

## 1. 研究課題・受託者・研究開発期間・研究開発予算

- ◆研究開発課題名 Beyond 5Gに向けたテラヘルツ帯を活用した端末拡張型無線通信システム実現のための研究開発
- ◆副題 Beyond 5Gに向けたテラヘルツ帯を活用するユーザセントリックアーキテクチャ実現に関する研究開発
- ◆受託者 (株)KDDI総合研究所、(学)早稲田大学、(学)千葉工業大学、(大)名古屋工業大学、(株)日立国際電気、パナソニックホールディングス(株)
- ◆研究開発期間 令和3年度～令和6年度(4年間)
- ◆研究開発予算(契約額) 令和3年度から令和4年度までの総額2,396百万円(令和4年度1,213百万円)

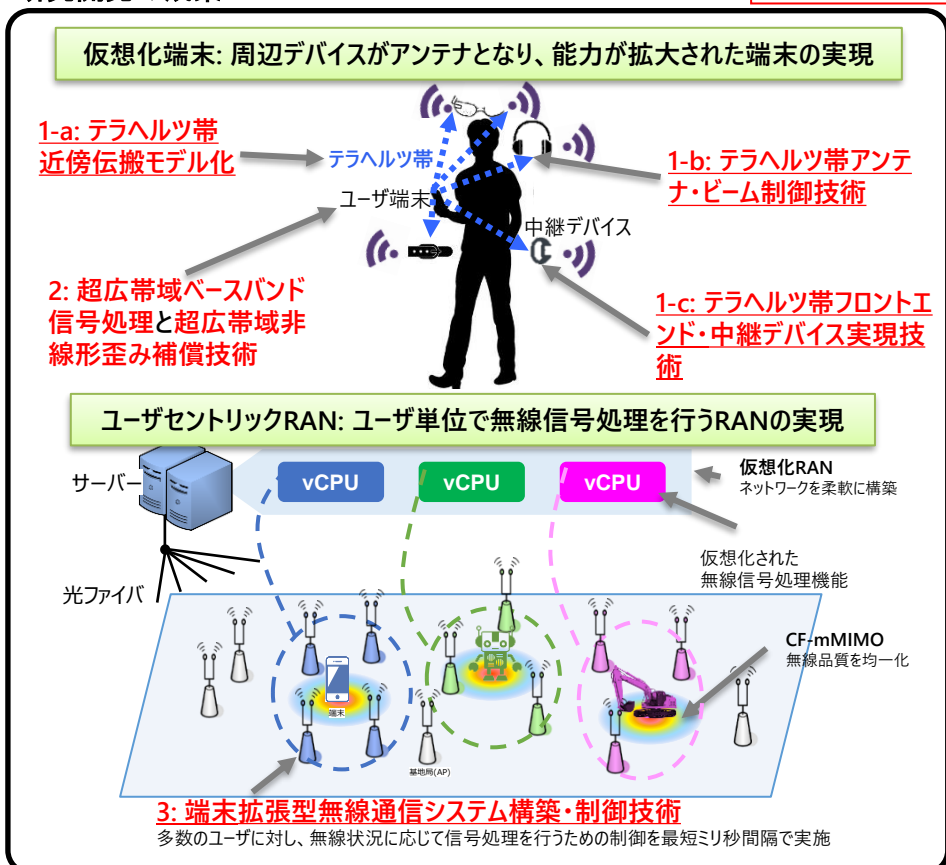
## 2. 研究開発の目標

本研究開発では、Beyond 5G時代に向けて、ユーザを取り巻く通信環境や、それぞれのユーザの通信要求に適応して、ユーザが存在するあらゆる場所で高い通信性能を提供し続ける、ユーザ中心の「ユーザセントリックアーキテクチャ」の実現に向けた技術の確立を目指す。具体的には、複数の中継デバイスによりユーザ端末の機能を仮想的に拡張した仮想化端末を実現するテラヘルツ帯RF構成技術、ユーザ端末と中継デバイス間にテラヘルツ帯を適用した端末拡張のための信号処理技術、および柔軟かつスケラビリティを持った端末拡張型無線通信システム構築・制御技術を確立する。

## 3. 研究開発の成果

研究開発目標

研究開発成果



### 研究開発成果1-a. テラヘルツ帯近傍伝搬モデル化

○確率汎関数法による表面散乱・反射特性の解析を精密化し、モデル化の為に基礎データを取得。帯域幅2GHz以上、高速変動の検出が可能な散乱分布測定装置の原理確認を実施。

○300GHz帯人体ファントム、高精度な電波伝搬自動計測システム、半球球スカナの試作を完了させ、人体近傍の電波伝搬の基礎データと屋外近距離電波伝搬の基礎データを取得。

○頭部に中継デバイスを装着した場合の100GHz帯伝搬損失モデルを、300GHz帯に拡張。頭部以外に装着したケースに対しても、支配的な伝搬経路を同定し、伝搬損失推定を実現。

○ユーザ端末と中継デバイス間のテラヘルツ帯時空間伝搬特性を構成する主パスや、反射波が指数型遅延プロファイルの素波の集合で近似できる点や偏波特性への影響等を明確化。

### 研究開発成果1-b. テラヘルツ帯アンテナ・ビーム制御技術

○19.5dBiを60度の角度範囲で実現する平凸レンズアンテナを実現。高利得化の為に球状レンズアンテナを開発。薄型化の為に、種々のアンテナの設計手法の妥当性や損失の調査を実施。

○人体の動きを考慮した移動予測アルゴリズムを用いたビーム制御手法を考案。シミュレーションにて同手法が受信電力劣化3dB以内を94.5%の確率で達成する(遮蔽なし時)ことを確認。

### 研究開発成果1-c. テラヘルツ帯フロントエンド・中継デバイス実現技術

○2021年度に方式設計を行った化合物半導体MMICと構造設計を行ったパッケージ、300GHz検波回路、及びミリ波回路を試作評価し、2024年度以降の試作装置の実現に見通しを得た。

○中継デバイスでの復調処理が不要な送受切換制御の考案方式を実用的な環境下で評価、上下リンク信号を併用するタイミング検出方法の有効性を提示。

### 研究開発成果2-a. 超広帯域非線形歪み補償技術

○テラヘルツ帯電力増幅器に歪み補償を適用し、EVM17.5%以下の達成を確認。更に、ニューラルネットワークの演算削減手法を提案し、多項式法より低EVMの達成を提示。

### 研究開発成果2-b. 超広帯域ベースバンド信号処理

○伝送方式検討として、仮想化端末MIMOの位相雑音低減受信方式を考案しその特性を明確化。具現化に向けて、サブバンド構成を評価し、その分割損は十分小さいことを確認。

### 研究開発成果3. 端末拡張型無線通信システム構築・制御技術

○CF-mMIMO技術を前提としたRANアーキテクチャで、APクラスタ構築手法とCPU間連携手法を確立。4.8GHz帯域換算での1.5Gbpsスループット時間率90%を計算機シミュレーションで達成。8APと4端末を用いた実験で、ユーザセントリックRANでの無線品質均一化を実証。

4. 特許出願、論文発表等、及びトピックス

国内出願	外国出願	研究論文	その他研究発表	標準化提案・採択	プレスリリース 報道	展示会	受賞・表彰
32 (19)	6 (6)	4 (3)	110 (72)	2 (2)	77 (73)	2 (2)	2 (2)

※成果数は累計件数、( )内は当該年度の件数です。

(1)ワイヤレス・テクノロジー・パーク(WTP) 2022に研究開発成果を出展

Beyond 5Gに向けた日本の最先端ワイヤレス技術に携わる企業や大学が一同に会して、最新の研究成果を展示するとともに、相互の意見交換を実施。本研究開発から同展示会に2件の展示と3件のプレスリリースを行うことで、44件の報道が実施された。

(2)IEEE iWEM2022でStudent Awardを受賞

274 GHz帯を想定したマイクロストリップ線路のロットマンレンズビーム形成回路の設計に関する研究発表で賞を受賞。

(3)IEEE VTC2022 FallでBest Conference Paper Awardを受賞

Cell-Free massive MIMOにおけるCPUの分散配置環境下における干渉抑圧技術に関する研究発表で賞を受賞。

5. 今後の研究開発計画

1-a-①. 基本散乱・反射特性の計測とモデル化技術

テラヘルツ波の散乱・反射特性を把握することを目的とし、確率汎関数法による表面散乱・反射特性の数値モデルの精密化を実施する。具体的には偏波依存性や材料、表面形状による違いの詳細検討を実施する。また、散乱測定に関して、100GHz程度の周波数において帯域幅4GHz以上、10マイクロ秒程度での高速変動に対応する信号評価技術を開発する。また、微弱散乱測定を実現する手段として300GHz進行波管増幅器の開発を継続し、要素部品の試作を検討する。

1-a-②. ユースケースにおける基本伝搬特性の計測とモデル化技術

人体ファントム、ハンドヘルド無線送信機・受信機をユースケースに基づき配置し、電波伝搬の統計データを自動計測システムにより取得する。また、計測受信機を可動システムに搭載した可動電界分布取得システムを構築する。人体ファントムモデルに、呼吸や鼓動を模した機構を追加する。その人体ファントムでの反射特性や回折特性を評価することにより、人体の呼吸や鼓動が人体近傍での電波伝搬の統計データに与える影響を明確化する。

1-a-③. 環境に応じた支配的な伝搬経路に基づく伝搬損失特性のモデル化技術

2022年度までに明らかにした、支配的な伝搬経路に基づき伝搬損失を推定するための環境パラメータについて、画像認識や機械学習などにより抽出する手法を確立する。また、中継デバイスをヘッドホンや腕時計として人体に装着するなどのユースケースにおいて、仮想化端末が通信可能な領域でRMSE 7dBと精度よく推定できることを示す。

1-a-④. 多重波パラメータの推定に基づく時空間特性のモデル化技術

通信環境に応じた時空間伝搬路の計算機上での疑似発生法の確立を実施し、その後、伝搬路の簡易実装を行う。伝搬路におけるパス発生法は、決定論的と確率論的な方法を組み合わせたものを想定しており、継続的に時空間特性の解明を行いながら、伝搬路のモデル化と発生法の検討を実施する。

## 5. 今後の研究開発計画(続き)

### 1-b-①. ビームフォーミングアンテナ技術

ユーザ端末用の平凸レンズアンテナと球状レンズアンテナについて、60度の角度範囲で利得27dBiを実現するための高利得化開発を進め、より優れた特性のアンテナを選定する。また、目標利得12dBiと小型化を両立する中継デバイス用アンテナとして、平凸レンズアンテナの焦点距離を短縮した低姿勢化と、薄型プリント基板を用いた平面アンテナの開発を進める。また、これらについて、偏波多重のための直交両偏波や2次元ビーム走査についても、実現可能性を検証する。

### 1-b-②. ビーム連携制御技術

2022年度までに考案したビーム連携制御アルゴリズムを基に、複数の中継デバイスとの連携に対応した改良方式を考案する。また、ユーザ端末と中継デバイス間での連携情報および制御フロー等を策定し、ハードウェアへの実装方式を検討する。

### 1-c-①. テラヘルツフロントエンド実現技術

化合物半導体MMICの試作評価及び設計修正を継続し、MMIC単体の性能達成とMMIC実装パッケージモジュールの結合評価を行う。結合評価のインタフェースシステムを含めてテラヘルツ帯フロントエンドとしての試作を行い、試作装置への実装について実現の見通しを得る。

### 1-c-②. 中継デバイス実現技術

中継デバイスにおける復調処理が不要な送受切換制御の実現に向けて、2023年度は、考案したタイミング検出方式のハードウェア回路への実装方法を検討し、切換制御回路の一次試作を行う。研究開発項目1-c-①等で開発するRF部と接続し、測定器の信号を用いて切換制御回路の動作検証と課題抽出を行い、最終年度の機能拡張につなげる。

### 2-a. 超広帯域非線形歪み補償技術

電力増幅器から非線形歪み補償回路へのフィードバック信号の帯域幅を削減した場合の影響や計算量の削減などのハードウェア実装に関する課題を検討する。帯域幅を削減した場合においても平均EVMを17.5%以下とし、QPSKでの伝送が可能なことをシミュレーションで確認する。また考案した方式を用いた非線形歪み補償回路の具現化に向け、設計および一次試作を完了し、無線信号にて歪みが補償され、EVMが改善することを確認する。

### 2-b. 超広帯域ベースバンド信号処理

超広帯域伝送方式の具現化に向け詳細な検討及び設計を行い、4.8GHz帯域幅による伝送を実現する原理試作を行う。原理的に100Gbps級の伝送を実現できる構成として、4.8GHz 信号の10多重(5キャリアx2偏波)が可能なスケーラブルな構成とする。

### 3. 端末拡張型無線通信システム構築・制御技術

ユーザセントリックRANのアーキテクチャと制御手法を、10km四方を想定した広域環境へ適用するため、計算機シミュレーション及び検証基盤による実機での評価を通じて、高度化を進める。最終年度に向けて、仮想化端末のRANへの収容の実現手法を検討する。加えて、O-RAN向け規格必須候補特許を出願するとともに、ユーザセントリックRANのユースケースに関するO-RANでのWhite Paperへの入れ込み、今後、標準仕様化するためのアーキテクチャ提案の取り組みを行う。