

在来線デジタル列車無線 システムの開発と導入



厚澤 誠*



大森 均**



吉田 勝弘*

在来線デジタル列車無線システムは、最新技術を採用した地上・車上間の情報通信インフラであり、災害に強い鉄道事業者専用の無線通信システムである。

本システムでは、音声回線の増強に加えデータ回線の構築を行い、列車運行管理業務の支援やお客さまへのより正確かつ迅速な情報提供を行なうアプリケーションを実現している。また、基地局間ネットワークのループ化やリモートメンテナンスの導入等、システムの信頼性及びメンテナンス性の向上に配慮した仕組みとなっている。

今回、1号線区である山手線において無線システムを使用開始したので、本稿にてシステム概要について報告する。

●キーワード：デジタル、列車無線、在来線、データ回線、信頼性、メンテナンス性

1. はじめに

在来線列車無線システムは指令員と乗務員間を結ぶ鉄道事業者専用の情報連絡手段として、列車の安全・安定輸送を支えてきた。一方、首都圏では列車本数の増加、お客さまへのきめ細かな情報提供等の理由で列車無線使用頻度が増加し、輸送混乱時における通話回線不足が目立つようになってきている。また、列車運行を支援する通告伝達システムや車両故障情報伝送システム等の新たなサービスを提供するためのデータ伝送ニーズが高まっている。

そこで、当社では設備の老朽取替に合わせて在来線列車無線システムのデジタル化更新工事に着手しており、今回1号線区である山手線にて使用開始したので、開発概要について報告する。^{1) 2)}

2. 列車無線システムとは

列車無線システムは指令所に設置する中央装置、鉄道沿線2~3kmおきに設置する基地局及び列車に搭載する移動局から構成される。中央装置-基地局間是有線回線で構成しており、基地局-移動局間のみ無線回線を使用している(図1)。

首都圏における従来のアナログ列車無線(A・Bタイプ)では、20~30kmを1ゾーンとしゾーン内では同一周波数を使用している。そして、1ゾーンに付き指令-車上間に

1通話(1回線)が可能となっている。また、平行線区においても各線区同時に通話する必要があるため、首都圏では全線区を7つのチャンネルグループに分け、チャンネル毎に1周波数を使用している。

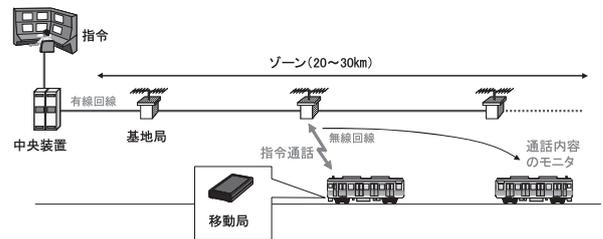


図1 列車無線システムのイメージ

3. システム導入計画

システム導入エリアは、首都圏主要線区約1600kmを予定しており、約600局の基地局と約3000局の移動局をデジタル化する計画である。システム諸元を表1、今回の導入計画範囲を図2に示す。

表1 システム諸元

装置名	数量
中央装置	6組
基地局装置	約600組
移動局装置	約3000組
アプリケーションサーバ	8組

デジタル列車無線は、アナログ列車無線と同一周波数帯域において構築する計画であり、チャンネル毎に周波数を切替えながら順次使用開始する予定である。

今夏、1号線区である山手線を使用開始しており、2010年度初迄に計画全線区を使用開始する予定である。

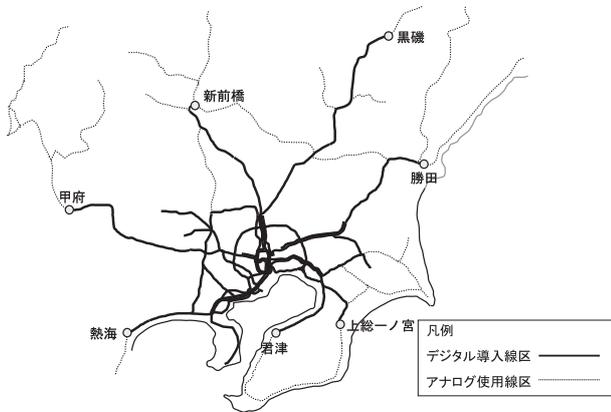


図2 システム導入範囲

4. システム構成

デジタル列車無線のシステム構成は基本的にはアナログ列車無線の構成を踏襲しているが、中央装置-基地局間を光ネットワークでリング構成とする等の対策により、システムの信頼性を向上させている。また、中央装置には各アプリケーションシステム実現のため、複数のサーバを接続している。デジタル列車無線のシステム構成を図3に示す。

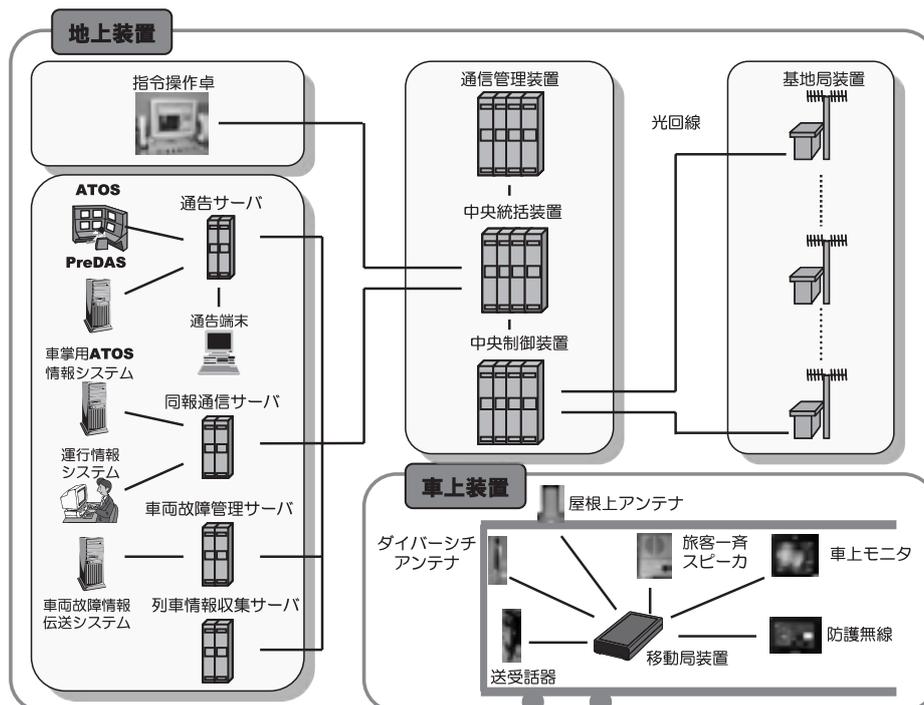


図3 システム構成

無線装置は狭帯域デジタル通信方式を採用しており、現行システムと同一の周波数帯域を使用している。無線回線数は、1ゾーンにつき3回線となっている。第2世代携帯電話で使用しているセルラー方式を採用した場合、首都圏全線区をカバーするには1MHz程度の周波数帯域が必要となるが、デジタル列車無線では同一周波数複数局同時送信方式を採用することにより300kHz以下の周波数帯域でシステムを実現しており、周波数の有効利用が図られている。³⁾

主な無線仕様を表2に示す。

表2 主な無線仕様

項目	基地局	移動局
送信周波数(チャンネル当たり)	400MHz帯の4波	400MHz帯の3波
送信出力	4W	0.3W
変調方式	π/4シフトQPSK	
伝送速度	9.6kbps(1波当たり)	
送信ダイバーシチ	有り	無し
受信ダイバーシチ	有り	

5. システムの特徴

5.1 無線回線数の増加

従来のアナログ列車無線ではゾーン毎に1回線の構成であったが、デジタル列車無線では適応等化技術や最大比合成ダイバーシチ等の最新技術を導入しゾーン毎3回線及び全線区共通1回線の高品質な無線回線を構築している(図4)。

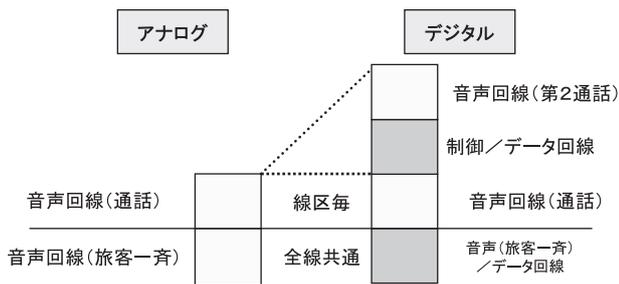


図4 無線回線数の増加

5.2 通話回線の増強と通話品質の向上

指令と乗務員間の通話回線はゾーン毎2回線を構築しており、2本目の回線（第2通話回線）は当該列車とのホットラインとして使用している。

通話回線は最新の音声符号化技術（改良型RL-CELP）を採用することにより、固定電話並みの高音質を実現している。

5.3 データ回線の構築と新システムの導入

デジタル列車無線ではゾーン毎1回線及び全線区1回線

のデータ通信回線を使用して列車の安定輸送を支えるデータ系システムを実現している。導入したのは通告伝達システム、運行情報システム、車掌用ATOS情報システム、車両故障管理システムの4システムであり、各システムの特徴を考慮して2本のデータ通信回線を使い分けている。また、制御/データ回線においては、指令伝達システムのデータを他システムのデータより優先する仕組みを設けており、通告伝達システムの様な即応性を要求されるシステムにも対応している（図5）⁴⁾

5.3.1 通告伝達システム

通告伝達システムは、東京圏輸送管理システム（ATOS）での運転整理を自動的に通告として乗務員に伝達し、取扱ミスの防止、列車遅延時間の減少及びダイヤ平復時間の短縮を目指すシステムである。ATOS導入範囲外（非ATOS区間）では、通告端末からの入力情報をもとに運転整理通告を作成し、乗務員に伝達する。

また、防災情報システム（プレダス）からの運転規制

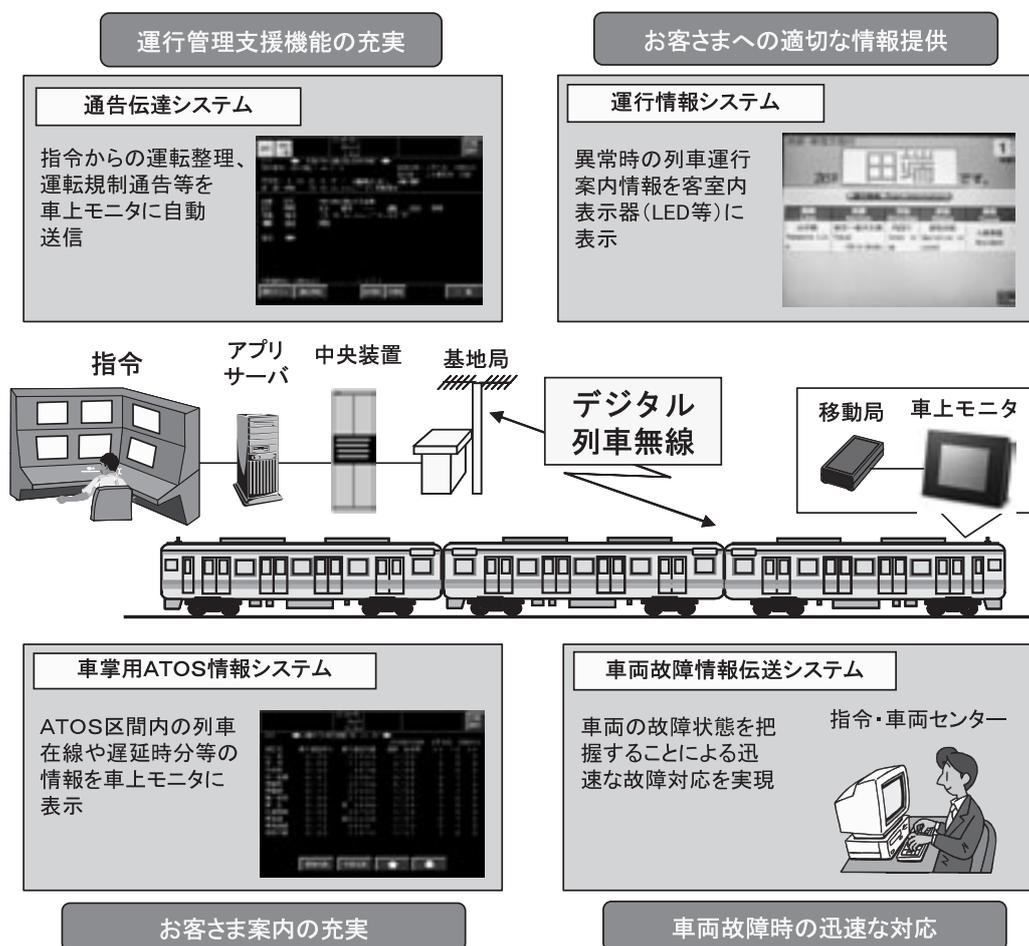


図5 新システムの概要

情報をもとに、運転規制通告を自動作成して乗務員に伝達し、運転規制の迅速な伝達を実現している（図6）。

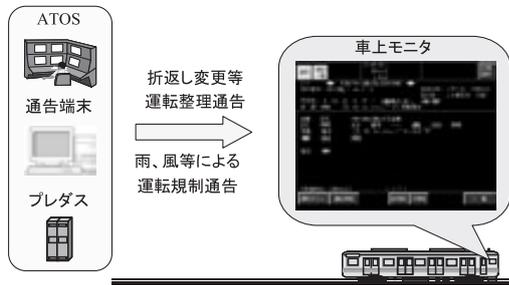


図6 通告伝達システムの概要

5.3.2 運行情報システム

運行情報システムは、客室内の表示器にダイヤ情報配信センターで作成した他線区の列車運行情報を表示するシステムである。デジタル列車無線で情報を伝送することにより、首都圏の多くの列車にてサービス情報提供が可能となり、異常時のお客さま案内の充実を図っている（図7）。



図7 運行情報システムの概要

5.3.3 車掌用ATOS情報システム

車掌用ATOS情報システムは、ATOS線区内の列車在線や遅延時分等の情報を車上モニタに表示するシステムである。運行把握モニタ、接続列車モニタ、駅列車在線モニタの3種類の情報があり、デジタル列車無線を介して定期的に情報を更新することにより、車掌による乗換案内や異常時のお客さま案内の充実を図っている（図8）。



図8 車掌用ATOS情報システムの概要

5.3.4 車両故障情報伝送システム

運行中の列車に故障が発生したとき、車上モニタの故障コードや画面情報を運用指令及び車両センターに伝送するシステムである。車両不具合の発生状況を迅速かつ正確に把握することが可能となり、車両故障発生から処置までの時間短縮が期待される（図9）。

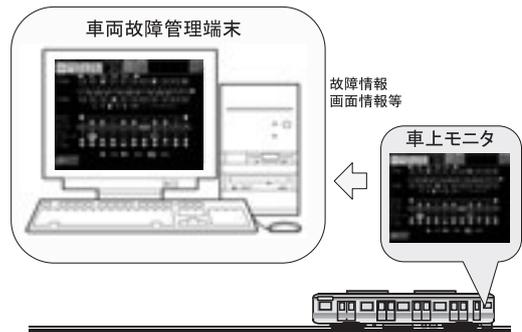


図9 車両故障情報伝送システムの概要

5.4 信頼性の向上

デジタル列車無線では、各装置を基本的に冗長構成とすることにより、ユニット故障時でもシステム全体が機能停止しないシステムを実現している。

また、中央装置～基地局装置間及び基地局装置相互間の地上ネットワークを自営光回線で接続しているが、このネットワークをループ構成とすることにより信頼性の向上を図っている（図10）。

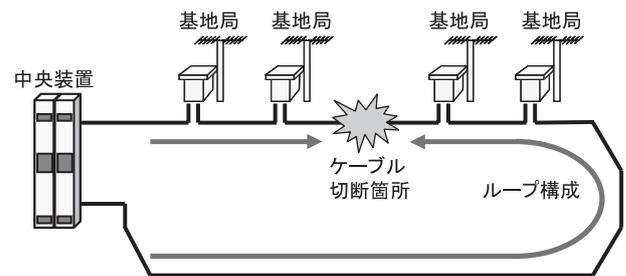


図10 地上ネットワークの信頼性向上

5.5 メンテナンス性の向上

デジタル列車無線では、メンテナンスを行なう技術センター、機器室及び指令にシステム専用の保守端末を設置している。保守端末では、その画面を操作するだけで、遠隔地にある基地局装置等の故障状態把握やログ収集が可能となり、出勤前に現地の状況を把握できるリモートメンテナンスを実現し、迅速な障害復旧が図れるメンテナンスシステムを構築している。⁵⁾

6. デジタル列車無線を支える新技術

6.1 同一周波数複数局同時送信方式

同一周波数複数局同時送信方式は、隣接基地局にて同一周波数の電波を送信した時に発生するビート干渉を、遅延波の送信と適応等化器による受信復調で解消する周波数有効利用技術である。先行波に対し1シンボル遅らせて送信する遅延波を先行波と交互に配置することにより、ビート干渉により生じる電波消失タイミングを補完することができ、ビート干渉の影響を受けずに電波を復調することができる。また、デジタル列車無線では基本的に全基地局にて先行波、遅延波双方の電波を送信することにより、復調時のタイミングずれを防止し、高品質な無線回線を実現している（図11）。

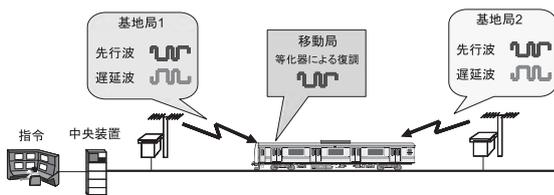


図11 同一周波数複数局同時送信方式の仕組み

6.2 ソフトウェアダウンロード

デジタル列車無線は、約600組の基地局装置と約3000組の移動局装置で構成されているため、導入後のシステム機能変更には大きな労力が必要となる。そこで、ソフトウェアを保守端末からダウンロードする仕組みを設け、将来のソフトウェア変更を柔軟に対応できる仕組みを設けている。特に、移動局については無線回線を使用してダウンロードする必要があるため、無線回線上で符号誤りが発生した場合でも、誤った部分のみを再度上書きしてダウンロードを完了させる仕組みとなっている（図12）。

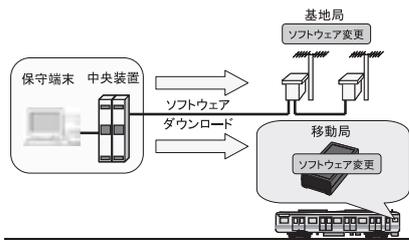


図12 ソフトウェアダウンロード

6.3 メンテナンスPC

これまで、列車無線システムの試験では車上の移動局に電測計及びBERカウンター等の測定機器を接続して試

験を行ってきたため、広い設置スペースと長い設置時間を必要としてきた。デジタル列車無線の試験では、移動局内にある電界強度、同期状態、誤り訂正結果及び誤り訂正符号数等の情報をリアルタイムに収集するメンテナンスPCを開発し使用することにより、PC1台で試験を行なうことが可能となり、限られたスペースにて短時間で測定機器を設置できるようになった。そのため、2号線区以降の試験においては、既設アンテナを使用しない一部試験を営業列車にて実施している。図13にメンテナンスPCの画面を示す。

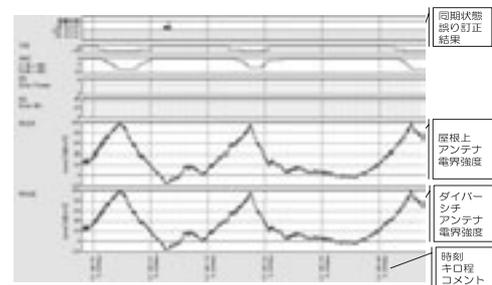


図13 メンテナンスPCの画面

7. おわりに

今回、1号線区である山手線において無線システムを使用開始したが、導入距離は35kmであり、2～7号線区約1600kmの使用開始を今後計画している。2～7号線区においては、一回の切換で400km以上の区間を使用開始する必要があるため、メンテナンスPCを活用して事前の品質確認試験を確実に実施し、万全の体制で使用開始していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 吉田, 西村, 安部, 大島, 久保, 浦口, 岡崎, 棚田, 岩瀬, 山崎, 田子, 谷口: “鉄道環境におけるデジタル列車無線の試験評価 (1) - 周波数繰返しとビート干渉の影響 -”, 信学技報, RCS2001-62, 2001-07.
- 2) 吉田, 西村, 安部, 大島, 久保, 浦口, 岡崎, 棚田, 岩瀬, 山崎, 田子, 谷口: “鉄道環境におけるデジタル列車無線の試験評価 (2) - 送信時間ダイバシティによるビート干渉の抑圧 -”, 信学技報, RCS2001-63, 2001-07.
- 3) 厚澤, 安部, 吉田: “在来線デジタル列車無線システムの開発概要について”, 電子情報通信学会, 2005年ソサイエティ大会, B-5-118.
- 4) 鑰山, 厚澤, 吉田: “在来線デジタル列車無線を使用したアプリケーションシステムについて～アプリケーションの特徴を考慮した無線回線の使用～”, 電子情報通信学会, 2007年総大会, B-5-2.
- 5) 田中, 厚澤, 吉田: “在来線デジタル列車無線のメンテナンス業務について～保守端末を活用したメンテナンス～”, 電子情報通信学会, 2006年ソサイエティ大会, B-5-78.