

WiMAX 基地局の概要・機器構成・通信性能 およびフィールド実験の結果について

三 田 雅 樹*・荒 木 正*・朝夷名 巧
向 井 英 之・小 嶋 隆 夫・桂 勇 男
田 中 義 三・黒 川 頼 直・狄 靖
嶋 田 善 行

Development of WiMAX Base Station — by Masaki Sanda, Tadashi Araki, Takumi Asaina, Hideyuki Mukai, Takao Kojima, Isao Katsura, Yoshizo Tanaka, Yorinao Kurokawa, Sei Teki and Yoshiyuki Shimada — The authors have successfully developed a WiMAX base station. This paper reports on the brief description, equipment configuration, performance, and field test result of this WiMAX base station.

1. 緒 言

モバイル WiMAX は、オール IP 化により安価にシステムが構築できること、および標準規格によるオープンなシステムであることにより、次世代モバイルブロードバンド分野で注目されている技術である。

当社は、有線系ブロードバンド分野で世界のリーディングカンパニーであり、その技術と、PHS など培われた無線技術を融合し、WiMAX 基地局の開発に取り組んできた。

本稿では、開発した基地局の概要、機器構成、評価結果と当社大阪製作所で実施したフィールド実験の結果について報告する。

換後、アナログ部に送信する。ベースバンド部とアナログ部間ではデジタル IQ 信号で送受信を行う。アナログ部では、IQ 信号を直交変調器でベクトル IF 信号に変換し RF 信号に周波数変換した後、パワーアンプで所定の電力まで増幅後、アンテナに信号を送信する。アナログ部は、Direct/Diversity の 2 系統があり、WiMAXForum で定義される MatrixA と MatrixB の MIMO 方式に対応している。送信電力は最大で 20W (10W×2) である。

電源部では、装置内各部で使用される DC 電源を生成する。GPS 受信部では、GPS 信号を受信し、装置内基準クロックと送信タイミング基準信号を生成し、ベースバンド部およびアナログ部に供給する。

2. 基地局の構成・仕様

今回開発した WiMAX 基地局装置のブロック図を図 1 に、仕様を表 1 に示す。基地局装置はベースバンド部、アナログ部、GPS 受信部、および電源部から構成されている。

ベースバンド部は、上位ネットワークから IP データを受信し、信号処理を行い、WiMAX 規格に準拠した信号に変

表 1 WiMAX 基地局仕様

項目	仕様
多重化方式	OFDMA
複信方式	TDD
信号帯域幅	10MHz
送受信周波数	2550~2620MHz
FFTサイズ	1024
MIMO	Matrix A/B
送受信系統数	2系統
最大送信出力	20W (10W×2)
ネットワークインターフェース	100BASE-TX 1000BASE-T
冷却方式	自然空冷
電源電圧	100V 50/60Hz
消費電力	250Wmax
概略寸法	約500×400×300 (mm)
重量	30kg以下

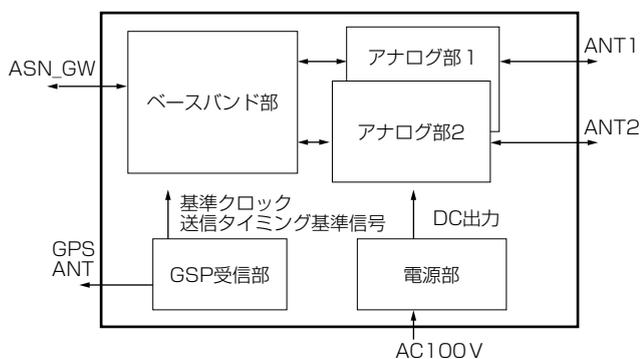


図 1 WiMAX 基地局ブロック図

3. 基地局各部詳細

3-1 ベースバンド部 ベースバンド部ブロック図を図2に示す。ベースバンド部は、ネットワークプロセッサ、DSP、メモリ、EtherPHYおよび電源から構成される。

ネットワークプロセッサは、上位ネットワークと接続するネットワークインターフェース部、WiMAXのPHY部を制御するMAC部およびアプリケーション部が集積されている。DSPは、WiMAXのPHYとしてネットワークプロセッサからの信号を処理し、WiMAX規格に準拠した信号を生成し、アナログ部にデジタルIQ信号を送信する。また、本DSPには、上り回線干渉除去技術などの当社独自技術が実装されており、他社との差別化を図っている。

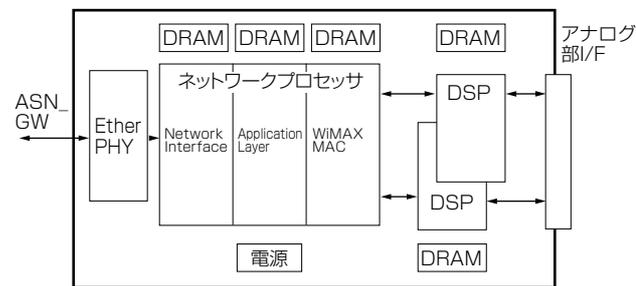


図2 ベースバンド部ブロック図

3-2 アナログ部 アナログ部のブロック図を図3に、主な仕様を表2に示す。アナログ部の構成と動作について説明する。MIMO通信に対応するため、アナログ部は、それぞれ2系統の送受信部を有している。送信系では、ベースバンド部から送信されたデジタルIQ信号は、DAコンバータによってアナログ信号に変換後、直交変調器においてベクトル変調されIF信号に変換される。その後、可変減衰器でレベルを調整し、アップコンバータによって2.6GHz帯のRF信号に変換される。HPAブロックでは、ドライバンプによりパワーアンプを駆動するために必要な電力にまで増幅される。そしてパワーアンプで10Wに増幅

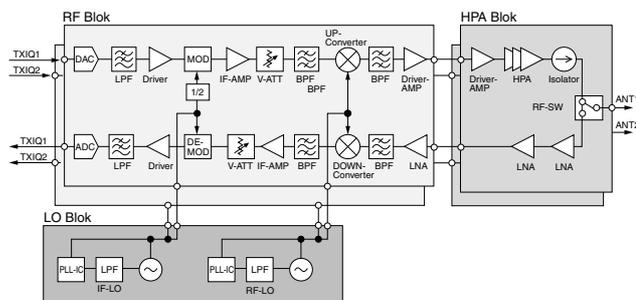


図3 アナログ部ブロック図

表2 アナログ部仕様

項目	仕様値
電源電圧	RFブロック：5V LOブロック：5V PAブロック：28V
周波数	2550MHz ~ 2620MHz
送信電力	10W×2
信号帯域幅	10MHz
復信方式	TDD方式
多重化方式	OFDMA
変調方式	64QAM, 16QAM, QPSK対応
MIMO対応	Matrix A & Matrix B対応 (送受信各2系統)

され、送受信切替スイッチを介して出力される。

日本国内で使用するWiMAX基地局は、衛星通信へ与える干渉を回避するため、2,505MHzから2,535MHzの不要輻射電力が-42dBm/MHz以下に制限されている。この性能を実現するため、出力端にはキャビティ型のバンドパスフィルタを挿入している。パワーアンプ出力は、これにより不要輻射を抑圧した上でアンテナに供給される。

次に受信系について説明する。アンテナ端から入力された2.6GHz帯の受信信号は送受信切替スイッチを通過後、低雑音アンプ(LNA)によって増幅される。試作機ではシングルヘテロダイン方式を採用しており、受信信号は、イメージ信号除去およびシステム帯域選択用のBPFを通して、ダウンコンバータでIF信号に変換される。その後、チャンネル選択用BPF、受信利得調整用ATTおよびIFアンプを通過し、後段に続くADコンバータによってデジタル信号に変換され、ベースバンド部のDSPで復調される。

試作したアナログ部の高周波特性を表3に示す。これらの値は標準化団体(ARIB, WiMAX Forum)において規定されている規格値を十分に満たす結果となっている。

3-3 筐体 筐体は、施工性・保守性を考慮して、オールインワン構造とした。また、パワーアンプおよび電源モジュールを直接放熱フィンに実装し、その放熱フィンを外気と直接熱交換を行う構造にし、空冷ファンが不要な自然空冷を可能とした。

表3 アナログ部 高周波特性

項目	規格値	結果
変調精度	-18dB以下 QPSK-3/4 -24dB以下 16QAM-3/4 -30dB以下 64QAM-5/6	-36dB以上 (QPSK-3/4, 16QAM-3/4, 64QAM-5/6)
スペクトラムマスク	離調15MHz ~ 25MHz: -22dBm/MHz 以下	-30.6dBm/MHz
隣接チャンネル漏洩電力	3dBm/9.5MHz以下	-4.3dBm
送信電力可変範囲	10dB以上	15.5dB
受信最大入力レベル	-45dBm (正常動作) -10dBm (破損しない)	-45dBm以上 -10dBm以上

4. 評価

開発したWiMAX基地局の評価については、まず実験室にて基本性能評価と他社製端末およびASNゲートウェイとの相互接続試験を実施した。その後、実フィールドでのテストも実験無線免許を取得して弊社大阪製作所内および製作所周辺の一般道で行った。フィールドテストでは、大阪製作所内のビルの屋上にWiMAX基地局および写真1のように基地局用アンテナを設置し、電測車内に他社製端末機器および試験機器を車両外部に端末用アンテナをそれぞれ配置した。また、大阪製作所内の別の2ヶ所のビルの屋上にも同様にWiMAX基地局および基地局用アンテナを設置して電測車両を移動させてハンドオーバ実験を行った。



写真1 電測車と端末用アンテナおよび電測車内の様子

4-1 基本性能評価結果 WiMAX基地局の基本性能としてスループットの評価を実施した。WiMAX基地局と端末の間は同軸ケーブルで接続し評価を実施した。評価は複数アンテナを利用してデータ伝送を行うMIMO技術を

適用して実施した。WiMAX ForumではMIMOのタイプとしてMatrix AとMatrix Bの2つが定義されている。MIMOの動作概要を図4に示す。Matrix Aは複数のアンテナで同一のデータ伝送を行い無線通信の品質を向上させる方式、Matrix Bは複数のアンテナで各々異なるデータの伝送を行いデータ伝送量を向上させる方式である。

評価は各変調方式毎に実施し、理論値と実際の測定値を比較した。理論値とはWiMAXのOFDMAフレームの構造、フレーム送信間隔及び変調多値数により決まるものである。MIMO MatrixBのスループットの評価結果を図5に示す。スループットはパケット長1470バイトのUDPパケットで測定した。評価の結果より理論値に近いスループットが得られることを確認した。

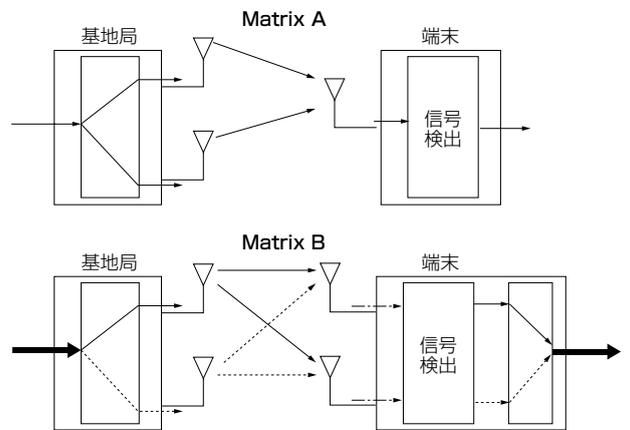


図4 MIMO動作の概要

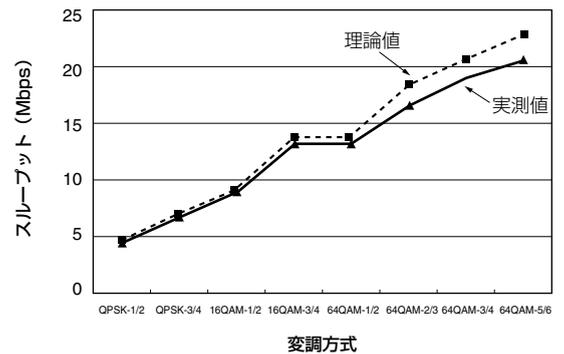


図5 基本性能評価結果

4-2 他社製端末機器との相互接続試験 WiMAX基地局としてWiMAX Forumの認証に必要とされる3社の端末機器メーカーとの接続試験も行った。ここでは、A社、B社、C社とする。A社、B社、C社の各端末ともに基本的な相互接続の確認となるIPでの疎通試験に成功している。

また、特にA社については、Idleモード、Sleepモードといった端末側での特別なモードや端末のユーザ認証に対応できるかどうかのテストも行った。

4-3 ASN-GWとの相互接続試験 WiMAX基地局は、図6の様にASNゲートウェイ(Access Service Network GateWay)を通じてコアネットワークや隣接する他のWiMAX基地局に接続する。ASNゲートウェイはWiMAX端末の接続制御やQoS制御、認証の仲介、ユーザーデータの中継・バッファ等を行う。

また、WiMAX端末がIP通信を継続しながら無線回線を隣接するWiMAX基地局に切り替える「ハンドオーバー」機能を実現する上でも重要な機能を担っている。

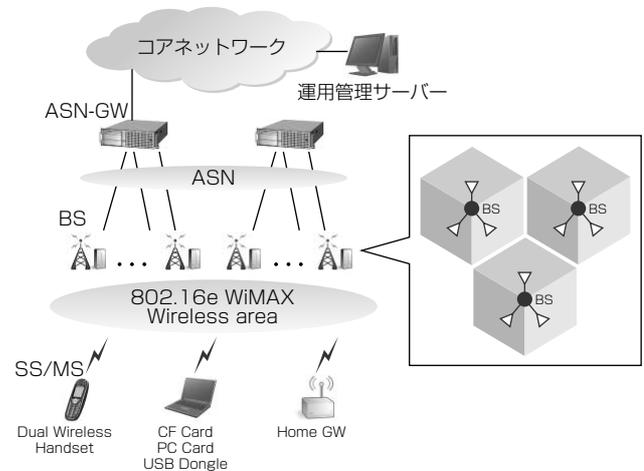


図6 WiMAXシステム構成

WiMAX基地局の開発には対向するASNゲートウェイが必須であったが、開発着手時点では利用可能な商用もしくはテスト用ASNゲートウェイが市場に存在しなかった為、自社で簡易ASNゲートウェイの開発も行った。

WiMAX基地局～ASNゲートウェイ間のインタフェース仕様はWiMAX Forumで策定が進められていたが、開発時点では不確定部分が多く残っていたため、当社で暫定的に仕様化して開発を進め、WiMAX Forumで仕様化された部分から逐次当社仕様に反映することで、常にWiMAX Forum仕様に近い状態を保つ様に配慮した。

簡易ASNゲートウェイでの開発の次のステップとして、有力コアネットワーク機器メーカーD社のASNゲートウェイとの相互接続試験を実施した。

D社のASNゲートウェイはWiMAX Forumのインタフェース仕様に準拠していたが、仕様解釈や実装する機能の違いから当社仕様とは乖離があった。

そこで接続試験に先だって両社間で共通仕様を策定し、互いの機器に反映した後にIOTを実施する事で、実際の接続

試験では大きな変更作業も発生することなく、最短の工数で終了した。

4-4 フィールドテスト WiMAX基地局の機能確認を実施するためにフィールドテスト(屋外実験)を行った。フィールドテストでは主にハンドオーバー機能と適応変調機能を実施した。

1) ハンドオーバー機能試験

ハンドオーバーとは端末が基地局と通信をしながら移動している場合において、移動に伴い電波強度が弱くなった場合に近隣のより電波の強い基地局に通信状態を継続しながら移る機能である。WiMAXではハンドオーバーの方式としてControlledハンドオーバーとUncontrolledハンドオーバーの2つの方式がある。Controlledハンドオーバーは端末が基地局に移っている最中のパケット欠落を回避する方式である。ASNゲートウェイで下り方向(ASNゲートウェイ→端末)のデータパケットをバッファリングし、パケット欠落を回避する仕組みを提供する。Uncontrolledハンドオーバーはデータパケット欠落を回避する仕組みは無いが、Controlledハンドオーバーよりも基地局と端末間の処理手順が簡易である特徴を持つ。フィールドテストではControlledハンドオーバー機能のテストを実施した。シーケンスを図7に示す。

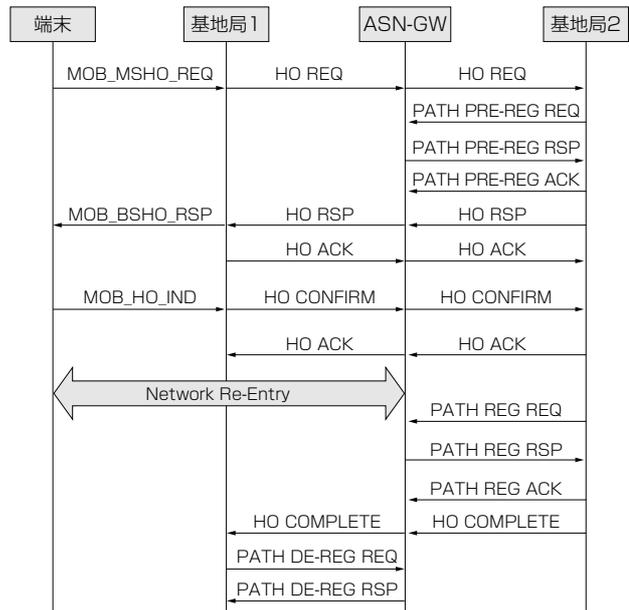


図7 ハンドオーバーシーケンス

ハンドオーバー機能テストに際し弊社大阪製作所内に基地局を2台設置し、基地局間の同期はGPS信号を取り込むことで実現した。基地局2台の間を、端末を搭載した車でストリーミング映像を流しながら往復し、ハンドオーバー機

能の確認を実施した。当初は複数のパケットが欠落する問題が発生したが、ASNゲートウェイとWiMAX基地局間のバッファリング制御の改良を重ね、結果としてストリーミング映像の欠落が無いシームレスなハンドオーバー機能を実現した。

2) 適応変調機能試験

適応変調機能とは無線伝搬路の状況に応じて動的に最適な変調方式に切り替える機能である。一般的に変調多値数(1つの搬送波で搬送可能なビット数)が大きい程より多くのデータを伝送できるが、低受信レベルでは復調精度が悪くなりパケットの欠落に繋がる。そこで電波伝搬路の品質が悪い時は変調多値数を減らしてデータ通信のパケット欠落率を低減させ、品質が良い時は変調多値数を増やして伝送量を向上させるのが基本的な考え方である。

WiMAX基地局では端末が測定した電波伝搬路の品質状態をフィードバックしてもらい、適切な変調方式を選択する機能を有している。フィールドテストでは端末を搭載した車を走行させ、電波伝搬路の品質状態を示す無線品質指標と端末側で受信したトラフィックレートのデータを採取し適応変調機能の動作と有効性を確認した。実験のデータを図8に示す。データより無線品質に合わせて動的に変調方式を切替えることで、通信速度の向上と安定した通信品質を実現出来ることを確認した。

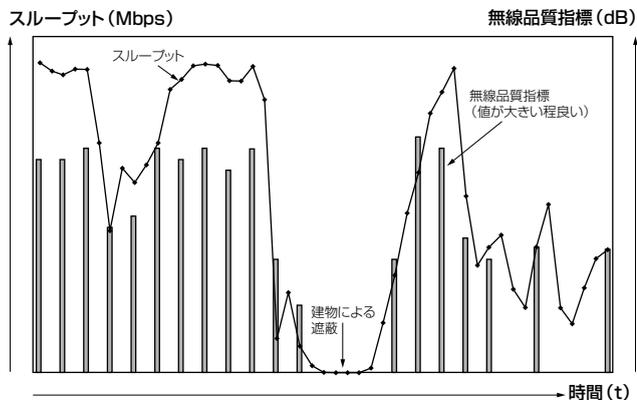


図8 適応変調の測定結果

5. 結 言

本稿では、当社が開発したWiMAX基地局の概要、機器構成、評価結果と当社大阪製作所で実施したフィールド試験結果について報告した。フィールド実験を通して、当社の開発した基地局が、実運用に耐えうる機能を持つことを確認した。今後は、国内外の市場動向調査を行い、市場ニーズにマッチした製品開発を進めていく。

*WiMAX、WiMAX Forumは、米国WiMAX Forumの米国及びその他の国における商標または登録商標です。

参 考 文 献

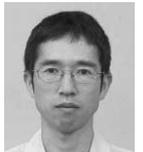
- (1) IEEE Standard 802.16e-2005
- (2) IEEE Standard 802.16d-2004

執 筆 者

三田 雅樹* : 情報通信研究所
伝送システム研究部 主席
無線アクセス機器の研究・開発に従事



荒木 正* : 情報通信研究所
伝送システム研究部 主席
無線アクセス機器の研究・開発に従事



朝夷名 巧 : 情報通信研究所 伝送システム研究部
プロジェクトリーダー

向井 英之 : 情報通信研究所 伝送システム研究部 主席

小嶋 隆夫 : 住友電工ネットワークス(株) 事業開発本部
ワイヤレスブロードバンド推進部 担当課長

桂 勇男 : 情報通信研究所 伝送システム研究部 主査

田中 義三 : 情報通信研究所 伝送システム研究部 主査

黒川 頼直 : 情報通信研究所 伝送システム研究部

狄 靖 : 情報通信研究所 伝送システム研究部

嶋田 善行 : 情報通信研究所 伝送システム研究部

*主執筆者