

第47回

無線を用いた列車制御

はじめに

近年のICT (Information and Communication Technology) の進展に伴い、鉄道の信号保安の分野でも、高度な制御を行う列車制御システムに関する研究開発と実用化が進んでいます。特に、車上と地上との間の情報伝達に無線伝送を用いる列車制御システムが近年注目されています。

従来のシステムでは、列車制御の主な機能が地上設備によって実現されてきました。これに対して、無線を用いた列車制御システムでは、列車自身に

よる位置検知などにより移動閉そくを実現し、高度かつ柔軟な列車制御を可能としています。また、地上設備の削減やメンテナンスの低減によるコストの削減が期待できます。列車制御に無線を活用することの有効性は早くから着目されており、東海道新幹線開業時のATCの一方式、あるいは整備新幹線の経済的なATCとして1980年代初めに検討された経緯もあります。1980年台後半から情報技術や移動体通信が急速に進展したこともあり、無線を用いた列車制御システムの現実性が高まり、世界的にこれらの研究開発

が進展しました。

鉄道総研では、1987年にCARAT (Computer And Radio Aided Train control system)¹⁾の研究に着手し、2011年にはJR東日本でATACS (Advanced Train Administration and Communications System)²⁾が営業線に導入されるなど、無線を用いた列車制御システムの実用化が進んでいます。また、海外では、CBTC (Communication Base Train Control) と呼ばれる地下鉄などの都市鉄道を対象とした自動運転機能を併せ持つ総合的な列車制御システムの導入が進んでいます。ここでは、無線を用いた列車制御システムの概要と研究開発の経緯を紹介し、今後の展望を示します。

無線を用いた列車制御の概要

無線を用いた列車制御の特徴としては、従来の固定閉そくから移動閉そくへの容易な移行があげられます(図1)。固定閉そくでは、一般に、列車に対する走行許可が閉そく区間単位になります。また、地上信号方式では、列車は先行列車に向かって段階的に減速することになります。列車の運転時隔を短縮するには、信号機間隔を短くしたり、信号速度段数を増やすといった地上設備の増強が必要になります。これらの間隔と速度は、安全を考慮して、走行する列車の中で最もブレーキ性能の劣

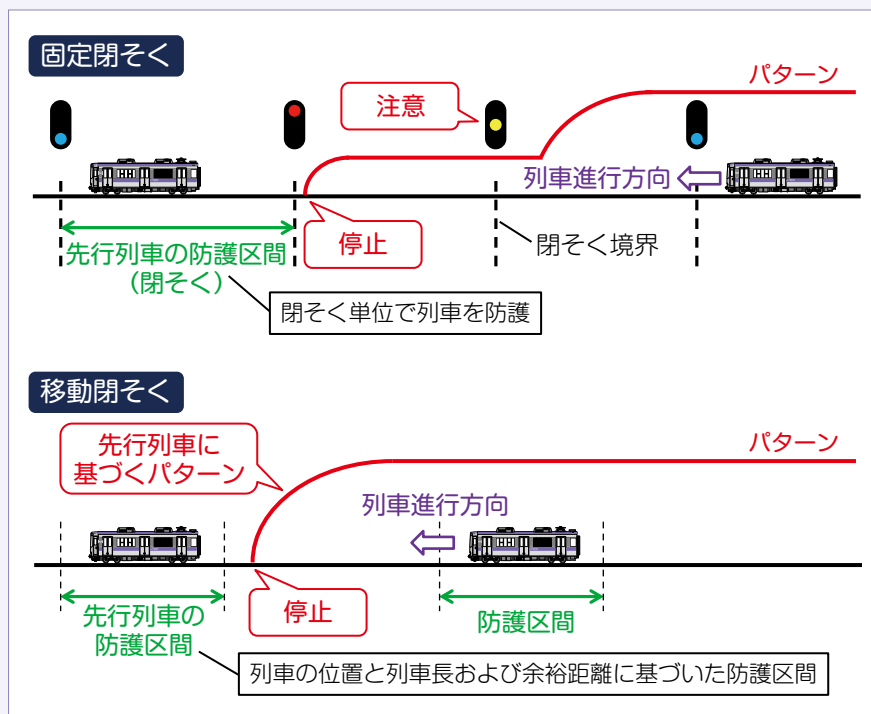


図1 固定閉そくと移動閉そく

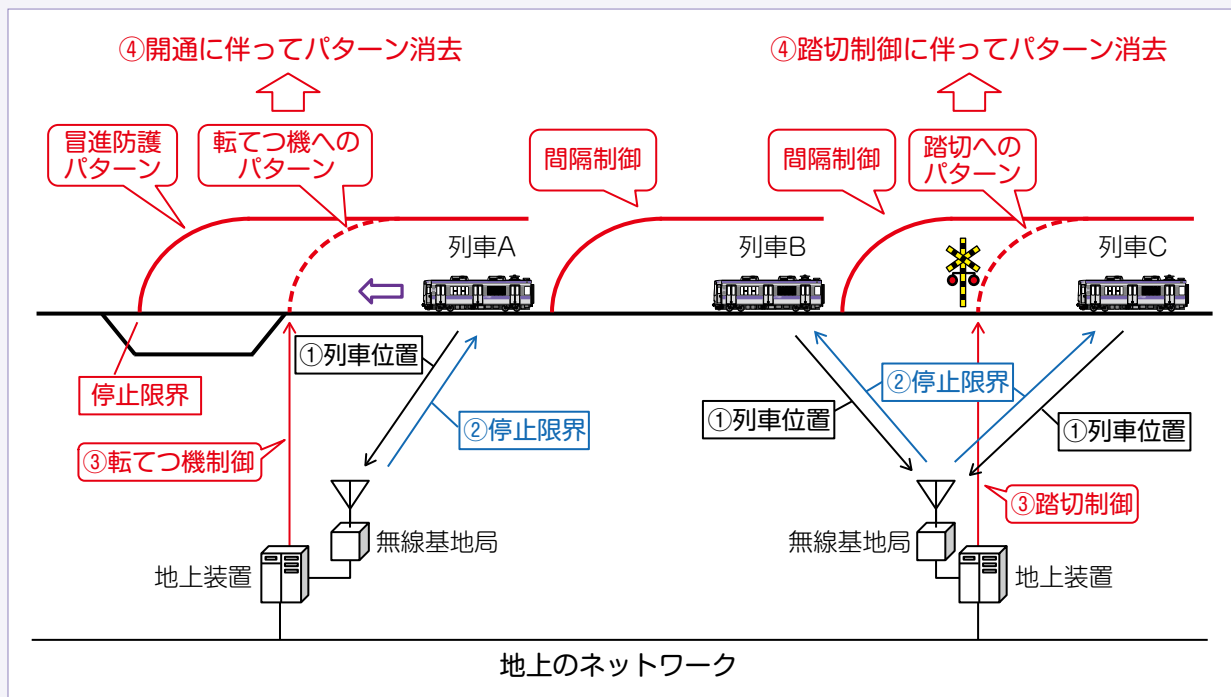


図2 無線を用いた列車制御の概要

る車両を基準にして設計する必要があり、車両性能が向上すると地上設備の変更が必要になることや、高性能車両にとっては必要以上の余裕を持たなければならないなどの短所があります。これに対して、移動閉そくでは、詳細な列車位置の検知と、先行列車に対して滑らかに減速するような速度制御により、安全を確保した上で先行列車にできるだけ接近して、列車間隔を短縮することが可能となるなど、上で述べた課題が解決されます。

ここで、無線を用いた列車制御の基本的な制御の概要について、図2に示します。列車位置については車上で検知され、無線回線によって地上に伝送されます(①)。地上装置は、車上から伝送された列車位置に関する情報を基に進路や先行列車に関する条件から列車の走行許可位置を決定し、停止限界情報として車上に伝達します(②)。列車は、地上装置から伝送された停止限界手前に停止できるブレーキパター

ンを作成し、その速度を超過しないよう走行します。列車は自身のブレーキ性能などに応じてブレーキパターンを作成するので、地上信号設備の配置に拘束されることなく列車性能の向上に合わせた運転が可能になります。踏切や転てつ機(進路)に対するパターンについては、踏切の遮断完了や進路開通(③)に関する情報が車上に伝達されると、それぞれに設定されたパターンが消去され、走行が継続されます(④)。仮に、踏切制御や進路開通が行われなかった場合は、あらかじめ設定されたパターンに従って停止します。

また、無線を用いた列車制御では、無線を含めた伝送経路の故障により、一定期間伝送が途切れると列車を止めるなど、伝送異常が発生する場合でも安全が確保されるようにシステムが設計されています。

無線を用いた列車制御では、軌道回路や信号機などの地上機器や、これらに付帯するケーブルなどの地上設備の

簡素化が可能で、コストや保守作業の削減が見込まれます。また、線路沿線作業では保守作業者が作業の開始と終了を無線端末から入力することで列車見張り員の省略と作業の安全性が高まる長所も持っています。

日本における研究開発

鉄道総研における無線列車制御システム研究の発端は、国鉄の民営化が進む中で行われたグループ研究にあります^{3,4)}。鉄道が他の輸送機関との競争の中で生き残るためには、列車運転システムとして、波動輸送など多様化するニーズに低コストで柔軟に対応する必要がありました。その実現手段としては列車制御に無線を活用し、地上設備の簡素化と高度な制御を同時に達成することであるという方向が示されました。

CARATの研究が開始されたころ、海外でもほぼ同じ概念のシステム

開発が始まっていましたが、日本は ATACS で世界に先駆けて実用化したといえます。CARAT の開発は、1989 年度から 3 年間、当時の運輸省の補助金を受けて実施しました。

また、日本では、研究開発に加えて規格化・標準化も進められてきました⁵⁾。無線を用いた列車制御システムの機能要求事項とシステム要求事項が JIS E3801 (無線式列車制御システム) として 2009 年と 2010 年に制定されており、無線ベースの列車制御システムに適用される無線システムに対する性能要求事項を定めるための手順が IEC (国際電気標準会議) の標準仕様書 IEC/TS 62773 として発行されています。

海外の動向 (ERTMS/ETCS)

ヨーロッパでは、各国で異なる信号システムが導入されてきたことに対し、インターオペラビリティの確保と、自由競争の観点から、統一的な鉄道輸送管理システム ERTMS (European Rail Traffic Management System) が

提案され、規格化されました⁶⁻⁷⁾。列車制御については、ETCS (European Train Control System) があり、無線伝送には携帯電話の第 2 世代移動通信システムである GSM の技術を基に鉄道通信用に規格化した GSM-R (Global System for Mobile communications-Railway) が規定されています。

ETCS は厳密には無線を用いた列車制御のみではなく、地上信号方式から無線を用いた列車制御までを含んだ規格となっています。実現される機能によって Level が定められており、ETCS Level 2 および Level 3 において、車上地上間の列車制御に関わる情報伝達に無線が使用されるシステムとなっています。(表 1)

ETCS Level 2 は、無線伝送を使用するシステムですが、列車検知については地上で行っています。地上で検知した列車位置に従って地上側で制御に関わる処理を行って、各列車に制御情報を伝達します。これは、列車制御システムの観点では、車上地上間伝送にレール伝送を用いている日本のデジタル ATC と同等のシステムであるとい

えます。

ETCS Level 3 では、車上制御を行うことを想定したシステムであり、ATACS に相当する機能をもつシステムとなっています。ただし、現在のところ、ETCS Level 3 が本格的に導入されている実績はなく、閑散線区向けにカスタマイズした ERTMS-Regional が試験的に導入されています。

CBTC

特に地下鉄や新交通システムを中心に、情報通信技術をベースにした列車制御システムとして近年 CBTC が注目されています。CBTC も、ATACS をはじめとする無線を用いた列車制御システムと同じく、車上地点検知と無線伝送を活用した車上による制御を実施したシステムです。現在、運用されている CBTC では、車上地上間の無線伝送に汎用の無線帯域である、特に 2.4GHz 帯を用いたものが多くみられます。また、CBTC では、列車制御システムだけでなく、運行管理などのほかの情報伝達を使用するシステムを含めて一体としたシステムとして導入されるケースが多いことも特徴です。

CBTC については、IEEE 1474 で規格化されています。

閑散線区向けシステムの研究開発

ATACS や CBTC は、制御に関わる機能の一部を車上に搭載するなどの大規模なシステムの変革を許容した新しい列車制御システムとして開発されています。これに対して、閑散線区での安全性の向上と低コスト化を目標として無線を用いるシステムについても同様に研究開発が行われています。

表 1 ETCS の Level と概要

ETCS	概要	備考
ETCS Level 0	・地上装置が ETCS に未対応	—
ETCS Level STM	・ETCS に対応させるため既存の地上装置に STM と呼ばれるモジュールを介して接続	—
ETCS Level 1	・地上信号方式 ・軌道回路による列車検知 ・ユーロバリスによる情報伝送	ATS-P 相当
ETCS Level 2	・車内信号方式 ・軌道回路による列車検知 ・無線による情報伝送	類似システム： デジタル ATC (無線伝送は未使用)
ETCS Level 3	・車上列車位置検知 ・列車完全性検知 ・無線による情報伝送	ATACS 相当

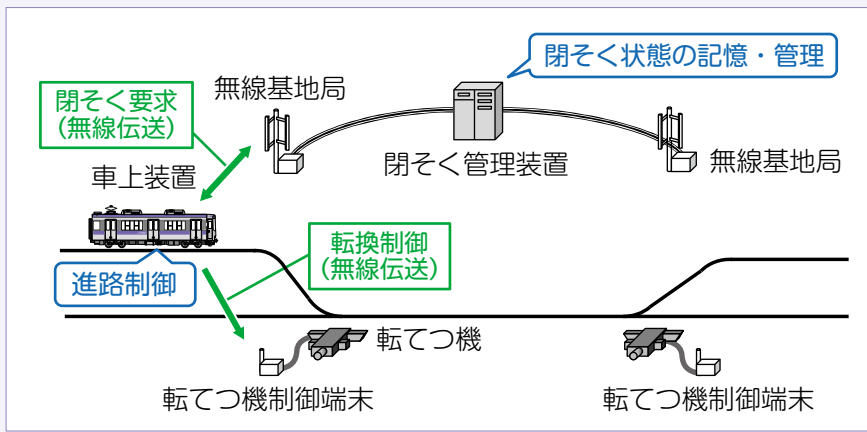


図3 車上主体進路制御による列車制御システム

鉄道総研では、主に地方線区で使用されている「特殊自動閉そく（電子符号照査式）」（電子閉そく）の課題解決を目的とした「拠点無線式列車制御システム」⁸⁾を開発し、これをベースにしたシステムが2015（平成27）年10月からJR西日本 境線で導入されています。

拠点無線式列車制御システムは、基本的な閉そく処理の考え方は従来の電子閉そくのものを踏襲し、できるだけ既存の設備を有効活用してシステムが導入できるように設計されています。無線伝送のエリアは、ATACSなどのように線区内の全域をカバーするのではなく、駅近傍などの拠点に無線機を設置する構成となっています。

電子閉そくの置換えだけでなく、車載器IDと列車番号の関連付けの自動化、駅発車時の乗務員による進路設定要求操作の省略、中央装置でのダイヤチェックによる早発防止など、従来のシステムにおける課題を解決するよう機能向上が図られています。

拠点無線式列車制御システムは、早期の電子閉そくの置き換えに対応するために開発されましたが、鉄道総研では、地上設備のさらなる削減を目指して、従来の連動装置が担っていた進路

制御の機能を列車が主体となって行うシステムの開発に取り組んでいます⁹⁾。このシステムでは、各駅に連動装置を設置することなく、車上装置と線区に1か所設ける閉そく管理装置との間の情報通信に基づいて、進路制御などを行います（図3）。なお、このシステムの開発は国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施しました。

今後の展望

今後の列車制御システムの展望としては、情報技術の発展に従って、さらなる情報ネットワークの活用と情報の統合化が考えられます。この一例として、列車制御と運行管理の一体化があげられます。列車制御と運行管理は、従来、独立したシステムとして発展してきましたが、これらを一体化して各機能の連携を強化すると、列車防護を含めた運行管理システムによる柔軟な列車運行が可能となります。それに加えて、従来は線路閉鎖などの保安システム外の取り扱いとして対応していた作業の間合いなどの事項についても、保安システム範囲で担保が可能となり、保守作業の安全性の向上や高効率化が期待できます。

また、無線などの情報技術を活用した車上主体型の列車制御システムに対しては、列車間隔の短縮や、高機能な制御などが注目されがちです。しかし、ここで紹介した拠点無線式列車制御システムや、車上主体の進路制御を行うシステムなどのように、列車密度の低い線区に適した機能や、システム構成とすることで、地上設備を削減し、地方線区の課題解決に大きく寄与する可能性も持っているといえます。

鉄道の高機能化、利便性の向上に寄与するシステムと合せて、情報技術の利点を活かして鉄道ネットワークの維持にも貢献するシステムの実現が期待されます。

（北野隆康／信号・情報技術研究部
列車制御研究室）

文献

- 1) 長谷川豊：次世代運転制御システムの構想, RRR, Vol. 45, No. 11, pp. 9-14, 1988
- 2) 今野信三：無線式列車制御の導入, 電気学会誌, Vol. 130, No. 8, pp. 549-552, 2010
- 3) 情報システム研究室：新しい運転システム, 鉄道技術研究所速報, NO.A-85-139, 1985
- 4) 信号通信研究室：新しい信号と通信システム, 鉄道技術研究所速報, NO.A-87-113, 1987
- 5) 松本雅行：無線利用の列車制御システム (JRTC) の規格化, 鉄道と電気技術, Vol. 18, No. 7, pp. 46-50, 2007
- 6) 平尾裕司：ヨーロッパの統合列車制御システム ETCS/ERTMS, RRR, vol. 56, No. 1, pp. 20-23, 1999
- 7) 日本鉄道電気技術協会編：ERTMSの概要—欧州鉄道輸送管理システム—, 日本鉄道電気技術協会, 2011
- 8) 平栗滋人他：閑散線区向け“拠点無線式列車制御システム”の開発, J-rail 2010 論文集, S7-1-4, pp. 57-60, 2010
- 9) 佐々木達也他：地点検知と連動機能を車上搭載した列車制御システム, 鉄道総研報告, Vol. 28, No. 4, pp. 17-22, 2014