

社会ニーズに応える先端鉄道システム開発

Development of Cutting-edge Railway Systems that Satisfy Social Needs

横須賀 靖 中澤 慶光 北林 英朗

Yokosuka Yasushi Nakazawa Yoshimitsu Kitabayashi Hideo

鉄道の安全・安心と魅力をいっそう高めるために

2011年3月の東日本大震災では、鉄道設備も東日本の沿岸部の路線を中心に大きな打撃を受けた。しかし、広範で深刻な被害を受けた中、被災された鉄道各社による懸命の努力の結果、寸断されていた鉄道網は、街自体の復興計画との関係などから引き続き検討が必要な路線を除いてほぼ復旧した。路線が復旧したときには、沿線の住民の方々が手を振って祝ってくれるなどの応援があったと聞く。鉄道システム開発に携わる者として非常な喜びを感じるとともに、改めて鉄道に寄せる思いの大きさを実感することにもなった。

さらなる安全・安心な鉄道システムに発展させることはもとより、移動手段として鉄道をより多くの方に選んでもらうために、その魅力を向上させる開発の重要性も再認識した。

日立グループは、安全・安心を支える信号制御技術から、地球温暖化の問題に対処する車両技術や電力供給システム技術、安定した輸送サービスを支える運行管理システムや、この運行管理システムとともに列車の利用者に対して的確に情報を提供する情報システムなどの開発をたゆまず行っている。

また、鉄道はサービスする地域に対して密着したシステムだが、その中で使われる技術は、よりグローバル仕様への適合が求

められるようになり、その適合性なども問われるようになってきている。

技術開発の概要と注力分野

日立製作所は、鉄道の総合システムインテグレーターとして、社会的要求の変化に合わせてシステムの進化を支える先端技術の開発を行っている。車両では省エネルギーを推進する軽量化や快適性の向上、対環境性を考慮して部材の再利用などを推進し、その技術をグローバルに展開している。電気品でも省エネルギー性の追求や小型化技術などの開発を間断なく実施している。信号システムでも、地上のシステムの軽量化を図り、災害などにも強く、保守負荷を軽減でき、なおかつ高密度運行にも適した無線信号システムを開発し、実用化してきた。また、変電システムでも回生電力を有効利用できるシステムを実用化している。

運行管理システムでは、常に鉄道サービスの向上や鉄道事業者からの要求に応えるべく、フォールトトレラント技術の向上やシステム間連携を行うための技術開発を行っている。以前から、鉄道システムを支える保守技術の製品化も行っており、その検測技術の向上も進めてきた。さらに、近年では、鉄道システムの各種パフォーマンスの事前評価の要望に応え、従来から使用している評価システムの機能や性能を向上

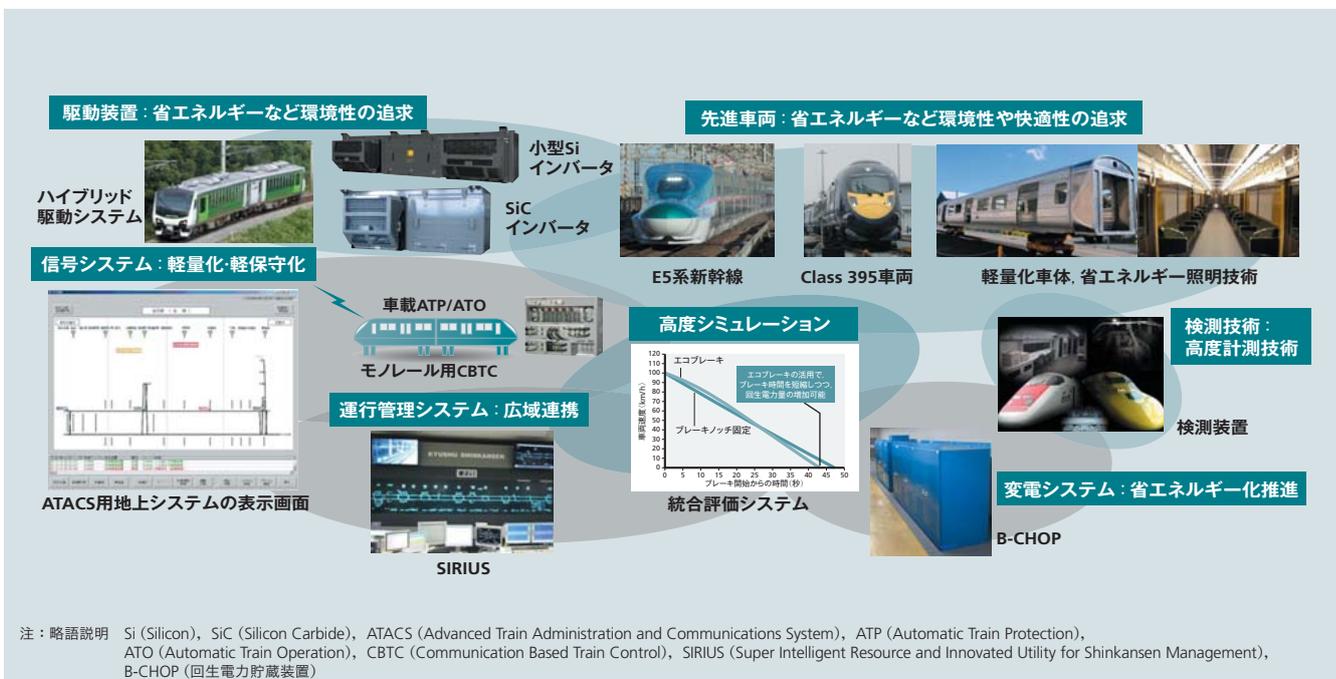


図1 | 社会ニーズに応える最新鉄道システム

日立製作所は、鉄道の総合システムインテグレーターとして、社会的要求の変化に応え、車両システムから地上側の各種制御や情報システムの進化を支える技術開発を行い実用に供している。

させ、鉄道システムの省エネルギー性や**時隔^(a)**などを精度よく評価できる技術開発も行っている(図1参照)。

車両システムにおける技術開発とグローバル展開

日立製作所では、新幹線や在来線車両向けの技術開発を間断なく行っている。在来線では**A-train^(b)**という呼称で、従来から精力的に技術開発を進めている。在来線にも新幹線車両にも、接合に**FSW^(c)**を用いて美しく滑らかな車体仕上げを実現している。また、モジュール構造、部材の再利用などを進めながら軽量化を図ってきた。近年ではさらなる省エネルギー化を図るた

め、照明のLED (Light Emitting Diode) 化を実現した。これは、単に照明装置を交換したというだけでなく、安全性や消費電力低減、メンテナンス性なども考慮しながら必要な照度を確保する技術開発を行うことで実現できた。その主な開発として、通常のLED照明の放射角度120°から170°以上への広角化のほか、熱影響を受けにくい回路設計や基板構成により100,000時間の長寿命設計も行った(図2参照)。

グローバルマーケット化では、すでに英国向けにA-train技術を基にしたClass 395車両を納入しており、2009年から営業運転が開始されている。さらに世界の鉄道システムの発展に寄与するために、現地での

(a) 時隔
 鉄道において、連続して走行する二つの列車の時間間隔を指す。列車どうしの間隔は、安全のために常に一定以上が保たれているが、それを満たしたうえで、走行速度などによって短縮できる。その最小値である最小運転時隔が小さいほど列車間隔を密にすることができ、単位時間当たりの輸送量が向上する。

(b) A-train
 モジュール式生産システムとアルミダブルスキン構体の特徴とする、日立グループが開発した鉄道車両システム。A-trainは、Advance (先進), Amenity (快適), Ability (性能), Aluminum (アルミニウム)の意味を込めた名称である。車両を機能単位でモジュール化するとともに、骨組みの不要なアルミダブルスキン構造を採用することで、高品質ながらシンプルで軽量の車両システムを実現した。リサイクル性にも優れ、環境負荷の低い車両として、国内外で採用が進んでいる。

(c) FSW
 Friction Stir Weldingの略。摩擦かくはん接合。回転ツールと呼ばれる円柱状の工具を回転させながら接合材料に挿入し、摩擦熱を発生させながら移動させることにより接合する方法。材料を溶かさなため、溶融溶接の場合よりも接合部のゆがみや変形が少ない、接合面および裏面が平滑、気泡・割れなどの欠陥が生じない、接合強度が高いなどの特長を持つ。

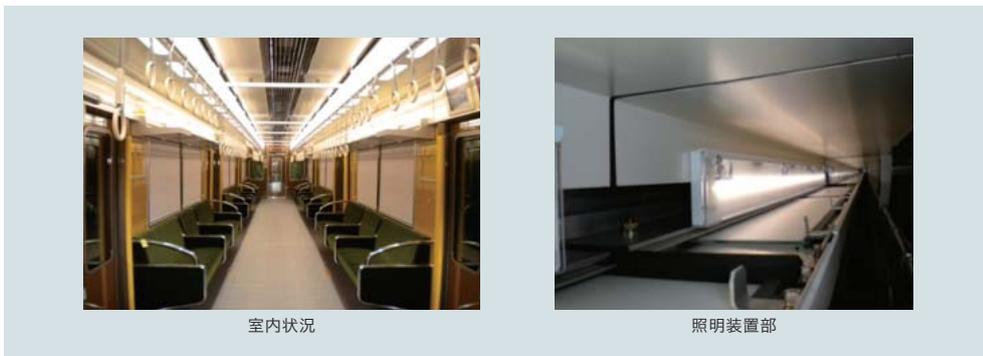
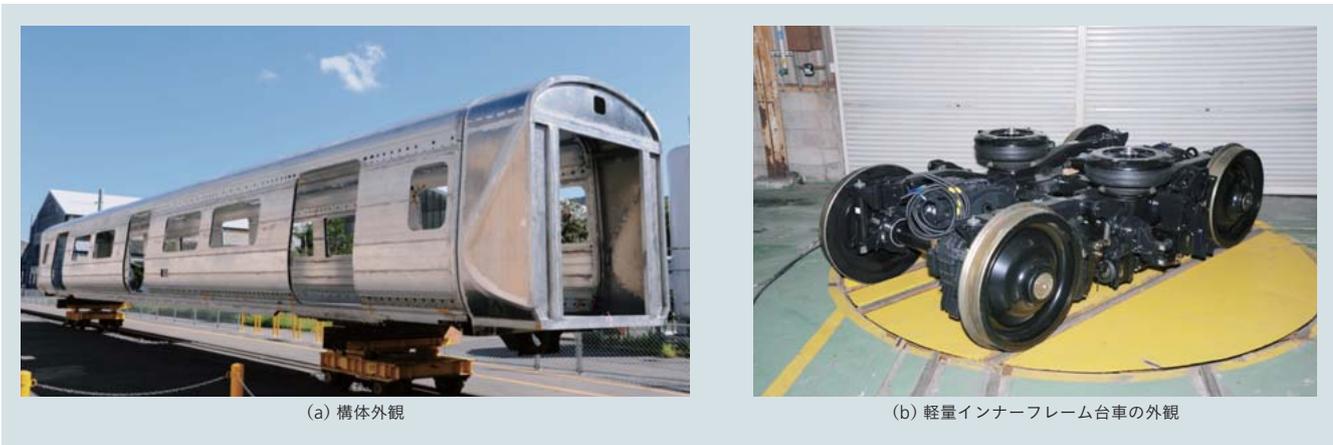


図2 | 阪急電鉄株式会社納め9000系LED間接照明(新造車)
 2010年12月に、いち早く車内照明がすべてLED (Light Emitting Diode) 化された。



(a) 構体外観

(b) 軽量インナーフレーム台車の外観

図3 | Global A-trainのキーコンポーネント

グローバル市場でいっそうのコストダウンと軽量化を実現していく。

(d) シリーズハイブリッド駆動方式

エンジンとモータのように、二つの原動機を組み合わせたハイブリッド駆動システムの中で、二つの原動機を直列に構成する方式のこと。エンジンによって発電機を動かし、発電した電力をいったん二次電池に貯め、その電力でモータを動かして走行する。また、減速時には駆動用モータから得られる回生電力を二次電池に充電する。

認証取得、さらなる軽量／省エネルギー化、保守性の向上を進める。時速160 km/hから225 km/hの車両まで、車両のフレキシビリティと標準化の最大限の両立をめざし、現地生産でのコストダウンや軽量インナーフレーム台車を開発した(図3参照)。

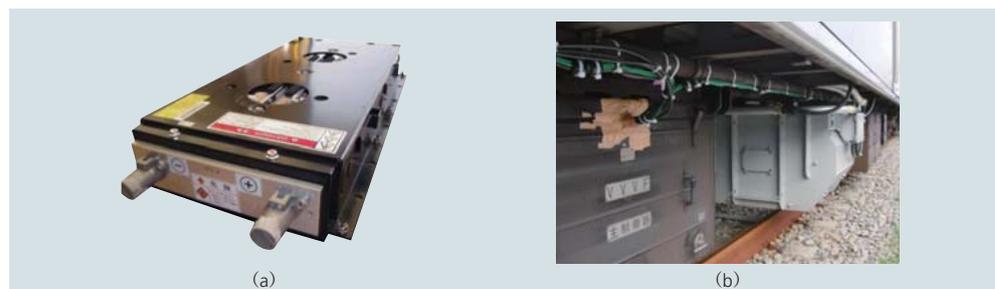
また、検測車用の機器も各種製品化している。例えば、軌道の変位や架線の摩耗を計測する装置を製品化している。新幹線用のドクターイエロー(通称)では、270 km/hの営業速度で検測可能な検測装置を実現している。また、設備の常時監視のニーズに応えるため、営業車両へ搭載可能な小型計測装置の製品化を進めている。

車両駆動システムの効率化

車両駆動システムでは、電化線区でも非電化線区でも回生電力を有効利用できるシステムを開発し、旅客用の気動車のハイブリッド駆動システムを世界で初めて実用化している。この気動車用のシステムは東日

本旅客鉄道株式会社と共同で開発した**シリーズハイブリッド駆動方式**^(d)を採用し、さまざまな条件でシミュレーション評価した結果、走行する線区の条件によっては15%以上の省エネルギーを実現できる。また、シリーズハイブリッド駆動方式を採用していることから、機械構造を簡素化しており、保守負荷を低減する効果もある。この駆動システムは、2007年に東日本旅客鉄道株式会社小海線のキハE200形で実用化したのに続き、リゾートトレインHB-E300系にも適用し、2010年から営業車で稼働している。

電車区間では、ブレーキ時の回生電力を架線に戻し、この電力を力行する他車が消費するシステムが実用化されている。しかし、消費する他の電車が付近に在線していない場合は、回生失効などが発生する場合がある。このような軽負荷状態でも回生電力を有効に利用するため、車上に二次電池を搭載し、回生電力を蓄電し、利用できるシステムを開発している。さらに、高速域



(a)

(b)

図4 | 高速域回生拡大制御における搭載機器

リチウムイオン電池モジュール(a)を16モジュール搭載した。(b)の手前にチョップ装置を、奥にMSL(Main Smoothing Reactor: 主平滑リアクトル)を示す。



図5 | E233系3000番代増備車用インバータ
既存車に比較して外形寸法、質量とも20%以上低減した。

ではモータ出力特性により回生ブレーキ力は制限されることから、車上に電池を搭載してインバータ装置の直流部電圧を昇圧し、回生ブレーキの動作速度域を高速側にシフトするシステムを開発している。開発した電池と装置を図4に示す。実機試験の結果、昇圧電圧が高いほど回生電力量が増加することを確認している。

駆動用電気品では、小型高効率化を推し進める開発を継続して行っている。東日本旅客鉄道株式会社E233系3000番代の増備車では、既存車に比較して外形寸法、質量とも20%以上低減した(図5参照)。また、駆動用モータでは効率を95%まで高め、高効率全閉誘導電動モータも開発し、機内の清掃レスと従来比30 dBの低騒音化を達成した。さらに、3.3 kV耐圧の**SiCハイブリッドモジュール**^(e)を開発し、シンプルな2レベル構成で1,500 V架線に対応したパワーユニットを実現して、インバータとしての損失を35%低減した(図6参照)。

グローバル市場向けでは、中国高速車両向けに、欧州技術ベースの車両、モータ、主変換器などとのマッチングを図る615 kWモータを4台並列制御する高出力タイプを開発し、現在走行試験中である。今後も環境への配慮とグローバル市場の要求を考慮して、いっそうの省エネルギー化と高効率化を進めていく。

地上制御システムの高度化と 電力システムの省エネルギー化

日立製作所が地上側システム用に開発・実用化している主なものとして、運行管理システム、電車への電力供給システム、信号システムがある。

運行管理システムは、国内でさまざまな線区向けに幅広く開発し実用に供しているが、九州新幹線と山陽新幹線の直通運転に合わせて、システムの連携を図る開発を行った。この開発では、主として実施系機能である基本ダイヤや変更ダイヤ、列車の走行実績などの情報を授受して連携を図れるようにしている。今回開発し、採用したフォールトトレラントモデルは、**疎結合**^(f)四重化方式のアーキテクチャを採用し、高可用性やデータの高信頼性を実現し、現在順調に稼働している(図7参照)。

信号システムでは、レールを通してデジタルデータを送信して制御するATC(Automatic Train Control)を国内で初めて実現し、さらに、空間波無線伝送を利用したシステムの開発を続け、東日本旅客鉄道株式会社納めATACS(Advanced Train Administration and Communications System)用の地上側制御システムを実現した。ATACSでは国内の鉄道で、車上での位置検知結果を基に移動閉そく制御を初めて実用化している。約18 kmの線区用に、4拠点装置および現場端末を制御する装置や、線区内の列車を追跡する装置などを開発し、2011年10月10日に使用開始され順調

(e) SiCハイブリッドモジュール

3.3 kVのSiC-SBD(Schottky Barrier Diode)とSi-IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)を組み合わせた、鉄道車両インバータ用パワーモジュール。SiC(Silicon Carbide:炭化ケイ素)は、従来のSi(Silicon:ケイ素)を用いた素子よりも抵抗が低減できるため、パワーモジュールの小型化や冷却系の簡素化が期待できる材料として注目されている。

(f) 疎結合

複数のプロセッサ、複数のアプリケーションソフトウェアなどを連携させるシステムにおいて、それぞれのコンポーネントの独立性が強い状態であること。相互に依存している余地が少ないため、一部コンポーネントのトラブルなどがほかに波及せず、可用性の高いシステムを実現できる。これに対して、コンポーネント同士が密接に連携している状態を密結合と呼ぶ。



図6 | SiCハイブリッドモジュールを用いたインバータ
インバータパワーユニットとしての損失を35%低減した。

ンカーブの評価などもできるように強化した(図10参照)。さらに、ランカーブを評価し、省エネルギー性を高める運転を実施するための運転支援機能などの要望に合わせたサブモジュールも開発した。それぞれのモジュールを組み合わせることで要望に適した評価ができるようにしている。今後、各種の鉄道システムの評価要望に的確に応えられるように、シミュレーション機能を強化していく。

求められるニーズに確実に応える技術開発を

鉄道は地下鉄やモノレールのような都市内交通としての役割も担えるうえ、環境負荷が非常に小さい中長距離輸送としての価値も大きい。今後も持続的に発展し、活力のある都市内交通／都市間交通であり続けるためには、利用者にとっての魅力を向上する技術の開発を行い、自動車やバス、航空、海運などの他の輸送機関と適切な役割分担を行い、社会の期待に応じていくことが重要と考える。

持続可能な社会の実現に向け、各国はグ

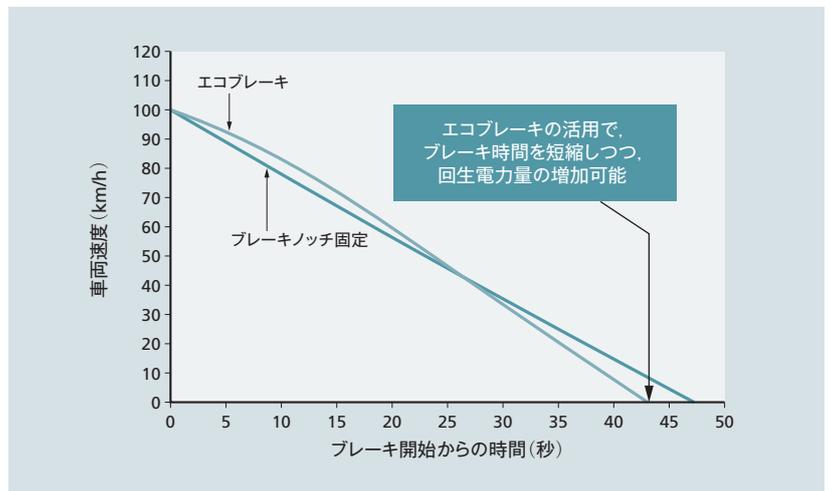


図10 | 減速時のブレーキノッチの最適化例

ブレーキノッチ扱いによって、ブレーキ時間や回生電力量に違いが生じることを確認した。

ローバル規模でさまざまな技術開発を行っている。単に省エネルギーをめざすだけでなく、地域・社会全体でどのような未来型社会をめざすべきか、多方面から検討されているところである。

日立製作所は、こうした社会の発展の方向性を的確に捉え、日立グループ各社の技術を結集し、鉄道に求められるニーズに確実に応える技術開発を今後とも精力的に行っていく。

参考文献

- 1) 乾野, 外: 鉄道車両向けLED照明の開発, 第48回鉄道サイバネ・シンポジウム論文集, 528, 日本鉄道サイバネティクス協議会 (2011.11)
- 2) 宮内, 外: 鉄道統合評価システムの開発, 第48回鉄道サイバネ・シンポジウム論文集, 103, 日本鉄道サイバネティクス協議会 (2011.11)
- 3) 真鍋, 外: インバタ電車における高速域での回生ブレーキ有効領域拡大に関する技術開発, 第48回鉄道サイバネ・シンポジウム論文集, 526, 日本鉄道サイバネティクス協議会 (2011.11)
- 4) 石川, 外: SiCダイオードを搭載した鉄道インバータ, 第46回鉄道サイバネ・シンポジウム論文集, 506, 日本鉄道サイバネティクス協議会 (2009.11)
- 5) 横須賀, 外: 環境配慮型鉄道システムの開発とグローバル展開, 日立評論, 92, 6, 454~457 (2010.6)
- 6) 横須賀, 外: より快適で魅力ある鉄道サービスを実現するシステム技術, 日立評論, 92, 2, 149~155 (2010.2)

執筆者紹介



横須賀 靖
1984年日立製作所入社, 交通システム社 経営企画本部 所属
現在, 鉄道の国際標準化や鉄道技術開発の取りまとめ業務に従事
電気学会会員



中澤 慶光
1991年日立製作所入社, 交通システム社 輸送システム本部 輸送システム部 所属
現在, 鉄道輸送システムのエンジニアリングの取りまとめに従事



北林 英朗
1990年日立製作所入社, 交通システム社 営業統括本部 国内車両システム部 所属
現在, 新幹線および在来線電車のシステムエンジニアリングに従事