

# 沖縄都市モノレール線及び多摩都市モノレール線向けデジタル列車無線システム

山崎 守\*

Digital Train Radio System for Okinawa Urban Monorail and Tokyo Tama Intercity Monorail

Mamoru Yamazaki

## 要 旨

現在、私鉄、地下鉄、モノレールや新交通システムの列車無線は、その多くがアナログ方式や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。

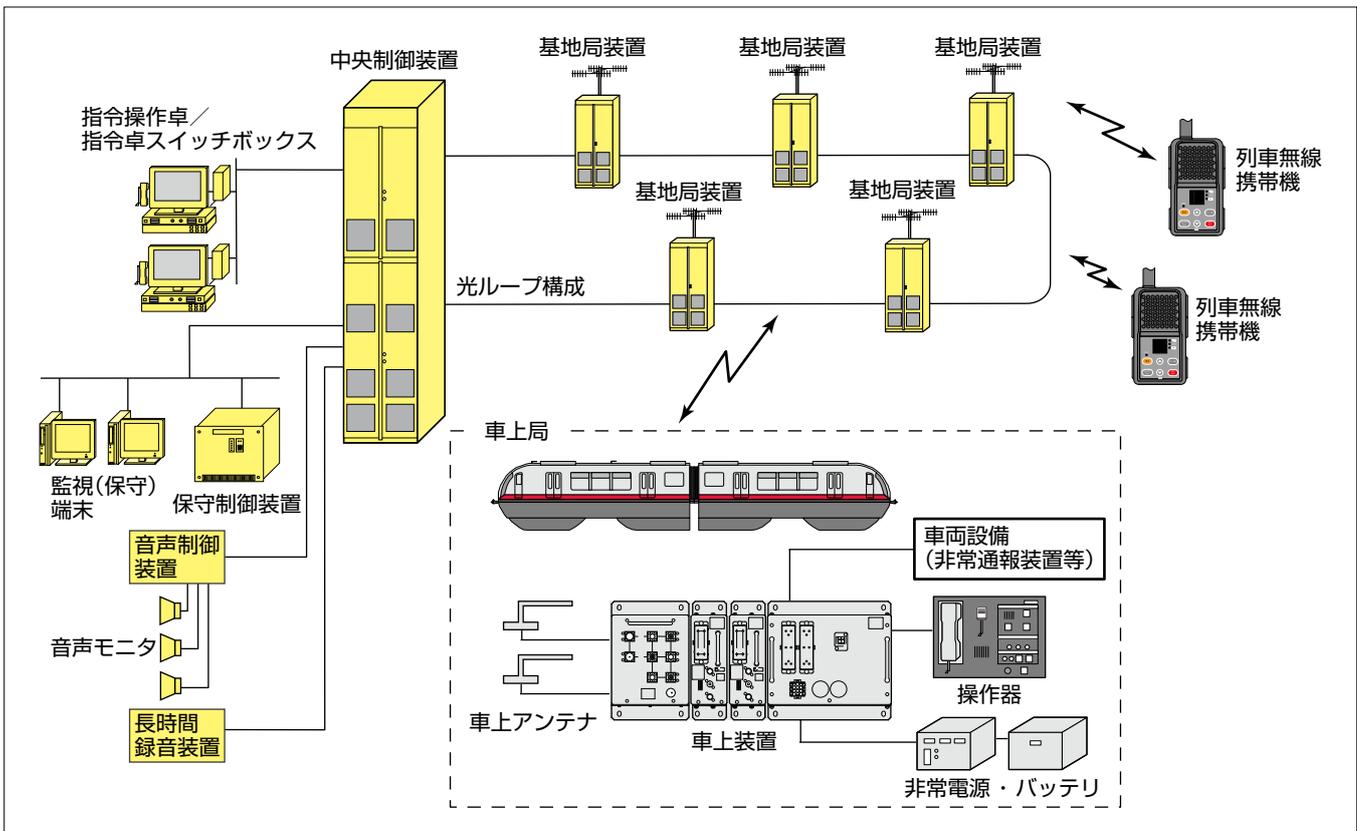
このような状況下で、三菱電機は、沖縄都市モノレール(株)及び多摩都市モノレール(株)のアナログ列車無線システムの老朽化に伴う設備更新のため、デジタル列車無線システムの機器の開発を行った。

このシステムの主な特長は次のとおりである。

(1) 同一波電波干渉存在下では送信時間ダイバーシチ・適応等化技術を適用することで通信品質劣化を防ぎ、高品質な無線回線を提供した。

- (2) 基地局、移動局に複数CH(チャンネル)対応の無線機を搭載し、音声とデータの同時伝送を実現した。
- (3) 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、クリアな音声を実現した。
- (4) 移動局を機能ブロックごとにユニット化することで、保守性を向上した。

これらの特長に加え、沖縄都市モノレール線では複数の通話回線を選択制御可能な列車無線携帯機を導入し、保守員の利便性向上に貢献した。多摩都市モノレール線では当社フルカラーLED式車内案内表示器と組み合わせた運行情報配信サービスを実現し、乗客向け案内サービスの向上に寄与した。



## 沖縄都市モノレール線向けデジタル列車無線システム

沖縄都市モノレール線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、保守制御装置、監視(保守)端末、指令所に指令操作卓、線路沿線に基地局装置、列車に車上装置を設置し、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データ伝送を行う。また列車無線携帯機によって、保守員と指令員間の通話、又は保守員同士の通話を行う。

## 1. ま え が き

高速走行する列車と地上間の無線通信には、安心・安全の厳しい要求に対応するため、高品質、高安定性、高速伝送などが求められる。

当社は、列車無線システムのデジタル無線方式への切替えに数多く携わり、関連する技術・ノウハウを蓄積してきた。

私鉄、地下鉄、モノレールや新交通システムの列車無線は、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など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、最新の無線技術を適用した150MHz帯のデジタル列車無線システムを開発した。

本稿では、2016年に納入した沖縄都市モノレール(株)のデジタル列車無線システムを中心に、その概要と特長を述べる。また2018年には、多摩都市モノレール(株)に類似システムを納入しており、新たな機能として運行情報配信サービスを実現したので、それについても述べる。

## 2. デジタル列車無線システムの概要

### 2.1 システム構成

デジタル列車無線システムは、中央制御装置、基地局装置、車上装置、その他で構成され、地上-列車間の通信はデジタル無線回線を使用する。各装置の機能概要を表1に示す。

### 2.2 無線諸元

地上-列車間の無線通信システムとして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

このシステムでは、次の機能を備える。

#### (1) 音声通話・放送機能

- ①一斉指令通話：指令員-全列車乗務員間の通話。
- ②個別指令通話：指令員-指定列車乗務員間の通話。
- ③客室非常通報：指令員-列車乗客間の通話。
- ④個別車内放送：指令員から指定列車乗客への放送。

#### (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、車上装置で車両から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非常発報通知：人身事故などの緊急時に、指令所及び全列車に警報を発する。警報内容によっては列車への送電を止めて、強制的に停車させる。

表1. 各装置の機能概要

装置名	設置場所	機能概要
中央制御装置	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	線路沿線	①車上装置との無線通信 ②中央制御装置とインタフェース
車上装置	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
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
列車無線携帯機	-	①保守員と指令員間の音声通信 ②保守員同士の音声通信

表2. 無線諸元

項目	仕様
伝送路	空間波/LCX
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	$\pi/4$ シフトQPSK
伝送速度	9.6kbps
送信出力	基地局装置：4W、車上装置：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 車上装置：受信ダイバーシチ

LCX：Leaky Coaxial Cable

QPSK：Quadrature Phase Shift Keying

#### (3) 音声モニタ機能

- ①音声モニタ：指令員-列車乗務員間の音声を、中央及び駅務室にモニタ出力。

#### (4) 通話記録機能

- ①通話記録：指令員-列車乗務員間の音声を常時録音。

#### (5) 遠隔監視制御機能

- ①遠隔監視：監視(保守)端末によって、遠隔で各機器及びネットワーク回線の動作状態の監視制御。

## 3. デジタル列車無線の特長

### 3.1 送信時間ダイバーシチ・適応等化による品質向上

一般的に、同じ周波数の同じ信号を複数のアンテナから送信すると、同一波干渉によって、逆位相となったところでは電波が消失し、受信側で大きな誤りが生じる(図1)。この電波の消失は、送信機の周波数差に従って周期的に発生する(ビート干渉)。

この課題を解決するため、このシステムでは隣接する基地局、又はアンテナからの送信信号に固定の時間差をつけて送信する送信時間ダイバーシチ<sup>(1)</sup>を導入し、移動局での受信信号の打ち消し合いを回避した(図2)。また移動局には適応等化による推定技術(図3)を採用し、先に述べた送信時間ダイバーシチによる遅延波も信号成分として利用し、復調することを可能にした。さらに無線回線品質を向上させるため、基地局、移動局共に、受信ダイバーシチを採用した。

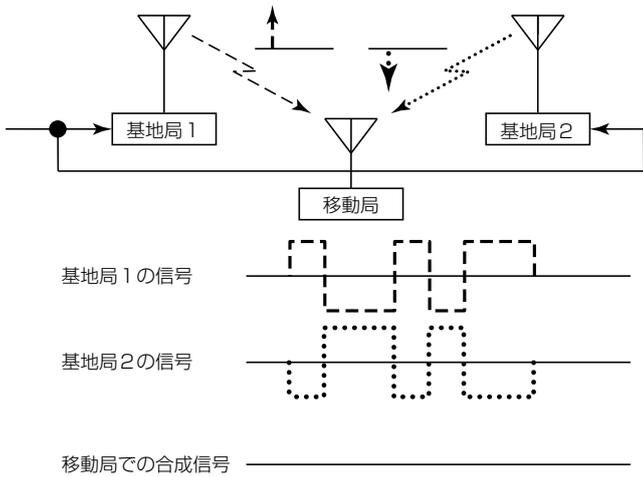


図1. 同一波干渉による信号消失

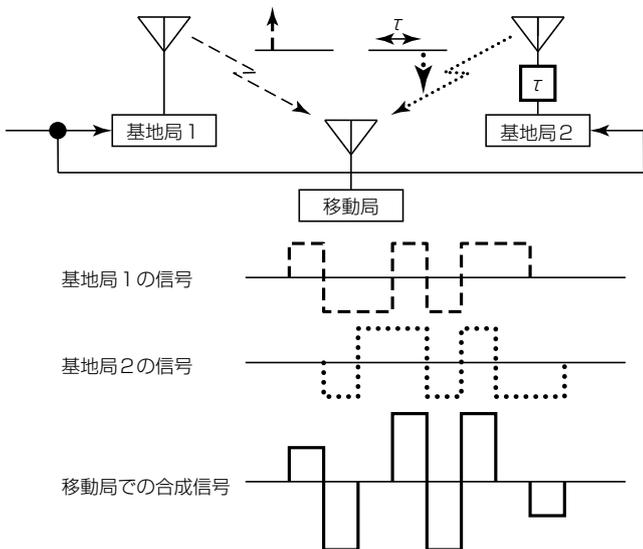


図2. 送信時間ダイバーシチ

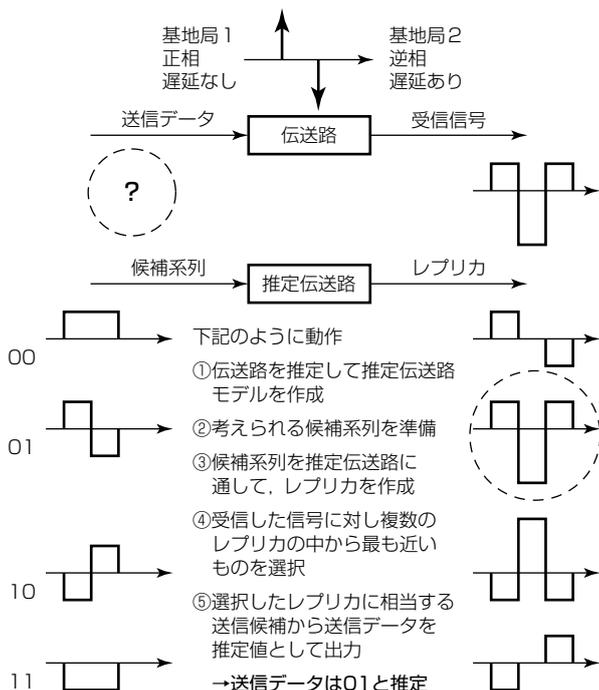


図3. 適応等化による推定

### 3.2 不感地帯・弱電界対策

将来的には、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、基地局の増設又はサテライトアンテナを設置するだけで(図4)、容易に回線品質の劣化を解消できる。

### 3.3 車両設備との接続

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、車内放送装置を車上装置と接続している。これによって、例えば列車運転中に列車乗務員の意識喪失などの非常事態が発生した場合、図5のように、①車上装置で車両デッドマン通知を検出後、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-列車乗客間の相互通話を行うなど、非常事態が発生した場合に指令員-列車乗務員、列車乗客間で確実に連絡を取ることができるシステムにしている。

### 3.4 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必要がある。このシステムの車上装置及び基地局装置の無線機は、通話CH及び制御/データCHをそれぞれ送受信する機能を持つため2CH同時使用が可能であり、これによって音声及びデータの同時伝送を実現している。図6に車上装置の構成を示す。

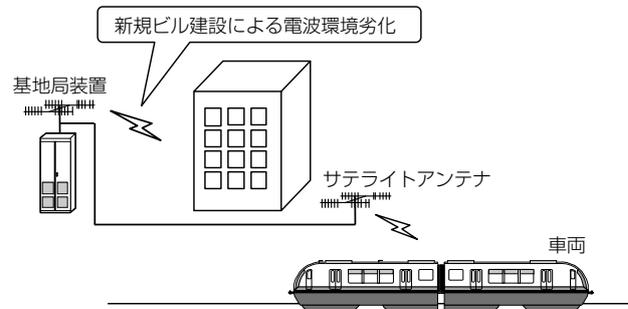


図4. 不感地帯・弱電界対策のイメージ

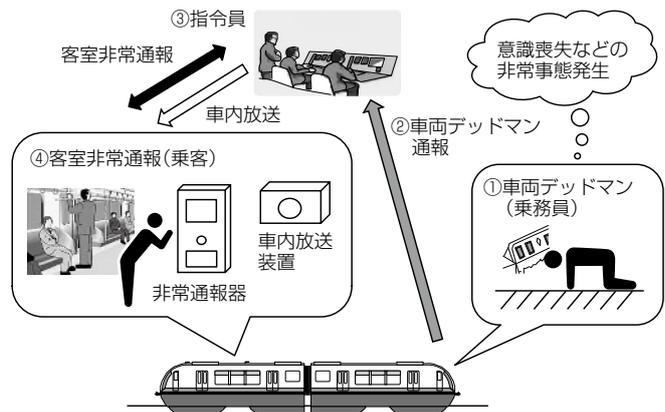


図5. 車両設備との接続イメージ

(1) 通話CH

音声通話・放送時に使用するCHであり、第1通話CHと第2通話CHの2回線を持つ。

(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や非常発報などに使用するデータCHから構成される。

3.5 高音質音声コーデックでクリアな音質の実現

このシステムでは、音声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RL-CELP(Rail system-Code Excited Linear Prediction)を適用して雑音のない高音質な通話を実現し、地上の指令員と車両の乗務員、乗客間の正確な通話をサポートしている。

3.6 中央制御装置と基地局装置間のアプローチ回線

中央制御装置と基地局装置間のアプローチ回線をデジタ

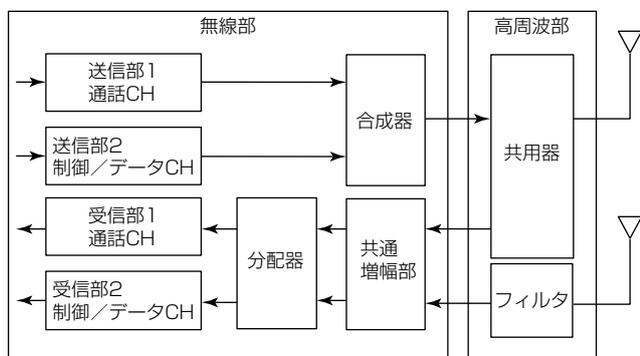


図6. 車上装置の構成

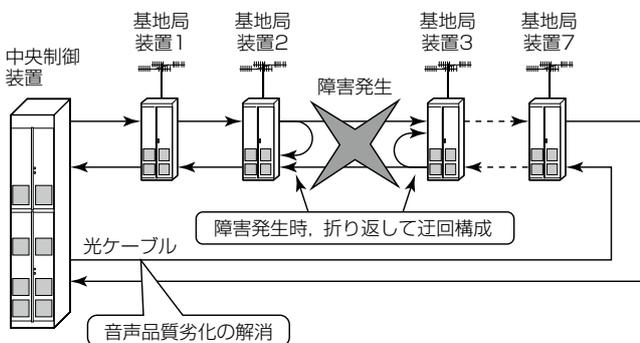


図7. アプローチ回線の光ネットワーク化

ル信号によって光ネットワーク化し、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二重化ループ構成とすることによって、ケーブル等の障害発生時でも迂回(うかい)構成で継続運用が可能になり、信頼性を向上させた(図7)。

3.7 遠隔監視制御によるメンテナンス性の向上

運営基地に設置する監視(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品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。図8に、監視(保守)端末の操作画面例を示す。これらの機能によって保守員が各駅に設置した設備まで行かずに、運営基地で遠隔で各機器の状態監視、制御が可能になり、メンテナンス性を向上させた。

4. デジタル列車無線の付加機能

3章で述べた特長に加え、沖縄都市モノレール線の列車無線システムでは、指令員の介在なく通話回線を制御可能な列車無線携帯機を導入し、保守の省力化に貢献した。また多摩都市モノレール線の列車無線システムでは、当社フルカラーLED式車内案内表示器と組み合わせた運行情報配信サービスを実現し、乗客向け案内サービスの向上に寄与した。次に、それぞれの機能について述べる。

4.1 通話回線の選択制御可能な列車無線携帯機

従来の列車無線携帯機は、固定の通話回線1回線で通話を行うものであり、例えばゾーン内で複数の携帯機が使用されている場合など、通話回線をシェアするのが困難であった。沖縄都市モノレール線向けに納入した列車無線携帯機では、携帯機で2回線の通話回線を使用可能にすることで保守員の利便性向上に貢献した。図9は携帯機の回線制御イメージであり、通話回線選択から終話までの流れを示すものである。

4.2 運行情報配信サービスによる付加価値の向上

運行情報配信サービスは、多摩都市モノレール線に導入したデータ伝送機能であり、最新の運行情報(各路線の運



図8. 監視(保守)端末の操作画面例

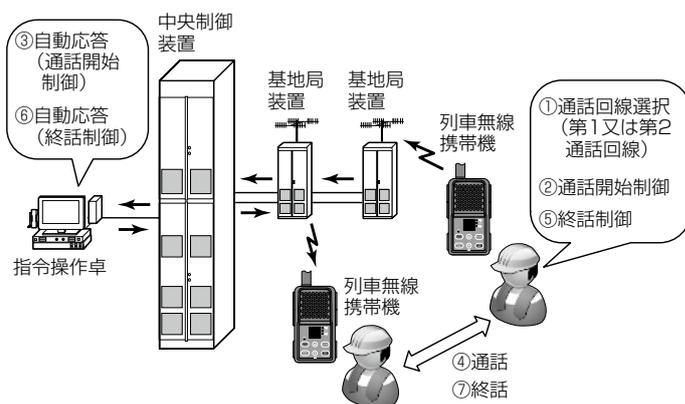


図9. 携帯機の回線制御イメージ

表3. 携帯機の無線諸元

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
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	0.8W
ダイバーシチ構成	ダイバーシチなし

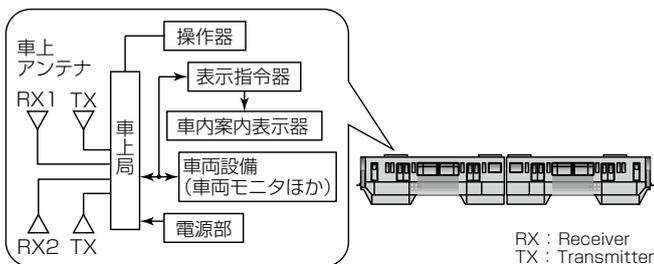
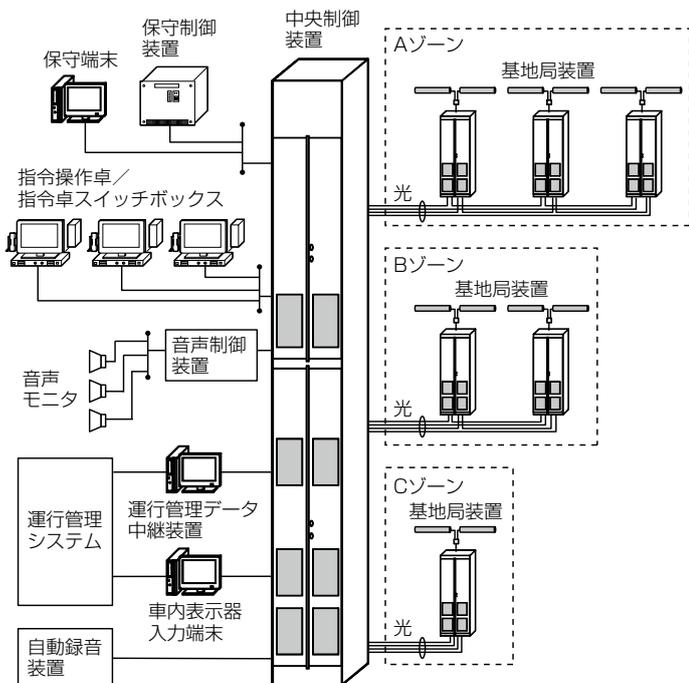


図10. 多摩都市モノレール線向け列車無線システム

行状況)を、デジタル列車無線を介して車上に伝達し、その情報を客室の車内案内表示器に表示するものである。当社列車無線システムと車両システムの事業連携によって実現し、乗客向けサービスを発展させて付加価値の向上に寄

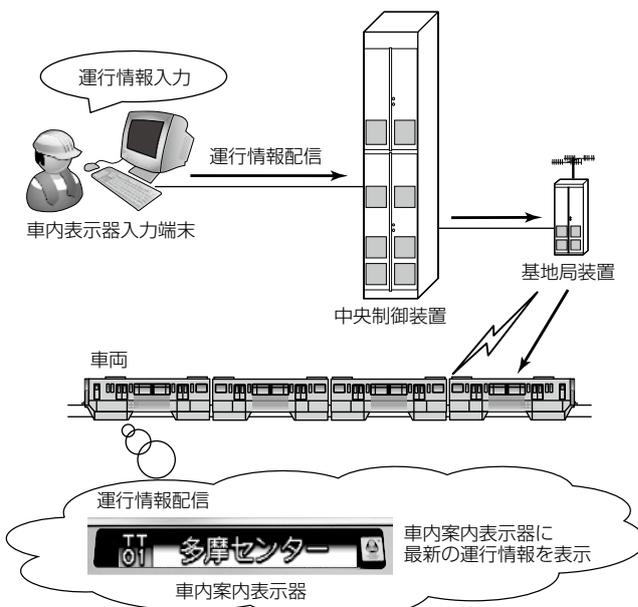


図11. 運行情報配信サービス

与した。図10に多摩都市モノレール線向け列車無線システムの構成図を、図11に運行情報配信サービスの機能イメージを示す。

## 5. む す び

沖縄都市モノレール線及び多摩都市モノレール線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。

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、データ伝送機能を活用したアプリケーションの充実化を検討し、乗務員支援や旅客サービスの向上、防犯対策、省メンテナンスといった新たな付加価値を創造し、鉄道分野の発展や社会インフラの構築に貢献していく。

このシステムの開発に当たり多大なるご指導をいただいた沖縄都市モノレール(株)、多摩都市モノレール(株)を始めとする関係各位に深謝する。

## 参 考 文 献

- (1) 久保博嗣, ほか: 送信ダイバーシチ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, No.3, 468~476 (2003)