

駅中間ネットワーク 信号制御システム の開発



西山 淳*



三浦 忠雄*



早川 一水*



石間 礼次*



福井 聡*

駅中間ネットワーク信号制御システムは、信号ケーブルの削減、駅中間の信号設備制御機能の集中化・高度化、施工コストの削減を目的として開発を行ってきた。駅中間の信号設備にネットワーク信号を導入し、信号制御論理を統合化することにより、信号設備の高稼働率・高信頼化の実現、複数機能の連携の強化、遠隔監視制御機能の強化を図るものである。

今回、駅中間ネットワーク信号制御システムの実用システムの開発を行い、さらなる安定輸送の確保、保守性・施工性の向上を実現した。本稿ではその開発概要と、常磐快速線北小金駅付近で実施しているモニタラン試験の概要を紹介する。

●キーワード：ネットワーク信号、駅中間、実用システム、保守性、施工性、稼働率

1. はじめに

駅中間には閉そく信号機、軌道回路、ATS-P、ATS-Sなどの信号設備が点在している。従来の駅中間の信号システムは、それぞれの機能ごとに分かれた設備となっており、主に信号リレーの結線論理によって、制御論理の構築や制御条件の受け渡しを行っている（図1 (a)）。このシステム構成には、次のような課題がある。

- (1) 一重系設備（故障時のバックアップがない）
- (2) 膨大な配線作業
- (3) 複雑なリレー結線論理
- (4) 遠隔地からの保全情報の取得機能が不十分

これらの課題の改善のため、中央線などにおいて信号基本構造改良プロジェクトが進行しており、従来は現場に分散していた制御機器を機器室内に集中することにより、課題 (3) (4) の解決を図った（図1 (b)）。しかし、機器室から現場設備まで、膨大な量の信号ケーブルを敷設する必要があり、このケーブルは依然として一重系である。したがって、課題 (1) (2) については改善の余地が残っている。

そこで、ケーブル・配線作業の削減、駅中間設備のさらなる高機能化を目的として、駅中間ネットワーク信号制御システムの開発を行っている（図1 (c)）。駅中間ネットワーク信号制御システムでは、機器室の論理装置と現場設備・制御端末との間を光ケーブルで結び、ケーブル量の削減、二重化を行うことにより、上記の課題 (1) (2)

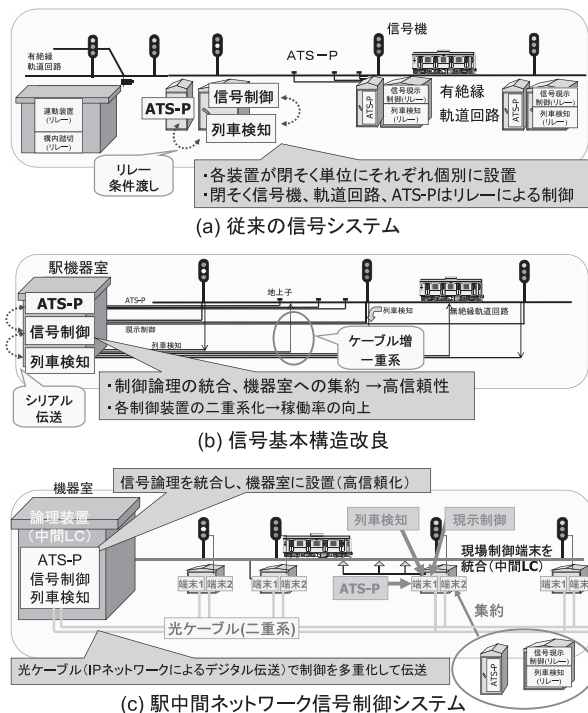


図1 駅中間の信号設備

も含めた駅中間信号設備の課題の解決を図っている。

駅中間ネットワーク信号制御システムの開発スケジュールを図2に示す。2005年度初から行った試作システムの開発では、主に2章に示すシステムの基本構成、機能を開発し、2006年8月から常磐快速線北小金駅付近において開発品のモニタラン試験を行った。この中で実用化に向けた課題の抽出を行い、2006年度末からは実用システムの仕様検討に着手した。実用システム開発では、さらな

る安定輸送の確保、保守性・施工性の向上を目的として開発を進め、現在、最終仕様の確定に向けた準備を行っている。実用システム開発での開発内容は、3章で述べる。

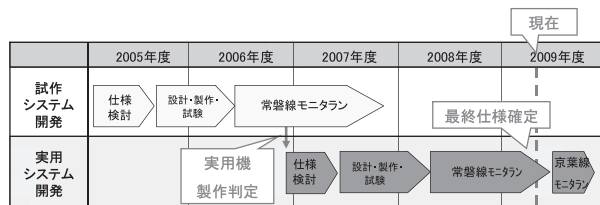


図2 開発スケジュール

2. 駅中間ネットワーク信号制御システムの概要

駅中間ネットワーク信号制御システムのシステム構成の概要を図3に示す。本システムは主に駅中間論理装置（以下、中間LC: Logic Controller）、駅中間小形制御端末（以下、中間FC: Field Controller）、光ネットワークおよび遠隔監視制御システムにより構成されており、各装置の間を光ネットワークで接続し、その間の伝送はIP通信で行っている。各機器間の通信を同一の伝送回線に多重化することにより、信号機器室と現場装置との間に必要なケーブルを、大幅に削減することができる。また、光ケーブルを含めて二重系で構成しており、信頼性の向上を図っている。

2.1 中間 LC

中間LCは、駅中間の各信号機器の制御を集中して行う装置であり、駅の信号機器室に設置する。中間FCや連動装置から得た情報により各信号機器の制御内容を決定し、

光ネットワークを介して中間FCに制御指示を伝送する。中間LCの外観を、図4に示す。フェールセーフな制御装置の二重系構成としている。

中間LCの主な機能は、次の通りである。

- (1) 軌道回路の動作・落下の判定
- (2) 閉そく信号機、中継信号機、進路予告機の現示の決定
- (3) 内方信号機の現示内容およびATS-P車上電文に基づく、現示アップ情報などの処理
- (4) ATS-P地上子の電文情報の決定

さらに、実用システム開発においては、安定輸送の確保や保守性の向上のため、後述する軌道回路故障時の閉そく区間拡大機能、ATS-Pオンライン改修機能の開発を行った。

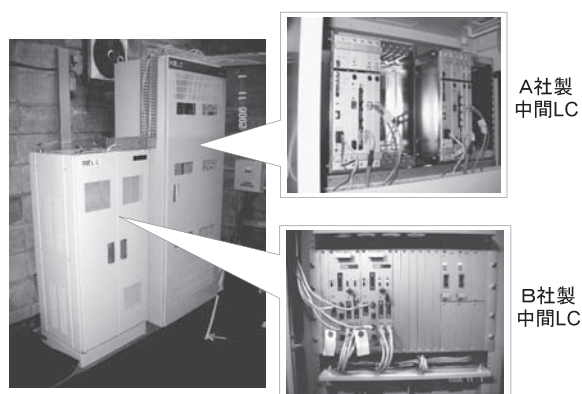


図4 中間LC

2.2 中間 FC

中間FCは閉そく単位に設置し、中間LCより光ネットワークを介して伝送された制御情報を電気信号に変換し、

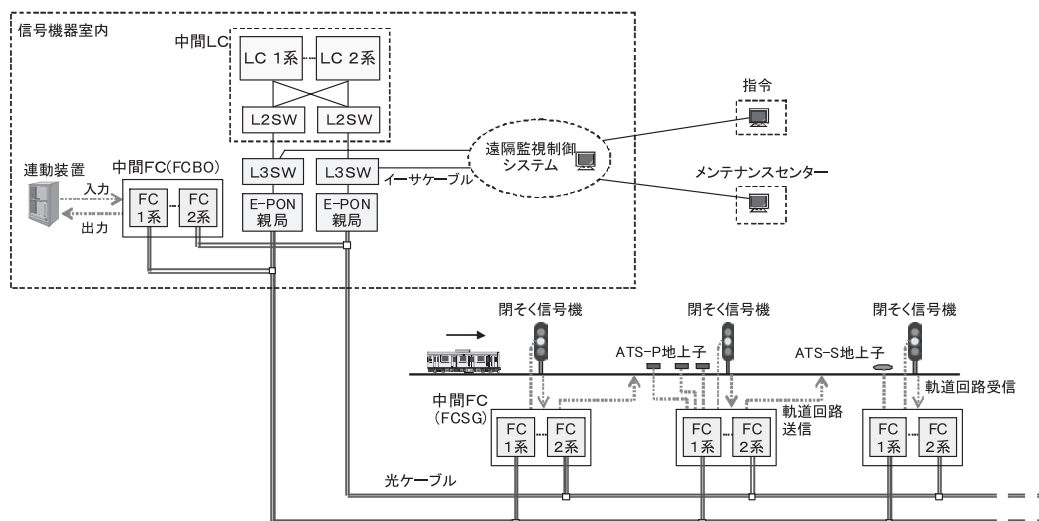


図3 駅中間ネットワーク信号制御のシステム構成

信号機、軌道回路、ATS-P地上子ならびにATS-S地上子を制御する装置である。軌道回路の列車検知をはじめとした現場機器の状態は、電気信号からデータに変換し、光ネットワークを通じて中間LCに伝送する。中間FCを収容した器具箱を図5に、FCブロック（二重系構成の中間FCの片系）を図6に示す。

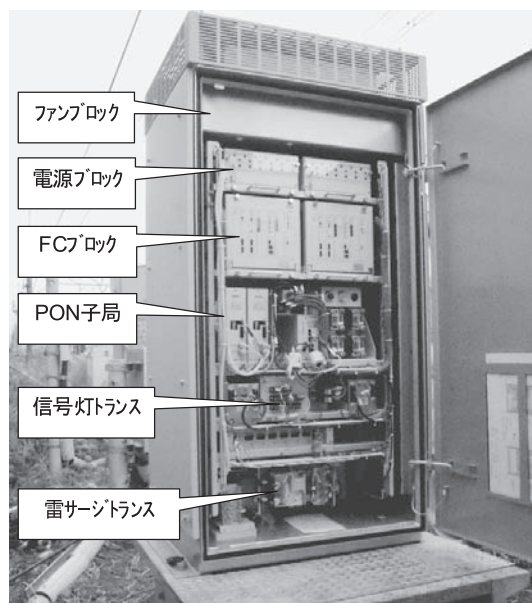


図5 中間FCを収容した器具箱



図6 FCブロック

なお、駅構内ネットワーク信号制御システムでは、信号設備が現場に分散することから、信号設備それぞれにFCを内蔵するが（一部は近傍に器具箱を設置）、駅中間ネットワーク信号制御システムでは、閉そく信号機付近に制御対象設備が集中するため、閉そく単位で信号設備をひとまとめにして制御している。また、中間LCと同様にフェールセーフな制御装置の二重系構成としている。

中間FC周辺の接続イメージを図7に示す。中間FCから信号機器までは、コネクタ接続されたメタルケーブルで接続される。また、列車検知には無絶縁軌道回路を利用しており、その送信ユニット、受信ユニットもFCブロック内に収容されている。

中間FCのタイプは、用途に応じて次の3種類がある。

- (1) 駅中間の閉そく信号機などの信号設備を制御するタイプ（FCSG：FC for SiGnal）
- (2) 連動装置や従来形ATS-Pエンコーダとのインタフェースを持つタイプ（FCBO：FC for BOundary）
- (3) 連動装置を持たない駅の諸設備（列車接近表示器、閉そく反応灯など）を間接制御するタイプ（FCIF：FC for InterFace）

2.3 光ネットワーク

中間LC、中間FCをはじめとした各装置間は光ケーブルで接続し、ケーブルの削減を図っている。中間LCと中間FC間の情報伝送方式は、PON（Passive Optical Network）方式であり、FTTH（Fiber To The Home）で採用されている汎用技術である。PONは、次の理由により施工性・保守性に優れ、鉄道沿線への敷設に適している。

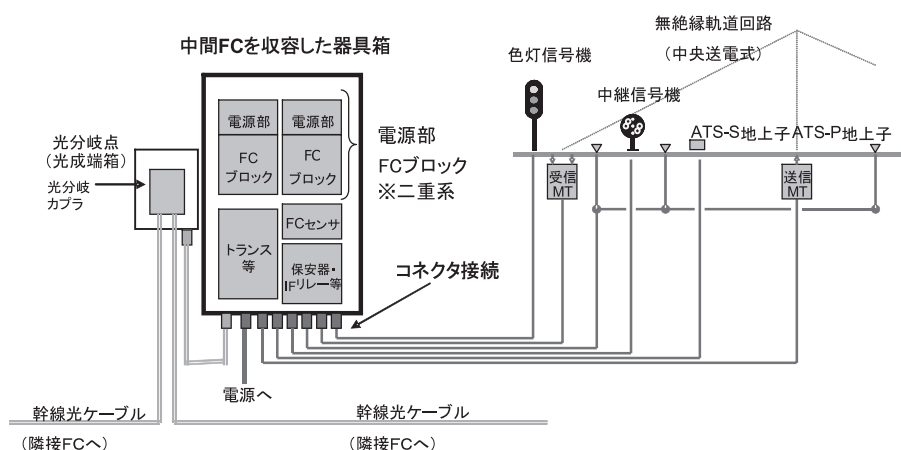


図7 中間FCの接続イメージ

- (1) 時分割多重により多くの回線を確保することで、ケーブル数を削減できること
- (2) ケーブル心線を光カプラにより無電源で複数に分岐できること

なお、中間FCは駅中間に直列で配置され（図3）、幹線光ケーブルは、中間FCを収容した各器具箱で光分岐を行う（図7）。この構成では、中間FCを経由するたびに光ケーブルの信号レベルが低下し、遠方の中間FCと中間LCとの通信ができなくなるおそれがある。そこで、光カプラとして非対称カプラを選定することによって信号レベル低下を軽減し、一つの幹線光ケーブルに接続可能な中間FC台数を確保している。

PONは親子の構成となっており、機器室に親局を設置し、現場のFC器具箱に子局を収容している。また、各ネットワーク機器（PON、L2SW、L3SW）や光ケーブルを二重系とすることにより、信頼性を高めている。PON親局を収容したネットワーク機器架を図8に示す。

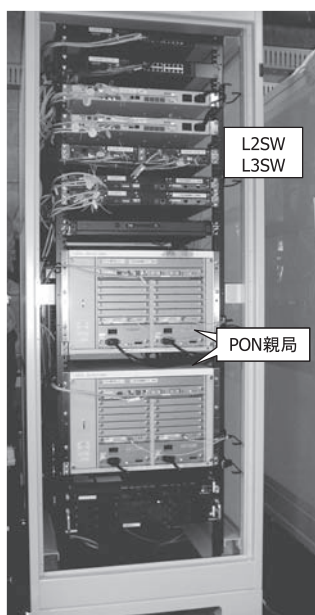


図8 ネットワーク機器架

2.4 遠隔監視制御システム

遠隔監視制御システムでは、機器室と同等の詳細な監視情報を指令、技術センター、メンテナンスセンターなどから遠隔で取得するとともに、障害復旧のための装置リセット操作を指令から行うことができる。遠隔監視制御システムは、遠隔監視サーバ（図9）、遠隔制御サーバおよび遠隔監視制御端末（図10）から構成されている。遠隔制御サーバ・遠隔監視サーバ・遠隔監視制御端末の機

能を、表1に示す。

システム構成図を図11に、遠隔監視制御端末のシステム監視画面の例を図12に、それぞれ示す。

表1 遠隔監視制御システムの装置ごとの機能

装置	機能
遠隔制御サーバ	・中間LC・中間FCの遠隔制御（リセット等）
遠隔監視サーバ	・各制御装置・ネットワークの監視 ・各制御装置・ネットワークのジャーナル蓄積
遠隔監視制御端末	・遠隔制御サーバ・遠隔監視サーバの操作 ・各装置からの各種警報・状態監視情報の表示、動作履歴の取得・表示 ・各現場機器の動作データの、最大・最小値・平均値等の集計、グラフ表示



図9 遠隔監視サーバ



図10 遠隔監視制御端末（左）と遠隔制御サーバ（右）

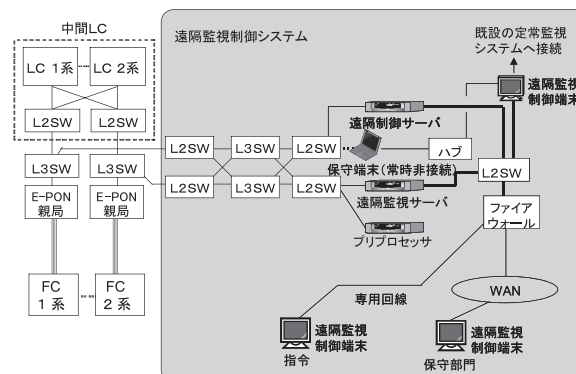


図11 遠隔監視制御システム

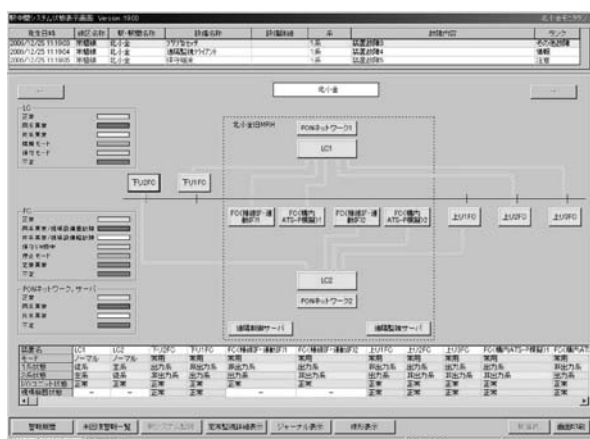


図12 遠隔監視制御端末画面の例

3. 実用システム開発

実用システム開発では、試作システム開発で課題となった点について、新たなハードウェアや機能を開発した。それらの概要を以下に述べる。

3.1 ハードウェアの開発

3.1.1 中間FC 収容器具箱の改良

中間FC収容器具箱は、線路沿線の限られた設置スペースを考慮して小型化を進めたが、内部部品が密集したことにより、設置時の施工性や部品交換時の保守性に課題が残るものとなっていた。

そこで、器具箱サイズを若干大きくして機器配置を見直し、各部品の状態確認や交換はFC前面から、配線作業はFC背面から行う配置にすることで、施工性、保守性の改善を図った。また、中間FCの部品交換を内部ユニット単位で行えるようにした。

さらに、中間FCを高架区間などの振動の大きい箇所に設置することも想定されるため、器具箱の防振対策を充実させ、従来の倍の振動（2G）に対して中間FCなどの振動を所定以下に低減するようにした。

改良した器具箱の外観を図5に示す。

3.1.2 システム境界用FC（FCBO）の開発

本システムの実用化にあたっては、他のシステムとの境界において、リレーインタフェースに加えて、連動装置とのシリアルインタフェース、ATS-Pエンコーダとの伝送インタフェースも確保する必要がある。そのため、

それらのインタフェースを有するシステム境界用FC（FCBO）を開発した。

ATS-Pエンコーダとの伝送を例にすると、システム境界をまたいでATS-Pの制御に必要な情報は、従来のATS-PエンコーダとFCBOとの間で伝送する。ATS-Pエンコーダと中間LCは、その情報を用いてそれぞれ関連する信号機を現示アップする。

3.1.3 現場機器制御可能距離の延長

試作システムでは、中間FCは閉そく信号機付近に設置することを前提としていた。しかし実用化にあたっては、トンネル・橋梁など設置スペースの都合により、中間FCを閉そく信号機から離して設置することも想定される。

そこで、中間FCから現場信号機器への送信電力を増強することで、最大3km離れても制御可能とした。

3.2 機能の開発

3.2.1 軌道回路の耐ノイズ特性の改善

中間FCの列車検知は無絶縁軌道回路であり、軌道回路送信部からレールに列車検知信号を送信し、受信部において受信する。送信部と受信部の間に列車が在線していると、車軸がレールを短絡することによって、受信部での列車検知信号が弱まり、中間FCは列車在線と判断する。

列車検知信号の方式は、試作システムでは実績のあるAM（Amplitude Modulation）変調としていた。

一方、実用システム開発では、列車検知信号にMSK（Minimum Shift Keying）変調を用いることとした。この方式は、2つの周波数を交互に切り替えてレールに送信し、列車からのノイズと列車検知信号との区別を明確にするもので、列車に対する耐ノイズ性を向上させている。

3.2.2 ATS-Pのオンライン保守機能

本システムでは信頼度向上のため、駅中間の信号制御論理を中間LCに統合している。しかし、そのままの構成では、システムの保守の際に駅中間のすべての制御を停止させなければならず、影響範囲が拡大することが課題となっていた。特に信号機改修は1箇所であっても、ATS-Pの電文情報は広範囲に影響することがあるため、システム改修の対象になりやすく、対策の必要があった。

そこで、ATS-Pの電文情報の改修時に、ATS-P制御論

理のみを停止して、電文情報を更新する方式を開発した。中間LCにATS-P部分停止モードを設定すると、中間FCへの制御のうちATS-Pに関する部分のみ出力されなくなる。その間に中間LCを1系ずつ停止させた上で、ATS-P電文情報の改修を行う方式とした。

3.2.3 軌道回路故障時の閉そく区間拡大

駅中間の軌道回路が故障した際には、現在は閉そく指示運転によって列車運転を確保しているが、運転本数が限られ、安定輸送に大きな影響を与えている。

そこで、故障した軌道回路を指定することによって閉そく区間を拡大し、閉そく指示運転をすることなく列車運行を行わせるための機能を開発した。

実用システム開発では、その基本部分となる次の機能を開発した。

- (1) 軌道回路が故障した区間の在線状況を、前後の区間の進入・進出によって管理する機能
- (2) (1) の機能を遠隔監視制御端末から設定する機能

3.3 遠隔監視制御システムの実用システム開発

3.3.1 装置故障時の故障部位特定機能

従来の信号設備では、ひとたび装置故障が発生すると、原因箇所の候補が広範囲にわたるため、その特定・復旧までには多大な時間を要することがある。そこで、FCに電流検知センサを取り付け、装置故障の際にはその部位を特定して、遠隔監視制御端末に表示することができるよう、監視情報の取得方法を改良した。

遠隔監視制御端末で、軌道回路の故障状態を表示した画面の例を図13に示す。

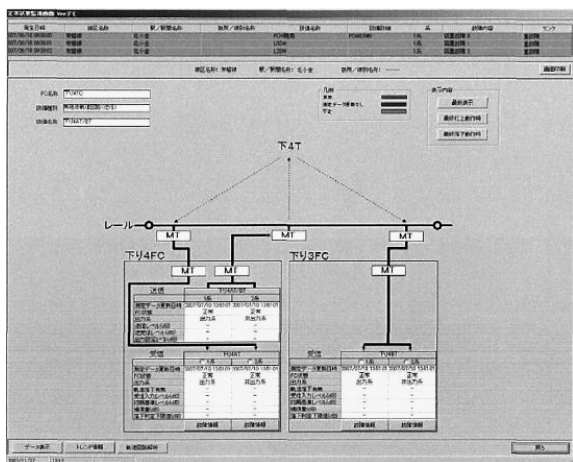


図13 軌道回路故障状態の画面の例

3.3.2 装置動作状況のタイムチャート表示

従来の信号設備で装置の動作状況を表示する際、時系列のジャーナルはテキスト表示であることが多く、必要な情報を見つけるのに時間を要していた。そこで、遠隔監視制御端末で条件を選択すると、その条件の動作状況をタイムチャートで表示する機能を開発し、動作分析や障害原因探求の際に必要な情報を見つけやすくした。

軌道回路の動作状況のタイムチャート例を図14に示す。

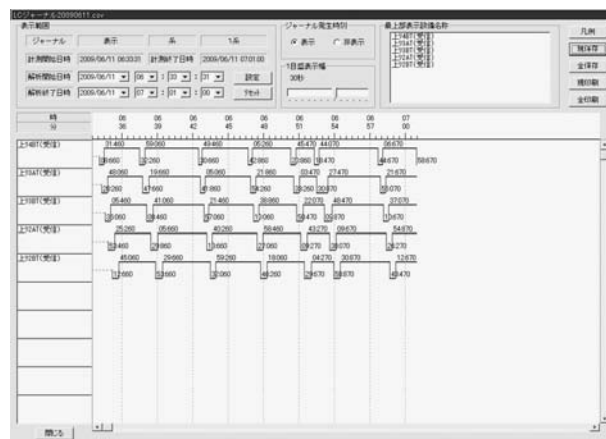


図14 軌道回路動作状況のタイムチャートの例

3.3.3 可搬形遠隔監視制御端末

試作システム開発では、遠隔監視制御端末の設置箇所は機器室や指令などの屋内を想定していた。しかし、障害箇所が中間FC近傍などの屋外であった場合に、その場所に遠隔監視制御端末がなければ、故障情報などを得られないことになる。そこで、実用システム開発においては、全天候型のノートPCによる可搬形遠隔監視制御端末を開発し、信号設備の詳細データの取得やシステム全体の状況把握を、現地でも行えるようにした。有線・無線いずれでも接続が可能である。

4. 実用システムの試験

駅中間ネットワーク信号制御システムの試験は、各装置の単体機能試験、それらを組み合わせた状態での機能確認試験、モニタラン試験、動作環境試験を実施している。ここでは、これらの試験の概要について述べる。

4.1 モニタラン試験

開発した実用システムを、常磐快速線北小金駅付近の駅中間（馬橋～北柏間）に設置し、モニタラン試験を実

施している。モニタラン試験では、システムの制御性能、伝送性能の評価、現場環境における長期間稼働による信頼性、耐環境性能の評価を行っている。モニタラン試験は2008年6月より行い、開発の進捗に伴って試験構成を調整しながら実施している。

4.1.1 構成

モニタラン試験のシステム構成を図15に示す。中間LCは、北小金駅旧機器室に設置した。中間FCは、馬橋～北小金間の下2・下1、および北小金～北柏間の上1・上2・上3、計5箇所の閉そくに6台（FCSG5台、FCIF1台）設置した。また、現用の連動装置から場内信号機の現示情報を入力するために、北小金駅現機器室に、連動インタフェース用のFCBOを2台設置した。遠隔監視制御システムは、北小金駅旧機器室に設置した。これらの間に光ネットワークを構成し、中間FCから駅中間信号設備（閉そく信号機、中継信号機、軌道回路、ATS-P、ATS-S、進路予告機）の模擬装置を制御し、現用設備の動作と比較することにより、モニタラン試験を実施している。

モニタラン試験では、実際の列車運行におけるシステムの妥当性を検証するために、既設機器の条件をリレー接点によって取り込み、既設機器とネットワーク信号との間で、制御内容や制御タイミングの比較試験を実施している。

4.1.2 評価

モニタラン試験における評価項目は、信頼性評価と機能評価とした。なお、モニタラン試験区間の列車本数は、上下線それぞれ1日あたり約200本である。

信頼性評価についての評価基準は、装置故障発生の有無（故障が発生した場合は、原因および対策が明確になっていること）とした。各装置で発生した故障については、原因および対策を明確化した上で対策を実施し、その後順調に稼働している。また、現地において夏季の高温・電磁ノイズなどの外部環境要因による不具合や機器停止は、発生していないことを確認した。

各機能の評価については次の通りであり、求められる性能を満足することを確認できた。

- (1) 無絶縁軌道回路：軌道回路制御長、短絡感度、列車検知などの性能確認を行い、所定の列車検知性能を満足することを確認した。
- (2) ATS-P：地上電文生成および車上電文受信、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を確認した。
- (3) 信号現示制御、汎用出力など：現用の制御と一致することを確認した。一部不一致事象があったが、その原因は、現用の軌道回路がリレー式であるのに対して、本システムでは電子式であるために、列車検知タイミングに差が生じたことによるものだった。中間LCの論理処理には問題がないことを確認した。

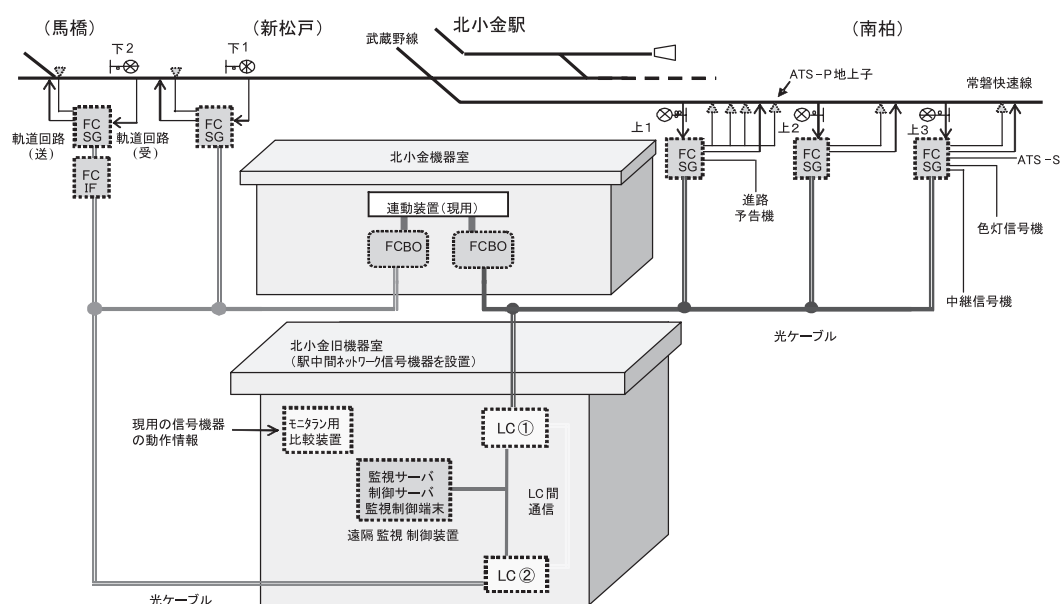


図15 モニタラン試験のシステム構成

- (4) 伝送系：ネットワーク機器のエラーが測定されることが確認できた。ネットワーク機器は現在でも安定稼動している。
- (5) 遠隔監視サーバ、遠隔監視制御端末：装置故障を検知し、警報出力が行われることが確認できた。

4.2 動作環境試験

ネットワーク信号制御システムでは、電子機器を線路近傍に設置することから、当初より機器の動作環境試験を重要課題と位置づけ、対策の検討を行ってきた。最低限クリアすべき環境条件として、従来の信号機器に適用されているJIS規格を準用した値を定めることを基本的な考え方とし、それに基づき中間FCを設計している。環境試験はメーカ工場や専門の試験場を利用した機能確認試験のほかに、モニタラン試験で各種環境データの測定を行った。

また、夏季の温度に対する性能について評価を行うため、中間FC内部の温度測定を実施した。測定結果の一部(2008年8月7日～17日)を図16に示す。モニタラン期間中に観測した中間FC収容器具箱の最高温度は、2008年8月8日に記録した52.6℃であった。

中間FCは密閉構造になっており、内蔵するファンを動作させると、対流により内部温度が均一化される。中間FC収容器具箱の内部温度は、ファンを稼動させることにより要求仕様である60℃以下を満たすことが確認できた。

その他、鉄道沿線環境において、中間FCが正常に動作することが確認できた。

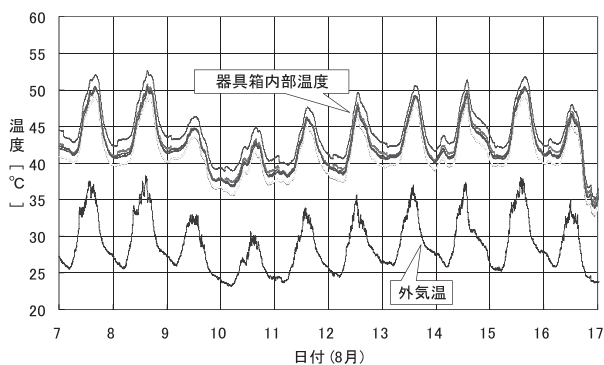


図16 中間FCを収容した器具箱の内部温度

5. まとめ

駅中間ネットワーク信号制御システムの開発について、主に改良開発の概要と現在実施中のモニタラン試験について述べた。

本システムは実用システム開発を終え、さらなる安定輸送の確保、保守性・施工性の向上に資する改良、機能追加を図ることができた。現在、最終仕様確定に向けて準備を行っている。

今後は、首都圏への実用化導入をめざして、準備を進める計画である。

参考文献

- 1) 小樽元；駅中間ネットワーク信号制御システムの開発，JR East R&D Report No.55, pp.2～5, 2006
- 2) 石間礼次，福井聡；駅中間ネットワーク信号制御システムの開発について，JREA, Vol.51, No.8, pp.33543～33546, 2008
- 3) 三浦忠雄，小樽元；駅中間ネットワーク信号制御システム，鉄道と電気技術，Vol.20, No.2, pp.23～27, 2009
- 4) R.Ishima, et.al, "A New Signalling System for Automatic Block Signal between Stations Controlling through an IP Network," WCRR, May.2008.
- 5) 国藤隆，樋浦昇；ネットワーク信号制御システムの開発について，JREA, Vol.48, No.5, pp.30839～30842, 2005
- 6) 西山淳，国藤隆；ネットワーク信号制御システムーシステム概要とモニタラン試験についてー，鉄道と電気技術，Vol.17, No.4, pp.28～31, 2006