

容量／エリア拡大・国際ローミングを実現する 携帯電話無線回路技術

移動端末の無線送受信回路は、携帯電話の誕生からこれまで、小型軽量化、動作時間の向上、容量／エリア拡大を実現するため、常に進化を続けている。そして今後も、次世代携帯電話の実現に向けてさらなる進化が必要である。本稿では、FOMA移動端末の無線送受信回路技術を中心に、これらの技術の変遷と今後の開発動向について概説する。

移動機開発部 おかだ たかし
岡田 隆

1. まえがき

第3世代携帯電話サービスのFOMAは、まず2GHz帯で2001年10月に始まった。その後、山間部などで効率的なエリア展開を行うため、2005年6月より800MHz帯を利用したサービス（FOMAプラスエリア）を開始した。さらに最近では、FOMAサービスの加入者増加による都心部でのトラフィック集中や、定額制への移行によるユーザ当りのトラフィック増加に対応するため、1.7GHz帯を利用したサービスを2006年6月より新たに開始した。また、2003年6月からは、海外渡航者への国際ローミングサービスを開始した。

これらのFOMAサービス拡充において、ユーザの利便性を考慮すると、1つの移動端末ですべてのFOMAエリアにおいて通信ができ、かつ海外にも自分の移動端末を持つ

て行けるようにすることが望ましい。そこでこれまでに、周波数追加に対しては、FOMA 901iSシリーズにおいてデュアルバンド（2GHz/800MHz）移動端末を、FOMA 902iSシリーズにおいてトリプルバンド（2GHz/1.7GHz/800MHz）移動端末を順次開発し、発売した [1]。さらに、国際ローミングに関しては、FOMA N900iGでGSM（Global System for Mobile communications）機能を搭載した移動端末 [2]を発売して以来機種数を増やしていき、FOMA 905iシリーズよりデュアルモード（W-CDMA/GSM）機能を標準搭載するに至った。

このような移動端末開発の過程において、新規機能追加が移動端末のサイズトレンドや連続使用時間に影響を与えないように、無線送受信回路には常に最新技術を導入してきた。今後もSuper 3G（LTE）[3]方式の導入と早期普及を達成するため

に、さらなる進化が必要となる。

これらの点から本稿では、まず、現在の無線周波数を取り巻く環境を説明したうえで、FOMAサービス開始から現状までの無線送受信回路技術の変遷を解説する。そして、今後のSuper 3G搭載に向けた移動端末向け無線送受信回路技術の技術課題とその開発動向を解説する。

2. 無線周波数を取り巻く環境

IMT-2000方式への周波数割当てに関しては、1992年の世界無線通信主管庁会議（WARC-92：World Administrative Radio Conference-92）において、2GHz帯を用いることが世界的に決定された。その後、2000年の世界無線通信会議（WRC-2000：World Radiocommunication Conference-2000）において、800/900MHz帯、1.7～1.9GHz帯、そして2.5GHz帯が追加された。また、

このWRC-2000では、GSM/GPRS (General Packet radio Service) /EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution) などの第2世代携帯電話システムもIMT-2000 (International Mobile Telecommunication 2000) 方式の1つとして定義され、現在のIMT-2000方式の定義が確定した。

これらを受けて、国内では、IMT-2000方式用にまず2GHz帯が分配された。その後、携帯電話利用者の急

増による周波数資源不足と周波数有効利用 [4]の観点から、従来PDC (Personal Digital Cellular telecommunication system) [5]などが使用していた800MHz帯の再編、1.5GHz帯の整備を行い、さらに、1.7GHz帯の新規分配が行われ、これらの周波数がIMT-2000方式に使用できるようになった。

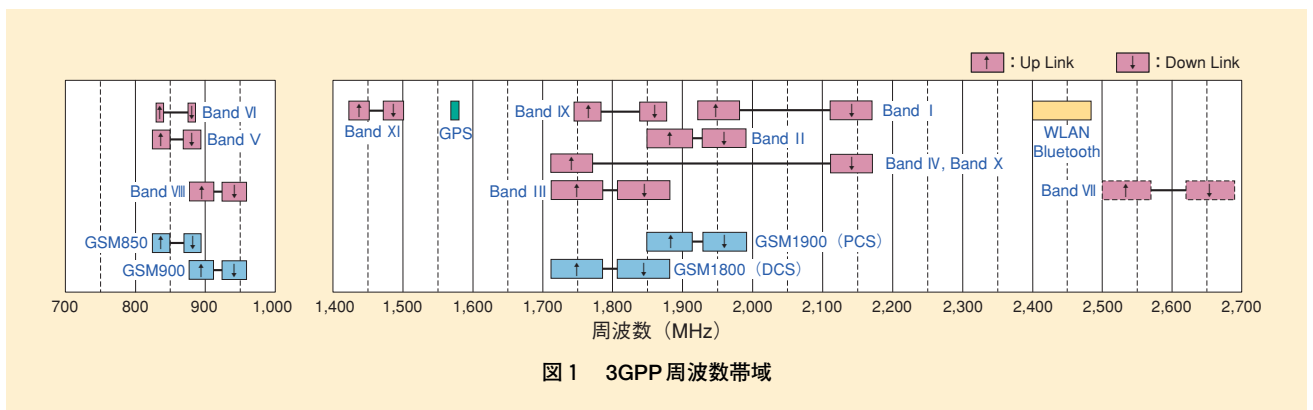
こうした国内外での周波数配分を受けて、IMT-2000方式は世界共通の移動通信システムとして認知され、

3GPP (3rd Generation Partnership Project) において標準規格策定作業が進められていった。2007年12月時点の周波数分割複信 (FDD : Frequency Division Duplex) *1用途として定義されている周波数帯を表1に示す [6][7]。ここで、GSMに関しては、規格上、14の帯域が定義されているが、世界的に利用頻度の高い4つの帯域のみ記載している。W-CDMAとしては、現状、11の帯域が定義されている。図1は表1の

表1 3GPP周波数表

方式	帯域	上り周波数	下り周波数	送受間隔	使用地域、用途
W-CDMA	Band I	1,920~1,980MHz	2,110~2,170MHz	190MHz	Global (南北米を除く)
	Band II	1,850~1,910MHz	1,930~1,990MHz	80MHz	米国
	Band III	1,710~1,785MHz	1,805~1,880MHz	95MHz	欧州
	Band IV	1,710~1,755MHz	2,110~2,155MHz	400MHz	米国
	Band V	824~849MHz	869~894MHz	45MHz	米国、米国ローミング用
	Band VI	830~840MHz	875~885MHz	45MHz	日本、Band Vの一部
	Band VII	2,500~2,570MHz	2,620~2,690MHz	120MHz	欧州、韓国
	Band VIII	880~915MHz	925~960MHz	45MHz	欧州
	Band IX	1,749.9~1,784.9MHz	1,844.9~1,879.9MHz	95MHz	日本、Band IIIの一部
	Band X	1,710~1,770MHz	2,110~2,170MHz	400MHz	米国
	Band XI	1,427.9~1,452.9MHz	1,475.9~1,500.9MHz	48MHz	日本
GSM	GSM850	824~849MHz	869~894MHz	45MHz	Band Vと同じ
	GSM900	880~915MHz	925~960MHz	45MHz	Band VIIIと同じ
	GSM1800	1,710~1,785MHz	1,805~1,880MHz	95MHz	DCS帯、Band IIIと同じ
	GSM1900	1,850~1,910MHz	1,930~1,990MHz	80MHz	PCS帯、Band IIと同じ

□ : FOMA用帯域 □ : ローミング用帯域



*1 周波数分割複信 (FDD) : 無線通信などで同時送受信を実現する方式の1つで、異なる周波数にて送信と受信を同時に行う方式。

各帯域を周波数軸上に図示したものである。なお、参考までに、移動端末への搭載が要望されているGPS (Global Positioning System) およびWLAN (Wireless LAN) で使用される周波数帯を、図1に示す。これらの図表から分かるように、移動端末に使用されている周波数は、800MHz～2.7GHzの範囲となっており、800/900MHz帯と1.7～2.0GHz帯に配置が集中していることが分かる。しかしながら、現状、全世界共通で使用できる周波数帯は存在していない。そのため、どの帯域をいくつか搭載するかが、移動端末を開発するうえでの大きな設計要素となっている。

FOMAサービスのエリア展開の状況を図2に示す。この図に示すように、ドコモでは、前述の状況下において、総務省よりW-CDMA用途で800MHz帯、1.7GHz帯、2GHz帯の3周波数帯の割当てを受け、地域や用途に応じて周波数帯を使い分けることで、広範囲にFOMAサービスを展開している。また、海外渡航者に対しては、世界各国の渡航先の通信事情を勘案したうえで、ほぼ全世界で使用できるGSM/GPRSと、FOMAで使用しているW-CDMAを用いてシームレスなローミングサービスを提供している。FOMA移動端末の基本仕様を表2に示す。この表に示すように、FOMA移動端末には、現在、W-CDMAは3帯域、GSM/GPRSは4帯域を最大構成とし、移動端末の商品コンセプトに応じて複数の周波数帯を選択して搭載

されている。このうち、W-CDMAに関しては、Band Iが欧州、韓国、東南アジア地域向けのローミングバンドとして用いられている。米国では、Band VとBand VIがほぼ一致した配置であることから、これら2帯域共用無線送受信回路を用い、Band Vとして動作させることでロ

ーミングを実現している。

3. FOMA 無線送受信回路の変遷

移動端末の無線送受信回路は、技術的な要求、サービス面での要望を満足させるため、その時々最新の無線回路技術 [8][9]を導入

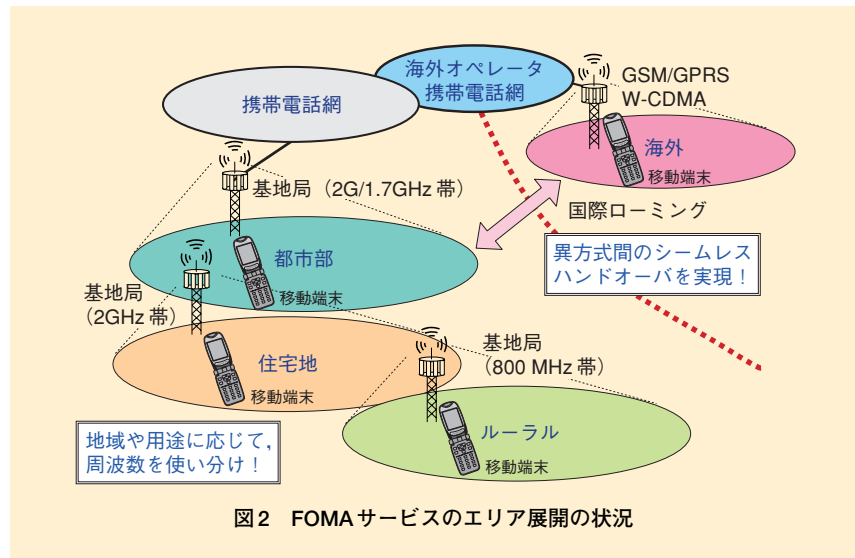


図2 FOMAサービスのエリア展開の状況

表2 移動端末の基本仕様

項目	仕様	
	W-CDMA	GSM
送受信周波数	Band I Band VI (& Band V) Band IX	Low band : GSM850/900 High band : GSM1800 (DCS) / 1900 (PCS)
アクセス方式	DS-SSMA	TDMA
デュプレックス方式	FDD	FDD
無線伝送レート	3.84Mcps	270.833kbit/s
変調方式(データ/拡散)	上り: BPSK/HPSK 下り: QPSK/QPSK	GMSK
占有帯域幅	5MHz以下	200kHz以下
最大送信電力	Class3 : +24dBm	Low band : +33dBm High band : +30dBm
不要輻射	ITU-R Rec. SM.329-10	
	ACL1 (5MHz離調) : -33dBc以下 ACL2 (10MHz離調) : -43dBc以下	±200kHz : -30dBc以下 ±400kHz : -60dBc以下

ACL1 : Adjacent Channel Leakage power Ratio
BPSK : Binary Phase Shift Keying
DCS : Digital Communication System 1800
GMSK : Gaussian filtered Minimum Shift Keying
HPSK : Hybrid Phase Shift Keying

ITU-R : International Telecommunication Union Radiocommunication Sector
PCS : Personal Communications Service
QPSK : Quadrature Phase Shift Keying
TDMA : Time Division Multiple Access

してきた。初期から最新モデルまでの無線送受信回路の構成の変遷を図3に示す。この図では、送信部の構成のみを記載しているが、受信回路も同様な変遷をたどっており、記載を省略している。

初期のFOMA移動端末は、PDC技術の延長上にあったことから、スーパーヘテロダイン方式を用いて無線送受信回路を構成していた(図3(a))。この方式は、中間周波数でいったん直交変調を行った後に無線周波数帯まで周波数変換を行うものである。この方式の特長は、低い周波数帯で直交変調、直交検波などの信号処理を行うため、

安定した性能を得ることができるといふ利点がある。しかしながら、部品点数が多く、かつ小型化が難しいIF(Intermediate Frequency)段のフィルタが必要となるため、移動端末として小型化が困難という欠点があった。そのため、この構成での移動端末開発は、本格的なFOMA普及を目指すうえで限界にあった。

この課題を解決するため、FOMA 900iシリーズ以降、ダイレクト変換方式(ホモダイン方式)を採用するようになった。本方式はベースバンド帯と無線周波数帯とを直接直交変調、直交検波する方式であり、IF段のフィルタが不要になることや、シ

ンセサイザが送受各1個で実現できるようになることから、回路の小型化、集積化が容易になった[10][11]。本技術の採用が可能となった理由としては、SiGe-BiCMOS^{*2}などのアナログ半導体プロセスの進化がその1つであるが、W-CDMAを採用したことでダイレクト受信機の実現が容易になったことも関係している。つまり、当初、ダイレクト変換方式はGSMで採用され、GSM移動端末の小型化、低価格化に貢献していたが、PDCでは信号帯域がGSMと比較して10分の1程度と狭く、特にダイレクト受信機での歪(2次歪など)による劣化要因を除去することが困

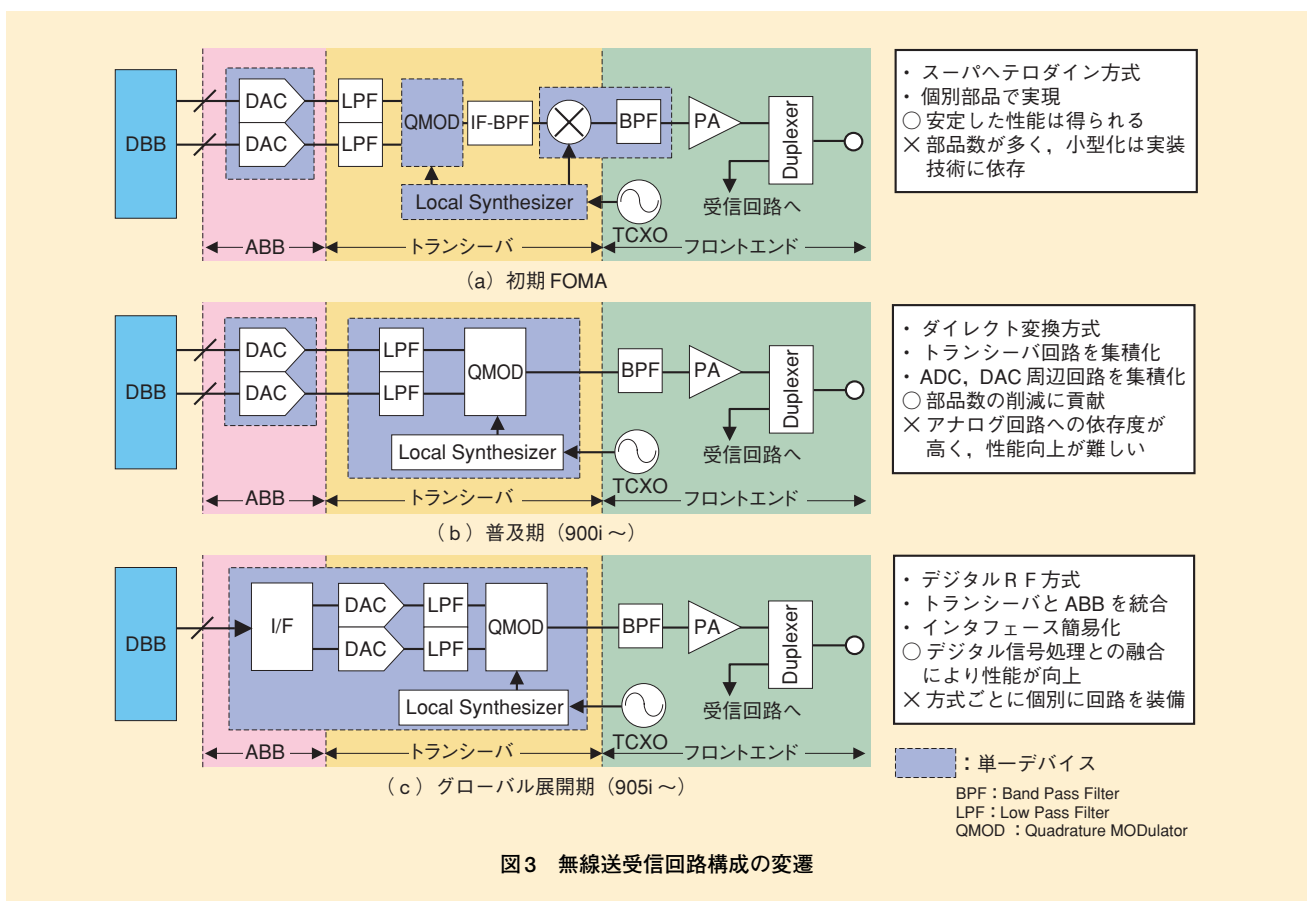


図3 無線送受信回路構成の変遷

*2 SiGe-BiCMOS : シリコンゲルマニウム(シリコンに対し少量のゲルマニウムが添加された半導体素材)を用いてBiCMOSゲートを構成する半導体回路。

難であった。それに対し、W-CDMAはGSMよりもさらに10倍以上帯域が広いため、GSMで確立した技術を応用することが容易であった。

そして、この構成(図3(b))を基本にして回路の最適化を図ることで、800MHz帯、1.7GHz帯の周波数追加を実現していった[1]。また同時に、この時期はアナデジ混載IC技術^{*3}の進歩により、ABB(Analog BaseBand)^{*4}部の集積化が図られた[12]。

さらに最近では、HSPA(High Speed Packet Access)方式の開発が本格化しており、無線送受信回路に対しては、小型化だけでなく、精度の向上も求められるようになった。これに対し、アナログ回路依存度が高いダイレクト変換方式では、EVM(Error Vector Magnitude)^{*5}性能、干渉波耐力の向上が難しくなった。そこで現在、デジタルRF方式(図3(c))採用の検討が進んでおり、採用事例も増えてきている。この方式は、機能的にはダイレクト変換部とABB部を統合したものであるが、アナログ回路とデジタル回路の機能配分を大幅に見直し、フィルタリング、歪補償、ゲイン調整などをデジタル信号処理により実行することで、送受信性能の向上を図ることを可能にしている。この技術の検討が進められている背景には、アナログ/デジタル変換器(ADC: Analog to Digital Converter)、デジタル/アナログ変換器(DAC: Digital to Analog Converter)の性能向上、半導体プロセス技術の進歩が挙げられ

る。つまり、ADC、DACの性能向上によりデジタル信号処理による精度の高い信号処理が実現できるようになったことに加え、RFCMOS技術^{*6}の進歩により、高周波アナログ回路とデジタル回路の混載効率が向上し、また、サブミクロンオーダーの半導体プロセスの普及により、同一機能を実現する際、プロセスに依存するデジタル回路のほうが材料定数に依存するアナログ回路に比べて、小さく実現できるようになったためである。今後、このデジタルRF方式をベースに無線送受信回路技術が進歩していくものと考えられる。

1帯域当りの無線送受信回路の実装面積推移を図4に示す。これまで説明したように、回路構成面の進化によりトランシーバ部の大幅な回路規模の削減を実現してきた。一方、フロントエンド部についてもフィルタ類の小型化やモジュール技術の進歩により、小型化を達成している[13]。これらを総合すると、初期FOMAと比較して現在の構成は、

60%以上の回路規模の削減が図られている。その結果、表2に示す最大構成であっても、現在ではFOMA 900iよりも小さな実装面積で無線送受信回路が実現可能となった。

最新モデルへの搭載が予測される無線送受信回路の構成を図5に示す。この図は、現在、各RFIC(Radio Frequency Integrated Circuit)メーカーから発表されている次期トランシーバICの情報に基づいて構成したものである。この図に示すように、今後、W-CDMA/GSM統合した構成が主流となり、さらにトランシーバICとDBB(Digital Base Band)間インタフェースに関しては、業界標準規格[14]であるDigRF3G^{*7}を採用する傾向にあり、規格統一が進んでいくと考えられる。

4. Super 3G 標準搭載に向けた無線送受信回路技術の技術課題

Super 3Gは3GPPにおいてLTE(Long Term Evolution)と称して仕

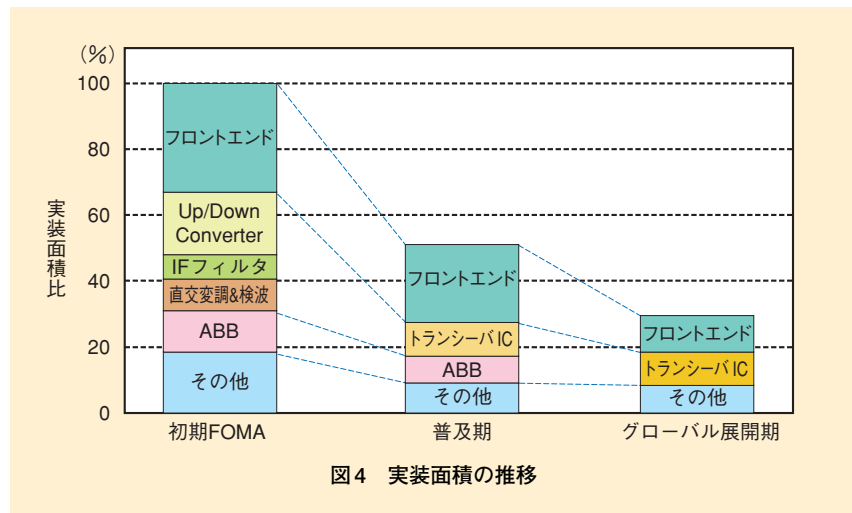


図4 実装面積の推移

*3 アナデジ混載IC技術: アナログ回路とデジタル回路を同一基板上に搭載するIC製造技術。
 *4 ABB: ベースバンド帯の処理を行うアナログ回路。主にADC、DACで構成される。

*5 EVM: 信号精度を表す指標。本来あるべき信号位置と変復調した結果の実際の信号の位置とのずれ。
 *6 RFCMOS技術: 無線通信で使用される周波数帯で使用されるCMOS回路技術。

*7 DigRF3G: 業界団体であるDigital Interface Working Groupが策定した第3世代携帯電話向けのベースバンドプロセッサとトランシーバICとの間のデジタルインタフェース規格。

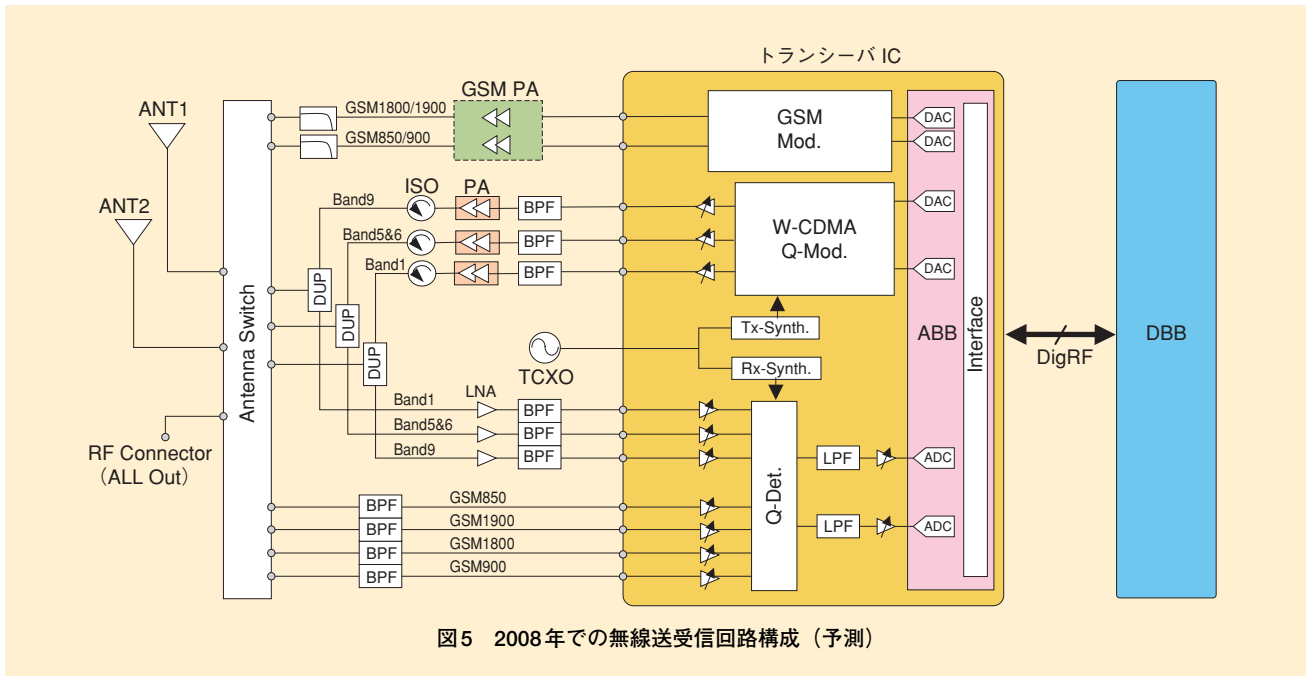


図5 2008年での無線送受信回路構成（予測）

様策定作業が進められており、2007年12月に技術仕様書 [15] がリリースされた。今後、商用に向けた開発が本格化するものと考えられる。本章では、Super 3G方式を実現するうえでの無線送受信回路の技術課題およびSuper 3G対応移動端末の商用化に向けた開発動向について述べる。

4.1 無線送受信回路への要求条件

Super3G移動端末の基本仕様を表3に示す。この表に示す方式要求に対して送信回路を実現する際の技術的な懸念点を次に示す。

- ・ SC-FDMA [16]方式の採用および16値直交多値変調(16QAM: 16 Quadrature Amplitude Modulation) *8の適用により、非線形歪による劣化が顕著に現れる。

表3 Super 3G 移動端末の基本仕様

項目	仕様	
使用する周波数帯	W-CDMAと同じ（表1参照）	
システム帯域幅	最大20MHz	
多重化方式	FDD	
送信	無線アクセス方式	SC-FDMA
	変調方式	QPSK, 16QAM
	送信出力	+23dBm
	送信帯域幅	RB (=180kHz) 単位で可変
受信	無線アクセス方式	OFDMA
	変調方式	QPSK, 16QAM, 64QAM
	受信アンテナ数	2 (1GHz以下は議論中)
	受信帯域幅	システム帯域幅と同じ

OFDMA : Orthogonal Frequency Division Multiple Access
RB : Resource Block

- ・ W-CDMAとの共存のために隣接チャネル漏洩電力が帯域幅に関係なく規定される。そのため、これまで以上に低く抑える必要がある。
- ・ ピーク電力対平均電力比 (PAR: Peak to Average Ratio) の高い信号への緩和策として、MPR (Maximum Power Reduc-

tion) という規定が設けられているが、エリア制限につながるため、運用上は適用しないことが望ましい。

またこれらに加え、移動端末には、発熱問題、連続使用時間への配慮も必要である。こうした理由から、Super 3Gの送信回路に対して

*8 16値直交多値変調 (16QAM) : デジタル変調方式の1つで、振幅と位相の異なる16通りの組合せに対して、それぞれ1つの値を割り当てることにより、同時に4bitの情報を送信可能。

は、高効率を維持しながらの線形性の向上を図っていくことが必要となる。このような課題に関して、これまでは電力増幅器（PA：Power Amplifier）の性能向上により達成してきたが、素子の限界に近づいており、今後は線形補償技術 [17]の適用を検討していく必要がある。

次に、受信回路の技術課題を挙げる。

・広帯域、高精度化

下り最大スループットを実現（64値直交多値変調（64QAM）*9、20MHz受信）するために、受信EVMの改善、受信帯域の拡張が必要となる。

・干渉波耐力の向上

既存システムとの共存のため、サービス帯域幅に関係なく、干渉波耐力を維持することが必要である。

・MIMO（Multiple Input Multiple Output）対応

1GHz以上の周波数帯（適用周波数は議論中）において、2系統の受信機の搭載が必須である。

これらの課題に対しては、ADCの高速・高精度化を実現したうえで、3章で述べたデジタルRF方式をベースに小型化および精度向上を図っていく必要がある。

4.2 標準搭載に向けた技術課題

今後の無線送受信技術の展開を図6に示す。Super 3Gを普及させていくには、移動端末をW-CDMA/GSM

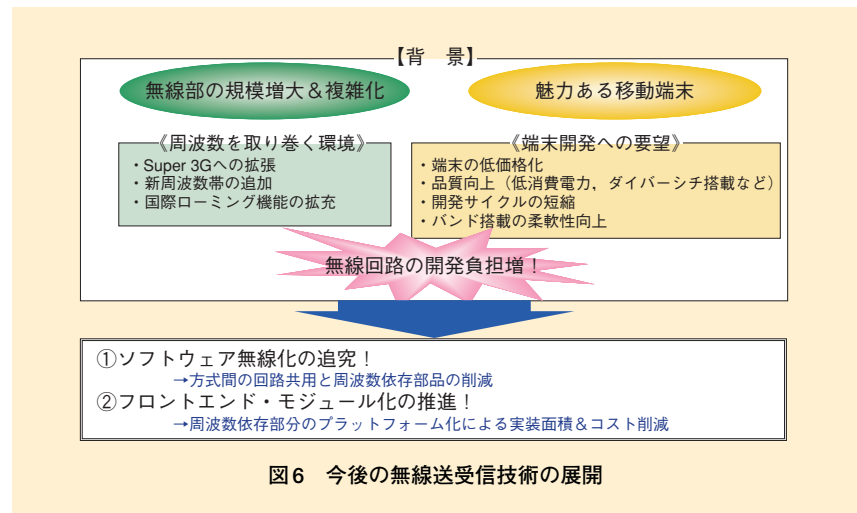


図6 今後の無線送受信技術の展開

機能にLTEモード機能を追加したトリプルモード（GSM/W-CDMA/LTE）としていく必要がある。また、ユーザトラフィックは増加傾向にあり、国内では今後も周波数追加が計画されている [18]。さらに、国際ローミングに対しても、GSM/W-CDMAだけでなく、EDGE/HSPA、さらにはLTEへの拡張、海外周波数への対応も必要になってくるものと考えられる。このため、無線送受信回路は、周波数と機能の両面から規模増大および複雑化の方向に向かっている。一方、魅力ある移動端末を発売していくうえでは、これまで以上に、低価格化、品質向上が必要である。それに加え、タイムリーに移動端末を発売するため、開発期間の短縮や無線機能搭載の柔軟性向上も要求されると予測される。これら相反した要求を満足させるため、今後も無線送受信回路の開発負担は増えていくことが懸念される。

別の視点から図5に示す最新モデルでの無線送受信回路構成を眺めて

みると、3章で説明したように、今後、トランシーバ部に関しては、デジタルRF方式をベースとして、半導体プロセスのディープ・サブミクロン*10に伴い、自然と小型化されていくことが予測される。しかしながら、フロントエンド部に関しては、方式ごと、帯域ごとに個別にデバイスを実装しているため、部品点数が多く価格面での要求を満たすことは困難である。また、フロントエンド部を構成する個々のデバイスの小型化は、実装技術の高密度化以上に進んでいるため、現状の構成方法はさらなる小型化には適していない。

今後は、この点の改良が必要であり、トランシーバICの構成変更も含めて、フィルタ、アイソレータなどの周波数依存部品の削減、方式間の回路共用、いわゆる、ソフトウェア無線（SDR：Software Defined Radio）*11を志向した技術開発が必要である。このSDR向けの送受信回路技術に関しては、各システムで基本技術の検討 [19]～[22]が進んでお

*9 64値直交多値変調（64QAM）：デジタル変調方式の1つで、振幅と位相の異なる64通りの組合せに対して、それぞれ1つの値を割り当てることにより、同時に6bitの情報を送信可能。

*10 ディープ・サブミクロン：0.2 μ m以下の半導体プロセスルールのこと。

*11 ソフトウェア無線（SDR）：周波数帯、変調方式、出力などの無線パラメータをソフトウェアによって設定、変更できる無線もしくはそれらを実現するための技術。

り、その技術をどのように移動端末向けの送受信回路に応用していくかが今後重要になってくる。しかしながら、現段階では完全なるSDR移動端末を実現する技術は確立していないため、周波数依存部品（特に、デュプレクサ）を全部削除することはできない。したがって、この部分に対しては、モジュールを前提とした構成面でのプラットフォーム化によりコスト低減を行っていくことが望ましい。

これらの観点から描いたSuper 3G標準搭載時期に理想とする無線送受信回路の構成を図7に示す。この図7に示すように、送信信号の適応制御が可能な送信回路とデュアルレシーバ構成のトランシーバICをベースに、マルチバンド／マルチモード対応PA、メインとサブの2つのフロントエンドモジュールの計4つの主

要部品（TCXO（Temperature Compensated Xtal Oscillator）^{*12}を除く）で構成することで、Super 3Gを標準搭載した移動端末の実現が容易になるものとする。

5. あとがき

これまで述べてきたように、FOMAサービス開始以来のサービス拡充に伴い、無線送受信回路は、PDCで用いてきたスーパーヘテロダイン方式からダイレクト変換方式、そしてデジタルRF方式へと構成面での進化を遂げてきた。そして今後、Super 3Gを標準搭載した携帯電話を実現していくうえで、フロントエンド部分の大幅な改良を進めていく必要がある。この観点から、今後の無線送受信技術開発でのキーポイントであると考え、デジタルRF方式をベースとしたSDRの追究、フロ

ントエンドモジュール化の推進を検討していく。

文献

- [1] 小岩，ほか：“マルチバンド移動端末の開発，”本誌，Vol.14，No.2，pp.31-37，Jul. 2006.
- [2] 萩原，ほか：“国際ローミング対応IMT/GSMデュアル移動端末N900iGの開発，”本誌，Vol.13，No.1，pp.40-47，Apr. 2005.
- [3] 中村，ほか：“Super 3Gの技術動向 その1 Super 3Gの概要および標準化活動状況，”本誌，Vol.14，No.2，pp.50-54，Jul. 2006.
- [4] 中長期における電波利用の展望と行政が果たすべき役割－電波政策ビジョン（平成15年7月総務省情報通信審議会諮問第7号答申資料）
- [5] 千葉，ほか：“1.5GHz帯域共用800MHz方式特集 移動機，”本誌，Vol.10，No.1，pp.15-20，Apr. 2002.
- [6] 3GPP TS25.101 V8.0.0：“User Equipment (UE) radio transmission and reception (FDD),” Sep. 2007.

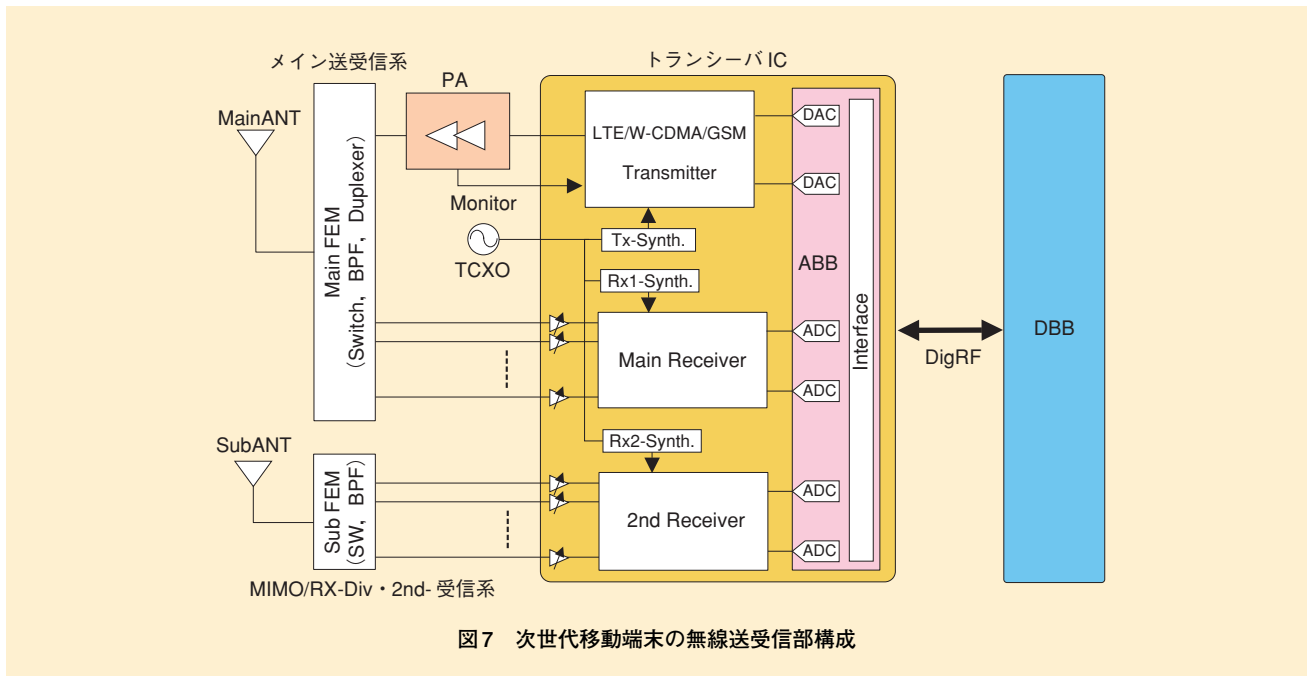


図7 次世代移動端末の無線送受信部構成

*12 TCXO：温度に対する周波数の偏りを補正する機能を備えた水晶発信器。

- [7] 3GPP TS45.005 V7.7.0 : "Radio transmission and reception," Sep. 2006.
- [8] 野島 俊雄, 山尾 泰 : "モバイル通信の無線回路技術," 電子情報通信学会, 第3章, 2007.
- [9] 黒田 忠弘 : "RFマイクロエレクトロニクス," 丸善, 2002.
- [10] 田中 聡 : "移動体通信送受信アナログ回路技術," 信学論C, J89-C, pp.622-640. Oct. 2006.
- [11] W. Thomann, V. Thomas, R. Hagelauer and R. Weigel : "A Single-chip 75-GHz/0.35- μ m SiGe BiCMOS W-CDMA Homodyne Transceiver for UMTS Mobiles," Proceeding of 2004 IEEE RFIC Symposium, Vol.6-8, pp.69-72, Jun. 2004.
- [12] N. Aneha, M. Awaga, Y. Segawa, S. Taniguchi, Y. Satoh, H. Yoshizawa, H. Nakayama and K. Inoue : "Advanced Device Technologies for IMT-2000 Systems," FUJITSU Sci. Tech. J., 38.2, pp.209-223, Dec. 2002.
- [13] 千葉 耕司, 村田 充, 岡田 隆 監修 : "携帯電話キーデバイスの開発と最新動向," シーエムシー出版, 第3章, 2007.
- [14] DigRF Working Group : "Dual-Mode 2.5G/3G Baseband/RF IC Interface Standard Version 3.09"
- [15] 3GPP TS36.101 V8.0.0 : "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) ; User Equipment (UE) radio transmission and reception (FDD)," Dec. 2007.
- [16] 安部田, ほか : "Super 3Gの技術動向-その2 Super 3Gの技術検討," 本誌, Vol.14, No.3, pp.63-69. Oct. 2006.
- [17] G. Norris, et. al : "Application of Digital Adaptive Pre-distortion to Mobile Wireless Devices," Proceedings of 2007 IEEE RFIC Symposium, pp.247-250, Jun. 2007.
- [18] VHF/UHF帯における電波の有効利用のための技術的条件 (平成19年6月27日, 諮問第2022号に関する情報通信審議会からの一部答申資料)
- [19] T. Sowlati, D. Rozenblit, R. Pullela, M. Damgaard, E. McCarthy, K. Dongsoo, D. Ripley, F. Balteanu and I. Gheorghe : "Quad-Band GSM/GPRS/EDGE Polar Loop Transmitter," IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol.39, No.12, pp.2179-2189, 2004.
- [20] 岡崎, ほか : "複数の周波数帯に対応可能な高効率電力増幅器," 本誌, Vol.13, No.1, pp.13-19, Apr. 2005.
- [21] D. Jakonis, K. Folkesson, J. Dbrowski, P. Eriksson and C. Svensson : "A 2.4GHz RF Sampling Receiver Front-End 0.18- μ m CMOS," IEEE Journal of Solid-States Circuits, Vol.40, No.6, pp.1265-1277, Jun. 2005.
- [22] S. Karvonen, T. A. D. Riley and J. Kostamovaara : "A CMOS Quadrature Charge-Domain Sampling Circuits with 66-dB SFDR Up to 100MHz," IEEE Transactions on Circuits and Systems 1, Vol.52, No.2, pp.292-304, Feb. 2005.