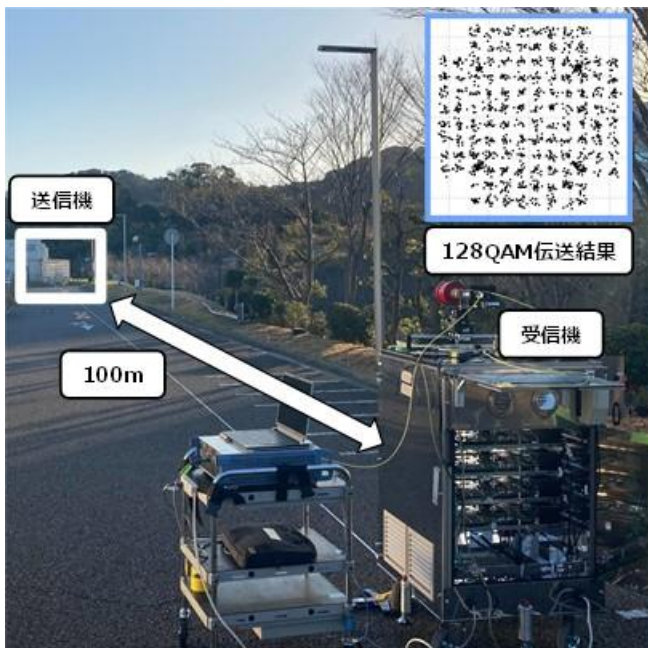


本研究開発概要

■各社の研究開発内容

・NTT ドコモ

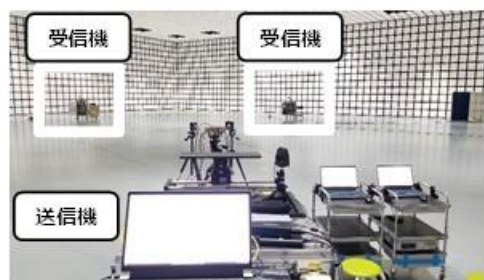
サブテラヘルツ帯の移動通信システム実現に向け、無線デバイスの構成・要求条件の明確化と、広帯域な信号伝送装置の検討を行いました。サブテラヘルツ帯の広い帯域を利用するためには、広帯域なベースバンド（BB）信号および中間周波（IF）信号を生成する必要があります。しかし、従来の BB 信号、IF 信号を取り扱う装置においては、信号帯域幅が数 GHz 程度の狭帯域信号しか送受信できないという課題がありました。そこで、複数の狭帯域信号を周波数軸上に多重するチャンネルボンディング装置を開発し、広帯域な信号を実現しました。開発したチャンネルボンディング装置を用いて、屋外環境にて 100GHz 超帯における伝送距離 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)



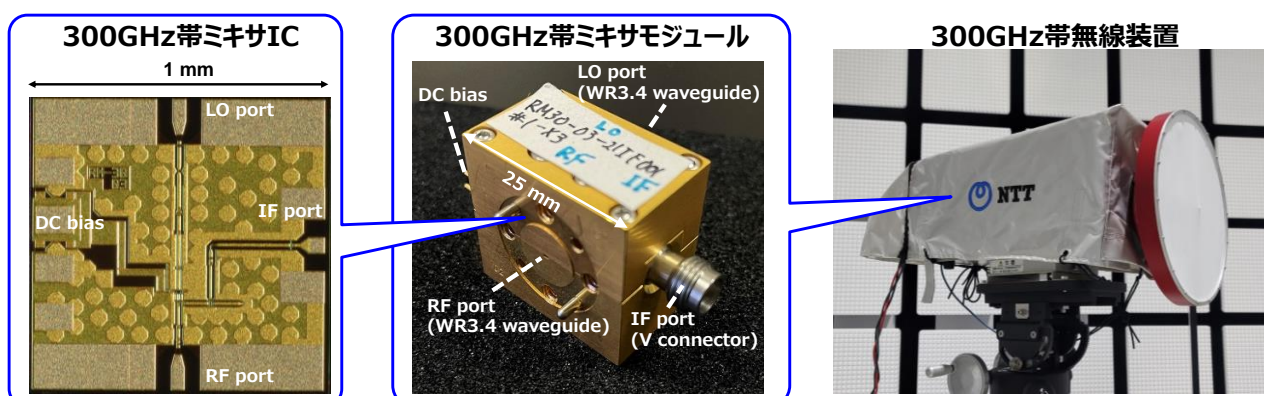
(NEC社共同)

電波の指向性制御実験

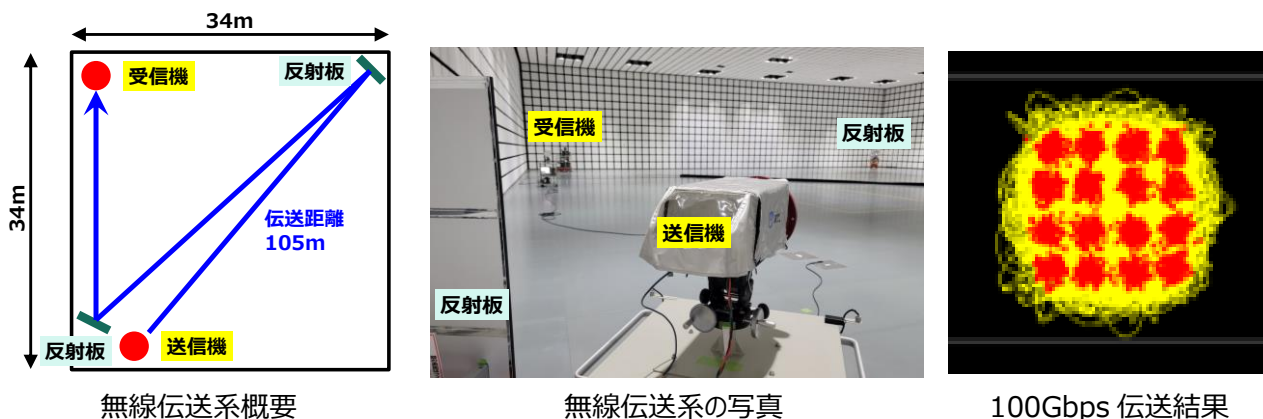
・NTT

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 チャンネルで 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 チャンネル 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:

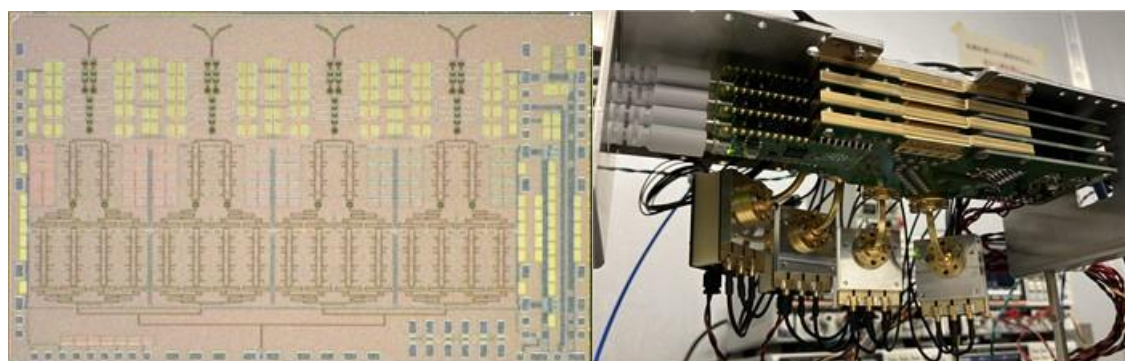
電子移動度が高く高周波特性に優れた材料であるリン化インジウム (InP) 系材料を用いることで高速動作が可能なトランジスタの一種。HEMT は、High Electron Mobility Transistor (高電子移動度トランジスタ) の略称であり、無線通信におけるアナログ回路などの高速動作が求められる電子回路に使用されることが多い。

[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.

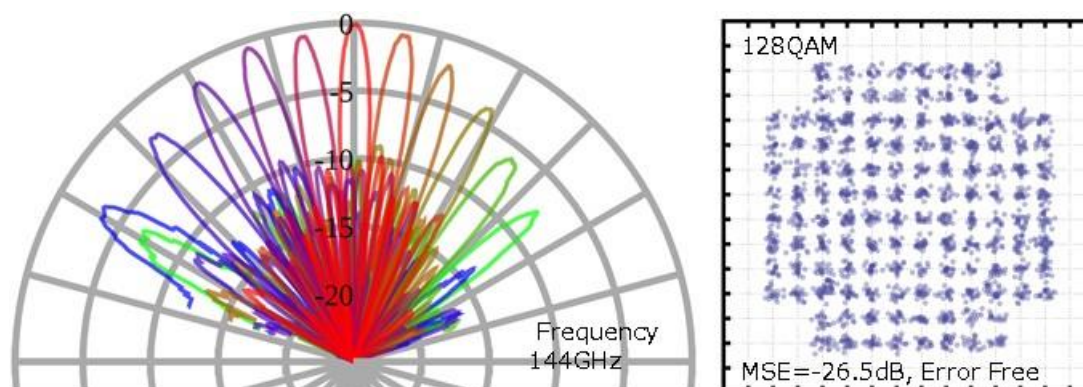
・NEC

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)

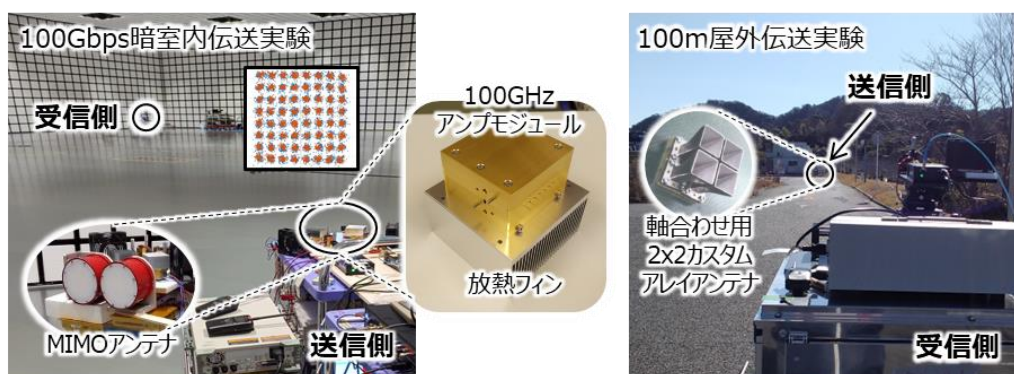


APAA モジュールの水平方向ビームパターンとコンスタレーション

・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