

ミリ波ブロードバンド通信システム用 アンテナ技術

米田尚史* 森 一富†
松井敏明** 小西善彦*
山内尚久***

Antenna Technologies for Millimeter-wave Broadband Communication System

Naofumi Yoneda, Toshiaki Matsui, Takahisa Yamauchi, Kazutomi Mori, Yoshihiko Konishi

要 旨

携帯電話や無線LAN(Local Area Network)の普及及び大容量化に伴い、無線通信で使用するマイクロ波帯の周波数が枯渇しており、未利用周波数帯であるミリ波帯の活用が注目されている。

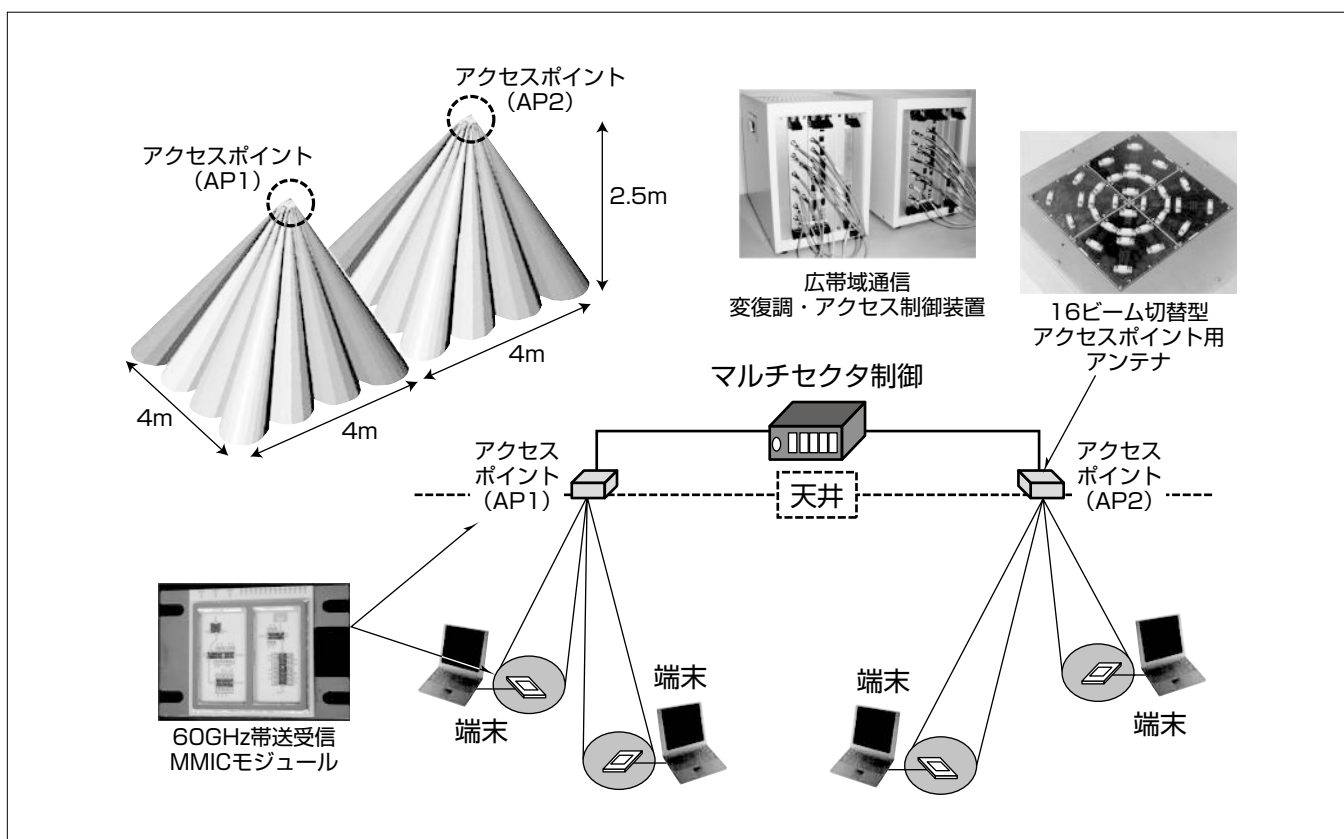
ミリ波帯は使用周波数帯域幅を広く確保することができるため、映像データなどの大容量通信に適しているが、直進性が強いので単一のビームでは限られた範囲でしか通信できず、また、周波数が高いため技術的な難易度が高く、構成部品が高価となるなど、その実用化には課題があった。

本稿では、ミリ波(周波数60GHz帯)を用いた複数のビームを複数エリアに対し効率的に切り替えて照射する“ミリ波ブロードバンド通信システム用多ビーム切替え型アンテナ技術”の研究開発成果について述べる。

この技術は、近接する複数ユーザーが同時に高速通信できるミリ波無線システムの実現に大きく寄与するものである。事実、この開発成果を用いた無線通信試験で、ミリ波による双方向通信としては世界最高速^(注1)のデータ伝送の実証に成功した。今後、列車向けミリ波コンテンツ伝送などの地上-車上間通信システム、又は、航空機等移動体向けの大容量データ伝送用無線システムへの展開が期待される。

なお、これは、総務省委託研究“ミリ波ブロードバンド通信システム用アンテナ技術の研究開発”(平成17~21年度)で開発したものである。

(注1) 2010年6月21日現在、当社調べ



16ビーム切替え型アクセスポイントー複数端末間ミリ波帯双方向ブロードバンド通信システム

このシステムでは、地上(床面)より高さ2.5mの場所(天井面)に設置された16ビーム切替え型アクセスポイント(Access Point : AP)用アンテナから16本のビームが地上の4m×4mのエリアを隙間(すきま)なく照射する(図左上)。この開発では、AP-端末間双方向通信システムの通信実証試験(最大2AP対最大4端末、図右下)で、60GHz帯を用いた双方向通信としては世界最高速のデータ伝送速度の実証に成功した。

1. ま え が き

携帯電話や無線LANの普及及び大容量化に伴い、マイクロ波帯以下の周波数資源が逼迫(ひっばく)しており、新たな周波数帯域を確保する手段として、未利用のミリ波帯が注目されている。

ミリ波帯は使用周波数帯域幅を広く確保することができるため、映像データなどの大容量通信に適しているが、直進性が強いので単一のビームでは限られた範囲でしか通信できず、また、周波数が高いため技術的な難易度が高く、構成部品が高価となるなど、その実用化には課題があった。

本稿では、ミリ波(周波数60GHz帯)を用いた複数のビームを複数エリアに対し効率的に切り替えて照射する“ミリ波ブロードバンド通信システム用多ビーム切替え型アンテナ技術”の研究開発成果について述べる。

2. ミリ波ブロードバンド通信システム

多ビーム切替え型アンテナを用いたミリ波ブロードバンド通信のシステムを図1に示す⁽¹⁾。このシステムは、秘匿性を確保し、かつ、広範囲なエリアに対して効率的な高速通信を実現するものである。AP1局当たり4m×4m×2.5mの室内空間をカバーし、同空間内でユーザー数7~10人、トータル通信容量1Gbpsの無線通信システムを想定している。また、隣接する通信エリアが互いに干渉しないように使用周波数帯域(59~60GHz)内で異なる周波数を選択して配置する。さらに、複数のサブシステムをマルチセクタ制御部で接続/制御することによって、約100m²のエリアに合計100以上のビームを制御/照射することが可能となる。

3. 多ビーム切替え型アンテナ技術

今回開発したAP用多ビーム切替え型ミリ波アンテナの外観と構成を図2に示す。このアンテナは、16個のミリ波アンテナ、4個の4ビーム切替え用ミリ波スイッチモジュール、4個のミリ波送受信モジュール、及び、1個のIF(Intermediate Frequency)スイッチ(1対4)とから構成されている⁽²⁾⁽³⁾。

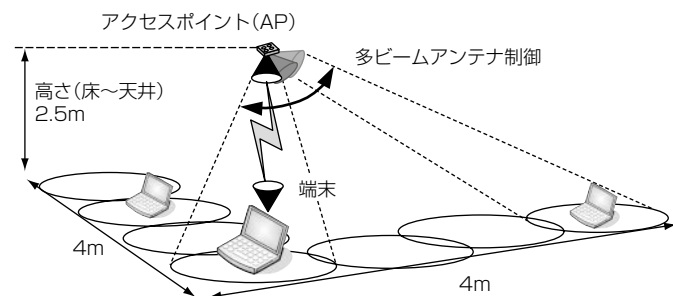


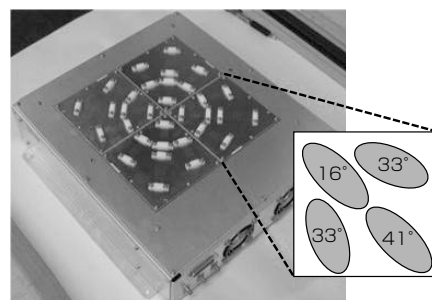
図1. 多ビーム切替え型アンテナを用いたミリ波ブロードバンド通信システム

3.1 樹脂基板ビームチルトアンテナ

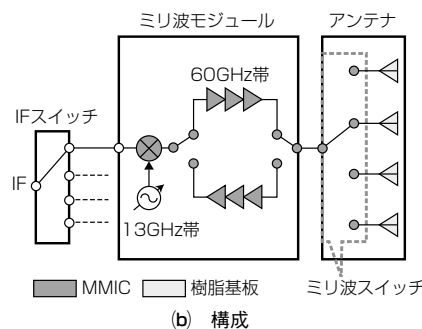
APにある16個のアンテナは、各々、特定方向にビームを照射して所定のエリアをカバーする。16ビームの照射の対称方向性を考慮して、主ビームを16度、33度、41度チルトさせた3種類のアンテナを用意する。図2(a)中の数字は各チルトアンテナのビーム配置を表しており、ビーム幅はビームチルト面が20~26度、その直交面が27度である。

60GHz帯ビームチルトアンテナ単体の構成を図3に示す。誘電体基板(比誘電率^(注2): 2.73, 誘電正接^(注3): 0.0023)にポスト壁導波管で形成した放射部と給電部とを備えている。放射部は、素子間隔1管内波長の定在波型シャントスロットアレーアンテナ^(注4)であり、スロットの長軸と直交する方向にビームをチルトさせている。素子配列は、EOC(Edge of Coverage)利得^(注5)が最大となる様に決定しており、例えば、41度チルトアンテナの場合、放射部寸法は15.4×11.9(mm)である。給電部はT分岐回路と位相調整回

- (注2) 当該媒質の誘電率と真空の誘電率の比
- (注3) 誘電体内部での電気エネルギーの損失性を示す数値
- (注4) 先端短絡の導波管上に複数のスロットを管軸方向にその長辺に沿わせて配置したアンテナ
- (注5) 所望のビーム照射範囲の端における放射エネルギーの強さ



(a) 外観



(b) 構成

図2. AP用多ビーム切替え型アンテナ

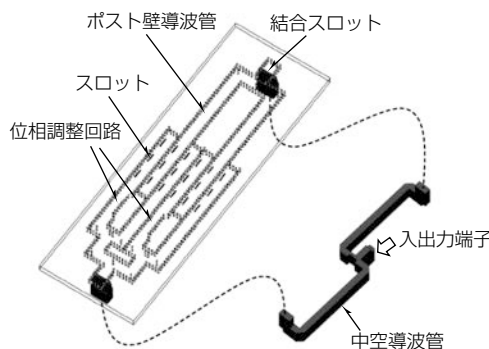


図3. ビームチルトアンテナの構成

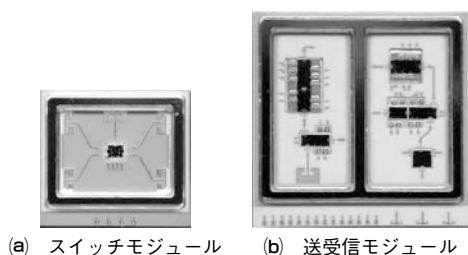


図4. ミリ波モジュール

路から構成され、放射部の両側に設けられている。誘電体基板の背面には中空導波管で構成した分配回路を備え、両者は結合スロットを介して接続されている。

3.2 ミリ波モジュール

図2(b)中の4ビーム切替え用ミリ波スイッチモジュール及びミリ波送受信モジュールは、各々、スイッチ、増幅器、ミキサなどのMMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuits) 及び変換器、フィルタなどの受動回路を内蔵したLTCC (Low Temperature Co-fired Ceramics) パッケージを用いて構成されている。ミリ波スイッチモジュールでは、従来構成と比較して通過経路のFET (Field Effect Transistor) スイッチ部を1つ削減した多接点形構成を適用し、低損失化を実現している。また、ミリ波送受信モジュールでは、位相雑音とコストの観点から、4次高調波を用い、かつ、不要信号を抑圧した小型ミキサを開発し、局部発振源を低周波数(13GHz帯)化している。

開発した60GHz帯スイッチモジュール及び60GHz帯送受信モジュールの写真を図4に示す。スイッチモジュールのサイズは17.2×15.6 (mm)、送受信モジュールのサイズは25.4×25.5 (mm)である。

4. 小形・低コストアンテナ技術

多ビーム切替え型アンテナを用いたミリ波ブロードバンド通信では、双方向の高速データ伝送及び秘匿性の確保の観点から、端末装置の位置と状況に応じて最適な基地局-端末間無線リンクを形成する必要がある。そこで、ビーム走査機能を持つ小型・低コスト端末用アンテナ技術を開発した。今回開発した端末用旋回型小型傾斜ビームアンテナの構成を図5に示す。旋回部の直径は20mm、同箱形寸法は40×40 (mm)である。旋回型小型傾斜ホーン部分は、一次放射器上の付加構造として配置され、傾斜ビームを作り、仰角45度以上の方向から来る基地局ビームと無線リンクを形成することができる。

旋回制御ボードと一体化した端末用小型傾斜ビームアンテナ装置の写真を図6に示す。図中左上の破線内部が、図5に示す傾斜ビームアンテナである。この装置はミリ波検波部を搭載しており、旋回制御機能とミリ波受信機能とによって到来するミリ波源方向を感知し、ミリ波源の方位検出と方位角設定機能を備えている。

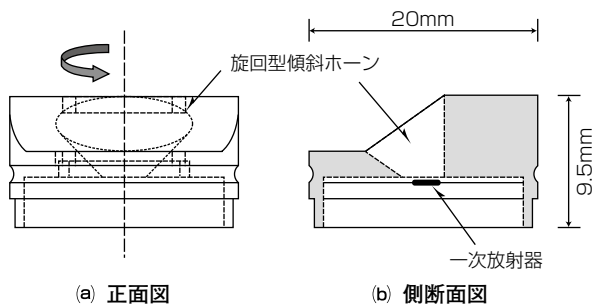


図5. 端末用小型傾斜ビームアンテナの構成

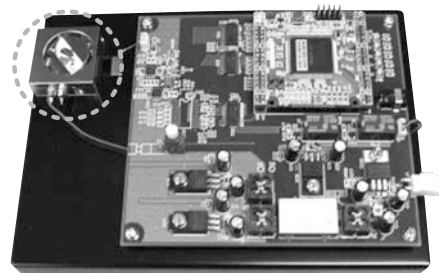


図6. 端末用小型傾斜ビームアンテナ装置

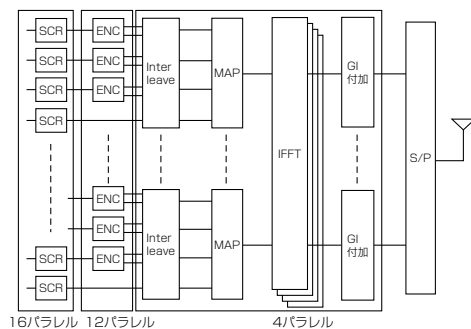


図7. ベースバンド部(変調部)の構成

5. 広帯域通信・アクセス制御技術

この開発では、多ビーム切替え型アンテナを用いたミリ波ブロードバンド通信システムで効率的な超高速通信を実現するために必要となる広帯域変復調技術及び高速・高効率アクセス制御技術を確立し、これらの技術を適用したアクセス制御装置を試作した⁽⁴⁾⁽⁵⁾。

5.1 ベースバンド部

このアクセス制御装置に実装したベースバンド部では、AD/DAコンバータの変換速度、広帯域な周波数特性などを考慮して、変調方式をOFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) とし、FFT (Fast Fourier Transform) ポイント数は1,024とした。また、通信状態に応じて変調方式を切り替える適応変調機能を備える。これらの条件で、実現できる物理伝送速度は最大1.2Gbpsとなる。

今回開発したベースバンド部(変調部)の構成を図7に示す。システムとしての信号のサンプル速度は400MHzであるが、回路を実装するFPGA (Field Programmable Gate Array) 内部の回路を並列実装し、伝送速度にしたがって並列動作回路数を適応的に変更することによって、最大

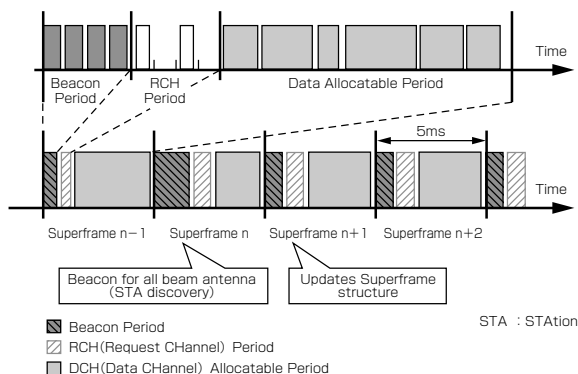


図 8. スーパーフレーム構成例

1.2Gbps の高速伝送を実現した。変調部及び復調部を FPGA 基板に各々実装し、高速な LVDS (Low Voltage Differential Signaling) インタフェースを備える装置でデジタル折り返し試験系を構築し、送受信間 400MHz の動作検証を実施した結果、復調部で受信したペイロードが誤りなく正常に復調でき、伝送速度 1.2Gbps を達成することを確認した。

5.2 アクセス制御部

このアクセス制御装置では、高効率なアクセス制御を実現するために、基地局集中管理の TDMA (Time Division Multiple Access) 方式を採用し、かつ、端末台数及び端末ごとの要求帯域に応じて動的なバースト配置が可能なスーパーフレーム構成としている。このスーパーフレーム構成例を図 8 に示す。TDMA 制御とビーム制御を同時に実現するフレームフォーマット及び接続シーケンスによって、高効率通信と AP-端末間検知を両立している。

また、この装置では、ショートフレームによるオーバーヘッド及び制御情報によるプロトコルオーバーヘッドを削減するために、制御フレームとデータフレームに対して MSDU (MAC (Media Access Control) Service Data Unit) のアグリゲーション(多重)を適用している。制御フレームとデータフレームの多重によって、プリアンブルや MAC ヘッダーのオーバーヘッドを削減し、高効率化(合計 15,000 バイトのフレーム多重によって、伝送速度に対するシステム効率: 74%)を実証した。

6. 無線通信試験

開発した多ビームアンテナ、ミリ波モジュール及びアクセス制御装置を組み合わせた 60GHz 帯無線通信システム試験として、16ビーム切替え型 AP-複数端末間双方向通信実証実験を行った。この実証実験の試験系(AP 2 台対端末 4 台)の実験風景を図 9 に示す。この試験で、ミリ波 (60GHz 帯) を用いた双方向通信としては世界最高速レベルとなる 1 AP-1 端末間通信時の最大実効レート 739Mbps、及び、2 AP-4 端末間同時通信時の合計実効レート 583Mbps (1 端末当り 146Mbps) の実証に成功した。なお、今回の実証

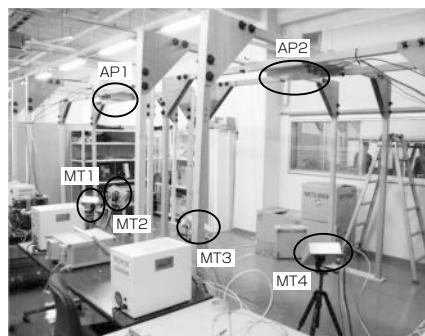


図 9. 双方向無線通信試験風景(2AP対4端末)

実験は、最大 2 AP 対最大 4 端末の形態で実施したが、開発された基盤技術は、さらに AP 及び端末の台数が増加した場合でも今回実証されたものと同等の大容量通信を可能とするものである。

7. むすび

AP 用多ビーム切替え型ミリ波アンテナ技術、端末用小型・低コストアンテナ技術及び広帯域通信・アクセス制御技術を開発し、これらの基盤技術を組み合わせることによって、世界最高速のミリ波帯双方向ブロードバンド通信システムを実現した。今回開発した技術は、今後、列車向けミリ波コンテンツ伝送などの地上-車間通信システム、又は、航空機等移動体向けの大容量データ伝送用無線システムへの展開が期待される。

なお、この開発は、総務省委託研究“ミリ波ブロードバンド通信システム用アンテナ技術の研究開発”(平成 17~21 年度)で実施したものである。

参考文献

- (1) 平 明德, ほか: 60GHz 帯ミリ波ブロードバンド通信システム用アンテナ技術の研究開発(1)-全体システム構成-, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-5-96 (2006)
- (2) 山口 聡, ほか: 60GHz 帯ミリ波ブロードバンド通信システム用ポスト壁導波管スロットアレーアンテナ, 電子情報通信学会総合大会, B-1-77 (2009)
- (3) 川上憲司, ほか: ブロードバンド通信システム用ミリ波モジュール, 電子情報通信学会総合大会, C-2-101 (2009)
- (4) 山内なお久, ほか: 60GHz 帯ミリ波ブロードバンド通信システム用アンテナ技術の研究開発(7)-ベースバンド回路の実装-, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-5-102 (2007)
- (5) 永井幸政, ほか: 60GHz 帯ミリ波ブロードバンド通信システム用アンテナ技術の研究開発(9)-MAC フレーム構成に関する検討-, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-5-104 (2007)