橋梁(きょうりょう)やトンネル内で列車が停止したままになると、乗客の避難も困難となる。その対策として、車載又は地上変電設備の蓄電池から電力供給することで、停電時に最寄り駅など安全な場所まで列車を移動させることができる蓄電池システム製品を提供している。

鉄道向け蓄電池ソリューションに適用する蓄電池に求められる性能としては、安全性が高く、かつ繰り返しの充放電に耐えられるなどの長寿命性が必須となる。

東芝のSCiB™は、図1に示すとおり、これらの要求に対して優れた性能を保有しており、これまでに多くの鉄道事業者を採用されている。



図1. SCiB™の六つの特長

SCiB™は優れた安全性、長寿命、急速充電、高入出力、低温性能、及び広い実効SOCレンジという、六つの優れた特長を持っている。

Six outstanding features of SCiB™

安全性は、公共交通として最重要ポイントであるが、セル内部の材料構成上、外力に対しても原理的に破裂や発火を起こしにくい特性があり、特に、地下鉄への適用において、優位性がある。

こうしたセル自身の安全性により、SCiB™を使用した蓄電池システムが、鉄道車両に要求されるRAMS (Reliability, Availability, Maintainability, and Safety) 規格と呼ばれる欧州規格EN 50126, 及びRAMSの安全性に関するEN 50129の認定証を最高の安全度水準であるSIL 4 (Safety Integrity Level 4) として世界で初めて^(注1)取得している⁽¹⁾。

2.1 地上設置の回生電力貯蔵システム

SCiB™をエネルギー蓄積要素として活用して、地上変電所などに設置する回生電力貯蔵システム (TESS: Traction Energy Storage System) を開発し、製品化している (図2)。

鉄道車両がブレーキを掛けた際に発生する回生電力を、架線を介して地上側に設置したTESSの蓄電池に貯蔵し、ほかの鉄道車両の加速時に再利用するシステムである。従来、ブレーキ時に熱として捨てられていたエネルギーを再利用することにより得られる省エネ効果とともに、停電などの非常時に、最寄り駅など安全な場所まで走行して、乗客を安全に誘導するために、電力を供給する非常走行電源としても活用できる。更に、電力供給力の不足する地点での供給力強化を目的として、変電所新設の代わりにバッテリーポストとして設置するニーズにも応えられる (この特集のp.7-10参照)。

2.2 車上搭載蓄電システム

SCiB™を鉄道車両に搭載して、地上設置の回生電力蓄電

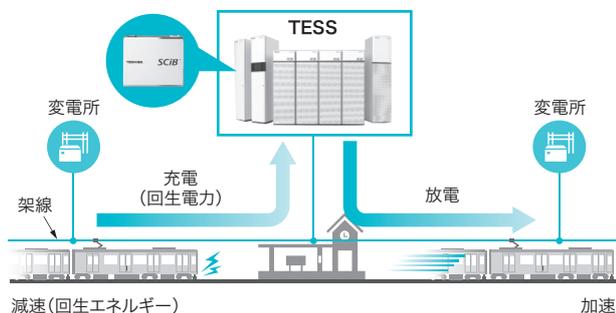


図2. TESSの概要

鉄道車両の減速時に発生する回生エネルギーを電力に変換して、架線を介して地上側に設置した蓄電池に貯蔵し、ほかの鉄道車両の加速時に再利用する。

Overview of traction energy storage system (TESS)

(注1) 2018年7月時点、当社調べ。



図3. 欧州向けハイブリッド機関車 (完成予想図)

ハイブリッドシステムをディーゼル機関車に適用し、燃料消費を低減するとともに、CO₂やNO_xの排出を抑制する。

Rendering of hybrid locomotive for European market

システムと同様に、回生電力の吸収及び停電時の非常走行の機能を実現する、車上搭載蓄電システムも開発し、製品化している。車上搭載ならではの利点としては、架線のない路線においても駆動システムへの電力供給が可能になる点がある。車両基地内で、作業者の安全確保のために架線をなくしたい場所や、景観上架線をなくしたい場所などで自力走行をさせたいというニーズにも応えられる (同p.11-14参照)。

2.3 ディーゼルハイブリッド車両

自動車で普及している、エンジンと蓄電池を用いたハイブリッドシステムを、同様にディーゼル機関車、気動車 (エンジンで走る鉄道車両) にも適用し、燃料消費を低減するとともに、更に二酸化炭素 (CO₂) や窒素酸化物 (NO_x) の排出も抑制するシステムを実用化しており、環境負荷低減に貢献している。これまでに培った省エネ機器の開発製品化実績とノウハウも活用して、図3に示すとおり、欧州向けハイブリッド機関車を開発している (同p.15-19参照)。

3. 労働人口減少への対応

労働人口減少への対応は、利用者の利便性を損なわずに質の高いサービスの提供を維持発展させることが必要な鉄道事業者にとって、重要な課題である。自動化や、情報の一元管理・見える化で、作業員の負荷軽減を実現する技術・システムの開発を進めている。

特に、熟練者のノウハウ・知識を継承又は自動化していく技術が求められている。

複数のシステムの複雑な組み合わせで成立している鉄道システム全体の中では、輸送計画策定に始まり、安定輸送を実現するための運行管理、列車運転、車両・地上設備の保守作業など、熟練技術のノウハウが必要な領域は、多岐にわたる。

3.1 車両保守のデジタル化

鉄道車両に設置したIoT (Internet of Things) 端末か

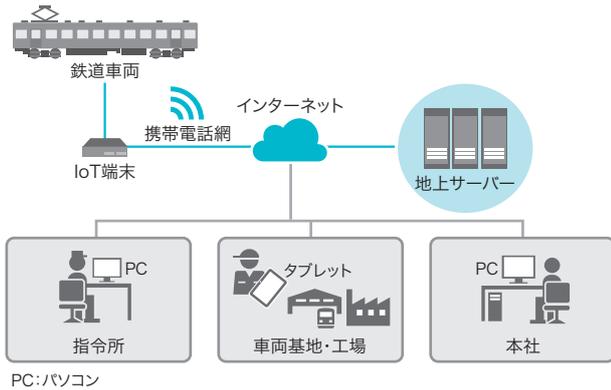


図4. 鉄道車両向けリモートモニタリングサービスのシステム構成

ユーザーは、インターネットブラウザを介して鉄道車両の情報をリモートでモニタリングできる。

Configuration of railway remote monitoring service

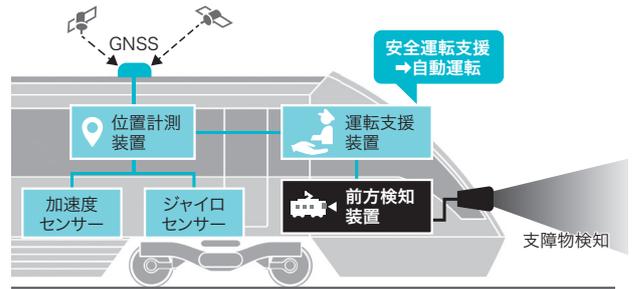
稼働状態やアラート情報などの車両情報を自動的に地上サーバーにセキュアに伝送・蓄積することで、遠隔地から鉄道車両の状態を監視するリモートモニタリングサービスのシステム(図4)を開発し、製品展開を開始している。

従来、故障などが営業走行中の車両で発生した場合、車両無線経由で乗務員から状況をヒアリングすることが多く、地上側(車両基地や指令所など)で直ちに状況を把握することは難しい面があった。リアルタイム監視により、地上側でも、車両側と同じ情報をほぼリアルタイムかつ正確に把握できるようになるため、故障発生時の初動対応を迅速化し、復旧時間の短縮やダウンタイムの削減に貢献できる。

車上搭載機器の保守の観点では、列車空調装置などは営業環境での利用実態が十分に把握できておらず、装置ごとに稼働率が異なるにもかかわらず、一律に定められた保守基準によって保守運用がなされていた。これは不具合の見落としや過剰保守の原因となることが懸念される。リモートモニタリング機能によって収集データの波形などを見える化できるが、前述の保守基準と照合するためには、データを加工し比較できるような指標に変換する必要がある。そこで、データを各種の保守基準と照合し、保守業務に活用できるよう監視指標を定義した(この特集のp.20-24参照)。

3.2 走行安全支援のための前方監視

近年、都市部の鉄道及び一部の地方鉄道において、ドライバレスの自動運転の導入が議論され始めている。これまでも自動運転は実用化されているが、人などが容易に線路内に立ち入れない高架構造に限定するなど、自動運転を前提に建設された新交通システムなどで実現されたものである。一方、運転士の乗務を前提に建設された一般的な路線では、踏切などが存在するため、安全・安定輸送の観点



GNSS: 全球測位衛星システム

図5. 前方検知装置を含む走行安全支援システムの概要

運転士の支援向けに開発したシステムで、前方検知装置が運転士の目の代わりとなる。

Outline of train operator assistance system incorporating forward obstacle detection sensor

から自動運転の導入が困難である。前述の議論を行っている検討会⁽²⁾では、踏切などが存在する一般的な路線を対象に、センサー技術や、ICT(情報通信技術)、無線技術などを利用した最新の列車制御技術なども利活用し、自動運転の実現に必要な技術の要件検討を進めている。その一つとして、運転士の目視に代わって列車前方の走行軌道の安全性を確認する、前方監視技術の実現が欠かせない。東芝グループは、2015年度から国土交通省の鉄道技術開発費補助金の支援を受け、車載前方監視カメラで主に支障物を検知する前方検知装置を含む走行安全支援システム(図5)を開発している。また、2021年度からは同補助金の支援を受け、前方監視技術を含めて自動運転の実現に向けた要素技術の開発を進める(同p.25-29参照)。

3.3 運行管理業務支援

昨今の都市鉄道は、相互直通運転の拡大や、通勤時間帯の有料座席指定列車に代表される輸送サービス向上などに伴い、列車の運行形態が複雑化している。そのため、列車遅延状況も複雑化し、運行品質の維持に一段の労力が掛かるようになっている。

一方で、今後は労働人口の減少が見込まれ、運行管理業務を行う運転指令員も例外ではなく、より一層の業務負担の増加が見込まれる。

このような背景に対し、列車運行データを用いて運行管理業務を支援する二つの技術・機能を開発した。

一つ目は、AIを応用した運転整理支援技術である。運行管理業務の一つである運転整理に対して、指令員の負担を軽減することを目的として、過去の運転整理内容を学習・利用するAIを応用した運転整理支援技術を開発した。

二つ目は、運行分析機能である。列車の運行実績データを分析することで、特に都市圏で複雑化している列車遅延

の全体像を把握できる(同p.30-33参照)。

3.4 輸送計画のデジタル化

輸送計画策定では、輸送需要に基づいたダイヤの作成や、車両の運用計画、乗務員の運用計画、車両基地内での入れ換え計画・検査計画など、制約条件の多い中で効率の良い列車の運行を行うために、熟練者のノウハウや経験が不可欠となっている。

東芝グループは、鉄道だけでなくバスや新交通なども含め、世界中の交通事業者の輸送計画を支援できるように、輸送計画の基本機能を一つのパッケージにまとめた輸送計画ソリューションTrueLine™を開発し、クラウドシステムを利用してデジタルサービスとして提供している(図6)。

デジタルツイン技術を活用し、個別に管理されている線路設備や、車両性能、電力設備、各種規程などをデジタル化して取り込み、サイバー空間上に現実の列車運行環境を再現する。また、各種条件でのシミュレーションや数理モデルに基づく最適化AIを活用し、制約条件を満たしながら、より利便性が高く効率の良い輸送計画案を提案することが可能となる。

具体的には、エネルギー消費量を最小化する運転曲線や、車両や検査設備の稼働率を最大化する車両運用・検査計画などが挙げられる。

また、列車の運行に乱れが発生した後の計画変更の検討への活用も期待できる。クラウドサービスであることから計画作業を実施する場所を選ばないため、急な計画変更にも柔軟に対応できる。台風や集中豪雨など、増加する自然災害

への対処として近年行われるようになっている計画運休や、計画運休から通常運転への支障の少ない復旧計画の策定など、インフラ強靱化にも貢献できる可能性がある(同p.34-37参照)。

4. あとがき

利用者への車両、地上設備の安定稼働による安心の提供や、徹底的な省力化によるライフサイクルコストの低減は、輸送システムとしての鉄道システムの優位性を高めるとともに、ほかの輸送システムとの組み合わせも含めた、交通システム全体での利便性、及び安全・安心の向上に寄与するものと考えられる。

これまでの鉄道事業におけるコンポーネント製品の開発と適用で培った豊富な知見と実績を生かしながら、東芝グループならではのCPSテクノロジーでマクロトレンド・社会課題に応えられるシステム製品・デジタルサービスを創出し、提供し続けることにより、鉄道インフラ強靱化並びにカーボンニュートラルの推進で、社会に貢献していく。

文 献

- (1) 黒田和人, ほか. RAMS規格の安全度水準SIL 4に適合したSCiB™蓄電池システム. 東芝レビュー. 2018, 73, 5, p.86-89. <https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/migration/corp/techReviewAssets/tech/review/2018/05/73_05pdf/f06.pdf>. (参照 2021-04-01).
- (2) 国土交通省. “鉄道における自動運転技術検討会”. <https://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo_fr1_000058.html>. (参照 2021-04-12).

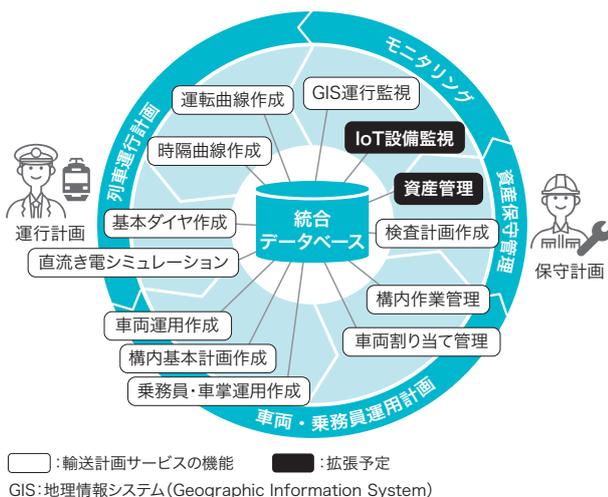


図6. 統合データベースによる輸送計画サービス各機能の連携

デジタルサービスの一覧が、一つのデータベースで連携しているところを示している。

Collaboration of individual functions of transit scheduling services achieved by integrated database



中沢 洋介 NAKAZAWA Yosuke
東芝インフラシステムズ(株)
電気学会会員
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corp.