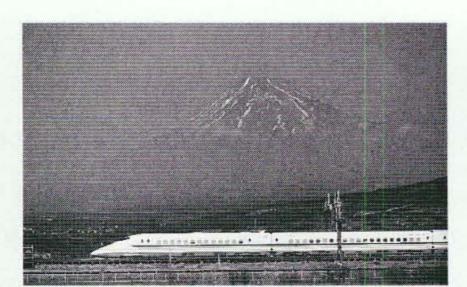
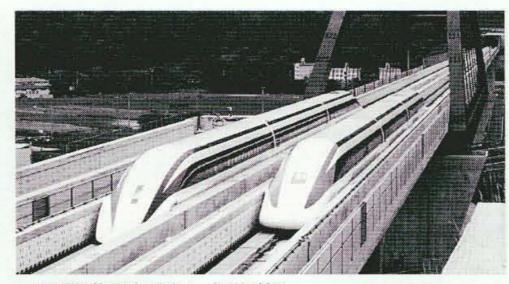
# 21世紀の鉄道システムの課題と日立製作所の技術的取組み

Next-Generation Needs of Railway Systems and Hitachi's Approaches

解良和郎 Kazuo Kera 磯部栄介 Eisuke Isobe 川畑真一 Shin'ichi Kawahata



新幹線車両700系電車



超電導磁気浮上式鉄道\*



リニアモータ地下鉄:都営地下鉄12号線

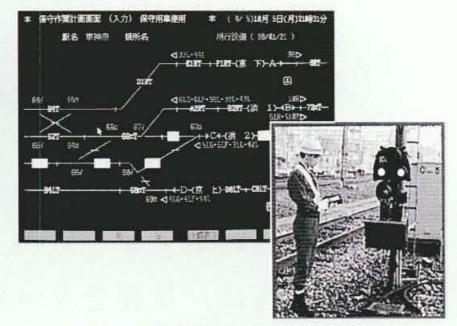
21世紀の鉄道システムの 課題解決に貢献する 鉄道総合システムインテグレータ



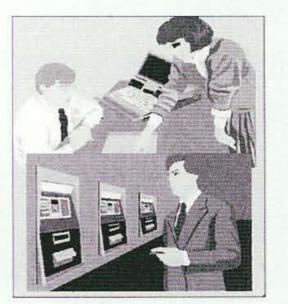
モノレールシステム:多摩モノレール



運行管理システムと旅客案内



電子連動装置と保守作業管理



情報サービス

# 21世紀の鉄道システムへの日立製作所の取組み

日立製作所は、鉄道の総合システムインテグレータとして、21世紀の鉄道に向けた車両、信号、情報システムなどの幅広い分野で、鉄道各社のニーズにこたえ、技術開発を推進している。

\*写真提供:東海旅客鉄道株式会社

21世紀の鉄道では、少子・高齢化、他交通機関との競争激化と環境問題に対応して、固定費圧縮、コスト低減による鉄道経営の体質強化と、快適性、利便性の高いサービスによる旅客需要の維持・向上を目指す必要がある。

車両については、軽量化や低騒音、低振動対策などの技術とともに、駆動制御装置の高機能化、高性能化を実現してきた。 最近は、都市交通の効率向上をねらった都市型ワンマンシステムや、リサイクルを容易にする車両構造、車両延命化のための 電気品のモダニゼーションなど、環境調和を考慮した技術開発にも取り組んでいる。

また、都市内の中量輸送規模の建設コストが比較的安い交通手段として、モノレールやリニアモータ地下鉄などが新たに注目されており、日立製作所は、これにも積極的に対応している。

21世紀の夢の鉄道である超電導磁気浮上式鉄道も実証試験が行われ、着実に実用化に向けて進んでいる。

鉄道経営の効率向上と顧客サービスの向上を目指して、運行系を中心とするシステム化を進めてきており、今後も、信号や 情報サービスシステムなど、最新の情報技術を用いた高度なシステム化を推進していく。

日立製作所は、グローバル化の時代において、車両、信号、通信、システム、電力などの幅広い分野で対応力を持ち、さらに日立グループに鉄道事業会社を持つ強みがある、わが国唯一の鉄道総合システムインテグレータとして国内外の鉄道会社のニーズにこたえ、ソリューションビジネスを展開していく考えである。

# 1 はじめに

21世紀の鉄道を取り巻く環境を展望すると,少子・高 齢化の時代となり,旅客需要の伸びについては多くを期 待できない。一方,CO<sub>2</sub>排出削減などの環境問題の観点 からは、鉄道に対する期待も大きいが、顧客が自動車など他の交通手段から鉄道に乗り換えるには、鉄道システムとして利便性や快適性などの点でまだ課題が多い。したがって、21世紀での鉄道会社は、コスト低減による企業体質の強化とともに、快適で、魅力あふれる利便性の

高いサービスにより、旅客需要の維持・向上を目指すも のと思われる。

また, 都市内の中量輸送規模の建設コストが比較的安 い交通手段として、モノレールやリニアモータ地下鉄な どにも、21世紀の重要な社会インフラストラクチャーと して注目が集まっている。

このような状況の下で、日立製作所は、車両、信号、 通信,システム,変電など幅広い分野で技術対応力を持 ち, 鉄道の総合システムインテグレータとして, 鉄道各 社のニーズに合致した技術開発を推進している。ここで は、鉄道システムの課題と、日立製作所の技術開発への 取組みについて述べる。

# 21世紀に向けた鉄道システムの課題

鉄道システムの課題を図1に示す。鉄道会社は、企業 体質強化のために安全・安定輸送を基本とし、そのうえ で合理化, 固定費圧縮やコスト低減を図らなければなら ない。特に今後、鉄道会社の社員の高齢化が進み、近い 将来の大幅な減員が予想され、省力化・合理化が必然的 に必要になってくる。

一方, 旅客需要の維持・向上のための, 魅力あるサー ビス作りや、環境調和の観点から、都市の交通問題の解 決策を考えていくことも必要と思われる。

日立製作所は、上記それぞれの課題に対応して、車 両・電気、情報システム、信号システム、その他施設、 電力設備の各分野での技術対応策を推進している。

#### 車両システムの取組み 3

車両システム分野の取組み状況について以下に述べる。

#### 3.1 車両高速化と環境調和・快適性向上

これまで、都市間輸送用の高速車両を多数開発して きた。高速化には環境との調和の観点から、騒音・振 動の課題を同時に解決する必要があり、技術開発を進 めてきた。

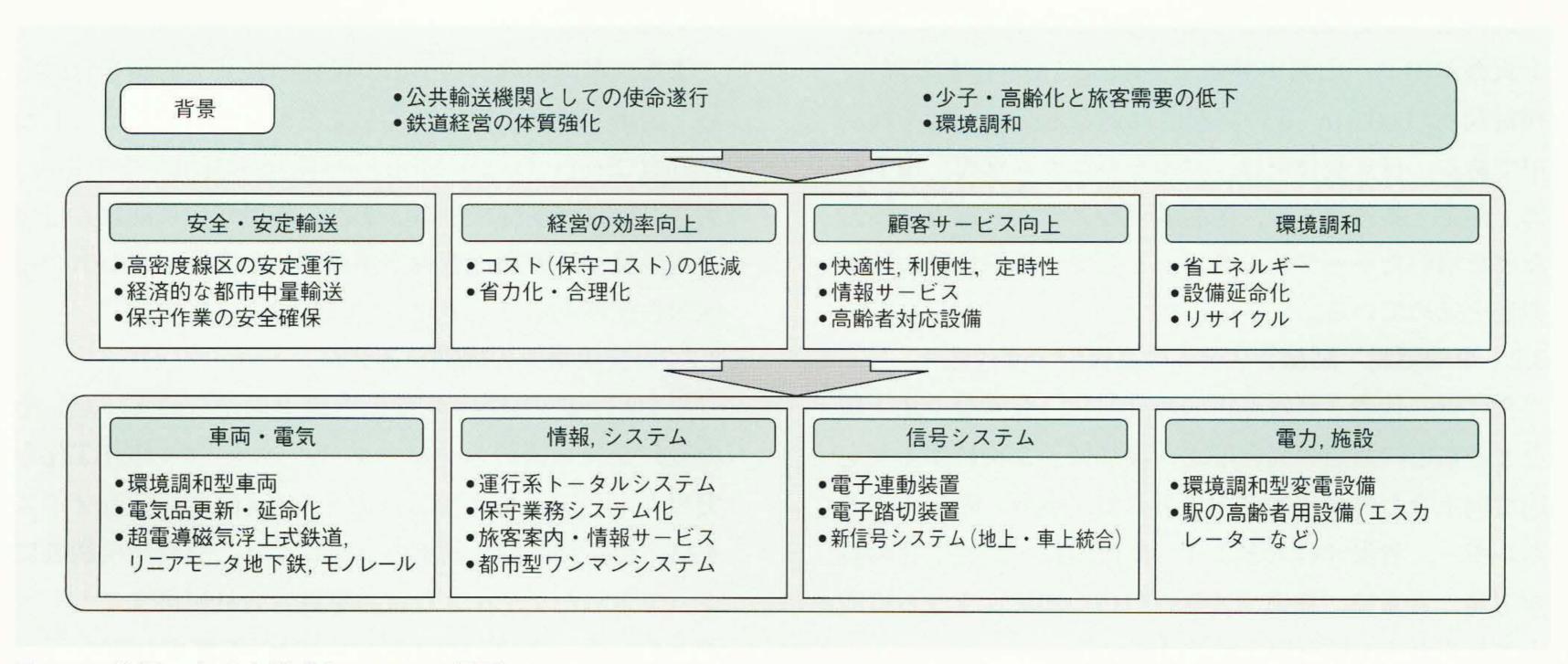
今後は、ますます環境調和の課題が重要になり、リサ イクルに適したアルミニウムの生産技術や、モジュール ぎ装の技術開発をさらに進めていく。車両を中心とした 取組み状況を図2に示す。

# 3.1.1 新幹線車両

環境調和に配慮した振動・騒音の低減と高速化を両立 させる技術開発により、世界最速の高効率・軽量新幹線 車両を実現させた。さらに、輸送力増強の面でも、世界 最大輸送能力を持つ2階建新幹線車両を実現させた。特 に、振動・騒音低減策としては、先頭形状の空力解析、 低騒音パンタグラフ, 車体の平滑化, 軽量アルミニウム 構体(アルミハニカム、アルミダブルスキン構体など)、 モジュール内装,機器の小型・軽量化技術などが有効に 作用している。

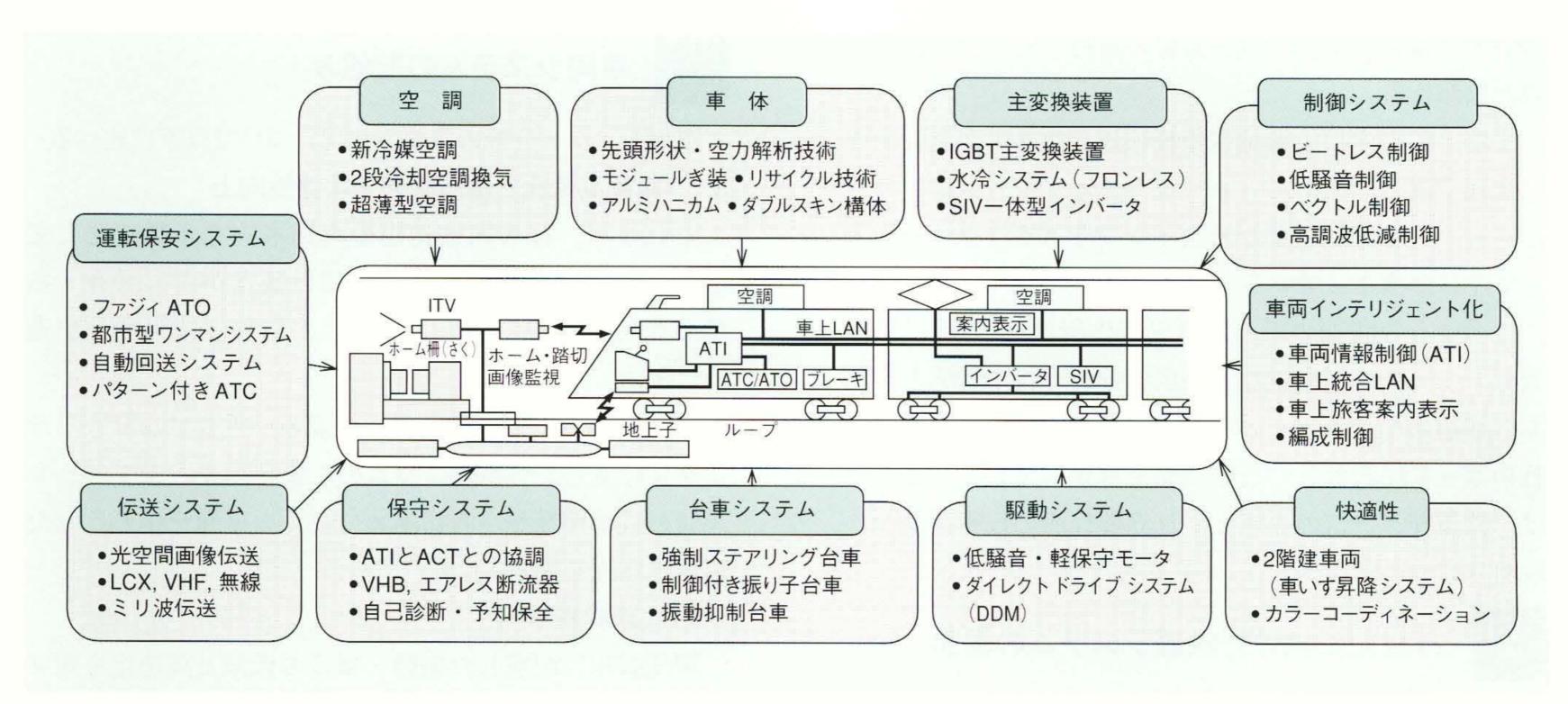
# 3.1.2 在来線車両

乗り心地向上の観点から、制御つき振り子車両システ ムによる曲線通過速度の向上により,特急車両の高速化 を実現させた。今後, さらに制御つき振り子に加え, 車



#### 図1 21世紀に向けた鉄道システムの課題

日立製作所は、総合システムインテグレータとして、車両・電気、情報・システム、信号、電力・施設の各分野の課題に対する鉄道のニー ズに、幅広くこたえている。



注:略語説明 IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor), SIV (Static Inverter), ACT (Automatic Car Testing System), LCX (Leakage Coaxial Cable) ATO (Automatic Train Operation), ATC (Automatic Train Control), VHB (Vacuum High-Speed Breaker), LB (Line Breaker) ITV (Industrial Television), ATI (Autonomous Train Integration)

## 図2 車両システムを中心とした技術的取組み

安全・安定輸送、経営の効率向上、サービス向上、環境調和に対応するための、車両・電気分野での最新の技術的取組みを示す。

体傾斜システムと振動制御システムを実用化し、いっそうの高速化と快適性向上を追究していく。一方、アルミダブルスキン構体とモジュールぎ装は、E653系特急電車「フレッシュひたち」に取り入れられた。この環境調和型車両は特急車両だけでなく、通勤車両も含めて、今後の発展が期待されている。

### 3.1.3 超電導磁気浮上式鉄道

21世紀の超高速鉄道として期待が集まる超電導磁気浮上式鉄道では、山梨実験線で550 km/h 走行を実現し、相対速度1,000 km/h の高速すれ違い走行の実験を継続中である。日立製作所は、アルミハニカム車両、車上制御、浮上・推進コイル、運行管理システム、電力変換器などを用いたトータルシステムとして、この分野の技術開発を進めている。

# 3.2 車両駆動・制御システムの高機能・高性能化

新幹線に代表される都市間の高速化,在来線や地下鉄などの都市内鉄道の高密度化,高加減速車両による表定速度向上などの利便性向上に対して,小型,軽量,省エネルギー,省保守はもとより,高機能化・高性能化の技術開発とともに,鉄道システムの持つ環境性をさらに向上させるための技術開発も進めている。

### 3.2.1 車両駆動システムのIGBT化

日立製作所は、世界に先駆けて、車両用IGBT素子と、

これを使用した駆動用インバータを開発した。さらに、3.3 kV, 1,200 AのIGBT素子の実用化によって高耐圧・大容量のIGBT素子のシリーズ化を達成した。その制御性と環境性が評価され、都市交通から新幹線車両や機関車まで幅広く適用されるようになった。駆動システムの多様化に対応して、駆動システムと補助電源システムとのインバータ部の併用・共用により、車両の冗長度の向上を実現した。

また、車両駆動システムの保守の軽減と低騒音化のため、歯車・駆動装置をなくしてギヤレス主電動機としたDDM(Direct Drive Motor)を開発・実用化中であり、大きな効果が期待できる。また、省保守化に向けた軽保守電動機や直流高速度真空遮断器に加え、エアレスの電磁操作式断流器を実用化している。

# 3.2.2 交流車両の駆動システム

インバータのIGBT化は、直流車両から始まった。その後、交流車両のコンバータ・インバータのIGBT化も実現した。交流車両では、力率の1制御と高調波ノイズを抑えた高調波低減制御の実現により、交流回生制御によって余ったクリーンな電力を電力会社に戻すことも可能となった。この方式は731系通勤近郊電車とE653系特急電車で実現し、700系新幹線電車にも採用され、今後の発展が期待できる。

# 3.2.3 駆動システムを支える制御技術

高速・高機能のマイクロコンピュータを駆使した省エネルギー・低騒音・高調波低減制御技術により、インバータ駆動システムの高機能・高性能化を支えている。

交流車両については、力率1制御、高調波低減制御、 ビートレス制御を実用化している。また、交流・直流車 両については、ベクトル制御の実用化により、回生率の 向上と、高粘着(空転・滑走)制御の高度化を進めてい る。さらに、スペクトル拡散方式による低騒音制御も実 現した。

#### 3.2.4 車両情報システム

車両のインテリジェント化・情報化を実現する手段と して,車両情報システムの構築がある。

車両に自律分散二重ループの車上統合LANを張り, 機器の状態監視,故障記録,異常発生時の応急処置ガイ ダンス表示・遠隔操作に加えて,制御指令伝送・車上検 査機能,旅客案内表示,サービス機器への指令などの乗 務員支援・保守員支援機能を開発,実現してきた。

今後、車両の各サブシステムを有機的に結合し、地上システムとの緊密な情報の連携を図り、信号システム・列車編成制御を含めた運転保安機能およびワンマン化支援機能拡大のための技術開発を進めていく。

#### 3.2.5 空調・換気システム

快適性向上と環境との調和を考慮した空調・換気システムを開発している。フロンR22に代わる新冷媒空調システムや、小型化と省エネルギー化を目的として、熱交換を2段階に行って冷房能力の向上を図った2段冷却空調・換気システムを実用化した。

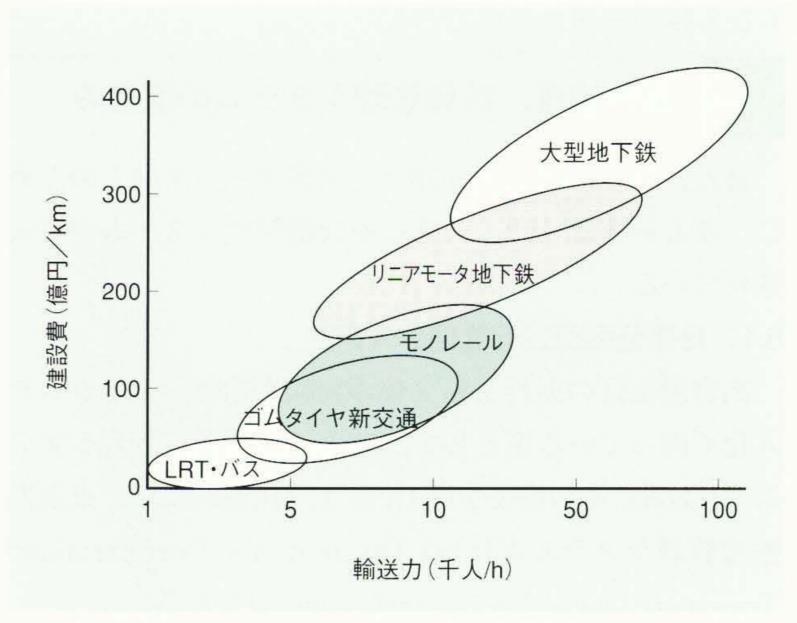
# 4 都市交通システムの取組み

建設費を抑制した中量輸送システムの手段の一つとして注目されている,モノレールとリニアモータ地下鉄システムを開発し,実用化している。その概念を図3に示す。

# 4.1 モノレールシステム

日立製作所は、跨(こ)座型モノレールシステムを1964年に東京モノレールで実用化した。その運行実績を生かして、4路線の都市モノレールを建設してきた。現在、さらに延伸を含めて4路線を建設中である。

跨座型モノレールは、都市景観に配慮して道路上空を 走行し、路面交通への支障も少なく、低騒音や振動など の面でも環境に優しい、経済的な都市交通システムであ る。地方中核都市の計画に合わせて、輸送能力が比較的 小さく、建設費も抑制できるモノレールの検討が進めら



注:略語説明 LRT (Light-Rail Transit)

#### 図3 都市交通の輸送能力と建設コストの概念

リニアモータ地下鉄は通常の地下鉄よりもトンネルの断面積が 小さい分建設コストが安く,一方,モノレールは新交通よりも輸 送力があり,建設コストもほぼ競合できるレベルに近づいている。

れている。

日立製作所は、プロジェクトの計画段階から設計・製作, さらに保守・運営まで、トータルな対応ができ、海外へも積極的に展開している。

## 4.2 リニアモータ地下鉄

リニアモータ地下鉄は、鉄車輪支持式で摩擦に頼らない推進方式を採用しているので、急こう配・急曲線走行による路線計画の自由度拡大と、トンネル断面積の縮小によって建設費を抑制できる点に特徴がある。さらに、省エネルギー化の課題改善にも努めている。

リニアモータ地下鉄の基本システム構想を1978年に発 案し、中核メーカーとして開発を推進し、大阪市営およ び東京都営地下鉄に採用された。現在、都営地下鉄12号 線の環状部開業用車両を一括受注し、製作中である。さ らに、3都市で建設が計画されている。

今後, 地下鉄にとどまらず, 地上高架軌道交通システムへの適用も期待されている。

# 4.3 都市型ワンマンシステム

日立製作所は、都市交通の効率向上、省力化を目的とするワンマン運転を支えるATO(自動運転装置)、ATC (自動列車速度制御装置)、運行管理システム、自動放送案内システム、ATI(列車情報制御システム)、駅ホームドア、駅ホーム監視画像伝送システムなどの技術開発を行ってきた。

今後はホーム上の乗客の保護と乗務員の負担軽減のために, 既設路線のワンマンシステム化が必要であり, さ

らなる技術開発を進めていく。

# 5 運行管理,設備管理システムの取組み

最近,運行部門の効率向上と旅客サービス向上のために,新しい運行管理システムや設備管理システムが導入されている。

# 5.1 自律分散型運行管理システム

高密度線区の運行業務全体の大幅な効率向上をシステム化で図っている例として、自律分散型運行管理システム<sup>20</sup> がある。その概要を**図4**に示す。代表例には、東京圏輸送管理システムATOS (Autonomous Decentralized Transport Operation Control System) がある。

汎用の小型計算機を多数用いて自律分散システムとすることで、従来の運用管理システムの範囲を大きく拡大し、現場の運行業務の効率向上を図った。また、列車ダイヤが乱れた時に、指令員の扱う運転整理機能と連携し、列車間隔制御や各駅の全自動進路制御を行うことにより、指令員の負担を大幅に軽減している。このように列車ダイヤの乱れた時に威力を発揮するのが、このシステムの特徴である。

また、保線などの保守作業の安全確保と作業の効率向上をねらいとした、保守作業管理システムを実現している。このシステムでは、保守作業区間に列車を進入させないようにインタロックをかけて安全性を確保するとともに、作業者が、無線ハンディ端末を用いて直接、「線路閉鎖」の設定や解除、保守用車の進路設定ができるようにしている。これにより、駅の信号扱い者に頼らずに作業ができ、また、多数の作業が輻輳(ふくそう)しても

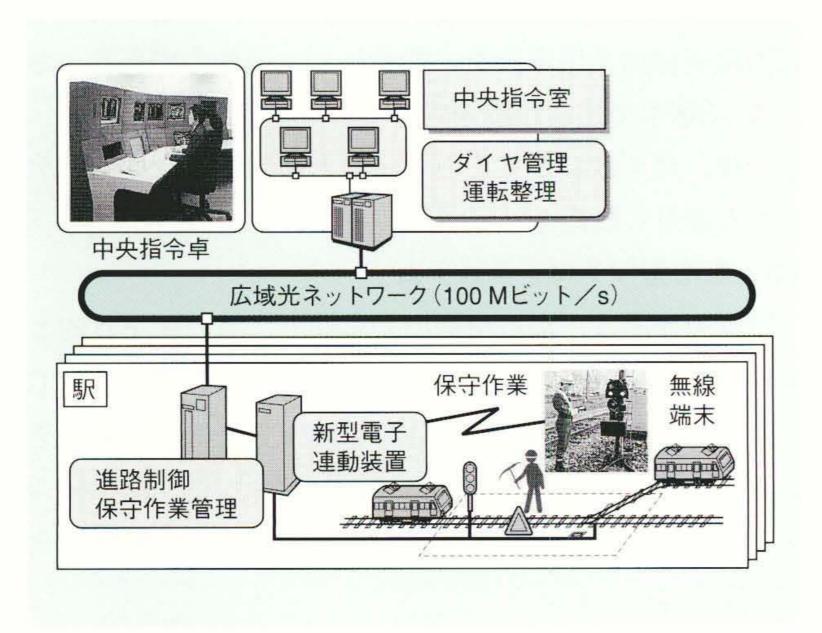


図4 自律分散型運行管理システムの概要 駅の運行業務の合理化と安全確保に貢献するシステムである。

各作業者が自己完結型で作業ができるなど,システム的 な安全確保とともに,大幅な効率向上を図っている。

# 5.2 在来線幹線対応運行管理システム

最近、在来線の幹線に、システム規模と制御対象範囲を拡大した、本格的な運行管理システムが導入されつつある。構内入換制御や運転整理により、運行業務の効率向上に役立っている。また、新しい電子連動装置と組み合わせることにより、運行管理システムからの一貫した列車ダイヤで大型駅の制御を実現している例もある。これにより、運行業務の合理化が図れ、さらに効率的で経済性の高いシステムが可能となった。

#### 5.3 新幹線運行管理システム

世界に誇る新幹線の高速・高密度運行を支える運行管理システムは、東海道・山陽新幹線のCOMTRAC (Computer Aided Traffic Control)から始まり、四半世紀以上の間、新幹線の安全・安定運行に貢献してきた。

現在,東海道・山陽新幹線のCOMTRACでは,地震などの災害時のバックアップ用の第2総合指令所を建設し,運用に入っている。

東北新幹線と上越・長野新幹線では、21世紀を目指した新幹線の業務全般の合理化とサービス向上を図るため、1995年にCOSMOS(Computerized Safety, Maintenance and Operation Systems of Shinkansen)が建設され、安定して稼動している。

# 5.4 設備管理, 指令統合システム

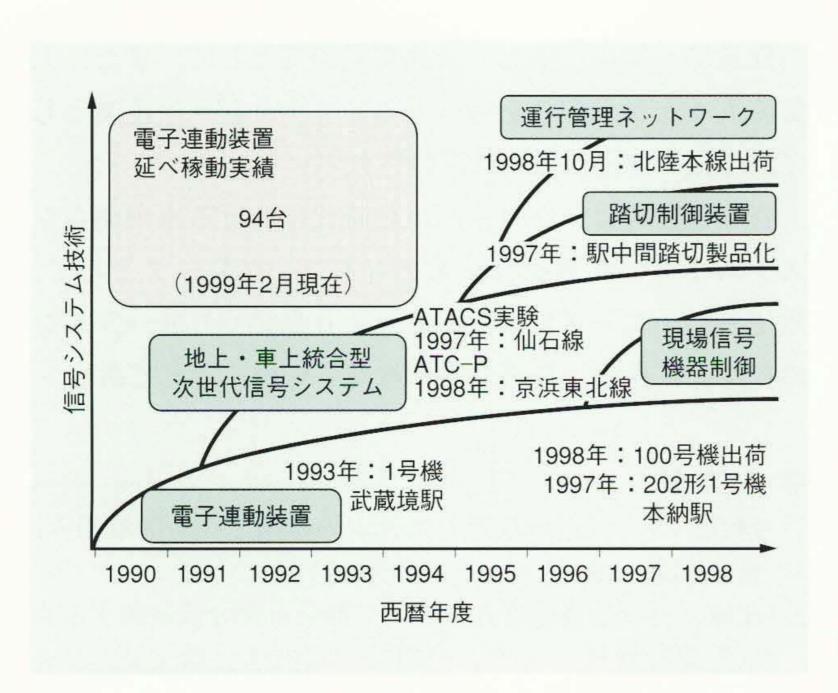
鉄道を支える変電や設備の管理のための電力管理システムや設備管理システムが導入されている。最近では、電力、信号、通信、防災等施設の各部門の効率向上を目指し、指令系統を統合管理する設備指令システムが実現している。このシステムは、従来各設備単位で分かれていた指令体制を、システム化によって機能的に統合して運営できるようにし、事故発生時の復旧の迅速化、各指令間の情報の伝達、共有化、作業の大幅な自動化など、大きな効果が実現されている。

最近では、指令業務の効率向上を目指し、各地に分かれていた指令室を一か所に統合する指令統合システムの例もある。最近の情報ネットワークとシステムの機能レベルの向上により、実現が可能となったものである。

# 6 新しい信号システムの取組み

# 6.1 信号システムへの取組みの歴史

日立製作所は、1990年から信号システムの開発に取り 組んでいる。これは、運行業務の合理化を行ううえで、



#### 注:略語説明

ATACS (Advanced Train Administration and Communication System) ATC-P (ATC-Pattern Control)

# 図5 日立製作所の信号システムへの取組みの歴史

日立製作所は、電子連動装置の開発をはじめとして、踏切制御 装置から地上・車上統合型次世代信号システムまで幅広く対応し ている。

従来の伝統的な信号システムの変革が不可避であったか らである。従来の信号システムでは、安全性確保のため に専用装置で構成することが多く, 柔軟性がないことか ら、新しい機能を盛り込むことができなかった。そのため、 最新の情報技術を導入することにより, 汎用の計算機を 用いても従来製品と同等以上の安全性を確保できること を実証し,新しい信号システムを開発してきた。これに より、柔軟性と、新しい機能の組込みが可能となった。

日立製作所の信号システムの開発の歴史を図5に示す。 その歴史は、電子連動装置に始まり、電子踏切制御装 置,駅と中央システムを結ぶネットワーク,次世代信号 システム, 転てつ器などを含むものである。 日立製作所 は, さらに範囲を拡大して, 情報技術の応用による鉄道 信号の革新を目指している。

#### 6.2 新しい電子連動装置と電子踏切制御装置

電子連動装置では、最新の情報技術を駆使し、汎用の 計算機でフェイルセイフ性の確保を実現した。これによ り, 従来の連動機能だけでなく, 無線端末を用いた保守 作業時の線路閉鎖インタロックなど、駅運行業務の合理 化機能を実現している。

新しい電子連動装置では、 論理をソフトウェア化する ことから、ソフトウェアの信頼性の面で課題があった。 これを解決するために、連動図表を表形式で表現し、そ れをそのまま解釈して処理を実行できるようにし、また、 時間のかかる連動試験を自動的に実施できる自動試験シ ステムにより、試験効率を格段に向上させた。このよう に、この装置は柔軟で保守性、拡張性に優れた、情報型 電子連動装置と言える。現在、94台の電子連動装置が安 定に稼動している。

踏切制御についても,駅構内の踏切制御機能を連動装 置の1機能として、上述の新しい電子連動装置に組み込む ことができるようにしている。また、駅中間の踏切制御 についても,独立設置型の,耐環境性,保守性,経済性 に優れたコンパクトな電子踏切制御装置を開発している。

# 6.3 次世代型の新しい信号システム

従来の信号システムは、地上に列車位置検知と制御論 理を持ち、地上からの指示で制御を行う方式であったこ とから地上設備が多く、保守も大きな負担であった。

次世代の信号システムは、従来の地上・車両のATC, 連動, 進路制御を一貫したコンセプトの下に再構築し, 新たに車両にインテリジェンスを持たせ、車両主体で制 御する方式である。地上と車両間のコミュニケーション には、無線などが使用される。これにより、地上設備が 大幅に減り, 実質的に保守が軽減される。また, 高密度 運行に適する移動閉そく方式も可能になる。

日立製作所は、このような次世代信号システム開発の 一環として、平成9年度に仙石線でATACS<sup>4</sup>の第1次実 験を完了し、引き続き開発に取り組んでいる。

次世代信号システムの概要を図6に示す。

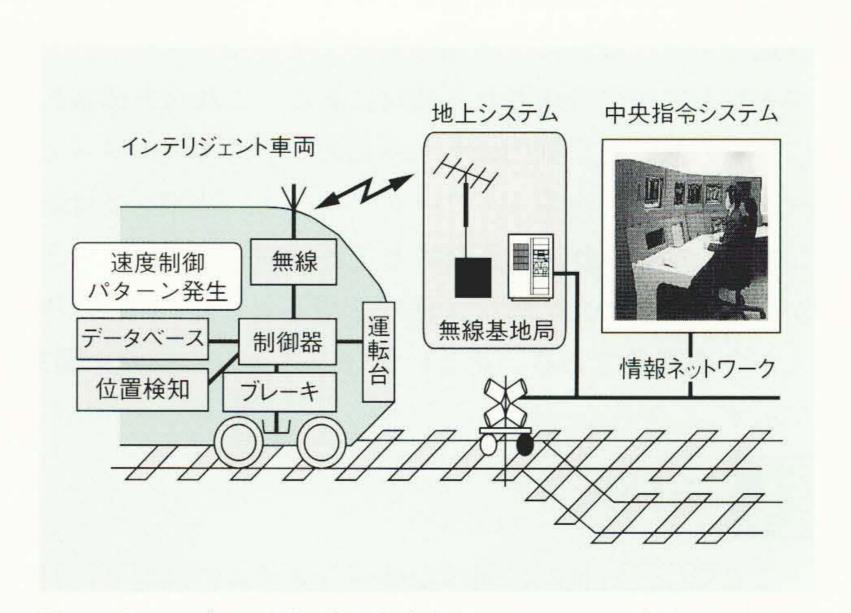
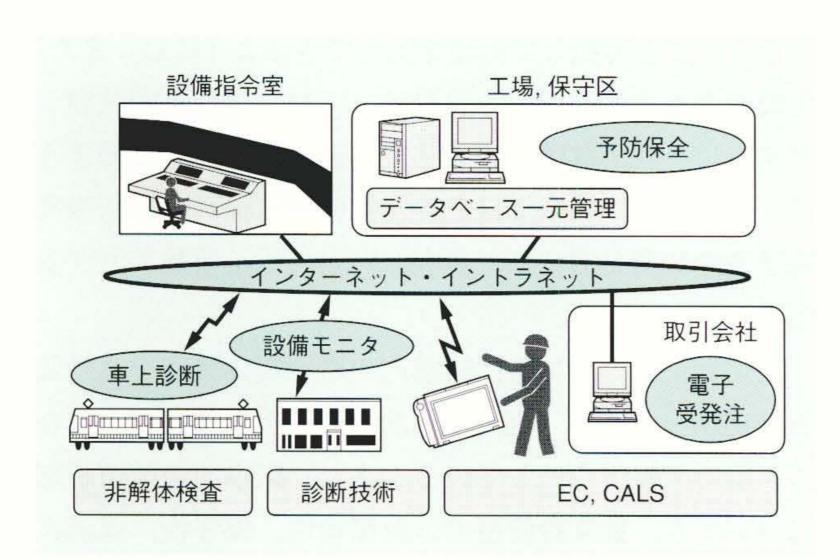


図6 地上・車上統合型次世代信号システムの構成

次世代信号システムは、無線を用いて地上と車上でコミュニケ ーションをとり、インテリジェント化された車上システムが主導 的に制御する新しい信号システムである。



注:略語説明 EC(Electronic Commerce)
CALS(Commerce at Light Speed)

#### 図7 新しい保守システムの概要

ネットワークを中心にして、CALSや設備モニタ、車上診断などによって保守コストの削減を図るシステムである。

# 新しい情報システムの取組み

## 7.1 顧客サービス向上のためのシステム

21世紀に向けて、鉄道の魅力を増し、旅客需要の増加につなげるための顧客サービスシステムの強化がますます重要になってくる。車上での列車、ホテルやレンタカーの予約等の情報サービス、駅での旅客に対する案内情報の充実など、顧客サービスの課題は多い。これらを解決する、地上と車両を結ぶ移動体通信のネットワークの整備とともに、情報サービスシステムにも取り組んでいる。

# 7.2 保守CALS

鉄道では保守対象の設備数が多く、その管理が大きな課題である。最近は、設備のデータやドキュメント、ソフトウェアが電子化される傾向にある。これらを体系的に管理し、鉄道会社内はもちろんのこと、関連のメーカーや工事会社間をネットワークで結合し、情報を受け渡しすることにより、大きな省力化と効率向上を図ることができる。このためには、保守を中心としたCALSの導入が今後有効である。新しい保守システムの概要を図7に示す。

# 8 おわりに

ここでは、21世紀に向けた鉄道システムの課題と、日 立製作所の取組みについて述べた。 鉄道は、環境に優しい公共交通機関として、また、大勢の人々とかかわりを持つコミュニケーション産業として、今後の進展が大いに期待されている。

日立製作所は,グローバル化時代における車両からシステムまでの鉄道総合システムインテグレータとして, 鉄道各社のニーズにこたえる,より良いソリューションの提案を目指し,技術開発を推進していく考えである。

# 参考文献

- 1)解良,外:最近の鉄道システムの課題と技術的取組み, 日立評論,**79**, 2, 145~152(平9-2)
- 2) 北原,外:超高密度鉄道の列車群を自律分散制御する東京圏運行管理システムの開発,電気学会論文誌,Vol. 118-D, No. 4,534~541(1998)
- 3) 高久,外:東京圏設備指令システムと支える技術, JREA,38,6,23203~23206(1995)
- 4) 小林:無線通信を用いた新しい列車運転制御,電気学会誌,117,10号,695~698(1997)
- 5) 木村, 外:新型高速新幹線電車, 日立評論, **79**, 2, 153~156(平9-2)
- 6) 堀江,外:最近のIGBTを適用した電車駆動システム,日 立評論,**79**,2,157~160(平9-2)
- 7) 高岡, 外:鉄道の高効率化を支援する新しい車両情報制 御システム(ATC・ATO・ATI), 日立評論, **79**, 2, 161~164(平9-2)

## 執筆者紹介



# 解良和郎

1970年日立製作所入社,交通事業部 所属 現在,輸送管理・信号システムの開発に従事 技術士(情報工学部門) 電気学会会員,情報処理学会会員 E-mail: kera @ cm. head. hitachi. co. jp



# 磯部栄介

1971年日立製作所入社,交通事業部 所属 現在,車両システムの企画・開発業務に従事 技術士(電気・電子部門,機械部門) 電気学会会員

E-mail: e\_isobe@cm. head. hitachi. co. jp



#### 川畑真一

1974年 日立製作所入社,システム事業部 輸送システム部 所属

現在, 鉄道のコンピュータ応用システムの企画・開発に 従事

技術士(情報工学部門)

電気学会会員

E-mail: kawahata@cm. head. hitachi. co. jp