

# オープンソースと指向性制御アンテナアレイを用いた ミリ波帯ローカル 5G ソフトウェア無線システムを開発

## 概要

国立大学法人 京都大学大学院情報学研究科の原田博司教授の研究グループ（以下 京都大学）は、5G NR を実現する各種無線パラメータをソフトウェアで設定・変更可能なオープンソースソフトウェアとアンテナビームの方向をソフトウェアで変更可能なミリ波帯（28GHz 帯）アンテナアレイを用い、アンテナの指向性を制御しつつ、5G NR のシステムを実現するソフトウェア無線技術を用いたミリ波帯ローカル 5G システムを開発しました。今回の成果により、オフィス、工場等の屋内から車とあらゆるものを接続する V2X（Vehicle-to-everything）等の屋外環境においてローカル 5G を実現するためのアンテナ制御、伝送に掛かるパラメータを容易に取得することができ、ミリ波帯ローカル 5G システムの普及が加速することになります。

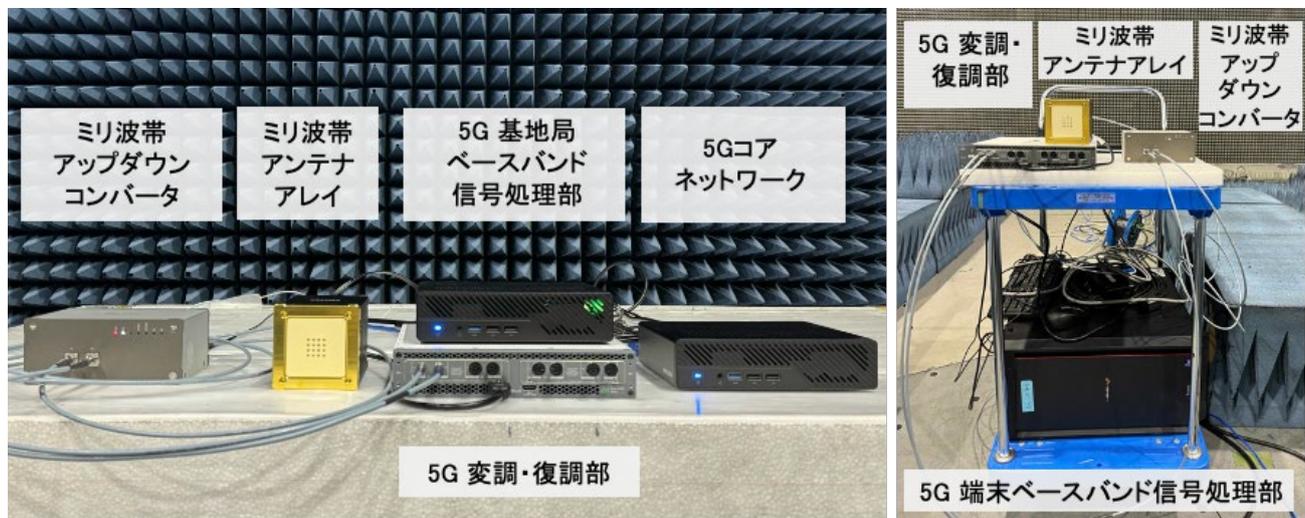


図1 開発したミリ波ローカル 5G ソフトウェア無線システム  
(左：基地局 (gNB)・コアネットワーク (5GC)、右：端末 (UE))

## 1. 背景

現在、5Gシステムは、携帯電話の事業者のみならず、地域の企業や自治体等のさまざまな主体が、主に建物内や敷地内での限定されたエリアにおいて、5Gを自営系無線通信システムとして利用するローカル5Gが普及しつつあります。中でも28GHz帯を用いたローカル5Gシステムは、ミリ波帯ローカル5Gシステムと呼ばれ、広い周波数帯域幅を利用することができるため、5Gシステムがもつ超高速大容量、低遅延、多数同時接続といった特徴を有する新しいアプリケーションの創出が期待されています。しかし、ミリ波帯ローカル5Gシステムは、Sub 6と呼ばれる6GHz帯の周波数を用いるローカル5Gと比べ、波長が短いため伝送距離が短いという課題があり、その課題を回避するためにアンテナアレイを用いてアンテナビームを構成し、その指向性を変化させて、アンテナ利得を用いて伝送距離を伸ばす方法が利用されています。しかし、このミリ波帯ローカル5Gシステムは、Wi-Fiに代表される無線LANと比較して、無線局免許に基づいているため通信速度等が安定的な利用が可能である一方、無線機の価格が非常に高価であること、アンテナビームの制御が十分ではなく通信エリアの安定した確保ができない等の課題があるため、未だ爆発的な普及には至っていません。このミリ波帯ローカル5Gの普及促進を行うためには、Wi-Fiのアクセスポイントのような小型無線基地局、コアネットワークの開発が必要になります。さらに、送受信のアンテナ指向性がユーザーにより自由に変わることができる5Gシステムと連携可能なミリ波ローカル5Gシステムの開発が必要になります。京都大学では、すでにVHF帯、4.9GHz帯の小型ローカル5Gシステムを京都大学が国内の大学として最初かつ唯一加入しているOAI(OpenAirInterface) software Allianceが供給する5Gを実現するオープンソースを利用して、開発に成功しています。しかし、ミリ波帯を用いた、オープンソースと指向性制御アンテナアレイを用いたミリ波帯ローカル5Gソフトウェア無線システムの開発は行われていませんでした。

## 2. 研究成果

送信と受信で独立にアンテナの指向性を制御しつつ、5G NRのシステムを実現するソフトウェア無線技術を用いたミリ波帯ローカル5Gシステム(コアネットワーク、基地局、端末)を開発しました(図1)。主に下記の4点について研究開発しました。

- (1) 5G NRを実現するオープンソースソフトウェア(以下5Gソフトウェアとする。)を利用し、汎用PC内にそれぞれ5G NRの基地局のベースバンド処理機能(CU、DU機能)、コアネットワークの機能、端末のベースバンド処理機能(UE機能)を具備するとともに、このPCを28GHz帯の信号に変換し、アンテナビームの方向を変更可能なミリ波帯アンテナアレイを接続して、5Gソフトウェア無線システムを開発。(システムの概要を図2、基本仕様は表1に示す。)
- (2) 5Gソフトウェアに対して5Gシステムの時間フレームごとに決定される送信、受信のタイミングに合わせてアンテナビームの指向性を制御可能なソフトウェアを新規に追加(図3)
- (3) この基地局の信号処理を行う5Gソフトウェアに帯域外漏洩電力を大幅に抑圧し、周波数を高密度に利用することが可能なUTW-OFDM方式を実現する機能を追加(図4)
- (4) コアネットワーク、基地局、端末を用いて、ミリ波帯ローカル5Gシステムを運用し、ビーム方向を送受信独立で自由に変えてデータ伝送に成功

なお5G-NRの無線機の開発にはOAI software Allianceが供給するオープンソースを利用しました。また、指向性制御のアンテナアレイとして水平方向、垂直方向共に $\pm 45$ 度制御可能である $4 \times 4$ の16素子からなるTMYTEK社のBBBoxを利用しました。また、UTW-OFDM方式とは、5Gで用いられているCP-OFDM方式

に対して、帯域の利用効率劣化につながる帯域外不要輻射の発生原因である、隣接シンボル間の不連続性を長大な時間軸窓で波形整形することで、強力的に抑圧する方式です（図4）。

この開発したミリ波帯 5G 基地局、端末、コアネットワークを用いて、電波暗室内に基地局と端末を設置し、基地局のビーム方向を制御ソフトウェアで変更した場合の最大データ伝送速度（スループット）の測定実験を行いました（図5）。実験では基地局と端末との間の距離は 9m になります。アンテナを用いず直結で測定した場合、端末側の信号処理能力の関係上、帯域幅 50MHz の場合、伝送速度は 57Mbps が達成されます。実験の結果、最大データ伝送速度は、基地局・端末のアンテナビームが正対した場合基地局から端末への下り回線で 50 Mbps が達成され、端末から基地局への上り回線で 38.2 Mbps が達成できましたが、送受信の指向性の差がでてくるにつれ、±15° 程度、送信側、受信側のアンテナビームがシフトすると最大データ伝送速度は大幅に減衰することがわかります。（図6）

表1 開発したミリ波ローカル 5G ソフトウェア無線システムの仕様

項目	値
周波数	27.9 GHz
通信方式	5G NR OFDMA
開発した機器	基地局 (gNB) コアネットワーク (5GC)
送信EIRP	41.5 dBm
変調方式	QPSK、16QAM、64QAM-OFDM (適応変調)
OFDMの方式	UTW-OFDM (基地局) CP-OFDM (端末)
帯域幅	50 MHz
アンテナビーム半値幅	25°
ビームステアリング範囲	±45°

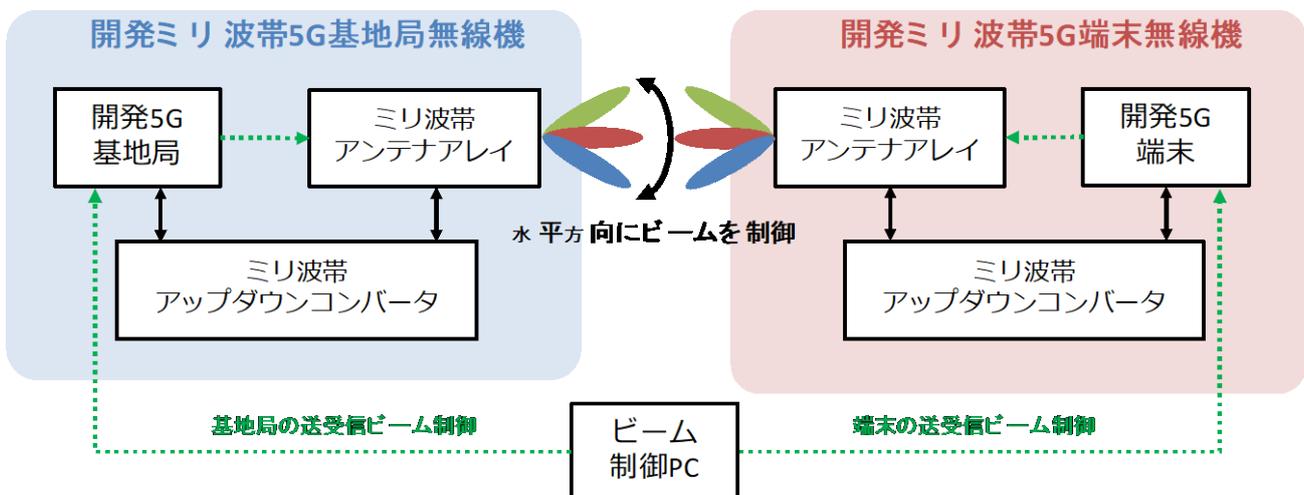


図2 開発したシステムの概要

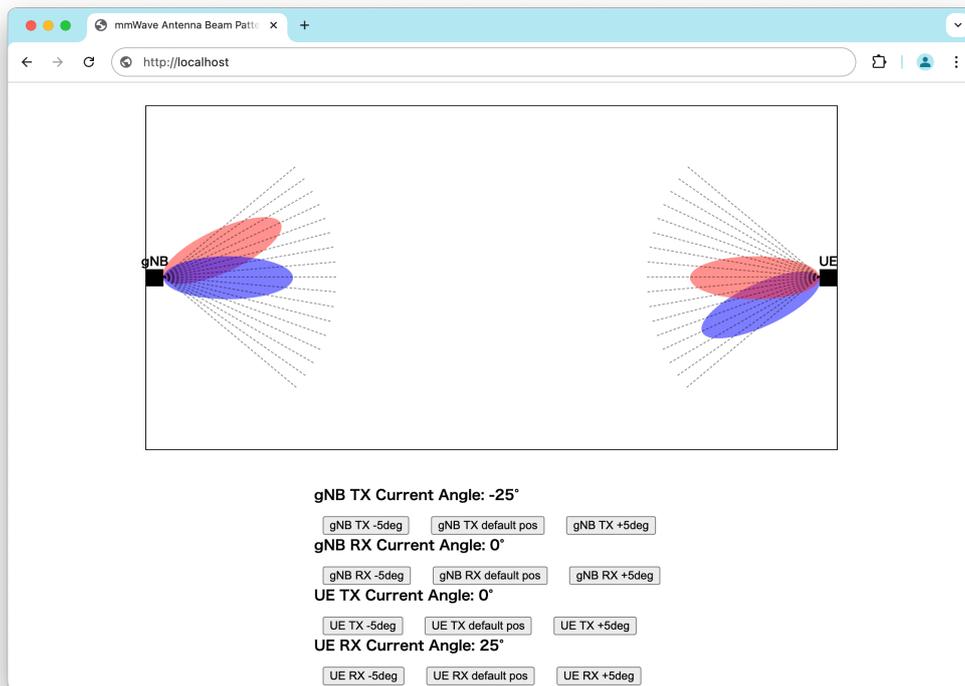


図3 アンテナビームの指向性制御ソフトウェア  
 (送信アンテナビームの方向 (赤色) と、受信アンテナビーム (青) の方向を別々に設定可能)

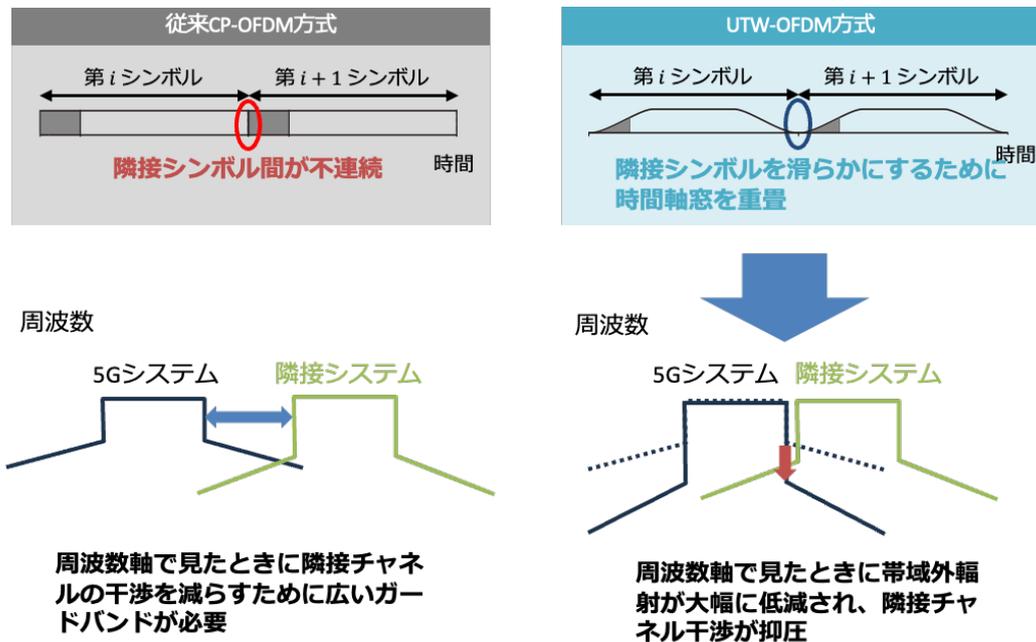


図4 UTW-OFDM方式の概要

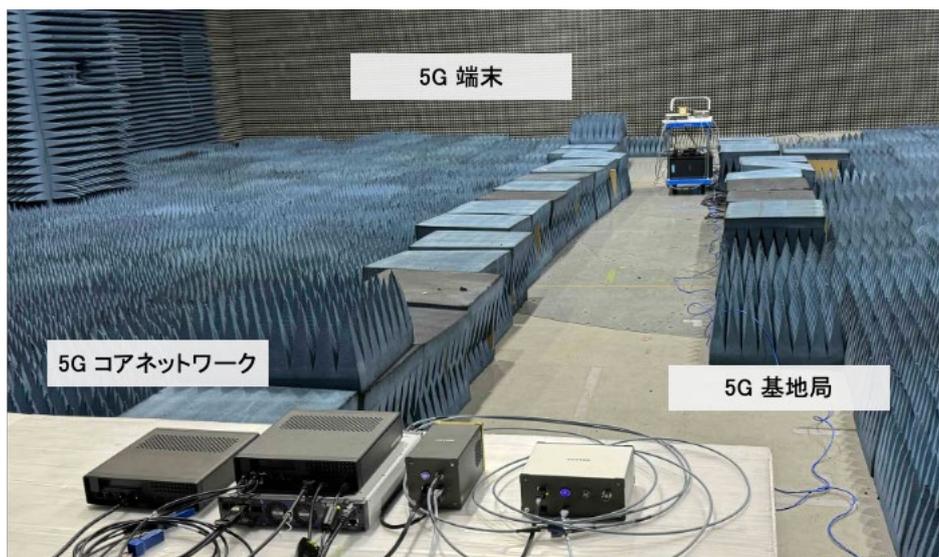


図5 特性評価試験の様子

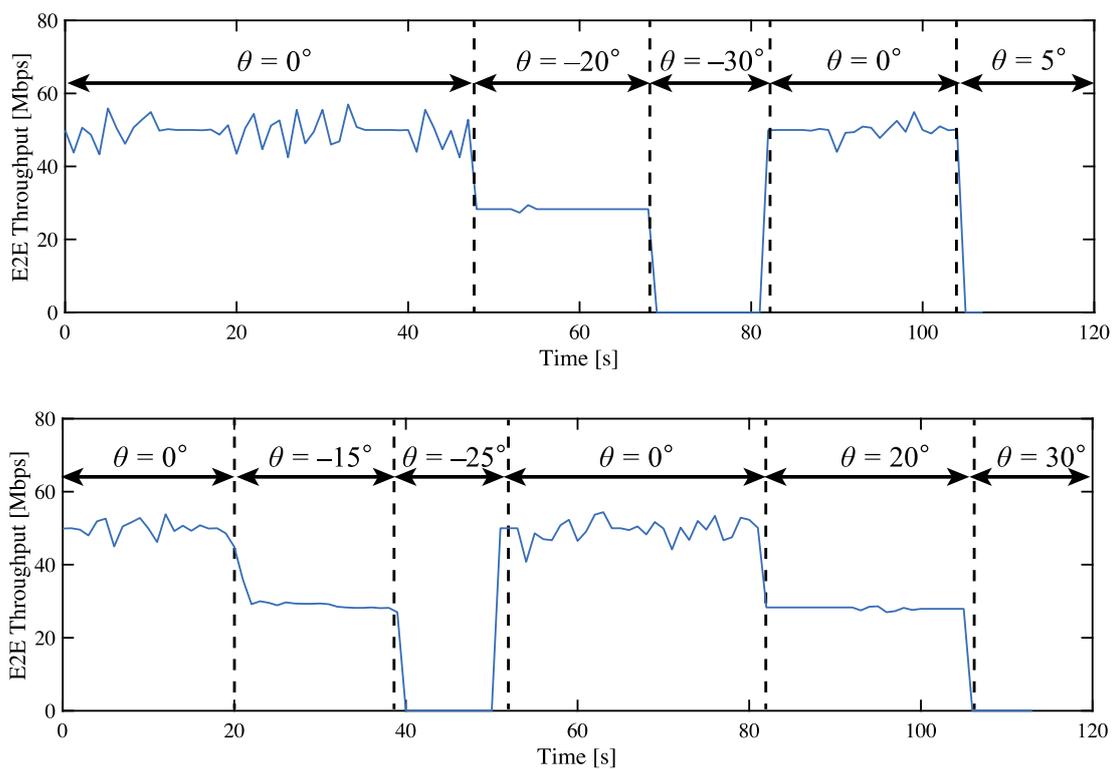


図6 基地局・端末のアンテナ指向性とデータ速度の関係

(上：基地局の送信アンテナビームの指向性、  
下：端末の受信アンテナビームの指向性)

### 3. 波及効果、今後の予定

今回の成果により、オフィス、工場等の屋内から車とあらゆるものを接続する V2X 等の屋外環境においてローカル 5G を実現するためのアンテナ制御、伝送に掛かるパラメータを容易に取得することができ、これらの最適なパラメータを用いることにより、ミリ波帯ローカル 5G システムの普及が加速することになります。今後は、商用端末との接続および当該無線機を用いて各種アプリケーションフィールドにおける伝送特性評価を行うとともに、ソフトウェア無線技術による安価で安定した 5G システムの商用化を目指します。

### 4. 研究プロジェクトについて

本研究の一部は国立研究開発法人情報通信研究機構の委託研究 (JPJ010017C07501) および総務省の受託研究 (JPJ000254) の一環として実施されたものです。また、電波暗室での実験は、京都大学生存圏研究所の全国共同利用設備マイクロ波エネルギー伝送実験装置 (METLAB)) にて行われました。

#### <用語解説>

##### 1. ローカル 5G

携帯電話事業者による 5G の全国サービスと異なり、地域や産業の個別ニーズに応じて、企業や自治体などの様々な主体が自らの建物内や敷地内で 5G システムを設置し、免許を取得し、自営的に運用する 5G システム。現在周波数として、4.9GHz、28GHz 帯がローカル 5G 用の周波数として割り当てられています。

##### 2. 5G New-Radio (5G NR)

5G で採用された無線インターフェースであり、国際標準化団体 3GPP (3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project) で標準化されています。様々なユースケースに応じた柔軟な信号生成を可能とします。

##### 3. OAI (OpenAirInterface) software Alliance

5G をオープンソースソフトウェアで構築することを目的としているコミュニティであり、2014 年に設立されています。OAI アライアンスが供給する 5G NR を実現するソフトウェアを PC 等にインストールすることで標準化団体 3GPP が制定する 5G システム (コアネットワーク、基地局、端末) の信号処理部分の機能を実現でき、ソフトウェアを変更、追加することによりさまざまな研究開発を実施することが可能になります。京都大学はこのアライアンスに国内の大学として初めて正式に加入しています。