

令和 5 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 5 年度 (3 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
santec AOC 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 5 年度までの総額 1,900 百万円 (令和 5 年度 300 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 (santec AOC 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	20	9
	外国出願	12	6
外部発表等	研究論文	6	3
	その他研究発表	99	43
	標準化提案・採択	5	4
	プレスリリース・報道	4	0
	展示会	4	1
	受賞・表彰	4	0

(7) 具体的な実施内容と最終成果

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 コストモデルと文献から得られた CDC-ROADM コストモデルを用いて、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、消費電力、装置内配線数のシミュレーションを実施した。CSS クロストーク特性と MPI 特性の実験と解析を行った。CSS の多芯化と多ポート化を検討した。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 SDM-NW テストベッドを構築し、実証実験 (Phase1) を行った。コア間 XT 特性を改良した CSS 試作機と 19 コア EDFA 試作機を用いて実証実験 (Phase2) を行った。

その結果、CDC-ROADM コストを含めても階層化 SDM/WDM 光ネットワークの構築コストを、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 クロストーク特性と MPI 特性を明らかにした。SDM-NW テストベッド (Phase1、Phase2) 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

SDM 光ネットワークノードとリンクとの連携仕様を精査した。また、FIFO レス MCF 光中継器のキーデバイスの二次試作や評価を実施した。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、NTT、線材協会や NEC と連携し、ITU-T における SDM 光ファイバに関する補助文書の作成を提案した。

その結果、連携仕様として SXC ノードと従来の WXC ノードの挿入損失値をそれぞれ 7dB (CSS の挿入損失 3.5dB \times 2) と 14dB (WSS の挿入損失 7dB \times 2) とした。キーデバイスであるマルチコア励起光コンバイナの二次試作の結果、結合率の向上 (13%)、挿入損失やコア間クロストーク、波長依存性の劣化が無いこと、サイズの低減 (70%削減) が可能であることを検証した。また、試作した分岐可変カプラを用いて、モニタ用ポートとして活用可能であることを検証した。ITU-T SG15 プレナリー会合 (2023 年 11 月開催) において、SDM 光ファイバ標準化に向けて、SDM 光ファイバに関する補助文書の作成開始が合意された。

研究開発項目 3 SDM 全方向光増幅技術

信号方向切替部について、2022 年度は動作検証や評価の都合上別筐体としていた。2022 年度に光増幅部に大きな悪影響を及ぼすことなく動作可能なことを確認した。2023 年度は、第一に、光増幅器全体の実装設計を見直すことで小型化、内部挿入損失低減を検討した。そして、第二に、雑音指数の最終目標達成に向けて内蔵光部品レベルでの挿入損失削減に取り組んだ。具体的には、内部のマルチコアファイバ融着個所の削減、コンバイナ、方向切替部の挿入損失削減を進めた。第三に、これらを適用したコア数 7、コア毎に伝送方向切り替え可能な、複数コアを一括増幅可能で光増幅度 12dB 以上、光雑音指数 7dB 以下の光増幅性能を有す、全方向光増幅器の実現を進めた。

その結果、第一に、信号方向切替部の構成を見直すことにより実装体積を約 1/3 に削減することに成功した。光増幅部と同一筐体に納め、外部制御により信号伝送方向切り替え可能な複数コアを一括増幅可能な光増幅器を一筐体で実現し、信号伝送方向と光増幅励起方向を連動して外部制御可能とした。第二に、FIFO とコンバイナを一体化することによりマルチコアファイバ融着個所を 2 箇所削減、最大で挿入損失 0.3dB \times 2 削減可能な見込みを得た。また、第一で行った信号方向切替部の構成見直しにより、最大で挿入損失 0.6dB 削減可能な見込みを得た。そして、第三に、これらを適用したコア数 7、コア毎に伝送方向切り替え可能な、複数コアを一括増幅可能な全方向光増幅器を試作し、光増幅性能評価を行った結果、光増幅度 12dB 以上、光雑音指数 7dB 以下が実現できたことが明らかにした。

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。新設計に基づき試作した CSS の光挿入損失は、最終目標値 10dB 以下の 3.5dB

を達成、コア間クロストークは 40dB 以上と良好な特性であった。社会実装を意識し、完全気密封止構造で高信頼化を図るとともに 1 次試作に比べ体積比 51% の小型化に成功した。19 コア MCF のコアセレクトスイッチ(CS)の光学設計と一次試作を実施し、全長 35mm、直径 9mm のサイズにおいて光挿入損失は 1dB 以下を実現した。これら CSS、CS の技術を応用し、SDM ネットワーク用 ROADM ノードを試作した。サイズは 1U19 インチケースで USB 経由で遠隔操作を可能とした。

Fan-in Fan-out を必要としない MCF 光パワーモニタの光学設計を行い、原理検証を実施した。光入出力の過剰損失は 1dB 以下、パワーモニタの Directivity は 50dB 以上と良好な性能であった。

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。クロストークに影響を与えずに光減衰機能を CSS に集積、光入出力の過剰損失は 1dB 以下、最大光減衰量は 19.5dB 以上であること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

装置内での配線に最適化した MCF とその接続部材を実現する技術を確立し、柔軟性の高い、装置内高密度配線部材を実現させた。さらには、実現した配線材を基準とし、集積化を加味した光増幅器の基本設計を終了させ、試作に着手した。

MCF は標準的な光ファイバと同様の被覆外径 250um にて実現可能な 30um ピッチの 19 コア MCF の構造設計を完了させ、実際にファイバ化した。ターゲットである配線性向上の目安として許容曲げ直径を 15mm に設定し、直径 15mm での破断率を推定し、破断率を通常 SMF と同様に設定可能なことを確認した。19 コア MCF の構造と呼応し 30um ピッチの FIFO も実現した。連携実験等で引き続き活用される 40um ピッチで構成された 240um クラッドファイバの LC コネクタ化も実現した。ファイバの小径曲げ対応にとどまらず、マルチコア型部品の導入により増幅器の小型化も実現した。

(8) 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

本研究開発成果は、令和 6 年度開始の「革新的情報通信技術基金事業」委託研究(採択番号 07801、1 年間)に引き継ぎ、1 Pb/s 級光リンク容量が必要となるネットワーク環境において、現行技術を用いる場合と比べて、1 ビット当たりの転送コスト 50% 以上の削減と転送距離 50% 以上の延伸化を実証する。当初計画より収容効率の高いコア競合のない方路切り替え機能を具備した SXC を用いたコア単位の光ルーティングが可能であることを実証する。

研究開発項目 1 SDM 光ネットワーク・ノード設計技術

SXC 内コンテンツレスのコア単位の光ルーティングが可能であることをテストベッドで実証するとともに、MCF 内のコア数増加のシナリオと世代間の整合性を担保する方策について整理し、その実現性を検証する。

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 1 において開発する空間クロスコネクタ・プロトタイプと、研究開発項目 2 にて開発する SDM 光中継伝送システム及びコア監視機構を統合し、周回ループ等を用いて SDM 光ネットワークを構築し、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較して、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。ITU-T SG15 本会合に対して寄書を提出し、マルチコア光ファイバの規格化開始を促進する。

研究開発項目 3 SDM 全方向光増幅技術

コア数 4 以上で、複数コアを一括増幅可能、かつ伝送方向無依存の SDM 全方向光増幅技術を実現する。2023 年度までに得られた結果から、当初性能目標の増幅利得 12 dB 以上、雑音指数 7 dB 以下の光学特性を実現できる見込みが得られたため、増幅利得の達成目標を 2 倍とし、15dB 以上達成の実証を完了する。

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。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。コア競合なし方路切り替え機能を有する SXC の実現に不可欠なコア・ポートセクタの開発に取り組む。

研究開発項目 5 SDM 高密度配線・接続技術

完成した 19 コアファイバを用いた配線材の性能を向上させ、19 コアファイバ接続部材を完成させる。配線材末端のコネクタに開発した LC コネクタを適用する。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技術を完成させる。