

(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 : 17001

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 : ペタビット級空間多重光ファイバの実用化・大容量化技術

(1) 研究開発の目的

本研究では、マルチコアファイバの低コスト・大量生産ファイバ製造技術、ならびに、多心ケーブル化を念頭においた高信頼・高精度ファイバ製造技術を確立するとともに、それらファイバの評価技術を実現し、ペタビット伝送性能を有するマルチコアファイバの実用化を推進させる。また、マルチコアファイバにモード多重技術を融合させ、モード多重マルチコアファイバ作製技術およびその評価・伝送技術を検討する。モード多重数、コア数、そして変調多値数を最適化することで、マルチペタビット級空間多重多値変調伝送の実現可能性を実証することを目的とする。

(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

株式会社 KDDI 総合研究所<代表研究者>

古河電気工業株式会社

住友電気工業株式会社

国立大学法人東北大学

(4) 研究開発予算 (契約額)

総額 577 百万円 (平成 28 年度 108 百万円)

※百万円未満切り上げ

(5) 研究開発項目と担当

1700101 : 大容量マルチコアファイバ伝送技術 (株式会社 KDDI 研究所)

1700102 : マルチコアファイバのコア密度拡大・母材大型化・高速測定技術
(古河電気工業株式会社)

1. マルチコアファイバのコア密度拡大技術

2. マルチコアファイバ母材の大型化技術

3. マルチコアファイバの高速測定技術

1700103 : マルチコアファイバの高信頼化・高精度化とモード多重技術応用
(住友電気工業株式会社)

1. 高信頼マルチコアファイバの開発

2. マルチコアファイバのコア配列高精度化技術の開発

1700104 : 大容量マルチコアファイバの性能評価技術 (国立大学法人東北大学)

1. モード結合評価技術の開発

2. マルチコア/マルチモードファイバの超多値伝送と特性評価

(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	23	3
	外国出願	11	3
外部発表	研究論文	19	9
	その他研究発表	164	53
	プレスリリース・報道	22	10
	展示会	10	1
	標準化提案	0	0

(7) 具体的な実施内容と成果

- 1700101：大容量マルチコアファイバ伝送技術
 - ① モード間結合が極力抑圧された実用的なモード多重伝送システムにおけるモード多重数を見極めるため、48km 10 モード多重伝送実験を行い、 2×2 または 4×4 MIMO 処理のみを用いて、単一コアファイバにおける世界最大の伝送容量 257 Tbit/s を達成した。
 - ② 6モード 19 コアファイバを用いた高密度空間・波長多重伝送実験を行い、ファイバ1 芯あたり、世界最大となる 10.16 Pbit/s の伝送容量と周波数利用効率 1099.9 bit/s/Hz を達成した。これにより、モード多重マルチコアファイバの究極性能を見極めるとともに、そのファイバ設計指針を明確化した。
 - ③ 課題 1700102 と連携し、シングルモードファイバと互換性のある $125\mu\text{m}$ クラッド径の 5 コアファイバを試作し、そのケーブル開発・フィールド検証を実施した。

- 1700102：マルチコアファイバのコア密度拡大・母材大型化・高速測定技術
 - ① 170-01-02-1 マルチコアファイバのコア密度拡大技術

実用化を目指したマルチコアファイバの検討を行い、100 km級ファイバの実現性を確認した。低非線形性と低クロストークを両立しつつ、実用的かつ高空間密度なマルチコアファイバの開発を行い、通常のシングルコアファイバの5倍の空間多重度を実現した。実用化に向けて1000 コア相当のケーブル試作を行い、8.4 コア/ mm^2 達成の見通しを立てた。
 - ② 170-01-02-2 マルチコアファイバ母材の大型化技術

母材大型化検討の一環として、外付け法、一体化線引法、異形管法の検討を行った。大型化の成果としては穿孔法をベースとした一体化線引が最もよい精度が出ておりコア位置ずれ $1.5\mu\text{m}$ を実現した。この製法の中で改善できる部分を調査し、 $0.5\mu\text{m}$ の位置精度についても目途を立てた。
 - ③ 170-01-02-3 マルチコアファイバの高速測定技術

マルチコアファイバの測定高速化のためファンアウトを活用した測定法について検証を行った。19コアまでのファンアウトを作成検証し、高速化と十分な精度を確認した。さらに、マルチコアファイバに重要なスキュー測定技術を確立した。

- 課題 170-01-03 マルチコアファイバの高信頼化・高精度化とモード多重技術応用

ファイバの疲労係数がガラス径や被覆厚に依存しないことを実験的に明らかにし、ガラス径の異なるファイバの破断確率計算の妥当性を検証し、スクリーニングレベルや許容曲げ径の最適化により、ガラス径 $200\mu\text{m} \sim 320\mu\text{m}$ でも、従来と同等の破断確率を維持できることを明らかにした。また、MCF ケーブルを試作し、機械

試験・光学特性さらに伝送特性に何ら問題が生じないことを明らかにし、(長距離)通信インフラとして実用的とされる MCF の設計指針を明らかにした。モード多重伝送用ファイバとして、課題 170-01-01 での伝送実験に用いることができるように、数モード MCF の設計・試作を行った。また、これまで測定を行えなかった多モードコアの光学特性の測定法について、実効断面積の測定方法を提案・実証した。MCF のコア配置誤差要因を洗い出し、その低減手法を明らかにし、 $\pm 0.5 \mu\text{m}$ 以下のコア間隔の誤差を実現した。また、単芯・多条接続方法の提案・実証のために、 $125 \mu\text{m}$ クラッド 8 コアファイバを用いて、96 コアコネクタおよび 256 コアコネクタを開発し、1 dB 以下の挿入損失を実現すると共に、全コアでのフィジカルコンタクト接続を達成した。非円形クラッド MCF の開発を行い、V 溝に実装し接続部材を試作したところ、アクティブ回転調心なしで概ね ± 0.9 度以下の回転調心精度を実現し、いくつかのサンプルで接続損失を評価したところ 0.5dB 以下の接続損失を実現した。

- 1700104 : 大容量マルチコアファイバの性能評価技術

- 課題 170-01-04-1 モード結合評価技術の開発

- マルチチャンネル OTDR を用いてマルチモードファイバ中のモード結合量の長手方向の分布を測定する手法を新たに提案し、LP01、LP11a、LP11b の 3 モードに対するクロストークの測定技術を確立した。また、マルチモードファイバとマルチコアファイバの両方に対応したモード結合測定装置を開発した。

- 課題 170-01-04-2 マルチコア/マルチモードファイバの超多値伝送とその特性評価

- 古河電気工業社と連携して 256 値以上の超多値 QAM 伝送に適した低 A_{eff} かつ低クロストーク特性を有する 19 コア単一モードファイバを開発した。そして本ファイバを用いて C、L バンド WDM-256 QAM デジタルコヒーレント伝送実験を実施し、2 ペタビット以上の超大容量伝送の可能性を実証した。さらに、KDDI 社と連携して 19 コア 6 モードファイバを用いた 10 ペタビット伝送を実現した。