プレスリリース

慶應義塾大学

2024 年 4 月 22 日

報道関係者各位

慶應義塾大学

次世代 AI データセンター向けプラスチック光ファイバ技術を開発
ーマルチコアで 1 心あたり 106.25 Gbps の超高速伝送に成功ー

慶應義塾大学（塾長　伊藤公平）の新川崎先端研究教育連携スクエアの小池康博特任教授（慶應フォトニクス・リサーチ・インスティテュート（KPRI）所長）、村元謙太特任講師らの研究グループは、次世代 AI データセンターに不可欠な高密度・低遅延の大容量光通信を実現する革新的技術として、1 心あたり最大 106.25 Gbps の超高速伝送が可能な多心（マルチコア）構造の屈折率分布型プラスチック光ファイバ（GI 型 POF）*1 の開発に成功しました。

近年、生成 AI が急速に普及する中、大規模演算を担うデータセンターでは、従来を大きく上回る超大容量・低遅延の通信技術が求められています。特に、大量の GPU やアクセラレータを連携させる AI 処理では、機器同士を接続する短距離光通信の性能がシステム全体の処理能力に直結するため、重要な要素となっています。

本研究グループは、このようなニーズに応えるべく、高速通信が可能な GI 型 POF を押出成形により一括多心化する技術を確立しました。この手法により作製されたマルチコア GI 型 POF は、1 心あたり 100 Gbps を超える超高速伝送を実現するとともに、従来のガラス製光ファイバで必要とされていた煩雑な多心化工程を不要とすることで、大幅なコスト削減に貢献できます。さらに、GI 型 POF を用いた伝送では、従来のガラス製光ファイバに比べて信号のノイズやエラーが大幅に抑制されることを実証し、補正処理の簡素化を通じて、低遅延かつ低消費電力の光通信を実現できる可能性を示しました。

本成果は、光通信分野で世界最大の国際会議である OFC 2025（Optical Fiber Communication Conference and Exhibition）において 2 件の論文として採択・発表されました。

1. 背景と成果

近年、生成 AI（人工知能）技術の急速な発展により、データセンターでは多数の GPU（グラフィックス・プロセッシング・ユニット）やアクセラレータを連携させた大規模な演算環境の構築が進んでいます。これに伴い、GPU などの演算機器同士（ノード間）でやり取りされるデータ量は飛躍的に増大し、800 Gbps や 1.6 Tbps といった超大容量の通信が求められるようになりました。特に、こうした演算機器の接続は、ラック（機器を収納する筐体）内や隣接するラック間など、数メートルから数十メートル程度の短距離で行われることが多く、大容量かつ高密度の短距離光通信の重要性が高まっています。このような用途では、米国を中心に研究開発が盛んに進められている VCSEL（面発光レーザ）*2 が広く用いられており、これに適合する光ファイバの開発が重要となっています。

最先端のデータセンターで用いられている 800 Gbps を超える大容量通信では、複数の光ファイバを束ねてデータを並列伝送する方式（例：100 Gbps × 8 本＝800 Gbps）が一般的です。しかし、従来のガラス製光ファイバは基本的に一本ずつ製造されるため、多心化（複数の光ファイバを束ねること）には、リボン化*3 などの追加工程や、特殊な多心コネクタ*4 との組み合わせが

必要となり、製造や実装にかかるコストが大きく増加します。今後、1.6 Tbps や 3.2 Tbps といったさらなる大容量化が進めば、必要な光ファイバの本数はさらに増加し、コストや実装上の複雑さがより深刻化することが懸念されています。

今回の発表では、大容量通信の実現を目指して本研究グループが長年研究開発に取り組んできた GI 型 POF（屈折率分布型プラスチック光ファイバ）を、プラスチック材料の特性を活かした押出成形により一括で多心化する手法を提案しました。図 1 に示すように、押出成形では、押出機のダイ（成形金型）の設計により、コア（光の通り道）の数や配置、外形形状にかかわらず、マルチコア GI 型 POF を一括作製できます。これにより、従来のガラス製光ファイバで必要とされていたリボン化や多心コネクタの実装が不要となり、多心化のコストを大幅に削減できます（1/10～1/100 程度と試算）。図 2 は、押出機を用いて一括成形した円形 61 心および矩形 4 心のマルチコア GI 型 POF の断面写真を示しています。

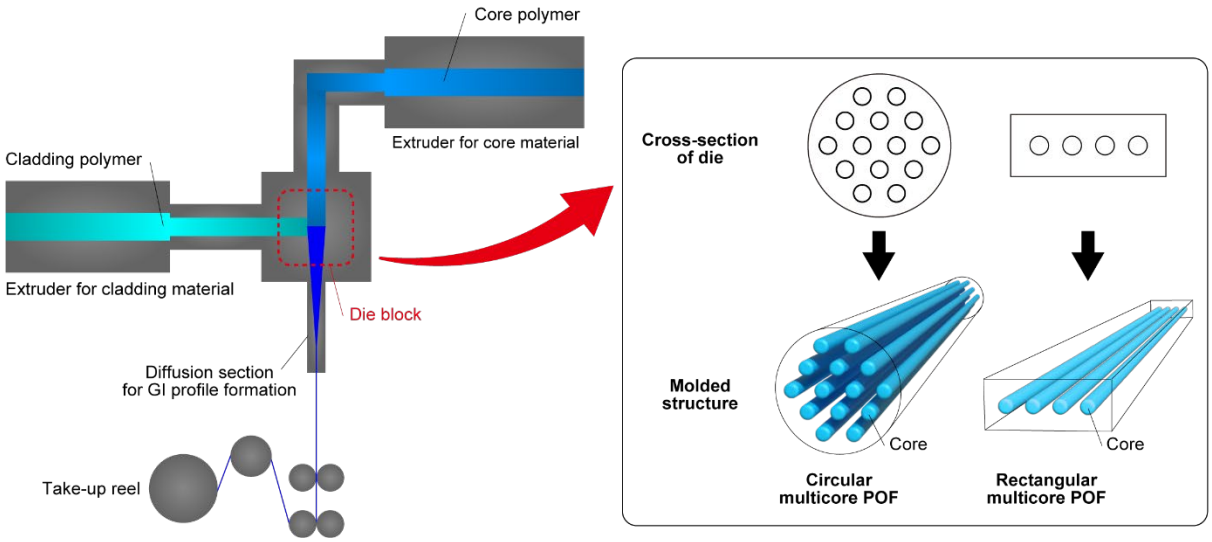

図 1　押出成形によるマルチコア GI 型 POF の一括作製の模式図
（出典：Y. Koike and K. Muramoto, OFC 2025, W3C.7）

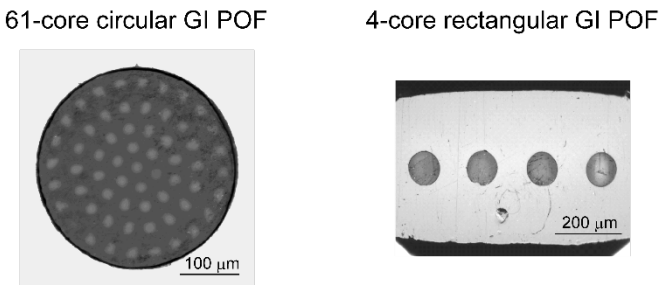

図 2　（左）円形 61 心、（右）矩形 4 心のマルチコア GI 型 POF の断面写真
（出典：Y. Koike and K. Muramoto, OFC 2025, W3C.7）

さらに、今回作製した円形 61 心のマルチコア GI 型 POF を VCSEL と組み合わせ、1 つのコ

アあたり最大 106.25 Gbps の PAM4 信号（4 値パルス振幅変調）*5 を伝送することに成功しました。これは、最先端の AI データセンターで採用されている信号仕様に対応したものです。図 3 に示すように、最大 30 m の伝送においても、アイパターン*6 における TDECQ*7 の劣化はほとんど見られず、高品質な信号伝送が確認されました。さらに、押出成形により一括作製された複数のコア間で伝送特性のばらつきが極めて小さいことも実験により確認され、マルチコア GI 型 POF の一括成形プロセスが、高い製造再現性と信頼性を備えていることが示されました。

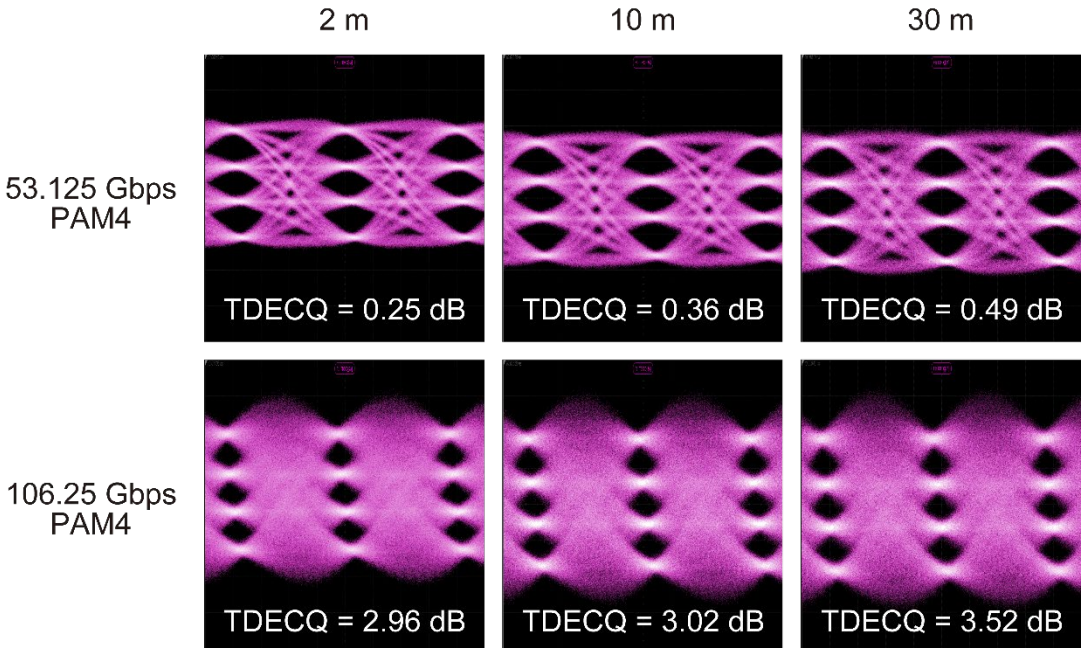

図 3　マルチコア GI 型 POF を用いた最大 106.25 Gb/s PAM4 信号の伝送波形
（出典：Y. Koike and K. Muramoto, OFC 2025, W3C.7）

さらに、GI 型 POF を用いることで、従来のガラス製光ファイバと比べて、VCSEL を用いた際の信号伝送特性を大きく改善できることを実証しました。通信の品質を示す指標である BER（ビットエラーレート）*8 を比較したところ、同一条件下において BER を最大で 1/10,000～1/100,000 以下に抑えられることが確認されました。

GI 型 POF は、コア内部に形成された微細な不均一構造によって光の干渉性を低下させる特性を持ち、これが光ファイバ全体を通じた体積的なノイズ低減効果として機能します。このため、従来のガラス製光ファイバで必要とされていた、コネクタやレンズ結合部でのアドオン型のノイズ対策（精密な端面研磨やレンズの位置合わせなど）が不要となり、機器のコストや接続の手間を大幅に軽減できることが期待されます。

さらに、GI 型 POF による BER の大幅な改善により、現行の大容量通信システムで必要とされている DSP（デジタル信号処理）*9 による信号補正を削減できる可能性があり、これによって通信遅延（レイテンシ）や消費電力の抑制にもつながります。特に、生成 AI 向けのデータセンターでは、多数の GPU やアクセラレータが並列に稼働しており、機器間でのわずかなレイテンシがシステム全体の処理性能（スループット）に大きく影響します。これらの観点から、今回の技術は次世代 AI インフラにおけるボトルネックを解消する可能性を秘めたものとして期待されています。

2. 用語説明

※1　GI 型 POF（屈折率分布型プラスチック光ファイバ）

Graded-Index Plastic Optical Fiber の略。コアの屈折率が中心から外側に向かって徐々に変化する構造になっており、モード（光の通り道）ごとの伝送速度を均一化することで信号の歪み（モード分散）を抑え、高速通信が可能になります。プラスチック材料を用いているため、柔軟で軽量であり、押出成形によって多心構造を一括で成形することができます。さらに、コア内部に形成されるプラスチック特有の微細な不均一構造によって光の干渉性が抑えられ、伝送中のノイズを大幅に低減する効果があります。

※2　VCSEL（面発光レーザ）

Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser の略。低消費電力、小型化、高集積化が可能という特長から、データセンター内などにおける高密度な短距離光通信に広く用いられています。特に、光結合が容易であることから、コア径が約 50 μm のマルチモード光ファイバ（MMF）と相性が良く、数メートルから数十メートルの短距離通信のほとんどは、VCSEL と MMF を組み合わせた構成が主流となっています。

一方、長距離幹線系で使用されているシングルモード光ファイバ（SMF）はコア径が 10 μm 以下と小さく、VCSEL との光結合が難しいうえ、使用部品の高コスト化にもつながるため、短距離用途ではほとんど使用されていません。

※3　リボン化

複数の光ファイバを平らに並べて一体化する工程のこと。光ファイバを 1 本ずつ順に繰り出して精密に位置合わせし、固定する必要があるため、作業に手間がかかり、コスト増加の要因となります。

※4　多心コネクタ

複数の光ファイバを同時に接続するための専用コネクタで、代表的なものに MT（Mechanical Transfer）コネクタや MPO（Multi-Fiber Push-On）コネクタがあります。リボン化された光ファイバをこれらのコネクタに実装するには、すべての光ファイバの外被を除去し、各光ファイバを個別のフェルール孔に通して接着・固定するなど、複数の工程を伴う煩雑な作業が必要です。さらに、コネクタの研磨工程では、すべての光ファイバ端面を均一に磨き上げる必要があり、高い精度と熟練が求められるため、量産性やコスト面での課題となっています。

※5　PAM4 信号（4 値パルス振幅変調）

4-level Pulse Amplitude Modulation の略。1 つのシンボル（信号の変化）で 2 ビットのデジタル情報を伝送できる多値変調方式です。従来の 2 値変調が「0」または「1」の 2 レベルで情報を送るのに対し、PAM4 では信号を 4 段階の電圧レベルで表現し、「00」「01」「10」「11」のように 2 ビット分のデータを一度に送ることができます。これにより、同じ帯域幅で 2 倍のデータ量を伝送できるため、大容量の光通信システムで広く使用されています。一方で、各レベルの電圧差が小さくなるためノイズの影響を受けやすく、より高精度な伝送技術が求められます。

※6　アイパターン

高速デジタル信号の品質を視覚的に評価するための図で、オシロスコープ上に複数の波形を重ねて表示します。波形が目のような形に開いて見えることから「アイパターン」と呼ばれ、開口

部が広いほど信号の歪みやノイズが少なく、高品質であることを示します。光通信における代表的な信号評価指標のひとつです。

※7　TDECQ
　Transmitter and Dispersion Eye Closure Quaternary の略。PAM4 信号における波形品質を定量的に評価する指標で、アイパターンが理想波形からどれだけ劣化しているかを dB（デシベル）単位で表します。TDECQ の値が小さいほど、ノイズや歪みが少なく、良好な信号品質であることを意味します。

※8　BER（ビットエラーレート）
　Bit Error Rate の略。通信中に発生するデジタル情報（ビット）の誤りの割合を示す指標です。BER が小さいほど通信品質が高いことを意味します。たとえば BER が 10^{-6}であれば、100 万ビットに 1 ビットの誤りが発生することになります。

※9　DSP（デジタル信号処理）
　Digital Signal Processing の略。通信中に発生する信号の歪みやノイズを電子的に補正する技術で、高速通信の品質維持に重要な役割を果たします。一方で、補正処理にかかる電力消費や通信遅延（レイテンシ）が問題となることがあり、特に AI データセンターでは、低遅延・省電力での処理が求められるため、DSP の負荷軽減が重要視されています。

3．論文情報
　以下の 2 件の論文が、OFC 2025（Optical Fiber Communication Conference and Exhibition）にて採択され、発表されました。

■ 論文 1：
N × 106.25 Gb/s PAM4 Transmission Using Multicore Graded-Index Plastic Optical Fiber
著者：Yasuhiro Koike, Kenta Muramoto
発表番号：W3C.7

■ 論文 2：
Ultra-Low Bit Error Rate Plastic Optical Fiber Link with Enhanced Optical Return Loss Tolerance and Alignment Robustness for Advanced PAM4 Transceiver Design
著者：Kenta Muramoto, Yasuhiro Koike
発表番号：M3J.7

4．謝辞
　本研究成果は、国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT（エヌアイシーティー））の委託研究（JPJ012368C08001）により得られたものです。

※ご取材の際には、事前に下記までご一報くださいますようお願い申し上げます。
※本リリースは文部科学記者会、科学記者会、各社社会部、文化部等に送信させていただいております。

本発表資料のお問い合わせ先
慶應義塾広報室（向坂）
TEL：03-5427-1541　FAX：03-5441-7640
Email：m-pr@adst.keio.ac.jp　https://www.keio.ac.jp/