

38 コア・3 モードの光ファイバ伝送で、容量と周波数利用効率の世界記録を達成 ～データセンター等における短距離大容量伝送システムの可能性を示す～

【ポイント】

- 38 コア・3 モードで容量毎秒 10.66 ペタビット、周波数利用効率 1158.7 ビット/秒/Hz の世界記録を達成
- モード間の光伝搬遅延を抑えた光ファイバを開発、伝送効率が高い 256QAM 及び 64QAM 変調を採用
- データセンター等の光ファイバ配線を大幅に減らす短距離超大容量伝送システムの可能性を示す

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住友電気工業株式会社(住友電工、社長: 井上 治)、株式会社オプトクエスト(オプトクエスト、代表取締役: 東 伸)は、38 コア・3 モード^{*1}ファイバを用い毎秒 10.66 ペタビット^{*2}伝送実験に成功し、周波数利用効率^{*3}1158.7 ビット/秒/Hz を達成しました。この結果は、容量と周波数利用効率共に、これまでの記録(容量:毎秒 10.16 ペタビット、周波数利用効率:1099.9 ビット/秒/Hz)^{*4}を超え、世界記録になります。

本実験では、38 コア全てに 3 モードを収容し、伝送品質向上のためにモード間の光伝搬遅延を低く抑えた光ファイバを開発、各コアの特性に応じ 256QAM^{*5} 又は 64QAM^{*6} 変調を用い、大容量を実現しました。本実験システムを利用すると、1 本の光ファイバで既存の光ファイバの 100 本以上の容量を伝送することが可能となり、データセンター等における短距離大容量伝送システムの光ファイバ配線を大幅に減らすことが期待できます。

本実験の結果は、第 43 回光ファイバ通信国際会議(OFC2020、3月8日(日)～12日(木))に採択されました。本成果については、同会議にて発表します。

【背景】

NICT は、2008 年に「光通信インフラの飛躍的な高度化に関する研究会」を立ち上げ、産学官連携でオールジャパン体制を構築し、先鋭的な研究開発に取り組んできました。世界的にも競争が激しい中で、日本の研究レベルは非常に高く、2017 年に 19 コア・6 モードファイバを用いた毎秒 10.16 ペタビットの世界記録が報告されています。更なる超大容量を実現するためには、光ファイバのコアを増やし、各コアに異なるモードの光信号を伝送するマルチコア・マルチモードファイバが必要です。しかし、コア数を増やすと光ファイバが曲げや引っ張りに弱くなり、モード数を増やすと受信側の処理負荷が高くなるなど、それぞれの技術的課題があり、コア数とモード数の最適化が研究されています。

【今回の成果】

今回、住友電工が開発した 38 コア・3 モードファイバと、オプトクエストが開発したマルチモードビーム用コア多重器を用いて、NICT が大容量伝送システムを構築し、世界記録となる毎秒 10.66 ペタビット、13 km 伝送に成功しました(図 1 参照)。また、周波数利用効率においても世界記録となる 1158.7 ビット/秒/Hz を達成しました。

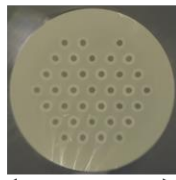
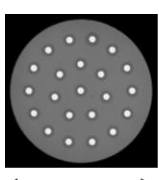
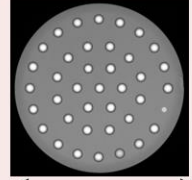
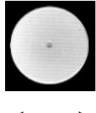
	2015年3月	2015年10月	今回の成果	[参考] 既存の光ファイバ
容量		2.15ペタ	10.66ペタ	0.15ペタが限界
コア数	36	22	38	1
モード数	3	1	3	1
クラッド直径 (mm)	 0.3	 0.26	 0.312	 0.125

図 1 今回の成果とこれまでの NICT の代表的な研究開発成果

マルチモード伝送の場合、受信機側でモードを分離するデジタル信号処理が必要となります。モード間の伝搬遅延の差が大きいとデジタル信号処理の負荷が高くなるため、伝搬遅延差を小さくすることが重要です。本実験では、モード間伝搬遅延差を抑えるためにコア内の屈折率の変化を微調整⁷したマルチコアファイバを製作し、0.6~3 ナノ秒の遅延差を実現しました。これにより、モード数に依存するデジタル信号処理が少なく、消費電力を抑えシンプルな伝送システム構築が可能となります。また、一部を除くほとんどのコアでモードに依存した損失がファイバ結合器を含め 5~8.5 デシベルという高い均一性を得ることができました。

一方、マルチコアファイバは、コアによって伝送特性が異なります。そこで、伝送効率の高い 2 種類の変調方式 (256QAM, 64QAM) の伝送信号の比較を行い、コアごとに、より多くの伝送容量を得られる変調方式を選択しました。その結果、コアごとに毎秒 279~298 テラビットの大容量伝送が可能となりました。

本実験システムを利用すると、1 本の光ファイバで既存の光ファイバの 100 本分以上の容量を伝送することが可能となり、データセンター等における短距離大容量伝送システムの光ファイバ配線を大幅に減らすことが期待できます。

なお、本実験の結果は、米国サンディエゴで開催される光ファイバ通信関係最大の国際会議の一つである第 43 回光ファイバ通信国際会議 (OFC2020、3 月 8 日(日)~12 日(木)) に採択されました。本成果について、同会議にて発表します。

【今後の展望】

早期の実用化システム実現に向けての取組と併せて、マルチコア・マルチモードファイバを用いた通信システムのポテンシャルを更に追求した究極の性能実現に向けて、先鋭的・革新的技術の研究開発を推進していきます。

<採択論文>

国際会議: 第 43 回光ファイバ通信国際会議 (OFC2020) 採択論文

論文名: 10.66 Peta-Bit/s Transmission over a 38-Core-Three-Mode Fiber

著者名: Georg Rademacher, Benjamin J. Puttnam, Ruben S. Luis, Jun Sakaguchi, Werner Klaus, Tobias A. Eriksson, Yoshinari Awaji, Tetsuya Hayashi, Takuji Nagashima, Tetsuya Nakanishi, Toshiki Taru, Taketoshi Takahata, Tetsuya Kobayashi, and Naoya Wada

<過去の NICT 及び住友電工共同の報道発表>

- ・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 超空間チャンネルを実現~
<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>

< 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(取材受付) >

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
E-mail: publicity@nict.go.jp

住友電気工業株式会社
広報部 広報グループ
大場 誠也、西平 礼華
Tel(大阪) 06-6220-4119 (東京) 03-6406-2701
E-mail: oba-seiya@sei.co.jp
nishihira-reika@sei.co.jp

<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 ペタビット

1 ペタビットは 1000 兆ビット、1 テラビットは 1 兆ビット、1 ギガビットは 10 億ビット。毎秒 1 ペタビットは、1 秒間に 8K 放送の 1,000 万チャンネル相当である。

*3 周波数利用効率

光伝送などの効率を表す指標の一つ。単位周波数あたりの伝送されるビットレート(ビット/秒/Hz)で表現される。

*4 これまでの記録(容量:毎秒 10.16 ペタビット、周波数利用効率: 1099.9 ビット/秒/Hz)

2017 年 9 月 株式会社 KDDI 総合研究所と住友電気工業株式会社の記録

<https://www.kddi-research.jp/newsrelease/2017/092201.html>

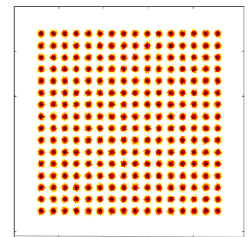


図 2 256QAM イメージ図

*5 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。

*6 64QAM (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。64QAM は 1 シンボルが取り得る位相空間上の点が 64 個で、1 シンボルで 6 ビットの情報($2^6=64$ 通り)が伝送でき、同じ時間で OOK(On-Off keying)の 6 倍の情報が伝送できる。

*7 モード間伝搬遅延差を抑えるためにコア内の屈折率の変化を調整

コアの中心から外周に向けてなだらかに屈折率が変化する(放物型などが一般的)グレーディッドインデックス(GI)型と呼ばれるファイバ構造があり、このなだらかな曲線を微調整することで、モード間伝搬遅延差を制御することができる。

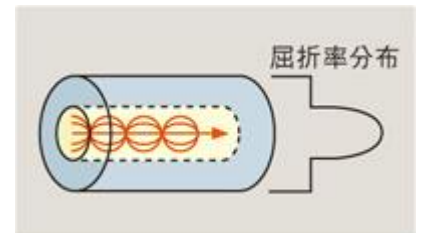


図 3 GI 型ファイバイメージ図

出典: 住友電工 <https://www.optigate.jp/basic/cable.html>

1. 今回実験した伝送システム

補足資料

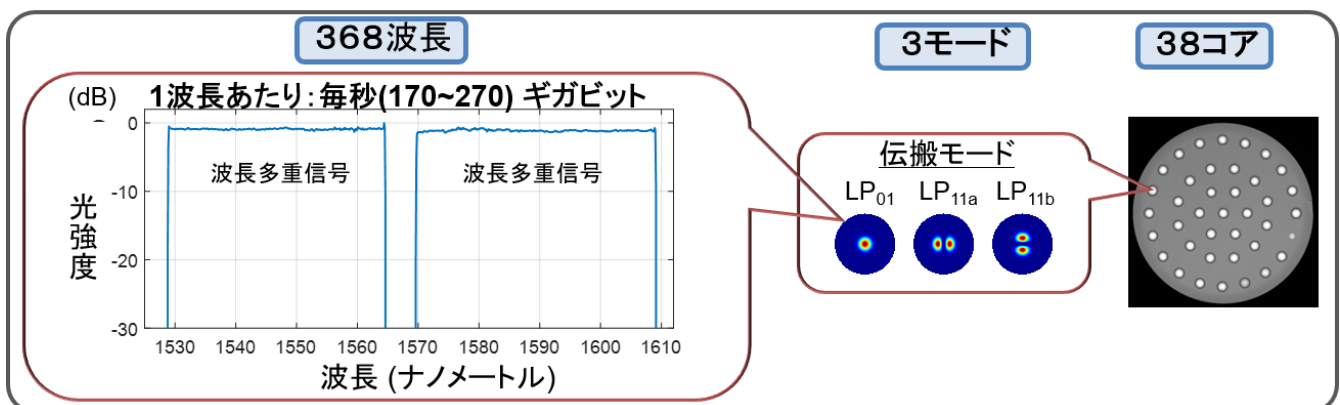


図 4 光信号の多重化

図 4 は、今回の実験における光信号の多重化のイメージ図である。実験で用いた光増幅器の制約上、波長多重信号は二つの領域で分割されるが、合計で 368 波長の波長多重されたレーザ光に 64QAM 又は 256QAM の変調を加える。この波長多重信号光から、38 コア及び 3 モードの各空間チャンネルに入射する。

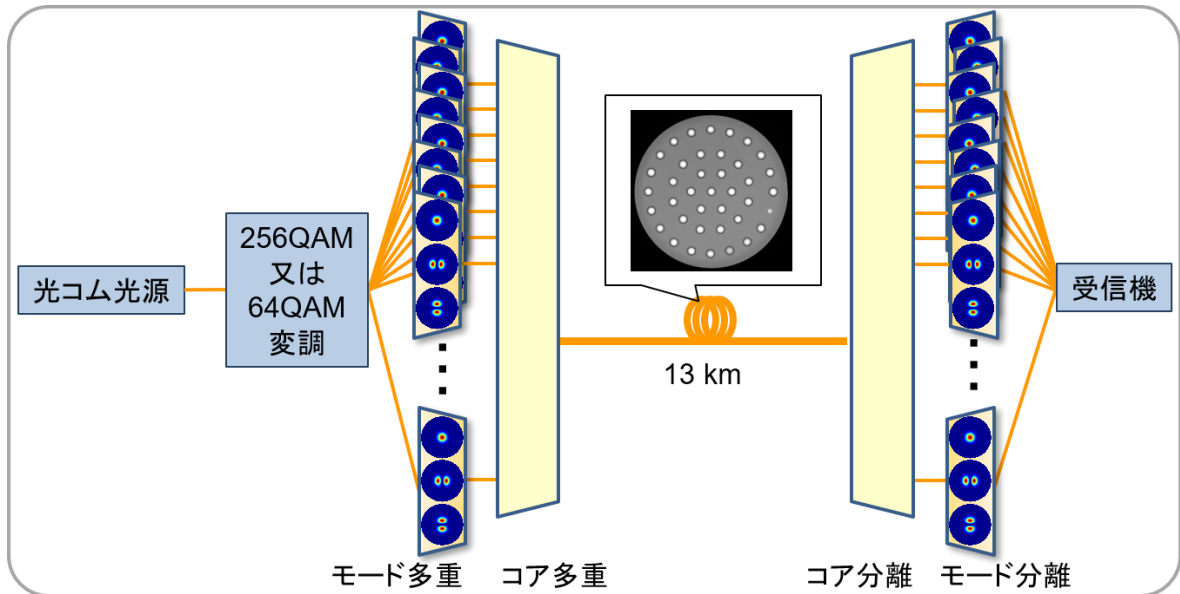


図 5 実験システム

図 5 は、今回の実験システムの略図である。多波長を一括で生成可能な光コム光源の出力を変調器に導入して、64QAM 又は 256QAM の変調信号を生成し、分岐及び遅延線を用いて $38 \times 3 = 114$ 本の低相関のコピーを作る。3 本ずつの分岐が一组となり、モード多重器にて、基本モード (LP_{01}) 及び変換された高次モード (LP_{11a} 及び LP_{11b}) の 3 つの横モードが一本に多重化される。これらの多重化された多モード光 38 本分を、コア多重器にて 38 コアファイバに結合する。伝送後に、コア分離器にて 38 本に分離された各コアの信号光をモード分離器及び光受信機にて検波し、測定を行う。

2. 実験結果

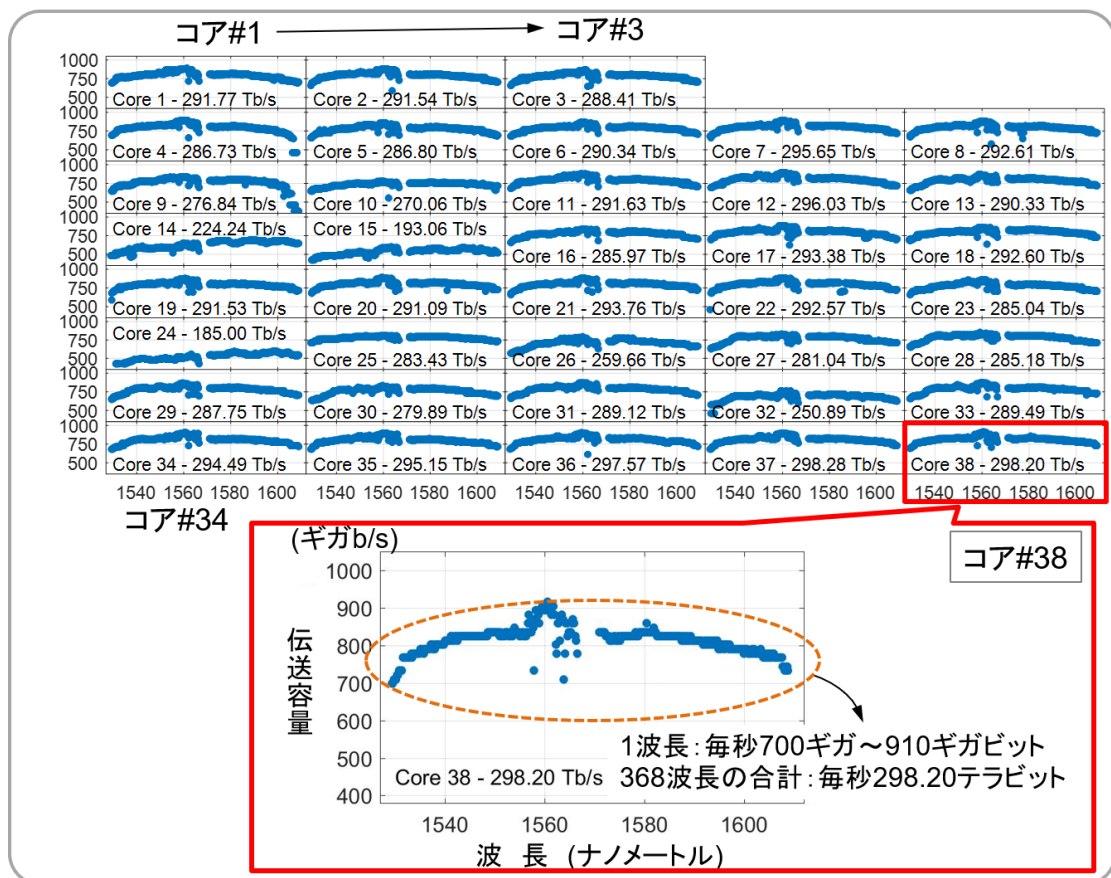


図 6 38 コア全ての伝送結果

図 6 は、伝送後の各コアの波長毎のデータレートのスペクトル分布である。全波長合計の伝送容量が毎秒 180 テラビットから 298.20 テラビットで、誤り訂正符号の余剰分を除いて、有効な伝送ビットレートとして合計毎秒 10,660 テラビット (10.66 ペタビット) が得られた。