



2021年9月24日

報道関係者各位

慶應義塾

世界初エラーフリーPOF（プラスチック光ファイバ）伝送に成功 —通信システムの発熱、遅延、コストの問題を一気に解決—

慶應義塾大学新川崎先端研究教育連携スクエアを研究拠点とする慶應フォトニクス・リサーチ・インスティテュート（KPRI）の小池康博教授らの研究グループは、データセンター、車、医療等の短距離通信で課題となっている通信エラーをほとんど発現しないプラスチック光ファイバ（以下、エラーフリーPOF）を開発しました。さらに、このエラーフリーPOFを用いることによって、データセンター通信の次世代標準である PAM4^{*1}（Four-level Pulse Amplitude Modulation）方式による毎秒 53 ギガビットの信号を、現在必要とされている誤り訂正機能を用いることなく、エラーフリーで伝送することに成功しました。

AI、IoT 時代の到来により、サーバやコンピュータ機器において大容量かつ高品質のデータ通信が求められていますが、信号の高速化に伴ってデータを誤りなく伝送することが困難となってきています。現行の多くの通信システムでは、伝送時に生じる誤データを補正するため FEC^{*2}（Forward Error Correction）に代表される誤り訂正機能や波形整形回路が用いられていますが、これらの信号処理によって通信システムの消費電力や通信遅延が増大することが大きな問題となっています。

今回開発したエラーフリーPOF は、上記の通信システムにおける誤り訂正機能や波形整形回路を不要とするものであり、通信システムの発熱、遅延、コストの問題を一気に解決することができます（スライド A）。本成果は、データセンターの省電力化のみならず、自動車、医療、ロボティクス等における大容量リアルタイム通信への道を切り拓くものであり、エラーフリーPOF は次世代情報産業のコアテクノロジーとなることが期待されます（スライド B）。

本研究成果の一部は、国際学術誌「*Optics Letters*」（2021年8月1日）に掲載されました。また、本研究成果の詳細は、2021年11月に開催されるプラスチック光ファイバ国際会議（POF2021）にて発表されます。

<研究背景>

近年、サーバやコンピュータの処理能力が著しく向上し、機器内や機器間において大容量のデータ通信が求められています。このような短距離通信ではこれまで電気配線が広く用いられてきましたが、電線による通信では信号の高速化に伴って損失や電磁雑音が増加するため、信号を誤りなく伝送することが困難になります。伝送時に生じる信号劣化は FEC に代表される誤り訂正機能や波形整形回路によって補償することができますが、これらの信号処理は通信システムの消費電力や通信遅延を増加させる要因となります。

AI、IoT 時代の到来により世界のデータトラフィックは増加し続けており、データセンター等では通信容量のさらなる拡大のために PAM4 と呼ばれる多値伝送方式の導入が進められています。PAM4 の導入により通信システムの伝送容量は飛躍的に向上しますが、従来方式よりも雑音の影響を受けやすくなるため、伝送路での信号劣化がより深刻な問題になります。現在データセンターでは、電気配線よりも格段に低損失で電磁雑音の影響を受けないガラス光ファイバによる

伝送が主流となっていますが、モード雑音や反射雑音と呼ばれる光伝送固有の雑音が未だ課題となっており、FEC等の誤り訂正機能や波形整形回路なしでのPAM4伝送は困難となっています。すなわち、現状の通信技術でAI、IoT時代の要求を満たす大容量通信を実現するためには誤り訂正機能や波形整形回路に頼らざるを得ず、消費電力や通信遅延の増加が避けられません。

今回開発に成功したエラーフリーPOFは、短距離通信における通信エラーの問題を根本から解決するものであり、本成果によってFEC等の誤り訂正機能や波形整形回路が不要な省電力、リアルタイム、低コストの通信システムが初めて実現します。この革新的なエラーフリーPOFは、今後到来するSDGs社会のデータ通信を支えるコアテクノロジーとなるものと期待されます。

<研究内容>

当研究グループは短距離用途の光ケーブルとして、フレキシブルかつ安全でギガビットをはるかに超える高速通信が可能な屈折率分布型プラスチック光ファイバ（GI-POF）を提案してきました[1]。さらに、プラスチック光ファイバの伝送特性を詳細に解析する中で、プラスチック光ファイバのコア内部にマイクロ不均一構造^{*3}を形成し、前方光散乱を介して効率的なモード結合^{*4}を誘起することによって、光伝送時に生じる雑音や歪みを大幅に低減できることを明らかにしました[2]。以上の成果をもとに、優れた高速性と低雑音性を兼ね備えるエラーフリーPOFを新規に開発し（図A左）、短距離通信の次世代標準である毎秒53ギガビットのPAM4信号を、FEC等の誤り訂正機能を用いることなく、エラーフリーで伝送することに成功しました（図A右：キースイト・テクノロジー社製オシロスコープN1092Cによって測定したアイパターン）[3]。

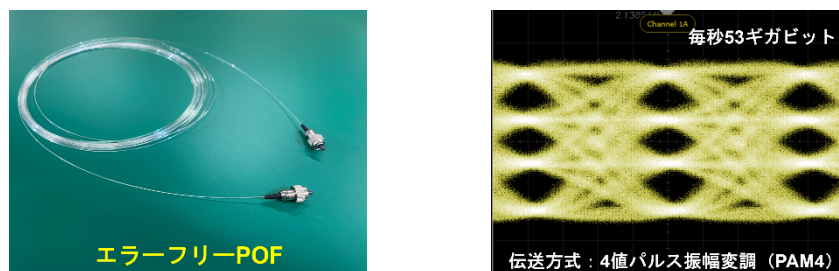


図 A. エラーフリーPOF（左）と毎秒 53 ギガビットのエラーフリーPAM4 伝送波形（右）

光ファイバにおける光散乱は伝送損失を増加させる要因となるため、長距離伝送のためには取り除くことが不可欠とされてきました。そのため、プラスチック光ファイバは柔軟かつ安価で高速性を有するものの、散乱損失が大きいと、その性能はガラス光ファイバには及ばないと考えられていました。しかし、当グループの研究により、散乱損失が大きな問題とならない短距離通信（100メートル以下程度）においては、プラスチック光ファイバ中の光散乱に起因したモード結合を積極的に活用することによって、従来のガラス光ファイバでは達成することができない極めて安定な信号伝送が可能となることが初めて明らかになりました。この逆転の発想により、エラーフリーPOFという革新的技術が誕生しました。

今回開発したエラーフリーPOFを使用することにより、FEC等の誤り訂正機能や波形整形回路を用いることなく高品位な信号伝送が可能となるため、超高速通信を省電力かつリアルタイムで実現できます。このエラーフリー伝送の原理となる光散乱は、プラスチック光ファイバのマイクロな材料特性と密接に関係するものであり、これはまさに「プラスチック光ファイバ材料による通信システムの変革」と言えます。本成果は、データセンターの省電力化に貢献できるだけでなく、省電力性やリアルタイム性が重要な要素となる自動運転車、ロボティクス、高精細映像伝送

等への適用も可能であり、エラーフリーPOF は今後の次世代情報産業を牽引するものと期待されます。

<用語説明>

※1 PAM4 (4 値パルス振幅変調)

データセンター等で採用が始まっている次世代データ伝送方式のこと。従来方式では 2 つの信号レベル (0, 1) を用いてデータを伝送するが (図 B 左)、PAM4 では 4 つの信号レベル (00, 01, 10, 11) を用いるため (図 B 右)、2 倍の速度でのデータ伝送が可能となる。一方で、信号レベルの多値化に伴って信号レベル差が減少するため、PAM4 伝送は従来方式よりも雑音の影響を受けやすくなる。

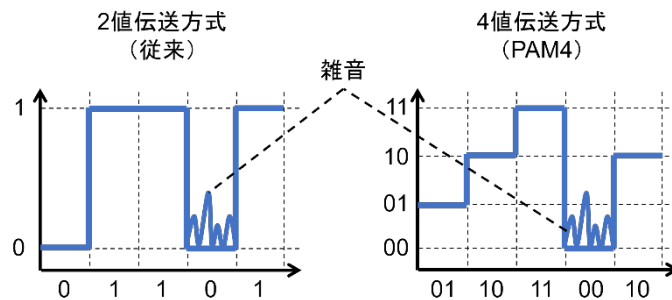


図 B. 従来の 2 値伝送方式 (左) と PAM4 方式 (右) の模式図

※2 FEC (前方誤り訂正)

通信エラーを補正する手法の一つ。FEC を用いることにより受信データ中のエラーを検出して訂正することができるが、その信号処理のために消費電力や通信遅延が増加する。

※3 ミクロ不均一構造

サブミクロン (1 万分の 1 ミリ) からミクロン (1 千分の 1 ミリ) メートル程度の屈折率ゆらぎのこと。物質中にこのような屈折率ゆらぎが存在する場合、その光散乱は光の干渉効果によって前方方向への指向性を有する光散乱となる。

※4 モード結合

光ファイバ中を伝搬する光が特定のモード (光の経路) から別のモードへ遷移する現象のこと。プラスチック光ファイバではミクロ不均一構造に起因した前方光散乱によって効率的なモード結合が誘起される。

<論文情報>

- [1] Y. Koike, *Fundamentals of Plastic Optical Fibers*, Wiley-VCH, 2015. DOI: 10.1002/9783527646500
- [2] A. Inoue and Y. Koike, "Low-noise graded-index plastic optical fiber for significantly stable and robust data transmission," *Journal of Lightwave Technology*, vol. 36, no. 24, pp. 5887-5892, Dec. 15, 2018. DOI: 10.1109/JLT.2018.2877386
- [3] Y. Koike and K. Muramoto, "Error-free PAM-4 transmission by a high-speed plastic optical fiber without forward error correction," *Optics Letters*, vol. 46, no. 15, pp. 3709-3712, Aug. 1, 2021. DOI: 10.1364/OL.433885

<スライド A>

エラーフリーPOFが通信システムを変える

既存の通信システムの課題＝「誤データ処理」

- 「誤データ処理」のために、誤り訂正や波形整形等の信号処理が必須となっている
- しかし、これらの処理のために、**①通信遅延 ②発熱 ③コスト**が大幅に増大する

↓

エラーフリーPOF（プラスチック光ファイバ）により
①②③を一気に解決

↓

通信遅延、発熱、コストの原因となる補正回路が不要
“エラーフリーPOFが通信システム自身を変える”

<スライド B>

エラーフリーPOFのインパクト

<p style="text-align: center;">データセンター</p>  <p>DX時代の到来によりデータ通信量が爆発的に増大しており、データセンターの省電力化が喫緊の課題となっている。</p>	<p style="text-align: center;">自動運転車</p>  <p>自動運転車の高い安全性を実現するためには、超低遅延のリアルタイム通信による制御が不可欠となる。</p>
<p style="text-align: center;">ロボティクス</p>  <p>産業用・医療用ロボットでは、リアルタイム通信制御による精密かつ正確な動作の実現が重要となる。</p>	<p style="text-align: center;">高精細映像伝送</p>  <p>4K8Kの真の臨場感・没入感を味わうためには、大容量の映像データをリアルタイムに伝送することが重要となる。</p>

省電力・リアルタイムのエラーフリーPOF伝送システムは次世代情報産業を支えるコアテクノロジーとなる

※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、各社科学部等に送信させていただいております。

<研究内容についてのお問い合わせ>

慶應フォトニクス・リサーチ・インスティテュート (KPRI)

Email : info@kpri.keio.ac.jp <https://kpri.keio.ac.jp/>

<配信元>

慶應義塾広報室 (宮崎)

TEL : 03-5427-1541 FAX : 03-5441-7640

Email : m-pr@adst.keio.ac.jp <https://www.keio.ac.jp/>