

鉄道システム技術の動向

Trends in Railway System Technologies

大山 滝夫 宮下 武彦

OHYAMA Takio

MIYASHITA Takehiko

21世紀の鉄道事業においては、情報化などのIT(情報技術)化社会への対応のほか、CO₂(二酸化炭素)排出量削減などの環境保全への対応や交通バリアフリー推進、少子高齢化への対応などの社会的課題が従来にも増して重要になっている。特に鉄道システムは、エネルギー効率が良く、環境に優しいシステムと言われてきたが、近年、自動車分野でも燃料電池応用やハイブリッド技術応用による低公害への取組みが急速に進んでおり、この技術は鉄道分野にも波及されつつある。ここでは、ほかの交通機関との協調と競争のなかで、東芝における鉄道システム及び駅務システムについて“人と環境に優しい交通システム”への取組みと最新の技術動向について述べる。

Various social challenges facing the railway business in the 21st century are becoming increasingly important, such as responding to the information technology society, reduction of CO₂ emissions for environmental conservation, promotion of barrier-free transportation systems, and coping with the declining birthrate and growing proportion of elderly people. Railway systems are often considered to be energy-efficient and eco-friendly systems. At the same time, however, efforts to reduce pollution through the application of fuel cell technology and hybrid technology have been rapidly progressing in the automotive field. This paper describes Toshiba's latest technical trends and efforts to realize "human-friendly and eco-friendly transportation systems" for railway and automatic fare collection systems, taking into consideration both competition and cooperation with other transportation systems.

21世紀の鉄道システム

社会環境の変化と波

21世紀の鉄道事業においては、少子高齢化による利用者層の変化、鉄道サービスにおける変化(交通バリアフリー推進、量から質への転換)及び省エネルギー、低騒音、CO₂排出量削減などの環境問題への関心が高まっており、具体的な対応が求められている。また、IT革命はネットワーク化された広範な情報通信をはじめとして、携帯情報端末による予約システム、IC無線カードによる出改札や運賃支払いなど、日常生活まで大きな変革をもたらしつつある。

一方、鉄道システムはほかの交通機関に比べ環境に優しい(交通機関で排出するCO₂の5%以下)と言われており、駅までのアクセスや乗り換えなど、ほかのシステムを含む交通事業全体で人と環境に優しく利用しやすいシステム(モーダルシフト、パーク&ライドなど)

の実現が求められている。

東芝は、これまでに培ってきた幅広い技術を応用し、車両、電力、情報・通信から駅務機器システムまでをカバーする鉄道トータルシステムメーカーとしての強みを生かし、これらの社会的及び鉄道事業者のニーズに応えるため積極的に取り組んでいる。

この特集では、以上のような背景を踏まえて、各分野における当社の提案と最新の技術動向について述べる。

車両システム

駆動システム、補助電源システム、空調システムなどの各システムは、従来の個々のシステムから車両トータルシステムへ移行してきている。この背景には、近年のパワーエレクトロニクスの発展により、鉄道車両の駆動モータが、1980年代までの直流電動機から誘導電動機をはじめとする交流電動機方式に全世界的にほぼ移行したことが挙げられる。大容量半導体素子もGTO

(Gate Turn-Off thyristor)からIGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)に移り変わり、更なる高効率化とともに、素子のスイッチング周波数の高周波化により、主変圧器、主電動機の低騒音化が図られてきた。既に4.5~6.5kVの高耐圧素子も実現していることから、低損失化と併せて今後の発展が見込まれている。またSiC(炭化ケイ素)を用いた半導体素子の開発も開始され、今後の高効率化と高周波化により更なる低損失化が期待できる。

半導体素子の大容量・高速スイッチングに対応するものの開発により、制御システムの高速度と合わせて瞬時値トルク制御が実現されるなど、高出力と高けん引力を必要とする機関車システムへの適応が顕著である。当社においても、高出力で保守の省力化が可能なインバータ制御方式の機関車を開発しており、電気式ディーゼル機関車、交直流電気機関車、直流電気機関車をそろえ、国内ほとんどの線区に対応できる

ようになるなど、鉄道システムの技術革新においてその恩恵は大きい。

最近の技術進歩が著しい駆動システムとしては、その主要コンポーネントである主電動機が挙げられる。メンテナンスフリー化、小型・軽量化、高効率化に加え、都市圏を中心とした沿線環境への配慮としての低騒音化、社会的貢献としての省エネルギー化に対する要望も高まっており、このような要望に応えるべく、当社では次世代車両用主電動機として、用途に応じて全閉自冷型主電動機、全閉外扇型主電動機、永久磁石を利用した高効率型同期電動機、ダイレクトドライブモータ (DDM) などの開発を進めている。

■ 列車制御・車両情報制御

最新鋭の電車の中核を担う列車制御・車両情報システムは、電車の運転指令や保安システム、機器の制御と状態監視、乗客サービス機能などを集約し、高速伝送システムとソフトウェアで成り立っている。

従来の鉄道制御専用ネットワークから、汎用性があり拡張性に優れたブロードバンド化への要求が高まっており、当社では既に10 Mbpsのメタル伝送を開発し、次世代車両情報システムのベースとなるものを完成させた。このシステムは、拡張性を考慮し、デファクトスタンダードを取り入れ、車両の安全・信頼性と両立するシステムとなっており、来るべきブロードバンド化への1ステップとなっている。

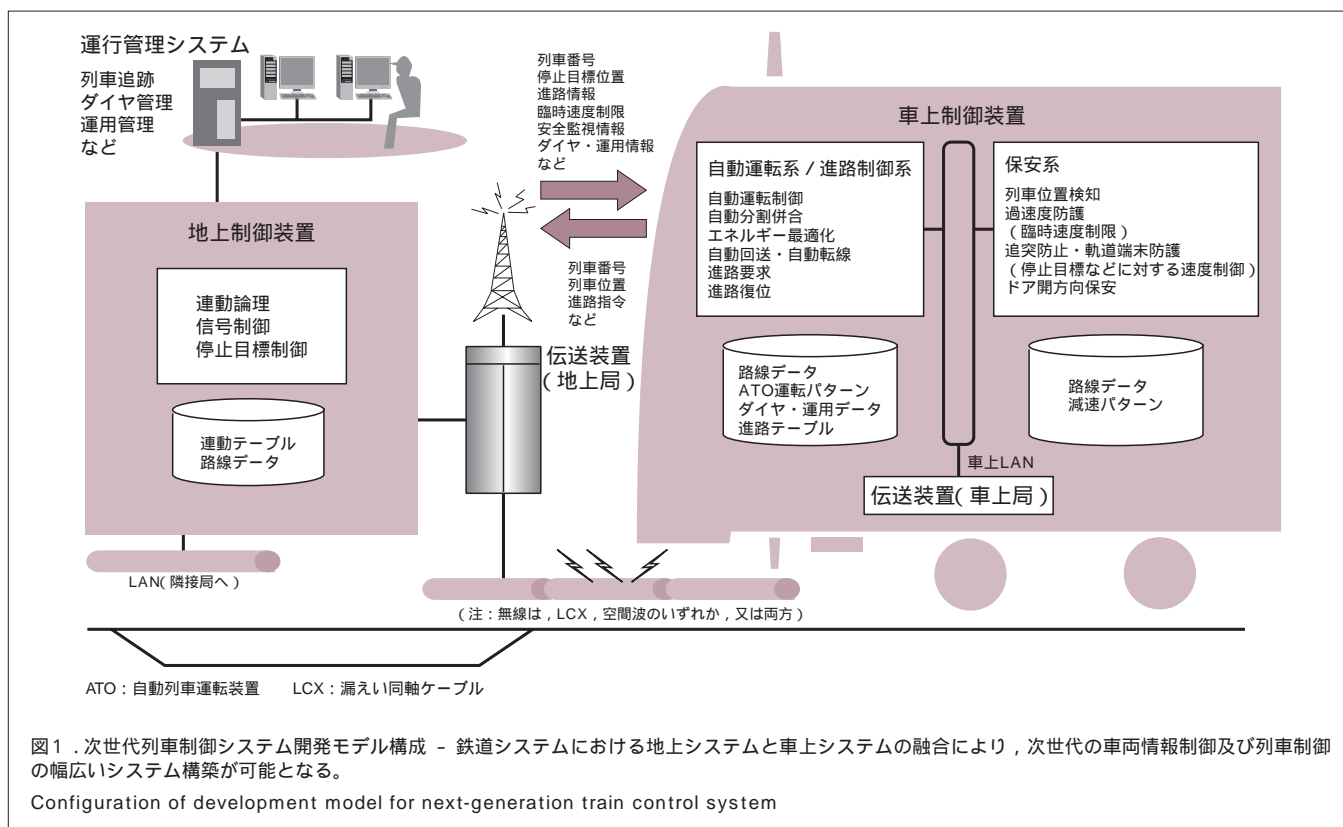
また、広帯域の伝送システムは、柔軟で堅固な車両システムを基本としながら、シームレスな地上 - 車上間通信の適用も合わせると、画像を使った監視システム、乗客への移動体を感じさせない情報サービスなどが実現する (図1)。

更に、地上にいながらにして車両の健康診断ができるような、リモートメンテナンスシステムも現実のものになると思われる。

最近の車両情報技術の一例として、列車位置情報の管理を行うため、GPS

(Global Positioning System) と公衆パケット通信網を利用した列車位置情報システムがある。これは、鉄道事業者のニーズを反映させた開発を進め、データの構築及び共同実験運用を進めているもので、列車ダイヤ乱れ時の混乱の抑制を支援するシステムとして、今後のシステム技術の主力となるであろう。これらシステムは、まだ実験段階のものもあるが、鉄道事業者と共同して早期に実現し、鉄道の利便性向上の一役を担えればと考えている。情報システムに関しては、これまで数々の鉄道輸送業務システムの開発・製作で培われた知識を生かし、とりわけ現場・現業系の抱える課題について理解を深めて、当社グループの持つパソコン (PC)、携帯端末、ネットワーク、無線アクセス、セキュリティ、マルチメディアなどの技術、あるいは外部の技術をシステムインテグレートして、更に先を見た鉄道業務モバイルシステムの開発を進めていきたい。

これらの情報システム技術は日々進



歩しており、最新の技術をいち早くシステムに反映し、使い勝手を向上することで輸送業務革新に貢献したい。

■ 受変電機器・監視制御装置

国内の主要路線はほとんど電化が完了しているが、首都圏や新幹線を中心とした列車本数の増加やスピードアップに伴う変電所の容量アップ、既設機器の更新、制御や保守の省力化のニーズが根強く、当社においては、PE (Power Electronics) 及び ME (Micro Electronics)、メカトロニクス技術を駆使した総合技術力で対応している。

また、近年は環境に対する十分な配慮が必要となっており、使用媒体の選別や省エネルギー・高効率機器の提供に積極的な対応を行っている。電力管理・設備管理システムについては、PE や ME の技術進歩により、小型化、高信頼化、省エネルギー化、メンテナンスフリー化などがキー技術となる。

一例を挙げると、現在の各変電所においては、SF₆(六フッ化硫黄)ガス絶縁の変圧器やスイッチギアが使用されているが、今後、環境に優しいガスレス変圧器や固体絶縁スイッチギアが主流になってくると思われる。また、整流器や回生インバータの素子冷却についても、純水を使用したヒートパイプ式が主流となっており、保守性及び信頼性の向上が図られている。

最近の設備動向として、回生車両の増加に伴い、エネルギーの有効活用から回生インバータを設置する変電所が増加傾向にある。電力管理・設備管理システムについては、無人変電所を一括管理するシステムであり、機器操作、データ収集、日報作成に加えて、異常時の対応ガイド、機器の機能低下の監視による警報の発信など機能拡大の方向にある。無人化、省力化、高信頼化がテーマである。付帯設備の統合管理を行う設備管理システムも同様の考え方となっている。

次世代駅務システム

■ 乗車券システムの推移

関東においては91年に東日本旅客鉄道(株)JR東日本が、関西においては92年に阪急電鉄(株)が、プライベートカードを改札機で処理するSF(ストアードフェア)カードシステムを国内で最初に導入し、鉄道利用の仕組みを大きく変える転機になった。SFカードシステムは、その後96年に関西の“スルッとKANSAI”と2000年に関東の“パスネット”の名前で地域ごとの共通カードシステムとして展開し、現在のネットワークが構築されるに至った。

SFカードの共通化の実現には、単に駅務機器の機能向上だけでなく、会社間のカード利用データ交換を行うために、改札機から発生するデータが増大し、後方のデータ集計システムの充実が求められるようになった。また、運賃捕脱対策のための不正防止システムは、各種の判定パラメータを鉄道事業者のセンターで一元管理し、不正乗車の発生状況をモニタしつつ適切なパラメータのコントロールをする仕組みが必要になった。これらに対応して、すべての駅にPCをベースとしたデータ集計機(駅制御装置とも呼ぶ)が設置され、センターサーバに接続された新たなデータ処理システムが導入された。99年に当社及び他の改札機主要メーカーが製品化した新型の改札機は、上述の共通SFカード処理と乗車券2枚処理を標準で装備することを前提に開発され、それを従来の改札機寸法内で実装することに成功した。更に、CPUの高速化とメモリの拡大によって、データ検索の処理を飛躍的に向上した。これは、かねてからニーズのあったSFカードと他の乗車券の併用によって、改札機による乗越しの自動精算を可能にした。

現在の駅務システムは、70年代の第1次システム以来、第4次システムになるが、改札機によるSFカードの共通化

と乗車券の2枚利用の実現を柱として、発券機においても、99年に阪急電鉄がタッチパネル式で多種類の切符と定期券の販売や継続発行を可能としたマルチ券売機を導入し、その後、各メーカーから同様のコンセプトで汎用OS(基本ソフトウェア)を採用した新型の券売機の開発が進められた。

また、駅務機器の高度化と合わせて、発生する収入データや運輸統計データを収集するために、後方処理システムとしてPC系のデータ集計機及び上位サーバが設置され、通信も従来の鉄道電話網を使ったものからLAN及びWAN(Wide Area Network)に発展してきている。

■ ICカードシステムの導入

第4次システムにおける開発に関しては、もう一つのターゲットとして、JR東日本グループが10年にわたり研究を進めてきたICカードシステムへの対応が挙げられる。当社も技術開発過程における実証実験などに参画し、第4次システムにおいては、現在Suicaで実用化されているICカードの処理をすべての関連駅務機器に組み込み、乗車券の電子化を実現することを目指した。

ICカードがもたらしたメリットは様々で、旅客側から見ると利便性と安心感が挙げられる。2枚処理対応の改札機で定期券とSFカードの併用をするのと同様のことがカード1枚で実現でき、その処理時間ははるかに短い。高額な定期券の取り違いが起きる心配がなく、更に、カードID(Identification)を管理システムに登録することによって、駅務機器利用時に紛失カードの検索が可能である。事業者側メリットは、駅務機器の機械構造の単純化による設置コスト低減と、複雑な機構部の稼働率低減による保守コストの削減などがある。更に、ICカードは物販や座席指定などの多目的な利用が可能で、鉄道会社の戦略的な用途への応用が具体的に検討されている。

一方、このICカードシステムは課題もある。ICカード利用を全国レベルで共通化することが検討されているが、一日に発生するトランザクションデータ量は数千万件にも及び、それを処理するために、各社が大容量の通信ネットワークと、駅やセンターを結ぶデータ処理システムの信頼性を確保することが必須要件となった。駅務機器自体も、JRと鉄道事業者をすべて結ぶ画期的な運賃システムを実現するために、非常に複雑な運賃計算を担うソフトウェアの信頼性確保が重要な課題になり、電気的なノイズや振動の多い悪環境においても、接触不良やメモリの異常などの影響によるデータ化けや消失などが許されないため、ECC(Error Correction Code)メモリの採用、二重化、正当性チェックなど信頼性向上策を盛り込む必要がある。

もう一つの技術的な課題として考えねばならないことは、セキュリティである。非接触のICカードの書換えをするリーダライタとアンテナの本体は、タバコ箱ほどの大きさの回路基板である。バスやタクシーなど多用途に利用された場合、機器の盗難やそれによるカードの偽造や改ざんのリスクが高まる。また、LANに接続されることによって、データの盗聴や改ざんの危険性もある。これらに関しては、接続される機

器間の相互認証やデータ暗号化の技術開発と、異常検出によるソフトウェアの強制消去などの対策が必要である。

■ ICカードによって変わる 鉄道及び周辺公共交通

ICカードの利用は、大規模な鉄道ネットワークの中では、多くの技術的な課題を抱えているが、一方で、カードを処理する端末自体は機械構造が単純で小型であるため、鉄道だけでなく、バスへの搭載も現在の磁気式プリペイドカードよりは容易になる。ポストペイと呼ばれるクレジット方式は、タクシーへの展開も可能にし、公共交通利用におけるユビキタスが期待できると考える。

また、これまで駅務システムの導入が困難とされてきた中小の地方鉄道会社も、初期コストと維持コストが安価なICカードの実用化によって、駅務システムの導入が可能になってきた。地方鉄道の多くは無人駅を持ち、それによって運賃捕脱による旅客収入の取りこぼしが共通の悩みになっており、ICカード専用の簡易改札機を設置することと、実情に合わせた簡易な出改札システムを組むことによって、運賃捕脱の問題を解決できることが期待されている。

■ 鉄道事業とその他のサービス

ICカードの可能性は、その記録容量

の大きさとデータの読み書きをするための装置(リーダライタ)の簡便さにある。それは、設置場所の自由度を与えることにつながり、駅のキオスクなどの物販店や飲食店に処理装置が設置されれば、支払い用のカードとしても利用が可能になる。また、カード所持者のIDを特定することによる鉄道運営企業グループ内での独自サービスの提供など、まさにICカードが目指してきた広範囲なサービス分野でのアプリケーションが検討されている。それらを実現していくためには、端末から上位サーバまで含めたデータ処理の信頼性と、外部からの不正アクセスや盗難などに対するセキュリティが鍵となる技術であることは前述のとおりである。

また、技術分野以外では、IDによって特定された各種個人情報の保護を確実に実行するために、具体的な基準作りと監査方法が重要課題である。

次世代鉄道システム技術を目指して

21世紀をリードしていくことを目指した新技術の開発と技術改良に向けて、経済性の向上や、鉄道先端技術の実用化とその応用による新商品開発を推進するとともに、新しいビジネスモデルや事業形態の検討により、新しい鉄道システム事業に貢献していきたい。

用語の解説

Suica

Super Urban Intelligent CArdの略称で、JR東日本のICカード乗車券システム。利用媒体として、定期券とSFカード機能を持つ“Suica定期”と、SFカード機能だけの“Suicaイオカード”の2種類がある。Suicaは、東日本旅客鉄道(株)の商標。

パスネット

関東公民鉄21社局における、首都圏鉄道共通乗車カードシステム。

パスネットは、パスネット協議会の商標。

SFカード

Stored Fare Cardの略称。鉄道利用プリペイドカードの一種で、切符を購入せず、直接自動改札機で利用ができる。

スルッとKANSAI

関西鉄道事業者・バス43社局における、関西圏共通乗車券カードシステム。

スルッとKANSAIは(株)スルッとカンサイの商標。



大山 滝夫
OHYAMA Takio

電力・社会システム社 交通技師長。
交通システム事業における技術全般に従事。
Industrial and Power Systems & Services Co.



宮下 武彦
MIYASHITA Takehiko

社会ネットワークインフラ社 システムコンポーネント事業部 システム・ソフトウェア部主幹。駅務システムの技術全般に従事。
System Components Div.