

1. 研究課題・受託者・研究開発期間・研究開発予算

研究開発課題名 Beyond 5G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
受託者 (大) 香川大学、(株) KDDI総合研究所、日本電気(株)、サンテック(株)、古河電気工業(株)
研究開発期間 令和3年度～令和6年度(4年間)
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)

2. 研究開発の目標

1 Pb/s級光リンク容量が必要となる状況で、現行技術と比べて転送コスト50%以上の削減と転送距離50%以上の延伸化を実証する。階層化光ネットワーク・光ノード設計技術、保守性に優れたFIFOレス中継システム構築技術、MCFのコア毎に伝搬方向が異なる光信号の一括増幅技術、MCFのコア毎に切り替え可能な光空間スイッチ技術、装置内接続用MCF配線・接続技術を開発し、B5G無線通信を支える、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を確立する。

3. 研究開発の成果

研究開発項目1 SDM光ネットワーク・ノード設計技術

2021年度目標

Beyond 5G モバイルネットワークを支える将来光ネットワークにおける、SXCアーキテクチャとCSSに対する要求条件を明らかにするため、前提となる各種条件の整理を完了する。また、CSSの多コア化に基づくSXC高度化の一次検討を完了する。さらにNWとノードの転送特性評価系の基本部分の環境整備を完了する。

2021年度実施内容

メッシュ型とライン型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收容設計アルゴリズムを検討した。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。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、構築部材等の仕様を検討した。

2021年度結果

メッシュ型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。ライン型については分岐ケーブル資源を削減可能な分岐ユニット(BU)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は、研究開発項目4、5と連携して、19-CF CSSの予備検討と5-CF×3 CSSの試作・評価を完了し、後者についてOFCにて発表した。

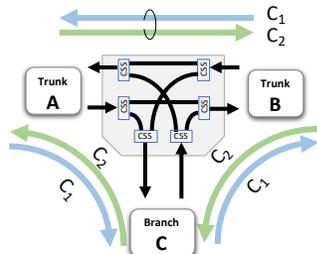


図1-1 CSSに基づくBUとコア割り当て

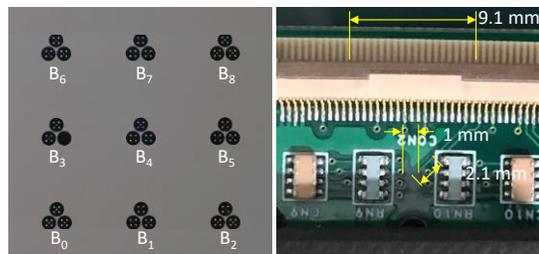


図1-2 15コアCSSのMCF アレイとミラーアレイ

研究開発項目2 SDM光ネットワークシステム技術

2021年度目標

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、2021年度は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なキーデバイスの基本仕様を策定し、一次試作を完了する。また、試作デバイスの評価するためのテストベッドの基本部分について環境整備を完了する。

2021年度実施内容

キーデバイス(4コアファイバ可変カップラ、4コアファイバ利得平坦フィルタ等)に関する仕様を策定した。テストベッド構築の一環として送受信器構築機材やSDMリンク構築機材等の調達を行った。ITU-T SG15における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(TR.sdm)の検討に関して、NTT、線材協会、KDDI、NECの連名により、SDMの適用効果、構成要素技術や試験方法の分類等について共同提案した。

2021年度結果

キーデバイスの試作を完了し、特性の評価を実施中である。今後、必要に応じて性能改善のための2次試作を検討する。テストベッドについては、送受信系及びSDMリンクの基本構成の構築を完了した。TR.sdmに関しては、提案内容について概ね合意され、今後、詳細について精査していくことが合意された。



図2-1 4CF可変カップラ

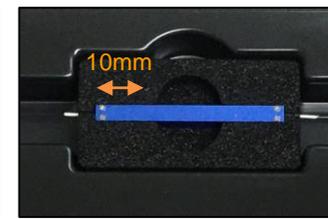


図2-2 4CF利得平坦フィルタ



図2-3 中継器構築機材

3. 研究開発の成果（つぎ）

研究開発項目3 SDM全方向光増幅技術

2021年度目標

信号伝送方向によらないマルチコア光増幅器の実現、および試作機による機能実証に向け、MCF入出力に対応し、コア毎に伝搬方向の異なる光信号の増幅を一括増幅等によって実現する伝送方向無依存光増幅器構成の基本的構成を検討する。コア毎の信号伝搬方向を固定とした場合について光増幅器の構成となる励起光レーザ、励起光合波器、光増幅媒体等の配置や接続方法の検討を行い、増幅器の基本的構成を決定する。

2021年度実施内容

入出力間で対称となるような光増幅器構成とすることで、これまで単方向でのみの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。

2021年度結果

双方向でのクラッド励起を可能にした。光増幅性能評価結果から、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1.9 dB改善でき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。

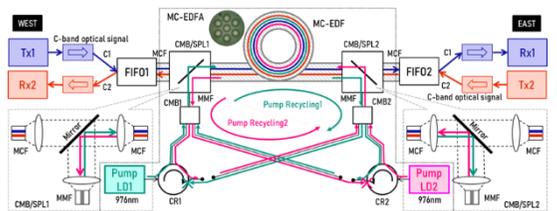


図3-1 双方向クラッド励起マルチコア光増幅器構成

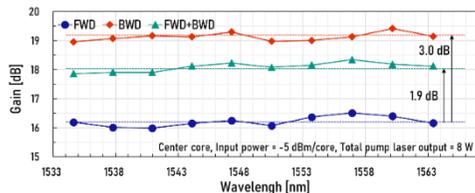


図3-2 光増幅利得の励起方向依存性

研究開発項目4 SDM空間光スイッチ技術

2021年度目標

10コア以上MCF対応1入力8出力空間光スイッチのMCFスイッチング原理の基礎検証を通じて、スイッチの大規模化への課題を明らかにする。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の基本設計を行い、実現に向けた課題と対策を明らかにする。

2021年度実施内容

19コアMCF対応1入力8出力空間光スイッチの光学設計、パッケージング設計を実施した。スイッチング素子として2次元配置したチルトミラーMEMSアレイを用いて試作機を作製、スイッチング動作の原理検証とその性能評価を実施した。また、概スイッチの高精度制御に使用する大規模化が可能な小型光パワーモニタの設計と試作、およびその評価を行った。

2021年度結果

全長138 mm、直径44 mmの円筒形光スイッチを試作、測定された光損失は最大4.5 dBであり、従来のWDMネットワークで用いられる波長選択光スイッチに比べても遜色のない小型で低損失な性能が実現できることを実証した。また、世界最小サイズ1.2 mm×10 mmの光パワーモニタを試作、従来のモニタと同等性能で小型化が可能であることを確認した。

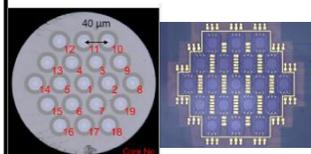


図4-1 MCFとMEMSアレイ



図4-2 空間光スイッチ外観

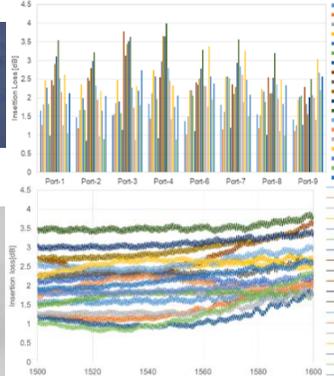


図4-3 挿入損失測定結果

研究開発項目5 SDM高密度配線・接続技術

2021年度目標

ノード内で配線可能なMCFの要求条件を整理するとともに、接続方法を検討し、装置内配線部材としての構成を確定させる。ノード内配線及び部品で発生する損失を補償するための増幅手段について要求事項を検討し、基本設計を完成させる。

2021年度実施内容

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う。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る。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う。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する。

2021年度結果

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0.4 dB以下であり、許容曲げ径をφ60 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。

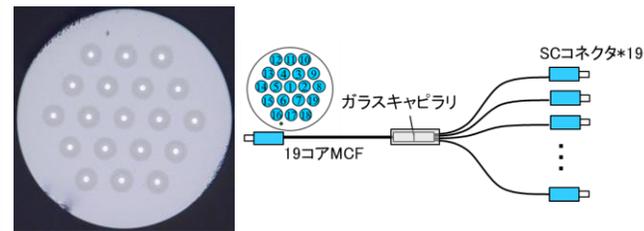


図5-1 19コアMCF

図5-2 19コアFIFO

4. 特許出願、論文発表等、及びトピックス

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

※成果数は累計件数、() 内は当該年度の件数です。

- 特許出願：5件の国内特許出願により、知的財産権の確保を行った。
- 研究論文・国際会議：研究論文1編（Journal of Lightwave Technology）掲載と、国際会議一般講演2件（OFC 2022）発表、国際会議招待講演2件（EXAT 2021、PSC 2021）を含めて12件の研究発表を行った。
- プレスリリース・報道：委託研究の受託と研究開発着手に対して報道発表を行い、日経産業新聞、日刊工業新聞、電波新聞、電気新聞、クラウドwatchに掲載された。
- 展示会：電子情報通信学会通信ソサイエティOCS研究専門委員会主催のOCSシンポジウム2021に「Beyond 5G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」と題してオンライン出展して、当委託研究の研究開発着手についてアピールした。
- 受賞等：OFC 2022にて発表した「Core Selective Switch Supporting 15 Cores Per Port Using Bundled Three 5-Core Fibers」（香川大学、サンテック、古河電工）がTop Scoredとして顕彰された。

5. 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、試作デバイスの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。