

次世代データセンターの省電力化に挑む 光電融合技術が ゲームチェンジのカギに ～産総研 並木周氏に聞く～

世界的にデータセンターの需要が増加し、それとともに電力消費が急増しています。そこで経済産業省（経産省）はグリーンイノベーション基金事業（GI基金事業）の一環として、データセンターの消費電力削減を目指した「次世代グリーンデータセンター技術開発」プロジェクトを2021年度にスタートしました【*1】。同プロジェクトの円滑な推進を図るために発足した「次世代グリーンデータセンター用デバイス・システムに関する協議会」（GDC協議会）【*2】の会長を務める国立研究開発法人 産業技術総合研究所 プラットフォームフォトニクス研究センター センター長の並木 周氏に、GDC協議会の活動や電力削減のカギとなる「光電融合」技術について話を聞きました。

国立研究開発法人 産業技術総合研究所 プラットフォームフォトニクス研究センター センター長 並木 周氏



第1節 データセンター省電力化を進めるGDC協議会の活動

—— 年々増加するデータセンターの消費電力が社会課題に ——

クラウドやAIを活用したサービスの利用の増大、および日々発生するデータ量の増加を背景に、データセンターの需要は拡大を続けています。それに伴い電力消費も急増しています。データセンターで消費される電力は、現時点で世界の総電力消費の数%程度を占めるとされていますが、その比率はさらに大きくなり、現在の技術のままでは2030年に総電力の10%程度を占めるとの予測もあります。デジタル社会が求める需要に応えつつ、消費電力をいかに抑えていくかが、データセンターにおける喫緊の課題となっています。

—— 現状のデータセンターの状況や課題について教えてください。

並木 データセンター需要が拡大を続けている一方で、半導体の性能向上の原動力ともなっていた「ムーアの法則」にいいよ終焉（しゅうえん）が見えてきました。

CMOSプロセスの微細化が進むことで、半導体の処理性能を上げて、消費電力や、チップの大きさ、コストが変わらない、というのがムーアの法則が成立していた時代のパラダイムでした。

ところが、ムーアの法則に終焉が見えてきたことで、コンピュータ・アーキテクチャの根底を変えないといけなくなってきました。たとえば複数の物理サーバを使って仮想サーバを構成したり、AI処理を専用のアクセラレータに振り分けたりといった工夫がすでに一般的になっています。

—— 従来は高性能な1台のサーバを中心にシステムを構成していましたが、クラウド時代には分散したサーバリソースを仮想的に集約しながらシステムを構成するようになりました。

並木 そうです。その結果、データ処理が一つのサーバ筐体には収まらず、サーバ間あるいはラック間で大量のデータをやりとりしなければならなくなっています。実際、データセンターの内部でやりとりされるデータ量は、データセンターが外部とやりとりするデータ量を大きく上回っていることがいくつかの資料で示されています。

では、データ伝送の最も効率の高い方法はなにかというと、帯域、伝送距離、遅延、セキュリティ、消費電力などの観点から、光が圧倒的に有利です。電気でもある程度までは帯域を上げられますが、信号の減衰などで伝送できる距離が短くなりますし、ネットワークスイッチの消費電力も増加します。光を使わないと立ち行かなくなる状況が現実になり始めています。

—「次世代グリーンデータセンター技術開発」プロジェクトとGDC協議会—

GI基金事業の「次世代グリーンデータセンター技術開発」プロジェクトを円滑に進めるとともに、社会実装に向けた情報共有や意見交換などを目的に、GDC協議会が設立されました。

— GDC協議会の目的を教えてください。

並木 私たちの生活や社会がインターネットのさまざまなサービスに依存している今、データセンターにおける消費電力の急増は社会問題のひとつにもなっています(図1)。経産省はこうした課題を解決するため、「次世代グリーンデータセンター技術開発」プロジェクトを進めています(図2)。

GDC協議会は、データセンターを中心とする情報インフラの省電力化と性能向上の両立を図るため、バリューチェーンを構成する企業や機関の間の情報共有、意見交換、共同研究提案、標準化活動などを目的に設立されました。直接の開発は行っていないが、シンポジウムや検討部会などの開催・議論を中心に活動しています。

— どのような体制で運営しているのですか。

並木 GDC協議会は、「社会実装推進部会」、「システムアーキテクチャ検討部会」、「光電コパッケージ技術検討部会」という三つの部会で構成されています。

社会実装推進部会は、新しい技術を事業として成立させるため、技術動向や市場動向の調査とその共有を目的としています。

システムアーキテクチャ検討部会は「次世代グリーンデータセンター技術開発」プロジェクトの方針管理の場で、2030年のデータセンターに求められる革新的な技術を対象にした部会です。その中では、プロセッサやアクセラレータなどのリソースを適切に再配置し、システムとしての高性能化とリソース利用の効率化を図るディスアグリゲーションについて議論する「ディスアグリゲーション分科会」と、コンポーネント間およびサーバ間通信の広帯域化と省エネ化を実現する光通信技術について議論

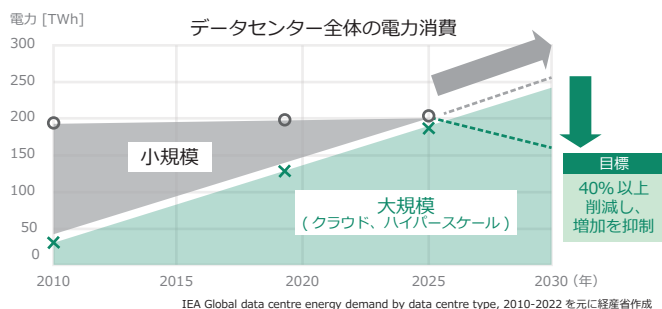


図1 従来は小規模データセンター数の低減でデータセンター全体の電力消費増加は微増に留まってきたが、今後は大規模データセンターの急増で電力消費の増加が見込まれるため、40%以上の省エネ化を目指す。出典:「次世代デジタルインフラの構築」プロジェクトに関する研究開発・社会実装計画(案)の概要、経済産業省商務情報政策局、2021年7月
【https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/green_innovation/industrial_restruc_turing/pdf/003_04_00.pdf の30ページから引用・作成】

する「光スマートNIC分科会」(NIC=ネットワークインタフェースカード)の二つの分科会が活動しています。

光電コパッケージ(co-package)技術検討部会は会員を広く募って、光トランシーバなどの光回路と電子回路とのワンチップ化を図るとともに、プリント基板上に光導波路を形成する技術などを対象にした部会です。

— 産総研では2020年にプラットフォームフォトリソグラフィ研究センター[*3]が設立され、並木先生がセンター長を務められています。こちらの役割も教えてください。

並木 産総研のプラットフォームフォトリソグラフィ研究センターは、フォトリソグラフィ(光技術)の基盤技術を研究する組織です。研究センターの設立は2020年ですが、10年以上前から、次世代のデジタルインフラにおいてはフォトリソグラフィ技術が重要になると考え、研究活動が続けてきました。

同センターでは、ポリマー導波路を用いた光電融合基板実装技術、スーパークリーンルームを活用したシリコンフォトリソグラフィによる大規模光集積回路の製造技術、全光パスによる超低遅延・超低電力光ネットワーク、光デバイス技術など、さまざまな研究を進めています。

産総研は、次世代データセンターに必要なフォトリソグラフィ技術や光電融合技術を会員企業に提供してシナジーを生み出すとともに、実用化をお手伝いする立場でGDC協議会を運営しています。

2030年までに

① 光エレクトロニクス技術の開発

② 光に適したチップ等の高性能化・省エネ化技術の開発

③ ディスアグリゲーション技術の開発

により、データセンターの40%以上の省エネ化を実現。※IOWN構想と連携

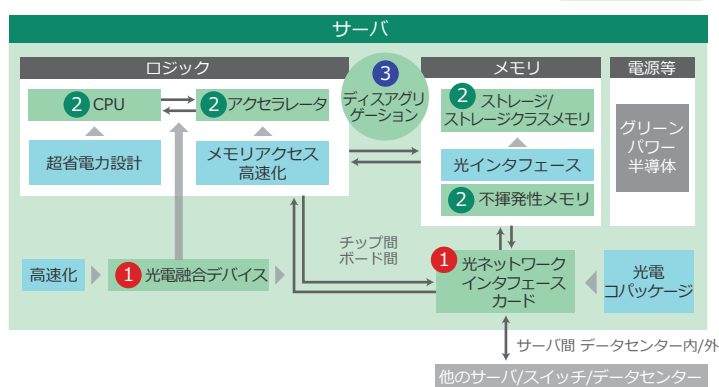


図2 GI基金事業のひとつとして推進される「次世代グリーンデータセンター技術開発」プロジェクトの全体像(出典:「次世代デジタルインフラの構築」プロジェクトに関する研究開発・社会実装計画(案)の概要、経済産業省商務情報政策局、2021年7月)
【https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/green_innovation/industrial_restruc_turing/pdf/003_04_00.pdf の36ページから引用・作成】

第2節 ネットワークシステムの省電力化を実現する光電融合とは

—— 世代を区切って研究開発を進め光電融合チップの実現を目指す ——

「次世代グリーンデータセンター技術開発」プロジェクトで「ゲームチェンジ技術」として挙げられているのが「光電融合技術」です。電子デバイスに光エレクトロニクスを融合し、電気配線を光配線に置き換えることで、ネットワークの大容量化と低遅延化を図り、ネットワークシステム全体の大幅な低消費電力化を目指します。

—— 光電融合とはどのような技術なのでしょうか。 ——

並木 電気信号を扱う回路と光信号を扱う回路を融合することを光電融合と呼んでいます。まず目指しているのが、送信用の半導体レーザーと受信用の受光素子などで構成される光トランシーバを、プロセッサなどのロジック回路とともに基板上に集積すること。これを「光電コパッケージ」技術と呼んでいます。

光トランシーバとして広く用いられている既存のモジュール[*4]は大きく、サーバの筐体間の伝送に用いる場合は許容できますが、筐体内の基板間や、基板内のチップ間の通信に使うのは適切ではありません。そこで、光電コパッケージ化による小型化が期待されています。

—— 単一チップ上に電子回路と光回路の両方を集積するのでしょうか。 ——

並木 最終的にはそこを目指していますが、Ⅳ族元素であるシリコン(Si)ではレーザーを実現できないため、Ⅲ－Ⅴ族の

化合物をシリコンチップ上に形成しなければなりません。そのため、製造プロセスが複雑化して量産性が課題となります。また、半導体レーザーは熱に弱いため、発熱の大きいプロセッサやアクセラレータのすぐ近くに置いて大丈夫か、といった問題もあります。

そこで一足飛びにゴールに向かうのではなく、世代を区切って研究開発が進められています。最初は、小型化した光トランシーバをロジックチップの近くに実装してモジュール化する「光モジュール型」です(図3中央)。

その次の世代がチップレット[*5]を用いた「高性能半導体パッケージ型」です(図3右)。

—— コパッケージ化した場合、光信号の入出力と伝送はどのように実現しますか。 ——

並木 プラットフォームフォトニクス研究センターでは、プリント基板の表面にポリマーを使って光導波路を形成・実装する技術を研究しています(図4)。コパッケージ化した

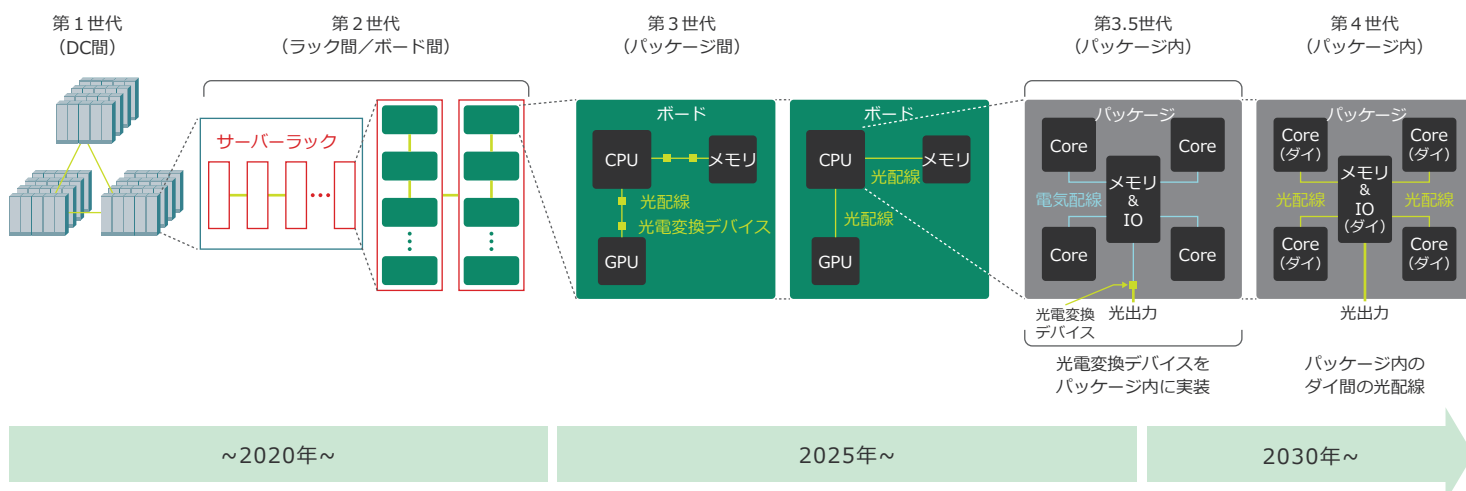


図3 光コパッケージのロードマップ。小型化した光トランシーバをチップの近くに置く第3世代、チップに隣接させてマルチチップモジュール化する第3.5世代を経て、第4世代のチップレット型への進化を狙って研究開発が進められている。
(出典:第4回 半導体・デジタル産業戦略検討会議、経済産業省商務情報政策局、2021年11月、資料3の18ページから引用・作成
https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/joho/conference/semicon_digital/0004/04.pdf)

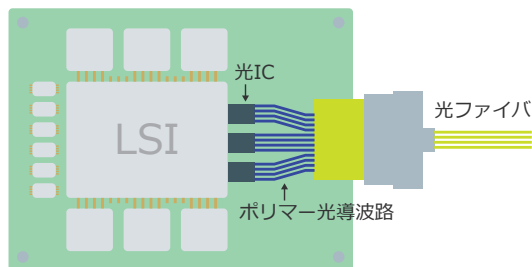
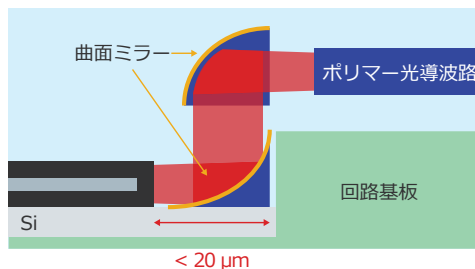


図4 微細な曲面ミラーを用いて基板上部のポリマー光導波路に結合する(出典:技術研究組合光電子融合基板技術研究所)

チップの端面から光を出射し、金メッキを施した微小な凹面鏡などを使ってビームのスポットサイズを調整し、ポリマー導波路に結合する方法です。これが実現すれば、1枚の基板上で電気信号と光信号の両方を伝送できます。

コストや歩留まりを管理しながら量産技術を開発することは、産総研だけでは困難ですので、GDC協議会の光電コパッケージ技術検討部会ではできるだけ多くの企業に参画

してもらって、光電融合の輪を広げたいと考えています。

なお、「次世代グリーンデータセンター技術開発」プロジェクトでは、上記の技術ではなく、基板上に実装した光トランシーバに小型コネクタを介して光ファイバケーブルを接続する「第3世代」技術を採用しています。回路基板のソケットにプロセッサなどを装着し、近くのソケットに光トランシーバを差し込むことで光電融合を実現します。

日本の光電融合技術が世界を主導することに期待

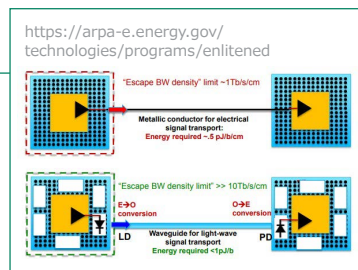
光電融合の実現にはまだ多くの技術的な壁が立ちはだかっています。しかしデータセンターの将来像を考えると、光ネットワークを使った通信の大容量化と省電力化は避けて通れない道だと考えられます。最後にデータセンターと光電融合の将来展望を並木氏に聞きました。

— GDC協議会が対象としている「次世代グリーンデータセンター技術開発」のゴールを教えてください。

並木 GI基金事業で事業戦略ビジョンを公開していますが、2029年頃の事業化を目指しています。そして、先ほど挙げた

「光エレクトロニクス技術の開発」「光に適合したチップ等の高性能化・省エネ化」「ディスクアグリゲーション技術の開発」という三つの要素技術の組み合わせによって、データセンターの消費電力がこのまま増大した場合に比べ、2030年までに40%以上の省エネ化を図ることを目標として掲げています。

機関・課題名	内容	総額	2014	2018	2022	2026	2030
米	DOE, ARPA-e ENLIGHTENED	\$ 25M					
	DOD, DARPA PIPES	\$ 45M					
	DOD, DARPA LUMOS	\$ 70M					
	HPE The Machine	—					
欧	Microsoft Optics for the Cloud	—					
日	NEDO 光エレクトロニクス事業	228億円					
	NTT IOWN	—					



日本がいち早く、プロジェクトを組成し、研究開発に着手、技術で先行(技術研究組合が実施)

図5 日本のゲームチェンジ技術として期待されている光電融合技術の各国のロードマップの状況。(出典:「次世代デジタルインフラの構築」プロジェクトに関する研究開発・社会実装計画(案)の概要、経産省商務情報政策局、2021年7月)

[https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/green_innovation/industrial_restructuring/pdf/003_04_00.pdf の32ページから引用・作成]

— 産総研が目指す光電融合技術の実現にはどのような課題がありますか。

並木 光電コパッケージについては、シリコンフォトニクスで作成した集積型トランシーバチップのパッケージ化や、プリント基板上への光導波路の形成など、これまでにない技術を量産レベルで確立する必要があります。現存していないプロセスも多いので、パッケージや基板を担当している企業からは不安の声も聞かれます。逆にこの分野で世界をリードできる可能性もあるわけです。GDC協議会の光電コパッケージ技術検討部会では、こうした新しいバリューチェーンに関する議論も進めています。

これまで、光学分野の専門家はコンピュータのことがよくわかっておらず、コンピュータの専門家は光学分野のことがよくわかっていませんでした。実際、技術者間で言葉が通じないことも少なくありませんし、そもそも光電融合素子を製品化したときに、どこを責任分界点とするべきか、品質保証をどうするのかを決めるのは容易ではありません。

その点で、電気を測定する技術と光を測定する技術の両方を持っている計測機器メーカーには、光電融合の技術的な水先案内人としての役割を期待しています。

— プロセッサやAIアクセラレータ、ネットワークスイッチLSI、それらを統合したサーバのハードウェア、大規模データセンターを構成するエコシステムの技術やノウハウは、大半を米国企業が有しています。

並木 光電融合の技術開発では日本が先行していますし(図5)、GDC協議会のアドバイザリ会員であるNTTは、光電融合を中心とした革新的な技術によって高速大容量通信インフ

ラを実現する「IOWN」(Innovative Optical and Wireless Network)構想を進めており、その技術確立や社会実装に期待が寄せられています。

とはいえ、データセンターのエコシステムは米国が主導していますし、新たな規格も米国発のものが多いのは事実です。北米では大規模クラウド事業者や大手SNS事業者などの要請もあり、データセンター向けの光電融合技術の開発がダイナミックな展開を見せています。わずか2年ほどで複数のベンチャー企業がプロトタイプ製作にこぎつけています。一部のデータセンターとの協業も始まっており、投資も驚くほどの規模ですので、ロードマップが早まるかもしれません。

— 最後に今後の展望をお話してください。

並木 ムアの法則が終焉に向かっている今、データセンターを発展させるには、性能の面でも消費電力の面でも光電融合が不可欠です。いずれはプロセッサに光インタフェースが直接搭載され、それらをソフトウェアによってブロック玩具のように組み合わせてシステムを構成する時代が来るかもしれません。

また、光電融合のエコシステムを日本が創出することは難しいかもしれませんが、優れた技術を武器に、新たなエコシステムに参画し、競争力のある技術を生み出していくことは十分に可能です。海外主要プレーヤーやコミュニティとの良好な関係を築いていき、半導体とシリコンフォトニクスの産業を融合させ、若い人材や新しいアイデアを生かしながら持続的に発展していくことを期待しています。私たちも、GDC協議会や産総研プラットフォームフォトニクス研究センターの活動を通して貢献したいと考えています。

— 本日はありがとうございました。

脚注

[*1] 経産省「次世代デジタルインフラの構築」プロジェクト <https://www.meti.go.jp/press/2021/10/20211019002/20211019002.html>

[*2] GDC協議会 <https://unit.aist.go.jp/pprc/gdc/index.html>

[*3] 産総研 プラットフォームフォトニクス研究センター <https://unit.aist.go.jp/pprc/>

[*4] SFP/SFP+/SFP28モジュールの場合で45.0 mm × 13.7 mm × 8.6 mm

[*5] chiplet: 特定の機能を最適なプロセスで製造した小型のベアチップ(ダイ)のこと。複数のチップレットをサブストレート上にブロックのように並べてシステムLSIを構成する。

本稿で紹介した内容は並木氏個人の見解であり、産総研プラットフォームフォトニクス研究センターやGDC協議会を代表するものではありません。