

令和 3 年度研究開発成果概要書

採 択 番 号 00201  
研究開発課題名 Beyond 5G 超大容量無線通信を支える空間多重光ネットワーク・ノード技術の研究開発  
研究開発項目 1 SDM 光ネットワーク・ノード設計技術  
研究開発項目 2 SDM 光ネットワークシステム技術  
研究開発項目 3 SDM 全方向光増幅技術  
研究開発項目 4 SDM 空間光スイッチ技術  
研究開発項目 5 SDM 高密度配線・接続技術  
副 題 経済性と転送性能に優れた空間多重光ネットワーク基盤技術の研究開発

(1) 研究開発の目的

現在の 4G/5G モバイルサービスは世界中に張り巡らされた光ファイバインフラを用いた光ネットワーク基盤上に構築されており、将来の Beyond 5G (B5G) モバイルサービスも引き続き光ネットワークが支えることに疑問の余地はない。将来の B5G モバイルサービスが発生する莫大なモバイルトラフィックを支える B5G 時代の光ネットワークには、超大容量性と経済性・保守性・柔軟性の両立が求められる。本研究の目的は、これらの要求条件を満たしうる光ネットワーク基盤技術を開拓し、将来の B5G モバイルサービスを支える光ネットワークの実現に資することである。

(2) 研究開発期間

令和 3 年度から令和 6 年度 (4 年間)

(3) 受託者

国立大学法人香川大学<代表研究者>  
株式会社 KDDI 総合研究所  
日本電気株式会社  
サンテック株式会社  
古河電気工業株式会社

(4) 研究開発予算 (契約額)

令和 3 年度から令和 4 年度までの総額 1,600 百万円 (令和 3 年度 800 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 SDM 光ネットワーク・ノード設計技術 (国立大学法人香川大学)  
研究開発項目 2 SDM 光ネットワークシステム技術 (株式会社 KDDI 総合研究所)  
研究開発項目 3 SDM 全方向光増幅技術 (日本電気株式会社)  
研究開発項目 4 SDM 空間光スイッチ技術 (サンテック株式会社)  
研究開発項目 5 SDM 高密度配線・接続技術 (古河電気工業株式会社)

(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	5	5
	外国出願	0	0
外部発表等	研究論文	1	1
	その他研究発表	11	11
	標準化提案・採択	1	1
	プレスリリース・報道	3	3
	展示会	1	1
	受賞・表彰	1	1

(7) 具体的な実施内容と成果

研究開発項目 1 SDM 光ネットワーク・ノード設計技術

陸上系・海底系 SDM ネットワークに必要な接続性を実現可能な SXC アーキテクチャならびに収容設計アルゴリズムを検討した結果、陸上系についてはコア競合の有無が空間資源利用効率とノードコストに与える影響についての一定の知見を得た。海底系については分岐ケーブル資源を削減可能な海底分岐ユニットとコア割り当てアルゴリズムを考案し、OFC にて発表した。CSS の多コア化について、MCF のコア数増大と MCF 束の採用の 2 つのアプローチについて検討を進めた結果、項目 4 と 5 と連携して、19-CF CSS の予備検討と 5-CFX3 CSS の試作・評価を完了し、後者について OFC にて発表した。また、2022 年度に実施する SDM ネットワーク一次実証実験の構成と SXC、構築部材の仕様を検討した。

研究開発項目 2 SDM 光ネットワークシステム技術

FIFO (入出力デバイス) なしのオールマルチコア中継伝送システムに必要となるキーデバイスとして、4 コア利得平坦デバイス、4 コアファイバ可変カプラ等に関する基本仕様策定を完了し、一次試作を完了した。評価用テストベッドに関しては、送受信系及び SDM リンクの基本部分について構築を完了した。SDM 光ネットワークシステムに関連する標準化活動の一環として、ITU-T SG15 における TR.sdm (空間分割多重伝送用光ファイバ・ケーブルに関する技術レポート) の検討については、NTT、線材協会、KDDI、NEC の連名により、技術レポートの各章の記載内容 (SDM の適用効果、構成要素技術や試験方法の分類など) について共同提案し、審議の結果、提案内容が合意された。また、2022 年度に実施する SDM ネットワーク一次実証実験の構成仕様について、研究開発項目 1 のメンバーと共に検討した。

研究開発項目 3 SDM 全方向光増幅技術

伝送方向無依存光増幅器の基本的構成として、コア毎の伝搬方向固定ですべて同一方向に伝搬されることに対応できることと定め、これまでに研究実績のあるコア数 7 のクラッド励起方式に対応したマルチコア光増幅器をベースとした検討を行った。励起レーザ、励起光合分波器、光増幅媒体等が入出力間で対称となるように配置し、これまで単方向での検討のみであったマルチコア光増幅器のクラッド励起方式について、双方向での励起が可能となるよう実装、光増幅特性を含めた動作検証を行った。その結果、設計した基本的構成にて双方向でのクラッド励起が可能となること、従来前方クラッド励起マルチコア光増幅器に比べて利得を 1.9dB 改善できることが明らかになった。光増福利得、雑音指数評価結果から、従来のシングルコア光増幅器と同様な励起方向依存性が得られることを明らかにした。励起方式を双方向とすることで、信号伝送方向に依存しない光利得・雑音指数を実現できる見込みを得た。

研究開発項目 4 SDM 空間光スイッチ技術

スイッチング素子として 2 次元配置されたチルトミラー MEMS アレイを用いることを想定し、19 コア MCF からなる 1 入力 8 出力空間光スイッチのパッケージング設計、光学設計を実施し、全長 138mm、直径 44mm の円筒形状で光損失 < 0.5dB と小型で高性能な設計解を

得た。また、本設計に基づいて試作機を作製し、光損失 0.8dB~4.5dB の結果を得た。MCF アレイのコア位置精度が光損失を劣化させる支配的要因であることを明らかにし、更なる低損失化に向けた指針を得た。また、概スイッチの高精度制御に用いる小型光パワーモニタを設計、試作し、世界最小サイズで従来のモニタと同等性能を実現できることを示した。

#### 研究開発項目 5 SDM 高密度配線・接続技術

装置内の高密度配線を実現するための 19 コアファイバの試作を行った。このファイバに SC コネクタを取り付けた場合の接続損失は 0.4dB 以下であり、許容曲げ径を  $\phi 60\text{mm}$  に設定できた。19 コア FIFO も実現し挿入損失 2dB を確保した。19 コア増幅器の要求条件を明らかにし、スイッチ損失補償用特性を確認した。

### (8) 今後の研究開発計画

#### 研究開発項目 1 SDM 光ネットワーク・ノード設計技術

CSS 一次試作設計に基づく CSS コストモデルを用いて、CSS を用いた光ノードからなる光ネットワークの収容効率とネットワーク構築コストの一次評価を完了する。また、SXC のコア数やポート数の拡大方法等の検討と試作・評価等を通して、CSS 高度化に向けた指針を得る。SDM 光ネットワークの伝送に適した変調復調方式の一次検討結果をまとめる。最終目標達成に向けたアプローチの妥当性検証のため、SXC プロトタイプと SDM ネットワークテストベッドを設計し、他の受託者と協力してこれを構築の上、有効性検証を完了する。

#### 研究開発項目 2 SDM 光ネットワークシステム技術

従来方式に比べて高い物理的転送性能を確保しつつ高度な監視・運用手段を提供でき、高信頼な SDM 光ネットワークシステムの実証に向けて、2022 年度は、2021 年度に試作したキーデバイスの評価と性能改善を行うと共に、第 2 期の項目間連携を想定して、SDM 光ネットワーク・リンクと研究開発項目 1 で開発を進める SDM 光ネットワーク・ノードとの連携仕様を策定する。また、試作デバイスを評価するためのテストベッドの環境整備を完了する。

#### 研究開発項目 3 SDM 全方向光増幅技術

前年度にて設計した基本的構成に基づいた光増幅器をコア数 2 以上で試作する。光増幅度や雑音指数といった基本的性能評価を行い、MCF 入出力に対応し、コア毎に伝搬方向の異なる信号を一括増幅等によって実現する光増幅動作の実証を完了する。

#### 研究開発項目 4 SDM 空間光スイッチ技術

前年度の成果である CSS1 次試作機の評価結果から技術課題を抽出し、10 コア以上 MCF 対応 1 入力 8 出力空間光スイッチの高性能化に向けた課題を明らかにし、対策をとることで 2 次試作機の設計を完了させる。また、該スイッチの性能を最大化するために必要な監視・制御用大規模光パワーモニタを試作し、連携動作検証によりその実現可能性を検証する。

#### 研究開発項目 5 SDM 高密度配線・接続技術

伝送路 MCF よりも 2 倍以上のコア数を収容した MCF の基本設計を完了させ、その装置内配線部材としての試作と評価を終了させる。装置内配線周りで発生する損失を補償することが可能な配線用 MCF と同数のコア数を増幅できるマルチコアエルビウム添付光ファイバ増幅器 (MC-EDFA) の基本動作を確認する。