

大手私鉄向け150MHz帯空間波デジタル列車無線システム

杉浦 哲広*
延澤 大*
手嶋 牧子*

150MHz Band Digital Train Radio System for Major Private Railway

Tetsuhiro Sugiura, Masaru Nobesawa, Makiko Teshima

要 旨

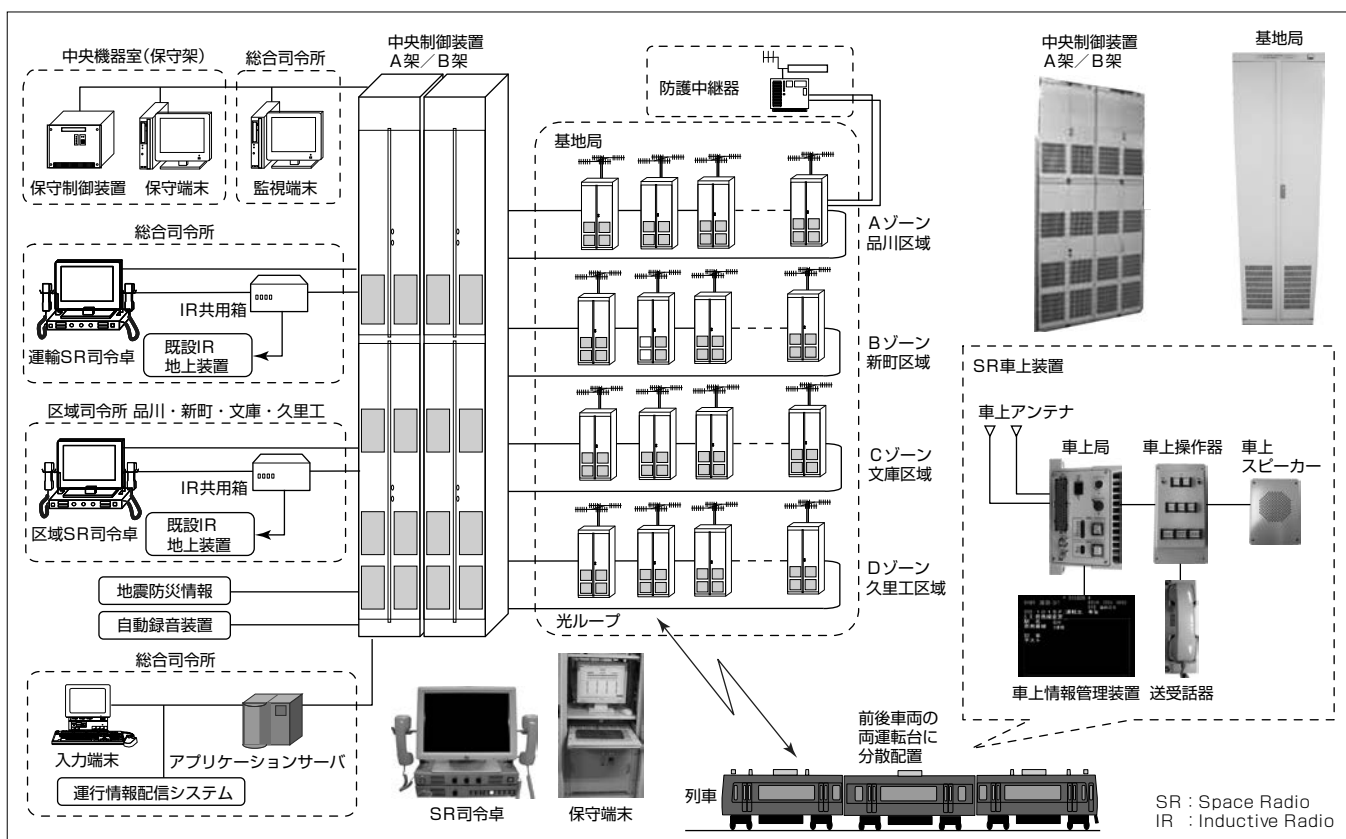
現在、私鉄の列車無線のほとんどは、アナログの空間波方式又は誘導無線方式で運用されているが、今後は、無線回線品質の向上、データ通信やアプリケーション連携によって、デジタル化が加速する見込みである。

三菱電機は、私鉄に割り当てられている150MHz帯向けに、最新の空間波無線技術を適用したデジタル列車無線システムを開発した。

2015年に京浜急行電鉄(株)の全線87kmへ納入した最新のデジタル列車無線システムは、高品質な音声通信や列車運行情報等のデータ通信の提供によって列車の安全・安定輸送に貢献するものである。

主な特長は次のとおりである。

- (1) 高品質な通信と雑音のないクリアな通話
独自の送信時間ダイバーシチ・適応等化受信技術や音声コーデックを適用して、高品質な無線通信と通話を実現した。
- (2) 自動無線チャンネル切替えによる安全性向上
区域境界で車上局のチャンネルを自動で切り替えるシステムを実現したことで、切替え漏れや誤切替を防止して安全性を向上した。
- (3) 新旧システムのシームレスな運用
司令員や列車乗務員の操作性を考慮して、新旧システムを統合した司令卓等によるシームレスな運用を実現した。
- (4) 列車内の省スペース化
省電力パワーアンプの採用、高密度実装及び無線装置・共用器等を一体化して、装置の小型化を実現した。



大手私鉄向け150MHz帯空間波デジタル列車無線システム

京浜急行電鉄(株)向けのデジタル列車無線システムの構成を示す。中央機器室に中央制御装置、各司令所に司令卓、線路沿線に基地局やアンテナ、列車に車上装置を設置することで、電波を使用して地上と列車間に回線を構築して、司令員と列車乗務員間で通話や列車運行等のデータ通信を行う。トンネル区間等、列車間の直接防護電波が届かない場所に防護中継器を設置して防護電波を中継することで、防護受報エリアを確保している。

1. ま え が き

高速走行する列車と地上との間の無線通信には、安全・安心の厳しい要求に対応するため、高品質、高安定性、高速伝送等が求められる。当社は、これまでに列車無線システムの切替えに多く携わり、関連する技術・ノウハウを蓄積してきた。

京浜急行電鉄(株)の列車無線は、1968年以来、誘導無線(IR)のアナログ方式で運用していたが、通話品質を向上させて安全・安定輸送を確保するため、外来ノイズに強い当社の空間波(SR)方式のデジタル列車無線に更新することになった。

当社は、私鉄に割り当てられている150MHz帯向けに、最新の空間波無線技術を適用したデジタル列車無線システムを開発して、2015年に京浜急行電鉄(株)の全線87kmへ納入した。このシステムは、高品質な音声通信や列車運行情報等のデータ通信を提供して、列車の安全・安定輸送に貢献している。

本稿では、このシステムの概要と特長について述べる。

2. デジタル列車無線システム

2.1 システム構成

デジタル列車無線システムは、中央機器室に中央制御装置、各司令所に司令卓、線路沿線に基地局やアンテナ、列車に車上局やアンテナを設置することで、地上と列車間にデジタル無線回線を構築して、司令員と列車乗務員間で電波を使用して通話や列車運行等のデータ通信を行っている。

トンネル区間等、列車間の直接防護電波が届かない場所には、防護中継器を設置して防護電波を中継することで防護受報エリアを確保している。

また、全線を品川区域・新町区域・文庫区域・久里工区域の4区域に分割して運輸司令と各区域司令が連携して運行管理を行っているため、基地局のゾーンを4区域に分割して、司令卓を総合司令所と各区域司令所に分散した配置構成としている。

地上の基地局は数kmおきに設置して、区域ごとに光回線でループ接続することで中央制御装置と基地局間の回線を構築しており、基地局と車上局間は無線回線で通信を行っている。

装置の主要機能を表1に示す。

2.2 無線諸元

地上と列車間の列車無線通信は、FDMA(Frequency-Division Multiple Access)／SCPC(Single Channel Per Carrier)方式のデジタル無線回線で構築している。無線諸元を表2に示す。

2.3 機能

このシステムは、次の機能を備えている。

表1. 装置の主要機能

装置名	設置場所	機能
中央制御装置	中央機器室	・通話・データ通信の回線制御 ・基地局との回線接続 ・司令卓やサーバとのインタフェース
保守制御装置	中央機器室	・監視制御・保守運用情報の一元管理、制御
保守端末	中央機器室 区域機器室	・各機器の動作状態監視・制御用操作・モニタ表示
監視端末	総合司令所	・各機器の動作状態監視用操作・モニタ表示
司令卓	総合司令所 区域司令所	・通話・データ通信用操作・モニタ表示(司令員用)
IR共用箱	総合司令所 区域司令所	・新旧システムでの通話・モニタの共用制御
基地局	線路沿線	・車上装置との無線通信(通話・データ通信) ・中央制御装置との回線接続
防護中継器	線路沿線	・防護電波中継 ・基地局との回線接続
車上装置	列車内	・基地局との無線通信(通話・データ通信) ・司令員との通信制御 ・通話・データ通信用操作・モニタ表示(列車乗務員用)

表2. 無線諸元

項目	仕様
伝送路	空間波
アクセス方式	FDMA／SCPC方式
周波数帯	150MHz帯4対波
周波数間隔	6.25kHz
変調方式	$\pi/4$ シフトQPSK
伝送速度	9.6kbps
基地局ダイバーシチ構成	送信時間ダイバーシチ 受信ダイバーシチ
車上局ダイバーシチ構成	受信ダイバーシチ

QPSK: Quadrature Phase Shift Keying

(1) 通話・放送機能

- ①一斉司令通話：司令員と在線している全列車乗務員との間の通話
- ②個別司令通話：司令員と指定列車乗務員との間の通話
- ③音声個別通話：司令卓の操作による一斉司令通話から個別司令通話への切替え通話
- ④緊急割り込み通話：列車から車上操作器を操作することで、通話中の司令員と緊急割り込み通知で通話
- ⑤時報放送：定時刻に列車で時報を放送

(2) 非常系機能

- ①防護発報：該当列車から在線している周辺の列車への通知
- ②防護中継：トンネル区間等、列車間の直接防護電波が届かない場所に防護中継器を設置することで、防護電波を中継
- ③防護発報司令通知：防護発報した該当列車から司令員への防護発報の通知
- ④自動地震放送：他システムからの地震防災情報を在線中の全列車へ通知する、列車乗務員への放送
- ⑤手動地震放送：司令卓の操作で地震防災情報を在線中の全列車へ通知する、列車乗務員への放送

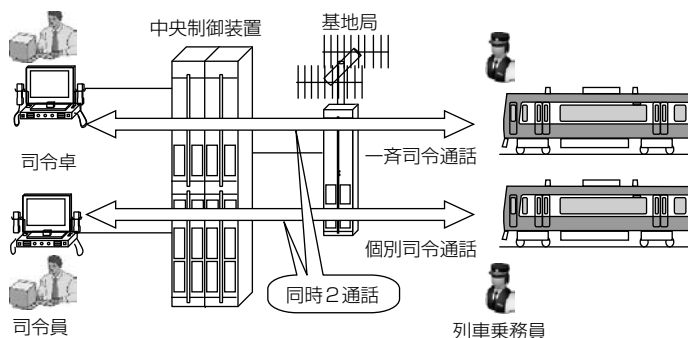


図1. 各区域での同時2通話の実現

(3) データ伝送機能

- ① 運行情報配信：列車の運行状況や沿線情報などを全車両のモニタ装置へ表示
- ② 乗務員支援情報配信：災害情報等の乗務員支援情報を全車両のモニタ装置へ表示
- ③ 故障情報配信：車両モニタ装置で検知した装置の故障情報や誤設定を地上側へ通知

(4) その他制御・保守機能

- ① 自動無線チャンネル切替え：列車が異なる区域を通過する際の、車上局の無線チャンネルの自動切替え
- ② 音声モニタ：司令員と列車乗務員との間の通話を、中央機器室や司令所及び駅へモニタ出力
- ③ 通話記録：司令員と列車乗務員間の通話の常時録音
- ④ 遠隔監視制御：監視端末及び保守端末で、各機器やネットワーク回線の動作状態を遠隔で監視制御

2.4 無線回線の構成

列車無線は、区域ごとに無線通信制御用の1回線、通話用の2回線、運行情報などのデータ通信用の1回線の合計4回線の構成である。

通話用回線を2回線持っているため、各区域で同時に2通話(一斉司令通話と個別司令通話)実施可能である(図1)。

また、無線通信制御用回線及びデータ通信用回線を通話用回線と独立して設けているため、通話中であっても緊急割り込み通知、運行情報、乗務員支援情報などのデータ伝送を同時に行える。

3. システムの特長

3.1 高品質な通信と雑音のないクリアな通話

隣接する複数の基地局から同一周波数の電波を同時に送信すると、車上局で両方の電波を受信して無線が干渉(ビート干渉)を起こす。そこで、先行波に対して時間を遅らせて同一内容を送信する“送信時間ダイバーシチ”，及び波形歪(ひずみ)成分を適応的に推定して受信信号から波形歪の影響を回避する“適応等化受信技術”を適用することで、同一波電波干渉による通信品質劣化を防ぎ、全線にわたって高品質な無線回線を確保した(図2)。

また、当社が独自に開発した音質重視の符号構成とした

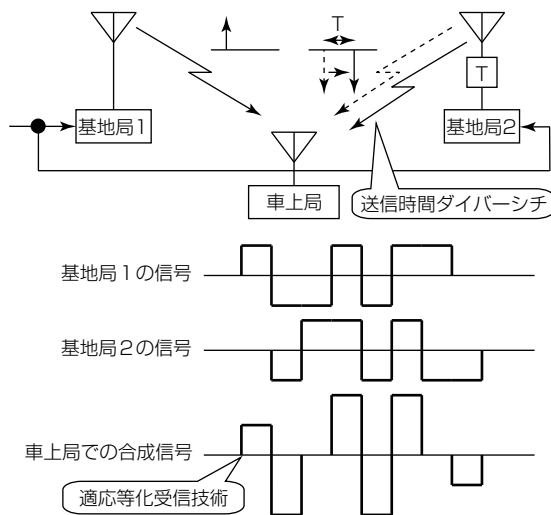


図2. 同一波干渉対策(ビート干渉対策)

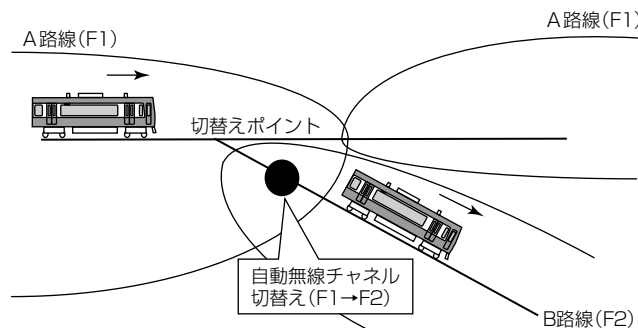


図3. 自動無線チャンネル切替え

“列車無線専用音声コーデック(Rail system-Code Excited Linear Prediction: RL-CELP)”を適用することで、全線雑音のない高音質な通話を実現して、地上の司令員と列車乗務員との間の正確な通話をサポートしている。

3.2 自動無線チャンネル切替えによる安全性向上

全線を4区域に分割して区域ごとに異なる通話やデータ通信を行うため、それぞれ異なる無線チャンネル(周波数)での運用が必要である。

そこで、列車運行の安心・安全性、運用利便性向上を図るため、列車が区域境界を通過する際に車上局の無線チャンネルを自動的に切り替えて列車乗務員のチャンネル切替え漏れや誤切替えを防止するシステムを構築した(図3)。

3.3 新旧システムのシームレスな運用

車上設備は、数年をかけて全編成更新予定であり、システム移行期には、地上設備は既設IRシステムを併設して既設IRシステムとSRシステムを併行運用する。

司令員や列車乗務員の操作性を考慮して、新旧システムを統合した司令卓や車上操作器等を導入したシームレスな運用を実現した(図4)。

3.4 列車内の省スペース化

車上局は、列車無線、防護無線及びこれらを1つのアンテナで運用するための共用器で構成され、従来はそれぞれ

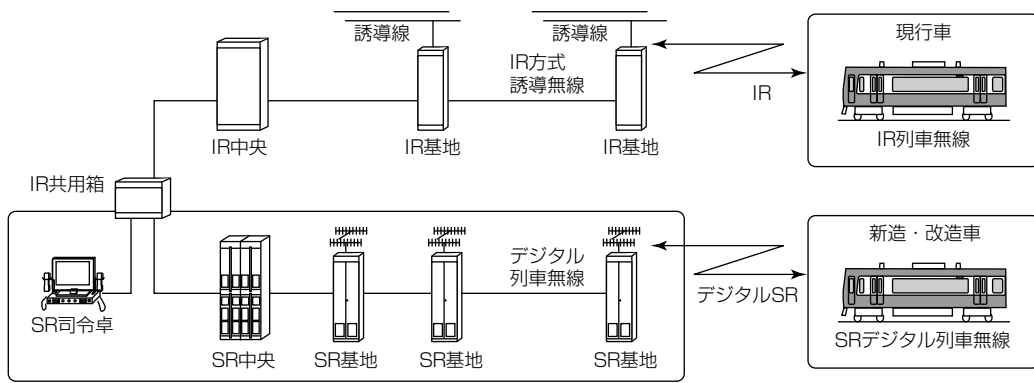


図4. 新旧システムの併行運用

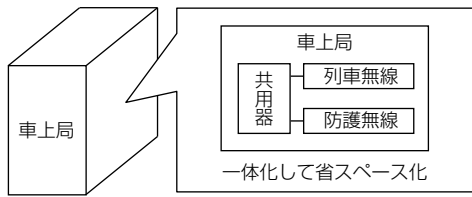


図5. 車上局構成

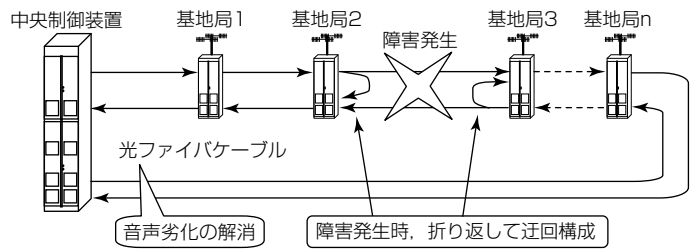


図8. アプローチ回線の光ネットワーク化

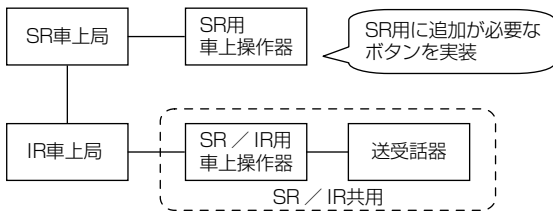


図6. 装置の共用化

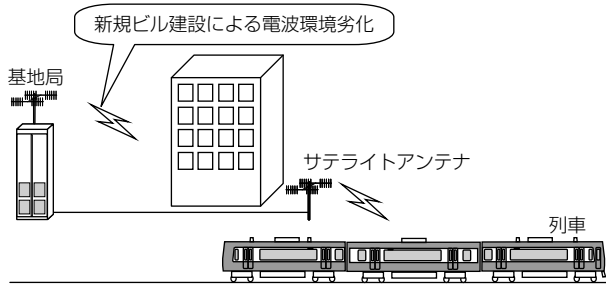


図7. サテライトアンテナによるエリア拡張

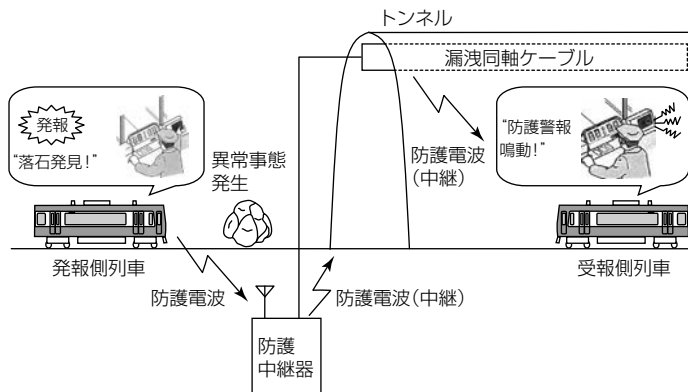


図9. 防護電波の発報及び中継

を別装置としていたため列車内のスペース及び配線が多く必要であった。そこで、車内の限られた空きスペースに設置可能とするため、装置の一体化を行って省スペース化を図った(図5)。

また、システム移行期におけるIRシステムの併用を考慮して、IRシステムの車上操作器と送受信器を共用する構成にすることで、運転台への実装が必要な機器の省スペース化を図った(図6)。

3.5 その他の特長

(1) 周辺環境の変化に柔軟に対応

沿線のビル建設など、通信環境の変化による無線品質劣

化の際には、必要な箇所にサテライトアンテナを追設するだけで容易にエリアを拡張できる(図7)。導入時も山間部にサテライトアンテナを適切に配置して、サービスエリアを確保した。

(2) アプローチ回線の光ネットワーク化

中央制御装置と基地局との間のアプローチ回線を、デジタル信号によって光ネットワーク化することで、従来のアナログ方式の課題であった音質劣化を解消した。さらに、中央制御装置からゾーン内全基地局を光ファイバケーブルで直列に接続した2重化ループ構成にすることで、ケーブルなどの回線障害発生時でも継続運用が可能となる迂回(うかい)構成で信頼性を向上させた(図8)。

(3) 防護電波中継による防護受信エリア確保

トンネル区間など列車間の直接防護電波が届かない場所に防護中継器を設置して漏洩(ろうえい)同軸ケーブル及び

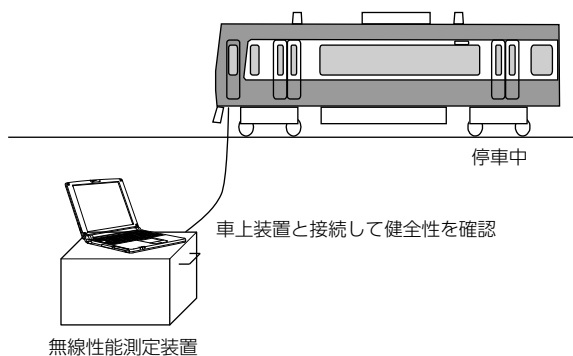


図10. 車上装置の健全性の確認



図11. 監視端末／保守端末画面イメージ

サテライトアンテナを介して防護電波を中継することで、防護受報エリアを確保した(図9)。

(4) 無線性能測定装置による装置健全性の確認

デジタル更新した車上装置の健全性を確認するため、無線性能測定装置を各車両検車区に導入して、車上装置の故障や無線性能の劣化などを早期に発見して対処できるようにした。無線性能測定装置を車上装置近傍に持ち込み、車上装置

を取り外すことなく無線性能を自動で測定できる。併せて、音声導通確認、車上操作器のスイッチ動作確認機能も実装して、車上装置の健全性や迅速な故障要因の特定を確認可能としている(図10)。

(5) 遠隔監視制御によるメンテナンス性の向上

監視端末及び保守端末では、各装置やネットワーク回線の動作状態の遠隔監視、各装置の冗長構成部位の系切替えなどの遠隔装置制御、各装置の遠隔ログ収集機能を備える(図11)。この機能によって、司令員、保守員が司令所及び中央機器室で各装置やネットワーク回線の集中監視や遠隔制御を行うことができ、メンテナンス性を向上させた。

4. む す び

2015年に京浜急行電鉄(株)の全線87kmへ納入した150MHz帯空間波デジタル列車無線システムの概要と特長について述べた。

今後も、これまで培ったデジタル列車無線の技術を活用して周波数資源の有効利用を図り、高品質な無線回線を提供することで、列車の安全・安定輸送に寄与する。また、新たなサービス、アプリケーションとの連携で付加価値を創造して、鉄道分野の発展や社会インフラの構築に貢献していく。

このシステムの開発に当たり、多大なご指導をいただいた京浜急行電鉄(株)を始めとする関係各位に深謝する。

参 考 文 献

- (1) 富岡勇人, ほか: 京浜急行電鉄におけるデジタル列車無線の導入, 鉄道と電気技術, 27, No.1, 43~47 (2016)
- (2) 三瀬敏生, ほか: デジタル列車無線システム—東日本旅客鉄道(株)首都圏在来線への導入—, 三菱電機技報, 82, No.2, 167~170 (2008)