

採 択 番 号 20301
研究開発課題名 マルチコアファイバの実用化加速に向けた研究開発
副 題 標準クラッド径マルチコアファイバ伝送路技術の確立

(1) 研究開発の目的

本研究開発では、先行課題 170「革新的光ファイバの実用化に向けた研究開発」における標準クラッド径マルチコアファイバ(MCF)および新たな製造技術の検討成果を発展的に継承し、100 Pbit/s・km 級の伝送ポテンシャルを有する高品質・高信頼性の空間分割多重 (SDM) 伝送路の効率的な実現、ならびに先行課題 188「空間多重フォトニックノード基盤技術の研究開発」との連携を通じた光通信線路技術の新たな技術標準の実現に向けた研究を推進することを目的とする。具体的には、MCF 製造技術、MCF 伝送路技術、および MCF 周辺技術の三つの要素に関し、以下の技術確立を目指す。

- MCF 製造技術 : 紡糸長・コア数積における 1500 km・コア超の実現
- MCF 伝送路技術 : 損失およびクロストーク制御技術の確立
- MCF 周辺技術 : 接続・評価技術の確立と標準化提案への橋渡し

(2) 研究開発期間

平成 30 (2018) 年度 ~ 令和 4 (2022) 年度 (5 年間)

(3) 受託者

日本電信電話株式会社<代表研究者>
株式会社 KDDI 総合研究所
住友電気工業株式会社
株式会社フジクラ
古河電気工業株式会社

(4) 研究開発予算 (契約額)

平成 30 (2018) 年度から令和 4 (2022) 年度までの総額 850 百万円
(令和 3 年度 170 百万円) ※百万円未満切り上げ

(5) 研究開発項目と担当

研究開発項目ア：高品質・高信頼性 MCF 技術

1. 標準クラッド径 MCF 技術 (日本電信電話株式会社)
2. 高効率・高品質 MCF 製造技術 (住友電気工業株式会社)
3. 高品質・高信頼性スケーラブル製造技術 (株式会社フジクラ)
4. 非開削母材製造技術 (古河電気工業株式会社)

研究開発項目イ：MCF ケーブル・伝送路技術

1. 敷設・特性制御技術 (日本電信電話株式会社)
2. 伝送路設計技術 (株式会社 KDDI 総合研究所)

研究開発項目ウ：標準化に向けた MCF 周辺技術

1. MCF 標準化技術 (日本電信電話株式会社)
2. MCF 接続技術 (住友電気工業株式会社)
3. MCF 高効率評価技術 (株式会社フジクラ)
4. MCF 入出力技術 (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 | 29 | 5 |
| | 外国出願 | 26 | 13 |
| 外部発表等 | 研究論文 | 2 | 0 |
| | その他研究発表 | 85 | 32 |
| | 標準化提案・採択 | 5 | 3 |
| | プレスリリース・報道 | 0 | 0 |
| | 展示会 | 6 | 2 |
| | 受賞・表彰 | 0 | 0 |

(7) 具体的な実施内容と成果

研究開発項目ア 高品質・高信頼性 MCF 技術

研究開発項目ア-1：標準クラッド径 MCF 技術 (日本電信電話株式会社)

【目標】

低クロストーク (XT) の標準クラッド径 MCF の光ケーブルへの実装を行う。また、ケーブル化後の評価結果を標準クラッド径 MCF の設計条件にフィードバックし、低 XT の標準クラッド径 MCF の設計条件と適用領域を明らかにする。

【実施内容と成果】

試作 MCF の特性評価を完了し、すべての試作 MCF で、伝送損失、XT 特性ともに試作仕様を満たし、標準クラッド径ステップインデックス型 MCF (SI-MCF) よりも XT が -20 dB/km 程度改善していることを確認し、低 XT の標準クラッド径 MCF ケーブル試作を進めた。

研究開発項目ア-2：高効率・高品質 MCF 製造技術 (住友電気工業株式会社)

【目標】

高品質化と量産性の両立に向けて、前年度 (令和 2 年度) に導入した加工装置を用いてファイバ試作を行い、高品質化と量産性の両立に向けた課題を明らかにする。

【実施内容と成果】

前年度に導入した加工装置を用いて母材加工を行い、高効率・高品質な MCF 製造を可能とする母材加工方法の検討を行い、目標としたサイズの母材加工を行えることを確認した。また、当該母材加工方法を用いた母材のファイバ化に関する品質上の課題について試作を通じて調査を行い、開発手法の課題の明確化を行った。

研究開発項目ア-3：高品質・高信頼性スケーラブル製造技術 (株式会社フジクラ)

【目標】

本検討では、MCF の実用化に向けて、高品質・高信頼性スケーラブル製造技術を確立することが目標である。今年度 (令和 3 年度) は、1500 km・コア (4 コアでは 375 km) 以上の長尺化と、破断回数 0.001 回/ (km・コア) 以下 (4 コアファイバの場合、25 km 以上で 1 回の破断) を実現するため、孔開法の母材大型化、高信頼化の検討を行う。また、高品質化に向けた、スキューを低減する設計や製造方法の検討を行う。

【実施内容と成果】

孔開法で、母材大型化および高信頼化の検討を行い、長さ 450 km の 4 コアファイバ (1800 km・コア) と、引張りプルーフ試験 (プルーフレベル 1 %) において破断回数 0.003 回/ (km・コア) を達成し、今年度の目標を満足する結果を得た。また、破断回数については、最終目標の 0.005 回/ (km・コア) も達成した。

研究開発項目ア-4：非開削母材製造技術（古河電気工業株式会社）

【目標】

- 母材の大型化に着手し、1500 km・コアを実現可能な要素技術を確立する。
- ・非開削母材大型化技術：非開削法による母材の大型化のための条件出しを行う。必要部材の構成設計を完了させ、必要な設備等の要求条件の洗出しを終了させる。
- ・大型母材一体化技術：開削法、非開削法に共通に適用可能な大型母材の一体化技術を確立し、1500km・コアサイズの母材作製に目途を立てる。

【実施内容と成果】

非開削法による母材を用いた MCF の母材大型化検討を実施した。小型母材での実証が完了している非開削法による MCF 母材を大型化する際の課題を整理した。その結果、必要部材の構成設計を完了させ、大型母材実現のための検討を完了した。

開削法、非開削法に共通して適用可能な大型母材の一体化技術開発を実施した。その結果、1500・km コアサイズの母材組立、一体化工程に適用可能な技術を確立した。

研究開発項目イ MCF ケーブル・伝送路技術

研究開発項目イ-1：敷設・特性制御技術（日本電信電話株式会社）

【目標】

前年度（令和 2 年度）に敷設した光ケーブルの経時的な特性変化を検証する。また、長距離伝送に適したトレンチ構造を有する低 XT の MCF ケーブルを試作し、素線時との工程間の特性変化を検証する。

【実施内容と成果】

前年度に敷設した SI 型 MCF ケーブルの季節変動特性評価を実施し、地下フィールド環境において安定な光損失および XT 特性を確保可能であることを確認した。低 XT の MCF を実装したケーブルの試作を完了し、光損失および XT の初期特性評価に着手した。ケーブル化工程の前後において安定な光損失および XT 特性を実現できることを確認した。

研究開発項目イ-2：伝送路設計技術（株式会社 KDDI 総合研究所）

【目標】

研究開発項目ア-1 で前年度（令和 2 年度）に試作した標準クラッド径 MCF（低 XT）を用いて、多段接続時の特性を検証し、SI 型および低 XT 型の 2 種類の MCF について比較検討を行う。また、データセンタインターコネクション（DCI）や無線アクセス等の評価系について検討する。

【実施内容と成果】

研究開発項目ア-1 で前年度に試作した低 XT な標準クラッド径 MCF を用いて、各社の SC コネクタ付き 4 コアファイバ(4CF)パッチコードおよび MCF 入出力デバイスであるファンイン・ファンアウト (FFO) デバイスの試作を完了した。また、上記を用いて、SI 型 4CF の多段接続構成を設計・構築し、平成 30 年度に構築した評価系を用いて、多段接続時における挿入損失やコア間 XT、偏波変動性等の測定を実施し、主要なファイバ特性を明確化した。さらに、DCI や無線アクセス等への適用性を明らかにするため、その評価系についても検討を行い、100 G および 400 GbE テスタを用いた敷設 MCF ケーブルの評価試験を実施し、良好な特性を確認した。

研究開発項目ウ 標準化に向けた MCF 周辺技術

研究開発項目ウ-1：MCF 標準化技術（日本電信電話株式会社）

【目標】

標準クラッド径 MCF の標準化提案に向けて、幾何学構造評価法の標準草案の検討に着手する。また、MCF 入出力デバイスの高パワー耐性の明確化に向けた評価系の構築と課題 188 で用いた MCF 入出力デバイスの基礎特性の評価を実施する。

【実施内容と成果】

幾何学パラメータ試験法について理論検討と実験検証を完了し、提案方法の妥当性を確認した。MCF 入出力デバイスの高パワー耐性評価に向けて、必要な物品を調達し実験系構築を進め、来年度（令和4年度）の検討に向けて評価項目、実験手順、対象技術を精査した。また、4コアMCFにおけるラマン散乱による入力光強度制限について実験検証した。研究分担者および関連課題と連携してMCF技術の進展を国内外にアピールした。また、国内関係者と連携し空間分割多重（SDM：Space Division Multi-plexing）光ファイバケーブルに関する新規技術レポートの文書草案をITU-Tに提案した。

研究開発項目ウ-2：MCF 接続技術（住友電気工業株式会社）

【目標】

前年度（令和2年度）のMCF多心整列技術の方式検討に基づき、MCF多心整列設備の立上げを行い、MCF多心整列構造を試作し、MCF多心整列技術の原理実証を行う。

【実施内容と成果】

前年度に行ったMCF多心整列技術の方式検討によって推定したMCFの回転発生要因の抑制を中心に、MCF多心整列設備を設計し、設備を立ち上げた。その後、特に、回転抑制に重要な「ファイバの位置ばらつき抑制」に関して、設備の条件出しを行い、条件出し完了後、MCF多心整列構造を試作し、実装技術の原理実証を行った。

研究開発項目ウ-3：MCF 高効率評価技術（株式会社フジクラ）

【目標】

本検討では、MCFの評価時間を短縮することにより、MCFの量産化技術を確立することが目的である。今年度（令和3年度）は、カメラを用いたモードフィールド径（MFD）の複数コア同時測定を行い、通常シングルモードファイバ（SMF）の測定時間比で、1.7倍以下（4コアの場合コア当たりの速度が2.4倍）の実現を目指す。また、測定精度についても検討を行う。

【実施内容と成果】

高効率なMCF評価技術の検討として、MCFのMFD評価技術の検討を行った。前年度（令和2年度）までは、波長1.55 μm のみの測定であったが、波長1.31 μm 、1.625 μm でも測定ができるよう測定系を改良し、本課題でケーブル用に作製した4CFのMFD評価を行った。また、4CFのMFD測定時間短縮検討を行い、通常SMF測定時間比で1.88倍（4コアの場合コア当たりの速度が2.1倍）にすることができたが、今年度目標の1.7倍には及ばなかった。来年度（令和4年度）は、最終目標の通常SMF測定時間比で1.5倍以下（4コアの場合コア当たりの速度が2.7倍）を実現するため、測定系、測定処理方法の最適化を行う。

研究開発項目ウ-4：MCF 入出力技術（古河電気工業株式会社）

【目標】

MCFおよびMCFケーブルのユースケースを勘案し、最適構造を持つ入出力デバイスを実現する。

- ・ファイバ出力型ファンアウトの最適化：フィールドでの使用を可能とするファンアウトの構成を検討し、構造設計に盛り込む。

【実施内容と成果】

ファンアウトを構成する部材の最適化を実施した。最適化した部材を使用してパッケージ化されたファンアウトに対してIEC 61753-1 Category OP相当の環境試験、機械試験を行い、フィールドでの適合性を確認した。

フィールド環境で使用可能な、側方観察型の融着機によるMCFの融着技術開発を行い、融着機の自動調心プログラムによる融着接続を実現した。

(8) 今後の研究開発計画

高品質・高信頼性 MCF 技術、MCF ケーブル・伝送路技術、MCF 周辺技術の三つの要素技術検討により、100 Pbit/s・km 超級の伝送ポテンシャルを有する標準クラッド径 MCF を用いた MCF 伝送路技術として確立する。さらに、具体的な標準化提案に向けた方針を明確化する。

• 研究開発項目ア 高品質・高信頼性 MCF 技術

ブルーレベル 1%以上を満足する 1500 km・コア超の MCF 製造技術を確立し、その 2000 km・コア超技術への拡張性について明らかにする。さらに、MCF の伝送帯域や適用距離を考慮し、SI 型および低 XT 型標準クラッド径 MCF の設計条件と適用領域を明らかにする。

• 研究開発項目イ MCF ケーブル・伝送路技術

標準クラッド径 MCF を用いた光ケーブルのフィールド環境下における経時特性を明らかにし、XT 特性の制御性と併せて、MCF ケーブル技術として確立する。さらに、標準クラッド径 MCF ケーブルの伝送ポテンシャルを明らかにし、ランダム接続を想定した伝送路設計モデルを確立する。

• 研究開発項目ウ 標準化に向けた MCF 周辺技術

製造時の特性検査を勘案し、所要時間がコアあたり 1/27 以下となる評価手法の効率化を実現する。さらに、製造・伝送路構築に適した MCF 入出力技術を確立するとともに、多心 MCF に対する新たな整列技術の実現性を明らかにする。また、標準クラッド径 MCF の標準草案および標準化提案に向けた計画を策定する。