

IPネットワークで信号設備を制御する駅中間論理装置

Logic Controller for Automatic Block Signal between Railway Stations

森 稔 田沼 秀雄 安藤 光 石間 礼次

■ MORI Minoru ■ TANUMA Hideo ■ ANDO Hikaru ■ ISHIMA Reiji

従来の鉄道における駅中間の信号設備は、各装置が個別に設置され、制御信号をケーブルで受け渡している。したがって複雑な結線・配線作業が必要であり、一重系設備、保全・故障情報が不十分といった課題もあった。この課題を解決するため、東日本旅客鉄道(株)は、駅中間の信号設備をIP(Internet Protocol)ネットワークで接続して制御する、駅中間ネットワーク信号制御システムの開発を進めている。

東芝は東日本旅客鉄道(株)と共同で、そのシステムの駅中間論理装置を開発した。駅中間の各制御論理を装置1台に集約して信頼性を高め、接続試験や保守を容易にするための支援機能なども備えて高機能化している。

In a conventional railway signaling system for automatic block signal between stations, signaling devices are distributed and connected with copper wires to exchange control signals. Complicated hardware and wiring work are therefore required. In addition, the system has some disadvantages such as low reliability due to the fact that all the devices are simplex, and limited information for maintenance. As a solution to these disadvantages, East Japan Railway Company (JR East) has been developing a new signaling system for automatic block signal between stations that controls the signaling devices via an Internet Protocol (IP) network.

JR East and Toshiba have developed a logic controller (LC) for the new system in which all of the control logics are integrated for greater reliability. The LC is also equipped with advanced functions to support installation tests and maintenance work.

1 まえがき

近年の鉄道においては、より安全で安定した列車運行のため信号制御の高度化が図られているが、駅中間に設置される閉そく信号機、軌道回路、ATS-S装置^(注1)、ATS-P装置^(注2)などの信号設備は個別に設置され、制御に必要な信号は、リレーにより論理を構築し、それらを信号ケーブルにより接続して個々に受け渡しを行う形態となっている(図1)。このため、一重系設備、複雑なリレー結線論理や配線作業、保全・故障情報が不十分などの課題がある。

JR中央線の東京-高尾駅間では、機器室に二重系の制御装置を集約し、ケーブル配線で駅中間の信号設備を制御しているが、膨大な量のケーブルを布設しなければならないという課題が残っている。

東日本旅客鉄道(株)は、駅構内信号改良工事の際の膨大なケーブル布設や複雑な配線作業の解消、制御回線の二重化による信頼性向上などを目的として、ネットワーク信号制御システムを開発した^{(1), (2), (3)}。この技術を駅中間の信号設備に適用し、以下の課題の解決のために駅中間ネットワーク信号制御システムの開発を進めている⁽⁴⁾。

- (1) ケーブル布設・配線作業の削減
- (2) 二重系システム構築による稼働率の向上
- (3) 保全・故障情報の充実によるメンテナンス性の向上

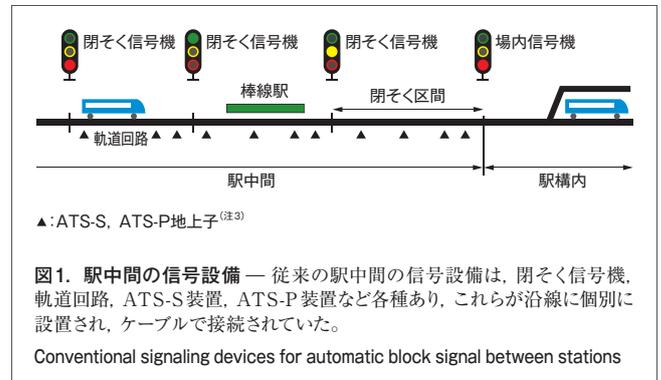


図1. 駅中間の信号設備 — 従来の駅中間の信号設備は、閉そく信号機、軌道回路、ATS-S装置、ATS-P装置など各種あり、これらが沿線に個別に設置され、ケーブルで接続されていた。

Conventional signaling devices for automatic block signal between stations

(4) 駅中間設備の高機能化

駅中間論理装置(駅中間Logic Controller: 以下、LCと略記)は2社同時開発の形態がとられており、東芝はこのうちの1社として開発を担当した。

ここでは、東日本旅客鉄道(株)と当社が共同開発したLCについて概要を述べる。

(注1) Automatic Train Stop system-S type: 変周式自動列車停止装置
 (注2) Automatic Train Stop system-Pattern: 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
 (注3) “ちじょうし”と呼ぶ。制御情報を特定地点で車上に伝送することを目的として、レール間に設けられている地上装置。

2 システムの概要

駅中間ネットワーク信号制御のシステム構成を図2に示す。当社の開発担当範囲は、LC本体とメンテナンスに用いる保守端末である。

このシステムは、信号設備の制御を行うLC、駅中間小型端末(中間Field Controller:以下、FCと略記)、遠隔監視制御系装置、及びそれらをつなぐ光ネットワークから成る。遠隔監視制御系装置は、LCやFCの処理の記録や履歴管理、各装置状態情報の一括管理、及びリモートでのストップやスタートを行う。遠隔監視制御系装置以外はネットワークを含めてすべて二重系構成である。

LCは、駅中間の信号設備とすべてFCを介して接続される。また、境界付近の設備を制御するため、隣接システムが管理する設備の情報が必要な場合、LC間伝送ネットワークを介して隣接LCと接続される。プロトコルはすべてUDP/IP (User Datagram Protocol/Internet Protocol) である。

LCは、200 msの制御周期ごとにFC及び隣接LCから入力される列車の位置検知情報(軌道回路状態)、ATS-P車上電文、その他外部入力情報を基に処理を行い、以下の制御情報をFCへ送信する。

- (1) 閉そく区間への列車の進入・進出検知情報による現示系統図に従った信号機の現示制御出力(閉そく信号機、中継信号機、進路予告機に対する制御出力)
- (2) 信号現示に従ったATS-P地上子への地上電文出力

- (3) ATS-S地上子に対する制御出力
- (4) 出力リレー(棒線駅の諸設備制御用など)に対する制御出力など

これら制御機能を一つのLCに統合し、更にLCを並列動作の二重系とすることでシステムの信頼性を高めている。

3 開発の概要

今回の開発の概要を以下に示す。ハードウェア及びシステム管理機能については、東日本旅客鉄道(株)管内で導入実績のある、当社の電子運動装置の技術をベースに開発を行った。

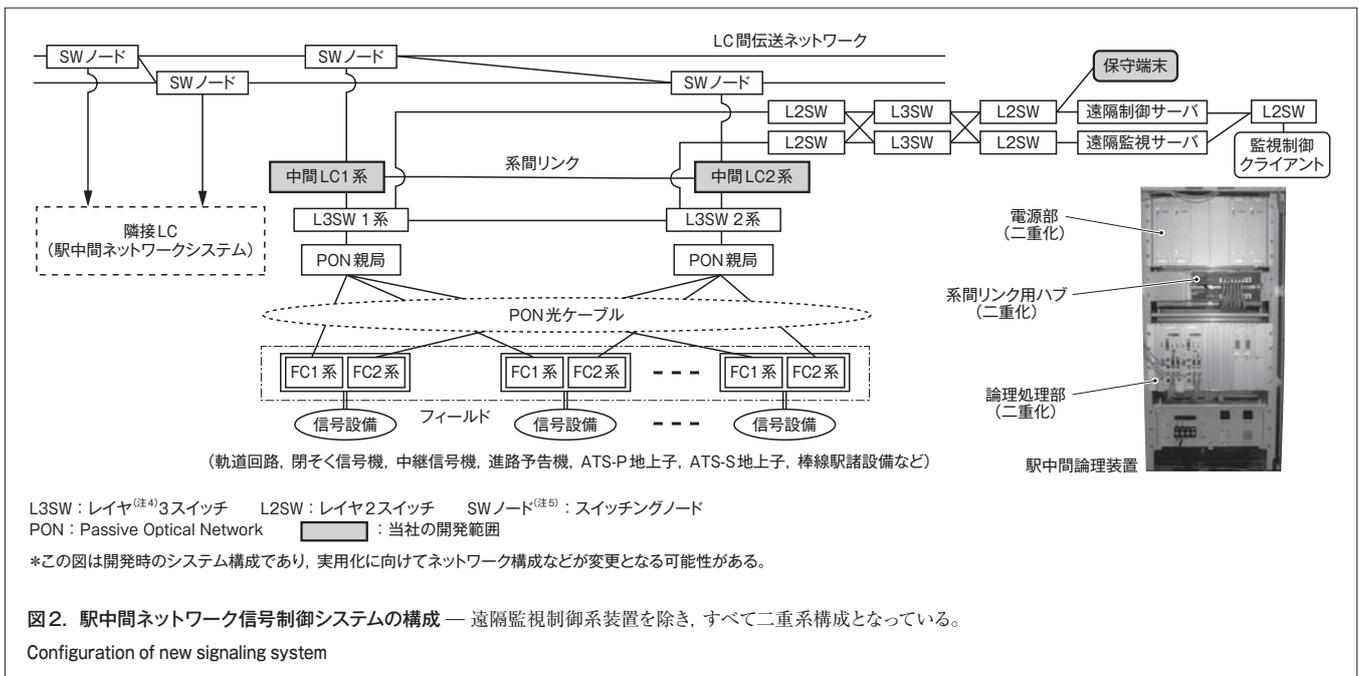
3.1 ハードウェア

LCは、24時間稼働、システム故障率 10^{-8} 以下を目標にした装置である。環境条件を表1に示す。LCは機器室に設置する仕様である。

LCの論理処理部の各系は、フェールセーフ(FS)^(注6)プロ

表1. LCの環境条件
Environmental conditions of LC

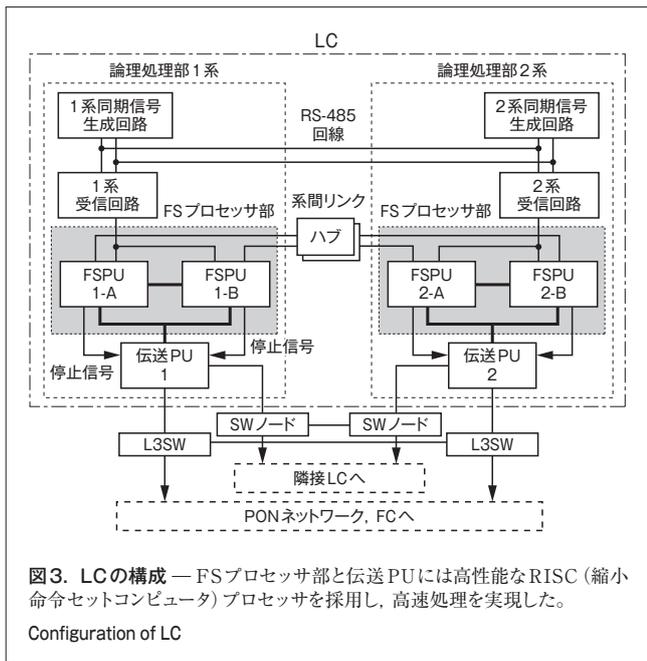
項目	内容
電源電圧範囲 (V)	AC100±10% 50/60±4 Hz
使用温度範囲 (°C)	0~40
湿度 (%)	90 RH以下(ただし、結露なきこと)
振動 (Hz)	10~150 (0.5 G以上), JIS E3014 1種
耐電圧 (kV)	AC1.5 1分間



(注4) レイヤは、層の意味で、ネットワークの階層を示す。

(注5) ノードは、ネットワークを構成する一つ一つの要素で、コンピュータ、ハブなどの通信機器のこと。

(注6) 誤操作や誤動作による障害が発生した場合、常に安全を維持できる状態になるように制御すること。



セッサ部、伝送PU（Processor Unit）、及び系間同期回路（同期信号生成回路と受信回路）から成る（図3）。FSプロセッサ部は、二つのプロセッサFSPU-A, Bを内蔵し、FS処理を行うため双方で同期運転を行う。また、故障を検知した場合、より安全のため、伝送PUを停止させる機能を持つ。

伝送PUには、100Base-T 4chの伝送ポートを実装している。系間同期回路は1系、2系が並列同期運転するためのもので、各系固有の同期信号電文を200 msごとにRS-485回線^(注7)に流す多重化方式を採っており、受信回路で、電文の誤り検知及び選択処理を行い、最終的な同期信号へ変換する。この方式により、三つ以上の系の同期運転へも拡張可能となり、同期ずれは1 ms以下である。

3.2 システム管理機能

並列二重系動作のシステムをサポートするものとして、管理ソフトウェアを新規開発した。自己診断、システム実行監視などのFS機能のほか、系間情報管理機能、現行面と改正面の切替え機能など各種の支援機能も持つ。

3.2.1 FS機能 装置の安全性を確保するためのチェック機能を持ち、異常を検出した場合、出力を安全側に固定する。代表的なチェック機能を以下に示す。

- (1) 各種の自己診断機能（初期診断、オンライン診断）
- (2) 電文冗長符号の検定
- (3) 入力・出力情報、内部情報などの照合機能
- (4) 処理実行時間の監視機能
- (5) 系間同期の監視機能など

(注7) EIA（米国電子工業会）のシリアル通信規格の一つ。複数のドライバとレシーバの接続が可能で、ノイズに強く、高速伝送ができる。

3.2.2 系間情報管理 LCは並列二重系動作を行い、両方の系からFCの1系、2系に同一制御情報を送信する。そのため図4に示すように、制御情報の応答としてFCから送られてくる四つの表示（入力）情報を系間リンクを介して受け取り、その一致化処理を行う。隣接LC情報についても同様である。

なお、系間リンクの障害などにより他系の情報が受信できない場合、一致化ができないため、従系は出力を停止する。

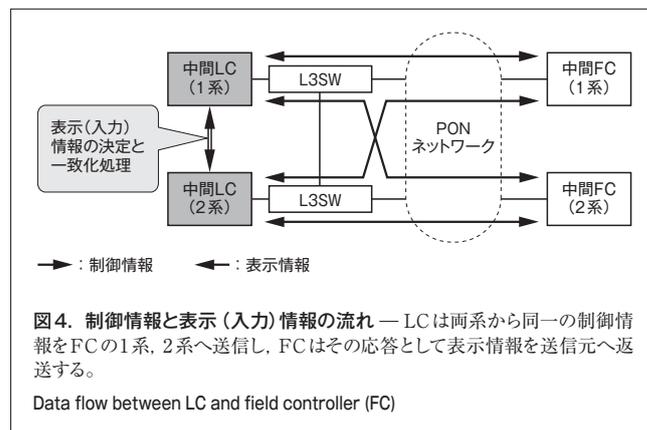


図4. 制御情報と表示（入力）情報の流れ — LCは両系から同一の制御情報をFCの1系、2系へ送信し、FCはその応答として表示情報を送信元へ返送する。

Data flow between LC and field controller (FC)

3.2.3 保守支援機能 システム保守を支援するため、以下の機能を持つ。

- (1) 制御クライアント並びに保守端末からのリモートストップ及びスタート
- (2) 現行面と改正面の切替え機能 改修を容易にするため、プログラムエリアを二つのエリアで構成し、動作させるプログラム面を切替え
- (3) プログラムのダウンロード及びアップロード機能
- (4) オンライン挿抜機能 装置を稼働させたまま論理処理部モジュールの交換が可能
- (5) システム立上げ（後参入） 一方の系の論理処理部モジュールを交換したとき、他系の制御を中断することなく、冗長構成^(注8)（一重系から二重系）に自動的に移行

3.3 アプリケーション機能

アプリケーションソフトウェアとして、2章で述べた各制御論理をLC一台に統合するとともに、オブジェクト指向技術^(注9)の適用によって、設備ごとの制御論理及び設備データの独立性を高め、論理と設備データをカプセル化することでソフトウェアの保守性、柔軟性、拡張性を向上させている。更に、ドキュメントをUML（Unified Modeling Language：統一モデル化言語）記述の規定に沿って記載することで、仕様記述の厳密性を高めた。

(注8) 片方の系が障害時に、もう片方の系が通常の運転をして、システム全体の運転を継続できるようにした構成。

(注9) プログラムの論理的な構造化を図る、ソフトウェア開発の考えかたの一つ。

3.4 試験支援機能

試験支援機能として、模擬モード設定と解除、模擬データ設定の機能を持つ。模擬モードが設定された設備は、実際のFCからの表示情報ではなく、保守端末で設定された模擬データを用いてLC内で制御処理を行い、その結果を保守端末へ返送する。したがって、LCの処理結果が保守端末上で確認でき、システム切替え前の確認試験が容易になる。

3.5 保守端末機能

ここで述べた機能の操作作用として保守端末の機能を開発した。保守端末では、以下の操作が可能である。

- (1) LCのリモートストップ及びスタート
- (2) 現行面と改正面の切替え
- (3) プログラムのダウンロード及びアップロード
- (4) 模擬モード設定と解除、模擬データ設定

保守端末は、このような安全にかかわる操作を行うため、列車運行中の取扱いは運用上禁止されている。更に、キーディスク及びパスワードによる端末の起動管理やコマンド設定のとき、①コマンド入力後、②LCから要求された認証コードを入力した後にコマンドが実行されるという2アクション操作など、安全上の配慮を行っている。

4 評価及び試験

評価は、図2に示す装置を組み合わせた約3か月間の総合試験と、常磐線(馬橋-北柏駅間)における約1年間のモニタラン試験で行った。モニタラン試験では、実列車走行における現用設備の信号を取り込み、LCの処理結果との比較を行った。制御論理については、以下を確認した。

- (1) 信号機、DO (Digital Output) などについて現用の制御と一致すること。
- (2) ATS-Pの基本性能として、地上電文生成及び車上電文受信、現示アップ機能などについて現行ATS-Pと合致していること。

なお、一部差異事象が見られたが、いずれも原因が判明し、LCの論理処理に問題がないことが確認できた。

LCの動作について、発生した問題は逐次解決したが、FCからの表示情報の受信取りこぼしが発生する現象が見られ、伝送能力上問題があることが判明した。今後、性能向上が必要である。

更に、装置としてのLCの安全性については、(財)鉄道総合技術研究所にその考えかたの審査を受け、問題がないことを確認した。

5 あとがき

今回、東日本旅客鉄道(株)と当社は、駅中間の信号設備を対象とした駅中間論理装置を共同開発した。総合試験とモニタラン試験において伝送能力を除き良好な結果が得られ、実用化のめどがついた。実設備の導入は、いっそうの機能改良開発及びそのモニタラン試験の後となる予定である。併せて伝送能力の改善も進めていく。

今後は、この開発で得られた知見やノウハウを、引き続き行われる構内論理装置の開発などにも生かしていく。

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. 5, 2005, p.30839-30842.
- (2) 西山 淳, ほか. ネットワーク信号制御システム -システム概要とモニタラン試験について-. 鉄道と電気技術. 17, 4, 2006, p.28-31.
- (3) 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.
- (4) 川田啓之, ほか. “駅中間ネットワーク信号制御システムの開発”. 第43回鉄道サイバネ・シンポジウム. 大阪, 2005-11, 日本鉄道サイバネティクス協議会. 2006, 論文番号631.



森 稔 MORI Minoru

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とエンジニアリング業務に従事。
Transportation Systems Div.



田沼 秀雄 TANUMA Hideo

産業システム社 府中事業所 交通車両情報システム部主務。鉄道信号保安システムのソフトウェア開発・設計に従事。
Fuchu Complex



安藤 光 ANDO Hikaru

産業システム社 府中事業所 交通車両情報システム部。鉄道信号保安システムのハードウェア開発・設計に従事。
Fuchu Complex



石間 礼次 ISHIMA Reiji

東日本旅客鉄道(株) 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課長。駅中間ネットワーク信号制御システムの開発に従事。電気学会会員。
East Japan Railway Co.