

駅構内ネットワーク 信号制御システムの開発



遠藤 優史*



国藤 隆*

先端鉄道システム開発センターでは、信号工事の施工性向上と現地試験の軽減を目的として、駅構内の信号機器を光ネットワークで接続し、デジタル情報により制御を行う「駅構内ネットワーク信号制御システム」の開発を進めてきた。本システムは2004年より試作システムの開発に着手し、2005年4月からの常磐線土浦駅におけるモニターラン試験、実用機を用いた工場内総合試験を経て、2007年2月に武蔵野線市川大野駅で1号機を使用開始した。本稿では、駅構内ネットワーク信号制御システムの開発及び実用導入の概要と、2号機以降の水平展開に向けた開発について紹介する。

●キーワード：ネットワーク、PON、保安情報伝送、EMC

1. はじめに

現在、駅構内における信号機器は、信号機器室の論理装置と現場信号機器の間を多芯のメタリックケーブルで接続し、信号現示、転てつ機転換などの制御指示を各芯線の電圧の有無の組合せを用いて電気的に伝達することで制御されている。

そのため、大規模な信号工事の際には、膨大な量のケーブル敷設に加えて、各ケーブル芯線の配線及びそれらの接続確認試験を行わなければならない。これらの現地施工は、夜間の限られた列車間合いで行う必要があるため、工程の長期化が避けられない。また、接続確認試験の手順は非常に複雑であるため、施工ミスを誘発しやすく、輸送障害の一因となっている。

そこで、信号機器室の論理装置と信号機器とを光ネットワークで接続し、信号機器の制御指示の伝達をデジタル情報によって行う駅構内ネットワーク信号制御システムを開発し、武蔵野線市川大野駅に実用導入した。これにより、ケーブルの大幅削減及び接続確認試験の簡素化を実現した。

今後、本システムの導入により、大規模な構内改良工事に際しては、現地施工及び試験が大幅に削減され、ひいては施工ミスの減少が期待される。

2. 開発スケジュール

本システムは、2006年度内に1号機の実用導入を図るため、2段階に分けて開発を進めた（図1）。

開発フェーズⅠは、1号駅の実用導入のために必要な開発、開発フェーズⅡは2号駅以降の水平展開のための開発とした。

また、追加開発として、駅構内無絶縁軌道回路の開発、

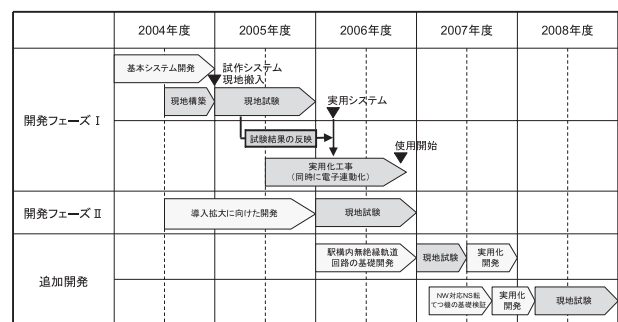


図1 開発スケジュール

駅構内ネットワーク信号制御システムに対応した転てつ機の開発を進めている。

3. システムの構成

駅構内ネットワーク信号制御システムは、信号機器室の論理装置と現場信号機器の間で行う制御指示・制御結果の授受を光ネットワークを介してデータ伝送により行うものである（図2）。

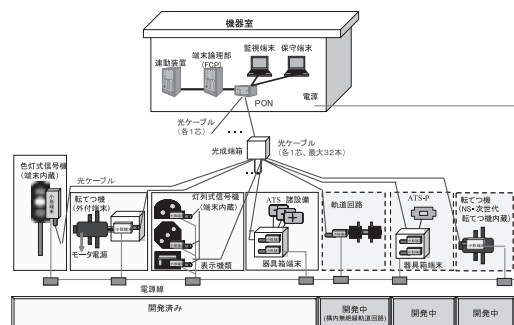


図2 駅構内ネットワーク信号システムの構成

信号機器室には機器室論理部を設置し、光伝送部を介して現場の信号機器に内蔵又は外付けした小形制御端末

の制御を行う。小形制御端末は機器室論理部の制御情報に基づいて信号機器の制御を行い、制御結果（表示情報）を機器室論理部に返送する。

3.1 機器室論理部（FCP）

機器室論理部（FCP:Field object Controlled Processor）は論理装置からの制御情報と関連信号機器の表示情報をもとに対象信号機器の制御情報を決定し、制御電文として全小形制御端末にブロードキャスト（1対多）伝送を行う。小形制御端末は制御電文より自端末に該当する制御指示を抽出し、信号機器の制御を行う。制御結果はユニキャスト（1対1）伝送でFCPに返送される。保安情報の安全性に関する処理は、IEC62280-1（クローズドな通信システムの安全性に係わる規格）に準拠した方式としている。

3.2 光ネットワーク

本システムの基盤となる光ネットワークには、PON（Passive Optical Network）を採用した。本方式はFTTH（Fiber To The Home）で用いられている汎用の伝送方式であるが、以下の点で鉄道沿線に展開する保安制御向けネットワークの構築に適している。

- ・ 無電源の光カプラで最大1:32の通信が可能で、基幹部分を1芯で敷設し、信号機器付近で分岐させることで光ファイバの敷設量を削減
- ・ 光ケーブル1芯で全二重通信が可能であり、芯線数を削減できる
- ・ 光カプラは無電源のため、メンテナンスが不要

3.3 小形制御端末

小形制御端末には、信号機構内蔵タイプと器具箱収容タイプがある（表1）。

表1 小形制御端末の実装方法と種別

実装方法	端末種別
機構内蔵タイプ	色灯信号機用
	中継信号機用
	入換信号機用
器具箱収容タイプ	汎用（ATS-S、出発反応標識）
	転てつ機用

機構内蔵タイプは信号機構の小規模な改良で実装が可能となる色灯信号機、中継信号機、入換信号機について、それぞれ小形制御端末を開発した。

器具箱収容タイプは、小形制御端末の内蔵が難しい信号機器を制御対象とし、開発を行った（図3）。

小形制御端末を信号機構内の狭いスペースに内蔵するためには、大幅な小型化とともに発熱を低減するための省電力化が必要であった。本開発では、2つのCPUを1つのLSIにパッケージした専用フェールセーフLSIを採用することで小型化を実現した。また、減速（YG）、警戒（YY）など複数の灯を同時点灯させる場合も一灯ずつ独立して制御することで負荷の省電力化を図り、I/Oボード

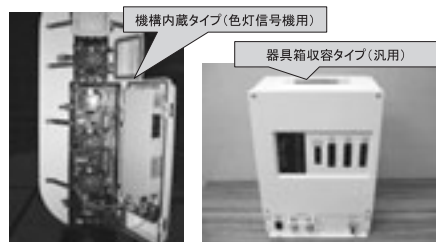


図3 小形制御端末

の小型化を実現した。

3.4 保守端末

小形制御端末交換などのシステムメンテナンスを目的として、接続試験機能を設けた保守端末を開発した。従来の信号システムでは論理装置と信号機器間の配線が論理の一部となっているのに対し、ネットワーク信号ではFCPの論理で決定した制御指示をデータとして信号機器に伝送するため、保守端末から制御情報を出力することで論理装置を通さずに信号機器の制御が可能となる。また、FCPでの制御論理は工場内で試験が可能のため、現地では保守端末がFCPと等価な制御情報を出力することで接続試験が可能となる。この結果として、夜間に行う接続確認試験の手順が効率化される。

4. 主な技術課題

4.1 小形制御端末の耐環境対策

電子機器を線路近傍、特に信号機器の中に設置することから、環境対策を重要課題と位置づけ、対策の検討を行った。クリアすべき値として、従来の信号機器に適用されているJIS規格を準用した環境条件を定め（表2）、それに基づき小形制御端末を設計し、型式認定試験を実施した。その結果、すべての環境条件で規格を満足することを確認した。

表2 小形制御端末の主な環境条件

使用周囲温度	-10～+60℃
インパルス耐電圧	電源線 AC30kV (1.2/50 μs, 10/200 μs, 10/1000 μs)
	信号線 AC20kV (1.2/50 μs, 10/200 μs, 10/1000 μs)
振動特性	10～500Hz (1G以上) JIS E3014 2種による
防水特性	JIS E3017 R2による
EMC	IEC62236-1, 4による

4.1.1 温度対策

信号機器内蔵端末の使用温度条件を決めるにあたって、2004年8月に各種信号機構の内部温度を測定した。その結果、板金製の信号機構の場合、汎用の電子機器を内蔵するためには、内部温度を10℃以上低減させる必要があることがわかった。そこで対策として、遮熱塗料（セラミ

ック系の白色塗料で、断熱と熱反射の両方の効果を持つ）を塗布して評価を行った結果、10℃程度温度が低減することを確認した（図4）。

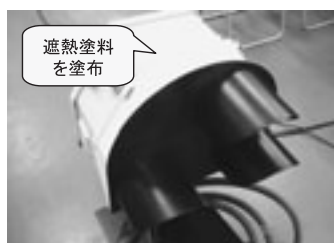


図4 信号機構の温度対策

4.1.2 雷害対策

小形制御端末内蔵信号機器の設置環境では、アースを取ることが難しく、保守のための立ち入りも制限されることから、消耗部品である保安器を用いることは避けるべきと考え、小形制御端末の雷害対策にはトランスを用いた絶縁方式を採用した。

一方で、外部へのケーブル（メタリック）を敷設する汎用FCについては、外部回線のそれぞれに保安器を取り付け、その接地線をフレームグラウンドに接続し、小形制御端末の周囲を等電位化することで、端末内にサージ電流が流れないような対策をとった。

4.1.3 電磁ノイズ対策

鉄道環境における電磁両立性の国際規格であるIEC-62236-4に基づき環境条件を設定し、専門の機関で試験を行った（図5）。



図5 無線周波電磁界の試験状況

4.2 切替作業の簡素化

ネットワーク信号制御システムでは、光ケーブルによる情報伝送で信号機器を制御するため、従来のメタルケーブルを用いた制御からの切替が課題であった。特に、小形制御端末を内蔵した信号機構では、駅構内に点在する全ての信号機に作業員を配置し、コネクタの差し替えなどの切替作業が必要となる。

そこで、この切替作業の簡素化を目的に、各信号機にネットワーク信号制御システムと既設連動装置のどちらからでも信号機器の制御を可能とする「Wired-OR回路」を開発した（図6）。

これにより、信号機についてはネットワーク信号制御システムにおける事前試験や切替時には、信号機に作業

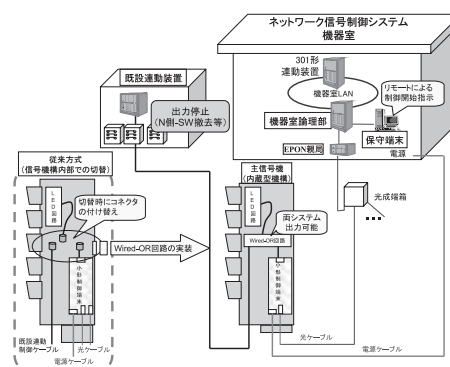


図6 Wired-OR回路の開発概要

員を配置することなく、機器室側で全ての切替作業が可能となった。

4.3 遠隔監視制御システムの開発

ネットワーク信号制御システムでは当初、現場機器・機器室内のネットワーク装置・論理装置それぞれに監視装置を設備する構成としており、監視装置が増大するという課題があった。

そこで、この課題に対して抜本的対策を講ずるための改良開発を行った。具体的には遠隔監視制御システムの開発として、以下の機能の実現に取組んだ（図7）。

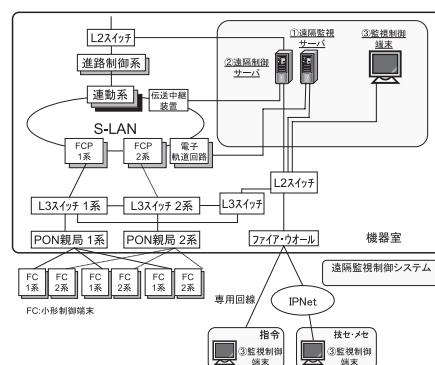


図7 遠隔制御システムの構成

- ・ 汎用の伝送プロトコルの活用により、大規模・大容量の監視系のネットワーク構成を実現可能とする
- ・ 監視系インタフェースの共通化により、監視装置の標準化を図り、新しい信号設備の監視機能の追加を容易とする（表3）。

表3 遠隔監視制御システム関連装置

No.	装置名	機能概要
①	遠隔監視サーバ	信号装置・通信機器の状態情報の蓄積機能及び、監視制御端末への故障情報の通知機能
②	遠隔制御サーバ	監視制御端末からの指示に基づく、信号装置の遠隔制御機能
③	監視制御端末	信号装置の故障時の警報、状態情報の表示機能、及びリモート制御、ジャーナル取得機能

5. モニターラン試験

本システムが実用に耐え得る性能を有しているかを検証することを目的に、常磐線土浦駅において2005年4月から2006年12月までモニターラン試験を実施した。

5.1 モニターランシステムの構成

モニターランシステムは、既設電子連動装置に今回開発したネットワーク信号制御システムを接続し、既設連動装置と同じ制御指示により、試験用信号機器を現在使用している信号機器と同等に動作させる構成とした。なお、試験用信号機器の現場への仮設にあたっては、できるだけ現在使用している信号機器の設置環境に近づけることとした（図8）。

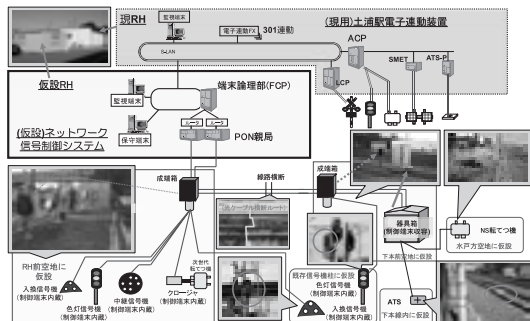


図8 土浦モニターランシステムの構成

5.2 モニターラン試験における評価項目

5.2.1 制御性能

既設装置との状態の一致及び制御タイミングのズレが設計値内に収まっていることなど、制御の追従性を評価した（表4）。

表4 制御性能の評価基準

評価項目	評価対象	評価基準
現用設備との制御一致	モニターラン期間中に発生した全ての制御	一致すること
現用設備との制御タイミングずれ		400ms以内 (設計上の最大値)

5.2.2 伝送性能

電文送受信の周期及び順序逆転、伝送異常の有無について、設計値の範囲内となっているか、長期間の伝送モニタリングにより評価を行った（表5）。

表5 伝送性能の評価基準

評価項目	評価対象	評価基準
伝送周期	FCP 及び 全端	200ms±50ms
順序逆転	末の全通信について評価	10 ⁻⁹ /h以下
伝送異常		10 ⁻⁹ /h以下

5.2.3 耐環境性能

環境性能において、長期間にわたる安定稼働の確認を行った。また、信号機構内及び周囲に各種センサを設置

し、温度、雷サージ、振動、電磁ノイズなどの環境条件が設計値の範囲内であることの確認を行った。

5.3 モニターラン試験の結果

制御性能、伝送性能、耐環境性能とも、評価基準を超えるデータは観測されず、小形制御端末も安定稼働していることが確認できた。

5.4 施工性と保守性の確認

本システムの導入工事や取替工事にあたっては、光ファイバ芯線接続作業や小形制御端末の接続を行うことになる。そのため、屋外環境での光ケーブルの施工性及び小形制御端末の交換などにおける保守性の確認を行った（図9）。



図9 施工性確認の風景

6. 総合接続試験

前述の土浦駅モニターラン試験に加えて、実用化1号機となる武蔵野線市川大野駅における動作を確認するため、市川大野駅と同じシステムを構成し、東京電気システム開発工事事務所が主体となり、総合接続試験を実施した（図10）。具体的には、システムの片系が故障した場合の系切替機能や、異常時を想定した試験などを実施した。この試験でユーザの要望などを整理した結果を遠隔監視装置の実用機に反映した。



図10 総合接続試験風景

7. 市川大野駅での実用化

市川大野駅での実用化にあたっては、東京電気システム開発工事事務所と千葉支社により設計、施工を行った。2006年5月よりケーブル敷設などを行い、10月から信号機や転てつ機などの接続試験を実施し、2007年2月に駅構内ネットワーク信号制御システムの1号機として使用開始した。

8. 水平展開に向けた開発

本システムの開発フェーズⅠでは、市川大野駅の実用化にあたり必要な開発を行ったが、2号機以降の導入に向けて駅構内ネットワーク信号制御システムからの制御対象信号機器を拡大する必要がある、フェーズⅡにおいてこれらの開発と現地試験を実施した。また、追加開発として駅構内無絶縁軌道回路と小形制御端末を内蔵した転てつ機の開発を進めている。

8.1 制御対象信号機器の拡大

ネットワーク信号制御システムでは、光ネットワークを用いた情報伝送により信号機器を制御しているため、多くの芯線数を必要とする線路表示式入換標識や進路表示機などにおいてケーブル削減効果が大きいと言える。そこで、以下の信号機器を制御するための開発をした。

- ・線路表示式入換標識（以下、線表とする）
- ・進路表示機（多進路用・2進路用・3進路用）
- ・進路予告機

これらの信号機器の中で、進路表示機・進路予告機については主体となる信号機（色灯式信号機や入換信号機）に内蔵された小形制御端末から制御することとした。表示機個別に小形制御端末を装備しない構成とすることで、小形制御端末のハードウェアの共通化を実現するとともに、コスト低減を図ることができた。線表については線表用小形制御端末から表示機を制御する構成とした（図11）。

小形制御端末はFCPから制御情報を定周期で受け取り、小形制御端末に追加したRS-485インタフェースにより、表示灯の制御を行う。小形制御端末は表示灯制御回路に故障が発生していると判断したときは、表示灯の電源線を遮断し、強制的に表示灯を滅灯させる。小形制御端末と表示灯との通信が途絶えた場合も同様に表示灯を滅灯とする。

今回試作した線表用小形制御端末・線表（表示器）・多進路表示機・進路表示機（3進路用）を土浦駅モニターシステムに仮設し、制御性能・伝送性能・耐環境性能について約1年間の評価を行い、全ての性能について要求仕様を満足することが確認できた。

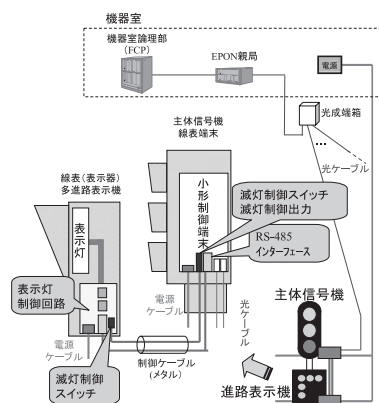


図11 線表・進路表示機のシステム構成

8.2 データ作成支援ツールの開発

ネットワーク信号制御システムの導入により、従来線図や配線図で表記していた連動装置と現場設備のつながりをネットワーク定義表や各種定義表で表記することになる。そこで、ネットワーク定義表や各種定義表を自動作成し、各装置への設定作業の簡素化、作業ミスの低減を図るデータ作成支援ツールを開発した（図12）。

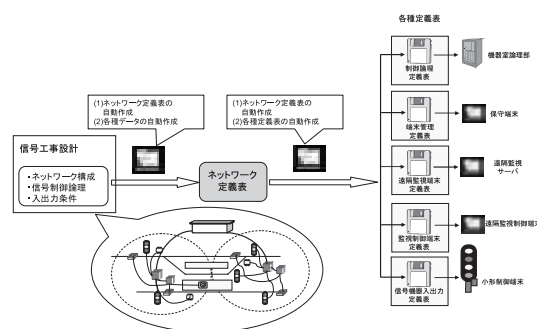


図12 データ作成支援ツールによる自動作成

8.3 駅構内無絶縁軌道回路の開発

現状の駅構内軌道回路は伝送部が1重系であるうえに、有絶縁方式のためにレール絶縁やインピーダンスボンディングが必要であり、障害発生時の原因特定に時間を要することが課題となっている。そこで、ネットワーク信号制御により伝送部を2重化するとともに、軌道回路の無絶縁化により故障部位を削減する駅構内無絶縁軌道回路の開発を進めている。

8.4 小形制御端末を内蔵した転てつ機の開発

転てつ機は振動などの環境条件が信号機に比べて厳しいため、器具箱内の小形制御端末からは多芯のメタルケーブルによる制御としていた。しかしながら、転てつ機の制御は多くの芯線を必要とする上に、分岐器と転てつ機の位置関係により配線パターンが異なるため、施工ミスを誘発しやすくなっている。そこで、配線による論理をなくすために、小形制御端末を内蔵した転てつ機の開発を進めている。

9. まとめ

本稿では、駅構内ネットワーク信号制御システムの開発から実用化までと、2号機以降の水平展開に向けた開発について紹介した。本システムは、市川大野駅で一定の検証期間を設けて動作の健全性を確認し、2008年度以降の導入拡大をめざす予定である。

参考文献

- 1) 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. 5, pp30839-30842（2005）
- 2) 平野善之、国藤隆、樋浦昇；ネットワーク信号制御システムの実用化開発について、JREA, Vol.5, pp31618-31621（2006）