

MITSUI & CO. GLOBAL STRATEGIC STUDIES INSTITUTE

データセンターでの導入が進むCPO

—光電融合がいよいよ普及期に入る—

三井物産戦略研究所 技術・イノベーション情報部
コンシューマーイノベーション室 辻 理絵子

なぜこの技術を取り上げるのか

2026年は、光電融合の一種であるCo-packaged Optics (CPO) が本格的な量産・実用化フェーズへ移行する年となる。AIデータセンターの急拡大に伴う消費電力の増大が深刻化する中、電力効率を劇的に改善し、消費電力を低減するCPOへの期待は大きい。先行する（米）Broadcomや（米）Nvidia等多くの企業が製品化ラッシュを迎え、国内では（日）NTTが、IOWN構想¹に基づく商用サンプル提供を開始する。主要企業が一斉に市場投入へ動く2026年は、次世代AIインフラの覇権争いが始まる重要な分岐点となりそうだ。

Summary

- CPOは、従来プロセッサから離れていた「電気・光変換機能」をプロセッサに近接配置する技術である。これにより電気の伝送距離を短縮し、消費電力の大幅な低減、データ伝送容量の増大、および低遅延化を実現する。
- CPOの実現には高度なパッケージング技術が不可欠である。このため、（台）TSMCなどのファウンドリやOSATの重要性が増しており、これら企業を含むエコシステム形成が進んでいる。
- 熱管理や保守の複雑性という課題は残っており、日本企業は課題解決の鍵となる光実装技術や部材分野に強みを持つため、国内外の主要メーカー等と積極的に連携し、次世代AIインフラにおいて中核的役割を担うことが期待される。

1. CPOとは

生成AIの普及に伴い、データセンターの計算能力向上が急務となっている。計算能力の向上には、半導体の微細化などと同様に、通信の高速化が重要である。しかし、サーバーの回路基板（ボード）²上の大半を電気信号で伝送する従来方式では、高速化に伴い信号減衰やノイズが激化し、それを補うために莫大な電力を消費してしまう。光は電気と比べ伝送中のエネルギー損失が圧倒的に少ないため、電気信号での伝送を光信号での伝送に置き換え、電力消費の課題を解決すると期待される技術の総称が光電融合である。近年は、光電融合の技術の一種である、CPOが特に注目を浴びている。

1-1. 技術

光電融合には、電気信号を光信号に置き換える場所によって段階がある。最終的には、極短距離なダイ³間の接続を光化することが期待されており、CPOはその手前の段階として、ボード間を接続する通信デバイスにおいて、プロセッサ（CPU、GPU、ASIC等）のきわめて近くに電気と光の変換機能を配置する技術である。近年では、特に消費電力の多いネットワーク機器のスイッチASIC⁴での適用が進んでおり、2025年頃から一部データセンターでの導入が進み始めた。

¹ IOWN（アイオン）構想とは、Innovative Optical and Wireless Networkの略で、NTTが提唱する、光技術を核にネットワークからコンピューティングまで情報インフラ全体を革新し、超大容量・超低遅延・超低消費電力を実現する次世代の通信基盤構想のこと。

² 回路基板とは、表面や内部に配線が施され、また表面にチップやコンデンサ、コネクタなどの多くの電子部品をはんだ付けした基板のこと。

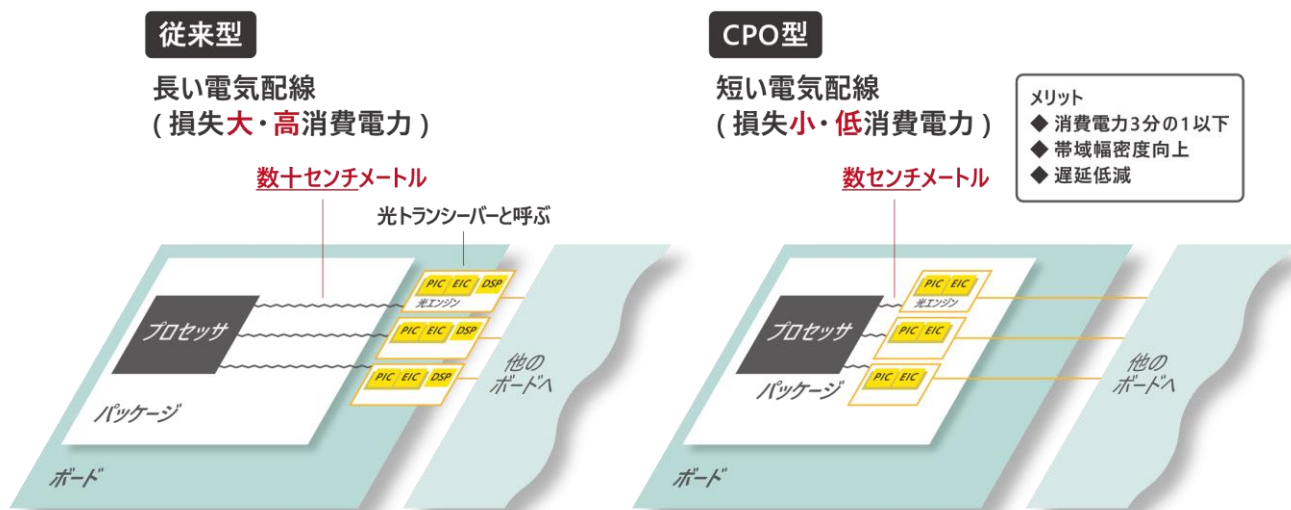
³ ダイとは、シリコンなどの基板上に微細な電子回路（トランジスタなど）を集積した、数ミリメートル程度の小さな部品のこと。

⁴ ASICとは、Application Specific Integrated Circuitの略で、特定の目的や特定のアプリケーションの処理に特化して設計・製造される集積回路（IC）のことを指す。スイッチとは、ネットワーク内の通信機器を接続し、データの転送・振り分けを管理する機器を指す。スイッチASICは、スイッチ用のASICのこと。

従来は、電気と光の変換を行う光トランシーバー（ボードから着脱可能なモジュール）を、プロセッサから離れたボードの端に配置していた。CPOでは、光トランシーバーの中核機能である光エンジン⁵を、プロセッサと同一パッケージ⁶上に集積し、パッケージ上で電気信号と光信号の変換を行う。これにより、電気信号の伝送距離を、数十センチメートルから数センチメートル程度まで短縮し、電気配線等で生じていた損失を抑え、消費電力を3分の1以下程度にまで低減する（図表1）。

CPO技術の研究は2010年代後半から徐々に議論や研究が進んでいた。しかしながら、当時は通信速度への要求も低く、また、光を集積する技術や実装技術が成熟しておらず、ボード上の伝送⁷には、従来型の銅線による電気信号を用いる方がコストと信頼性の面で有利であった。近年、データセンターの高速化に伴い、電気信号による伝送損失等が無視できない限界に達していたが、シリコンフォトニクス⁸、さらにパッケージング⁹の技術進化によって電気回路と光回路の集積度を高めることが可能になったことで、実用化が見え始めてきたのである。

図表1：従来のボードとCPOを統合したボードの違い



出所：各所資料から三井物産戦略研究所作成

1-2. メリットと課題

CPOの導入によるメリットは以下の通り。

1. 消費電力の大幅な低減：ボード上の長い電気配線を光配線に置き換えることで、従来の光トランシーバーでの消費電力と比べ、およそ3分の1以下に抑制可能である。

⁵ 光エンジンとは、光トランシーバーの中核部品である、光信号の生成や操作を行うPIC（Photonic Integrated Circuit）と電子制御を行うEIC（Electric Integrated Circuit）を含む。劣化した電気信号を補正するDSP（Digital Signal Processor）は、従来型の光トランシーバーには搭載されているが、一般的にCPOでは含まない。

⁶ パッケージとは、半導体素子（チップも含まれる）を外部から保護し、電氣的に接続するための外部端子を持つ部品のこと。黒く四角い物体から4方向に足（リード）が出たような概観をしている。

⁷ 現在でも、ボード上ではなく、GPU間の様な短距離の通信においては、依然として銅線の方がコストと信頼性が高いとの意見がある。

⁸ シリコンフォトニクスとは、シリコン半導体の製造技術を用いてシリコンウエハー上に光導波路や光変調器などの大規模な光の回路を構築する技術のこと。

⁹ パッケージングとは、通常、半導体の後工程を指す。CPOにおいては、光学部品と半導体チップを同じパッケージ内に組み込むことやその技術のこと。

2. 帯域幅¹⁰密度の向上：従来は、ボード端のフロントパネルに着脱型の大型光トランシーバーを配置していたため、物理的なスペース制約により接続できる光ファイバーの数に限界があった。CPOでは、パッケージから直接光ファイバーを取り出すことで、実装密度を高め、データ伝送容量を飛躍的に増大させることが可能になる。
3. 遅延低減の可能性：プロセッサと光エンジンの距離が極短化されることで、複雑なDSP処理等を簡素化あるいは削除できる。これにより、従来に比べ、伝送遅延を数十～百ナノ秒¹¹規模で短縮できる可能性がある。

一方で、CPOは高度な実装技術が必要であり、以下の課題も抱えている。

1. 熱管理：発熱源であるASICの至近距離に、熱に弱い光学素子（レーザー等）を配置するため、高度な熱対策が必要となる。対策として、故障しやすいレーザー光源を外部に配置する「External Laser Source (ELS)」方式が主流となりつつある。
2. 製造と保守の複雑性：光学素子と半導体を一体化するため、一度パッケージングすると個別の素子交換が困難となる。従来のような着脱ができないため、内部の光学素子等が故障した場合、高価なプロセッサごと廃棄になるリスクがあり、極めて高い信頼性が求められる。

2. 注目すべき動向

CPO並びに光電融合の開発は、①データセンターのラック間のネットワーク接続を担うスイッチへの適用（ボード間）と、②パッケージ間やパッケージ内のチップやダイの間の接続に光を活用する光I/O技術の実現を目指す2つの方向性で進んでいる。図表2に、主要企業のアプローチ等をまとめた。

2-1. 主要企業等の動向

CPOで先行するのはBroadcomとNvidiaである。

- ・Broadcom: CPOスイッチ市場を牽引している。TSMCの先端プロセスとパッケージ技術を活用したCPOスイッチをAIデータセンター向けに提供しており、2026年以降の大規模導入を見据えている。

- ・Nvidia: AIインフラの覇者として独自の戦略をとる。スイッチ向けCPO搭載製品を発表し、CPO技術を、AIファクトリーを支える中核技術と位置付け、TSMC、（米）Fabrinet、（日）センコーアドバンス、（日）住友電工などから成る「シリコンフォトニクス・エコシステム」を構築する。しかしながら、GPU間接続（NVLink）においては「可能な限り銅線を使う」という姿勢を現時点では崩していない。これはコストと信頼性の観点から、短距離接続では依然として銅線が優位であるとの判断による。

- ・スタートアップ: （米）Ayar Labs、（米）Celestial AI、（米）Lightmatterといったスタートアップは、光I/O技術として、CPO技術を活用したチップレットと光源を開発し、プロセッサとメモリ間、あるいはプロセッサ同士の通信ボトルネック解消を狙う。これは、生成AIで従来課題となっていたもので、AIモデルが大型になるにつれチップとメモリ間のデータ移動に時間とエネルギーを消費する課題を解消するものである。

- ・TSMC: 光電融合製品の製造受託先であるTSMCは、エコシステムの中心として存在感を高めている。独自の光電融

¹⁰ 帯域幅とは、通信で取り扱う周波数の幅のことを指す。これはつまり、一定時間内に送受信できるデータ量を意味する。

¹¹ ナノ秒とは、時間の単位のこと、1秒の10億分の1のこと。つまり、100ナノ秒は、1秒の100万分の1の時間となる。nsと表記することもある。

合パッケージ技術を開発し、NvidiaやBroadcom等の主要プレイヤーに対し、3D積層技術を提供している。また、国際的な業界団体であるSEMIが提唱する「Silicon Photonics Industry Alliance (SiPhIA)」を、OSAT¹²の（台）ASEと共に主導し、CPOを含むシリコンフォトニクス技術に関わるサプライチェーン強化を進めている。

図表2：CPO関連企業の動向

企業名	製品出荷・提供状況 (2026/01時点)	どこを光化するか ◎ 商用出荷/サンプル提供が確認できる ○ 計画が確認できる － 射程外/公表なし			アプローチ
		ボード間	パッケージ間/ チップ間	ダイ間	
Broadcom	イーサネット向けCPOスイッチを 出荷済み	◎	○	－	・長距離であるラック・ボード間をCPO化する方針が主軸。 ・短距離（プロセッサ、HBM等）接続を光化する構想も公表。 ・TSMCの光電融合パッケージ技術のCOUPEを採用。
Nvidia	インフィニバンド向けCPOスイッチを2026年初頭、イーサネット向けCPOスイッチを2026年後半に市場投入予定	◎	－	－	・長距離であるラック・ボード間をCPO化する方針が主軸。 ・短距離（チップ間/GPU間）接続には、コストと信頼性の観点から可能な限り銅線（NVLink）を使う方針を維持。 ・TSMCの光電融合パッケージ技術のCOUPEを採用。
Marvell Technology	製品出荷については未公表（光電融合製品の収益への貢献は、2028年度後半に始まると予想）	－	○	○	・チップレット集積パッケージ同士の接続を電気から光に置き換える。 * 2025年12月に光電融合スタートアップのCelestial AIを32.5億ドルで買収しており、光電融合関連技術は、Celestial AIのものを記述。
Ayar Labs	光I/O評価キットを顧客向けに提供中	－	◎	○	・汎用的な「光I/Oチップレット」を提供し、パッケージ間の電気配線を光に置き換えることを目指す。 ・Nvidiaと協業中。 ・製造はGlobal Foundriesに委託。
Lightmatter	2025年夏に提供と発表あり	－	○	○	・統合度が高いアプローチで、ダイの直下から光でデータを入出力させることで、パッケージ内部やダイ間の通信ボトルネックを根本から解消しようとしている。
NTT (IOWN)	CPOサンプルの市場投入は2026年を予定	○	○	○	・IOWN向け「光電融合デバイス」開発において、半導体ベンダーや素材企業と共同で設計・実装を目指す。

出所：各所資料から三井物産戦略研究所作成

2-2. 日本の動向

日本ではNTTがIOWN構想のもとで光電融合に関する研究を進めており、CPOデバイスの研究成果を公表している。政府も、経済産業省・NEDOを中心に、長年光電融合技術の推進に力を入れており、NEDOによるチップ間通信の光化に関するプロジェクトでは、2014年から2022年までの総額で228億円を投じている。近年では、経産省による「半導体・デジタル産業戦略の現状と今後」と題した資料にて、重点技術として光電融合が取り上げられており、IOWN構想との連携が国家レベルのビジョンとして記述されている。また、2025年4月には産総研にて光電融合研究センターが設立された。

CPOの実装においては、PICと光ファイバーを1マイクロメートル（ミクロン）¹³未満という極めて高い精度で接続するアライメント技術や、レーザー光源の外部化（ELS）に伴う特殊なコネクタ接続が不可欠となっており、日本の部材メーカー（住友電工、センコーアドバンス、（日）フジクラなど）がその重要部材の供給において世界的に高いシェアと技術力を持っている。

3. 今後の展望

調査会社IDTechExの予測では、CPO市場全体は2036年までに200億ドル（約3兆円）規模を超えると見込まれている。普及タイムラインとしては、2026年は、ハイパースケーラー向けのスイッチにおいてCPOの導入が広がりつつ、従来型の光ト

¹² OSATとは、Outsourced Semiconductor Assembly and Testの略で、パッケージングや最終テストといった半導体の後工程を専門で受託する企業のこと。前述のように、CPOでもパッケージング技術が必要である。

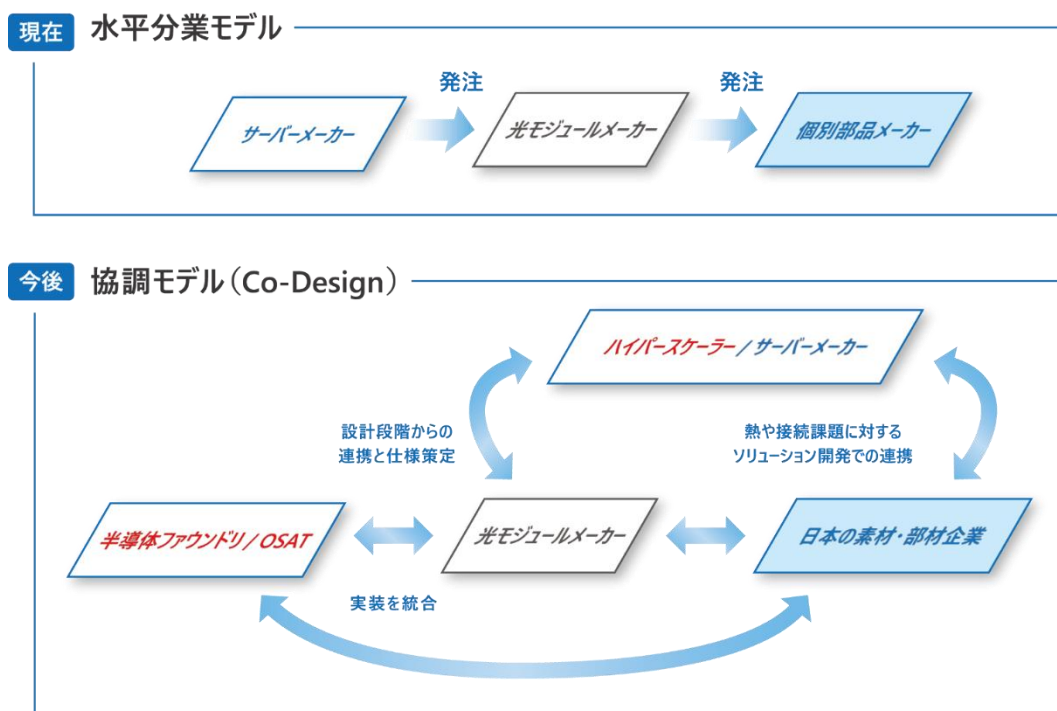
¹³ マイクロメートル（ミクロン）とは、長さの単位で1ミリメートルの1000分の1のこと。μと表記することもある。

ランシーバも存在する過渡期となり、2027年以降に、製造技術の成熟に伴い大規模導入が進むと見られる。それと同時期に、光I/O技術の搭載が本格化し、CAGR 20%以上の勢いで市場が急拡大すると予測されている。

CPOにより、「光モジュールを個別に挿す」から、「半導体パッケージに光機能を組み込む」へと技術が変化したことで、半導体ファウンドリ（TSMC等）やOSAT（ASE等）がサプライチェーン上で重要な役割を持つことになった。従来、光トランシーバの設計・開発を行ってきた光モジュールメーカー（Broadcom等）や部品メーカー（住友電工等）は、ファウンドリやOSATとより密接に連携することになる。

日本企業にとっては、CPOのボトルネックとなる「光ファイバーの実装（アライメント）技術」「高耐熱材料」「ガラス基板」などの部材・装置分野で高い勝算がある。光モジュールメーカー等が構築するエコシステムへ、単なるサプライヤーとしてではなく、技術課題を解決する共同開発パートナーとして深く入り込めるかが、次世代データセンター市場での成功の鍵となるだろう（図表3）。

図表3：ビジネスモデルの変化



出所：各所資料から三井物産戦略研究所作成

辻 理絵子 Rieko Tsuji / シニアマネージャー

専門分野：AI・ロボティクス、通信・データセンター、AI 半導体・光電融合

当レポートに掲載されているあらゆる内容は無断転載・複製を禁じます。当レポートは信頼できるとされる情報ソースから入手した情報・データに基づき作成していますが、当社はその正確性、完全性、信頼性等を保証するものではありません。当レポートは執筆者の見解に基づき作成されたものであり、当社および三井物産グループの統一した見解を示すものではありません。また、当レポートのご利用により、直接的あるいは間接的な不利益・損害が発生したとしても、当社および三井物産グループは一切責任を負いません。レポートに掲載された内容は予告なしに変更することがあります。