

令和 4 年度研究開発成果概要書

採 択 番 号 00501
研究開発課題名 Beyond 5G 超大容量無線ネットワークのための電波・光融合無線通信システムの
研究開発
研究開発項目 1 光⇄テラヘルツ帯の相互信号変換技術及びトランシーバ技術
研究開発項目 2 高速光無線接続技術及び光無線トランシーバ技術
研究開発項目 3 無線信号配信のための光信号処理技術
副 題 超大容量超低遅延無線のための電波/光変換・制御技術

(1) 研究開発の目的

Beyond5G 超大容量超低遅延無線ネットワークのための「50Gbps/ch 級 THz トランシーバ」、「光無線技術」、「THz・光無線シームレス伝送システム」、「DSP 遅延低減伝送・信号処理技術」を開発する。特に、基幹光ファイバ通信ネットワークとの接続性・拡張性を担保しながら、移動体（ドローン、低速走行車）に高品位無線通信環境を提供する Beyond5G フロントホールコア技術を追究する。開発した電波・光融合技術を用いたフィールド実験を行い、Beyond5G 無線としての有用性を実証する。

(2) 研究開発期間

令和 3 年度から令和 6 年度（4 年間）

(3) 受託者

国立大学法人三重大学 <代表研究者>
株式会社日立国際電気
株式会社京都セミコンダクター
株式会社 KDDI 総合研究所
東洋電機株式会社

(4) 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 1,600 百万円（令和 4 年度 841 百万円）

(5) 研究開発項目と担当

研究開発項目 1 光⇄テラヘルツ帯の相互信号変換技術及びトランシーバ技術
1-a) テラヘルツ帯高周波 MMIC 開発 (日立国際電気)
1-b) テラヘルツ帯 MMIC 実装モジュール開発 (日立国際電気)
1-c) フォトダイオード素子開発 (京都セミコンダクター)
1-d) 光テラヘルツ波変換モジュール開発 (京都セミコンダクター)
1-e) 光ファイバ無線・小型トランシーバユニットの開発 (日立国際電気)
1-f) 光無線・テラヘルツハイブリッド伝送システム (KDDI 総合研究所)
1-g) 低速移動トランシーバ伝送試験 (日立国際電気)
研究開発項目 2 高速光無線接続技術及び光無線トランシーバ技術
2-a) 光無線トランシーバ技術 (東洋電機)
2-b) 移動局との通信を可能にする捕捉追尾技術 (東洋電機)
2-c) 光無線伝送中継技術 (東洋電機)
2-d) 小型、低コストの光無線トランシーバ (東洋電機)
2-e) オール光接続方式光無線の高信頼化技術 (KDDI 総合研究所)
2-f) 光無線・テラヘルツハイブリッド伝送システム (KDDI 総合研究所)

2-g) 低速移動体向け通信フィールド実証

(東洋電機/日立国際/京都セミコンダクター/三重大学/KDDI 総合研究所)

研究開発項目3 無線信号配信のための光信号処理技術

- 3-a) 低遅延信号配信デバイスの開発 (三重大学)
- 3-b) 端末位置推定技術の開発 (三重大学)
- 3-c) 超高速光変調デバイスの開発 (三重大学)

(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	2	1
	外国出願	1	0
外部発表等	研究論文	1	1
	その他研究発表	41	29
	標準化提案・採択	0	0
	プレスリリース・報道	6	0
	展示会	2	1
	受賞・表彰	1	1

(7) 具体的な実施内容と成果

研究開発項目1： 光⇄テラヘルツ帯の相互信号変換技術及びトランシーバ技術

- 研究開発項目1-a) テラヘルツ帯高周波 MMIC 開発
MMIC の修正設計後に試作を実施した。なお、試作評価にあたり、MMIC 評価設備系統について、評価方法やその条件に関する課題を克服し、より効率的な評価環境に改善した。なお、改造した評価環境を用い、素子部分を切り出した FET や小規模な回路を化合物半導体ウェハ上にて評価した。
- 研究開発項目1-b) テラヘルツ帯 MMIC 実装モジュール開発
1-a) 項で製作した化合物半導体 MMIC に適合するような、実装方式および実装モジュール形状の1次試作と評価を実施した。ハーメチック端子の伝送性能を確認し、実装形状における課題について知見を得た。
- 研究開発項目1-c) フォトダイオード素子開発
面受光型 UTC フォトダイオード素子の設計・試作に成功した。また、動作周波数帯域 70GHz を超える高速フォトダイオード設計・試作を行い、良好な特性が得られることを確認した。
- 研究開発項目1-d) 光テラヘルツ波変換モジュール開発
光テラヘルツ波変換モジュールの設計・試作を行い、DC~100GHz において良好な特性が得られることを確認した。
- 研究開発項目1-e) 光ファイバ無線・小型トランシーバユニットの開発
高速伝送ボードの試作を行い、システム系統上のインタフェース接続部分について評価を行い、来年度以降に実施する小型トランシーバユニットの試作装置実現の見通しを得た。
- 研究開発項目1-f) 光無線・テラヘルツハイブリッド伝送システム
光ファイバ伝送区間、光無線伝送区間およびテラヘルツ伝送区間からなるハイブリッド伝送システムについて、光ファイバ伝送区間の具体的な構成を導出した。データを一芯双方向で送受可能な伝送部の構築を完了し、同一光ファイバで光ツートーン信号をテラヘルツトランシーバに送信可能であることを確認した。また、光ツートーン信号による RF キャリア信号伝送に関しては、研究開発項目1-c) および1-d) を分担する京都セミコンダクターと連携実験を実施し、70 GHz の光ツートーン信号を同社が開発したフォトダイオードに入射して、トーン信号を抽出できることを確認した。また、100 GHz 光ツートーン信号生成の実証試験を完了した。来年度以降の統合システム実験に向けて、今後の進め方とスケジュールの協議を進めている。

研究開発項目2： 高速光無線接続技術及び光無線トランシーバ技術

• 研究開発項目 2-a) 光無線トランシーバ技術

光無線トランシーバの環境による影響を調査するため、実使用環境に近い屋外に装置を設置し、気象データ、視程データ、屈折率構造パラメータと共に、受信パワー、ビットエラーレートの計測を継続しデータ収集を行った。地表 1.5m、装置間距離 100m に設置した光無線トランシーバシステムとは別に、建屋の屋上（地表約 20m）、装置間距離 300m にて光無線トランシーバを設置し、環境データ・伝送品質データを取得できる実験環境を構築した。また、データ伝送速度を 10Gbps から 25Gbps とし、伝送品質を安定させる制御方法の検証試験を実施した。

光無線トランシーバの初期光軸調整時間の短縮のため、GNSS(Global Navigation Satellite System / 全球測位衛星システム)と AHRS(Attitude Heading Reference System / 姿勢方位基準装置)を組み合わせ、短時間に互いの方向を自動的に旋回させる仕組みを構築した。

• 研究開発項目 2-b) 移動局との通信を可能にする捕捉追尾技術

高速ステアリングミラーを使用した光無線トランシーバのビーム偏向技術について、実験機を製作、検証試験、問題点の抽出、対策案検証を繰り返し問題点の絞り込みを実施した。ビーコン光を通信光軸と一致させることで、通信可能エリアを拡大させることが実証できた。

ステアリングミラー以外として、電動雲台と組み合わせた光無線トランシーバの移動局との通信につき、GNSS+AHRS を使用して補足追尾技術を使用し実現できるかの確認を実施し、通信距離 100m にて互いの位置認識、追尾補足の可能性について確認することができた。

• 研究開発項目 2-e) オール光接続方式光無線の高信頼化技術

4 パスのうち 1 パスにおける環境変動例として角度ずれ・位置ずれを発生させ、SNR 偏差補償方式を適用し、最低品質の信号 Q 値が改善した結果を国際学術会議 ECOC 2023 に論文投稿し、口頭発表した。1 パスの光パワーが 20dB 減衰(1/100)しても、想定するエラー訂正閾値 Q 値を上回ることを確認した。また東洋電機と連携し、屋外設置が可能なオール光接続型光無線機器を設置し、接続試験を実施した。

• 研究開発項目 2-f) 研究開発項目 1-f)と同一項目、1-f)を参照

• 研究開発項目 2-g) 低速移動体向け通信フィールド実証

フィールド実証を行うためのシステムシステムの検討結果に伴い、必要な無線通信装置の数量など、無線側のシステム構成機器数などを決定した。なお、無線装置に実装する送受信インタフェースについては、高速伝送ボードを試作し送受信間の接続試験を行い、フィールド実証の実現に向けて知見を得た。

研究開発項目3： 無線信号配信のための光信号処理技術

• 研究開発項目 3-a) 低遅延信号配信デバイスの開発

光ファイバの分散効果を補償することができるプリコライジング光変調器の解析・設計を行い、デバイス設計法を確立した。また、プリコライジング動作における補償可能ファイバ長を調節するための装荷型変調電極構造の解析・設計と基礎評価実験を行った。

• 研究開発項目 3-b) 端末位置推定技術の開発

TDOA (Time Difference Of Arrival) 法と光ファイバ無線を用いた端末位置推定実験を行い、10cm 以下の端末位置推定精度が得られることを確認した。

• 研究開発項目 3-c) 超高速光変調デバイスの開発

テラヘルツ(~350GHz) 帯無線信号を受信して光信号に直接変換することができる超高速光変調デバイスの動作解析と設計を行った。また、光ファイバ分散と複数のレーザ光を利用して、テラヘルツ帯無線信号を復調することができる方法を考案して、基礎評価実験を行った。

(8) 今後の研究開発計画

- 超高速大容量伝送用 50Gbps/ch 級 THz トランシーバ、光無線トランシーバをそれぞれ開発する。
- 超多数同時接続、周波数資源有効利用のために THz と光無線を併用して、有用性を実証する。
- 光ファイバ無線技術を活用して THz 帯無線と光無線を融合する技術を開発する。

- 超低遅延伝送のために、DSP に頼らない光ファイバ伝送技術を開発する。
- 開発した技術を統合したフロントホールシステムを用いたフィールド実証実験を行い、社会実装のためのデータを取得する。社会実装協力者および各受託者の広報を通じた情報発信も鋭意実施する。