

航空機搭載ミリ波帯高速移動体通信システム

檜枝護重* 宮崎守泰†
 辻 宏之** 荒巻洋二***
 松川康一***

Broadband Radio Communication System for Aircraft Using Millimeter-wave Band

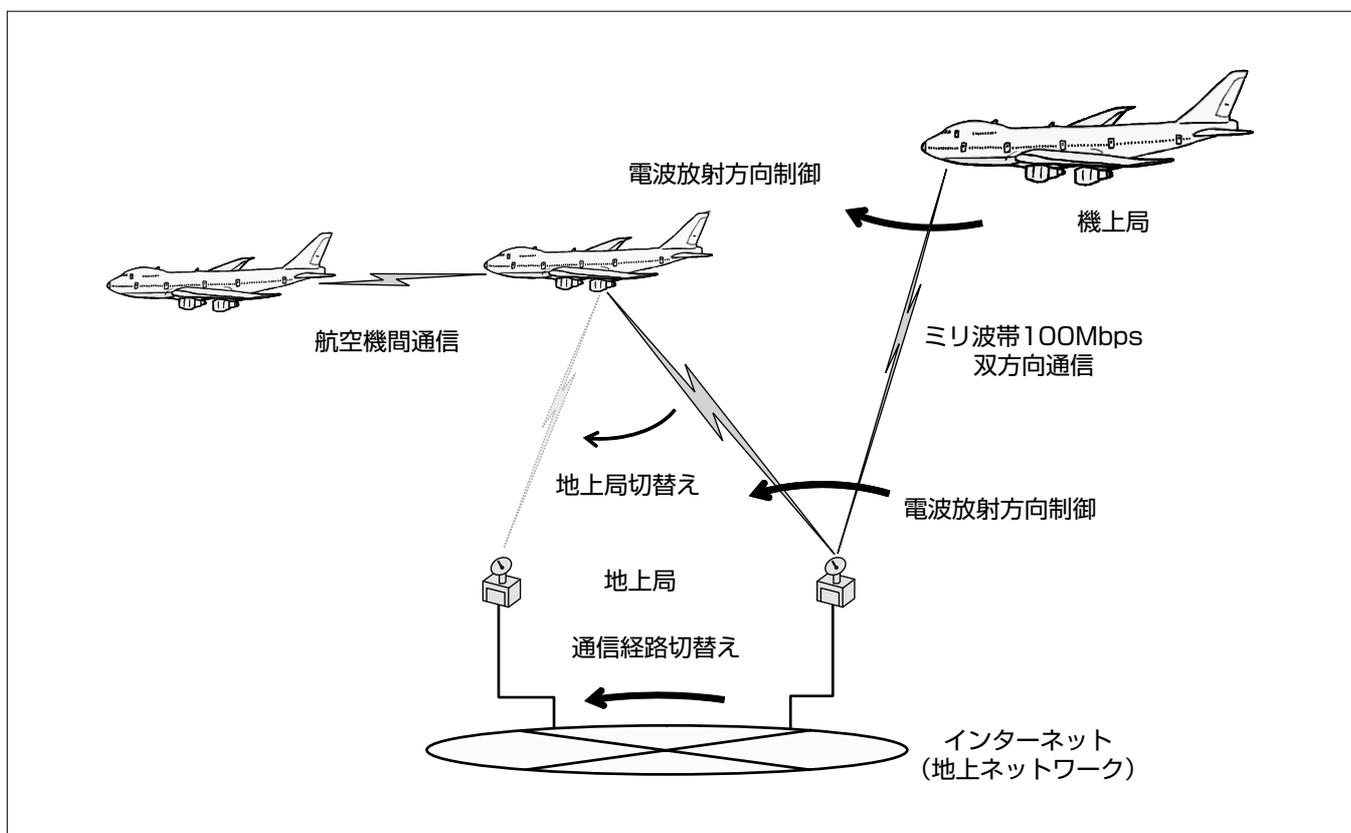
Morishige Hieda, Hiroyuki Tsuji, Kouichi Matsukawa, Moriyasu Miyazaki, Yoji Aramaki

要 旨

近年の高速インターネット環境の普及に伴い、航空機内でも動画や音楽などの高速インターネット通信が可能な無線通信システムの実現が求められている。大容量の通信を実現するには、マイクロ波帯よりも周波数が高いミリ波帯の適用が有効である。しかし、航空機などの高速移動体の無線通信にミリ波帯を適用するためには、長距離のミリ波帯通信を実現するアンテナの高性能化、移動体に搭載するための装置の小型・軽量化、航空機の姿勢に追従して電波の放射方向を高速に制御するアンテナ制御技術、ミリ波帯

を用いた移動体通信に適したネットワーク技術が必要である。そこで、この研究開発では情報通信研究機構及び三菱電機が共同してこれらの技術を開発し、40GHz帯を用いて100Mbpsの伝送が可能な航空機用大容量無線通信システムを開発した。

その結果、このシステムを用いて高度8,000mを飛行する航空機と地上との間で100Mbpsの双方向通信に成功した。



ミリ波帯高速移動体通信システムの運用イメージ

この研究開発では地上の基地局と航空機間の通信にミリ波帯を適用した。一般にミリ波帯ではアンテナの小型化が可能であり、広い無線周波数帯域を利用した大容量通信が実現可能であるという利点があるが、一方ではマイクロ波帯に比較して伝搬損失が大きいため長距離の無線通信には向いていないとされていた。この研究開発では、ミリ波帯を長距離の無線通信に利用可能とするために、長距離の無線伝搬を可能とする高性能アンテナと、航空機の移動に追従して電波放射方向を制御するシステム及び地上局切替え時のハンドオーバー技術を開発した。

1. ま え が き

航空機内でインターネット通信を実現するシステムとして、航空機と地上とをマイクロ波帯(12/14GHz帯)を用いた静止衛星回線で接続したシステムが実用化され、電子メールなどで利用されている。しかし近年の高速インターネット環境の普及に伴い、航空機内でも動画や音楽などの高速インターネット通信が可能な無線通信システムの実現が求められている。そこでこの研究開発では、マイクロ波帯よりも更に大容量の通信が実現可能なミリ波帯を用い、航空機などの高速移動体向けインターネット通信環境を実現する無線通信システムを開発した。航空機などの高速移動体の無線通信にミリ波帯を適用するためには、長距離のミリ波帯通信を実現するアンテナの高性能化、移動体に搭載するための装置の小型・軽量化、航空機の姿勢・位置に追従して電波の放射方向を高速に制御するアンテナ制御技術、ミリ波帯を用いた移動体通信に適したネットワーク技術が必要である。そこで、この研究開発では情報通信研究機構及び三菱電機が共同でこれらの技術を開発し、40GHz帯を用いて100Mbpsの伝送が可能な航空機用大容量無線通信システムを開発した。

2. 機上局装置(三菱電機担当)

機上局では、航空機の姿勢及び地上局との相対位置に応じて電波の放射方向を制御する必要がある。さらに、航空機に搭載するためには、小型・軽量化が求められる。そのために、以下の技術を開発した。

2.1 MMICチップセット及びミリ波モジュール

各素子アンテナに接続されるミリ波回路は、送信はミキサ、移相器、ドライバンプ、高出力増幅器、受信は、低雑音増幅器、移相器、ミキサで構成される。これらの回路を機能ごとに一体化したMMIC(Monolithic Microwave Integrated Circuits)チップセットを開発した⁽¹⁾。MMICは高速動作と高出力動作に優れたGaAsを採用した。特にミキサは、4次高調波型にし、局部発振波の周波数を高周波信号の1/4にすることによって位相雑音の低減を容易にした。さらに所望信号近傍に出力される不要波を抑圧する構成にすることによって、フィルタの段数削減を図っている。開発したMMICチップセットを低損失なLTCC(Low Temperature Co-fired Ceramics)パッケージに実装したミリ波モジュールとした。図1にミリ波モジュールの構成を示す。4素子アンテナごとにモジュール化し、モジュールの内部のミキサで周波数変換することによって、アンテナ側以外の信号周波数を低くして接続線路の損失低減を図っている⁽²⁾。

2.2 導波管分配器, アンテナ放射素子の樹脂一体形成

ミリ波モジュールと素子アンテナ間には、合成・分配回

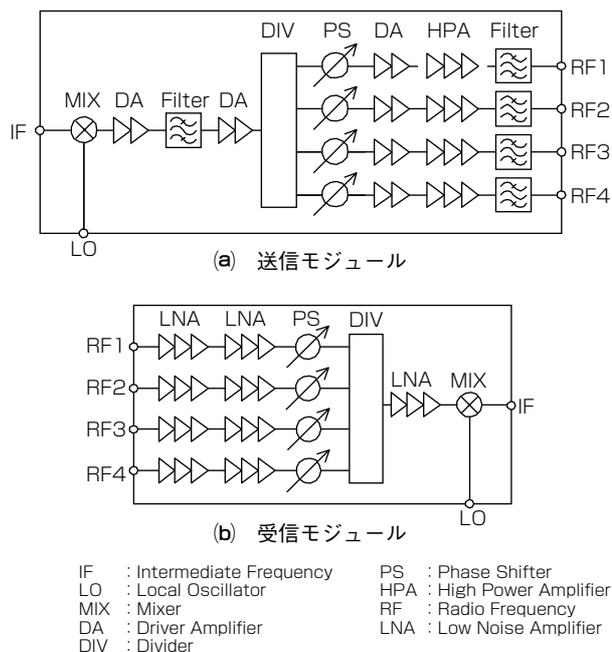


図1. ミリ波モジュールの構成

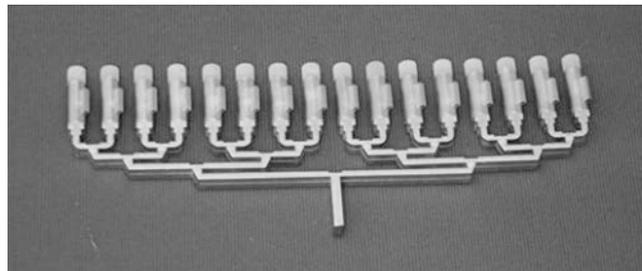


図2. 樹脂導波管で一体形成した分配/合成回路・素子アンテナ(16素子分)

路が必要になる。従来は金属導波管で構成していたが、金属の微細加工が必要であること、導波管とミリ波モジュール及び素子アンテナとの接続が必要であることから、加工が容易ではなく、さらに重くなる課題があった。今回、射出成型した樹脂導波管を用いて一体形成することによって、量産しても加工ばらつきが小さく軽量の回路を開発した⁽³⁾。図2に樹脂導波管で一体形成した分配/合成回路と素子アンテナを一体化し、ミリ波モジュールと接続するだけでアンテナを構成することが可能である。

2.3 機上局アンテナ

航空機の姿勢及び地上局との相対位置に応じて電波の放射方向を制御するために、航空機の姿勢の変化が比較的遅い進行方向に対しては機械的制御を行い、姿勢の変化が比較的速い左右方向に対しては電波の放射方向をAPAA(Active Phased Array Antenna)で電子制御する技術を開発した。この構成は、機械的制御のみの場合に比べて制御速度が高速になる(左右方向)、電子制御のみの場合に比べてミリ波回路部の数が削減できるために小型・軽量が図れる利点がある。図3に機上局アンテナを示す。アンテナは、



図3. 機上局アンテナの外観
(左：送信，右：受信 電波の放射方向は上方向)

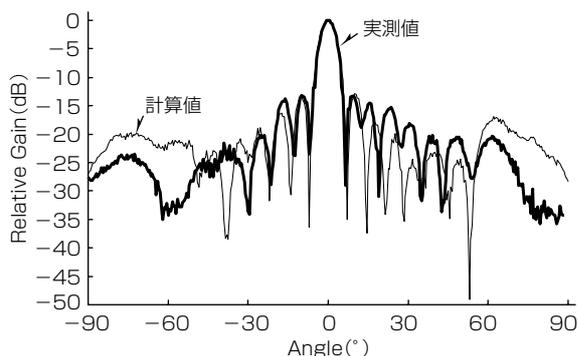


図4. 受信アンテナ放射特性(ビーム正面時周波数：46.9GHz)

送信と受信が分かれた各々16×16素子の一次元APAAである⁽⁴⁾。機械的制御，電子制御ともに電波の放射方向を±45度変化させることが可能である。図4に正面方向に電波の放射方向を向けた場合の受信アンテナの放射特性を示す。実測値と計算値とがほぼ一致した特性が得られた。

表1に開発したこれらの技術を組み合わせて構成した機上局の主要特性を示す。

3. 地上局装置(情報通信研究機構担当)

地上局は，航空機の飛行位置に合わせた電波の放射方向制御が必要である。従来は，パラボラアンテナなどを航空機の位置に合わせて向きを制御していた。そのため可動部分が大きく装置が大型化すること，航空機からの電波の到来方向がアンテナを動かさないと正確に把握できない課題があった。今回，地上局に固定されたレンズアンテナの前面に設けた小型軽量の反射板の向きを制御することで，地上から航空機へ電波の放射方向を制御する技術を開発した。さらに，アンテナの向きを変えなくても電波の到来方向が分かるモノパルストラッキング方式を採用した。これによって，アンテナ本体の向きを制御する従来の方法に比較して可動部分が軽量化でき，地上局の小型化を実現した。また，モノパルストラッキング方式の採用によって，機上局からの電波を高精度に自動捕捉(ほそく)することが可能である。表2に地上局の主要特性を示す。

表1. 機上局の主要特性

項目	評価結果
送信周波数	43.65GHz±150MHz
受信周波数	46.85GHz±150MHz
偏波	送信：左旋円偏波 受信：右旋円偏波
EIRP(Equivalent Isotropically Radiated Power) ^(注1) (-48°～+48°)	26.6dBW
G/T(-48°～+48°)	-7.5dB/K

G/T：Gain to noise Temperature ratio

(注1) EIRPは送信アンテナの絶対利得とアンテナ入力電力の積であり，実効等方輻射電力とも呼ばれる。

表2. 地上局の主要特性

項目	評価結果
送信周波数	46.85GHz±150MHz
受信周波数	43.65GHz±150MHz
偏波	送信：右旋円偏波 受信：左旋円偏波
EIRP	20.7dBW
G/T	-6.8dB/K以上

4. ミリ波帯移動体通信用高速移動ネットワーク技術 (三菱電機担当)

このシステムでは，航空機の移動に応じて接続する地上局を切り替えるハンドオーバーが必要である。また，航空機の移動に伴い地上局との距離が変わり電波の強度が変化するために，適切な伝送帯域の制御が必要である。そのため，ハンドオーバー制御とミリ波帯無線回線の伝送可能帯域を伝搬距離に応じて変更する無線回線制御とを連携して，IP(Internet Protocol)通信を継続させる高速移動ネットワーク技術を開発した。また，このシステムでは，海上を飛行中などの理由で航空機が地上局と直接通信できない場合に，地上局と通信中の別の航空機が通信を中継することを想定している。このようなときに適用するネットワーク技術の一部として，複数の航空機がミリ波帯無線回線によって相互に接続し，間接的に地上局と通信するためのアドホックネットワーク経路制御技術を開発した⁽⁵⁾。

5. システム試験(情報通信研究機構担当)

開発した機上局を航空機に搭載して地上局との通信試験を実施した⁽⁶⁾。図5に機上局アンテナの航空機搭載の状態を示す。機上局アンテナは，事前に設定した地上局位置とジャイロセンサで得られる航空機の姿勢からアンテナの放射方向を制御するプログラム追尾で試験を行った。試験は，地上局からパケットを送信し，機上局でそのまま地上に送り返すことによって，アップリンク・ダウンリンクの通信速度を測定した。その結果，高度8,000mを飛行中の航空機と地上局間で100Mbpsの双方向通信が行えることを確認した。また低飛行高度で通信させることによって，機上



図5. 機上局アンテナの航空機機体底部への設置状態

局，地上局ともに航空機の移動によるアンテナ放射方向の変化が速い場合でも安定して追尾可能なことを確認した。さらに，地上局をインターネットに接続し，航空機に搭載した端末から，Webでのアクセス，メールの送受信などのデモンストレーションを行い，実用上問題ない通信速度，通信の安定度であることを実証した。

6. むすび

航空機などの高速移動体通信の大容量化のために，ミリ波帯を用いた無線通信システムを開発した。開発したシステムを用いて実証実験を行った結果，高度8,000mを飛行する航空機と地上との間で実際に100Mbpsの双方向通信

に成功し，このシステムの有効性を確認した。

なお，このシステムは，総務省委託研究“ミリ波帯高速移動体通信システム技術の研究開発”（平成17～21年度）で開発した。

参考文献

- (1) 半谷政毅，ほか：ミリ波高速移動体通信用チップセット，2009年電子情報通信学会ソサイエティ大会，CI-1-8（2009）
- (2) 湯川秀憲，ほか：高速移動体通信システム用ミリ波モジュール，2009年電子情報通信学会総合大会，C-2-102（2009）
- (3) 荒巻洋二，ほか：樹脂射出成形を用いた樹脂導波管ホーンアレイアンテナ，2008年電子情報通信学会総合大会，B-1-70（2008）
- (4) 荒巻洋二，ほか：樹脂導波管ホーンアレイアンテナを用いたAPAA，2009年電子情報通信学会ソサイエティ大会，B-1-155（2009）
- (5) 松川康一，ほか：高速移動体通信システム技術の研究開発－高速移動アドホックネットワークにおける経路制御－，2010年電子情報通信学会総合大会，B-7-18（2010）
- (6) 鈴木幹雄，ほか：航空機用ブロードバンド通信システムの研究開発－全体計画と実証実験概要－，電子情報通信学会技術研究報告，109，No.426，57～61（2010）