

令和 4 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
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 4 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	15	10
	外国出願	0	0
外部発表等	研究論文	3	2
	その他研究発表	56	45
	標準化提案・採択	1	0
	プレスリリース・報道	4	1
	展示会	3	2
	受賞・表彰	4	3

(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

CSS パッケージ試作で得られた CSS コストモデルと収容設計アルゴリズムに基づき、階層化光 NW の構築コストのシミュレーションを実施した。SXC の高度化に向け、CSS の離調による可変光減衰機能動作の検証とクロストーク特性の明確化を行った。19 コア CSS、19 コアコア選択器、19 コア FIFO、19 コアスプリッタを MCF コードで配線して構成されるモジュラー型 SXC と、FIFO レス 4 コア光中継システム、全方向 7 コア光増幅器から構成される簡易 SDM ネットワークテストベッドを構築し、実証実験を行った。

その結果、提案する階層化 SDM/WDM 光ネットワークの予備系なしの場合の構築コストを、従来方式に比べて 50%以上削減可能であるとの見通しを得た。CSS の出力光パワー制御についての見通しを得た。簡易 SDM-NW テストベッドにおいて、コア単位の光チャネルの設定・切り替えの実証に初めて成功した。

研究開発項目 2 SDM 光ネットワークシステム技術

FIFO レス MCF 光中継器を一次試作すると共に特性評価を実施し、概ね設計通りの特性が得られることを確認した。SDM 光ネットワークシステムに関する標準化活動の一環として、NICT 課題 203 と連携し、ITU-T における SDM 光ファイバ・ケーブルに関する技術レポート作成を推進した。

その結果、FIFO レス MCF 光中継器のモニタポートを含めてスパン損失を、FIFO 有の場合と比較して 1.5 dB 低減可能であることを検証した。また、SDM 光ネットワークシステムに関する標準化活動の一環として、NICT 課題 203 と連携し寄書提出により寄与してきた SDM 光ファイバ・ケーブルに関する技術レポートが、ITU-T SG15 プレナリー会合（9月開催）において制定が合意されると共に、発行された。

研究開発項目 3 SDM 全方向光増幅技術

基本的構成に基づき、光増幅器をコア毎に信号伝搬方向を固定としコア数 7 で試作した。また光増幅度や雑音指数といった光増幅器の基本的性能を評価し、最終目標を達成するために必要な設計パラメータを検討した。

その結果、試作した全方向光増幅器の光増幅動作を確認。励起方式として双方向励起とすることで、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。方向固定の場合は、最終目標として定めた光増幅度や雑音指数を実現できることを確認した。一方、方向可変の場合は改善が必要であることが分かり、光増幅器の設計パラメータを検討しその見通しを立てた。

研究開発項目 4 SDM 空間光スイッチ技術

19 コア MCF 対応 1 入力 8 出力空間光スイッチ (CSS) の二次試作の光学設計、機械設計を実施した。19 コア MCF のコアセレクトスイッチ (CS) の光学設計、一次試作を実施した。SDM ネットワークを想定し CSS と CS を組み合わせた ROADM ノードを試作した。Fan-in Fan-out を必要としない MCF 光パワーモニターの光学設計を行い、原理検証を実施した。CSS 内蔵に適した可変光パワー減衰器を提案し、動作検証を実施した。

その結果、19 コア MCF 対応の CS を試作、評価し全長 35 mm、直径 9 mm のサイズにおいて、光損失 1 dB 以下の低損失性を実証した。CSS と CS を 2U19 インチケースに搭載し、USB 経由で遠隔操作可能 SDM 用 ROADM を実現した。MCF 光パワーモニターの原理検証を行い、挿入損失 1 dB 以下の可能性を得た。CSS 内蔵を可能とする可変光減衰器を評価し、クロストークの劣化なく過剰損失 0.2 dB、減衰量 19.5 dB 以上の性能を実験的に実証した。

研究開発項目 5 SDM 高密度配線・接続技術

光ファイバへの要求条件を確定するために、ノード内の配線形態、環境条件の調査を行った。コネクタの構造上の開発ポイントと光ファイバの開発要素を整理して、両者のバランスを取りながら設計解の探索を進めた。構造最適化された MCF に合わせて MCF の入出力部に用いるフ

ァンイン/アウト (FIFO) の構造設計を進め、問題点の洗い出しを行った。設計によって見積もられた配線材料の特性と親和性の高いインタフェースを持つ光増幅器の構造設計を行うとともに、光増幅器へのノード内特有の要求特性を調査した。

その結果、ノード内で配線可能なクラッド径 240 μm 、190 μm の MCF の試作により設計検証を完了した。240 μm クラッド MCF のコネクタ付けおよび入出力デバイス、19 コア増幅器の基礎評価を完了させるとともに共同研究者に提供し、連携に供与した。

(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

コア間パワー偏差、波長間パワー偏差などに対する光学的補償機構を有する SXC 構成等や、それを前提とした NW 収容設計アルゴリズム等を検討する。また、さらなる CSS の多コア化や多ポート化、高信頼化とそれを前提とした SXC 構成法等を検討する。

研究開発項目 2 SDM 光ネットワークシステム技術

2022 年度までに決定した連携仕様に従い、連携基礎評価を通じて、連携インタフェース仕様を最終化する。また、従来の FIFO デバイスを有する MCF 及びマルチコア中継器により構成される MCF 中継システムの場合と比べて、転送距離 50%以上の延伸化を満たす SDM 光ネットワークシステムを実証する。

研究開発項目 3 SDM 全方向光増幅技術

光増幅性能の最終目標光増幅利得 12 dB、雑音指数 7 dB 以下を達成するため、2022 年度に見通しをたてた光増幅器設計パラメータを反映することによって光増幅性能を改良した、MCF 入出力に対応してコア毎に伝搬方向の異なる信号を一括増幅することができる光増幅器の試作を行う。改良においては、光増幅利得および雑音指数が最善となるよう、必要に応じて 2022 年度に行った検討のアップデートも行う。

研究開発項目 4 SDM 空間光スイッチ技術

前年度までの試作評価で課題となった CSS の挿入損失低減、クロストーク性能改善を両立する光学設計、工法を検討する。同時に社会実装を意識した高信頼性パッケージング化にも取り組む。また、SDM ノードの有用性を実証するための評価系に用いる CSS の試作を行う。

研究開発項目 5 SDM 高密度配線・接続技術

装置内配線に適切な 19 コアファイバの構造を確定させ、この接続部材を完成させる。SC コネクタで構成していた配線材の LC コネクタ化を完了させる。装置内の損失補償に用いる増幅器に集積型部品を適用し小型化を実現する。