

# 地方交通線向け 列車制御用無線通信システム

鈴木哲也\*  
Tetsuya Suzuki  
黒岩 篤†  
Atsushi Kuroiwa

Wireless Connections System for Regional Lines Train Control System

## 要 旨

三菱電機は、東日本旅客鉄道(株)が小海線で運用を開始する地方交通線向け無線式列車制御システムで使用される無線通信システム(地上無線装置、車上無線装置ほか)を受注し、東日本旅客鉄道(株)と共に開発を行った。

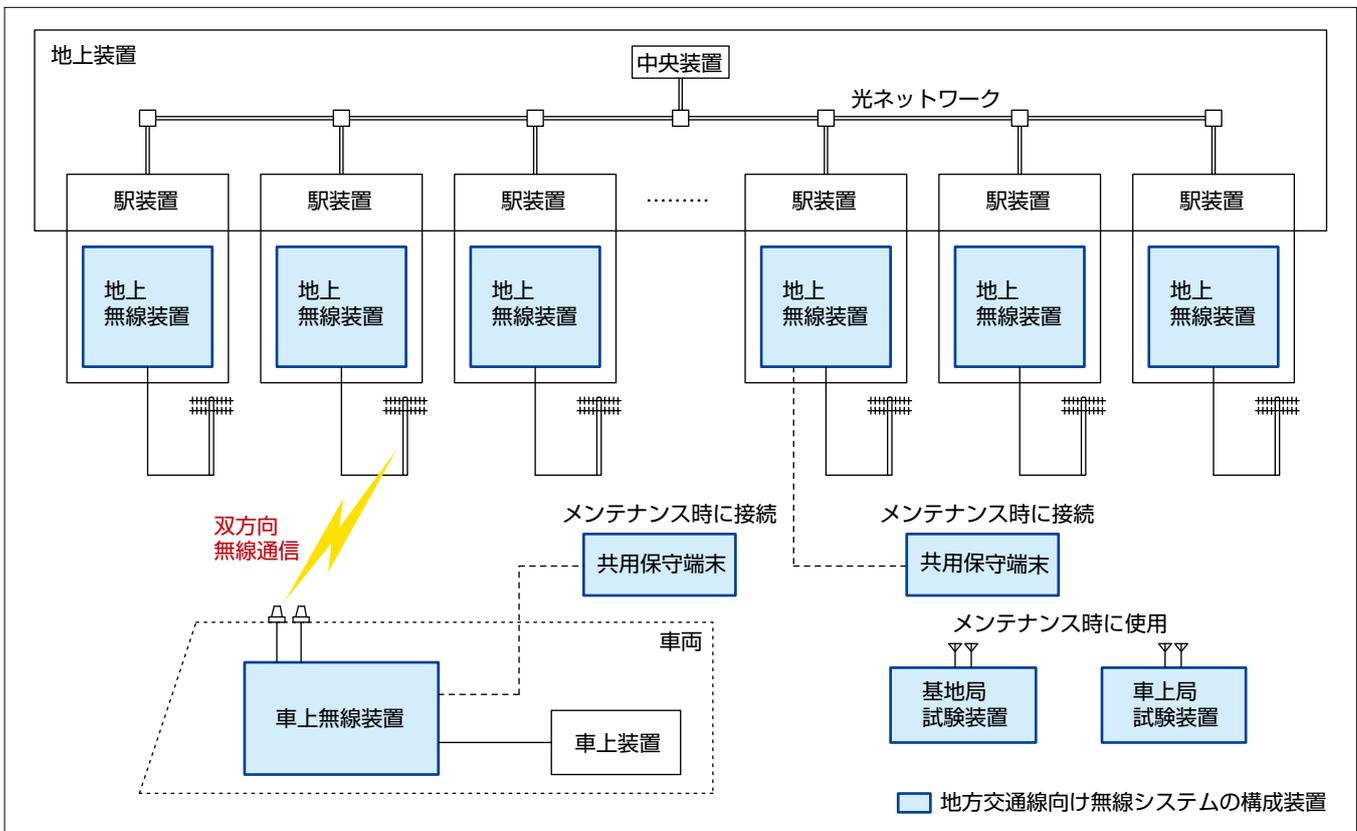
小海線は単線であり、上下線の列車の行き違いを駅の信号設備で制御するが、現行方式は設備を構成する機器数が多くて保守に人手がかかっており、非常ブレーキの警報解除や駅での出発信号の要求は運転士が手動で行っている。

新開発の列車制御システムでは列車が行き違う駅周辺で無線通信を行い、列車を制御する。無線化によって地上設備がシンプルになるため、地上子やケーブル等の削減が可能になり、保守業務が軽減できる。

また、無線通信エリア内にある各車両にリアルタイムで車両制御の情報を伝達し、エリア外の単線区間の車両の有無が確認できることで、保安度の向上にも貢献している。

列車制御に関連する設備であるため、無線通信には高い信頼性が求められるが、小海線では地形的な要因によって電波の伝搬環境が極端に変化する区間があったため、無線装置の性能だけでなく、机上での検討と現地の電波環境測定を繰り返し実施して地上アンテナの設置位置の最適化を行い、必要なカバーエリアを確保している。

この無線通信システムは、地方交通線向け無線式列車制御システムを構成する他の装置とともに小海線での実証確認を完了し、運用を開始する予定である。



## 地方交通線向け無線式列車制御システム全体と無線通信システムを構成する装置

東日本旅客鉄道(株)の地方交通線向け無線式列車制御システム全体と無線通信システムの構成を示す。無線通信システムは、地上側の装置に接続される地上無線装置、車上装置に接続される車上無線装置、及び、保守や試験に使用する共用保守端末、基地局試験装置、車上局試験装置で構成される。列車が通信エリア内に到達すると車上装置の指示によって無線でデータの送受信を行う。

## 1. ま え が き

三菱電機は、東日本旅客鉄道(株)が小海線で運用を開始する地方交通線向け無線式列車制御システムに使用される無線通信システム(地上無線装置、車上無線装置ほか)を受注し、東日本旅客鉄道(株)と共に開発を行った<sup>(1)</sup>。

小海線は、1本の線路で上りと下りの双方向の列車を運行する“単線”であり、上りと下りの列車の行き違いを行うために途中の駅など、列車が待避する線路がある場所で列車の制御を行っている。列車の行き違いを行う駅などには進入の可否を示す信号設備とレールの接続方向を決める分岐器(ポイント)があり、信号設備と分岐器を連動させることで単線区間に1列車しか進入できないように制御している。信号設備と分岐器を連動する装置のある駅を“連動駅”と称する。

地方交通線向けの無線式列車制御システムは、連動駅周辺で今回開発した地上無線装置、車上無線装置を使用して地上と列車間の無線通信を行い、列車を制御する。

小海線への導入に当たり、無線装置の性能だけでなく、地形などの環境条件を考慮した地上アンテナの配置検討や、運用中の車両への搭載方法の検討を行い、小海線に適した無線通信システムを開発した。

本稿では、地方交通線(小海線)向けの列車制御用無線通信システムと開発した機器について述べる。なお、文中で今回開発した列車制御用の無線通信装置を示す場合は“無線通信システム”、無線通信装置を含む列車制御システム全体を示す場合は“無線式列車制御システム”と区別して表現する。

## 2. 地方交通線向け無線式列車制御システム

### 2.1 従来の列車制御システム

小海線で運用されている従来方式の列車制御システムでは、連動駅に設置した信号設備とその信号設備にケーブルで接続されている地上子(線路上に設置される車両と通信をする地上側の機器)を介して信号情報を伝送し、車両は地上子の上を通過する際に信号情報を取得して列車制御を行っている。

図1に従来システムでの非常ブレーキ制御を示す。

車両が地上子を通過した際に、地上子から得られた信号情報に基づいて車両内の警報が鳴る。運転士は警報を

確認後に手動操作で解除し、車両を操作して所定の位置に停車する。このとき、警報の確認が行われず、適切な操作がされなかった場合は非常ブレーキ制御が働き、車両が前方の信号機の位置を超える前に停車する方式になっている。

また、連動駅を出発する際には運転士が出発時刻を確認し、手動で車上装置を操作して出発信号の制御を行うことによって単線区間への進路を確保する。車両が到着する連動駅側では、運転士の出発信号の制御を受信すると、連動駅間の列車在線等のチェックを行う。駅間の単線区間に列車が存在する場合は出発信号は停止の表示(停止現示)のままになる。駅間に列車在線等がない場合は出発信号が進行の表示(進行現示)になり、列車が駅を出発することが可能になる。このように、連動駅間の単線区間には1列車だけが走行できるようにして列車の安全を確保している。

従来システムはこのように列車制御を行っているが、連動駅周辺には複数の地上子や関連する信号設備、及びこれらの装置を制御するための多数のケーブルの敷設が必要になるため、システムを構成する装置の部品点数が多くなって保守点検に人手がかかっている。また、連動駅周辺での制御は、運転士の手動作業で行うシステムになっている。

### 2.2 地方交通線向け無線式列車制御システムの利点

小海線で運用を開始する、地方交通線向け無線式列車制御システム全体を図2に示す。

小海線向けの無線式列車制御システムは図2のように中央装置が光ネットワークを通じて全ての駅装置に接続されており、地上無線装置は信号等を制御する駅装置内に設置されている。車上無線装置は車両内に設置されており、車両の制御などを行う車上装置と接続している。

地上無線装置は連動駅周辺を無線通信エリアとして車上無線装置との間で双方向の無線通信を行い、地上無線装置は地上側から送られる信号情報等の情報を車両側へ、車上無線装置は車両側から送られる車両個別の番号(以下“車両ID”)や位置と速度の情報等を地上側へ送信する。

無線式列車制御システムでは、中央装置が駅装置を経由して各無線通信エリア内の車両から送られる車両IDと位

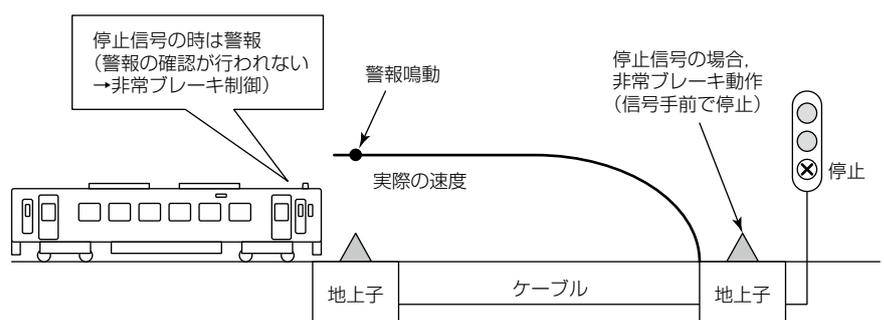


図1. 従来システムでの非常ブレーキ制御

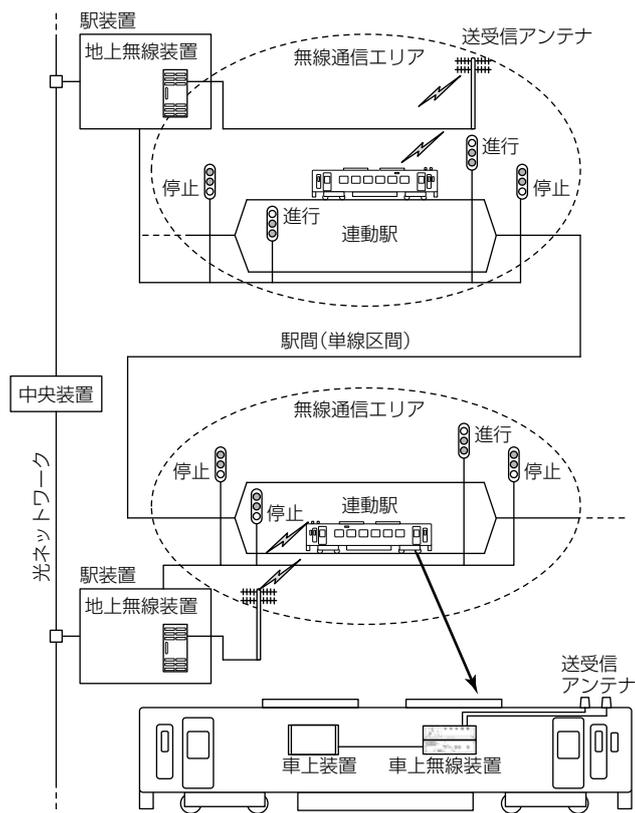


図2. 小海線に導入する無線式列車制御システム

置や速度の情報を得ることによって、運行中の車両がどこに在線しているかをリアルタイムで把握できるため、無線通信エリア外へ進出し、かつ、他の無線通信エリア内へ進入していない車両を特定できる。これによって、中央装置は無線のカバーエリア外である駅間(単線区間)についても車両の有無の判定ができ、保安度の向上に貢献している。

地上側の装置と車両間の通信に無線を採用している無線式列車制御システムでは従来システムに比べて地上設備がシンプルな構成にできるため、連動駅周辺の信号設備に関わる機器や接続するケーブルを削減することが可能になり、設置後の保守点検を容易にする効果が得られる。

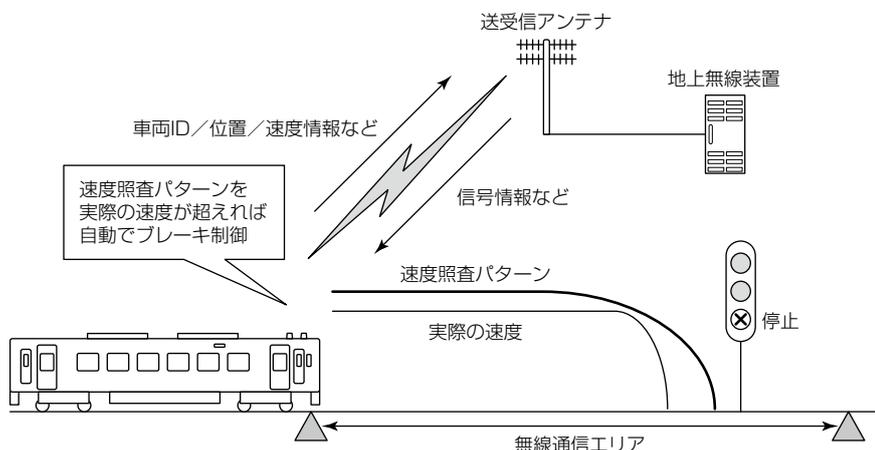


図3. 無線式列車制御システムでの自動ブレーキ制御

地上無線装置は駅装置を経由して中央装置から送られる信号情報をリアルタイムで無線通信エリア内の車両へ送信することで、各車両に対して自動ブレーキ制御を行うための情報等の制御情報を伝達している。

図3は無線式列車制御システムでの自動ブレーキ制御を示す。無線式列車制御システムでは無線通信によって信号情報を得た車上装置が、自らの位置と速度、及び、車両固有の情報などから設定される速度の限界を超過しないように自動でブレーキ制御を行うため、より安全な運行の実現が可能になる。

### 3. 小海線向け無線通信システムの開発

#### 3.1 小海線向け無線通信システム開発での注力点

東日本旅客鉄道(株)の無線式列車制御システムとしてはATACS(Advanced Train Administration and Communications System)<sup>(注1)</sup>が実用化されており、2011年10月から仙石線、2017年11月から埼京線で運用している<sup>(2)</sup>。

小海線の列車制御システムとATACSは異なるシステムであるが、列車制御に使われる無線通信システムとして無線に特化して比較した場合、表1に示すように特徴が異なっている。

このような小海線の特徴を考慮し、無線通信システムを開発するに当たって、次の項目を実現する必要がある。

(注1) 東日本旅客鉄道(株)開発の無線式列車制御システムである。

##### (1) 小海線特有の無線環境への適用

無線による列車制御を実現するためには高い信頼性が求められ、連動駅周辺の無線通信エリアへの進入時には確実に電波を捕捉して無線通信を開始すること、かつ、無線通信エリア内では通信を維持することが必須である。そのため、小海線の無線通信システムには同じ無線式列車制御システムであるATACSと同等の無線品質の確保が必要とされた。

小海線の走行エリアには山間部など地形的に電波を送受信しにくい環境があり、無線装置自体の性能だけでなく、アンテナ設置条件などの置局設計と合わせて所望の無線性能を得る必要がある。

##### (2) 車上無線装置の小型化

既存の車両に車上無線装置を搭載することが小海線導入の前提条件であった。小海線が運用されている車両は、ディーゼルエンジン又はディーゼルとモータのハイブリッドエンジンを動力とする気動車であり、床下にはエンジ

表 1. 小海線と埼京線の特徴の比較

条件	小海線	埼京線
無線通信エリア	連動駅周辺だけ通信	全線で通信
走行エリア	山間部と平野部	主に平野部
車両実装	車内の汎用器具箱	車両床下吊(つり)下げ
車両電源	車上発電機	外部直流電源から
温度環境	高地で冬場は低温	冬場も比較的温暖

ン設備を始めとして多数の装置が搭載されているため、車上無線装置を設置する場所がない。そのため、車上無線装置の搭載位置は車両内部になったが、設置スペースの最小化のため、極力、装置を小型にする必要がある。

### (3) 車両実装

車上無線装置は、小海線で運用されている複数の車両に同じ設置条件で搭載するため、設置条件を共通化する必要がある。そのため、車上無線装置は汎用の器具箱内に設置できる構造にする必要がある。

### (4) 電源と電圧変動

車上無線装置は、車両から供給される電源電圧に対応する必要がある。走行中にディーゼルエンジンの出力が変動すると、車両の発電機から供給される電源電圧も変動するため、電源装置には電圧変動に耐えられる性能が必要である。

### (5) 温度環境

小海線の走行区間は高地であり、車両は冬場には低温下に置かれる。そのため、車上無線装置は低温の環境に対応することが必要である。

## 3.2 小海線向け無線通信システムの構成

小海線向け無線通信システムは、車上装置と接続する車上無線装置、地上側の装置と接続する地上無線装置、及び、保守装置である共用保守端末、基地局試験装置、車上局試験装置からなる。

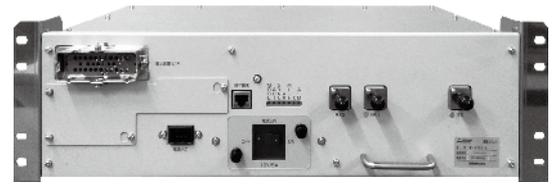
図2のとおり、車上無線装置は各車両に搭載され、地上無線装置は駅装置に設置されて、無線通信を担っている。

## 3.3 小海線向け車上無線装置の開発

車上無線装置は小海線向けに小型の装置を新たに開発した。開発した車上無線装置を図4に示す。

車上無線装置は車上装置との通信機能や無線の制御と送受信などの機能を持つ“統合無線ユニット”(図4(a))、及び、送受信する電波のフィルタなどを内蔵した高周波部と車両の発電機から供給される電源に対応した電源装置を搭載する“高周波・電源ユニット”(図4(b))の、2ユニットの構成にしている。

車上無線装置は2.3節の内容を実現するために、次の特長を備えている。



(a) 統合無線ユニット



(b) 高周波・電源ユニット

図4. 車上無線装置の構成ユニット

- (1) 小海線では地形的に電波が遮られることや、山肌などの反射でのマルチパスフェージング<sup>(注2)</sup>が発生することなどが懸念されるため、受信を行う機能には複数のアンテナで電波を受信して処理することで受信性能を向上させるダイバシティ受信技術を適用し、受信耐性を強化している。
- (2) 器具箱内に収められるように、車上無線装置の外形寸法は、統合無線ユニットを120(H)×430(W)×300(D)(mm)、高周波・電源ユニットを100(H)×430(W)×300(D)(mm)にした。
- (3) 各ユニットには器具箱内に取付けが可能な構造と強度を持たせた。
- (4) 小海線で運用される車両の電圧変動に対応する電源を新規に開発し、“高周波・電源ユニット”に搭載した。
- (5) 車上無線装置の各構成部品を厳選し、低温下の環境での正常起動を実現した。低温下の環境で起動することは、装置の評価試験で確認した。

(注2) 送信された電波が反射や散乱するために時間差がついて受信側に届くことで、送信元とは異なる電波の強弱が発生する現象である。

## 3.4 小海線向け地上無線装置の開発

小海線向けの地上無線装置(図5)はダイバシティ受信対応の無線機ユニットを採用することで高い要求性能である仙石線や埼京線で運用中のATACSと同等の無線品質の確保を実現できるハードウェア構成にした。

地上側の装置と地上無線装置とのインターフェースは、小海線独自のインターフェースが採用されたため、地上無線装置のソフトウェア開発で必要機能の実装を行った。

この小海線向けの新規ソフトウェアの開発に当たっては、対向する地上側の装置の動作を模擬する試験専用のアプリケーションを作成し、ソフトウェアを搭載した地上無線装置と組み合わせて徹底した動作検証を実施している。

地上無線装置と移動する車両上の車上無線装置は無線通



図5. 地上無線装置

信エリア内で確実に無線通信を行わなければならないが、小海線の走行エリアには山間部が含まれており、見通しが利かず送受信する電波の強度が低下する箇所や、マルチパスフェージングの影響を受ける箇所などの、車両の走行中に電波環境が極端に変化する箇所が多数存在する。

小海線向け地上無線装置のハードウェアもダイバシティ受信技術などを適用しており、各種の試験や測定によって埼京線で運用されている無線装置と同等の性能を持つことを確認しているが、装置の性能だけでなく、小海線の地形的に無線通信を阻害する要因に対しても要求性能を確保するために対策が必要であった。

そのため、地上無線装置の各機器の開発と並行してアンテナ設置場所を最適化するための置局設計を行い、さらに、アンテナの設置工事を行う前にアンテナの設置予定場所で地上無線装置の技術実証機を用いた地上-車上間の電波測定試験を行って、送受信性能を確認した上で最適なアンテナ設置場所を決定した。

小海線向け無線通信システムはこのようなアンテナ設置を含めたシステム全体で、目標であるATACSと同等の無線通信品質を実現している。

### 3.5 無線通信システムを構成するその他の装置

小海線向け無線通信システムを構成する装置として、車上無線装置／地上無線装置のほかに、共用保守端末、基地局試験装置、車上局試験装置がある。

これらの装置は、車上無線装置／地上無線装置の設置時の動作確認試験や、保守点検でのシステムの健全性の確認など、小海線向け無線通信システムを長期間安定して運用できるようにするために必要な装置である。

共用保守端末は1台の装置に車上無線装置／地上無線装置／基地局試験装置／車上局試験装置の4種の装置に対応したアプリケーションを搭載し、用途ごとにアプリケーションを切り替えて使用できる共用端末として利便性を高めた装置にした。

### 3.6 小海線向け無線通信システムの検証

小海線向けの無線通信システムは、2015年8月に技術実証用の無線機と他社製の制御装置を組み合わせた試験で、無線通信の導通等の基本事項の確認を実施した。

2017年10～12月には小海線で実際に運用する無線装置を組み込んだ、無線式列車制御システム全体の組合せ試験を行い、実際に運用する形態を模擬したシステム検証を行った。

その後、2018年1月に地上無線装置、2018年8月に車上無線装置の初号機を納品し、小海線での設置工事を経て、2019年4月から実際に列車を走行させたシステム検証を実施して運用環境で実証確認を行い、2020年2月にシステム検証を完了した。

これらの検証を経て、小海線向けの無線通信システムが運用可能であることを確認できた。

## 4. む す び

東日本旅客鉄道(株)の小海線向け列車制御用無線通信システムの開発について述べた。このシステムの実現によって、①高い信頼性の無線通信システムの実現、②小型の車上無線装置の実現による車内設置の省スペース化、③小海線特有の環境への対応などを実現し、列車制御に用いる無線通信システムを実用化できた。この開発で得られた技術を応用し、今後の新規無線機の開発につなげていく。

今後も無線技術を活用したシステムを実現し、列車の安全・安定輸送を提供できるように貢献していく。

### 参考文献

- (1) 東日本旅客鉄道(株)：JR東日本ニュース 小海線への無線式列車制御システムの導入について (2020)  
[https://www.jreast.co.jp/press/2019/20200310\\_ho01.pdf](https://www.jreast.co.jp/press/2019/20200310_ho01.pdf)
- (2) 東日本旅客鉄道(株)：JR東日本ニュース 埼京線への無線式列車制御システム(ATACS)の使用開始について (2017)  
<https://www.jreast.co.jp/press/2017/20171004.pdf>