

駅構内ネットワーク信号 制御システム用の色灯式信号機構・ 信号附属機の改良開発



早川 一水*



国藤 隆*



福井 聡*

駅構内のネットワーク信号制御システムでは、小形制御端末を色灯式信号機構の内部に実装し、実際の鉄道沿線環境に設置可能な色灯式信号機構を設計・製作した。このシステムは、武蔵野線市川大野駅に導入し、2007年2月に使用開始した。市川大野駅でのネットワーク信号制御システムは順調に稼動しているが、防振金具が破損したり施工が難しいなどの課題が残った。本開発では、今後のネットワーク信号制御システムの水平展開をするにあたり、さらなる施工性・保守性の向上のため、色灯式信号機構・信号附属機の改良開発を実施した。評価としては、型式試験や接続試験を行った。本稿では、開発概要と評価結果を紹介する。

●キーワード：小形制御端末、色灯式信号機構、附属機制御端末、信号附属機

1. はじめに

駅構内のネットワーク信号制御システムは2007年2月に武蔵野線市川大野駅で使用開始した。使用開始後は、システムとして安定稼動を継続している。ネットワーク信号制御システムでは、電子機器である小形制御端末（Field Controller：以下FCと記す）を色灯式信号機構の内部に実装し、鉄道沿線に設置するため、振動や電磁誘導（EMC）などの対策を実施し、型式試験をクリアしている。しかし、使用開始後に振動対策として設置した防振金具が破損する事象が発生した。また、この防振金具を施工することが難しいなどの課題が残った。そこで、今後のネットワーク信号制御システムの水平展開に向け、課題の整理を行い、さらなる施工性・保守性の向上を図るため色灯式信号機構・信号附属機の改良開発を行った。

2. 色灯式信号機構の改良開発

2.1 開発経緯と概要

駅構内ネットワーク信号制御システムで実用化した色灯式信号機構は、当初開発ではFCを後蓋に実装したため、後蓋の質量が大きくなり、型式試験の振動試験をクリアできなかった。そのため、防振材付の防振金具を開発し、色灯式信号機構全体について、防振材を介して取付ける方法とした。しかし、今後、ネットワーク信号制御シ

テム用の色灯式信号機構を水平展開するにあたり、次の課題を整理する必要がある。

- (1) 防振金具は設置する色灯式信号機構ごとの専用設計となるほか、取り扱いが難しいため施工ミスが起りやすい。
- (2) 施工から約一年経過した時点で防振金具に設置した防振材の一部が剥離した。（図1参照）
- (3) 従来（ネットワーク信号制御システム以外で使用しているもの）の色灯式信号機構に比べ、当初開発のものはFCやネットワーク信号用電源のトランスなどの重量が増加し、機構が重い。

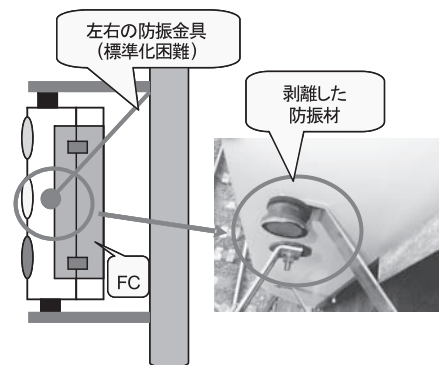


図1 剥離した防振材

そこで、色灯式信号機構は、防振金具に防振材を設けず機構内部に防振機構を設ける方法とすることで、施工技量によらず、従来の色灯式信号機構と同程度の施工性・保守性となるFC内蔵形色灯式信号機構の改良開発を実施した。

2.2 開発内容

色灯式信号機構では、課題に対し次の改良開発を実施することとした。(図2参照)

- (1) FCを色灯式信号機構の後蓋内部に取付け、そこに直接防振機構を設置するため、アルミタイプ、FRPタイプとも振動に対し高い剛性を有する色灯式信号機構の設計を行った。
- (2) 既設連動で使用するLED用トランスは外出しとし、機構外部にクロージャ形のトランスボックスを設けてそこに内蔵する。また、FC筐体のアルミ化も行い、信号機構全体の軽量化を図った。
- (3) FCの共振倍率の低減を図るため、FC内蔵用の防振機構の開発を行った。

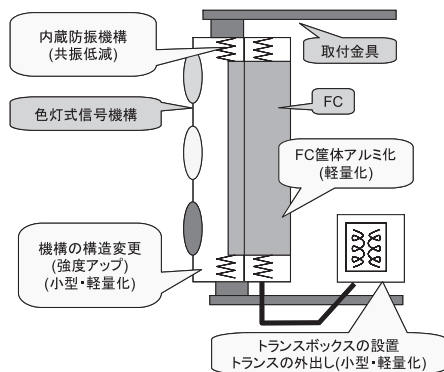


図2 色灯式信号機構の改良項目

2.2.1 信号機構の剛性向上設計

(1) 取付金具の剛性向上

構内ネットワーク信号制御システム用の色灯式信号機構は内部にFCを実装しており、寸法が従来品に対して大きくなっている。そのため、従来品の取付金具は使用できない。また、市川大野駅に施工された信号機は点検台に取付けられた懸垂形であるために装柱形の金具は実用化されていなかった。このために従来品の取付金具の構造を使用して、色灯式信号機構の取付けに耐えられるように上下アームの取付金具の構造変更と強化を行った。

(2) 信号機構各灯箱接続部の剛性向上

当初開発した信号機構の振動試験では、図3のように信号機構本体の下部灯箱（3灯形灯箱）と上から2段目の灯箱（単灯形灯箱）の接続部分にクラックが発生していることから、4現示および5現示の信号機構では3灯形灯箱と単灯形灯箱に振動のエネルギーが加わっていることがわかった。

単灯形灯箱は従来品を流用していたため、振動のエネ

ルギーが加わる灯箱接続部の面積が小さかった。このことから、単灯形と3灯形の灯箱接続部を図4のように接続部の面積を変更し、エネルギーの分散を図った。

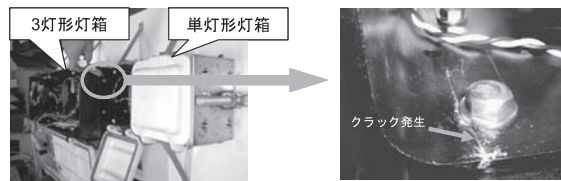


図3 クラック発生の様子



当初開発品

改良開発品

図4 灯箱接続部の強化

(3) 信号機構本体の剛性向上

信号機構の剛性が低下すると、共振振動数は低振動数側にシフトしてしまうため、共振振動数がこれ以上低振動数側へシフトしないように信号機構の内部の補強を行い、信号機構の剛性を向上させた。

(4) 信号機構と後蓋の固定部の剛性向上

信号機構と後蓋の固定に従来品のパチン錠のみでは、振動の全方向に対して剛性を向上させることはできない。そのため、ロック機構を設け、パチン錠と組み合わせることによって信号機構本体と後蓋の固定が全方向に対して強化するよう改良した。

2.2.2 信号機の小型化、内蔵機器の軽量化

(1) FCの軽量化

当初開発したFCは約7.4kgの質量であった。これに後蓋の質量を加えると後蓋全体の質量は約12kgとなり、従来品信号機構の後蓋の約3倍の質量となる。このため、信号機構本体と後蓋の接続部（ちょうつがい部）および固定部（パチン錠部）に大きな荷重が加わってしまう。

今回、後蓋が振動で受ける加速度を小さくすること、および信号機構本体と後蓋の接続部・固定部を当初開発に近い構造・形状で対応できることを目的にFC筐体の材料を鉄からアルミへ変更し、約2kgの軽量化を実施した。

(2) LEDユニットの軽量化

市川大野に施工した信号機構内部のLEDユニットは、LEDユニット内部にワイヤードア回路（既設連動制御用）のトランスを実装していたが、トランスの質量が約1kgであ

ることと、既設連動制御からネットワーク制御への工事期間が終了後、ネットワーク制御に切換えられた場合に、既設連動制御に関する部品はすべて不要となるため、トランスのほか既設連動制御のみに使用する部品は信号機構外部へ新しく設けたクロージャ形のトランスボックスへ実装した。これによりLEDユニットの質量が1.6kgから0.6kgと軽量化した。

(3) 信号機構本体の縮小化

振動時の機構の変動量が大きいと、機構部品の変形や機構部品どうしの摩擦が大きくなる。信号機構が軽量化されることにより、取付金具が振動から受ける荷重を小さくすることができる。

今回、当初開発の信号機構よりも軽量となるように、機構本体寸法を縦方向に10mm短縮し、LEDユニットの軽量化により機構本体寸法の奥行も475mmから432mmへ変更した。

2.2.3 FC共振倍率の低減

市川大野に施工した信号機構は防振材が取付金具に取付けられた防振金具のため、信号機構ごとに取り付け位置の実施しないと防振の効果を発揮しない。その上、施工に手間がかかっていた。今回、後蓋とFCの間に防振機構を取り入れることにより、振動時にFCを近似的に浮いている状態とすることで、本体機構部の応答加速度を減衰する効果があり、かつFCに加わる振動を低減する構造とした。

防振構造は、信号機構内部の狭隘な場所に設置することから粘弾性体の防振材とバネを組合せた図5のような構造とした。

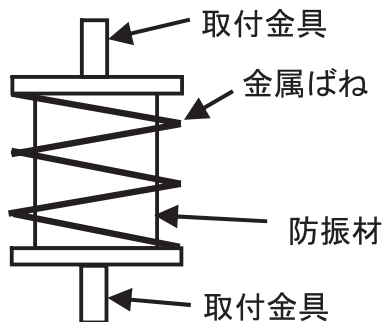


図5 防振構造

2.3 型式試験

通常、信号機構は鉄道沿線の過酷な環境下に置かれることから、事前に厳しい性能試験を実施している。特に電子機器であるFCが信号機構内に実装されることから、信号機構単体での耐環境性能を満足することが要求される。信号機構として満たすべき性能について表1に示す。主に日

本工業規格JISに基づく試験項目となっている。今回の改良開発では、信号機構で耐環境性能が満たされているかどうかの試験を行った。確認方法としては、主にLEDの現示の状態が正常であることをもって合否を判定した。

一例として、振動試験の概要について示す。今回の改良開発では、機構の形状や重量が変更になるため、耐振動特性は重要な確認項目と言える。型式試験は、表1の規格に基づき表2、表3に示す試験条件を設定して専用の試験サイトにて実証試験を行い、異常の無いことを確認した。試験の様子を図6に示す。

表1 型式試験項目

項目	性能	
絶縁抵抗	JIS E 3021 R10	
絶縁耐電圧	JIS E 3021 V1500	
耐振動特性	JIS E 3014 2種	
耐衝撃性	JIS E 3015 2種	
電磁ノイズ (EMC)	静電気	IEC61000-4-2 レベルB
	放射ノイズ	IEC61000-4-3 レベルA
	高速バースト	IEC61000-4-4 レベルB
	サージノイズ	IEC61000-4-5 レベルB
	伝導ノイズ	IEC61000-4-6 レベルB
	磁界ノイズ	IEC61000-4-8 レベルA
パルス磁界	IEC61000-4-9 レベルA	
インパルスノイズ	電源線↔アース間 30kV	
防水特性	JIS E 3017 散水試験R2	
温度特性	JIS E 3019, 3020	

表2 共振試験

振動数範囲	10~500Hz
加速度複振幅	9.81m/s ² {1G}
振動数1往復の時間	16分

表3 振動耐久試験

振動数範囲	共振振動数及び40Hz
加速度複振幅	13.7 m/s ² {1.4G}
加速度複振幅及び加振時間	①共振点がない場合 40Hzで150分 ②共振点がある場合 共振振動数で38分及び 40Hzで110分



図6 振動試験の様子

3. 信号附属機の改良開発

3.1 開発概要

駅構内ネットワーク信号制御システムにおいて実用化に必要な信号附属機の開発を2005年度に実施した。このときの開発内容は、

- (1) 附属機制御端末（S/P変換部）を信号附属機の外付けとして開発
- (2) FCと附属機制御端末とのインターフェースや信号附属機制御回路の開発
- (3) 線路表示式入換標識（以下「線表」とする）を制御するためのFCの開発

を行った。（図7参照）

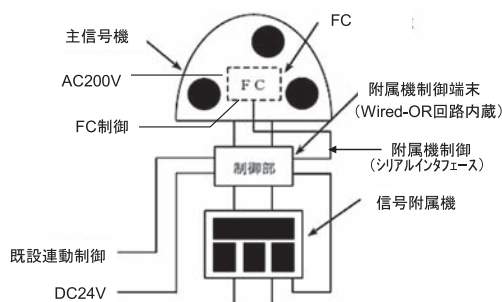


図7 当初開発した信号附属機の制御構成

当初開発の信号附属機において、今後の駅構内ネットワーク信号システムの水平展開を進める上で、次の課題を整理する必要があった。

- (1) 附属機制御端末を設置するスペースが必要
- (2) 2種類の電源線（AC、DC）の施工が必要
- (3) 耐雷対策が保安器であり、保守が必要
- (4) ケーブル接続は端子台への配線が必要

そこで、水平展開に向けて、課題に対し施工性・保守性の向上を目的として信号附属機の改良開発を実施した。対象とする信号附属機は、図8に示す入換3進路・進路2進路・進路3進路・入換多進路・多進路・線表の6種類である。

3.2 開発内容

信号附属機では、課題に対し次の改良開発を実施することとした。

- (1) 附属機制御端末、耐雷トランス、電源装置の内蔵化
- (2) ネットワーク対応信号機（主信号機）の電源と統一化
- (3) LED制御回路の故障検知機能の追加

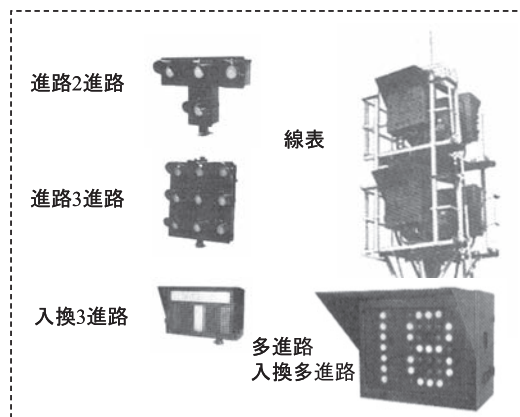


図8 信号附属機

3.2.1 附属機制御端末、耐雷トランスなどの内蔵化

当初開発では、附属機制御端末を外付けとしていたため、主信号機や信号附属機の近くに設置スペースを確保しなかった。現地では、狭いスペースに主信号機と信号附属機が設置されている箇所もあり、図9のように更に附属機制御端末を設置できるスペースを確保することが困難な場所もある。



図9 入換信号機と信号附属機の設置状況

そこで、外付けとしていた附属機制御端末を図10のように信号附属機に内蔵とすることで、新たに設置スペースを確保する必要は無くした。

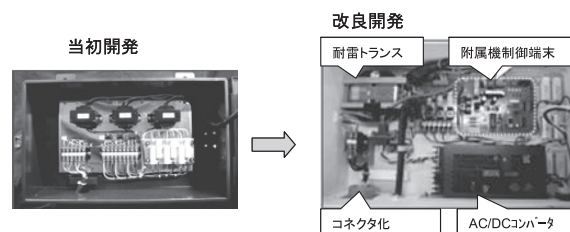


図10 入換3進路における附属機制御端末などの内蔵化

3.2.2 電源の統一化（AC200V）

電源について、主体信号機がAC200Vで附属機制御端末がDC24Vとなっており、電源が統一されていないため、施工には注意が必要である。また、ケーブル端末処理に

よる端子台への配線が必要であるなど施工性が良いとは言えなかった。

そこで、耐雷対策を考慮し主信号機と同等の耐雷トランスおよびAC/DCコンバータを信号附属機内に内蔵化することで、主体信号機との電源を統一させ、さらにコネクタによる接続にすることで施工性の向上を図った。

図10のように各種機器の内蔵化により、表示機内部の機器が増えるが配置の見直しを行うことで、従来品と同等の外寸寸法（表4参照）とすることができた。重量（表5参照）については、多少増加した。

表4 各信号附属機の外寸寸法の変化（単位：mm）

	入換 3進路	進路 2進路	進路 3進路	入換 多進路	多進路	線表
従来	H300 W500 D330	H460 W680 D150	H710 W680 D300	H400 W500 D434	H700 W550 D530	H1084 W900 D470
改良	同上	H505 W680 D192	同上	H400 W500 D419	同上	同上

※H：高さ、W：幅、D：奥行き

表5 各信号附属機の質量の変化（単位：kg）

	入換 3進路	進路 2進路	進路 3進路	入換 多進路	多進路	線表
従来	17	20	44	25	47	77
改良	18	24	42	29	53	90

また、既設連動制御に必要なLEDユニットに附属の昇圧トランスは機構外部に図11のようにクロージャ形のトランスボックスを設けてそこに内蔵することとした。トランスボックス内の昇圧トランスは、ネットワーク信号制御システムへ切替後は不要となる設備のため外付けとした。信号附属機と接続しているケーブルは、信号附属機から簡単に取外しが行えるようにコネクタの形状としている。トランスボックスは、どの信号附属機にも対応できるようにすることで施工ミスがなくなり、施工性の向上を図った。但し、トランスボックスに接続できる信号附属機は1機である。

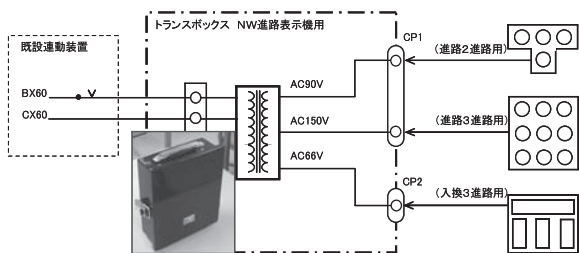


図11 トランスボックスの構成図

3.2.3 LED制御回路の故障検知機能追加

当初開発で、FCから信号附属機を制御するためのシリアルインターフェースの開発と合わせ、通信などの異常時に信号附属機の出力を停止させるためのコモンカットリレー（CTR）を実装した。また、附属機制御端末の表示制御回路の出力に対し、フィードバック機能を持たせ、信号附属機の制御状態をFCに通知することで制御回路の正当性を監視した。

但し、このCTRや入換3進路・進路2進路・進路3進路で使用している表示制御回路から出力された表示機リレーの接点状態の監視はしておらず、このリレーの誤動作（接点融着など）による出力異常は検知していないため、制御状態と表示状態の不一致が発生する可能性があった。（図12参照）

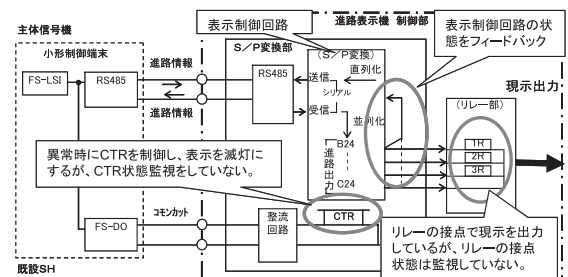


図12 当初開発の表示制御回路

そこで、図13のようにCTRと表示機リレーの接点状態を監視する故障検知機能を追加し、FCに表示制御回路のフィードバック状態と合わせてリレーの状態を通知することで、故障箇所を詳細に特定し、障害に対し適切に対処できるようになった。これにより、保守性の向上を図ることができた。また、表示状態不一致を含めた異常時の際は表示機の制御出力を停止するようにし、制御状態の信頼性の向上も図った。

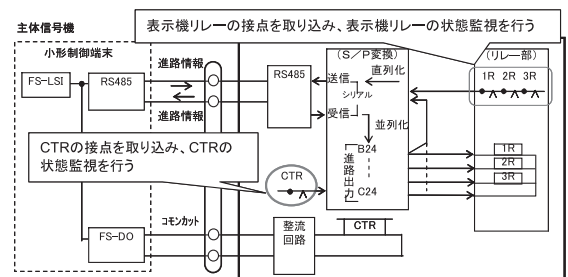


図13 LED制御回路の故障検知機能追加

3.3 評価試験

3.3.1 型式試験

電子機器である附属機制御端末が信号附属機の内部に実装されることから、色灯式信号機構と同様に信号附属機単体で耐環境性能が満たされているかどうかの型式試験（耐環境試験）を行った。型式試験は、今回改良開発した6機種全てについて実施した。確認項目および確認方法は、色灯式信号機構と同様である。

型式試験の一例として、電磁ノイズ（EMC）試験の一つである無線周波数伝導ノイズ試験の概要について示す。今回の改良開発では附属機制御端末を内蔵化し、これに伴って機構内部の配線・機器配置を見直しているため、EMC特性は重要な確認項目と言える。試験は表1の規格に基づき、表6に示す試験条件を設定して専用の試験サイトにて実証試験を行い、異常のないことを確認した。進路3進路での試験の様子を図14に示す。そのほか、表1にある全ての型式試験を実施し、いずれも良好な結果を得ている。

表6 無線周波数伝導ノイズ試験の試験条件

掃引周波数	150kHz～80MHz
掃引時間	1.5×10^{-3} decade/s
電圧レベル	10V
振幅変調	AM 1kHz 80%

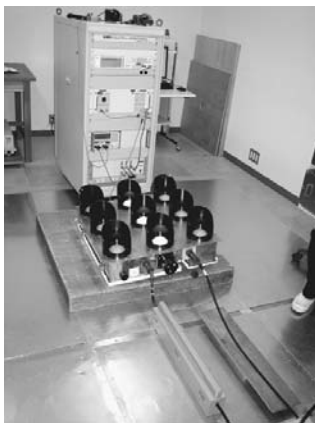


図14 無線周波数伝導ノイズ試験の様子

3.3.2 対FC接続試験

LED制御回路に故障検知機能を追加したことから、FCと附属機制御端末とのインターフェースの仕様を一部変更した。そのため、今回追加したCTRや表示機リレー状態の異常に伴うFCの制御機能を確認するため、FCと信号附属機を組合わせた接続試験を実施した。試験構成を図15に示す。

接続試験では、追加機能の確認のほか正常表示確認・伝送異常確認・異常進路表示時の制御機能の確認など当初開発で開発したインターフェースの内容を含めて表7の試験項目を実施し、いずれも良好な結果を得ている。

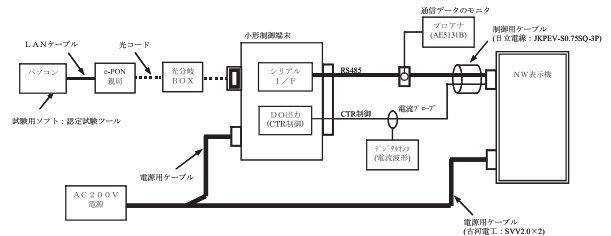


図15 対FC試験構成

表7 対FC試験項目

項目	内容
伝送確認	通信状態、滅灯制御を確認
CTR駆動確認	CTR駆動時の電流確認
進路表示確認	各種表示パターンの確認
伝送周期確認	伝送タイミングの確認
異常進路表示	不正情報による表示滅灯確認
異常状態確認	表示リレー異常時の確認
	CTR異常時の確認
	制御ライン異常時の確認
	電源ライン異常時の確認
	LEDユニットの異常検知の確認

4. おわりに

本稿では駅構内ネットワーク信号制御システムの水平展開に向け、現状の課題を整理し、施工性・保守性の向上のための色灯式信号機構・信号附属機の改良開発の概要を示した。また、今回の改良開発に対し、型式試験や接続試験から良好な結果を得られていることから、今後は水平展開に向け、製品版としての仕様の整理を行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)
- 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.49, No.5, 2006