

駅中間ネットワーク 信号制御システムの開発



石間 礼次*



早川 一水**

JR東日本では、駅構内の信号機などの信号設備と信号機器室を光ケーブルで接続し、デジタル情報伝送により信号設備を制御するネットワーク信号制御システムをすでに開発し、2007年に1号機が使用開始となっている。このネットワーク信号制御システムの技術を駅中間の信号機、軌道回路、ATS-Pなどの信号設備に応用し、高信頼化・高機能化を目指して駅中間ネットワーク信号制御システムを開発した。2005年から着手した本開発は、数々の改良を経て実用化タイプの開発を終えたとともに、長期にわたるモニタラン試験を2011年1月に終え、現在実用化段階に入っている。

●キーワード：ネットワーク信号制御システム、無絶縁軌道回路、ATS-P

1. はじめに

閉そく信号機、軌道回路、ATS-Pなど、従来の駅中間（駅間自動閉そく）の信号設備は、線路沿いに分散して現場の厳しい環境下に置かれており、

- (a) 一重系設備であり、故障時のバックアップがない。
- (b) 複雑なリレー結線論理、配線作業
- (c) 保全・故障情報が不十分などの課題が存在する。

JR中央線東京・高尾間の信号設備では、駅中間の閉そく信号機、軌道回路、ATS-Pの制御装置を二重化するとともに論理を機器室に集中配置し、制御装置の二重化・設置環境改善により安定稼動を実現しているが、機器室から現場設備まで膨大な量のケーブルが布設され、またケーブルは一重系のままである。

そこで、駅構内の信号機などの信号設備と信号機器室を光ケーブルで接続し、デジタル情報伝送により信号設備を制御するネットワーク信号制御システム技術を駅中間信号設備に応用し、

- (a) 二重系システム構築による信頼度向上
- (b) ケーブル布設・配線作業の削減
- (c) 保全・故障情報の充実によるメンテナンス性向上

を目的として、駅中間ネットワーク信号制御システムを開発した。開発は2005年4月より着手し、数々の改良および長期のモニタラン試験を経て、実用化タイプの開発を終え、実用化段階に入っている。

2. システムの基本的考え方

2007年2月に武蔵野線市川大野駅で実用化したネットワーク信号制御システムでは、信号機器室に機器室論理部を設置し、光伝送部であるE-PON (Ethernet Passive Optical

Network) を介して、現場の信号設備に内蔵または外付けした小型制御端末 (Field Controller, FC) の制御を行い、信号設備を制御している。(図1)

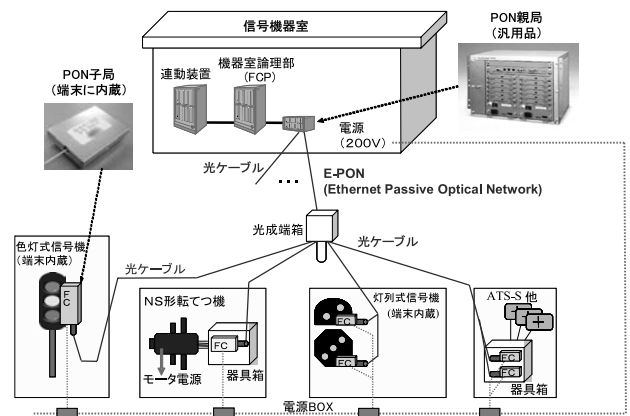


図1 ネットワーク信号制御システムの構成

この技術を駅中間の信号設備に適用するにあたり、基本的な考え方を以下に示す。

- (1) 閉そく信号機、軌道回路、ATS-Pなどの制御論理を、駅中間論理装置 (Logic Controller, 中間LC) 1台にすべて集約する。
- (2) 駅構内では、現場設備が分散しているため、設備ごとにFCを設けたが、駅中間信号設備は閉そく信号機ごとにまとまっているため、閉そく信号機近傍に駅中間小型制御端末 (Field Controller, 中間FC) を1台設置し、そこから信号設備を一括して制御する。
- (3) 中間LC～中間FC間の伝送は、市川大野駅のシステムと同じE-PONを介して行う。伝送手順も同じ手順を採用する。駅信号機器室から延びる光ケーブルは、閉そく信号機付近に光成端箱を設けて、光カプラにより各中間FCへ分岐する。

3. システム概要

駅中間ネットワーク信号制御システムの基本的なシステム構成を図2に示す。このシステムは、駅中間論理装置、駅中間小形制御端末、IPネットワーク、遠隔監視制御システム、保守端末から構成される。

3.1 駅中間論理装置（中間LC）

駅中間論理装置（中間LC）は、閉そく信号機、軌道回路、ATS-Pなどの制御論理を1つに統合した装置であり、フェールセーフな二重系の制御装置である。IPネットワークを介した情報伝送により中間FCと制御・表示情報をやり取りし、信号現示決定などの論理処理を行っている。中間LC・中間FCとも制御周期は200msであり、その周期に同期して制御・表示情報のやり取りが行われる。中間LCは、駅信号機器室に設置される。

中間LCの制御範囲は、自由に決めることが可能であるが、実用化の整理の中で、駅の進入側の閉そくを制御範囲とすることとなった。（例：A駅～B駅～C駅～D駅の区間において、B駅の中間LCはA駅～B駅間の下り線閉そくとB駅～C駅間の上り線閉そくを制御し、C駅の中間LCはB駅～C駅間の下り線閉そくとC駅～D駅間の上り線閉そくを制御する。）

なお、中間LCはメーカー2社による同時開発の形態で開発を進め、開発品もそれぞれのメーカーで製作し、ともに電子連動装置をベースに開発された。図3に中間LCの写真を示す。

3.2 駅中間小型制御端末（中間FC）

駅中間小型制御端末（中間FC）は、フェールセーフな二重系の制御装置であり、中間LCからIP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、閉そく信号機、ATS-Pなどを一括して制御するとともに、無絶縁軌道回路の落下・扛上情報や入力リレー接点情報などを中間LCへ表示情報として伝送する。

図4に中間FC内蔵器具箱の写真を示す。中間FC内蔵器具箱は密閉構造となっており、外部からの粉塵などの進入を防止している。内部温度については、要求仕様で-10℃～60℃と定めた。上部に二重化ファンを設けて空気の強制対流を発生させ、温度を均一化するとともに放熱フィンから熱を逃がし、60℃以下に保つ。なお、首都圏を対象としているため、最低温度は-10℃としている。

図5に中間FC内ユニットの写真を示す。中間FCは片系ごとにブロック構成をしており、1つのブロックに信号機ユニット、軌道回路ユニット（送信、受信）、ATS-Pユニットが内蔵されている。

中間FCは、用途に合わせて、FCSG（FC for SiGnal）、FCBO（FC for BOundary）、FCIF（FC for InterFace）の3種類を製作した。FCSGは駅中間の閉そく内の信号設備を制御する。（図4、図5はFCSGの写真）

FCBOは駅信号機器室に設置して、連動装置や既設ATS-Pとの現示アップ条件などの入出力をつかさどる。FCIFは、現場に設置して棒線駅の諸設備（列車接近揭示器、

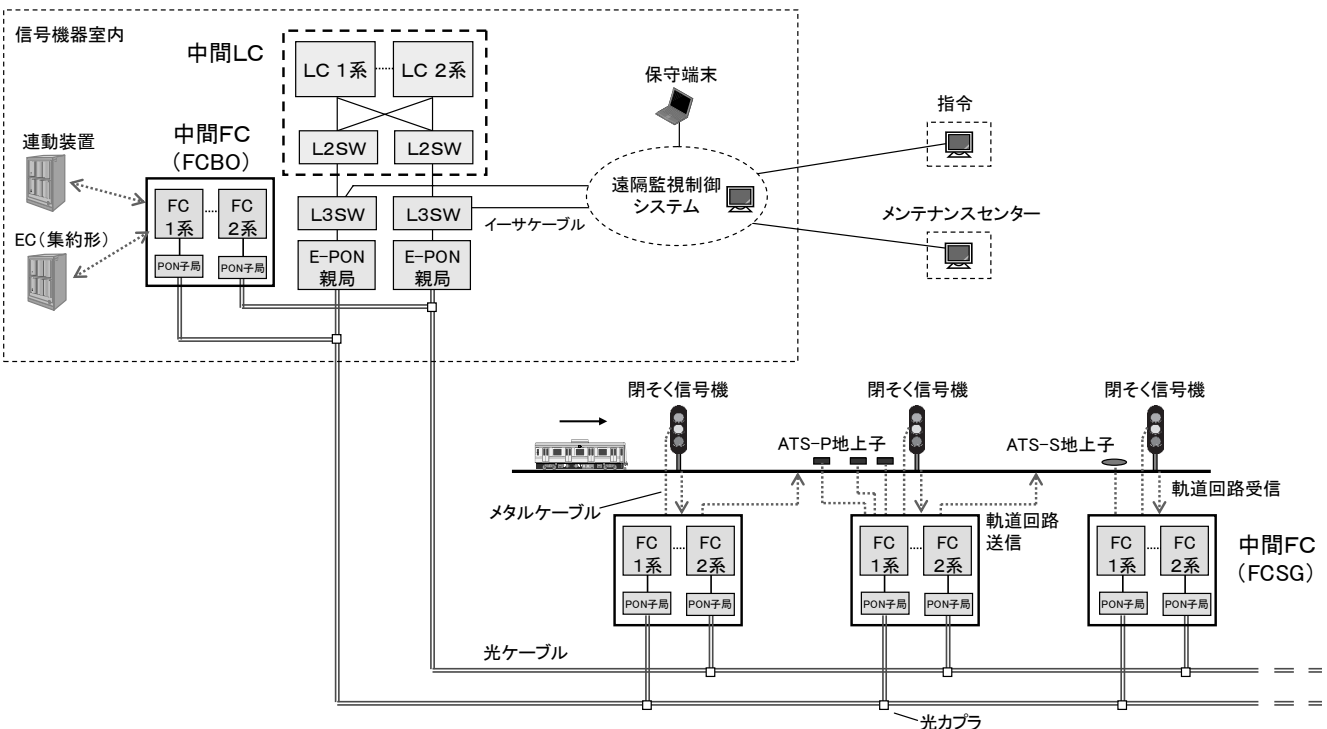


図2 駅中間ネットワーク信号制御システムの基本構成



図3 中間LC

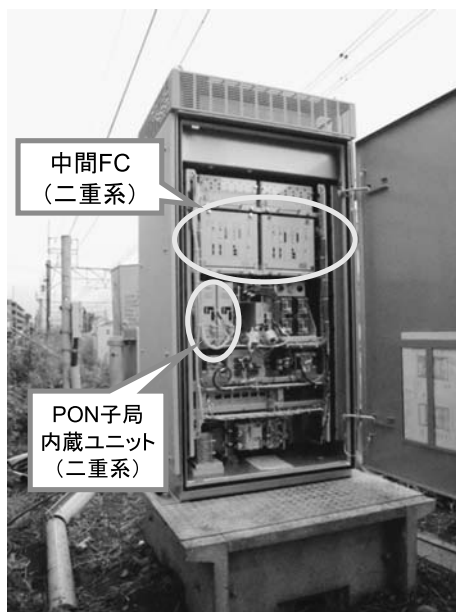


図4 中間FC内蔵器具箱

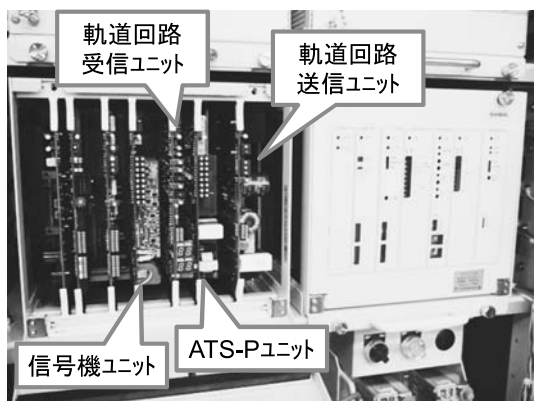


図5 中間FC内ユニット

閉そく反応灯、回路遮断器など)をリレーにより間接制御する。

中間FC (FCSG, FCIF) の電源部の停電時出力保持時間は250ms以上である。リレー形電源切替器の復旧時間は250ms以下であるので、事故停電などにより電源切替が発生しても動作を継続できる。

3.3 IP ネットワーク

中間LCと中間FCの間は光ケーブルで接続され、E-PONによるIPネットワークを介してデータ伝送が行われる。駅信号機器室のE-PON親局から延びる光ケーブルは、閉そく信号機付近に設けられた光成端箱で、光カプラにより各中間FC内蔵器具箱へ分岐し、器具箱内のE-PON子局に接続されている。なお、中間LC～中間FC間はフェールセーフ伝送であり、IEC62280-1 (閉じた伝送路におけるフェールセーフ伝送の国際規格) に準拠している。

駅中間ネットワーク信号制御システムでは、中間LC、中間FC、IPネットワークがすべて二重系で構成されており、高い信頼性を有している。さらに中間LC1系～中間FC1系、中間LC1系～中間FC2系、中間LC2系～中間FC1系、中間LC2系～中間FC2系の計4経路で制御・表示情報のやり取りを行い、いずれか1経路の伝送が成り立てば制御が継続されるので、高い稼働率を実現している。

3.4 遠隔監視制御システム

遠隔監視制御システムは、遠隔監視サーバ、遠隔制御サーバ、遠隔監視制御端末から構成され、ネットワーク機器(L3SW、L2SW)を通じて、IPネットワークに接続される。

遠隔監視サーバは、各装置の状態情報、ジャーナルデータ、および現場設備の定常状態監視情報を蓄積する。遠隔制御サーバは、遠隔制御情報を送信する。

遠隔監視制御端末は、監視サーバおよび制御サーバと接続し、遠隔監視および制御のマニマシインタフェースを司る。この遠隔監視制御端末を操作することにより、機器室と同等の詳細な監視情報を指令・メンテナンスセンターから遠隔で取得できるとともに、指令から障害復旧のための装置リセット操作などが可能になっている。なお、定常状態監視システムとインタフェースを持ち、故障情報が定常状態監視システム側にも通知される。指令・メンテナンスセンターへの回線は、JR東日本内の専用回線で構成する。図6に遠隔監視制御端末の外観および画面例を示す。

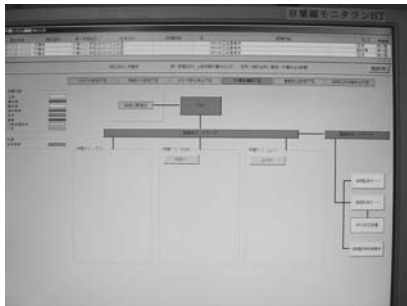
障害発生時の現地作業時に監視情報を確認するため、可搬形の遠隔監視制御端末も開発した。中間FCへ寄っている光回線の空きを利用し、機器室のIPネットワークを通じて監視情報が参照可能である。中間FCの箇所でも、機器室や指令、メンテナンスセンターと同じ監視情報を参照することができ、障害発生時の意思疎通がより効率的に可能となる。

この遠隔監視制御システムは、市川大野駅のシステムで

最初に稼動しているが、その後抜本的な改良を行い、実用化の段階では、駅構内と駅中間のネットワーク信号制御システムを1つの遠隔監視制御システムで対応できるようになっている。



外観



表示画面例(「駅中間システム画面」を表示)

図6 遠隔監視制御端末

3.5 保守端末

保守端末は、IPネットワークを通じて中間LCおよび中間FCと通信を行い、改修時のソフトウェアダウンロードや現行改正切替などの操作を行う。中間LCおよび中間FCの保守端末アプリケーションは、1台のノートパソコンに収められ、排他的に起動させることによりそれぞれのアプリケーションを動作させる。

なお、ネットワーク未構築時の現地確認試験などの対応として、現地で中間FCに保守端末を直接接続して操作することも可能である。

4. 機能概要

4.1 列車検知

駅中間ネットワーク信号制御システムの列車検知の仕組みは以下のとおりである。

- (1) 軌道回路は、無絶縁軌道回路を使用している。軌道回路の両端に中間FCが位置しており、軌道回路波を軌道回路中央部から送信し、両端の中間FCで受信する中央送信の方式である。(図2参照)
- (2) 両端の中間FCでそれぞれ当該軌道回路の半分(ATおよびBT)の扛上・落下判定を行い、結果を表示情報として中間LCへ送信する。
- (3) 中間LCでは、ATおよびBTの扛上・落下情報を集約し、軌道回路追跡機能も含めて、当該軌道回路の状態(扛上、落下、不正扛上、不正落下)を決定する。

無絶縁軌道回路の変調方式は、当初は総武快速・横須賀線地下区間で実績があったAM変調で開発を進めていたが、車両誘導障害対策のため、実用化ではMSK変調を採用した。また、車両誘導対策を考慮し、JR中央線東京～高尾間の無絶縁軌道回路と同一の搬送周波数5.8kHz、6.4kHz、7.05kHz、7.65kHz、4.15kHz(予備)を使用し、許

容値も同等以上としている。

4.2 信号機制御

駅中間ネットワーク信号制御システムの信号機制御の仕組みは以下のとおりである。

- (1) 中間LCは、中間FCからの表示情報から得られた各軌道回路状態・列車選別情報と、自身で保有している現示系統データにより、各閉そく信号機の現示を決定し、制御情報として中間FCに送信する。現示アップ機能もここで実現している。
- (2) 中間FCは、中間LCより受信した制御情報に基づき、信号機の現示を出力する。

なお、中間LCと中間FCとの間の伝送が途切れたときは、安全側制御に移行し、中間FCでは滅灯制御を行う。

4.3 ATS-P

駅中間ネットワーク信号制御システムのATS-Pは、従来の符号処理器(EC)および沿線情報装置の機能を各構成装置に分担する形で以下のように実現している。

- (1) 中間LCは、制御範囲内のすべての閉そく信号機のATS-P電文データを定数として一括保有し、現示系統および各閉そく信号機の現示から、現示段および出力地上電文を決定し、各中間FCへ地上電文データを制御情報として送信する。なお、従来EC間伝送で実現していた情報のやり取りは、中間LCに情報が集約されているため、中間LCの内部処理に置き換わっている。
- (2) 中間FCは、内蔵ATS-Pユニットを介して、中間LCから受信した地上電文データを地上電文に変換して地上子に出力する。
- (3) 中間FCは、ATS-P車上電文を地上子から入力して車上電文データに変換し、中間LCへ表示情報として送信する。
- (4) 中間LCは、中間FCからの車上電文データを受信し、高減速車などの情報を抽出し、信号機制御処理の際の現示アップ機能に利用する。

中間FCのATS-Pユニット～地上子間はシリアル伝送(FSK変調、1200bps)であり、従来と同様である。ATS-Pユニット1枚で8地上子まで制御可能である。なお、中間LCとの伝送が途切れた場合は、安全側制御として中間FC単独で停止電文を出力する。

中間FCに接続可能な地上子は、中継器内蔵形地上子であり、電文送信停止機能(車上装置に対して地上装置からの電文を送信しないようにする機能)を有している。

切替は、既設地上子と新設地上子を併設して行う。使用開始前のモニタランは、ATS-P電文送信停止機能を用いて、保守端末から当該の中間FCに対して電文送信停止を設定して実施する。

4.4 遠隔監視機能

4.4.1 故障検知、ジャーナル

中間FCは、内蔵する各ユニットやATS-P地上子などの故障を検知し、ネットワークを通じて故障情報を出力しており（遠隔監視サーバにて故障情報を蓄積）、遠隔監視制御端末にて警報発生やユニット状態などの情報が確認できる。中間LCでも同様に、内蔵する各ユニットの故障検知および故障情報出力を行っている。

中間FCおよび中間LCのジャーナルについては、遠隔監視制御端末を用いて取得するが、他の信号現示や軌道回路状態変化などと一緒に、ATS-Pの地上電文送信・車上電文受信や故障情報のジャーナルが得られ、ATS-Pに関しては、これまでの沿線情報装置による情報に比べ充実している。

遠隔監視端末から取得するジャーナルについて、その解析の補助としてタイムチャート表示ツールも開発した。オフラインで動作し、中間LCまたは中間FCの出力ジャーナルファイルを読み込むことにより、軌道回路の扛上落下、信号機の現示変化をチャート表示することができる。

4.4.2 故障切り分け機能

本システムでは、障害発生時の故障部位を早期に特定するため、以下にあげる故障切り分け機能を備えている。

中間FCの信号機ユニットは、信号機へ延びるケーブルの断線を検知する機能を有しており、信号機の故障発生時に中間FCユニット側かケーブル側かの故障切り分けを可能としている。また、信号機の電流値を監視しており、信号機のLEDユニットが故障した場合、電流値の下限値オーバーを検知してLEDユニットの故障が判断可能である。

中間FCのATS-Pユニットは、地上子への各回線について電流センサを有しており、故障発生時に電流の有無を検知することにより、地上子故障かケーブル断線かの故障切り分けを可能としている。

無絶縁軌道回路については、中間FCからレールへ延びる軌道回路ケーブルの中の警報線を利用し、警報線断線によりケーブル断線を検知できる機能も備わっており、軌道回路故障時にレール側かケーブル側かの故障切り分けを可能としている。

4.5 その他機能

4.5.1 中間LC稼働中のATS-P電文変更機能

本システムでは、中間LCが電文データを保有しているため、1閉そくみの電文変更でも中間LCを一旦停止させたうえでの改修となり、中間LCの制御範囲すべてを使用停止しなければならず、保守作業上の影響が大きい。

これを打開するため、電文変更のみならば、夜間の作業間合いにおいて保守作業手続きにより列車が走行しない前提下で、ATS-Pの機能のみを停止させて中間LCを稼働させなが

ら電文データを変更する機能を開発した。この機能により、電文変更を伴う閉そくみの保守作業手続きで済むため、保守作業手続きの負担増を抑えることができる。なお、現示段追加など中間LCのアプリケーションの変更を伴う場合は、この機能は適用できず、通常のように中間LCを一旦停止させての改修となる。

5. 開発の歩み

5.1 開発体制

駅中間ネットワーク信号制御システムは、中間LCがA社とB社の2社同時開発、中間FCがC社の開発、ネットワーク機器がD社の汎用品使用という、JR東日本とメーカー4社の体制により開発を進めた。JR東日本が要求仕様を作成し、JR東日本とメーカー4社が協力しながら各装置の詳細仕様およびインタフェース仕様を決定した。インタフェース仕様については、当該インタフェースに関係するすべてのメーカーに公開している。

この開発プロジェクトを進めていく中で、JR東日本がメーカー間調整を逐次行いながらプロジェクト全体を常に管理しなければならず、プロジェクトマネジメントの難しさを痛感した。

5.2 開発スケジュール

駅中間ネットワーク信号制御システムの開発は、2005年4月に着手し、試作システムの開発・モニタラン試験を経て、2007年4月に実用システムの開発に着手した。2008年6月に実用システムのモニタラン試験を開始したが、多くの不具合や仕様変更が発生し、対策・改修を逐次実施しながらモニタラン試験を継続するとともに、実用化予定線区でのモニタラン試験も実施し、最終的に2011年1月にモニタラン試験を完了した。

5.3 モニタラン試験

駅中間ネットワーク信号制御システムの制御性能・伝送性能などの機能評価、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う目的で、モニタラン試験を実施した。

試作システムにおけるモニタラン試験は、常磐快速線北小金駅付近の下り線2閉そくおよび上り線3閉そくについて、2006年11月から2008年1月まで実施した。

実用システムにおけるモニタラン試験は、試作システムと同じく常磐快速線北小金駅付近で2008年6月から2009年10月まで実施した。さらに、実用化予定線区である京葉線の千葉みなと～蘇我間の上り線2閉そくについて、実用化担当箇所である東京電気システム開発工事事務所によって、2009年12月から2011年1月まで実施した。

最終的に、中間LCおよび中間FCの最終仕様での一定期

間連続稼働を確認できたとともに、制御性能・伝送性能などの機能評価も良好であった。また、中間FC内蔵器具箱の内部温度についても、外気温との差が20℃以下に収まることが確認でき、外気温40℃での要求仕様60℃以下をクリアできた。

5.4 型式試験

中間FCは、線路沿いの厳しい設置環境に耐えなければならないため、必要な型式試験を実施しクリアする必要がある。表1に中間FC内蔵器具箱の主な環境条件を示す。これらの定めた環境条件に基づいて型式試験を実施し、すべての試験にクリアしている。

表1 中間FC内蔵器具箱の主な環境条件

内部温度	-10℃～+60℃
振動	10～500Hz 9.81m/s ² (1G) JIS E3014 2種による
EMC [*]	IEC62236-4による
インパルス耐電圧	電源線 30kV (1.2/50 μs, 10/200 μs, 10/1000 μs)
	信号線 20kV (1.2/50 μs, 10/200 μs, 10/1000 μs)

^{*}EMC: Electromagnetic Compatibility (電磁環境適合性)

なお、中間FCの耐振動特性については、実力値の確認のため、表1のJIS規格の2倍の条件(2G)の試験を実施し、クリアしている。

中間LCについては、駅信号機器室内に相当する環境条件にて型式試験を実施し、クリアしている。

5.5 安全性評価

市川大野駅で実用化したネットワーク信号制御システムは、鉄道総合技術研究所による安全性評価を受検しており、安全性確保の考え方に問題ないと評価を受けた。駅中間ネットワーク信号制御システムでは、市川大野駅のシステムとの差異部分である中間LCと中間FCについて、安全性評価を受検した。(中間LC～中間FC間の伝送部分については、市川大野駅のシステムを踏襲しており、評価済み。)

試作システムおよび実用システムのそれぞれについて、当該メーカーが受検し、最終的に安全性確保の考え方に問題ないと評価を受けている。

5.6 導入計画

首都圏における信号トラブルによる輸送障害の極小化を目指して、東京50km圏内を対象とした信号保安装置簡素統合化プロジェクトが計画されている。このプロジェクトの中で、本システムが導入される計画となっている。1号線区は京葉線(東京～蘇我間)であり、2012年度末からの順次使用開始を目指して、現在設計・施工が進められている。

6. おわりに

駅中間ネットワーク信号制御システムは、開発が終了して実用化段階に入っている。将来的にこのシステムが普及し、首都圏の安全・安定輸送に貢献することを望む。

参考文献

- 1) 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、JREA, Vol.51, No.8, pp21～24, 2008.8.
- 2) 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, pp23～27, Feb 2009.
- 3) 日本鉄道電気技術協会：信号概論 ATS・ATC
- 4) R.Ishima, Y.Fukuta, M.Matsumoto, N.Shimizu, H.Soutome, M.Mori: A New Signalling System for Automatic Block Signal between Stations Controlling through an IP Network, Proc. of WCRR2008, May 2008.
- 5) K.Hayakawa, T.Miura, R.Ishima, H.Soutome, H.Tamura, Y.Yoshida: An IP Network-based Signal Control System for Automatic Block Signal and its Functional Enhancement, Proc. of COMPRAIL2010, Sep 2010.