

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～

【ポイント】

- 1 本の光ファイバのコア数 36、さらに、すべてのコアで 3 モード伝搬の光ファイバを開発
- マルチコアとマルチモードの組合せで光ファイバ 1 本の並列伝送数(空間チャンネル数)が 108
- 通信トラフィックの増大要求に対応し、将来的に毎秒 10 ペタビット伝送の可能性を拓く

独立行政法人 情報通信研究機構(NICT、理事長: 坂内 正夫)は、住友電気工業株式会社(住友電工、社長: 松本 正義)、国立大学法人 横浜国立大学(横浜国大、学長: 鈴木 邦雄)、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)と共同で、世界最高の 36 コアで、かつ、すべてのコアがマルチモード伝搬の新型光ファイバ^{*1}を開発し、光信号の送受信実験に初めて成功しました。

光ファイバ 1 本当たりの伝送容量を拡大する次世代技術として、マルチコアファイバやマルチモードファイバ伝送が世界的に研究されています。今回、すべてのコアを 3 モードにし、1 本の光ファイバで $36 \times 3 = 108$ の空間チャンネル^{*2}を実現しました。本実験の成功によって、1 本の光ファイバで毎秒 10 ペタビット^{*3}伝送の可能性が拓けます。

【背景】

増大し続ける通信トラフィックに対応するために、光ファイバの限界を超える新型光ファイバの研究が世界中で盛んに行われています。主に研究されている新型光ファイバは、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、コア径を広げて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。また、これらの新型光ファイバを実用化するためには、現在、光通信で使われているシングルコアでシングルモードの光ファイバ(以下、「既存の光ファイバ」)との接続デバイスが重要で、その研究も並行して行われています。

2 種類の新型光ファイバの製造技術及び疎通評価を合わせて、マルチコアファイバの各コアをマルチモード伝搬にすると、光信号の空間チャンネルが大幅に増え、通信容量が飛躍的に増大します。しかし、マルチモード伝搬にするためにコア径を広くするとコアから漏れた光信号の干渉が大きくなる問題や、既存の光ファイバとの接続方式が複雑で、難しい技術が必要であるなどの問題があり、12 コアで 3 モードの光ファイバしか実現していませんでした。

【今回の成果】

今回 NICT は、36 コアすべてがマルチ伝搬モードの新型光ファイバと、既存の光ファイバとを空間結合装置^{*4}を介して接続し、「36 コア \times 3 モード = 108」の空間チャンネルで通信波長帯の光信号の送受信実験に成功しました。

本実験では、横浜国大と住友電工が共同で「36 コアマルチモードファイバ」を設計し、住友電工が製造しました。また、「既存の光ファイバと接続する空間結合装置」は、NICT とオプトクエストが設計し、オプトクエストが製造しました。

これまで、NICT 発表のマルチコアファイバのコア数は、シングルモードで 19 が最大で、限界と考えられていました。このたび、19 コアを大幅に超える 36 コアを実現することができ、さらに、マルチモード伝搬も成功しました。

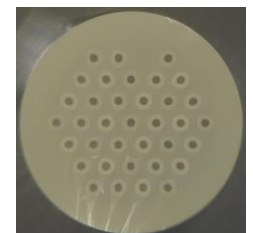
空間結合装置については、これまでマルチコアシングルモードファイバ用に開発していたものに伝搬モードの異なる光信号を合波する機能を追加し、1 台でマルチコアとマルチモードに対応することができました。

本実験結果の 108 空間チャンネルすべてに最先端光変復調技術やデジタル信号処理技術を利用すると、1 本の光ファイバで毎秒 10 ペタビット級の超大容量伝送の可能性が拓き、今後、より安価で大容量のネットワークサービスの実現が期待できます。

【今後の展望】

今後、マルチコアマルチモードファイバ伝送技術の実用化を目指して、通信事業者、メーカーとの取組を積極的に推進し、光通信の更なる大容量化技術の研究開発に取り組んでまいります。

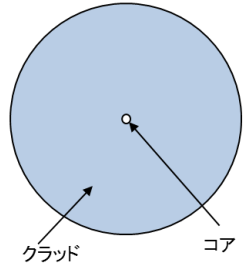
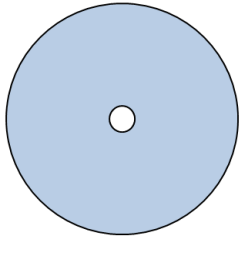
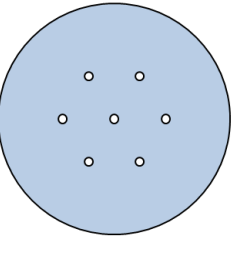
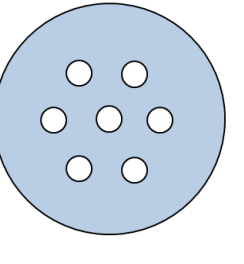
なお、本実験の結果は、米国ロサンゼルスで開催されている光ファイバ通信関係最大の国際会議の一つである光ファイバ通信国際会議(OFC2015、3 月 22 日(日)～26 日(木))で高い評価を得てポストデッドライン論文(最優秀ホットピック論文)として採択され、現地時間 3 月 26 日(木) 18:00 に発表します。



約 0.3mm
36 コアマルチモード
ファイバ断面の写真

<用語解説>

*1 新型光ファイバ

現在実用化されている シングルモードシングルコア ファイバ	研究されている 新型光ファイバの例		
	マルチモード シングルコアファイバの例	シングルモード マルチコアファイバの例	マルチモード マルチコアファイバの例
 <p>クラッド コア</p>			

今回開発した光ファイバ

新型光ファイバ	主な特徴
マルチモードファイバ	コアの中を光が複数のモードで伝搬する。 シングルモードよりコアを太くする必要がある。 40G/100G イーサネット規格の一部として標準化されている。
マルチコアファイバ	複数のコアで光信号を送る。 これまでは、7 コア、10 コア、12 コア、19 コアファイバなどが研究されている。
マルチモード マルチコアファイバ	マルチモードのコアを複数持つ。 これまでは、3 モード 7 コアファイバ、3 モード 12 コアファイバなどが研究されている。

*2 空間チャネル

一本の光ファイバによる伝送容量を拡大するため、複数の光信号を束ねて伝送し分離することを多重化伝送といい、多重化された光信号は、それぞれ独立な通信チャネルと考えられる。例えば、レーザの波長(色)を用いて多重化する波長多重技術は、それぞれのチャネルを波長チャネルと呼ぶ。空間チャネルとは、独立に光信号を送ることができる個別空間(コアやモード)である。マルチコアファイバのそれぞれのコア、マルチモードファイバではそれぞれのモードが別々の空間チャネルとなり、マルチモードマルチコアファイバの場合、空間チャネル数はコア数×モード数になる。

*3 ペタビット

1 ペタ(P)ビットは 1000 兆ビット、1 テラ(T)ビットは 1 兆ビット、1 ギガ(G)ビットは 10 億ビット、1 メガ(M)ビットは 100 万ビット。

通常の家計用光ファイバサービス(FTTH)は、最大でも毎秒 2 ギガビット程の速度であり、1 ペタビットはその 50 万倍に当たる。

*4 空間結合装置

マルチコアファイバやマルチモードファイバを光通信に利用するためには、実用化されたシングルモードシングルコアファイバとの接続性が重要である。様々な手法が提案されているが、レンズやプリズムなどを用いて、自由空間を伝搬するレーザビームによって、異なる種類の光ファイバ同士を光学的に接続する装置を空間結合装置と呼ぶ。これに対して、空間結合以外の手法としては、ファイババンドル型、3D 導波路型、フォトニックランタンなど、光導波路を用いるものがある。

< 本件に関する問い合わせ先 >

光ネットワーク研究所
 フォトニックネットワークシステム研究室
 淡路 祥成、和田 尚也
 Tel: 042-327-6337
 E-mail: yossy@nict.go.jp

< 広報 >

広報部 報道担当
 廣田 幸子
 Tel: 042-327-6923
 Fax: 042-327-7587
 E-mail: publicity@nict.go.jp

今回開発した新型光ファイバと結合装置及び伝送実験結果

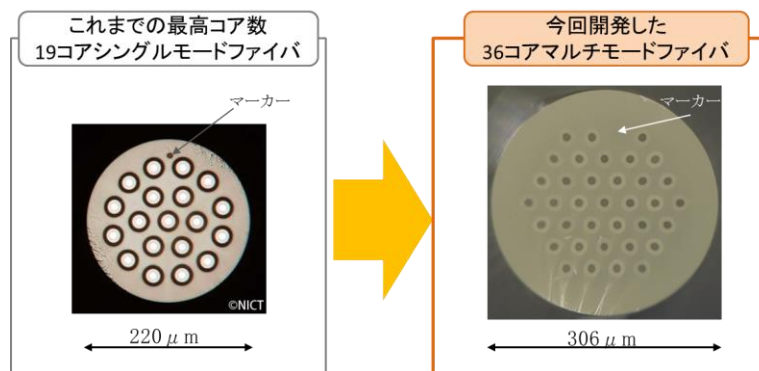


図1 今回開発した 36 コアマルチモードファイバ

新型光ファイバの実用化に当たっては、通信性能だけでなく、製造性や機械的強度、検査方法など多種多様な技術の総合的な検討が必要です。伝送容量の抜本的拡大のためには空間チャンネル数を増やすことが重要ですが、これまでは、シングルモード型では 19 コア、3 モード型では 12 コアが達成されていました。

今回、ファイバ製造能力の限界に挑み、技術的可能性を拡大するために、図 1 に示すように、3 モード型で 36 コアファイバを作成し、108 個のすべての空間チャンネルが独立した別々の通信チャンネルとして使用可能であることを実験的に証明しました。今回、伝送実験に用いたファイバ長は 5 km です。

今後は、各コアの均一性や形状、モードのコントロール、信号干渉の低減などが課題となります。

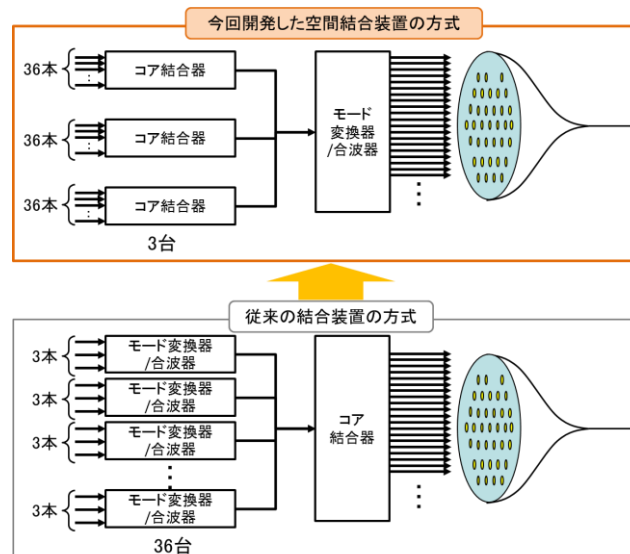


図2 今回開発した空間結合装置の方式

光ファイバ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していきます。この振動状態の違いが、伝搬モードになります。

実用化されたシングルモードファイバでは、一つのモードだけが伝搬するように、コア径を一定以下に細くしています。一方、光通信にマルチモードを利用するためには、それぞれ異なるモード同士を合波する必要があります。このために、モード変換器が用いられますが、マルチコアマルチモードファイバに対応しようとすると、コア数と同数のモード変換器が必要となり、装置が大型化・複雑化します。

今回の実証実験では、この構造を見直して、すべてのコアのためのモード変換及び合波を一つの光学システムでまとめて行えるようにしました(図 2 参照)。これにより、大幅な部品点数の削減が可能になります。

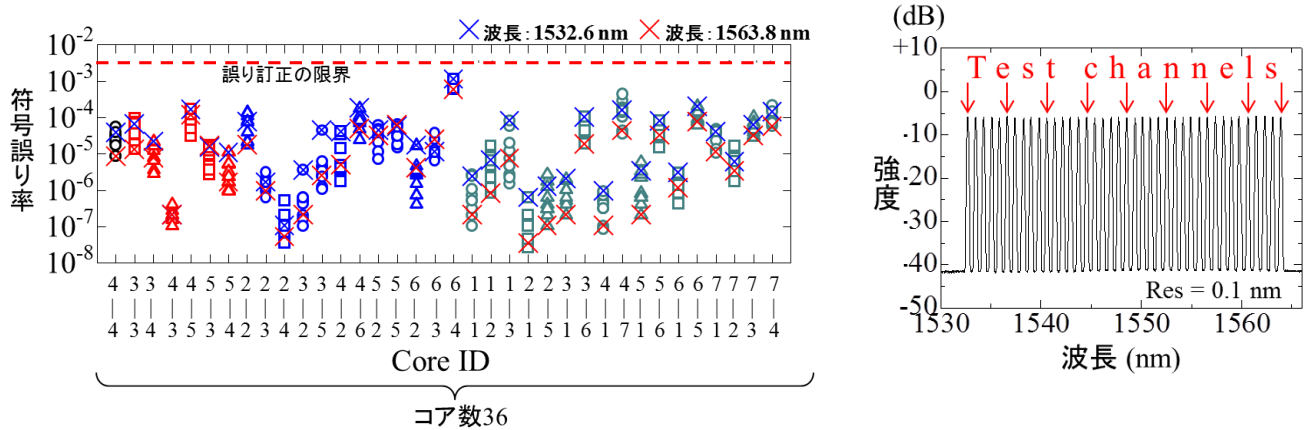


図3 今回の実験結果 左:各コアの伝送結果(符号誤り率) 右:実験した波長

空間チャンネル及び大容量伝送への適用可能性を確認するために、36コアすべてに3モードの光信号を入射して伝送結果を検証し、良好な結果を得ました。

図3左に示すように、36個あるコアに4-4、3-3のようにIDを振って識別し、各コアでの信号品質を符号誤り率として測定しました。誤り訂正の限界という赤い点線は、デジタル信号処理による誤り訂正を併用したと仮定した場合に、十分に良好な品質を示す境界線を表します。一つのコアには、9種類の波長での測定結果を表示しており、測定した最小波長(1532.6nm)と最大波長(1563.8nm)での結果を代表値として×印で示しています。

一方、図3右は、現在の光通信で用いられている波長帯域の40波長をテスト信号として入射した時のスペクトルを表します。その中から9波長を抜き出して誤り率測定をした波長チャンネルを赤い矢印で図示しています。

また、波長多重技術との併用による大容量化の可能性を確認するために、複数の波長の光信号を同時に入射しています。今回の検証実験では、ファイバの特性評価を重点的に行ったので、伝送容量を大幅に拡大する実験は、今後の課題となります。

参考までに、シングルモードシングルコアで達成された伝送容量は、毎秒約100テラビットのため、単純計算で108の空間チャンネルをすべて用いれば、毎秒10ペタビットを越える可能性を示したことになります。マルチコアファイバを用いた伝送実験では、これまでのところ、12コアや14コアファイバを用いた毎秒約1ペタビットが世界記録だったため、今回の成果により、今後の光ファイバ通信における躍進の可能性は、10倍強、引き上げられたことになります。