

# 無線を用いた 信号保安システムの発展

山本 春生

信号通信技術研究部(列車制御 研究室長)



やまもと はるお

## はじめに

軌道回路で列車を検知して地上信号機によって信号を現示することを基本としてきた信号保安システムに、無線を用いるための技術開発が進んでいます。無線技術に加え、情報処理技術を有効に導入することで列車のインテリジェント化が図れ、安全性、安定性、快適性およびコストパフォーマンスに優れた列車制御を実現することが可能となります。ここでは、無線を利用する目的を整理した上で、主に鉄道総研におけるこれまでの研究開発成果に触れます。

## 信号保安システムに無線を利用する目的

無線利用のメリットは、非接触または離れていても情報を伝達できることです。また、通信方式によっては、通信中に相対的な距離や速度を測ることもできます。信号保安システムに無線を適用すると、軌道回路に代わって非接触で列車を検知できる、地上子、軌道回路や地上信号機によって伝達している列車への信号現示情報をこれらに代わって伝送できる、あるいは車上で位置や速度がわかるといった利点があります。また、その際に車上・地上の装置間で常時情報交換を行うことによって、閉ループ制御による保安度向上も期待できます。従来の無線技術は、信頼性や伝送速度・容量が不十分で、セキュリティ面に課題がありまし

たが、移動体通信の性能向上やセキュリティ対策技術の進展により、列車保安制御でも利用できるレベルにあります。

## 無線を用いた最初の信号保安システム

話は国鉄時代に遡ります。閑散線区の通票閉そくによる運転は、列車の出発側と到着側の両駅長が電話連絡により通票閉そく器を取扱い、同時に転てつ機、信号機などを操作のうえ、運転士との間で通票を授受することにより行われていましたが、多くの駅員を必要とし、また国鉄末期には設備の老朽化等が問題となっていました。このような状況の下で、地方交通線の省力化、近代化を図るため、当時のマイクロエレクトロニクス技術と無線通信技術を背景として、閉そく機能、連動機能およびCTC的機能を合わせ持つ電子閉そく装置が導入されました(図1)。

電子閉そく装置では、列車が地上設備との間で識別番号を送受信するのに、400MHz帯の専用無線を利用しています。この識別番号と駅構内の軌道回路による列車検知を合わせて、閉そく区間への列車進入・進出を自動的に検知して安全を確保することから、信号技術と通信技術が融合した最初のシステムであると言われています。駅出発時に運転士が車載器を操作して出発要求を出すことで地上の運転保安要員が不要となり、CTCよりも少ない投資でCTCと同

程度に線区の経営改善が図られ、民営化後のJRの経営安定化に多大な貢献をしました。

## 鉄道総研のこれまでの研究開発成果 バリス式列車検知形閉そく装置

国鉄の分割民営化から十数年を経て電子閉そく装置の更新時期が近くなり、これに替わる新たな閉そく装置へのニーズから鉄道総研が開発に取り組んだのが、バリス式列車検知形閉そく装置(COMBAT: Computer and Microwave

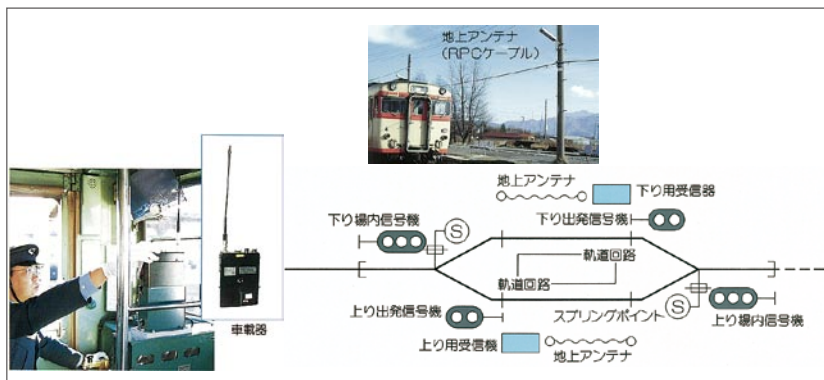


図1 電子閉そく装置の仕組み

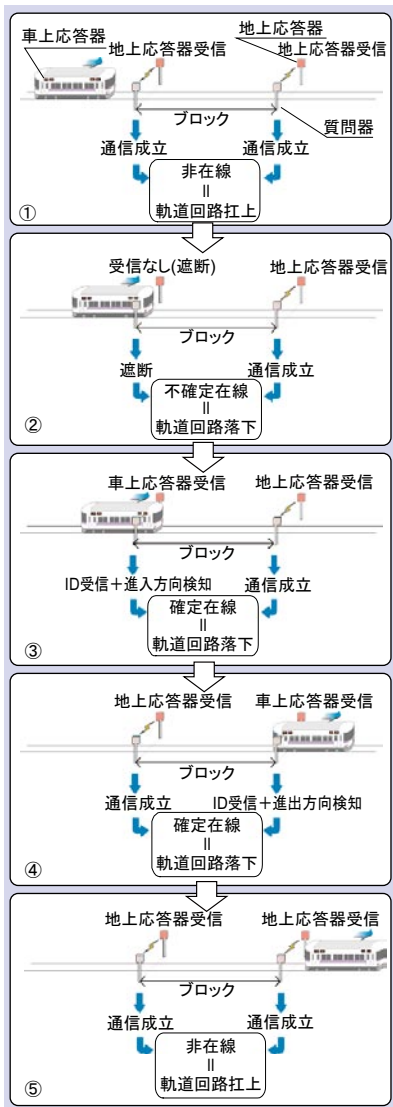


図2 COMBATにおける列車検知の仕組み

列車検知を行います。使用している無線周波数は2.4GHz帯で、列車検知区間（軌道回路に相当するブロック）への進入／進出検知を、質問器・地上応答器による閉ループ制御の成立／遮断と車上応答器からの情報の受信により行います（図2）。現行の軌道回路が列車の在線／非在線の0/1のみの検知であるのに対して、車上応答器の列車IDにより列車（編成番号）を特定でき、さらに1車両に取り付けた複数の車上応答器からのIDの受信順序により進入／進出方向も検知できることから、高い安全性・信頼性を実現しました。COMBATは「鉄道に関する技術基準」に反映されました。

### 無線による列車制御システムCARAT

話は再び国鉄の分割民営化直後に戻ります。幹線では、他の輸送機関との競争力強化のため運転時隔短縮や速度向上等の近代化施策が採られていましたが、その度に軌道回路長、地上信号機とATS地上子の設置位置、踏切制御の

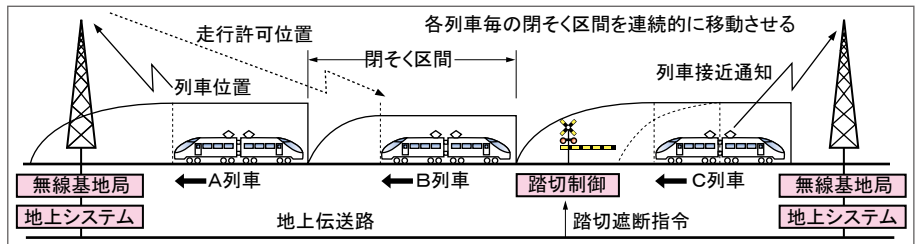


図3 無線による列車制御システムCARATの概念

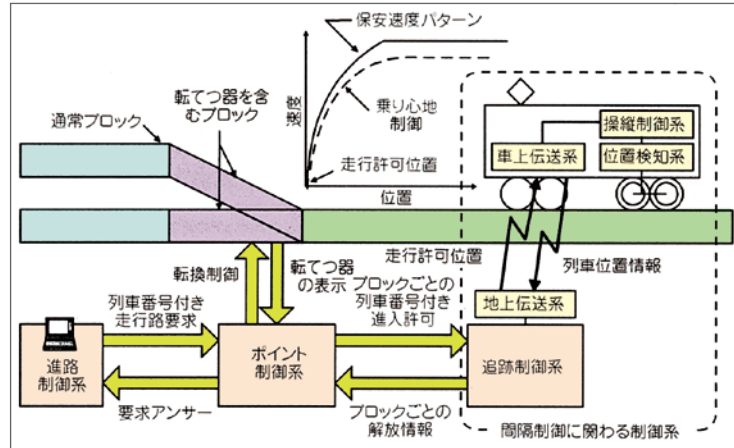


図4 CARATのシステム構成

始動点の変更など信号設備の改修が行われました。その理由は、走行する列車のうち最も速度の高い列車とブレーキ性能の最も低い列車に合わせて地上設備が設計され、またその条件に基づいて列車への速度信号を作って伝達しているためです。保安度向上のため、信号現示情報に基づいて列車速度をチェックしようとする、ブレーキ性能の差が大きい車両が混在走行する線区では、運転時隔を維持できなくなります。そのため、高密度線区では、停止信号機までの距離情報を地上子により伝達し、車上が各々のブレーキ性能に応じて速度照査を行うATS-P形の整備が進みました。しかし、多くの地上設備を維持するには費用がかかります。このような背景の下で、地上側の信号保安設備をできる限り減らし、マイクロエレクトロニクス技術と無線通信技術を活用して保安制御の判断論理を車上と拠点に集中させれば、安全かつ効率的な列車の運転ができると考え、次世代の運転制御システムとしてCARAT (Computer And Radio Aided Train control system) を開発しました。

システムの概念と構成を図3および図4に示します。CARATでは軌道回路をいりません。列車の在線位置は、各列車自身が速度発電機と地点検知装置などによって検出し、地上センタが、全列車から位置情報を収集して各列車に走行許可情報（停止位置）を指示します。これにより、ATS-P形と同様に車上各々のブレーキ性能に応じて速度照査を行えます。さらに、この地上・車上間の情報交換を無線により約1秒毎と高頻度に行い、列車位置をほぼ連

続的に検知することで、移動閉そくによる高密度運転を実現できます。また、列車を併合する際に必要となる1進路内への複数列車進入も容易になります。車上装置と地上装置の間の閉ループによる制御と列車IDの送受信によって、保安度も向上します。また、CARATではインテリジェント化された車上装置によって自らの走行を把握できるため、連動の接近鎖錠に代わる列車応答式解錠など安全かつ運転効率のよい制御が可能となるほか、踏切制御では、障害物検知装置と連動した緊急停止や精度の高い定時間制御が可能となります。踏切制御と同様、保守作業員への列車接近警報も容易に実現できます。さらに、CARATでは従来の信号保安の地上設備により実現されていた機能のほとんどがソフト化されるため、運転方向の柔軟化も容易で、ラッシュ時に混雑する方面への列車ルートを増やすような制御や、閑散時に保守間合いを確保するための単線運転などが期待できます。なお、CARATは基本機能を確認して開発を終了したため、使用する無線については特に定めていませんが、現地実験システムではLCXで400MHz帯を利用しました。本開発は、1989年度から1993年度の間、国土交通省(当時、運輸省)からの補助金を受けて実施しました。

現在は、JR東日本がCARATを発展させ実用化を目指したATACSを開発しており、2011年春に仙石線で使用開始される予定です。また、ATACSを含む国内の複数のシステムの標準化作業が進められ、2009年4月にJIS E 3801-1無線式列車制御システム-第1部:一般要求事項及

び機能要求事項として制定されました。引き続き標準化作業の深度化が計画されています。

### スペクトラム拡散通信による無線測距

ここからは最近の取り組みについてご紹介しましょう。2006年度に、無線免許を必要としない2.4GHz帯のスペクトラム拡散(SS: Spread Spectrum)通信による無線装置に測距機能を付加する無線測距方式を提案しました。SS通信は、その高い秘匿性と耐妨害性などから携帯電話をはじめとする通信システムに適用され、また電波の伝播遅延時間に基づく測距が可能のためGPSなどにも適用されています。提案方式では、対向する無線機間で情報の送受信を行う際に、往復通信の遅延時間を測ることで測距を行います。無線機が高精度な時計を備えずにすむ点を特長としています(図5)。測距分解能は11.6m、測距可能距離は見通しがとれれば760mで、測距誤差は測距分解能以下との結果が得られました。この無線測距方式をATSに適用すると、車上受信機が地上信号機から無線で信号現示情報を得ると同時に信号機までの距離を測れるため、地上子を用いることなく連続制御式のATSを実現できると考えられます(図6)。

### 列車制御への汎用無線技術適用の研究

2007年度からJR各社と共同で、電子閉そく装置が更新時期を迎えつつある閑散線区を対象として、急曲線部などの速度制限箇所の防護も可能な列車制御システムの開発に取り組んでいます。地上設備を削減可能な無線式の列車制御を閑散線区向けとして低コストに実現するため、駅や踏切など必要な箇所でのみ地上・車上間の情報交換を行うこととしその手段として無線LANを、また車上位置検知

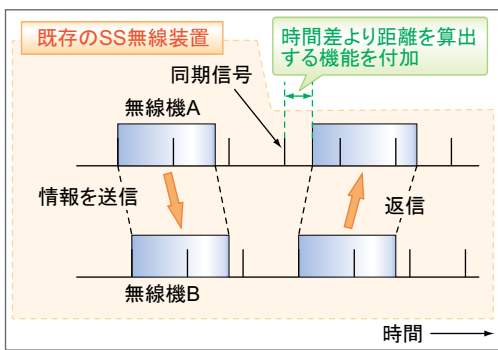


図5 測距の原理

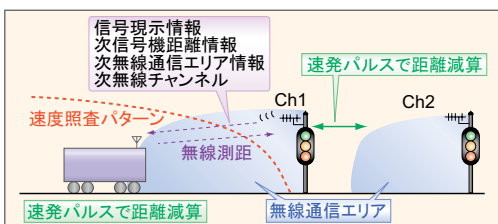


図6 ATACSへの適用検討

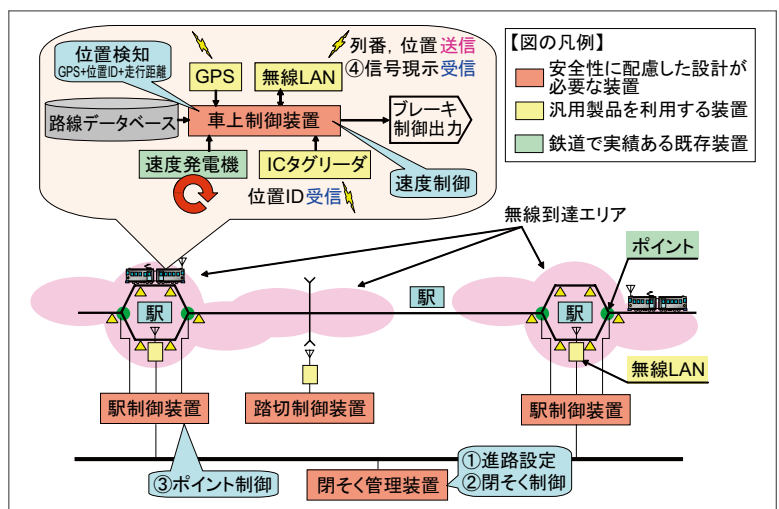


図7 汎用無線技術を利用した列車制御システムのイメージ

に無線ICタグとGPSを適用するための調査を行いました(図7)。

無線LANは、見通せばブレーキ距離を上回る距離でも十分な実効伝送速度が得られる可能性があります(図8)。実際の鉄道環境では、周辺環境や走行に伴う影響を受けて伝送品質が多少劣化すると考えられますが、利用できる見込みはあると考えています。また、汎用無線は使用に制限がないため、伝送したいときに所定の品質で伝送できないことを本質的に回避することはできないものの、複数の伝送方式を併用してアベイラビリティ向上を図ることができます。伝送のセキュリティについては、汎用無線の利用はデメリットとなります。無線の場合には、特に「改ざん」と「なりすまし」への対策が重要ですので、端末の認証と情報の暗号化の組み合わせが有効と考えています。

無線ICタグについては、車上のリーダからまくらぎ上の電池を内蔵しないパッシブ型のタグを読み取る地点検出としての使用環境と法規制への適合性から、13.56MHz帯のタグを選定し、鉄道環境下で使用するための耐候用のカバーやケースを試作しました。これにより、ATSの地上子、車上子と同様に設置することができます。試作した地上子用ケースに無線ICタグを封入すれば、降雨・降雪下の影響を全く受けないことも確認できました。但し、長期の供給が期待できるISO規格準拠品の速度特性は、列車速度100km/hが限界であり、速度域が低い駅構内、留置線・車庫での初期位置のプリセットなど、利用方法は限定されます(図9)。

GPSは、その仕組みに起因する様々な誤差要因や受信環境によって測位精度が変動します。しかし、GPSを民間航空の航法システムとして用いるための補強システムであるMSAS(運輸多目的衛星用航法補強システム:MTSAT Satellite-based Augmentation System)の併用を前提とす

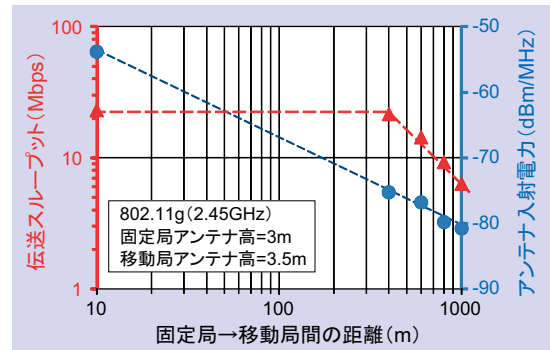


図8 オープンサイトにおける伝送特性の一例 (IEEE802.11gの場合)

ると、MSASが99.99999%の確率で保証する誤差範囲情報(保護レベル)を利用することにより、走行中の在線範囲を特定できる可能性があります(図10)。受信環境が良くない箇所などにおける保護レベル変動時は、GPS信号のドップラ効果から得られるGPSの速度情報と速度計用の速度発電機を用いて補間できると考えられます。

### おわりに

無線を用いた信号保安システムに関する鉄道総研の研究開発成果について述べました。しかし、実用化へのハードルは高いと言わざるを得ません。そのメリットと引き替えに無線を用いる何らかの専用設備が車上に必要となり、そのことが他線区からの乗り入れの障害となるからです。乗り入れへの対応は、車上設備の規模が大きいシステムほど困難です。そのため、ATACSが導入される仙石線のように、他線区からの乗り入れがない線区が当面の導入対象となります。なお、汎用無線技術の適用については、使えそうであるとの知見は得られましたが、安全性を担保する必要がある、今後の課題として残っています。RRR

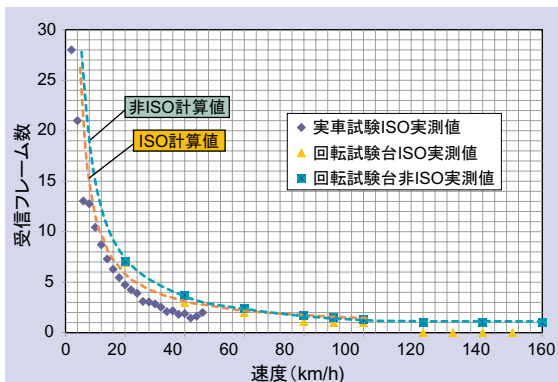


図9 無線ICタグによる地点検知の速度特性

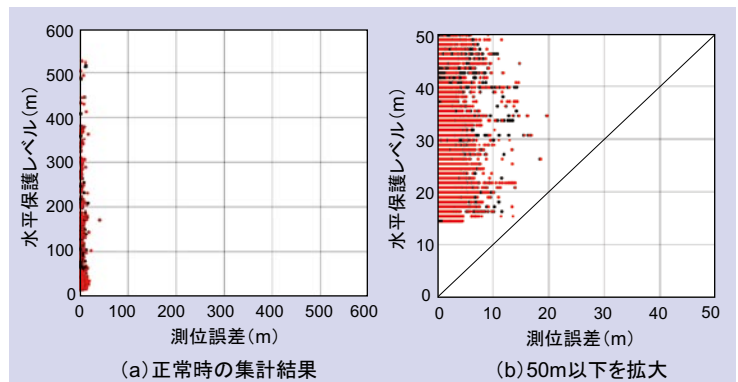


図10 走行中のMSAS水平保護レベル性能