

## 1. 研究課題・受託者・研究開発期間・研究開発予算

- ◆研究開発課題名 大電力伝送光ファイバ無線による高効率無線通信システムの構築
- ◆受託者 学校法人慶應義塾、国立大学法人電気通信大学
- ◆研究開発期間 令和4年度～令和6年度 (3年間)
- ◆研究開発予算 (契約額) 令和4年度から令和5年度までの総額200百万円 (令和5年度100百万円)

## 2. 研究開発の目標

空孔コアファイバを伝送媒体とする、一波長あたり+30 dBm以上、4波長以上の光無線信号および給電光伝送が可能な大電力伝送アナログ-Radio over Fiber (RoF)システムを実現する。

経済的な光給電アンテナを多数配置し、セル半径の狭小化に伴う収容ユーザ数の削減より、無線資源の有効利用に寄与する。

## 3. 研究開発の成果

### ①大電力伝送光ファイバ無線用光ネットワーク構成法

空孔コアファイバによる、大電力アナログRoF + 光給電の実現

1-a) 大電力多波長光ファイバ無線用光回路技術  
1-b) 大電力多波長光ファイバ無線用光伝送システム技術

### 研究開発目標

- +30.8 dBm、32Gbps光信号を4kmの空孔コアファイバで伝送し、ペナルティフリーで受信
- コム発生系、コム線間引回路、多波長遅延制御回路を構成

### 研究開発成果

空孔コアファイバで、信号劣化なしに+ 32 dBmの5G NR信号による光ファイバ無線信号の伝送に成功

シリカコアファイバ +25.5 dBm入力  
空孔コアファイバ +32 dBm入力

1 km光ファイバ無線伝送後のコンスタレーション

### ②高機能光無線融合型高効率無線通信システム構成法

多数の光給電アンテナを使いこなす高機能アナログRoF制御の実現

目標: 高負荷時と比べて低負荷時に1/10程度の消費電力

RoFのネットワーク化

### 研究開発成果

スイッチドRoF PoCの構築 (Sub6 L5Gシステム、RoFモジュール、MEMS光スイッチ)を完了

慶應大のオープンラボ実験室に敷設空孔コアファイバケーブルを準備

慶應大学新川崎タウンキャンパス 神奈川県川崎市幸区新川崎7-1

4. 特許出願、論文発表等、及びトピックス

国内出願	外国出願	研究論文	その他研究発表	標準化提案・採択	プレスリリース 報道	展示会	受賞・表彰
4 (4)	0 (0)	1 (0)	23 (20)	0 (0)	0 (0)	4 (4)	3 (3)

※成果数は累計件数、( )内は当該年度の件数です。

- 2023年4月 電子情報通信学会フォトニックネットワーク研究会で招待講演
- 2023年7月 28th Optoelectronics and Communications Conferences (OECC 2023)で招待講演
- 2023年9月 慶應義塾大学キャンパス内に空孔コアファイバケーブルを敷設
- 2024年2月 International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC 2024)で招待講演
- 2024年3月 電子情報通信学会フォトニックネットワーク研究会で特別招待講演
- 2024年3月 電子情報通信学会フォトニックネットワーク研究会でPN若手研究賞、PN学生奨励賞、PN学生ワークショップ優秀発表賞を受賞

5. 今後の研究開発計画

- (1) 大電力伝送光ファイバ無線による高効率無線通信システムを構築するために必要な光回路に関して次の研究開発を実施する。
- (i) シリコン導波路を利用して変調器、波長合分波器と遅延回路を集積した遠隔ビームフォーミング用多波長遅延制御光回路を試作する。遅延回路の動作検証を実施する。年度内に試作が可能であれば、改良設計を行い、2次試作を行う。
  - (ii) シリコン光回路による遠隔多チャンネルアンテナ用光回路の設計と試作を行う。年度内に試作が可能であれば、改良設計を行い、2次試作を行う。
  - (iii) シリコンフォトニクス回路を利用し、8チャンネル以上の大規模ビームフォーミング回路の設計を行い、スケールアップの見通しを得る。
  - (iv) シリコンフォトニクス回路を利用した波長選択光スイッチ型と空間光スイッチ型の遠隔多チャンネルアンテナ用光回路を構成する。
  - (v) 空孔コアファイバ結合装置は、波長数4として、各入力+30 dBm以上、合波出力+36 dBm以上の大電力信号を送出可能とする。
- (2) 大電力多波長光ファイバ無線用光伝送システムの実証に関して、以下の研究開発を実施する。
- (i) 光給電RoF伝送系の構築・評価として、昨年度製作した光給電アンテナモジュールを使用し、RoF信号および給電光が空孔コアファイバを同時伝送するための伝送系を構築する。給電光は光給電アンテナモジュールに入力されることで、外部電源なしで駆動する光給電アンテナを実証する。併せて、RoF信号の伝送特性評価も実施し、空孔コアファイバを用いた光給電RoF伝送の有効性を明らかにする。
  - (ii) 偏波無依存変調器を用いた上りRoF伝送系の構築・評価として、偏波無依存性を有するPLZT光変調器を用いた上りRoF伝送系の構築を行う。この構成では、上りRoF信号の生成に必要な種光源はRadio Unitに配備し、アンテナサイトには変調器だけを配備し、リモート変調を行うことで、アンテナ側の省電力化および簡素化を実現する。実際にPLZT光変調器を組み込んだ、リモート変調構成を導入し、2.5 GHzのキャリア周波数を用いた基礎伝送実験を実施し、伝送特性評価によって、その有効性を明らかにする。これと併せて、最適な変調器構成や下り伝送で実施するキャリア周波数5G NR信号への適用可能性についての検討も行う。さらに、汎用光変調器と偏波ダイバーシティ構成を活用した上りRoF伝送系の構築・評価も行い、提案手法との比較評価も実施する。
  - (iii) 光給電RoF・ビームフォーミング無線伝送系の構築・評価として、光給電RoFを4チャンネル構成にし、光給電RoF・ビームフォーミング伝送系を構築し、空孔コアファイバの伝送特性評価を実施する。また、伝送した無線信号を用いて、5G NR信号のビームフォーミング無線伝送実験を行い、その有効性を明らかにする。さらに、光周波数コム生成回路や遅延制御光回路を組み込んだ統合実験を行い、本研究開発を介して、空孔コアファイバの光ファイバ無線伝送への有効性を実証する。

- (3) 高機能光無線融合型高効率無線通信システム構成の実証のための以下の研究開発を実施する。
- (i) 階層化マルチセルモバイルフロントホールアーキテクチャ制御アルゴリズム検討・評価として、構築したシミュレータを用いて、省電力アルゴリズムを用いない場合と比較して最終目標である1/10以上の省電力効果が得られる条件を明確にするとともに、端末移動やユーザ収容率を考慮したより効率的なアルゴリズムの検討を行う。また、階層化セルを用いたネットワーク冗長化による高信頼アプリケーションのシミュレーション評価を行う。
  - (ii) 高機能RoF(スイッチドRoFシステム・マルチスポットRoFシステム)プロトタイプ構築として、階層化マルチセルモバイルフロントホール・スイッチドRoF・マルチスポットRoFの制御実験PoC及び5G環境での実証実験PoCを拡張する。
  - (iii) 総合制御実験として、オーケストレータプロトタイプと高機能RoF PoCを連携させ、階層化マルチセルモバイルフロントホールネットワークが実現できることを実証する。
  - (iv) PoCを利用したオープンイノベーション推進として、けいはんな情報通信オープンラボにおいて、相互接続性検証ワーキンググループの新設プロジェクト活動を実施し、慶應大学新川崎タウンキャンパスに構築する総合実験を利用した通信キャリア、システムベンダーとの実用化に向けた議論を実施する。
- (4) 応用物理学会・レーザ学会・日本光学会・電子情報通信学会等の各種大会研究会・シンポジウム、国際会議IPOP2024、ICTON2024、PSC2024、IEEE Summer Topical、ECOC2024、SC2024、IEEE Photonics Conference、ICETC2024、Net-Centric2024、Photonics West2025、OFC2025等の学会での研究成果論文発表・展示発表を行う。