

巻頭論文

情報通信を支える 最新の無線通信技術



千葉 勇*



宮崎守泰**



渋谷昭宏***

Latest Wireless Communication Technologies for Information and Telecommunication Systems

Isamu chiba, Moriyasu Miyazaki, Akihiro Shibuya

要 旨

無線通信技術は、1990年代以降、携帯電話の急速な普及によって人々の身近なものになった。その一方で、メールやインターネットアクセスなどのデータサービスの増加によって、無線ネットワークにかかる負荷の急増に対して十分対処できていないなどの問題が生じている。衛星通信や列車無線でも同様の問題を抱えており、この問題を解決するためには、限られた無線リソースの中でモバイルトラフィックを効率良く収容する無線通信技術の高度化が必須である。

一方、無線通信技術は、高速化とは別に新たなサービスや価値を創出するための技術としても注目されている。社会・産業用途向けの省配線化、センサ情報収集ネットワーク構築のために無線通信技術を積極的に活用しようとする取り組みが行われている。しかしながら、実用化に向けては有線並みの通信安定性確保や電源供給が困難な環境での使用等解決しなければならない課題も多い。

この特集号ではこれらの現状を踏まえ、三菱電機におけ

る無線通信技術の最新の取組み状況について述べる。

(1) 無線伝送技術

無線通信の大容量化、通信機器の低コスト化、高性能化の要求にこたえる当社独自の無線信号処理技術について示す。

(2) 無線ネットワーク技術

無線ネットワーク利用分野が産業用途に広がる中、一層の普及に向けて高信頼性、低消費電力化、導入容易性、セキュリティを実現する技術について示す。

(3) アンテナ・EMC (Electro Magnetic Compatibility) 技術

高速化・多様化の要求に応えるアンテナ広帯域化技術、マルチアンテナ技術、及び高精度なEMC測定技術について示す。

(4) 高周波回路・デバイス技術

デバイスの進化を展望しつつ、低消費電力化、小型化、及び低歪(ひず)み化の課題を克服する高周波回路・デバイス技術について示す。

無線伝送技術

無線通信技術

アンテナ・EMC技術

無線ネットワーク技術

広域通信ネットワーク

高周波回路・デバイス技術

無線通信技術開発と事業への展開

無線通信技術の適用分野が広がりがつつある。衛星通信、列車無線、移動体通信等の無線が必須な事業領域に加えて、有線の代替手段として産業分野で導入が始まっている。高速・広帯域化、周波数利用効率の向上等に資する技術開発を継続しつつ、産業分野での利用に応える高信頼、低消費電力、導入容易性にかかわる技術開発も幅広く継続的に進めていく必要がある。

1. ま え が き

近年、無線通信の高速・大容量化の進展は目覚しく、図1に示すように、OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)方式やSC-FDMA(Single Carrier Frequency Division Multiple Access)方式といった高度な変復調方式とMIMO(Multiple-Input Multiple-Output)伝送技術などが相まって、100Mbpsを超える伝送速度を実現するに至っている。一方で、無線通信のもつ利便性を様々な環境下で活用するためには、耐干渉性の向上、消費電力の低減、高速移動への対応、及び装置の小型・軽量化といった課題がある。

本稿では、これらの課題解決に向けた当社の取組みを、無線伝送、無線ネットワーク、アンテナ・EMC、及び高周波回路・デバイスの各技術に分類しながら述べ、この特集号を俯瞰(ふかん)する。

2. 無線伝送技術

大容量化の進む無線通信機器の、飛躍的な低コスト化と高性能化を可能としたデジタル無線信号処理技術について述べる。

無線通信機器の低コスト化は、デジタル化とともに進んでいる。図2にデジタル無線機における無線信号処理構成を示す。デジタル化当初では、デジタル回路の動作速度の制約からベースバンド処理のみにデジタル回路を適用していた。デジタルデバイスの進化に伴い、IF(Intermediate Frequency)信号処理までがデジタル化され、アナログ部品点数の削減、回路無調整化が実現された⁽¹⁾。さらに、デジタルで複数チャネルを処理するマルチチャネル無線機が実用化され、アナログ分配器/合成器の削減、無線機台数の削減によって、大幅な省スペース化、低コスト化が実現されている。この特集号では、マルチチャネル技術を適用した衛星通信モデムについて述べる(本号11ページ)。

一方、高性能化では、モバイルインターネットの普及に伴い、“いつでも、どこでもつながる通信”が求められ、無線伝送に要求される性能が急速に高まっている。図3に無線伝送に要求される性能と各種通信方式(代表的な伝送速度、移動速度を例示)を示す。横軸は単位周波数あたりの伝送速度(周波数利用効率)、縦軸は伝送速度で正規化した移動速度を示しており、数値が大きくなるほど高度な無線信号処理が必要となる。すなわち、無線通信の高性能化では、この2つの指標が重要である。

無線信号処理で周波数利用効率を高めるためには、変調方式の多値化と複数アンテナを用いた空間多重が有効である。変調方式の多値化では、移動体通信でも、64値(6ビット)が実用化されつつある。これは、アナログ歪み補償、ピーク抑圧、誤り訂正等の無線信号処理技術によって高感

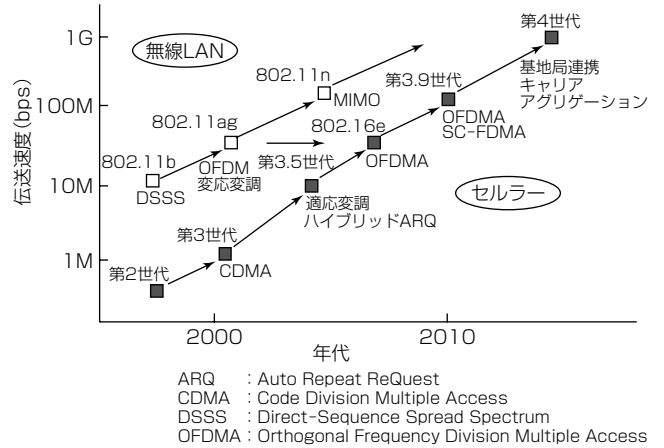
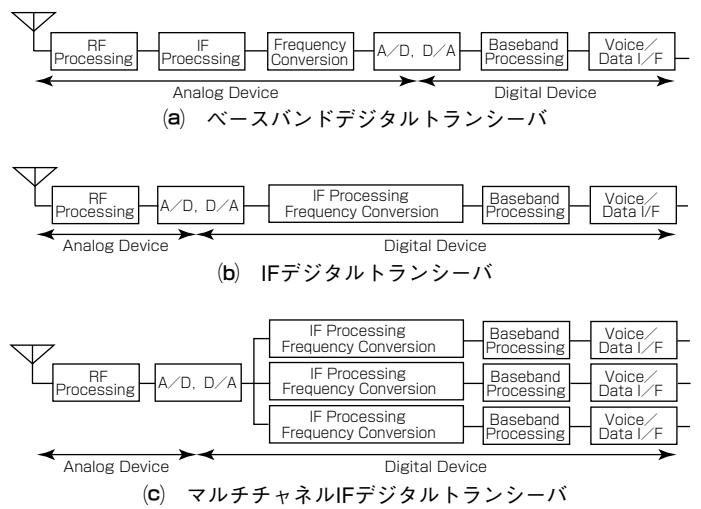


図1. 無線通信技術の変遷



A/D: Analog-to-Digital Converter, D/A: Digital-to-Analog Converter
I/F: InterFace, RF: Radio Frequency

図2. デジタル無線機における無線信号処理構成

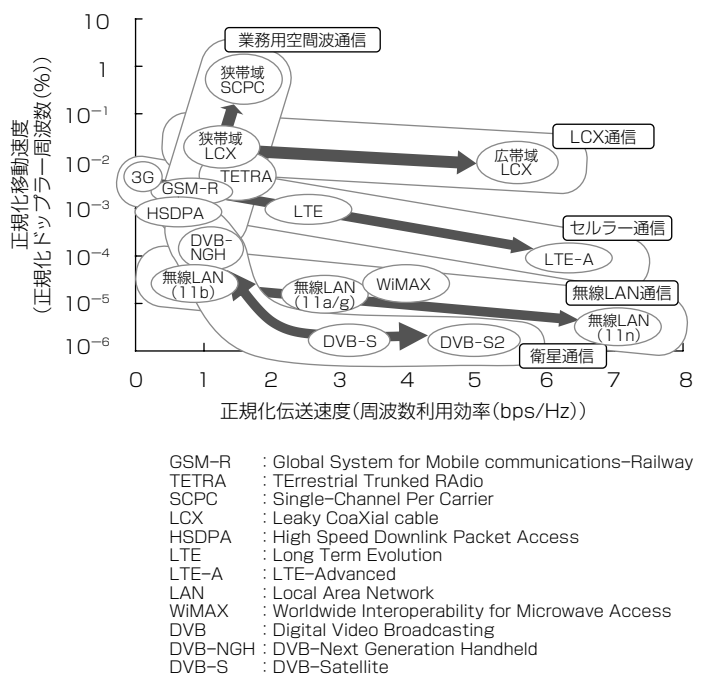


図3. 無線信号処理に要求される性能と各種通信方式

度化が進んだためである。また、複数アンテナを用い、空間を仮想的に分離して多重伝送を行うMIMO技術は、周波数利用効率を倍増し、送受信各4本のアンテナを用いた4空間多重を実現している。この特集号では、安定した電界が得られるLCX(Leaky Coaxial cable)通信で、最大1,024値(10ビット)伝送、空間多重(LCX-MIMO技術)による大容量LCX無線通信技術について述べる(本号7ページ)。

もう1つの指標である移動速度については、高速な無線環境の変動に追従する伝送路推定技術が必要である。当社では、狭帯域通信で高速の伝送路変動に追従可能な適応等化技術によって、高速移動に対応できるセルラー通信、LCX通信、業務用空間波通信をこれまでに実用化してきた⁽²⁾。さらに、広い周波数を利用する広帯域通信で、時間と周波数の二次元で高速の伝送路変動に追従する技術を開発し、広帯域通信でも高速移動を実現した。この技術は、今後実用化される高速移動体向け広帯域LCX通信、及び高速移動体向け衛星放送(DVB-NGH)に適用する。

3. 無線ネットワーク技術

当社は、1970年代のデジタル衛星通信システム開発を源流として無線ネットワーク技術開発に継続的に取り組み、無線IP化技術や無線リソース管理技術を磨いてきた⁽³⁾⁽⁴⁾。これらの技術は、衛星移動通信システム対応の無線装置⁽⁵⁾やフェムトセル基地局装置⁽⁶⁾等、移動体通信関連インフラ装置の実用化に適用されている。

一方、これまで無線ネットワーク技術が積極的に用いられてこなかった分野で無線LANや特定小電力無線などを活用しようとする動きが高まっている。無線ネットワーク利用分野の拡大について、図4に示す。省配線化、早期ネットワーク構築の観点から産業用途向けのニーズが高まっており、特に900MHz帯を用いた無線ネットワークは、消費電力を抑えた低コストな無線ネットワークを実現することができるため期待が大きい。しかし、産業用途では既存有線ネットワークからの置き換えニーズが主であることから、既存無線LAN、特定小電力無線を用いた無線ネットワークに対して消費電力、導入容易性、セキュリティ、信頼性を一段と高める必要がある。当社は、これらの課題を克服し車載機器、住設機器、スマートグリッド等の分野に無線ネット

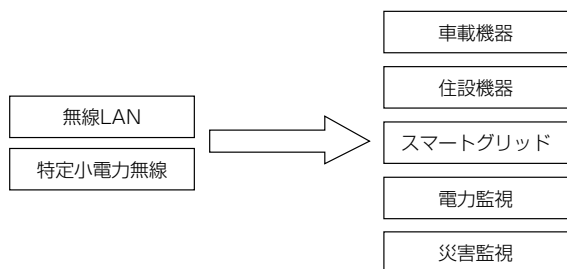


図4. 無線ネットワーク利用分野の拡大

ワークの適用領域を広げるための技術開発を進めている。

特定小電力無線は、電源供給が困難な環境での利用ニーズにも応えるため、電池駆動10年を目標とする低消費電力化技術開発に取り組んでいる(本号15ページ)。導入容易性の観点からは、ネットワーク敷設コストを低減し早期ネットワーク構築が可能な無線メッシュネットワーク技術の開発を進めている。ネットワークの状態に応じて端末間のパケット衝突を大幅に低減し500台超の端末を安定に収容する送信タイミング制御技術⁽⁷⁾を開発し、特定小電力無線、無線LAN媒体によるフィールド実証で性能評価と実用化開発に取り組んでいる(本号19ページ)。また、無線免許不要バンドを用いる無線システムは、利用の拡大と相まって増大するシステム間の周波数干渉による通信品質劣化への対応が課題である。この課題を克服するため、カーナビゲーションシステム向けに搭載機器(Bluetooth^(注1)、無線LAN)と持込機器(無線LAN搭載)間の干渉対策技術を開発した(本号23ページ)。

無線ネットワークの普及に伴って予想される不正アクセスやサイバー攻撃に対するセキュリティ対策技術の確立も大きな課題である。産業用途向けにセキュリティ機能を実装する場合、安全性に加えて低リソース環境での動作を考慮した設計が不可欠であり、無線メッシュネットワークへの適用を意識したセキュリティ技術開発に取り組んでいる(本号47ページ)。

(注1) Bluetoothは、Bluetooth SIG, Inc. の登録商標である。

4. アンテナ・EMC技術

当社は、移動体通信基地局・携帯端末、RFID(Radio Frequency IDentification)に代表される無線通信用途に対応した小形アンテナの開発に継続的に取り組んでいる。

図5が、アンテナに要求される最新技術である。無線通信の高速化・多様化に対応するための方策の一つとして、周波数の広帯域化がある。広帯域化手法としては、非励振素子を装荷することで複共振とする方法⁽⁸⁾や、携帯端末内の地導体を放射体として利用して地導体形状を工夫する方法⁽⁹⁾を当社は開発済みである。さらに、非常に離れた2つの周波数帯に対応する手段として、低周波用アンテナを高周波用アンテナの地導体として利用することで高効率化する方法も開発している⁽¹⁰⁾。

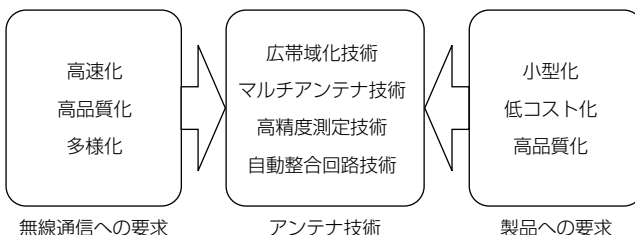


図5. 無線通信用アンテナに要求される最新技術

近年、特に要求が高まっている小形アンテナのもう1つのトレンドとして、アンテナを複数配置するマルチアンテナ技術がある。低相関なマルチアンテナを用いたダイバーシチ・MIMOによって、無線通信の高速化・高品質化を実現できる。一般に、マルチアンテナを小形化するとアンテナ相関の劣化や放射効率の低下を招くため、小形で高性能なマルチアンテナの開発が必要となる。この特集号の中では、当社が開発中の直交する2つのモードを利用する方法と、減結合回路を用いる方法について述べる(本号27ページ)。

アンテナ・EMC共通の基盤技術として、高精度な測定法の確立が必須である。小形アンテナでは、測定用のRFケーブルがアンテナ特性に大きく影響してしまうという問題がある。これを回避するために、当社は独自の測定法である光ファイバを用いる方法を確立している⁽¹¹⁾。光ファイバは電波からは透明に見え、測定用ケーブルの影響が除去できるとともに、位相パターンの測定や多周波同時測定にも対応可能である。超小形アンテナを手がける場合、光ファイバ測定系に必要なフォトダイオードがアンテナに比べて無視できない大きさとなることもあり得る。この対策として、当社はSパラメータ法を提案している⁽¹²⁾。この方法はアンテナ給電点に2本の同軸ケーブルを接続して2ポートのSパラメータを測定することで、測定用ケーブルの外導体を通る不平衡電流を数学的に除去するものである。汎用性があり、アンテナ1素子だけでなく複数素子に拡張し、マルチアンテナの測定にも適用可能である⁽¹³⁾。これらの測定方法は、この特集号に記載している多くの通信機器の汎用測定法として当社製品に広く適用中である。

以上のように、当社は、高速化に向け進化し続ける無線通信に対応した無線通信用アンテナ技術の開発に精力的に取り組んでいる。さらに将来の技術としては、人体の動き、通信端末の位置等、周囲環境の刻々とした変化に自動的に追従する自動整合アンテナの開発が期待されている⁽¹⁴⁾。

5. 高周波回路・デバイス技術

当社は、移動体通信基地局・携帯端末、衛星通信装置、及びETC(Electronic Toll Collection system)などに代表される無線通信用の高周波回路・デバイス技術の開発にも継続的に取り組んでいる。高周波回路・デバイスにおける主な開発課題としては、①低消費電力化、②小型化が挙げられるが、無線通信用では、さらに、デジタル変調方式に対応した③低歪み化が重要となる。低消費電力かつ低歪みな特性を実現する技術として、これまで、当社は移動体通信基地局用途では、デジタルプリディストータ⁽¹⁵⁾、携帯端末用途では、整合回路の工夫による低消費電力、低歪み携帯端末用増幅器⁽¹⁶⁾、小型なプリディストーションリニアライザ⁽¹⁷⁾を開発してきた。

一方、高周波回路に用いるデバイスの観点では、これま

でGaAsデバイスを用いてきたが、図6の高周波デバイスの棲(す)み分けに示すように、複数の高周波回路を一体化可能で、かつ、バイアス回路、制御回路等と集積化可能なSiGe Bi-CMOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor)、Si CMOSや、高出力が期待できるGaN HEMT(High Electron Mobility Transistor)が台頭してきている。当社は、SiGe Bi-CMOSについては、小型化、低コスト化のために複数の高周波回路を一体化した無線通信用RFフロントエンドMMIC⁽¹⁸⁾(Monolithic Microwave Integrated Circuit)を開発している。GaN HEMTについては、高出力、高効率化を目差して無線通信用のGaN内部整合トランジスタ⁽¹⁹⁾を開発している。

SiGe Bi-CMOS、Si CMOSデバイスを用いた高周波回路では、バイアス回路、制御回路を一体化し、インテリジェントな機能を取り入れた高周波回路の開発が可能であり、開発が進められている。低消費電力、低歪みの観点ではバイアス回路にインテリジェントな機能を取り入れ、低歪み、高線形を実現する回路開発も行われている。当社では、受信系に対しては、デュアルバイアスフィード回路によって低消費電力と高飽和出力電力を実現した低雑音増幅器⁽²⁰⁾を開発している。

この特集号の中では、SiGe Bi-CMOSを用いて送信系に対してバイアス回路にインテリジェントな機能を取り入れ、低歪み、高線形な高周波回路を実現した2件について述べる。具体的には、電流をバイアス回路に帰還することで、歪み補償回路として動作するベース電流制御形アナログブリディストーションリニアライザと、線形性を改善したベース電流制御形ミキサを用いた直交変調器の2件である。

以上のように、当社は、使用するデバイスの変化をとり入れながら、無線通信用の高周波回路・デバイスに求められる低消費電力・低歪みの技術開発を進めている。さらに将来の技術として、よりインテリジェントな機能を合わせた高周波回路を開発し、高機能な無線通信機器へ適用することを目指している。

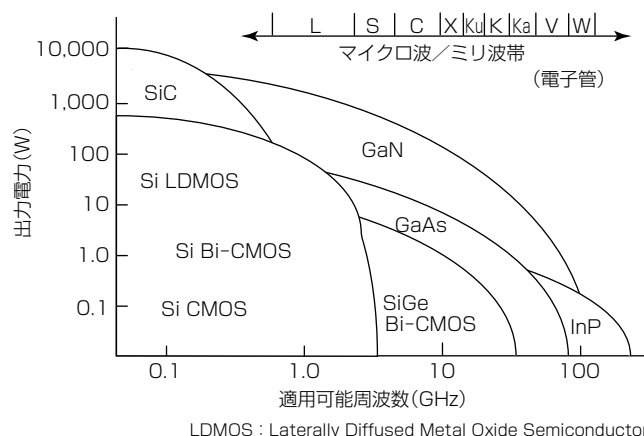


図6. 高周波デバイスの棲み分け

6. む す び

安心・安全で快適な社会の更なる高度化を目指す上で、情報通信技術の果たす役割は計り知れず、その中で無線通信技術への期待がますます高まっている。

本稿では、システム全体を網羅する形で、当社における最新の無線通信技術開発の概要を示した。以降の各論文では、個別技術の詳細を述べる。

参 考 文 献

- (1) 岡崎彰浩, ほか: ソフトウェア無線指向受信プラットフォームとそのアプリケーション開発, 電子情報通信学会論文誌(B), **J92-B**, No.7, 981~990 (2009)
- (2) 久保博嗣: 無線通信における適応等化技術とその応用, 電子情報通信学会技術研究報告, **111**, No.404, RCS2011-283, 97 (2012)
- (3) Fukui, N., et al.: Performance of Combined ARQ with SR and GBN for Broadband Wireless Systems on a 40GHz Band Radio Channel, IEEE Commun. Mag., Sep, 122~126 (2001)
- (4) 武啓二郎, ほか: IP RANゲートウェイ, 三菱電機技報, **78**, No. 2, 131~134 (2004)
- (5) 安田周平, ほか: 衛星移動通信システム対応無線装置開発, 三菱電機技報, **84**, No.8, 441~444 (2010)
- (6) 中澤正幸, ほか: 高性能フェムトセル無線基地局装置, 三菱電機技報, **84**, No.8, 445~448 (2010)
- (7) 石橋孝一, ほか: 大規模メッシュネットワーク実現に向けた検討, 電子情報通信学会技術研究報告, CS2011-26, 91~96 (2011)
- (8) Fukasawa, T., et al.: Triple-bands broad bandwidth dipole antenna with multiple parasitic Element, IEICE Trans. Commun., **E84-B**, No.9, 2476~2481 (2001)
- (9) Nishimoto, K., et al.: A wideband mobile terminal antenna using the resonance of a slide structure, ISAP 2009, 971~974 (2009)
- (10) 西岡泰弘, ほか: コイルを地導体とするHF/UHF共用RFIDタグ用UHFモノポールアンテナに対する巻線間容量結合の効果, 電子情報通信学会技術研究報告, A・P2009-161, 33~38 (2010)
- (11) 深沢 徹, ほか: 小形無線端末用のアンテナ測定における高精度測定法, 電子情報通信学会論文誌(B), **J86-B**, No.9, 1895~1905 (2003)
- (12) Fukasawa, T., et al.: Extended S-parameter method including radiation pattern measurements of an antenna, IEEE Trans. Antennas Propag., **60**, No.12 (2012) (掲載予定)
- (13) 柳 崇, ほか: Sパラメータ法を用いた小形無線端末上の2素子アンテナのインピーダンス特性およびアンテナ間相互結合の測定, 電子情報通信学会技術研究報告, A・P2011-178, 179~184 (2012)
- (14) 牧村英俊, ほか: アンテナ自動整合回路用反射位相測定法, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-1-193 (2012)
- (15) Horiguchi, K., et al.: A wideband digital predistorter for a Doherty power amplifier using a direct learning memory effect filter, IEICE Trans. Electron., **E93-C**, No.7, 975~982 (2010)
- (16) Mori, E., et al.: An L-band High Efficiency and Low Distortion Power Amplifier Using an HPF/LPF Combined Interstage Matching Circuit, IEEE Trans. on MTT, **48**, No.12, 2560~2566 (2000)
- (17) Yamauchi, K., et al.: A Microwave Miniaturized Linearizer Using a Parallel Diode with a Bias Feed Resistance, IEEE Trans. on MTT, **45**, No.12, 2431~2435 (1997)
- (18) Shinjo, S., et al.: ASK and Pi/4-QPSK Dual Mode SiGe-MMIC Transceiver for 5.8GHz DSRC Terminals having Stabilized Amplifier Chain, IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest, 1071~1074 (2008)
- (19) Kosaka, N., et al.: An S-band GaN on Si High Power Amplifier with 170W Output Power and 70% Drain Efficiency, IEEE Compound Semiconductor IC Symposium, Session B.1 (2012)
- (20) Taniguchi, E., et al.: A dual bias-feed circuit design for SiGe HBT low-noise linear amplifier, IEEE Trans. on MTT, **51**, 414~421 (2003)