

1. 研究課題・実施機関・研究開発期間・研究開発予算

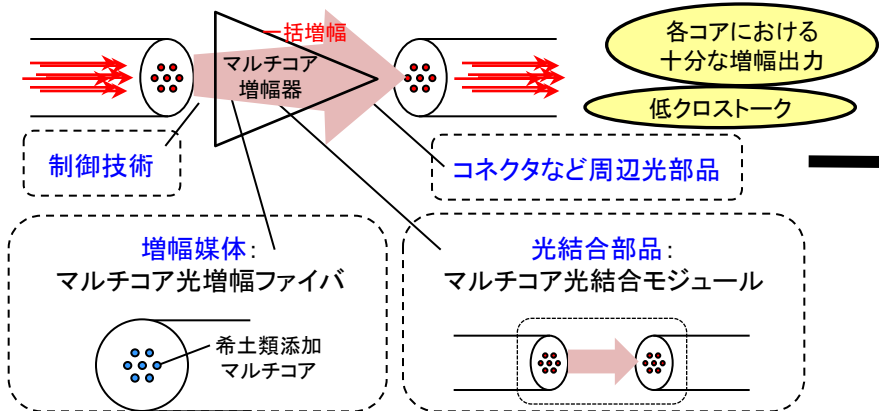
- ◆課題名 : 革新的光通信インフラの研究開発
- ◆個別課題名 : 課題ア：マルチコア光増幅技術
- ◆副題 : 大容量中継伝送を実現する低消費電力かつ小型の一括励起型マルチコア光増幅技術の研究開発
- ◆実施機関 : 古河電気工業株式会社<幹事>, 国立大学法人東北大学, 学校法人東北学院
- ◆研究開発期間 : 平成23年度から平成27年度(5年間)
- ◆研究開発予算 : 総額207百万円

2. 研究開発の目標

将来の大容量伝送に対応するため、空間多重伝送を実現するマルチコアファイバが注目されているが、光通信インフラにはマルチコアに対応した光中継増幅器も必須である。本研究ではマルチコア光増幅ファイバを増幅媒体に用いた、低消費電力で小型の一括増幅型マルチコア光増幅器を実現する技術開発を目的とする。

3. 研究 ①マルチコア光増幅を構成するデバイスの開発および評価

マルチコア一括光増幅器を構成する各デバイスとその評価技術の開発



マルチコア光増幅ファイバの開発

- ・コアの材料検討, クラッドの構成/構造の検討を行い +20dBmの出力を実現可能な複数のファイバを実現させた

マルチコア光増幅ファイバのモード結合特性評価

- ・距離分解能1 mで一括励起光増幅ファイバ内のモード結合特性を評価した。
- ・フレネル反射を抑制した融着型Fan-out素子を新たに開発した。

マルチコアファイバ光結合モジュールの開発と評価

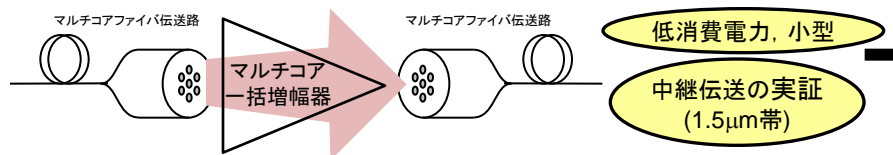
- ・低損失かつ高クロストークな光結合モジュールを実現

マルチコア光増幅器の制御技術および制御回路の開発

- ・複数の手段によりコア間, コア内の利得偏差の低減の手段を模索し, 平坦かつコア間偏差の小さなマルチコア増幅器を実現した

②マルチコア光増幅器の開発と評価

マルチコア光中継増幅を実現するマルチコア一括光増幅器の開発と評価



マルチコア光増幅器の開発

- ・目標である+20dBm出力と小型化, 低消費電力化のすべてを達成するとともに課題間連携での伝送実験の結果が複数の国際学会で採択された

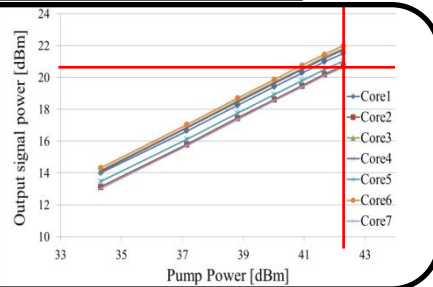
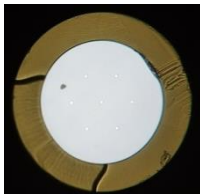
マルチコア光増幅器の光学特性評価

- ・一括励起型光増幅器内の利得の長手変化特性のを詳細に評価した。
- ・課題150ウと連携して、マルチコア光増幅器を中継アンプとして用いた1024 QAM信号の100 kmマルチコアファイバ伝送に成功した。

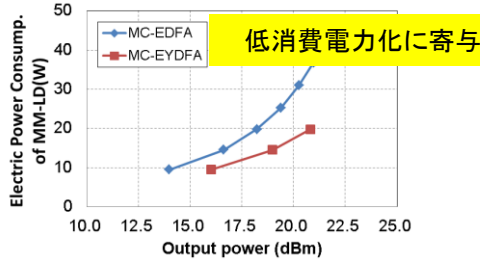
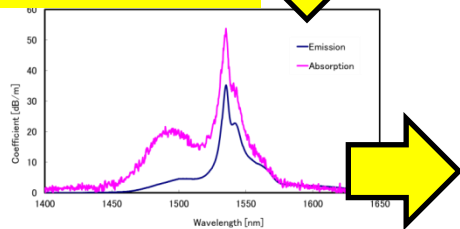
マルチコア光増幅ファイバの作製と基礎増幅特性評価

マルチコア光増幅ファイバの設計と作製

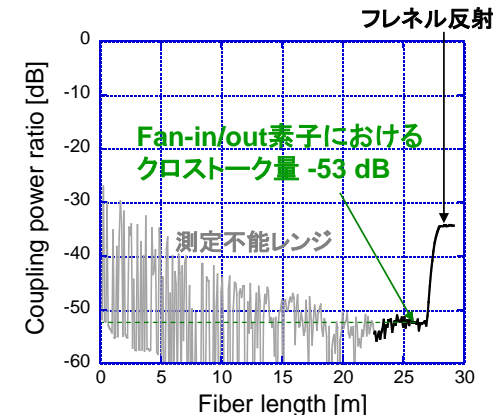
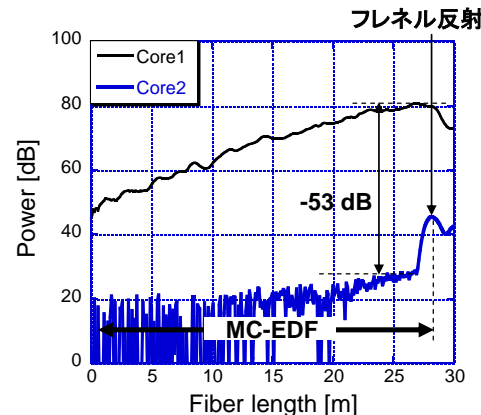
7コアEDFを作製
一括励起により全
コア+20dBmの出力を実現



コアにYb共添加適用



マルチコア光増幅ファイバのモード結合特性評価



中心コア1へ光パルスを励振した際のOTDR波形

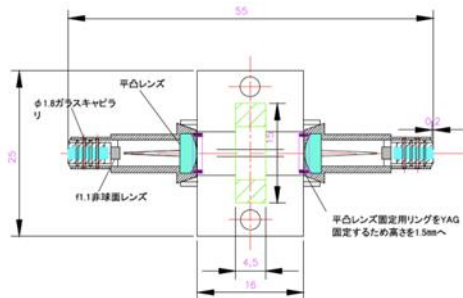
コア1からコア2への光電力結合比

一括励起型マルチコア増幅ファイバ内で生じるモード結合量は、Fan-in/out素子内のクロストーク量 (-53 dB) に比べ十分に小さいことを分析

マルチコアファイバ光結合モジュールの開発と評価

光結合モジュールを4枚レンズ
構成で開発。

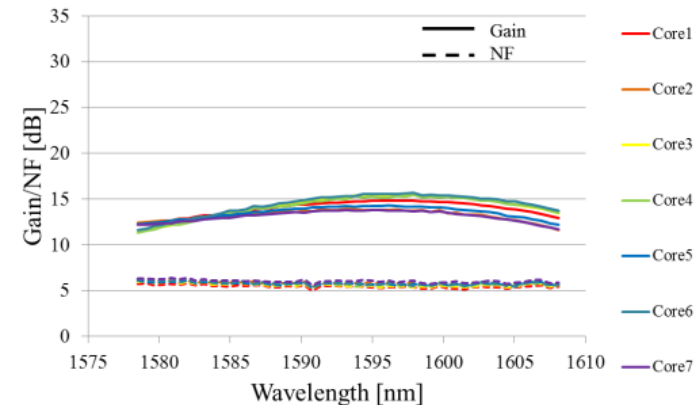
7コア一括アイソレータを実現し、
5dB以下の挿入損失と
30dB以上のクロストークを確保



outコア	inコア	挿入損失 [dB]	outコア	inコア	挿入損失 [dB]	outコア	inコア	挿入損失 [dB]	outコア	inコア	挿入損失 [dB]	outコア	inコア	挿入損失 [dB]	outコア	inコア	挿入損失 [dB]
1	1	-49.43	2	2	-48.67	3	3	-49.47	4	4	-49.20	5	5	-49.61	6	6	-48.55
2	2	-46.76	3	3	-48.97	4	4	-49.27	5	5	-49.59	6	6	-49.77	7	7	-48.68
3	3	-48.62	4	4	-49.67	5	5	-49.65	6	6	-49.53	7	7	-49.13	1	1	-49.60
4	4	-48.67	5	5	-49.85	6	6	-49.27	7	7	-49.75	1	1	-49.75	2	2	-49.84
5	5	-48.09	6	6	-49.76	7	7	-49.67	1	1	-49.54	2	2	-49.86	3	3	-49.63
6	6	-47.42	7	7	-49.62	1	1	-49.75	2	2	-49.46	3	3	-49.76	4	4	-49.63
7	7	-47.09	1	1	-49.43	2	2	-48.71	3	3	-49.08	4	4	-49.79	5	5	-49.63

マルチコア光増幅器の制御技術および制御回路の開発

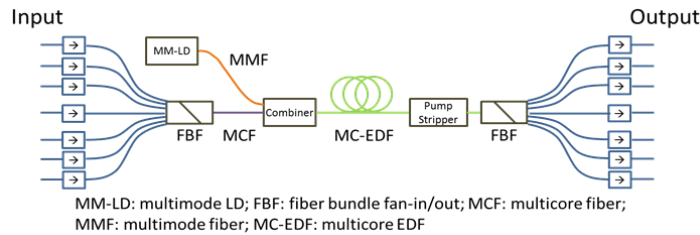
VOAによるコア間利得偏差補償と構成最適化によるコア内利得偏差低減を実現長距離伝送への親和性の確保



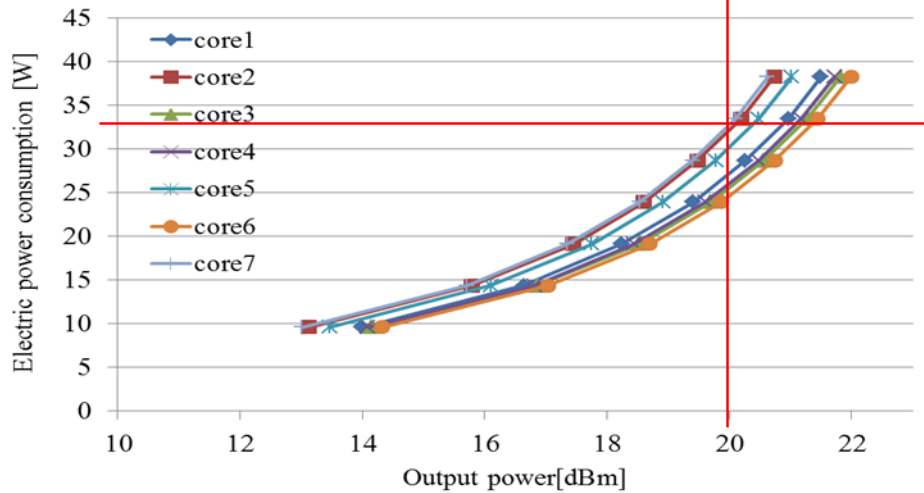
マルチコア光増幅器の開発と評価

マルチコア光増幅器の構成検討と増幅器試作

ファイバ型コンバイナを適用した一括励起型MC-EDFAを構成
 コンバイナの損失低減により全コア20dBm以上の出力を実現。
 7コアでトータル35W以下の増幅器を実現

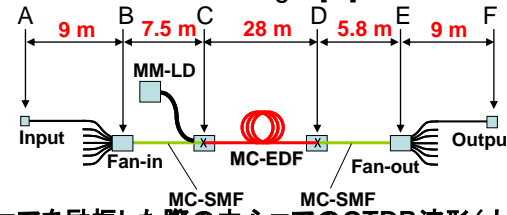
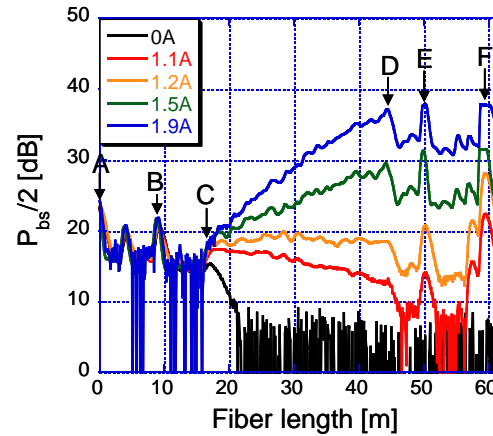


一括励起型MC-EDFAの構成

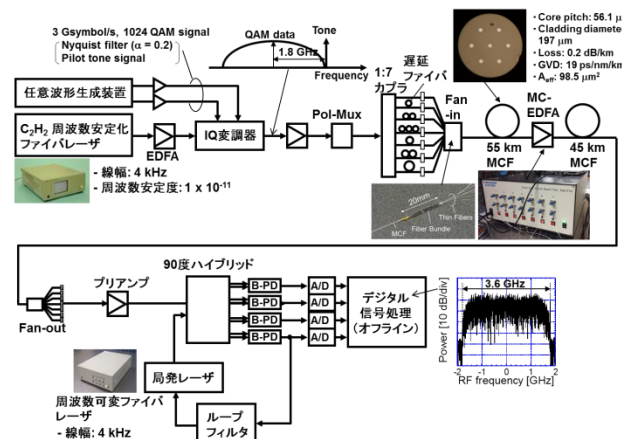


MC-EDFAの出力パワと消費電力

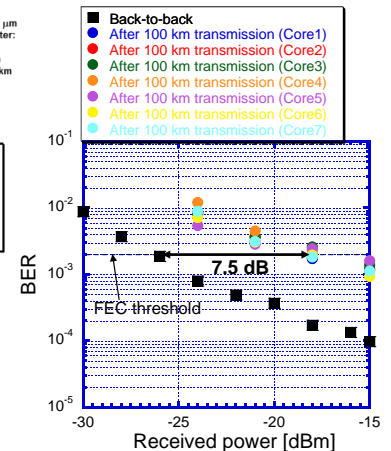
マルチコア光増幅器の光学特性評価



中心コアを励振した際の中心コアのOTDR波形(上)
 およびその波形より識別したEDFAの内部構造(下)



- 一括励起型マルチコア増幅器内の利得の長手変化特性を1 mの距離分解能で詳細に評価し、全コア間において±1 dBの範囲で利得のばらつきがあることを示した(左図)。
- 課題150ウと連携して、全コアの利得特性が一樣である個別励起型マルチコア増幅器を中継アンプとして用いた1024 QAM信号の100 kmマルチコアファイバ伝送に成功した。このとき109 bit/s/Hzの周波数利用効率を実現した(下図)。



1024 QAMマルチコアファイバ伝送系の構成(左)ならびに100km伝送後のBER特性(右) 3

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	10 (1)	18 (0)	7 (1)	67 (15)	7 (0)	10 (2)	2 (0)

※成果数は累計件数、()内は当該年度の件数です。

課題間連携での伝送実験デモンストレーションに参加

課題内の他の受託者とともに伝送実験デモンストレーションに参加、2013年は個別励起型MC-EDFA、2015年は一括励起型MC-EDFAを供与することにより成果をアピール。特に2013年はOECCの会場にて実施することにより国内外からの多くの賛辞を浴びた。

5. 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

本研究にて開発されたマルチコアEDFAは空間多重(SDM)を実現するために欠かせない技術であると言える。今後、伝送路のSDM技術が進んだ際のシステム全体の省電力化は避けることのできない課題であり、本研究で開発した省電力型のマルチコアEDFAは伝送容量の増大に応える技術として必要不可欠になってくると考えている。さらに、本技術はSDMへの適用に限らずマルチコアファイバ以外で構成したシステムにも適用範囲を広げ小型の省電力増幅器としてのポジションを獲得すべく継続して研究すべきテーマとしていく所存である。また、SDM伝送システムを構築・管理する上で、本研究で開発したファイバの長手特性評価技術が重要な役割を果たすものと期待される。