

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～

【ポイント】

- 既存光ファイバとほぼ同じサイズ、直径 0.16mm の 4 コア・3 モード光ファイバを開発
- コアとモードを一括で多重/分離可能なカプラを導入
- 毎秒 1 ペタビットを超える超大容量光ファイバの実用化に前進

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株式会社フジクラ(フジクラ、取締役社長: 伊藤 雅彦)は、国立大学法人北海道大学(北大、総長: 名和 豊春)、オーストラリア Macquarie 大学 MQ Photonics Research Centre (MQ)と共同で、直径 0.16mm の 4 コア・3 モード^{*1}の光ファイバと、コアとモードを一括で多重/分離するカプラを開発し、368 波長全て 256QAM^{*2} という非常に高密度な多値変調を行い、毎秒 1.2 ペタビット^{*3} の伝送実験に成功しました。

これまでの毎秒ペタビットを超える大容量光伝送の研究では、12 コア以上で直径が 0.21mm を超えた光ファイバを用いていました。今回、世界で初めて曲げや引っ張りに強い直径 0.2mm 以下の光ファイバで毎秒 1 ペタビットを超える伝送に成功しました。また、既存光ファイバ^{*4} とほぼ同サイズのため、ケーブル化や既存ファイバとの接続が容易であり、早期実用化に向けて大きく前進しました。

なお、本論文は、第 44 回欧州光通信国際会議(ECOC2018)にて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^{*5} と、それを用いた大規模光伝送の研究が世界中で盛んに行われています。主な新型光ファイバは、光ファイバに複数の通り道(コア)を配置したマルチコアファイバと、一つのコアで複数の伝搬モードに対応したマルチモードファイバです。

これまで、マルチコアファイバでは、大容量かつ長距離の伝送実験の成功が報告されていますが、光ファイバが太くなるため、曲げや引っ張りの機械的ストレスに弱く、製造性や敷設作業による破断確率の増大、接続施工の難易度などが課題でした。

【今回の成果】

今回、北大が設計、フジクラが開発した 4 コア・3 モード光ファイバと(図 1)、MQ が開発したカプラを用いた伝送システムを NICT が構築、世界で初めて直径 0.16mm の光ファイバで毎秒 1.2 ペタビット光信号の伝送に成功しました。

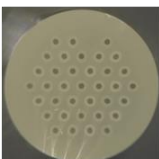
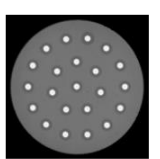
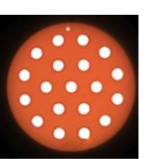
	代表的な研究成果			今回の成果	既存の 光ファイバ
	2015年3月	2015年10月	2017年10月	2018年9月	
容量(bps)		2.15ペタ	10.16ペタ	1.2ペタ	0.1ペタが限界
コア、モード	36コア、3モード	22コア、1モード	19コア、6モード	4コア、3モード	1コア、1モード
クラッドの 直径	 0.3mm	 0.26mm	 0.267mm	 0.16mm	 0.125mm
被覆の直径				0.25mm	0.235～0.265mm

図 1 4 コア・3 モード光ファイバと他の光ファイバとの比較

本伝送システムは、以下の要素技術から構成されます。

- ・ 直径 0.16mm の 4 コア・3 モード光ファイバ
- ・ 4 コア・3 モードを一括で多重/分離するカプラ
- ・ 368 波長一括光コム光源
- ・ 1 パルス 8 ビット相当の 256QAM 多値変調技術

本光ファイバは、既存光ファイバとほぼ同サイズのため、ケーブル化や敷設作業が容易になるなど従来の設備を流用することが可能で、早期実用化が期待できます。また、既存光ファイバに比べて 10 倍以上の高密度な情報伝送能力を持ち、さらに、空間チャネル数が 4 の倍数であることからデータセンターなどで使われている入出力方式に親和性が高く、データセンター内外の高密度光配線への適用も期待されます。

【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。

なお、本実験の結果は、イタリア ローマ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 44 回欧州光通信国際会議(ECOC2018、9 月 23 日(日)～9 月 27 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 9 月 27 日(木)に発表しました。

<採択論文>

国際会議: 第 44 回欧州光通信国際会議(ECOC2018)最優秀ホットトピック論文(Post Deadline Paper)

論文名: 1.2 Pb/s Transmission Over a 160 μ m Cladding, 4-Core, 3-Mode Fiber, Using 368 C+L band PDM-256-QAM Channels

著者名: Ruben S. Luís, Georg Rademacher, Benjamin J. Puttnam, Tobias A. Eriksson, Hideaki Furukawa, Andrew Ross-Adams, Simon Gross, Michael Withford, Nicolas Riesen, Yusuke Sasaki, Kunimasa Saitoh, Kazuhiko Aikawa, Yoshinari Awaji, and Naoya Wada

<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～
<http://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～
<http://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～
<http://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～
<http://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」
<http://www.nict.go.jp/press/2018/04/05-1.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、古川 英昭
Tel: 042-327-6337、5694
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

株式会社フジクラ
総務・広報部 吉村 志登美、碓間 哲
Tel: 03-5606-1110 Fax: 03-5606-1501
E-mail: wwwadmin@jp.fujikura.com

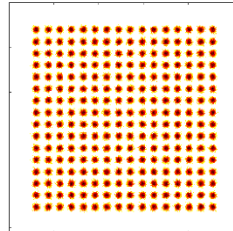
<用語解説>

*1 モード伝搬

光ファイバのコアの中を光信号が伝搬する時は、コアとクラッドの境界で全反射を繰り返しながら、様々な振動状態で進行する。この振動状態の違いが、伝搬モードである。モードの異なる信号では、受信側に届くまでの時間差が生じるため、ファイバの最適化や受信機側での信号処理が必要である。

*2 256QAM (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。256QAM は 1 シンボルが取り得る位相空間上の点が 256 個で、1 シンボルで 8 ビットの情報($2^8=256$ 通り)が伝送でき、同じ時間で OOK(On-Off keying)の 8 倍の情報が伝送できる。



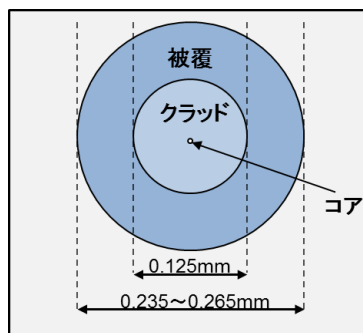
256QAM イメージ

*3 ペタビット

1 テラビットは 1 兆ビット、1 ペタビットは 1000 兆ビット。2018 年 5 月の総ダウンロードトラフィックは、毎秒約 12.5 テラビットである。

*4 既存光ファイバ

国際規格で光ファイバのガラス(クラッド)の外径は $0.125 \pm 0.0007\text{mm}$ 、被覆層の外径が $0.235 \sim 0.265\text{mm}$ と定められており、曲げや引っ張り等の機械的ストレスによって破断しにくいサイズである。現在の光通信で広く使用されている光ファイバは、外径 0.125mm のシングルコア・シングルモードファイバで、毎秒 100 テラビットが容量の限界と考えられており、新型光ファイバの研究開発が盛んに行われている。



広く利用されている標準外径光ファイバの断面イメージ

*5 新型光ファイバ

現在、中・長距離通信用に普及している標準シングルコア・シングルモードファイバは、コア径を小さくし伝搬モードを制限して最低次のモードだけを残すことで、モード間の干渉による通信速度の低下を回避していた。しかし、コア径が小さいため、注入できる信号パワーに限界があり、毎秒 100 テラビットが容量の限界と考えられている。その問題を解決するために、外径を大きくした大容量マルチコアファイバや、マルチモード・マルチコアファイバの研究が進められてきた。

今回開発した 4 コア・3 モードファイバは、コア数の増大に伴うクラッド外径の拡大を最小限に抑えつつ、コアあたりの空間チャンネル数を増やして総伝送容量を向上する設計指針に基づいている。

1. 今回開発した伝送システム

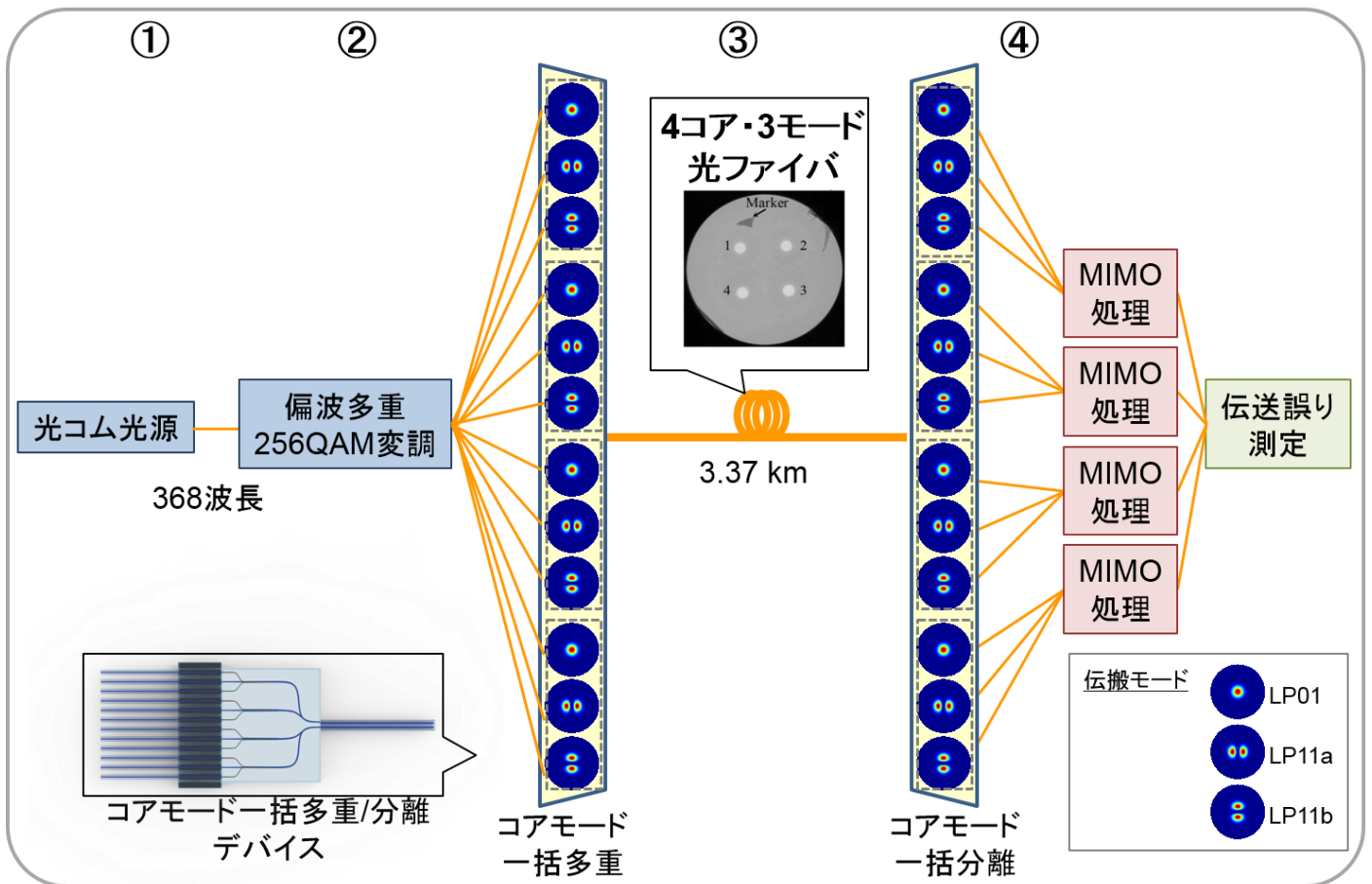


図 2 伝送システムの概略図

図 2 は、今回開発したモード分割多重伝送システムの概略図を表している。

- ① 368 波の異なる波長を持つレーザ光を一括して生成する。
- ② 光コム光源の出力光に偏波多重 256QAM 変調を行い、12 分割した後に遅延差を付けて擬似的に異なる信号系列とする。
- ③ 各信号系列は 12 の空間チャネルに対応した導波路に導入し、4 つのコアに同時に異なる伝搬モード(LP01、LP11a、LP11b)を多重化して 4 コア・3 モードファイバに入射する。
- ④ 3.37km 長の 4 コア・3 モード光ファイバを伝搬後、コアごとに各モード信号を光学的に分離し、6×6 規模の MIMO 信号処理を行って信号を分離し、伝送誤りを測定した。

2. 実験結果

上記図 2 の実験系において、送信及び受信時に誤り訂正処理などの様々な符号化を適用することで、システムの伝送能力(データレート)を最大限効率化するための検証を行い、変調方式として 64QAM、128QAM、256QAM を比較した結果、256QAM 使用時に最大伝送容量が得られることがわかった(図 3)。

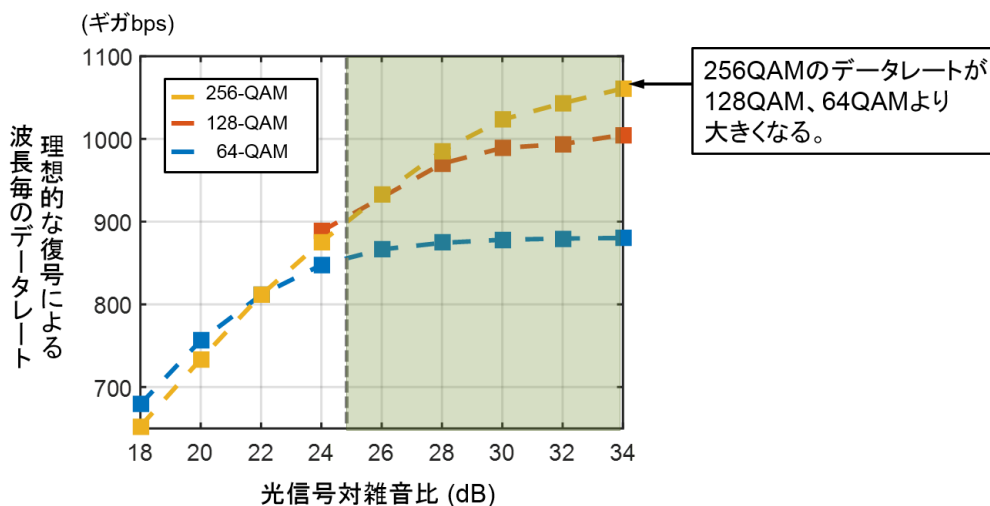


図 3 変調方式比較

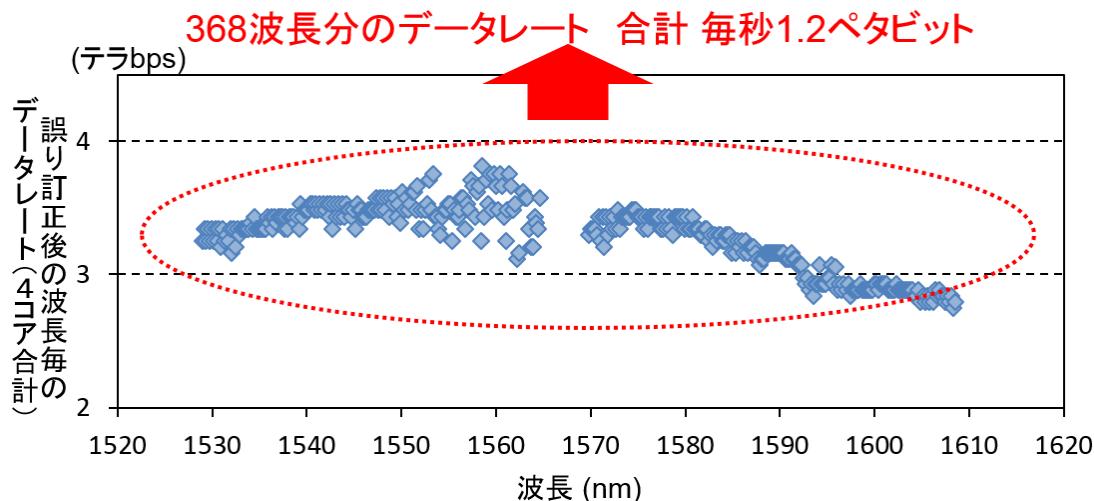


図 4 実験結果

図 4 の実験結果のグラフでは、誤り訂正を適用した結果で、システムの波長依存性などが表れているが、368 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 1.2 ペタビットを実現した。