

ネットワーク信号制御システム 小形制御端末の開発



国藤 隆* 加藤 尚志* 服部 鉄範* 平野 善之* 樋浦 昇*

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との間を光ネットワークで結び、情報伝送により信号機器を制御する新しい信号システムである。本システムの開発目的は、現場における配線作業を削減し、信号工事の施工性を向上させることであり、その実現のためには、現場信号機器に電子制御装置を内蔵することが不可欠の要件である。本開発では、高安全・高信頼化、小型・省電力化、及び保守性の向上を図った、小形制御端末を開発し、現在常磐線土浦駅に仮設し、フィールド試験を行っている。本稿では、小形制御端末の開発における課題とその解決方法、及び小形制御端末の制御方式、保守方式の考え方について紹介する。

●キーワード：小形制御端末、機構内蔵、遠隔保守

1 はじめに

JR東日本では、駅構内の信号機や電気転つ機等の信号機器と信号機器室を光ケーブルで接続し、デジタル情報により信号機器を制御する「ネットワーク信号制御システム」の開発を行っている(図 1参照)。本システムの開発目的は、信号ケーブル敷設、配線作業、接続試験等の削減による信号工事の施工性の向上であり、また工事施工のミスに起因する輸送障害の削減についても効果が期待されている。配線の削減という観点では、制御端末を信号機器に内蔵し、信号灯などを直接制御する方式が効果的であるが、鉄道沿線という苛酷な環境に設置されている信号機器に高安全、かつ高信頼性が求められる電子機器を内蔵するには、熱、振動、ノイズ等、多くの課題が存在する。さらに、その使用開始後は保守のために現場に立ち入ることは容易ではないことから、遠隔保守等、従来の信号システムでは実現されてこなかった、新しい概念の導入も必要である。本開発では、多くの新技術を導入し、信号機器に内蔵可能な小形制御端末の開発を行った。

2 開発のコンセプト

小形制御端末の開発にあたって設定したコンセプトは以下のとおりである。

2.1 信号機器への内蔵化

ネットワーク信号制御システムの開発の主目的は配線の削減であるが、信号機器に小形制御端末を内蔵することで、現地での配線作業を削減することができる。これにより、配線ミスの削減、機構内配線の工場内事前試験による接続試験の簡素化が実現される。

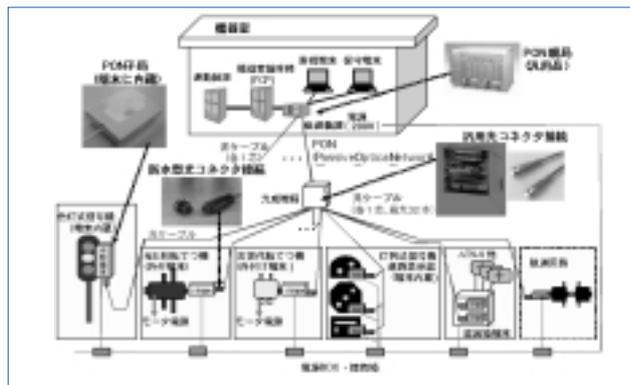


図 1 ネットワーク信号制御システムの概要

2.2 小型・省電力化

信号機器に内蔵可能とするためには、相当の小型化が必要である。それには、素子の集積度をあげることが有効であるが、それと同時に省電力化を実施し、発熱を低減する必要がある。本開発においては、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の採用、信号灯のLED化を前提としたI/O部の消費電力の大幅低減により、小型省電力化を実現する。

2.3 部品の共通化

すべての信号機器に共通の型式の端末を内蔵することが理想であるが、制御対象機器の電気的條件がそれぞれ異なること、狭隘な空間に端末を実装する必要がある、それぞれの信号機器の形状に合わせた設計とせざるを得ないことから、電源、伝送部、FS-論理部、I/O部の単位で共通部品とし、それらの組み合わせにより機構別の小形制御端末を構成できる方式とする。

2.4 高信頼性の確保

本システムにおいては、機器室論理部から小形制御端末まで、伝送路である光ネットワークを含めて完全に2重化することでシステムとしての信頼性を向上させている。さらに、両系同時アクティブとし、系切り替えを不要とすることで、従来、制御が複雑となることからバグの要因となっていた系の故障監視と切替の方式を単純化して、ソフトウェアの信頼性向上を図っている。

2.5 保守性の向上

小形制御端末を現場信号機器に内蔵した場合、現地保守が容易ではないため、端末自身の高信頼化を図る必要がある。本システムでは、遠隔保守機能として、故障時のリセット、プログラム・定数のローディングを可能としており、定期的な外観検査、あるいは物理的故障による端末交換以外は現場保守を必要としないようにしている。

表 1 小形制御端末の種別

端末種別	制御対象信号機器	端末の形態
色灯式信号機用	場内/出発/遠方	信号機構に内蔵
灯列式信号機用	中継/入信/入標	信号機構に内蔵
転てつ機用	NS/YS/次世代	クロージャ/器具箱に収容
汎用 入出力用	出発反応標識	器具箱に収容
	ATS-S地上子	
	諸設備	



図 2 色灯式信号機内蔵端末

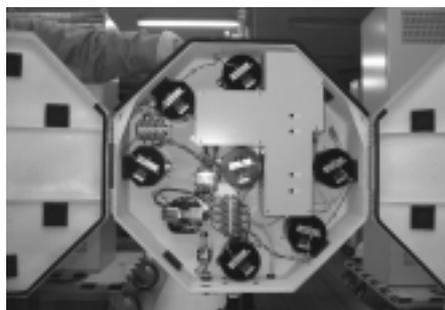


図 3 中継信号機内蔵端末

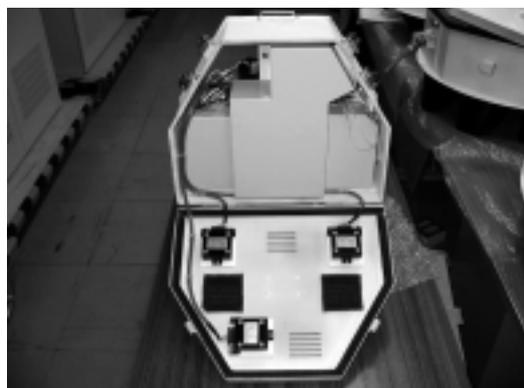


図 4 入換信号機内蔵端末

3 小形制御端末の開発

3.1 小形制御端末の諸元

前章で述べたコンセプトをもとに、以降で説明するような、小形制御端末の諸元を決定し、開発を行った。

3.1.1 端末種別

今回の開発時点での小形制御端末の種別を表 1に、その形状を図 2、図 3、図 4、図 5に示す。転てつ機用の制御端末については、その設置環境が苛酷であること、及び内蔵スペースの確保が困難であることから、当面、クロージャ、または器具箱に収容する外付けタイプとした。

出発反応標識、ATS-S地上子の制御、あるいは、現場での条件取り込みについては、多数の信号機器に対して入出力が可能な汎用入出力用制御端末を開発し、器具箱に収容することでコストの適正化を図っている。

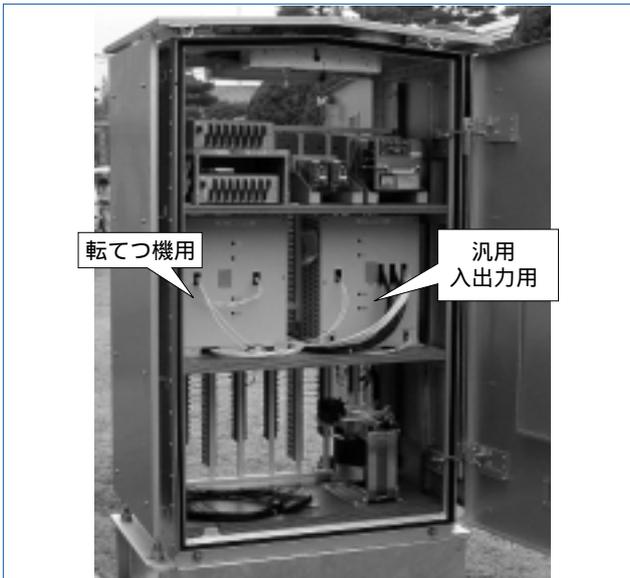


図5 器具箱収容タイプの小形制御端末 (転てつ機用、汎用入出力用)

3.1.2 環境条件

小形制御端末の環境条件を表2に示す。環境条件の設定にあたっては、鉄道のJIS規格に定められる基準値、及び試験方法を要求仕様における条件値とし、それに基づいた型式試験、現地における環境測定データの結果により製品化時の環境条件を決定することとした。

表2 小形制御端末の環境条件

項目	環境条件
周囲温度	-10 ~ +60 (但し、遮熱塗料塗布により上限を+55とすることができる)
インパルス耐電圧	電源線 AC30kV(1.2/50 μ s, 10/200 μ s, 10/1000 μ s) 信号線 AC20kV(1.2/50 μ s, 10/200 μ s, 10/1000 μ s)
耐振動特性	10 ~ 500Hz(1G以上) JIS E3014 2種による
EMC	IEC61000、IEC62236-1,2,4による

3.2 耐環境対策

小形制御端末の耐環境対策の主なものについて以下に述べる。

3.2.1 雷害対策

小形制御端末の雷害対策方式を図6に示す。基本方針として、30kVまでの電源線、及び20kVまでの信号線への誘導雷を対象とし、直撃雷は対策しないこととし、電源線については耐雷トランスにて絶縁し、外部に出る信号線については保安器を用いる。また、耐雷トランスの接地線、シールド線、及び保安器の接地線はすべて筐体グラウンドに接続し、同電位化を図り、

内部回路にサージを侵入させない構成としている。

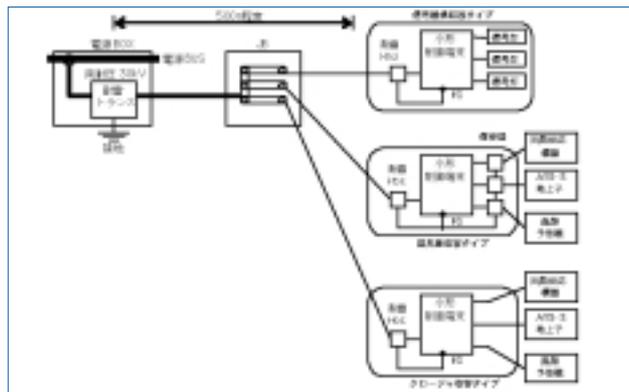


図6 小形制御端末の雷害対策

3.2.2 電磁ノイズ対策(EMC)

鉄道環境におけるEMC(電磁両立性)の国際規格であるIEC61000及びIEC62236-1,2,4に準拠して実施することとした。現場信号機器に電子機器を内蔵するにあたっての懸念事項と考えられる、イミュニティ(ノイズに対する耐性)基準を表3に示す。

表3 小形制御端末のイミュニティ基準

環境現象	試験仕様	単位	試験方法
無線周波電磁界	80-1000	MHz	JIS C 61000-4-3
	10	V/m	
	80	%AM(1kHz)	
デジタル無線 電話からの 無線周波電磁界	800-960	MHz	JIS C 61000-4-3
	1400-2000	MHz	
	20	V/m	
電源周波数磁界	80	%AM(1kHz)	JIS C 61000-4-8
	50/60	Hz	
	16.7	Hz	
	0	Hz(DC)	
静電気放電	±6	kV(接触放電)	JIS C 61000-4-8
	±6	kV(気中放電)	
パルス磁界	300	A/m	IEC 61000-4-9

3.2.3 熱対策

現場に設置する信号機器の温度条件は、通常、上限側を+60℃としている。この条件下で小形制御端末を内蔵すると端末自身の発熱により、一般的な半導体の動作温度の上限値である+70℃を上回るおそれがあった。そこで、遮熱塗料の活用を検討し、予備実験の結果、真夏の炎天下において機構内温度を10℃程度低減できる見込みがたったため、遮熱塗料の塗布を条件に温度条件の上限値を+55℃としている。

3.3 小形制御端末の構成

今回開発した、信号機器内蔵、クロージャ収容、器具箱収容の3タイプの端末構成をそれぞれ、図7、図8、図9に示す。

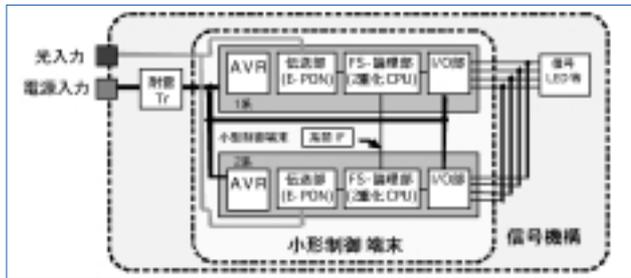


図7 信号構内蔵タイプ

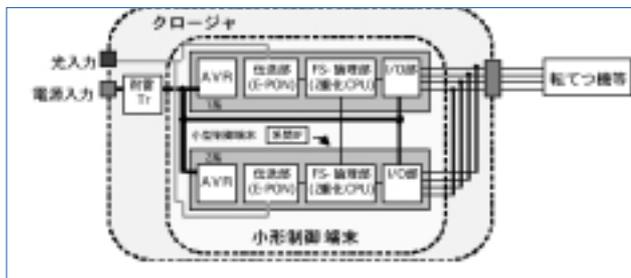


図8 クロージャ収容タイプ

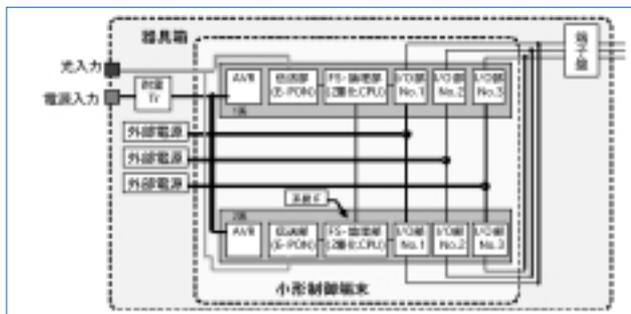


図9 器具箱収容タイプ

3.2.1 電源部(耐雷トランス,AVR)

論理部、及び信号灯の電源をAC200Vで一括受電し、耐雷トランスでAVR入力用のAC200V、信号灯用の50Vを分けて取り出すことができるようにしている。なお、耐雷トランスは、インパルス耐電圧30kV、サージ移行率1/1000以下とし、雷サージ対策を図っている。また、汎用入出力用小形制御端末のI/Oボードに対してはボード別に異なる電源の供給を可能とするために外部電源(器具箱内で作成)で対応するようにしている。

3.2.2 伝送部

100MbpsのE-PONの子局モジュールを各系に1つ備えており、2重化されたネットワークを介して、それぞれ独立した送受信を可能としている。

3.2.3 FS-論理部

今回独自に開発した、1チップFS-LSIとイーサネットコントローラ等の周辺素子から構成される。本論理部は端末種別によらず共通であり、端末種別の切り替えは定数により行う。

3.2.4 系間IF

系間IFでは、2重系の総合の動作状態の監視を行い、相手系の異常を検知した際には、本IFを介して異常系のリセットが可能である。

3.2.5 I/O部

I/O部は制御対象負荷の電気特性に応じていくつかの種類を開発している。また、論理部とは独立した構成となっていることから、I/O部を交換することで多様な種類の信号機器に対応することが可能である。

4 小形制御端末の制御方式

4.1 基本的な考え方

小形制御端末は、機器室論理部より定周期で受信する制御データをもとに、制御定数に従って、現場信号機器に対して出力を行う。小形制御端末において異常を検知した場合は、安全側制御を行う。信号機器別の安全側制御の方式を表4に示す。

表4 信号機器別の安全側の定義

信号機器種別	異常内容			安全側制御
	制御データ異常	表示異常	システム異常	
信号機		-	-	停止現示制御
	-			無制御(滅灯)
転てつ機		-	-	鎖錠
	-			無制御(鎖錠)
				無制御(鎖錠)

4.2 高信頼性の確保

本システムでは、伝送機器には汎用品を使用している。そのため、単系で要求仕様に定めた信頼性を確保することは困難であるため、伝送路を完全に二重化し、機器室論理部のそれぞれの系から小形制御端末の両方の系に制御電文を送出し、小形制御端末のそれぞれの系から機器室論理部の両方の系に対して表示電文を返送している。これにより、機器室論理部、小形制御端末の各系がそれぞれ2回、両系で4回同一の電文を受信することとなり、それらを系間で交換し、最先着した正常データを選択する方式とし信頼性の向上を図っている。

(図 10)。

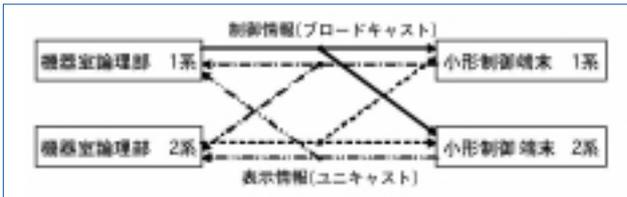


図10 制御情報・表示情報の伝送方式

4.3 伝送における安全性の確保

機器室論理部と小形制御端末の間のデータ伝送は、UDP/IPプロトコルにより行われるが、IEC62280(鉄道用通信規格)に規定されている伝送を介した信号制御の安全性を満たすためにアプリケーション層において追加の通信手順を定めている。具体的には、①通番管理、②ID検査、③CRCチェック、④伝送遅延検査を行っている。

①通番管理

電文に通番を付与し、小形制御端末においては、通番がインクリメントされていることを検査し、機器室論理部においては自身が送出した制御電文と同一通番の表示電文が返送されているかを検査する。これにより、電文の抜け、到着順序の不正、同一電文の連続受信の有無を検出し、異常時には安全側の制御を行う。

②ID検査

電文内のデータ部に送信元、送信先を認識するIDを含め、電文の受信先において、IDの照合により電文の正当性を検査する。これにより、汎用ネットワーク機器の故障により間違った宛先へ電文が送信される場合においても安全性を保障する。

③CRCチェック

伝送プロセッサが付与するイーサネットフレームのFCSとは別に、フェールセーフ論理部において、制御データにCRCを付与し、受信側のフェールセーフ論理部においてチェックを行う。これにより、汎用装置の故障によるデータ異常検査のすり抜けを検出することが出来る。なお、CRCのサイズは16bitとしている。

④伝送遅延検査

機器室論理部と小形制御端末は独立した時計により動作しているため、伝送路上で発生した遅延について考慮する必要がある。そこで、機器室論理部において制御電文を送出してから同一通番の表示電文が帰ってくるまでの時間を監視し、一定時分以上表示電文の帰還が遅れた場合は伝送路上での遅延と判断し、安全側に制御する。

4.4 運転モード

小形制御端末は、大きく分けて、信号機器を制御する機能、端末自身のメンテナンスを行う機能の2つを持つ。前者には、小形制御端末が保安装置の最終段の出力をつかさどることから高度な安全性が求められ、後者には、試験やメンテナンス時において、特に対人間系に対しての利便性が求められる。

そこで、小形制御端末には「常用」と「端末保守」の2種類の運転モードを持たせ。列車運行時の安全と、試験、メンテナンス時の安全を担保したうえでの利便性を実現することとした。小形制御端末の運転モードは、起動時にFROMに記憶されたモードを参照し決定されるほか、人間系による操作により変更される。その状態遷移を図11に示す。

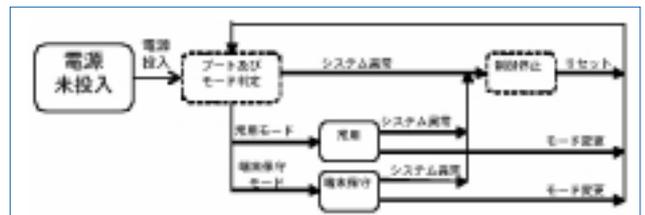


図11 小形制御端末の状態遷移

4.4.1 常用モードでの制御方式

(1)概要

ネットワーク信号制御システムでは、小形制御端末は機器室論理部のリモートI/Oという位置づけとなっているため、端末自身では制御論理を持っておらず、機器室論理部より受信する制御指示に基づき信号機器を制御する。

小形制御端末は、200ms周期で機器室論理部からの制御指示を受信し、その都度、当該指示に従って現場機器に対する出力を更新し、その制御結果である表示情報を同一制御サイクル内に機器室論理部に返送する。

(2)信号機の制御方式

従来、減速、警戒現示では2灯を直列に制御することで信号灯断線時に不正な現示となることを防止していたが、本システムでは負荷の標準化の観点から各信号灯を個別に制御する方式とし、断線時はソフトウェア的に安全側に制御する方式としている。

(3)転てつ機の制御方式

転てつ機制御端末は、1台で1組(ただし、最大4動まで)の転てつ機を制御することが可能であるが、機器室論理部の定数の変更により、1組の転てつ機を個別の制御端末で制御するこ

ともできる。この場合、小形制御端末から転てつ機の配線はすべて単動の制御方式の配線に統一されることとなり、本システムの目的のひとつである施工時の配線誤り防止に寄与するものと考えている。

4.4.2 端末保守モードでの制御方式

(1) 概要

端末保守モードは、小形制御端末の保守・試験を行うモードであり、本モードに設定された端末は、システムから切り離された状態となり、保守端末からの保守、及び試験操作のみを受付可能な状態となる。なお、このとき、機器室論理部、信号機器に対しては、安全側の制御を継続する。

(2) 小形制御端末の保守

小形制御端末は現場信号機器に内蔵されるため、現地保守に対して大きな制約を受ける。そこで本システムでは小形制御端末の保守はすべて機器室から遠隔で行えるようになっている。具体的に可能な保守項目は、リセット操作、プログラム・定数のダウンロード、プログラム・定数の現行/改正面の切替である。

(3) 小形制御端末の試験

従来信号機器への配線を変更したときの試験は、信号機では、すべての現示、転てつ機ではすべての開通方向について実際の条件により試験を行っていたため、その条件設定に大変手間がかかっていた。本システムでは、機器室論理部と小形制御端末の間に配線という概念が存在しないため配線の試験は必要ない。そこで、機器室の試験用端末から模擬の制御条件を小形制御端末に送信し、それにより連動条件とは無関係に自由に信号機器を制御し、動作を確認することを可能とした。

4.5 小形制御端末の新規接続

本システムでは、小形制御端末の新規接続は、ネットワークに小形制御端末を接続した際にほぼ自動的に行われるようになっている。具体的には、機器室の保守端末において、作業員が新規接続を行う小形制御端末を指定し、その後現場において小形制御端末の電源を投入すると、DHCP(Dynamic Host Configuration Protocol)機能により自動でネットワークアドレスが設定され、その後プログラムや制御定数が自動でダウンロードされる。

4.6 監視機能

図 12にネットワーク信号制御システムの状態監視の考え方を示す。基本的な考え方としては、ネットワーク信号制御システムの内部で取得した信号機器、あるいはネットワーク機器の状態情報を既設の定常状態監視システムに出力することとしている。



図 12 ネットワーク信号制御システムの状態監視

4.6.1 信号機器の状態監視

小形制御端末では、信号灯への出力電流値を常時監視しており、本データを測定値として毎制御周期(200ms)定常状態監視情報集約装置に伝送し、集約装置にてデータの蓄積、警報発生時の監視を行う。警報が発生した場合は、既設の定常状態監視システムに対して出力を行う。

4.6.2 ネットワーク状態の監視

ネットワーク信号制御システムを構成するネットワーク機器の監視は、各駅に1台設けたネットワーク監視サーバにより行う。ネットワーク監視情報の収集には、汎用のネットワーク管理プロトコルであるSNMP(Simple Network Management Protocol)を用いている。

5 おわりに

以上、ネットワーク信号制御システムにおける小形制御端末の開発概要について示したが、現在、常磐線土浦駅で行っているモニターラン試験の結果を反映させて、更に性能の向上を図っていく予定である。

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.48, No.5 pp.30839-30842 (2005)