

(1) 第4世代移動通信システムの概要

ワイヤレス研究所では、第4世代移動通信システムに関する研究を進めている。将来の移動通信システムに期待される能力・性能に関して考察し、これを実現するために必要な技術課題を概説する。また、第4世代移動通信システムの標準化に関する動きについても述べる。

お お つ と お る う め た な る み み の も ま さ ひ ろ
大 津 徹 梅 田 成 視 蓑 毛 正 洋

1. まえがき

2001年10月に、第3世代移動通信（IMT・2000：International Mobile Telecommunications・2000）のサービスが開始され、映像通信などの本格的なマルチメディアサービスの進展が期待されている。これをきっかけに、10年後にはますます移動通信は社会生活と密着し、生活基盤としての役割を拡大していくものと考えられる。このような時代においては、IMT・2000の能力をはるかにしのぐ、新たな第4世代移動通信システム（以下、4Gシステム）が必要になる。新たな技術を用いて移動通信サービスを提供するには、技術の発案・検証のみでなく、フィールド上での機能・性能確認、技術仕様の標準化、携帯機の開発、ネットワーク設備の構築が必要であり、他の通信サービスと比べて多大な労力・時間がかかる。ワイヤレス研究所では、将来の社会生活基盤として十分な性能を持つ4Gシステムを適切な時期に導入できるよう、その研究・開発に着手し、成果が得られつつある。

本稿では、4Gシステムに要求される能力・性能について考察し、これを実現するために必要な技術課題やシステム構成法に関する基本的な考え方について述べる。最後に、今後の移動通信システムに関する標準化動向について紹介する。

2. 方式目標諸元

2.1 要求条件

(1) 高速通信

これまでの移動通信システムでは、トラヒックは主に音声通信であった。第2世代のシステムであるデジタル携帯電話方式（PDC：Personal Digital Cellular）においては、iモードサービスが開始され、インターネットアクセスや携帯機を介した電子商取引、電子メールなど、主にテキストをベースとしたデータ通信が盛んになった。IMT・2000では、64kbit/sから384kbit/sという高速

な伝送サービスが提供され、さらに、データ通信の比重が高くなっていくであろう。しかしながら、ADSL、光ファイバを利用した有線系アクセスシステムや、オフィスや家庭におけるLANなどを利用したブロードバンドサービスの普及を想定すると、移動通信環境においてもこれらと比較して遜色のない通信サービスの提供が要求される。

(2) 低料金

ユーザが高速サービスを利用し、多彩な情報を積極的にやりとりするようになるには、既存のサービスを利用した場合と比較して同等もしくはそれ以下の支出に抑えられるよう、提供料金を劇的に低価格にする必要がある。IMT・2000では、ビットコストの低減が図られ、経済的な通信料金が設定されたが、4Gシステムにおいては回線の高速化に合わせて、さらに低ビットコスト化を進める必要がある。

(3) サービスエリアの充実

移動通信の特徴は、いつでも、どこでも利用可能な点にある。将来の移動通信においても、この利点は重要なポイントである。特に、既存システムから新システムの移行時期においては、新システム用の端末の利用可能なエリアを確保することが重要である。携帯情報端末（PDA：Personal Digital Assistant）やPCなど、比較的大画面を使用する端末の場合は、屋内での利用比率が高いと想定される。したがって、現在以上に屋内サービスエリアの充実が必要となる。

(4) サービスの多様性・使いやすさ

移動通信は、さまざまなタイプのユーザを対象としている。今後、システムの高性能化、高機能化を活かし、電話サービスだけでなく、五感の情報をも伝える多様なサービスの導入が期待される。これらのサービスを誰もが簡単に使えるようにする必要がある。

2.2 システムの設計目標

以上のような要求条件を実現するための、システム設計目標は図1のようになる。

映像通信、データ通信などが主力と考えられる4Gシステムでは、IMT・2000よりもさらなる高速化、大容量化が必要である。現在の放送における品質の映像通信が数Mbit/sであり、LANが数10Mbit/s～100Mbit/s、ADSLが数Mbit/sであることを考えると、屋外の移動環境で100Mbit/s程度、屋内ではギガビットクラスの伝送速度が1つの設計目標となる。伝送容量としてはIMT・2000の10倍以上を確保しなければ、今後の移動通信トラヒックを収容することができ

ない。端末間通信のスループットの確保や、リアリティの高い通信を目指すため、50ms以下の低伝送遅延時間、500ms以下の低接続遅延時間を実現することも必要である。また、今後のサービスがIP (Internet Protocol) ネットワークをベースに発展することを想定すると、無線区

間においても効率的にIPパケットを伝送する必要がある。大容量化はビットコストの低減にも効果があるが、これに加えてさらにインフラ系装置コスト、運用コスト、建設コストの低減を図り、ビット当りのコストを1/10～1/100以下とする必要がある。

上記の設計目標は、既存のサービスを、より高性能で使いやすくするためのものといえる。これらに加え、屋内の無線LANや有線系システムとの融合や、新サービスの導入を短期に容易に行える仕組みを実現するなど、4Gシステムの性能、機能を活かした新たな市場を開拓することが必要になる。

3. 4Gシステム構成法の基本的考え方

3.1 技術課題

前項で述べたシステムの設計目標を実現するため、特にワイヤレス技術の側面から、図2に示す技術課題が想定される。

(1) 高速・大容量伝送を実現する技術

広帯域符号分割多元接続方式 (W・CDMA: Wideband Code Division Multiple Access) を利用したIMT・2000では、5MHzの周波数帯域幅で2Mbit/sの伝送速度が実現されている。さらに多値適応変復調などを用い、同じ周波数帯域幅で約10Mbit/s程度の高速度技術が開発されようとしている[1]。これよりも数倍から数10倍の高速度を図るためには、より広帯域な周波数を利用し、高速伝送に適した新たな伝送方式を実現する必要がある。また、データ通信の特性に着目して、パケットを効率的に伝送できるアクセス方式を適用する必要がある。今後の屋内エリアの確保の重要性を考慮すると、屋内外で共通に使える技術を開発することも必要である。さらに、高

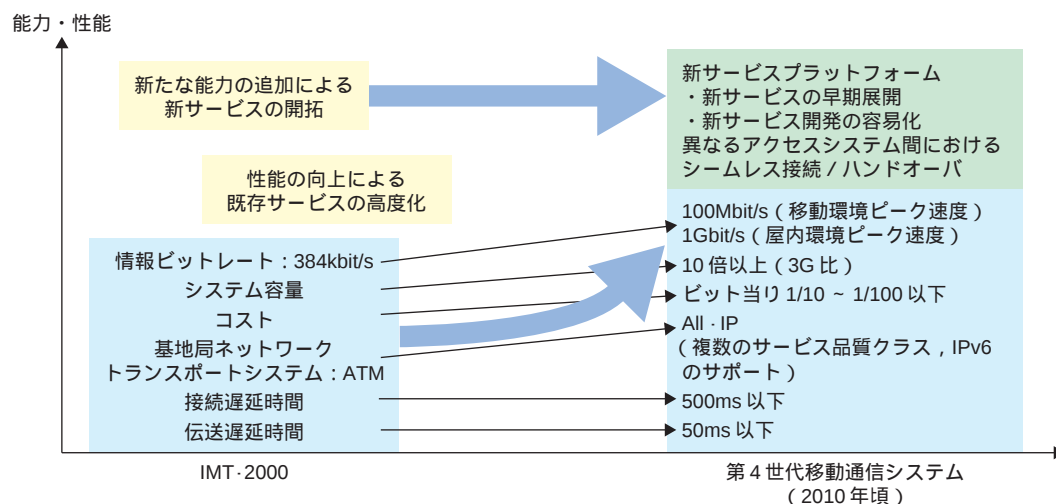


図1 主要な目標能力・目標性能

速伝送を実現するための広帯域な周波数を確保し、今後大幅な増加が予想されるデータトラフィック需要に対応するには、新たな周波数帯の開拓が必要となる。それに伴い、新周波数帯における増幅回路やフィルタなどを実現する回路技術、屋内外における電波伝搬特性の解明が必要となる。同時に、有限な周波数資源を効率的に利用するための技術開発も重要である。

(2) コスト低減に向けた技術

従来のシステム構成技術によって、より高速な伝送を、より高い周波数帯を利用して実現する場合、一般的に1つの基地局がカバーできるセル半径は縮小する。そのため、従来と同じエリアをカバーするには、セルが縮小した分だけ、より多くの基地局が必要となり、ネットワークコストが増大する。そこで変復調器の低S/N化、アダプティブアレーアンテナなどによるアンテナ性能の向上、受信機の低雑音化といった、伝送技術および回路技術の高性能化によるセル半径拡大策が必要である。基地局とバックボーンネットワークを接続するエントランス回線の多様化を図り、さらに建設コスト、オペレーションコストを低減するための基地局自律制御技術、簡易な中継局によるマルチホップ接続技術などの適用も検討する必要がある。

(3) IPネットワーキングをベースとしたシステム間相互接続技術

一般に、新システム導入当初はサービスエリアを既存システムほど充実させることが困難である。しかし、新システム・既存システム双方の機能を持つ端末を実現することにより、相互にエリアを補完することが可能となる。また、海外とのローミングを考えると、各システムの導入時期、運用周波数帯は、各国・地域の事情によっ

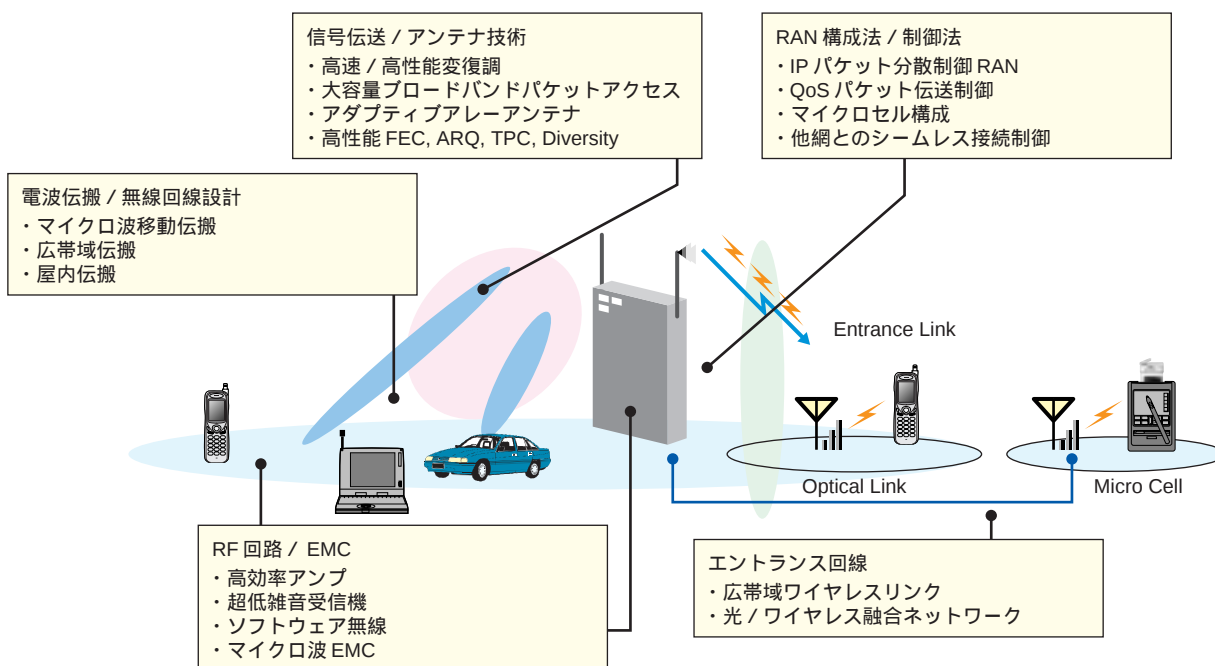


図2 ワイヤレス技術に関する研究課題

て異なってくるため、複数システムに対応する端末を構成するには、ソフトウェア無線技術（SDR：Software Defined Radio）が有効となる。さらに、今後の移動通信サービスは、IPネットワークをベースに、屋内エリアや有線系アクセス技術との相互接続および統合が図られるものと考えられる。したがって、移動通信の同一システム内のハンドオーバ、ローミング以外に、このようなさまざまなアクセスシステム間の相互接続、ハンドオーバを実現する必要がある。

3.2 システム構成法

(1) IP ベースの接続構成

4Gシステムは、IPパケットの効率的伝送、他のアクセスシステムとの共存、システムの導入容易性、拡張性などを考慮し、IPネットワークに接続する構成をとる。IPネットワークは、4G以外の無線アクセスも接続または収容する。4G無線アクセスポイント（以下、4G・AP）はルータに接続され、無線伝送機能、ハンドオーバなどの無線制御機能などを有し、IPで動作する移動ノードと通信を行う。

ルータには複数の4G・APが接続され、それぞれセルを形成している。移動ノードがセル間を移動する際、同一ルータ内に接続されている4G・AP間の場合は、アクセスポイントおよび無線区間の切替えのみでハンドオーバを行う。一方、異なるルータに属する4G・AP間のハンドオーバでは、IPネットワーク側でのパケット転送経路の迅

速な変更も必要となり、さらにそれらが連携して動作することが重要である。また、4G・APと他システムのアクセスポイントの間のハンドオーバについては、移動ノードが両システムへのアクセス機能を有していることが条件となる。そして、異なるシステムを監視、比較しつつ、最適なシステムを選択することにより、ハンドオーバを行う。

(2) 通信環境に応じたセル種別 / 構成

4Gシステムは、図3に示すように屋外、屋内、移動体内などの通信環境に応じたセルを有する。屋外では、高速移動する端末による高速パケット伝送を可能とし、無線LANのようなスポットエリアでなく、広がりのあるセルを形成する。屋内エリアでは将来の無線LANに対して競争力を持つ、さらなる高速伝送と機能の簡易化を目指し、電波の減衰の大きい屋外基地局によってカバーするのではなく、屋内にアクセスポイントを置くことでカバーする。さらに、バスや電車内などの移動体内セル（移動するセル、移動するネットワーク）においては、従来、移動体内の端末のそれぞれが外部の基地局と直接通信を行っていたものを、移動体に設置した無線機能付移動ルータ（MR：Mobile Router）が基地局から各移動体内へ信号を中継する形態となる。これにより端末送信電力、伝送レート、制御信号量などの面において効率化が図られる。

また、セルの拡大やシャドウイング対策に有効と考えられているマルチホップ接続の検討も進めている。図4に示すように、他の端末、中継局を経由して情報伝送す

ることにより，端末の送信電力の制限や電波の伝搬減衰の影響が大きい場合においても通信を可能にすることが期待される[2]．

(3) マルチメディア通信への対応

従来のIPネットワークはベストエフォートのサービスを中心に提供してきたが，マルチメディア通信の多様化に応じて，リアルタイムアプリケーションの増加が予想され，サービス品質（QoS：Quality of Service）を考慮したサービスの重要性も高まってくると考えられる．ある程度の伝送速度を確保したり，パケットを優先的に伝送できるような機能を提供できる仕組みを，ボトルネックである無線区間でIPネットワークと連携してできるような構成とする．

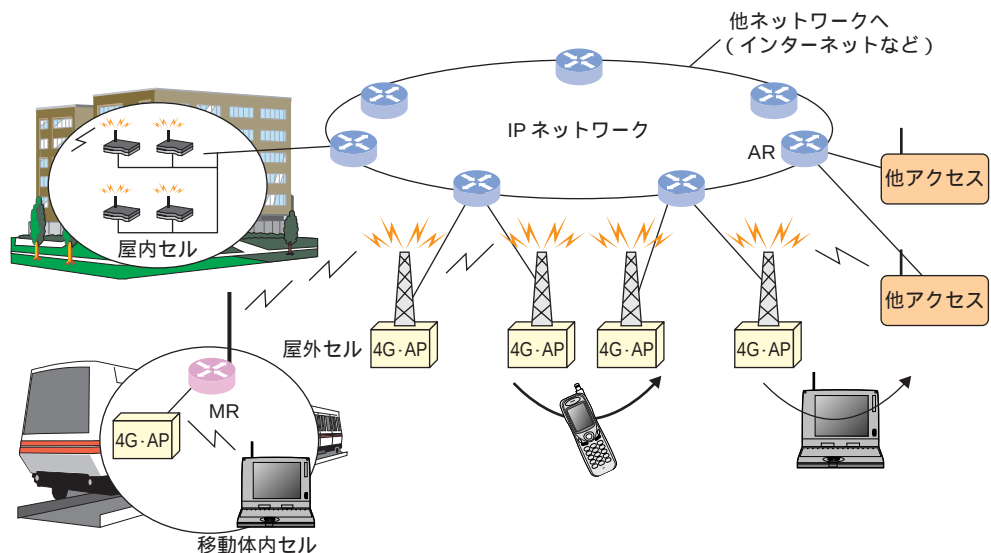


図3 4Gシステム構成イメージ

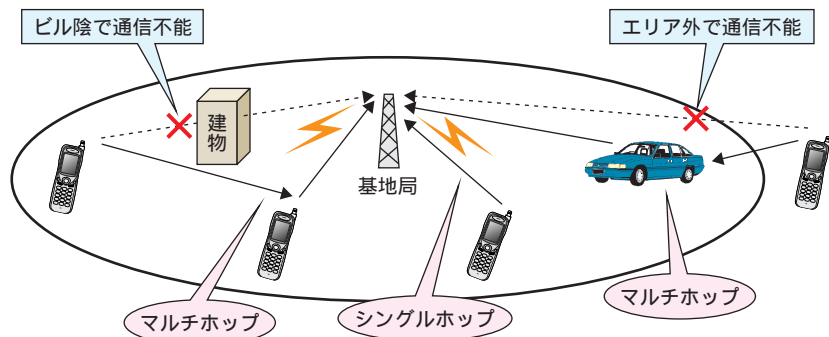


図4 マルチホップ接続によるエリア補完

4. 標準化動向

4.1 ITU・Rでの動き

IMT・2000システム導入の見通しが得られた2000年，国際電気通信連合（ITU：International Telecommunication Union）では，IMT・2000の今後の発展と将来システムに関する研究を開始した．国際電気通信連合・無線通信部門（ITU・R：ITU Radiocommunication sector）においては，1999年11月に設立が決定したSG8（Study Group）WP8F（Working Party・8F）に新研究課題Q.229/8（IMT・2000の今後の発展とSystems beyond IMT・2000）が課せられ，2000年3月より検討が開始された．さらに，2000年6月にイスタンブールで開催された世界無線通信会議（WRC：World Radiocommunication Conference）・2000では，ITU・Rにおいて周波数要求条件も含めて将来システムに関する研究を行うこと，2003年のWRC・2003においてこれらの研究状況を検討すること，さらに，その後のWRCにおいて周波数要求条件をレビューすることが決議された．ITU・RのWP8Fでは，その第一歩として今後の技術開発の方向性を示す将来ビジョンに関する勧告の作成を行ってきたが，2003年2月に開催されたSG8会合にて勧告案が承認され，

上位組織である無線通信総会（RA：Radiocommunication Assembly）へ送付された．本勧告案では，Systems beyond IMT・2000は，現在のIMT・2000とその高度化システムを含めた将来の移動通信システムの総体と考えられ，Systems beyond IMT・2000を構成するさまざまな無線アクセスシステムはネットワークを介して相互に連携し，利用者が個々の無線アクセスシステムを意識することなくSystems beyond IMT・2000の能力の全領域を利用できることが求められている．さらに，IMT・2000の高度化システムでは実現できない領域（高速移動で100Mbit/s程度，準静止で1Gbit/s程度．ただし，ここに示すビットレートは，ユーザで共有されることを想定．また，具体的な数値は研究目標）をカバーするため，新たな無線アクセスシステム，およびそのシステムを運用する周波数帯が必要になるとの認識が示されている．また，新たな無線アクセスシステムの実現目標時期は，2010年頃とされている[3]．今後，周波数に関する必要条件の検討や具体的な技術課題に関する研究が進展することが期待される．

4.2 国内での動き

国内では、ITUでの研究開始と時期を同じくして、総務省情報通信審議会に新世代モバイル委員会が2000年10月～2001年6月の間設置され、将来の移動通信に関するビジョンがまとめられた[4]。この結果は、先に説明したITU-Rのビジョン勧告案に反映されている。さらに、新世代モバイル委員会による答申を受け、4Gシステムおよびモバイルコマースなどの早期実現を図るため、種々の調査研究などを行うmITF (mobile IT Forum) が、2001年6月に設立された[5]。

4.3 その他の組織での動き

欧州のベンダを中心に運営されている研究フォーラムWWRF (Wireless World Research Forum) でも、将来ビジョンに関する研究成果がまとめられており[6]、さらに、これをベースとした、新たな研究プロジェクトが設立されようとしている。また、IMT-2000の標準仕様を国際間で協調して作成した3GPP (3rd Generation Partnership Project) では、IMT-2000の今後の機能拡張に関するロードマップを作成しており、その中で、ITU-Rで作成したビジョン勧告に沿った機能拡張スケジュールの検討が行われている。

4.4 今後の予定

ITU-Rで、このほど完成したSystems beyond IMT-2000に関するビジョンは、ワイヤレス研究所の研究目標と整合しており、今後の研究の進展に合わせてITU-Rでの標準化に貢献していく予定である。また、他の研究組織との連携もグローバルな標準を策定していく上で重要になる。無線LANの標準規格を策定した米国のIEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) では、次世代無線LANの検討を開始している。4Gシステムの屋内利用が増えること、よりインターネットとの親和性が重要になることを考慮すると、IEEEでの標準化とも連携を進める必要がある。

5. あとがき

本稿では、4Gシステムの実現に向けた研究状況報告として、システムの要求条件、検討課題、システム構成の基本的考え方について述べた。また、標準化などの関連する動向についても解説した。

文 献

- [1] 安達, ほか: “CDMA技術の最新動向”, 信学誌, Vol.86, No.2, pp.96-102, Feb.2003.
- [2] 藤原, ほか: “ブロードバンドCDMAセルラ方式におけるマルチホップアクセス法のシステム容量増大効果”, 信学論B, Vol.J85-B, No.12, pp.2073-2079, Dec.2002.

- [3] 大津: “Systems beyond IMT-2000へのチャレンジ～ワイヤレスからのアプローチ～”, ITUジャーナル, Vol.33, No.3, pp.26-30, Mar.2003.
- [4] http://www.soumu.go.jp/joho_tsusin/policyreports/joho_tsusin/bunkakai/abstract.pdf
- [5] <http://www.mitf.org/>
- [6] <http://www.wireless-world-research.org/>

用 語 一 覧

3GPP : 3rd Generation Partnership Project
 AP : Access Point
 AR : Access Router
 ARQ : Automatic Repeat reQuest (自動再送要求)
 ATM : Asynchronous Transfer Mode (非同期転送モード)
 EMC : Electro-Magnetic Compatibility (電磁環境両立性)
 FEC : Forward Error Correction
 IEEE : Institute of Electrical and Electronic Engineers
 IMT-2000 : International Mobile Telecommunications-2000
 (第3世代移動通信)
 IP : Internet Protocol
 IPv6 : IP version 6
 ITU : International Telecommunication Union (国際電気通信連合)
 ITU-R : ITU Radiocommunication sector
 (国際電気通信連合・無線通信部門)
 mITF : mobile IT Forum
 MR : Mobile Router (無線機能付移動ルータ)
 PDA : Personal Digital Assistant (携帯情報端末)
 PDC : Personal Digital Cellular (デジタル携帯電話方式)
 QoS : Quality of Service (サービス品質)
 RA : Radiocommunication Assembly (無線通信総会)
 RAN : Radio Access Network (無線アクセスネットワーク)
 RF : Radio Frequency (無線周波数)
 SDR : Software Defined Radio (ソフトウェア無線技術)
 SG8 : Study Group-8
 TPC : Transmit Power Control (送信電力制御)
 W-CDMA : Wideband Code Division Multiple Access
 (広帯域符号分割多元接続方式)
 WP8F : Working Party-8F
 WRC : World Radiocommunication Conference (世界無線通信会議)
 WWRF : Wireless World Research Forum