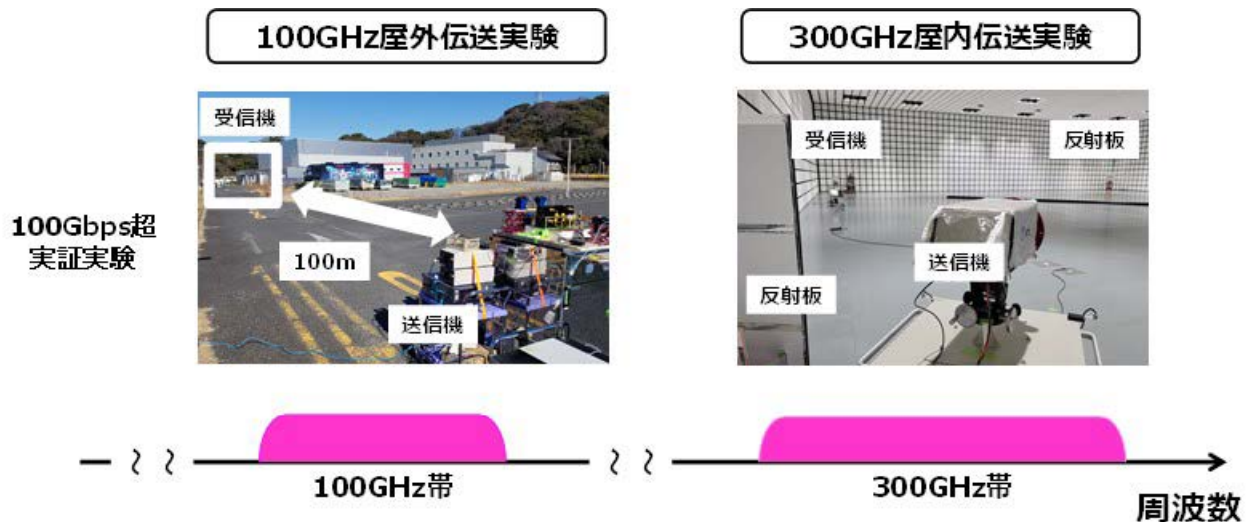


6G 移動通信に向け世界最高クラスのサブテラヘルツ帯無線デバイスを開発し、 100Gbps の超高速伝送を実現

株式会社 NTT ドコモ（以下、ドコモ）、日本電信電話株式会社（以下、NTT）、日本電気株式会社（以下、NEC）、富士通株式会社（以下、富士通）は、100GHz 帯および 300GHz 帯のサブテラヘルツ帯に対応した世界最高クラス^{※1}の無線デバイスを共同で開発し、100GHz 帯および 300GHz 帯において 100Gbps の超高速伝送を実現しました。

6G 時代のネットワークの活用として、メタバースや自動運転などさまざまなユースケースが考えられており、その増大する通信需要に応えるためには、広い帯域が利用可能なサブテラヘルツ帯（100GHz～300GHz の周波数帯）を活用した大容量の無線通信が期待されています。サブテラヘルツ帯は、現状の 5G で使用されているミリ波帯（28GHz 帯など）に比べ非常に高い周波数帯であるため、無線通信の基本要素である通信用ハードウェア（以下、無線デバイス）の開発から行う必要があります。このような新規の無線デバイスを開発するためには、移動通信システムへの応用を前提としたデバイスの要求性能の明確化や、要求性能をサブテラヘルツ帯で達成するための新規デバイス開発など多岐にわたる課題があります。

これらの課題に対応すべく、2021 年から 4 社は共同して 6G 時代の大容量無線通信の実現をめざしたサブテラヘルツ帯無線デバイスの研究開発（以下、本研究開発）を進め、このたび共同開発した無線デバイスを用いて 100GHz 帯、および 300GHz 帯において無線伝送実験を行い、見通し内^{※2}の伝送距離 100m において 100Gbps の超高速伝送を実証しました。これは、現在提供している 5G ネットワークの送信時最速 4.9Gbps^{※3}に対し約 20 倍の高速化に相当します。



100GHz・300GHz の伝送実証実験の様子

<本研究開発における各社の役割と具体的成果>

・ドコモ

100GHz 帯の移動通信適用における無線システム構成や要求性能の検討を行い、伝送速度 100Gbps 相当で 100m 無線伝送^{※1} が可能な無線システムを実現。

・NTT

300GHz 帯無線装置、および、そのキーデバイスである広帯域ミキサの研究開発を行い、300GHz 帯において従来実現されていない、チャンネルあたり伝送速度 100Gbps の 100m 無線伝送^{※1} が可能な無線装置を実現。

・NEC

100GHz 帯の移動通信環境を想定した無線通信システム構成技術の検討を行い、100 素子超から成る多素子アクティブフェーズドアレーアンテナ (Active Phased Array Antenna : APAA) ^{※1} を実現。

・富士通

100GHz 帯および 300GHz 帯の通信距離拡大および消費電力低減のため、高出力かつ高効率な信号増幅を可能とする化合物半導体技術の検討を行い、高出力アンプにおける世界最高の電力効率^{※4} を実現。

今後も、4 社は、サブテラヘルツ帯を移動通信で活用するために幅広い研究開発を行い、各社の強みを活かしたさまざまな取り組みを推進し、6G に向けた世界的な標準化や実用化に貢献していきます。

※ 本研究開発内容には、総務省からの委託を受けて実施した「電波資源拡大のための研究開発 (JPJ000254)」の成果の一部が含まれています。<<https://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/fees/purpose/kenkyu/>>

※1 世界最高クラスの無線デバイスは以下 3 点から想定。①100GHz 帯において、100Gbps の高速伝送と 100m の伝送距離を両立した発表報告はない (ドコモ調べ)。②300GHz 帯において、100Gbps の高速伝送と 100m の伝送距離を両立した発表はない (NTT 調べ)。③100GHz 帯で 100 素子以上の APAA により 50dBm の等価等方輻射電力 (Equivalent Isotropic Radiation Power : EIRP) とビームステアリング角 ±30 度程度の特性を両立した発表報告はない (NEC 調べ)。2024.3 時点各社調べ。

※2 無線通信において、送信機と受信機とが直線上に障害物なく対向配置された（即ち、送信機/受信機がお互いに見通せる関係で配置された）状態を指す。

※3 技術規格上の最大値であり、実際の通信速度を示すものではありません。ベストエフォート方式による提供となり、実際の通信速度は、通信環境やネットワークの混雑状況に応じて変化します。

※4 100GHz 帯および 300GHz 帯において、それぞれ特定の出力での世界最高効率となります。2024.3 時点富士通調べ。

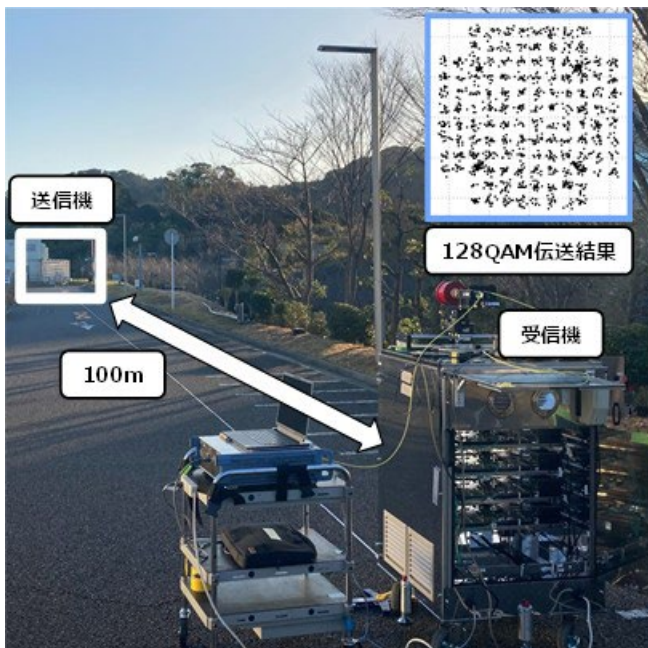
本件に関する報道機関からのお問い合わせ先	
株式会社 NTT ドコモ 6G ネットワークイノベーション部 無線デバイス技術担当 6gdevice@ml.nttdocomo.com	日本電信電話株式会社 先端技術総合研究所 広報担当 nttrd-pr@ml.ntt.com
日本電気株式会社 コーポレートコミュニケーション部 E-Mail: press@news.jp.nec.com	富士通株式会社 富士通コンタクトライン（総合窓口） お問い合わせフォーム https://contactline.jp.fujitsu.com/customform/csque04802/873532/

本研究開発概要

■各社の研究開発内容

・NTT ドコモ

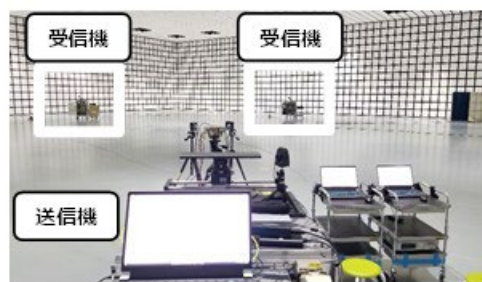
サブテラヘルツ帯の移動通信システム実現に向け、無線デバイスの構成・要求条件の明確化と、広帯域な信号伝送装置の検討を行いました。サブテラヘルツ帯の広い帯域を利用するためには、広帯域なベースバンド（BB）信号および中間周波（IF）信号を生成する必要があります。しかし、従来の BB 信号、IF 信号を取り扱う装置においては、信号帯域幅が数 GHz 程度の狭帯域信号しか送受信できないという課題がありました。そこで、複数の狭帯域信号を周波数軸上に多重するチャンネルボンディング装置を開発し、広帯域な信号を実現しました。開発したチャンネルボンディング装置を用いて、屋外環境にて 100GHz 超帯における伝送距離 100m 超、伝送速度 100Gbps 超相当の無線伝送に成功しました。さらに、チャンネルボンディング装置と、富士通が開発したアレーアンテナを用いた軸合わせ技術、NEC が開発した APAA とを組み合わせ、100GHz 超帯において電波の指向性制御が可能であることをも確認し、サブテラヘルツ帯の移動通信適用に向けた検討を大きく前進させることができました。



チャンネルボンディング装置を用いた屋外伝送実験



(富士通社共同)



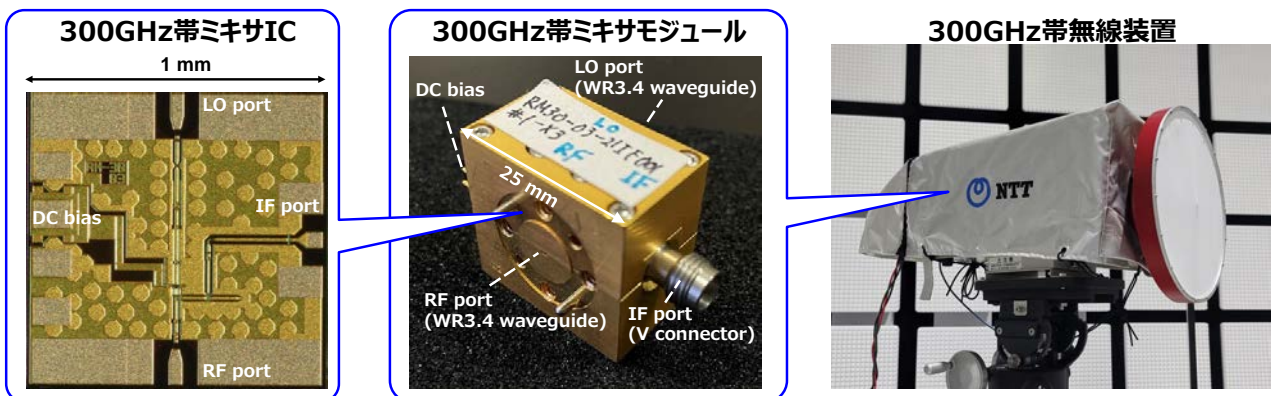
(NEC社共同)

電波の指向性制御実験

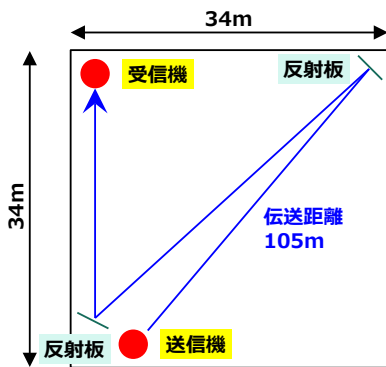
・NTT

高速トランジスタである InP-HEMT^{※5}を用いて 300GHz 帯の超高速データ伝送が可能な無線装置を実現しました。本無線装置においては、300GHz 帯にデータを載せるためのミキサ IC がデータ伝送速度を決定するキーデバイスとなります。そこで、ミキサ IC を広帯域な設計とすることで、検証実験にて 1 チャンルで 100Gbps が伝送できることを確認できました。また本ミキサ IC の広帯域性を活かすことにより、100Gbps 信号を 300GHz 帯における複数のチャンネルで伝送できることも確認しています [参考文献]。

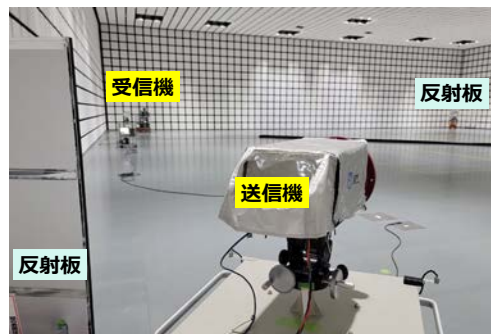
実現したミキサ IC をモジュール化し、NTT で製作した電力増幅器などと組み合わせて 300GHz 帯無線装置を構築しました。300GHz 帯無線装置を用いて無線伝送実験を行い、伝送距離 100m において 1 チャンル 100Gbps の高速伝送を達成しました。これらの伝送距離と伝送速度は 300GHz 帯における世界最高クラスのものであります。



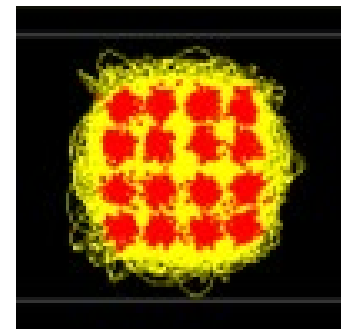
実現した 300GHz 帯の InP-HEMT 広帯域ミキサ IC、モジュールと無線装置



無線伝送系概要



無線伝送系の写真



100Gbps 伝送結果

※ 5 InP-HEMT:

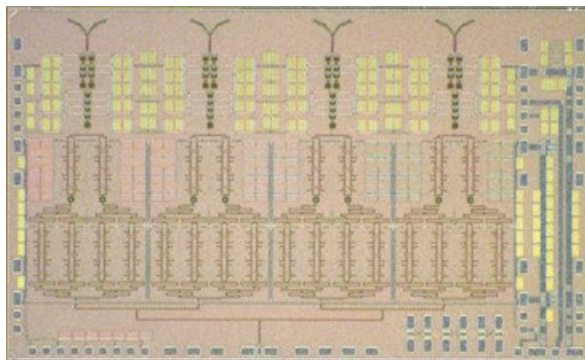
電子移動度が高く高周波特性に優れた材料であるリン化インジウム (InP) 系材料を用いることで高速動作が可能なトランジスタの一種。HEMT は、High Electron Mobility Transistor (高電子移動度トランジスタ) の略称であり、無線通信におけるアナログ回路などの高速動作が求められる電子回路に使用されることが多い。

[参考文献]

T. Jyo *et al.*, "220-to-320-GHz Fundamental Mixer in 60-nm InP HEMT Technology Achieving 240-Gbps Dual-Band Data Transmission," *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.* vol. 72, no. 1, pp. 516 – 524, Jan. 2024.

・NEC

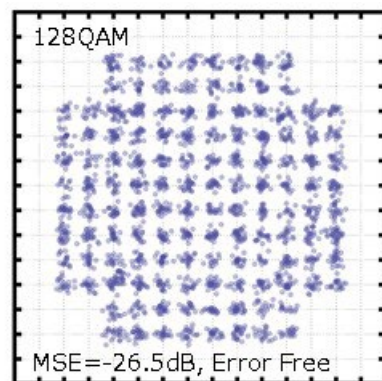
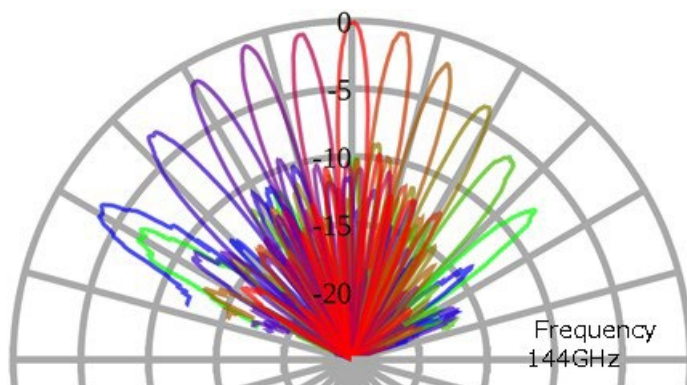
100GHz 帯の移動通信環境を想定した無線デバイスの検討および製作を行いました。現状の移動通信で用いられる数 GHz の電波と異なり、サブテラヘルツ帯は、電波の回り込みが少なく、伝搬損失が大きいという特徴があるため、移動通信エリアの形成が困難となる課題があります。この課題を解決するために、複数のアンテナ素子をアレー配置することで電波の方向制御と送信電力の向上という 2 つの利点を有するフェーズドアレー方式を検討しました。100GHz 帯では、低周波に比べてアレー実装時の配線などに起因する電力損失が大きいと、フェーズドアレー実現が困難になります。そこで、アンテナ、移相器、増幅器を一体集積することで配線長を短縮し、実装時の電力損失を低減可能なアンテナ IC 一体型 APAA 方式を検討しました。さらに、4 系統のアンテナ素子が一体集積された Antenna on Chip (AoC) 送信 IC と、IC をパッケージングするモジュールをアレー配置することで、合計 100 素子以上の APAA モジュールを開発しました。本 APAA モジュールの性能検証を行い、EIRP 50dBm、ビームステアリング角 ± 30 度程度の特徴を有していることを実証しました。さらに、本 APAA モジュールを用いて、100GHz 帯において、通信距離 100m で、100Gbps 級の無線伝送を行うためのシステム仕様検証を実施することができました。



AoC 送信 IC(4 素子、4.5mm x 3.0mm)



APAA モジュール(64 素子)

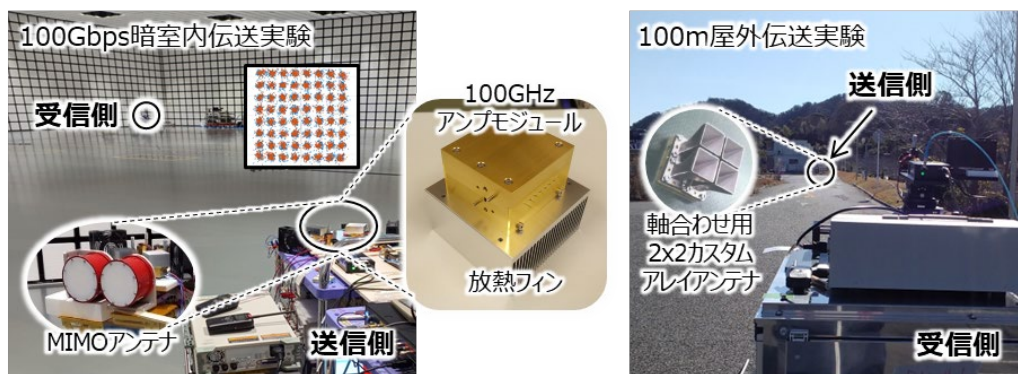


APAA モジュールの水平方向ビームパターンとコンスタレーション

・富士通

サブテラヘルツ帯を実用化するためには、高速通信と並行して通信距離の拡大と省電力化という2つの課題を解決する必要があり、そのためには、電波の送信部に使用される増幅器において出力と電力効率を両立することが重要です。この課題を解決するため、富士通は、窒化ガリウム（以下、GaN）およびリン化インジウム（以下、InP）と呼ばれる2種類の化合物半導体材料を用いたMMIC（Monolithic Microwave Integrated Circuit、モノリシックマイクロ波集積回路）技術により、100GHz帯と300GHz帯の2つのサブテラヘルツ周波数領域で、高出力増幅器における世界最高の電力効率を実現しました。（100GHz帯：4W/mm以上の高出力GaN系MMICにおいて、18%以上の効率を達成、300GHz帯：10mW級のInP系MMICにおいて、9%以上の効率を達成）

また電波暗室内において、製作した増幅器を用いた100GHz帯の無線通信試験を行い、2多重のMIMO（Multiple Input Multiple Output）にて100Gbpsの無線伝送実験に成功しました。さらに、屋外において100GHz帯で100mの伝送実験も実施しました。



100GHz帯による無線通信実験の様子