

令和元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「空間多重フォトリ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 (令和 4) 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 (令和元年度 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	11	5
	外国出願	3	3
外部発表等	研究論文	0	0
	その他研究発表	31	25
	標準化提案	1	1
	プレスリリース・報道	0	0
	展示会	3	3
	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】

試作した標準クラッド径 MCF の素線時の評価を行い、光ケーブル実装時との比較を行うとともに、ステップインデックス (SI) 型標準クラッド径 MCF の適用領域を明らかにする。また、長距離伝送に適した低クロストーク (XT) 特性を有する標準クラッド径 MCF について設計検討を行い、試作仕様を策定する。

【実施内容と成果】

SI 型 MCF 素線の幾何学パラメータおよび各種光学特性の評価を行った。研究分担者 3 社によって作製された MCF 素線がほぼ同等の特性を有し、光学特性は現行の SMF の国際標準 (ITU-T 勧告 G.657.A1) を満足することを確認した。また、O バンド帯の 100 GbE 光トランシーバおよび C バンド帯のコヒーレント伝送による伝送実験を行い、数十 km 長での高速伝送への適用性を検証した。

さらに、長距離伝送に適した低 XT タイプの標準クラッド径 MCF の仕様策定と試作を開始し、その評価に着手した。

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】

品質異常部の分析や試作により、MCF の品質異常の発生状況を整理する。  
また、効率改善に適した孔開け加工ツールを選定し、その結果に基づいて大型化に対応できる加工装置本体の仕様を明確化する。

【実施内容と成果】

MCF のクラッド径変動について、変動パターンごとの発生数を調査した。品質異常部のサンプルを側方から観察し、異常部が CCD カメラでどのように観察されるかを確認した。

平成 30 年度に作製した加工ツールを用いて石英硝材に対して深さ 200 mm の孔開け加工を実施した。200 mm 加工後の抵抗値を用いて、目標の長さに対する加工後の抵抗値を推定し、加工装置本体が耐えるべき負荷抵抗を明確化した。

### 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】

孔開法における母材大型化および高信頼化の初期検討を行う。また、クラッド一括形成法におけるコア変形に関する評価およびコア変形低減の検討、MCF のスキューの評価を行う。

#### 【実施内容と成果】

孔開法における母材大型化および高信頼化の初期検討として、長尺の 125 $\mu$ m 径 4 コア MCF を作製し、1%の引っ張りプルーフを実施した。破断したファイバ断面の解析から、破断原因の一つは、作製過程での異物混入であることが分かった。

クラッド一括形成法および孔開法、スタック&ドロウ法で作製した MCF について、偏波モード分散（PMD）の評価を行った。断面観察によるコア変形量と PMD には相関があり、クラッド一括形成法でコア変形を抑制して作製した MCF の PMD は、孔開法で作製した MCF と同等であることを確認した。

また、平成 30 年度に導入した測定装置を用いて、MCF のコア間スキューの評価が可能であることを確認した。さらに、低 XT の 125 $\mu$ m 径 MCF を作製、評価し、目標とした幾何学的寸法、光学特性を満たしていることを確認した。

### 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】

平成 30 年度に検討した結果に基づき、非開削法をベースとした高品質な母材製造技術を開発する。

#### ・コア変形量の抑制技術

平成 30 年度の検討結果に基づき、クラッドとコアのクリアランスがコア変形に与える影響を検証する。この結果から、非開削技術に適した母材作製手法の検討を行い、製法開発にフィードバックする。

#### ・コア間隔変動抑制技術

平成 30 年度に見積もったコア間隔変動とクラッド、コア間のクリアランスの関係を検証する。実際にファイバ試作を行い、クリアランスとコア間隔変動の実測値との比較を行う。

#### 【実施内容と成果】

非開削法による母材作製試作を具体的に開始した。この手法の最大の課題であるコア、クラッド間のクリアランスについて、平成 30 年度に行った検討結果との比較検証を行った。さらに、試作結果のフィードバックを行い、クリアランス低減のための手法を検討した。同時に、製造技術開発についても着手し、設計面、製造技術面の両面からのアプローチを実施した。

#### ・コア変形量の抑制技術

平成 30 年度に検討した見積もり結果と、実際に試作したコア変形、コア位置量の比較を行い、その差異についての要因解析をするとともに、変形量低減のための検討を行った。具体的には、クリアランスを縮小させるための方策を検討し、クリアランス低減とコア変形量の関係を検証した。

#### ・コア間隔変動抑制技術

非開削法で作製した母材のコア間隔変動とクリアランスの関係について、実際に試作したマルチコアファイバの特性より検証を行った。

## 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】

研究開発項目ア-1 で試作する SI 型標準クラッド径 MCF を用いて光ケーブルの試作を行い、素線時とケーブル化後などの工程間の特性変化を検証する。

#### 【実施内容と成果】

研究開発項目ア-1 で試作した SI 型 MCF を用いたテープ心線および高密度ケーブルの試作を行い、その評価に着手した。ケーブル実装における側圧耐性を確認するため、SI 型 MCF 素線における損失・XT のマイクロバンド耐性を評価し、マイクロバンドによる特性変化は十分小さいことを確認した。またケーブル化後の初期特性および温度変化を想定した環境特性の評価に着手するとともに、令和 2 年度に行うフィールド環境下での敷設試験に向けた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】

研究開発項目ア-1 で平成 30 年度に試作された SI 型標準クラッド径 MCF を利用し、多段接続構成（融着接続やコネクタ接続等）を設計・構築する。また、平成 30 年度に構築した測定系を用いて、挿入損失やコア間 XT、偏波関連の特性（偏波変動特性等）等を検証し、多段接続における影響を明確化する。

#### 【実施内容と成果】

研究開発項目ア-1 で試作された 3 社の SI 型標準クラッド径 MCF を利用し、各社の SC コネクタ付 4 コア FIFO デバイスおよび各社の SC コネクタ付 10 m 4 CF パッチコードの試作を完了した。また上記を用いて、SI 型 4 CF の多段接続構成（異ベンダ接続構成含む）を設計・構築し、平成 30 年度に構築した評価系を用いて、挿入損失やコア間 XT、偏波変動性等の特性について、測定を実施した。

## 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】

標準クラッド径 MCF を用いて幾何学パラメータの評価系を構築し、定義および評価手法の妥当性を検証する。

#### 【実施内容と成果】

4 コアファイバにおける、コア位置の偏差およびクラッド直径の偏差による接続損失を机上検討で算出し、相互接続性の観点から考えられる幾何学パラメータの許容偏差を検討した。現状の SMF 国際標準を考慮し、 $\pm 0.7 \mu\text{m}$  のクラッド直径偏差を仮定した場合、MCF コネクタや接続で報告されている  $1^\circ$  未満の回転ずれを想定すると、許容接続損失 0.5 dB ならびに 0.25 dB に対してそれぞれ  $0.8 \mu\text{m}$ 、 $0.5 \mu\text{m}$  未満に制御する必要があることが得られた。

また、MCF を含む SDM ファイバ・ケーブル技術について、その定義や分類、国際標準化に必要な項目等に関する技術文書の作成を研究分担者との連名で ITU-T Q5/SG15 に提案し、合意された。さらに、プロジェクトオフィサ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て、検討状況・成果の共有および第 1 期の目標到達に向けた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および関係する課題 188 と連携し、3 回の展示会出展を通じて国内外に 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】

量産性のある製法を用いて作製した単心 MCF コネクタの信頼性評価を行い、実用化が可能な量産性と信頼性の両立に向けた課題を明らかにする。

また、ファイバの側方調心を可能とするため、ファイバの側方からコアの回転角度を観察・定量化する方法、および側方調心を可能とする MCF が備えるべき特徴と状態を明らかにする。

### 【実施内容と成果】

量産性のある射出成型法による製造プロセスにて LC 型単心 MCF コネクタを試作し、ランダム接続試験・機械試験を実施した結果、同コネクタの低挿入損失 (IL)・PC 接続、および同コネクタの機械信頼性を確認した。同コネクタの信頼性担保のため、環境試験評価が今後の課題である。

また、クラッド側方を顕微鏡観察することで、コアの回転角度を観察・定量化可能であることを確認した。また、コアのトレンチにより、角度変化による側方観察像の変化が大きくなり、側方調心の高精度化に有利となる可能性を明らかにした。

## 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て、MCF の各コアへの光の入力方法の検討、および MCF のモードフィールド径 (MFD) が測定可能であることを確認する。

### 【実施内容と成果】

平成 30 年度に構築した、カメラを用いた MFD 測定系を用いて、MCF のニアフィールドから MFD の測定が可能であることを確認した。また、4 コア MCF のすべてのコアを同時励振するための方法を検討し、同時励振が可能であることを確認した。さらに、令和 2 年度に向け、4 コア同時励振したニアフィールド画像から各コアの MFD を導出する検討を開始した。

## 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】

試作により得られた SI 型標準クラッド径 MCF に適した入出力デバイスの設計を行い、デバイスの最適構成を見出す。

- 入出力デバイスに最適なファイバ設計  
入出力デバイスに使用する細径ファイバの屈折率プロファイルの検討を行い、入出力デバイス全体の損失が最小となるファイバ構造を見出す。
- MCF と 0.5 dB 以下で接続可能なファイババンドル実現  
ファイババンドルに使用するキャピラリの最適設計により、バンドル内のファイバ位置精度を向上させ、接続損失の低減を果たす。

### 【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、具体的には、鍵となる部品であるファイバとキャピラリの最適化を行った。ファイバについては細径、かつ過剰損失を発生させず、MCF との接続損失が低減できることでキャピラリーには位置精度向上可能な構造を検討した。

- 入出力デバイスに最適なファイバ設計  
MCF の構造を精査し、接続損失が低減可能な細径ファイバの検討を実施した。具体的には、MCF との接続損失が小さく、キャピラリー内での過剰損失が低減できるファイバの構造について

クラッド径も含めた設計を行った。

- MCF と 0.5 dB 以下で接続可能なファイババンドル実現

ファイババンドルで発生する接続損失低減のために、キャピラリ内の位置精度向上に取り組んだ。キャピラリ内部構造の最適化によるクリアランスの最適化、細径ファイバの最適化により、過剰損失 0.5 dB 以下のファンアウトを実現した。