

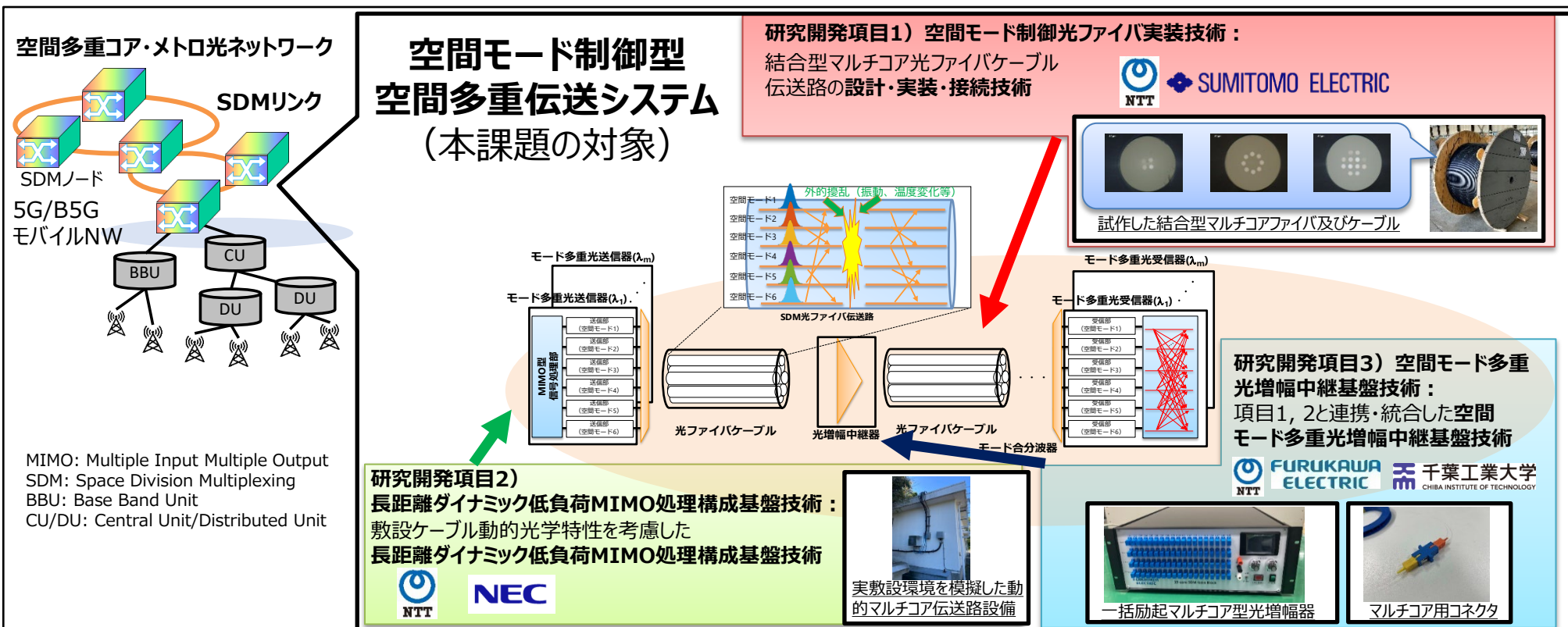
1. 研究課題・受託者・研究開発期間・研究開発予算

- ◆研究開発課題名 Beyond 5G時代に向けた空間モード制御光伝送基盤技術の研究開発
- ◆受託者 日本電信電話(株)、住友電気工業(株)、日本電気(株)、古河電気工業(株)、(学)千葉工業大学
- ◆研究開発期間 令和3年度から令和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920百万円(令和4年度530百万円)

2. 研究開発の目標

B5G時代の超大容量光コアネットワーク実現に向け、空間モードを積極的に活用・制御した3つの大容量・長距離光トランスポート基盤技術を確立し、陸上光ネットワークにおける相互接続性の担保、並びに、グローバル市場形成・ビジネス化を念頭に、空間分割多重技術の国際標準化を推進する。

- 項目1: 既存光ファイバケーブル技術との親和性に優れた空間モード制御光ファイバ実装技術
- 項目2: 敷設ケーブル動的な光学特性を考慮した長距離ダイナミック低負荷MIMO処理構成基盤技術
- 項目3: 項目1, 2と連携・統合した空間モード多重光増幅中継基盤技術



3. 研究開発の成果

【技術用語略称】

IS: International standard

MC-EDFA: Multicore erbium-doped fiber amplifier

MCF: Multicore fiber

MDL: Mode dependent loss

MIMO: Multiple-input multiple-output

PAS: Publicly available specification

RL: Return loss

SMD: Spatial mode dispersion

研究開発項目1) 空間モード制御光ファイバ実装技術

研究開発項目1-a) ケーブル伝送路設計・実装技術 (日本電信電話株式会社)

【目標】 コア数と光学特性の関係を解析的に体系化し、試作MCFケーブルにおいて $40\text{ps}/\sqrt{\text{km}}$ 以下のSMD係数を実現する。

【成果】 計算検討に基づき4、8、12コアMCF素線を試作し、異なるプロファイル構造で伝送特性のコア数依存性を確認し、曲げ損失の曲げ方向依存性を確認。また、短尺ケーブル(1km)を試作し、ケーブル状態での $40\text{ps}/\sqrt{\text{km}}$ 以下のSMD係数を実験的に確認。研究開発項目2検討用12コアMCFの設計・試作・評価を完了。

研究開発項目1-b) ケーブル伝送路接続・構築技術 (住友電気工業株式会社)

【目標】 結合型MCFの融着接続において $\leq 0.1\text{dB}/\text{接続}/4\text{コア}$ のMDLを実現する。

【成果】 検証用4、8、12コアMCFを用いてMDL測定精度 $\leq 9\%$ を実証するとともに、融着接続部のMDLとして $\leq 0.1\text{dB}/\text{接続}/4\text{コア}$ を達成した。

研究開発項目2) 長距離ダイナミック低負荷MIMO処理構成基盤技術

研究開発項目2-a) 低負荷ダイナミックMIMO信号処理方式基盤技術 (日本電信電話株式会社)

【目標】 低負荷MIMO信号処理構成・方式の提案/選定を行う。また、4多重・動的特性25kHz伝送路における選定方式の動的性能追従性実証を行う。

【成果】 10空間多重以上にスケール可能な信号特性評価系の構築、ならびに世界最長の10空間モード多重中継増幅伝送を実証。MIMO信号処理の低負荷化を可能にする伝送リンク設計方式および信号処理実装方式をそれぞれ提案し、低負荷化の実験実証を完了。研究開発項目2-bとの連携の下、ハードウェア実装性を考慮した動的特性評価を進め、4空間多重度、動的特性25kHz、3000kmの伝送実験における提案信号処理方式の動的特性追従性を確認。

研究開発項目2-b) 長距離MIMO処理検証基盤技術 (日本電気株式会社)

【目標】 結合型4コアMCFにおいて、長距離伝送を可能とする高スループット受信側MIMO処理方式を策定し、6000km程度の長距離伝送を実験的に確認。

【成果】 6000km程度の長距離伝送に向けて、令和3年度に構築した結合型4コアMCF伝送系における光増幅方式を見直し。見直した伝送系を用いて6000km伝送を実証。

研究開発項目3) 空間モード多重光増幅中継基盤技術

研究開発項目3-a) 空間モード制御伝送統合検証技術 (日本電信電話株式会社)

【目標】 空間モード制御光ファイバ/ケーブルおよび光増幅中継器の接続方式を策定する。

【成果】 結合型MCFの光ファイバ/ケーブルの多重数/SMD係数、MIMO信号処理基盤ハードウェア実装性、光増幅器の実装形態/増幅特性ならびに接続方式に加えて、伝送リンクの実装容易性を考慮した空間多重光増幅中継伝送リンク構成を項目間/項目内実証に向けて策定した。

研究開発項目3-b) 空間モード多重光増幅設計・評価技術 (古河電気工業株式会社)

【目標】 結合型MCFを入出力とする構成の4コアモード多重光増幅器を実現させ、その評価方法を示す。

【成果】 クラッド励起型非結合19コアMC-EDFAに遅延、利得の偏差補償回路と入出力FIFOを実装することで4コアのモード多重増幅器を試作し、増幅された信号の評価完了。

研究開発項目3-c) 空間モード多重伝送コネクタ設計・評価技術 (学校法人千葉工業大学)

【目標】 結合型MCF用光コネクタに必要な組立精度の実現、接続特性評価方法の確立および非結合型MCF用光コネクタ標準化の推進。

【成果】 MCF用光コネクタ組立精度向上、RL測定法考案・確認、結合型MCF用光コネクタ試作と接続損失のシミュレーション実施。IECにおいて非結合型MCF用光コネクタ接続損失測定法のIS発行決定、標準外径4コアMCF用光コネクタ光学互換標準PASの開発承認。

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
8 (6)	5 (5)	3 (3)	38 (29)	5 (2)	1 (1)	3 (2)	0 (0)

(1) 主な学会発表 ※成果数は累計件数、()内は当該年度の件数です。

- ・宮本裕 他, “陸上大容量光通信技術の現状と展望,” フォトニックネットワークシンポジウム2023, 技術講演2(招待講演), 2023年2月.
- ・Kohki Shibahara et al., “10-spatial-mode 1300-km Transmission over 6-LP Graded Index Few-Mode Fiber with 36-ns Modal Dispersion,” OFC2023, M2B.2, 2023年3月.
- ・Ryota Imada et al., “Unique Bending Loss Properties and Design Consideration of Coupled Multi-core Fiber,” OFC2023, M3B.1, 2023年3月.
- ・Manabu Arikawa et al., “Long-Haul WDM/SDM Transmission Over Coupled 4-Core Fibers Installed in Submarine Cable,” in Journal of Lightwave Technology, vol. 41, no. 6, pp. 1649-1657, 2023年3月.
- ・Shigehiro Takasaka et al., “L-band 19-Core Erbium Doped Fibre Amplifier with Power Consumption of 1.2 W/core for 20 dBm/core Output,” ECOC2022, Th2A.4, 2022年9月.
- ・Ryo Nagase, “Optical Fiber Connector Technology,” OECC/PSC 2022, MC1-4(Invited), 2022年7月.
- ・Yuki Fujimaki et al., “Ferrule Endface Dimension Optimization for Standard Outer Diameter 4-Core Fiber Connector,” IWCS 2022, 3-5, 2022年10月.
- ・Kiyoshi Kamimura et al., “Return Loss Measurement Procedure for Multicore Fiber Connectors”, IEICE Trans. Electron. Vol. E105-C, No.12, pp. 721-728, 2022年12月.
- ・上村圭史 他, “結合型4コアMCFの接続損失に関する検討,” 信学技報, OFT2022-59, 2023年2月.
- ・上村圭史 他, “標準外径4 コアファイバコネクタのフェルール端面形状最適化,” 電子情報通信学会 総合大会, B-13-4, 2023年3月.

(2) 展示会

- ・27th Optoelectronics and Communications Conference/ International Conference on Photonics in Switching and Computing (OECC/PSC 2022) (2022年7月、富山県富山市)にて現地パネル展示。
- ・第36回光通信システム(OCS)シンポジウム(2022年12月、オンライン)にて本プロジェクトの概要を紹介。

(3) 標準化活動等

- ・ITU-T SG15, Contribution, Modification proposal on draft TR.sdm, C-0014.
- ・MCFコネクタを含む接続損失測定法に関するIEC 61300-3-4のIS(International Standard)発行が決定し、2023年4月発行予定。
- ・IEC TC86/SC86B プレナリー会合(2022年11月)において、標準外径4コアMCF用光コネクタ光学互換Part 3のPAS(Publicly Available Specification)開発が承認された。

(4) その他

- ・研究開発方針および成果に関して幅広い意見を採り入れるため、外部有識者から成るアドバイザリ委員会を設置し、年2回(2022年9月、2023年2月)開催。
- ・本課題成果を活用した10空間モード信号世界最長増幅中継伝送に関するプレスリリースを実施。URL: <https://group.ntt.jp/newsrelease/2023/03/06/230306a.html>

5. 今後の研究開発計画

令和5年度は、長尺光ケーブルで空間モードの制御性を実証し、融着接続装置を開発すると同時に、コネクタ接続における光学互換基準を確立する。研究開発項目1)で開発した光ケーブルへのMIMO信号処理技術の適用性および空間モード数の拡張性を明らかにする。さらに、結合型4コアの一括増幅技術を基軸として、空間チャネル数の拡張性を明らかにする。