

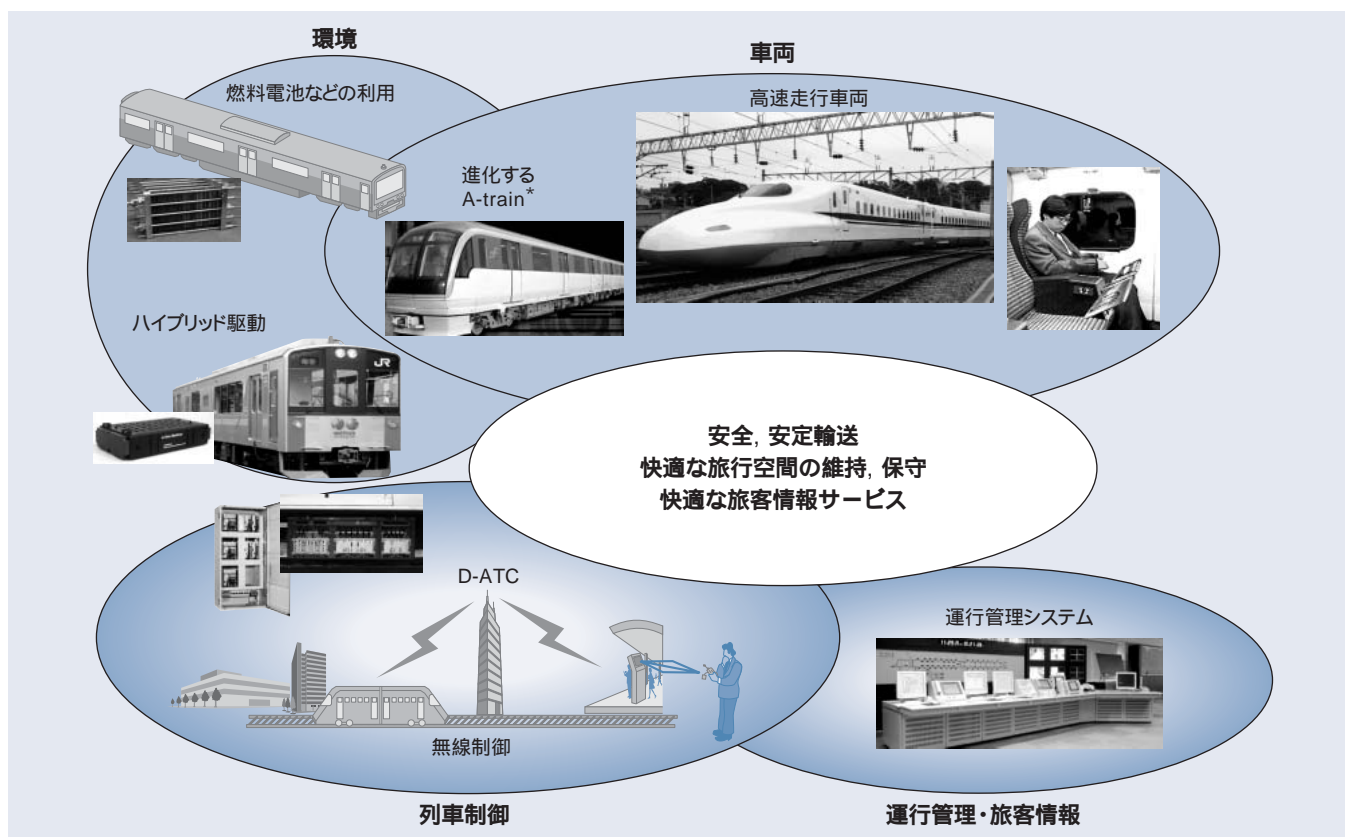
次世代鉄道システム構築のための 新たなソリューション

Leading-Edge Solutions for Next-Generation Railway Systems

和嶋 武典 Takenori Wajima

戸次 圭介 Keisuke Bekki

横須賀 靖 Yasushi Yokosuka



注:略語説明ほか D-ATC(Digital Automatic Train Control)

* A-TrainのAは、Advanced, Amenity, AbilityおよびAluminumを統合的に表したものである

日立製作所の鉄道トータルソリューションシステムの概要

日立製作所は、鉄道システムの次世代を切り開く車両システムや、信号システム、ITを用いたサービスソリューションの開発を通して、鉄道システムの進化を幅広く支援している。

鉄道システムは、環境に優しい中距離大量輸送機関として、世界的にその役割への期待が高まっている。それに応えるため、車両では、輸送の質の向上、環境性のいっそうの推進、ITを用いた情報提供など、制御では、無線などを利用したブロードバンドシステムにより、地上と車上を連携した高度制御などが求められている。

日立製作所は、鉄道総合システムインテグレーターとして、福岡リニア地下鉄七隈線や、つくばエクスプレスの鉄道システム、高度IT化を取り入れた旅客システムなどを実現しているほか、鉄道輸送システムのさまざまな面での質の向上と、高度なシステムソリューションの開発を進めている。

1 はじめに

鉄道は人にも環境にも優しい交通機関として、世界的にも今後の有効利用への期待が高まっている。多くの人々に鉄道を交通手段として選択してもらい、その社会的期待に応えるためには、鉄道の大きな特徴である安全かつ正確という点を発展させるとともに、利用者の視点

による多様な面で質の向上が望まれる(図1参照)。

旅行者が列車に乗車する前に利用するシステムとして、乗車券の発券や指定席の予約、運行情報を提供する旅客情報系サービスシステムがあり、情報処理技術の発展とともに充実が図られてきている。列車の運行を支える制御システムには、旅行者が乗車する鉄道車両に関するさまざまな技術、安全の根幹を支える信号シス

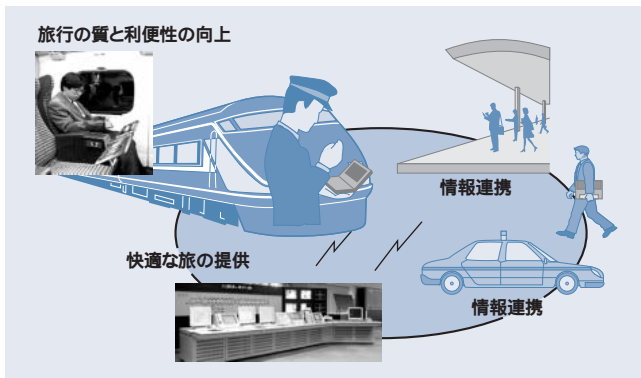


図1 便利で使いやすい鉄道システムの要件
鉄道は、安全で環境に優しい交通機関としての期待も大きく、利用者の視点に立ったシステムの進化が求められる。

テムや運行管理システムがあり、相互に連携した巨大システムとなっている。これらのシステムが効率よく機能することで、安全な旅行サービスを提供している。今後も、ITやデバイス技術の発展によってシステムは高度化し、旅行者にとっていっそう使いやすく、便利な鉄道システムへと発展するものと考えられる。

英国に始まった約180年の鉄道の歴史では、その時代時代に応じて、鉄道システムを構成する機能の向上が図られてきた。現在は、地球環境問題や大都市圏での交通渋滞問題解消への期待など、社会的な役割が見直され、いっそう多くの人々が鉄道を快適に利用できるようなシステムの開発が望まれている。

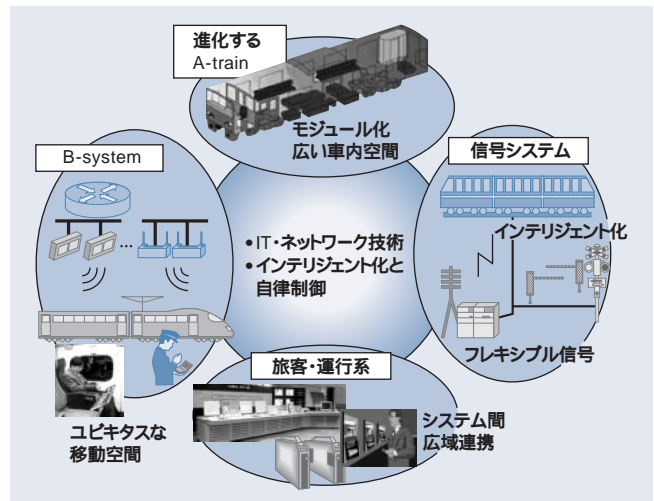
ここでは、日立製作所が提案する鉄道システムの開発への取り組みと、最近のソリューションについて述べる。

2 次世代鉄道ソリューション

日立製作所は、1924年の電気機関車の製造に始まり、以来、鉄道のさまざまな分野に範囲を広げ、システムを提供している。電子技術やネットワーク技術などをいち早く取り入れ、これまで、指定券の予約を行う大規模オンラインシステムや運行管理システムなど、旅客サービスの充実や安定運行を支えるシステムを開発してきた。

また、車両では、A-train(AはAdvanced, Amenity, AbilityおよびAluminumを統合的に表したもの)のコンセプトの下に快適性などの品質向上を目指し、情報制御系では、ブロードバンドネットワークを活用するB-systemのコンセプトを掲げ、制御と情報を統合する鉄道ブロードバンドサービスの提供を進めている。信号分野でも、D-ATC(Digital Automatic Train Control)や電子連動装置などで、ITを活用したシステムを実現している。

今後開発するシステムソリューションのコンセプトは、IT・ネットワーク技術によって個々に開発されてきたシステムを融合させ、以下のような新たなサービスの提供や質



注:略語説明 B-system(Broadband Network System)

図2 新鉄道システムの開発コンセプト
車上システムから地上システムまでをITを用いて連携させ、高品質化と利便性の向上を実現する。

の向上を目指すことにある(図2参照)。

- (1) 進化するA-trainとB-system:低コストで広く高品質な車内空間を提供し、B-systemと連携した車内での情報サービスなど、ユビキタス空間の提供
 - (2) 信号システム:車上制御のインテリジェント化のほか、地上・車上連携強化による、安全かつフレキシブルな信号システムの実現
 - (3) 旅客・運行系システム:各旅行者個人に必要な情報の適切な選択による提供や、運行状況に合わせていち早く適切な対処を促すなど、インテリジェント化の推進
- これらの開発で、快適性、経済性、安全高密度運行、経営効率の向上や、保守性の改善を図っていく。

3 車両を取り巻く新たなソリューション

3.1 進化するA-train

日立製作所は、A-trainの提案によってすでに延べ1,000両を超す受注実績を上げており、さらに最新技術の開発に取り組んでいる。高精度な車両構体を実現するFSW(Friction Stir Welding:摩擦かくはん接合)を用いたアルミダブルスキン構体と、モジュールギ装という基本コンセプトを進化させたトリプルスキンによって、さらに薄い遮音・断熱構造の実現を目指している(図3参照)。また、従来の車体の製作では大きくは取り上げられなかった、床下機器の取り付け構造にも着目し、インバータの構成までを考えた、次世代車両に求められるソリューションの実現に向けて開発を進めている。

さらに、A-trainでは、英国 HSBC Rail(UK)Ltd.との納入の正式契約を交わし、国際的な車両規格に対しても十二分に適合できるように開発を進めている。例えば、衝突安全性の向上、生存空間の確保、クラッシュアブル

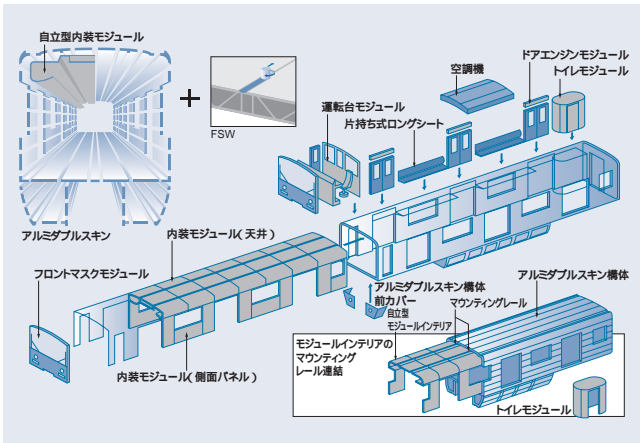


図3 福岡市交通局七隈線の3000系車両(A-train)の概要
アルミダブルスキン構体からトリプルスキン構体への進化と、電気品までを含めたモジュール化の推進が特徴である。

ゾーンによる衝突エネルギー吸収構造の規格への対応などである。

また、車両電気システムとしては、インバータに関する技術向上をはじめ、東日本旅客鉄道株式会社と共同で、ディーゼルエンジンと二次電池を用いたハイブリッド駆動技術の開発を進めてきた。この技術は、世界的にはまだ気動車方式の車両が多いことから、環境対応のソリューションとして大きな期待が寄せられている。

3.2 ブロードバンド時代のB-system

政府が推進しているe-Japanやu-Japanなどにより、ブロードバンドITは一般社会の基盤技術として定着してきている。特にu-Japanでは、2010年の社会生活で、情報通信技術によるさまざまな社会サービスの実現を描いている。

情報通信技術は、旅客情報サービスや、電車内でのメールの利用などにとどまらず、制御の分野や信号の分

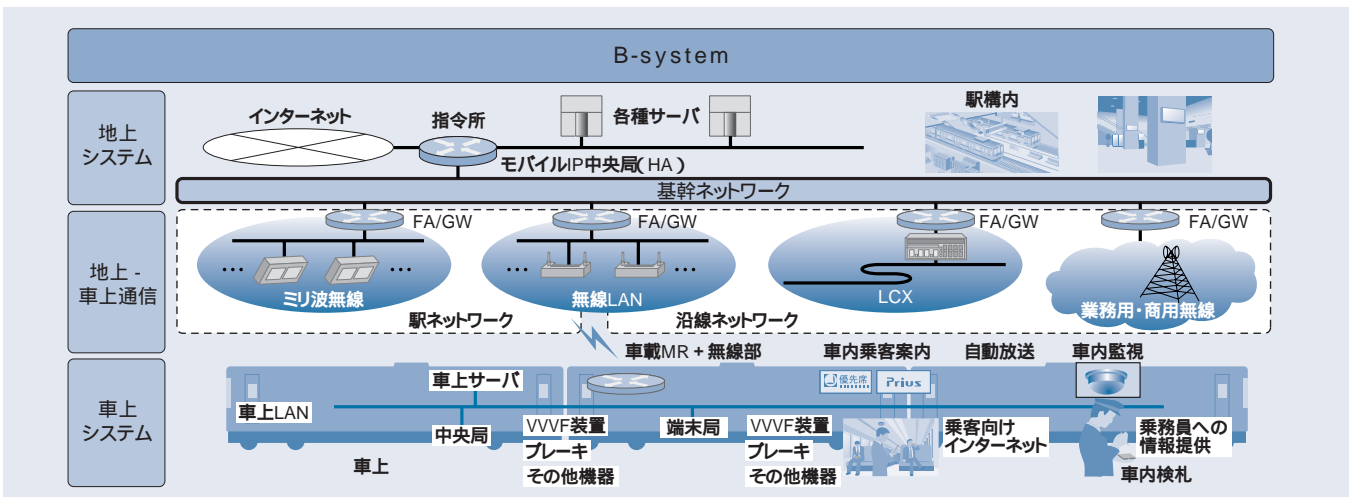
野でも利用が始まっている。ブロードバンド通信により、例えば車両制御では、これまで物理的に異なる通信線を用いていた高度な制御と、情報サービス用の大量の情報伝送も同一のラインを用いて信号が授受できるようになる。また、従来、地上と車上間の移動体通信は、業務上必要最低限の通信を支援するものであった。しかし、近年の無線LAN(Local Area Network)技術や移動体通信技術の発展により、移動中の列車内でも高品質な通信サービスが受けられる環境が整備されつつある。日立製作所は、車上の各機器や地上システム間を高速・大容量のネットワークで結ぶことで、制御と情報を統合する効率的な鉄道システムをB-systemと名付け、開発を推進している(図4参照)。

4 信号システム

4.1 車上主体型信号システムの開発

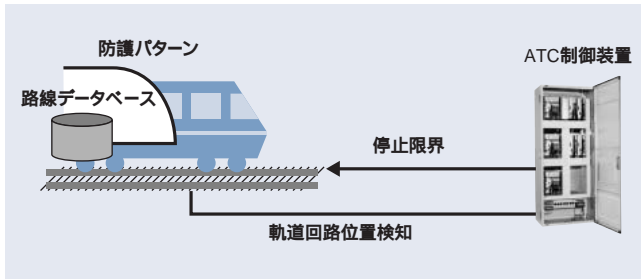
信号システムでも、デジタルATCの実用化など、ITの導入を進めている。デジタルATCのシステムは、車上に路線データベースや防護パターンを保持し、軌道からの停止限界信号に従って、車上で防護パターンを発生させて列車を防護するものである。このシステムは、車上と地上のインテリジェント化を進めた先駆的なシステムと考えられる。列車の位置検知は軌道回路により、地上側で安全に走行できる停止限界を算出し、軌道を通して列車に通知する。列車では、受信した停止限界に基づいて走行パターンを生成し、自律的に走行するというものである(図5参照)。

今後、車上がさらにインテリジェント化されることで、車上の自律性が進んでいくものと考えられる。列車制御システムとしては、全体の安全性を管理する地上システム



注:略語説明 IP(Internet Protocol), HA(Home Agent), FA(Foreign Agent), GW(Gateway), LAN(Local Area Network)
LCX(Leakage Coaxial), MR(Mobile Router), VVVF(Variable Voltage, Variable Frequency)

図4 ブロードバンド通信による情報化例(B-system)
地上から車上までをブロードバンド通信で結ぶことにより、地上と車上の連携強化と、車内での快適な情報サービスを提供する。



注:略語説明 ATC(Automatic Train Control)

図5 D-ATCの制御概念

D-ATCでは、列車は軌道回路から停止限界信号を受信して、安全に自律走行する。

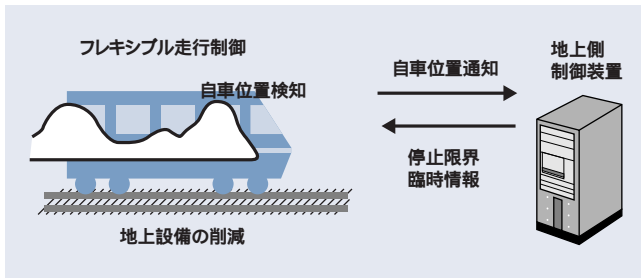


図6 地上・車上協調型信号システムの概要

車上で自車位置検知し、地上側制御装置から伝達される信号情報に従って安全に、フレキシブルに走行する。

と、安全が保証された範囲を自律的に走行する車上システムに機能分担され、地上・車上間通信により、地上・車上が協調したシステムに進むものと考える。

基本システム構成例としては、車上で位置検知した結果を地上側に伝達し、地上装置では、各列車に対して安全に走行できる経路の停止限界位置や臨時の情報を通知する。受信した各列車は安全に自律走行し、ダイヤやそのときの運行状況、旅行者のニーズに合わせて安全かつフレキシブルに走行できるシステムの実現を目指す。このためには、移動体通信技術の向上や安全な車上位置検知技術の確立が必要であり、日立製作所は、このための技術開発を推進していく。また、この開発を進めることで地上設備の削減もでき、コストを抑えながら、さらに高品質な信号システムを提案できるものと考え(図6参照)。

4.2 ネットワーク化による駅信号制御

駅での転てつ器制御や信号制御用に、ネットワーク通信を用いた制御方式の開発を進めている。従来、駅では、機器室のフェイルセーフ機器に機能を集中させ、機器室から現場の各制御機器に制御線を個別に接続し、進路の転換や信号灯を制御していた。このため、機器室から各制御対象装置までの駅構内配線が膨大になり、施工や保守の面で課題があった。この課題に対応するため、東日本旅客鉄道株式会社と共同で、機器室から現場機器までの配線をネットワーク化する方式を開発した。具体的には、制御対象機器側にフェイルセーフ

な端末装置を設置し、機器室の制御装置とネットワークを介して制御に必要な通信を行う。駅の改修や新設時に地上に配線する制御ラインの本数は、電源ラインも含め、大幅に削減できると期待されている。端末の小型化と低コスト化を進め、さまざまなタイプの駅に共通して展開できるように引き続き開発を進めている(図7参照)。

5 連携拡張する情報制御・旅客系システム

5.1 連携拡張する情報制御システム

新線建設に対応した輸送管理システムや自動運転システムなどについて、以下のシステム導入を行った。

(1) 2004年3月13日に開業した九州新幹線の輸送管理システムを実用化した。輸送指令の中枢を担う運行管理システムのほか、輸送計画管理、旅客案内などのシステム開発を担当した。信頼性向上のため、運行管理システムでは、FTC(Fault Tolerant Computer:無停止型コンピュータ)を使用し、列車番号照合と軌道回路追跡を実施している。

また、九州新幹線特有の運転形態として、新八代駅で在来線特急との乗り換えが発生する。利用者が不便を感じることなく乗り換えができるようにするためには、新幹線と在来線の運行情報の密な連携が必須である。そのため、在来線とのインタフェース装置を開発して連携を実現し、接続制御や接続案内を実現した。この装置で既存システムへの影響を最小化しつつ、ダイヤ情報と運行情報を共有させ、旅客情報サービスの質の向上を実現している(図8参照)。

(2) 2005年2月3日に開業した福岡リニア地下鉄七隈線用には、全自動運転システムを開発した。わが国では、地下鉄の全自動運転はこれまで実施されていなかった。

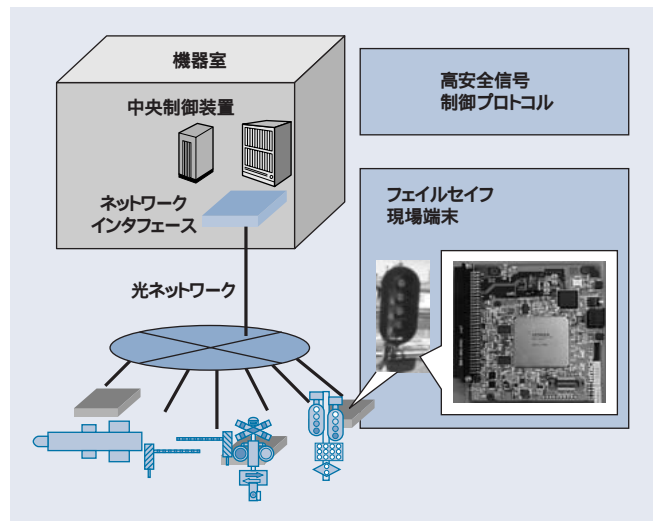
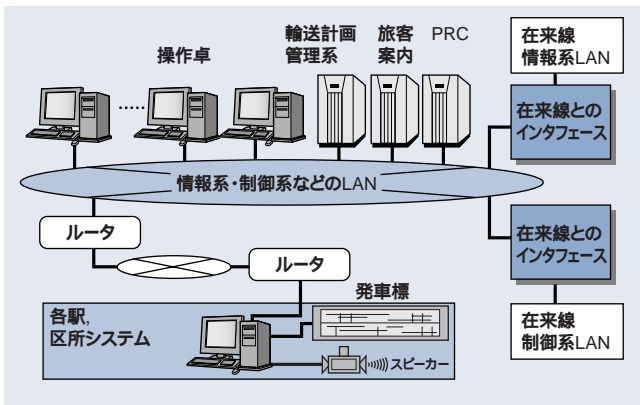


図7 ネットワーク信号システム構成例

光パッシブネットワークの安全な使用手法と小型フェイルセーフ端末を開発し、駅での配線数を大幅に削減する。



注:略語説明 PRC(Programmed Route Control)

図8 九州新幹線輸送管理システムの概要

在来線とのインタフェースを開発し、新幹線輸送管理システムと既存在来線輸送管理システムの改修を最小化して連携させた。

その主な要因としては、大量輸送、地下のトンネルでの異常事態への対処の懸念などが考えられる。全自動運転を実現させるためには、駅間に列車を停車させないこと、乗客に不安を与えないこと、さらに、走行の安全を確保することが必要である。この要件から求められる基本機能を表1に示す。

このために、地上と車上の双方向の情報伝達機能を整備した。これにより、車上側で機器の状態監視や支障物検知、異常振動検知などを行い、速やかに運輸指令に送信できるようにしている。また車上では、冗長構成による信頼性向上、走行のバックアップ、指令からの再力行指示のほか、安全な全自動運転を実現するための技術を開発した。

(3) モノレールシステム

日立製作所は、跨(こ)座式モノレールのトータルサプライヤーとして多くの実績を重ねている。2005年6月、中国・重慶市で開業した中国初の都市型モノレールには、日立製作所が車両や電気品ほかを製作し、納入している(図9参照)。

長年にわたって開発を重ねてきている運行管理システムや変電システムといった地上側システムも含めて、今後は、海外に向けて積極的にシステムを展開していく考えである。

(4) つくばエクスプレスの最新鉄道システム

2005年8月に開業した「つくばエクスプレス」用に、日立製作所は、TX-2000系車両を納入し、さらに、可動式ホーム柵(さく)や運行管理システムなどの構築に携わった(図10参照)。車両では、最新のアルミダブルスキン構体を採用し、静粛性と強度を高め、安全で快適な環境を実現している。また、ワンマン運転を実現するために、可動式ホーム柵や、停止位置精度を高めるATO(Automatic Train Operation)機能を実現し、旅客サービスの向上策として旅客放送や案内の充実を図っ

表1 地下鉄の全自動運転に求められる機能

求められるこれらの安全機能を実現し、全自動運転を実現している。

地下鉄全自動運転システムに求められる機能
(1) 走行中の車両を駅間に止めない手段と、止まった場合でも次駅まで走行が可能な手段を講じる。
(2) 車両走行に直接関係する装置については、二重系または2ユニット構成とし、1系または1ユニットが止まっても機能を維持できる構成とする。
(3) 深線停電による駅間停車などで補助電源装置が停止した場合、主要な機器については「運転機能」、「運輸指令との連絡機能」、および「乗客に不安感を与えないための機能」を喪失しない。
(4) 地上側保安装置については、主要な部分を多重系とし、系全体としてフェイルセーフ機構とする。
(5) 車両で異常が発生した場合、速やかに避難誘導などの処置ができる体制を整備する。



図9 中国・重慶モノレール

2005年6月18日に中国初の都市型モノレールとして開業した。



図10 つくばエクスプレスの車両とホーム柵

TX-2000系車両(左)と安全なワンマン運転を支えるホーム柵(右)を示す。

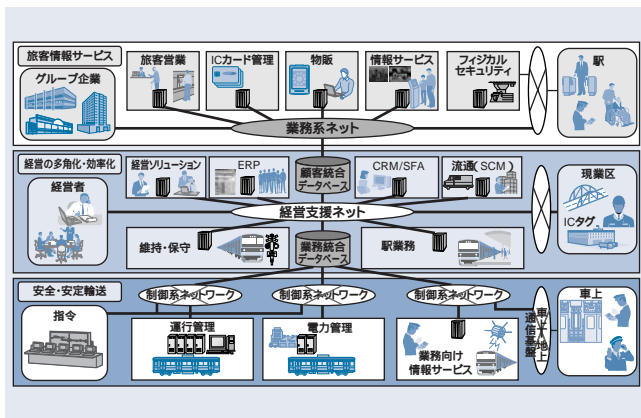
ている。これらの先進技術により、安心・快適で高品質な旅客輸送の提供を目指している。

5.2 利便性を追求する旅客系システム

5.2.1 旅客情報サービス

鉄道輸送サービスは、単なる交通手段の提供から、鉄道利用者の生活拠点を結ぶ動線上に快適な生活空間を構築し、顧客の日常生活を支えるものへと変わりつつある。

旅客サービスの中でも、車内でのさまざまな情報の提供は、注視率も高く、提供者と利用者双方に価値の高いものとなっている。そのため、車内液晶モニターや駅構内プラズマディスプレイなどを開発し、システムとして提供できる体制を整えている。上述した七隈線では、車内ディスプレイ配置もくふうし、効果的な広告情報が流せる



注:略語説明 ERP(Enterprise Resource Planning)
CRM(Customer Relationship Management)
SFA(Sales Force Automation), SCM(Supply Chain Management)

図11 旅客営業システムのトータルシステム化の概要
日立製作所は、旅客営業・運行系と経営システムのトータルシステム構築に取り組んでいる。

ようにしている。

5.2.2 旅客営業システムの今後の展開

JR座席予約システム“ MARS(Multiple Access Reservation System)”の実用化以来、日立製作所は、旅客営業システムのパイオニアとして、さまざまな最先端技術を開発してきた。電子チケットのID(Identification)管理システムの開発はその一例である。ユビキタス情報社会が到来し、鉄道の世界でも、ID乗車券の利用拡大、ICカード機能と複合したモバイル機器への対応へと進化し続けており、これらを実現するシステムとして、オープン基盤の利用が進みつつある。

日立製作所は、基盤となる旅客営業・運行・経営システムの情報システム構築ノウハウを生かし、トータルシステム化に向けたソリューションの提案に取り組んでいく(図11参照)。

6 環境調和型変電システム

最近の鉄道変電システムでは、環境調和、低損失、小型化、省保守化へのニーズが高まっている。これらに対応して、SF₆ガスレス化を図った環境調和型開閉器、シリコン液入変圧器、低損失化を図ったエコ整流器などを製品化している。また、ハイブリッド自動車と同じリチウムイオン電池を用いた、回生電力を有効利用する蓄電池式回生電力吸収装置を開発した。現在、現地試験を実施中であり、実現の見通しを得ている(図12参照)。

7 おわりに

ここでは、日立製作所が提案する新たな鉄道トータルソリューションの開発の方向性を中心に、実現してきたシステムなどについて述べた。

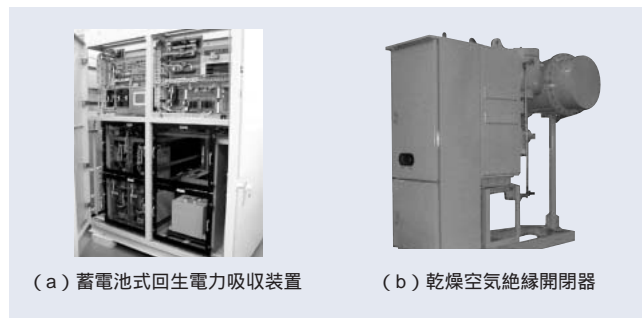


図12 地球環境に優しい変電装置の例
回生電力の有効利用の実現と、SF₆ガスレスを実現した代表的な環境調和型変電装置を示す。

今後、いっそう多くの人々が鉄道を快適に利用できるようにするためには、安全で正確な鉄道システムの提供に加え、さらに質の高いサービスを実現していく必要がある。世界的に見ると、わが国の技術は、欧州やアジアをはじめ、各国からの注目度も高く、ますますグローバルな展開が期待されている。

日立製作所は、今後も、鉄道総合システムインテグレーターとして、いっそう質の高いソリューションを提案していく考えである。

参考文献

- 1) 解良, 外: 鉄道システムの新しいトータルソリューション, 日立評論, 85, 8, 539 - 544(2003.8)
- 2) 解良, 外: 鉄道サービスを支える日立製作所のトータルソリューション, 日立評論, 83, 8, 504 - 510(2001.8)
- 3) 中村: 電気・電子技術の進化と鉄道, 鉄道と電気技術, Vol.15, No.1, 7 - 13(2004.1)
- 4) 澤田: 鉄道を他輸送機関と比較する, RRR, Vol.60, No.6, 2 - 5(2003.6)

執筆者紹介



和嶋 武典

1980年日立製作所入社, 電機グループ 交通システム事業部 車両システム本部 車両技術部 所属
現在, 車両システムのエンジニアリング取組とに
電気学会会員
E-mail: takenori_wajima@pis.hitachi.co.jp



戸次 圭介

1984年日立製作所入社, 電機グループ 交通システム事業部 輸送システムソリューション部 所属
現在, 鉄道システムソリューションの取組とに
工学博士, 技術士(情報工部門)
電気学会会員, 電子情報通信学会会員, 情報処理学会
E-mail: keisuke_bekki@pis.hitachi.co.jp



横須賀 靖

1984年日立製作所入社, 日立研究所 情報制御第2研
部 所属
現在, 鉄道情報制御システムの開発に従事
電気学会会員, 電子情報通信学会会員
E-mail: yokos@hrl.hitachi.co.jp