

(1) 研究開発の目的

(2) 研究開発期間

(3) 受託者

(4) 研究開発予算（契約額）

(5) 研究開発項目と担当

1

2-g) 低速移動体向け通信フィールド実証 (東洋電機/国際電気/
デクセリアルズフォトニクスソリューションズ/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	10	5
	外国出願	2	0
外部発表等	研究論文	3	1
	その他研究発表	87	22
	標準化提案・採択	0	0
	プレスリリース・報道	12	6
	展示会	8	2
	受賞・表彰	6	1

(7) 具体的な実施内容と最終成果

➤ 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 の設計・試作・評価を実施した。特に、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、効率的な評価環境を構築した。構築した評価環境を用いて、FET や MMIC を化合物半導体ウェハ上で評価して、所期のテラヘルツ信号出力と帯域を確認した。
- 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 に適合する実装方式を考究して実装モジュールの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、実装時形状 (モジュールサイズ) および送受信特性について、所期の形状と性能が得られることを確認した。
- 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。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。さらに、100GHz 級導波路型フォトダイオード素子の設計を完了した。
- 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、システム系統上のインタフェース、小型トランシーバユニットについて、試作・評価を行い、形状および通信速度について、所期の特性を確認した。
- 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・構築して、所定の特性が得られることを確認した。また、100 GHz 帯光ツートーン信号をデクセリアルズフォトニクス製 UTC-PD で RF キャリアに変換して、国際電気製テラヘルツ伝送システムで周波数を3通倍することで300 GHz 帯テラヘルツキャリアを生成した。これを、5~25 Gbit/s OOK データ信号とミキシング・変調して、空間伝送する実験を実施し、エラーフリー伝送を確認した。

➤ **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

光無線トランシーバ内部の制御速度を高速化するため、制御回路、ソフトウェアの改良を実施した。改良した光無線トランシーバを距離 500m で設置し、ネットワークテストにより伝送品質の確認試験を実施したところ、通信速度 100Gbps にてビットエラー率 10^{-9} 以下の結果を得た。また、光無線トランシーバ間距離 700m に延ばしても、ビットエラー率 10^{-9} 以下の結果を得た。当初の目標値であった、通信距離 500m 以上において、伝送速度 100Gbps の伝送に成功した。

また、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、お互いの位置、および方向を把握することで、光無線トランシーバの初期光軸調整時間を短縮す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

移動局との通信を行うため、光ビーコンを追尾する機構を構築した。昨年度まで実施していた、小型ステアリングミラー方式に替え、大口径ミラーをモータにより駆動する機構を内製化することで、光ビーコンの検出範囲を広げることになった。この光ビーコン補足追尾技術にて角速度 10 度/秒の追尾を確認することが可能となった。また、ミラーの駆動機構につき独自設計をおこなうことで、検出範囲は水平方向 300 度、垂直方向 60 度を得ることができた。

• 研究開発項目 2-c) 光無線伝送中継技術

固定局間の通信距離の延長を目指し、光無線トランシーバを直列接続し伝送品質測定実験を実施した。光無線トランシーバの中継部には、EDFA(エルビウム添加光ファイバ増幅器) を接続し、光無線トランシーバ間の挿入損失を補う構成とした。中継の有無により、伝送品質に差異がないことを確認した。この結果より、光無線トランシーバを中継することで通信距離 1km が可能なことを確認できた。

• 研究開発項目 2-d) 小型、低コストの光無線トランシーバ

光無線トランシーバの形状を目標値の 20cm×20cm×30cm 内に収まる構造で設計製作を行い、小型形状の光無線トランシーバにて、各種検証試験、フィールド実証試験を実施し目標を達成することができた。また、市販の電動雲台を使用して光無線トランシーバのビームステアリングを行っていた機構を専用設計に切り替えシステム全体としてコスト低減を実現した。

• 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

4 パス全てに東洋電機製の光無線トランシーバを導入した場合でも SNR 偏差補償方式が動作することを確認した。また、並列する 1 パスが信号断となっても通信を継続可能な方式について、確立したアルゴリズムの受信コードの内部設計と機能実装を行った。リアルタイムオシロスコープでアナログデジタル変換した波形信号を用いて、オフライン信号処理により本機能を動作実証した。

• 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

2024 年 10 月に鈴鹿サーキットおよび四日市市 CTY 社において、フィールド実証実験を実施した。サーキットコース内の 350m 離れた 2 地点に光無線トランシーバを設置し、さらに、一方の光無線トランシーバを既設 SM 光ファイバ(55km) に接続して、遠隔地(四日市市) に大容量データを双方向でシームレスに伝送・評価する実証実験を行った。サーキットでのオートバイレース実施中に、多視点(4ch) 4K 動画を撮影して非圧縮 4K 映像 4ch 信号を生成して、光無線トランシーバ、SM 光ファイバ(55km) を介して遠隔地(四日市市) に伝送して、100Gbps 級大容量データの低遅延伝送が可能であることを実証した。

2025 年 3 月に三重大学講堂において、低速移動体との THz 無線通信フィールド実験を行った。THz 無線トランシーバを自律走行する警備ロボットに実装して、警備ロボットが収集した大容量データを、THz 無線を用いて高速かつ低遅延で伝送できることを実証した。

➤ **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

光ファイバの波長分散による信号劣化を補償することができるプリイコライジング光変調器の設計・試作実験を行った。試作した光変調器を～20Gbps・PRBS 信号で駆動して評価実験を行い、プリイコライジング動作を確認した。補償する光ファイバ長を可変とするための誘電体／金属板装荷変調電極の評価実験を行い、±10%以上調節可能であることを実証した。

• 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、2次元空間および3次元空間において 10cm 以下の推定精度が得られることを実証した。

• 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設計・試作を行った。3次元アンテナ構造およびメタサーフェス構造を利用した新型光変調デバイスを考案して、解析および試作により基礎特性評価を行った。さらに、開発した光変調デバイス (無線-光信号変換デバイス) と光ファイバ分散、複数レーザ光を利用して、新たに考案した無線信号復調技術の評価実験を行い、DBPS 信号の復調実験に成功した。

(8) 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

- プロジェクトで開発した 300 GHz 帯 50Gbps/ch 級 THz トランシーバ、光無線トランシーバについて、学会や論文誌、展示会で情報発信を行う。特に、フィールド実証実験の成果を報告して、新たなユースケース開拓を狙う。また、ベンチマークテスト等の評価を継続して、ロボット・鉄道や、サーキット等の大規模集客イベントにおける臨時設営通信システム等への応用展開を追求する。
- 開発した THz トランシーバと光無線トランシーバの相互接続性やスケラビリティについても情報発信に務める。
- 超低遅延伝送のために開発したプリイコライジング変調器、無線-光融合デバイス、ステルス光変調デバイスについても研究開発と情報発信を継続する。
- 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継続する。