

新たな世紀において、利用客を鉄道に導き、鉄道を発展させていくためには、目的地に早く安全に、かつ快適にという公共交通機関としての基本的な要求実現はもとより、駅でのスムーズな乗降を可能とする駅務システムや個別ニーズに対応した情報を提供する新しいサービスなど、利用客の利便性・快適性を満足させるシステムの実現が要求されてくる。また、鉄道事業者においては、他の交通機関との競争が激化する環境において、各種機器の省エネルギー化、メンテナンスの省力化はもとより、環境調和への対応など、社会ニーズの変化に即応できる経営変革の実現が求められている。

これらの要求を実現させるため、当社は、高度の情報・通信・制御システム技術を融合させた鉄道トータルシステムを提供していく。

In order to accommodate increasing numbers of railway passengers and promote the development of the railway business in the 21st century, while fulfilling the basic role demanded of public transportation to carry passengers rapidly, safely, and comfortably, it is necessary to realize systems that can offer passengers satisfactory convenience and comfort such as automatic fare collection (AFC) systems which can make transfers smooth at stations, new information-providing services corresponding to individual requirements, and so on. Moreover, with the railway business now in a situation of intensifying competition with other means of transportation, a management revolution is required so that railway operators can conform with the changes in social needs such as by realizing energy saving for various types of equipment, labor saving in maintenance work, and harmony with the environment.

To achieve these requirements, Toshiba offers a railway total system that integrates information, communication, and control system technologies at the highest level.

■ 新世紀の鉄道システムへの期待

当社の交通事業は1999年に100周年を迎え、次の100年へ向け新しい鉄道システムへの展開を図るべくスタートを切っている。21世紀の鉄道事業においては、少子・高齢化による利用客数の頭打ち、規制緩和などによる同業他社及び他の交通機関との競争激化、省エネルギー・資源リサイクル化などの環境調和への対応など、様々な課題が出てきている。そのようななかで、既存事業の高付加価値化や運転、保守、駅務、間接業務の効率化、並びに新規事業・サービスの展開による新たな収入源確保などが事業強化として求められている。

これらの要求を実現し、効率的な事業運営を可能とするためには、最新のIT(情報技術)を利用した鉄道の

トータルシステム化は必至であると考えられる。

この特集では、これまで培ってきた社会インフラとしての鉄道関連基盤技術に、高度な情報・通信・制御システム技術を融合させた鉄道トータルシステムを提案し、それを支える当社のシステム技術の動向について述べる。

■ 鉄道トータルシステム

鉄道事業を取り巻く様々な課題を解決する手段として、IT革命と言われる最新ITの積極的な活用にあつては、期待が高まっている。鉄道システムにおいて、車両、電力、信号・制御の各システムは、それぞれにIT化、特にネットワーク技術の進展により、信頼性、効率向上を目指したネットワーク化が進められている。更に、ネットワークは、経営基幹系システムが

ら鉄道業務系システムまで、スルーしてのトータルシステム化へと拡張が進んでいる。

鉄道トータルシステムは、鉄道関連基盤技術に情報(コンピュータ)・通信(コミュニケーション)・制御(コントロール)システム技術を融合させ、鉄道事業領域をすべてカバーするシステムとなる(図1)。

また、鉄道関連事業領域においても、ネットワーク社会でのホテル・金融・流通などの業種との連携も視野に入れた鉄道サービスでマーケットを拡大する工夫も考えており、新たなEC(電子商取引)ビジネスをはじめとする新規サービス事業へ、ネットワークで結合する鉄道トータルシステムの構築に向かっている(図2)。

当社は、これらのネットワークに適用される高速・高信頼度のイントラネット構築用プラットフォームをはじめ

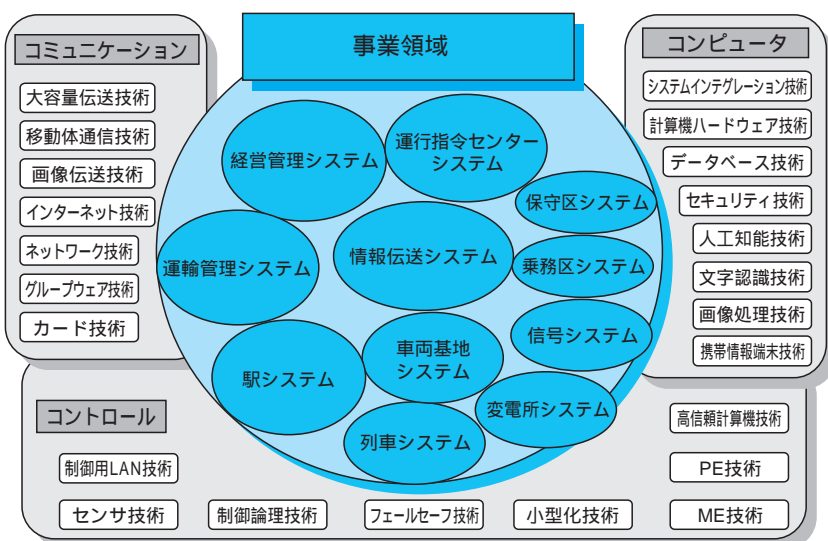


図1. 鉄道トータルシステムとコア技術 鉄道トータルシステムは、鉄道関連基盤技術に情報(コンピュータ)・通信(コミュニケーション)・制御(コントロール)システム技術のコア技術を融合させて、鉄道事業領域をすべてカバーするシステムである。
Integrated core technologies in railway total system

装置は、駅構内の信号機や転てつ器を制御する装置であるが、この装置でも汎用の情報技術をベースとしたフェールセーフ性を実現している。

更に、鉄道運行管理システム技術を活用して、高度道路交通システム(ITS: Intelligent Transport Systems)の一つである自動運転運行システム(IMTS: Intelligent Multi-mode Transit System)の開発にも参画している。このIMTSは、列車とバスの長所を併せ持っており、輸送需要に応じた複数台のバスの自動編成など、フレキシブルな運用が可能な新交通システムである。当社は管制システムを担当している。

また、自動ダイヤ作成技術をコアとして、ダイヤ作成、運転曲線作成、運用計画、乗降客推定などの各システムを統合した輸送計画システムは、運転関係業務の効率化が実現できるとともに、ネットワークを介して車両基地業務支援や乗務区業務支援システムと結合させれば、情報の一元化が図られ、より効率的な業務運用が可能となる。

■ 車両情報制御システム

東海道新幹線の次世代列車制御システムとして、新自動列車制御装置(ATC)システムの開発に参画している。マイクロエレクトロニクス(ME)技術を導入し、機器の電子化や最適な冗長系の構成による信頼性の向上を図るとともに、情報制御技術を駆使し、信頼度が高く大容量の情報伝送が可能なデジタル方式ATCの開発を進めている。従来の地上信号による段階的な減速パターンから、車上で列車・軌道条件から算出される1段階の減速パターンでブレーキを制御することにより、減速区間が大幅に短縮し、滑らかな減速が実現できる。これにより、運転密度向上と到達時間の短縮が可能になり輸送量が増大できる。既に現車試験も始められており、これらの結果をフィードバ

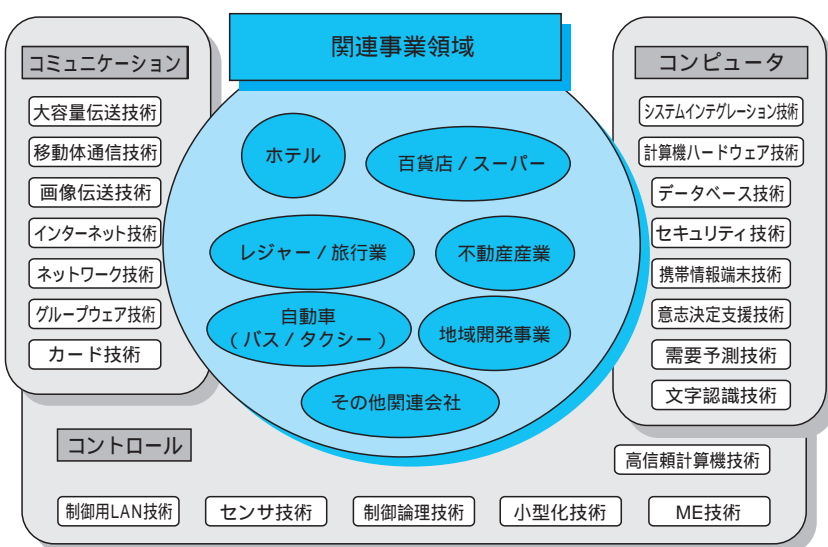


図2. 鉄道関連事業システムとコア技術 鉄道関連事業システムは、コア技術を融合させ、ホテル、金融、流通などの業種とネットワークで連携させた新たな鉄道サービス事業で、マーケットの拡大を図る。
Integrated core technologies in railway business system

とする最新のITを活用した各種ソリューションの提供、及び情報サービスの提供に取り組んでいる。

■ 鉄道業務システム分野

■ 列車制御システム

ITの進歩により、汎用情報技術が高信頼性、高安定性及び低コストの

特性を持つようになってきたため、運行管理システムにも汎用情報技術が適用され、高い拡張性を持つネットワークが構築されてきている。特に、新しいシステムでは、運行管理システムと信号保安システムとを融合させて、運転整理、車両指令、旅客案内などの制御を統合して行えるようになってきている。制御される電子連動

ックして、より完成度を高めていく予定である。

次世代車両情報制御システムとしては、これまで独立した制御系であった、力行(りっこう)/ブレーキ制御、ドア制御、主回路制御などを統合したシステムとし、制御指令伝送から乗客サービスまでの多機能化と、地上とをリンクしたシステムに発展していくと考えられる。従来の制御系のパラレル配線を伝送化することにより、機能を拡張しつつ引通し線の大幅削減が可能となる。

■ 車両駆動システム

近年のパワーエレクトロニクス(PE)の発展により、電管用駆動モータは、可変電圧可変周波数(VVVF)インバータと組み合わせた誘導電動機が主流となり、インバータに使用する半導体素子も高効率、コンパクトなIGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)が主流となってきている。交直流電気機関車においても、高効率、コンパクト性をねらい、国内で初めてIGBT素子を用いたパルス幅変調(PWM)コンバータ/インバータを搭載している。また、最新の新幹線にもIGBT素

子が採用されているが、更に高耐圧、低損失でスイッチング速度の速い、大容量素子の開発を進めており、主変換装置の小型・軽量化、並びに低騒音化を目指している。

一方、補助電源用定電圧定周波数(CVCF)インバータ異常の際、駆動用VVVFインバータの一群をCVCFインバータに切り換えて車両の運転を継続可能としたデュアルモードシステムにおいても、モータ個別制御タイプに加え、台車単位で制御する大容量タイプを開発し、通勤電車に採用され、今後の発展が期待される。

インバータ制御では、制御ループ構成が単純なすべり周波数制御方式に代わり、空転再粘着制御特性の改善を図るために、トルク制御応答が速いベクトル制御方式が本格的に用いられてきている。このベクトル制御を、2台の電動機を並列に制御する交直流電気機関車に適用し、目標とする空転再粘着制御特性を達成している。更に、既存のベクトル制御では、速度センサにより検出された信号に基づき制御しているが、回転軸に直結されている速度センサを不用にできれば、臙装(ぎそう)配線がなくなり保守

性が向上すること、並びに回転軸方向への誘導電動機の寸法拡大が可能となり、電動機の容量アップも可能となる。このため、速度センサを用いずにトルク制御を行う速度センサレスベクトル制御方式の開発を進めている。この方式による構内走行試験では、安定した特性が得られている。

■ 車両電気機器システム

近年、車両電気機器システムにおいては、快適性、環境調和、ライフサイクルコストの低減などのニーズが強くなってきている。

主電動機において、このニーズを満たすものとして、内部を汚さないでメンテナンス間隔が延長できる密閉型の誘導電動機の開発が盛んである。当社では、大出力用として従来の誘導電動機より高効率で、かつ回転子の発熱が小さい全密閉型永久磁石同期電動機を開発を進めている。また、軌間可変電車用への開発も実施している(囲み記事参照)。更に、新方式の高効率・省エネルギーのモータドライブシステムとして、永久磁石モータと同等に高効率な永久磁石リラクタンスモータ(PRM)の車両用

軌間可変電車

軌間の異なる在来線と新幹線との直通運転を可能とする軌間可変電車(GCT: Gauge Change Train)は、改軌工事をせずに旅客の利便性を高める方策として、その意義は大きく(財)鉄道総合技術研究所にて運輸省の指導の下、日本鉄道建設公団から委託を受け、その開発が進められている。軌間の変換は、地上の軌間変換装置上を低速で走行することにより、車輪がガイドに案内されて軌間の変更が行われる(右図)。

当社は、主変換装置、車両情報制御装置、軌間可変主電動機、電源装置、空調装置などを分担している。開発してい

る軌間可変主電動機は、軌間可変台車の構成を容易にするために、車輪と主電動機が一体にスライドできるアウトロータ構造の車輪一体型構造としている。同時に、ばね下質量を極力軽量化する必要があるため、アウトロータに永久磁石を採用した小型・軽量で高効率な永久磁石同期電動機としている。試作した軌間可変主電動機は、単体としての所定の性能を確認後、試験用電車に臙装され、現在アメリカのプエブロにある実験線で、高速耐久試験が進められている。

(写真提供:(財)鉄道総合技術研究所)



への開発も進めている。

電源システムにおいては、入力電圧や負荷変動のような外乱に対し、蛍光灯のちらつきを起さない制御方式、環境への適合性の高い水冷媒のヒートパイプ冷却器、並びに従来の2倍の寿命を持つクロスセグメント式オイルコンデンサを採用している。この装置は、運転台からの指令による自動試験機能があり、定期点検の時間を短縮し、省力化が図れる特長を持っている。

空調システムにおいては、車室内の快適性を高めるため、カレンダー機能による季節認識と車内温度、車内湿度、車外温度及び乗車率検知などの多パラメータから最適モードでの全自動運転可能な、高度な制御を開発している。また、冷媒はオゾン破壊ゼロの代替フロン(R407C)を適用している。

■ 電力供給システム

受変電設備などの電力供給システムは、運転本数の増加対策などで都市部に新たに設置されることが多く、環境に優しく、安全性、高信頼性、コンパクト性、並びに省エネルギー性が求められている。最近納入した多摩都市モノレールの受変電設備では、電力回生インバータを導入し、回生失効防止によるモノレールの回生ブレーキ安定性向上を図るとともに、余剰回生電力を駅設備などに供給して効率的なエネルギー利用を図り、省エネルギーを実現している。

また、受電、変電、給電、防災など、鉄道を支える電力管理・設備管理システムは、業務の効率化を図るため、遠隔地からの集中監視制御並びにリモートメンテナンスができるようネットワーク化されてきているが、主にリアルタイム性と信頼性の要求から現在は専用のネットワークにより構成されている。しかし、最近のインターネット技術の著しい進歩により、次世代の監視制御にはインターネットを適用

できる道が開けてきている。インターネット技術が適用できれば、オープン性が高く、他システムとの結合が容易で拡張性に優れること、並びにサーバの設置場所が制約されないなど、システム構成に柔軟性が増すとともに汎用機器・システムの適用が可能となり、種々のコストダウンが可能になると考えられる。

■ 鉄道メンテナンスシステム

メンテナンスは各装置個別の診断と処置が必要であり、鉄道システムではインフラストラクチャが沿線にわたって分散し、車両が移動体であることから、メンテナンスコストの鉄道経営に占める割合が大きく、事業強化のためにメンテナンスの省力化と効率向上が強く求められている。このようななかで、最新の計測技術、コンピュータ技術、情報技術を駆使し、ネットワークで結合されたメンテナンスシステムが、従来のメンテナンスを変えつつある。

例えば、車両における車両情報制御システムに、車両～地上間の無線データ伝送機能を付加させることにより、ネットワークを介して指令所や電車区などの遠隔地から車両運用時の状態監視ができ、故障発生時にはその異常情報からの故障判断により迅速な処置が可能となる。

また、車庫への入出庫時の自動計測による検査データや定期的な車両検修時の試験データなどをネットワーク化して、故障及びメンテナンスの履歴管理やメンテナンスデータの統計管理などができる車両メンテナンスデータベースを構築する。これにより、車両運用計画、車両検修計画並びに予備品などの資材管理などに反映でき、メンテナンスの大幅な省力化、効率向上と予防保全に役だたせることが可能となる。

当社では、車輪形状・制輪子計測装置、パンタグラフすり板摩耗計測装置などの自動計測装置をはじめ、デ

ータ伝送装置を導入したモニタリングシステムなどを実用化しており、今後ネットワーク化などのIT応用により、最適なメンテナンスシステムの提供に取り組んでいく。

■ 超電導磁気浮上式鉄道

21世紀の交通システムとして期待されている超電導磁気浮上式鉄道は、97年4月から山梨実験線で走行試験を開始し、2編成車両を用いての高速擦れ違い試験や、待避・追い越し試験、隣接変換所間の制御の受け渡し機能を確認する変換所渡り試験、5両編成走行による長大編成時の車両運動確認試験、高速連続走行試験など、各種の試験を実施している。最高速度は有人での552 km/h、擦れ違い時の相対最高速度は1,003 km/hに達している。これら3年間の実証試験については、ほぼ満足できる結果が得られており、実用化に向けた技術上のめどは立ったと評価されている。今後の課題として、長期耐久性と経済性向上のために、更に5年間走行試験を継続していくことが決定されている。

当社は、車載超電導磁石、地上コイル、電力変換器などの主要電気設備の開発に参画し、引き続き各種機器の信頼性、耐久性の向上、コスト低減を目指した開発を進めている。

■ 駅務システム分野

■ 第3次駅務システムから第4次システムへ

駅務システムは、鉄道の駅に設置され乗車券類を発行する出札機器(自動券売機や定期券発行機など)と、乗車券類の改札を行う改札機器(自動改札機など)、並びに各機器とネットワークで結合された上位システムの総称で、一般的にこのシステムを構成する各機器が駅務自動化機器と呼ばれる。

現在、わが国で使用されている駅

務システムは、89年から導入が開始された第3次駅務システムで、第1次システムは71年から、第2次システムは78年から導入が開始されており、おおむね10年ごとに新規システムにリプレースが実施されてきている。第3次システムの特長は、第2次システムまで使用されていた磁気記録方式である低保持力のNRZ(No Return Zero)方式に替えて、当社が高速道路向けの通行券で開発した高保持力記録技術を活用して、高密度(105 bpi)・高速処理(搬送速度2 m/s)方式を開発し、磁気消えの問題を解消してストアードフェア(SF)カードの処理を自動改札機で可能とした点、自動改札機の不正防止機能が拡充された点、並びに収入金管理システムを中心とするシステムインテグレーションが促進された点である。

現在、第3次システムのスタートから10年以上が経過し、初期に導入された機器の耐用年数が残り少なくなっている。また、世の中のネットワーク化、オープン化を中心とする技術の急速な進歩に伴う駅務システム機能の大幅な向上の要求、機械的に“出改札”の機能を実施するのではなく、利用客にとって使いやすく快適で、また、弱者にも優しいシステムへの要求が高まっており、一部新しい機能を持った駅務機器の導入が開始されている。流れは、第3次システムから第4次システムへと動きつつあり、ちょうど過渡期にあるとは言え、今後急速に第4次システムへのリプレースが加速されると考えられる。

このような要求を達成するために、第4次システムでは、多くの機能強化を図っている。利用客が複数枚の乗車券を同時投入することにより精算処理を可能とする自動改札機、無線ICカードの利用により乗車券を投入せずに通過できる無線自動改札機を核とする無線ICカードシステム、複数の鉄道会社及びバス会社共通に使用できる共通SFカードシステム、利用

客の利便性・快適性を追及したヒューマン インタフェース(ポールレス自動改札機や各機器のカラー動画表示など)、複合機能化、オープン化対応などが特長的な機能となっている。今後のリプレースの進捗(しんちよく)に伴って駅務システムの大きな変革が期待される。

■ 第4次システムの課題と技術

更新期を向かえた第4次システムの課題は、利用客の利便性や快適性を追求した、使いやすいバリアフリーシステムの実現であり、一方鉄道事業者側からは、運用が簡単で、設備投資効率が高いシステムが求められている。この課題を実現するために開発、採用されている技術について次に述べる。

(1) 複数枚同時投入処理技術

SFカードの登場は、精算機や券売機を利用しないで自動改札機を通過できる利便性の高いシステムを実現したが、従来の自動改札機には複数枚の券を同時処理する機能がなかったため、SFカード以外の券との組合せ利用は不可であった。当社では、この課題を解決するために、複数枚同時投入処理技術を開発し、新型の自動改札機に採用している。

この技術の達成には“判定処理の高速化”、“複数枚投入券の分離搬送処理機構・取出し機構”などの新しい要素技術が開発された。これにより、利用客が自動改札機を通過している間に、同時投入した複数枚の乗車券類(乗車券とSFカード)の不足運賃が精算され、精算機を必要としないスムーズな通過が可能となる。また、この複数枚同時投入処理技術は、二つの鉄道会社間をまたぐ乗換え時に、両社の乗車券類を同時投入・処理する連絡用自動改札機にも適用され、連

絡判定を自動化しスムーズな乗換えを実現している。

(2) 共通SFカード処理技術

当初、SFカードは、鉄道会社ごとに別々のカードが使用され、1枚のカードで複数の鉄道/バスを乗り継ぐ連絡運輸のできないものであったが、旅客の利便性を高めるために、複数鉄道会社間で自由に乗継ぎ使用ができる共通SFカードシステムが開発された。

関西においては、既に実用化され、関東においても2000年中に本格運用に入る予定である。今後、鉄道会社間のバウンダリレスな乗継ぎ自由化は広範囲に拡大していくことが予想される。

(3) 無線ICカードシステム技術

乗車券を投入せずに通過できる無線ICカードシステムは、開発フェーズを完了し、2001年の実稼働開始へ向けた準備段階に入っている。当社においても国際規格である、ISO Type B, Cの両仕様に適合するICカードリーダー/ライタをはじめとする無線技術を確認し、製品化・システム化開発を推進している。

無線ICカードの利用時には、1件別利用明細データが発生し、従来システムと比較し、取り扱う情報は飛躍的に増加する。このトラヒック増加を処理可能なシステム構築が求められ、高性能CPUや汎用基本ソフトウェア(OS)、データベースをはじめとする端末の情報処理能力アップや、駅の情報インフラを強化する目的での新型データ集計機、クライアント/サーバシステムを中核とする基幹システムの開発に取り組み、飛躍的に情報処理能力を向上させている。

(4) マルチ発券処理技術

駅は、多様なサービス向上に取り組んでいる。その一例とし

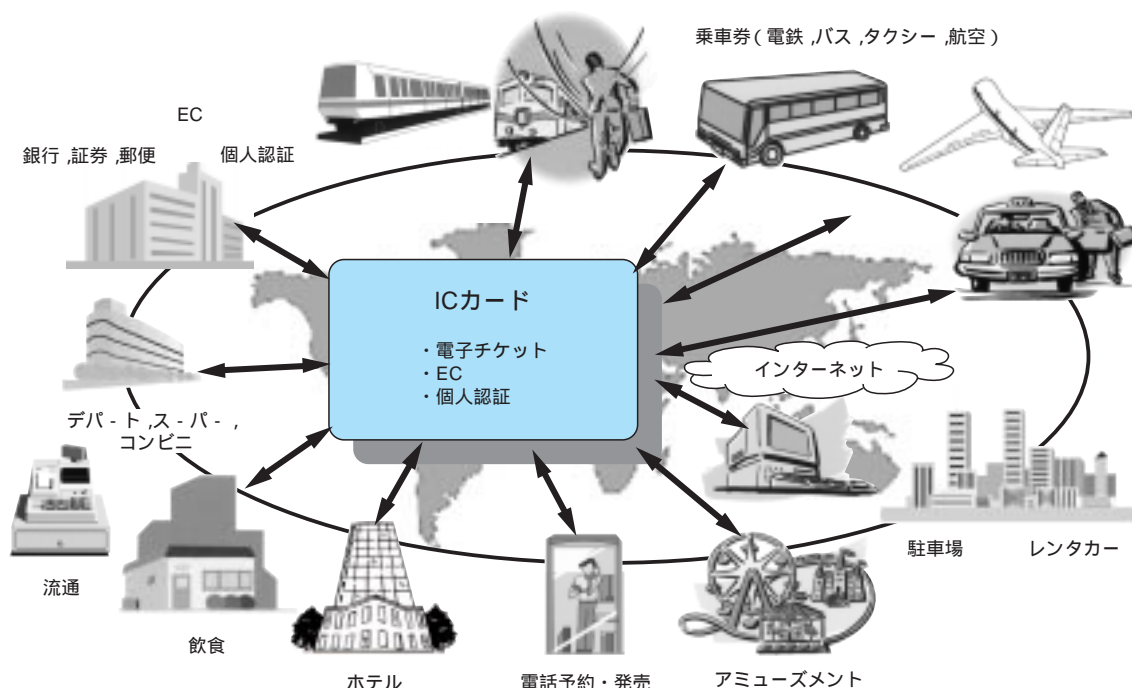


図3 . IC カードシステムの将来イメージ 将来のICカードシステムは、応用範囲が駅から周辺生活地域へ広がる。
Image of future IC card system

て、自動機による取扱い時間の拡大、定期券や企画券、SFカードの各駅での発売、決済手段としてのクレジットカードやデビットカードの採用が進められている。

これらニーズに対応するため、当社では、マルチ決済手段（現金、クレジット、デビット）、マルチ券種発売（普通券、定期券、SFカード、企画券）機能を搭載した自動発売機や係員発行機を開発し導入が進んでいる。これらマルチ機能搭載の券売機は、旅客へのサービス向上になるだけでなく、従来の単機能機に比べ、券売機設備の稼働率向上による台数低減からスペース削減や設備投資の効率向上などの効果が見込まれている。

■ 将来システムの展望と課題

無線ICカードが、将来の駅務システムへ与えるインパクトは非常に大きい。特に、従来の乗車券が物理的な

チケットであり、その販売方法や利用方法、取扱い機器には物理的な制約が常に存在していた。

現在、導入が進んでいる第4次駅務システムは、これらの物理的チケットと、無線ICカードによる電子的チケットを併用するシステムと言えるが、今後は電子チケットの応用範囲と利用可能機器が急速に増加することが予想される。

人が集まる駅は、交通・生活・サービス・都市機能の融合の場としてハブステーションの役割が期待されている。無線ICカードシステムに求められる機能は電子チケットとしての役割に留まらず、実用化が進むECや個人認証技術との結合による、よりいっそうのパウダリーレス化による広範囲な生活分野への展開が期待されている（図3）。

■ 鉄道システムの発展に向けて

ここでは新たな21世紀へ向けての

鉄道トータルシステムの提案と、それを支える鉄道業務システムと駅務システムにおける技術動向について述べた。

当社は、鉄道利用客の利便性、快適性を実現するサービスの質の向上とともに、鉄道経営の効率向上を可能とする最新ITを活用したソリューションの提案を行い、よりいっそうの鉄道の発展に貢献していく所存である。



弘瀬 憲章
HIROSE Noriaki

情報・社会システム社 交通システム技師長。
Information and Industrial Systems & Services Co.



中川 竜一
NAKAGAWA Ryuichi, D.Eng.

情報・社会システム社 機器システム技師長、工博。日本機械学会会員。
Information and Industrial Systems & Services Co.