

平成 30 年度研究開発成果概要書

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 3 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

2018 (平成 30) 年度から 2022 (平成 34) 年度 (5 年間)

(3) 実施機関

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)

第 1 期 : 総額 510 百万円 (平成 30 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、論文発表等

		累計（件）	当該年度（件）
特許出願	国内出願	6	6
	外国出願	0	0
外部発表	研究論文	0	0
	その他研究発表	6	6
	プレスリリース・報道	0	0
	展示会	0	0
	標準化提案	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】

汎用的な SMF は簡易な SI 型構造の屈折率分布を採用することで VAD 法による大量生産が可能となっている。量産性・コストの観点では SI 型など簡易な屈折率分布の MCF への適用性の明確化は MCF の早期展開に必須な課題であり、今年度は SI 型標準クラッド径 MCF の設計条件を明らかにし、試作仕様を策定することを目標とする。

【実施内容と成果】

SI 型屈折率分布のコア構造を有する標準クラッド径 MCF について、既存 SMF 標準 (ITU-T G.652) との光学互換を考慮し、ファイバ試作を行い評価に着手した。

また長距離伝送に適した低クロストークタイプの標準クラッド径 MCF の試作仕様、ならびに SI 型標準クラッド径を含む MCF のケーブル化と評価計画を策定した。

さらに OFC2019 において、前身課題である課題 146・課題 170 等の成果をベースとして、SDM ファイバの検討成果の経緯や方向性、MCF の相互接続性の実証、および課題 203 のスコープを、招待講演でアピールした。

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】

MCF の品質異常部を観察するための測定系を立ち上げる。母材加工の効率の改善手法について母材孔開け加工ツールの改良を含めて望ましい手法を、実験も行いながら検討する。

【実施内容と成果】

MCF の品質異常部の分析に向け、長手方向に散発的に発生する品質異常部を観察する測定系を立ち上げるため、主要構成部品の選定および手配まで完了した。

母材加工の高効率化手法の検討のため、母材孔開け加工ツールの形状や加工条件が加工品質に与える影響を調査するという目標に対し、調査用に形状の異なる複数の新規ツールの手配を行った。また、既存ツールを用いて加工速度による孔の品質や設備負荷への影響を調査した。その結果、(当社) 従来比 1.5 倍の速度においても内面粗さに有意な差はなく、ツールにかかる反発力の著しい増加も見られないことを確認した。

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】

本年度は、MCF の特性評価を行う系を導入する。これにより、来年以降、作製した MCF の特性を評価し、作製工程にフィードバックすることで、高品質化を実現する。また、SI 型屈折率分布の標準クラッド径 MCF の試作および評価を行う。

【実施内容と成果】

SI 型屈折率分布の標準クラッド径 4 コア MCF を作製し、評価した。また、MCF 評価装置の選定、購入を進めた。さらに、クラッド一括形成法において、多角形ロッドを束ねること、コア変形を改善できることを確認した。

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】

非開削による母材作製法の鍵となる事項を洗い出し、それぞれの克服法を導き出すとともに、最適な設備の設計を行う。特にコア変形量の抑制について、非開削技術において作製したクラッドとコアとのクリアランスとコア変形の関係を見積もる。またコア間隔変動抑制について、非開削技術において作製したプリフォームのコア位置均一性の可能性を見積もる。

【実施内容と成果】

非開削によるマルチコアファイバ作製工程を母材作製法の要素技術に分解することにより、母材およびファイバについてコア変形、コア位置を見積もった。

コア変形量については、開削技術において発生するコアクラッド間のクリアランスについて検討を行い、クリアランスの異なるコアでのコア変形量を確認し、その効果を見積もった。

コア間隔変動については、開削技術において特徴的に発生する母材のコア間隔変動の要因を探り、設計、プロセスの両面でその抑制法を検討した。

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】

MCF の実用展開には MCF のケーブル化前後の特性変化およびフィールド環境下における経時的な特性変化を明らかにすることが極めて重要である。今年度は、次年度の MCF ケーブル試作および評価に向けた試作仕様を策定すると同時に、円滑な特性評価の実施に向けた評価系の構築を進めることを目標とする。

【実施内容と成果】

次年度に行う高密度 MCF ケーブル試作の仕様を検討した。陸上地下区間への適用を想定し、ケーブル構造は間欠接着型テープ心線を用いて、空間多重効率を最大化できる細径高密度構造（防水型）とすることとした。また研究開発項目ア-1 で検討する SI 型 MCF の試作条件とケーブル化後の特性評価項目を勘案し、条長 1 km の 200 心構造のケーブルを試作することとした。さらに多心 MCF ケーブルにおける各種光学特性を効率的に評価するためのファイニンファンアウトを含む評価系構築に着手した。

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】

MCF の接続（融着接続やコネクタ接続等）については、SMF 伝送路とは異なり、接続する MCF 同士のコア位置の相対的なずれや接続時の回転方向のずれなどが接続損失やコア間クロストークに影響するため、予めその影響の把握や損失等を考慮した伝送路設計が必要である。今年度は、MCF および多心 MCF ケーブルが多段接続された際の各コアにおける損失やコア間クロストーク、デジタル信号処理では補償できないファイバに関連するパラメータや偏波変動性を測定可能な系を構築する。

【実施内容と成果】

MCF および多心 MCF ケーブルが多段接続された際の各コアにおける損失やコア間クロストークおよびその波長依存性、ファイバ長手方向の損失特性（接続損失含む）、偏波変動性を測定可能な評価系の設計を行った。また、各測定機材の仕様策定・調達を完了し、上記評価系の構築を進めた。

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】

既存の SMF ではコアが中心にあることを前提に幾何学標準とその試験法が規定されているが、標準クラッド径の 4 コア MCF では非中心にコアが配置されることから、MCF 特有の幾何学パラメータの定義と評価技術の確立が必要である。今年度は、次年度の幾何学パラメータ試験法の実験検証に向け、そのパラメータ定義および試験手順の方式の策定に向けた検討に着手する。

【実施内容と成果】

標準クラッド径 MCF における幾何学パラメータの定義と試験方法の明確化に向けた机上検討を進めた。はじめに、4 コアのコア間隔が一定のモデルにおいて検討を行い、ファイバ中心の軸ずれ量が $0.6 \mu\text{m}$ (ITU-T G.652 を参照) の場合に回転角度ずれ 1 度以下で 0.5 dB 以下/接続に抑制可能であることを明らかにし、一般口頭発表 1 件を行った。さらに、接続損失との相関を考慮した幾何学パラメータの定義の策定に向け、コア間隔の偏差の影響を考慮した接続損失の算出に着手した。また、4 コアファイバの幾何学パラメータの測定に向け、端面の 2 次元測定が可能な評価系の構築に着手した。

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】

量産性のある製造プロセスにて部品を作製し、単心 MCF コネクタの試作を行う。また、側方調心手段を検討するため、ファイバ側方観察系の立ち上げを行う。

【実施内容と成果】

量産性のある製造プロセスにて評価用単心 MCF コネクタの試作を行うという目標に対し、射出成形法にて単心 MCF コネクタを試作し、基礎的な光学特性を評価した。その結果、接続損失 0.5 dB 以下であり、かつ反射損失 40 dB 以上であることを確認した。

また、MCF 側方調心を可能とする技術要素として不可欠となる、ファイバ側方観察系を立ち上げた。

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】

MCF の評価時間短縮に向けた、測定の原理確認を行う。特に、モードフィールド径(MFD)測定で複数コア同時測定が可能か原理確認を行う。

【実施内容と成果】

カメラを用いた MFD 測定系を組み、SMF のニアフィールドから MFD の測定を行った。検討の結果、測定が可能であることを確認したが、測定精度には課題があることが分かったため、今後測定精度改善の検討を行う。

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】

4 コア MCF の測定高速化を実現可能なファンアウトデバイスを実現し、高速化の実証を行う。特に MCF と測定装置を融着接続にて使用可能なファンアウトを実現するとともに、

マルチコアファイバ用ファンアウトデバイスの挿入損失をOバンドからLバンドにおいて1 dB以下にする。

【実施内容と成果】

MCF と融着可能なファンアウトの構造を設計／試作するとともに挿入損失の安定性の確認を行う。実現した構成にて波長損失特性を測定し、測定安定性を確認した。

融着可能な4コアファンアウトについては、マルチコアファイバ出力となる構成のファンアウト構造を設計／試作し、実際に融着した場合の特性安定性を評価した。

またファンアウトデバイスの損失低減については、構造の最適化によりファンアウトの挿入損失およびコア間挿入損失偏差を低減させることにより、広帯域に損失が安定したファンアウトを実現した。