

令和 6 年度研究開発成果概要書

採 択 番 号 07401

研究開発課題名 マイクロアクチュエータを用いたテラヘルツ帯コヒーレントトランシーバの開拓

(1) 研究開発の目的

テラヘルツ帯を用いた Beyond 5G(B5G)通信は、未来社会の神経網になるサイバー・フィジカル・システム(CPS)の基盤技術として注目され、Society5.0 の達成のための必要不可欠な技術とされている。本研究開発では、B5G 通信インフラの研究開発、そして普及を加速化する基盤技術として、さらなる高速・大容量・低遅延化、そして低消費電力化を目指したテラヘルツ帯コヒーレントトランシーバについて研究開発を行う。それで、高速移動体との通信時にも、高い信号品質を保ったまま、消費電力を低減できることを示す。また、その低位相雑音、低消費電力特性を活かし、近距離アプリケーションや室内空間における WPAN(Wireless Personal Access Network)通信へ応用できることを確かめる。また、マイクロアクチュエータの活用により、製造誤差による性能劣化を克服できることを明らかにする。

上記を踏まえて、本研究開発技術が今後光・電気融合回路の低電力フロントエンドコア部として適用できること、さらにマイクロアクチュエータ技術の活用が、複数のアンテナエレメントを用いて行う MIMO(Multi-Input Multi-Output)において、必要不可欠であることを示す。

(2) 研究開発期間

令和 4 年度から令和 6 年度 (3 年間)

(3) 受託者

国立大学法人東京科学大学 <代表研究者>

国立大学法人広島大学

学校法人東京理科大学

独立行政法人国立高等専門学校機構 徳山工業高等専門学校

マクセル株式会社

(4) 研究開発予算 (契約額)

令和 4 年度から令和 6 年度までの総額 299 百万円 (令和 6 年度 100 百万円)

※百万円未満切り上げ

(5) 研究開発項目と担当

研究開発項目 1 テラヘルツ帯フロントエンドの研究開発

研究開発項目 1-a) システム設計・検証 (国立大学法人東京科学大学・国立大学法人広島大学)

研究開発項目 1-b) モデリング・回路設計 (国立大学法人広島大学・学校法人東京理科大学・国立大学法人東京科学大学・独立行政法人国立高等専門学校機構徳山工業高等専門学校・国立大学法人広島大学)

研究開発項目 1-c) 実装設計 (学校法人東京理科大学・国立大学法人東京科学大学・国立大学法人広島大学)

研究開発項目 1-d) デモシステム設計 (独立行政法人国立高等専門学校機構徳山工業高等専門学校・国立大学法人東京科学大学・国立大学法人広島大学)

研究開発項目2 マイクロアクチュエータを用いた性能改善手法の研究開発

研究開発項目2-a) マイクロアクチュエータ（国立大学法人東京科学大学）

研究開発項目2-b) レドーム・空間フィルタ・吸収体（マクセル株式会社・国立大学法人東京科学大学）

研究開発項目2-c) 統合設計および検証実験（国立大学法人東京科学大学・独立行政法人国立高等専門学校機構徳山工業高等専門学校）

（6）特許出願、外部発表等

		累計（件）	当該年度（件）
特許出願	国内出願	22	11
	外国出願	10	8
外部発表等	研究論文	0	0
	その他研究発表	27	16
	標準化提案・採択	0	0
	プレスリリース・報道	5	2
	展示会	11	7
	受賞・表彰	2	2

（7）具体的な実施内容と最終成果

研究開発項目1：

研究開発項目1-a) システム設計・検証

- ①前年度試作の可動遅延装置を用い、受信部での位相雑音観測結果（Signal Source Analyzerにより測定）をフィードバックし、時間差分を制御することによって位相雑音の最適化が可能であることを検証した。
- ②上記の結果や回路、実装設計の評価結果を、システムシミュレーションにフィードバック、リンクバージェットの再導出のほか、システムシミュレーションソフト（Mathworks Matlab/Simulink, Keysight ADS, Cadence AWR など）を用い、より現実に近いシミュレーションを行った。
- ③標準化に向け、スペクトラムマスクなどを含め、提案トランシーバの性能条件の再検討を行った。

研究開発項目1-b) モデリング・回路設計

- ①SiGe BiCMOS プロセス(IHP G3)を用い、前年度まで検討してきた電力増幅器と周波数変換部構造を統合し、アップコンバータとして設計を行った。レイアウトを考慮したシミュレーションにおいて、内部LOの周波数を291.6GHzとしたとき、消費電力は400mW以下、最大出力としてRF(252GHz～281.6GHz)は10dBm以上、LOは6dBm以上達成できることを確認した。
- ②SiGe BiCMOS プロセス(IHP G3)を用い、前年度まで検討してきた低雑音増幅器と周波数変換部構造を統合し、受信機として設計を行った。レイアウトを考慮したシミュレーションにおいて、消費電力は40mW以下、変換利得10dB以上、雑音指数10dB以下が達成できることを確認した。
- ③CMOS プロセスを用い、双方向送受信機チップの設計・試作・評価を行った。また、CMOS プロセスを用いた300GHzアンプの設計も行った。
- ④前年度試作した要素回路チップ(SiGe BiCMOS/CMOS)の評価を行った。

研究開発項目 1-c) 実装設計

- ①CMOS パッド部を含めても帯域内での透過損失 3dB 以下、反射損失 10dB 以下の導波管変換器開発の設計・試作・評価を行った。さらに、マイクロアクチュエータを用いることで帯域のチューニングなどが可能であることを統合実験により確認した。

研究開発項目 1-d) デモシステム

- ①43dBi, 50dBi 級のアンテナ、50cm/s で動かせるリニアスライダなどを用いて 10 メートルでの測定も可能にしたが、SiGe BiCMOS プロセスによる送受信機でないと、16QAM 100Gb/s 無線通信モジュールとして完成ができなかったため、実際の評価は導波管直結構造を用い、送受信機の評価を行った。
- ②評価結果、送信機は内部 LO 周波数が 252GHz のときは(RF: 257GHz~273GHz)、最大 20Gb/s (QPSK)、246.9GHz のときは(RF: 251.9GHz~267.9GHz)は最大 40Gb/s (QPSK)、20Gb/s (16QAM)が達成できることを確認した。また、受信機は、上記送信機を用いて測定したとき、最大 6Gb/s (外部 LO: 246.9GHz, QPSK)通信が可能であることを確認した。

研究開発項目 2 :

研究開発項目 2-a) マイクロアクチュエータ

- ①アンテナ・レドーム位置制御用のアクチュエータの製作、評価を行った。
- ②最大変位 1mm のインパクトドライブ式アクチュエータを用い、導波管変換器の性能可変について再実験を行い、その結果をもとに、スペーサなどにおいて再設計・再測定を行った。
- ③小型化を実現するため、圧電素子を用いたマイクロアクチュエータを設計し、メンブレンを最大約 500 μm 可動させることに成功した。

研究開発項目 2-b) レドーム・空間フィルタ・吸収体

- ①広帯域吸収体設計・試作、周波数選択性表面(FSS)を用いた低損失・広帯域レドーム/空間フィルタ設計・試作・評価を行った。
- ②放熱性能を考慮し、セラミックを用いたレドーム、電波吸収体の設計・試作・評価を行った。
- ③トランシーバモジュールの性能可変のために、ストレッチャブルレドームの設計・試作・評価を行った。
- ④前年度試作したレドーム、電波吸収体における温度・湿度における信頼性試験を行った。
- ⑤製品化および将来的な標準化を見据え、300GHz 帯通信システムの開発を行っているグループに対して、提案素子に求められる性能要件等についての調査を実施した。

研究開発項目 2-c) 統合設計および検証実験

- ①簡易統合設計シミュレーションモデルの構築を行った。
- ②シミュレーションによりテラヘルツ帯送受信機における入出力インピーダンスセンシング機能について検証を行った。
- ③マニュアルアクチュエータによる回路性能チューニング用検証用の基板の設計・試作・評価を行った。
- ④アンテナ、レドームの位置制御による通信性能変化について実測により検証を行った。
- ⑤マイクロアクチュエータによる導波管変換器のインピーダンス可変について実測により検証を行った。

(8) 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

本研究開発を通じて、テラヘルツ帯コヒーレントトランシーバ、アクチュエータとの統合設計による補償技術、ならびにレドーム・電波吸収体などのテラヘルツ帯電波部材および実装技術に関して、計 25 件以上のシーズ技術を創出してきた。今後、本成果のさらなる社会実装および事業化を見据え、2025 年 2 月に設立したスタートアップへの技術移転を計画している。また、テラヘルツ帯電波部材および実装技術を基盤とした研究開発を継続・発展させるため、JST SBIR プロジェクトのフェーズⅡへの応募も予定している。加えて、研究成果の普及・社会展開に向けた取り組みとして、これまでに 10 件以上の展示会への出展を行い、YouTube 等の SNS を活用した技術情報の発信も積極的に進めている。さらに、大阪・関西万国博覧会の「共創チャレンジ」に参加し、Beyond 5G/6G 通信に関する一般向けの情報発信を行ってきた。2025 年 10 月には、万博会場内の TEAM パビリオンにて実機展示を予定しており、世界に向けた広範な情報発信を展開していく予定である。