

信号制御システムの開発概要

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



鉄道における信号制御のシステムは、列車を安全かつ正確に運転するために必要不可欠な機構・装置です。一方、鉄道を取り巻く諸情勢からみて、安定稼働を確保しつつ、さまざまな輸送改善の施策を取っていく必要があります。また、情報通信技術（ICT）のこれまでの技術進展には著しいものがあり、今後も続いていくものと見込まれます。

そこで、最新の技術動向を踏まえた信号制御に関する革新を図り、お客さまの求める安心・信頼と輸送改善を実現しやすい制御機構にシステムチェンジしていくことをめざした取組みを進めています。

本稿では、信号制御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. 輸送と信号設備の現状・改善の概況

1.1 JR 東日本の輸送と信号設備

当社の2007年度の1日平均輸送人員は、在来線・新幹線を合わせ約1,690万人であり、1日当たりの旅客列車本数は、12,667本（除く回送、2008年3月15日時点）にのぼります。この輸送において安全かつ正確に列車を運転するために必要不可欠な機構・装置として信号制御システムがあり、主要な設備・装置は表1に示すように膨大なものです。

表1 主要な信号関係の設備・装置（2008年3月31日現在）

項目	数量
装置数	信号機 約 13,500 基
	転てつ機 約 10,900 台
	連動装置 989 組
路線長	踏切保安装置 6,645 カ所
	A T S 線区 6,317.1 km
	A T C 線区 1,209.7 km

これらの信号関係の設備・装置や信号制御システムは、長い鉄道の歴史のなかで、発生した事故に応じた安全対策を採りつつ、社会情勢にあわせた輸送改善の施策に対応しながら、そのときどきの技術を取り込み発達してきました。

1.2 信号革新に向けた取組み

信号システムや設備に関する施工ミス・不備あるいは故障による輸送障害といった問題が、いろいろな改善施策の際などに発生しました。お客さまは、列車の安全かつ正確な運行を最も求められ、経営面でも一層の安全・安

定輸送に関わる業務改善や設備改良の事柄を重視しています。

当社が今後ともお客さまから信頼され、より高い品質の輸送を提供していくためには、鉄道輸送に関する安全性と安定性を、一層高めていく必要があります。グループ経営ビジョン2020「挑む」のなかでも、「継続する挑戦」の章において「お客さま満足の向上を実現する」の節の筆頭項目として、「輸送の安定性を向上する」を取り上げ記載しています。さらに、「研究開発を積極的に推進する」の節の項目としては、「究極の安全の追求」、「安定性・信頼性の向上」、…と列挙しています。

そこで社内の輸送に関する安定性向上委員会や信号革新プロジェクトで、ハード・ソフトの両面から信号システムを改善していく取組みを進めています。お客さまの視点に立脚し、安全・安定輸送に一層の磨きをかけ、利便性・快適性を向上させることを、研究開発の根底に据えていかなければなりません。信号システム全体の変革をめざし、研究開発の取組みを地道に進めています。本稿では、それら研究開発部門としての取組みの概要について紹介します。

2. 現状の課題とシステム革新の方向性

2.1 現状のシステムが抱える課題

(1) 膨大な信号ケーブルの敷設

現状の信号関係の設備・装置や信号制御システムにおけ

る課題のひとつが、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。



図1 機器室の信号ケーブル

駅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さまざまな信号設備・機器との間をつないでいる信号ケーブルは、駅の路線数・ホーム面数などの規模にもよりますが、図1や図2のように膨大な量を敷設しています。



図2 信号ケーブルの沿線敷設

(2) 大きな輸送障害の発生

中央線の連続立体交差化工事における三鷹～国分寺間の仮上り線切換工事では、2003年9月28日6時10分頃に発生した図3に示す信号トラブルにより、列車運休が477本、列車遅延が多数という大きな輸送障害を発生させ、お客さまに多大なご迷惑をおかけしました。この鉄道輸送の大きな障害は、当社ひいては鉄道全体に対する社会の信頼を失わせることとなり、鉄道信号関係者の反省と教訓の事例になっています。

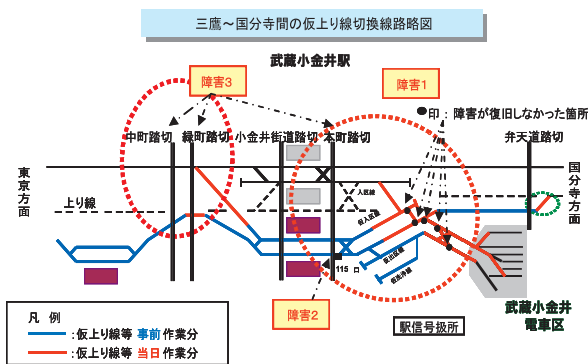


図3 中央線の線路切換における信号トラブルの概要

(3) 顕在化した信号設備の抱える課題

中央線の信号トラブルの直接的な原因は、図4に示すように、電気転つ機と踏切保安装置につなぎ込んでいた信号ケーブルの配線誤りでした。しかし、その配線誤りを発生させ見逃していた本質的な原因として、膨大な信

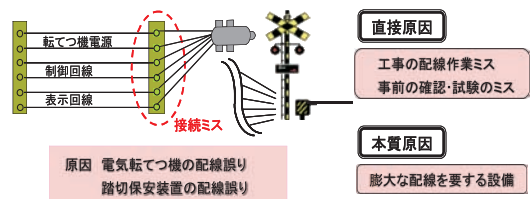


図4 信号トラブルの直接原因と本質原因

号ケーブルとその配線作業を要する現状の信号設備があり、そのような信号制御システム自体に課題を内在していることが挙げられます。

設備改良や老朽取替などの施工にあたり、この事柄を駅構内の信号制御システム全体について模式的に表したものが、図5に示す信号ケーブルの配線作業に係わる接続試験や確認を要する現状の設備ということになります。

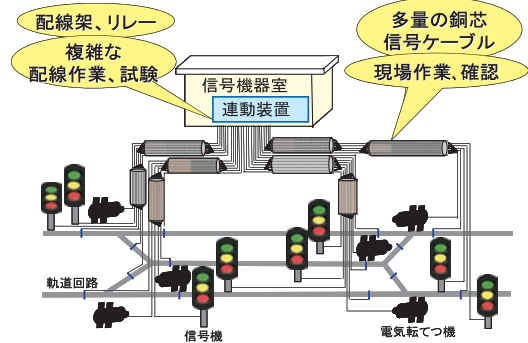


図5 信号ケーブルに関する作業、試験、確認

2.2 信号制御システム革新の方向性

2.2.1 信号制御システムの技術変遷

(1) 鉄道信号の定義

「信号」の用語の意味として広辞苑では、「隔たった双方の間に一定の符号を用いて意思を通ずる方法、その符号。符号には、色・音・形・光などを用いる」と記述しています。これが、信号に関する世の中の一般的な認識であります。

一方、「鉄道信号」などに関する用語としてJISでは、次のように定義してあります。

「鉄道信号：鉄道において、色、形、音などの一定の符号を用いて意思を伝えるための手段で、信号、合図及び標識の総称。」

「信号：列車又は車両に対して、一定の区間内を運転するときの条件を色、形、音などで現示すること。」

「現示：信号の指示内容を表すこと。」

(2) 信号に関連するこれまでの改良経緯

JR東日本では会社発足以降、信号制御システムの関連領域において、世の中の技術進展に応じ、表2に示す新し

表2 新しい信号設備・装置、システムの導入経緯

時期	名称
1989年	新型自動列車停止装置(ATS-P:上野~尾久)
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	駅構内ネットワーク信号制御システム(市川大野)
2007年	在来線デジタル列車無線(山手線)

い信号設備・装置やシステムの導入を進めてきました。

会社発足後の間もない時期に発生した中央緩行線の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。

また、旧国鉄時代に列車集中制御装置(CTC)や自動進路制御装置(PRC)を地方路線に導入しましたが、首都圏路線では運行管理の業務変革の取組みが遅れていました。

そこで新会社では技術開発に取組み、東京圏輸送管理システム(ATOS)を導入し、東北・上越新幹線では運転管理システムを刷新して他システムと連携を強化した新幹線総合システム(COSMOS)を実現しました。

さらに、従来のアナログ式自動列車制御装置(ATC)は、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)とするほか、アナログ式の列車無線設備については、新幹線・在来線ともにデジタル列車無線設備を開発・導入してきました。

2.2.2 課題対処の方策

(1) 課題認識と新たなテーマの位置付け

前項で述べた当社発足以降のこれまでの改良経緯、そのなかでも改良の取組みが不足していた信号技術の領域、さらには将来に向けた取組みを進める技術領域やテーマを図6に記載します。

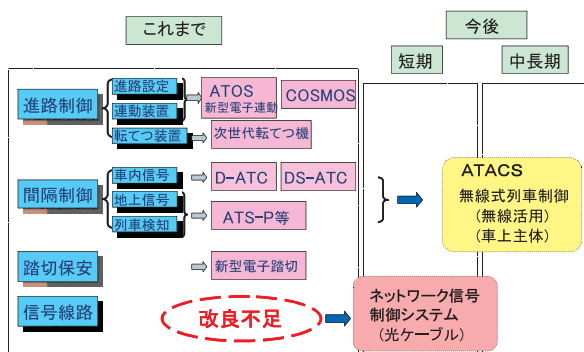


図6 信号制御システム改良のこれまでと今後

図6においてこれまでの改良不足を図示した信号線路とは、信号の伝送路としてのメタルケーブルであり、これを光ケーブルによるネットワーク信号制御にシステムチェンジしていくことを短期的なテーマとして位置付けています。

さらに中長期レベルでは、無線による車上主体の列車制御システム(ATACS)を実用展開していくことをめざしています。

(2) 技術革新・ネットワーク信号制御の考え方

信号機器室の運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)を、信号ケーブルを介して電圧・電流により制御する現行方式を、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7)

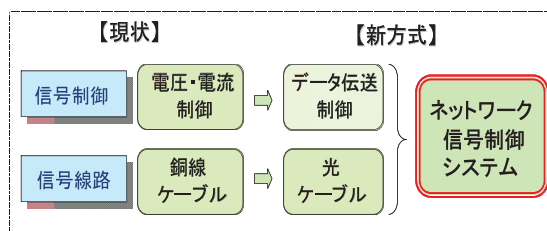


図7 ネットワーク信号制御システムの考え方

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みました。

信号機器室に設置して実地使用している光ケーブルの成端箱を、図8に示します。写真の黄色い線は、信号機などの各種現場設備と接続している光ケーブルであり、図1の以前の信号用メタルケーブルの写真と比較してみれば、ケーブル量の大幅削減が一目瞭然です。



図8 機器室の成端箱から現場設備への光ケーブル

(3) 技術動向を踏まえた無線列車制御の着眼点

中長期のシステムチェンジ方策では、技術変革の方向を見定めることが肝要であり、全体として技術バランスが取れた最適な取組みを進めていく必要があります。

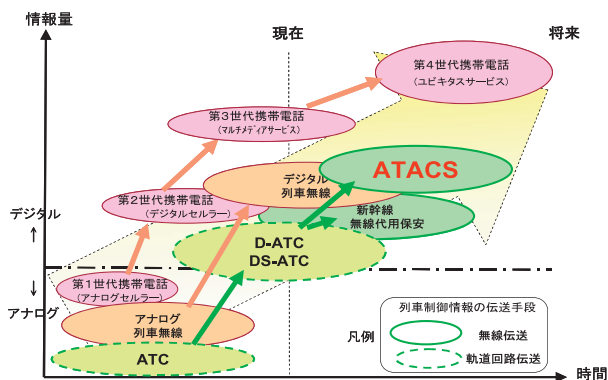


図9 無線による列車制御：ATACSに向けた流れ

さらに、近年の世の中の情報・通信技術の進展を考慮し、最新の無線技術やコンピュータ技術を取込むことで、システム変革することを着眼の中心に据えています。

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技術移行しつつあります。

また、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、無線による車上主体の列車制御システム（ATACS）に進化していくものと想定しています。

これらの技術進展を示すと図9のようになります。

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、高機能な列車制御を実現できることに大きな利点があります。

3. 信号制御システムの機能別の課題対処

3.1 ネットワーク信号制御システム

3.1.1 方式概要

信号ケーブルにより電圧・電流で制御する現行方式から、光ケーブル上を伝送するデータにより制御する方式に変えることが技術方針であり、概要を図10に示します。

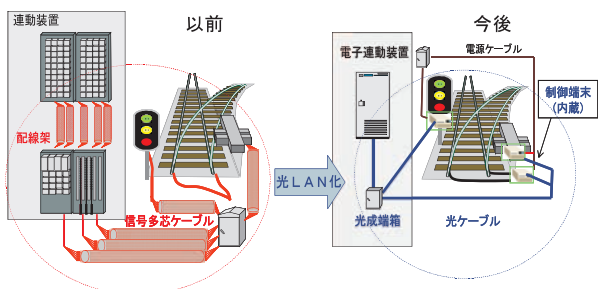


図10 ネットワーク信号制御システムの概要

その際、データ伝送方式としては、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を狙っています。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組みを進めています。ネットワーク信号制御システムは、次の4つの技術領域・要素に分けて開発しており、その全体概要を図11に示します。

- ・ 駅構内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
- ・ 駅の構内論理装置
- ・ 駅中間踏切のネットワーク制御

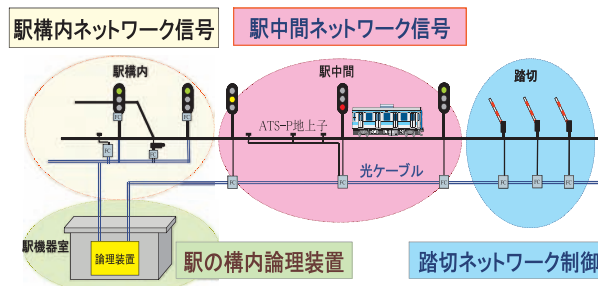


図11 ネットワーク信号制御システムの技術領域・要素

なお、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）としてしています。

3.1.2 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、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、型式認定の確認試験を経たうえで、長期のモニタリング試験を、常磐線の土浦駅で実施しました。

その開発成果に基づき、武蔵野線の市川大野駅において、継電連動装置の老朽取替に際して、駅構内のネットワーク信号制御システム（第1号機）を2007年2月より実用導入・使用開始しています。

(2) 開発中のシステムと今後の予定

「駅中間のネットワーク信号制御システム」は、常磐快速線の北小金駅付近で試験の後、実用化に向けた装置改

良の開発を済ませ、現在モニタラン試験中です。

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」と「統合化監視機能」の開発、さらに「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。(表3)

表3 ネットワーク信号制御システムの全体開発行程

項目	2006年度	2007年度	2008年度	2009年度	2010年度以降
駅構内ネットワーク	実用化	導入工事(市川大野駅)	検証		
	導入拡大	導入拡大に向けた開発	遠隔監視系の開発		2号駅以降の導入
駅中間ネットワーク	試作開発	モニタラン			
			改良開発	モニタラン	施工工事導入(老朽取替路線)
踏切ネットワーク制御			検討	開発	実用化
駅構内の論理装置			基本機能開発	実用開発	導入

3.2 ATACS

3.2.1 技術開発の背景

(1) 軌道回路の列車検知とATACSの位置検知

軌道回路は、米国ウィリアム・ロビンソンによる発明であり、1872年8月に同人が特許取得しました。そして、ペンシルバニア鉄道が1873年に初めて試使用し、本格的な自動信号機が誕生しました。

日本では、1904年(明治37年)8月に当時の甲武鉄道(現中央線)の飯田町～中野間を電化した際、円板式自動信号機と軌道回路による自動閉そく式で最初に登場しています。

このように長年にわたり実績のある軌道回路による列車検知と固定閉そくの方式ですが、図12の左側に列挙した列車検知の精度や固定閉そくの制約があります。

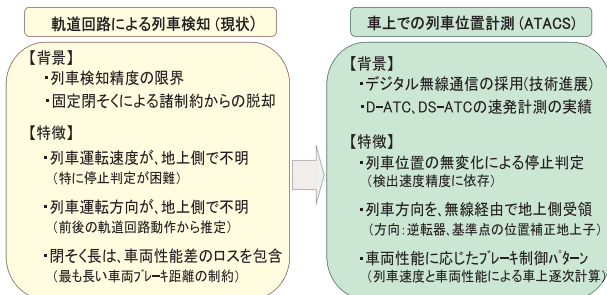


図12 軌道回路の列車検知とATACSの位置計測の比較

(2) 軌道回路と固定閉そくの課題対処

前項の列車検知の精度や固定閉そくの制約は、軌道回

路を使用する方式に根ざす本質的な事柄です。その課題に対処する方策としては、「列車自体が走行位置を把握するとともに、車上装置と地上設備との間の通信により、自列車・前方列車の位置情報を送受する方式」が最も有効です。

これにより図12の右側に記載したように列車位置や車両性能に応じた列車の間隔制御を実現することができます。車上装置と地上設備との間の列車位置情報の送受は無線によることとし、この新しい方式(ATACS)を10年余にわたり開発してきました。

3.2.2 ATACS

(1) ATACSの方式概要

列車制御の基本的な作動要素としては、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・速度制限の実行)

列車が自ら位置を計測し、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13のATACSです。

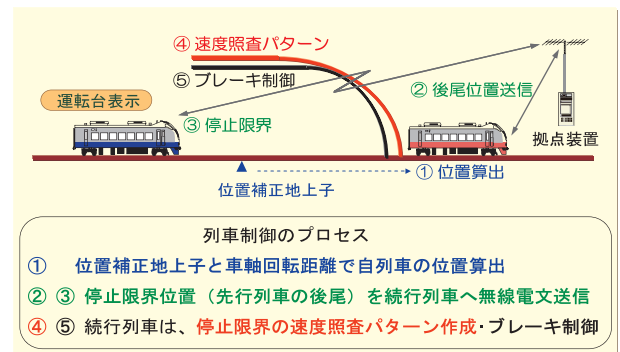


図13 ATACSの無線による列車制御の概要

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。

(2) ATACSの開発経緯と現状

ATACSは、地上の信号設備を削減した列車制御システムのシンプル化をめざして、仙石線(あおば通～東塩釜)における2011年春の使用開始に向けて施工中です。

開発当初からこれまでの経過を表4に示します。

表4 ATACSの当初開発から実用化施工までの経過

項目	1995	2000	2005	2010
1期開発	基本技術 仙石線走行試験(苫竹・東塩釜)			
2期開発	応用技術 仙石線走行試験(宮城野・多賀城)			
プロトタイプ開発	プロト検証 仙石線走行試験(あおば通・東塩釜) 評価委員会(外部) 社内意思決定▼			
実用化	仙石線(地上・車上) 導入工事 使用開始予定▼ (無線による列車制御の規格化・標準化) 関係委員会 JIS制定▼			

4. 信号制御のこれまでの技術進展と将来に向けて

(1) 初期の鉄道と信号技術の発展

世界で最初の商用鉄道は、1825年に開業した英国のストックトン～ダーリントン間を結ぶ鉄道であり、列車運転の安全は手信号により確保していました。そして、その後の鉄道路線網の拡大や輸送量の増大、および鉄道事故の発生に対応した安全対策により、列車運行の安全確保にむけて機械信号、電気信号というように技術発達してきました。

日本では1872年(明治5年)の9月12日(当時の旧暦：天保暦の日付であり、翌年から使用開始した太陽暦(グレゴリオ暦)の10月14日に相当)に新橋～横浜間が開業しました。その当時から相図柱(現在の信号機に相当する名称)を使用しており、初期の機械信号機を設備していました。

国内初の継電連動装置は、1933年(昭和8年)8月に当時の帝都電鉄の渋谷・永福町・井の頭の3駅で使用開始したもので、その後長く続いたリレー信号技術の嚆矢となります。

(2) 将来に向けた鉄道信号の技術進展

東海道新幹線の開業当時の電子技術を採用したATC装置は、鉄道信号のME化の流れを方向付け、JR東日本にお

表5 鉄道信号の技術進展の流れ

区分	内容
I	手信号
II	機械信号
III	電気信号
IV	リレー信号
V	ME信号
VI	IT信号
VII	ICT信号
(VIII)	(未来型信号)

信号旗・手合図、時間間隔法
 機械信号機・標識、機械連動
 電気信号機、電気・電気機連動
 継電連動、ATS、結線論理
 電子連動、ATC、CTC、新型ATS
 運行管理システム: 新型電子連動・PRC
 ネットワーク信号制御、無線式列車制御
 (移動体通信網、衛星測位等複検知)

けるATOSの自律分散の制御技術による新型電子連動・PRCは、IT信号の幕開けとなりました。

現在のネットワーク信号制御システムやATACSの技術は、ICT信号と称せるものであろうと考えますし、将来に向かつては未来型信号とも言うべき技術方策(専用の列車無線のほかに汎用ブロードバンド無線の選択組合せ、列車位置計測の既存技術と衛星測位技術(GPSなど)の組合せ付加といった技術選択によるシステムの全体最適化)や新技術取込みに向かうことと思います。(表5)

5. さらになお客さま志向に向けて

社会の少子高齢化が急速に進む日本では、鉄道事業における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、経営の環境はこれまで以上に厳しい見通しです。また、お客さまから寄せられる要望は、ますます高度化、多様化していくことが想定されます。

さらに、企業の社会的責任(CSR)において、鉄道は安全・安定輸送の責任を担っており、それを組織・人とともに技術で支えています。鉄道輸送を下支えする鉄道固有の信号技術をしっかり継承していくことが大切です。

一方、世の中の変化や技術進歩は、これまで以上に激しいものと思われます。これからも原点に戻って、鉄道の機構に内在する課題を発掘し、それを克服する研究開発を進めることが大切です。そして、安心して鉄道を利用できるとお客さまに評価され、21世紀にふさわしい鉄道システムにしていく取組みといたします。

グループ経営ビジョンに示されている「研究開発を積極的に推進し、鉄道事業の変革をめざす」という方針に則って、研究開発の取組みを推進し、輸送の安全・安定性の向上とともに、さらに一段高いお客さま志向を実現してまいります。

参考文献

- 1) 日本国有鉄道百年史編纂・修史委員会; 日本国有鉄道百年史, pp.89-104, 第1巻, 1969年3月, pp.515-526, 第13巻, 1974年2月
- 2) 鉄道信号発達史編集委員会; 鉄道信号発達史, pp.17-35, 1980年4月
- 3) 高重哲夫; 列車制御システム技術の変遷, 鉄道と電気技術, pp.3-8, VOL.15, No.2, 2004年2月
- 4) 松本雅行; 列車制御システムの技術変遷, 電気学会研究会, pp.19-24, HEE-06-4, 2006年1月
- 5) 加藤保; 列車制御・輸送管理のシステムチェンジ, JR EAST Technical Review, pp.7-12, No.20-SUMMER, 2007年8月