



Tokyo Tech

2021年6月1日

報道機関各位

東京工業大学

電源不要のミリ波帯 5G 無線機の開発に成功

—超低消費電力ビームフォーミングで 5G のエリア拡大に貢献—

【要点】

- 無線電力伝送を利用したミリ波帯 5G 無線機を実現
- 5G 準拠の超低消費電力ビームフォーミングに成功
- 24GHz 帯無線電力伝送及び 28GHz 帯無線通信対応 CMOS 集積回路を開発

【概要】

東京工業大学 工学院 電気電子系の白根篤史助教、岡田健一教授は、電源不要で動作可能な**ミリ波帯**（用語 1）**5G**（用語 2）中継無線機の開発に成功した。本無線機は、無線電力伝送を利用することで電源を不要とし、**28GHz 帯**の電波を中継、**ビームフォーミング**（用語 3）することでこれまで電波が届かなかったエリアにおいても**ミリ波帯 5G**の通信を可能とする。

従来、ビームフォーミングを実現する**ミリ波帯 5G アクティブフェーズドアレイ**（用語 4）は、アンテナ 1 素子につき数百ミリワットの電力を消費するため、無線電力伝送によって生成される電力では動作できなかった。

本研究では、新たに考案した**ベクトル加算型バックスキッタリング技術**（用語 5）を用いることで、3 桁以上小さい 1 素子あたり 30 マイクロワットの消費電力でビームフォーミングを実現することに成功した。試作した無線機は、安価で量産が可能な**シリコン CMOS プロセス**（用語 6）による IC によって実現し、**24GHz 帯**における無線電力伝送および **28GHz 帯**の 5G 準拠の無線通信に成功した。

研究成果の詳細は、2021 年 6 月 13 日からオンライン開催される国際会議 **Symposium on VLSI Circuits <VLSI 回路シンポジウム>2021** で発表する。

●開発の背景

2019年にサービスが開始された第5世代移動通信システム（5G）では、これまでのサブ6GHz帯（用語7）に加えて、ミリ波帯の利用による飛躍的な通信速度の向上が期待されている。日本国内においては、現在28GHz帯がミリ波帯5G利用に割り当てられており、10Gbpsを超える無線通信が実現可能である。一方で、ミリ波帯を用いた無線通信では、電波の直進性が強く、遮蔽物等により通信エリアが限られてしまうという問題がある。そのため、従来のサブ6GHz帯と比較して、より密度の高い、細やかな基地局の設置が求められている。

●課題

ミリ波帯5Gのエリア拡大の課題となるのが、基地局の設置場所や設置コストである。ミリ波帯通信では見通し環境での通信が基本となるので、従来と比較してより多くの基地局が必要となる。これまでも、マクロセル（用語8）だけでなく、スモールセル（用語8）やフェムトセル（用語8）といった、小型で狭いカバーエリアの基地局がサービスエリア拡大のために使い分けられてきたが、小型とはいえ設置できる場所は限られており、設置場所の確保は容易ではない。また基地局の光ファイバーネットワークへの接続や電源の引き回しによる基地局設置のコスト増大も課題である。

●研究成果

本研究成果によるミリ波帯5G無線機は、無線電力伝送を利用することで電源を不要とし、28GHz帯の電波を中継して再度ビームフォーミングすることでこれまで電波が届かなかったエリアにおいてもミリ波帯5Gの通信を可能とする。本無線機は電源が不要であるため、これまで基地局が設置できなかったような場所にも容易に取り付けることが可能となり、より高密度なミリ波帯5Gネットワークの構築が可能となる。

本無線機は、28GHz帯の5G無線通信と同時に、ISMバンド（用語9）の24GHz帯において無線電力伝送を行う。図1に示すように、壁などに設置された本無線機において、ミリ波帯5Gの無線通信信号を受信し、一旦4GHzの中間周波数に変換することで、損失を抑えながら遮蔽物を通過させる。通過した信号を再度28GHz帯まで周波数変換し、複数のアンテナで構成されるフェーズドアレイによってビームフォーミングを行うことで所望の方向へ無線通信を中継する。このとき、24GHz帯において無線電力伝送を行い、無線通信に必要な電力を供給する。

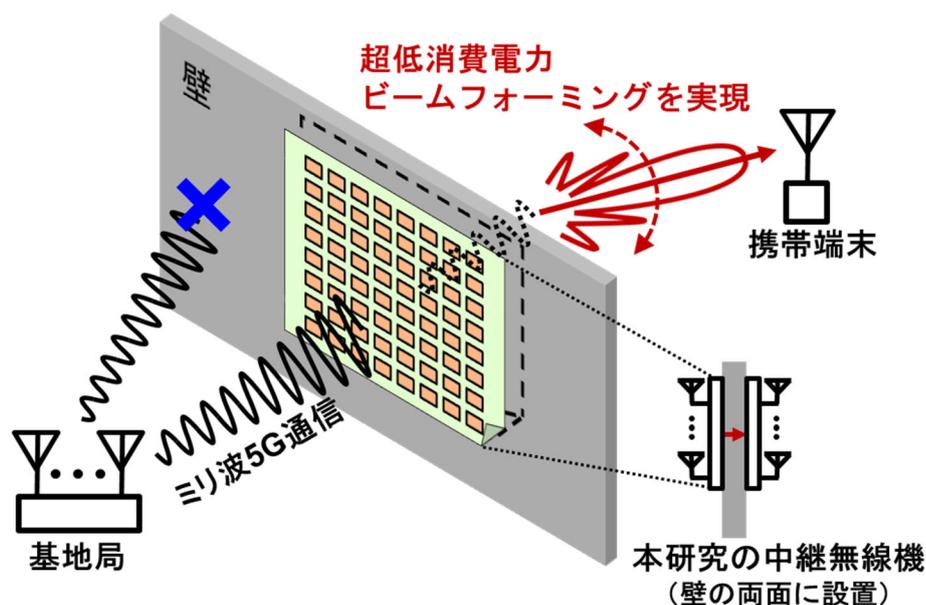


図 1 本研究における電源不要のミリ波帯 5G 中継無線機

今回新たに考案したベクトル加算型バックスキッタリング技術を用いることで、本無線機は、ごくわずかな消費電力でミリ波帯 5G 必須の機能であるビームフォーミングの実現を可能とした。一般的なミリ波帯 5G のビームフォーミングを可能にするアクティブフェーズドアレイは、アンテナ 1 素子につき数十から数百ミリワットの電力を消費するが、本研究の無線機では 3 桁以上小さい 30 マイクロワットの消費電力でビームフォーミング機能を実現する。これにより、長距離の無線電力伝送による小さい供給電力であっても動作することができる。

図 2 に考案したベクトル加算型バックスキッタリング技術の原理を示す。これまでも消費電力の小さい無線通信方式として、バックスキッタリング技術は用いられてきた。しかし、従来方式では、入力された電波を所望の周波数帯へ変換しながら反射するのみで、反射波に指向性をもたせてビームフォーミングを行うことができなかった。フェーズドアレイを用いてビームフォーミング機能を実現するには、所望のビーム角に対応する適切な位相の信号を各アンテナ素子において生成する必要がある。本研究の無線機では、位相が 90° 異なる 2 つの信号を用いて、 0° と 90° の位相成分を持つ 2 つの反射波を作り出した。そして 0° と 90° 成分の反射波の強度を調整し加算することにより、任意の位相を持つ 28GHz 帯の信号の生成に成功した。各アンテナ素子において、このように位相シフトした反射波を各アンテナから放射することで、世界で初めてミリ波帯 5G 信号のバックスキッタリングによるビームフォーミングを可能にした。

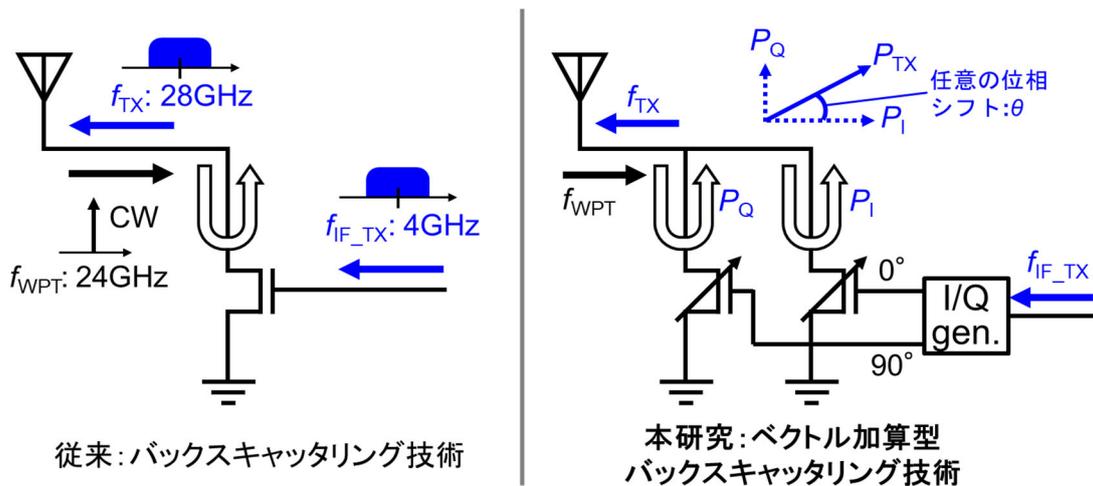


図 2 新たに考案したベクトル加算型バックスキャタリング技術(右)

プロトタイプとして試作した無線機 (図 3) では、4 チップの無線 IC を搭載し、32 素子のアンテナのフェーズドアレイを構成した。無線 IC は、安価で量産が可能なシリコン CMOS プロセスを用いて製造し、一つの IC に 8 系統の無線トランシーバを搭載した。実測においてビーム方向の変更が可能であることを確認し、ベクトル加算型バックスキャタリング技術の有効性を確認した。5G 準拠の変調信号を用いて **OTA (Over The Air、用語 10)** の無線通信測定評価を行い、受信、送信ともに **5G NR MCS19 (用語 11)** の **64QAM (用語 12)** の無線通信に成功した。本無線機は、無線トランシーバ 1 系統あたり 30 マイクロワットの消費電力で動作し、同時に無線機全体では 3.1 ミリワットの無線電力伝送による電力生成を実現した。

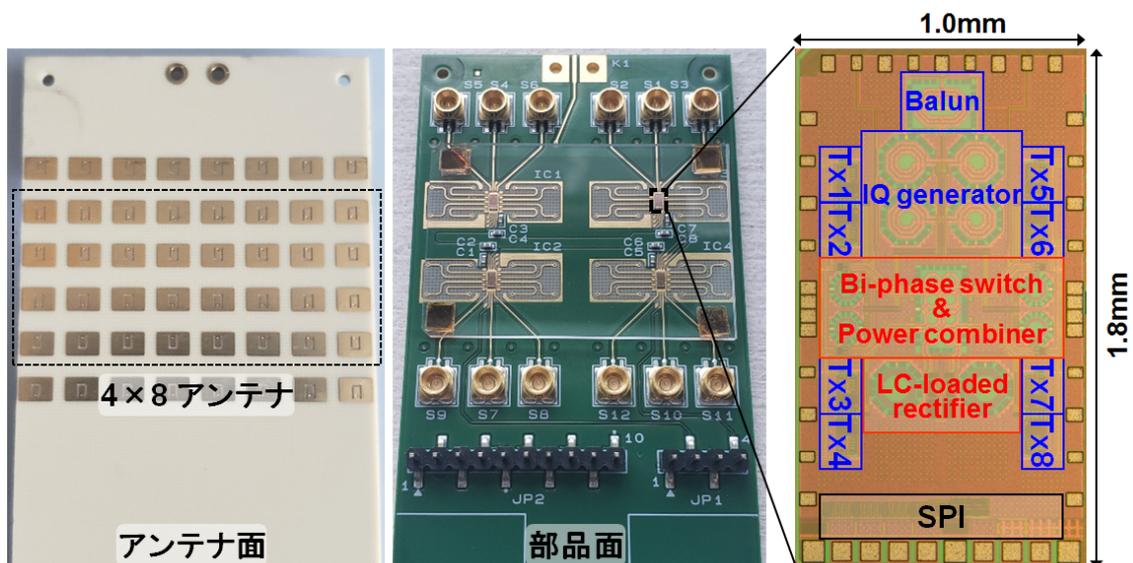


図 3 試作したミリ波帯 5G 無線機と CMOS IC

●今後の展開

本研究成果は、より多くのアンテナ素子を持つさらなる大規模無線機へと展開することで、通信距離の拡大、無線電力伝送による電力生成の増大が可能である。28GHz帯は波長が短いために、256素子のフェーズドアレイであっても10cm角に収まるほど小型であり、無線機の厚さも数mm程度と非常に薄くすることが可能である。非常に小型かつ電源不要の本無線機をこれまで基地局を設置できなかった場所に設置していくことで、ミリ波帯5Gのエリア拡大に貢献していく。さらに、本研究を無線端末側にも応用することで、バッテリーレス5G無線端末の実現も可能である。

【用語説明】

- (1) **ミリ波帯**：波長が1~10mm、周波数が30~300GHzの電波。自動車レーダで使われる24GHz帯や、5Gで使われる28GHzのように近傍周波数である準ミリ波帯も、広義にミリ波と呼ばれることがある。
- (2) **5G**：2019年に展開を開始した、国際的な移動通信ネットワークの第5世代技術標準。現在ほとんどの携帯電話に用いられている第4世代移動通信システム(4G)ネットワークの後継の規格である。5Gネットワークの主な利点の一つは、より大きな帯域幅を持つことであり、さらなる高速化によって、最終的には10ギガビット/秒(Gbit/s)以上の通信速度を目標としている。既にサービスを開始している5Gの移動通信のほとんどは従来技術の延長であり、4G携帯電話と同じかわずかに高い、6GHz程度までの限られた帯域の周波数範囲を使用している。一方で、高度な技術が必要とされる、ミリ波を利用した5Gシステムも活発に研究されており、新たなテクノロジーの突破口となることが期待されている。
- (3) **ビームフォーミング**：電波を細く絞って、特定の方向に向けて集中的に発射する技術。
- (4) **フェーズドアレイ**：複数のアンテナへ位相差をつけた信号を給電する技術。放射方向を電氣的に制御するビームフォーミングの実現に利用される。
- (5) **バックスキャタリング技術**：電波の反射を用いることで、通信を行う技術で、発振器や増幅器無しで構成できるため、低消費電力化が可能である。
- (6) **シリコン CMOS プロセス**：CMOSプロセスはN型とP型のMOSFET(金属酸化膜半導体電界効果トランジスタ)を相補的に用いた集積回路であり、バイポーラプロセスと比較し消費電力の削減と高い集積率を実現したプロセスである。近年の集積回路はほぼCMOSプロセスとなっている。
- (7) **サブ6GHz帯**：6GHz以下の周波数帯。
- (8) **マクロセル、スモールセル、フェムトセル**：携帯電話基地局の種類で、電波が広がるエリアの広さに応じて使い分けられる。
- (9) **ISMバンド**：「産業科学医療用バンド」で、無線電力伝送など強力な電

波の放射が行われる可能性がある周波数帯。

- (10) **OTA (Over The Air)** : ケーブルを利用した接続に対して、アンテナを用いて電波伝搬を介した接続での測定。
- (11) **MCS19 (Modulation and Coding Scheme)** : 無線通信において変調方式とコーディングレートを指定するための指標。ミリ波帯 5G において MCS19 は、64QAM の変調方式と 85% のコーディングレートを表す。
- (12) **64QAM** : 64 Quadrature Amplitude Modulation (64 値直交振幅変調)。振幅と位相双方に情報を乗せて伝送する変調方式。1 シンボルあたり 6 bit 64 値の情報を乗せることができる。

【発表予定】

この成果は 2021 年 6 月 13 日からオンライン開催される国際会議 Symposium on VLSI Circuits <VLSI 回路シンポジウム>2021 において、「A 28-GHz Phased-Array Relay Transceiver for 5G Network Using Vector-Summing Backscatter with 24-GHz Wireless Power and LO Transfer (ベクトル加算型バックスキッタによる 28GHz 帯 5G フェーズドアレイ中継無線機)」の講演タイトルで、日本時間 6 月 17 日午前 8 時 40 分から発表される。

講演セッション : Session11: Advanced Wireless for 5G

講演ビデオ公開時間 : 日本時間 6 月 1 日午後 2 時

Q&A セッション : 日本時間 6 月 17 日午前 8 時 40 分

講演タイトル : A 28-GHz Phased-Array Relay Transceiver for 5G Network Using Vector-Summing Backscatter with 24-GHz Wireless Power and LO Transfer (ベクトル加算型バックスキッタによる 28GHz 帯 5G フェーズドアレイ中継無線機)

会議 Web サイト : <https://vlsisymposium.org/index.html>

https://vlsisymposium.org/files/program/VLSI2021_Advance%20Program_Circ_20210517.pdf

【問い合わせ先】

東京工業大学 工学院 電気電子系 助教

白根 篤史 (しらね あつし)

TEL: 03-5734-3764

FAX: 03-5734-3764

Email: shirane@ee.e.titech.ac.jp

【取材申し込み先】

東京工業大学 総務部 広報課

TEL: 03-5734-2975

FAX: 03-5734-3661

Email: media@jim.titech.ac.jp