

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：82636

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2022

課題番号：21K14165

研究課題名（和文）Multi-Band Transmission over Space-Division Multiplexing Optical Fibers

研究課題名（英文）Multi-Band Transmission over Space-Division Multiplexing Optical Fibers

研究代表者

ラーデマッハ ゲオルグ（Rademacher, Georg）

国立研究開発法人情報通信研究機構・ネットワーク研究所フォトニックICT研究センター・主任研究員

研究者番号：20795661

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000 円

研究成果の概要（和文）：既存の光伝送システムの伝送容量を抜本的に向上させるため、光ファイバ内の異なる空間チャンネルで信号を伝送する空間多重伝送や、波長帯域を従来のCバンドから拡張するマルチバンド伝送の二つの手法が研究されている。本研究では、空間多重ファイバとマルチバンド伝送の適合性を調べるのが目的である。今回、数モードファイバで広帯域ラマン増幅を用いた実験を行い、結果を光ファイバ通信国際会議（OFC2022）で発表した。また、C、Lバンドのエルビウム添加ファイバ増幅器を用いた実験を行い、55モードファイバで3.5ペタビット/秒の記録的な伝送を実現した。成果は、欧州光通信国際会議（ECOC2023）へ提出予定である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、通信トラフィックは国内外で年率数10%の割合で増大を続けており、将来の通信インフラを持続的に維持するため、光伝送システムの増強が喫緊の課題となっている。現在、波長多重技術やデジタルコヒーレント技術によって光ファイバ1本あたり数10テラビット/秒もの伝送容量が得られるようになったが、高強度の光信号と光ファイバ間の非線形相互作用により、伝送容量の増加は容易ではない。本研究では、マルチコアファイバやマルチモードを用いた空間多重伝送技術と、従来のCバンドに加えてL、Sバンドを利用するマルチバンド伝送技術との間の互換性を確認し、将来の光伝送システムの伝送容量増加の可能性を示した。

研究成果の概要（英文）：Current optical transmission systems are reaching fundamental throughput limitations. Two main approaches are currently being researched to increase the data-rates in optical fiber transmission systems: space-division multiplexing, where signals are transmitted in different spatial channels of a fiber and multi-band transmission, where the spectral region for transmission is extended beyond the traditional C-band around 1.55 μm wavelength. The focus of this project was to investigate the compatibility of novel SDM fibers with the transmission of novel spectral transmission windows. We performed various experiments using wideband Raman amplification in novel few-mode fibers and published the results at the optical fiber communications conference 2022. We also performed an experiment using erbium doped fiber amplifiers for C- and L-bands to show record transmission of more than 3.5 Peta-bit/s over a 55-mode multi-mode fiber.

研究分野：空間分割多重光ファイバによるマルチバンド伝送

キーワード：Optical Fiber Space Division Multiplex Raman amplification

様 式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

現在の標準的なシングルモード光ファイバを使用した光伝送システムは、カー効果に基づく非線形信号相互作用を含む様々な制限により、伝送容量限界に達している。現在の光ファイバ伝送システムは、Sバンド、Cバンド、Lバンドなど、さまざまなスペクトルバンドで動作することが可能である。光ファイバ伝送システムの容量を増やすために、空間分割多重（SDM）が過去数年にわたり広く研究されてきた。しかし、多くのSDM伝送システムの実証実験では、Cバンドのみが使用されており、SバンドやLバンドなど、より多くのバンドを使用することはほとんど検討されていない。SDM伝送で複数のスペクトルバンドを使用する際の主な障害は、分布ラマン増幅を含む様々な増幅方式を利用できることである。

2. 研究の目的

このプロジェクトの研究目的は、新しいSDMファイバでSバンド、Cバンド、Lバンドを含むマルチバンド伝送を行う可能性を調査することである。これには新しい増幅方式の検討や新しいSDMファイバ上でのマルチバンド信号の伝送が含まれる。

3. 研究の方法

新規SDMファイバでのマルチバンド伝送の可能性を示すため、様々な実験的検討を行った。その中には、新規の数モードファイバを用いた広帯域ラマン増幅の検討も含まれている。さらに、55モードファイバでCバンドとLバンドの信号伝送の可能性を調査した。

4. 研究成果

我々は、新規の3モードファイバにおいて、分布ラマン増幅を使用することが可能であることを示した。実験系を図1に示す。その特長的な部分は、3つのファイバモードのうち1つのモードでラマンポンプレーザ光を使用するだけで、すべてのモードの信号間でわずかな利得差となることである。実験結果を図2に示す。あるポンプパワーに対する各モード信号の利得差は0.3dB以内となっていることが分かる。さらに、70nm以上の帯域幅でのスペクトル利得の変動は3dB以下であった。また、総信号入力パワーの変化に対して、安定した利得がえられていることが分かる。これらの成果を国際会議 Optical fiber communications conference (OFC 2022)で発表した。

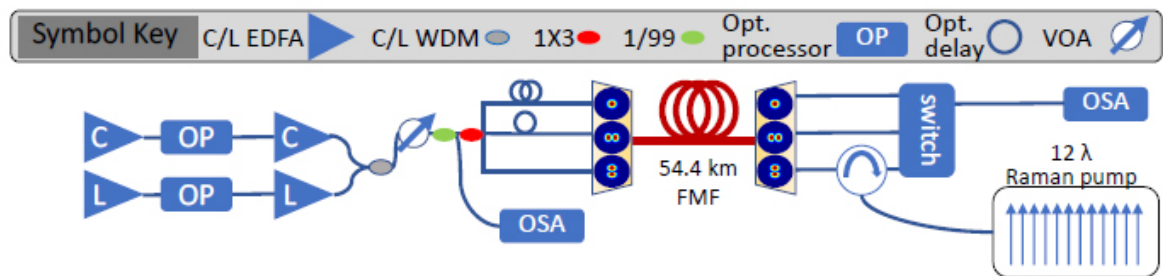


図 1 3モードファイバを用いた分布ラマン増幅の実験系

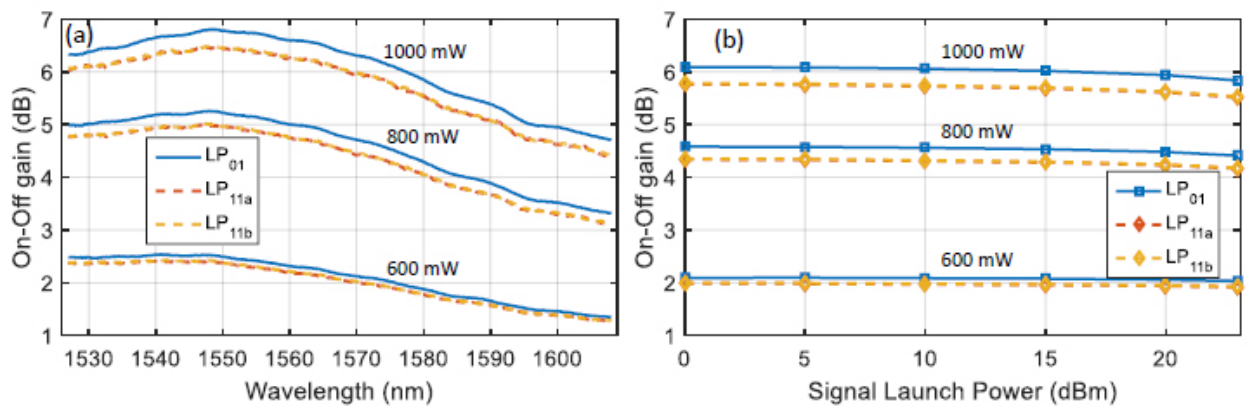


図 2 (a) 3 つの異なるポンプパワーに対する各モード信号の広帯域の波長とオン/オフ利得の関係。 (b) 3 つの異なるポンプパワーに対する各モード信号の総信号入力パワーと波長平均オン/オフ利得の関係。

また、長さ 12.5km の 55 モードファイバを用いて、380 以上の波長チャネルを 55 の空間チャネル全てで伝送を実証した。その結果、3.56 ペタビット/秒のデータレートを達成し、標準的なクラッド径を持つファイバで報告された伝送容量の世界記録となった。本成果は、国際会議 European Conference on Optical Communication (ECOC) 2023 に提出する予定である。

<引用文献>

[a] Georg Rademacher, Ruben S. Luis, Benjamin J. Puttnam, Juan Carlos Alvarado Zacarias, Rodrigo Amezcua-Correa, Kazuhiko Aikawa, Yoshinari Awaji, and Hideaki Furukawa "Investigation of Wideband Distributed Raman Amplification in a Few-Mode Fiber Link" Optical Fiber Communications conference (OFC) 2022, paper Tu3E.1

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1 . 発表者名 Georg Rademacher, Ruben S. Luis, Benjamin J. Puttnam, Juan Carlos Alvarado Zacarias, Rodrigo Amezcua-Correa, Kazuhiko Aikawa, Yoshinari Awaji, and Hideaki Furukawa
2 . 発表標題 Investigation of Wideband Distributed Raman Amplification in a Few-Mode Fiber Link
3 . 学会等名 Optical Fiber Communications conference (OFC) 2022 (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Georg Rademacher, Ruben S. Luis, Benjamin J. Puttnam, Nicolas K. Fontaine, Mikael Mazur, Haoshuo Chen, Roland Ryf, David T. Neilson, Daniel Dahl, Joel Carpenter, Pierre Sillard, Frank Achten, Marianne Bigot, Jun Sakaguchi, and Hideaki Furukawa
2 . 発表標題 3.56 Peta-bit/s C+L Band Transmission over a 55-mode Multi-Mode Fiber
3 . 学会等名 European Conference on Optical Communications (ECOC) (国際学会)
4 . 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6 . 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7 . 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計1件

国際研究集会 Future optical communications (FOCS)	開催年 2023年 ~ 2023年
--	----------------------

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------