

無線を利用した新しい地方交通線向け 列車制御システム の開発



八木 遼* 石川 哲也** 安西 理*** 石瀬 裕之**** 村山 健***** 佐々木 敦*

地方交通線の経営環境は少子高齢化などの影響により厳しい状況が続いているが、そのような状況でも信号設備の老朽化に伴う設備更新時期が迫っている線区がある。このような地方交通線の現状をふまえ、コストダウンと安全性の確保を実現する無線を利用した新しい地方交通線向け列車制御システムを開発した。車上・地上間の情報伝送に無線通信を利用することでケーブルなどの信号設備を軽減して、導入コストやメンテナンスコストを抑えることが可能になった。各装置の試作と工場内試験のほかに現車試験も実施しており、システムの有用性を確認した。1号線区として小海線への導入が予定されており、他線区への導入拡大も検討されている。

●キーワード：地方交通線、無線通信、列車制御、軌道回路レス、踏切制御

1. はじめに

JR東日本管内には、地方交通線と呼ばれる路線が33線区、約2,300kmあり、一般的に輸送量が少ない閑散線区である。すべて単線区間で多くの線区は特殊自動閉そく式にて運転を行っている。現在、地方交通線における閉そく装置、ATSなどの運転保安装置、踏切保安装置など列車制御に必要な情報は、多数のケーブルにより伝送されている。また、ATS地上子や踏切制御子など、地上設備が多く、速度超過対策や踏切対策など必要な安全対策を行っていく上で、これらの現地設備の数が増加せざるを得ないシステムとなっている。現地設備数の増加は設置コストとメンテナンスコストの増大を招き、今後輸送量の劇的な増加を望めない地方交通線にとっては、線区経営を圧迫する要因となる。

一方、地方線区の経営効率化のため、1986年に導入された特殊自動閉そく（電子符号照査式）（以下、電子閉そく）は、当社管内では小海線、大船渡線、山田線、五能線で使用されているが、導入後25年を迎えて機器の老朽化が進んでいる。また、ERTMS（European Rail Traffic Management System）やCBTC（Communication Based Train Control）など、無線を用いた信号システムの導入が世界的に広がっている。

そこで設備更新に合わせて無線を利用した新しい地方交通線向け列車制御システムの開発に着手した。

2. 開発のコンセプト

本システムの開発におけるコンセプトは次の3点である。

(1) コストダウン

車上・地上間の伝送に無線を利用して、地上に敷設する制御ケーブル類を大幅に削減する。また本システムに閉そく・連動・踏切制御などの各機能を集約することで導入およびメン

テナンスのコストダウンを図る。

(2) 安全性のさらなる向上

無線を用いた速度照査パターン式の数値制御機能により安全性を確保する。

(3) 柔軟性・拡張性の高いシステム構成

本システムでは、線区に応じて使用する機能を選択でき、あとから機能追加ができる設計とする。各機能をソフトウェアとデータベースにより実現し、運転条件などはデータの追加、変更により新しい機能に対応できるように、柔軟性と拡張性を持ったシステムとする。

3. 開発工程と実施内容

2009年度末から開発に着手し、2012年度までの約3年8ヶ月にわたり開発を行ってきた。開発工程は、最初の試作から現地における現車走行試験までを1次開発とし、現地試験の結果をもとに機能修正や筐体改良のほか、機能追加を行った2次開発に分けられる。1次開発の途中では東日本大震災が発生し、現地試験への影響も懸念されたが、関係者の尽力により試験を実施することができ、その後の2次開発も予定どおりに進めることができた。開発工程の実績と実施内容を表1に示す。

表1 開発工程と実施内容

	2009年度		2010年度		2011年度		2012年度	
	Ⅲ	Ⅳ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅰ	Ⅱ
事前安全性検証								
1次試作 (車上・地上、踏切、無線機)								
工場内組合せ試験								
現地試験準備工事								
現地走行試験								
2次試作(プロトタイプの開発) 車上装置、踏切システム 軌道回路レス化、踏切制御装置								

4. システム概要

4.1 前提条件

本システムの設計にあたり、現在の地方交通線各線区の運転設備や列車本数、車両数等の状況を調べたうえで、前提条件を次のように定めた。

(1) 設備条件

連動駅数は15駅程度で、1駅に同時に在線可能な列車数は4列車、列車の最大編成両数は8両。

(2) 無線条件

無線は1CH、複信方式、車上と地上間の無線周期1秒、無線基地局からの電波伝搬範囲は約1500mとし、冗長系（基地局）待機2重系（車上局）1重系

(3) その他条件

車上装置は各々固有のIDを保有し、制御時のキー情報とする。

4.2 機能概要

本システム全体の機能概要は次のとおりである。システムを構成する装置は、車上装置、地上装置（中央装置・駅装置）、踏切制御装置、デジタル無線機である。図1にシステム概要図を示す。また、本システムでは線区内をブロックという単位で区切り、列車が認識する自位置の表し方は、在線中のブロックNoと当該ブロック内の走行位置を1m単位の距離で表す。今回は軌道回路割に合わせてブロック配置を設定している。図2にブロック配置の例を示す。

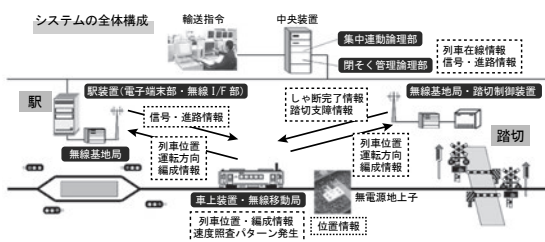


図1 システム概要図

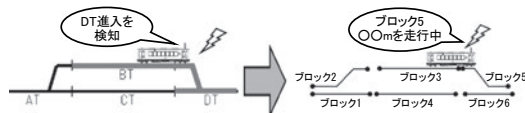


図2 ブロックによる位置認識

(1) 駅・踏切と列車の無線通信

新規の専用無線機を用いて、駅・踏切といった拠点設備と列車との情報授受を行う。

(2) 列車の位置認識機能

無電源のトランスポンダ地上子による地点情報と速度発電機を用いた走行距離演算により、列車自身が位置を認識する。発生する誤差に対しては、無電源地上子により地点補正を行う。

(3) 閉そく管理機能

地方交通線の大部分が駅間を1閉そくとする閉そく方式である。本システムでも現在と同様駅間1閉そくの固定閉そくとし、駅間への進入・進出をチェックすることで閉そくの鎖錠・解錠を行う。

列車が自ら保有する位置情報と列車を識別できるID情報（車両ID）をキーに閉そく管理を行い、構内軌道回路がある路線では軌道回路条件を併用できる。

(4) 列車位置追跡機能

車上から送信される位置情報をもとに、地上の閉そく管理論理部において、無線通信エリア内に在線している列車の位置を追跡する。追跡エリア内で滞泊する列車に対しては閉そく管理論理部で位置を記憶し、再度その列車が車上装置を立ち上げた際に自位置を喪失している場合には、記憶した位置を車上に送信する。

(5) 信号冒進防止・速度超過防止機能

速度照査パターンによる停止信号に対する停止制御ならびに、曲線・分岐器などにおける速度超過防止機能を持つ。信号に対しては地上から受信した進路情報、曲線・分岐器制限に対しては車上で保有する路線データと、車上が認識する列車位置を用いて速度照査パターンを発生させる。

(6) 無線を用いた踏切制御機能

車上から無線伝送される位置情報をもとに、踏切制御装置が警報開始、警報終了の制御を行う。踏切からは通過可否の情報を列車に送信し、踏切が警報を開始していない場合には通過「否」として、あらかじめ踏切手前にひいたパターンを更新せず、結果踏切手前に停止させる。また、障害物検知装置や支障報知装置が動作した際には、踏切手前までのパターンに引き戻す。

(7) 軌道回路によらない在線検知機能（軌道回路レス）

2次開発で追加した機能で、車上装置からの位置情報と列車長情報から、軌道回路と同等の在線検知判定を行う。既存で軌道回路を用いている区間において本システムを導入すれば、軌道回路設備を削減できる。

5. 各装置の構成と機能

5.1 車上装置

車上装置のシステム構成を図3に示す。運転台付車両に車上装置1台を搭載し、気動車に多く見られる1車両の両端に運転台がある車両でも1台の搭載で対応する。

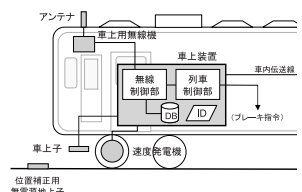


図3 車上のシステム構成

5.1.1 車上装置各部の機能

(1) 無線制御部

車上無線機に対する送受信制御、列車位置の算出、パターンを発生させる電文の生成、列車制御部への電文送出、車両間車内伝送による位置の引継ぎ、列車の編成や車両IDなどの情報整理を行う。

(2) 列車制御部

電文の受信、速度照査パターンの発生、速度照査およびブレーキ指令などを行う。1次開発ではATS-P車上装置を使用した。

(3) 車上データベース

車上装置はパターン生成時などに参照するため、車両や車両ID、進路と線路上の各種設備、電文内容、電文発生位置、各無線基地局、位置補正用地上子などに関する情報を車上データベース（以下、車上DB）として保有する。

5.1.2 車上装置の2次開発における変更点

(1) 新しいATS-P・Ps統合装置と接続するI/F

今後、地方交通線の車両に搭載が予定されているATS-P・Ps統合装置との接続を前提として無線制御部のI/F仕様を策定した。

(2) 軌道回路レスに対応する機能

列車・車両の在線検知は、無線を介した位置情報のみで行うため、プロトタイプでは位置認識の精度・条件の変更と無線通信異常時の機能などを搭載した。

①地上の位置認識の条件変更、位置喪失条件の変更

- (a) 無線制御部の電源を落としても位置情報を喪失させない仕様に変更。
- (b) 停止現示の信号機内方に進入した際の在線位置喪失の仕様について、喪失させるのではなく駅構内を1つのブロック（代表ブロック）とみなして、そこに在線しているという考え方を採用した。

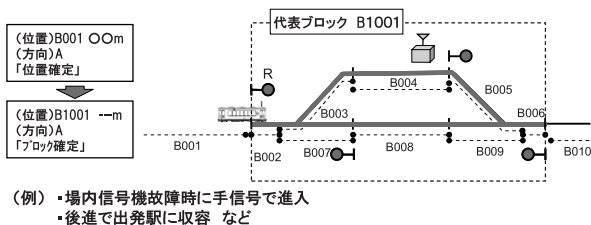


図4 「代表ブロック」の概念

②無線通信異常時の動作

無線通信異常時は地上による列車追跡が不能になるため、車上側が無線通信異常を検知した場合には「列車を停止させる（ブレーキ出力する）」「停止点を自律的に引き戻す」の2つの機能を搭載した。停止点の引き戻しは自車が認識する在線ブロックの末端までの停止パターンに引き戻す。(図5参照)

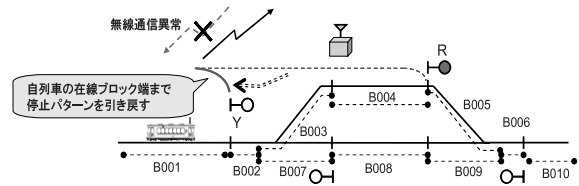


図5 無線通信異常時のパターン引き戻し機能

③位置・速度検知精度の向上

1次開発では列車制御部から移動距離、速度情報をシリアル伝送で受信して位置計算していたが、プロトタイプでは、タコジェネレータ（以下、TG）パルス信号を受信して処理を行い、位置・速度の検知精度を向上させた。

④後進時の位置認識

1次試作では前進時のみ位置算出をしていたが、プロトタイプでは受信したTGパルス信号の位相差から前進・後進を判断し、後進時にも位置算出を行う。

(3) 複数踏切に対するパターン制御

踏切に対する停止パターン電文は、車上DB上に定めた電文発生地点（仮想地上子）において受信した複数の踏切の「通過可否情報」をもとに車上DB内から選択し発生する(図6)。

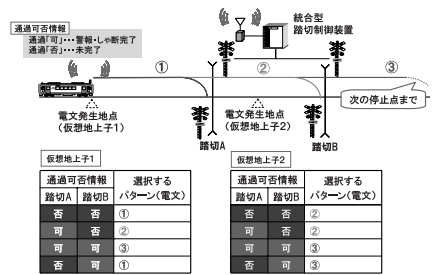


図6 複数踏切に対するパターン制御

5.2 地上装置

地上装置のシステム構成を図7に示す。地上装置は中央機器室に連動論理部と閉そく管理部から構成される中央装置を設置し、無線基地局の制御を行う無線I/F部と現場機器の制御を行う電子端末部で構成される駅装置を各駅の機器室内に設置する。また、ID表示卓、連動制御盤は指令室に設置し、列車情報の表示や端末からの操作が可能である。

システムでは無線情報伝送を行うため、地上子や踏切制御子等を接続するケーブルの多くが不要になる。

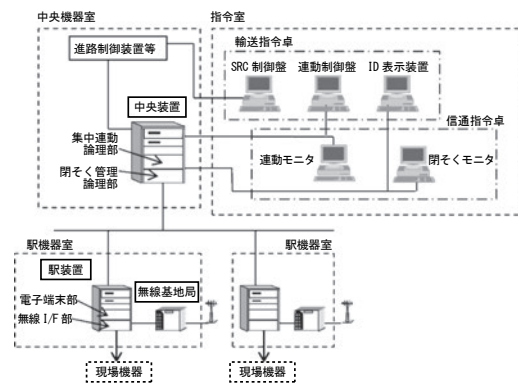


図7 地上装置のシステム構成

5.2.1 地上装置各部の機能

(1) 中央装置（集中連動論理部）

線区内の各連動駅の制御、閉そく管理部との各種条件授受、連動制御盤への在線表示と入力操作の処理などを行う。

(2) 中央装置（閉そく管理論理部）

線区内の連動駅間の閉そく管理（確保・解除）、IDによる車両の在線管理、各列車へ送信する情報の作成、連動論理部との各種条件授受、無線I/F部との情報授受、ID表示卓への列車情報表示と入力操作の処理などを行う。

(3) 連動制御盤・ID表示装置

輸送指令卓に設置する端末で連動制御盤は進路制御の入力、在線表示などを行い、ID表示装置は各列車の在線および状態表示、連動駅間の閉そく状態の表示などを行う。

(4) 駅装置（電子端末部）

連動駅の転てつ機、信号機などの現場機器の制御を行う。

(5) 駅装置（無線I/F部）

無線基地局の送受信制御を行う。

5.2.2 地上装置の2次開発における変更点

(1) 位置情報を既存の軌道回路単位へ読み替える機能

（軌道回路読替機能）

1次開発の地上装置では、既存の軌道回路情報を用いて処理していたが、2次開発では車上の位置情報を使用して軌道回路によらない在線検知機能を開発した。その際、従来の軌道回路に読み替えて在線表示を行い、軌道回路を条件で使用している既存装置を活用できるようにしている。

(2) 通信途絶による「位置飛び」に対する列車追跡機能

本システムの軌道回路レスで無線通信品質が低下した場合、異常検知としない程度の短時間の断続は、列車の位置が飛んだような認識（位置飛び）になる。この場合軌道回路の読替えをそのまま行くと、集中連動論理部で列車の連続性が判断できず、連動処理に影響が出てしまう。

そのため位置飛びが発生したときは、無線通信異常を検知していないことを担保にその間を列車が走行したものとして処理を行う。（図8）。

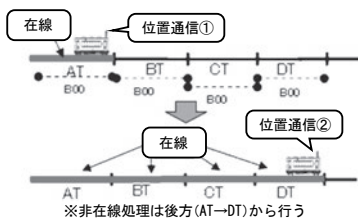


図8 列車仮想走行機能（イメージ）

(3) 無線通信異常時に列車検知上の安全を確保する機能（行方不明検知機能）

本システムは連続3秒間の無線通信断で無線通信異常を地上装置・車上装置の両方で検知している。また無線通信は車上・地上間の双方向で行っているため、片方の通信が成立しても、もう片方の通信が成立しないことも有り得る。このた

め、無線通信異常時に安全性を保つ処理が必要である。

無線通信異常時に地上装置は、列車が進行するおそれのある進路ブロックを「在線」扱いとし、列車に送信する停止点（進路上進むことのできる地点）を列車位置に対する直近の停止点に変更する処理を行う。

図9に無線通信通常時の地上装置側の制御と行方不明検知機能を示す。なお、変更した停止点を列車が受信できれば、停止パターンは引き戻される（受信できない場合は車上装置が自律的にパターンを引き戻す）。

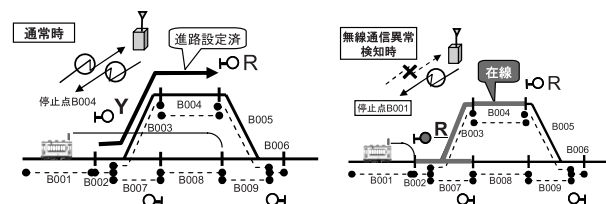


図9 無線通信正常時の地上側の制御と行方不明検知機能

5.3 無線機

地上用の基地局を2重系、車上用の移動局を単系のみの構成とした。一般的なデジタル業務用無線機の技術を利用して、コストダウンを図っている。

周波数は列車無線等で実績のある400MHz帯とし、通信可能距離は通信開始遅れの余裕も含み基地局から1.5km程度とした。1つの基地局における列車と同時通信数は、当社管内の地方交通線の運転頻度と輸送形態を調べた上で最大4列車とした。

5.4 踏切制御装置

5.4.1 基本機能

踏切制御装置は、列車から送信された列車位置、編成情報などの情報を踏切の無線基地局経由で受信して、列車位置が予め登録している警報開始位置に到達すると警報を開始し、列車後部が警報終了位置を過ぎると警報を終了する。

車上装置は踏切手前までの停止パターンを予め保持しており、踏切制御装置からの踏切通過「可」の情報を受信しない限り、パターンを更新しないため列車は停止する。これにより、踏切支障や故障時等の列車通過を防止する。（図10参照）

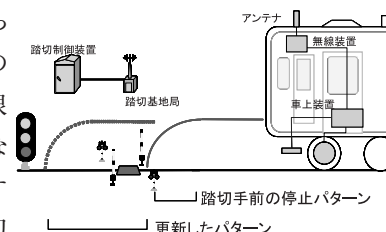


図10 踏切制御

5.4.2 踏切制御装置の2次開発における変更点

(1) 複数踏切に対する制御機能

踏切毎に制御装置と無線機を設置するのは、電波干渉とい

う技術の面からも、また工事や保守にかかるコストの面からも現実的ではない。そのため、1制御装置で複数の踏切を制御可能にする改良を行った。

また、各踏切の最新情報（通過可否、障検動作等）を随時列車に無線送信し、列車に最新情報での速度制御を行わせる。制御可能な踏切数は地方交通線の踏切の分布を調査し、最大5踏切とした。（図11参照）

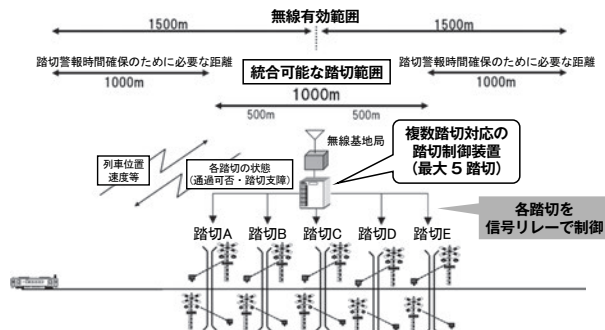


図11 複数踏切制御イメージ

(2) 踏切制御装置の2重系化

1装置で複数の踏切を制御するため、装置の故障やメンテナンス作業時に、制御対象となっている全ての踏切が同時に警報を開始してしまう。不要な警報を行わないようにするため、本開発では故障時やメンテナンスを考慮した装置の2重系化を行った。

(3) 列車後進時の踏切制御機能

車両側の論理により後進と判定した場合、車両側から無線で後進情報を送信する。後進時の列車に対して次のように踏切を制御する。

- (a) 列車の後進情報を受信し、その列車が踏切道から150m以内の範囲に入った場合、警報を開始する。
- (b) 列車の後進情報を受信した列車位置が、踏切道からすでに150m以内の場合は、即時警報開始する。
- (c) 制御対象となる踏切を個々に警報させる。
- (d) 踏切道の150m以内に列車が在線している場合で、送信情報が後進から前進（踏切から遠ざかる方向）に変化した場合、30秒後に警報を終了する。
- (e) 列車位置が踏切道上に差し掛かっている場合は、警報を終了しない。
- (f) 列車が後進を続け、踏切の通常の警報開始点を越えたとき警報を終了する。

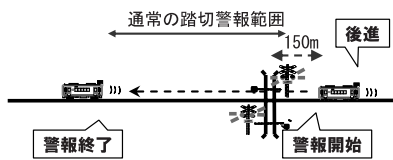


図12 後進時の踏切制御

5.5 車上DB更新システム（2次開発）

5.5.1 概要

車上DB更新の省力化を実現するため、車上DBの更新と各車両に対するDB管理を行うシステムである。更新作業は車両センター等の検修庫で行い、管理端末からリモートで更新作業を行なうことを基本とした。

管理端末は汎用PCとし、その端末上で動作する車上DB更新管理ソフトウェアの開発を行った。管理端末と車上装置間は有線または無線の通信で接続して更新を行う。なお、今回の開発において無線通信の方式は何種類か比較を行った。図13に全体概要を示す。

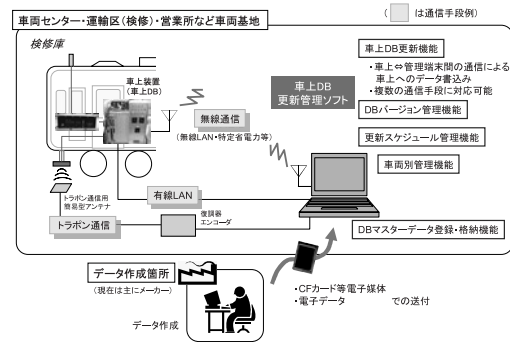


図13 開発の全体概要（枠内が開発対象）

5.5.2 機能

主な機能については次のとおりである。

(1) DBマスターデータ登録・格納機能

DBマスターデータの管理端末への保存、管理、表示を行う。

(2) DB更新機能

無線制御部へDB更新モードへの切替指示、更新データの書き込み面指定、現行面管理、ログ管理を行う。

(3) DBバージョン管理機能

管理端末が取込んだ車上DBマスターデータの管理バージョンと会社コード、線区コード、バージョン指示コードを結び付け管理する。

(4) 更新スケジュール管理機能

車両形式ごとに車上DBを更新するスケジュールを管理端末に登録したり、登録したスケジュールに従って更新期限のアラームメッセージを管理端末に表示する。

(5) 車両別管理機能

無線制御部を搭載している車両の情報を管理端末に登録したり、車両形式ごとに搭載した車上DBの更新履歴を管理端末に表示を行う。

6. 試作と試験

6.1 1次開発時

6.1.1 車上装置

1次開発では、列車制御部にATS-P車上装置を採用しており、無線制御部のインターフェースもそれを前提とした仕様で試作を行った。走行試験車両に設置した状態の車上装置を図14に示す。

6.1.2 地上装置

地上装置は中央装置、駅装置のどちらも既製のハードウェアを活用しており、開発はソフトウェアが中心に行った。1次開発では、現地試験を実施した小海線中込～岩村田間の2駅1中間の線形で試作を行った。なお、試験構成上、本来指令設備のある中央機器室に設置する中央装置については、中込駅用の装置と実装を一体化した。地上装置を図15に示す。

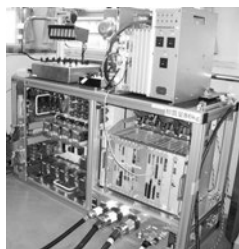


図14 車上装置
(設置台の右側上が無線制御部、右側下が列車制御部)



図15 地上装置 (中央+駅)
中込駅設置

6.1.3 デジタル無線機

試作したデジタル無線機の外観を図16、17に示す。外形寸法は地上基地局用無線機が482×349×400mm、車上用が280×100×285mmで運転台付近の設置を可能とした。

6.1.4 踏切制御装置

試作した踏切制御装置を図18に示す。装置の大きさは従来の電子式踏切制御装置 (踏切制御装置 (M型)) と同等であり、踏切器具箱内への収容を可能とした。



図16 無線機 (地上)



図17 無線機 (車上)



図18 踏切制御装置

6.1.5 工場内組合せ試験

現地試験の前に試作したデジタル無線機を介して、地上装置、車上装置、踏切制御装置を相互に接続した環境をメーカー工場内に構築し、組合せ試験を実施した。

試験は2011年3月17日～23日の1週間をかけて、装置間の情報伝送及びインターフェースの確認と接続状態における各装

置の動作確認を行い、良好な試験結果をふまえて現地試験へと進んだ。

6.1.6 現地試験

(1) 現地試験の概要

現地試験は、終列車から初列車までの夜間帯で行い、2011年4月から10月までの半年間で全19回実施した。試験区間は小海線中込～岩村田間で、地上設備は中込駅、第一北中込踏切、岩村田駅に試験用機器室を仮設して各試験装置を設置した。車上設備はキハ110系気動車3両にそれぞれ車上装置を仮設した。現地試験設備の構成を図19に示す。

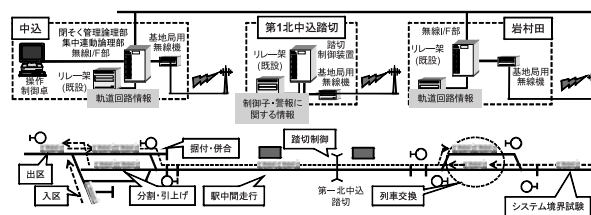


図19 現地試験設備の構成

(2) 試験内容

試験は、基本機能に関する動作確認のほかに、隣接する無線基地局同士のオーバーリーチの影響や各設備が故障した時などの装置動作・面表示について実施した。試験内容に応じて車両を1両～3両で様々な編成で試験を行い、実際の車両運用や作業手順を考慮して試験手順を構成して実施した。おもに次の項目を確認した。

- ①車上装置と地上装置、踏切制御装置間の無線伝送制御およびインターフェースの確認
- ②車上装置、地上装置、踏切制御装置の基本機能・性能の確認 (表2参照)
- ③現地での運用中における異常を想定した地上、車上、踏切各装置の性能試験
- ④無線干渉、オーバーリーチ等の無線環境下における各装置の性能試験

(3) 試験結果

各試験内容を実施した結果、以下のとおり確認することができた。

- ①車上装置と地上装置、踏切装置間の無線伝送制御およびインターフェースの確認
装置間の無線伝送の滞りや無線インターフェースの食い違いなどは見られず、設計で定めた無線通信周期 (1秒) で遅滞なく列車制御できることを確認した。
- ②車上装置、地上装置、踏切制御装置の基本機能・性能の確認 (車上装置)
表2に示した各項目を満足することを確認した。

表2 現地試験確認項目

確認対象	確認項目	
無線インターフェース機能	無線送信/停止の機能が正常に行われること	
車上データベース機能	運転台条件に基づき、車上無線機の電源制御が行われること	
情報管理・送信機能	各種制御、システム内の移動等が正常に行われること 位置情報、車両ID、編成長、速度等を地上装置等に送信できること	
位置認識機能	ブロック内位置、次ブロックへの移行等が正常に行われること 位置補正地上子から、位置情報を受信できること 列車制御部からの距離情報により、位置算出すること	
電文作成・送信機能	位置情報、停止点情報等をもとに電文情報が生成され、列車制御部に送信されること	
車両間情報伝送機能	車内伝送により、車両情報の授受、位置情報の引継ぎができること	
パターン式速度制御機能	生成された電文に基づき、ATS-Pによるブレーキ制御が行われること	
地上装置	列車位置追跡機能	列車からの位置情報に基づき、在線位置を把握し、表示を行うこと 列車後端の判断を行い、複数ブロックにまたがる在線判断を行うこと 列車からの情報をもとに列車分割・併合の判断を行い、表示すること
	閉そく管理機能	列車からの位置情報をもとに、中間閉そくの確保・解除が行えること 解除条件が揃わない場合、中間閉そくを解除しないこと
	列車への停止点制御機能	列車の在線位置と運動からの現示情報をもとに、正しい停止箇所の指定が行えること
	滞泊列車への初期位置通信機能	滞泊に伴い、走行位置を喪失した列車に対し、記憶していた列車位置を送信すること
踏切制御装置	警報開始制御	無DPRリレー(上り)、無BPRリレー(下り)、無SRリレー、無Rリレーの落下制御 既設踏切設備との比較
	警報開始抜け制御	無DPRリレー(上り)、無BPRリレー(下り)の打上制御
	踏切通過可否情報送信	無Rリレー落下制御から16秒後に踏切通過可否情報を列車に送信
	警報終了制御	無DPRリレーの打上制御
	警報終了抜け制御	無DPRリレーの打上落下制御、無SRリレーの打上制御、無Rリレーの打上制御 既設踏切設備との比較
通信終了情報送信	無Rリレーの打上制御後、通信終了情報を列車に送信	

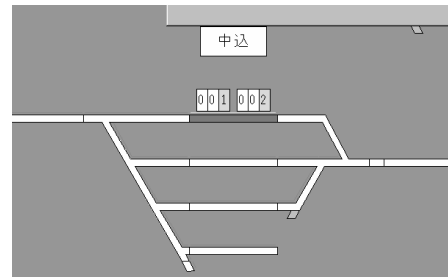


図21 中込駅で分割した列車の車両IDの表示例

(踏切制御装置)

表2の各項目を満足することを確認した。列車と踏切間の1秒の無線通信周期において、警報・しゃ断の制御遅延はなく、従来の踏切と同様の踏切制御ができることを確認した。また踏切の設計警報時分(36秒)を下まわる警報時分不足は一度も発生しなかった。

③現地での運用中における異常を想定した地上、車上、踏切各装置の性能試験

車上装置では車内伝送異常、地上上空振り、駅中間での装置再立上げについて、地上装置では装置系切換、無線基地局故障、EMG(緊急無線)送信について、踏切装置では車上との通信途絶、踏切支障についてそれぞれ試験確認を実施した。

結果は車上装置は適切な速度照査パターンにより速度制御できること、地上装置は閉そくの誤解除などがなく、踏切装置は警報・しゃ断タイミングの遅れがないこと、踏切支障時には列車に支障情報を送信し車上装置が踏切手前までの停止パターンへの更新を確認した。

④無線干渉、オーバーリーチ等の無線環境下における各装置の性能試験

干渉やオーバーリーチ状態においても、車上と地上・踏切間で遅滞なく正しい情報の授受を確認した。

列車の自位置認識については、補正時に発生する位置認識上の誤差については、最大30m程度を記録したが、原因として、

- (a) 車上装置内における処理遅れ時間による誤差
- (b) ATS-Pの距離算出論理による低速走行時(5km/h未満)の発生誤差

の2点が影響している。対策として、①は装置内での位置算出方法の改善による処理時間遅れの解消、②は算出下限速度を3km/h程度に下げることによって算出精度の向上が可能であり仕様に反映させる。

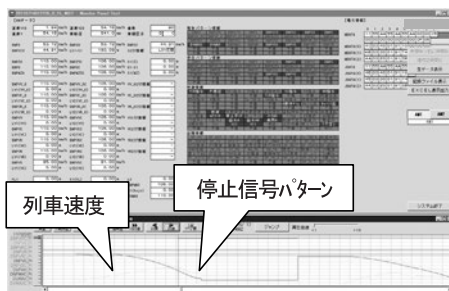


図20 停止信号機に対する速度照査パターン

また、現地試験では、パターンによるブレーキ制御において信号機内方に冒進することなく、パターン式速度制御が適切に行われることを確認した(図20)。

(地上装置)

表2に示した各項目について、列車から無線伝送された車両ID情報、列車位置情報に基づき、単線区間の駅中間閉そくの施行、解除等の機能が全て誤りなく行われることを確認した。図21に試験時のモニタ装置の車両ID表示を示す。

6.2 2次開発時

6.2.1 車上装置

開発したプロトタイプ(無線制御部)の外観を図22に示す。ATS-P・Ps統合装置の設計寸法に揃え製作した。

開発品は工場内において、シミュレータを用いた模擬走行状態で機能の確認を行った結果、機能が実現されていることを確認した。



図22 無線制御部外形(左が1次試作品、右がプロトタイプ)

6.2.2 車上DB更新システム

(1) 試作品

試作したDB更新管理ソフトの画面を図23に示す。



図23 DB更新管理ソフト

(2) 機能確認・検証

工場内にて機能確認を行い、要求機能全てが実現できていることを確認した。

次に機能の検証として、4つの通信手段（汎用無線LAN、SS無線、テレメータ、トランスポンダ）に対し実際のデータを用いDB更新を行った。

表3 無線通信を用いたDB更新時間の平均
(データ量100kBに換算)

通信方法	平均更新時間 [s/100kB]
Ethernet	80秒 (1分20秒)
SS無線機	1575秒 (26分15秒)
テレメータ	5891秒 (98分11秒)
トランスポンダ	505秒 (8分25秒)

測定はDBの一部のデータを用いて4回行い、100kBあたりの更新時間に換算して比較した。なお100kBは小海線の2駅1中間程度のデータ量である。

測定結果を表3に示す。4つの手段の中ではEthernet（汎用無線LAN）が平均80秒と極めて更新時間が短く、他の方法では桁外れに時間を要しており、実用的なのはEthernet（汎用無線LAN）といえる。実用化にあたっては、セキュリティ対策やDB更新の管理運用のルール策定が必要となる。

6.2.3 地上装置の在線検知機能

ハードウェアについては、変更や追加が無いため1次開発の装置構成をそのまま使用し、ソフトウェアの追加改修を行って機能確認を行った。工場内にて各モニタ類を接続し、本導入の構成に近い形を構成した上で、模擬の無線機から列車位置情報を送信し要求機能について単体機能試験を実施したところ、すべて満足する良好な結果を得た。

6.2.4 踏切制御装置

(1) 試作品

2次開発における踏切制御装置の試作品を図24に示す。

最大5踏切の制御を1装置で可能にしたが、装置がダウンすると配下の踏切が同時に警報を始めてしまうため、故障時や保守作業時で不要に警報させないために装置の2重系化を行った。なお、片系のハードウェアだけを使用して従来の単系として使用することも可能である。



図24 統合型踏切制御装置

(2) 試験結果

車上装置側を模擬するシュミレータを使用して試験を行った。列車と踏切間の1秒の無線通信周期において警報・しゃ断の制御遅延はなく、従来の踏切と同様の踏切制御ができることを確認した。また踏切の設計警報時分（36秒）を下まわる警報時分不足は一度も発生しなかった。

7. おわりに

3年8ヶ月にわたった地方交通線向け列車制御システムの開発は、研究開発段階としての開発を終えた。現在は本社主管部を中心に営業線区への導入に向けた工事計画の段階に進んでいる。

参考文献

- 八木,安西,宮地,安井,福丸;無線式踏切制御装置の機能と構成-地方交通線列車制御システムに対応した駅中間の無線式踏切制御装置-,電気学会交通・電気鉄道研究会資料,TER-11,23-39号,pp.73~39,2011
- 八木,石川,安西,西園,長谷川,嶋田,家倉;地方交通線向け列車制御システム閉そく管理装置,無線を活用した新たな列車制御システムの開発,京三サーキュラーVol.63 No.2,p6~11,2012
- 八木;地方交通線向け列車制御システムの開発,鉄道と電気技術,Vol.23, No.1, pp.9~12,2012
- 八木,安西,宮地,安井,福丸;統合型無線式踏切制御装置の機能と構成,第49回鉄道サイバネ・シンポジウム論文集, No.608, pp.1~6,2012