

## TODAY

次世代自動車向け高効率モーター用  
磁性材料技術開発プロジェクトの先へ

(国研) 産業技術総合研究所  
磁性粉末冶金研究センター長  
尾崎 公洋

2000年代初頭から材料資源の問題が経済活動に影響を及ぼし始め、中でも希土類元素、特にネオジム磁石の高温特性に効果を及ぼす重希土類元素は、価格の上昇や産出国が限定されている点から懸案事項であり、重希土類元素が低減されたネオジム磁石が開発されていました。しかし、2011年の重希土類元素の高騰は想定をはるかに超えたものであり、それらを使用しない永久磁石の開発が急務となりました。そこで2012年に、磁石の最大のアプリケーションであるモーターの高効率化を最終目標として、経済産業省・NEDOプロジェクト「次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発」が立ち上がりました。経済産業省と文部科学省が基礎と応用の両輪で連携する「未来開拓研究開発」の、一つの主要研究テーマとしてこの10年プロジェクトは開始され、高効率モーター用磁性材料技術研究組合(MagHEM)がこのプロジェクトを委託され実施しました。材料開発から応用先であるモーター開発までを含めたテーマ構成は当時でも珍しいプロジェクトであったと思います。研究成果はすでに報告会や展示会などで発表をしており、また、JRCM NEWS(2022.1 No.423)においても報告されています。

10年先というのは、社会情勢もさまざまな変化が起こり予測できません。磁石やモーターといったローカルな世界においても、プロジェクト開始前には想定しなかった事象が発生したため、目標の見直しや追加を行いました。2016年に行われた中間評価において、開発モーターの効率目標数値が2015年に市販されたハイブリッド自動車に搭載されたモーターにおいて達成されているのではないかと指摘を受け、モーターの目標をさらに一段高いところに設定し直しました。また、当初の計画では、前半の5年間で新たな材料候補が出てくる可能性を

想定して、6年目に新規材料の追加を検討していました。材料開発テーマ発掘のために、永久磁石材料ならびに軟磁性材料において、複数の実施者により複数のテーマでMagHEMとは別に研究開発が行われました。しかし、2016年度の中間評価が確定する前に、6年目の予算が凍結され、新規テーマを迎えるどころか、プロジェクトが立ち行かなくなる可能性が出てきました。そこでプロジェクトをスリム化し、すでにMagHEMにおいて成果が出始めていた磁石材料に開発の焦点を定め、また、モーターの研究開発テーマを何とか残すようにプロジェクトの構成の変更が余儀なくされました。

また、2015年に国連で採択されたSDGsのアクションプランが各国で策定される中、地球温暖化に対する対応が各国で急速に進み、CO<sub>2</sub>の排出について様々な取り組みがされ、モビリティの分野では各国で自動車の電動化が急激に進んでいることは周知のことと思います。小型・高効率モーターの必要性が急務になり、磁石の需要が加速度的に増加するため、重希土類元素はおろか、現在使用されているネオジム磁石のネオジム元素の需要が供給を超える可能性も予測されています。元素が枯渇するという事では無く、需給バランスが崩れるという事です。このような背景を受け、最終年度の2021年度にプロジェクト目標にネオジム元素の使用量を削減することを追加しました。

このプロジェクトを受託して実施していたMagHEMはプロジェクトを実施するという役割を終え、2022年5月末に解散しました。これからは、研究開発成果を実用化、社会実装のステージに移ります。旧MagHEMメンバーが連携して、成果を実装できるように引き続き開発を続けます。

資源リスクは経済を左右する重要課題であり、磁石材料に限ってもプロジェクト開始時から10年経過した現在においてもこの根本的課題は解決されていません。材料開発によって、少しでもリスクの分散ができるようになればと考えております。加えて、リサイクルやリユースに適した材料開発、また、それに対応できるモーター設計など、サーキュラーエコノミーを考える必要があると思います。

# 異種材料集積光エレクトロニクスを用いた 高効率・高速処理分散コンピューティングシステム技術開発 — NEDO 委託事業 —

技術研究組合光電子融合基盤技術研究所

異種材料集積デバイス・分散コンピューティング研究推進部

部長 森 高章

## 1. はじめに

2030年代の人々の生活は、よりコンピューティング及びネットワークに依存する社会となるため、データセンター内のサーバ間、データセンターとエッジサーバ間、エッジサーバ間の連携では更なる高速大容量伝送が実現され、その伝送容量は現在の50倍以上となります。この時代には、地理的に離れたコンピューティング拠点同士が相互に接続され、状況に応じて計算資源の分かち合いを行う高速分散コンピューティングが実現され、人々の生活に不可欠な技術になると考えられます。この高速分散コンピューティングの実現においては、通信速度がDRAMの帯域と同等の10 Tbps級の伝送容量が必要になると予測されており、超高速動作と超低消費電力を両立する光トランシーバの開発が不可欠になります。

しかしながら、この開発においては多くの課題が存在しており、その課題解決と社会実装に向けた取り組みとして、2021年7月から「異種材料集積光エレクトロニクスを用いた高効率・高速処理分散コンピューティングシステム技術開発」プロジェクトがスタートしました。本稿では、本事業の概要について紹介します。

## 2. 現状の課題

### 2.1. 現状の分散コンピューティングの課題

現状の分散コンピューティングでは、一般にデータ転送ボトルネックによる並列処理の効率低下を回避するために、可能な限りデータ転送が不要となるよう設計されており、大容量のデータが発生する場所と、それを処理する計算資源が地理的に散在した場合、計算処理の効率低下が発生します。これは、前述したようにメモリ帯域と、コンピュータ同士をつなぐネットワーク帯域間にギャップがあることに起因します。また、それぞれに存在するサーバの処理性能の違いによる非効率化が発生します。

### 2.2. 現状の光トランシーバの技術課題

10 Tbps級の高速動作を実現する光トランシーバの課題として、光トランシーバを構成する既存の光デバイスでの高速化への対応に限界が見えています。既存の光デバイスを使用する場合、多数レーン化（複数素子による多チャンネル化）が必須となりますが、素子の大型化、並列処理により消費電力が増加します。仮に現在商用化されている200 Gbps光トランシーバを並列化して

10 Tbps級を実現した場合の消費電力を見積もると1600 Wになり、これはトランシーバを設置するサーバNIC（Network Interface Card）ボードにおける給電・冷却能力が100 W以下（単位エネルギー消費量10 pJ/bit以下）である事を考えると非現実的な数値となります。しかしながら、将来的な低消費電力化の見通しとしては、すでに光デバイスの改善はある程度のレベルまで行われているうえ、信号処理のためのデジタル信号プロセッサにおいてもCMOSの微細化が困難を極めるため、大幅な低消費電力化は困難であると予想され、なんらかのブレークスルー技術の導入が必須です。

## 3. 異種材料集積光エレクトロニクスを用いた高効率・高速処理分散コンピューティングシステム技術開発

### 3.1. 事業の目的

本事業では、上述の課題を解決するため、次世代コンピューティング技術として、「地理的に離れ相互に接続されたコンピューティング拠点同士で、その状況に応じて計算資源を分かち合い、かつ低い伝送エネルギーで計算処理が可能な高速分散コンピューティング」を実現させ、その事業化への道を切り拓いていくことを目的とします。

### 3.2. 事業の内容

図1に、本事業で技術開発を行う「異種材料集積光エレクトロニクスを用いた高効率・高速処理分散コンピューティングシステム」（以下、光エレクトロニクス分散コンピューティングと称す）の全体像を示します。

図1に示す様に、光エレクトロニクス分散コンピューティングを実現するためのコアとなる技術開発が、3テーマあります。光トランシーバの技術課題の解決手段となる「複数の半導体材料（III-V族半導体とシリコン）の利点を活かせる異種材料接合を利用した光集積

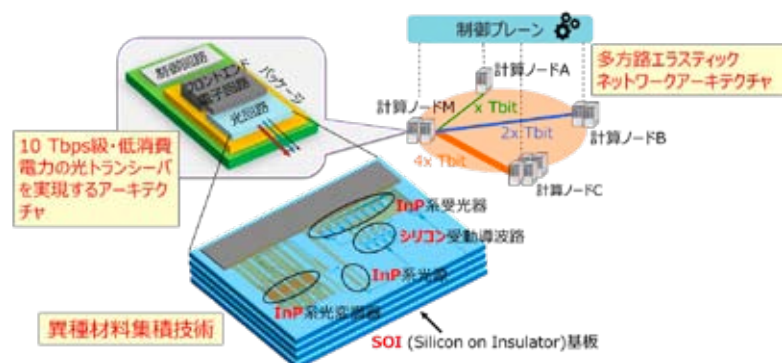


図1. 異種材料集積光エレクトロニクスを用いた高効率・高速処理分散コンピューティングシステムの全体像

回路技術（以下、異種材料集積技術と称す）」、および「10 Tbps 級・低消費電力 (<10 pJ/bit) の光トランシーバを実現するためのアーキテクチャ」の技術開発、分散コンピューティングの課題の解決手段となる「接続サーバの能力を最大限活かすための多方路エラスティックネットワークアーキテクチャ」の技術開発となります。

また、コア技術以外にも、「国際標準化の研究」および「10 Tbps 超光トランシーバ実現のための革新的研究開発」も行います。

これらの技術開発は、企業メンバーを中心とする「技術研究組合光電子融合基盤技術研究所 (PETRA)」が、NEDO から受託し、産官学連携体制のもと実施しています。図 2 に、本事業の研究開発体制を示します。



図 2. 研究開発体制図

### 3.3. 研究開発のコア技術

#### 3.3.1. 異種材料集積技術

光エレクトロニクス分散コンピューティングでは、10 Tbps 級の超高速伝送と、10 pJ/bit 程度の低消費電力を両立する光トランシーバが求められており、その実現に向けたトランシーバアーキテクチャの効果を引き出すためには、10 Tbps 級の超高速動作と、低消費電力を両立する光集積回路の実現が不可欠となります。しかしながら、光通信システムに広く用いられてきた単一材料光デバイス (III-V 族半導体光デバイス、シリコンフォトニクス) においては、超高速動作と低消費電力の両立に限界が見えています。III-V 族半導体光デバイスとシリコンフォトニクスには各々に得失があるため、新たに導入する異種材料集積技術では、これらの材料の利点を活かし、適材適所に配置することで、単一材料光デバイスの特性限界を克服し、単なる「いいとこどり」を超える超高速動作と低消費電力を両立する大規模光集積回路を実現します。(図 3)

図 4 に、技術開発の一例として、本テーマで開発する大規模光集積回路を構成する一素子である、III-V/シリコン異種材料集積波長可変レーザを示します。図の左側に素子の模式図を示し、右側に実際に試作した素子の異種材料接合部の SEM 写真を掲載しています。異種材料接合部は、III-V 族半導体の InP からシリコンへ光を導く光結合部となり、結合効率を高めるために InP 側がテーパ構造になっています。この試作品では、波長可変範囲が 56 nm と、広範囲での単一モード動作を達成しています。

項目	III-V 族半導体	シリコン	異種材料集積
動作速度	○	×	○
駆動電圧	○	△	○
受信感度	○	△	○
光損失	△	○	○
小型化	△	○	○
集積化	△	○	○
大面積化(コスト)	×	○	○

注: 高速・低電圧化は III-V 半導体が得意。小型・大規模集積はシリコンが得意。III-V の高速度性を維持し、シリコンによる小型化・温調面積積小により低消費電力化。レーザ光源、増幅器の集積が可能。

図 3. III-V 族半導体、シリコンフォトニクスおよび異種材料集積による光デバイスの比較

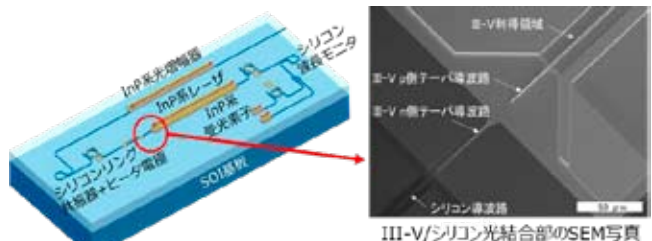


図 4. 光集積回路を構成する素子の一例：III-V/シリコン異種材料集積波長可変レーザ

#### 3.3.2. 10 Tbps 級・低消費電力光トランシーバを実現するアーキテクチャ

また、光エレクトロニクス分散コンピューティングの実現に必要な 10 Tbps 級低消費電力光トランシーバに適用する、高効率な光インターフェース技術を開発します。具体的には、光周波数軸と変調振幅軸で多重化を行う新しい光トランシーバアーキテクチャに基づき、送受信光フロントエンド技術、および光周波数並列化技術の研究開発を行います。

図 5 に、技術開発の一例として、送信光フロントエンド技術 (光 DAC (Digital Analog Converter) 送信器) の概要を示します。この技術では、従来消費電力を大きく占めている電子回路の機能の一部 (電気 DAC、線形増幅器) を光回路にオフロード (光 DAC 化) する事で、電子回路の負担を低減し、低消費電力化 (60% 削減) を実現させます。

#### 3.3.3. 多方路エラスティックネットワークアーキテクチャ

そして、前述した異種材料集積技術による高速低消費電力光トランシーバを光エレクトロニクス分散コンピューティングにおいて効率的に活用するために、接続したサーバの処理速度に合わせて、データ転送する帯域を可変で割り当てるネットワークアーキテクチャの研究開発を行います。

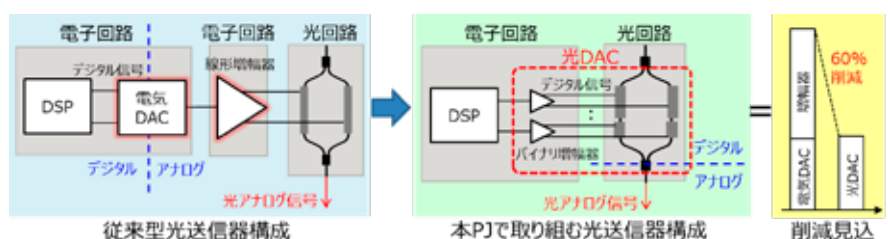


図 5. 送信光フロントエンド技術

本ネットワークアーキテクチャの研究開発においては、様々なコンピューティング/ネットワークシナリオをサポートする必要があり、さらには、計算資源間を接続する論理的な光パストポロジと伝送遅延を決定する物理的な光ファイバトポロジとのマッピング、10 Tbps 級光トランシーバに特有の制御パラメータや物理特性など、多種のパラメータを考慮したシステム設計・最適化も必要となります。そこで、図6に示す様に、これら様々なパラメータを組み入れた、伝送資源と計算資源とを統合的に扱う最適資源割当手法、割り当て結果を反映して実際の機器を設定するためのネットワーク管理制御メカニズム、実際の機器で適応的に設定した光パスにおいて適切に信号を疎通させるための伝送品質管理手法の研究開発を行います。また、資源割当手法、管理制御メカニズム、伝送品質管理手法の連携動作を実現します。

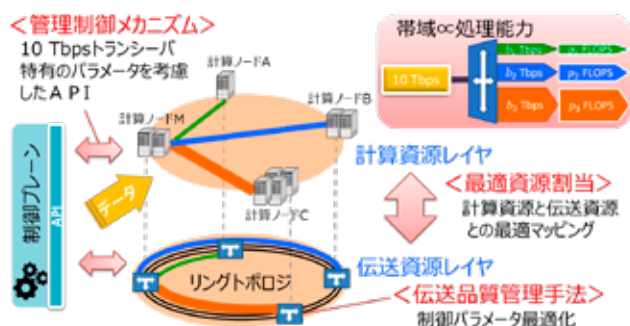


図6. 多方路エラスティック光ネットワークアーキテクチャの概念図

### 3.4. その他の研究開発項目

#### 3.4.1. 国際標準化の研究

増大するデータ量に対応するため高速トランシーバ

の開発が熾烈になっていますが、これに付随して市場拡大、マルチソース化による製品の安定供給・価格低減ならびに製品間の相互運用性確保等を目的とした業界標準・国際標準策定の動きも活発になっています。このような状況を踏まえ、技術的優位を保持しつつ研究開発の成果を広く普及させるため、国際標準化に関する活動を実施します。

#### 3.4.2. 10 Tbps 超光トランシーバ実現のための革新的研究開発

本事業では、10 Tbps の光トランシーバの開発に留まらず、10 Tbps を超える光トランシーバを実現するための革新的な技術の研究開発も行います。この研究開発では、図7に示す様に、レーン当たり100 Gbaud 以上の高シンボルレート化技術、24 波長以上の多波長化技術、低消費電力な送受信方式技術の研究開発し、消費電力やデバイスサイズを増やさずに更なる高速伝送を目指します。

### 4. おわりに

本事業で開発する光エレクトロニクス分散コンピューティングは、高度化する情報社会における基盤を築き、「プラント・インフラ安」、「ものづくり・ロボティクス」等の Connected Industries から AR や VR を用いたエンターテインメントアプリ等のスマートライフまで幅広い利用分野の要となる技術であり、政府が目指す未来社会 Society 5.0 の実現に貢献すると考えます。Society 5.0 の実現に向け、本技術の開発に取り組んでまいります。

### 謝辞

この研究開発は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託業務 (JPNP16007) として実施しています。

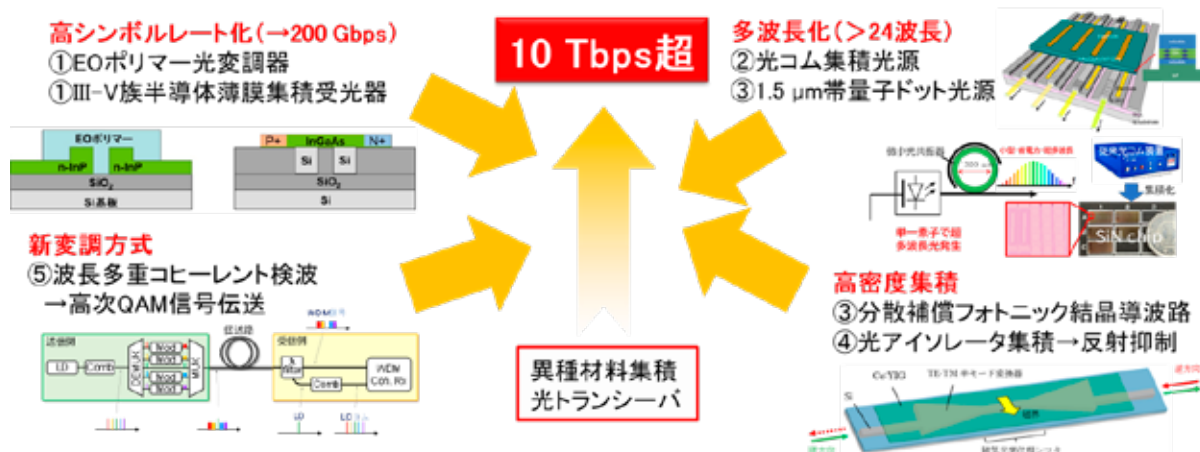


図7. 10 Tbps 超光トランシーバ実現のための革新的技術の概要

<p>The Japan Research and Development Center for Metals JRCM NEWS / 第 427 号</p> <p>内容に関するご意見、ご質問は JRCM 総務企画部までお寄せください。 本書の内容を無断で複写・複製・転載することを禁じます。</p>	<p>発行 2022年7月1日          発行人 小紫 正樹          発行所 一般財団法人 金属系材料研究開発センター          〒105-0003 東京都港区西新橋一丁目5番11号 第11 東洋海事ビル6階          TEL (03)3592-1282 (代) / FAX (03)3592-1285          ホームページ URL <a href="http://www.jrcm.or.jp/">http://www.jrcm.or.jp/</a>          E-mail <a href="mailto:jrcm@oak.ocn.ne.jp">jrcm@oak.ocn.ne.jp</a></p>
--	---