

AIと電気光学ポリマープラットフォーム アルキメデス級の発見となるか？

マイケル・レビー

電気光学 (EO) ポリマーは、インターネットにおける人工知能 (AI) の処理能力を高める可能性がある。

ギリシャの偉大なる数学者アルキメデスは、円周率、螺旋、大数の指数、流体静力学、てこの原理、重力など、数々の数学的発明で功績があるとされている。彼の有名な言葉は、水の変位から不規則な形状物の体積を測定する方法を浴槽で発見した際に発せられたものである。そして、彼は裸のまま「エウレカ (分かったぞ) !」と叫びながら通りに繰り出したことで知られている。

その後2千年の間に、「エウレカ!」と叫ぶに値するような驚くべき発明、発見、革新は、数多く生まれてきたかもしれない。今日、AIの台頭と、AIのインターネットや光ネットワークへの影響もまた、「エウレカ!」と叫ぶほど革新的なものかもしれない。さらに、電気光学ポリマーを使用した新しい関連技術プラットフォームには、インターネットにおけるAI処理を促進させる可能性があるのだろうか。

AIの影響の評価

わずか20年前では、ダイヤルアップモデムを使用して、1枚の画像をダウンロードするのに平均10～20分かかっていた。10年前でも、短いビデオクリップやテレビ番組をダウンロードするのに、10～20分ほど待たされたものだ。その後、待ち時間が短縮されるに伴い、周知の通り、画像と動画がインターネット・トラフィック量を押し上げる最大の原因になった。さらにこの1年間で

明らかになったのは、AIやAIを動かすための高度な計算能力がインターネットのトラフィック量をますます増大させる要因になるということだ。

例えば、2003年、ネットフリックス (Netflix) はストリーミングビデオサービスを開始してから約3年半後には、加入者数100万人突破というマイルストーンを達成した。今年、チャットGPT (ChatGPT) は5日間で100万人のユーザーを獲得し、米メタ社 (Meta) のスレッズ (Threads) は1週間強で1億人近いユーザーを獲得したとされている。このようなAIの爆発的な台頭は、我々の想像を絶する方法で社会に影響を与えようとしている。

さらに、過去60年間の高性能計算

システムの処理能力は、当初3～5年ごとに倍増してきた⁽¹⁾。しかし2020年頃以降、その伸び率はけた違いの10倍以上に加速し、計算能力は3～4か月ごとに倍増している (計算処理量の指標であるペタフロップス換算による)⁽²⁾。AIを構成するニューラルネットワークの発展に伴い、GPU (グラフィックス・プロセッシング・ユニット) やMPU (マイクロ・プロセッシング・ユニット) の計算処理能力を向上させる必要がある。そのため、計算処理を支えるインフラストラクチャへの負荷が増大している。

光ファイバを伝送する光信号情報の容量を増やす必要があり、光ルーティングとスイッチングが行われる場所 (通常は、データセンター) では、ますます大量の情報を処理する必要がある。インターネットや光ネットワーク事業



者の経済的コストはさらに増大するだろう。

AIとインターネット

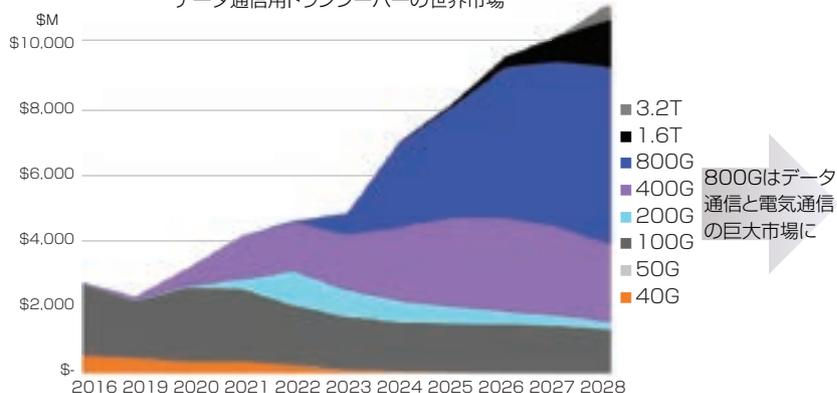
AIは、我々の日常活動に浸透しており、さらに効率的に、そしておそらくさらに賢く活動するためのアプリケーションとして機能している。このようなツールが普及し、機械知能が日常生活に導入される中、その影響を考慮しないのは得策ではない。インターネットへの影響は膨大であり、インターネットはデータセンターを使用してトラフィックや情報を送受信先にルーティングし、スイッチングする光ネットワークに基づいて構築されている。

今日、データセンターは業界でこれまでに経験したことのない方法で高性能化している。AIによるトラフィック、情報、データの増加という需要が予想され、インターネットの運用方法が変化している。

AIは現在、インターネットを高性能化する新たな興味深い市場機会を生み出しており、その中でも高密度化、高速化、低消費電力化の3つの要因が今日注目されている。これら3つの市場要因に対応するには、さらに高性能な光学コンポーネントやフォトニックコンポーネントを設計する必要がある。このようなコンポーネントには、インターネットインフラストラクチャの一部として、データセンター間を相互接続する光ファイバケーブルを使用する。

今日の光学コンポーネントは、小型化や省スペース化に伴うスイッチの高密度化、電子計算処理の増加に伴う光情報フローの高速化、環境に優しい低消費電力の必要性に対処する必要がある。これら3つの市場要因に対応するために、次世代の光学コンポーネントとして、例えばポリマー変調器のよう

予想通り、生成AIが800G超のソリューションを急速に展開推進
データ通信用トランシーバーの世界市場



出典:ライトウェーブ・ロジック社(LWLG)による社内推定値

データ通信用トランシーバーの世界市場に関する最近の一般的な見解と、生成AI(ジェネレーティブAI)が800G超の光トランシーバー・ソリューションを光ネットワークへ展開する動向。[画像提供:米コヒレント社(Coherent)、米ライトカウンティング社(Light Counting)、米ライトウェーブ・ロジック社(LWLG)]

な新たなデバイスが検討されている。このようなデバイスは、光ファイバケーブルに光を伝送するレーザ装置の事前に物理的に配置するものである。

電気光学ポリマー変調器

変調器と呼ばれる光学部品用の新しいポリマー材料が、今日のインターネットで使用されている既存の半導体変調器に取って代わるべく開発されている。光変調器は光のスイッチングと変調を行うもので、今日のインターネットや光ネットワーク・アーキテクチャには、何百万台もの光変調器を使用している。現在、既存の半導体変調器は、データ伝送の高速化、トラフィック量の増加、低消費電力の要件、小型化、といったAIの普及に伴い要求される対応に苦勞している。

当社、米ライトウェーブ・ロジック社(LWLG)は、「パーキナミン電気光学ポリマー」と呼ばれる最先端の有機材料を調達および製造している。本ポリマーは、当社が独自に開発した有機発色団を主要成分としており、シリコンチップ上に堆積され、光変調器の機

能が付加されたものである。

同光変調器の製造時に、高電圧を短時間印加して発色団を整列させるため、超低電力かつ超高速の変調が可能になる。当社のポリマー材料と、それに適用する集積フォトニックシリコン回路[別名: フォトニック集積回路(PIC)]は、性能の信頼性と安定性に優れており、既存の半導体技術に取って代わる地位を占めている。

ポリマー光変調器デバイスは、各辺がおおよそ数ミリメートルのシリコンベースのチップ上に形成され、パーキナミン発色団である電気光学ポリマーが堆積される。これらのチップは、データセンターのスイッチャー/ルーターの主要コンポーネントである光ファイバトランシーバーのエンジンに相当するものである。

高性能光学エンジンを可視化する方法として、自動車を例に挙げよう。ポリマー光変調器はいわば、ネットワークインフラストラクチャ全体は変更せずに、4気筒エンジンをV型8気筒エンジンにアップグレードすることに相当する。光ファイバモジュールにター

ポチャージャーを組み込むことにより、データセンターのインフラストラクチャの他の部分は変更せずに済むのだ。この光ファイバモジュールは、通常、高さ6～8フィート、幅約2フィート、奥行き約2フィートほどの大型の金属製ラックに収納される。今日、データセンター内にはこのようなラックが何百台もある。このような各ラックにはデータセンターのシステム・アーキテクチャが構成され、ルーター、スイッチ、メモリーユニットなどが搭載される。

概して言えば、電気光学ポリマー技術は、現世代の製品のみならず、おそらく10年以上にわたり、インターネットと光ネットワークにおける多大な問題を解決する技術であると捉えることができる。

電気光学ポリマーには、電気信号と光ビームの伝送速度および位相が整合するという、本質的に高性能な変調特性を有する。そのため、次世代の製品においてさらなる高性能化が期待できる。光変調器の分野には、既存の技術のみならず、新規参入を目指す競合技術も存在する。しかし、そのような技術は残念ながら、現世代の技術が成熟

した後には十分に機能するとは限らない。インターネットや光ネットワーク・アーキテクチャが継続的に高性能化を遂げるには、複数世代にわたり最高水準のパフォーマンスを発揮し続ける技術が要求される。

この性能を可視化するため、あらゆる光変調器に共通の指標である「3dB光帯域幅」で比較する。シリコン、リン化インジウム、ニオブ酸リチウムなどの光変調器はすべて、基本的な3dB光帯域幅を有する。この10年間、既存の半導体光変調器の3dB光帯域幅は、およそ20～30GHzが限界だった。

最近では、シリコンとリン化インジウムの光変調器はともに基本的な光帯域幅の性能向上を目指して設計され、40～60GHzにまで増大し、70GHzに迫る性能も散見されるようになった。経験則として、毎秒100Gbit(100Gbaud NRZ)および毎秒200Gbit 100Gbaud PAM4のエンコーディングには、70GHzの3dB光帯域幅が要求される。

今日の光ネットワークでは、多くのデータセンター事業者が、1レーンあたり少なくとも毎秒200Gbit(4レーンの場合は毎秒800Gbit、8レーンの場

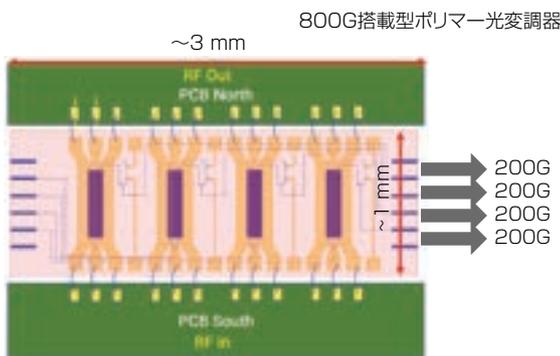
合は毎秒1.6Tbit)が可能な技術を求めている。ポリマー変調器は70GHzを容易に達成しており、すでに150GHzの性能レベルを示している(これは現在のレーン速度の約2倍に相当し、4レーンの場合には毎秒1.6Tbitが実現可能になる)。

さらに、プラズモニック設計をポリマー変調器デバイスの設計に組み込み、ライトウェーブ・ロジック社製電気光学ポリマー材料を使用する場合、すでに250GHzを超える3dB帯域幅が実証されている。これにより、情報レーンの伝送速度が現在の目標値の約4倍に達する可能性がある。

ポリマー光変調器がAIの普及を促進する 新しいプラットフォーム技術に

ポリマー光変調器が発揮する最高水準のパフォーマンスは、まさにデータセンター構築において、光ファイバトランシーバーなどの次世代光ネットワーク機器を設計する際の要求水準を満たすものだ。

新技術のプラットフォームは、ネットワーク・アーキテクチャやインフラ



開発中 → ライトウェーブ・ロジック社製P2IC(ポリマーフォトニック光集積回路)プラットフォームの一部としての、4チャンネルのポリマーPICチップ
1レーンあたり300G、さらには400Gの可能性*

シリコンフォトニックプラットフォームの一部としての、4チャンネルの電気光学ポリマー変調器のレイアウト設計。電気光学ポリマー変調器の最終的な効果は、1レーンあたり200G(またはそれ以上)の伝送速度でシリコンフォトニックPICをターボブースト可能であること(画像提供: ライトウェーブ・ロジック社)

- ・マツハツエンダー干渉計(MZI)アレイを使用した、4チャンネルの光学ポリマーPIC(フォトニック集積回路)のレイアウト
- ・エッジカプラを使用して、東西両側に接続したファイバアレイ
- ・電気CPW(導波路)伝送長:~1mm

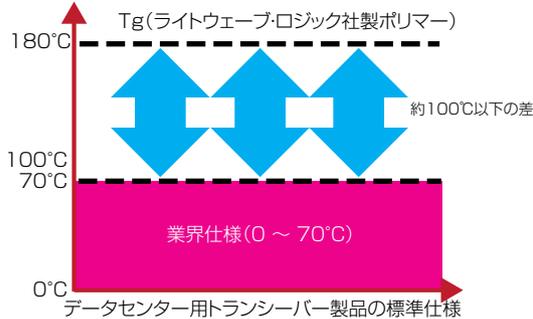
*150GHz超の3dB光帯域幅を有し、さらに250GHz超の潜在的な性能を有するEQ S21を使用

出典:ライトウェーブ・ロジック社(LWLG)

信頼性と安定性のための最適化

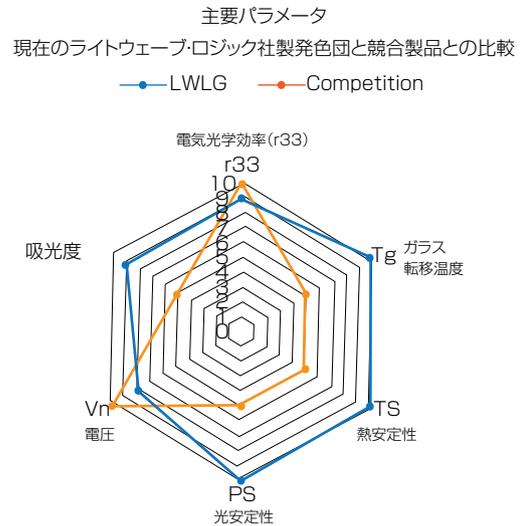
世界最高水準の発色団設計

- Very high glass transition temperature (T_g)
- 業界仕様と T_g 間の差は約100°C以下
- 架橋が不要
- 脱ポーリング(T_g が業界仕様の上限值に近い場合に発生)から材料を保護



信頼性、安定性、全体的な動作パフォーマンスを考慮して開発された電気光学材料

注記:上記は定性分析であり、特定のパラメータにおける材料がどの程度「良さ」を1~10のスケールで示したものに過ぎない
出典:ライトウェーブロジック社(LWLG)による公開データの最良推定値



この画像資料は、LWLG社が製造する電気光学ポリマーの最適化と設計哲学を示している。重要な特性は、高いガラス転移温度によって主要パラメータが設計されている点である。これにより、電気光学ポリマーは、データセンター環境における通常の動作温度より100°C近く高い温度で最適化されている

ストラクチャを変更せずに、既存のトランシーバーのターボブーストが可能。そのため、低コストでインターネットを高速化できるものだ。さらに高性能な光コンポーネントを組み込むと、インターネットは、増大するデータ・情報・トラフィックの洪水に対処できる点から、ますます優れた確固たる地位を確立する。AIの普及に伴い、光学コンポーネントのパフォーマンスの向上へのニーズも高まっている。ライトウェーブ・ロジック社のポリマー技術により、光ファイバモジュールと付随する光ネットワーク機器がさらに高性能になっていくだろう。

アルキメデス級の発見に値するか？

本記事の冒頭の質問「AIの台頭はアルキメデスが『エウレカ!』と叫ぶ

ほどの革新と見なすものだろうか」について検討しよう。答えはどうあれ、アルキメデスが裸のまま通りに裸り出すとはとても思えない。おそらく、彼は地元のコーヒーショップでアメリカノでも飲みながら、今日誰もが利用できるAIアプリケーションを使ってインターネットサーフィンを楽しむ程度だろう。

AIの潜在的な影響は我々の生活の質を変える可能性があるため、この技術はAIにとって「エウレカ!」と叫ぶ

ほどの革新であると著者は考える。今日我々が使用しているAIツールがあれば、アルキメデスなら生み出したであろう新しいアイデアや発明を想像するのは難しくない。

電気光学ポリマーの並外れた可能性を考えると、アルキメデスは、この新技術プラットフォームが急速に「エウレカ!」と叫ぶほどの革新へと前進していると見なすかもしれない。電気光学ポリマーの影響は、間もなく明らかになるはずだ。

参考文献

- (1) S. J. Ben Yoo, arXiv:2209.08873v1 [cs.NI] (Sep. 2022); <https://doi.org/10.48550/arxiv.2209.08873>.
- (2) E. Masanet, A. Shehabi, N. Lei, S. Smith, and J. Koomey, Science, 367, 6481, 984-986 (Feb. 28, 2020); doi:10.1126/science.aba3758.

著者紹介

マイケル・レビー (Michael Lebbey) は、米ライトウェーブ・ロジック社 (Lightwave Logic) のCEO。e-mail: info@lightwavelogic.com www.lightwavelogic.com