

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) 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)

総額 850 百万円 (令和 2 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	22	7
	外国出願	9	6
外部発表等	研究論文	2	2
	その他研究発表	53	22
	標準化提案・採択	2	1
	プレスリリース・報道	0	0
	展示会	4	1
	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 を試作し、素線時の評価を行う。さらに研究開発項目イ-1 で行うステップインデックス (SI) 型 MCF ケーブルの評価結果をフィードバックし、SI 型標準クラッド径 MCF の設計条件と伝送帯域を明らかにする。

【実施内容と成果】

第 2 期の検討に向け、トレンチ型屈折率分布を用いた低 XT 標準クラッド径 MCF の試作・評価に着手した。また、製造性の向上が期待できる SI 型屈折率分布を採用した標準クラッド径 MCF の設計条件・光学特性を明確化し、波長帯と XT を勘案した適用領域のガイドラインを策定した。さらに、SI 型・トレンチ型の双方において、カットオフ波長をパラメータとした XT 制限の緩和による伝送距離の拡張性を明確化した。

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 の品質異常部の発生パターンや頻度が製造条件によってどのように変わるかを調査する。また、母材加工の効率化を可能とする新たな母材加工装置を調達し、立上げを行う。

【実施内容と成果】

異なる製造条件の MCF の品質異常部調査から、異常部が製造中の母材の汚染により生じると考えられることが分かったので、製造条件を見直して母材の汚染を低減することで、実際に異常点頻度を低減できることを確認し、異常部発生要因が母材の汚染によることを明確化した。また、前年度（令和元年度）に策定した仕様に基づき、新たな母材加工装置を調達して、立上げを完了し、硝材に目標とする深さの孔を開けられることを確認した。

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 2 年度）は、前年度（令和元年度）に引き続き、孔開法における母材大型化および高信頼化の検討を行い、中間目標である 1000 km・コア以上の長尺化と、破断回数 0.025 回/ (km・コア) 以下の実現を目指す。また、クラッド一括形成法のコア変形抑圧や大型化の検討を進め、高品質の製造技術が実現可能か見極める。

#### 【実施内容と成果】

孔開法で、270 km の4 コアファイバ（1080 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0.009回/（km・コア）を達成し、中間目標を満足する結果を得た。

また、クラッド一括形成法では、多角形ロッドの導入によりコア変形を平均2%以下に抑制可能であることを確認した。母材大型化では、太いロッドに外付けすることが難しく、低コストを実現する量産技術には向かないと判断し、今年度（令和2年度）で検討を終了することとした。

さらに、高品質なMCFの検討として、4コアファイバのコア間スキューを評価した。特殊な状態（ねじれなく小さな径に曲げた状態）でのスキューの挙動を明らかにした。

#### 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】

非開削技術を用いた100 km母材を実現するとともに、ケーブル単長として十分な25 km以上のスクリーニング通過可能なMCF製造技術を確立する。

- ・非開削母材大型化技術：前年度（令和元年度）の検討結果に基づき、非開削法による母材の大型化の検討を実施する。
- ・大型母材一体化技術：MCFの製造性向上のために、大型母材の一体化技術の検討を実施する。

##### 【実施内容と成果】

非開削法による母材を用いたMCFの製造技術開発を実施した。非開削法によるMCF実用化に向けた製造性向上のための検討として、非開削母材の大型化技術の開発を実施した。また、大型母材の一体化技術の開発を実施し、MCFの特性改善、およびスクリーニング生存長改善のための検討を実施した。得られた結果から、400 km/母材超のMCF実現のための問題点の洗い出しを実施した。

#### 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（令和元年度）に複数社で試作したSI型MCFケーブルの評価・比較を行うとともに、試作した光ケーブルをフィールド環境下に敷設し、敷設前後の特性変化を検証する。これらの結果より、既存高密度光ケーブル構造における損失およびXT特性、伝送特性等の変化と波長依存性を明らかにする。

##### 【実施内容と成果】

複数社で試作したSI型MCFケーブルについて、素線-ケーブル化工程間の初期特性および温度特性を評価し、シングルコア光ファイバと同様の十分に小さな工程間変動および温度変動を確認した。さらに試作ケーブルをフィールド環境下へ敷設し、敷設前後で安定な特性であることを確認し、来年度（令和3年度）以降の長期特性評価に着手した。また、低XTタイプの標準クラッド径MCFを実装するケーブルの試作仕様と評価スケジュールを策定した。

#### 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】

研究開発項目イ-1で前年度（令和元年度）に試作したSI型多心MCF光ケーブルを用いて、多段接続時の特性を検証し伝送路設計指針を明確化するとともに、周回系を用いた伝送ポテンシャルの検証を実施する。

### 【実施内容と成果】

研究開発項目イ-1 で前年度（令和元年度）に試作した SI 型多心 MCF 光ケーブルを利用し、マルチコア融着接続の検証やマルチコアコネクタの試作を通して、架空区間や地中埋設区間等の敷設環境下を模擬した MCF 光ケーブルの多段接続構成を設計・構築した。また、平成 30 年度に構築した測定系を用いて、多段接続された MCF 光ケーブルの光学特性評価を実施し、挿入損失(IL) およびコア間クロストーク（波長依存性含む）、偏波変動特性等の主要なファイバパラメータを明らかにした。さらに、MCF 光ケーブルにおける、多段接続時の伝送性能評価を実施した。

## 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】

標準化に向けた幾何学パラメータの定義および試験法を明確にする。また、MCF 入出力デバイスのパワー耐性評価条件を検討する。

#### 【実施内容と成果】

MCF のランダム接続を行い、接続損失の発生頻度について検証した。クラッド中心ずれがない状態で、コア位置の最大偏差を  $0.6\mu\text{m}$ 、角度ずれ量を 1 度として算出した接続損失の計算結果と、実験結果がおおむね一致することを確認した。また、入出力デバイスのパワー耐性に関し、評価対象とする MCF 入出力デバイスの選定、および評価項目を策定した。なお、ファンイン・ファンアウト（FFO）の追加購入に要する予算配算の都合によりハイパワー耐性の実験検討は最終年度（令和 4 年度）に行うこととし、来年度（令和 3 年度）は課題 188 の FFO を活用し、評価系の基礎検証を進める。

プロジェクトオフィサーおよび本課題の研究分担者で構成される企画調整会議を開催し、第 1 期の成果、第 2 期に向けた目標・検討計画について意識合わせを行うとともに、本研究課題のスコープや研究成果について研究分担者と連携し、展示会展展を通じて MCF 技術をアピールした。

### 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】

単心 MCF コネクタの環境試験耐性の試作評価を行い、量産性のある製造プロセスに適した単心 MCF コネクタ構造を整理し、必要であれば新たな試作評価も行う。また、MCF 多心整列技術の方式検討を行うとともに、側方調心を可能とする条件の明確化を行う。

#### 【実施内容と成果】

提案している単心 MCF コネクタの Telcordia GR-326-CORE 準拠の環境試験評価も実施した。すべての試験中で Telcordia GR326-CORE に定められた Criteria (Requirement) を満足することから、本 MCF コネクタの環境試験耐性を確認した。これにより、本コネクタ構造が、量産性のある製造プロセスに適し、かつ、光学特性・機械試験特性・環境試験特性の面から、十分な信頼性をもつことを確認した。MCF 多心整列技術の検討のため、MCF の被覆部分を把持することで回転固定を行う実装機を試作した。当実装機で MCF を調心してファイバアレイを試作し、調心精度の評価を行った。また、MCF の側方調心を可能とする条件に関し、数値計算結果と実験結果の比較検証を行った。

### 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 2 年度）は、カメラ等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、中間目標である通常シングルモードファイバ（SMF）の測定時間比で、2 倍以下の実現可能性を確認する。（4 コアの場合コア当たりの速度が 2 倍）

#### 【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。4 コアファイバのMFD 測定時間を、通常のSMF 比で1.91 倍（1 コア当たり0.48 倍）に短縮できた。これにより中間目標である「通常SMF の測定時間比で2 倍以下が実現可能であることを示す」を達成した。

#### 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】

SI 型標準クラッド径MCF に好適な入出力技術を確立し、IL1 dB 以下となる入出力デバイスを実現する。

- ファイバ出力型FO の母材の最適化：MCF の構造を精査し、接続損失が低減可能なファンアウト作製に適した細径ファイバの設計最適化を行う。さらに FO の製造性向上のために、製造工程の最適化を行う。
- 調心の高精度化：FO の特性評価、MCF への接続に使用する調心装置の最適化を実施し、製造性向上を実現する。

##### 【実施内容と成果】

SI 型標準クラッドに最適な入出力デバイスの開発のための要素技術開発を行った。具体的にはFO 作製に使用する細径ファイバ等の部材の最適化を行い、特性改善、製造性向上を目標に開発を行った。特性としては、IL1 dB 以下となる入出力デバイスを実現した。部材の最適化に加え、FO の評価、MCF への接続に使用する調心装置の最適化を行い、FO の高精度化、製造性向上を実現した。

#### (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。

##### • 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。