

最新の列車制御システム

土田勝紀*

The Latest Train Control System

Katsunori Tsuchida

要旨

地上設備が主体であった従来の列車制御システムに代わり、無線によって地上と車上を連携させて保安機能を実現する、無線式列車制御システムの実用化が進んでいる。

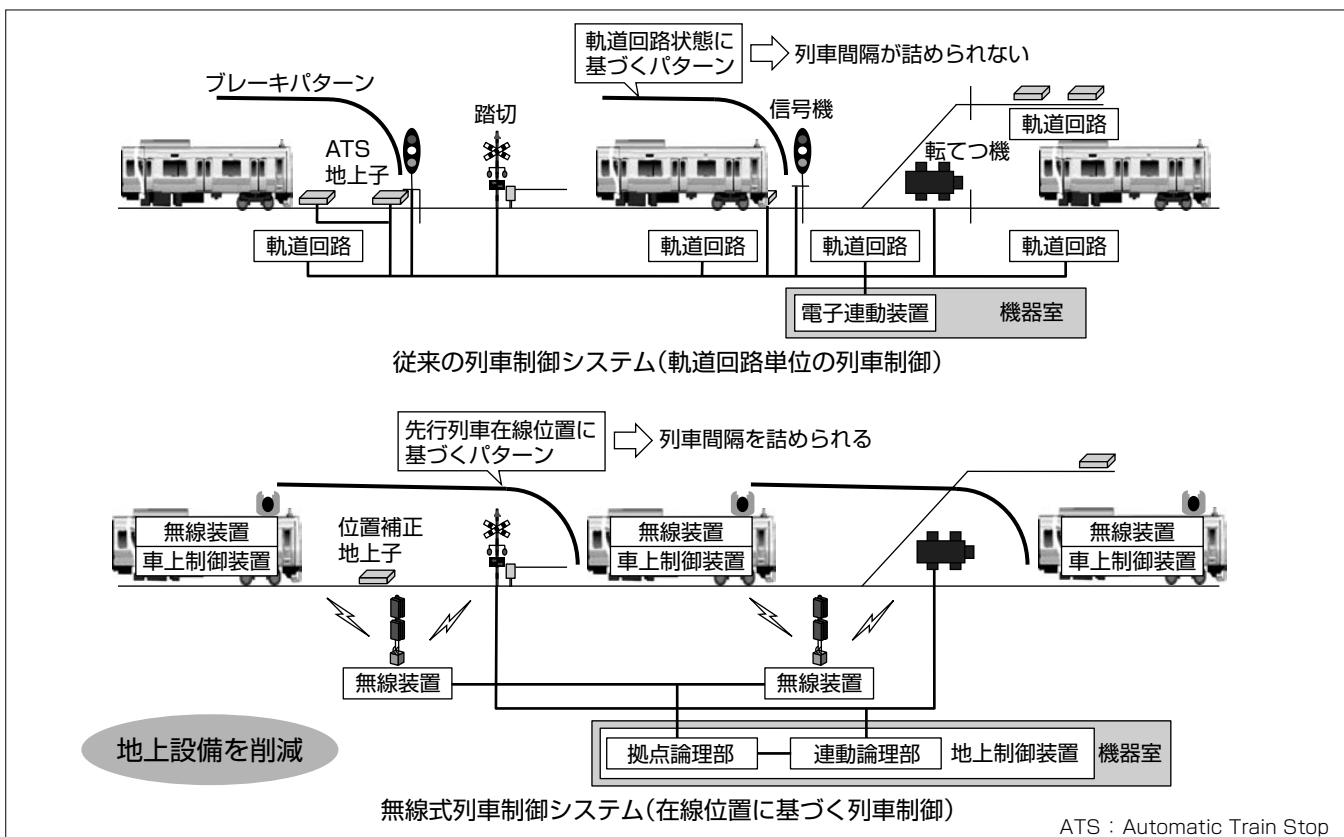
無線式列車制御システムでは車上で在線位置を検知して地上へ無線で伝送することによって、従来システムで在線検知に必要な軌道回路が不要となる。軌道回路単位の位置管理に比べて詳細な列車位置の管理が可能なることから、列車間隔短縮によって運行の高密度化が実現可能となる。さらに、地上設備が削減でき、メンテナンスの効率化やライフサイクルコストの削減が見込める。

三菱電機は、無線式列車制御システムを構成する無線装置、車上制御装置、地上制御装置を製作している。無線式

列車制御システムに採用する無線装置には、安定した通信性能が求められる。そのため、干渉・妨害対策を強化した独自の耐干渉技術によって安定した通信を実現した。

車上制御装置には、ぎ装スペースの削減、位置検知精度の向上が求められる。そのため、複数の保安装置を統合して装置を小型化し、スペースの削減を図った。また、極低速域まで速度検知可能な速度センサを採用し、位置検知精度の向上を実現した。

地上制御装置には、無線で取得する位置情報を基にした列車在線管理によって無線通信断時にも位置を記憶させ、安全性を確保する機能を組み込んだ。



無線式列車制御システム導入の利点

従来の列車制御システムから無線式列車制御システムへのシステム更新の実施によって、地上設備が削減できること、列車の走行間隔を詰めた制御が可能になる利点があることを示す。当社は、無線式列車制御システムを構成する無線装置、車上制御装置、地上制御装置 (拠点論理部、連動論理部) を製作している。

1. ま え が き

地上設備が主体であった従来の列車制御システムに代わり、無線によって地上と車上を連携させて保安機能を実現する、無線式列車制御システムの実用化が進んでいる。無線式列車制御システムの導入には、地上設備削減によるメンテナンスコストの削減、列車間隔を詰めることによる高密度運転の実現が期待されている。また、地車間で常時通信を行っていることから臨時速度制限や突発的な事象に関する情報を瞬時に車上へ通知できるため、更なる安全性向上が見込まれる。

本稿では、2章で無線式列車制御システムの列車制御方式と導入効果について述べ、3章では、無線式列車制御システムを構成する無線装置、車上制御装置、地上制御装置それぞれの導入時の課題、4章でその課題に対する対策について述べる。

2. 無線式列車制御システム

2.1 無線式列車制御システムの列車制御方式⁽¹⁾

無線式列車制御システムの列車制御の基本的考え方を図1に示す。

(1) 列車位置検知

車上制御装置が、位置補正地上子からの位置情報と速度センサによる走行速度検出によって、自列車位置を計算する。

(2) データ伝送(列車位置)

無線を用いて列車位置情報を地上制御装置に伝送する。

(3) 列車在線管理・停止限界作成

地上制御装置が、車上制御装置からの列車位置情報に基づいて、列車位置を管理し、後続列車の停止限界(列車が走行できる限界位置)を作成する。

(4) データ伝送(停止限界)

無線を用いて停止限界情報を車上制御装置に伝送する。

(5) 速度照査パターン作成

車上制御装置が、停止限界を起点に速度照査パターン(停止限界までに停止可能な速度の上限値を列車位置ごとに示した曲線)を作成する。

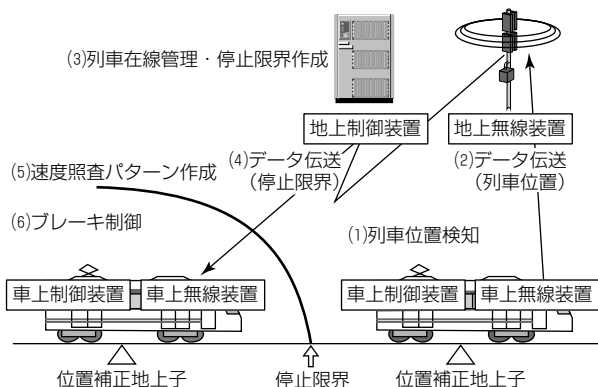


図1. 無線式列車制御システムでの列車制御

(6) ブレーキ制御

車上制御装置は、列車速度が速度照査パターンを超えたことを検知すれば、ブレーキ制御を行う。

2.2 無線式列車制御システムの導入効果

2.2.1 列車運行の高密度化

従来の列車制御システムでは、列車在線検知の単位である軌道回路の境界にしか停止限界を設定できなかった。無線式列車制御システムの導入後は、先行列車の後方に停止限界を設定できるので、従来と比較して列車間隔の短縮が可能になる(移動閉塞方式)。

2.2.2 地上設備の削減

従来の列車制御システムは、列車在線検知のために線路に設置した軌道回路や、列車に進行を指示する信号機を維持管理する必要があった。無線式列車制御システム導入後は、無線で情報を送受信することが可能になるため、軌道回路や信号機などの地上設備が不要になり、メンテナンスの効率化が可能になる。

2.2.3 障害発生時の縮退運転の実現

従来の列車制御システムでは、列車の進行方向ごとに、ATC(Automatic Train Control)信号送信機やトランスポンダなどの列車制御用のハードウェアを軌道内に設置する必要があった。無線式列車制御システム導入後は、これらのハードウェアが不要になり、従来あった走行上の制約がなくなる。例えば、複線区間の一方の線路で障害が発生した場合、他方の線路だけを利用して上り・下りの列車運行を続行する単線運転が容易に実現可能になる。

3. 導入時の課題

国内で、無線式列車制御システムを導入する線区は、既設の保安装置からの老朽取り換えとなる。また、他線区への相互乗り入れを想定しなければならない。このような条件のもと、無線式列車制御システムを構成する各装置に求められる課題を述べる。

3.1 無線装置の課題

無線装置に求められる最も重要な事項は、安定した通信の実現である。安定した通信を行うためには、装置の信頼性を向上させるだけでなく、電波環境の変化に強いシステムでなければならない。さらに無線で列車制御に必要な安全性に関わる情報授受を行うことからセキュリティ面での対策が必要となる。

また、無線式列車制御システムの導入効果である地上設備を削減するため、できるかぎり地上無線装置の設置数を少なくする必要がある。さらに、地上無線装置は沿線に設置が必要であることから沿線環境に適合する仕様が求められる。

3.2 車上制御装置の課題

列車には、ぎ装スペースに余裕がない場合が多い。また、

複数線区を走行することや、老朽取り換え前の保安装置と共存する必要がある。そのため、無線式列車制御システムに対応する車上制御装置の導入だけでは対応ができない。走行する線区の複数の保安装置に対応可能であり、その切換えはスムーズに実現する必要がある。また、軌道回路に代わって、在線位置を地上制御装置へ送信し、列車間隔を詰めるためには、より正確な位置検知能力が求められる。

3.3 地上制御装置の課題

従来の信号システムは、軌道回路を用いた列車検知を行っていたため、軌道回路の故障時には、列車が在線側になる設計となっている。無線式列車制御システムの地上制御装置では、無線で列車の在線を把握することから、無線通信ができない状態になったとしても列車が在線中である認識を確保する必要がある。また、列車の移動に伴い通信する無線装置が切り替わるため、列車と通信を行っている地上無線装置の管理を行うことが求められる。

4. 課題事項の対策

4.1 無線装置

列車制御に用いる無線には、免許不要で使用可能な周波数帯と免許が必要な周波数帯の2種類がある。ここでは、免許が不要な周波数帯である2.4GHz帯を用いた無線装置で実現した3.1節の課題事項への対策について述べる。

4.1.1 高い耐干渉性能⁽¹⁾

(1) 干渉回避機能

従来方式と当社開発方式干渉回避機能の概念を図2に示す。

従来方式では、送信すべき信号(希望信号)の、時間や周波数帯の占有範囲が広いため、干渉信号との衝突が発生する。そこで当社は、占有時間を短く、占有周波数帯を狭くした信号を、周波数を変えながら複数回送信し、受信側で干渉信号と衝突していない信号を選択することで安定した通信を行う方式を開発した。

(2) 干渉抑圧機能

干渉源が多数存在する電波環境の場合、(1)で述べた干渉回避機能だけでは、複数回送信信号全てを正常に受信できない可能性がある。そのような環境下でも安定した伝送品質を維持するため、図3に示す干渉抑圧機能を開発した。干渉抑圧機能では、始めに干渉波電力レベルの測定を行う。次に、測定した干渉波電力レベルに応じた係数を算出する。この係数は、干渉波電力が小さい程大きくなるように重み付けを行う。その後、受信信号にその係数を掛け合わせて合成することで、受信信号のS/N(信号対雑音比)を改善する。

4.1.2 セキュリティ確保

安全性に関わる列車の位置情報、走行を許可する範囲を無線で伝送している。無線で送受信するデータの改竄(かいざん)と誤りを検知するために、伝送データの健全性を通番、CRC(Cyclic Redundancy Check)でチェックする

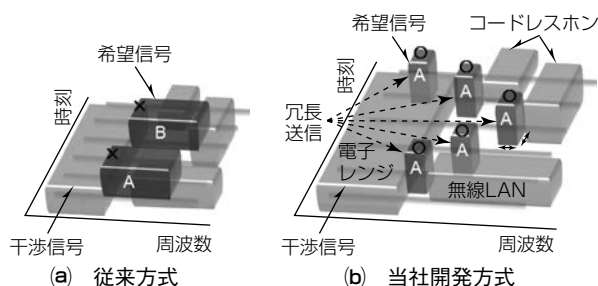


図2. 干渉回避機能の概念図

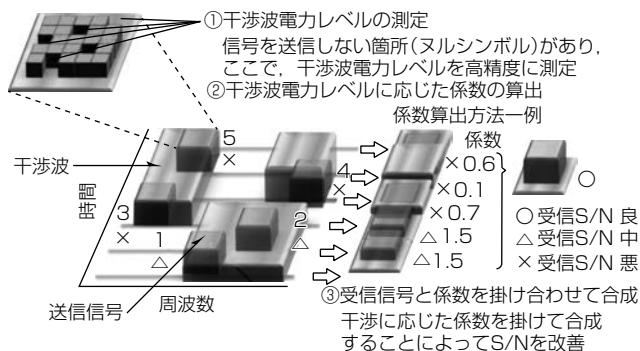


図3. 干渉抑圧機能の概念図

だけでなく、暗号化を施した通信を行い、セキュリティを確保している。さらに、認証機能を組み込むことによる不正アクセスへの対策も実現している。

4.1.3 置局配置の最適化

地上無線装置の設置(置局)数の増加を防ぎ、設置コストを削減するためには、最適な置局配置を算出する必要がある。当社の電波伝搬シミュレーション技術では、線路図及びトンネル形状があれば電波伝搬のシミュレーションが可能である。シミュレーション後、シミュレーション誤差を考慮した、最低受信電力を満たす置局配置を決定する。

今後、実線区での電波伝搬のシミュレーション結果の評価を行い、その評価を踏まえて、シミュレーション精度の更なる向上を目指す予定である。

4.1.4 電波環境監視機能⁽¹⁾

当社の無線装置では、電波環境監視機能を搭載しており、地上無線装置と車上無線装置の双方で干渉波レベルや無線信号の受信レベルの測定を行う。これらを地上に設置する電波環境監視端末でモニタリングすることによって、列車運行に影響が出る前に無線品質の劣化を検出し、事前対策を可能にする(図4)。

4.1.5 地上無線装置の設置環境への対応

東京地下鉄(株)丸ノ内線向けに開発した地上無線装置の外観を図5に示す。製作に当たり、トンネル内の環境条件を検討した結果、“柱取付け”と“壁取付け”の2か所へ対応することにした。さらに、車両接触限界を考慮した結果、柱取付けは幅、壁取付けは奥行きで厳しい条件を満たす必要があった。図に示す無線装置は、装置本体だけでなく、外部との伝送路の冗長化にも対応した構成となっている。

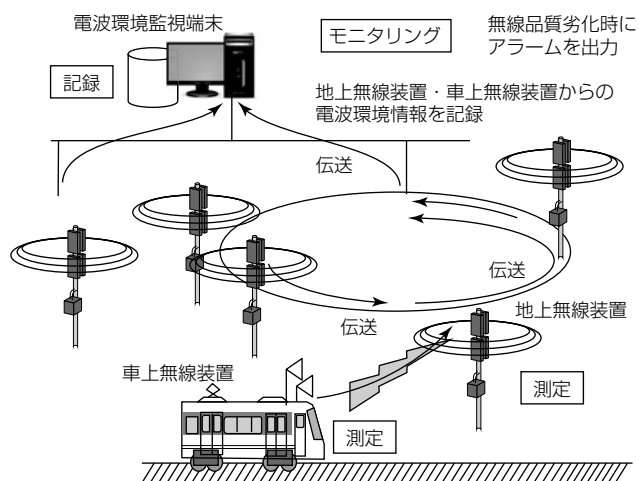


図4. 電波環境監視機能

4.2 車上制御装置⁽²⁾

無線式列車制御システムであるATACS(Advanced Train Administration and Communications System)に対応した車上制御装置で実現した、3.2節で述べた課題の対策である小型化、位置検知精度の向上について述べる。

4.2.1 小型化について

ATC、ATS-P、無線式列車制御システムに必要な機能を統合化した車上制御装置を製作した。この統合型車上制御装置は、ソフトウェアを切り替えることで複数の保安装置に対応した制御を実現し、他線区乗り入れ時及び新旧システム切替時にスムーズな保安装置の切替えを実現している。図6に東日本旅客鉄道(株)埼京線向け統合型車上制御装置の外観を示す。

4.2.2 位置検知精度向上

従来は、速度発電機を用いて列車の移動距離の算出を行っていた。しかし、極低速域の速度を検出できないことが課題であった。そのため、停車直前まで速度検出が可能な速度センサを採用し、位置検知精度の向上を図った。

採用した速度センサは、車軸に取り付けた歯車の回転を磁界の変化によって非接触で検出することで高精度な速度検出を可能にしている。また、速度発電機と取り付け互換を持たせることで、容易な置き換えを実現している。

4.3 地上制御装置

無線式列車制御システムの地上制御装置を開発しており、主な機能であるとともに3.3節で述べた課題の対策である列車在線管理機能と無線装置管理機能について述べる。

4.3.1 列車在線管理機能

無線通信中の列車は、常時停止限界位置の変化を受信するため、列車の間隔を制御することが可能である。しかし、無線通信が断となった列車は停止限界位置の変化を受信できないため、地上制御装置は最後に列車から正常に受信した位置を記憶し、他列車との防護を行う必要がある。



(a) 柱取付け (b) 壁取付け

図5. 地上無線装置

図6. 埼京線向け統合型車上制御装置

防護範囲は、列車の運用を考慮した設定とし、異常が発生した列車を退避させるまで地上制御装置で位置記憶管理を実現している。安全性を確保するためにも、列車在線管理機能が最も重要な機能である。

4.3.2 無線装置管理機能

無線式列車制御システムでは、列車の走行に従って車上制御装置と通信可能な地上無線装置を切り替える必要がある。その切替え時に通信断を発生させないために、通信予定の地上無線装置から予約送信を行う機能を組み込んでいる。予約送信を開始する地上無線装置は、車上制御装置から受信する在線位置等の情報と走行予定範囲の情報を基に地上制御装置が決定している。また、地上無線装置が通信可能な列車本数が決まっているため、列車本数を超えないように、列車走行範囲を管理する機能を組み込んでいる。

5. むすび

無線式列車制御システムを構成する、無線装置、車上制御装置、地上制御装置それぞれの導入時の課題とその対策について述べた。さらに、本稿で述べた以外にも、無線による地車間情報伝送を利用した様々な機能向上が可能である。例えば、地上から各列車のATO(Automatic Train Operation)に先行列車の運行状況を送信することによって、状況に応じた省エネルギー運転が期待できる⁽³⁾。今後国内でも、無線式列車制御システムが主要な列車制御システムとなっていくことが考えられる。当社は今後も、無線式列車制御システムによる高機能かつ事業者のニーズに合わせたソリューションの開発を進めていく。

参考文献

- (1) 明日香 昌, ほか: 無線列車制御システムの最新技術と今後の展望, 三菱電機技報, 90, No.9, 493~496 (2016)
- (2) 金井利喜, ほか: 埼京線向けATACS車上システムの開発, 鉄道サイバネ・シンポジウム論文集, 52, No.525 (2015)
- (3) 山本 律, ほか: 省エネルギー化に取り組む列車運転制御システムの最新動向, 三菱電機技報, 86, No.9, 520~523 (2012)