特集論文

私鉄／地下鉄向け150MHz帯空間波デジタル列車無線システム

杉浦哲広*
清本和彦*
手嶋牧子*

150MHz Band Digital Train Radio System for Private Railway／Subway

Tetsuhiro Sugiura, Kazuhiko Kiyomoto, Makiko Teshima

要　旨

私鉄／地下鉄の列車無線は，現状ほとんどがアナログ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や信頼性の強化，データ通信やアプリケーション連携等の付加価値を求めて，デジタル化が加速する見込みである。又，国土交通省の省令一部改正に伴い，車両デッドマン通報(列車乗務員の非常事態の通報)，客室非常通報，車内放送の連携や音声とデータの同時伝送も実現する必要性が出てきた。

このような状況下で，三菱電機は，最新の空間波無線技術を適用した私鉄／地下鉄に割り当てられている150MHz帯のデジタル列車無線システムを開発した。高品質な無線回線を提供することで，列車の安全・安定輸送に貢献している。

本稿では，2012年に千葉都市モノレール㈱の新型車両投入に合わせて納入した最新のデジタル列車無線システムについて述べる。

このシステムの主な特長は次のとおりである。

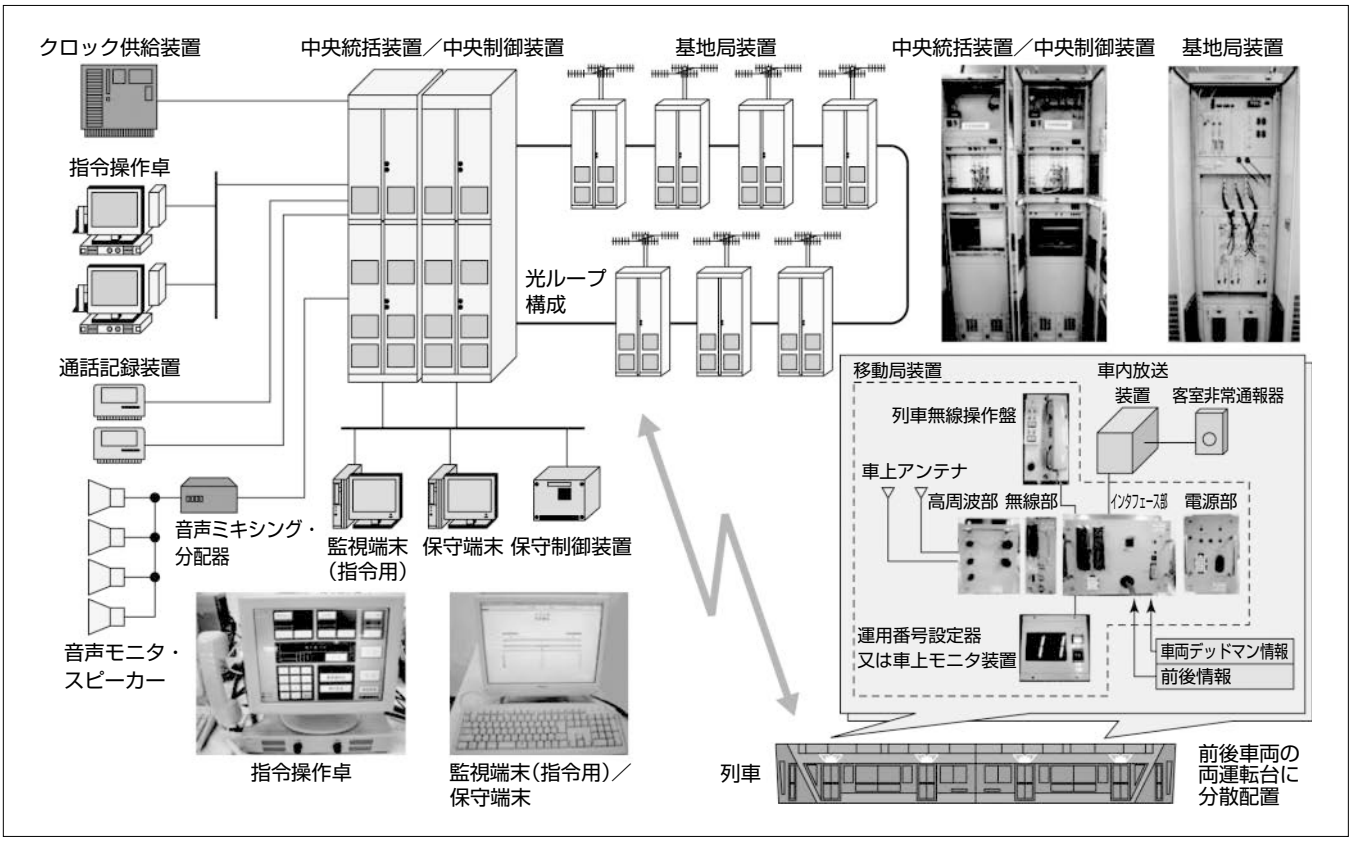
①送信時間ダイバーシチ・適応等化受信技術を適用し，同一波電波干渉による通信品質劣化を防ぎ，高品質な無線回線を不感地帯なく提供

②車両デッドマン通報，客室非常通報，車内放送と接続し，非常時の迅速な対応を支援。又，移動局の分散配置2重化制御によってシステム信頼性を向上

③基地局，移動局に複数CH(チャネル)対応の無線機を搭載し，音声とデータの同時伝送を実現

④誤り訂正を備えた列車無線専用の高音質な音声コーデックを適用し，クリアな音質を実現

⑤移動局を機能ブロックごとにユニット化することで，車両内スペースを有効利用し，柔軟に設置可能



私鉄／地下鉄向け150MHz帯空間波デジタル列車無線システム

千葉都市モノレール㈱向けデジタル列車無線システムの構成を示す。送信時間ダイバーシチ・適応等化受信技術を適用し，空間波デジタル方式で同一周波数の複数基地局同時送信における，同一波干渉による通信品質劣化を防ぎ，高品質な無線回線を不感地帯なく提供し，車両デッドマン通報，客室非常通報，車内放送を連携することで，非常時の迅速な対応を支援する。

*コミュニケーション・ネットワーク製作所

1. まえがき

高速走行する列車と地上間の無線通信には，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，列車無線システムのデジタル無線方式への切換えに多く携わり，関連する技術・ノウハウを蓄積してきた。

私鉄／地下鉄の列車無線は，現状，ほとんどがアナログ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や信頼性の強化，データ通信やアプリケーション連携等の付加価値を求めて，デジタル化が加速する見込みである。

このような状況下で，当社は，最新の空間波無線技術を適用した私鉄／地下鉄に割り当てられている150MHz帯のデジタル列車無線システムを開発した。

本稿では，2012年に千葉都市モノレール㈱の新型車両投入に合わせて納入した最新のデジタル列車無線システムの概要と特長について述べる。

2. システム概要

2.1 システム構成

このシステムは，中央統括装置，中央制御装置，基地局装置，移動局装置等で構成し，地上と列車間の通信はデジタル無線回線を使用する。各装置の機能を**表1**に示す。

2.2 無線諸元

地上と列車間の無線通信システムは，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。

表1．各装置の機能

装置名	設置場所	機能
中央統括／制御装置	中央機器室	①音声通信，データ通信の回線制御 ②基地局装置とインタフェース ③指令操作卓，外部装置とインタフェース
基地局装置	沿線	①移動局装置との無線通信 ②中央制御装置とインタフェース
指令操作卓	指令所	①指令員が操作する，音声通信，データ通信のユーザーインタフェース
保守制御装置	中央機器室	①監視制御及び保守運用に関わる情報を一元管理
移動局装置	車両	①基地局装置との無線通信 ②指令との音声通信制御 ③車両の他装置とのインタフェース

表2．無線諸元

項目	仕様
伝搬路	空間波
アクセス方式	FDMA／SCPC方式
周波数帯	150MHz帯
周波数間隔	6.25kHz
変調方式	π/4シフトQPSK
伝送速度	9.6kbps
送信出力	基地局装置：4W，移動局装置：1W
ダイバーシチ構成	基地局装置：送信時間ダイバーシチ 受信ダイバーシチ 移動局装置：受信ダイバーシチ

QPSK：Quadrature Phase Shift Keying

2.3 機能概要

このシステムでは，次の機能を備えている。

(1) 音声通話・放送機能
- ①一斉指令通話：指令員と在線全列車乗務員間の音声通話
- ②個別指令通話：指令員と指定列車乗務員間の音声通話
- ③客室非常通報：指令員と列車乗客間の音声通話
- ④一斉車内放送：指令員から在線全列車乗客への音声放送
- ⑤個別車内放送：指令員から指定列車乗客への音声放送

(2) データ伝送機能
- ①車両デッドマン通報：列車運転中に列車乗務員の意識喪失などの事態が発生した場合に，移動局装置で車両からのデッドマン情報を検出し，指令員に対して列車乗務員の異常事態を通報
- ②運用番号及びキロ程(移動距離)伝送：車両の運用番号及びキロ程を指令員に通知

(3) 音声モニタ機能
- ①音声モニタ：指令員と列車乗務員，列車乗客間の音声を，中央機器室及び駅にモニタ出力

(4) 通話記録機能
- ①通話記録：指令員と列車乗務員，列車乗客間の音声を常時録音

(5) 遠隔監視制御機能
- ①監視制御：保守端末及び監視端末(指令用)によって，遠隔で各機器及びネットワーク回線の動作状態を監視制御

3. システムの特長

3.1 同一波干渉対策技術による高品質な無線回線の提供

従来の空間波方式のアナログ列車無線システムでは，複数基地局から同一周波数を同時に送信すると，同一波干渉，ビート干渉等による通信品質劣化の懸念があった。そのため，このシステムでは，基地局送信時間ダイバーシチ及び移動局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，高品質な無線回線の提供を可能とした(**図1**)。

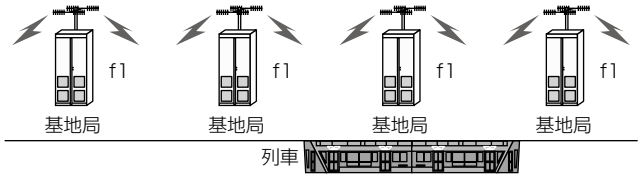


図1．同一周波数による複数基地局同時送信のイメージ

3.2　不感地帯・弱電界対策

将来的には，延伸やビル建設等によって周囲電波環境の変化が生じ，無線回線品質が劣化する場合が考えられる。その場合には，**3.1節**で述べた干渉対策技術を適用することによって，このシステムでは，基地局の増設又はサテライトアンテナの設置をするだけで，容易に回線品質の劣化を解消できる(**図2**)。

3.3　車両デッドマン通報，客室非常通報，車内放送との接続

私鉄特有のワンマン運転に対応するため，このシステムでは，車両デッドマン装置，客室非常通報器，車内放送装置を移動局装置と接続することによって，例えば，列車運転中に乗務員の意識喪失などの非常事態が発生した場合，①移動局装置で車両デッドマン情報を検出後，②車両デッドマン通報で指令員に通知し，③指令員が車内放送で列車乗客に状況連絡し，④客室非常通報で指令員と列車乗客間の相互通話を可能とした。このように，非常事態が発生した場合，確実に，指令員と列車乗務員，列車乗客間で連絡が取れるシステムを構築した(**図3**)。

3.4　移動局装置の分散配置2重化制御による信頼性向上

3.3節で述べたこのシステムの重要機能である，車両デッドマン通報，客室非常通報，車内放送の信頼性を向上させるために，移動局装置を前後車両の両運転台に各々1セットずつ分散配置し2重化制御する構成をとることによって，信頼性を向上させた。

(1)　前後情報による接続運用系の選択

前車両，後車両を表す前後情報の“前”が入力された系の移動局装置で，車両デッドマン通報と客室非常通報，車内放送の接続運用を行うための制御としているため，両運転台の2台の移動局装置からの送信電波干渉が発生せず，移動局装置からの送信電波が指令員に確実に届くことを実現した。また，立ち上がり時など，前後情報が不定の場合，あらかじめ設定した系で車両デッドマン通報と客室非常通報，車内放送との接続運用を行う制御とし，確実な系選択を実現した(**図4**)。

(2)　移動局装置異常発生時の接続運用系の切換え制御

車両内に引き通し線を敷設することで，両運転台の移動局装置間で相互に移動局装置のALM(アラーム)情報を送受し，異常発生時は，正常系で車両デッドマン通報と客室非常通報，車内放送との接続運用を行うよう切換え制御を実現した(**図5**)。

(3)　送信タイミング制御

移動局装置で，非運用系に切り替わらない装置故障が発生した場合，両運転台移動局装置の接続運用系が双方運用系の状態となる。この場合，移動局装置の送信タイミングをランダム制御することによって，両運転台移動局装置からの送信電波干渉を回避し，移動局装置からの送信電波が指令員に確実に届くことを実現した(**図6**)。

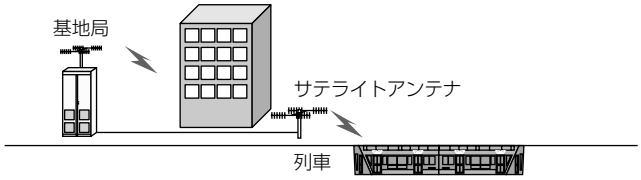


図2．サテライトアンテナによる不感地帯・弱電界対策のイメージ

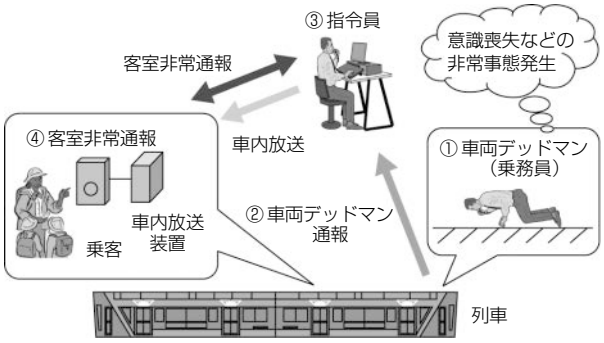


図3．車両デッドマン通報，客室非常通報，車内放送との接続イメージ

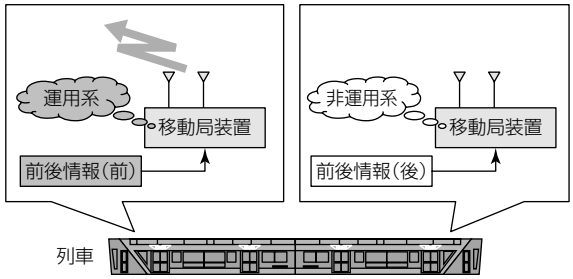


図4．前後情報による接続運用系の選択

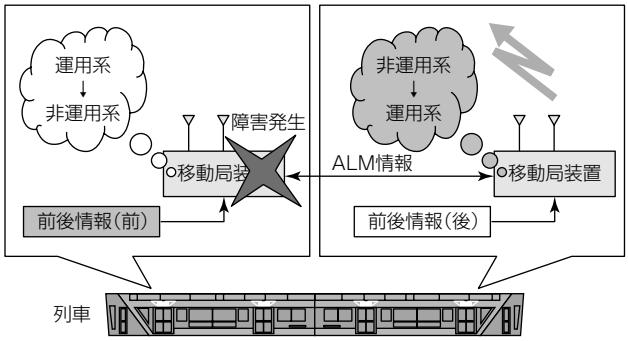


図5．移動局装置ALM情報による接続運用系の切り換え

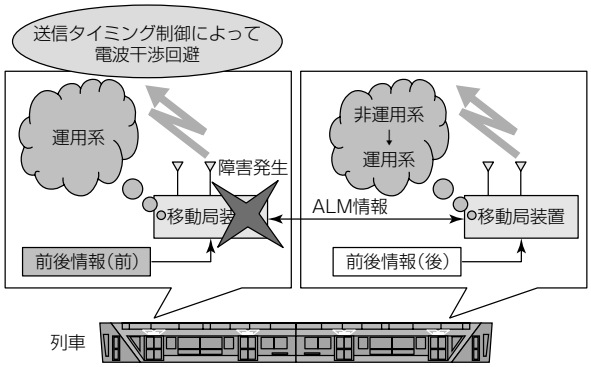


図6．移動局装置の送信タイミング制御

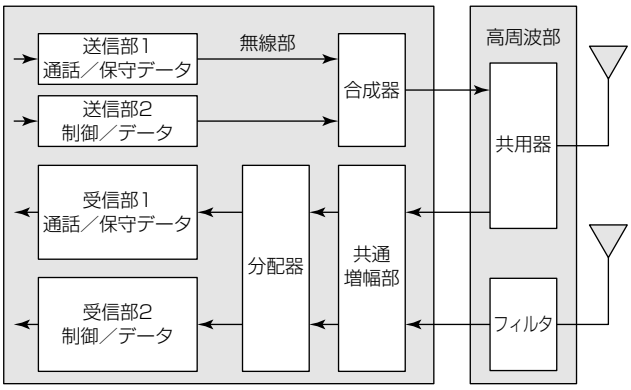


図７．移動局装置の構成図

3.5　音声とデータの同時伝送実現

列車安定輸送のため，音声通信中であっても車両デッドマン通報などの重要データを即時に伝送するニーズがあり，このシステムでは，移動局装置及び基地局装置の無線機について，通話／保守データCH及び制御／データCHの２CH構成とすることで２CH同時使用可能とし，音声通信及びデータ通信の同時通信を実現させた(**図７**)。

(1)　通話／保守データCH

音声通話・放送時に使用する通話CH，メンテナンスデータ用に使用する保守データCHから構成される。

(2)　制御／データCH

通信制御時に使用する制御CH，車両デッドマン通報などに使用するデータCHで構成している。

3.6　高音質音声コーデックで全線クリアな音質を実現

一般の携帯電話で使用されている音声コーデック(Pitch Synchronous Innovation-Code Excited Linear Prediction：PSI-CELP)に比べ，音質重視の符号構成とした当社独自開発の“列車無線専用音声コーデック(RaiL system-CELP：RL-CELP)”を適用することによって，雑音のない高音質な通話を実現し，地上の指令員と列車乗務員，列車乗客間の正確な通話をサポートしている。

3.7　中央制御装置と基地局装置間のアプローチ回線

中央装置と基地局装置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，従来のアナログ伝送の課題であった音質劣化を解消し，中央制御装置からゾーン内全基地局装置を光ファイバケーブルで直列に接続した２重化ループ構成とすることによって，ケーブルなどの障害発生時でも迂回(うかい)構成で継続運用が可能となり信頼性を向上させた(**図８**)。

3.8　移動局装置設置スペースの自由度向上

移動局装置は，無線信号の変復調を行う無線部，送受信の空中線を共有及び不要波を除去するフィルタを持つ高周波部，各種車両装置とのインタフェースを担うインタフェース部，車両からの入力電源を移動局装置内各部へ電源を供給する電源部で構成する。機能ブロックごとにユニット構成とすることによって，ユニットごとに車両内設置場所を任意に選定でき，車両内スペースを有効利用し，柔軟に設置可能とした。

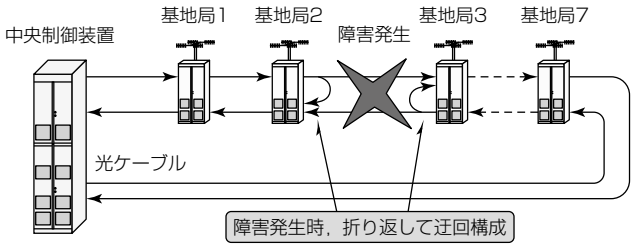


図８．アプローチ回線の光ネットワーク化

図９．監視端末(指令用)／保守端末の画面イメージ

3.9　遠隔監視制御

保守端末及び監視端末(指令用)によって，各装置及びネットワーク回線の動作状態の遠隔監視，各装置冗長構成部位の系切換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９**)。この機能によって，指令員，保守員は，指令所及び中央機器室で各装置及びネットワーク回線を集中監視できる。

4.　む　す　び

千葉都市モノレール㈱に納入した私鉄／地下鉄向け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。

今後は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とともに，新たなサービス，アプリケーションとの連携によって付加価値を創造し，鉄道分野の発展や社会インフラの構築に貢献していく所存である。

最後に，このシステムの開発にあたり多大なるご指導をいただいた千葉都市モノレール㈱をはじめとする関係各位に深謝申し上げる。

参　考　文　献

(1)　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㈱首都圏在来線への導入―，三菱電機技報，**82**，No.2，167～170（2008）