

東北上越新幹線デジタル列車無線システムの開発



厚澤 誠*



西村 佳久**



吉田 勝弘*

JR東日本では従来の新幹線アナログ列車無線の次期システムとして、東北・上越新幹線デジタル列車無線システムを開発し、2002年11月に使用開始した。

新幹線デジタル列車無線システムでは最新のIT（情報技術）を活用して、列車の安全・安定輸送に貢献する様々なデータ系アプリケーションを開発した。

また、新たに新幹線列車無線専用のメンテナンスシステムを構築し、メンテナンス業務の近代化を図った。

本稿では、東北・上越新幹線に導入したデジタル列車無線の概要と、新たなサービスやメンテナンスシステム等について記載する。

キーワード：デジタル、列車無線、新幹線、移動体通信

1 はじめに

新幹線列車無線システムは、指令員と乗務員間の情報連絡をはじめ、車内公衆電話や文字ニュースなどの回線として使用されており、新幹線の安全・安定輸送の確保や旅客サービス提供の面で重要な設備である。

これまでのシステムは、1982年の東北・上越新幹線開業時のアナログ技術をベースとしたシステムであり、通話には十分対応出来るが、データ伝送機能が十分ではないなどの課題を抱えていた。一方で、新幹線通告伝達システムや車内情報提供システム等の新たなサービスを提供するためにデータ通信が可能な無線システムが求められていたため、設備の老朽取替に合わせて、最新のITを駆使したデジタル無線方式に設備更新を行った。また、主に保守作業時の連絡用として使用している沿線無線電話システムも、列車無線更新に合わせてデジタル化した。

2000年度から着手した更新工事は、2002年11月に切替を終え、システムは現在順調に稼働している。

本稿では、システムの概要について記載する。

2 デジタル列車無線システムの概要

2.1 概要

新幹線列車無線システムは、携帯電話等の一般移動体通信システムとは異なり、275km/hの高速走行列車と地上間において、安定した高品質の無線通信回線を提供する必要がある。そのため、一般の移動体通信で使用されている空間波方式で

はなく、新幹線沿線に敷設したLCX（Leaky Coaxial Cable：漏洩同軸ケーブル）と車上アンテナ間で電波を送受信するLCX方式を採用している。¹⁾

なお、1997年に開業した長野新幹線では、アナログ方式の列車無線をそのまま使用しており、新在直通線区である山形新幹線及び秋田新幹線では、在来線の列車無線方式を使用している。図1に新幹線列車無線システムの方式別エリア図を示す。

2.2 システム構成

デジタル列車無線システムは、東京の総合指令室に設置されている中央装置、拠点駅に設置されている統制局装置、ほぼ各駅に設置されている基地局装置及び列車に搭載された移動局装置等によって構成される。基地局、移動局間は無線伝送であり、基地局より送信された無線はLCX内を伝播し、沿線約1.5kmおきに設置している中継装置により増幅され、移動局へ伝達されるシステムである。

中央装置には指令通話に使用する指令操作卓の他、各アプリケーションサーバが接続されており、車上の移動局装置に接続されている車上操作盤、車両モニタ、車内LEDを介して列車の安全安定輸送を支える音声系及びデータ系システムを実現している。図2にシステム構成図を示す。

2.3 デジタル化によるシステム性能の向上

2.3.1 無線回線数・伝送速度の向上

デジタル列車無線システムでは最新のデジタル技術を採用することにより、これまでのアナログシステムと同一周波数

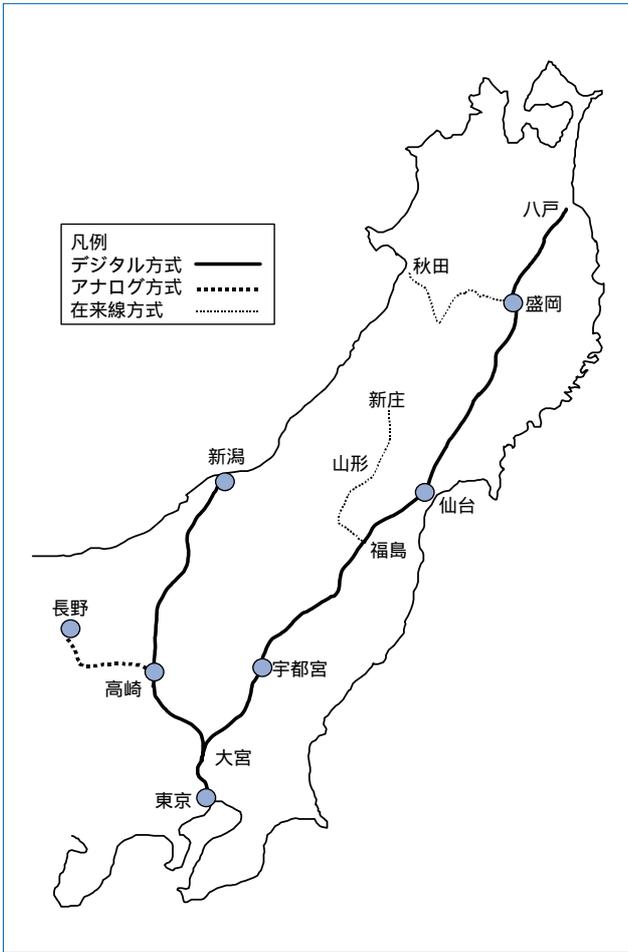


図1：新幹線列車無線システムの方式別エリア図

帯域内にて、無線回線数の増加や伝送速度の向上を実現している。無線回線数の増加及び伝送速度の向上は、指令通話の充実と新たなアプリケーションシステムの実現に繋がっている。

表1に無線回線数・伝送速度のデジタル・アナログ比較を示す。

表1：無線回線数・伝送速度の比較

	音声		データ	
	チャンネル数	伝送速度	チャンネル数	
デジタル (現行方式)	22ch	9.6kbps	12ch	
		64kbps	3ch	
アナログ (従来方式)	15ch	1.2kbps	8ch	

2.3.2 無線品質・音声品質の向上

(a) 無線品質の向上

車両の左右に2組ずつ搭載されている車上アンテナを活用した「最大比合成ダイバシチ」^{注1)}や「適応等化方式」^{注2)}等の最新のITを採用することにより無線品質の向上を図り、符号誤り率 1×10^{-4} 以下の高品質無線回線を実現している。

(b) 音声品質の向上

新幹線列車無線では一般の携帯電話より安定した無線品質を得るため、音声品質を重視した列車無線専用の音声符号化方式「RL-CELP」^{注3)}コーデックを開発し、高品質な音声を提供している。

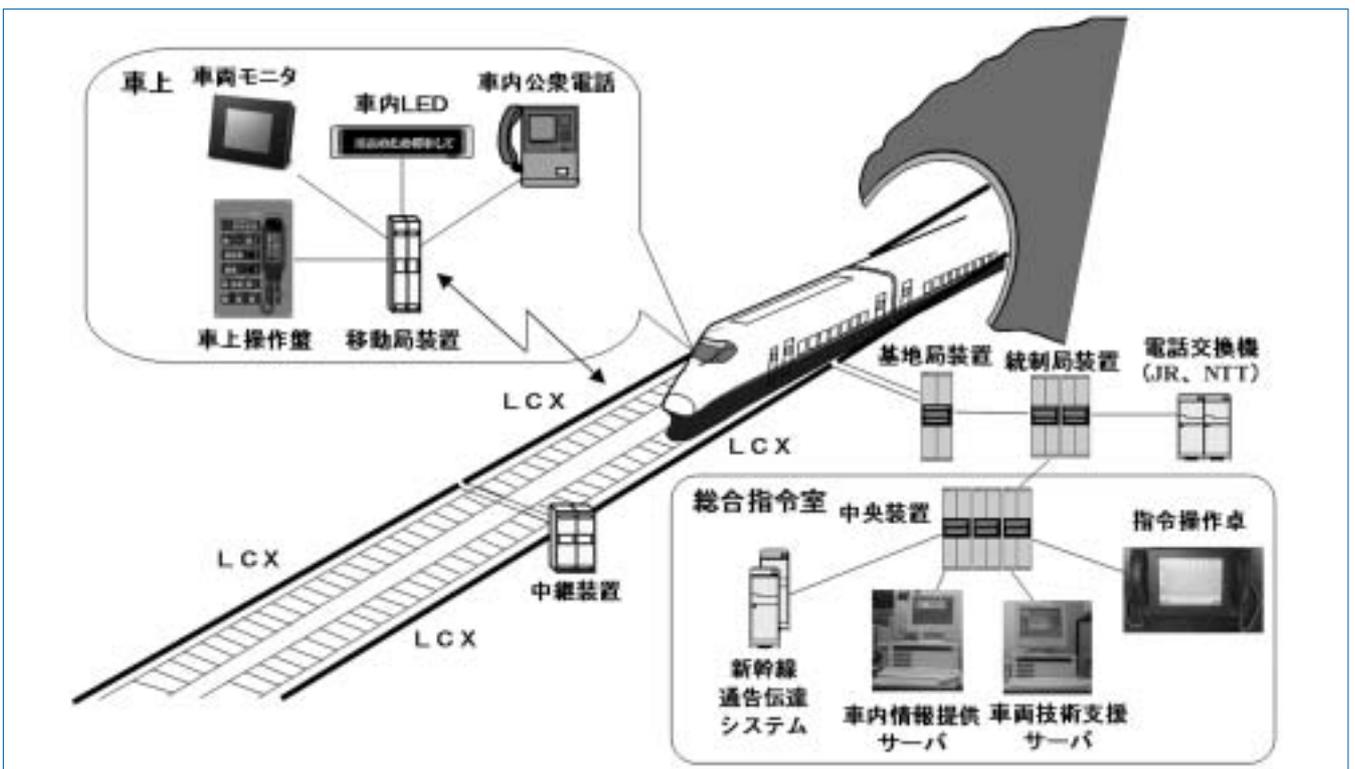


図2：新幹線列車無線システム構成図

3 導入したアプリケーション

3.1 概要

デジタル列車無線は地上と列車をつなぐ高品質な情報通信インフラであり、地上装置に各システムのサーバ等を接続して列車の安全安定輸送を支えるデータ系システムを実現している。図3にデータ系新システムの概要を示す。³⁾

3.2 データ系新システム

3.2.1 車内情報提供システム

車内情報提供システムは、新幹線車内のLEDに新幹線運行情報及び新幹線に接続する在来線の列車の運行情報・ニュース・天気予報などを表示するシステムである。図4にシステム構成を示す。

デジタル化により列車走行区間や列車番号を特定した情報提供が可能となり、お客さまへのタイムリーな情報サービスを実現できる。

車内情報提供システムにおいて、車内LEDへ表示する情報は以下の通りである。

(a) 列車の運行情報

新幹線と新幹線に接続する在来線の列車の運行情報を車内LEDに表示し、列車運行が乱れた時のお客様の乗り換え案内に活用する。車内情報提供システムでは、表示する区間、上下等を指定して情報を表示できるため、乗換駅の手前2区間

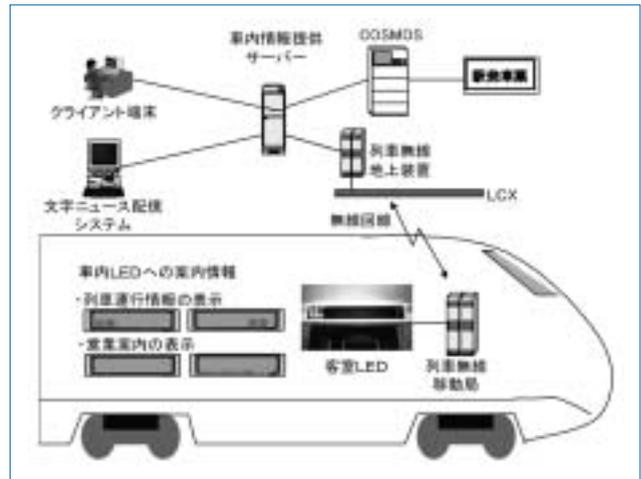


図4：車内情報提供システム構成図

にて在来線の運行情報を表示することにより、タイムリーな情報をお客様に提供することができる。

(b) 営業案内

当社のお知らせ等の営業案内を車内LEDに表示し、お客さまへの情報サービス向上を図っている。

(c) 文字ニュース

最大6新聞社の文字ニュースを1時間単位に新聞社を変えながら車内LEDに表示することが出来る。文字ニュースでは最新ニュース、天気予報等が表示され、お客さまに最新の情報を提供している。

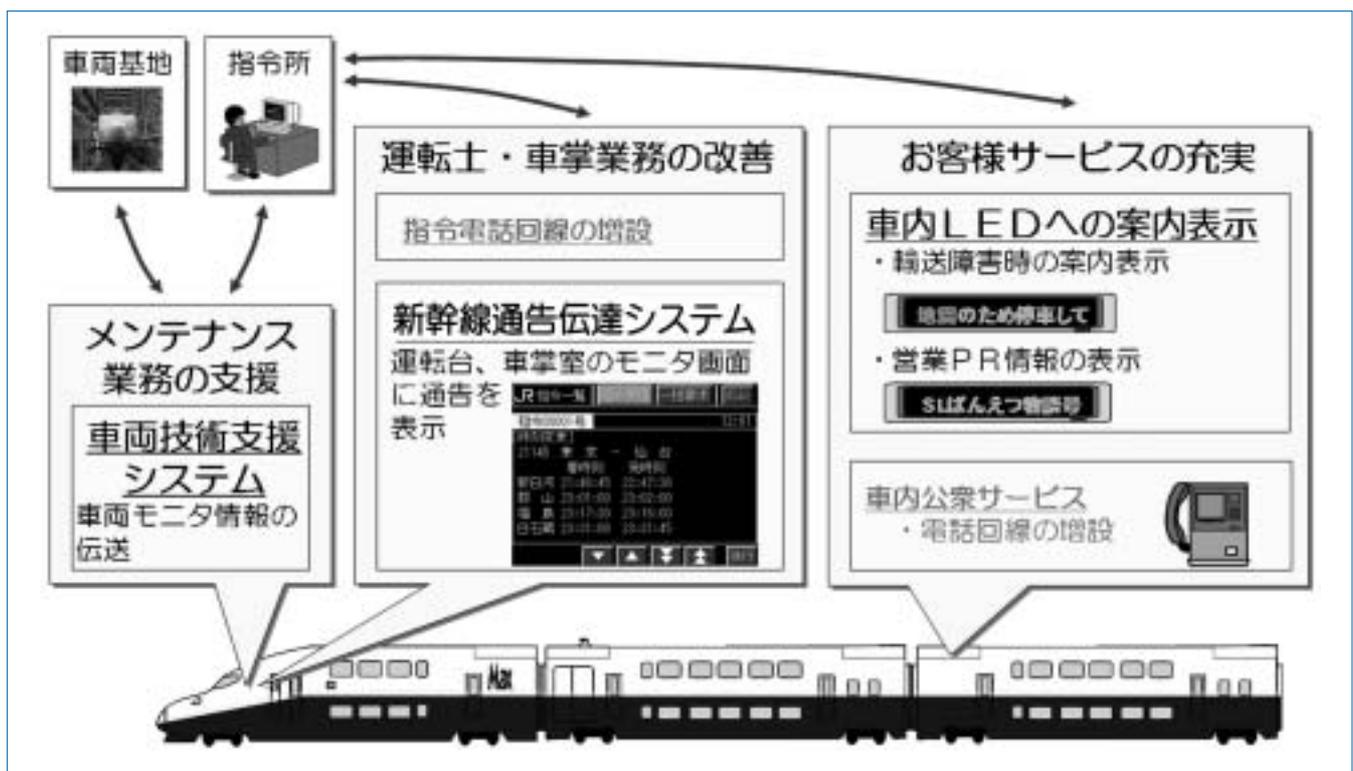


図3：データ系新システム概要図

3.2.2 車両技術支援システム

車両技術支援システムは、指令室及び車両所のモニタ端末より、運転中の新幹線車両機器の稼動状況をリアルタイムに確認できるシステムである。図5にシステム構成を示す。

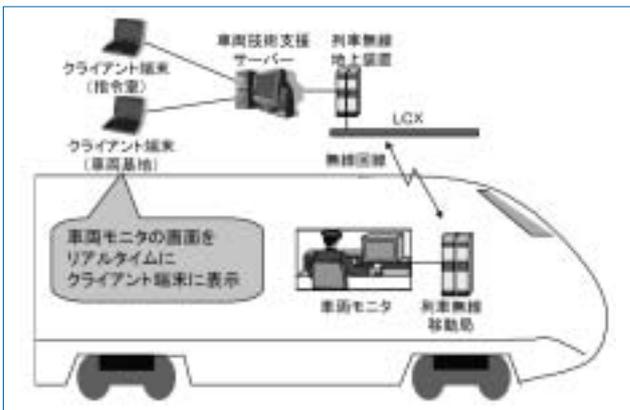


図5：車両技術支援システム構成図

端末からの操作で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、乗務員への適切な支援を実現できる。

3.2.3 新幹線通告伝達システム

新幹線通告伝達システムは、新幹線運転台のモニタに、指令員から列車乗務員への指令通告や徐行情報などを表示するシステムである。図6にシステム構成を示す。

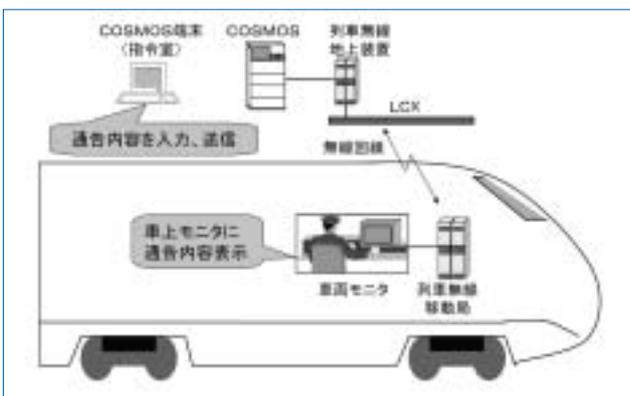


図6：新幹線通告伝達システム構成図

このシステムにより、輸送障害時の列車運行変更などの連絡を迅速かつ正確に行うことが可能となり、より安全で安定した輸送を実現できる。

3.2.4 その他システム

列車無線移動局装置に異常等が発生した場合に、通信機器監視回線を利用して指令室の端末に警報を発生させる「通信機器監視システム」は、デジタル化に伴い内容を充実させた。

また、新しい代用保安システムを、高品質な無線回線を使用して実現する「無線代用保安システム」や車内モバイル環境を整備しお客様サービスの向上を図る「車内インターネット」についても検討を進めている。

4 メンテナンスシステム

4.1 概要

従来の列車無線の故障監視は、沿線の諸設備の動作を集中的に監視するCMS（新幹線信通設備情報監視装置：Centralized Information Monitoring System）の1項目として監視されており、保全や故障解析に必要なデータ取得が十分とは言えない状況であった。そのため、故障発生時には技術センターへ出動要請を行い現地確認によって詳細なデータを収集していた。

そこで、新幹線列車無線のデジタル化に伴い、新幹線列車無線専用のメンテナンスシステムを開発し導入した。

導入したメンテナンスシステムにおいては、CMSにより実施している警報表示、システム制御とは別に、メンテナンスに活用可能な定常的な機器動作履歴データや装置内部の詳細な故障警報、電気検測データ等を信通技術センター及び新幹線指令で監視制御出来るようにシステム構築している。⁴⁾⁵⁾

4.2 システム構成

メンテナンスシステムは、中央装置、統制局装置、基地局装置等を、相互に接続するメンテナンスネットワークと、機器室、信通技術センター及び指令室に設置される保守端末及び監視端末により構成される。また、仙台信通技術センターには、検測車のデータを取り込む検測サーバーを設置している。

保守端末は機器室に設置される端末で、メンテナンスに必要なデータ取得及び機器の制御が可能となっている。監視端末は、信通技術センター及び指令室に設置される監視を主目的とした端末で、機器制御機能については制限がある。メンテナンスネットワーク用回線は、列車無線システムの中央装置～統制局～基地局間的高速デジタル多重回線の一部を使い構成されている。構成イメージを図7に示す。

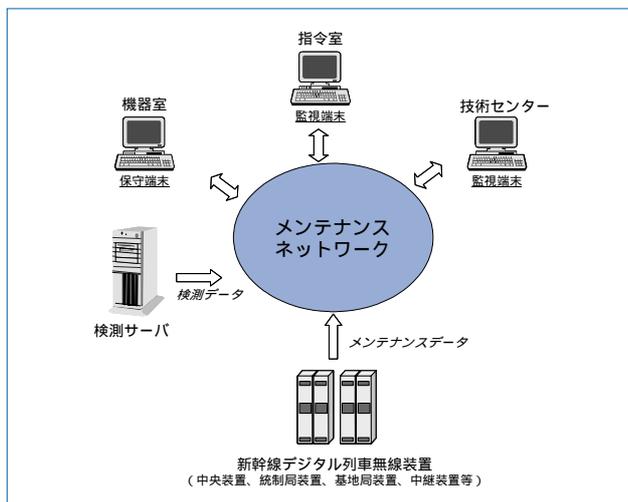


図7：メンテナンスネットワーク構成イメージ

4.3 導入した主な機能

(a) リモート無線性能測定

新幹線列車無線設備は、指令電話や公衆電話等で使用しているため、新幹線が運転中の昼間は設備を使用停止して無線機性能の測定はできない。このため、従来は深夜の数時間の列車間合いで測定を行っており、しかも現地に向いての測定のため非効率的であった。

そこで今回、予め無線測定ユニットを各基地局装置等に実装することによって、設備を使用停止することなく、遠隔地からリモートで無線機の性能を測定することが可能となった。

無線機性能測定は、保守端末または監視端末から実施する。測定画面を図8に示す。

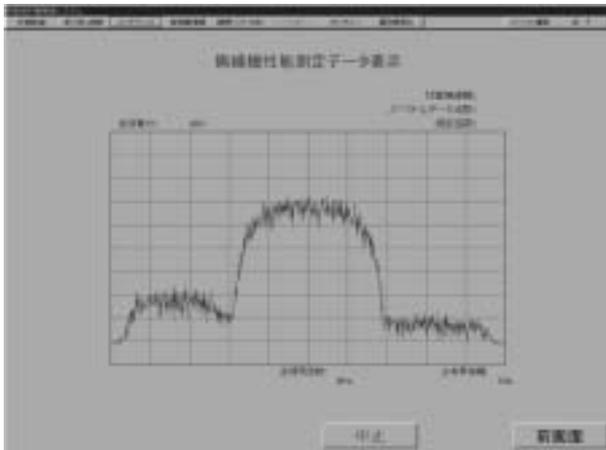


図8：無線機性能測定画面

(b) 監視制御項目の充実

監視項目については、各機器の動作状態表示、回線トラフィック測定、回線折り返し試験及びCPU動作ログなどの保全に必要なデータを追加し、より詳細な項目まで監視が行えるようにした。

また、定常状態監視機能として、列車無線基地局、中継装置及び沿線無線電話基地局等の無線送信出力、制御回線符号

誤り率、電源電圧等の定常状態を監視することが可能となった。定常監視データは、警告値として上限と下限を設定でき、警告（プリアラーム）判定が出来る。

5 デジタル沿線無線電話システム

5.1 概要

今回、新幹線列車無線のデジタル化に合わせて、機能向上を図ったデジタル沿線無線電話システムを開発し、導入した。

沿線無線電話システムは、新幹線沿線からJR電話交換機を通してJR電話の加入者と通話ができるほか、指令機器室の電話回線から音声応答装置を通して作業管理システムと接続され、事前に作業申込みされた番号を入力することで、作業の着手・終了等の手続きができる。また、作業管理システムからCMSのネットワークを経由し、『作業時間帯情報』を得ることもできる。⁶⁾

5.2 システム構成

デジタル沿線無線電話システムは、デジタル沿線無線電話携帯機（以下、携帯機とする）と沿線に布設されたLCX間で電波を送受信し、デジタル沿線無線電話基地局装置（以下、基地局装置とする）を通してJR電話網に接続し、機器室及び指令等と通話を行う。LCXは列車無線と共用するため、無線ゾーンは同じエリアになっている。システム構成と携帯機の外観を図9に示す。

5.3 デジタル化による機能向上

デジタル方式に更新することによって実現した、主な機能向上内容を以下に記述する。

(a) チャネル数の増加

アナログ方式では1ゾーン3CHであったチャンネル数を4CH

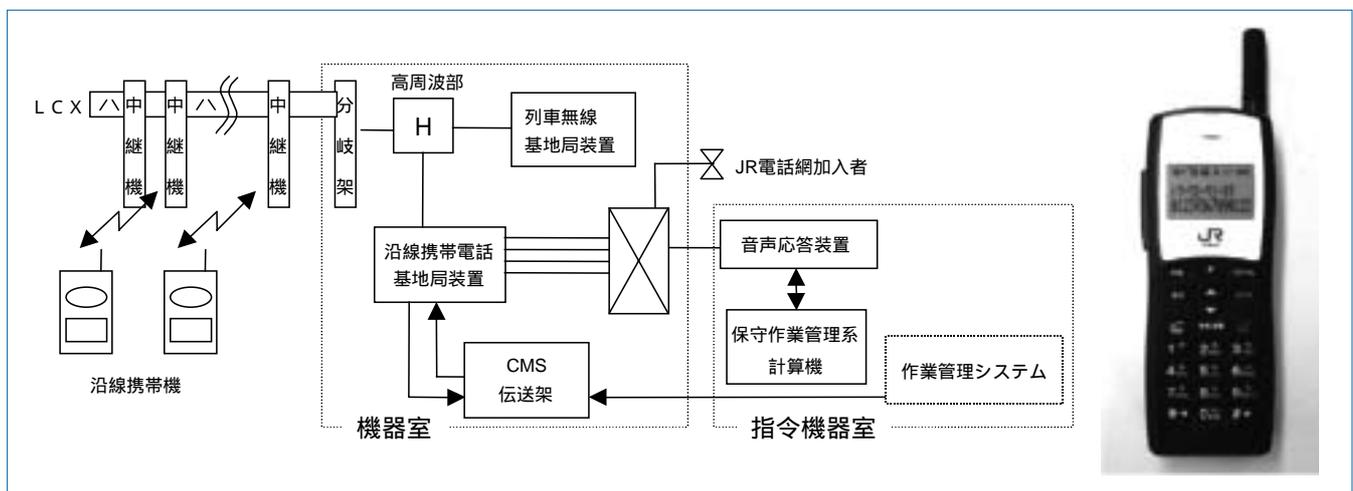


図9：沿線無線電話構成図と携帯機の外観

に増加し通話チャンスの拡大を行った。

(b) チャンネル有効利用と作業時間帯表示時間短縮

携帯機の【作時】ボタンを押すことで作業時間帯の範囲が表示される機能であるが、アナログ方式では、要求から表示までに5秒程度必要であり、表示中は通話チャンネルを専有するという課題があった。

デジタル方式では、制御チャンネルを活用して常時『作業時間帯情報』をブロードキャストする方法を開発・導入し、チャンネルの有効利用を図るとともに表示時間の短縮を行った。

(c) データ通信機能による沿線画像の伝送

輸送障害等で新幹線が駅中間に停車した際に、現地の映像を乗務員から指令に伝えたいという要望がある。実現するには一般の携帯電話を用いた画像伝送が考えられるが、東北・上越新幹線の走行区間はほとんどが携帯電話のサービスエリア外(山間部等)であり、そのため実用化には問題がある。

そこで、デジタル方式により可能になったデータ通信機能を活用し、デジタルカメラからの画像をスマートメディアにより伝送できる画像伝送装置を開発し導入した。システム構成を図10に示す。

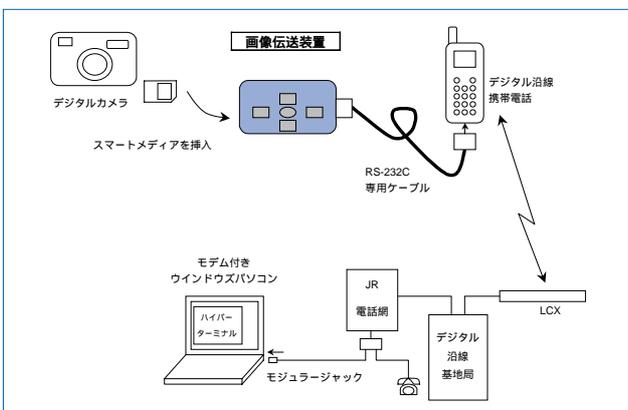


図10：新幹線沿線からの画像伝送システム構成

6 おわりに

新幹線列車無線デジタル化により、当社のデータネットワークは列車まで拡張することが可能となり、「車内情報提供システム」、「車両技術支援システム」をはじめとした様々なデータ通信システムが実現出来た。また、メンテナンスシステムの充実により、列車無線の保安全性は格段に向上し、設備障害時等における対応の迅速化が図られた。

列車の安全安定輸送の確保、列車内のお客様サービスの充実のために地上と列車間の情報伝達ニーズが高まっていくなか、新幹線デジタル列車無線は地上と列車間の安定した情報通信インフラとして、今後さらに重要性を増していくと考えている。

注1 「最大比合成ダイバシチ」

移動体通信においては、回折波や反射波など多重波間での干渉の影響により、受信波の瞬時値変動すなわちフェージングが生じ、これが回線品質に影響を及ぼす。フェージングの影響を軽減する技術として二つ以上の受信波を利用するダイバシチ受信があり、新幹線列車無線システムでは、地上側から車上側における無線回線品質改善策として、4面最大比合成ダイバシチを採用した。

注2 「適応等化方式」

適応等化方式は、フレーム周期を1シンボル分(変調方式が / 4シフトQPSKであるため2ビット)強制的に遅延差を設けることによって品質向上を確保する方式である。しかし、通常の復調装置では遅延波が遅れて受信されるため正常に受信できない。そのため、復調装置には、適応等化器を利用している。

注3 「RL - CELP」

Rail system Code Excited Liner Prediction

基本的にはPSI - CELPと同等の性能を持つが、PDCが空間波システムであり比較的誤り率の悪い地域まで考慮しなければならないのに対して、列車無線システムはLCXシステムであり、安定した誤り特性が得られることから、誤り訂正能力よりも音質を重視した符号構成に改良したものである。

参考文献

- 1) 大島, 西村: 東北・上越新幹線デジタル列車無線システム, JREA, Vol46, No8, 2003.
- 2) 高瀬, 西村: LCX方式における最大比合成ダイバシチの効果, 電子情報通信学会予稿集, B - 5 - 201.
- 3) 厚澤, 瀧田: 東北上越新幹線列車無線システムのデジタル化更新について, サイバネティクス, Vol.8, No.1, 2003.
- 4) 原田, 吉田, 大島: ソフトウェア受信機を応用した新幹線列車無線基地局リモート測定装置の実用化, 電気学会, 交通・電気鉄道研究会, TER - 01 - 19.
- 5) 吉田, 奥山: IT技術を駆使した新幹線列車無線メンテナンスシステムの開発, JREA, Vol45, No3, 2002.
- 6) 西村, 瀧田, 煤孫: チャンネルの有効活用を図った沿線携帯電話システムの開発, 電子情報通信学会予稿集, B - 5 - 112.