

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)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6年度までの総額4,075百万円(令和6年度840百万円)

2. 研究開発の目標

5台以上の中継デバイス経由で96 Gbpsの上りリンク物理伝送速度をハードウェアで示す。上りリンクのスループットが、1.5 Gbps以上確保可能な時間率を97 %以上とできることを計算機シミュレーションにより確認する。4台以上のユーザ端末が2つの品質要求を伴った通信を行っている状況において、実時間で動作することを確認する。

3. 研究開発の成果 ※ 研究開発項目ごとの成果は、次ページ以降に記載

仮想化端末(研究開発項目1及び2)

【目的】周辺デバイスがアンテナとなり、能力が拡大された端末の実現

【主な成果】

以下の考案した内容を適用した、仮想化端末の実機、シミュレーション評価により、

目標の96Gbpsの上り物理伝送速度の達成を確認

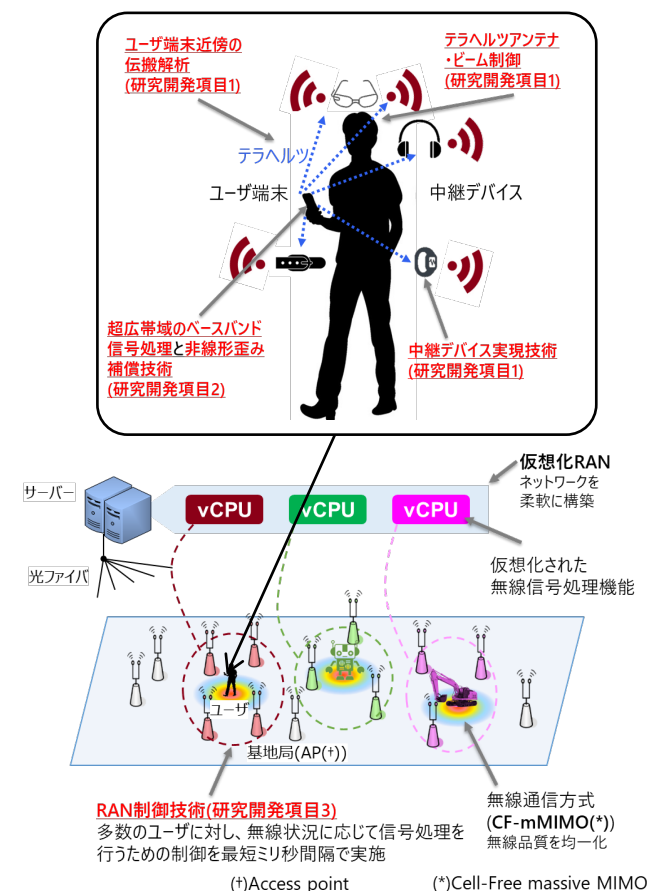
- 300GHz帯の散乱・回折特性を解析し、人体近傍伝搬モデルを構築
- テラヘルツ帯でユーザ端末に搭載可能で、ユーザ端末とAP間の距離100mで96Gbpsの伝送を達成する要求利得を満たす偏波共用球レンズ/平面アンテナを実現
- 慣性計測センサと人体の骨格推定を用いた中継デバイスの位置推定に基づくビーム制御手法を確立
- 非線形歪みを高精度で時系列データを補償可能なニューラルネットワークで補償する手法を確立
- 4.8GHzという広帯域に対応可能な仮想化端末のベースバンド部を実現

ユーザセントリックRAN(研究開発項目3)

【目的】ユーザ単位でCell-Free massive MIMOの無線信号処理を行うRANの実現

【主な成果】

- 分散・階層型でユーザ毎に無線信号処理を行う新たなRANアーキテクチャを策定
 - AIを活用したRANの統合制御手法を確立。また、今後の実用化に向けた取り組みを先んじて実施し、基地局間での位相同期手法や、大規模環境向けのRICの分散配置手法を確立
 - 10km四方、かつ池袋や新宿といった都心を想定した、大規模な環境を対象とした、計算機シミュレーション評価により、**目標の上りリンクスループットの時間率97%の達成**を確認
 - RANアーキテクチャに基づく実証基盤での実証により、**8台の端末に対して3個の品質要求がある場合に96%の品質要求の達成率を確認**。また、この際の制御時間が平均140msで、5Gでの移動に伴う制御時間(約100ms)と同等となり、**モバイル通信システムとしての実時間動作を確認**
 - O-RAN nGRGでユーザセントリックRANのユースケース、アーキテクチャをResearch Report化
- 2025年からの規格化に向けて、規格必須特許の候補を79件(内、海外33件)出願済み



3. 研究開発の成果(詳細)

テラヘルツ帯近傍伝搬モデル化(1-a)

ユースケースを想定

屋内環境および人体近傍

屋外近距離環境(5m以内)

計測技術の開発と実測

100/300GHz帯の散乱分布測定の実施(1-a-①)

人体近傍の電波伝搬統計データの自動計測系を実現(1-a-②)

電波の到来方向を自動計測する自走式半球スキャナを実現(1-a-②)

基本伝搬特性のモデル化

100GHz/300GHz散乱分布特性を解析(1-a-①)

300GHz人体遮蔽損失特性を解析(1-a-②)

解析結果から伝搬特性に支配的な環境パラメータを特定

伝搬損失・時空間特性のモデル化

環境パラメータの補正で実測との誤差の少ない100GHz/300GHz伝搬損失モデルを実現(1-a-③)

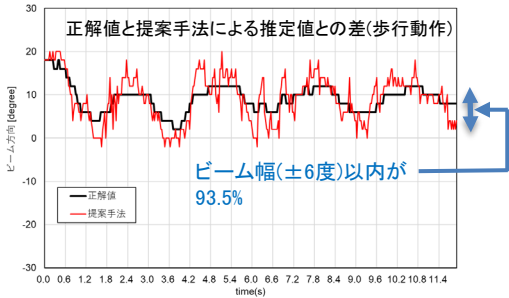
300GHz時空間パラメータを取得(1-a-④)

テラヘルツ帯アンテナ・ビーム制御技術(1-b)

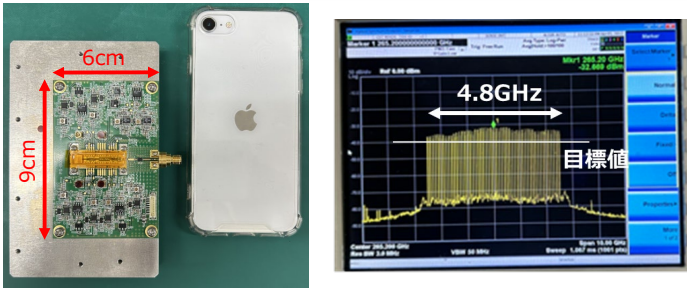
従来出来なかった高効率、高利得、小型低姿勢の平面アンテナを低損失誘電体基板により実現(1-b-①)



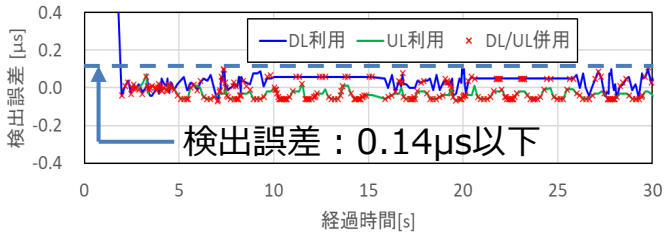
歩行動作時に90%以上の追従率を実現するTHz帯ビーム制御手法をIMUセンサ(慣性計測センサ)と受信電力を組み合わせる実現(1-b-②)



テラヘルツ帯フロントエンド・中継デバイス実現技術(1-c)



化合物半導体MMICチップを実現(1-c-①)

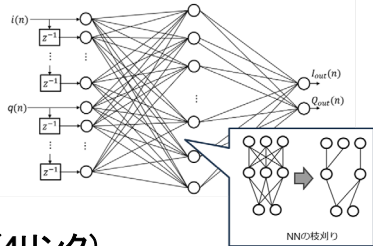
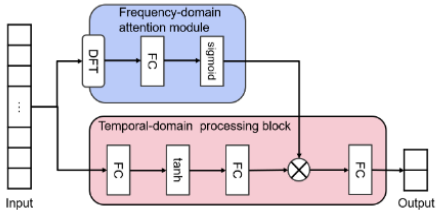


Cyclic prefix長0.59 μs以内の誤差という高精度で簡易な回路によるTDDタイミング検出手法を実現(1-c-②)

3. 研究開発の成果(詳細、続き)

超広帯域非線形歪み補償技術(2-a)

- ① QPSK伝送を可能とするEVM要件(17.5%)をテラヘルツ帯の4.8GHz帯域幅で達成する、高精度かつ低演算量で補償可能なAI歪み補償技術を実現
- ② 現在のFPGAの性能制約のもとで、4.8GHz幅のTHz帯におけるQPSKのEVM改善に成功

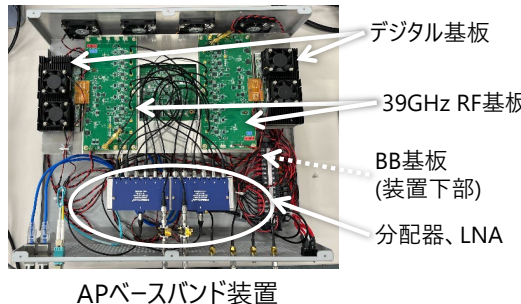
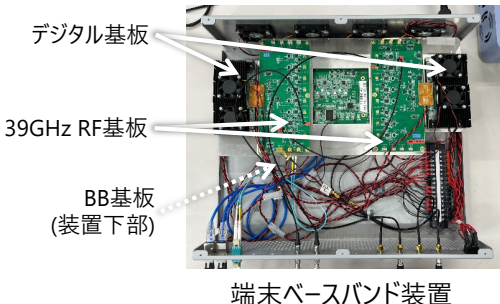


①EVM: 27.3%※⇒17.3%
※チャンネル等化時
EVM要件17.5%以内を達成

(4リンク)
②平均EVM: 29.0%⇒27.8%
FPGA性能制約下でもEVM改善を達成

超広帯域ベースバンド信号処理(2-b)

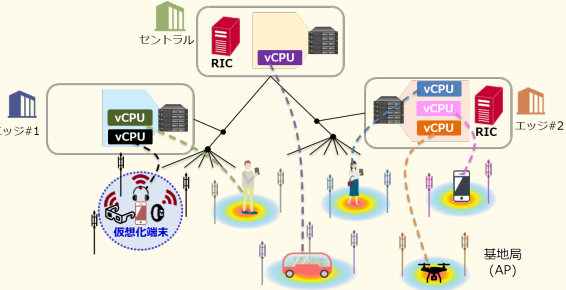
現行の5Gミリ波帯域幅を大きく上回る4.8GHzの帯域幅で、EVM 9.4%の変調精度(QPSK)によるベースバンド信号伝送を実現



端末拡張型無線通信システム構築・制御技術(3)

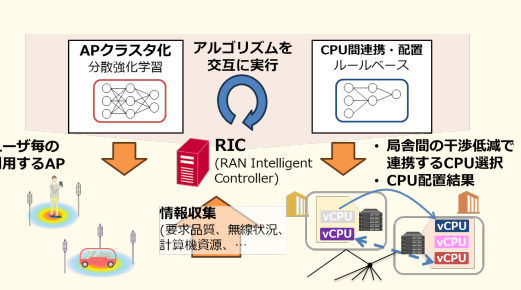
(a) RANアーキテクチャの策定

分散・階層型でユーザ単位の無線信号処理で、Cell-Free massive MIMOの大規模環境への適用、通信品質確保と無線信号伝送量の低減を実現



(b) RAN統合制御手法の確立

AIとルールベースの組み合わせで、大規模環境でユーザごとに通信品質を担保可能な手法を確立



(c) O-RAN標準化

- ユースケース、アーキテクチャをResearch Report化し、2025年後半からのインターフェイス規格化の前提を実現
- 規格必須特許の候補79件(内、海外33件)を出願済み

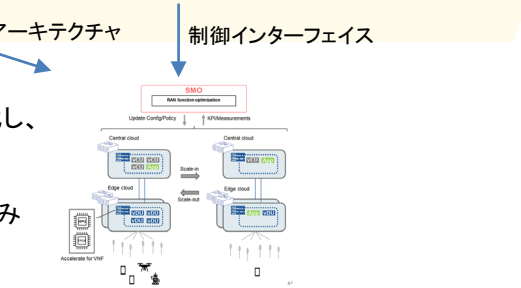
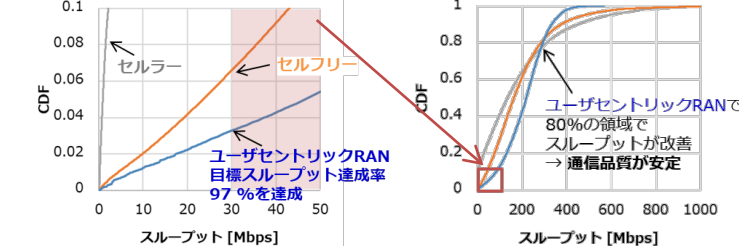


Figure 2-1 The concept of scalable and user-centric RAN architecture

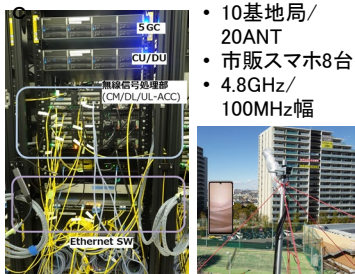
(d) 大規模環境の計算機シミュレーションでの有効性確認



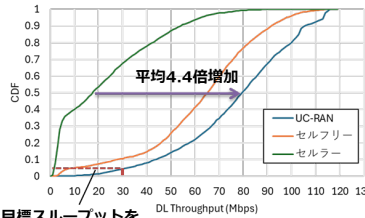
※ 周波数4.8GHz、100MHz帯域幅、上りリンクで評価
目標値: 4.8GHz帯域幅で1.5Gbps = 100MHz帯域幅で30Mbps

(e) 実機でのシステム実現性の評価

(a)(b)に基づく、実証基盤を構築



ユーザセントリックRANでの通信品質向上を確認



目標スループットを95%以上で達成

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
86 (22)	55 (9)	13 (8)	267 (76)	14 (6)	98 (0)	11 (1)	10 (5)

※成果数は累計件数、()内は当該年度の件数です。

- (1) 国内出願、外国出願ともに、最終目標(国内55件、海外7件)を大幅に超える件数を達成。特に研究開発項目3として出願した79件(内、海外33件)の特許は、その全てがO-RAN向けの規格必須特許の候補となっている。
- (2) 6G向けの検討が行われるO-RAN nGRGで、ユーザセントリックRANのユースケース、アーキテクチャがResearch Reportに掲載された。
- (3) 一般課題014「Beyond 5G通信インフラを高効率に構成するメトロアクセス光技術」と連携した実証で、第35回電波功績賞(ARIB会長賞)を受賞。
- (4) IEEE VTC2022 Fall Best Conference Paper Award、IEEE iWEM2022 Student Award、2023年度及び2024年度のアンテナ・伝播研究専門委員会やRISING研究会で優秀ポスター発表賞、ISAP2024 Best Student Paper Awards Second Prizeを受賞し、学術的な観点でも評価を得られている。
- (5) ワイヤレス・テクノロジー・パーク(WTP) に2022年度と2023年度に出展し、プレスリリースを合計5件行うことで、60件の報道が行われた。また、2023年4月及び6月に開催されたNICT「Beyond5G/6G 日独ワークショップ」への出展、電子情報通信学会ソサエティ大会の企業ブースで成果アピールを行った。更に、2024年10月に開催されたCEATEC2024のARIBブースにてパネル展示を行い成果アピールを行った。
- (6) 4年間の研究開発の中で、研究開発運営委員会を11回開催し、研究開発の進め方について委員から活発な議論が行われた。

5. 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

仮想化端末とユーザセントリックRANそれぞれに適した方法での取り組み

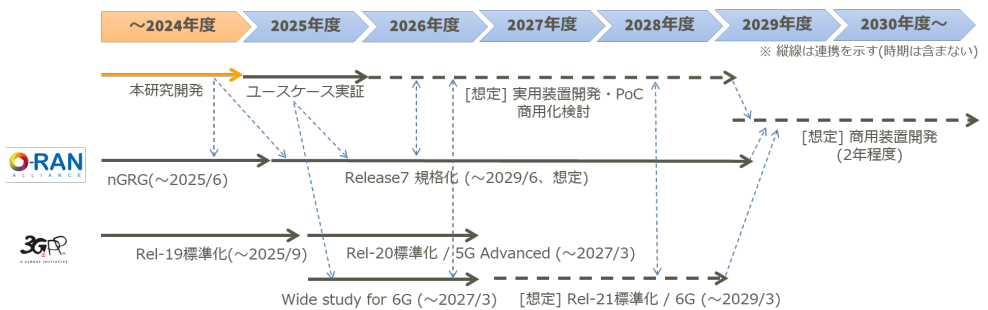
仮想化端末

直近では、得られた要素技術を応用しつつ、2030年代後半に想定される
超大容量通信に対するため、テラヘルツ帯の活用に合わせて実用化を目指す



ユーザセントリックRAN

AIやデジタルツインで必須となる、安定した品質の無線通信の実現に向けて、
O-RAN及び3GPPでの規格化を推進すると共に、
ユースケース実証、実用装置開発を進めていき、2030年以降の実用化を目指す



[1] J. M. Jorner et al., "The Evolution of Applications, Hardware Design, and Channel Modeling for Terahertz (THz) Band Communications and Sensing: Ready for 6G?," Proc. IEEE, pp. 1–32, 2024.
[2] https://www.nict.go.jp/publication/shuppan/kihou-journal/houkoku70-1_HTML/2024B-05-02.pdf