モバイルWiMAX技術動向

原田　崇

近年，日本ではブロードバンドの普及は爆発的に進み，世界有数のブロードバンド大国といわれるまでになった。有線ブロードバンドサービスであるDSL・CATV・FTTHの加入者数は2,500万人を超えている。その中でも，すでにDSLは都市部を中心に減少が始まっており，その一方でFTTHの加入者は700万人を突破し，さらなるブロードバンド化が加速している。

また，携帯電話・PHSの契約台数はおよそ1億台，第3世代（3G）と呼ばれる携帯電話の契約台数は約6,000万台に達している。最近では3.5Gと呼ばれる3～14Mbit/sのデータ伝送速度を持つシステムが導入され，ブロードバンド化に拍車がかかっている。一方，家庭やオフィスの無線インフラとして普及している無線LANのデータ伝送速度はIEEE802.11bの11Mbit/sからIEEE802.11a/gの54Mbit/sを実現し，現在IEEE802.11nでは100Mbit/s以上を実現するために標準化が進められている。

このようなワイヤレスブロードバンドを実現する技術として注目を集めているのがWiMAX（Worldwide Interoperability for Microwave Access）である。

WiMAXとは

もともとWiMAXはラストワンマイルと呼ばれる通信事業者のネットワークと家庭やオフィスの間の通信経路を無線で接続する固定無線アクセス（FWA：Fixed Wireless Access）の方式であった。FWAの規格として標準化されたIEEE802.16-2004に，モビリティや省電力機能といった移動環境下でも通信を実現するための機能を追加したIEEE802.16e-2005が2005年12月に標準化された。

一般にモバイルWiMAXといった場合，このIEEE802.16e-2005に準拠し，かつ後述するWiMAX Forumが定めるプロファイルに準じて製造・認証されたシステムのことを表す。

モバイルWiMAXの特長としては，以下のような機能が挙げられる。

- **高いデータ伝送速度**：チャネル帯域幅が10MHzの場合，最大データ伝送速度は37Mbit/sとなる。さらにスマートアンテナ技術であるMIMO（Multiple Input Multiple Output）やエラー制御技術であるハイブリッドARQ

表1　モバイルWiMAXのQoSクラス

QoSクラス	アプリケーション	QoS特性
UGS(Unsolicited Grant Service)	VoIP	・最大帯域制限 ・遅延耐性 ・ジッタ耐性
rtPS(Real-Time Polling Service)	ストリーミング(音楽・映像)	・最小帯域保証 ・最大帯域制限 ・遅延耐性
ErtPS(Extended Real-Time Polling Service)	VoIP(無音抑制あり)	・最小帯域保証 ・最大帯域制限 ・遅延耐性 ・ジッタ耐性
nrtPS(Non-Real-Time Polling Service)	FTP	・最小帯域保証 ・最大帯域制限
BE(Best Effort)	データ通信	・最大帯域制限

（HARQ; Hybrid Automatic Repeat reQuest）といったオプション機能と組み合わせることによってさらに高速なデータ伝送を実現することができる。

- **QoSの保証**：5種類のQoSクラス（**表1**を参照）が定義されており，DiffServコードポイントやMPLSフローラベルへのマッピングも可能である。
- **システム拡張性**：各国の周波数事情や地理的条件に応じてさまざまな周波数帯での運用，1.25MHzから20MHzまでのチャネル帯域幅による柔軟なシステム設計が可能である。
- **セキュリティ**：IEEE802.1xで規定されるEAP認証，AES-CCM方式による暗号化，制御信号の保護などに対応している。
- **モビリティ**：VoIPなどのリアルタイムサービスの品質を劣化させることのないシームレスなハンドオーバー機能を提供する。

また，モバイルWiMAXの利用シナリオとしては，端末利用時の移動状況によって**図1**に示す3つのシナリオが想定されている。

- **固定アクセス**：FWAとして使用するシナリオで，端末は移動しない。屋内あるいは屋外のアンテナで受信し，ユーザー端末は有線LANや無線LANでサービスを受ける。
- **ノマディックアクセス**：端末は移動するが，通信時は静止して利用するシナリオ。現在，無線LANで提供されているホットスポットサービスの利用シナリオに近い。
- **モバイルアクセス**：端末が移動しながら通信を行うシナリオで，モバイルWiMAXでは最大時速120kmまでをサポートする。

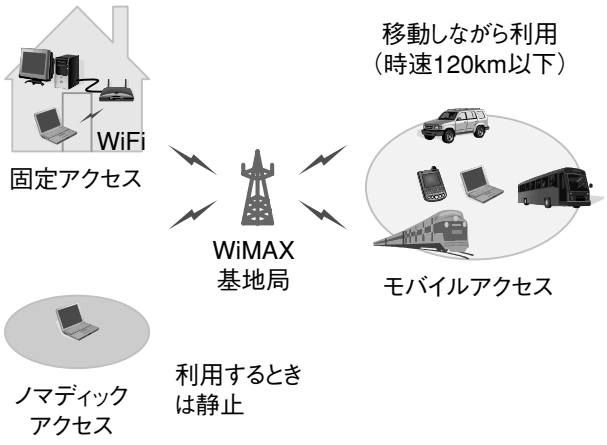

図1　モバイルWiMAXの利用シーン

標準化動向

IEEE802.16ワーキンググループでは，無線MAN（Metropolitan Area Network）におけるブロードバンド無線アクセスの技術標準を規定している。これに関連して，業界団体であるWiMAX Forumでは，異なるメーカーの製品間での通信を可能にするために，IEEE802.16技術標準に準拠した製品の相互運用性のテストや認証を行っている。WiMAX Forumには機器ベンダやチップセットベンダ，通信事業者，測定器メーカーなどが加盟しており，2007年1月現在400社を超えている。**OKI**も2006年6月にWiMAX Forumに加盟している。

現在のIEEE802.16技術標準は，固定利用から移動利用まで幅広い適用性を持たせるために多くのオプションパラメータを持っている。このオプションパラメータを，各ベンダが自由に選択して実装した場合，機器の相互運用が困難になる可能性がある。WiMAX Forumでは，IEEE802.16技術標準に含まれるオプションパラメータから，それぞれの利用環境に適合したパラメータを選択し，共通仕様（プロファイル）として規定している。また，これらのプロファイルに準拠する製品の相互接続テストや機器認定も併せて行っている。

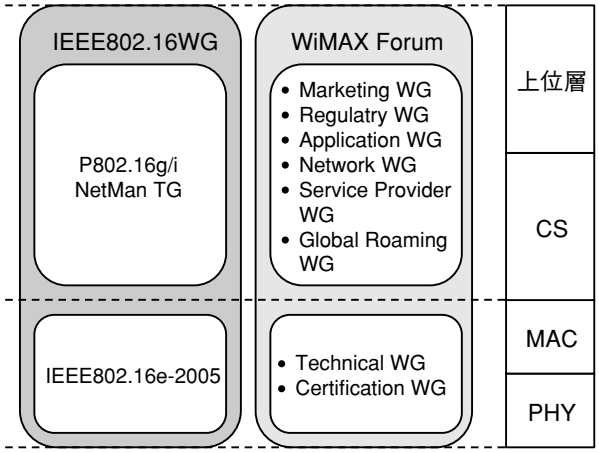

図2　IEEE802.16WGとWiMAX Forumの関係

図2（出典：広帯域移動無線アクセスシステム委員会報告書[1)]）にIEEE802.16ワーキンググループとWiMAX Forumの関係を示す。IEEE802.16e-2005には物理層・MAC層にあたる無線部分の標準仕様が規定されており，最近では上位層におけるネットワーク管理の議論も始まっている。一方で，WiMAX Forumでは物理層およびMAC層のプロファイルの策定のほか，ネットワーク層などレイヤ3以上についても標準仕様を策定している。

モバイルWiMAXの要素技術

(1) OFDMA

モバイルWiMAXでは，地上デジタル放送の規格であるISDB-Tや無線LANの規格であるIEEE802.11a/gなどでも採用されているOFDM（Orthogonal Frequency Division Multiplexing）をベースとした多元接続方式のOFDMA（Orthogonal Frequency Division Multiple Access）が変調方式として採用されている。

OFDMは周波数帯域を複数に分割し，複数の搬送波（キャリア）によってデータを並列伝送するマルチキャリア方式である。OFDMシステムでは入力信号を複数の直行サブキャリアに分割して伝搬することによって，マルチパス歪みの影響を低減している。また，CP（Cyclic Prefix）と呼ばれる冗長信号を挿入することによって，シンボル間の符号干渉を回避している。

通常，OFDMでは1人のユーザーがすべてのサブキャリアを使って通信するが，OFDMAではサブキャリアをいくつかのグループに分けたサブチャネルを利用して複数のユーザーが同時に通信をすることができる。

OFDMAのサブキャリア構成は**図3**（出典：WiMAX Forum公開文書[2]）に示すように3種類のサブキャリアによって構成される。

- **データサブキャリア**：データ伝送に用いる。
- **パイロットサブキャリア**：シンボル同期確立・信号レベル補正に用いる。
- **ヌルサブキャリア**：ガードサブキャリアとDCサブキャリアに用い，データ伝送は行わない。

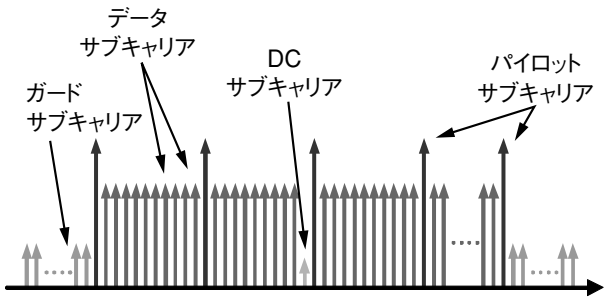

図3　OFDMAのサブキャリア構成

OFDMAでは，サブチャネル単位でユーザーを割り当てることができるため，干渉雑音の少ないサブキャリアをユーザーに優先的に割り当て，システム全体の通信容量を増大させることができる。また，隣接するセルでも同じ周波数を利用することができるため，OFDMに比べて周波数効率を大幅に改善することができる。

(2) スマートアンテナ技術

スマートアンテナ技術とは，複数のアンテナによって送受信された信号をベクトル演算あるいは行列演算することによって，システムのデータ伝送能力を向上させる機能である。モバイルWiMAXでは，スマートアンテナ技術はオプション機能となっているが，これらの技術による受信性能の改善やデータ伝送速度の向上に大きな期待が寄せられている。

スマートアンテナ技術には，以下のような技術が含まれる。

- **ビームフォーミング**：それぞれのアンテナ出力の振幅と位相を制御して重み付けすることによって，アンテナの指向性を制御し，カバレッジ面積やシステム容量の向上が見込まれる。このような受信信号によって指向性パターンを制御するアンテナシステムをAAS（Adaptive Antenna System）と呼ぶ。
- **時空間符号**：空間ダイバーシティの効果によって，フェージングマージンを低減する。基本形は2×1（送信側2アンテナ，受信側1アンテナ）のMISO（Multiple Input Single Output）だが，モバイルWiMAXではMIMOの一形態であると考えられ，MIMO Matrix Aと呼ぶ。
- **空間多重**：送受信ともに複数のアンテナを利用し，データを複数のアンテナに分割して送信することによってデータ伝送速度を向上させる。一般的にMIMOと呼ばれているが，モバイルWiMAXでは前述した時空間符号と区別してMIMO Matrix Bと呼ぶ。2×2のMIMOでは，データを2つに分割して送信することによって，理論上はデータ伝送速度が2倍になる。

(3) ハイブリッドARQ

ハイブリッドARQは，データ伝送の信頼性を高めるための誤り制御方式である。誤り制御方式には，エラーが検出されたフレームの再送を送信側に要求する自動再送要求と送信するデータに冗長データを付加し，受信側でエラーを訂正する前方誤り訂正がある。ハイブリッドARQは自動再送要求と前方誤り訂正を組み合わせることによって，エラー検出時の再送回数を減らし，安定したデータ伝送速度を提供する。ハイブリッドARQは3.5G技術であるHSDPAでもエラー制御方式として採用されている。

KDDIはモバイルWiMAX実証実験の中でハイブリッドARQを有効にすることによって，データ転送速度を下り20%，上り50%，全体で30%向上したと発表[3]しており，その効果の高さが実証されている。

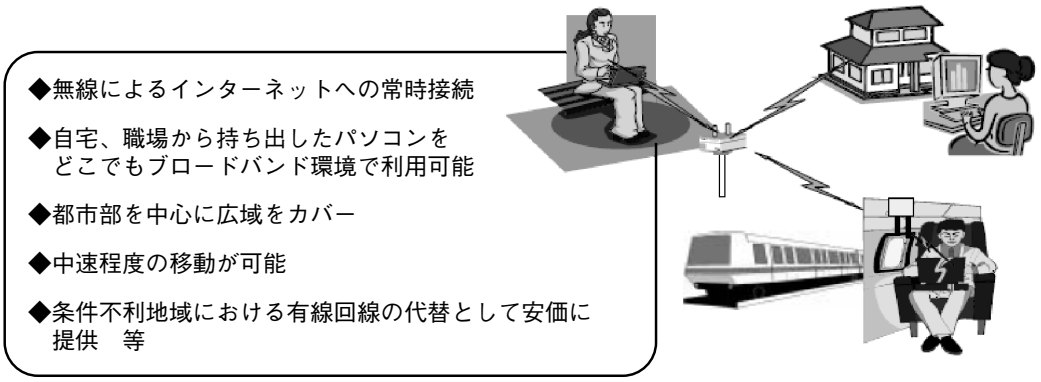

図4　BWAシステムの利用シーン

国内の動向

総務省は2004～2005年にかけて，ワイヤレスブロードバンド推進研究会による広帯域移動無線アクセス（BWA; Broadband Wireless Access）システムの検討を実施した。研究会は，最終的にBWAシステムを「現行の3G携帯電話システムでは容易に対応しにくい上り／下りの広帯域利用に対応し，公衆向けの広帯域データ通信サービスを行うためのワイヤレスシステム」と定義し，BWAシステムの特長や利用イメージを**図4**（出典：ワイヤレスブロードバンド研究会報告書[4]）のようにまとめた。

この報告をもとに2006年3月に広帯域移動無線アクセスシステム委員会を設立し，2.5GHz帯におけるBWAシステムを構成するための技術条件の検討を開始した。委員会は，2006年12月にモバイルWiMAXを含む4技術（他にはMBTDD-Wideband，MBTDD 625k-MC，次世代PHSがある）を2.5GHz帯におけるBWA技術として要求条件を満足することを確認し，それぞれのシステムの特性や干渉条件などについて報告書にまとめた。また，FWAとしての利用条件や同一周波数の複数事業者による共有条件などについては現在も継続して議論されている。

この内容をもとに，総務省は法令の改正・免許割当方針の決定を行い，早ければ2007年夏頃にはサービスを行う事業者の選定が行われる予定である。

総務省による検討に並行して，通信キャリアや地方自治体・CATV事業者による実証実験が盛んに行われるようになった。特にKDDIは早くからモバイルWiMAXの実証実験を行っており，それに続く形でソフトバンクやNTTドコモ，イーアクセス，アッカネットワークス等の大手通信事業者もモバイルWiMAX参入を表明し，実証実験を開始している。また，地方自治体やCATV事業者も，全国に300万世帯あるといわれるデジタルディバイド地域へのブロードバンド提供方法の1つとしてモバイルWiMAXに期待しており，実証実験や総務省に対する積極的なアピールを続けている。 ◆◆

■参考文献

1）総務省：広帯域移動無線アクセスシステム委員会報告書，2006年
2）WiMAX Forum White Paper, Mobile WiMAX - Part I: A Technical Overview and Performance Evaluation, 2006
3）KDDI：ワイヤレスシンポジウム2006講演資料 - モバイルWiMAXの検討と実証実験最新状況，2006年
4）総務省：ワイヤレスブロードバンド研究会報告書，2005年

●筆者紹介

原田崇：Takashi Harada. ネットワークシステムカンパニー ネットワークシステム本部 ワイヤレスシステムマーケティング部