

(29-2)

様式1-4-2

平成29年度研究開発成果概要書

採択番号：17002

課題名：革新的光ファイバの実用化に向けた研究開発

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

日本電信電話株式会社<代表研究者>

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

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29年度 125百万円）

※百万円未満切り上げ

(5) 研究開発項目と担当

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

(29-2)

- 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) 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	68	11
	外国出願	24	9
外部発表	研究論文	27	8
	その他研究発表	271	76
	プレスリリース・報道	28	21
	展示会	19	3
	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 4 コアファイバ母材に対し高張力紡糸を行い、単一コアファイバと同様に機械強度の改善効果が得られることを実証した。さらに、クラッド径が 250 μm の太径ファイバに対する高張力紡糸の検証結果と併せて、紡糸条件と機械強度の関係を体系化し論文投稿を実施した。

加えて、紡糸時にねじりを付与したマルチコアファイバを試作し、1m 当り数回転の捻りにより、コア間クロストークを約 10 dB 改善できることを初めて実証した。

A-1-2 生産効率の最適化技術 (住友電気工業 (株))

コア挿入線引法で長さ 390km の 7 コア MCF の紡糸を実現し、目標を上回る 3.9×10^3 ($\text{km}^2 \cdot \text{コア}/\text{分}$) の生産性指標を達成した。光学特性を評価した結果、全長に亘って伝送損失 $\leq 0.20\text{dB}/\text{km}$ 、伝送損失のコア間偏差 $\leq 0.01\text{dB}/\text{km}$ 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)

昨年度、 $\phi 86\text{mm}$ の 4 コア母材で、ファイバ長 242 km (クラッド径 150 μm) を達成した。今年度は、 $\phi 120\text{mm}$ の 7 コア母材を作製し、ファイバ長 184 km (クラッド径 175 μm) を達成し、素線化した体積としては昨年度を上回る MCF を実現した。

また、クラッド一括成法の検討において、母材の大型化に成功し、ファイバ長 50 km を達成した。さらに、純シリカコアを用いることで、平均損失 0.177 dB/km を達成することが出来た。

A-1-4 粉末形成クラッド技術 (古河電気工業 (株))

粉末形成法としてサンドクラッド技術を活用して MCF 作製法を開発し、高純度シリカ粉末を使用して長さ 50km、平均損失 0.19 dB/km の 4 コア MCF 実現した。

また、粉末成形法であるサンドクラッド法の特徴を生かして、コア間に漏洩阻止層としてフッ素添加ガラス層を設けた 4 コア MCF を作製し、約 36dB のクロストーク低減を実証した。

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を検討し、広帯域光源を用いることでファーフィールドスキャン法を結合型 MCF に適用できることを実証した。また、結合型 MCF の評価を行う上で重要となる接続部の理解を深めるため軸ずれ起因の融着損失の評価を行うとともに、TEC 技術による融着損失の低減を実証した。

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 コアの数モードマルチコア光ファイバを作製・評価し、高次モードに対しても単一モードと同様に、単一空孔により 10 dB 以上のクロストーク改善効果が得られることを実験・理論の両面から明らかにした。さらに上記の結果を用いて、空孔構造の活用による充填コア数拡大効果を明らかにした。

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))

課題 17001・17002 および 188 の連携により、長尺・高品質の標準クラッド径 MCF を用いた 300 km 超の相互接続伝送実験を行い、標準クラッド径 MCF で世界最大となる 118.5 Tbit/s 伝送に成功するとともに、L バンドの併用により 100 Pbit/s・km の伝送ポテンシャルを確認した。本連携成果の OECC2017 Postdeadline paper での採択を実現すると同時に、報道発表や展示会等を通じて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))

課題 A-1-3 および課題 B-1-2 との連携により、空間多重密度の向上と接続点におけるモード間損失差の低減を同時に実現する数モードマルチコアファイバの設計コンセプトを提案し、6 モード 7 コアファイバを用いた長距離 1R 伝送に成功するとともに、10 モード 12 コアファイバによる 100 チャンネル超かつ 100 倍以上の空間多重密度といった、複数の世界トップデータを樹立した。

B-1-2 FMF 解析技術の確立 (国立大学法人北海道大学)

空間多重密度の向上のための 10 モード MCF の最適設計を実施し、クラッド外径 250 μm 以下という条件では、10 モード 12 コア MCF により相対空間多重度指数(RCMF) >90 が実現可能であることを明らかにするとともに、FM-MCF 技術による伝送容量拡大ポテンシャルを明確化した。

また、結合型 MCF における群遅延広がり (GDS) について、ファイバの構造パラメータ、および曲げ半径との関係を詳細に調査し、伝送路の曲げ状態を考慮して構造設計する必要があることを明らかにするとともに、GDS 低減のためのコアプロファイルの設計指針を示した。

B-1-3 FMF 製造とクロストーク特性の明確化 ((株)フジクラ)

6 モード・7 コアファイバを合計 50 km 作製し、評価を行った。長尺の FM-MCF 作製においても、低損失(<0.208 dB/km)と小さなモード間群遅延差(<450 ps/km)を実現した。さらに、10 モード・12 コアファイバを 4.1 km 作製し、評価を行った。このファイバの空間分割多重数は 10 モード \times 12 コアの 120 であり、RCMF は 100 以上を達成した。

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)

一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の測定精度を、シミュレーションによって解析して、誤差の低減法を明らかにした。また、一昨年度に従来の 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分波器を提案して、昨年度にこの厳密固有モード合分波器を設計し、本年度は素子試作を行った。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、FMF を伝播する真の固有モードを観測した結果、単一コア FMF では理論通りの厳密は固有モードが伝播することを確認できたが、12 コアおよび 19 コアの FM-MCF では、理論とは異なって LP₁₁ モードが固有

(29-2)

モードとして伝播する現象をはじめて発見した。

B-2-2 FMF 評価技術の検討

(公立大学法人大阪府立大学)

干渉法を用いた FMF の高次モードの波長分散の測定法の提案を行うとともに、実験でその有用性を確認した。2 モードファイバの LP_{11} モードの曲げ損失の曲げ径依存性の測定法を提案し、その有用性を実験によって明らかにした。FMF の高次モード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。また、高次モードの実効断面積の測定にも、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。更に、FMF の偏波モード分散に関する基礎的な実験的な検討を行った。

また、2 モードマルチコアファイバ (TM-MCF) の各コアの LP_{01} と LP_{11} モード間の群遅延差 (DGD) を、干渉計を用いて、同時に測定する方法を提案し、2 コア TM-MCF を用いて本測定法で DGD を測定しその有用性を実証した。さらに課題 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。