

総務大臣賞「電子制御式フェーズドアレイアンテナ搭載 小型・軽量LEO 衛星向けユーザー端末試作機」



シャープ株式会社
通信事業本部
次世代通信事業統轄部 第一開発部
係長

おかもと けんいち
岡本 建一



シャープ株式会社
通信事業本部
次世代通信事業統轄部 第二開発部
係長

あおの ひであき
青野 英明



■図1. LEO衛星向けユーザー端末

1. はじめに

当社が開発を行った電子制御式フェーズドアレイアンテナ搭載小型・軽量LEO衛星向けユーザー端末試作機は、CEATEC 2025において総務大臣賞を受賞した。本端末は、従来のLEO衛星通信向けユーザー端末と比較して大幅な小型・軽量化を達成するとともに、5G NTN (Non-Terrestrial Network) への対応を実現した点が高く評価されたものであり、将来の社会インフラを支える通信基盤技術として期待されている。

近年、非静止軌道衛星 (LEO:Low Earth Orbit/MEO:Medium Earth Orbit) を用いた通信ネットワークが世界的に拡大している。これは、主流であった静止軌道 (GEO:Geostationary Earth Orbit) 衛星と比べ、低軌道を周回する衛星が低遅延・高データレートの通信を実現できるためである。複数の事業者が数千機規模の衛星コンステレーション計画を推進しており、Starlinkに代表される次世代衛星通信サービスは市場を急速に拡大している。2030年ごろには複数の新規LEOコンステレーションが運用開始される見込みであり、同市場の成長は一層加速すると予測される。日本国内においては、都市部における地上ネットワー

クの人口カバー率は高いものの、山間部・海上など地上インフラが未整備な領域が依然として存在し、国土カバー率は約60%にとどまるとされている。さらに、大規模災害の発生時には地上通信インフラが断絶するリスクが高く、レジリエンス強化の観点からも衛星通信の重要性は増している。

一方、LEO衛星通信に対応したユーザー端末の開発には高度な技術が要求される。Ku/Ka帯 (10~30GHz) における1,000素子級フェーズドアレイアンテナの設計・実装は極めて高度なRF技術と製造技術を要する上、これらを評価可能な大規模電波暗室・計測設備を保有する企業は限られている。また、高度600~1,200kmを時速約27,000kmで移動する非静止衛星を追尾するためには、高速ビーム切替や高精度姿勢制御が必要となる。さらに、船舶・自動車など移動体搭載環境では、端末自身の動きを補償した追尾が求められ、技術難易度は一層高まる。

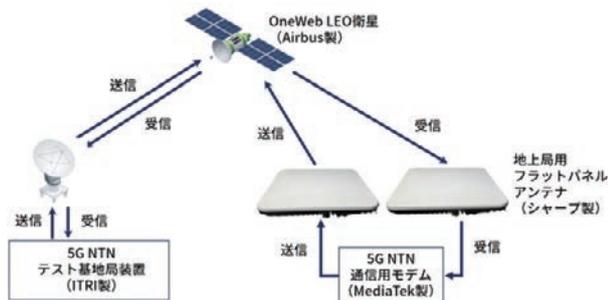
当社は、Androidスマートフォンにおいて2017年~2024年に国内シェア8年連続No.1 (株式会社MM総研「(暦年)国内携帯電話端末出荷台数調査」) を獲得するなど、長年にわたりセルラー通信機器分野で高い技術力を蓄積してきた。これらの通信・無線技術、デバイス設計技術を基盤として、当社は社会課題の解決と次世代通信インフラの実現を目的に、電子制御式フェーズドアレイアンテナを搭載したLEO衛星向けユーザー端末の研究開発及び事業化を進めている。

2. 5G NTN実証実験

当社は、欧州宇宙機関 (ESA)、MediaTek Inc. (MediaTek)、Eutelsat、Airbus Defence and Space (Airbus)、工業技術研究院 (ITRI)、Rohde&Schwarz (R&S) と共同で、低軌道衛星LEOを用いた、3GPP (3rd Generation Partnership Project) 次世代通信規格Rel-19 NR-NTN仕様に準拠した世界初の5G-Advanced NR-NTN接続の実証実験に成



■ 図2. 5G NTN実証実験の様子



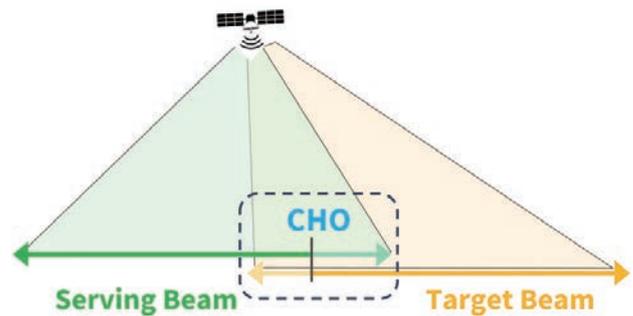
■ 図3. 5G NTN通信の接続実証実験イメージ図

功^{*1}した。

本実証では、ユーザー端末と衛星間をKu帯50MHz帯域幅、衛星と地上局間をKa帯で接続し、地上から上空約1,200kmを高速で移動するLEO衛星との安定した接続を実現した。

高速移動に伴うドップラーシフト補正や高精度な衛星の追尾といったNTN特有の課題に対し、MediaTekとITRIによる補正技術と、当社が開発した高精度な高速切替ビームフォーミング技術を組み合わせることで通信品質を確保した。これにより、当社が掲げる『つながる安心を、どこへでも』というビジョンを、当社のユーザー端末を用いて実証した。

また本試験は、当社製ユーザー端末が安定してLEO衛星を追尾できることを証明するとともに、5G NTNの様々な分野への展開可能性を大きく広げる成果となった。さらに、Conditional Handover (CHO) により、ビーム間でのシームレス切替をLEO衛星で実証した。CHOは3GPP Rel-16以降で導入された次世代ハンドオーバー方式であり、端末が複数のターゲットセル（衛星・ビーム）を事前に取得し、条件成立時に、即座にハンドオーバーを実行することで、従来方式に比べ切替遅延や通信断リスクを大幅に低減できる



■ 図4. CHOのイメージ図

ものである。

実証実験は各国のメンバーが技術を持ち寄り、一回当たり数分という限られた時間で試験を行う形式で実施された。試験に使用できる衛星の数は一日の中で限られており、システムのいずれか1つでも機能しなければ試験は成立しない。そのため、トラブルが発生した際には、各社が次の衛星到来までに修正を行うという緊張感のある取組みとなった。このような厳しい条件下においても、当社製端末が安定して動作したことが今回の成功に大きく寄与した。当社は今後も各国の技術者と連携し、得られた知見を端末開発へ反映することで、衛星通信の品質向上に貢献していく。

3. NICT「Beyond 5G基金事業」採択プロジェクト

当社のプロジェクトは、国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT）が実施する「革新的情報通信技術（Beyond 5G（6G））基金事業」の「社会実装・海外展開志向型戦略的プログラム【事業戦略支援型】」において、2023年10月31日に採択された。同プログラムは、社会実装や海外展開に向けた戦略とコミットメントを持つ研究開発プロジェクトを重点的に支援するものである。本採択を受けて、当社はLEO/MEO衛星通信向け地上局用フラットパネルアンテナの開発に取り組んでいる。（JPJ012368G50501）

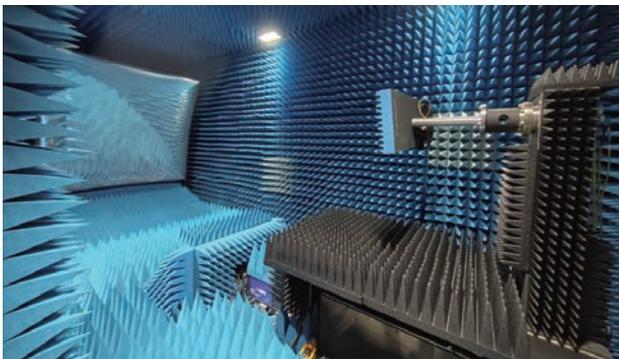
4. アンテナ開発

当社が開発したユーザー端末は、1,024素子をカスタムBFIC（Beam Forming IC）により位相・振幅制御することで、高速ビーム制御を実現する。多IC構成に伴う発熱対

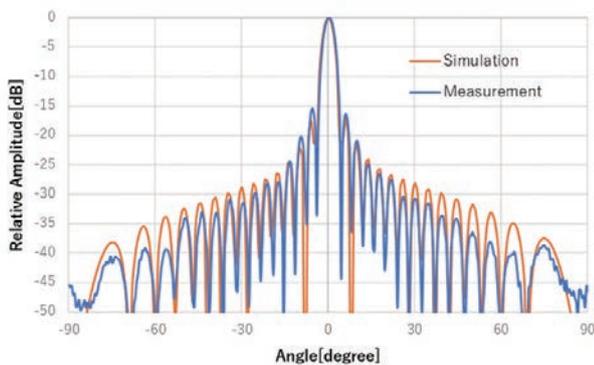
*1 ESA、MediaTek、Eutelsat、Airbus、シャープ、ITRI、R&Sが、OneWeb低軌道衛星を用いたRel-19 5G-Advanced NR-NTN接続の実証に世界で初めて成功 | ニュースリリース
<https://corporate.jp.sharp/news/251105-b.html>

策としては、背面に金属フィンを配置した放熱構造を採用し、ファンレス化を達成した。さらに、Half-Duplexで送受素子を共通化し、小型化と広角スキャン性能を両立している。

これらの開発を支えているのが、当社がNICTの助成を受けて保有する、日本最大級のCATR (Compact Antenna Test Range) チャンバーである。CATRチャンバーにより、省スペースで遠方界を高精度評価し、シミュレーションと実測の整合を図りながらアンテナの最適化を進めている。



■ 図5. 日本最大級の電波暗室*2



■ 図6. シミュレーションと実測のパターン比較

さらに、移動体向けアンテナでは、衛星を正確に追尾するための制御ソフトウェアが極めて重要となる。ここからは移動体（航空機、自動車、船舶など）へ搭載するLEO衛星向けの電子制御式フェーズドアレイアンテナのACU (Antenna Control Unit) ソフトウェアの要点を説明する。

ACUでは主に衛星軌道の計算、アンテナの姿勢推定及

びBFICの制御によるビームの設定の処理を行っている。

LEO衛星は常に動いており、ある時間におけるその位置はTLE (Two-Line Element) などから計算することができる。また、移動体に搭載したアンテナもその位置と姿勢（向きや傾き）が常に変化しており、アンテナに搭載している各種センサーからそれらを推定することができる。両者の演算結果から、ある時点でのアンテナから衛星へのビーム方向を計算することができ、得られた方向にビームを向けるようBFICを制御する。

これらの計算や制御を数msecから数十msecといった短い周期で繰り返し行うことでビームを常に衛星の方向に向け続けることができ、衛星との通信を途切れることなく継続して行うことができる。これを実現するために複数のMPU (Microprocessor Unit) やMCU (Microcontroller Unit) を使い分けて組み込み、そのソフトウェアを以下に重点を置いて開発している。

- 高精度な姿勢推定アルゴリズム：アンテナには各種センサーやコンパスを内蔵しており、それらを用いてアンテナの姿勢を精度よく推定することが重要になる。多様なモビリティ領域のパートナー企業様のご協力の下、継続的な実験と改善を積み重ねることで、精度の大幅な向上を達成している。
- 高速・リアルタイム処理の実現：衛星軌道計算・ビーム方向計算・BFIC制御を繰り返し実行するため、MPUやMCUにて演算とデバイス制御などを適切に使い分けて処理負荷を分散しリアルタイム性を確保している。
- 時刻同期と処理の厳密性：衛星もアンテナも常に動いているため、演算で得られたビーム方向へ正確な時刻に向けなければならない。このため各種計算やBFIC制御をGPS時刻と同期して行うなどのタイミング制御を重視している。
- デバイスの効率的制御：多数のBFICを短時間で制御するための手法の検討を重ね、制御時間の大幅短縮を達成している。

これらの観点で実証実験や各種移動体で検証を繰り返し行い、データ解析を通じてソフトウェアを改善し、新しいセンサーやアルゴリズムの導入を積極的に検討し、性能向上を図っている。

*2 LEO/MEO衛星通信アンテナの性能測定が可能な電波暗室を新設 | ニュースリリース
<https://corporate.jp.sharp/news/240911-a.html>



■ 図7. 船舶へ搭載した実証実験の様子*3



■ 図8. 車へ搭載した実証実験の様子

5. 5G NTNの標準化

これまで衛星通信は事業者ごとに独自方式を採用してきたが、現在、3GPP準拠の方式に統一する流れが進んでいる。例えば、EUが公開したIRIS²の説明資料には、『3GPPドメインで定義された5G NTN標準の実装をサポートする (Support implementation of 5G NTN standards defined in 3GPP domain)』と明記されており、IRIS²が3GPP準拠の5G NTNを前提とした設計を志向していることが分かる。標準化が進むことにより、これまでスマートフォン開発で培われた技術をNTNへ転用することや、TNとのシームレスな接続が可能になるという大きなメリットが生まれる。

このような標準化の流れの中、当社は通信機器開発における豊富な経験と知見に基づき、5G関連特許を多数保有し、3GPPの標準化活動にも20年にわたり参画しており、多くの寄書を提出することで標準化に貢献してきた。

6. 超小型化に向けた取組みと今後の展望

現在、3GPPの標準化においてユーザー端末の超小型化の議論が進められている。当社は、通信事業者と連携し、超小型化の提案を行っており、仕様は2027年のRel-20で確定する予定である。これは、ユーザー端末単体では解決が難しい課題に対し、衛星通信事業者と協力しながらシステム全体の最適化を図るものであり、将来の衛星通信の可能性を広げる重要な取組みである。

また、軽量化については、現行品では製品背面に設けた放熱用の金属製フィンが重量の大半を占めている。このため、放熱性能と軽量化を両立する新たな部材の採用に向け、三菱ケミカル、NICT、TECHLABとの共同開発に合意*4しており、開発を加速している。

シャープは、これからも国内外の多くのひととのつながりを通じて、社会の未来を支える技術革新に取り組んでいく。



■ 図9. 超小型化のイメージ図

*3 古野電気とLEO（低軌道）／MEO（中軌道）衛星通信アンテナ開発における協業を開始 | ニュースリリース
<https://corporate.jp.sharp/news/240904-b.html>

*4 三菱ケミカル、NICT、TECHLABとモビリティ向け超小型軽量衛星通信ユーザー端末の共同開発に合意 | ニュースリリース
<https://corporate.jp.sharp/news/250730-a.html>