

多様化するニーズに応えた鉄道システムの事業展開

Business Development of Railway Transportation Systems Meeting Diversification of Market Needs

中沢 洋介

新田 一彦

■ NAKAZAWA Yosuke

■ NITTA Kazuhiko

近年、地球温暖化対策に向けての環境改善や発生頻度が高くなりつつある自然災害での被害最小化とともに、これらを意識した電力の安定供給、エネルギーの高効率化、及び省エネ化の加速が進むなか、鉄道システムにおいても、このような課題に応えるための各種システムが開発及び導入されつつある。また、安定輸送や、安全性の向上、各種情報伝達の充実などにより利便性を高めるための機能構築、更には、鉄道を快適空間に近づけるためのサービス向上を目指した車内環境構築と駅施設の充実の要求も強くなっている。

東芝は、これら多様化するニーズに応えた技術構築をいち早く手掛けており、鉄道システム事業の発展と拡大を目指して積極的な活動を進めている。

Accompanying the movement toward improvement of the environment as a countermeasure against global warming and to minimize the damage caused by natural disasters, attention has been increasingly focused in recent years on stable supplies of electric power, high energy efficiency, and energy saving. In the field of railway transportation systems, various types of products have been developed and introduced to solve these issues. In addition, there is an ongoing need for more stable and safe transportation and more comfortable and convenient trains and stations to improve services for passengers through the application of information and communication technologies (ICTs).

To fulfill these diverse customer requirements, Toshiba has been taking the initiative in constructing various new technologies to provide railway solutions and is making efforts to promote the development and expansion of railway transportation businesses.

鉄道システムへのニーズ

近年、二酸化炭素 (CO₂) 排出量の増加に伴う地球温暖化や、生活に密着している電力増加や東日本大震災を契機とした電力供給に関わるエネルギー問題、少子高齢化が進むなかでの高齢化社会に適応できる社会作りなど多くの課題が提示されている。

このような背景のなか、鉄道システムでも、社会の課題にタイムリーに対応していくことで生活に密着した移動空間やコミュニティの構築を実現していく必要がある。

東芝は、車両、電力、情報、都市交通システムといった鉄道システムの幅広い分野で、次のような各種ニーズに応え、最適で新たな技術開発と事業展開に取り組んでいる。

- (1) 環境負荷軽減に向けた、省エネと消費電力削減、並びに装置の高効率化、小型化、及び軽量化

- (2) 機能統合、保守性の向上、及びサービスの向上
- (3) 災害発生時などの非常時を想定したシステムの実現
- (4) 新しい快適空間を目指したシステムやソリューションの実現

主回路・電源システム

■主回路システム

当社は、2009年から更なる省エネ性能向上のため、誘導電動機 (IM) に比べて高効率な永久磁石同期電動機 (PMSM, 図1) を採用し、同時に個別制御でも小型・軽量化を実現できるように1台の冷却器にインバータ4回路を搭載した4in1タイプの制御装置 (図2) を開発し、国内在来線の車両や電気機関車などへPMSMの適用を進めてきた。

昨今は、PMSMに加え、炭化ケイ素 (SiC) デバイスの採用などにより、更なる高効率・小型・軽量化、保守の簡素



図1. PMSM — IMに比べて高い効率を持つため、省エネ性能向上のために適用が進められている。
Permanent magnet synchronous motor (PMSM)

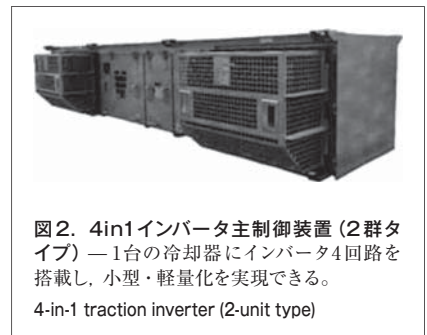


図2. 4in1インバータ主制御装置 (2群タイプ) — 1台の冷却器にインバータ4回路を搭載し、小型・軽量化を実現できる。
4-in-1 traction inverter (2-unit type)

化、及び低騒音を実現したモータ及び制御装置の開発を進めてきた。また小型化によって生まれるスペースを利用して蓄電池を搭載し、回生エネルギーの更なる有効活用や非常時運用への活用など、幅広いシステムへの展開を進めている。今後は、モータ、制御装置、及び蓄電装置に対して、トータルでの最適主回路システムの適用を拡大させる（この特集のp.8-11参照）。

また、リファーマビリティビジネスとして、従来行われている主回路システムの更新と同時にPMSMシステムを導入し、システム更新とともに省エネ性能向上を実現する。現在、シンガポールSMRT社で省エネ性能の確認試験を進めており、この実績を基に海外鉄道事業者へ省エネ性能の高い鉄道システムの提案を進めていく。

■電源システム

当社は、小型・軽量・低騒音化を実現するとともに、2レベルSIV (Static Inverter) や、高効率な3レベルSIV、冗長度を上げた待機二重系SIV、SIV故障時に駆動側制御からの切替えを行うデュアルモードシステムSIVなどのラインアップをそろえてきた。

昨今は、更なる省エネと小型・軽量化を実現するため、高周波スイッチングが可能なAll-SiCモジュールを用いて高周波インバータを構成し、絶縁用変圧器を小型化し、大幅な高効率化と小型化を実現した電源装置の開発を進めてきた(図3)。



図3. DC/DCコンバータ装置 — All-SiCモジュールを適用し、高効率化と省エネ性能アップの要求に応えたDC/DCコンバータ(直流電源変換器)である。
High-efficiency auxiliary power supply system

同時に電源装置の負荷になる空調装置もインバータ方式とし、同様の制御を適用することで、消費電力の低減を実現した。

今後は、車両に搭載して運行することで実績を作るとともに、量産化に向けての標準化を進め、車両への適用を拡大していく。

■パワー半導体デバイス

鉄道システムにおけるパワー半導体デバイスは、1980年代にGTO (Gate Turn-Off Thyristor) を、また1990年代にはIGBT (絶縁ゲートバイポーラトランジスタ) を採用し、長く安定したパワーエレクトロニクスシステムを提供してきた。2010年代に入ると、更なる高効率化と省エネ性能アップの要求に応えるため、動作時の損失が小さく、高温で安定動作可能なSiCデバイスの開発が急速に進んだ。鉄道分野では他の産業分野に先立ち、主回路システムや電源システムへの適用が進みつつある。

PMSM主回路システムでは、個別制御の特長を生かしたうえで、車両全体としての省エネや、周辺機器を含めた小型化による蓄電池装置の搭載など、素子の性能アップとともにシステムとしての効率を向上させる(同p.12-15参照)。

■車上での蓄電池応用

主回路システムでのインバータ化が進むにつれて、回生ブレーキ時の回生エネルギーの効率的な運用が次の課題となってきた。当社は車両運用や地上設備に加え、自列車での効率的な運用に向けた蓄電池の搭載も機器の小型化と

同時に検討を進めてきた。また、自然災害発生時など電力供給が止まった場合の架線レスでの電力供給を可能にする車上蓄電システムの開発も進めてきた。

蓄電池は、当社製のリチウムイオン二次電池SCiB™を使用し、急速充電や、長寿命、低温下での使用が可能などの特長を生かしてシステム構築を進め、主回路システムと組み合わせでの最適化を進めていく(同p.16-19参照)。

車両情報・保安システム

■車両情報システム

当社は、車両搭載機器の高効率な制御や、乗客への案内サービスの充実、保守に関する情報などの車上-地上伝送を実現した統合システムの提供、蓄積したビッグデータの活用などに向けた開発を行ってきた。

現在は、車両内での情報伝送の高速化及び大容量化、更に鉄道車両の高機能化を実現するため、Ethernet^(*)ベースの幹線伝送を採用し、同時に国際規格に準拠したシステムとして各鉄道システムへの適用を進めている。

また、車両内の情報に関わる装置を一括管理する車両情報統合システムの展開も進めている。このシステムには、上記の伝送システムに加えて32インチハーフLCD(液晶ディスプレイ)表示器(図4)やカメラを使用した監視システムを搭載するなど、幅広いサービス提供への展開も進めている(この特集のp.20-23参照)。

現在、PMSM主回路システムとともにこの車両情報統合システムの国内ユー



図4. 32インチハーフLCD表示器 — 乗客への案内を充実させ、幅広いサービスを提供している。
Example of route map guidance display

ザーへの展開を進めており、更なる拡大を目指していく。

また、海外案件においても、国際規格に基づいたネットワークを使用した車両情報システムを展開しており、今後に向けて、国際規格に準じた標準化を進め、適用の拡大を図る。

■保安システム

当社の保安システムは、信頼性が高くフェールセーフなCPUを採用した自動列車制御（ATC：Automatic Train Control）と自動列車停止（ATS：Automatic Train Stop）を実現し、更に冗長系構成により継続性も高める構成としている。

昨今、車上保安システムでは、路線や相互乗入れに柔軟に対応できるよう、無線アナログ部の共用化及び各通信機能のデジタル化を可能にするソフトウェア無線技術を応用し、汎用化した車上装置を実現した。1台の車上装置で周波数や変調方式が異なる複数の通信方式に対応でき、更に制御部と受信部の一体化などを実現することで、大幅な小型・軽量化を進めてきた。

また、車上DB（データベース）情報と列車位置情報を基に車上で速度照査パターンを生成して列車速度超過時に自動的にブレーキ指令を出力し、信号指示^(注1)や進路などの変動する情報を車上DBで定義付けされた地上子から受けることでパターンの更新と制御を行い、乗務員をいっそう支援する機能を付加した、新保安システムの開発も進めてきた。

保安度を維持しながら更なる高密度化を実現するシステム要求もあり、今後もシステム開発を継続していく。

■ATO

自動列車運転システム（ATO：Automatic Train Operation）（図5、図6）では、惰行を多用した運転計画による

(注1) 停止信号や、警戒信号、注意信号、減速信号、進行信号などのような、信号が示す符号。合図や標識と異なり、それぞれが具体的な意味を持つ。

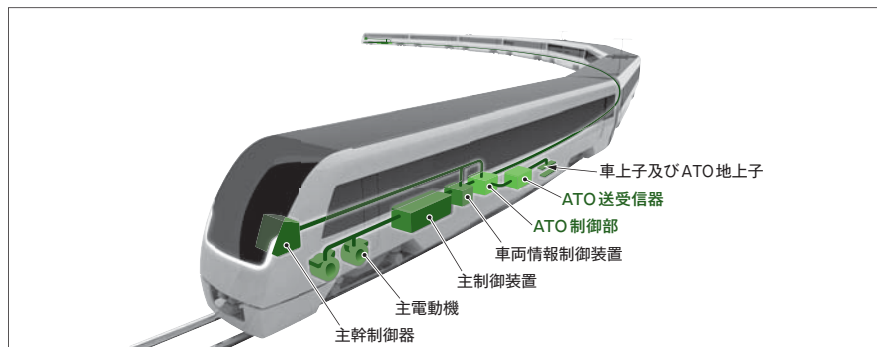


図5. ATO 構成図 — 省エネ性能の向上、乗り心地の良さ、停止位置精度の確保、及び保守性向上の実現を進めている。

Configuration of automatic train operation (ATO) system

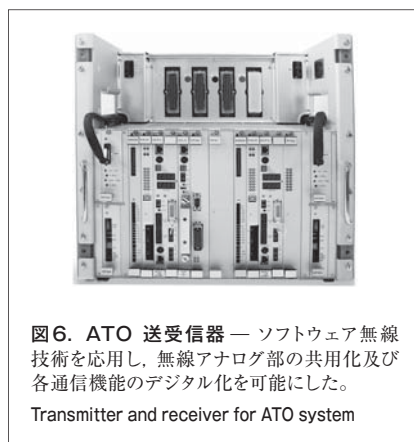


図6. ATO 送受信器 — ソフトウェア無線技術を応用し、無線アナログ部の共用化及び各通信機能のデジタル化を可能にした。

Transmitter and receiver for ATO system

省エネ効果の向上、高精度の列車モデルと予測制御による乗り心地の良さと停止位置精度の確保、及び学習機能を用いて列車モデルを自動調整して特性変化へ対応することによる保守性向上の実現を進めてきた。

昨今では、更なる省エネ効果実現に向けて、走行する車両特性を考慮して、与えられた時間でどのように走行すれば省エネ効果が最大になるかを算出する省エネ運転曲線アルゴリズムの開発を進めてきている。

定時性と乗り心地を維持しながら省エネ効果を最大限に実現するため、搭載機器の特性を更に生かして車両システム全体を考慮したアルゴリズムの開発を進めていく（同p.24-27参照）。

機関車システム

機関車システムでは、個別制御方式

の水冷式主変換装置や、大容量のIMや高効率のPMSM、そして高機能の総括制御システムなど、先進の機関車技術を多用した電気機関車及びハイブリッド機関車の製造を進めてきた。

2016年3月の北海道新幹線開業に伴い、海峡線が新幹線と在来貨物線の共用走行区間になることを受け、共用区間（AC（交流）25 kV）と在来区間（AC20 kV）の複電圧に対応した交流機関車を開発し、同月運用を開始した。

また、2015年に約45年ぶりとなる民営鉄道事業者用の保線用機関車を製造した。電車と共用の電気品を採用するとともに、運転台周り及び電車の床下つり下げ型装置をそのまま機関車に適用し、保守性と操作性を電車と共用化し、機関車自体の小型化も実現した（図7、図8）。

これまで積み上げてきた技術を生かして、電気品を含めた機関車標準型のコンセプトを固め、海外を含めた拡販を進めていく（この特集のp.28-31参照）。

電力システム

当社は長年、環境への影響とエネルギー消費を低減する信頼性の高い電力システムの開発を続け、事業者へ提供してきた。

現在は、環境負荷低減への要求や、都市圏を中心として停電でも走行可能なシステムへの要求がいっそう高まって



図7. EL120形直流電気機関車(重連時) — 名古屋鉄道(株)に納入したEL120形電気機関車である。
Double-headed EL120 DC electric locomotive

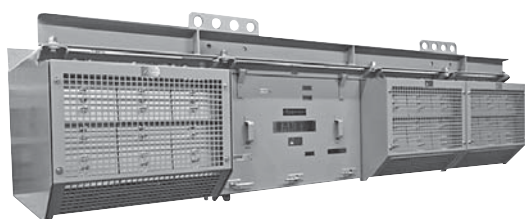


図8. 車両制御装置 — EL120形に搭載した車両制御装置である。
Inverter for EL120

いる。この要求に応じて、当社独自の
高品質な蓄電池技術による新しい省エ
ネソリューションとしてSCiB™を用いた
回生電力貯蔵装置を開発した(図9)。
2014年12月から実運用を開始し、車両
の減速時に発生する回生電力をこの装
置に一度蓄え、他の車両の加速時に利
用することで電力の安定供給を実現す
るとともに、車両回生電力失効の防止や

ピークカットなど、導入目的に応じた最
適な設定を行うことで様々な用途に対
応することを可能にした(この特集の
p.32-35参照)。

また、受電システムに使用している固
体絶縁スイッチギヤ(SIS: Solid Insu-
lated Switchgear, 図10)では、独自の
技術により開発した高機能エポキシレ



図9. 回生電力貯蔵装置 — 電力の安定供給
を実現するとともに、車両回生電力失効の防
止やピークカットなどを行い、様々な用途に対
応できる。
Traction energy storage system



図10. 固体絶縁スイッチギヤ — 機械強度、
靱性、耐熱性、及び絶縁耐力を向上させ、小
型・軽量化及び保守の省力化を実現している。
Solid-insulated switchgear

ジンを用い、従来の材料に比べ、機械
強度、靱性(じんせい)、耐熱性、及び
絶縁耐力の特性を非常に向上させ、更
に、新操作機構であるバランス型電磁
操作機構(BMA: Balanced Magnetic
Actuator)の採用により、信頼性を失う
ことなく小型・軽量化及び保守の省力
化を実現している。このSISはSF₆(六
フッ化硫黄)ガスを使用していないた
め、地球温暖化防止にも貢献する次世
代のスイッチギヤである。

更に車両システムや運行管理と連携し
て省エネ最適化を追求したエネルギーマ
ネジメントシステムの実現を進めていく。

情報システム

当社はO&M(Operation and Main-
tenance)分野でも、輸送計画システムや、
運行管理システム、信号保安システム、
設備管理システム、作業計画・管理シ
ステムなどを開発して提供し、広く鉄道事
業者の輸送業務効率化を支えてきた。

昨今では、世界の鉄道、路面電車、
新交通、及びバスの輸送計画を効率化
するクラウドサービスとしてTrueLine™
を構築して、データの一元管理とシーム
レスな業務間連携を実現し、輸送計画
の基本機能をパッケージ化し、グロー
バルに提供できるよう進化させてきた。

また、異なる路線間の相互乗入れが
拡大し、このために局所的なダイヤ乱れ
の影響が従来より広範囲に及ぶ傾向に
ある。これを抑えるために当社は、運
行管理システム(図11)において予測精
度向上と回復時間短縮につながる運転
整理機能を充実させている。

信号保安システムでは、信号設備間の
ケーブル数を削減し工事及び試験の効
率化を実現するため、ICT(情報通信技
術)を活用したネットワーク信号シ
ステムが開発されている。当社はその中核と
なる論理装置の開発を進め、駅中間論
理装置の運用開始に至った。

今後も鉄道事業者における安全・安
定輸送、輸送の最適化、及び鉄道業務



図 11. 運行管理システム — 局所的なダイヤ乱れの影響の予測精度向上と回復時間短縮を図り、運転整理機能を充実させている。

Train traffic control system

の効率化に向けて、最新のICTを融合させたシステムやサービスの開発を進めていく。

都市交通ソリューション

都市交通ソリューションは、都市交通の諸問題（交通渋滞や、環境問題、省エネなど）を解決して、都市の付加価値を高めたスマートコミュニティの実現を目指すソリューションで、「車上での蓄電池応用」の節で述べた蓄電システムを搭載した、架線レスLRT（Light Rail

Transit）システム走行試験を実施した。環境調和を目指した電気バスシステムでは、実証試験を行い営業運行を開始した（この特集のp.36 - 39参照）。

電力消費を総合的に管理して削減する鉄道エネルギーマネジメントの取り組みでは、ポルトガル鉄道で運転支援システムによる省エネ評価実証試験を実施し、期待どおりの効果を得た。

フルターンキービジネス

当社は、車両や、信号通信設備、電

力設備、自動料金収受システム（AFC：Automatic Fare Collection System）、車両基地設備などのE&M（Electrical and Mechanical）システム一式を、タイバンコク都市鉄道パープルラインで現在建設中で、更には開業後の保守まで手掛ける鉄道ソリューションを展開している（[囲み記事参照](#)）。

こうしたフルターンキー（FTK）ビジネスの先駆けとなった台湾高速鉄道では、延伸と新駅追加に伴う事業を確実に進めている。

当社は都市開発やインフラ整備など計画の段階から、これまで蓄積したシミュレーション技術を活用して積極的に参画し、保守まで含めたFTK事業を推進していく。

出改札システム

自動改札機や自動券売機などの駅務機器は、駅業務の省力化や混雑緩和を目的として導入が始まった。その後料金前払い方式の磁気カードなどを経て、2000年代には、ICカード乗車券が登場し、券売機に並ぶことなくタッチするだけで改札機を通過できるようになった。

タイ バンコク都市鉄道パープルラインの鉄道システム及び保守事業

当社は、丸紅(株)（以下、丸紅と略記）との共同事業体を通じて、タイ バンコク市の都市鉄道パープルラインの鉄道システム及び10年間の保守事業を受注した。2015年9月に2編成6両の初出荷を行い、2016年1月に全21編成63両をタイに輸送を完了した。

パープルラインは、バンコク市内のバンヤイ地区からバンスー地区を結ぶ全長約23 kmの新規路線で、タイ運輸交通局が日本政府の円借款を活用し、2016年の開通を目指して建設を進めている。同局から、タイの鉄道運営企業であるBangkok Metro Public Co., Ltd.（以下、BMCLと略記）が鉄道運営権、並びに鉄道システム一式の納入及び建設を受託している。

丸紅と当社は、BMCLに対して鉄道システム一式の納入及び建設を請け負っているタイの大手建設会社CH. Karnchang Public Co., Ltd.との間で、車両や、信号・運行監視設備、変電設備、通信設備などを含む鉄道主要システム一式を納入する契約を締結した。

このプロジェクトで納入する鉄道車両は、東日本旅客鉄道(株)グループの(株)総合車両製作所が製造する。

開業は2016年8月を予定しており、わが国の高品質の鉄道技術を提供することでタイ並びにバンコク市の人々に利便性をもたらし、バンコク市の交通問題の緩和や地域経済の発展に役だつよう、取り組んでいく。



パープルラインの鉄道主要システム

省力化という当初の目的を達した鉄道事業者は、更なるコスト削減や旅客サービスの向上を目指している。

磁気式乗車券を取り扱う自動改札機は複雑な機構を必要とするため、保守に必要なコストが高く鉄道事業者の負担になっている。ICカード乗車券だけを取り扱う自動改札機であれば、保守に必要なコストは少なくなるが、ICカードを持たない観光客や回数券などのために磁気式乗車券は残さざるをえない。このため当社は、磁気式乗車券に代わる新たな乗車券媒体の研究に取り組んでいる。また旅客サービス向上の観点では、毎日膨大な数の旅客を扱う駅務機器から得られる情報のビッグデータ分析や、より高度な旅客サービスを実現するための画像認識技術、ICTの活用などを検討している。更に環境面への配慮として、機器の省電力化と使用材料の削減も行っており、当社は、窓口処理機EY-5000及び新幹線用自動改札機EG-7000(図12)の2機種で低CO₂川崎ブランド^(注2)の認定を受けている。

今後も、鉄道事業者及び利用者それぞれのベネフィットを考え、より快適な駅の実現に向けて、技術開発に取り組んでいく。



図12. EG-7000自動改札機 — 低CO₂川崎ブランドの認定を受けた、新幹線用の自動改札機である。
EG-7000 automatic ticket gate

(注2) 原材料調達から廃棄、リサイクルまでのライフサイクル全体を通じて、従来製品などと比べてCO₂がより削減されたものの普及と啓発を図って川崎市が認定している、製品や技術。

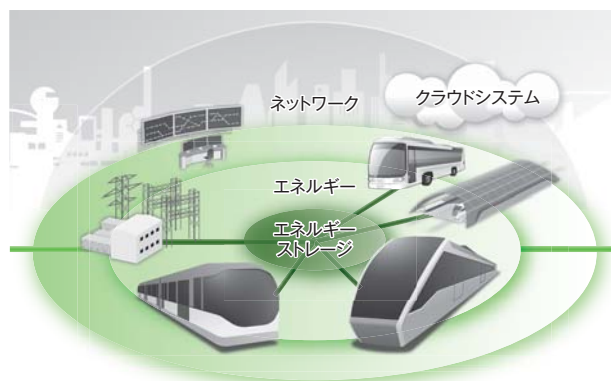


図13. 東芝が考える鉄道システム — 電力を有効活用する鉄道システムのイメージである。
Railway system making effective use of energy

保守及び予防保全

当社は、車両の安全と長寿命化を実現するため、タイムリーな機器更新を目的とした搭載機器の保守・予防保全事業を展開している(この特集のp.40-43参照)。

装置、機器、及び主要部品単位での故障履歴や故障モードをデータベース化して、交換品の準備や更新提案をタイムリーに実施することで、鉄道事業者の車両運用に影響が出ないよう活動を展開している。

現在は、事前に部品などの改廃情報を入力し、早めにリニューアルの提案を行い、予防保全の強化を進めつつある。

今後は、センサ技術や、画像解析技術、ICT応用などを駆使して、各ユーザーが目指す、時間計画保全(TBM: Time Based Maintenance)から状態監視保全(CBM: Condition Based Maintenance)への移行に応えられるようなシステム構築を進めていく。

今後に向けて

先に述べてきたとおり、ここ数年での各装置や各システムの技術進歩は目覚ましく、安全・安定化や、省エネ、快適性、利便性など、それぞれの視点で究極に近い機能を果たしつつある。しかし、多様化したニーズには終わりはない

く、更に高く、更に広く、更に深く、システム側での対応が求められると考える。

これらのニーズに応えるためには、各システムでの更なる技術の追求とともに、システム・装置間を結合したトータルシステムとしての技術開発が必要になる(図13)。データの共有化や、システム間でお互いの動きを把握したうえでのトータルシステムとしての効率的な運用、システムの統合、AI(人工知能)を駆使した自動化の導入など、従来とは違った視点での開発が求められる。

今後も常に先のニーズを見据えて、技術構築とシステム開発を進めていく。

• Ethernetは、富士ゼロックス(株)の商標。



中沢 洋介
NAKAZAWA Yosuke

インフラシステムソリューション社技師長。
鉄道システムの技術開発に従事。電気学会会員。
Infrastructure Systems & Solutions Co.



新田 一彦
NITTA Kazuhiko

インフラシステムソリューション社 鉄道システム事業部
技監。鉄道システムの技術開発に従事。
Railway Systems Div.