

令和 3 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 3 年度 759 百万円）  
※百万円未満切上

(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	1	1
	外国出願	1	1
外部発表等	研究論文	0	0
	その他研究発表	12	12
	標準化提案・採択	0	0
	プレスリリース・報道	6	6
	展示会	1	1
	受賞・表彰	0	0

(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 の回路設計および化合物半導体による MMIC を試作し動作を確認し、統計誤差・反復誤差を定量的に評価し知見を得た。また、試作した MMIC 等の性能評価システムを構築した。
- 研究開発項目 1-b) テラヘルツ帯 MMIC 実装モジュール開発  
 MMIC の設計に合わせて MMIC 用実装モジュールの形状を設計し、実装試作を行うことで、MMIC 実装モジュール実現の見通しを得た。また MMIC 実装モジュールの性能評価を行うための性能評価システムを構築し、今後の性能評価を効率的に行うための知見を得た。
- 研究開発項目 1-c) フォトダイオード素子開発  
 30GHz 帯域素子は完成し、30GHz 受信モジュールの試作を行い、動作確認の上、日立国際電気へ性能報告およびモジュールを提供した。また、70GHz 帯域素子は設計を概ね完了し、70GHz 帯域実現を念頭に置いた素子構造の最適化に対する知見を得た。
- 研究開発項目 1-d) 光テラヘルツ波変換モジュール開発  
 周波数帯域 70GHz を念頭に高周波特性の適切な実装方法の検証を行った。さらに、具体的な実装方法を決定してパッケージを試作し、帯域 70GHz に必要な伝送線路設計およびパッケージ実装方法の知見を得た。
- 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  
 高速データ伝送ボードを設計し一次試作した。なお、MMIC 実装モジュールとの接続方法を視野に入れたインタフェースを実現した。
- 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  
 光無線・テラヘルツハイブリッド伝送システム (以下「ハイブリッド伝送システム」) の構成法について、テラヘルツ伝送部の研究開発を担当する日立国際電気と協議の上で机上での基礎検討を実施した。光ファイバ伝送部では 25GbE×2 チャンネル× (上り・下り) からなるクライアント信号を 1.55 μm 帯の DWDM グリッド波長に変換し、一芯双方向伝送の構成とすることとした。また光部品を調査し、市販品のみで前記構成を実現可能であることを確認した。性能評価実験系についても、市販品の 25GbE テスタで構築可能であることを確認した。

## **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  
100 Gbps 級光無線トランシーバ開発のための、光結合技術、受光パワーフィードバック技術、光追尾技術の開発を行った。フィールド実験のために、屋外で光無線トランシーバの評価実験を行う系を構築して、環境変動による光無線通信特性の影響、長期安定性などの詳細なデータを 10 Gbps の伝送速度で取得した。
- 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  
移動局との通信に向け、光無線トランシーバと電動雲台との連携技術開発を行った。また、2 軸ミラーを用いた移動局通信の概念実験を実施し、その有効性を確認した。
- 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  
光学定盤上に、並列する 4 パスの空間光結合系を構築した。その 4 パスに信号を通し、信号間での信号雑音比(SNR) 偏差を補償する信号処理技術を適用したところ、信号品質偏差が 0.1dB 以内に補償できることを確認した。また、空間光結合系 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を発生させ、本 SNR 偏差補償方式を適用したところ、最低品質の信号 Q 値が改善した。想定するエラー訂正閾値 Q 値における角度ずれトレランスも拡大し、高信頼化への効果が確認された。
- 研究開発項目 2-f) 研究開発項目 1-f) と連携・共同で実施、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  
フィールド実証実験の準備として、社会実装協力者（株式会社CTY（ケーブルTV 事業社））との議論を複数回行い、5G/ローカル 5G との比較・切り分けや事業展開の可能性について意見交換を行った。さらに、実際のフィールドの例として、四日市市駅再開発事業および鈴鹿サーキットにおける無線通信環境・インフラを視察して、実証実験へ向けた準備を開始した。

## **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プリコライジング光変調特性のためのインパルス応答を解析して、光変調器に実装するための方式を考究した。また、プリコライジングにおける補償可能ファイバ長を調節するための構成についても検討した。
- 研究開発項目 3-b) 端末位置推定技術の開発  
無線端末位置推定のために、TDOA (Time Difference Of Arrival) 法を用いた対象物体位置検出基礎実験を行い、10cm 以下の端末位置推定精度を得る条件を明らかにした。
- 研究開発項目 3-c) 超高速光変調デバイスの開発  
テラヘルツ無線信号を受信して光信号を行うことができる超高速光変調デバイスの動作解析、設計を行った。120GHz 帯において良好な動作を得るための構成を見出して設計データを纏めて試作準備を進めた。

### (8) 今後の研究開発計画

- テラヘルツ帯トランシーバの試作・評価実験を行い、光ファイバ回線を用いたデータ伝送、ベンチマークテスト等を実施する。また、フィールド実験のための準備を進める。
- 光無線トランシーバとしては、通信速度 100 Gbps、通信距離 500m クラスを開発する。移動局としては、角速度 10 度/sec 程度の移動体への通信技術を開発する。フィールド実験では、実際に角速度 10 度/sec で移動するターゲットとの通信を試みる。
- 光無線・テラヘルツハイブリッド伝送システムにおいて、テラヘルツキャリアの周波数源となる光信号の発生方法と光ファイバ伝送部での伝送方式を確定し、光ファイバ伝送部の試作・性能評価を行う。
- 低遅延無線信号伝送のためのプリコライジング高速光変調器を開発して、テラヘルツ帯トランシーバとの接続・評価試験を行う。端末位置推定技術を用いたトランシーバ位置推定も実施する。さらに、超高速光変調デバイスを用いたテラヘルツ帯無線信号受信・伝送実験も行う。
- フィールド実証試験として、大型サーキットを第 1 候補として準備を進め、光無線およびテ

ラヘルツ無線通信の実証試験、光無線・テラヘルツハイブリッド伝送システムの評価実験に挑戦する。