

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

地域鉄道向けに低コストに列車を制御する

列車制御システムは列車の安全な運行に不可欠なものですが、地域鉄道線では、地上設備を削減して初期投資を含めたライフサイクルコストを低減することが求められています。現状では軌道回路や信号機を使用している例がほとんどですが、これらの代わりとしてATS（自動列車停止装置）の高機能化のために実現した車上で位置検知機能をベースに、地上-車上間に無線通信を導入することにより、軌道回路および地上信号機を省略できるシステムを開発しました。ここでは、開発したシステムの基本的な機能と検証試験について紹介します。



寺田 夏樹
Natsuki Terada
信号・情報技術研究部
信号システム研究室
室長
【専門分野】 専門分野] 信号システム・軌道回路・ATC



小野 雄人
Yuto Ono
信号・情報技術研究部
信号システム研究室
副主任研究員
【専門分野】 信号システム・雷害対策

はじめに

列車制御システムは列車を安全に運行するために欠かせないものですが、地域鉄道線では、単に安全であるだけでなく、いかに少ない設備で安全を確保できるかが求められます。

かつてはこのような区間ではタブレット式（通行手形を運転士が携行する）などが使われていましたが、これを自動化するために、1980年ごろから特殊自動閉そく式（軌道回路検知式）が導入されました。これは駅の進入・進出口に軌道回路（※参照）とよばれる列車検知装置を設置し、その情報を使って駅間を走行する列車を一つだけに限定するシステムです。この特殊自動閉そくが導入された線区では、遠隔で信号機を制御するCTC（Centralized Traffic Control：列車集中制御装置）や、特

定の地点を通過した時点で、あらかじめ定められた進路を確保するARC（Automatic Route Control：自動進路制御）を併用することで列車運行に関わる要員を減らすことができました。

また、車上に置いた車載器と地上装置との通信によって駅間の列車を制御する特殊自動閉そく式（電子符号照査式）も開発され、列車密度が低い線区に導入されています。このシステムは電子閉そくとよばれています。

しかしながら、電子閉そくに関しては開発から25年以上が経過し、システムを構成する一部装置の継続的な使用が困難な状況となってしまいました。

鉄道総研では2011年に電子閉そくシステムと同等の機能を持ち、これに置き換え可能な『拠点無線式列車制御システム』を開発しました。このシステムでは、導入コストを削減するため、既存の信号機や軌道回路をそのまま活用しています。

しかし、老朽取り換えやメンテナンスのさらなる低減が求められていることから、地上設備を省略できる地方交通線向け列車制御システムを2016年度から開発しています。

※ 軌道回路

列車を検知するために、レール（軌道）を電気回路として利用する装置です。ある一定の区間のレールに列車を検知するための電流を流し、列車の車輪や車軸により電流の流れ方が変わることを利用して、その区間における列車の存在を検知します。

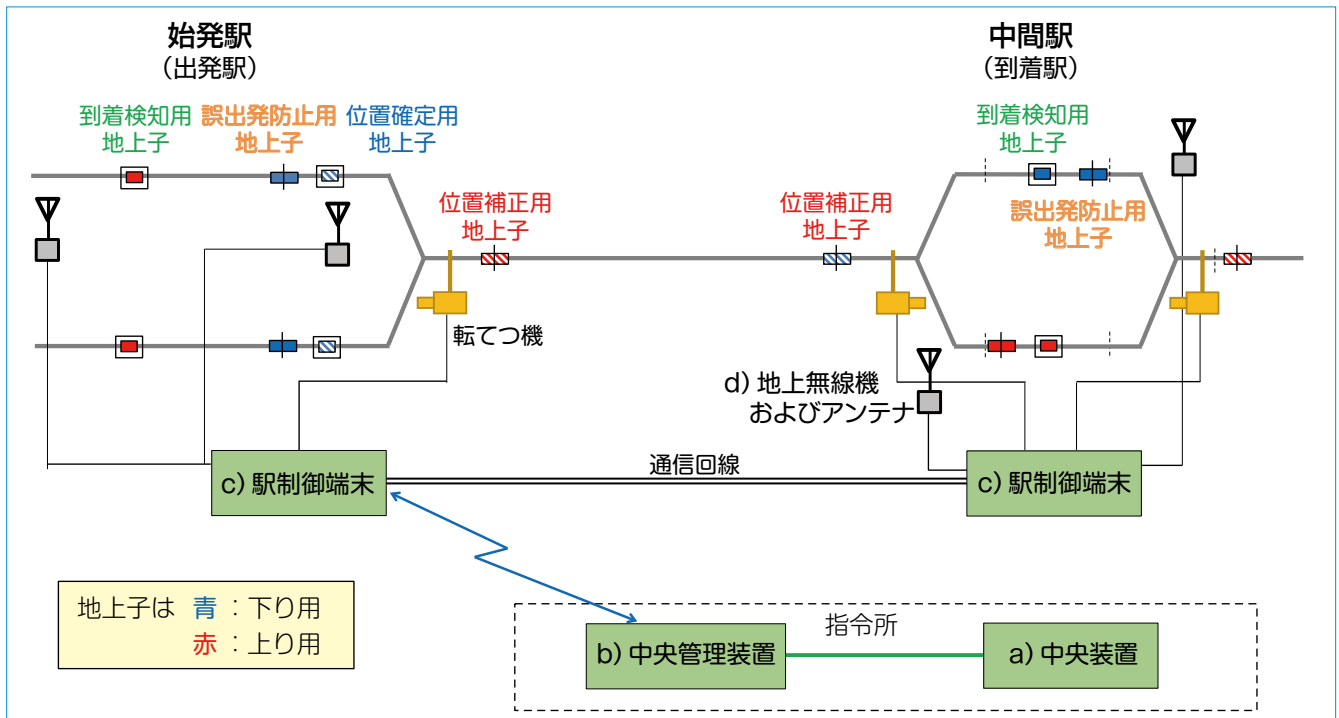


図1 地域鉄道向け列車制御システムの地上設備の構成

軌道回路から車上位置検知へ

地上の設備をなくすためには、列車の位置を軌道回路によらずに車上で検知する方法が必要になります。

最近ではGPS (Global Positioning System) など衛星を利用した位置検知方法が広く知られるようになりましたが、鉄道では、地上子とよばれる装置をレール間に敷設し、車上子とよばれる車上に設置される受信装置でその地上子の位置情報を受け取り、その地上子の位置からの移動距離を速度計を利用して推定することによって現在位置

を知る方法が広く利用されています。

たとえば2011年に仙石線で採用された無線式の列車制御システムであるATACSでは、軌道回路による列車検知を用いずに、この手法により位置検知が行われています。

鉄道総研で開発したATS-Dx (参考) とよばれるシステムでもこの方式が採用されました。古いタイプのATS (参考) では速度制限箇所に地上子を設置することで速度制限機能を実現していますが、ATS-Dxシステムでは車両が現在位置を把握できるため、

地上子を設置せずに速度制限を実現することができます。このATS-Dxシステムの機能を活用することにより、新たな位置検知装置を導入することなく、軌道回路によらない、列車制御システムの構築が可能となります。

地域鉄道向け列車制御システムの概要

車上での位置検知手法を利用した新しい地域鉄道向け列車制御のコンセプトを以下に示します。

- ①地上信号機の代わりに開通情報を

ATS-Dx

ATS-Pは高い保安性能と運行の効率化に寄与していますが、従来のATSの地上子には互換性がないのが問題でした。そこで従来型ATSと同じ形状の地上子で信号機までの距離情報を車上に伝送し、ATS-Pと同様のブレーキ制御を実現したものがATS-Dxです。ただし、ATS-Dxでは単に停止位置までの距離を送るのではなく、地上子の絶対位置を送ることで、車上の位置を把握できます。

この機能を使って曲線速度制限などの情報を車両にデータベースとして搭載することで、曲線速度制限などに対応しています。

ATS

ATS (Automatic Train Stop) とは停止信号に対して運転士が確認扱いを行わなかったときに非常ブレーキが自動的にかかるシステムです。停止信号の情報は地上に設置した地上子からの信号を車上に設置した車上子が受けることで伝達されます。

この全面的な改良として、停止位置までの距離をデジタル方式で車両に伝送することで、停止位置までのブレーキパターン (位置と速度の関係を示すもの) を生成するATS-Pが1980年代に開発され、大都市圏などに導入されました。

車内で表示します。

- ②軌道回路の代わりにATS-Dxによる車上の位置検知機能を利用します。
- ③駅において無線環境を整え、地上と車上との間で無線通信を行い、車上からは位置情報を、地上からは開通区間情報を送ります。

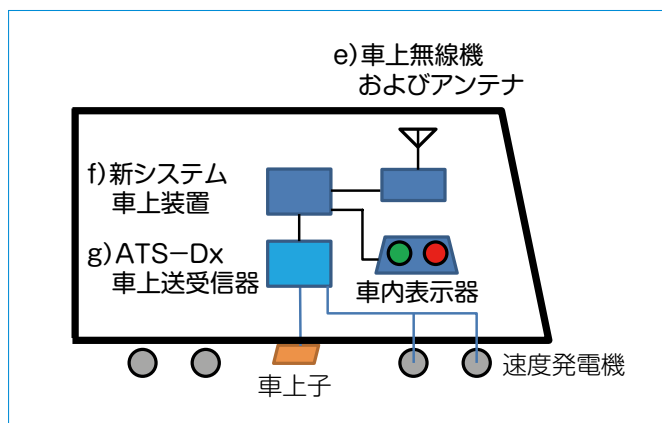


図2 車上設備の構成

これを実現するシステムの構成を図1・図2に示します。図1が地上側のシステム構成です。以下のものがあります。

- a) 中央装置：各列車の在線位置とダイヤなどに基づき進路の要求を行います。
- b) 中央管理装置：中央装置からの進路要求や線区内の各列車の状況に基づいて、列車の開通区間に関する判断を行い、結果を各駅制御端末に送信します。
- c) 駅制御端末：制御情報に基づき、転つ機などの制御を行います。また、中央管理装置と車上装置との間の情報の中継を行います。
- d) 地上無線機：駅構内にのみ設備され、駅構内に在線している列車の車上無線機と中央管理装置や車上装置からの情報をやりとりします。ATACSなどの無線式列車制御システムとは異なり、全線での無線機能は必要としません。



図3 駅制御端末と中央管理装置

図2は車上側のシステム構成で、各装置には以下の機能があります。

- e) 車上無線機：地上無線機と情報の授受を行います。
- f) 新システム車上装置：車上装置は車上無線機・地上無線機・駅制御端末を介して、中央管理装置に列車番号、車上装置ID、ATS-Dx地上子を通した情報などを送信します。また、車内表示器に開通情報を表示します。

g) ATS-Dx車上送受信器：地上子からの位置情報や速度発電機による距離積算から自列車の位置を把握し、装置がもつ線路データベースに基づき、分岐の制限速度超過の防護、駅の誤通過の防護などを行います。

地上子については、出発駅で列車の初期位置を決める位置確定用地上子や、到着したことを検知するための到着検知地上子、位置を補正するための位置補正用地上子、誤出発時に列車を止める信号を車上に送るための誤出発防止用地上子の4種類を配置します。

システムの基本的な動作は以下の通りです。

- ①始発駅に止まっている車両の車上において、車上装置を立ち上げ列車番号を入力します。車上装置は車上装置IDと列車番号を地上へ送信します。中央装置は、列車番号とダイヤに基づき列車のための進路を要求し、中央管理装置が進路の設定を駅制御端末に指示します。
- ②進路設定が行われた後、中央管理装置から車上に開通区間を送信すると、車上装置が進行ができることを表示します。これにより列車を出発させることができます。
- ③到着駅の到着検知用地上子を通じた際に、車上装置は地上子を通じた情報、車上装置ID、列車番号を、中央管理装置に伝達します。

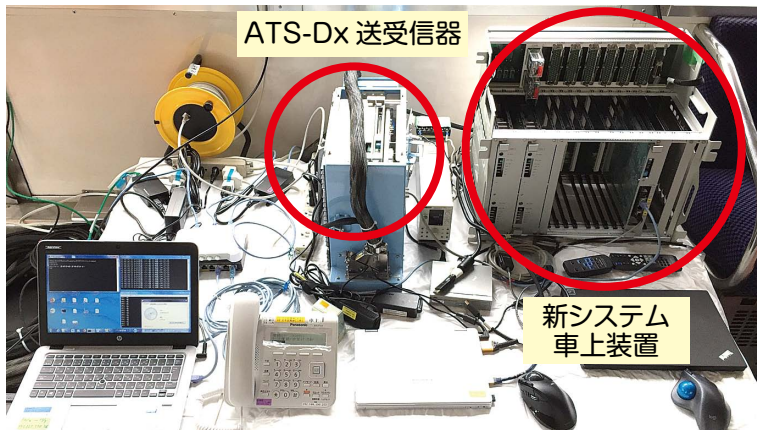


図4 車上装置



図5 車内表示器の表示例

中央管理装置は、受信した車上装置IDが、①の時点で受信した車上装置ID、列車番号と一致していることを条件にこれまで確保していた区間を開放します。車上では、停止現示を表示します。

このシステムでは、列車が次駅に到着したという情報が中央管理装置に伝わらなければ、その列車の出発駅から到着駅までの区間を開放しないことで安全が確保されます。装置が故障したとしても、確保した区間が開放されない仕組みのため、安全については問題ありません。

なお、車上での位置検知機能は利用していますが、地上装置側では列車の

細かい位置を把握していなくても制御できる仕組みです。

システムの検証試験

開発中の地上装置を営業線区に仮設して、実際の車両を用いた機能検証試験を実施しました。

地上の中央管理装置と駅制御端末の写真を図3、車上装置を図4に示します。また、車内の表示器の例を図5に示します。

検証試験では、以下の項目を実施しました。

基本的な制御の確認

列車番号を入力すると、ダイヤに従い、次の駅までの進路が確保され、車内では進行であることを表示します。

列車の到着時には車内には停止現示を表示します。地上側では、進路が開放されます。この一連の制御を確認しました。

通過制御の確認

途中駅を通過した場合の制御についても確認しました。

進路が競合した場合の制御

他の列車が在線している箇所には進路が設定されないことを確認しました。

通信範囲の確認

同じ地上の無線機との通信で、おおむね300m以上(1か所のみ見通しが悪い所で180m程度)の通信範囲が確認できました。

誤出発の防止機能

進路が確保されていないのにも関わらず誤って列車を出発させたときに、非常ブレーキがはたらくことを確認しました。

列車番号を誤って入力したとき

ダイヤと違う番号を入力しても、進路が設定されないことを確認しました。

装置故障時

地上装置、車上装置、駅間の通信回線や無線装置の故障を模擬した場合であっても安全が確保されていることを確認しました。

試験を通じてシステムの機能や安全性を確認することができました。また、駅構内の無線機についても適用ができることを確認できました。

この検証結果を踏まえ、より使いやすくなるための改良を加えて、実用化装置につなげ、実際の営業線区に導入されることを目指しています。[RRR]