

衛星通信用航空機搭載 超薄型アンテナ技術

山本勝之*
Katsuyuki Yamamoto
高橋智宏*
Tomohiro Takahashi
原田良尚*
Yoshihisa Harada

中本成洋†
Narihiro Nakamoto

Extra-thin Satellite Communication Antenna Technology for Aircraft

要旨

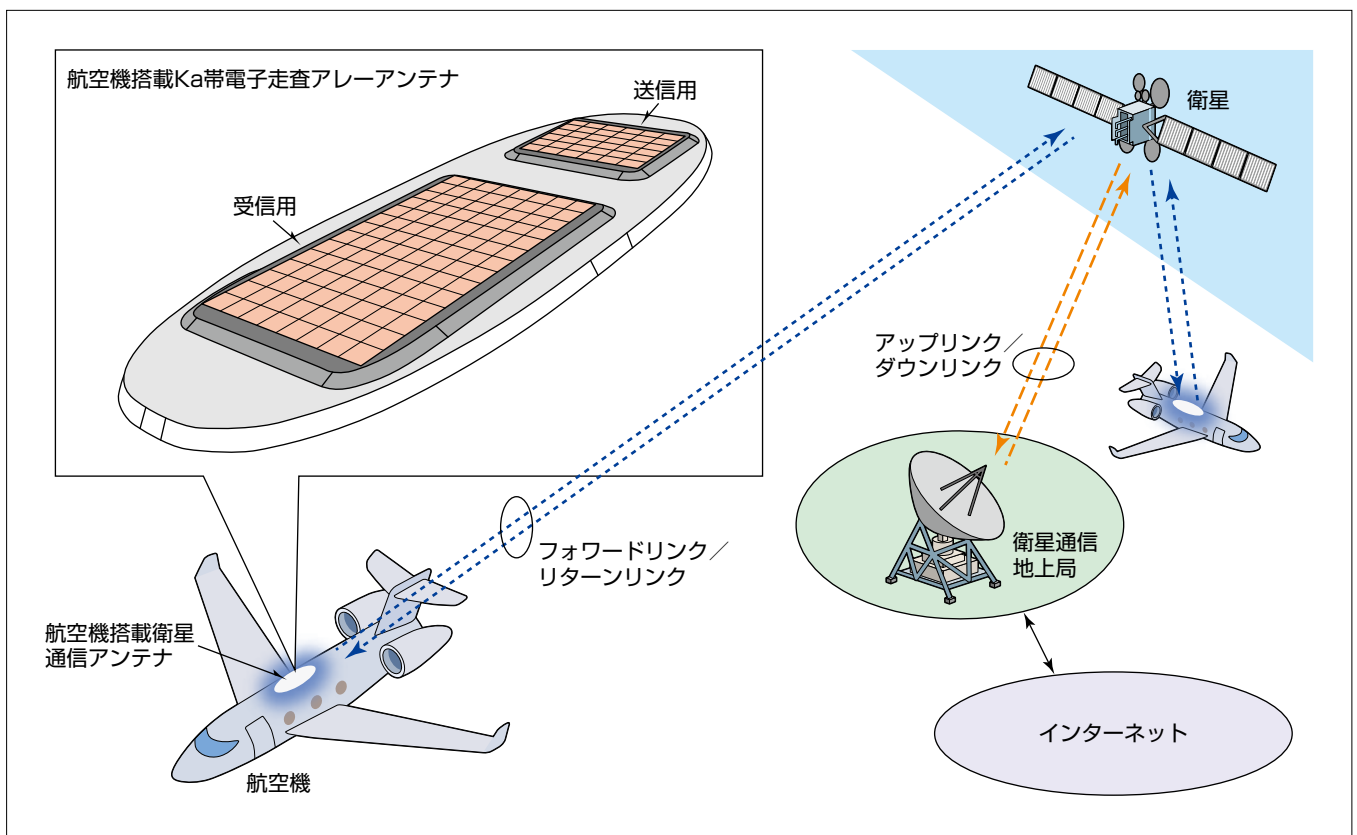
情報通信は、あらゆる社会活動の基盤として、いつでも、どこでも格差なく利用できることが求められており、人工衛星を介してどこでも接続できる衛星通信が注目されている。一方、航空機でも地上と同様な高速インターネット接続が期待されている。

三菱電機は、これまで培ってきた衛星通信技術を基に、航空機用Ka帯ブロードバンドサービスの実現に取り組んでいる。衛星通信アンテナの高性能化には一般的にはアンテナ開口面積を大きくする必要があるが、従来の機械駆動型アンテナではアンテナ及びレドームが大型化するため、小・中型航空機への搭載は困難になっている。

当社は、この課題を解決できる新しい薄型アンテナとして航空機搭載Ka帯電子走査アレーアンテナの開発を推進し、

2017年度から参画している総務省の政府研究開発プロジェクト(国プロ)“小型旅客機等に搭載可能な電子走査アレーアンテナ(AESA)による周波数狭帯域化技術の研究開発”で、Ka帯電子走査アレーアンテナの部分試作・評価を行っている。

開発した電子走査アレーアンテナは3 cm以下の世界最薄クラスを実現しており、航空機の燃費削減に寄与できる。また大型機から小型機まで機体サイズに左右されず搭載可能であり、電波の放射角度を広く制御することによって高緯度地域にも対応している。この技術を活用することによって、世界中の航空路で、オンデマンド動画再生など高速インターネットサービスの実現を目指す。



航空機搭載Ka帯電子走査アレーアンテナのイメージ

当社が開発する航空機搭載Ka帯電子走査アレーアンテナは低プロファイル性とスケーラビリティ性を兼ね備えており、航空機の燃費削減に寄与できることに加えて、大型機から小型機まで機体サイズに左右されず搭載が可能である。さらに電波の放射角度を広く制御できる広パレージ性能を持つことから高緯度地域にも対応しており、世界中の航空路で運用が可能である。

1. ま え が き

近年、航空機向けブロードバンドサービスの需要が高まっており、従来のC帯、Ku帯と比較してより広帯域を利用可能なKa帯の周波数による衛星通信システムが期待されており、衛星通信アンテナの高性能化が求められている。衛星通信アンテナの高性能化には一般的にはアンテナ開口面積を大きくする必要はあるが、従来の機械駆動型アンテナではアンテナ及びレドームが大型化するため、小・中型航空機への搭載は困難になっている。

当社は、この課題を解決できる新しい薄型アンテナとして航空機搭載Ka帯電子走査アレーアンテナを開発している。

本稿では、航空機搭載Ka帯電子走査アレーアンテナの概要、技術、実用化に向けた取組みについて述べる。

2. 航空機搭載衛星通信アンテナの概要

2.1 従来の航空機搭載衛星通信アンテナの課題

航空機搭載衛星通信アンテナは常に衛星方向に正確に追尾する必要がある。航空機サービス向けに搭載されている衛星通信アンテナとして現在使用されているものは、ホーンアレー等の長方形の平面アンテナを機械駆動で衛星指向させるタイプとパラボラアンテナを機械駆動するタイプのアンテナが主流である。前者は主に、中大型の旅客機の胴体部分に搭載され、後者が、ビジネスジェット等の小型機体の尾翼に搭載される。

機械駆動によって衛星指向させるタイプのアンテナは、アンテナ開口部を物理的に回転させる構造であるため、回転掃引部を含めると高さが20~40cm必要であり、航空機

が受ける空力抵抗が大きくなる。機械駆動するタイプのアンテナは航空機搭載性の観点から拡大できるサイズに制約があり、高性能化のためにアンテナ開口面積を大きくするには限界がある。またビーム指向方向を機械的に変化させるため、ハンドオーバーによって、通信が遮断される時間が数秒から数十秒程度発生してしまう点も課題である。

2.2 電子走査アレーアンテナ

2.1節で述べた課題の解決策として、電子走査アレーアンテナがある。電子走査アレーアンテナは多数のアンテナ素子それぞれの振幅、位相を電子的に制御することによって高速かつ高精度なビーム制御が可能であり、衛星通信用途で重要になる偏波切替え、サイドローブ等にも適応できる。

表1に従来の機械駆動式アンテナと電子走査アレーアンテナの比較を示す。電子走査アレーアンテナの特長は、次のとおりである。

(1) 低プロファイル性

電子走査アレーアンテナは電子的にビーム制御できるため、機械駆動部分が不要となり、厚みを抑えた低プロファイル構成が可能である。そのため航空機搭載時で空力抵抗を小さくできるため、航空機の燃費削減が可能である。

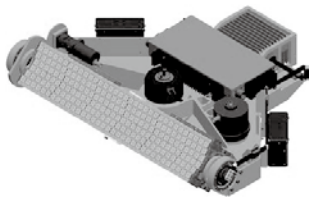
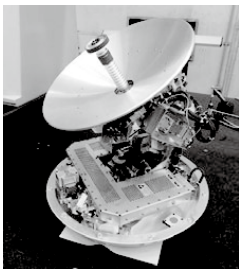
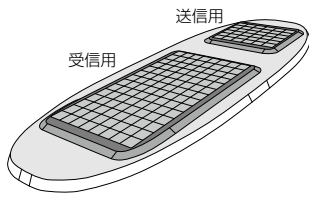
(2) スケーラビリティ性

電子走査アレーアンテナはアンテナ素子数を増減させることによってサイズと性能を調節できるため、大型機から小型機まで機体サイズに左右されず搭載が可能である。

(3) 高速ビーム制御性

電子走査アレーアンテナは電子的にビーム制御を行うため、ハンドオーバーによる通信の遮断時間を数ミリ秒以下にできる。特に非静止衛星を利用した運用を想定する場合には、衛星ハンドオーバーが数分ごとに発生するため、高速ビーム走査性を持つアンテナへの需要が高い。

表1. 航空機搭載衛星通信アンテナの比較

	平面アンテナ	パラボラアンテナ	電子走査アレーアンテナ
外観			
厚さ(アンテナ)	20cm程度	40cm程度	3cm程度
スケーラビリティ	なし	なし	あり
ビーム制御方式	機械駆動	機械駆動	電子制御
ビーム制御速度	低速(数秒~数十秒)	低速(数秒~数十秒)	高速(数ミリ秒)
搭載可能な機体	大型機	中型機, 小型機	大型機, 中型機, 小型機

3. 航空機搭載Ka帯電子走査アレーアンテナ

3.1 航空機搭載Ka帯電子走査アレーアンテナの概要

図1に航空機搭載Ka帯電子走査アレーアンテナの製品化をイメージしたモックアップを示す。航空機搭載Ka帯電子走査アレーアンテナは送信用と受信用にそれぞれ分割されている。送信用と受信用のいずれもサブパネルを複数枚組み合わせることによって構成される。この構成によって、搭載機体サイズや要求される通信性能に応じて、アンテナサイズと通信性能をスケラブルに変更できる。航空機搭載Ka帯電子走査アレーアンテナを航空機に搭載する際にはレドームで覆うことによって、防水・防塵(ぼうじん)性を担保する。

航空機搭載Ka帯電子走査アレーアンテナ(送信系)のブロック図を図2に示す。偏波切替えを実現するため、一つのアンテナ素子に対して2ポート給電を行い、それぞれのポートに接続される増幅器、移相器、可変増幅器を持たせている。これによって、アンテナ素子ポートごとの振幅、位相を制御することができるため、高速かつ、適的にビーム指向方向、偏波、サイドローブの制御が可能になる。

3.2 実用化に向けた技術課題と解決策

低プロファイル性、スケラビリティ性及び高速ビーム

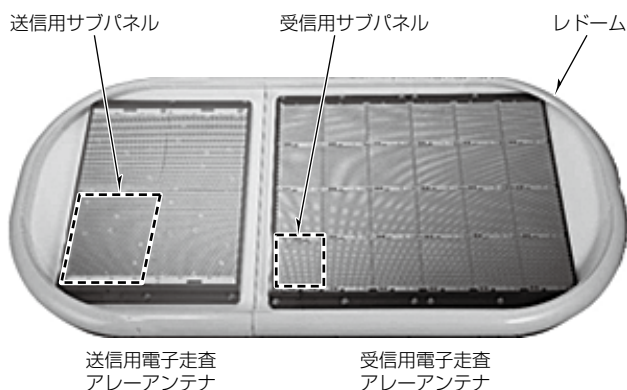


図1. 航空機搭載Ka帯電子走査アレーアンテナの製品モックアップ

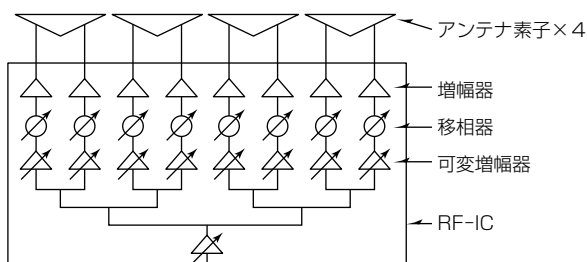


図2. 航空機搭載Ka帯電子走査アレーアンテナ(送信系)のブロック図

制御性を実現するためには、電子走査アレーアンテナのコアファンクションである、放射機能、増幅機能、位相制御機能を単一基板上に実装する必要がある。

しかし、Ka帯周波数に対応した高周波回路設計では、信号伝送損失が大きくなることに加えて、アンテナ素子間隔が数ミリ程度と非常に狭くなることから、基板上への回路実装の高密度化が問題になる。さらに電子走査アレーアンテナの特性として周波数帯域特性、広角ビーム制御時のアンテナ利得に課題がある。

そこで当社は、①RF-IC(Radio Frequency-Integrated Circuit)による増幅回路と位相制御回路の集積化、及び②キャビティ構造を用いた平面アンテナ技術を組み合わせることによってこの課題を解決した。図3に航空機搭載Ka帯電子走査アレーアンテナの概念図を示す。

当社の開発する航空機搭載Ka帯電子走査アレーアンテナは2.5GHzの広周波数帯域幅、アンテナ天頂方向から70度以上の広角ビーム制御を世界最薄クラスの厚み3cm以下で実現している。

3.2.1 RF-ICによる増幅回路、位相制御回路の集積化

電子走査アレーアンテナのアンテナ素子間隔は使用周波数の半波長に設定する必要がある。さらにスケラビリティ性を担保するためには、設定されたアンテナ素子間隔内に増幅機能、位相制御機能を実装し、かつアンテナ素子間隔を一定に保った状態でアンテナ素子数を拡張する必要がある。しかし、Ka帯周波数でのアンテナ素子間隔は数ミリ程度と非常に狭いため、アンテナ素子間隔内での増幅回路、位相制御回路の実装は困難である。

そこで当社は増幅回路、位相制御回路を集積化したRF-ICを利用することによって、数ミリ四方のアンテナ素子間隔内への実装を可能とした。RF-ICによる増幅回路、位相制御回路の集積化イメージを図4に示す。

送信用RF-IC及び受信用RF-ICの内部ブロック図を図5に示す。送信用RF-ICは、入力された1系統のKa帯信号を内部で8系統に分配し、各系統の信号を増幅及び位相制

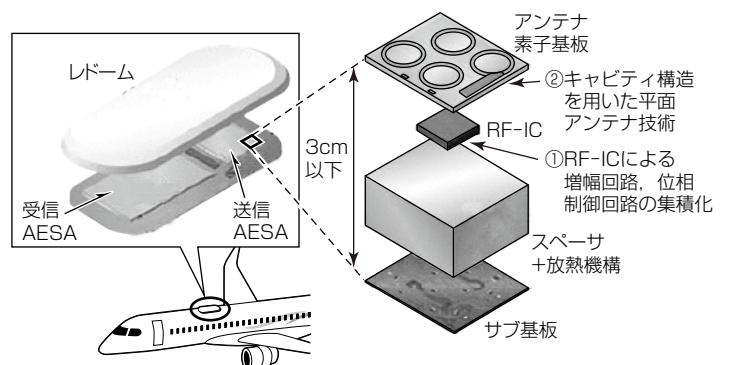


図3. 航空機搭載Ka帯電子走査アレーアンテナの概念図

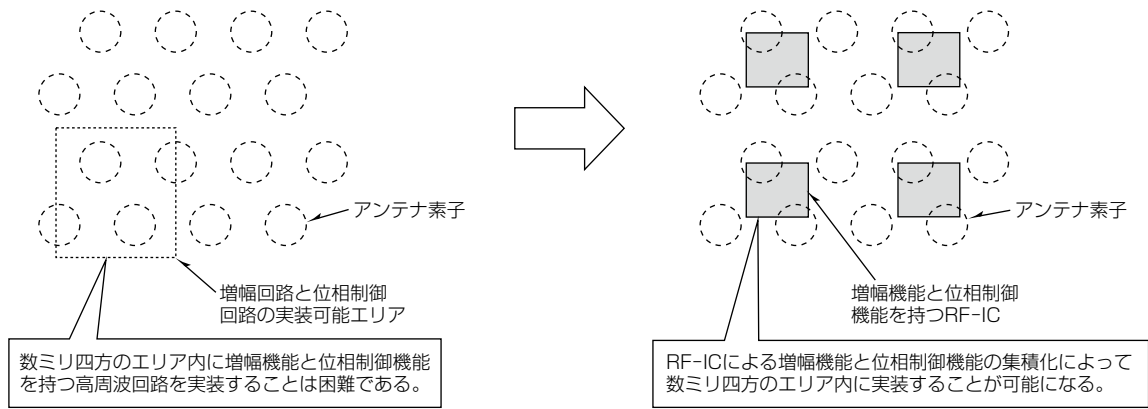


図4. RF-ICによる増幅回路と位相制御回路の集積化イメージ

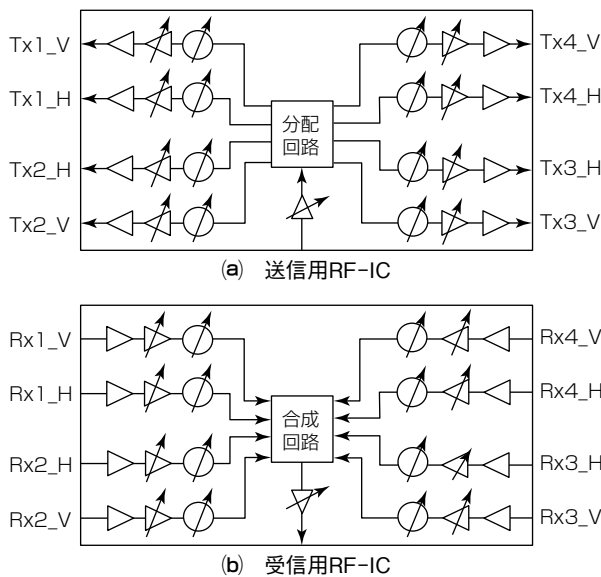


図5. RF-ICの内部ブロック図

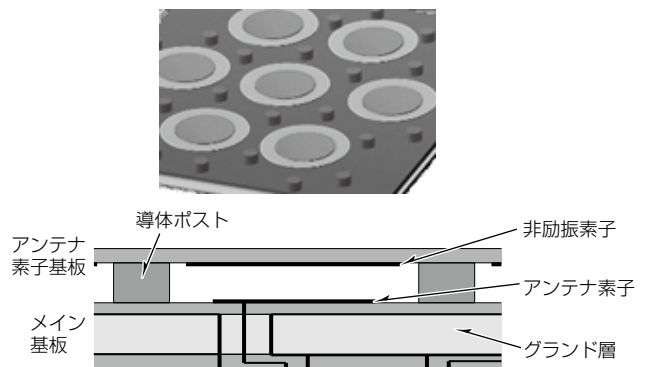


図6. キャビティ構造を用いた平面アンテナの断面構造

内部を中空にしている。この構成によって、非励振素子とアンテナ素子間の等価誘電率を下げる事が可能になり、結果として2.5GHzの広周波数帯域幅、アンテナ天頂方向から70度以上の広角ビーム制御を世界最薄クラスである厚み3cm以下で実現している。

御して送信波として出力する機能を持つ。また受信RF-ICは入力された8系統のKa帯信号を系統ごとに増幅及び位相制御することによって内部で1系統に合成する機能を持つ。送信用RF-IC及び受信RF-ICのいずれも、外部からのレジスタ設定によって各系統に対して個別に増幅率及び移相量を制御できる。

RF-ICを利用する利点はほかにもある。RF-ICは最先端の半導体プロセスを用いて製造されているため、優れた送信電力効率、受信雑音指数を得ることができ、通信性能の向上が期待できる。さらにRF-ICの厚みは0.5mm程度であるため、低プロファイル性でも有利になる。

3.2.2 キャビティ構造を用いた平面アンテナ技術⁽¹⁾

低プロファイル性を担保しつつ、広周波数帯域、広角ビーム制御特性を実現するためにキャビティ構造を用いた平面アンテナを開発した。図6にキャビティ構造を用いた平面アンテナの断面構造を示す。アンテナ素子の上部に非励振素子を配置し、導体で囲うことによって、キャビティ

4. 電波資源拡大のための研究開発⁽²⁾

当社は2017年度から総務省国プロ“小型旅客機等に搭載可能な電子走査アレイアンテナ(AESA)による周波数狭帯域化技術の研究開発”に参画している。図7に総務省国プロ

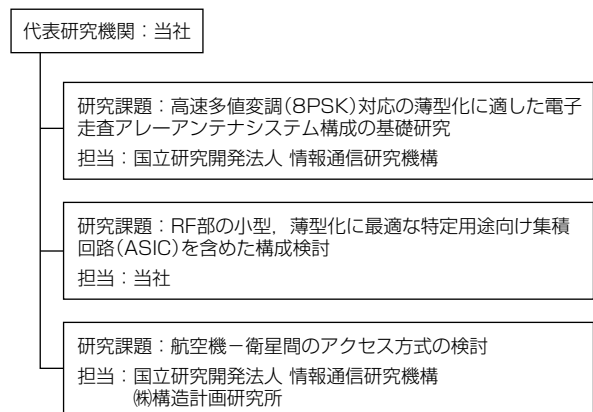
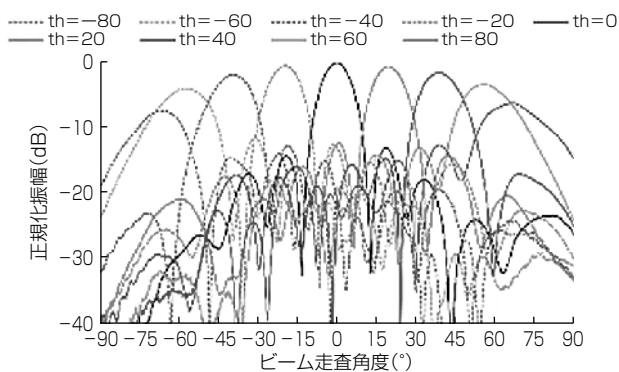


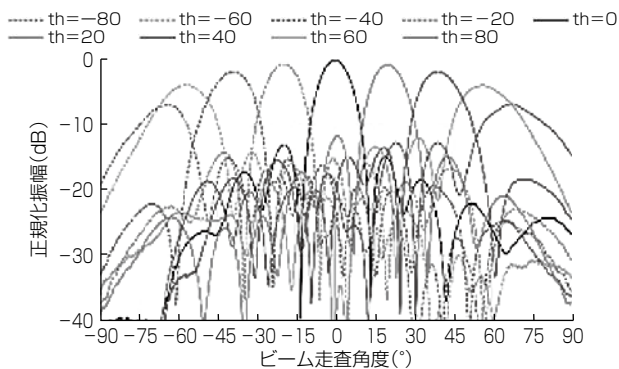
図7. 総務省国プロの研究開発体制



図8. 受信用電子走査アレーアンテナの試作品



(a) 19.70GHz, 左旋円偏波



(b) 19.70GHz, 右旋円偏波

図9. 受信用電子走査アレーアンテナ試作品の放射パターン

口の研究開発体制を示す。

2019年度までの成果として、航空機搭載Ka帯電子走査アレーアンテナの部分試作を実施しており、所望性能の実証を行っている。図8は受信用電子走査アレーアンテナの試作品である。図9に、受信用の試作品の放射パターンの評価結果を示す。ビームは $-80\sim+80$ 度まで20度ステップで指向方向を制御しており、制御情報に応じて右旋円偏波、左旋円偏波それぞれの偏波で、所望の方向にビームが制御できることを確認している。

5. 今後の取組み

周波数帯域幅や衛星スポットビーム数等、Ka帯はC帯、Ku帯と比較して通信速度向上が期待でき、機器の小型化にも有利である。航空機搭載Ka帯電子走査アレーアンテナは大型機から小型機まで機体サイズに左右されず搭載可能であり、かつ高カバレッジ性能を持つことから高緯度地域にも対応している。当社は引き続き、世界中の航空路で、オンデマンド動画再生など高速インターネットサービスの実現に貢献することを目指していく。

また衛星通信の将来動向として、多数の小型衛星を周回軌道に投入してコンステレーションとして運用する衛星通信サービスについて、多くの計画が発表されている。今後のサービス開始を見込み、地球局、特に、移動局の製品化を進める。また、海外での標準化・制度化状況や、既存無線局等との周波数共用検討を行い、新しい衛星通信を利用するための技術基準策定に貢献する。

6. むすび

当社が開発する航空機搭載Ka帯電子走査アレーアンテナは、大型機から小型機まで機体サイズに左右されず搭載可能である。実用化に向けた技術課題に対して、(1)RF-ICによる増幅回路、位相制御回路の集積化、及び(2)キャビティ構造を用いた平面アンテナ技術を組み合わせることによって解決を図り、2.5GHzの広周波数帯域幅、アンテナ天頂方向から70度以上の広角ビーム制御を世界最薄クラスである厚み3cm以下で実現した。

当社は引き続き、航空機搭載Ka帯電子走査アレーアンテナの市場投入を推進し、世界中の航空路での高速インターネットサービスの実現に貢献していく。

4章の実証結果には、当社と国立研究開発法人 情報通信研究機構が総務省の研究委託“小型旅客機等に搭載可能な電子走査アレーアンテナ(AESA)による周波数狭帯域化技術の研究開発”によって行った成果の一部が含まれる。

参考文献

- (1) Takahashi, T., et al.: Wide-Angle Beam Steering AESA with Three-Dimensional Stacked PCB for Ka-Band In-Flight Connectivity, 2019 IEEE International Symposium on Phased Array Systems and Technology (2019)
- (2) Okura, T., et al.: Active Electronically Scanned Array Antenna for Aircraft at Ka-bands, IEICE Technical Report, SAT2017-40, 1~4 (2017)