

波長帯拡張 19 コア一括光増幅器を用い、毎秒 715 テラビット、2,009km 伝送成功 ～大容量と長距離伝送を両立しつつ、消費電力やスペース削減に期待～

【ポイント】

- 特性が異なる二つの波長帯の光信号を 19 コア一括処理する光増幅器を開発
- 高密度 345 波長、毎秒 715 テラビット信号を増幅、周回伝送 2,000km 超の長距離達成
- 大容量と長距離伝送を両立、ネットワークの消費電力低減、コストや設置スペースの削減に期待

国立研究開発法人情報通信研究機構(NICT、理事長: 徳田 英幸)ネットワークシステム研究所と古河電気工業株式会社(古河、代表取締役社長: 小林 敬一)は、二つの波長帯に対応した 19 コア一括光増幅器を開発し、これを用いた毎秒 715 テラビットの高密度波長多重信号の 2,009km にわたる伝送実験に成功しました。

これまでのマルチコア伝送の研究では、距離が数 10km で中継増幅なしの大容量伝送、又は、中継増幅を行い 1,000km 超の長距離であるが伝送容量が比較的小さい試みのみでした。

今回、特性が異なる二つの通信波長帯(C 帯^{*1} 及び L 帯^{*2})全域 345 波長にわたって、16QAM^{*3} 信号(総容量毎秒 715 テラビット)を 19 コア一括で中継増幅し、周回伝送系による総延長 2,009km 伝送に成功しました。本成果により、大容量と長距離が要求されるネットワークでも、一括光増幅器を用いたマルチコア伝送システムが実現可能であることを実証しました。さらに、一括光増幅器を利用することで、ネットワークの消費電力低減、コストや設置スペースの削減が期待できます。

なお、本論文は、第 42 回光ファイバ通信国際会議(OFC2019)にて非常に高い評価を得て、最優秀ホットピック論文(Post Deadline Paper)として採択されました。

【背景】

増大し続ける通信トラフィックに対応するため、従来の光ファイバの限界を超える新型光ファイバと、これを用いた光伝送システムの研究が世界中で盛んに行われています。これまで、大容量を目指した研究では、数 10km 程度の距離で光増幅器は利用されず、長距離を目指した 1,000km を超える中継増幅伝送では、波長帯域が限られ伝送容量が比較的小さい試みでした。大容量を実現するためには、コア数と波長数を増やすことが有効です。波長数を増やすためには、波長間隔を狭くし密度を上げ、加えて特性が異なる C 帯及び L 帯を使用するため、多くのコアの光信号の一括増幅は難しく、実現していませんでした。また、マルチコア一括光増幅器は、光増幅器の数を削減し、消費電力低減、コストや設置スペースの削減が期待できるため、コア数が多いマルチコアファイバに対応し、複数波長帯の光信号を一括増幅する光増幅器が待たれていました(図 4 参照)。

【今回の成果】

今回、古河が開発した 19 コア C+L 帯光増幅器を用いて、NICT が 19 マルチコア伝送ファイバと共に周回伝送システムを構築し、毎秒 715 テラビットの大容量光信号の 2,009km 伝送に成功しました(図 1 参照)。これは、伝送能力の一般的な指標である容量距離積に換算して従来の約 1.4 倍である 1.4 エクサビット^{*4} × km となり、世界記録となります。

本伝送システムは、以下の要素技術から構成されます。

- ・ 19 コア C+L 帯一括光増幅器
- ・ 19 コア伝送ファイバ
- ・ 345 波長一括光コム光源
- ・ 1 パルス 4 ビット相当の 16QAM 多値変調技術



図 1 伝送実験システム(一部)の写真

本光増幅器は、C帯とL帯の光信号それぞれに対して異なる増幅特性を持つ19コア増幅ブロックを作成し、波長多重カプラを用いて合分波することにより、C帯とL帯の増幅を同時に行えるようにしたものです。19コアという多数のコアを収容して高効率に増幅特性を得るため、既存の光増幅器(EDFA: Erbium Doped Fiber Amplifier⁵⁾)と異なり、ダブルクラッド構造⁶⁾を持つ利得ファイバ(EDF)の内側クラッドに励起用のレーザ光を導入し、19コアを一括して励起し、増幅動作をさせる点に特色があります。

なお、本実験の結果は、米国サンディエゴで開催された光ファイバ通信関係最大の国際会議の一つである第42回光ファイバ通信国際会議(OFC2019、3月3日(日)～7日(木))で非常に高い評価を得て、最優秀ホットトピック論文(Post Deadline Paper)として採択され、現地時間3月7日(木)に発表しました。

【今後の展望】

ビッグデータや5Gサービスなど、今後ますます増加していくトラフィックをスムーズに収容可能な次世代の光通信インフラ基盤技術の確立に向けて、実用化加速の要となる革新的技術の研究開発や、産学官連携による国際標準化への取組を強化していきます。

<採択論文>

国際会議: 第42回光ファイバ通信国際会議(OFC2019)最優秀ホットトピック論文(Post Deadline Paper)

論文名: 0.715 Pbit/s Transmission over 2,009 km in 19-core cladding pumped EDFA amplified MCF link

著者名: Ben Puttnam, Georg Rademacher, Ruben Luis, Tobias Eriksson, Werner Klaus, Yoshinari Awaji, Naoya Wada, Koichi Maeda, Shigehiro Takasaka and Ryuichi Sugizaki

<過去のNICTの報道発表>

- ・2012年3月8日 「光ファイバの伝送容量を通常の19倍以上に！」
～マルチコアファイバと空間結合装置を用いて“ペタビット級”伝送への道を拓く～
<https://www.nict.go.jp/press/2012/03/08-1.html>
- ・2013年9月18日 「世界で初めて「19コア一括光増幅器」の開発に成功」
～マルチコアファイバによる大容量・長距離光通信の実現に大きく前進～
<https://www.nict.go.jp/press/2013/09/18-1.html>
- ・2015年3月26日 「光ファイバの限界突破に挑戦」
～世界最高コア数36すべてがマルチモード、100超空間チャネルを実現～
<https://www.nict.go.jp/press/2015/03/26-1.html>
- ・2015年10月1日 「光ファイバの最大伝送容量の世界記録を更新、2.15ペタビット毎秒を達成」
～高精度光コム光源の採用により、長距離化・大規模化への期待～
<https://www.nict.go.jp/press/2015/10/01-1.html>
- ・2018年4月5日 「世界記録、標準外径3モード光ファイバで毎秒159テラビット、1045km達成」
<https://www.nict.go.jp/press/2018/04/05-1.html>
- ・2018年10月11日 「直径0.16mmの4コア・3モード光ファイバで毎秒1.2ペタビット伝送成功」
～超大容量の新型光ファイバ早期実用化に前進～
<https://www.nict.go.jp/press/2018/10/11-1.html>

< 本件に関する問い合わせ先 >

国立研究開発法人情報通信研究機構
ネットワークシステム研究所
フォトリックネットワークシステム研究室
淡路 祥成
Tel: 042-327-6337
E-mail: PNS.web@ml.nict.go.jp

< 広報 >

国立研究開発法人情報通信研究機構
広報部 報道室
廣田 幸子
Tel: 042-327-6923
Fax: 042-327-7587
E-mail: publicity@nict.go.jp

古河電気工業株式会社
IR・広報部
能宗 良幸
Tel: 03-3286-3049
Fax: 03-3286-3694

<用語解説>

*1 C 帯

国際標準規格 ITU-T で規定される光通信で使用される波長帯域の一つで、1,530nm～1,565nm 波長帯域

*2 L 帯

国際標準規格 ITU-T で規定される光通信で使用される波長帯域の一つで、1,565nm～1,625nm 波長帯域

*3 16QAM (Quadrature Amplitude Modulation)

QAM とは、光の位相と振幅を併用し複数のビットを表現する方式(多値変調)の一種である。16QAM は 1 シンボルが取り得る位相空間上の点が 16 個で、1 シンボルで 4 ビットの情報($2^4=16$ 通り)が伝送でき、同じ時間で OOK(On-Off keying)の 4 倍の情報が伝送できる。

OOK の 5 倍(32QAM)、6 倍(64QAM)の情報が伝送できる変調方式も利用されているが、32QAM、64QAM は、伝送後の光信号のゆがみが大きく長距離伝送には適していない。16QAM は、1 シンボル当たりの情報密度を高めつつ、中・長距離へ十分到達可能であることから、最も実用性の高い多値変調方式の一つと考えられている。

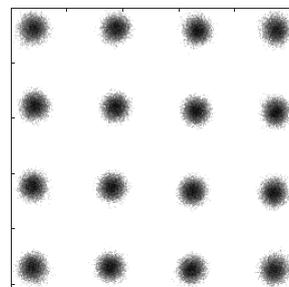


図 2 16QAM イメージ図

*4 エクサビット

1 エクサビットは 100 京ビット、1 ペタビットは 1,000 兆ビット、1 テラビットは 1 兆ビット

*5 EDFA(Erbium Doped Fiber Amplifier)

希土類エルビウムを光ファイバに添加し、励起光を照射することによって、信号光を増幅することができる、光通信用の汎用的な光増幅器の総称。設計によって、C 帯に利得を持つもの、L 帯に利得を持つものなど特性を変化させられる。

*6 ダブルクラッド構造

通常の光ファイバでは、光はコアのみを伝播する設計であるため、コアを包むクラッドは一層である。本実験で用いた利得ファイバ(EDF)では、信号光がコアを伝播し、励起光がコアの周囲のクラッドを伝播する構造であるため、通常のクラッドの外側に別のクラッド層を追加し、励起光が内側のクラッド層に閉じ込められるようにしたダブルクラッド構造を採用した。

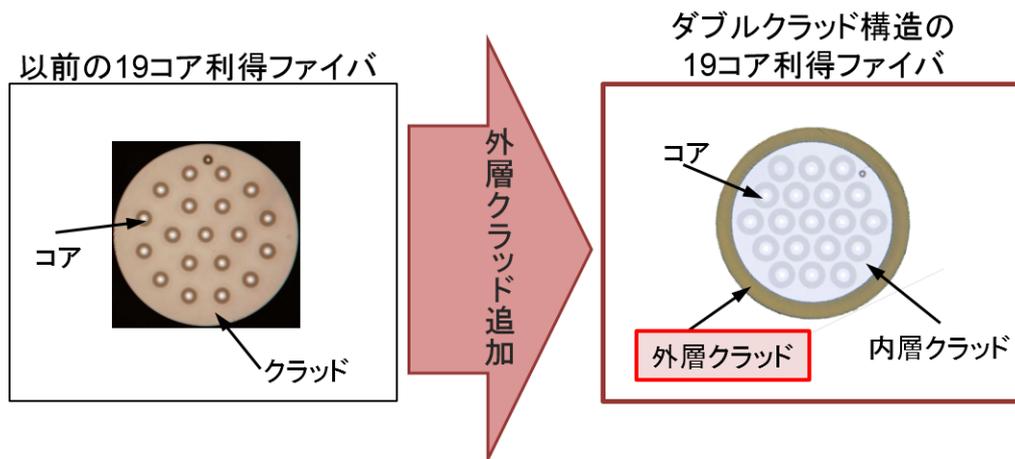


図 3 ダブルクラッド構造図

1. マルチコア伝送システムと既存のシングルコア伝送システムの比較

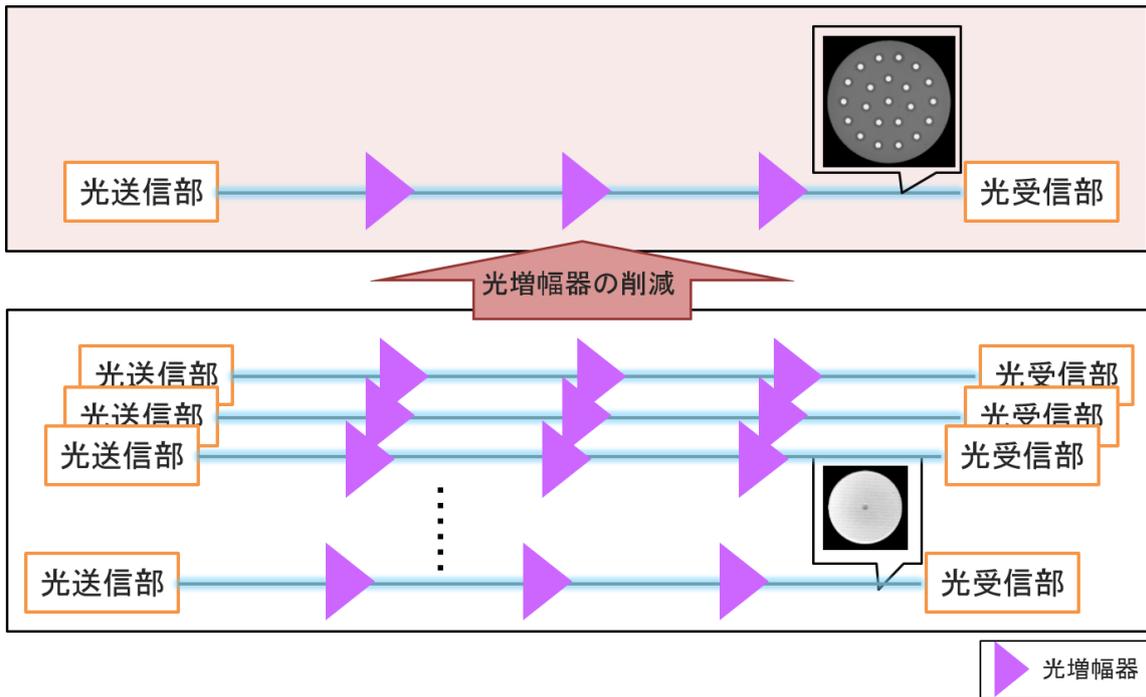


図 4 光増幅器数の違いイメージ

図 4 の下図は、シングルコアファイバを複数本用いて、既存のネットワークで大容量を実現し長距離伝送した場合のイメージ図であり、上図は、マルチコアファイバと一括光増幅器を用いた伝送システムで、大容量かつ長距離伝送した場合のイメージ図である。マルチコア伝送システムでは、(コア数-1)の光増幅器の削減が可能で、消費電力低減、システムのコストや設置スペースの削減が期待できる。

2. これまでの記録との比較

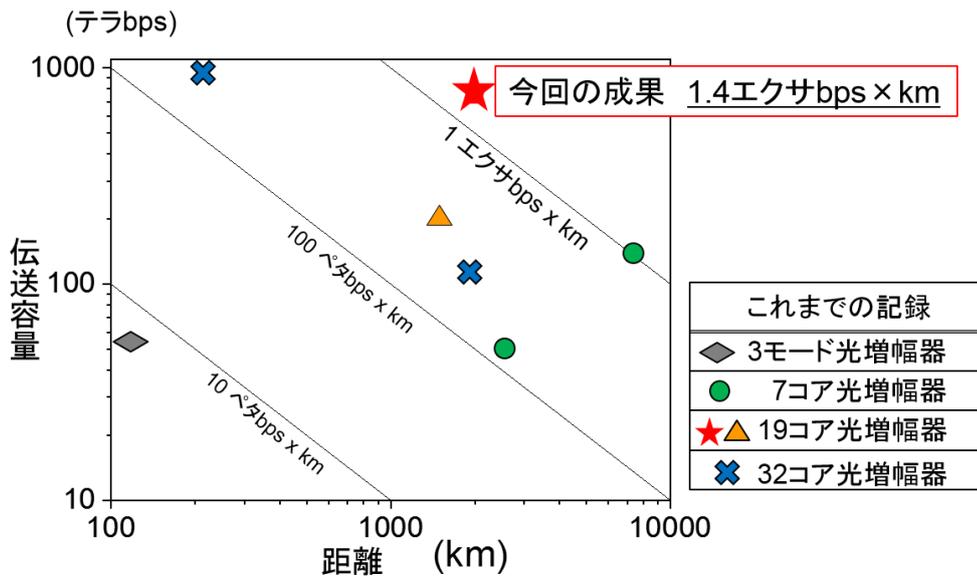


図 5 これまでの記録と今回の成果との比較

図 5 は、マルチコア一括光増幅器を使ったこれまでの伝送実験の結果と今回の成果の比較である。7 コアでは大容量が難しく、19 や 32 コアでは長距離と大容量の両立が実現しなかったが、今回は、19 コア光増幅器を使い、2,009km、715 テラ bps、1.4 エクサ bps × km を達成した。

3. 19 コア一括光増幅器

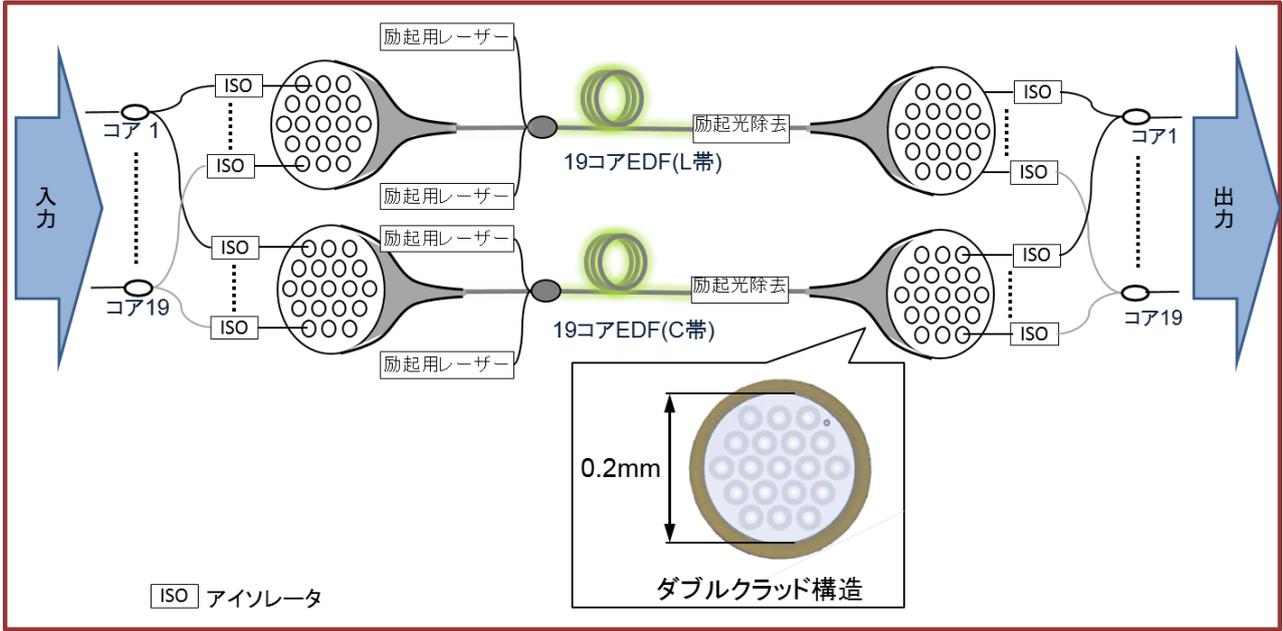


図 6 19 コア一括光増幅器の内部

図 6 は、今回開発した 19 コア一括光増幅器の内部構造を示す。C 帯用と L 帯用の 19 コア EDF (利得ファイバ) は、それぞれ 2 つのクラッドを持つダブルクラッド構造が導入され、励起レーザーは、内側クラッドに注入され、19 コア全てを一括で励起する。励起に用いられなかった残存のエネルギーは、19 コア EDF 直後の励起光除去素子にて熱に変換される。19 コア EDF の両端には、19 コア伝送用ファイバ及びアイソレータが配置されている。C 帯と L 帯の混在した光信号は、それぞれの波長帯に対応した EDF に導入され、増幅された後に再度、合波される。

4. 実験結果

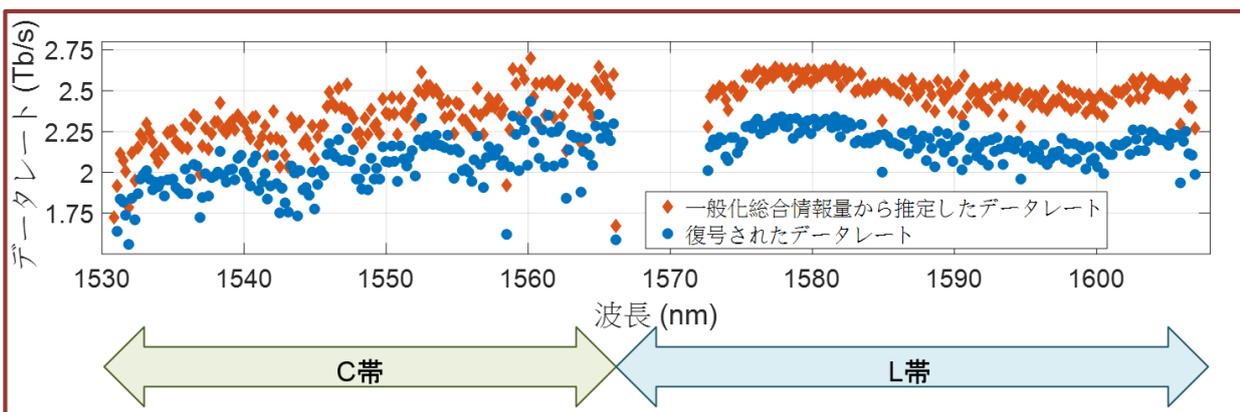


図 7 実験結果

図 7 は、波長当たりのデータレートである。多少のばらつきはあるものの、C+L 帯 345 波長において、ほぼ均等で安定したデータレートが得られ、合計で毎秒 715 テラビットを実現した。