

令和 5 年度研究開発成果概要書

採 択 番 号            22402  
研究開発課題名      次世代コアと Beyond 5G/6G ネットワークのためのプログラム可能なネット  
                                ワークの研究開発  
副            題            高信頼・大容量 End-to-end 接続を提供する次世代プログラマブル光=無線統合  
                                ネットワーク

(1) 研究開発の目的

超大容量・低遅延・高信頼に加え、多様な要求に応じるための柔軟性を備え、知的・的確にコントロールされる、プログラマブルな光=無線統合ネットワークの実現に向けた研究開発を実施する。

(2) 研究開発期間

令和 4 年度から令和 7 年度 (36 か月)

(3) 受託者

国立大学法人東海国立大学機構<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 7 年度までの総額 45 百万円 (令和 5 年度 15 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    超大容量プログラマブル光コアネットワークの研究開発

- ・研究開発項目 1-1…コア=エッジネットワークにおける統合光パス制御手法の開発と実証 (東海国立大学機構)
- ・研究開発項目 1-2…可変密度多重および混合粒度ルーティングによる光ネットワーク大容量化 (東海国立大学機構)
- ・研究開発項目 1-3…ペタビット級超多ポート光ノードアーキテクチャ (東海国立大学機構)

研究開発項目 2    光ファイバ給電で基地局を駆動するパッシブ光ネットワーク

- ・研究開発項目 2-1. 光ファイバ給電パッシブ光ネットワーク構成法 (電気通信大学)
- ・研究開発項目 2-2. 新規光ファイバを用いた光ファイバ給電系 (電気通信大学)

(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	0	0
	外国出願	0	0
外部発表等	研究論文	3	3
	その他研究発表	30	25
	標準化提案・採択	0	0
	プレスリリース・報道	0	0
	展示会	0	0
	受賞・表彰	5	4

## (7) 具体的な実施内容と成果

### 研究開発項目 1 超大容量プログラマブル光コアネットワークの研究開発

#### ・研究開発項目 1-1…コア=エッジネットワークにおける統合光パス制御手法の開発と実証

令和4年度では事前に予測した通信需要発生確率に応じて強化学習の考えに基づき光パス配置を行う手法の検討を行った。その際、従来主に用いられている、ネットワークの状態を、ネットワーク内の構造そのままに学習器への入力データとして使用する直接的な試みに比べ、我々が開発したノード間の最大フロー及びそのバリエーションを状態推定値として用い制御に反映させる間接的な方式がより安定的かつ優れた性能を達成することを明らかにした。令和5年度では最大フローの評価箇所を増やしてネットワーク容量の推定精度を向上させ、更にエラスティック光パスにおいて変調方式を伝送条件に応じて変化させる方式を導入した場合におけるネットワーク容量推定及びネットワーク制御手法の開発を行った。この問題は数学的には極めて難しいものであるが、最適値からのギャップが大きくないこと、その際のネットワーク制御性能が良好であることを確認した。

#### ・研究開発項目 1-2…可変密度多重および混合粒度ルーティングによる光ネットワーク大容量化

光ファイバ内の帯域を区分し、多重密度を変更する方式について検討を進めたが、異なる多重密度を混在させることによる損失が抑制しがたいということが明らかになってきたため、ネットワーク内を2つの階層に分離し、階層ごとに異なる粒度でのルーティングを行う方式を導入した。この方式は、名古屋大学と日本電気株式会社が共同研究を実施して生み出したものであり、迂回路として機能する階層と、通常の経路制御を行う階層を組み合わせ、それらをノード間の光ファイバで接続することで、波長選択スイッチを経由する伝送特性の劣化を抑制することに成功している。そこで、階層分割を行う上でのアルゴリズムを開発し、検証を行った。基本的な性能評価を実施して、令和6年度の国際会議での発表に結実している。

#### ・研究開発項目 1-3…ペタビット級超多ポート光ノードアーキテクチャ

令和4年度に当初計画よりも先行して本項目を実施しており、令和5年度に更なる発展を目指して研究開発を継続した。複数の周波数帯域を用いるマルチバンド伝送がこの数年注目を集め、従来のシングルモードファイバの伝送特性を向上させるものとして検討が進められているが、周波数帯域ごとに大規模波長選択スイッチなどのデバイスを用意し、帯域分離用フィルタと併用して複数周波数帯域に分散する信号を処理する必要があった。しかし、大規模かつ様々な周波数帯域に対応した波長選択スイッチは高価である。そこで、令和4年度には光パスグループ化と経路制御を分離し、ネットワーク設計アルゴリズム側でノード内の構成を陽に用いてノードの能力に見合ったネットワーク設計を実施するという方針を打ち出した。提案構成では周波数帯域ごとに用意した小規模な波長選択スイッチを用いて周波数帯域ごとに信号をグループ化し、グループごとに一度集約の上、周波数依存性のない一般の光スイッチで経路制御している。令和5年度ではフル実装時の入出力数がそれぞれ128に達する超大容量プロトタイプノードの一部を実現し、伝送実験を行った。伝送容量を優先した高次の変調フォーマットを使用した際にはノードの総スループットは4.71Pbpsに達し、また伝送距離を優先した場合にも周波数帯域毎に2000kmの伝送が可能であることを明らかにした。

## 研究開発項目2：光ファイバ給電で基地局を駆動するパッシブ光ネットワーク

### ・研究開発項目2-2…新規光ファイバを用いた光ファイバ給電系

昨年度提案した純シリカ内部クラッドで構成された新規ダブルクラッド光ファイバを用いた際の信号光と給電光の光合分波回路の構成に関する検討を行った。これまでのダブルクラッド光ファイバでは、2重コアの内側に信号光、外側に給電光という構成から、複雑な合分波回路を必要とした。これに対し、今年度は、新しいダブルクラッド光ファイバの低NA（開口数）を活用した空間系光波長フィルタ型の光合分波回路を構成し、従来の光分波回路よりも簡易かつ低損失な性能が得られることを実証した。次年度にかけて、詳細な伝送特性評価を実施していく予定である。もう一案の光合分波回路として、光エネルギーを電気エネルギーに変換する光電変換素子の透過特性を利用した光合分波回路を構成し、特性評価を行った。実験により、光電変換素子を透過する信号光が高い信号品質を有し、同時に伝送した給電光は光電変換素子で電気エネルギーに変換されることを明らかにした。また、動的な光ファイバ電力制御の評価については、ネットワーク構成に即した応答特性の評価を実施するために、実際に使用可能な給電光源を用意し、次年度以降、詳細な応答特性の評価が可能な評価系を構築した。

### ・研究開発項目2-4…光ファイバ給電パッシブ光ネットワークの構築

光ファイバ回線で基地局を駆動するための電力線として活用する、新たな光ファイバ給電光パッシブネットワークの構築の検討を行った。EC-スプリッタ間を構成する光ファイバとして、異コア径マルチコアファイバやSMFとMMFのバンドル構成の検討を行い、後者で検討すすめていくことを決定した。また、US側のジョージワシントン大学とは光ファイバ給電パッシブ光ネットワークにおけるコスト・消費電力に関するネットワーク評価を実施するため、実際の構成に即した使用デバイスのコストや消費電力の詳細な調査を実施し、これを基に、ネットワーク評価のパラメータを明らかにした。次年度は、今年度の成果を基に、実際の光ファイバ給電パッシブネットワークを構築する。

## (8) 今後の研究開発計画

令和5年度から継続して各研究開発項目内で必要な研究を着実に実施しつつ、令和6年度での研究終了を意識して国際連携に注力する。研究開発項目1においてノースカロライナ州立大学との連携を中心にエッジとコアの協調動作に向けた研究開発を進め、研究開発項目2では新たな光ファイバの特性を考慮した最適配置法の定式化と解法の開発をジョージワシントン大学と進める。定期的なオンライン会議を中心に、情報共有と成果発表を促進する。

## (9) 外国の実施機関

ジョージワシントン大学・ノースカロライナ州立大学（いずれも米国）