

2023年3月15日

住友電気工業株式会社

国立研究開発法人情報通信研究機構

世界初の標準外径 19 コア光ファイバを開発し、伝送容量の世界記録を更新 ～Beyond 5G 後の長距離光通信のキーテクノロジー～

住友電気工業株式会社（本社：大阪市中央区、社長：井上 治、以下「当社」）と、国立研究開発法人情報通信研究機構（本部：東京都小金井市、理事長：徳田英幸、以下「NICT（エヌアイシーティー）」）は、標準外径*¹（0.125 mm）のマルチコア光ファイバ*²では世界最多コア数の結合型 19 コア光ファイバ*³を開発し、毎秒 1.7 ペタビット*⁴、63.5km 伝送に成功しました。

【役割】

・ **当社：標準外径の結合型 19 コアファイバの設計・製造。**

当社はこれまで、長距離大容量伝送に適した標準外径の結合型マルチコアファイバとして、結合型 4 コアファイバ、結合型 7 コアファイバを開発してきましたが、今回、コアの構造と配置の最適化により、標準外径でコア数世界最多の結合型 19 コアファイバを実現しました。

・ **NICT：同ファイバの性能を最大限に引き出す伝送システムの構築。**

結合型マルチコアファイバでは信号干渉のために評価が容易ではないコア毎の伝送性能について、19 コアを同時に並列高速受信する光伝送システムを構築しました。

【実証内容】

商用の波長帯域(C、L 帯)*⁵と偏波多重 64QAM 信号*⁶を用いて、伝送距離 63.5 km において合計毎秒 1.7 ペタビットの伝送容量を実証しました。

【実証結果】

本実験の結果、標準外径マルチコア光ファイバの伝送容量世界記録に加え、毎秒 1 ペタビット級の標準外径マルチコア光ファイバ伝送実験の最長距離も更新しました。また、本成果は、結合型マルチコア光ファイバのコア数を 19 コアまで増やした場合でも、マルチモード光ファイバ伝送*⁷方式に比べ、大洋横断等の 10,000km 級伝送に必要なデジタル信号処理*⁸の負荷(消費電力)を大幅に低減できる可能性を示し、結合型マルチコア光ファイバのコア数のスケーラビリティを実証しました。結合型マルチコア光ファイバとその伝送技術が、長距離光通信網の大容量化へ向けた道を拓くキーテクノロジーとして期待されます。

なお、本実験結果の論文は、第 46 回光ファイバ通信国際会議（OFC 2023）にて非常に高い評価を得て、最優秀ホットトピック論文（Postdeadline Paper）として採択され、現地時間 2023 年 3 月 9 日（木）に発表しました。

■ ご参考

- ・ 本件について、より詳しい技術内容は 国立研究開発法人情報通信研究機構 プレスリリースをご参照ください。

<https://www.nict.go.jp/press/2023/03/15-1.html>

- ・ 当社プレスリリース（2016年3月25日）

長距離大容量伝送に適した結合型マルチコア光ファイバを開発

<https://sei.co.jp/company/press/2016/03/prs023.html>

*1 標準外径光ファイバ

国際規格で、光ファイバのガラス（クラッド）の外径は 0.125 ± 0.0007 mm、被覆層の外径が $0.235 \sim 0.265$ mm と定められている。現在の光通信で広く使用されている光ファイバは、外径 0.125 mm のシングルコア・シングルモードファイバで、毎秒 250 テラビットが伝送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。

*2 マルチコア光ファイバ

現在、中・長距離通信用に普及している標準シングルコア・シングルモード光ファイバによる伝送(図 3a)は、毎秒 250 テラビット程度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、コア（光の通り道）を増やしたマルチコア光ファイバを用いた伝送(図 3b)や、マルチモード光ファイバの研究が進められてきた。マルチコアファイバでは、コア間が近接していると、あるコアから漏れた信号がほかのコアに侵入し、干渉して伝送品質が劣化する課題がある(図 3c)。コア間の信号干渉を低減するために、コア間を適切に広げコア内に信号を閉じ込めた非結合型マルチコア光ファイバが一般的である。現在早期実用化を目標として、標準外径の非結合型 4 コア光ファイバの研究開発が活発に行われている。

*3 結合型マルチコア光ファイバ

結合型のマルチコア光ファイバ(図 3d)は、コア間の信号干渉を受信器側の MIMO デジタル信号処理*8 によって除去する前提で、コアを密に配置している。結合型マルチコア光ファイバを用いた伝送は、マルチモード光ファイバ伝送に比べ、各コアを伝搬する信号の伝搬特性は均一化されるので長距離伝送に適している。しかし、長距離伝送に必要なコア間結合のランダムさを担保するためには、結合が強くも弱くもなり過ぎない様に適切にコア同士の間隔をとる必要があり、これまで報告された標準外径の結合型マルチコアファイバのコア数は最大でも 12 コアである。

*4 ペタビット、テラビット

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、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。

*5 波長帯域

通信用途で主として用いられている波長帯域は C 帯（波長 $1,530 \sim 1,565$ nm）と L 帯（ $1,565 \sim 1,625$ nm）で、その他に O 帯（ $1,260 \sim 1,360$ nm）、E 帯（ $1,360 \sim 1,460$ nm）、S 帯（ $1,460 \sim 1,530$ nm）、U 帯（ $1,625 \sim 1,675$ nm）がある。今回は C 帯と L 帯を使用した。

*6 64QAM

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 マルチモード光ファイバ伝送

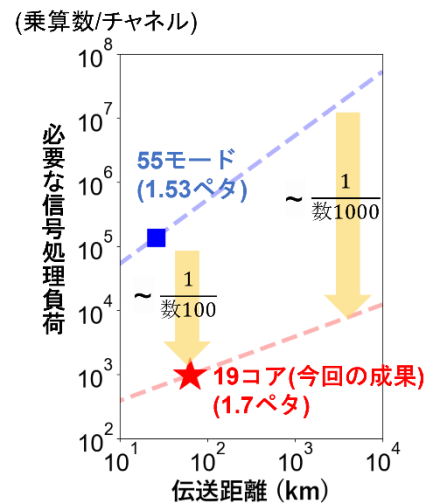
光ファイバのコアの中を光信号が伝搬する時は、コアとクラッドの境界で全反射を繰り返しながら、様々な振動状態で進行する(図 3e)。この振動状態の違いが伝搬モードである。マルチモード光ファイバはコア径が大きく、一つのコア内に複数のモードが存在する。マルチモード光ファイバの伝搬中や、入出力、接続時に、モード間での信号干渉が発生するため、MIMO デジタル信号処理*8による干渉の除去が必要となる。モードの異なる信号では、受信器に届くまでの時間差が生じるため、ファイバの最適化や負荷の大きいデジタル信号処理が必要である。これまでのマルチモード光ファイバ伝送では最大で 55 モードを用いた伝送が実現されている。

*8 MIMO デジタル信号処理

マルチモード光ファイバや結合型マルチコア光ファイバを用いた伝送では、モード分離（モード/コアごとの個別の信号チャンネルへの分離）を行う際に、ほぼ必ず MIMO

（Multi-input-multi-output）処理が必要となる。MIMO は、無線通信でマルチパス干渉を除去するために用いられる信号処理技術である。光通信においては、同一の光ファイバ内を伝搬する異なる光信号同士の干渉を除去するために使用される。

MIMO 処理の負荷（消費電力）は、主に乗算の行われる回数で決まり、モード数の 2 乗と、ファイバ中の信号伝搬の影響を逆再生するためのフィルター関数の長さに比例する。マルチモード光ファイバ伝送では、フィルター関数の長さは各モードの伝搬速度差に依存し、通常はファイバ長に比例して伝搬速度差が蓄積されていくため、長距離伝送に信号処理の負荷が大きくなることが課題であった。結合マルチコア光ファイバ伝送では、空間チャンネル（コア）ごとの伝搬特性は均一化され、フィルター関数の長さは伝送距離の 1/2 乗に比例する特徴がある。大洋横断級である伝送距離 10,000 km で比較すると、今回の結合 19 コア方式は、55 モード伝送に比べてチャンネル当たりの MIMO 処理の負荷を最大で数千分の 1 にまで下げられる可能性がある。



必要な信号処理の負荷と伝送距離

以上