

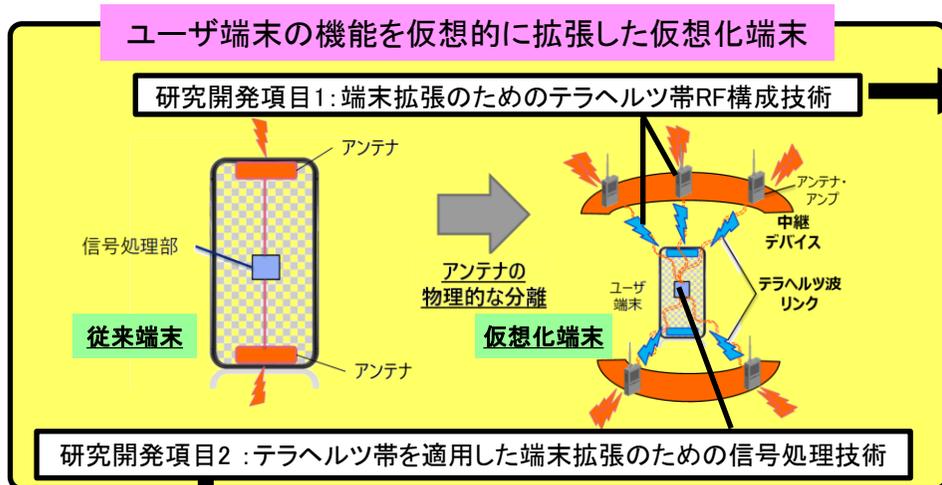
1. 研究課題・受託者・研究開発期間・研究開発予算

- ◆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、学校法人早稲田大学、学校法人千葉工業大学、国立大学法人名古屋工業大学、(株)日立国際電気、パナソニック(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3年度1,183百万円)

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應して、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



研究開発成果2-a. 超広帯域非線形歪み補償技術
超広帯域信号送信時に発生する複雑な非線形歪みの高精度な補償技術の確立が必要。
●非線形歪みのモデル化・補償方式を考案。3.7GHz帯の電力増幅器で信号帯域幅100MHzの場合に、既存方式よりも正規化平均二乗誤差を約2dB改善できることを確認。

研究開発成果2-b. 超広帯域ベースバンド信号処理
超広帯域ベースバンド信号処理を現実的な回路規模・構成で実現する設計が必要。
●300GHz帯において、 $-92\text{dBc}/\text{Hz}@1\text{MHz offset}$ 以下の位相雑音で、サブキャリア間隔120~480kHzのOFDM/DFT-s-OFDMにより位相雑音耐性と遅延波耐性の両立を確認。

研究開発成果1-a-①. 基本散乱・反射特性の計測とモデル化技術
建材や衣服などを想定した表面からのテラヘルツ波散乱のモデル化が必要。
●確率汎関数法にて、衣服等を想定した表面パラメータを設定して数値解析を実施。新規開発した散乱分布測定装置を用いた試験的な取得データと比較し、その有効性を確認。

研究開発成果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
人体近傍での電波伝搬特性評価を可能とする300GHz帯伝搬実験系の確立が必要。
●300GHz帯ハンドヘルド型送受信機の試作を実施。人体ファントム材料の複素誘電率をTHz-TDSとVNAにより評価し、300GHz帯での人体ファントム材料および試作方法を決定。

研究開発成果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
人体近傍のユースケースを想定した伝搬モデルの構築が必要。
●100GHz帯を用いた基礎実験から、頭部を楕円体で近似した際の曲率半径や人体表面の凹凸など、回折・散乱に寄与する環境パラメータの知見を得て、伝搬損失をモデル化。

研究開発成果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
ユーザ端末、中継デバイス近傍テラヘルツ波伝搬における時空間特性の明確化が必要。
●レイトレーシングにより、人体の反射・遮蔽作用を考慮したモデル化の必要性、及びFDTDにより、放射波・到来波の散乱作用による表現を変更する必要性を明確化した。

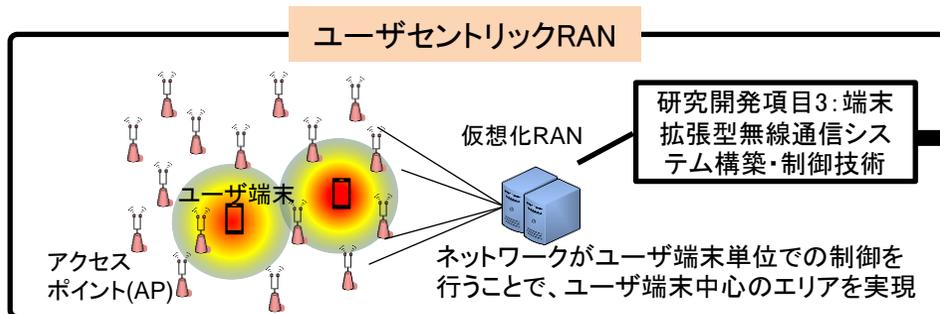
研究開発成果1-b-①. ビームフォーミングアンテナ技術
ユーザ端末や中継デバイスに搭載可能で、指向性走査可能な300GHz帯アンテナが必要。
●8個のホーンアンテナを一次放射器として給電した、直径10mmの平凸レンズによるマルチビームアンテナで、60度の角度範囲で21dBi以上の利得が見込まれることを確認。

研究開発成果1-b-②. ビーム連携制御技術
ユーザ端末と中継デバイスのビーム方向制御に必要な方位推定技術の確立が必要。
●重みづけ平均角度を用いたアルゴリズムを考案し、静止状態でのシミュレーションで、従来手法に対し方位推定時間を30%短縮し、方位推定誤差を1/2以下にできることを確認。

研究開発成果1-c-①. テラヘルツフロントエンド実現技術
テラヘルツ帯のトランシーバを実現し実証できる半導体開発と、サブシステム化の実現が必要。
●4.8GHzチャンネル幅×5の帯域に対応するRF送受信回路アーキテクチャを検討し、送受信回路を実現するための半導体回路設計を実施し、実現への見通しを得た。

研究開発成果1-c-②. 中継デバイス実現技術
無線システム内での仮想化端末動作に必要な中継デバイスの制御技術の確立が必要。
●中継デバイスにて復調処理が不要な送受切換制御の実現のため、フレームタイミング検出回路の評価を実施し、回路パラメータと入力信号の下限値等との関係の知見を得た。

3. 研究開発の成果(続き)



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
 ユーザ単位のネットワーク構築が可能なアーキテクチャ、及び計算機と無線資源を、ミリ秒単位で統合的に管理する手法の実現が必要。
 ●RAN仮想化技術を活用し、無線信号処理をユーザ単位に行うアーキテクチャを策定した。実機での実証基盤を開発し、AP Clustering導入による電力量削減に通じる計算量削減を示すと共に、無線信号処理機能の分散配置方法やその連携による制御の初期方式の有効性を示した。

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
13 (13)	0 (0)	1 (1)	37 (37)	0 (0)	4 (4)	0 (0)	0 (0)

※成果数は累計件数、()内は当該年度の件数です。

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

表面散乱・反射特性の解析と屋外利用に対応するために、散乱モデル構築と高速変動の検出を可能とする散乱分布測定装置の開発を行う。50mm/hまでの雨による散乱まで含めたモデルを構築し、複数の送受信器が同時に存在する場合のテラヘルツ帯大容量伝送システム設計手法を確立する。また、微弱散乱測定を実現する手段として進行波管増幅器の要素技術開発を行う。

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

人体近傍での電波伝搬特性評価を可能にするため、令和3年度に試作した300GHz帯ハンドヘルド送信機・受信機の実施、および、これらの無線機を使用した基本的な電波伝搬実験を実施する。また、電界分布計測半球スキャナを構築し、半球での到来方向推定が可能であることを実証する。令和3年度に選定した材料を使用した人体ファントムモデルを試作し、上述した300GHz帯ハンドヘルド送信機と電波伝搬自動計測システムを使用して、人体近傍の電波伝搬の基礎データを取得する。

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

300GHz帯における人体近傍の伝搬モデル構築に向けて、令和3年度に構築した100GHz帯の伝搬損失モデルを300GHz程度まで拡張する。素材や表面の凹凸等の精緻な情報から伝搬損失のモデル化に有効な環境パラメータを明らかにし、さまざまな通信シナリオにおける適用可能性を検証する。

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

引き続き、電磁界シミュレーション(レイトレーシング、FDTD)を用いて、時空間伝搬路(到来波遅延、水平面と垂直面の放射・到来角)の特性化を図る。また、これらの結果を1-a-①、1-a-②の実測値と照合し、その妥当性を確認する。さらに伝搬路の疑似発生法を考案し、1-a-③での伝搬損失特性との統合化を図る。

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

8個のホーンアンテナを一次放射器として給電した、直径10mmの平凸レンズを用いたマルチビームアンテナの測定結果を受けて改良設計し、試作して特性を実験により評価する。導波管スイッチとルーネベルグレンズアンテナおよび、平面型のマルチビームアンテナについて試作して特性を評価し、その測定結果を受けて再設計し試作品を実験により評価する。

1-b-②. ビーム連携制御技術

ユーザ端末と中継デバイス的高速なビーム連携制御の実現に向けて、令和3年度に考案した方位推定アルゴリズムに移動予測する改良を行い、1-b-①のアンテナパターンを用いて、移動状態においても静止状態と同等の精度で方位予測できることを確認する。また、ユーザ端末と中継デバイス間の連携制御に必要なものとなる、ユーザ端末と中継デバイスの通信頻度等の要件を策定する。

1-c-①. テラヘルツフロントエンド実現技術

令和3年度に方式設計を行った300GHz帯化合物半導体MMICを試作し性能および実装について評価を行う。それに伴い、テラヘルツ帯の回路設計と並行しミリ波帯(39GHz帯)のミリ波RF回路の設計及び試作も行う。なおプロジェクト2年目の中間評価として、測定器で生成したシングルキャリアの信号をトランシーバ送信部に入力した状態で送信RF部及び受信RF部の評価をおこなうとともに、シングルキャリア変調信号やマルチキャリア信号での劣化を定量的に評価するための指標を得る。また関連課題にフィードバックを行うと共に3年目以降のRF部の設計指針を構築する。

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、令和3年度に評価したタイミング検出回路の機能拡張と送受切換回路の追加設計を行い、シャドウイング等受信電力変動がある実用的な環境下での性能を評価する。また、低消費電力デバイスへ取付ける等のユースケースに適した利得制御特性を明らかにし、仮想化端末無線システムの特性評価を行う。

2-a. 超広帯域非線形歪み補償技術

引き続き、複雑な歪みの補償方法の検討を実施し、テラヘルツ帯の電力増幅器に適用、有効性を確認する。また中継デバイスにおける非線形歪みの補償方法についても検討を行い、複雑な歪みの補償方法とあわせて、ユーザ端末と中継デバイス間を多重化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確認する。

2-b. 超広帯域ベースバンド信号処理

無線波形候補に対する並列演算やスケーリングを考慮した回路実装手段の検討を行い、具体的な処理ブロック設計と論理シミュレーションによる検証を実施する。

3. 端末拡張型無線通信システム構築・制御技術

令和3年度に得られた、ユーザセントリックRANの制御手法の改良を行い、中間目標を達成する。目標の達成において評価に規模が必要な数値目標は計算機シミュレーションで行い、移動体通信システムとしての実現性を実機で確認する。加えて、検討で得られた内容について、O-RANでの規格必須となる候補の特許を出願するとともに、ユーザセントリックRANを標準仕様化するためのユースケース提案の取り組みを行う。