

新たなニーズに応える列車制御システム

Train Control Systems to Meet New Requirements in Railway Transportation Service Field

森 稔 中澤 弘二 鈴木 光彰

■ MORI Minoru ■ NAKAZAWA Hiroji ■ SUZUKI Mitsuaki

列車制御システムは、鉄道の安全・安定輸送を担っており、保安装置として安全の確保と信頼性の向上が重要な責務である。更に近年は、高密度運転、乗りごち改善などの旅客サービス、省スペース化、及び省エネルギーといった付加機能も要求されている。

東芝は、このような要求に応じて、また、トータルシステムを提供できる鉄道システム総合インテグレータを目指して、情報通信技術を積極的に取り入れ、デジタルATC (Automatic Train Control: 自動列車制御) 装置やATO (Automatic Train Operation: 自動列車運転) 装置、地上ケーブルを通信ネットワークで置き換えたネットワーク信号システム、ヒューマンマシンインタフェースに優れた運行管理システム、及び関連装置などを開発し続けている。

Train control systems are responsible for ensuring safety and improvement of reliability in the field of railway transportation services. In recent years, demand has been increasing for additional functions such as the preparation of high-density diagrams, enhanced riding comfort, space saving, and energy saving.

In response, Toshiba has developed a digital automatic train control (digital-ATC) system, an automatic train operation (ATO) system, a network signaling system, a traffic control system, and peripheral devices providing a user-friendly human-machine interface, utilizing the latest information and communication technologies. We are continuing our efforts to expand the functions of railway systems aiming at the realization of total systems integration with high added value.

1 まえがき

列車制御システムは、図1に示すように、車両に設置された車上装置、地上に設置された信号保安装置及び運行管理システムなどから構成され、駅構内の分岐器と信号現示を制御する進路構成制御と、先行列車への追突などを回避する列車間隔制御を行っている。

列車制御システムの歴史は事故と安全性対策の繰り返しであり、安全性を更に向上させることは言うまでもなく、最近では、高密度運転、運転継続性、乗りごち改善などの旅客サービスや、省スペース化、省エネルギーも求められている。

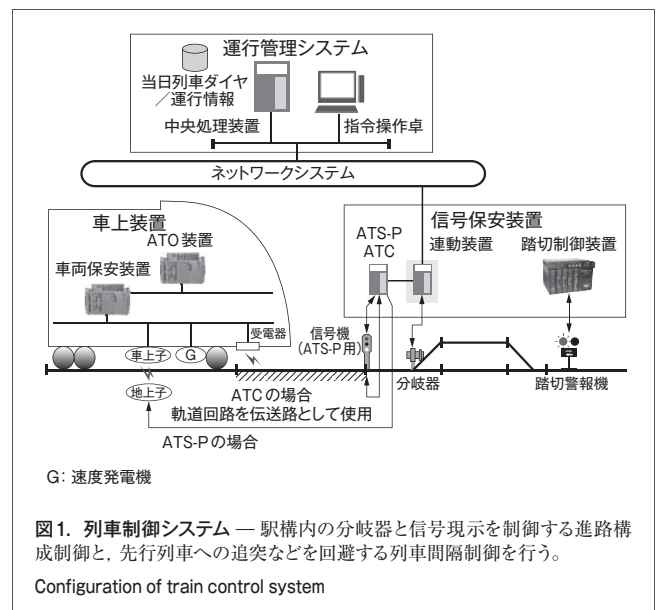
また、技術的には、デジタル化、冗長化による高信頼性、ネットワーク化、及び操作性の向上なども必要とされている。

ここでは、これらの要望に応じて東芝が開発した列車制御システムを構成する装置やシステムの特長について述べる。

2 車上装置

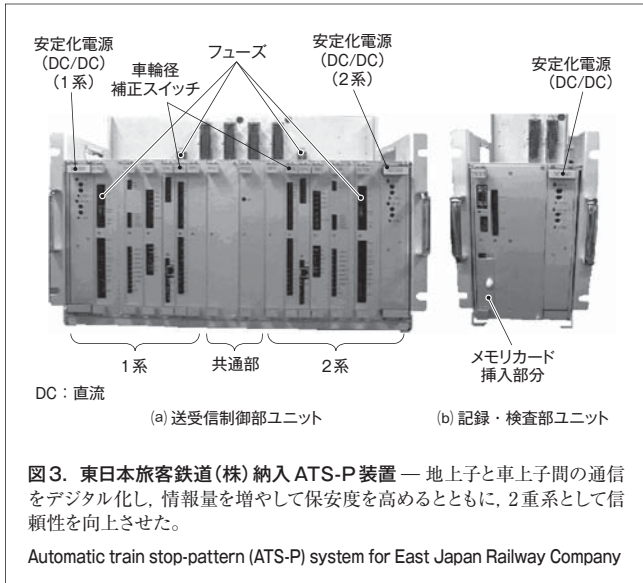
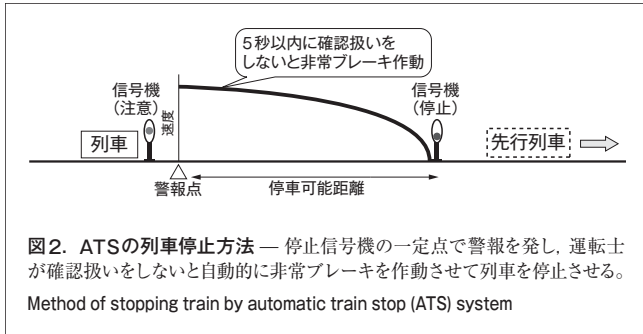
2.1 保安装置

鉄道に関する技術上の基準を定める省令により、鉄道車両は、原則としてATS (Automatic Train Stop: 自動列車停止) 装置、ATC装置いずれかの設置を義務付けられている。これらの保安装置は、その重要性から冗長性を上げるため多重系



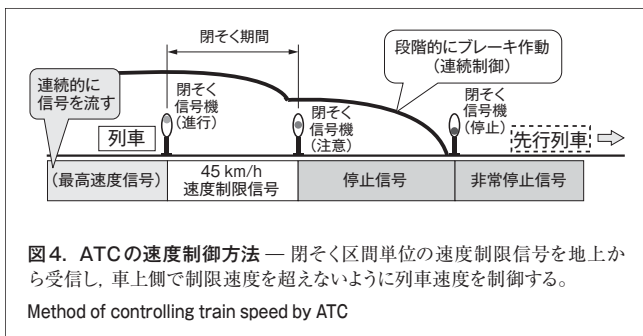
に構成されている。

2.1.1 ATS装置 停止 (赤) を現示する信号機からある程度手前の位置に列車がさしかかったとき、運転台のベルが警報を發し、運転士が5秒以内に確認扱いをしないと自動的に非常ブレーキを作動させ、列車を停止させるものである (図2)。



東日本旅客鉄道(株)納入ATS-P (ATS-Pattern) 装置^(注1)を図3に示す。地上子と車上子間の通信をデジタル化し、情報量を増やして保安度を高めるとともに、2重系として信頼性を向上させている。

2.1.2 ATC装置 ダイヤの高密度化に伴って考えられたもので、速度制限信号をレールを通して、車両に連続的に受信し、車上で演算した車両速度と逐次照合を行う(図4)。制限速度を超えていればブレーキを作動させ、制限速度以下になる



(注1) 車上の照査パターンによる速度照査式自動列車停止装置。照査とは、計測した車両速度が制限速度内にあるか照合すること。

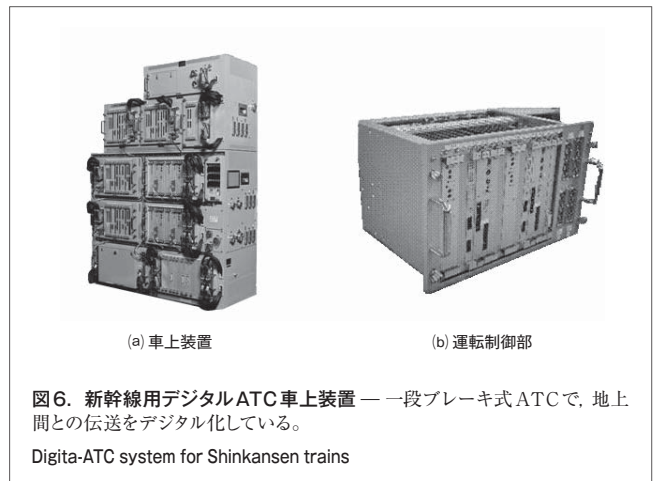
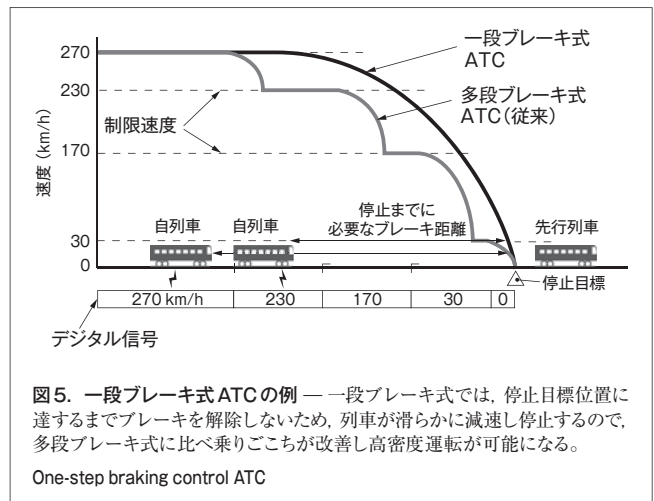
とブレーキを解除する。これを多段ブレーキ式ATCと言う。

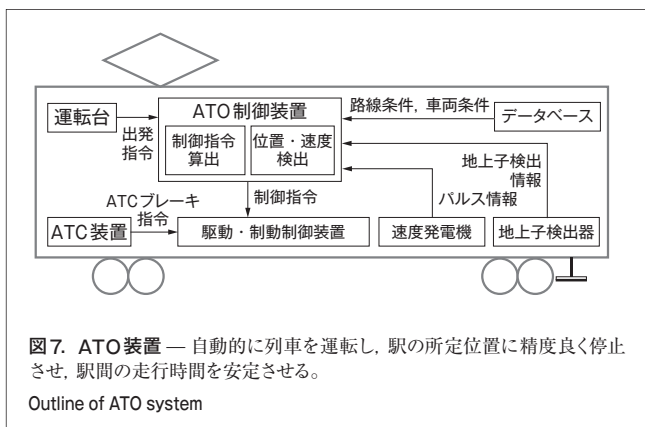
速度制限信号は閉そく区間単位に送信されるが、その割付けは路線条件や車種によって異なるブレーキ性能の制約を受ける。区間を細かく分ければきめ細かい制御が可能であるが、ブレーキ作動あるいは解除による乗りごちや操縦性の悪化や地上設備の増加につながる。これらの課題を解決し、更なる高密度輸送の要求に応えるため、減速が必要な速度まで連続したブレーキパターンに沿って滑らかな減速を行う、一段ブレーキ式ATCが多く採用されつつある(図5)。デジタル信号伝送方式と一段ブレーキ式ATC装置を採用した新幹線用デジタルATC車上装置を図6に示す。

2.2 ATO装置

ダイヤの高密度化による運転間隔の短縮に伴い、乗降客の安全のためホームドアの導入が徐々に進んでいる。これに伴い、より“均一で正確な運転”が必要となり、運転士の負担を軽減するため、ATO装置やTASC (Train Automatic Stop Control: 定位置停止) 装置の導入が進められている。

ATO装置には、駅の所定位置に列車を精度良く停車させ、駅間の走行時間が安定していることが要求される(図7)。





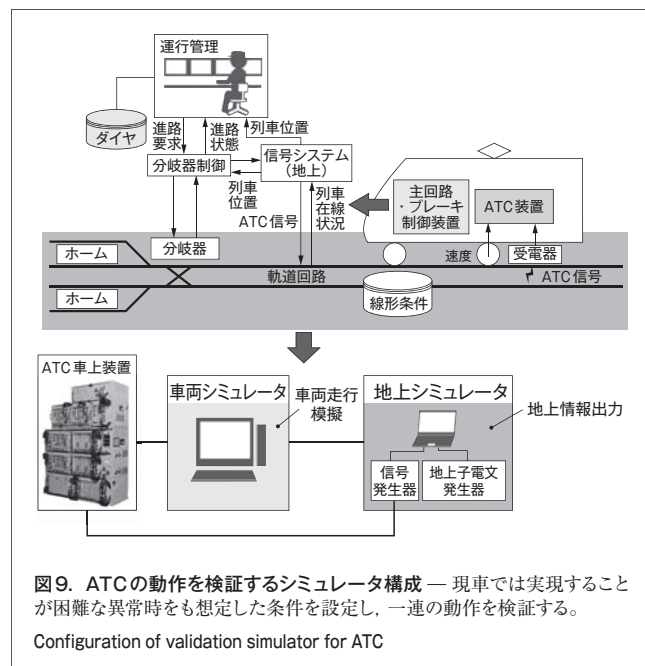
当社は、更に、良好な乗りごちと省エネルギーを目指したATO装置を開発している。乗りごちと停止精度の両立のため駅停止制御に予測制御を応用し、消費エネルギー低減のため惰行を多用する駅間走行計画を算出するようにしている。

ATO装置は主として次の機能を持っている。

- (1) 位置・速度検出機能 車軸の回転に連動する速度発電機で列車の位置と速度を検出する。
- (2) 制御指令算出機能 速度、位置、出力ノッチといった列車の走行状態、こう配、曲線、制限速度といった路線条件、列車重量、列車長、力行、ブレーキ力、ノッチ段数といった車両条件、及び走行ダイヤなどに基づいて、制御指令を算出し列車の駆動や制動制御装置に出力する。ここでは、走行計画、走行制御、これらのベースとなる列車動特性モデルを自動調整するための車両特性推定の三つの機能を持っている。

これらの機能により車両特性のばらつきを吸収することで、停止精度±35cmを実現し、現車走行調整期間を大幅に短縮した。

東武鉄道(株)に納入した副都心線乗入れ車両用ATO制御装置を図8に示す。



2.3 検証設備

制御方式の高度化に伴い、信号パターンが正確に演算され、地上設備と整合性が取れていることの確認は必須であるが、異常時を想定した試験を含めすべての条件を現車で検証することは困難である。そこで、車上装置に対して各種の条件を設定し、自動的にパターン作成からブレーキ動作までの一連の動作を検証するシミュレータを構築した(図9)。

3 信号保安装置

列車輸送に対する多様なニーズにより、信号保安システムを構成する個々の装置はよりいっそうの付加価値を求められ、それに対応するために高度な情報処理技術が求められてきた。しかし、それら信号保安装置は、列車の運行における安全を確保するという特質上、長年の歴史が築き上げた運用経験に基づく固有の技術で構築されてきた。したがって、安全性担保のため論理部に専用のハードウェア、例えばバス同期方式が多く用いられてきたことで、最新のプロセッサ技術の適用が困難になり、結果的に最新の技術が導入されにくい状況であった。

近年、このような状況を踏まえて、ネットワーク技術を含めた汎用情報技術を応用した最新の信号装置の開発が進められており、当社でも高性能、高信頼、及び高機能の実現はもとより、低廉化や小型化に向けて新たな技術革新にチャレンジしている。当社が開発した信号保安装置について以下に述べる。

3.1 電子連動装置

電子連動装置は、運行管理センターからの指令や駅での操作に基づいて、駅構内の信号機や分岐器を制御し、列車を安全に運行させるための要となる保安装置である。

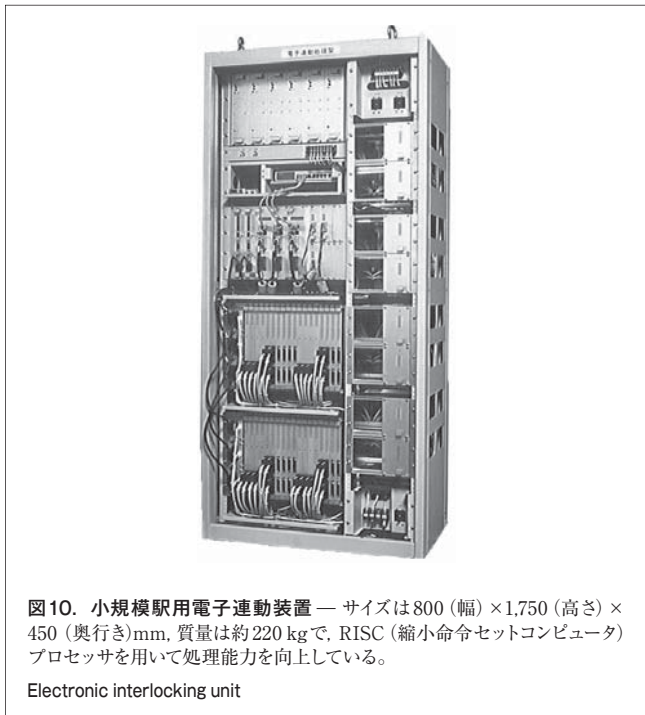


図10. 小規模駅用電子連動装置 — サイズは800(幅)×1,750(高さ)×450(奥行き)mm, 質量は約220kgで, RISC(縮小命令セットコンピュータ)プロセッサを用いて処理能力を向上している。

Electronic interlocking unit

当社では論理部に汎用プロセッサを適用し, タスク同期3重系の構成を採用して並列動作するCPUの各系間でのデータ照合と, 2 out of 3処理という多数決処理を行うことで, 安全性と信頼性を担保している。高性能プロセッサを用いることで, 従来の連動処理の制御サイクルを400msに短縮した。また, 二つのプログラム動作エリアを構成し, 改正前後のプログラムの動作エリアを切り替える現行改正機能, 論理処理部の一つの系の交換時に他系の制御を中断することなく冗長構成に自動的に移行する後参入機能, 及び装置稼働のまま論理処理部のモジュール交換を可能とするオンライン挿抜などの保守支援機能を具備させた。

小規模駅用の502形電子連動装置を図10に示す。この小規模駅用は, リレーIF(Interface)タイプであるが, 連動装置と現場機器の直接制御を行う信号機器コントローラであるFB端末(Field Box)どうしをネットワークで接続した大規模駅用501形電子連動装置もある。

これら電子連動装置は, 2000年の1号機の使用開始からこれまで15の駅に導入され, 稼働中である。

3.2 ネットワーク信号制御システム用論理装置

現在, 東日本旅客鉄道(株)で進められているネットワーク信号制御システム^{(1), (2)}のうち, 当社は, 駅中間ネットワーク信号制御システム⁽³⁾の論理装置(LC:Logic Controller)である駅中間LCを共同で開発した。この論理装置は, 1重系であることによる低信頼性, 膨大なケーブル布設や配線作業, 及び保全・故障情報が不十分などというこれまでの駅中間の信号システムの課題を解決できる。

このシステムは, 稼働率向上を図るため, LCに信号機, 軌

道回路, ATS-Pなどの信号設備の各制御論理を集約し, 並列2重系動作させるとともに, 現場の信号設備機器と接続される小型端末(FC:Field Controller)である駅中間FCとLCをIP(Internet Protocol)ネットワーク(UDP(User Datagram Protocol)/IP)^(注2)で接続する構成としている(図11)。駅中間と駅をIPネットワークで接続することにより, 大幅なケーブル本数の削減と配線作業の低減を実現している。またオブジェクト指向技術の適用で, プログラムの保守性を向上させ, 試験や各種保守の支援機能も充実させた。

現在, 工場内試験やモニタランでの評価も終え, 実用機導入に向けて最終評価中である。

駅中間LCに続き, 当社は駅構内用のLCの開発⁽⁴⁾にも参加している。これは, 軌道回路予約方式を深度化させた新しい制御論理を採用し, 連動範囲の分割制御など, 保守にも配慮した機能を具備させるものである。

3.3 電子踏切制御装置

電子踏切制御装置は, 駅中間の踏切を安全かつ適正に警報制御するものである。当社は, 汎用シーケンサを応用し小型で軽量の制御装置を実現し, 既にこの装置を11年間量産して, これまで1,000台以上を納入している。リレーインタフェース型の外観を図12に示す。この装置の主な特長は次のとおりである。

- (1) 2重系比較照合方式を採用して安全性を確保
- (2) 当社の汎用プログラマブルコントローラをベースに演算処理部を開発し, 低廉化と将来の高性能化への対応も容易化
- (3) 当社の回路技術により小型化を実現

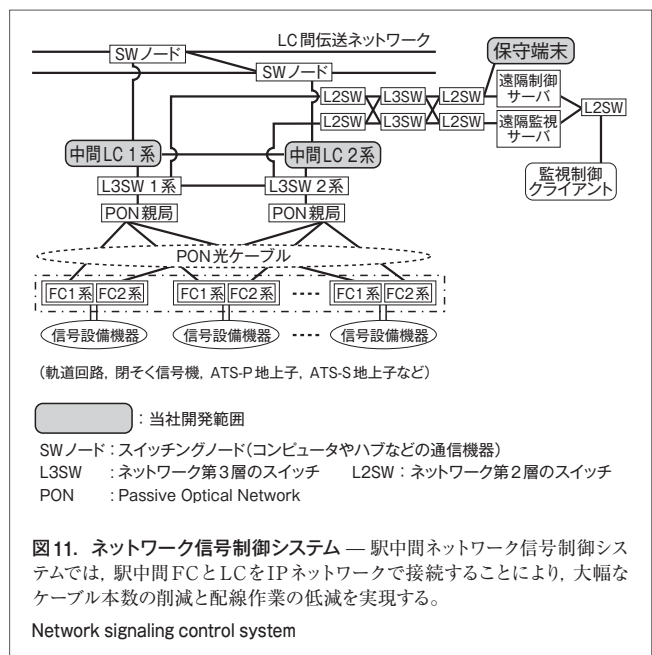


図11. ネットワーク信号制御システム — 駅中間ネットワーク信号制御システムでは, 駅中間FCとLCをIPネットワークで接続することにより, 大幅なケーブル本数の削減と配線作業の低減を実現する。

Network signaling control system

(注2) 通信プロトコルにUDPを使用し, 下位にIPを持った通信手段。



図12. リレーインタフェース型の電子踏切制御装置 — 汎用シーケンサを応用し小型で軽量の制御装置を実現した。
Relay interface type railway crossing controller

4 運行管理システム

運行管理システムは、信号保安装置の上位系として、路線を統括する指令所に設置され、列車ダイヤの管理や変更、路線の列車の運転管理、及び列車ダイヤに基づく進路制御など列車運行についての監視や制御を統括的に行うものである。当社は、1970年に日本で初めてのコンピュータによる運行管理システムを納入した後、様々なシステムを手がけてきている。産業用パソコンを利用した運行管理システムは、ダイヤ表示や操作でのヒューマンマシンインタフェースの扱いやすさ、制御システムに要求される高い信頼性と保守性、コストパフォーマンスなどの特長がある。近年の代表的な納入先は、九州旅客鉄道(株)の筑肥・唐津線と豊肥本線をはじめ、愛知環状鉄道(株)、肥薩おれんじ鉄道(株)などである。また、東武鉄道(株)東上線に納入し、2009年に更新した大規模な分散型運行管理システムは、産業用サーバと産業用パソコンで構成され、運転整理の自動提案及び車両運用や乗務員の運用管理などの機能を備えている。

新幹線や在来線に多数納めた列車情報読取装置は、列車が地上子を通る際に、列車が持っている列車番号、行先、列車種別、及び運行番号などの情報を地上側で読み取り、運行管理システムへ渡している。運行管理システムは列車位置を正確にとらえていることが前提のシステムであるが、この装置はこれを支えるものとなっている。また、各駅停車や急行などの列車種別を踏切制御装置に送信し、踏切遮断時間の適正化に使われているケースもある。

また、小田急電鉄(株)に納入したGPS(全地球測位システム)を使用した位置管理システムは、簡易型の運行管理システムである。列車運行が乱れた場合、予定していた車両の代わりに別の車両の割当てが必要となる。しかし、どの車両がどこにいるかを把握する装置は、地上設備に大きな投資が必要で、低コスト化が望まれていた。このシステムは、沿線に新たな地上設備を設置しないで構築できることが特長で、車両の位置検知にGPSを用いている。位置情報は公衆パケット通信

網を經由してサーバに送信され、運輸司令所や各配車事務所に設置したモニターでリアルタイムに監視できる。

5 あとがき

ここでは、当社が開発しているデジタルATC装置やATO装置、地上ケーブルを通信ネットワークで置き換えたネットワーク信号システム、ヒューマンマシンインタフェースに優れた運行管理システム、及び関連装置などについて述べた。

次世代の列車制御システムとして、地上と車上の装置間を無線で通信するシステムが検討されており、国際規格化が進められている。国内でもJRTC (Japan Radio Train Control) としてJIS (日本工業規格) 制定が進められており、当社は原案作成委員会に参加するとともに、この規格に基づく無線を使った列車制御システムを開発している。

今後も、地上から車上まで装置を提供できる鉄道システム総合インテグレータとなるよう、製品開発とソリューションの提供を進めていく。

文 献

- (1) 国藤 隆, ほか. ネットワーク信号制御システムの開発について. JREA. 48, 5, 2005, p.30839 - 30842.
- (2) 遠藤優史, ほか. “ネットワーク信号制御システムの開発”. 第42回鉄道サイバネ・シンポジウム. 東京, 2005-12, 日本鉄道サイバネティクス協議会. 2005, 論文番号626.
- (3) 石間礼次, ほか. 駅中間ネットワーク信号制御システムの開発. JREA. 51, 8, 2008, p.33543 - 33546.
- (4) 西山 淳, ほか. “駅構内論理装置の開発について”. 第44回鉄道サイバネ・シンポジウム. 東京, 2007-11, 日本鉄道サイバネティクス協議会. 2007, 論文番号628.



森 稔 MORI Minoru

電力流通・産業システム社 交通システム事業部 交通制御システム技術部参事。鉄道信号保安システムの開発及びエンジニアリング業務に従事。

Transportation Systems Div.



中澤 弘二 NAKAZAWA Hiroji

電力流通・産業システム社 交通システム事業部 交通制御システム技術部参事。車両システムのエンジニアリング業務に従事。

Transportation Systems Div.



鈴木 光彰 SUZUKI Mitsuki

電力流通・産業システム社 交通システム事業部 交通制御システム技術部主務。列車制御システムのエンジニアリング業務に従事。

Transportation Systems Div.