

平成 27 年度研究開発成果概要書

課題名：革新的光通信インフラの研究開発
採択番号：150ア2
個別課題名：課題ア マルチコア光増幅技術
副題：マルチコア光増幅の実現技術の確立と国際標準化の推進

(1) 研究開発の目的

マルチコアファイバを用いた空間多重によって従来の光伝送システム容量を飛躍的に増大させるマルチコア光伝送に資するマルチコア光増幅技術の基盤技術確立を目的とする。具体的には、光増幅中継に必要な集中型光増幅について、「コア分離光増幅」、並びに「ファイバ型一括光増幅」の両基盤技術を確立すると共に、伝送中の信号対雑音比劣化抑制に有効な、分布型/遠隔励起型光増幅を実現する基盤技術を確立する。

さらに、マルチコア光増幅技術の検討における成果、及び明らかになった課題を明確化することで、国際標準化へ向けた基礎とする。

(2) 研究開発期間

平成 23 年度から平成 27 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>
株式会社フジクラ
公立大学法人大阪府立大学（実施責任者 教授 山田誠）
国立大学法人島根大学（実施責任者 教授 増田浩次）
学校法人千歳科学技術大学（実施責任者 教授 小林壮一）

(4) 研究開発予算（契約額）

総額 265 百万円（平成 27 年度 47 百万円）
※百万円未満切り上げ

(5) 研究開発課題と担当

- 課題ア-1 集中増幅用コア分離/ファイバー一括光増幅技術の開発
 - 課題ア-1-1 光増幅動作特性解析・設計技術
(日本電信電話株式会社)
 - 課題ア-1-2 増幅用ファイバ設計・線引き・評価技術
(日本電信電話株式会社)
 - 課題ア-1-3 EDF による増幅用ファイバ母材設計・作製技術
(株式会社フジクラ)
 - 課題ア-1-4 EDF 以外による増幅用ファイバ母材設計・作製技術
(千歳科学技術大学)
 - 課題ア-1-5 増幅用複合機能デバイス技術
(日本電信電話株式会社)
 - 課題ア-1-6 集中型光増幅特性評価
(大阪府立大学)
 - 課題ア-1-7 光増幅器プロトタイプ作製
(大阪府立大学)

(27-1)

課題ア-2 分布型/遠隔励起型光増幅実現技術の開発

課題ア-2-1 増幅用ファイバ設計・線引き・評価技術

(日本電信電話株式会社)

課題ア-2-2 EDF による増幅用ファイバ母材設計・作製技術

(株式会社フジクラ)

課題ア-2-3 EDF 以外による増幅用ファイバ母材設計・作製技術

(千歳科学技術大学)

課題ア-2-4 増幅用複合機能デバイス技術

(日本電信電話株式会社)

課題ア-2-5 分布型/遠隔励起型光増幅特性評価

(島根大学)

課題ア-3 国際標準化の推進

課題ア-3-1 国際標準化へ向けたロードマップ策定

(大阪府立大学)

課題ア-3-2 新規課題提案の素案作成

(日本電信電話株式会社)

(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	21	7
	外国出願	7	3
外部発表	研究論文	6	2
	その他研究発表	118	17
	プレスリリース・報道	0	0
	展示会	11	3
	標準化提案	4	0

(7) 具体的な実施内容と成果

課題ア-1 集中増幅用コア分離/ファイバー括光増幅技術の開発

・マルチコア光増幅におけるクラッド励起とコア直接励起の消費電力比較

(日本電信電話、大阪府立大学、フジクラ)

コア分離光増幅とファイバー括光増幅の特性比較を目的に、クラッド励起マルチコア Er/Yb 添加ファイバ増幅器 (MC-EYDFA) の消費電力について、従来のコア直接励起 Er 添加ファイバ増幅器 (EDFA) をコア数分使用した場合との比較を行い、以下の点を明らかにした。

- ・クラッド励起がコア励起より低消費電力となる光増幅器環境温度と出力パワーの条件がある。
- ・環境温度が低い場合は、コア励起 EDFA をコア数分用意した方が低消費電力となる場合がある一方、環境温度が高くなる程、クラッド励起の消費電力が有利になる。

・マルチコア光増幅における強度変調光及び電気スペクトラムアナライザ (ESA)

を用いた MC-EDFA コア間クロストーク測定

(日本電信電話、大阪府立大学、フジクラ)

従来の光スペクトラムアナライザを用いたコア間クロストーク測定方法では単一波長での測定ができない点を解決するために、強度変調光及び ESA を用いた MC-EDFA のコア間クロストーク測定を提案し適用性を確認した。

- ・変調周波数はコア間クロストーク測定値に影響を与えない。
- ・利得一定の場合、コア間クロストークは MC-EDFA 出力光パワーに依存しない。

- マルチモード光増幅におけるリング型屈折率分布を有する Two-LP-Mode EDF の理論解析

(大阪府立大学、日本電信電話、フジクラ)

モード間利得差 (DMG) を低減したマルチモード光増幅実現のために、C-band において LP_{01} , LP_{11} の 2LP モードに対応した Two-LP-Mode EDFA の理論解析を行った。

- ・ リング型屈折率分布をもつ EDF の理論解析を行った。
- ・ 構造パラメータを最適化することで DMG と共に波長間利得偏差 (WDG) を零にできる可能性を有することを明らかにした。
- ・ リング型屈折率分布をもつ EDF とそれに接続するフューモードファイバとの接続特性の理論解析を行い、低雑音・低クロストーク特性を有する増幅器の実現には軸ずれが小さな接続技術が重要であることを確認した。

- マルチモード光増幅におけるリング型屈折率分布を有する Two-LP-Mode EDF の作製および増幅特性評価

(フジクラ、日本電信電話、大阪府立大学)

DMG を低減したマルチモード光増幅実現のために、C-band において LP_{01} , LP_{11} の 2LP モードに対応した Two-LP-Mode EDFA の検討を行った。

- ・ リング型屈折率分布をもつ EDF を作製した。コアには Er および Al を添加。
- ・ ステップ型屈折率分布をもつ EDF の DMG が 9.2 dB であったのに対し、本ファイバでは DMG が 1.8 dB であり、DMG 低減を確認した。また DMG の励起光のモード依存性が小さいことを確認した。

- リング型屈折率分布を有する Two-LP-Mode EDF を用いた FM-EDFA の伝送実験への適用

(日本電信電話、フジクラ、大阪府立大学)

C-band において LP_{01} , LP_{11} の 2LP モードに対応した Two-LP-Mode EDF を用いて FM-EDFA を作製し、課題ウと連携してマルチコア・マルチモード伝送実験へ適用した。

- ・ FM-EDFA の利得は両モードで >18 dB、モード間利得差は 1.4 dB で高利得・低モード間利得差の FM-EDFA を実現した。
- ・ FM-EDFA を 527 km の周回伝送実験へ適用し、フィージビリティを確認した。

- リング型屈折率分布を有するマルチコア Two-LP-Mode EDF の試作

(フジクラ、日本電信電話、大阪府立大学)

C-band において LP_{01} , LP_{11} の 2つの LP モードに対応した 7 コアの Two-LP-Mode EDF を試作した。

- ・ 7 コアは最密充填配置とし、各コアはモード間利得差を低減するために、リング型屈折率分布とした。
- ・ Er イオンの 1530 nm 近傍の吸収ピーク値は平均 15.2 dB/m、コア間ばらつき 1 dB/m であり、全コアにおいて比較的短尺 (10 m 未満) で増幅が可能となる十分な吸収量が得られた。
- ・ 全コア・モードの利得および NF は、利得が 19.1-26.8 dB、モード間利得差 1.5-3.6 dB、雑音指数 4.0-7.5 dB の特性を確認した。
- ・ コア間クロストークは計算により、曲げ半径 100 mm 以下では -57 dB 以下 (2 コア間)、-49 dB 以下 (全コア励振時のコア 0) が見込まれ、十分小さいクロストークが得られる設計となっている。

- 1.3 μ m 帯光増幅におけるダブルクラッド Bi 添加石英光ファイバの利得特性

(千歳科学技術大学)

1.3 μ m 用光増幅器用として検討を進めてきたダブルクラッドピスマス (Bi) 添加石英光

(27-1)

ファイバを作製し、その単位距離当たりの実効利得特性を測定した。

- ・円形ダブルクラッドファイバの利得特性とD型ダブルクラッドファイバ利得特性を比較した結果、D形ダブルクラッドファイバは光ファイバ長に対して飽和せずリニアに比例すること、単位距離当たりの利得も向上していることを明らかにした。
- ・808nmLDコア励起によるBDF+EDFカスケード接続により1310nmおよび1490nmの光増幅実験を行い励起方向の違いにより2.34dB(BDF側から励起)、2.64dB(EDF側から励起)の増幅利得を得た。

課題ア-2 分布型/遠隔励起型光増幅実現技術の開発

- ・遠隔励起EDFAの全光型高速利得一定制御技術の明確化
(島根大学)

遠隔励起マルチコアEDFA伝送システムにおける全光型AGC方式に関し、利得制御特性を実験により明らかにした。

残留利得偏差は、入力光パワーとともに増加し、励起光パワーを増やすと減少傾向にあった。すべての場合において残留利得偏差は、0.4dB以下と良好な結果を得ることができた。

課題ア-3 国際標準化の推進

- ・マルチコア光増幅技術報告
(大阪府立大学、日本電信電話)

将来の国際標準化の議論をリードするためIEC東京会合の、TC86/SC86C/WG3(光増幅器)において、マルチコア光増幅に関する技術報告を行った。