

列車制御・輸送管理のシステムチェンジ

JR東日本研究開発センター 先端鉄道システム開発センター 担当部長（情報技術）

加藤 保



鉄道における列車制御と輸送管理のシステムは、列車を安全かつ正確に運転する必要不可欠な仕組みを提供しています。一方、鉄道を取り巻く諸情勢からみて、輸送サービスの質を高めさらに向上していくことが求められます。その際、列車制御と輸送管理のシステムは、安定稼働と輸送改善の施策が取りやすいことが重要になります。

そこで、列車制御と輸送管理に関して最新の技術を取り込み、お客さまの求める安心・信頼と輸送改善を実現しやすい仕組みにシステムチェンジしていくことを目指した取り組みを進めています。

本稿では、列車制御・輸送管理の技術変革の方向を述べるとともに、それらに関わる技術開発の概要を紹介します。

1. はじめに

列車制御と輸送管理の仕組みやシステムは、長い鉄道の歴史のなかで事故発生に応じた安全対策を採るとともに、社会情勢にあわせた輸送改善の施策に対応するため、そのときどきの技術を取り込み発達してきました。

しかし、いろいろな改善施策の際、列車制御と輸送管理のシステム・設備に関する施工ミス、不備や故障による輸送障害といった問題が、ときに発生しています。

そこでJR東日本では、首都圏輸送の安定性向上委員会や信号革新プロジェクトにおいて、ハード・ソフトの両面から改善していく施策に取り組んでいます。

考えられる有力な恒久対策として、近年の世の中の情報・通信技術の進展を考慮し、最新の技術を取り込みシステムチェンジしていくことが挙げられ、列車制御と輸送管理に関わるさまざまな技術開発を進めています。技術開発に当たっては、列車制御・輸送管理の技術変革の方向を見定めることが肝要であり、バランスの取れた全体として最適な取り組みをめざしています。

2. これまでの改善と現状の課題

2.1 これまでの列車制御・輸送管理の改善

JR東日本の発足以降、列車制御・輸送管理の分野では、

世の中の技術の進展に応じた新しいシステムの導入や装置の電子化を進めてきました。

会社発足後の間もない時期に発生した東中野駅の列車追突事故は、安全研究所の新設とともに、従来の自動列車停止装置（ATS）を高機能の新タイプ（ATS-P）に更新する工事を加速させました。

旧国鉄時代には、列車集中制御装置（CTC）や自動進路制御装置（PRC）を地方路線に導入しましたが、首都圏路線の運行管理業務を変革する取り組みは遅れていました。

そこで、新会社となり技術開発に取り組み、東京圏輸送管理システム（ATOS）を展開しました。また、東北・上越新幹線の運転管理システムを、整備新幹線や新幹線・在来線直通運転に対応させるとともに、他システムと連携を強化した新幹線総合システム（COSMOS）を導入しました。

さらに、従来の自動列車制御装置（ATC）や列車無線設備について、デジタル伝送技術で変革した新しい自動列車制御装置（在来線：D-ATC、新幹線：DS-ATC）や新幹線、在来線のデジタル列車無線設備を開発・導入してきました（表1）。

表1 新システム・装置の導入経緯

時期	名称
1989年	新型自動列車停止装置(ATS-P:上野~尾久)
1992年	輸送総合システム(IROS:計画伝達)
1995年	新幹線総合システム(COSMOS)
1996年	東京圏輸送管理システム(ATOS:中央線)
2002年	新幹線デジタル列車無線(東北・上越)
2002年	新幹線デジタルATC(盛岡~八戸)
2003年	在来線デジタルATC(南浦和~鶴見)
2007年	在来線デジタル列車無線(山手線)

2.2 現状の列車制御・輸送管理の課題

(1) 現状の主な課題

列車制御・輸送管理のシステム概要と課題を、図1に示します。車上に搭載した装置、鉄道線路近傍に敷設している沿線の信号関係設備、駅設備、指令所や乗務員区所などの各業務機関の設備、および、それらの装置や設備の間をつないでいる輸送管理用の通信ネットワークや沿線の信号ケーブル、列車無線といった各種の伝送路から構成しています。

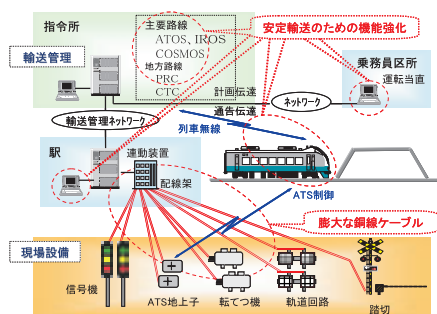


図1 列車制御・輸送管理のシステム概要と課題

この列車制御・輸送管理に関するシステムにおける課題のひとつが、各駅の信号機器室と駅構内や沿線の信号設備をつなぐ「膨大な信号ケーブル（大半が多芯の銅線ケーブル）」とそれを収容する管路を要することです。さらに、列車運転室、指令所、駅や乗務員区所といった場において、「列車運行に携わる運転関係者が取り扱う機能について、安定輸送のため輸送障害時の早期の列車ダイヤ平復に向けた機能強化を図っていく必要があること」も、重要な課題として挙げられます。

(2) 課題対処の考え方

前項で述べた膨大な信号ケーブルの課題は、現場設備に関することであり、鉄道の列車制御の領域に密接に係わるものです。一方、安定輸送のための機能強化の事柄は、運転関係者のオペレーションという輸送管理の領域の課題であり、両者を分けけた課題対処の取り組みが合理的であると言えます。

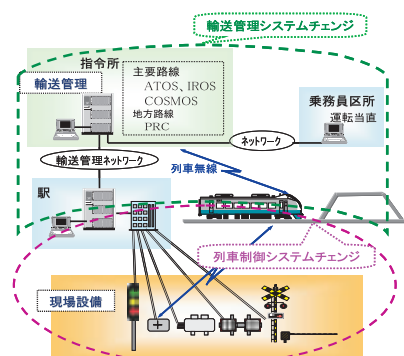


図2 列車制御・輸送管理のシステムチェンジ

従って、課題対処の基本的な考え方は、図2に示すように、鉄道システムの領域を列車制御と輸送管理に大別した範囲で、それぞれのシステムチェンジを目指すこととしています。さらに、列車制御に関しては、地上の信号機による方式（ウェイサイドシグナル方式）、列車運転台の車内信号機による方式（キャブシグナル方式）の違いで、課題対処の仕方が異なっています。

3. 列車制御方式別の課題対処

3.1 ウェイサイドシグナル方式

3.1.1 信号ケーブル敷設の実態

各駅の信号機器室に設置している連動装置などの制御装置と駅構内や沿線の信号設備をつなぐ信号ケーブルは、駅の路線数・ホーム面数にもよりますが、写真1のように膨大な量になっています。

このため、設備の老朽化や駅構内改良などに伴って連動装置などの取替を施工する際は、多量の信号ケーブルを新たに敷設して、その何倍もの芯線の配線作業を行って、正しく配線でき



写真1 機器室の信号ケーブル敷設

ているかを確認する接続試験などを、長期間にわたって実施しています。

この配線作業や確認試験にミスや疎漏があると、それに起因した輸送障害を発生させることになり、中央線の三鷹~立川間連続立体交差化工事におけるトラブルとして、鉄道信号関係者の反省と教訓の事故事例になっています。

3.1.2 課題対処の方策

信号機器室の連動装置などと現場信号設備（各種の信

号機・標識や電気転つ機など）が、信号ケーブルを介して、電圧・電流により制御される現行方式を、光ケーブル上を伝送するデータで制御する方式にシステムチェンジしていくことが、対処方策の基本的な考え方になります（図3）。

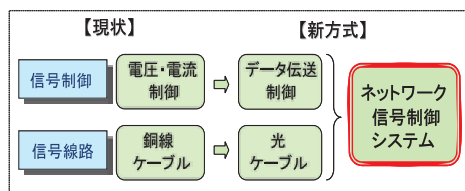


図3 ネットワーク信号制御システムの考え方

この際、光ケーブルの両端の伝送ユニットや光芯線を分岐する箇所の部品は、世の中の汎用技術を採用するとともに、鉄道環境用にアレンジして開発品に組み込むこととしました。

また、データ伝送の方式としては、インターネットで使われている通信規約（IP：Internet Protocol）を採用して、汎用技術のメリットを活かすとともに、今後の技術進歩をキャッチアップしやすくすることも狙っています。

これらの方策を盛り込んだ新方式を、ネットワーク信号制御システムと称し、技術開発と実用化の取り組みを進めています。なお、当然のことながらネットワーク信号制御システムは、鉄道信号用品としての高い安全性・信頼性を確保する仕様（フェールセーフ、RAMS（IEC62278規格）、などへの適合）としています。

3.1.3 開発の現状と今後

(1) 実用化したシステム

「駅構内のネットワーク信号制御システム」として、信号機器室に設置する装置、および現場信号機器へ内蔵または外付けする小形制御端末を試作して、型式認定試験を経たうえで、モニターラン試験を、常磐線土浦駅で長期にわたり実施しました。

小型制御端末を内蔵した信号機の外観と裏蓋への取り付け状況を、写真2に示します。

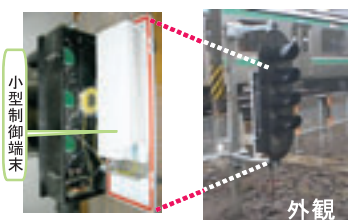


写真2 信号機内蔵の小型制御端末
内部実装状況（裏蓋開扉）
試験敷設状況

その開発成果をもとに、武蔵野線市川大野駅の継電連動装置取替に際して、駅構内のネットワーク信号制御システムを2007年2月より実用導入・使用開始しています。

(2) 開発中のシステム

「駅中間のネットワーク信号制御システム」は、常磐快速線北小金駅付近でモニターラン試験の後、現在、実用化に向けた装置改良を進めています。

また、信号機器室の論理装置の集約、連動装置改修の容易化や設計支援を狙った「駅構内論理装置」の開発、および、「駅中間の踏切保安装置のネットワーク制御」の技術検討にも取り組んでいます。

3.2 キャプシグナル方式

3.2.1 技術動向

世の中の携帯電話の無線通信技術が、アナログ式の第1世代からデジタル式の第2・第3世代に変遷してきていますが、鉄道の列車無線も新幹線・在来線ともにアナログ式からデジタル式に切り替わりつつあります。

また、図4に示すとおり、自動列車制御に関する技術も、同様にアナログ式の自動列車制御装置：ATCからデジタル式のD-ATC、DS-ATC、無線による新しい列車制御方式（ATACS）に進展しつつあると言えます。

アナログ方式とデジタル方式の最大の違いは、後者が制御情報の伝送量を圧倒的に大きくできることであり、その結果、高機能な自動列車制御を実現することに大きな利点があります。

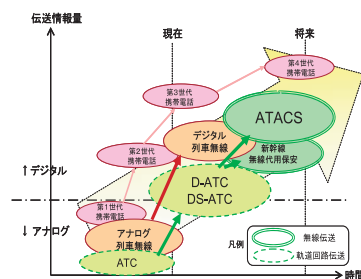


図4 自動列車制御に関する技術動向

3.2.2 デジタル式自動列車制御方式

(1) 在来線の方式（D-ATC）

ATCは、軌道回路に指示速度別の音声周波数帯の信号電流を送信して、車上でそれを受信して列車の走行速度と比較して、走行速度が高ければ自動的にブレーキをかける方式です。アナログ式は、指示速度を割り当てる信号周波数が限られているという制約がありました。これに対して、軌道回路への送信電流の周波数を高くして、デジタル符号を伝送する方式が、図5のD-ATCです。

ATCをD-ATCに変更することにより、列車運転の改善（乗り心地の向上、列車運転の時隔短縮）、地上設備の簡素化（信号ケーブルなどの削減）が実現できています。

D-ATCは、2003年に京浜東北線（南浦和～鶴見間）で

使用開始しました。その後、山手線に導入するとともに、現在、京浜東北・根岸線（大宮～南浦和間、鶴見～大船間）を工事中です。

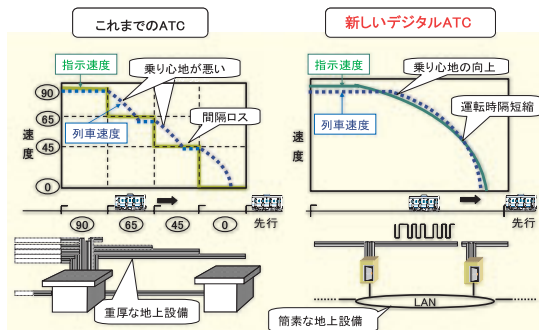


図5 在来線デジタル式自動列車制御（D-ATC）

(2) 新幹線の方式（DS-ATC）

装置概要を図6に示すDS-ATCは、新幹線向けのデジタル式自動列車制御方式であり、東北新幹線の八戸開業（盛岡～八戸間）に合わせて新規導入しています。

その後、東北・上越新幹線の老朽更新工事で東北新幹線（新白河～盛岡間）に展開するとともに、現在、東北新幹線（東京～新白河間）と上越新幹線で工事中です。

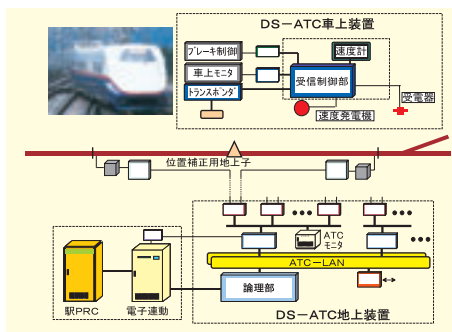


図6 新幹線デジタル式自動列車制御（DS-ATC）

3.2.3 無線による新しい列車制御方式（ATACS）

列車が自ら位置を検知し、位置情報をデジタル無線により地上装置経由で列車間送受する新しい制御方式が、図7のATACSです。

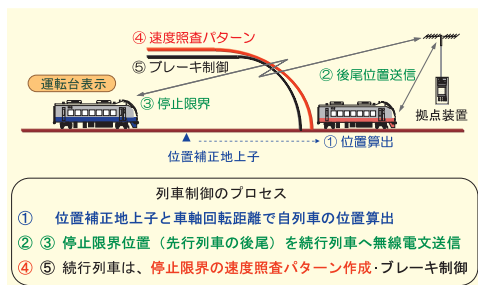


図7 新しい無線式の列車制御方式（ATACS）

列車制御の基本的な構成要素としては、大きく次の3要素があると言えます。

- ・列車検知（編成車両の位置または通過の把握）
- ・進路制御（駅構内の分岐器を転てつ機で転換）
- ・間隔制御（対列車・その他の停止・速度制限の目標）

ATACSは、列車が自ら車輪回転による移動距離と位置補正地上子情報により位置検知を行い、固定閉そく方式（地上または車上の信号機に防護する区間への進入可否や許容速度の信号を現示）によらない、列車の間隔制御を実現します。

ATACSは、列車検知の軌道回路が不要で地上設備の大幅削減を実現する方式として導入に向け施工中です。

4. 輸送管理に関わる課題対処

4.1 輸送管理の各システム

(1) 在来線の輸送計画

JR東日本の発足後に構築した総合経営情報システムは、収入の把握システム、経費の把握システム、輸送総合システムという主要システムより構成しています。この中の輸送総合システム（IROS）は、列車ダイヤの作成・伝達に係わる業務をシステム化しました（図8）。

このシステムにより、支社等における輸送計画の業務や各現業機関の列車ダイヤの管理業務（達示を抜粋して台帳に記載する従前の人手作業）を刷新しました。

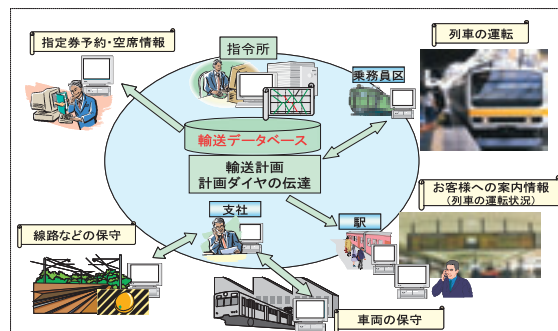


図8 輸送総合システム（IROS）と列車ダイヤの流れ

(2) 在来線の輸送管理

旧国鉄では、地方の路線に列車集中制御装置（CTC）や自動進路制御装置（PRC）を導入しましたが、首都圏路線における列車運行の管理業務などの近代化は遅れていました。そこで首都圏路線の列車運行管理や沿線保守作業管理を担う東京圏輸送管理システムの導入を、指令

所新設移転に合わせて実施しました（図9）。

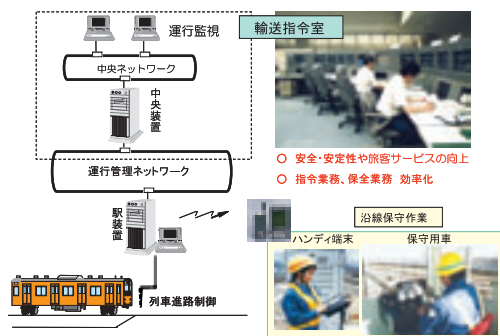


図9 東京圏輸送管理システム（ATOS）の概要

中央線を1号線区として1996年に使用開始し、その後、東京圏の各路線に順次展開しています。

(3) 新幹線の輸送計画・運行管理等

東北・上越新幹線の運転管理システム（COMTRAC）を整備新幹線や新幹線・在来線直通運転に対応させるとともに、新幹線情報システム（SMIS）、新幹線電力系統制御システム（DECS）、列車集中制御装置（CTC）等を全体最適のシステム群として集約したものが、新幹線総合システム（COSMOS）です（図10）。

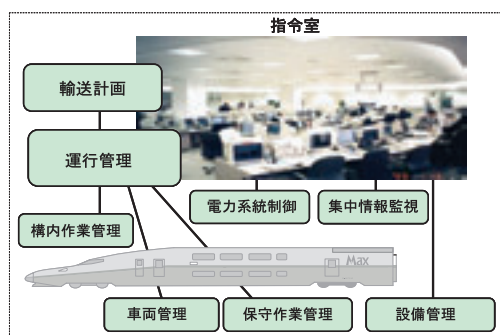


図10 新幹線総合システム（COSMOS）の概要

COSMOSは、新幹線運行本部の輸送計画、運行管理の機能に係わる中軸のシステムとともに、構内作業管理、車両管理、保守作業管理、電力系統制御、集中情報監視、設備管理などの各システムが連携・作動しています。

このほか東北・上越新幹線の列車無線デジタル化の後、新幹線指令伝達システムを2004年に使用開始しています。これによりCOSMOSのダイヤ変更や徐行データ等を、指令伝達情報として編集し関係列車の乗務員にシステムを介して伝達しています。それまで列車無線により音声で伝達・復唱確認していたことが、指令室や列車運転台のモニタ表示となり、指令伝達（受領操作要）・情報伝達（受領操作不要）の迅速化を実現しています。

4.2 輸送管理の課題対応

(1) 在来線輸送管理の課題対応の考え方

前記2.1項の表1の新システム・装置の導入経緯から判るように、輸送管理システム、デジタルATC、デジタル列車無線などの新システムや新規機能は、新幹線の方が早く実用化導入してきています。

この背景には、新幹線の方が限られた路線であり、技術環境や設備条件面からみて新規方式を実施しやすかったということがあります。そこで、新幹線で既に実施している事柄や状況を勘案しつつ、在来線固有の用途・設備面の特徴や制約条件を加味した課題対応を図ることに合理性が見いだせます。このような観点から在来線輸送管理の課題とその対応の方策として、図11の右側に示すテーマが導きだせます。

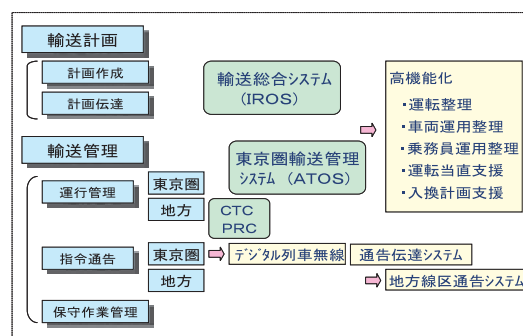


図11 在来線輸送管理の課題対応の事柄

本稿では、列車制御・輸送管理のシステムチェンジに関する包括的な概要を述べています。そこで、上記テーマに関する個別開発案件として、以下の取り組み件名を、本誌後半で具体的に内容紹介いたします。

- ・運転整理システム（新アルゴリズム等）の開発
- ・機関車運用整理支援システムの開発
- ・乗務員運用整理支援システムの検証試験
- ・当直支援システムの開発
- ・在来線デジタル列車無線システムの開発と導入
- ・地方線区用通告システムの開発

(2) 列車ダイヤと車両・乗務員運用

鉄道路線・区間別に季節変動、曜日変動、時間帯変動のあるお客さまの駅間移動の需要に対して、最大公約数的に輸送計画をたてて、輸送総合システム（IROS）が、日々の列車ダイヤを事前に作成・伝達しています。

この通称「列車ダイヤ」と呼ばれている列車運行図表

は、列車運転に関する時刻表・行路図を、用途に応じて各種形式の帳表・図票で作成しています。この列車ダイヤ・列車スジに対して鉄道車両の編成や乗務員（運転士・車掌）を最適割当てしていくことが、鉄道における輸送管理の本質であります。言葉をかえれば、列車ダイヤが所定運転から乱れた時、早期に所定の列車ダイヤに平復させる列車運転の整理をすることが、運行管理の真髄になります。

列車ダイヤが何らかの事情で変更になれば、当初の列車ダイヤで計画していた車両編成や乗務員の割当・乗務という運用計画も変わります。列車運転に関わる不測の事態に応じて、輸送力（お客さまの駅間移動の需要）に与える影響を、全体として最小化しつつ、列車ダイヤ、車両・乗務員の運用・割当を、連動させ最適化するシステム・仕組みの実現が、鉄道関係者に課せられた命題となります。

現在、輸送力に与える影響を考慮しつつ運転整理する新しいアルゴリズムを取り込み、車両運用や乗務員運用の整理支援（図12に示す位置把握機能の強化改善など）とも連携・協調したシステムの開発を進めています。

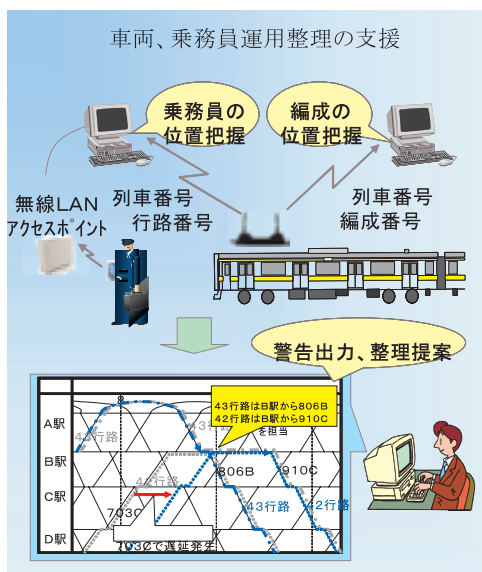


図12 輸送管理の車両・乗務員運用整理の改善

(3) 輸送管理と全体最適の取り組み

前項で述べた機能を次期の輸送管理のシステムで実現していくことが、図2に示した輸送管理のシステムチェンジであり、その方向を目指した取り組みを進めています。

また、輸送管理は、列車の乗務員、指令所の指令員、駅や乗務員区所の関係者が、最終的に列車運行に係わる適正な運転取り扱いを行っていかなければなりません。

そのためには、

- ・列車運行に係わる関係社員の役割と教育、訓練
- ・輸送管理のシステムの諸機能（ハードウェア・ソフトウェア）
- ・運転取り扱いの各種ルールと周知、遵守

などを、最適なかたちで整備し定着させていくことが大切になります。

5. おわりに

社会の少子高齢化が急速に進む日本では、鉄道事業のお客さまの増加が見込みにくい情勢であり、交通分野の競争激化など、経営環境はこれまで以上に厳しい見通しです。さらに、お客さまなどから寄せられる要望は、ますます高度化、多様化することが想定されます。

そのような今後の展望のもと、JR東日本グループの中期経営構想ニューフロンティア2008では、「より品質の高いサービスを提供することで、お客さまに、JR東日本グループを選択していただく必要がある」と述べ、経営の基本的方向として「研究開発に力を入れます」という事柄を、6つの挑戦のひとつとして取り挙げています。

一方、鉄道の列車制御・輸送管理システムは、列車を安全かつ正確に運転する必要不可欠な仕組みを提供しており、安全・安定輸送を確保しつつ、輸送サービスをさらに向上することが求められています。そこで、輸送改善の施策が展開しやすい鉄道へのシステムチェンジが大切であり、そのための列車制御・輸送管理のシステム変革であります。

経営方針に則った研究開発の取り組みにより、「新たな創造と発展」に寄与していきます。JR東日本は、未来志向の活力ある企業体であり続け、社内の英知を結集し時代をリードすることを志向して、お客さまのご期待を実現するために挑戦しつづけます。

参考文献

- 1) 高重哲夫：列車制御システム技術の変遷、鉄道と電気技術、VOL.15、No.2、2004.2
- 2) 松本雅行：列車制御システムの技術変遷、電気学会研究会、HEE-06-4、2006.1
- 3) 井上健造、辺田文彦：輸送の安定性を向上する、JREA、VOL.49、No.5、2006.5
- 4) 加藤保：ネットワーク信号制御システムの開発、鉄道経営、VOL.51、No.11、2006.11