

閑散線区向け”拠点無線式列車制御システム”の開発

平栗 滋人* 福田 光芳 藤田 浩由 小野 雄人 (鉄道総研)
 岩田 雄二 吉成 慶介 小針 太一郎 (日本信号)

Train Control System for Secondary Lines Using Radio Communications in Specified Areas

Shigeto Hiraguri*, Mitsuyoshi Fukuda, Hiroyuki Fujita, Yuto Ono (Railway Technical Research Institute)

Yuji Iwata, Keisuke Yoshinari, Taichiro Kobari (The Nippon Signal Co., Ltd.)

We are now developing a new train control system using radio communications in specified area in order to apply it to secondary lines. Main functions of the system are blocking, interlocking, automatic train protection at a signal and a level crossing that has not completed an alarm by continuous speed checking, and the system enables gradual upgrading of function.

キーワード：列車制御，無線，閉そく，速度制御，踏切，閑散線

(Keywords, Train control, Radio, Blocking, Train protection, Level crossing, Secondary lines)

1. はじめに

JRの閑散線区を中心として使用されている列車制御システムに国鉄末期に導入された電子閉そく装置⁽¹⁾がある。電子閉そく装置は、閑散線区の運営の効率化、省力化に効果を発揮したが、近年、設備の老朽化、交換部品の入手が困難になりつつあり、設備の維持に課題があることが指摘されている。このような状況から、低コストで導入可能な電子閉そくに代わるシステムに対する要求が高まっている。

そこで、我々は汎用無線技術を使用した「拠点無線式列車制御システム」の開発を行っている。システム開発に際しては、現行システムからの移行性を確保すること、段階的な機能向上が可能であることを基本方針としている。

本稿では、拠点無線式列車制御システムの構成、基本機能と応用機能について述べる。

2. システム開発の基本方針

〈2・1〉現行システムからの移行性

新しい列車制御システムを検討する際、無線を使った列車制御システム^{(2), (3)}のように車上主体型のシステムとすることで、地上設備をできるだけ削減するアプローチが考えられる。この場合、車上での位置検知を基本として、信号現示は車内で行う形態になるものと想定される。しかし、このようなシステム構成とした場合、導入線区全般に亘って全面的な設備更新が必要となるため、導入時に相応のコストが必要となることが想定される。また、運転取扱いに関しても導入前とは異なる点が多くなるものと考えられ

る。これに対し、実際にはまとまった設備投資が困難であり、部分的に順次設備を更新していくことに対する要求が存在する。そこで、本システムでは現行の設備をできるだけ活用する構成とすることで、システム移行性を確保することとした。

具体的には、駅構内の列車検知には軌道回路を使用し、列車走行の安全については、地上信号機とATSの機能によって確保するものとした。また、信号機や転てつ機の保安制御についても、各駅に従来と同等の連動機能を持たせることとした。これによって、連動機能については、既設の継電連動装置を使用することも可能となる。

また、無線システムについては2.4GHz帯の汎用無線を使用し、免許取得などが不要な方式を採用した。

〈2・2〉段階的な機能向上

本システムの開発では、前述のような現行システムからの移行性に配慮すると同時に、将来の発展性を有し、導入済の設備の改修を極力少なくした上で段階的に拡張可能な構成とすることを目指した。

本システムでは、基本となる閉そく機能のために車載器を車両に搭載し、駅構内において駅制御装置との間で無線通信を行う。これによって必要最小限の機能を実現できるが、速度照査機能付きのATSを使用し、車載器と接続して連携した動作を行うことによって、後述する踏切防護機能など、機能向上を実現することができる。特に、ATSとして鉄道総研で開発したATS-Dx⁽⁴⁾を使用する場合にはハードウェアを改修することなく、ソフトウェアの一部改修だけで対応することができる。

3. システム構成

本システムの地上の基本構成を図 1 に、車上の基本構成を図 2 に示す。

地上のシステムは、中央装置、駅制御装置、駅無線機から構成される。

中央装置は、電子閉そくの運行表示装置に相当するものであり、運行状況の表示の他、進路設定機能や簡易なダイヤ管理や運転整理機能を持つ。なお、中央装置はノン・フェールセーフなハードウェアを使用する。

駅制御装置は閉そくと駅構内の連動機能、駅無線機とのインタフェースを持つ。なお、連動機能については、外部に設けた既設の継電連動装置で行う構成も可能である。

無線装置には、列車位置検知を地上側での距離計測に基づいて行う無線列車制御システム⁽⁵⁾で使用されている技術を利用する。駅無線機は、少なくとも駅発車、到着時の閉そく処理を行う際に列車との通信が可能なエリアを確保するように配置する。始発駅などで、後述する車載器 ID と列車番号の対応付けを、無線システムが持つ測距機能を利用して自動的に行う場合には、2 台の無線機を設置する。中間駅など、閉そく処理などに必要な情報通信だけを行う場合には、無線機を 1 台とすることもできる。無線機の周波数帯は 2.4GHz 帯で、スペクトラム拡散方式を使用する。また、接続方式として TDMA, FDMA, CDMA の 3 方式を併用している。

駅制御装置間の伝送には、既設の閉そく回線を使用する。また、中央装置と駅制御装置間の伝送については、汎用の通信網などの利用にも対応できることを考えている。なお、電子閉そくと同様に、中央装置を拠点となる駅に設置し、

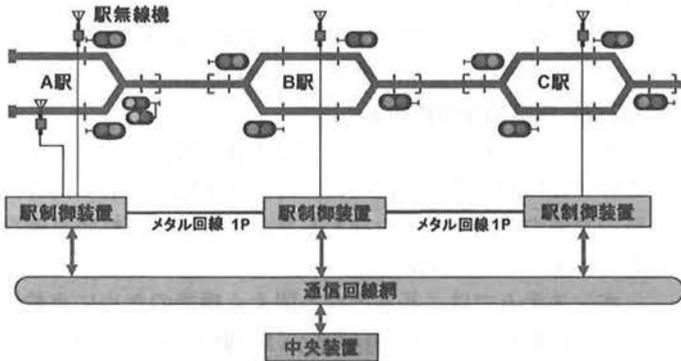


図 1 地上システムの基本構成
Fig.1 Configuration of the ground system



図 2 車上システムの基本構成
Fig.2 Configuration of the on-board system

拠点駅の制御装置と接続し、中央-駅間の情報も駅間回線を通じて伝送する構成とすることも可能である。

一方、車上システムは、無線アンテナと車載器から構成することを基本とする。車載器は、車上側の無線伝送機能を持つ他、速度照査機能を持つ ATS とのインタフェースを持つ。

4. システムの基本機能

閉そく制御の基本的な考え方は電子閉そくと同様であり、発駅で閉そく処理に使用した車載器 ID を、列車到着時に着駅で受信した ID と照合し、一致した場合に閉そくを解除する。

進路制御については、電子閉そくでは車載器 ID に対してあらかじめ運用 (列車ダイヤに対応した行路に相当) と、列車番号への対応を固定的に設定しておく方式であるため、故障時に車載器を交換する必要がある場合、替わりに使用できる車載器に制約があるなどの課題がある。これに対して、本システムでは運行状況表示を行う中央装置 (電子閉そくの運行表示装置に相当) での列車番号との対応付けは、始発駅を出発する都度、中央装置においてソフト的に行うこととした。これによって、車載器運用の制約がなくなる他、通常運用時には、中央装置の扱いは車載器のハード的な ID を意識する必要がなくなり、負担軽減につながるものと考えられる。なお、列車運行の保安 (連動と閉そく) は駅制御装置で担保しており、中央装置における車載器 ID 情報は、運行状況表示と設定進路の判断のために使用するものであるため、保安制御には関与していない。

図 3 に始発駅で車載器 ID と列車番号の対応付けを自動的に行う場合の制御手順を、図 4 に装置間の情報の流れを示す。

- ①この状態では、車載器の電源が投入されており、かつ駅無線機の通信エリア内に在線している車両の車載器 ID は駅制御装置で受信されている。ただし、この時点では、各 ID がいずれの列車番号に対応するかは確定していない。
- ②中央装置は駅制御装置からの列車在線情報 (軌道リレーの復旧条件) とダイヤデータを基に、各番線に列車番号を設定する。
- ③中央装置は、ダイヤで定められた出発時刻が近付いた時点で、駅制御装置に対して出発進路の設定要求を送信する。このとき、両側の駅制御装置は仮 ID を使用して閉そく処理を行い、閉そくが確保されたことによって、出発信号機を進行に制御する。
- ④列車は所定の時刻に駅を出発する。ここで、本システムで使用する無線システムは、電波の到達時間を計測することによる測距機能を持っており、これを利用することで車載器 ID の移動方向 (駅からどちらの方面へ出発したか) を把握することが可能である。これと、駅構内の軌道回路が落下する順序の情報から、出発した車載器の ID

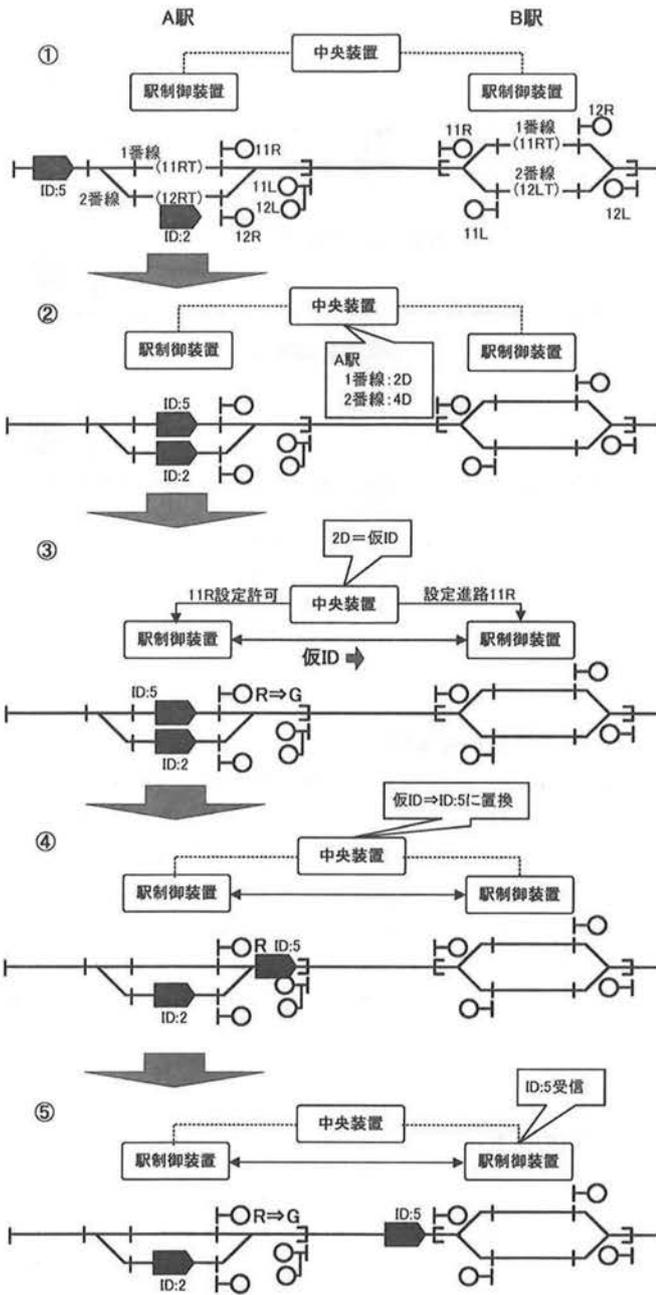


図3 始発駅での制御概要

Fig.3 Train control function at a starting station

を特定する。その結果、両側の駅で仮IDを出発した列車に搭載される車載器IDに置換える。また、この情報は中央装置に送信され、中央装置では列車番号と車載器IDとの対応付けを行う。

⑤列車が到着側の駅に接近すると、駅無線機との通信が確立し、駅制御装置は車載器IDを受信する。軌道回路の条件によって、列車が到着駅に収容されたことが確認されたことにより、出発側の駅制御装置との間で閉そくを解除する処理を行う。

始発後、中間駅では列車からの車載器ID受信をトリガとして、次の駅までの閉そく処理を開始する。なお、途中で

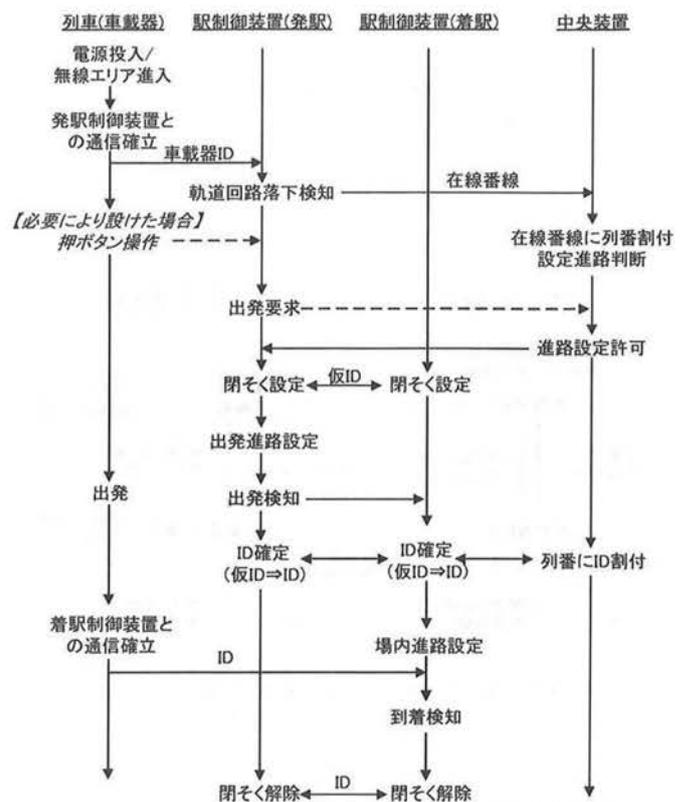


図4 制御手順と装置間の情報の流れ

Fig.4 Processing sequence and transmitted data between equipment

車載器に故障が発生し、車載器を交換する場合には、列車番号に対応付ける車載器IDを置換える処理が必要になる。本システムでは、この処理は中央装置での係員の扱いによるものとしている。ここで、電子閉そくでは車載器IDに対して各駅で設定する進路情報が固定的に割当てられていたため、充当できる車載器に制約があったが、本システムでは任意の車載器を使用することができる。

列車が終着駅への到着を検知すると、中央装置では列車番号と車載器IDの対応付けを解除し、折返し出発時には図3、図4と同様の手順での処理を行う。

この他、本システムでは電子閉そくが必要であった乗務員による車載器の押ボタン操作を省略することが可能である。また、中央装置で進路設定タイミングの判断を行うことで、早期の出発進路構成による輸送阻害を防止することも可能である。

本システムと電子閉そくにおける進路制御、車載器ID管理などの処理方法の比較を図5に示す。

なお、鉄道事業者の事情に応じて、出発時の乗務員による押ボタン操作を行う場合にも対応できる構成としている。

この場合、始発駅において列車在線情報と押ボタン扱いの条件を使用することで、無線システムの測距機能によらず列車番号と車載器IDの対応付けや進路制御を行うことも可能である。この際、車載器の扱い順序を誤っても危険側になることはない。例えば、図3の駅構造を例とすると、ID:2

の列車が先に押ボタン操作を行うと、中央装置では先発の 2D に ID:2 を対応付け、ダイヤによって出発進路 11R を構成する。したがって、押ボタン操作を行った列車に対して出発進路 12R が構成されることはない。また、万一、11R の進行現示にしたがって ID:5 の列車が出発すると到着時には ID が不一致となり、異常を検知できる。この際、駅間への進出検知によって、関係設備は安全側に制御される。

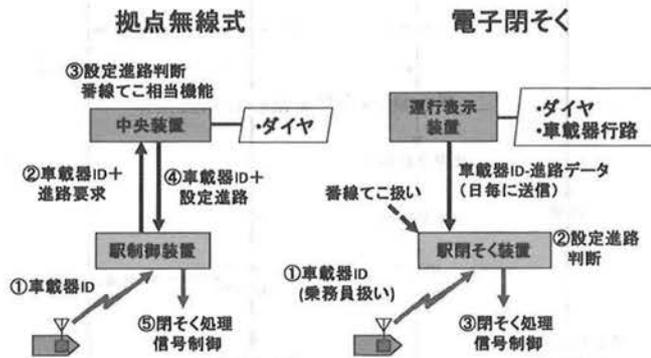


図5 Difference between the proposed system and a conventional system

5. 機能の拡張

〈5.1〉踏切防護機能

本システムでは、車載器と速度照査機能付き ATS の連携により、列車の速度制御に関する機能を追加することができる。本節では、図6に概念を示す踏切防護機能を例として述べる。

閑散線区では、環境条件や車両の軽量化などによって、踏切制御子の短絡不良により踏切警報制御が不安定になる場合がある。本機能は、万一、踏切での警報制御が行われていない場合に、踏切手前に列車を停止させるものである。なお、踏切の警報制御自体は、現行の踏切制御子や制御装置を使用することを前提とする。踏切近傍に無線機を設置し、既設の踏切制御装置から警報開始条件を列車に対して送信する。列車は踏切に接近すると、踏切手前に停止できるような防護パターンを発生し、無線を介して警報開始条件を受信したことによって、このパターンを消去する。

速度照査機能付きのATSには幾つかのタイプがあるが、我々の当面の開発ではATS-Dx⁽⁴⁾を使用することを前提とする。ATS-Dxは、車上データベースを使用して曲線や勾配などの速度制限に対応する制御を実現するため、踏切位置の情報をデータベースに追加することで、上記の踏切防護機能への対応も容易にできる。さらに、JR各社で使用されているATS-S改良形の既設地上子ケーブルや車上子を利用できる他、地上設備の新設を抑制できることから、本システムが対象としている閑散線区への適用性にも優れていると言える。また、簡易ではあるが外部とのインタフェースを備えており、本システムで使用する車載器との連携は、ソフトウェアの改修のみで対応可能である。

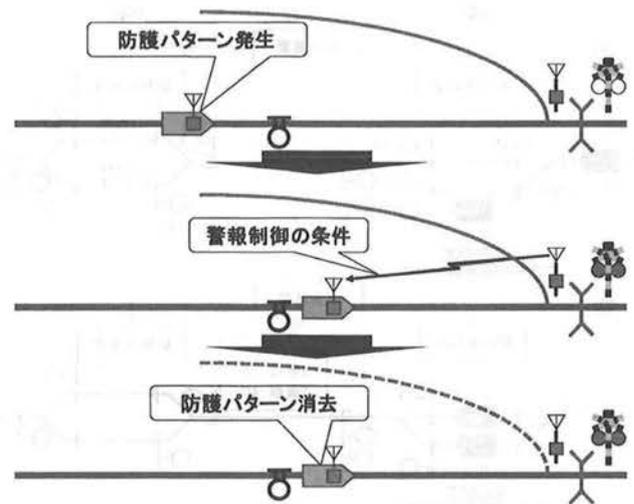


図6 Level crossing protection

なお、ATS-X以外のATSを使用する場合には、本システムの車載器とのインタフェースを設ける必要がある。

〈5.2〉その他の発展性

前節で述べた踏切防護と類似の考え方で、ATSで発生した信号機に対する防護パターンを、地上からの無線で伝送される情報によって解除することも可能である。また、沿線の落石検知などの情報が得られる場合に、必要な箇所に無線機を設置し、無線伝送によって、緊急停止制御を行うことなどが考えられる。あるいはGPSなどと組み合わせることで、更に高機能な列車制御を実現できる可能性があると考ええる。

6. 今後の予定

これまでに基本機能仕様を作成し、試作システムの製作を行った。これを使用して現車試験を実施し、踏切防護や信号機に対するパターン制御を含む機能検証を行う予定である(本稿執筆時点では、試験実施前)。

本システムは、閑散線区が抱える現実的な課題に対応し、システム移行性を確保するとともに、機能の拡張性も有するものであり、効率的な運営や更なる安全性の向上に寄与できるものと考えている。今後も、本システムの実現に向けた取組みを推進していきたい。

文 献

- (1) (社)日本鉄道電気技術協会:「閉そく装置」, 1993
- (2) 長谷川: 列車運転制御の新しい方向と CARAT システム, 鉄道総研報告, vol.7, No.5, pp.1-9, 1993
- (3) 武内: 無線による列車制御システム (ATACS), 鉄道と電気技術, vol.17, No.4, pp.24-27, 2006
- (4) 藤田, 新井, 佐藤, 門脇, 貞莉: 車上データベースを用いた ATS-Dx の開発, 鉄道総研報告, vol.24, No.23, pp.5-10, 2010
- (5) 三枝: 無線列車制御システム (SPARCS) 概要, 鉄道と電気技術, vol.17, No.7, pp.19-23, 2006