

令和 6 年度研究開発成果概要書

採 択 番 号 07101

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

(1) 研究開発の目的

本研究開発では、現在広く利用されているシングルモードファイバ(SMF: Single Mode Fiber)ではなく、新規に開発が進められている光ファイバである空孔コアファイバを伝送媒体とすることで、多数のアンテナへの給電という課題を解決することを目指す。空孔コアファイバは、従来の 1/1000 の低非線形性、1000 倍の光損傷しきい値、低遅延特性を有している。このため、高 Signal to Noise Ratio (SNR) で大電力のアナログ-Radio over Fiber (RoF) が構成可能となる。さらに、別の波長帯を利用して給電用の光の伝送も可能となる。技術的には、空孔コアファイバを伝送媒体とする大電力伝送光ファイバ無線技術確立し、基地局の Radio Unit (RU)-アンテナ群を無線給電(光給電アンテナ)で経済的に接続する高効率無線通信システムを実現することを目的とする。

(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

学校法人慶應義塾<代表研究者>

国立大学法人電気通信大学

(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 300 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 大電力伝送光ファイバ無線用光ネットワーク構成法の研究

研究開発項目 1-a) 大電力多波長光ファイバ無線用光回路の研究 (学校法人慶應義塾)

研究開発項目 1-b) 大電力多波長光ファイバ無線用光伝送システムの研究(国立大学法人
電気通信大学)

研究開発項目 2 高機能光無線融合型高効率無線通信システム構成法の研究

研究開発項目 2-a) 高機能光無線融合型高効率無線通信システム構成法の研究(学校法
人慶應義塾)

(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	4	0
	外国出願	0	0
外部発表等	研究論文	2	1
	その他研究発表	65	42
	標準化提案・採択	0	0
	プレスリリース・報道	0	0
	展示会	9	5
	受賞・表彰	7	4

(7) 具体的な実施内容と最終成果

研究開発項目1：大電力伝送光ファイバ無線用光ネットワーク構成法の研究

研究開発項目1-a) 大電力多波長光ファイバ無線用光回路の研究

石英導波路による4チャンネル多波長遅延制御回路を試作し、28 GHz 信号に対して高精度に遅延制御できることを実証した。また、25 GHz 周波数間隔光周波数コム発生回路とコムライン間隔を100 GHz に間引く光周波数コム分波回路を試作した。消光比40 dB 以上である。多波長遅延制御回路出力を増幅し、一波長あたり+30 dBm、4波長で+36 dBm の光強度の28 GHz 帯 QPSK 信号を4km の空孔コアファイバに入力し、伝送できることを実証した。シリコンフォトリソ技術を利用し、4チャンネルビームフォーミング用多波長遅延制御回路を試作、実装した。また、8チャンネル、16階調ビームフォーミング用多波長遅延制御回路を設計した。

研究開発項目1-b) 大電力多波長光ファイバ無線用光伝送システムの研究

空孔コアファイバの優位性を示すべく、大電力伝送の詳細な特性評価を実施した。これにより、アナログ RoF (A-RoF) 信号において、これまでに報告のないファイバ入力パワー+36 dBm を超える無歪信号伝送を達成することに成功した。さらに、光給電アンテナを想定した構成では、+40 dBm を超える給電光と A-RoF 信号の同時伝送に成功した。光伝送システムの上り伝送については、位相変調器を用いた偏波ダイバーシティ構成を採用することで、種光源の偏波に依存しない高い伝送特性とアンテナ側の大幅な省電力化に成功した。さらに、光給電のみで駆動する5G NR 変調 A-RoF 信号に対応した光給電アンテナを実現し、これを4台組み合わせたビームフォーミング回路を構成し、ビームフォーミング動作の検証を行った。これにより、光給電の有無によらず、高い伝送・ビームフォーミング特性が得られることを明らかにし、本研究開発項目で目標にしていた空孔コアファイバを用いたビームフォーミング回路の有効性を示した。

研究開発項目2：高機能光無線融合型高効率無線通信システム構成法の研究

研究開発項目2-a) 高機能光無線融合型高効率無線通信システム構成法の研究

階層化マルチセルモバイルフロントホール構成の省電力化アルゴリズムを提案し、シミュレーションにより、スリープを行わない場合と比較して最大で使用セル数が1/15程度に減少することを確認した。また、自動運転車両通信向けの改ざん攻撃に対応した階層化マルチセルモバイルフロントホール構成を活用した高信頼化アルゴリズムを提案し、シミュレーションにより改ざんの検知と緩和が可能であることを確認した。光スイッチ及び光カプラを活用して、アナログ RoF (A-RoF) の接続先を制御する、階層型マルチセルモバイルフロントホール構成である、スイッチド RoF、マルチスポット RoF に対して、シミュレーションによる省電力効果の検証を進めるとともに、コンセプト実証システムを構築し、WiFi 及びローカル 5G を用いた実アプリケーションによる実証を完了した。空孔コアファイバを用いた、光給電型 A-RoF アンテナのコンセプトシステムを構築し、ライブデモンストレーションを実施した。省電力化制御アルゴリズムを実装したシミュレータとスイッチド RoF/マルチスポット RoF 実験システムを組み合わせたスマートモバイルフロントホール PoC を構築。制御アルゴリズムに従って、DU とアンテナの接続先を変更させての安定動作に成功した。これにより、階層化マルチセルモバイルフロントホールの実現性を確認した。

(8) 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

実用化に向けて、空孔コアファイバの性能向上、長尺化、コネクタや融着等の周辺技術開発を促進するため、アナログ RoF (A-RoF) への適用だけでなく様々な適用可能性を示して、企業における研究推進の動機付けをしたい。また、大学での研究を継続し関連する技術課題解決の先払いを行いたい。光学的あるいは電氣的な遠隔ビームフォーミングに必要なデバイス開発、光給電デバイス開発を進めてきたが、周波数帯域の有効活用に有用な技術であり、製造販売などの具体的社会実装に進めるよう企業との連携を深めたい。

今後は慶應義塾未来ネットワークオープン研究センターの仕組みを利用して、キャリアや装置ベ

ンダーとの共同実験実施など本提案の有用性をより明確にして社会実装への端緒を探りたい。空孔コアファイバは、短距離伝送路の光通信システムから市場投入されることが考えられる。本プロジェクトの A-RoF もその一つであるが、空孔コアファイバの超多分岐アクセスネットワーク、超低遅延データセンタネットワーク、周波数標準・クロック分配ネットワークなどへの適用も有用である。本プロジェクトで得られた知見をこれらの研究開発に水平展開していく予定である。

国内外の研究会や国際会議での研究発表、学術論文への投稿、様々な展示会での発表を進めてきたが、今後も継続して研究成果の広報に務める。