

先端国際共同研究推進事業

2024 年度採択

Top のための ASPIRE

通信分野

2024 年度

年次報告書（公開版）

研究課題名	無線テラヘルツ技術に関する国際研究イニシアティブ
日本側研究代表者	藤島 実 広島大学 教授
相手側研究代表者	•Piet Wambacq, Fellow, imec •Haris Gačanin, Professor, RWTH Aachen University •Aarno Pärssinen, Professor, University of Oulu •Predrag Spasojevic, Professor, Rutgers University •Wolfgang Bösch, Dean, Graz University of Technology
研究期間	2024 年 12 月 1 日～2030 年 3 月 31 日

1. 研究成果の概要

① 研究構想にかかる成果

<実施したこと>

本研究では、テラヘルツ帯における革新的な無線通信システムの実現に向け、フェーズドアレイ技術の基盤開発、性能均一化・高度化、さらにモビリティ応用等を含むシステム展開までを視野に入れた多面的な取り組みを進めた。今年度は、以下の3つの柱に基づく複数の研究グループによって、設計、評価手法の確立、システム構成要素の検討が着実に進展した。

1. フェーズドアレイ技術の基盤開発では、300GHz 帯における送受信機集積回路の設計および SOI-CMOS プロセスを含む高性能化技術の検討を進め、増幅回路の大幅な面積縮小や、バラン構造の特性向上が実現された。また、差動伝送線路の測定技術として電圧散乱行列とマルチライン TRL 法を統合した新たな評価手法の適用にも成功した。
2. 性能均一化と高度化では、DiCAD 伝送線路の精密な位相補正機能の実証や、電界ベクトル回転法による素子間遅延補正の提案により、フェーズドアレイの均一動作に向けた技術的基盤が整備された。加えて、ADC の量子化ビット数を抑えつつも高精度通信を実現するための信号処理技術や、ディープラーニングを活用したアンテナ構成最適化も推進された。アナログ・デジタルの融合に関しても、複数の自由度を活用することで最大 10dB の SNR 改善が得られることが示された。
3. システム展開に向けた応用研究では、基板構造の最適化と異種伝送路間の接続技術を含む平面アンテナ・パッケージ統合技術の評価が進んだ。さらに、ドローン等によるモビリティ通信のための時空間同期アルゴリズムを導入した適応飛行制御が開発され、従来比 3.5 倍の通信量増加が実証されたとともに、強化学習を用いた通信ビームおよび飛行制御の同時最適化により、18.8%の通信効率向上も確認された。また、ゼロオーバーヘッド通信に向けた時刻同期・位置情報活用型の通信制御方式の設計および性能評価も開始した。

<得られた成果>

今年度は、テラヘルツ帯フェーズドアレイ無線通信システムの実現に向けた各要素技術において、以下のような重要な成果を得た：

- 300GHz 帯トランシーバにおける増幅回路の面積 70%削減、伝送線路クロスに起因する性能劣化の解明と改善策提示。
- 電圧散乱行列および multiline TRL 法を統合した差動線路評価技術の確立。
- DiCAD 伝送線路を用いた精密な位相制御の実証、および電界ベクトル回転法による送信機素子間補正技術の開発。
- 1bit-ADC による 16QAM 伝送において誤り率を 1/100 に低減、ディープラーニングによるアンテナ間隔最適化技術の提案。
- アナログ・デジタル融合による SNR 換算 10dB 以上の通信特性改善。
- 高周波基板の伝送損失を従来の 0.8dB/mm から 0.2~0.3dB/mm に低減。
- モビリティ通信における超スポット通信検出と適応飛行制御の実証、強化学習を用いた最適制御により通信量を 18.8%向上。
- テラヘルツ帯ゼロオーバーヘッド通信に向けた時刻・位置情報同期制御技術の設計と基礎特性評価。

これらの成果により、回路・信号処理・アンテナ・システム応用までを一貫して統合可能なテラヘルツ通信技術の実用化に向けた基盤が大きく前進した。次年度以降は、これらの要素を統合したシステムレベルでの性能評価と実証実験へと展開する予定である。

② 国際ネットワーク構築・拡大に関する成果

<実施したこと>

1st International Workshop on Global Research Initiative for Wireless Technology (IGROW) を広島大学および東京農工大学の共催により開催した。海外の PI を含む 15 件の招待講演を実施し、100 名以上が参加した。

<得られた成果>

IGROW を通じて、海外 PI を含む 15 件の招待講演を行い、100 名以上の参加を得た。これにより、国内外の研究者間での連携強化が図られ、国際的な研究ネットワークの基盤が形成された。

③ 国際頭脳循環の促進に資する若手研究者の人材育成に関する成果

<実施したこと>

- 渡航実績（派遣・招聘）の詳細について、以下のとおり記載する。

【東京農工大学】

1. 招聘：Prof. Nuuti Tervo（オウル大学、フィンランド）
期間：2025 年 2 月 5 日～2 月 14 日
参加イベント：2 月 7 日（広島大学）、2 月 11 日・12 日（東京）GROW-THz ワークショップ、
2 月 10 日 ASPIRE キックオフミーティング
活動内容：2 月 13 日に東京農工大学を訪問し、ASPIRE 関連の研究打合せを実施。
2. 派遣：高木 梨名（学部 4 年生）
期間：2024 年 10 月 28 日～12 月 28 日
派遣先：オウル大学（フィンランド）
支援制度：東京農工大学の海外留学・派遣支援制度を活用
3. 派遣：渡部 凌（修士 1 年生）
期間：2024 年 12 月 5 日～2025 年 2 月 11 日
派遣先：オウル大学（フィンランド）
支援制度：同上
4. 派遣：Yau Hong LEOW（博士 1 年生）
期間：2024 年 12 月 16 日～2025 年 3 月 14 日
派遣先：マラガ大学（スペイン）
支援制度：同上
5. 派遣：石原 俊（博士 2 年生）
期間：2024 年 12 月 15 日～2025 年 2 月 16 日
派遣先：オウル大学（フィンランド）
支援制度：同上
6. 派遣：梅林 健太（教授）
期間：2025 年 1 月 26 日～2025 年 1 月 30 日
派遣先：オウル大学（フィンランド）
支援制度：同上

【広島大学】

1. 招聘：Prof. Predrag Spasojevic（ラトガース大学、米国）
期間：2025 年 2 月 4 日～2 月 14 日
参加イベント：2 月 7 日（広島大学）、2 月 11 日・12 日（東京）GROW-THz ワークショップ、

2月10日 ASPIRE キックオフミーティング

活動内容：2月8日に広島大学を訪問し、ASPIRE 関連の研究打合せを実施。

2. 招聘：Prof. Michael Gadringer（グラーツ工科大学、オーストリア）

期間：2025年2月4日～2月13日

活動内容：2月6日に広島大学で打合せを実施、2月7日（広島大学）、2月11日・12日（東京）GROW-THz ワークショップ、2月10日 ASPIRE キックオフミーティングに参加。

【東京理科大学】

1. 派遣：高野 恭弥 准教授

期間：2024年11月16日～2025年3月31日

派遣先：imec（ベルギー）

支援制度：東京理科大学在外研究支援制度の一部を活用

活動内容：Prof. Piet Wambacq の下で、D 帯フェーズドアレーレーダ用周波数逓倍器に関する研究を実施。

<得られた成果>

- 招聘（Prof. Nuuti Tervo）

GROW-THz ワークショップ（2/7、2/11、2/12）に3日間参加し、2件の招待講演を実施。多くの研究者と活発な議論を行い、共同研究の種が形成された。

- 派遣（高木 梨名）

オウル大学にて、Prof. Antti Tolli および Prof. Janne Lehtomaki と1bit-ADCを用いたSIMO通信に関する議論を行い、共同研究成果を国内学会に投稿。

- 派遣（渡部 凌）

同大学にて、Prof. Antti Tolli とビームフォーミングに基づく到来方向推定法について議論し、成果を国内学会に投稿。

- 派遣（Yau Hong LEOW）

マラガ大学において、Prof. Manuel Díaz らと、周波数利用の観測および予測技術に関するディスカッションを実施。

- 派遣（石原 俊）

オウル大学にて、Prof. Nuuti Tervo および Prof. Janne Lehtomaki と事前等化技術に関する議論を行い、共同研究成果を国内学会に投稿。

- 派遣（梅林 健太）

オウル大学にて、Prof. Aarno Pärssinen, Prof. Antti Tolli, Prof. Nuuti Tervo, Prof. Joonas Kokkonen らと共同研究及び、2025年度の派遣、招聘の計画を議論

- 招聘（Prof. Predrag Spasojevic）

GROW-THz ワークショップに3日間参加し、2件の招待講演を実施。国内研究者との連携を深めた。

- 派遣（高野 恭弥）

imec において、D 帯フェーズドアレーレーダ向け周波数逓倍器の設計・実装に関する研究を推進。現地の研究グループとの共同作業により、今後の国際共同研究に向けた基盤が整備された。

2. 研究実施体制

研究テーマ	中心となる研究者氏名	所属機関・部署・役職名
1. テラヘルツフェーズドアレイ技術の基盤開発	藤島 実	広島大学 教授
	天川 修平	広島大学 教授
	Piet Wambacq	Imec Fellow
	Wolfgang Bösch	TU Graz, Professor
2. テラヘルツフェーズドアレイの性能均一化と高度化	梅林 健太	東京農工大学 教授
	高野 恭弥	東京理科大学 准教授
	Aarno Pärssinen	University of Oulu, Professor
3. テラヘルツ通信システムの革新的展開	荘司 洋三	NICT 室長
	亀田 卓	広島大学 教授
	榊原 久二男	名古屋工業大学 教授
	Haris Gačanin	RWTH Aachen, Professor
	Predrag Spasojevic	Rutgers University, Professor

3. 代表的な業績（原著論文、プレスリリース、表彰など）

なし