

在来線デジタル列車無線システム — 西日本旅客鉄道(株)京阪神エリアへの導入 —

持田伸一*

Digital Train Radio System for West Japan Railway Company

Shinichi Mochida

要 旨

三菱電機は、西日本旅客鉄道(株)のアナログ列車無線システム老朽化に伴う京阪神エリアの設備更新を受注し、機器の開発を行った。設備更新に当たり、顧客要求として①列車無線の品質向上、②アナログ/デジタル両方式に対応した設備更新、③容易にアナログ/デジタル切替えを実現するという課題があった。

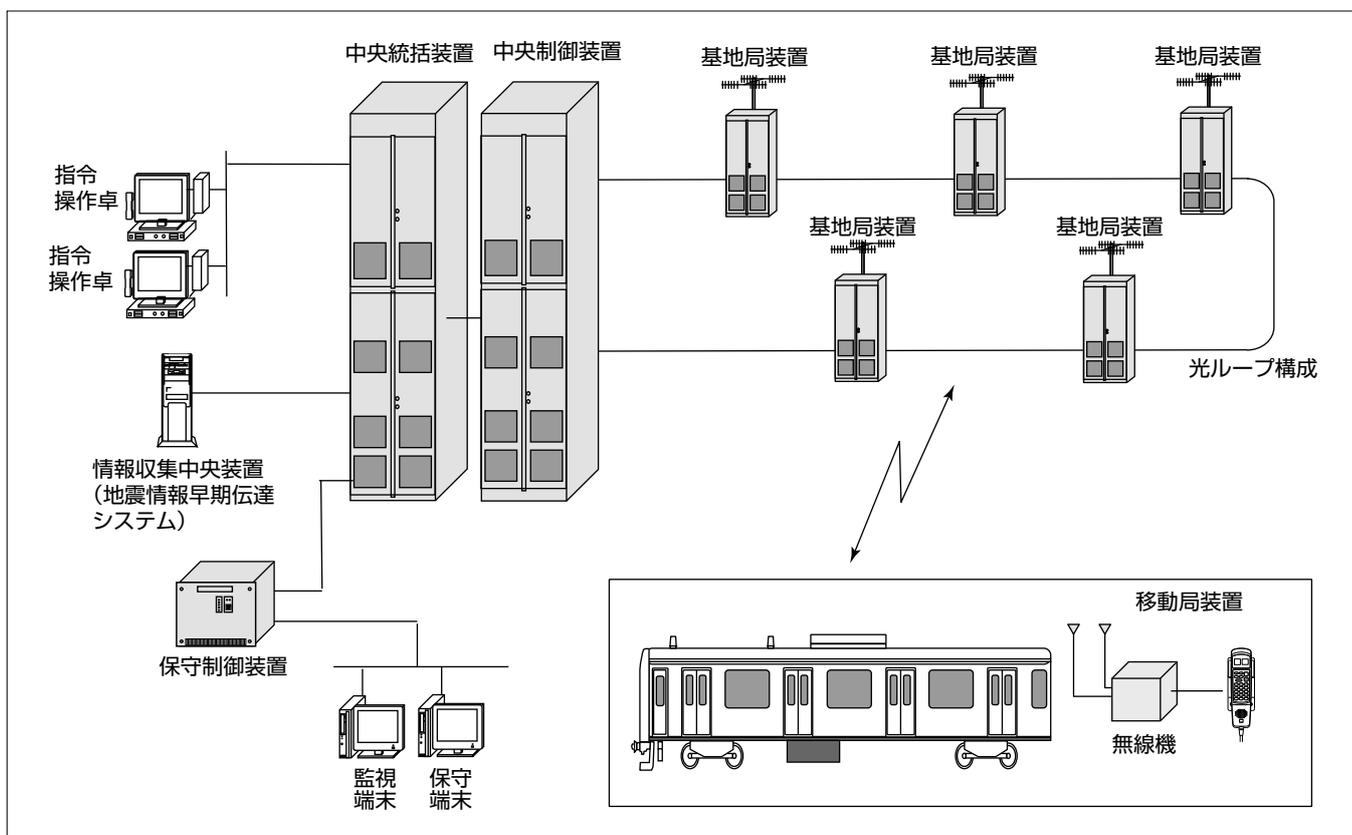
これらの課題には、デジタル方式による無線品質向上、アナログ/デジタル両方式に対応する機器の開発、アナログ/デジタル切替えを容易に行うことができるSDR(Software Defined Radio)方式の無線機を開発することで解決した。

初めにおおさか東線に機器を納入した。また別線区で

2008~2009年に走行試験を実施してアナログ/デジタル両方式の動作確認を完了した。その後、京阪神エリアに機器を順次納入し、アナログ方式の運用が開始された。並行して、移動局についてもアナログ/デジタル両方式対応、かつ限られたスペースに設置できるように小型化した無線機を納入し、京阪神エリアの全編成に設置された。

2017年1月から12月にかけて京阪神エリアの無線システムが段階的にアナログ方式からデジタル方式に切り替えられた。

デジタル無線方式の導入によってアナログ無線方式での課題を解決し、顧客の安全・安定輸送に貢献している。



西日本旅客鉄道(株)向け在来線デジタル列車無線システム

西日本旅客鉄道(株)向け在来線デジタル列車無線システムの構成を示す。中央機器室に中央統括装置、中央制御装置、保守制御装置、保守端末、監視端末、指令所に指令操作卓、線路沿線に基地局装置、列車に移動局装置を設置し、無線伝送によって地上側の指令員と列車の乗務員間の通話や列車データ伝送を行う。

*コミュニケーション・ネットワーク製作所

1. ま え が き

西日本旅客鉄道(株)の在来線列車無線は2017年1月に宝塚線で、初めてアナログ方式からデジタル方式へ切り替えられ、その後、京阪神エリア合計14線区が順次デジタル方式に切り替えられた。アナログ方式の設備更新時の顧客要求として①列車無線の品質向上、②アナログ/デジタル両方式に対応した設備更新、③容易にアナログ/デジタル切替えを実現するという課題があった。これらの課題を解決するアナログ/デジタル両方式に対応した装置を開発・納入し、2017年に京阪神エリアのデジタル方式の切替えが完遂され、列車の安全・安定輸送に貢献している。

本稿では今回納入したデジタル列車無線システムの概要と特長、及びワンマン運転実現のために指令-客室間の通話手段として新設された北陸トンネル連絡設備(デジタル方式)について述べる。

2. デジタル列車無線システムの構成⁽¹⁾

2.1 サービス概要

デジタル列車無線システム(以下“列車無線システム”という。)は、列車の運転士・車掌と地上側の指令員間で連絡をするために用いられる。このシステムは音声通信、データ伝送など次の機能を備えている。

(1) 音声

- ①一斉通話：指令員と在線している全列車乗務員との通話
- ②個別列番通話：指令員と指定列車乗務員との通話
- ③中央通話：列車から指令側を呼び出して通話
- ④緊急割り込み：列車から車上操作器を操作することで、通話中の指令員に緊急割り込み通知で通話

(2) データ伝送

- ①列車番号登録：移動局を識別するための番号を登録
- ②ソフトウェアダウンロード：基地局装置のソフトウェアを遠隔の中央機器室から更新するための機能
- ③ログ収集：装置の動作状況を記録したログを収集
- ④緊急停止した列車の情報通知：列車の緊急停止があったときに列車の情報を指令操作卓へ通知する機能

(3) その他

- ①通話記録：指令員と列車乗務員との通話を記録
- ②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
- ③地震一斉：指定される線区内の列車乗務員へ地震発生を自動通知する音声通信

2.2 列車無線システムの全体構成

このシステムは、主に中央統括装置、中央制御装置、保守制御装置、保守端末、基地局装置、移動局装置で構成される。各装置の主要機能を表1に、列車無線システムの装置構成を図1に示す。基地局装置は線路沿線に敷設され、

表1. 装置の主要機能

装置名	機能
中央統括装置	・移動局の在線エリア管理 ・中央制御装置を統括管理 ・指令操作卓や他装置とのインタフェース
中央制御装置	・中央統括装置と基地局装置とインタフェース ・音声通話、データ通信を制御
保守制御装置	・監視制御及び保守運用に関わる情報を一元管理
保守端末	・監視制御及び保守運用に関わる情報を表示、制御
監視端末	・各装置のアラームなどを表示
指令操作卓	・指令員が移動局と音声通信を行うための卓
基地局装置	・移動局装置と無線通信
移動局装置	・基地局装置と無線通信 ・通話・データ通信用操作・モニタ表示

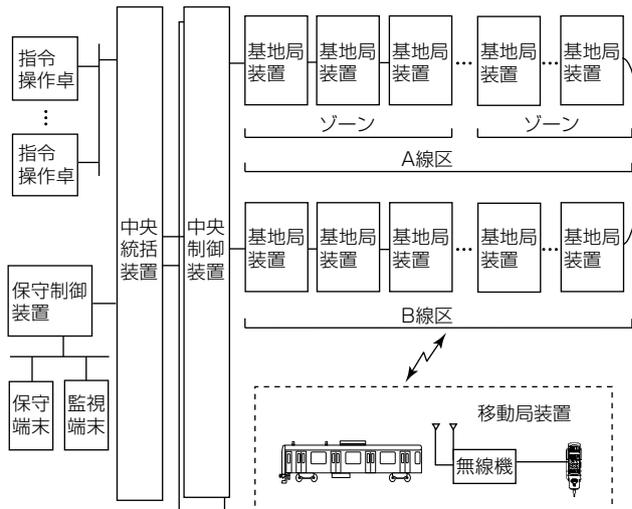


図1. 列車無線システムの装置構成

表2. 列車無線システムの諸元

項目	仕様
伝送路	空間波
アクセス方式	SCPC方式
周波数帯	400MHz帯
周波数間隔	6.25kHz
変調方式	$\pi/4$ シフトQPSK
伝送速度	9.6kbps
送信出力	基地局：4W、移動局：0.3W
ダイバーシチ構成	基地局：送信時間ダイバーシチ+受信ダイバーシチ 移動局：受信ダイバーシチ

QPSK：Quadrature Phase Shift Keying

空間波方式による無線通信が行われる。

中央統括装置には中央制御装置を複数台接続できる。中央制御装置の配下に複数の基地局装置を配置し、ゾーンを構成する。さらに、ゾーンをまとめて線区として分類される。

2.3 列車無線システムの諸元

列車無線システムの諸元を表2に示す。列車無線システムはSCPC(Single Channel Per Carrier)方式のデジタル無線回線で構築している。

3. システムの特長

この章では1章で述べた設備更新時の三つの課題を解決するためのシステムの特長を示す。

3.1 送信時間ダイバーシチ・適応等化による品質向上⁽²⁾⁽³⁾

同一周波数の無線信号を複数の基地局で同時送信する場合、基地局ごとの送信機の無線周波数がわずかに異なることで周波数差によるビート干渉が発生する。受信時の位相タイミングによっては信号が打ち消し合い、受信不能になる場合がある。

この課題を解決するために、基地局ごとの送信タイミングの同期をとり、隣接する基地局間で固定の時間差をつけたデータを伝送する送信時間ダイバーシチを行い(図2)、受信信号の打ち消し合いを回避した。さらに受信信号の波形歪(ひず)みを適応的に推定して、波形歪みの影響を除去する適応等化を移動局無線機の復調部に採用した(図3)。移動局ではアンテナを2本用いて受信ダイバーシチを行っている。これらによって、送信側と受信側の両方でビート干渉による通信品質劣化を抑制している。

また、当社が開発した列車無線専用音声コーデックRL-CELP(RaiL system-Code Excited Linear Prediction)を適用することで雑音を抑え、アナログ方式よりも高品質な音声通話を提供している。

3.2 地上設備更新へのフレキシブルな対応

アナログ方式からデジタル方式への切替えは、基地局装置のプログラムの書換えで行う(保守端末からの遠隔操作で実現)。

デジタル方式に切り替えるためには、線区単位で地上装置を更新する必要があり、新しい設備の使用開始までに長期間を要する。そのため、設備更新時は一旦アナログ方式

で運用を開始し、その後デジタル方式に段階的に切り替えられる方式、かつ部分的な設備更新ができるシステムとした。アナログ方式からデジタル方式への切替えはゾーンを選択して行い、切替え計画に合わせてフレキシブルに対応可能である。

3.3 容易なアナログ/デジタル切替えの実現

アナログ/デジタル切替えには基地局装置、及び移動局装置とも両方式に対応した無線機を搭載し、切替えも容易に行う必要があった。次に各装置の実現方法について述べる。

3.3.1 基地局装置FPGA-SDR無線機

基地局装置の更新では、顧客の工事計画上、一旦アナログ方式で運用を開始し、その後デジタル方式に段階的に切り替えられる構成を実現する必要があった。そのためハードウェアはアナログ/デジタル両方式に対応し、FPGA(Field Programable Gate Array)のプログラム書換えによってアナログ方式からデジタル方式へ移行が可能なFPGA-SDR無線機を開発した(図4)。FPGA-SDR無線機は高周波処理をアナログ/デジタル共通のハードウェア(RF(Radio Frequency)部)で行い、変復調処理は、FPGAのプログラムでアナログ変復調機能とデジタル変復調機能を実現し、これらを書き換えることで、アナログ/デジタル両方式に対応した無線機を実現している。プログラムの更新は、中央機器室に設置した保守端末からの遠隔指示で実施する。これによって、切替え当日の簡易な改修によってアナログ方式からデジタル方式への切替えを迅速に行うことが可能になった。

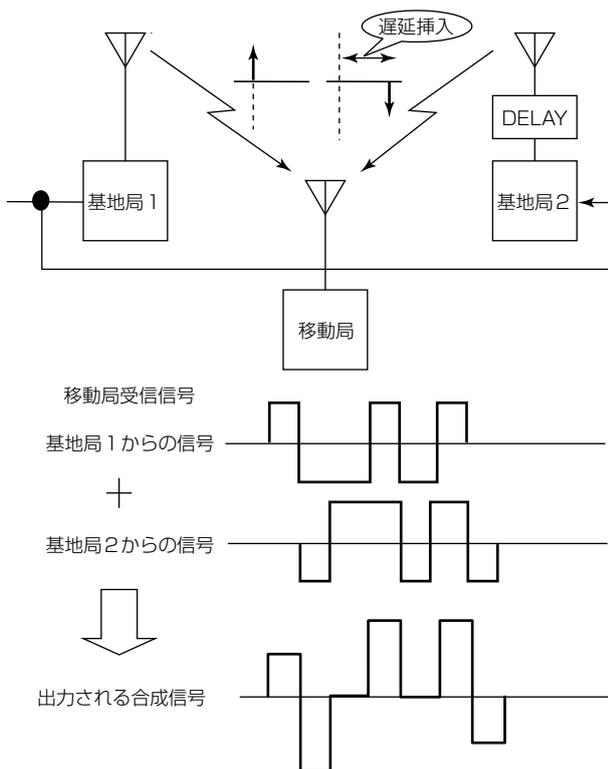


図2. 送信時間ダイバーシチ

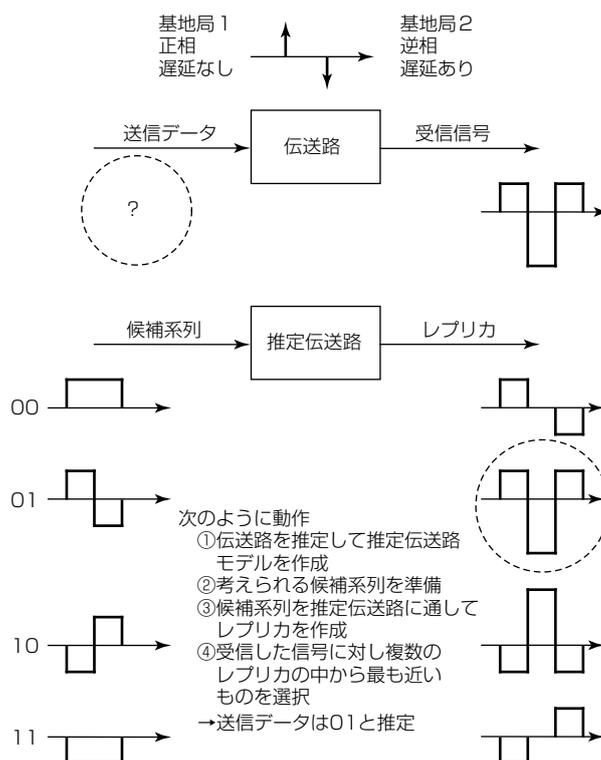


図3. 適応等化による推定

3.3.2 移動局

列車は京阪神エリアのデジタル区間だけでなく、その他のアナログ区間も走行するので、アナログ／デジタル両方式の移動局が必須である。しかし、車両の運転室内にはアナログ移動局とデジタル移動局を併設するスペースはないため、既存のアナログ移動局の設置スペースにそのまま置き換えが可能なアナログ／デジタル両方式に対応した移動局の実現が必要となった。図5に移動局無線機の無線機能を全て実装した場合の構成を示す。この移動局は、デジタル列車無線送信2系統、デジタル列車無線受信部3系統、アナログ列車無線送受信部1系統、アナログ乗務員無線1系統に対応する必要があるが、アナログ移動局と同等サイズにするため、アナログ／デジタルを共通化したハードウェア設計を行い、回路規模の削減を実現することで小型化を達成した(図6)。

図7(a)に移動局無線機、図7(b)に列車乗務員が通話のと

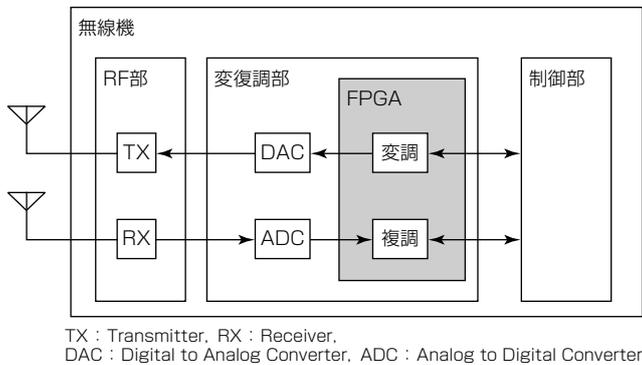


図4. FPGA-SDR無線機の構成

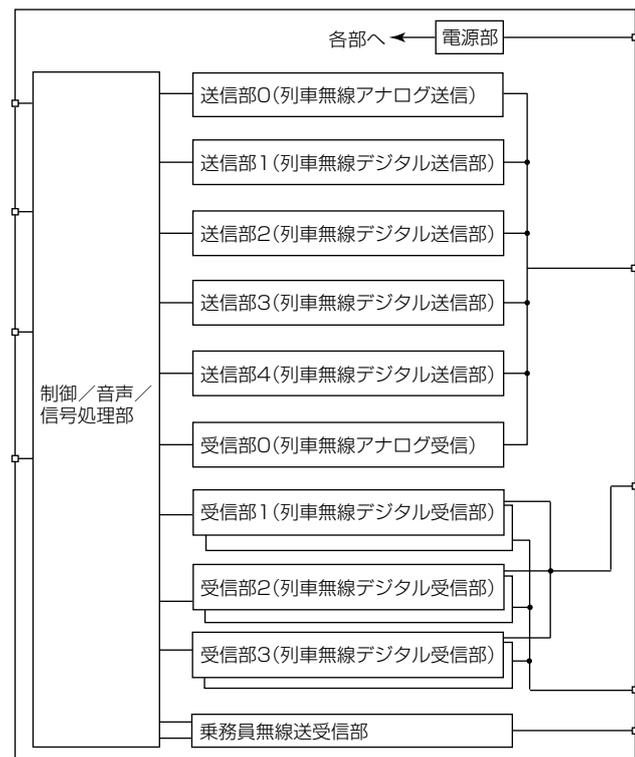


図5. 移動局無線機の構成(小型化実現前)

きに使用する送受信器を示す。移動局無線機のアナログ／デジタルのモード切替えは送受信器にある切替えスイッチで変更する。

3.4 その他の特長

(1) アプローチ回線の光ネットワーク化

従来のアナログ方式では中央装置、基地局装置間のアプローチ回線にメタリックケーブルを使用しているが、アンブによる信号歪み、ノイズ重畳による音質劣化の課題があった。デジタル方式では中央制御装置と基地局装置を光ネットワーク化することでこれら課題を解消した。さらにこの光ネットワークを2重ループ構成にすることで、光ファイバケーブル切断などの回線障害発生時でも迂回(うかい)が可能な構成とし、信頼性を向上させた(図8)。

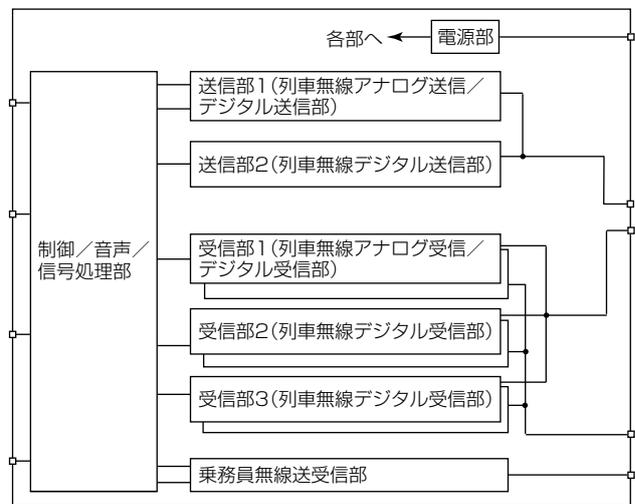


図6. 移動局無線機の構成(小型化実現後)



(a) 移動局無線機



(b) 送受信器

図7. 移動局装置

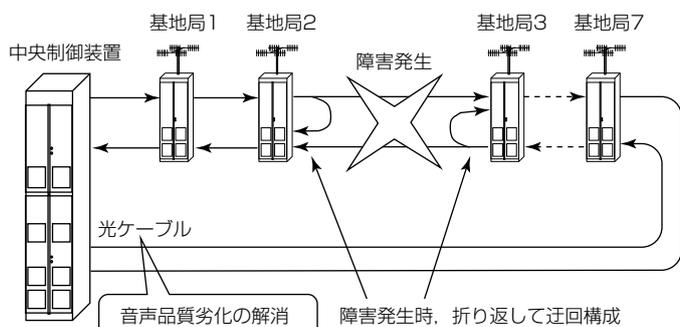


図8. アプローチ回線の光ネットワーク化

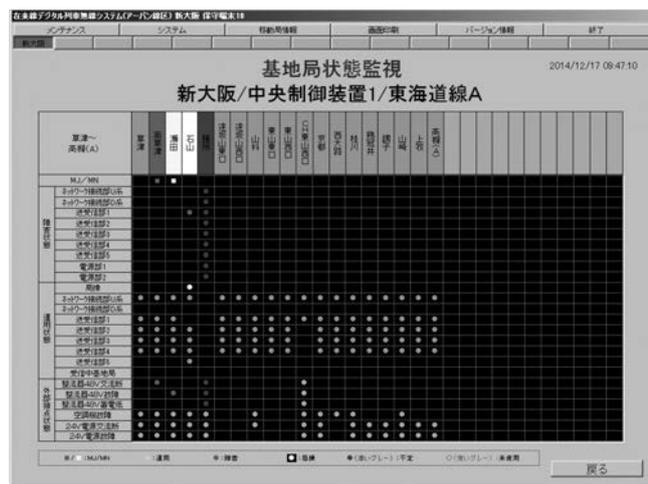


図9. 保守・監視端末の画面イメージ

(2) 遠隔監視制御によるメンテナンス性の向上

中央機器室に設置する保守端末及び監視端末では、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切替えなどの遠隔制御、各装置の遠隔ログ収集、ソフトウェア等のダウンロード機能を備える。これらの機能によって保守員が線路沿線に設置した設備まで行かずに、中央機器室で遠隔での各機器の状態監視と制御が可能となり、メンテナンス性が向上した(図9)。

(3) 地震一斉放送

地震一斉放送は、地震発生時に走行中の列車を安全に停止させるために地震の発生を自動音声で対象エリア内の全列車に通知する機能である。地震計で規定の震度を越えた地震を検知すると、地震発報制御装置から中央統括装置へ地震一斉放送の起動制御を行い、対象エリア内の全列車に列車の停止を促す音声を自動放送する。この放送は最高優先順位のサービスであるため、指令と列車乗務員が通話中の場合でも、通話を切断して放送を行う。

(4) 緊急停止した列車の情報通知機能

列車乗務員が線路沿線の支障などを検知して緊急停止を行った際に、停止した列車の情報を指令操作卓に表示する機能である。この機能では指令操作卓で次の情報を表示で

き、列車の運転再開までの時間短縮に貢献している。

- ①緊急停止を行った列車の列車番号
- ②緊急停止を行ったゾーン
- ③緊急停止した列車の履歴

4. デジタル化した北陸トンネル連絡設備

西日本旅客鉄道(株)では北陸本線(敦賀-南今庄)の北陸トンネル区間も通話回線の1回線増加(1ゾーン内2通話)を実現するため、京阪神エリア以外にもデジタル列車無線システムによる運用を開始した。在来線で最長となる北陸トンネル(約14km)で、ワンマン車両の運転士はトンネル内では停止して顧客と直接通話できないため、顧客と指令員と直接通話できるシステムが北陸トンネル連絡設備として、デジタル列車無線システムをベースに導入された。

移動局はデジタル専用の無線機である。非常通報装置に設置されたSOSボタンを顧客が押下することで指令員との通話が可能となる。

5. む す び

西日本旅客鉄道(株)京阪神エリア及び北陸トンネル連絡設備に納入した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。当社システムの導入によって顧客要求である①列車無線の品質向上、②アナログ/デジタル両方式に対応した設備更新、③容易にアナログ/デジタル切替えを実現するという課題を解決できた。

デジタル列車無線システムの現在の運用は主に通話用として使用されているが、今後、データ伝送によるアプリケーション実用化を検討することで乗務員支援機能、旅客サービス向上、防犯対策、省メンテナンス化の活用につなげ、利便性の向上を図る。今後も当社のデジタル列車無線システムを活用したサービスの実現で、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) 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)
- (2) 久保博嗣, ほか: 送信ダイバシティと適応等化器によるビート干渉抑圧方式に関する一検討, 電子情報通信学会論文誌B, **J86-B**, 3, 468~476 (2003)
- (3) Kubo, H., et al.: An adaptive maximum-likelihood sequence estimator for fast time-varying intersymbol interference channels, IEEE Trans. on Commun., **COM-42**, No.2/3/4, 1872~1880 (1994)