

令和 3 年度研究開発成果概要書

採 択 番 号 20701
 研究開発課題名 Beyond 5G に向けたモバイル収容大容量光アクセスインフラの研究開発
 副 題 Radio-over-Fiber 型伝送技術をベースとする Beyond 5G モバイルフロントホールの研究開発

(1) 研究開発の目的

本研究では Beyond 5G 時代のモバイルサービスを収容するために、RoF・IFoF 伝送方式をベースとした光アクセスインフラの研究開発を実施する。具体的な目標性能として、eMBB のピークスループット 100Gbps と URLLC の遅延量 100 μ sec を両立可能であり、かつ経済的に優れた MFH を構築可能な技術を確認する。また、究極的な RoF 型伝送システムを構築可能であるフルコヒーレント伝送方式について、その実現時期を見極めることで、今後の関連研究開発の戦略策定の一助とする。

(2) 研究開発期間

平成 30 年度から令和 3 年度 (4 年間)

(3) 受託者

株式会社 KDDI 総合研究所<代表研究者>
 三菱電機株式会社
 国立大学法人東北大学

(4) 研究開発予算 (契約額)

平成 30 年度から令和 3 年度までの総額 400 百万円 (令和 3 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 : 光・無線融合デバイス・サブシステム

- 1-1. 100 Gbps 級広帯域光・電子融合周波数分離デバイス技術 (三菱電機株式会社)
- 1-2. 上り無線信号の高密度多重処理技術 (株式会社 KDDI 総合研究所)
- 1-3. 無線・光信号変換デバイス技術 (三菱電機株式会社)
- 1-4. 光・無線融合アンテナ技術 (株式会社 KDDI 総合研究所)

研究開発項目 2 : RoF・IFoF 伝送システム

- 2-1. 双方向光・無線伝送システム技術 (株式会社 KDDI 総合研究所)
- 2-2. 適応的空間電波周波数割り当て技術 (株式会社 KDDI 総合研究所)

研究開発項目 3 : フルコヒーレント光・無線融合伝送基盤技術

- 3-1. フルコヒーレント RoF 伝送方式の開発 (国立大学法人東北大学)
- 3-2. フルコヒーレント周波数変換および光・無線融合伝送の実証 (国立大学法人東北大学)

(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	15	2
	外国出願	5	0
外部発表等	研究論文	3	0
	その他研究発表	49	19
	標準化提案・採択	1	1
	プレスリリース・報道	1	1

	展示会	3	1
	受賞・表彰	2	1

(7) 具体的な実施内容と最終成果

研究開発項目 1：光・無線融合デバイス・サブシステム

研究開発項目 1-1 100 Gbps 級広帯域光・電子融合周波数分離デバイス技術（三菱電機株式会社）

デジタルダウンコンバージョン方式について、周波数シフト機能・ハーフバンドフィルタ機能・デシメーション機能部を含む、実証用デジタル回路設計を完了した。また、設計したデジタル回路の単体評価を行った結果、単一チャネルでQPSKなどの多値変調信号を分離するのに十分な線形性を確認し、1 μ sec以下の処理遅延で動作することを確認した。さらに、IFoFシステムとの併用を想定したOFDM-16QAM信号の4ユーザ分離実験を行い、十分な品質11.22%以下で分離可能であることを実証した。

研究開発項目 1-2 上り無線信号の高密度多重処理技術（株式会社 KDDI 総合研究所）

800MHz帯域幅のIF信号を最大で10チャネル周波数軸上で多重する（一部アナログ処理あり）FPGAベースの周波数多重化機器を開発した。開発機器の単体評価で、遅延10 μ sec以下での多重処理を確認した。研究開発項目 2-1 のIFoF伝送技術と連携し、上り50Gbps級伝送の実現可能性を確認した。研究開発項目 1-1 の周波数分離デバイス技術と連携し上下双方向IFoF伝送実験を実施した。

研究開発項目 1-3 無線・光信号変換デバイス技術（三菱電機株式会社）

既存の無線ネットワークで主流の電気・光変換デバイスの約2倍の伝送容量を目指し、電気・光変換部の光学及び高周波設計を行いO帯のデバイス試作機の作製および評価系の構築ならびに特性の評価を実施する一方でT帯を利用する通信波長帯拡大に向けてT帯光源装置の変調特性評価を実施した結果、O帯及びT帯の光波長帯拡張と、実効20Gbps以上の周波数帯域を実証した。

研究開発項目 1-4 光・無線融合アンテナ技術（株式会社 KDDI 総合研究所）

昨年度までに開発を完了させていた、39-40GHz帯対応の光無線融合アンテナの設計を用いて、光無線End-to-End伝送試験を実施した。その結果、無線区間伝送を含むトータルの品質として、EVM8%未満を達成した。またアンテナに実装した、位相制御器の動作スピードを計測し、100 μ sec未満で切り替え可能であることを確認した。

研究開発項目 2：RoF・IFoF伝送システム

研究開発項目 2-1 双方向光・無線伝送システム技術（株式会社 KDDI 総合研究所）

80GHz以上のRF信号を想定した、上下双方向IFoF伝送方式、下りTwo tone/上りIFoF伝送方式の適用可能性を確認した。また、研究開発項目 1-1 で開発した信号分離器と、研究開発項目 1-2 で開発した信号多重器の両者を用いた実証実験を実施した。この実験において、上りリンク96Gbps超、下りリンク120Gbpsを達成した。

研究開発項目 2-2 適応的空間電波周波数割り当て技術（株式会社 KDDI 総合研究所）

各周波数において、波長分散によるアンテナ放射角のずれの見込みに関する机上検討を完了させた。また、チャンネル品質を通知する従来の手法に加えて、光区間の品質もフィードバックし、上記の課題を解決する手法について、特許出願も完了した。

研究開発項目 3：フルコヒーレント光・無線融合伝送基盤技術

研究開発項目 3-1 フルコヒーレントRoF伝送方式の開発（国立大学法人東北大学）

光注入同期型フルコヒーレント周波数変換回路の構成を簡素化するために、本回路内で用いていた光周波数シフタを送信側に移し、キャリア周波数から予めIF周波数分だけ周波数シフト

したパイロットトーンを生成する手法を新たに提案した。さらに本伝送系を用いて、注入同期キャリア周波数変換法と従来のセルフヘテロダイン法との性能比較を行い、256 QAM 伝送において 6 dB のロスバジェット拡大を実証した。

研究開発項目 3-2 フルコヒーレント周波数変換および光・無線融合伝送の実証（国立大学法人東北大学）

研究開発項目 3-1 における簡素化した光注入同期型キャリア周波数変換回路を用いるとともに、高利得なアンテナを用いることにより光・無線融合フルコヒーレント伝送における無線伝送距離の拡大を図った。その結果、8 Gbaud、64～256 QAM (48～64 Gbit/s) 信号の SMF 10 km、無線 (60GHz 帯) 40 m フルコヒーレント伝送に成功した。

(8) 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

研究開発項目 1：光・無線融合デバイス・サブシステム

製品化・応用展開については、オープンイノベーションを活用した複数企業による DSP 開発や、コアネットワーク・メトロネットワーク向け DSP のバイプロダクトとしての開発を推進し、市場への早期導入及び先行者利益の獲得を図っていく予定である。また、特許等の知的財産権については、オープンイノベーションをベースとしたコンソーシアムを形成し、他社参入阻止を図っていく。本研究課題で開発したデバイス技術に関しては、事業所と連携した量産化に向けた働きかけを継続していく予定である。また、2021 年度より始動した一般課題 014 「Beyond 5G 通信インフラを高効率に構成するメトロアクセス光技術の研究開発」に展開し、柔軟な RAN 構築に資する技術として発展させ、今後も積極的に本課題に関わるデバイス技術・信号処理技術に関して学会発表を行う予定である。

本課題で実施した DSP 技術に関連する研究を今年度から着手した一般課題 014 において、柔軟な RAN 構築に資する技術への発展に向け技術課題の解決を進める。本課題で得られた成果および、課題 014 で得られた成果を活用し、継続的に国際学会等で発信することで学術分野への貢献を果たす。また、Beyond 5G におけるモバイルフロントホールに関わる市場規模は 5 年後以降に 1000 億円規模になるとの予想があり、このような大きな市場規模に対して、本課題を含む上記のようなプロジェクトで得られる DSP 技術・デバイス技術の実用化・量産化を進め、低コストかつ利便性の高い通信インフラの提供に貢献する。

研究開発項目 2：RoF・IFoF 伝送システム

標準化については、まずは 5G を想定したモバイルフロントホール向け RoF 技術をターゲットとし、ITU-T G.9803 Amendment2 の作成に向けた寄書提案を行い、勧告文書に反映することができた。2020 年代後半に、6G 要求仕様の大枠が確定した段階またはそれと並行して、6G モバイルフロントホール向け RoF 技術の標準化議論を開始する。その中で、本プロジェクトの研究成果に関連する寄書提案を行う予定である。

広報（対外発表）については、本プロジェクトおよび別プロジェクトでの RoF 技術に関する研究成果を、国内外の学会で積極的に発表してきた。一般課題 014 において、IFoF/RoF 技術を用いたモバイルフロントホールに関する研究を継続し、今後も積極的に学会発表を行う予定である。国際会議での post deadline paper 採択時等大きな研究成果が得られた際には、新聞発表等も行う予定である。また、展示会等も活用し、実機を用いたデモを通して、広く RoF 技術の周知を図る予定である。

成果の産業応用については、上記の広報（対外発表）や標準化活動を通して、基地局ベンダや光伝送機器ベンダに 6G では RoF 技術が有効であることをアピールしていく。オペレータ、基地局ベンダ、伝送機器ベンダが連携して、RoF 技術商用化時の課題抽出、解決策を検討する必要があると思われるが、その点については標準化団体間のリエゾン等を上手く活用することも考える。

研究開発項目3：フルコヒーレント光・無線融合伝送基盤技術

研究成果については、ホームページを通じて積極的な発信に努めるとともに、毎年実施している研究所の一般公開やオープンキャンパス等の大学のイベントにおいても装置の展示やパネル等を通じてアピールする。また、光注入同期回路をはじめとするフルコヒーレント伝送用デバイスに関し、小型・集積化等、実用性の向上に向けて課題を抽出していく。

本研究開発で得られたフルコヒーレント方式の原理実証結果を踏まえ、今後は、小型アンテナを用いたフルコヒーレント伝送、マルチキャリア信号の光・無線融合伝送、WDM-PONによる複数アンテナへの配信等、Beyond 5G, 6Gにおいて想定されるより具体的な仕様に基づく研究開発を継続して進めていく。さらに、フルコヒーレント伝送技術を今後100 GHz以上の無線周波数にも展開していく。