

feature article

安全でスマートな鉄道輸送を実現する 次世代信号・列車制御システム

Next Generation Signalling and Train Control System

佐々木 英二 Eiji Sasaki

飛田 安正 Yasumasa Tobita

早乙女 弘 Hiroshi Sotome

鉄道における基本原則は安全・安定輸送であり、これを支えているのが信号システムである。高い安全性と信頼性が要求される信号システムにおいて、日立グループは積極的な技術革新を行い、汎用形電子連動装置やデジタルATCなどの新しい製品を開発し、安全性と高機能化を実現させてきた。ネットワーク信号制御システムと、連動・ATC統合型システム「SAINT」は、今後の信号システムに求められるユーザーニーズに対応し、それを実現させるために開発したものである。

1. はじめに

鉄道システムにおける信号システムは、システムにどのような故障が生じたとしても安全側に制御するフェイルセーフという考えに基づいて構成され、列車の安全な運行を約束する要となるシステムである。日立グループは、信号システムが抱えるさまざまな課題を解決するため、1993年に汎用計算機を多重系構成としたアーキテクチャを採用することでフェイルセーフ性を確保し、連動表内蔵形論理と呼ばれるソフトウェアを実装した汎用形電子連動装置の初号機を出荷した。それ以降も、最新の情報制御技術、ネットワーク技術を適用したデジタルATC (Automatic Train Control: 自動列車制御装置) システムの開発・導入など、ユーザーニーズに応えながら信号システム全体の近代化に取り組んできた。

ここでは、新たなソリューションの一つであるネットワーク信号制御システムと、連動・ATC統合型システム、「SAINT (Shinkansen ATC and Interlocking System)」および今後の信号システムの動向について述べる(図1参照)。

2. ネットワーク信号制御システム

2.1 信号システムが抱える課題

連動装置などの信号システムは信号機器室内に設置されるが、制御対象設備となる信号機や転轍(てつ)機は線路沿線に設置されるため、この間は信号ケーブル(メタルケーブル)で接続されることになる。

このケーブル数は設備の種類によっても異なるが、1設備当たり数本から10本弱必要となり、これを機器室から

設備まで数百メートルにわたって布設するため、駅構内に布設するケーブルの総延長は数十キロメートルに及ぶ場合がある。このため、連動取り替えなどの工事を行う場合は、膨大な量のケーブル布設と、連動装置と信号設備との接続試験を長期間にわたり実施する必要があり、かつ、切換当日は膨大な配線の接続作業を数時間で行うため、多くの作業者が同時に作業を行うことになる。これらが工事施工のミスや作業ミスを誘発する原因ともなり、結果として大きな輸送障害を引き起こすおそれがある。

2.2 開発コンセプトとシステム構成

前述の課題を解決するため、信号機や転轍機などの信号設備と信号機器室を光ケーブルで接続し、デジタル情報伝送によって制御を行うネットワーク信号制御システムを、以下のコンセプトの下に開発した(図2参照)。

- (1) システム機器と設備をつなぐケーブルを大幅に削減
- (2) 配線誤りによる障害を可能な限り回避
- (3) 施工性、保守性を十分に考慮
- (4) 最新かつ汎用性のある情報技術を採用
- (5) 従来装置と同等以上の安全性、信頼性を確保

2.3 システムの技術的特長

2.3.1 小形制御端末の小型化

小形制御端末は信号機などの限られたスペースに内蔵するため、小型化が大命題であり、また、信号保安設備を制御する装置であることから安全性の確保が必須である。

従来は2個のMPU (Micro Processing Unit) を搭載して

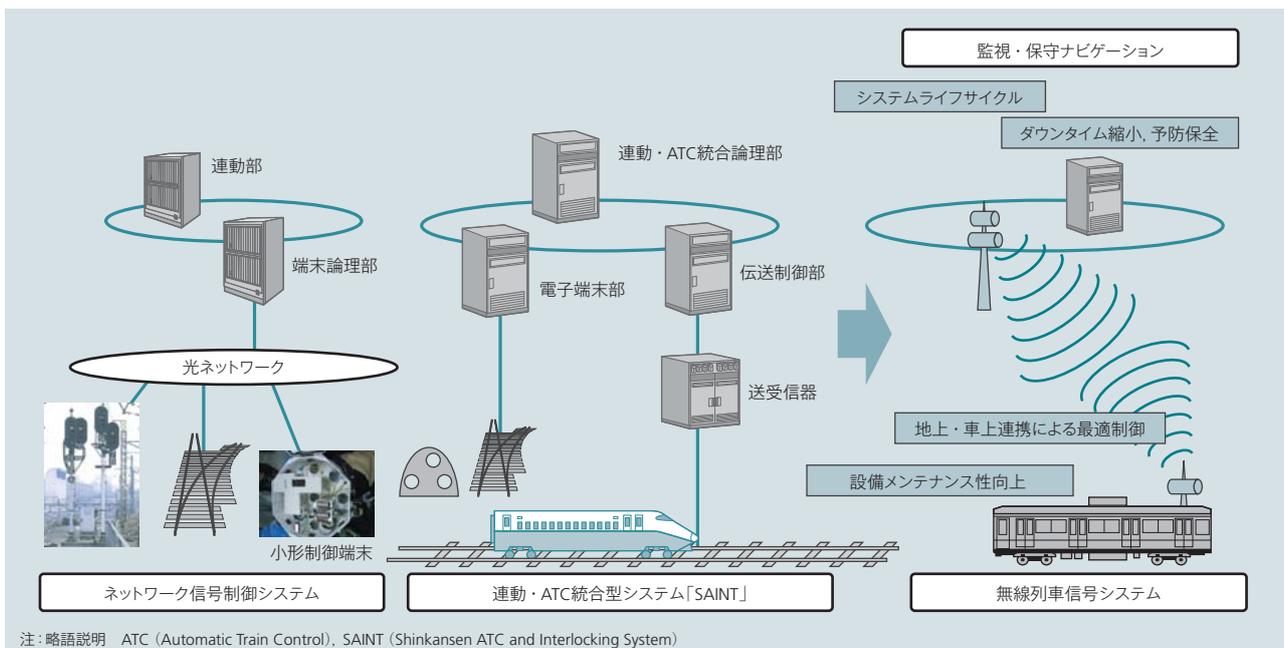


図1 日立グループの信号システムの概要と今後の動向

情報制御技術による高機能化・小型化・低コスト化を命題に、信号システムの積極的な技術革新を行い、汎用形電子連動装置やデジタルATCシステムをはじめとする新しい製品、ソリューションを提供している。

両者の動作を照合論理でバスサイクルごとにチェックし、一方のMPUが異常となっても不一致を検出し安全側に遷移させて停止する機能により、安全性を確保していた。しかし、部品の占有スペースが大きく、小型化への障害となっていた。

今回の開発では、2個のMPUとメモリなどの周辺デバイス、およびフェイルセーフ論理をワンチップに搭載した新開発のLSI〔フェイルセーフCPU (Central Processing Unit)〕を採用して小型化を図った(図3参照)。

これにより、CPU部の実装占有スペースは従来比80%もの削減を達成した。現在、さらなる高性能化をめざし、LSI (Large-scale Integration) の開発を進めている。

2.3.2 汎用ネットワーク適用の安全性

連動部および小形制御端末間の通信は、汎用ネットワークで発生しうる障害を対策したフェイルセーフ通信が要求されることから、連動部とこの端末はフェイルセーフ性を保障する装置構成とし、通信プロトコルとしてネットワーク障害に対して安全側に制御する手法を新たに開発した。

従来の保安用通信装置と異なる汎用ネットワークにおいて考慮すべき主な障害は、送信アドレスの正当性および通信遅延である。両者とも通信インタフェースのメモリ故障などによって発生しうるものであり、このエラーを見逃した場合は制御が危険側となる可能性がある。

送信アドレスの正当性については、電文内にアドレス情報を付加し、フェイルセーフ装置が冗長符号を生成付加することにより、受信側でその正当性をチェックすることが可能である。

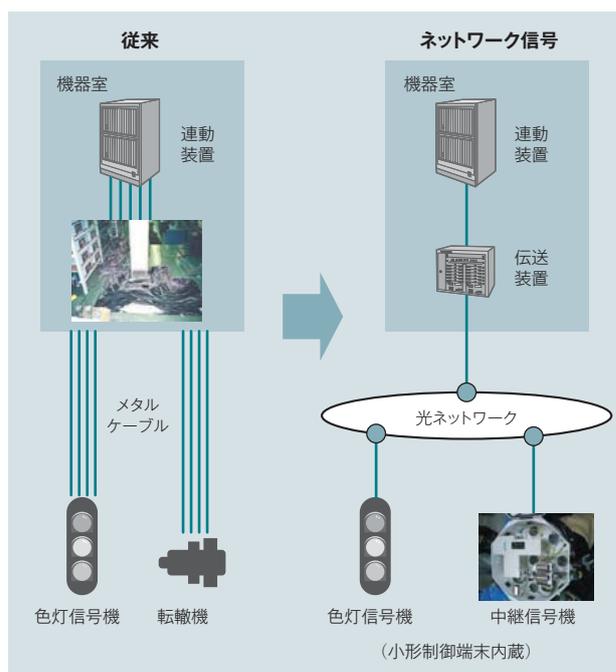


図2 従来の構成とネットワーク信号の構成

ネットワーク信号化によりケーブル数が大幅に削減された。



図3 フェイルセーフCPU (Central Processing Unit) の外観

MPU (Micro Processing Unit) と周辺デバイスをワンチップ化し、小型化を図った。

伝送遅延障害については、原理的には通信時に連動部および全小形制御端末間で共通のタイムスタンプ情報を交換することで対策が可能であるが、多数の端末間に絶対時刻情報を保持すること、および再起動ごとの端末間の時刻合わせを短時間に実施することは困難である。そこでこのシステムでは、電文返信のタイムアウト監視および電文中の通番情報の連動部と小形制御端末間で相互通信して確認するというプロトコルを導入することで、この課題を解決している。

3. 連動・ATC統合型システム「SAINT」

3.1 デジタルATCシステムの開発と導入効果

従来のアナログATCシステムでは、継電連動装置同様に電磁リレーを使用した列車検知と制御論理によるアナログ技術が主体であるため、専用のハードウェアによる装置構成が必要であり、高機能化が難しく、重厚長大な設備となっていた。この課題を解決するため、情報制御技術を適用したデジタルATCシステムを開発し、以下の効果を実現させた。

(1) 列車運転間隔、運転所要時分の短縮

停止点情報に基づく一段ブレーキ制御により、従来の多段型ATCのブレーキ制御による時間のロスの解消と車種ごとの車両性能に合わせた最適な制御を実現し、時隔・到達時分の短縮を実現

(2) 乗り心地と運転操縦性の向上

一段ブレーキ制御に沿った滑らかな減速と緩和ブレーキを用いたフィードバック制御によって、乗り心地と運転操縦性を大幅に向上

(3) 地上装置の簡素化とコスト低減、省スペース化

汎用情報機器の採用、ソフトウェア化による機器の小型化に加え、送受信ユニット・PA (Power Amplifier:増幅部) 一体化による機器実装効率向上により、従来機器と比較してトータルコストの低減、および大幅な機器設置スペースの削減を可能とした。

3.2 システムの技術的特長(小型化、省スペース化)

3.2.1 送受信構成

従来のアナログATCシステムではTD (Train Detection) 信号とATC信号のそれぞれに対応した周波数ごと、および送信/受信器個別に異なるユニットが必要であった。しかし、デジタルATCシステムではすべてデジタル信号として処理し、そのデジタル信号の送受信ユニットとしてDSP (Digital Signal Processor) を活用したATC送受信器を開発した。このATC送受信器はATCとして使用する周波数帯の最大10チャンネルのデジタル信号の同時処理

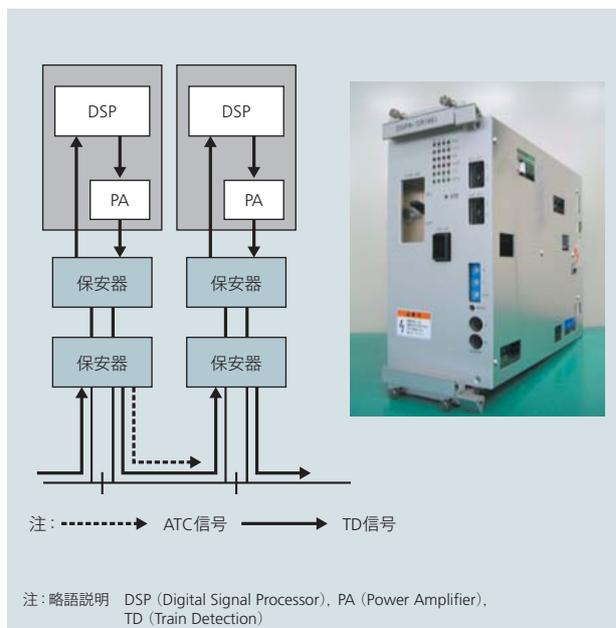


図4 DSP/PA送受信ユニット

DSPとPAを一体化し、送受信器の実装密度を高め、省スペース化を実現した。

と電文信号のフィルタリング、電文モニタなどの処理を可能とした。これにより一つのATC送受信器でTD信号とATC信号の両方の処理が可能となり、飛躍的な装置の小型化を実現した。さらに同一基板上に送受信ユニットとPAを実装することにより、送受信器架当たりの実装密度をさらに高め、機器の省スペース化を実現した(図4参照)。

3.2.2 連動装置とデジタルATCシステムの一体化

連動装置、ATCシステムはともに、その制御対象が異なるため、ハードウェア論理を主体にして独立した装置として存在した。これに対して、計算機技術、ソフトウェア技術、ネットワーク技術、新しいフェイルセーフ技術の適用と、その技術の積み重ねにより、双方の装置、システムの親和性を向上させたことで、初めて連動・ATC統合型システム「SAINT」が実現できた(図5参照)。

また、SAINTの特長の一つとして、連動機能において、新幹線では初となる現場機器の直接制御が可能電子端末を開発した。このリレーレス化と一体型の効果を合わせ、さらに省スペース化を実現している。SAINTは2009年10月までに、東北(東京～盛岡間)・上越新幹線全線において使用開始され、順調に稼働を続けている。

4. 今後の信号システムの動向

4.1 今後の信号システムに求められるニーズ

信号システムは鉄道輸送の中で重要な機能を担っていることから、システムの停止による輸送障害が社会に与える影響はきわめて大きい。このため、信頼性(稼働率)のさらなる向上と、万が一、故障が発生した際は、ダウンタイム最小化のための監視・故障情報の充実と、原因個所を早

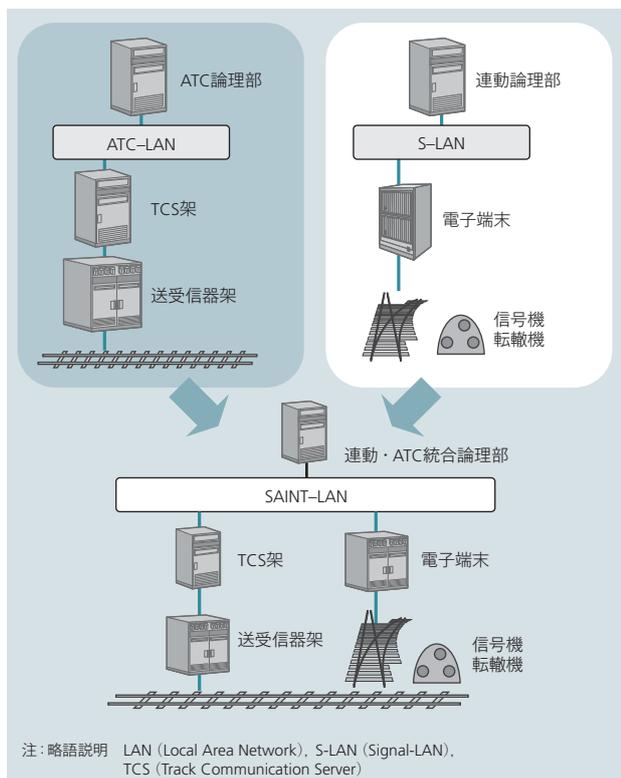


図5 連動とATCの一体化

ATC論理部と連動論理部を同一ハードウェア上に構築することにより、高信頼化と省スペース化を図っている。

期に特定するための仕掛け作りが必要である。また、現場設備主体のシステムであることから、継続的な保守メンテナンスが必要であり、昨今のメンテナンス要員の高齢化、減少への対応のため、安全性と信頼性を確保しながら、地上設備を低減できるシステムが求められている。

4.2 無線列車信号システム

前述のニーズへの一つの解が、無線列車信号システムである。これは、ATCなどの列車制御システムに位置づけられるもので、地上-車上間の双方向伝送によって車上システムがインテリジェント化され、地上から保証された範囲内において、各列車の自律的な走行が可能になることにより、線区の輸送需要に応じたフレキシブルな輸送を実現するものである。同時に、地上信号機、標識、軌道回路などの地上設備への依存性を下げることにより、地上設備削減と保守メンテナンスコストの低減が期待できる。この流れは海外でも同様であり、CBTC (Communication Based Train Control) の開発・導入が促進されている。その基本は、停止点情報などの制御情報を、主に無線を利用した地上-車上間の連続伝送によって、車上主体の列車制御を実現するものである。

国内では、現在、東日本旅客鉄道株式会社が、無線ベースの列車制御システムであるATACS (Advanced Train Administration and Communications System) の開発を進めている。

4.3 システムライフサイクル

これまで、信号システムのデジタル化、情報化、高機能化が促進されてきたが、現在はその一方で、一般的にライフサイクルが長い信号システムの構成部品の改廃周期が早くなっているという矛盾が表面化しつつある。今後は、システム更新までの、部品・ユニット交換コストなどを含めたライフサイクルコストの低減が可能な製品の提供が必要と考える。

5. おわりに

ここでは、新たなソリューションの一つであるネットワーク信号制御システムと、連動・ATC統合型システム「SAINT」および、今後の信号システムの動向について述べた。

日立グループは、今後も時代とともに変わっていくさまざまな鉄道システムのニーズに対応するために、日々、技術革新を続け、新しい製品、ソリューションの提供を通して、社会に貢献していきたいと考える。

参考文献

- 1) 国藤, 外: ネットワーク技術による省配線新連動システム「ネットワーク信号制御システム」, 日立評論, 89, 11, 844~847 (2007.11)

執筆者紹介



佐々木 英二

1992年日立製作所入社, 社会・産業インフラシステム社 交通システム事業部 輸送システム本部 輸送システム部 所属
現在, 鉄道信号保安システムの開発に従事



飛田 安正

1981年日立製作所入社, 社会・産業インフラシステム社 交通システム事業部 水戸交通システム本部 信号システム設計部 所属
現在, ATC地上システムの設計に従事



早乙女 弘

1982年日立製作所入社, 社会・産業インフラシステム社 交通システム事業部 水戸交通システム本部 信号システム設計部 所属
現在, 新型信号システムの設計に従事