

ネットワーク信号の開発の歩みと今後の展望

東日本旅客鉄道株式会社 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
上席研究員

国藤 隆



JR東日本では、信号工事の施工性向上と現地試験の軽減とを目的として、機器室の論理装置と駅構内の信号機器とを光ネットワークで接続し、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を開発、2007年2月武蔵野線市川大野駅において実用化しました。現在、その水平展開と並行して、この開発技術を駅中間の信号設備に応用した、駅中間ネットワーク信号制御システムの開発と導入工事、信号システムトータルでの信頼性向上を目的とした駅構内論理装置の実用化開発、さらに踏切制御への適用の研究を進めるなど、信号システムの革新をめざしています。

1. はじめに

従来、駅構内の信号機や電機転つ機などの制御は、信号機器室に設置した連動装置などの論理装置から信号ケーブル（メタルケーブル）を現場の各信号機器まで敷設し、電圧による制御を行っていました。このため、信号システムの取替、改良などの工事を行う場合は、機器室の論理装置から現場機器へ膨大な量のケーブルを敷設し、その数倍から数十倍にもおよぶケーブル芯線の配線作業、およびその正しさを確認するための接続試験などを長期間にわたって実施する必要があります。したがって、大駅構内の工事施工が複雑かつ困難なものとなり、工事施工の誤りによる輸送障害を発生させる一因となっています。そこで、駅構内の信号機や電気転つ機などの信号機器と機器室の論理装置とを光ケーブルで接続し、デジタル情報伝送により信号機器を制御するという、新しいコンセプトにもとづくシステムの開発を行ってきました。本システムの導入により、ケーブル敷設量の削減、配線図作成・配線作業の軽減、接続試験の簡素化が図られ、その結果、工事施工のミスによる障害の発生リスクを抑えることが期待できます（図1）。JR東日本では、このコンセプトにもとづいた信号制御システムを「ネットワーク信号制御システム」と名付け、段階的な技術開発および実用化により信号システムの革新を目指しています。¹⁾

本論文では、第2章でネットワーク信号制御システムの開発概要について説明し、第3章で駅構内ネットワーク信号制御システム、駅中間ネットワーク信号制御システム、駅構内論理装置、およびネットワークによる踏切制御それぞれについて、概要と主な技術開発要素を説明します。

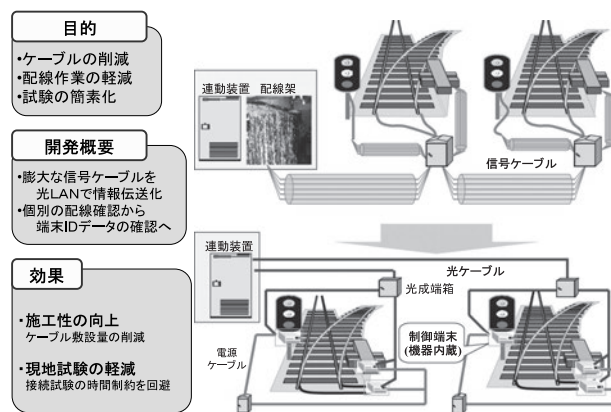


図1 ネットワーク信号制御システムのコンセプト

2. ネットワーク信号制御システムの開発概要

2.1 技術開発・導入の考え方

NW信号では、早期実用化を意識しながらも、将来の理想系を実現するという観点から、4つのステップにわけて段階的に技術開発を行い、技術が確立したシステムから順次実用化を図っていくこととしました（図2）。

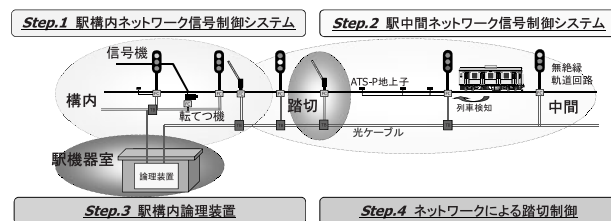


図2 ネットワーク信号の開発ステップ

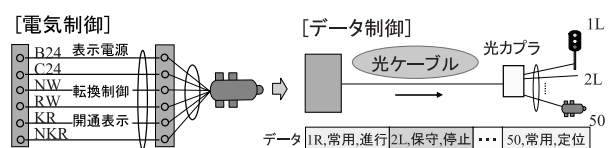


図5 電気制御とデータ制御の比較

伝送を介した信号機器制御の課題は安全性の確保ですが、その基本的な考え方は、伝送路内で発生するすべての誤りを同定し、それを検出し安全側に振舞う仕組みを伝送路の両端なフェールセーフな装置内に設けることであることが国際規格IEC62280に示されています。²⁾ 本システムでは、伝送路に汎用のIPネットワークを用いており、ネットワーク機器はブラックボックスです。したがって、装置故障の影響を詳細に分析して伝送路内で発生する誤りを同定する手法はとれません。しかしながら、定性的にはIPネットワーク内で発生する誤りは、データ誤り、宛先誤り、時間誤りの3つの種別に分類できることから、それら誤りの検出技術を開発し、FCP、およびFCへの組込みを行いました。³⁾

3.1.2 鉄道沿線環境への適合

本システムでは、沿線の信号機器に電子機器を内蔵することから劣悪な環境への適合性が課題であり、鉄道のJIS規格、あるいは国際規格にもとづき環境耐性の基準値（表1）を定め試験を実施しました。特に、線路近傍における電動車からの電磁ノイズ対策についてはノウハウが少なく、実用化の成否を握る最重要課題として取り組みました。

表1 小型端末の主な環境条件

環境現象		試験条件
雷サージ	電源線	30kV (1. 2/50 μ s, 10/200 μ s, 10/1000 μ s)
	信号線	20kV (1. 2/50 μ s, 10/100 μ s, 10/1000 μ s)
電磁ノイズ(EMC)		IEC62236-1,2,4による
使用周囲温度		-10~+60℃ (JIS-E3019,3020による)
振動特性		10~500Hz (1G以上) (JIS-E3014 2種による)

具体的事例として、雷害対策、および電磁ノイズ対策について以下に紹介します。

(1) 雷害対策

図6にFCの雷害対策方式を示します。本方式の利点として信号機器筐体、もしくは器具箱を基準電位としていることからアースの有無、接地抵抗の大きさに関わらず均一なサージ防護特性を得られることがあげられます。

■信号機構内蔵の場合(電源30kV) ■外付けの場合(電源30kV、制御線20kV)

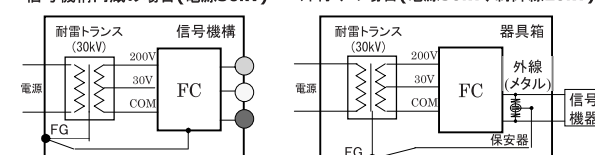


図6 雷害対策の方式

(2) 電磁ノイズ対策

一般にCPUが省電力化、高速化するにつれ電磁ノイズの影響を受けやすくなります。特にフェールセーフコンピュータはノイズによる一過性の誤作動で強制的に動作を停止してしまうことからノイズ対策は信頼性向上のための重要な課題です。ノイズ耐量については鉄道環境におけるEMC（電磁両立性）の国際規格IEC-62236-4⁴⁾をクリアすることを条件としました。試験基準の一例として電源線から侵入するノイズへの耐量の基準値を表2に示します。

表2 EMC試験の基準値（電源線の例）

環境現象	基準値	単位
無線周波 コモンモード	0. 15-80	MHz
	10	V
	80	%AM(1kHz)
	150	Ω
電氣的ファスト トランジェント/ パースト	± 2	kV(P-P)
	5/50	Tr/Th ns
	5	繰り返し周波数 kHz
サージ	1. 2/50	μ s
	± 2	kV(common mode)
	± 1	kV(differential mode)
	± 2	kV(diff mode 不平衡システム)

3.1.3 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、現場信号機器の中に制御端末を内蔵することから、万一、それが故障した場合の原因究明、および修理に時間を要し、大規模な輸送障害を引き起こすことが懸念されました。そこで、モニタ・ジャーナル情報の充実による故障箇所の迅速な特定、制御端末故障であった時の遠隔でのリセット、系切替による応急復旧、さらには、プログラム不具合などがあった場合のソフトウェア交換についても、ネットワーク経由で行う遠隔監視制御システムを開発することとしました。従来、信号制御システムの監視装置は存在するが、新システムが導入されたり、監視項目を充実したりするたびに監視装置が新たに設備され、かえって監視業務が複雑化するという課題が存在していました。このような背景から、ICT技術を活用し、すべての信号機器、およびシステム装置の監視、および遠隔リセットを行う、統合型の遠隔監視制御システムの開発を行いました。その主な特徴は以下のとおりです。

- ・汎用ネットワーク技術により、大規模・大容量な監視系のネットワーク構成を実現する
- ・汎用RDB技術により、監視情報のリアルタイムでの蓄積を可能とする
- ・監視情報を参照する手順はSQLにより標準化することで、新しい信号設備の監視機能の追加を容易とする(表3)

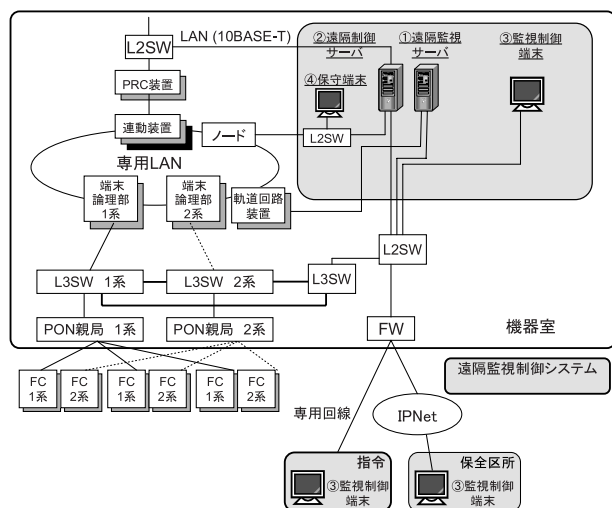


図7 遠隔監視制御システムの構成

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および、監視制御端末への故障情報の通知
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
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、およびリモート制御、ジャーナル取得
④	保守端末	FCの追加/削除、プログラム変更

3.2 駅中間ネットワーク信号制御システム

本節では、駅中間ネットワーク信号制御システムの概要および導入状況について示します。

3.2.1 駅中間ネットワーク信号制御システムの概要

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ます。従来は、それぞれの機能ごとに分かれた設備となっており、主に信号リレーによって制御論理の構築を行っています(図8 (a))。このシステム構成には、次のような課題があります。

- ①一重系設備 (故障時のバックアップがない)
- ②複雑なリレー結線論理・膨大な配線作業
- ③保全に必要な情報が現地でしか手に入らない

これら課題の改善のため、中央線基本構造改良では、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②③の解決を図りました(図8 (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布設する必要があり、このケーブルは依然として一重系であるため、課題①は解決されていません。そこで、駅中間ネットワーク信号制御システム(図8 (c))では、機器室の論理装置(中間LC:図9)と現場設備制御端末(中間FC:図10)との間を光ケーブルで結び、メタルケーブル敷設量の削減、二重化を行うことにより、上記の課題①も含めた駅中間信号設備の課題の解決を図っています。

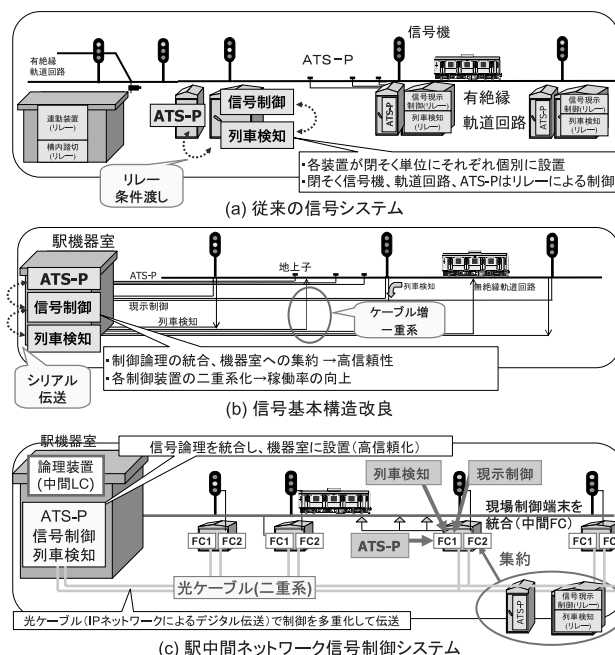


図8 駅中間信号設備制御のシステム化

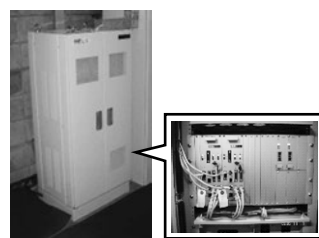


図9 中間LC



図10 中間FC

3.2.2 京葉線簡素統合化プロジェクトへの適用

駅中間NW信号は、京葉線簡素統合化プロジェクトに適用され、現在、導入工事が進められています。京葉線の電子連動装置・ATS-P装置の多くが経年20年を超過し、老朽取替の必要があり、さらに将来的な輸送改善も考慮する必要がありました。この老朽取替工事にあわせて、NW信号を導入する計画です。進路数の多い新習志野駅(京葉車両センター含む)、蘇我駅の2駅に駅構内NW信号(303形)を導入し、その他の小駅については、従来制御方式の602形電子連動装置を導入する。また、駅中間ネットワーク信号を東京～蘇

我間43km全区間へ導入することとしました（図11）。

切換工程としては、駅構内の連動装置の老朽取替を先行して2012年度から順次使用開始し、その後輸送改善を反映させた駅中間のシステム更新と駅構内の改良を行います。駅中間の切換については、京葉線全線を5工区に分割し、2015年度までに段階的に切り換えを行う計画です。⁶⁾

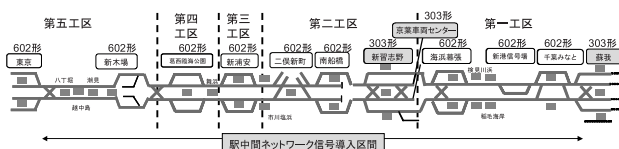


図11 京葉線簡素統合化プロジェクト

3.3 駅構内論理装置の開発

本節では、駅構内論理装置の技術開発の概要について説明します。

3.3.1 駅構内論理装置の概要

ネットワーク信号制御システムについて、早期の実用化を目指したことから、すでに実績のある301形電子連動装置（以降、301形）の一部としてネットワーク信号制御システムを組み入れる開発方針としました。この301形は、それ自体に光ネットワークを有しており、ACPと呼ぶ現場機器制御装置を接続する構成です。駅構内NW信号ではACPの代わりにFCPと呼ぶ、現場機器論理だけを処理する装置を置き、そこから、S-LANとは別の光ネットワークを経由して現場機器を制御するというシステム構成は、信頼性から見ても、コスト面で見ても得策ではなく。これら2種の論理装置、また2種のネットワークは統合されるべきと考えました（図12）。⁸⁾

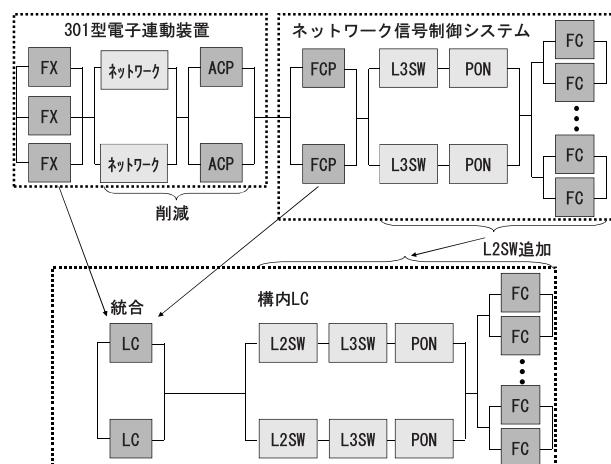


図12 ネットワーク信号制御システムにおける論理部およびネットワークの統合化

次に、駅構内の信号制御装置は、信号設備の制御内容を決める論理部と、制御内容にしたがって設備を制御する複数の制御部で構成され、論理部と制御部との間の条件授受はリレーで条件を受け渡すものから、シリアル伝送、あるいはイーサネットを用いるものまで多様です。さらには連動、ATSなど種々の信号制御機能の単位で個別にシステム化が行われ、それら装置間を多様な伝送路で接続し、条件を授受することで信号設備間の連係動作を実現しています。そのため、システムの構成が複雑となり、設計・施工・試験が難しくなっています。これでは、たとえ個々の装置の信頼性が高くても、一部の装置の故障が駅全体に影響を及ぼし、結果として、システム全体の信頼度は、装置個別の信頼度よりも低くなります。

このような背景から、駅構内の種々の信号制御論理を一組のフェールセーフコンピュータ（駅構内論理装置：構内LC）に統合し、すべての信号機器の制御をネットワーク経由での制御に統一する開発を行うこととしました（図13）。

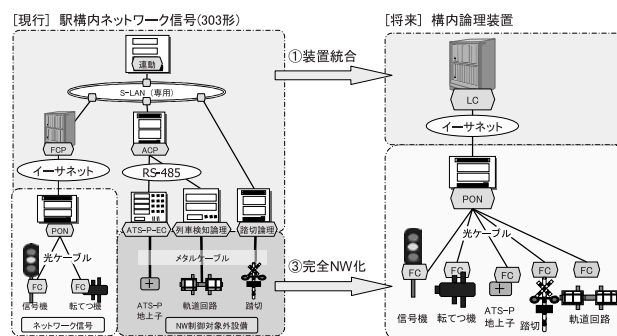


図13 駅構内論理装置のコンセプト

3.3.2 論理装置統合に伴う課題

構内LCでは一つの装置に複数の論理機能を統合しているため、保守を行う際や不具合が発生した際の影響が広範囲に及ぶことが懸念されました。そこで、その影響範囲の拡大を防止する手法の開発を行いました。

連動装置が停止すると、大きな輸送障害につながります。したがって、諸設備制御機能など従来の電子連動装置にはない新たに統合した機能の不具合の波及により連動機能が停止することは避けねばなりません。そこで、ソフトウェア構造の見直しを行いました。改修や不具合の影響範囲を当該機能に限定するためには、機能ごとの独立性を高めることが必要であるため、機能ごとに論理処理をサブシステムとして分割したソフトウェア構造を採用することを検討・評価しました（図14）。

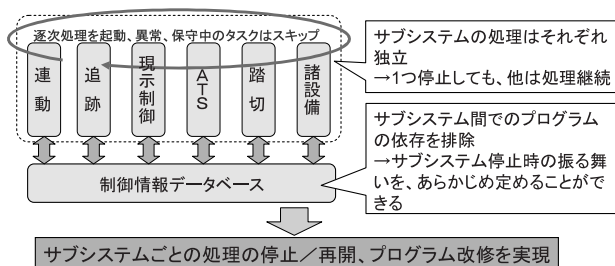


図14 処理分割したソフトウェア構造

本ソフトウェア構造では、サブシステム同士が直接互いにアクセスできないように保護しておくことで、万一ソフトウェアが不正動作した場合でも、他の論理処理のプログラムやデータを改変することが防止でき、他の機能に不具合が波及することを防止できます。また、複数の機能の制御に必要な全ての情報の授受を、共通のデータベースを介して行うことで、処理や情報の重複を排除することができます。このような構造とすることで、サブシステムごとの処理の停止、再開、プログラム改修が可能となり、ソフトウェアのタフネス性の向上が図られます。

駅構内論理装置は、現在、早期の導入をめざして技術開発を進めています。

3.4 ネットワークによる踏切制御

踏切制御における主な課題として、警報時分の適正化と監視、保守の効率化とがあげられます。警報時分の適正化を行うためには、鉄道沿線に点在する情報を踏切制御装置に集める必要がありますが、従来の技術では膨大なメタルケーブルを敷設し、多数のリレーを用いて論理を構築するしかありませんでした。また、監視、保守の効率化のためには、踏切と指令などとの間を高速・大容量の情報ネットワークで結ぶ必要があります。

これらの課題は、踏切制御装置をネットワーク信号制御システムに組入れることで解決できる可能性があります。難しい技術課題も多く存在することから、将来のネットワーク化を想定して、踏切定時間制御高度化のためのソフトウェア制御化、ネットワーク対応踏切制御装置、遠隔監視・保守機能の開発を順次行い、包括的な問題解決を目指しています。

4. おわりに

本稿では、JR東日本が進めてきた信号システムの革新の取組みとして、ネットワーク信号制御システムの開発と、その実用化の状況について述べてきました。ネットワーク信号制御システムは、2004年に技術開発に着手し、その最終ステップである、ネットワークによる踏切制御の開発は途中の段階です。しかしながら、ステップを踏んだ着実な開発と、ステップごとの実用化を行うことで、息切れすることなく開発を継続することができています。このような技術開発・導入の手法は、東京圏輸送管理システム（ATOS）の開発・導入でも、採られてきましたが、社会環境変化の激しい時代において大規模プロジェクトを成功させる上で有効な手法であると考えます。また、ネットワーク信号制御システムは、次世代の輸送システムの制御インフラとして主流となるものと考えられている、無線式列車制御システムの地上インフラとしても期待されており、今後さらなる発展が見込まれるものと確信しています。

参考文献

- 1) 国藤他：「駅構内ネットワーク信号制御システムの開発」, JR EAST Technical Review, No.28-Summer 2009, pp.19～26
- 2) IEC62280-1, Railway applications -communication, signaling and processing systems- Safety-related communication in closed transmission systems, 2002, IEC
- 3) 国藤他, 「IPネットワークを基盤とした保安制御システムの安全性・信頼性設計」, 日本信頼性学会第18回秋季信頼性シンポジウム, 2005.10
- 4) IEC62236-4, Railway applications -Electromagnetic compatibility Part 4: Emission and immunity of the signalling and apparatus, 2003, IEC
- 5) 西山他：「駅中間ネットワーク信号制御システムの開発」, JR EAST Technical Review, No.28-Summer 2009, pp.27～34
- 6) 平野他：「京葉線へのネットワーク信号の導入」, JREA, Vol.54, No.8 (2011)
- 7) 重田他：「駅構内論理装置の開発」, JR EAST Technical Review, No.36-Summer 2011, pp.27～34
- 8) 才木他：「ネットワーク信号制御システムと駅構内論理装置の信頼性について」, 電子情報通信学会ディペンダブルコンピューティング研究会, 2009.11