

地方交通線向け列車制御システムの開発



安西 理*



八木 遵*



石川 哲也*



石瀬 裕之*



黒崎 倫之*



村山 健*



佐々木 敦*

地方交通線における信号設備の老朽化を受け、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できる列車制御システムの開発を進めている。本システムの主な機能は地上装置（駅設備・踏切設備）と車上装置間の無線伝送による、単線用閉そくの管理、信号冒進と速度超過の防止、踏切制御である。車上装置は、路線データベースから自位置を認識し、速度照査パターンにより列車の停止信号機手前までの停止制御や、速度超過の防止を実現する。また、地上装置は、列車位置と車両IDによって閉そくを管理する。踏切制御装置は、列車からの位置の情報により警報の開始・終了を行う。現在、各装置の試作が終了し、現地にて走行試験を行っている。

●キーワード：地方交通線、無線通信、列車制御、車上データベース、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。その多くは単線でも特に特殊自動閉そく式にて運転を行っている。特殊自動閉そく式は当時の国鉄の線区経営改善の一環として昭和50年代から導入が進み、昭和61年には電子機器を利用した電子符号照査式（電子閉そく）が導入された。電子閉そくは導入からすでに25年以上経過しており、更新時期が迫っていることから、JR東日本では汎用無線技術と既存の技術を利用した、地方交通線向けの列車制御システムの開発を行っている。ここでは開発の背景とコンセプト、システム概要、システム構成、主な機能、試作品について述べる。

2. 開発の背景

現在の地方交通線においては、信号機、列車検知、閉そく装置、ATSなどの運転保安装置、踏切保安装置など、制御に必要な情報は多数のケーブルを経由して伝送されている。また、ATS-SN（またはPs）地上子や踏切制御子など、地上に敷設する装置が多く、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うえで、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。（図1参照）

現地設備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、輸送量の小さな地方交通線にとっては線区経営を圧迫する要因になりうる。今後輸送量の減少が避けられない地方交通線にとって、低コストで設備の維持管理を行うことは極めて重要である。

一方、地方線区の経営効率を高めるため当時の国鉄が開発した電子閉そくは、当社では小海線、大船渡線、山田線（宮古～釜石）、五能線の4線区で現在も使用されているが、導入後25年以上が経過し機器の老朽化が進んでいる。

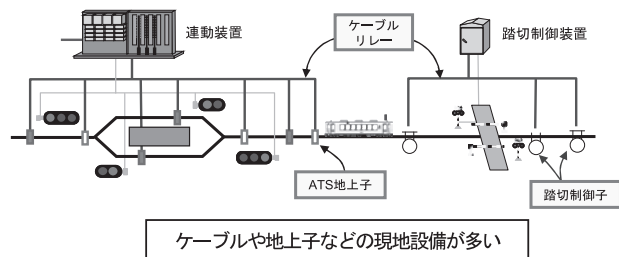


図1 現在の信号保安設備の構成例

また、ヨーロッパにおいて、鉄道用の携帯電話網（GSM-R）を利用した無線による列車制御システムERTMS（European Rail Traffic Management System）があり、無線を用いた信号システムが世界的に一般的になりつつある。

そこで、低コストで安全性向上が見込めるシステムの導入を老朽設備の取替時期に合わせ導入できるように開発を行った。

3. 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以下の3点である。また、今回の開発は基本的な機能に絞り込み開発することとし、そのほかの機能については将来の拡張性を確保し、次の段階で開発することとしている。

3.1 コストダウン

本システムでは、地上装置と車上装置との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。閉そく機能・信号機や列車検知の機能・踏切制御機能などを同じ無線を用いて制御し、本システム内に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。

3.2 安全性の確保

本システムでは無線を活用し、車両装置のデータベースを活用した速度照査式ATS機能を装備することで、沿線設備を削減し、最小限のコストで安全性を確保する。

3.3 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、機能追加ができる設計とする。各機能をソフトウェアにより実現し、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柔軟性・拡張性の高いシステムとする。

4. システム概要

本システムの構成概要を図2に示す。システムを構成する装置は、車上装置、地上装置（閉そく管理装置、集中連動装置）、踏切制御装置、デジタル無線機（各基地局と車上用無線機）である。

基本機能を以下に述べる。

4.1 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。

4.2 列車の位置認識機能

無電源の地上子（トランスポンダ式）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、列車自身が走行位置を認識する。適宜配置する無電源地上子により走行中に発生する誤差を補正し、正確に列車の位置を認識する。

4.3 閉そく管理機能

地方交通線の大部分が駅間には1列車しか占有させない閉そく方式である。それにより列車の衝突を防いでいる。これらの線区では首都圏のような高密度運転の必要性がないため、現在と同様に駅間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管理（確保・解除）を行う。

特殊自動閉そく（軌道回路検知式）では2つの短小軌道回路を用いたチェックイン・チェックアウト、電子閉そくでは電子符号と構内軌道回路を用いて閉そく管理を行っているが、本システムでは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）をキーにして駅間の閉そくを管理する。

4.4 列車位置追跡

車上から送信される位置情報をもとに、地上の閉そく管理装置において、所定の無線通信エリア内に在線している車両などの位置を追跡する。追跡エリア内の列車に対しては閉そく管理装置が車両の前後関係を認識しており、車両留置により、走行位置を消失した状態になった車両が、閉そく管理装置に位置の問い合わせを行った場合、列車長を考慮して先頭位置を再計算した位置情報を車上に送信する。

4.5 停止信号機までの列車停止制御・速度超過の防止

停止信号に対する停止制御のほか、曲線・分岐器などにおける速度超過防止機能を持つ。地上から受信した進路情報と車上装置が保有する列車位置、線路データをもとに、速度照査パターンを発生させる。ATS-Pと同じようなパターンによる連続的な速度照査を行う。

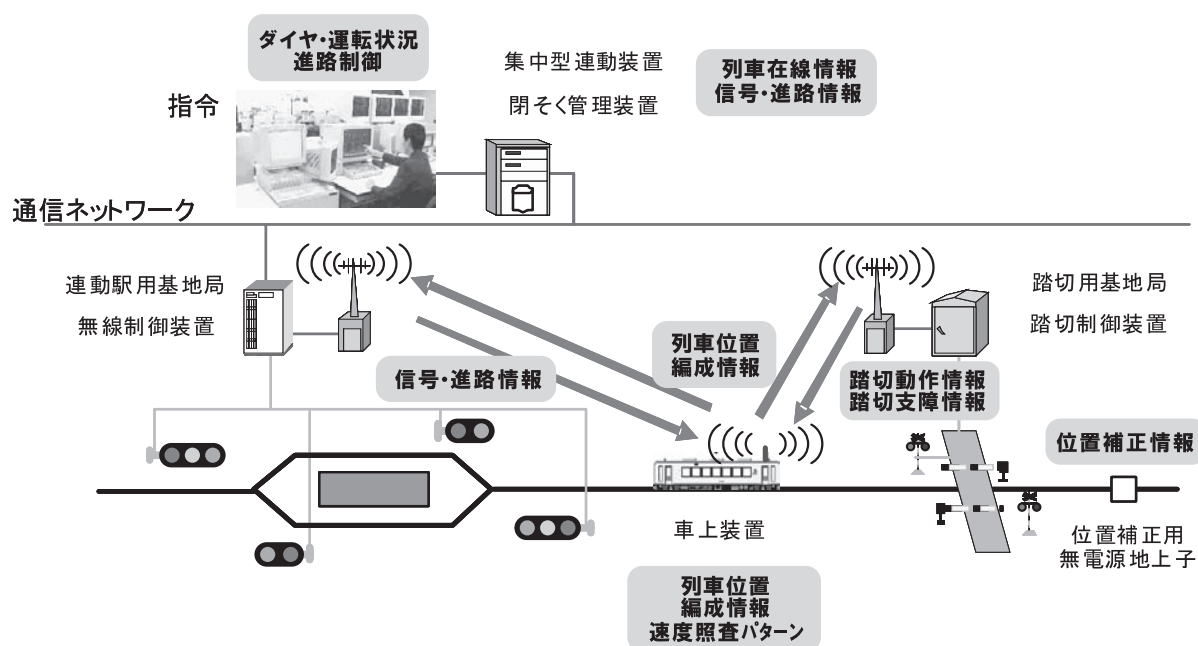


図2 地方交通線向け列車制御システム概要図

4.6 踏切制御

車上から送信される位置情報をもとに、踏切の警報開始、警報終了の制御を行う。踏切から警報状態を列車に送信することによって、踏切が警報していないときには、列車を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も列車を停止させるよう踏切から列車に情報を送信する。

本システムは従来の踏切をそのまま残すことも可能であり、今後本システムの導入に向けた踏切制御方法の変更に關しての検討を進める。

5. 各装置の機能概要および試作品

5.1 車上装置

車上装置のシステム構成を図3に示す。

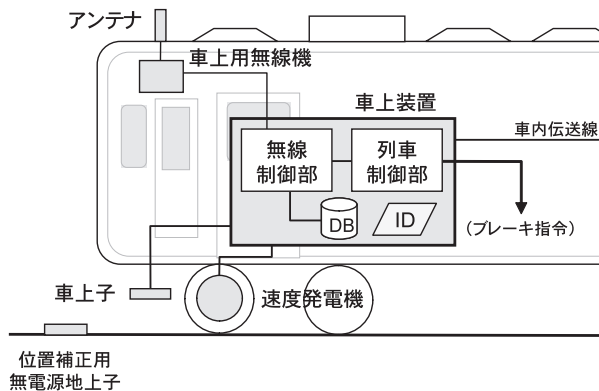


図3 車上装置のシステム構成

運転台付車両に車上装置1台を搭載する。また、気動車に多く見られる両運転台車両にも1台の搭載で対応可能な仕組みとする。

また、車上装置には装置固有の識別情報（車両ID）を付与する。車両IDは閉そく管理するエリア内で重複しないよう、他と競合しない固定情報とする。

本システムでは無線により情報伝送を行うことから地上子や制御子などを結ぶケーブルの多くが不要となる。位置確定や位置補正に使用する地上子もケーブルのない無電源地上子を使用し、ケーブルを不要とする。

車上装置本体は、主に無線制御を担当する無線制御部と、パターンに対する速度照査およびブレーキ指令などを担当する列車制御部で構成し、次の処理を担当する。

5.1.1 無線制御部

無線制御部の主な機能を以下に示す。

- (1) 車上無線機に対する送受信制御
- (2) 列車位置の算出

無電源地上子から得られた地点情報をもとに速度発電機からの情報を用いて距離演算し、線路データと照合して列車

位置を算出する。

- (3) パターンを発生させる電文の生成
- (4) 列車制御部への電文送出
- (5) 列車の編成、車両ID情報の編集 など

5.1.2 列車制御部

列車制御部の主な機能を以下に示す。

- (1) 電文の受信
- (2) 速度照査パターンの発生
- (3) 速度照査およびブレーキ指令 など

5.1.3 車上装置の速度制御

- (1) 停止信号に対する制御

列車位置と車両IDは地上の閉そく管理装置に無線伝送され、閉そく管理を行う。一方、閉そく管理装置からは信号現示に応じた停止点情報を受信し、車上装置で速度照査パターンを発生させ、停止信号を超えないようブレーキ制御する。

- (2) 踏切に対する制御

列車位置と車両ID・編成情報・速度情報などが踏切に無線伝送され、踏切の制御を行う。踏切からは警報発生などの動作情報や踏切支障の情報を受信し、踏切支障等の場合には踏切手前で列車を停止させるようパターンを制御する。また、踏切が正常に警報している場合は、踏切を通過するようパターンを更新する。

- (3) 曲線や分岐器制限に対する制御

曲線制限や分岐器制限などの速度制限は、列車位置と車上装置が保有するデータから速度制限のパターンを発生させ、速度超過を防止するようブレーキ制御する。

5.1.4 データベース

車上装置はパターン発生時などに参照する以下のデータを保有する。

- (1) 車両データ：車両や車両IDに関する固有データ
- (2) 線路データ：進路と線路上の各種設備に関するデータ
- (3) 電文データ：電文内容、電文発生位置に関するデータ
- (4) 無線データ：各基地局に関するデータ
- (5) 地上子データ：位置補正用地上子に関するデータ

5.1.5 車上装置間の伝送

地方交通線では輸送量に応じて、拠点駅で行う分割・併合に対応できるようにする。本システムでは、終着駅での折返し時や分割・併合の際に、列車位置、運転方向、車両ID、編成長などの情報を先頭車両から他の車両に引き継ぐことを可能とする。これにより、引き継いだ位置情報と運転方向からパターンを発生し、出発信号機に対する冒進を防ぐ。（図4参照）

車上装置間の伝送は車内に引通し線を設置し、電気連結器を介して伝送する。

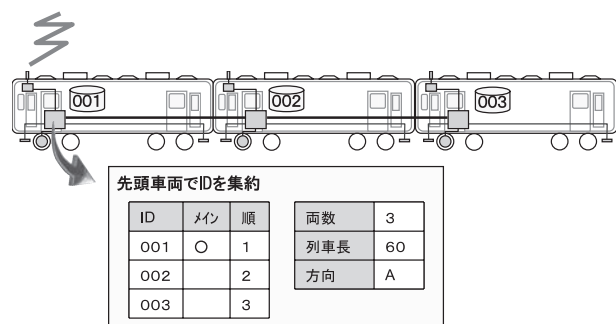


図4 車両間の情報伝送と編成情報

5.1.6 車上装置の試作品

試作した車上装置を図5に示す。装置の大きさは車両へ収納するため、従来のATS-P車上装置と同等である。

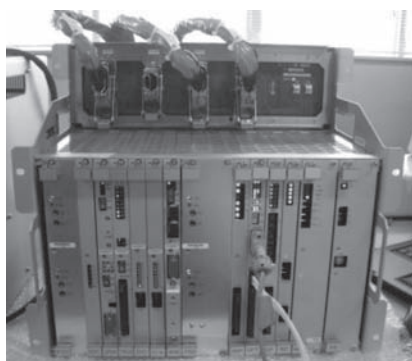


図5 無線制御部（上）、列車制御部（下）

5.2 地上装置

地上装置のシステム構成を図6に示す。地上装置は中央機器室に閉そく管理装置、集中型連動装置が構成され、無線制御装置と現場機器制御装置は各駅の機器室内に構成される。また、ID表示卓、連動制御盤は指令室に構成され、指令員に列車情報を表示し、指令員による操作を行えるようにする。

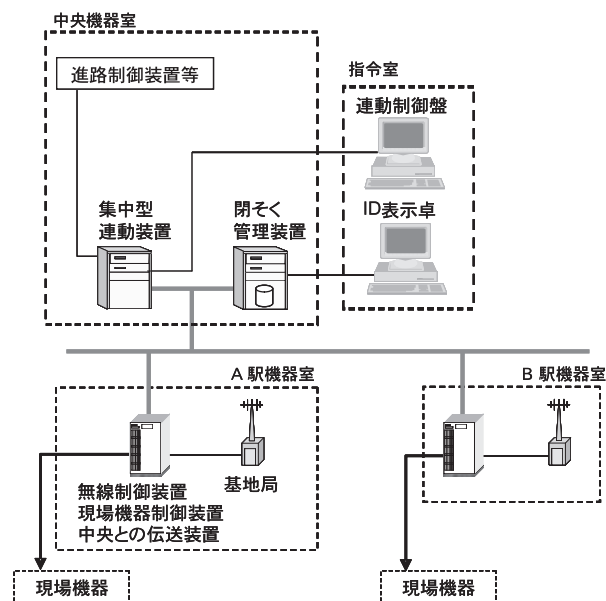


図6 地上装置のシステム構成

5.2.1 閉そく管理装置の機能

閉そく管理装置は以下の機能を持つ。

- (1) 線区全体の連動駅間における、閉そくの管理を行い、駅中間の列車の在線状況を把握する
- (2) 連動装置に駅間閉そくの状態を送信する
- (3) 連動装置から連動条件や現場機器の条件（分岐器の開通方向や軌道回路の動作・落下等）を受ける
- (4) 各駅の無線制御装置から列車の車両IDと位置情報を受け、線区内を走行している列車の把握と追跡を行う
- (5) 追跡している車両に対し、列車制御に必要な情報を作成する
- (6) 各駅の無線制御装置へ列車制御に必要な情報を送信する
- (7) ID表示卓に追跡している列車情報を表示する。ID表示装置への入力情報を処理する。

地上に設置する閉そく管理装置は、中央装置として1台で線区全体を管理する方式を用いる。

駅連動装置の老朽取替を含めたシステム更新の際に、光ケーブルの整備状況など線区の設備状況に対応するため、各駅に装置を設置して管理するタイプの検討を進めている。

5.2.2 集中型連動装置の機能

集中型連動装置は進路数の少ない線区であれば一括で制御でき、地方交通線においては各駅に連動装置を設置するよりもコストを低くすることができる。また、既存の製品に以下の機能を追加して用いる。

- (1) 閉そく管理装置に在線情報や現示情報を伝送する。
- (2) 閉そく管理装置から駅中間の管理情報を受取る。

5.2.3 無線制御装置の機能

無線制御装置は以下の機能を持つ。

- (1) 閉そく管理装置からの情報を基地局に送信する。
- (2) 基地局からの情報を閉そく管理装置に伝送する。

5.2.4 現場機器制御部の機能

現場機器制御部は、既存の集中型電子連動装置の構成に用いているものを用い、集中連動装置からの制御出力により現地の信号機や転てつ機の制御を行い、軌道回路の在線情報などを集中連動装置に伝送する機能を持つ。

5.2.5 地上装置の試作品

試作した地上装置を図7、図8に示す。



図7 駅装置（中央用）（左）、駅装置（各駅用）（右）



図8 地上装置モニター類

駅装置（中央用）は集中型連動装置と閉そく管理装置および無線制御装置、現場機器制御装置を全て1架に実装している。また、駅装置（各駅用）は無線制御装置と現場機器制御装置を実装している。（図8参照）

図9にモニター表示例（連動制御盤）を示す。駅に列車が3編成存在していることを表示している。また、試験用の諸条件（転てつ機の開通方向や軌道回路の条件）は、任意で設定可能である。

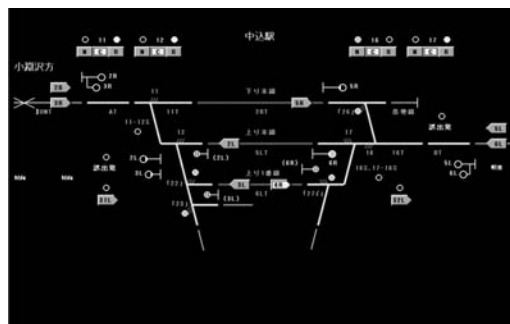


図9 モニター表示例（連動制御盤）

図10にモニター表示例（ID表示卓）を示す。駅に列車が3編成存在していることを表示している。無線通信により列車から受信している列車の位置情報、車両IDに基づいて表示している。

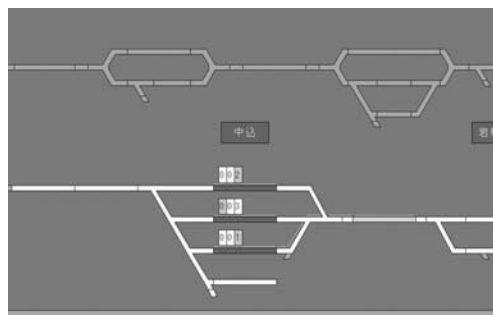


図10 モニター表示例（ID表示卓）

5.3 デジタル無線機

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、比較的安価な無線機を目指している。

5.3.1 無線機の機能

周波数は列車無線などで実績のある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輸送量と輸送形態を調べたうえで最大4列車とした。

5.3.2 無線機の試作品

試作した無線機を図11に示す。



図11 無線機（基地局）（左）、無線機（車上局）（右）

5.4 踏切制御装置

5.4.1 踏切制御装置の機能

踏切制御装置は以下の機能を持つ。

- (1) 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基地局経由で受取る。
- (2) 列車位置情報より警報を開始する。
- (3) 列車位置情報により警報を終了する。
- (4) 警報情報を基地局に送信する。

車上装置は踏切手前までの停止パターンをあらかじめ発生させており、踏切制御装置からの警報開始情報を受信しない限り、パターンを更新しないため、列車が停止する。これにより、踏切支障や故障時などの列車通過を防止する。(図12参照)

短い間隔で踏切が設置されている場合には、1台の踏切制御装置により、複数の踏切を制御できる仕様とする。

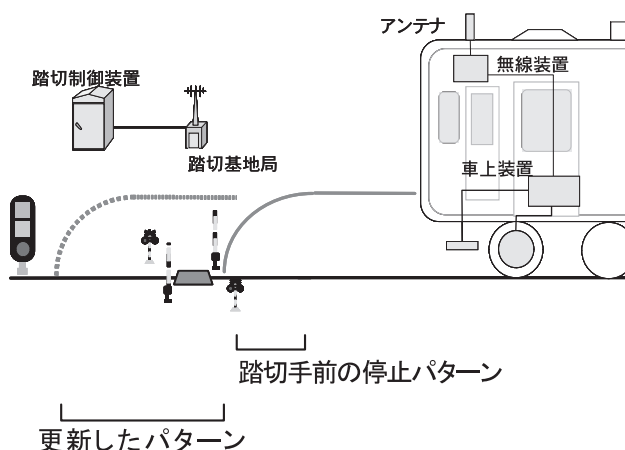


図12 踏切における車上装置の制御概要

5.4.2 踏切制御装置の試作品

試作した踏切制御装置を図13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が可能である。

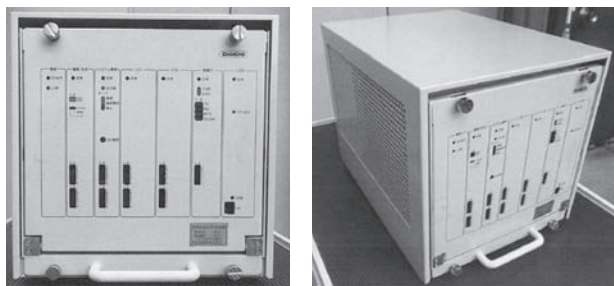


図13 踏切制御装置

6. 将来の拡張機能

今後、さらにコストダウンを行い、列車の安全性を向上させるための拡張機能として、次に述べる機能について実現に向けた検証と開発を計画している。

6.1 車内信号機化

無線で連続的に停止点情報を地上装置から車上装置に送信できるため、車内信号機化の実現に向けた検証を行う。

6.2 軌道回路によらない列車検知

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。現在の非自動閉そく区間など、駅構内も含めて軌道回路がない区間にも本システムを導入することが可能と考え、実現に向けた検証を行う。また、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し軌道回路によらなくすることをめざしている。

6.3 通告伝達、臨時速度制限機能

運転規制や臨時速度制限を指令卓から入力し、その情報を無線を用いて列車に送信することで、乗務員に伝達するとともに、車上装置において当該区間における速度制限のパターンを発生させる。異常時における指令員の負担軽減と通告漏れによる速度超過事故の防止を目的とする。

6.4 保守作業機能

保守作業用の専用端末を開発し、無線を利用して線路閉鎖手続きや列車接近警報機の機能を実現する。

6.5 旅客案内機能

駅間の必要な箇所に基地局を設置して、列車からの位置情報を受信できることで、指令における駅間在線の把握を行い、駅への案内表示や放送を行う。

7. 今後の予定

現在、各装置の試作品を現地に設置し、列車走行試験を実施している。試験では、2連動駅と踏切1箇所にて、基本機能を確認している。その後、営業列車へのモニタリングを経て、導入をめざす計画である。

参考文献

- 1) 石瀬裕之；地方交通線向け列車制御システムの開発，JREA, Vol. 53, No.8, pp. 24, 2010