

平成 28 年度研究開発成果概要書

課 題 名 : 革新的光ファイバの実用化に向けた研究開発
採 択 番 号 : 17002
個別課題名 :
副 題 : マルチコア光ファイバ技術と標準化指標の確立

(1) 研究開発の目的

本研究は、1Pbit/s・100km 伝送用マルチコア光ファイバ(MCF)技術の確立と標準化方針の策定、並びに数モードマルチコア光ファイバ(FM-MCF)技術による伝送容量拡大ポテンシャルの明確化を行うことを目的とする。

(2) 研究開発期間

平成 25 年度から平成 29 年度 (5 年間)

(3) 実施機関

日本電信電話(株)〈代表研究者〉、住友電気工業(株)、(株)フジクラ、古河電気工業(株)、国立大学法人北海道大学、国立大学法人横浜国立大学、公立大学法人大阪府立大学

(4) 研究開発予算(契約額)

総額 710 百万円(平成 28 年度 133 百万円)
※百万円未満切り上げ

(5) 研究開発課題と担当

課題 A-1 MCF の高品質・長尺化技術の開発

- A-1-1 紡糸条件の最適化技術 (日本電信電話(株))
- A-1-2 生産効率の最適化技術 (住友電気工業(株))
- A-1-3 スケーラブル製造技術 ((株)フジクラ)
- A-1-4 粉末形成クラッド技術 (古河電気工業(株))

課題 A-2 MCF の多重効率の向上と最適化技術の開発

- A-2-1 多重容量の最大化技術 (住友電気工業(株))
- A-2-2 空孔構造の活用技術 (日本電信電話(株))

課題 A-3 MCF 標準化方針の策定

- A-3-1 標準化指標とマイルストーンの明確化 (日本電信電話(株))

課題 B-1 FM-MCF 設計技術の検討

- B-1-1 FMF 構造条件の明確化 (日本電信電話(株))
- B-1-2 FMF 解析技術の確立 (国立大学法人北海道大学)
- B-1-3 FMF 製造とクロストーク特性の明確化 ((株)フジクラ)

課題 B-2 FM-MCF 用入出力及び評価技術の検討

- B-2-1 FMF 入出力技術の検討 (国立大学法人横浜国立大学)
 B-2-2 FMF 評価技術の検討 (公立大学法人大阪府立大学)

(6) これまで得られた成果 (特許出願や論文発表等)

		累計 (件)	当該年度 (件)
特許出願	国内出願	52	11
	外国出願	15	7
外部発表	研究論文	19	7
	その他研究発表	198	55
	プレスリリース・報道	7	5
	展示会	16	6
	標準化提案	1	0

(7) 具体的な実施内容と成果

課題 A-1 MCF の高品質・長尺化技術の開発

A-1-1 紡糸条件の最適化技術 (日本電信電話 (株))

共同提案者の各種製造法を用いて作製した統一仕様の 1 コア母材 (3 種) について、紡糸条件と機械強度特性の相関関係の明確化に向けたデータ取得を継続しており、高張力紡糸による機械強度特性の改善傾向を見出しつつある。

最終年度は上記の検証を継続するとともに、4 コアマルチコアファイバ母材の紡糸を実施し、紡糸条件が機械強度と損失特性に及ぼす影響について明らかにする。

A-1-2 生産効率の最適化技術 (住友電気工業 (株))

目標とするファイバ生産性指標の達成に向け、コア挿入線引法で 3 コア MCF の紡糸を行い、製造プロセスの検証および光学特性の評価を実施した。評価の結果、ファイバ長 240km に亘り、伝送損失 $\leq 0.20\text{dB/km}$ 、伝送損失のコア間偏差 $\leq 0.005\text{dB/km}$ を満たすことを確認した。

A-1-3 スケーラブル製造技術 ((株) フジクラ)

最終目標であるファイバ長 200 km 級母材の孔開法での実現を目指して、昨年度の検討をもとに、設計通りのサイズで母材に孔開出来ることを確認した。また、作製した母材を紡糸し、長さ 240 km 以上の 4 コア MCF が作製可能であることを確認した。

クラッド一括成形法を用いて、コア間に空孔を有する MCF の母材を作製し、加圧紡糸することで、空孔を付与した MCF を作製した。

A-1-4 粉末形成クラッド技術 (古河電気工業 (株))

粉末成形法の特徴を生かした高機能化手法を検討し、粉末形成クラッド全域に微細空孔を有する構造が作製可能であることを確認した。

粉末成形法クラッド MCF 高品質化を目指し、加圧成形法による母材作製からファイバ検査までの各工程での歩留り調査を行った。プルーフテストでのファイバ破断部断面で粉末形成クラッド部に異物を確認した。異物混入の可能性のある工程の抽出と対策検討を行った。

課題 A-2 MCF の多重効率の向上と最適化技術の開発

A-2-1 多重容量の最大化技術 (住友電気工業 (株))

多重容量の最大化や空間モード分散低減が期待される結合型 MCF について、実効断面積の評価方法の基礎検討を行った。

A-2-2 空孔構造の活用技術 (日本電信電話 (株))

共同提案者のフジクラと連携し、課題 A-1-3 で検討しているクラッド一括合成による空孔付き 4 コア単一モードマルチコア光ファイバを作製・評価した結果、コア間に単一の空孔を配置することで 10 dB 程度クロストーク改善が実現できることを実験的に確認した。

課題 A-3 MCF 標準化方針の策定

A-3-1 標準化指標とマイルストーンの明確化 (日本電信電話 (株))

MCF のケーススタディとして、汎用の単一コア SMF と完全互換となる MCF のコア数とクラッド径の関係を明らかにし、クラッド径と被覆径を指標とする標準化マイルストーンについて共同提案者間で議論を進めた。

課題 150 および 17001 と連携し構築したコネクタ付き長距離・低損失 MCF と増幅・接続技術を用いた相互接続デモを活用し、FOE を始めとする国内展示会に加え国際会議併催の展示会に出展し、MCF 技術の研究成果を国内外へ広くアピールした。

課題 B-1 FM-MCF 設計技術の検討

B-1-1 FMF 構造条件の明確化 (日本電信電話 (株))

昨年度に実証した世界最高密度の 114 チャンネル FM-MCF について、NTT・北海道大・フジクラの連名で報道発表を行うとともに展示会や学術講演でもアピールし、本研究開発における世界トップデータを国内外へ示した。

また FMF 評価技術の確立に向けた連携体制を活用し、共同提案者間での伝送損失評価法のクロスチェックを行い、各者の試験法の妥当性および適用条件を確認した。

さらに高次モードの接続損失と MFD 評価との関係について検討を行い、FMF および FM-MCF の多段接続モデルにおけるモード依存損失をシミュレーションにより検証した。

B-1-2 FMF 解析技術の確立 (国立大学法人北海道大学)

4LP モード (6 モード) MCF のコア数とコア配置依存性を詳細に調査し、クラッド外径 $<250 \mu\text{m}$ の条件において、同種 4LP モード 19 コア MCF により相対コア多重度指数 $\text{RCMF}>60$ が実現可能であること、および異種 4LP モード 21 コア MCF により $\text{RCMF}>65$ が実現可能であることを明らかにした。

結合型 MCF の群遅延算出法に関して、一定の曲げ半径で巻かれたファイバの面内ランダムツイストモデルを考案し、プリンシパルモード解析による群遅延広がり解析、並びに、非線形シュレディンガー方程式によるインパルス応答により、その妥当性を示した。また、モード結合理論を用いる際のモードの基底として、結合スーパーモード、個別コアモードのどちらを用いるべきかについて、非線形シュレディンガー方程式によるインパルス応答解析をもとに考察した。

B-1-3 FMF 製造とクロストーク特性の明確化 ((株) フジクラ)

昨年度作製した FM-MCF (6 モード・19 コア) を評価し、小さなモード間群遅延

差および、高い空間多重度 ($RCMF > 60$) を実現した。この評価結果をもとに、さらなる高密度化が可能か検討を継続している。

課題 B-2 FM-MCF 用入出力及び評価技術の検討

B-2-1 FMF 入出力技術の検討 (国立大学法人横浜国立大学)

昨年度に新たに考案した偏光分離器とコヒーレント4象限分割光検出を用いた高速モード分析法の光学系および信号処理系からなる測定システムを構築して、ヘテロダイン信号の検出までを確認した。このヘテロダイン信号から各伝播モードの複素振幅を求めるプログラムを今後開発する。また、昨年度に従来のLP近似モードを用いたモード多重伝送の問題点を明らかにして、厳密固有モードを用いるモード多重伝送とそのため
の厳密固有モード合波器を提案したが、今年度はこの厳密固有モード合波器をシリコン導波路および誘電体導波路で設計した。さらにLP₁₁モード選択励振器とNFP観測装置および偏光フィルタを用いて、数モードファイバを伝播する真の固有モードを観測した。

B-2-2 FMF 評価技術の検討 (公立大学法人大阪府立大学)

双方向OTDRを用いたFMFの実効断面積の評価法の提案、およびFMFの基本モードのモードフィールド径を既存のOTDRとモードコンバータを用いて評価するための測定条件を明らかにした。その他の評価法に関しては、2モードファイバ(TMFB)における励振比および曲げ損失の同時測定法を提案した。また、本評価法は、LP₁₁モードの曲げ損失の曲げ径依存性が測定できる。また、FMFの高次モードの実効断面積を評価する方法として、モードコンバータと開口数可変遠視野分布(VAFF)法を利用した測定方法を提案した。本測定方法は、LP₁₁モードの実効断面積に関しては、補正係数を用いて測定可能であることを明らかにした。干渉法を用いたLP₁₁モードの波長分散測定法を提案し、実証した。更に、MCFのモードフィールド径測定にVAFF法が適用可能であることをシミュレーションにより明らかにした。4コアFM-MCFのカットオフ波長の一括励振法による測定条件について検討した。課題B-1との連携によりFMFのモード損失評価技術を検証した。