

無線通信システム技術の変遷と今後の展望

コミュニケーション・ネットワーク製作所
無線通信システム部長

伊村 真



1. ま え が き

三菱電機の通信事業は、無線から始まっている。1948年に国産初の実用化FM(Frequency Modulation)無線機を日本国有鉄道に納入して以来、様々な分野で、最新技術を活用した無線通信システムを開発してきた。

電気通信事業者用無線では、1993年3月にPDC(Personal Digital Cellular)方式のデジタル自動車・携帯電話システムのサービスイン以降、基地局装置の製品化を行い、移動通信の発展に貢献してきた。

自営無線では、1964年開業の東海道新幹線における列車無線の導入を始め、国内の高速鉄道、在来線、公営・民営鉄道に用いられる列車無線装置の製品化を行い、鉄道事業の安全・安心に貢献してきた。

また、1982年10月に800MHz帯を利用したアナログMCA(Multi Channel Access)システム用の統制局設備及び移動局の製品化を行い、物流事業者などの相互連絡に貢献してきた。また、災害発生時の避難情報伝達、救助活動、復旧活動及び平時の災害発生予測情報、行政情報の伝達に用いられる防災行政無線用の同報無線、移動無線を製品化し、住民の安心・安全に貢献してきた。

本稿では、2章で無線通信事業を取り巻く環境について、3章でこの環境に対応してきた無線通信システム技術の変遷について、4章で今後の展望について述べる。

2. 無線通信システム事業を取り巻く環境

電気通信事業者用無線では、スマートフォンの急速な普及によって、データトラフィックが急増しており、電気通信事業者によるネットワークの高速・大容量化が進められている。

自営無線の列車無線では、従来のアナログ方式から大容量で高い回線品質のデジタル方式への移行が進展している。また、乗客へのブロードバンド通信サービスの提供など利便性・快適性の向上を図るシステムとするために、より高度な無線を利用したシステム構築が進められている。

また、MCA無線では、従来の狭帯域方式による音声主体のサービスから、画像や大容量データ伝送への対応が進められており、防災無線では、東日本大震災以降、より遠くの人にはっきりと情報を伝える手段が求められるほか、商用電源が停電した際の放送可能時間の延長等への対応が進められている。

これらのように、各事業分野で、近年、無線システムの高速・大容量化による利便性・快適性の向上や耐災害性の強化が進められている。

3. 無線通信システム技術の変遷

当社が取り組んできた、電気通信事業者用無線事業、及び自営無線事業に関する無線通信システムの技術の変遷について述べる。



図1. 電気通信事業者用無線基地局の変遷

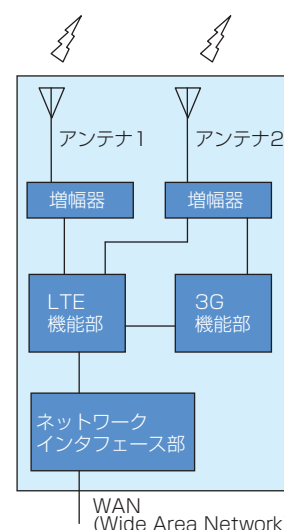


図2. 3G/LTEフェムトセル基地局装置のブロック図

3.1 電気通信事業者用無線事業における技術の変遷

電気通信事業者用無線では、図1に示すように、PDC、W-CDMA(Wideband Code Division Multiple Access)、LTE(Long Term Evolution)の大型基地局装置、小型基地局装置を製品化してきたほか、衛星移動通信基地局装置を製品化してきた。

3.1.1 PDC、W-CDMA、及び3G／LTEフェムトセル基地局

PDC基地局は、受信性能、装置の拡張性によって、通信品質の確保、経済的な装置増設を実現した。

W-CDMA基地局は、装置の小型化、チャネル容量によって、基地局装置1架で、最大4キャリア、6セクタ、収容チャネル3,328チャネル(音声換算)を実現した。

3G／LTEフェムトセル基地局装置(図2)は、通信性能として、3G方式で下り14Mbps、上り384kbps(5MHz帯域)、LTE方式で下り112.5Mbps、上り37.5Mbps(15MHz帯域)の同時通信を可能にするとともに、装置の小型化、プラグ&プレイ機能等によって、通信の快適さ、設置の容易さ、安全・信頼性を実現した。

次に、3G／LTEフェムトセル基地局を実現する主な技術・機能を述べる。

(1) 装置の小型化

3G機能部とLTE機能部のアンテナ、送受信増幅器等の共有化、及び放熱構造の最適化による自然空冷とすることで、約1.45リットル以下の小型化を実現した。

(2) 有線プラグ&プレイ機能の実現

公衆ブロードバンド回線に接続するだけで、IPアドレスなど各種パラメータを自動的に取得するとともに、安全性、信頼性を確保するために、IPsec(Security Architecture for Internet Protocol)、PPPoE(PPP over Ethernet)、DHCP(Dynamic Host Configuration Protocol)、USIM(Universal Subscriber Identity Module card)の各種プロ

トコル・サポートを実現した。

(3) 無線プラグ&プレイ機能の実現

既設の基地局への電波干渉を抑えるために、周辺基地局の電波状況を観測するセルサーチを行い、使用周波数や送信電力を決定する機能を実現した。

3.1.2 衛星移動通信基地局

衛星移動通信基地局は、PSP-AVDD(Pre-Survivor Processing Adaptive Viterbi Decoding and Demodulation)方式⁽¹⁾とSSP-MOLFE(Scattered Successive Pilot-Multiple Open-Loop Frequency Estimation)方式⁽²⁾による、低C/N(Carrier/Noise)下で高速の伝送路変動に追従可能で良好な受信特性の実現、装置の小型化、及びIMS(IP Multimedia Subsystem)基盤への接続と呼接続時間の短縮によって、通信品質確保、設置容易性、スムーズな呼接続を実現した。

3.2 自営無線事業における技術の変遷

3.2.1 列車無線

列車無線では、図3に示すように、基地局、中継機、移動局を製品化してきた。

新幹線列車無線は、1964年に東海道新幹線で、1982年に東北・上越新幹線で、アナログ方式による運用を開始した。2009年2月に東海道新幹線、2002年11月に東北・上越新幹線はデジタル方式に更新し、データ通信を利用したアプリケーションニーズに対応可能となり、乗客へのインターネット接続用の回線も提供している。

在来線、公営・民営鉄道用列車無線は、2007年8月に山手線でデジタル方式で運用を開始した。周波数の有効利用を行い、通話回線の増加、通告伝達などのアプリケーションを実現し、列車の安全安定輸送に貢献し、旅客サービスの向上を可能とした。

次に、列車無線を実現するための主な技術を述べる。

(1) 安定した無線回線品質の実現

(a) 新幹線列車無線：LCXデジタル方式



図3. 自営無線(列車無線)の変遷

特集Ⅰ：当社技術の変遷と将来展望

高速走行する列車(移動局)と地上の基地局間で安定した回線品質を提供するため、ダイバーシチ技術を導入して無線性能の向上を図り、符号誤り率 1×10^{-4} 以下を実現した。

基地局→移動局方向は、前後・左右のLCX(Leaky Coaxial cable)アンテナを用いたダイバーシチ受信を採用した。複数の電波を受信することで、高速移動下での無線回線品質の劣化を回避し、無線回線品質の向上を実現した(図4)。

移動局→基地局方向は、移動局から2つの送信信号を送出し、受信側で信号を分離し、最適合成することで1本のアンテナをあたかも2本のように扱うことができる独自技術(Per transmit Antenna Differential Mapping：PADM)⁽³⁾を適用することで安定した無線回線品質を実現した(図5)。

(b) 在来線、公営・民営鉄道列車無線：空間波デジタル方式

アナログ方式では、周波数の有効利用のために、1線区の同じ回線を同一周波数によって複数基地局同時送信で実現した空間波方式を採用している。デジタル列車無線システムは、アナログの基地局配置を踏襲したまま、同様に複数基地局同時送信を空間波デジタル方式で実現するために、送信時間ダイバーシチ+適応等化ダイバーシチ受信技術を適用した。送信時間ダイバーシチは、図6に示すように複数の基地局、又はアンテナからの送信信号に対して、送信タイミングを調整する技術である。適応受信ダイバーシチ受信はPSP(Per-Survivor Processing)方式の適応等化技術を採用し、波形歪(ひず)み成分を適応的に推定し、受信信号から波形歪みの影響を回避する技術である。これらによって、同一波干渉・ビート干渉の影響を克服⁽⁴⁾し、通話音質の向上と難聴区間の削減を実現した。

(2) 高品質な音声コーデックの実現

列車上で周囲雑音が大きいなど特有の使用環境を持つ列車無線システム専用最適化した音声コーデック(Rail system Code Excited Liner Prediction：RL-CELP)を開発⁽⁵⁾した。安定した無線回線品質が得られることから、誤り訂正符号長を最適化することで、音声品質を高めるとともに、音声信号の特徴をコーデック処理に反映させることで、音声品質を高めた。

3.2.2 MCA無線、防災無線

MCA無線、防災無線では、図7に示すように基地局、中継局、移動局を製品化してきた。

防災無線の市町村同報無線システムはアナログ方式で実用化され、災害発生時の避難情報伝達等に用いられるとともに、平時の行政情報の伝達等に使用されてきた。

2001年に、周波数利用効率の向上、サービス機能の充実、重大災害時の相互接続性を実現した、全国初となるデジタル方式のシステムを納入した。ノイズのないデジタル音声や、ミュージックチャイムなどの放送が可能となった。

また、デジタル移動無線でも、2008年に移動無線の携帯機を開発し、住民の安心と安全に貢献している。

次に防災無線を実現するための主な技術を述べる。

(1) デジタル同報無線システムの伝送方式の実現

デジタル方式では、周波数の有効利用のため、通信方式にTDMA(Time Division Multiple Access)／TDD(Time Division Duplex)方式を採用し、変調方式も高効率の16QAM(Quadrature Amplitude Modulation)方式を採用し、15kHz帯域で45kbpsの伝送速度を実現した。これによって、1波で下り方向の放送を行いながら、上り方向の連絡通話が可能となった。

(2) S方式CODECの開発

デジタル同報無線では、一般に使用される業務用無線とは異なり、ミュージックチャイムなど、音声以外の音源も明瞭に伝送する必要があるため、伝送周波数帯域を7kHzま

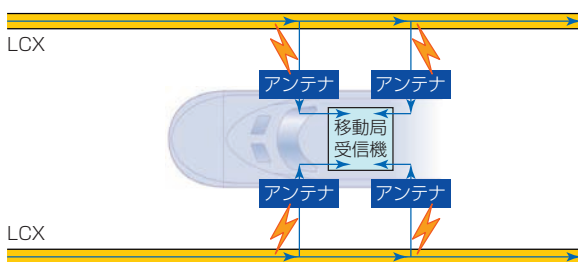


図4. 基地局→移動局ダイバーシチ方式

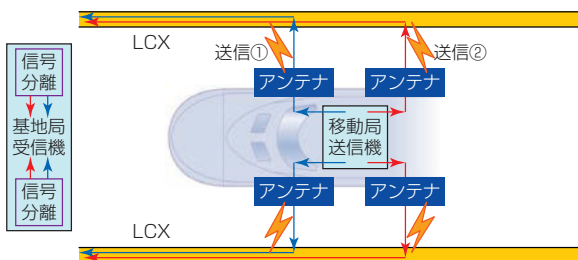


図5. 移動局→基地局ダイバーシチ方式

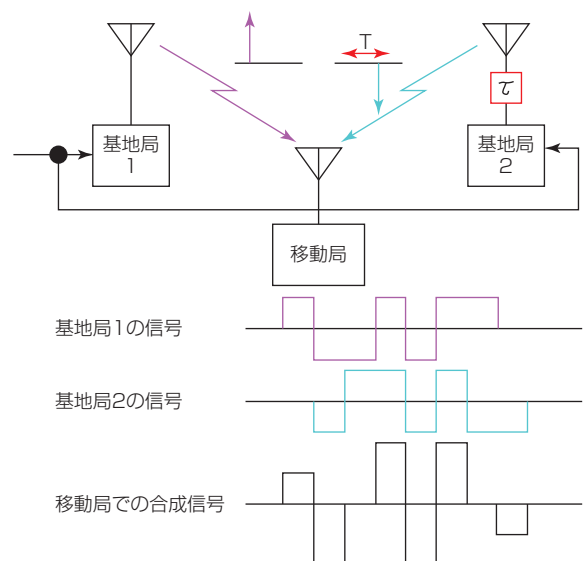


図6. ビート干渉抑圧方式

で広げたITU-T(International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector) G.722.1方式と同じアルゴリズムの16kbps音声符号化処理に誤り訂正処理を付加した伝送誤り耐性の高い25.6kbpsのS方式CODEC(Coder / Decoder)を開発した。

(3) デジタル移動無線システム携帯機の開発

デジタル移動無線システムは、自治体内の連絡用の無線システムとして利用されており、2008年に送信出力を4Wとし、運用可能時間を20時間以上(送信1、受信1、待ち受け18)とした携帯無線機を開発した。

この携帯機には、種別などの分類が行えるメール機能を実装し、役所のサーバで送信者からの要求事項ごとに割り振りが行える機能を実現した。これによって、災害発生時に現場で確認した際、避難状況、損壊状況等の情報が対策本部側で一元的に整理された形で把握でき、細かな説明が不要となり、情報収集の効率化に寄与している。

4. 今後の展望

4.1 電気通信事業者用無線事業

電気事業者用無線通信は、今後予測されるモバイルデータトラフィックの急増への対応や、どこでもつながる利便性の向上を図るために、第5世代無線システムに代表されるように、ますますの高速・大容量化、低遅延伝送、高速移動時のより高いパフォーマンス、様々なデバイスとの接続性及び災害に対する堅牢(けんろう)性が求められる。

4.2 自営無線事業

列車無線は、鉄道事業者の安全・安定輸送を支えるために、運行支援や車内業務等を実現する地車間通信として、災害に強く全線のどこでも通信可能な信頼性の高い無線回線品質が求められる。また、乗客に対する迅速な情報提供、車内インターネット環境等の快適な車内空間の提供及び映像伝送を実現するための地車間通信として、高速大容量の

無線伝送速度が求められる。

今後は、高信頼性の無線通信による業務系サービスと高速大容量の無線通信による旅客系サービスを実現させるシステムへの2極化が進展すると想定される。

また、防災無線でも、東日本大震災の教訓をいかした耐災害性の強い堅牢なシステムが求められる。

5. むすび

当社は、電気通信事業者用無線事業、自営無線事業で培ってきた技術はもちろん、宇宙事業等で培ってきた高周波技術、アンテナビームフォーミング技術等の先端技術を用いて、安心・安全・快適な無線通信システムを実現することで社会の発展に貢献していく。

参考文献

- (1) 久保博嗣, ほか: ステートごと推定法を用いた適応形ビタビ復号器の特性, 電子情報通信学会論文誌(A), **J77-A**, No.12, 1650 ~ 1660(1994)
- (2) Kubo, H., et al.: A multiple open-loop frequency estimation based on differential detection for MPSK, IEICE Trans. Commun., **E82-B**, No.1, 136 ~ 144 (1999)
- (3) Kubo, H., et al.: MIMO Communication Systems Employing Per Transmit Antenna Differential Mapping(PADM), Proc. IEEE VTC2004 Spring, **2**, 613 ~ 617(2004)
- (4) 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)
- (5) 山浦 正, ほか: CELPの聴覚的劣化感を低減する音源符号帳探索方式の検討(音声, 聴覚), 電子情報通信学会論文誌(D), **J89-D**, No.4, 807 ~ 815(2006)

MCA無線, 防災無線



IP-BTS : IP Base Transceiver Station

図7. 自営無線-MCA無線, 防災無線の変遷