

平成26年度「革新的光通信インフラの研究開発」の研究開発目標・成果と今後の研究計画

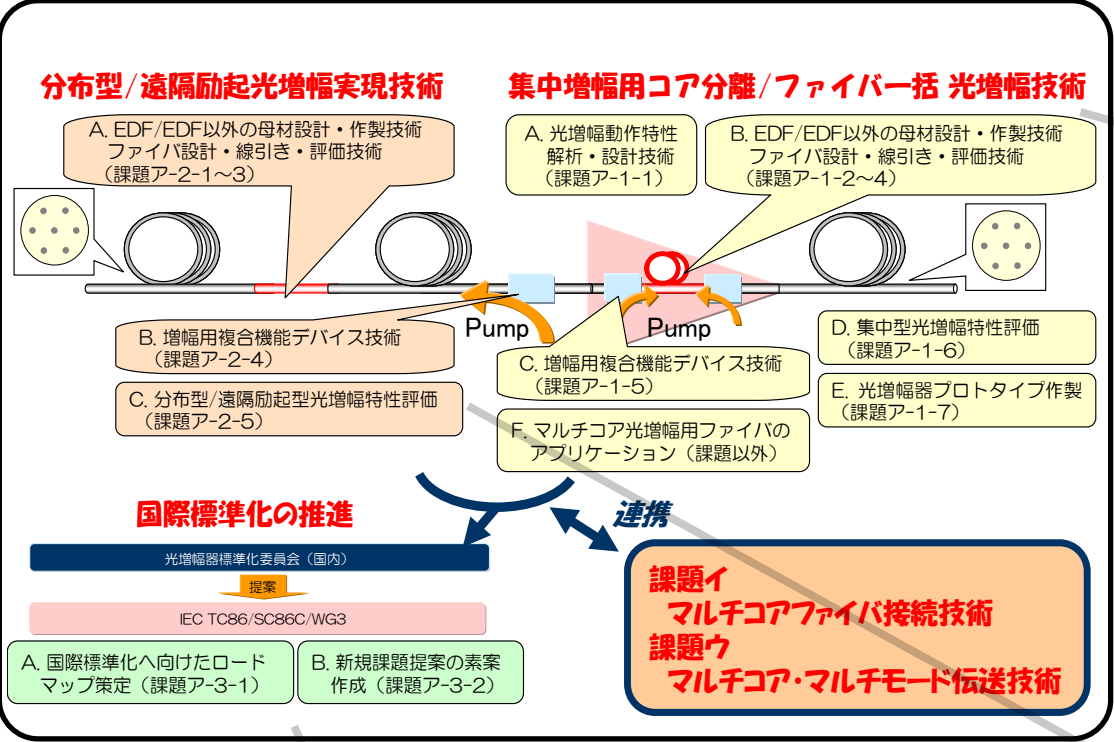
1. 実施機関・研究開発期間・研究開発費

- ◆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、国立大学法人島根大学、学校法人千歳科学技術大学
- ◆研究開発期間 平成23年度から平成27年度(5年間)
- ◆研究開発費 総額265百万円(平成26年度 50百万円)

2. 研究開発の目標

集中型光増幅技術として、「マルチコア分離光増幅技術」、「ファイバー括光増幅技術」、並びに、分布型/遠隔励起型光増幅技術の検討を行い、マルチコア光増幅の基盤技術を確立する。また、マルチコア光増幅技術の国際標準化に向けた基礎を構築する。

3. 研究開発の成果



① 集中増幅用コア分離/ファイバー括光増幅技術

【目標】
長距離マルチコア伝送の実現技術として、集中型光増幅技術として、コア分離およびファイバー括光増幅技術の確立を図る。

【本年度の成果】

- 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**
- ・クラッド励起とコア直接励起の消費電力比較し、特性を明らかにした。
- マルチコア光増幅器コア間クロストーク測定の新規提案**
- ・単一波長でのコア間クロストーク測定が可能な測定方法を提案し、適用性を確認した。

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・増幅特性評価・理論解析、同EDFを用いたFM-EDFAの光中継伝送実験への適用

- ・C-bandにおいてLP₀₁, LP₁₁の2モードに対応したTwo-LP-Mode EDFAの検討を行い、モード間利得差低減を確認した。

- 1.3 μm帯ダブルクラッドBi添加石英光ファイバの利得特性**
- ・ダブルクラッドBi添加石英光ファイバを作製し、その単位距離当たりの実効利得特性を明らかにした。

② 分布型/遠隔励起型光増幅実現技術

【目標】
長距離マルチコア伝送の実現技術として、分布型および遠隔励起型光増幅技術の確立を図る。

【本年度の成果】

- 遠隔励起L帯EDFAシステム構成法の明確化**
- ・L帯遠隔励起EDFAを用いた伝送システムの光増幅特性について、実験による明確化を行った。

③ 国際標準化の推進

【目標】
速やかに標準化活動を実施していくことにより、国際標準化の議論をリードして国内創出技術の国際競争力向上に資する。

【本年度の成果】
IEC東京会合において、マルチコア光増幅に関する技術報告を行った。

マルチコア光増幅技術

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、大阪府大、フジクラ)

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った。

- (1)クラッド励起MC-EYDFAは、空冷の978-nmマルチモードLDを励起光源とする前方励起構成をとりコア数は12。一方のEDFAは、TECを内蔵した976-nm シングルモードLDを用いた前方励起構成。(図1)
- (2)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ことが分かった。(図2)
- (3) 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ことを明らかにした。

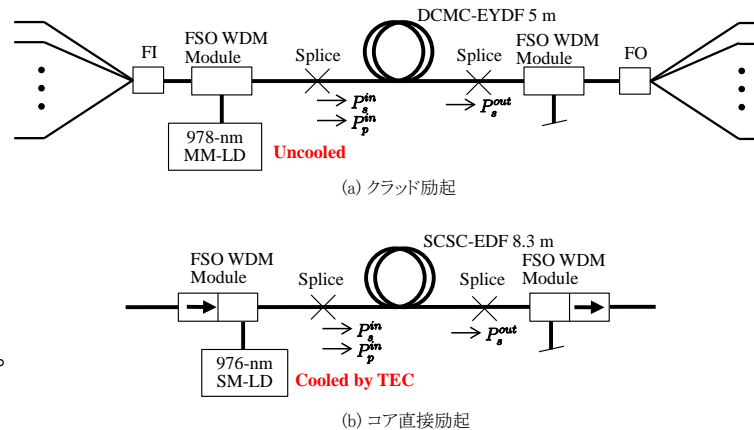


図1 消費電力を比較した光増幅器構成

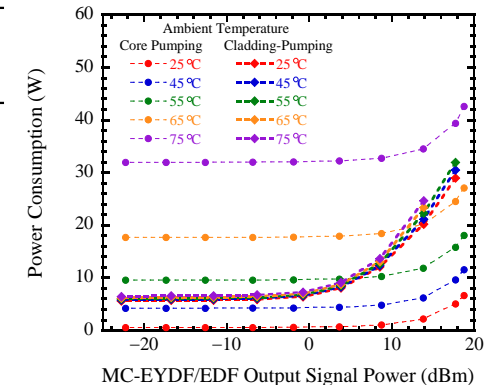


図2 クラッド励起とコア励起の消費電力比較

強度変調光及び電気スペクトラムアナライザを用いたMC-EDFAコア間クロストーク測定

(日本電信電話、大阪府大、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、強度変調光及び電気スペクトラムアナライザ(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。(図3)

- (1) 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ことを明らかにした。
- (2) 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ことを確認した。

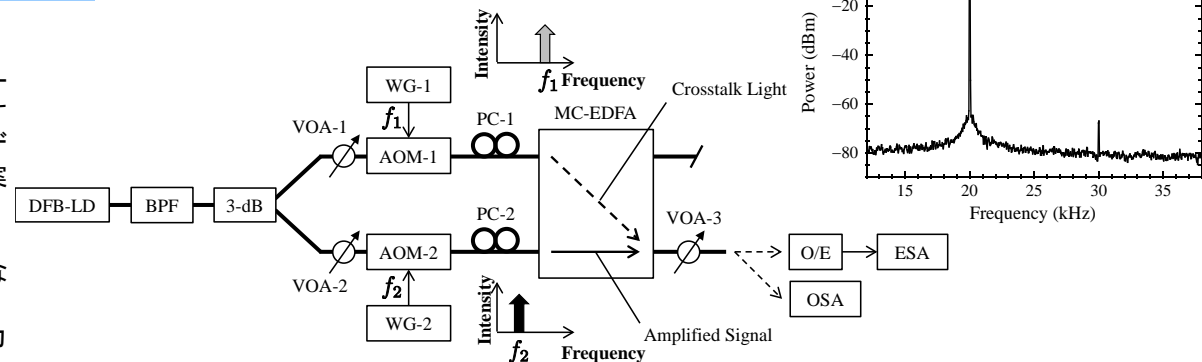


図3 コア間クロストーク測定系及びESAスペクトル測定例

マルチモード光増幅技術

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)

C-bandにおいてLP₀₁, LP₁₁の2つのLPモードに対応したTwo-LP-Mode EDFAの理論解析を行った。

- (1) モード間利得差(DMG)の低減のために、リング型屈折率分布をもつEDFの理論解析を行った。図4に解析によって得られた構造パラメータと許容モードの関係を示す。
- (2) 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。(図5)

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)

C-bandにおいてLP₀₁, LP₁₁の2つのLPモードに対応したTwo-LP-Mode EDFAの検討を行った。

- (1) モード間利得差(DMG)の低減のために、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を添加した。(図6)
- (2) 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。(図7)

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LP₀₁, LP₁₁の2つのLP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。

- (1) FM-EDFAの利得は両モードで >18 dB、モード間利得差は1.4 dB が得られ、高利得・低モード間利得差を有するFM-EDFAを実現した。
- (2) FM-EDFAを527 kmの周回伝送実験へ適用し、そのフェージビリティを確認した。(図8)

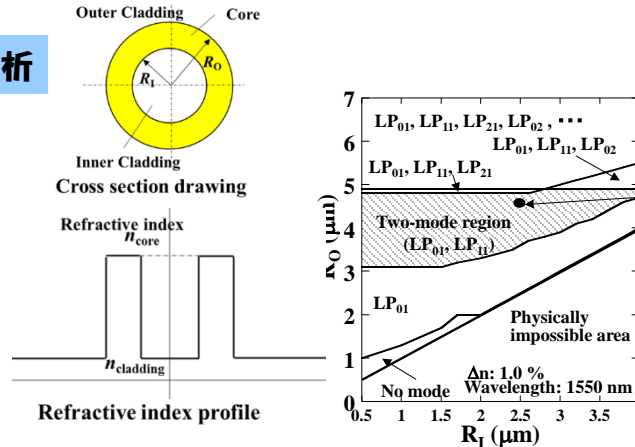


図4 リングコアEDF・解析モデル及び構造パラメータと許容モードの関係

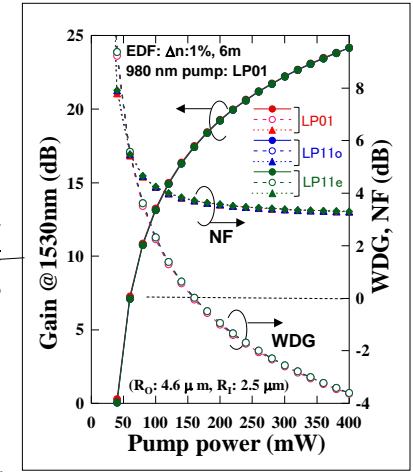


図5 リングコアEDFの構造パラメータを最適化して得られる増幅特性

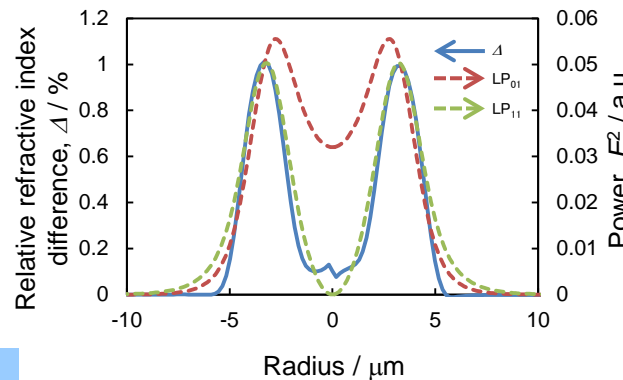


図6 リングコアEDFの屈折率分布及びパワー分布

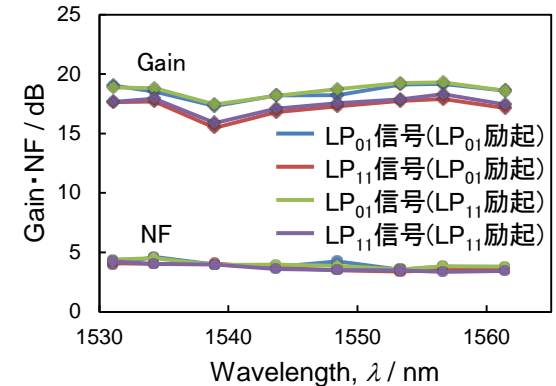


図7 利得・雑音指数スペクトル

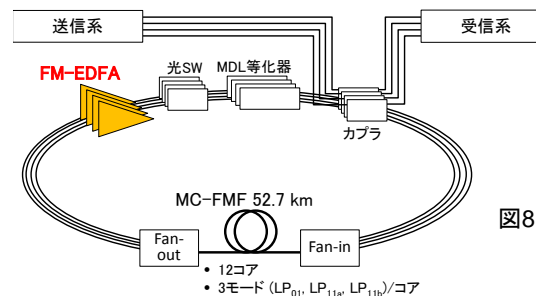


図8 Two-LP-Mode EDFを用いたFM-EDFAを適用したマルチコア・マルチモード周回伝送実験系概略

① 集中増幅用コア分離/ファイバー括光増幅技術 (3)

1.3 μm帯光増幅技術

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 μm用光増幅器用として検討を進めてきたダブルクラッドビスマス (Bi) 添加石英光ファイバ (図9) 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 (図10 (a)) とD型ダブルクラッドファイバ利得特性 (図10 (b)) 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により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。

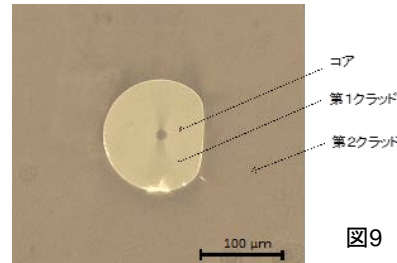


図9 D型ダブルクラッドBi添加光ファイバ断面

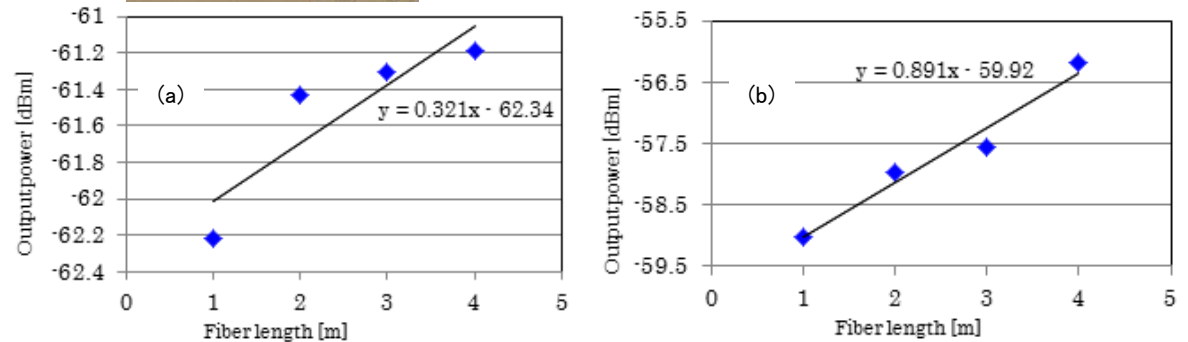


図10 (a) 円形クラッドファイバの利得特性, (b) D形クラッドファイバの利得特性

② 分布型/遠隔励起型光増幅実現技術

遠隔励起型増幅

遠隔励起L帯EDFAシステム構成法の明確化

(島根大学)

L帯遠隔励起EDFAを用いた伝送システムの光増幅特性について、実験による明確化を行った。

短波長域高利得励起構成を用いて、1570 nm ~ 1600 nmの広い信号光帯域において、OSNR偏差が 2.1 dB の良好なOSNRスペクトルが得られることを明らかにした。また、上記帯域内の等価雑音指数として-0.5 dB以下という良好な値を確認した。

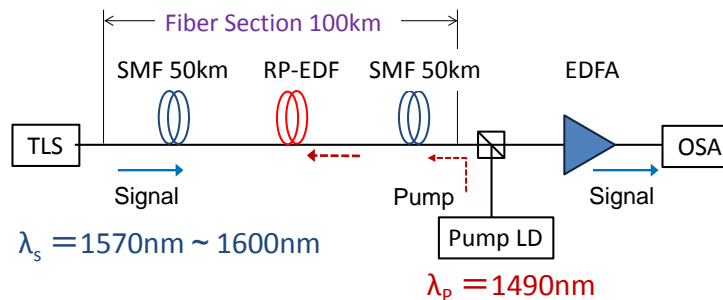


図11 光増幅特性評価実験構成

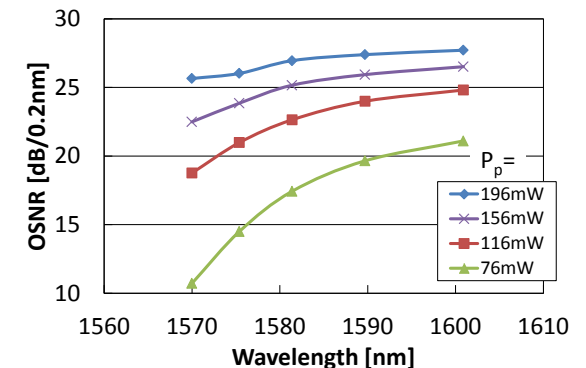


図12 OSNRスペクトル

4. これまで得られた成果(特許出願や論文発表等)

	国内出願	外国出願	研究論文	その他研究発表	プレスリリース 報道	展示会	標準化提案
革新的光通信インフラ の研究開発	16 (3)	2 (0)	4 (1)	101 (31)	0 (0)	8 (1)	4 (1)

※成果数は累計件数、()内は当該年度の件数です。

(1) マルチコアファイバを用いた遠隔励起光伝送実験の欧州光通信国際会議ポストデッドラインペーパー採択(課題ウと連携)

課題ウ受託者と連携して実施したマルチコアファイバを用いた遠隔励起光伝送実験について、遠隔励起増幅技術を担当した。実験結果については、欧州光通信国際会議(ECOC2014, 2014年9月21-25日開催)のポストデッドラインペーパーに採択され、高い評価を得た。

(2) マルチコア・マルチモードファイバを用いた長距離光中継伝送実験の米国光通信国際会議ポストデッドラインペーパー採択(課題ウと連携)

課題ウ受託者と連携して実施したマルチコア・マルチモードファイバを用いた長距離光中継伝送実験について、光中継用のマルチモード光増幅器を担当した。実験結果については、米国光通信国際会議(OFC2015, 2015年3月23-27日開催)のポストデッドラインペーパーに採択され、高い評価を得た。

5. 今後の研究開発計画

マルチコア光増幅技術基盤技術を確立する目的達成のため、H26年度まで成果を踏まえH27年度については以下の実施を計画。

① 集中増幅用コア分離/ファイバー括光増幅技術

- 設計の観点から、構成部品の総体積及び消費電力の比率を、従来のシングルコア光増幅器をコア数分使用した場合と比較して、総体積1/コア数 から3/コア数、消費電力1/2から2/3の実現性を明らかにする。
- マルチコア・マルチモード光増幅器について、シングルコア・マルチモード光増幅器のマルチコア化に向けた設計指針を明らかにする。

② 分布型/遠隔励起型光増幅実現技術

- マルチコア・マルチモード光増幅器について、シングルコア・マルチモード光増幅器のマルチコア化に向けた設計指針を明らかにする。

③ 国際標準化の推進

- 国際標準化の議論をリードし国内創出技術の標準化に向けて、引き続き技術動向調査を実施し、適宜IEC会合で報告を行う。