

# Mizuho Industry Focus Vol.247

## 革新的技術シリーズ<sup>1</sup>

### 光電融合デバイスの動向

～日本の半導体・電子部品企業には光領域への進出が求められる～

#### 〈要旨〉

- 日本とグローバルの双方において労働力人口割合が減少し、企業のバリューチェーン全体の高速化やSDGsへの取り組みが求められる中で、デジタル化が一つの有効な施策として提起されている。デジタル化には消費電力の増加が不可避で、現在有効な打ち手として想定されている半導体の微細化や先端パッケージングにも様々な課題がある。
- このような中で、省エネ効果や伝送速度の向上等が期待できるデバイスとして、「内部で電気が光に置換されたデバイス」である光電融合デバイスに注目が集まりつつある。光が電気を置き換えることにより、既存のデバイスと比べて、エネルギー消費を抑制したり、伝送速度を極限まで速めたり、ノイズを抑制して安定的にデータを伝送したりするといった効果が期待できる。
- 光電融合デバイスは様々な段階を経て、完成品の深奥部まで実装されていくと考えられるが、熱対応、電気回路と光回路の成形、光による処理演算や記憶の可否といったデバイス自体の課題に加えて、完成品との親和性や用途開発など、様々な課題が存在しており、テクノロジーと用途開発の双方の視点での対応が求められる。
- この光電融合デバイスの概念は、NTTグループが掲げるIOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想にも包含されている。このIOWN構想は、通信・半導体・電子部品にユーザーも含めた多様なレイヤーの企業が参画しており、現状では世界的に有力な対抗馬が不在であることを踏まえると、日本の半導体・電子部品企業にとっても生存と勝ち抜きのために有用な枠組みだと考えられる。
- 光電融合デバイスの導入が進むと、受動部品や接続部品を提供する企業を始めとして、多くの半導体・電子部品企業の既存事業が侵食されるリスクがある。日本の半導体・電子部品企業には、ヒト・モノ・カネ・組織の4つの視点で能動的に適切な打ち手を採り、光領域も取り込みながら光電融合デバイスの普及を先導していくことが求められる。

<sup>1</sup> 日本産業の競争力強化や社会課題の解決に寄与しうる技術・イノベーション領域をとり上げるレポート

目次光電融合デバイスの動向  
～日本の半導体・電子部品企業には光領域への進出が求められる～

I. はじめに～デジタル化がもたらす課題～	2
II. 光電融合デバイスとは	4
1. 光電融合デバイスの定義	5
2. 光が電気を置換する段階	7
III. 光電融合デバイス導入に向けての課題	8
1. テクノロジー面における課題	8
2. 完成品との親和性と用途に関する課題	11
IV. 光電融合デバイス導入に向けた取り組み	12
1. テクノロジー面での対応	12
2. 用途面での対応	14
V. 光電融合デバイス導入を包含する IOWN 構想	15
1. IOWN 構想の概要	15
2. IOWN 構想の対抗馬	18
VI. 光電融合デバイスの実現と普及が日本の半導体・電子部品企業にもたらす影響	20
1. 日本の半導体・電子部品企業による光電融合デバイスへの取り組みの現状	20
2. 半導体・電子部品への影響(リスク)	20
VII. 日本の半導体・電子部品企業に求められる打ち手	21
VIII. 終わりに	25
補論.日本の半導体・電子部品企業にとっての、光領域の協業候補の考え方	27

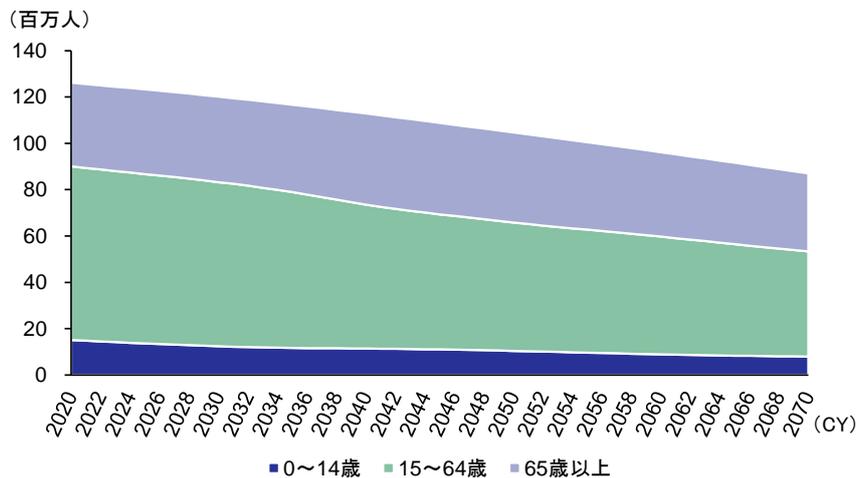
## I. はじめに～デジタル化がもたらす課題～

本章においては、デジタル化が様々な社会課題に対する有効な施策として提起されている一方、デジタル化には大量の電力消費も伴うため、デバイスに対して非連続的な省エネ技術の進化が求められていることを示す。

日本においては、人口減少と高齢化で労働力人口が減少

日本においては、人口減少と高齢化、そしてそれらに伴い様々な問題が生じる可能性が認識されて久しい。国立社会保障・人口問題研究所が公表した日本の将来推計人口(2023年推計)によると、日本の総人口は、2020年の1億2,614万人から、2050年には1億4,680万人、2070年には8,699万人までの減少が見込まれている(【図表1】)。また、今後様々な技術進歩や健康増進に伴い労働可能年齢が延伸されることは期待できるものの、特に中核的な労働力とされる15～64歳が人口に占める割合も、2020年の59.5%から、2050年には52.9%、2070年には52.1%と継続的な減少が見込まれている。

【図表1】日本の総人口推移



(出所) 国立社会保障・人口問題研究所より、みずほ銀行産業調査部作成

グローバルでも労働力人口割合は低下見込み

一方、グローバルでは長期的に総人口の増加が見込まれている。国連の人口推計(2022年)によると2020年の78億人から、2050年には96億人、2070年には102億人までの増加が予測されている。ただし、高齢化の進展によりグローバルにおいても労働力人口割合は低下すると予測されており、国立社会保障・人口問題研究所が公表した人口統計資料集(2023)改訂版によると、15～64歳が人口に占める割合は、2020年の64.9%から、2050年には62.8%、2100年には60%以下の水準にまで落ち込むと見られている。

バリューチェーン高速化による差別化が必要に

また、幅広い業界の企業にとって、競合に対する競争優位性を維持・確立するために、バリューチェーン全体を高速化する必要性が高まっている。つまり、顧客行動をリアルタイムで捕捉・可視化し、分析し、速やかな経営判断を行うことが差別化要素となっているのである。これを実現するためには、データの取得・可視化を速やかに行ったり、分析・意思決定・具体的な施策を行ったりするための、社内プロセス双方を包含したシステムが必要となる。

SDGs への取り組みの一環として環境対応も必要に

さらに、各企業には SDGs(持続可能な開発目標)への取り組みの一環として、環境への取り組みも求められている。例えば、オフィスでの紙の消費は森林破壊に繋がり、気候変動や野生動物の絶滅といった悪影響をもたらす。ペーパーレス化を進めることで紙の消費を減らしたり、そのような取り組みを対外的に訴求したりすることで企業イメージを維持・向上させることが重要になってきている。

様々な問題に対応するためにデジタル化が重要に

このような課題に対しては、労働生産性を改善させたり、データの取得・可視化を速やかに行ったり、また紙の使用量を抑制したりすることを可能とするデジタル化が、一つの有効な施策として提起されている。例えば、総務省は、2021年の情報通信白書において、企業の生産性や労働力投入量といった供給面を強化する施策として ICT(情報通信技術)活用の重要性を指摘している。具体的には、業務処理の迅速性・正確性を上げることにより企業の提供する財・サービスの品質向上に繋げたり、場所にとらわれない就業を可能とし、多様で柔軟な働き方を選択できるようにしたりすることの重要性を挙げている。

作業効率化を促す生成 AI は、大量の電力を消費

作業効率化を促すデジタルツールとして、足下では生成 AI に対する注目度が大きく高まっている。生成 AI では、事前に大量のデータを学習させた AI モデルを用いて、テキスト等で指示を与えることで、画像、動画、音楽、テキスト、ソフトウェアコード、製品デザイン等様々なオリジナルコンテンツを、学習データに基づいて新たに生成することができる。このような機能により、情報収集や情報の要約・管理、またアウトプットのドラフト作成等、従前人間が担ってきた作業領域の効率化が期待されている。ただし、生成 AI の利用に際しては、基盤モデルの開発や利用に膨大な計算量が必要となり、大量の電力消費が伴うという問題点がある。電力消費量の増大に関しては様々な試算がなされており、国立研究開発法人科学技術振興機構(以下、JST)によると、AI 業務に関連するサーバーの消費電力は、グローバルで 2018 年の 23TWh から 2030 年には約 75 倍の 1,740TWh、2050 年には 14,000 倍以上の 331,000TWh と著増することが見込まれており、この 2050 年の規模は、2022 年の世界の電力消費量である約 25,000TWh の 13 倍以上となる。

デジタル化はグローバルでトラフィックと消費電力量の著増をもたらす

このように、生成 AI に代表される AI 関連業務は消費電力の大きな増加をもたらすが、その他の IoT(Internet of Things)や CPS<sup>2</sup>といったデジタル化要素も含めると、グローバルでのデータ量や消費電力の増加はさらに度合いが大きいものとなる。JST によると、情報化社会の進展に伴い、IP トラフィックは、グローバルで 2016 年の 4.7ZB(1ZB は 10 億 TB)から 2030 年には約 36 倍の 170ZB、2050 年には約 4,300 倍の 20,200ZB に増加すると予測されている。また、これに紐づく消費電力量は、グローバルで 2016 年の 1,170TWh から 2030 年には 42,300TWh、2050 年には 5,030,000TWh まで増加すると予測されている。もちろん、現在の省エネ技術を前提とした試算でもあり、このような消費電力量の増加予想にはやや非現実的な側面もあろう。しかし、裏を返せば、省エネを大きく進化させる技術が現れない限り、このような IP トラフィックの著増に対応することが不可能とも言える。予測が示された 2019 年以降、上述の生成 AI を含めたテクノロジーの進化は目覚ましく、IP トラフィック量の予測以上の増大も想定されることも踏まえると、デバイスに対して非連続的な省エネ技

2 CPS とは、Cyber Physical System の略称であり、フィジカル空間にある多様なデータをセンサ等で収集し、サイバー空間で大規模データ処理技術等を駆使して分析/知識化を行い、そこで創出した情報/価値によって、産業の活性化や社会問題の解決を図るシステムを指す。

術の進化が求められていると言えよう。

#### 半導体の微細化による省エネには限界も

デバイスの省エネ化は、従前、半導体の微細化により漸進的に進化してきたという側面がある。微細化の効果については、デナードのスケールリング則が知られている。これは、微細化によりシリコンダイあたりのトランジスタ数が増加しても、電圧の低下が可能のために、消費電力をほぼ維持した状態で計算速度を向上させることができるという法則である。この法則に従う形で、1970年代から2015～16年頃までは、消費電力性能(単位消費電力あたりの計算速度)は半導体の微細化と相関して改善してきた。ただし、この法則の前提となる電圧低下の余地が小さくなったり、微細化が進むことによるリーク電流<sup>3</sup>の増大を無視することができなくなったりすることで、微細化による消費電力性能の向上には限界が見られ始めている。さらに、半導体が発する熱の冷却に電力を要すること、微細化が進むほど、EUV露光装置<sup>4</sup>を始めとする大量に電力を消費する様々な半導体製造装置が必要となることから、製造工程等も含めて考えてみても、微細化による省エネ効果に期待するのは難しくなってきていると言えよう。

#### 先端パッケージングにも様々な課題がある

このように、半導体の微細化による省エネ効果に期待することが難しくなっている中で、先端パッケージング<sup>5</sup>への注目が高まっている。これは、半導体の組み立て工程における創意工夫によって、求められる性能や機能を実現する技術であり、台湾 TSMC 社や米 Intel 社、韓 SK hynix 社といった大手半導体企業が独自の技術を発表している。先端パッケージングには様々な種類があるが、例えば韓 SK hynix 社が手掛ける HBM<sup>6</sup>では、高速伝送・低遅延・省スペースに加えて、省エネ性能があるといった利点が掲げられている。ただし、先端パッケージングにおいては、同一種類のチップを複数積み上げたり、異なる種類のチップ(例えば CPU/GPU、メモリ等)を高密度に実装、封止したりするために熱がこもりやすく、その冷却に電力を要する。さらに、部材・材料の使用量も多く工程も長い<sup>7</sup>ことから製造時にも多くの電力が必要となる。このように、製造工程全体まで含めて考えると、先端パッケージングによる省エネ効果に大きな期待を寄せることも現実的ではないであろう。

## II. 光電融合デバイスとは

本章においては、まず光電融合デバイスを「内部で電気が光に置換されたデバイス」と定義し、その便益を示す。その上で、光電融合デバイスが進化していく段階を具体的に記載する。

3 電子回路上において、意図しない経路で漏れ出す電流を指す。

4 EUV とは、Extreme Ultraviolet の略称であり、この極端紫外線と呼ばれる極めて短い波長の光を用いた半導体露光装置を指す。

5 みずほ銀行産業調査部レポート([https://www.mizuho.co.jp/corporate/bizinfo/industry/pdf/msif\\_192.pdf](https://www.mizuho.co.jp/corporate/bizinfo/industry/pdf/msif_192.pdf))をご参照。

6 HBM とは、High Bandwidth Memory の略称であり、メモリなどを積層し、それらを CPU/GPU の周囲に配置したうえでインターポーザーを介して水平に結合する形式の先端パッケージングである。

7 例えば、HBM においては、貫通電極(TSV)を形成する必要がある。これは、従来の半導体に必要となるワイヤーボンディングに比べて装置や加工のコストが高く、エッチングやメッキでの歩留まり向上が必要とされている。

## 1. 光電融合デバイスの定義

光電融合デバイスは、「内部で電気が光に置換されたデバイス」

前章で述べた通り、グローバルで消費電力の著増が見込まれる一方、半導体の微細化や先端パッケージングに依拠した省エネ効果でその増分を相殺することは容易ではないと思われる。そのような中で、省エネ効果・伝送速度の向上・ノイズの抑制が期待できるデバイスとして、光電融合デバイスへの期待が高まっている。本稿においては、光電融合デバイスを「内部で電気が光に置換されたデバイス」と定義する。ここで言うデバイスとは、「光回路と電気回路が成形されているモジュール基板」を指しており、例えばサーバーや PC、自動車といった完成品（以下、「完成品」）の内部への実装を想定している。

通信の光化を完成品の内部で実現させる構想

通信領域においては、電気通信が光通信に置き換えられてきた歴史がある。電気は電線を通して瞬時に遠距離まで伝送され、大気の影響をほとんど受けることなく光より遠方まで伝搬することが可能であるため、従来は電気通信が主要な通信手段であった。現在では、低伝送損失の光ファイバの開発を経て光ファイバ通信の開発が加速し、光通信が基幹的なネットワークになっている。光電融合デバイスの実現に向けた取り組みは、このような通信の光化を、完成品の内部で行う構想である。

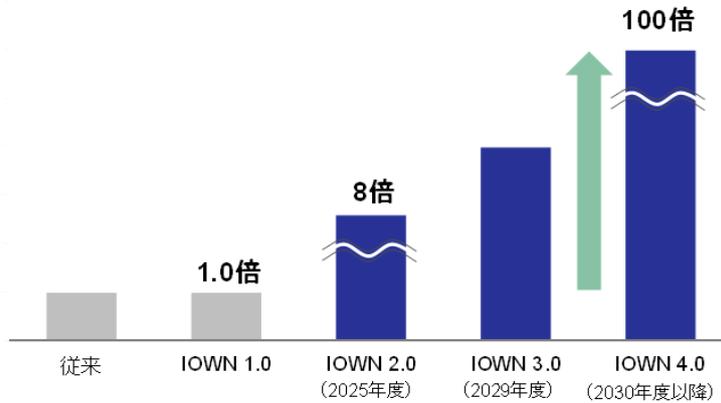
電気を光で置き換えることにより、省エネや伝送速度の向上、ノイズの抑制等、様々な効果享受可能に

電気を光で置き換えることのメリットの一つに、省エネ効果が挙げられる。電気による伝送、処理演算、記憶ではデバイスの回路上で抵抗に伴う発熱が生じ、これに付随してエネルギーの減耗が生じるが、電気を光で置き換えることにより、このような抵抗に伴うエネルギー消費を抑制できる<sup>8</sup>。例えば、NTT グループは IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想を掲げており、同構想の中では、サーバー部分における現状対比 100 倍もの電力効率達成が掲げられている<sup>9</sup>（【図表 2】）。また、電気を光で置き換えることにより、デバイス上での伝送速度を速めることができる。IOWN 構想においては、既に低遅延性は達成済みと整理されているが（【図表 3】）、電気を光で置き換えることでデバイス上での伝送を極限まで速める余地があると考えられる。この性質は、例えば自動車で事故を未然に防止するための認知・判断・制御を可及的速やかに行うといった用途の開発に欠かせない重要な要素になる。加えて、光は電気と比較して電磁波のノイズの影響を受けにくいという性質もあり、安定して伝送を行うことが可能といった優位性も有する。

<sup>8</sup> もっとも、電気が担っている全ての領域を光で置き換えることには技術的な困難もあり、特に光の物理的な性質のため記憶領域の置き換えにはかなりハードルが高いことを前提とすると、デバイス上での光電変換が必要となり、その際にエネルギーが消費されるという側面もある。

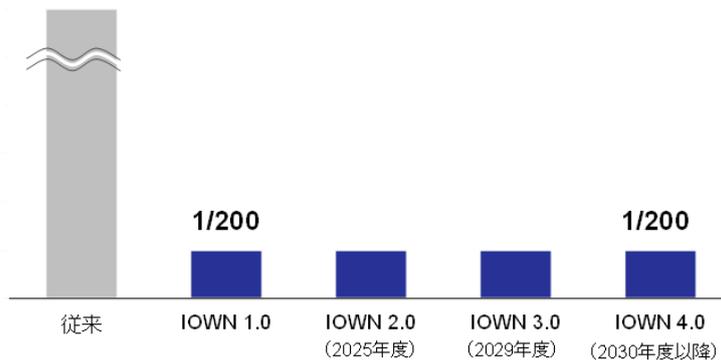
<sup>9</sup> なお、NTT によると、光電融合技術の普及によるデータセンターの省エネ効果は 40%とされている。

【図表 2】 IOWN 構想における電力効率の進化 (サーバー部分)



(出所)NTT グループより、みずほ銀行産業調査部作成

【図表 3】 IOWN 構想における低遅延性の進化



(出所)NTT グループより、みずほ銀行産業調査部作成

米 Intel 社は 2004 年に光電融合デバイスの原型を発表

このようなメリットをもたらす光電融合デバイスの研究は、既に様々な企業において行われており、例えば米 Intel 社は 1990 年代半ばよりシリコンフォトニクス<sup>10</sup>の研究を行っている。2004 年には、シリコンフォトニクスを活用して、光でデータを伝送可能なデバイスの開発に成功しており、同社によると将来的にコンピュータ内でも光の速度での伝送が可能になると見込まれている。ただし、シリコンフォトニクスを活用したデバイスも、現時点ではマザーボードの接続部に実装される光トランシーバーモジュール<sup>11</sup>への採用にとどまっており、普及に向けては様々なボトルネックが存在しているため、完成品内部への本格的な採用には至っていない。

10 シリコン基板上に、光回路、光スイッチ、光変調器、受光器などの素子を集積する技術。

11 電気信号と光を相互変換する光送受信機。

## 2. 光が電気を置換する段階

光電融合デバイスには段階がある

光電融合デバイスにおける光による電気の置換は段階的に進むと考えられる。これは、どこで光電変換<sup>12</sup>がなされるかに応じて乗り越えるべき課題が異なるためである。以下、建築物(データセンターや家等)の中に完成品(サーバーやPC等)があり、完成品の内部にて現在電気が担っている領域が光に置き換えられていく段階を、段階1~3として、一般的なケースとして示す<sup>13</sup>。

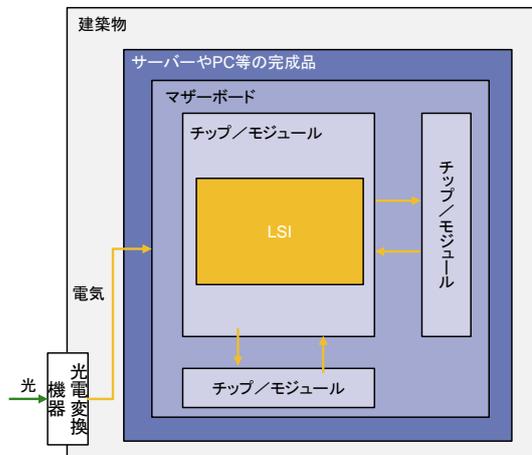
現在は完成品の外部で光電変換が行われている

光電融合デバイス導入以前の現在の構造は【図表4】のようになっている。現在は、光通信で伝送されてきた情報が、建築物内かつ完成品外に存在する光電変換機器(例えば個人宅のONU(Optical Network Unit、光回線終端装置))で電気信号に変換される。電気信号に変換された後は、建築物内及び完成品内の伝送、完成品内の処理と記憶等、概ね全てのプロセスが電気によって処理される。

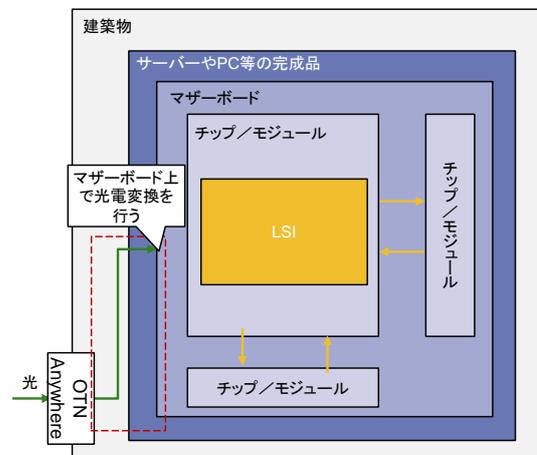
段階1では、マザーボードで光電変換がなされる

光電融合デバイスの段階1の状況を【図表5】の通り示す。この段階1の形態は、2025年度から実現されると想定されている<sup>14</sup>。段階1ではマザーボードにおいて光電変換が行われ、光通信で伝送されてきた情報が電気信号に変換された後は、完成品内の伝送、処理、記憶等、概ね全てのプロセスが電気によって処理される。

【図表4】光電融合デバイス導入以前の構造<sup>15</sup>



【図表5】段階1: マザーボードでの光電変換



(出所)みずほ銀行産業調査部作成

段階2では、チップ/モジュール間の伝送が光で行われる

段階2の状況は【図表6】の通りである。この段階2の形態は、2029年度から実現されると想定されている。光による伝送は段階1のマザーボードを通過、チップ/モジュール内部まで及び、チップ/モジュール内において光電変換が行われる。チップ/モジュール内における光電変換は、チップ/モジュール

12 光を電気に変換したり、電気を用いて発光させたりすること。

13 なお、記載の段階は、後述するIOWN構想の段階に対応する形で示している。段階1はIOWN2.0、段階2はIOWN3.0、段階3はIOWN4.0に対応している。

14 以降、各段階の時間軸は、IOWN構想で想定されている内容を記載している。

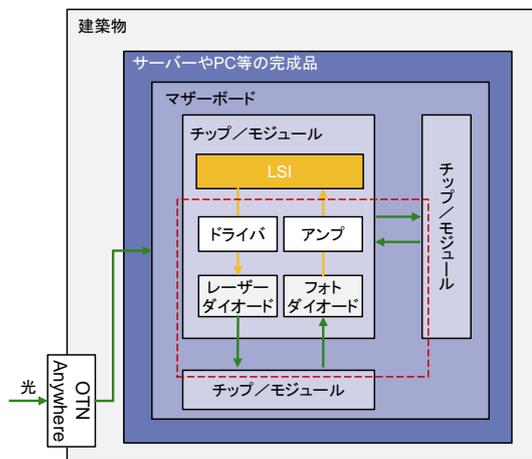
15 以降の図では、電気が担っている領域を黄色、光が担っている領域を緑色で示している。また、各段階において形態が変化する箇所を、赤色の点線で示している。

ル上にあるフォトダイオード<sup>16</sup>とレーザーダイオード<sup>17</sup>で実施される。なお、チップ/モジュール内における電気回路には、電圧信号に応じて電流を調整するためのドライバと微小電流を増幅させるためのアンプが配置され、LSI<sup>18</sup>内の処理、記憶等といったプロセスは電気で行われる。

段階 3 では、LSI 内の処理が光で行われる

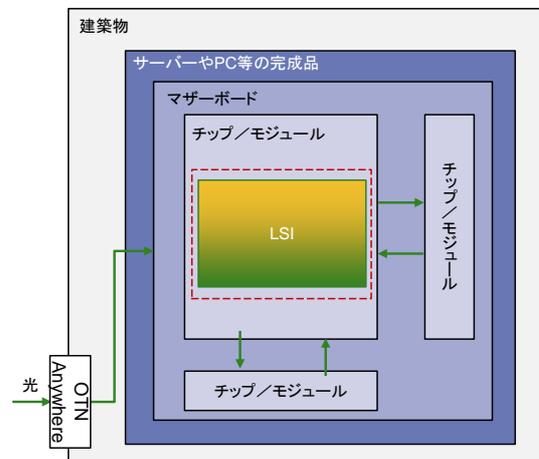
最終的な到達地点である段階 3 の状況は【図表 7】の通りとなる。この段階 3 の形態は、2030 年度以降に実現されると想定されている。光による伝送がチップ/モジュール内にまで及び、LSI 内の処理の一部までが光で行われる。なお、後述の通り、LSI 内のどこまでが光で置き換えられるかについては論点が残っており、特に記憶を光で行うことには技術的に相当程度の難しさが伴うであろう。【図表 7】では LSI を電気と光(黄色と緑色)のグラデーションで示しているが、演算は光、記憶は電気で行われることを想定している。

【図表 6】 段階 2:チップ/モジュール間の光伝送



(出所)みずほ銀行産業調査部作成

【図表 7】 段階 3:LSI 内の光化



### Ⅲ. 光電融合デバイス導入に向けての課題

このように、光電融合デバイスの実現に向けて、完成品の内部のデバイスの深奥部に至るまで、電気が光に置き換えられていく。本章においては、テクノロジー面における課題及び完成品との親和性と用途に関する課題を記載する。

#### 1. テクノロジー面における課題

段階 1 以降の課題は、熱対応

まず、光電変換を行う際に発生する熱が課題となる。すなわち、光電融合デバイス導入以前においては完成品の外で光電変換に伴う熱が生じていたが、光電融合デバイスでは完成品内で光電変換に付随する熱が生じる点に課題がある。例えば、物質が受光すると電子が光からエネルギーを受け取り、電子

16 フォトダイオードとは、光を電気に変換する素子であり、完成品の外部や他のチップ/モジュールから伝送されてきた光を電気に変換する役割を果たす。

17 レーザーダイオードとは、電気を用いて発光する素子であり、チップ/モジュール内で電気を光に変換する役割を果たす。

18 LSI とは、Large Scale Integration の略称であり、大規模集積回路と訳される。ここでは特に、処理を行う CPU や GPU、短期記憶の DRAM、長期記憶の NAND といった半導体の回路を表している。

がこのエネルギーを放出するときに熱が生じる。光電融合デバイス導入以前には、例えば先述の ONU 等完成品の外部の機器に必要な放熱設計を施せばよく、完成品自体では光電変換に対応した放熱設計は必ずしも必要ではなかった。しかし、光電融合デバイスでは、段階 1 以降、完成品の内部での発熱が前提となり、部材から設計までを再考する必要がある。もちろん、データ量等伝送されるデータの性質により発熱の程度も異なるため、熱対応が問題にならないケースもあろう。ただし、光電融合デバイスの導入先としては、特にデータセンターのサーバーのように大量のデータを処理する完成品が想定されていることを踏まえると、熱対応の課題を避けて通ることはできない。さらに、演算や記憶への影響を抑制するために、段階が進むに連れて問題となる LSI 近辺での発熱対応はより重要な課題となる。

段階 2 以降の課題は、電気回路と光回路を成形するための基板の素材

段階 2 以降では、同一チップ／モジュール内に電気回路と光回路を成形するための基板が必要になる。ここでは、光電融合デバイス導入以前の現在のチップ／モジュール内の状況を【図表 8】、段階 2 以降の状況を【図表 9】の通り簡便化して示している。この基板については、先述の通り、米 Intel 社がシリコンフォトニクスの研究を行っており、日本では NTT グループも取り組んでいる領域である。このシリコンフォトニクスを活用することで、同一チップ／モジュール内での電気回路と光回路の成形が可能となる。基板の設計や小型化等、様々な観点で研究開発が行われているものの、光の減衰の抑制、特定の通信波長帯の光を通すための最適な化合物、構成要素の最適配置等、依然乗り越えるべき課題は多い。シリコンフォトニクス以外の可能性も含めて、電気回路と光回路を成形する基板の素材も重要な課題である。

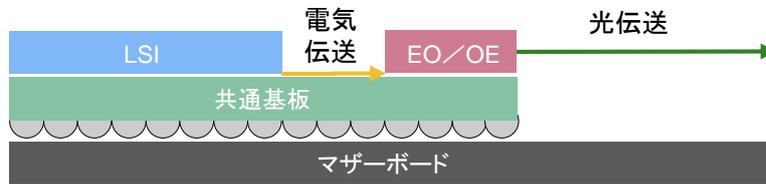
【図表 8】光電融合デバイス導入以前の現在のチップ／モジュール内



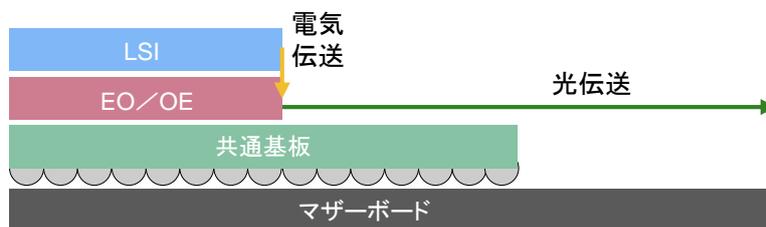
(注) 光電変換を行うために、電気回路である LSI と、電気／光変換 (EO) と光／電気変換 (OE) を行うモジュールをそれぞれ独立して設置する必要がある。EO/OE モジュールは、マザーボードの接続部に設置される。

(出所) みずほ銀行産業調査部作成

【図表 9】 段階 2 以降のチップ／モジュール内  
2.5D設計の場合



3D設計の場合



(注) 第 2 段階以降では、2.5D(2.5 次元)設計や 3D(3 次元)設計等、多様な形態が想定されるが、電気回路である LSI と、電気／光変換 (EO) と光／電気変換 (OE) を行うモジュールが共通基板上に設置される形式となる。EO/OE モジュールは、マザーボードの接続部ではなく、深奥部に設置される。

(出所) みずほ銀行産業調査部作成

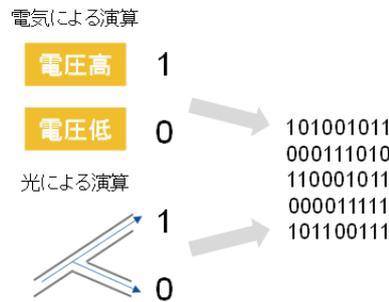
段階 3 以降の課題は、光による演算と記憶の可否

段階 3 では、光が LSI の役割をどこまで果たすことができるかが課題となる。結論としては、技術的には光による演算は可能なものの、記憶を行うことは困難と考える。

光による演算はある程度実現している

光による演算の実現に向けてはすでに様々な取り組みがなされており、例えば米 Alphabet 社の出資を受ける米 Lightmatter 社は数ナノメートル(1 ナノメートルは 100 万分の 1 ミリメートル)という微小経路で光線を分割・混合させることで演算可能な LSI の開発に成功している。また、米 Lightelligence 社は、シリコンフォトニクスを活用して光の伝播のみで演算が可能な LSI を開発しており、電気による演算対比で低遅延／低消費電力での演算を実現している。なお、本稿における詳述は割愛するが、光による演算では、現在電圧の高低で行っている 0 と 1 の表現を光の経路で行うことで、様々な論理演算を実施することが想定されている(【図表 10】)。

【図表 10】電気による演算と光による演算の違い(イメージ図)



(出所)みずほ銀行産業調査部作成

光による記憶のハードルは極めて高い

一方で、光を(電気のように)物理的に安定した状態でとどめることは難しく、光による記憶を実現するためのハードルは極めて高い。なお、ここでは、DVD や MO ディスク<sup>19</sup>のように、電気の利用を前提としてレーザー光を照射し磁気等で記憶する仕組みではなく、光で伝送されてきた情報を光のまま保存することが困難であることを示している。もっとも、オックスフォード大学が2015年にデータを永久保存できる非揮発性<sup>20</sup>の光ベースメモリチップの開発に成功したと公表しているように、光による記憶の実現を完全に否定することはできないが、安定することが困難という光の性質を踏まえると、記憶のハードルは極めて高いと言える。

## 2. 完成品との親和性と用途に関する課題

光電融合デバイス導入を踏まえた、完成品の開発、設計、製造

完成品の開発、設計、製造等の工程との親和性も課題となる。つまり、光電融合デバイスが先行して実現されても、それが格納される完成品に必要な対応がなされないと、実際の活用は不可能になる。例えば、段階1の課題として記載した熱対応は、デバイス企業のみならず、完成品企業にも求められる。具体的には、放熱のための十分な空間を確保する等設計を新たに考案したり、冷却装置の付加や高度化を行ったり、これらに従属する形で製造プロセスを変更したりする等、完成品企業の様々なバリューチェーンでの対応が必要となる。

光電融合デバイスをどの完成品に用いて何を実現するか

光電融合デバイスの普及に向けては、用途開発、すなわち光電融合デバイスをどの完成品に用いて何を実現するかが最大のボトルネックとなろう。なぜなら、最終的な用途とそこに付随するビジネス機会(市場規模)が不透明では、半導体・電子部品企業が中長期にわたる研究開発を行ったり、完成品企業を巻き込んで光電融合デバイスの普及を推進したりすることが困難なためである。第I章でサーバーの消費電力が著増する可能性について言及したが、光電融合デバイスの用途としてもまずは(サーバーが格納されている)データセンター向けが想定されている。もちろん省エネ効果が高い領域ではあるものの、様々な完成品がある中でデータセンターはその一部に過ぎず<sup>21</sup>、半導体・電子部品企業の研究開発のインセンティブを喚起するためには、多くの領域における用途開発が求められる。

19 MO ディスクは、Manageto-Optical ディスクの略称であり、データの読み書きにレーザー光と磁気を利用した外部記憶装置を指す。

20 外部からの給電がなくても記憶内容を保持できる性質を指す。

21 みずほ銀行産業調査部調べでは、電子部品の市場規模に占めるサーバー向けの割合は約2%程度と推定される。

#### IV. 光電融合デバイス導入に向けた取り組み

本章においては、第Ⅲ章で記載した様々な課題への対応方法を、テクノロジー面、用途面の2つに分けて提示する。光電融合デバイス導入に向けては、ともに重要な要対応事項となる。

##### 1. テクノロジー面での対応

アクティブ光モジュールの高度化、放熱、基板素材、光による演算の実現が必要

テクノロジー面では、アクティブ光モジュールの高度化、放熱、基板素材、光による演算の実現が必要になる。まず、アクティブ光モジュールの高度化について説明する。アクティブ光モジュールは、光電変換が可能なコネクタである。例えば、I-PEX社は、2023年8月に光電変換を行うアクティブ光モジュールLIGHTPASS®シリーズの開発を公表している(【図表11】)。同社によると、このシリーズでは、完成品内部の配線を電気伝送から光伝送に置き換え、よりLSIに近い位置で光電変換を行うことができるとされる。このように、すでに製品化されているものでもあり、先述の段階1 マザーボードでの光電変換は2025年度中には実現可能とされている。今後は、完成品のより深奥部での光電変換を見据えた小型化や低放熱化といったさらなる高度化が求められる<sup>22</sup>。

【図表11】 I-PEX 株式会社の LIGHTPASS®シリーズ



(出所)I-PEX 株式会社ホームページ

放熱設計ではエレクトロニクス業界内連携が必要

放熱に対応するためには、まず、アクティブ光モジュールやダイオード(フォトダイオード及びレーザーダイオード)自体の発熱を抑えたり、これらの発熱を水や空気冷却したりする工夫が必要になる。さらに、これまでは完成品内部での光電変換に対応した放熱設計が必ずしも必要ではなかったことを踏まえると、エレクトロニクス業界内における半導体・電子部品企業と完成品企業の連携が必要となる。つまり、コネクタやダイオードの発熱を一定程度前提としたり、水冷却装置や風冷装置(ファン等)、デバイス自体を液体に浸して冷却する液浸の設置を前提としたりする完成品の設計も必要になる。一般的には、放熱に対応するための設計には空間の確保を始めとして完成品の大型化が求められ、歴史的な完成品の小型化の経緯に逆行する側面もあるため、密接な連携が必要になる。

22 これらに加え、単価を抑制することも必要となる。みずほ銀行産業調査部調べでは、アクティブ光モジュールの単価は、既存のコネクタの10倍以上になると想定され、普及を目指す上では、コスト抑制等の対応も必要になる。

基板の素材の候補は、シリコンとガラス

テクノロジー面で対応が必要な事項の二つ目は、最適な基板の素材を選定し実現することである。ここでの基板は【図表 9】中の共通基板を指しており、電気回路と光回路を同時に成形するために最適な素材を実現する必要がある。この素材には、様々な選択肢の可能性があるが、以下では現時点で特に具体的に想定されている、シリコン（技術としてのシリコンフォトニクス）とガラスを取り上げる。

シリコンフォトニクスが先行も、様々な論点が残る

シリコンフォトニクスは、シリコン基板上に、光回路、光スイッチ、光変調器、受光器等の素子を集積する技術である。先述の通り米 Intel 社が 1990 年代から研究を行っており、米 Intel 社以外の企業も含めて既に実現されている技術<sup>23</sup>である。ただし、依然様々な論点が残っており、シリコンが光電融合デバイスの標準的な基板の素材になったとまでは言い切れない。

代替手段としてガラスを活用する選択肢も

シリコン（技術としてのシリコンフォトニクス）の代替として、基板にガラスを用いるという選択肢がある。米 Intel 社は、2023 年 5 月に開催した Advanced Packaging に関する説明会の中でガラス基板の投入に言及し、同年 9 月には業界初のガラス基板を発表した。米 Intel 社は、発表内で、ガラス基板自体の高温下での耐久性の高さ、歪みの小ささ等の特性に言及しており、光電融合の観点では光回路の統合が容易である点も訴求している。具体的な製造技術は非開示であり、不透明な点も多いものの、米 Intel 社の開示資料から確認できる限り、透過性が確保されていて光回路の成形がシリコンフォトニクス対比で実施しやすかったり、大元の基板の形状が四角形であり円形のシリコンウェハ対比で製造時のロスが少なかったりする優位性があると推測される。ただし、米 Intel 社がガラス基板ソリューションの投入は 2020 年代後半を予定していると説明している通り、商品化や量産に向けては様々な技術的ボトルネックが存在するのが実態であろう。例えば、ガラス基板に穴を空ける<sup>24</sup>等の加工を施す際に想定されるガラスの破砕の抑止やガラス基板を用いる際の電気回路の最適な成形<sup>25</sup>といった課題を解消する必要がある。

いずれが標準となるかの判断には時間を要する

このように、現時点では、シリコン（技術としてのシリコンフォトニクス）とガラスが光電融合デバイスの基板の素材として有力な選択肢と考えられる。ただし、双方に長所と課題がある中で、どちらが標準となるかの判断には時間を要する。米 Intel 社は、先述の通りガラス基板を発表しているが、研究開発の歴史を踏まえるとシリコンフォトニクスにも一日の長がある。同社は、2023 年 10 月にシリコンフォトニクスのモジュールからの撤退（米 Jabil 社<sup>26</sup>への売却）を公表しているが、合わせて同領域のコンポーネントへの取り組みの継続についても言及している。依然双方の普及可能性を見据えているのが実態であろう。

光による演算には小型化が必要

その他、光による演算については、先述の通り米 Lightmatter 社や米 Lightelligence 社が既に実現している。米 Lightelligence 社が開発した光演算デバイス「PACE」を【図表 12】の通り示すが、同社によると GPU 以上の演算力と省エネ効果を実現済みとされる。今後は、完成品への格納に向けてこのような演算機能の小型化や低背化が重要になる<sup>27</sup>。

23 本章で取り上げている I-PEX 株式会社の LIGHTPASS®シリーズにもシリコンフォトニクスが活用されている。

24 ガラス自体は電気を通すことができないため、上下の層と回路を接合するためにはガラス基板に穴を空ける必要がある。

25 例えば、ガラス基板上に直接電気回路を書き込むといった方法が想定される。

26 1966 年に米国ミシガン州で設立された EMS（製造受託）企業。

27 現状の具体的なサイズは未開示ではあるものの、筆者が確認した限りでは、幅 15cm×奥行 5cm×高さ 4cm 程度と推測される。

【図表 12】米 Lightelligence 社の光演算デバイス「PACE」



(出所)株式会社アルゴホームページ

## 2. 用途面での対応

用途の広がりや収益化のために必須

次に、用途開発の必要性について記載する。用途面では、多くの完成品の中で光電融合デバイスをいずれに適用するか、そしてそれを用いて何を実現するか、の双方の視点が欠かせない。現時点でも様々な用途を見据えて光電融合デバイスの開発が行われているが、まずは省エネ効果が高くかつ一定の空間を確保可能な(サーバーが格納されている)データセンター向けが想定されており、それ以外の用途開発は模索中というのが実態であろう。ただ、量産によるコストメリットの享受や販売台数増加を通じた収益化のためには、データセンターに限定されない用途開発も不可欠な要素となる。

光電融合デバイスの特長を活かした用途が候補

光電融合デバイスの用途候補を考える際には、①省エネの必要性が高いか、②高速伝送が付加価値をもたらすか、③ノイズの抑制が重要か、といった要素が重要な判断軸となる。以下では、このような判断軸を基に、用途案を提示する。

モビリティは、光電融合デバイスの特長の活用余地が大きい

用途には様々な可能性がある中で、モビリティ領域は①②③の全ての要素を充足しており、データセンターに次ぐ用途の候補になると考える。モビリティ領域においては、光電融合デバイスの導入により、まず自動車の省エネ化が実現可能となる。EV化により単位電気あたり(すなわち kWh あたり)の走行距離が一つの重要な競争軸となる中で、光電融合デバイスの導入は競争力を向上させる方向に作用する<sup>28</sup>。加えて、モビリティでは、伝送を極限まで速めることも重要な競争軸となる。すなわち、自動運転が一般化されていく中で、事故を未然に防止するための認知・判断・制御を可能な限り速やかに行うことが重要となる。この点、電気を光で置き換えることで物理的に極限まで速度を追求することが可能となる。また、ノイズを抑制することで、この認知・判断・制御の精度を高めることができる。これらを踏まえると、モビリティ領域は光電融合デバイスのアプリケーションとして適していると言えるであろう。具体的には、光電融合デバイスを自動車内の ADAS<sup>29</sup>領域に搭載するといった活用が考えられる。

金融では極限的な高速化が収益機会となる

その他の可能性の一つとして、②の高速伝送が付加価値をもたらす、金融機関等が使う取引システムを取り上げる。ここでの取引システムとは、株式や債券その他金融商品を取引対象として、その売買を通じて収益を稼得することを目的としたシステムを指す。IT の発展によりこのような取引システムの重要

28 競争力=走行距離÷kWh とすると、光電融合デバイスの導入により消費電力量である W(ワット)が小さくなり、競争力が増加する。

29 ADAS は、Advanced Driver Assistance System の略称であり、自動運転を行う先進運転支援システムを指す。

性が増し、HFT<sup>30</sup>の存在感が増している。HFT を行う業者は、証券取引所との物理的な距離を極小化することも含めた通信環境の整備で競合他社に先んじた収益稼得を目指している。通信環境の整備において、光電融合デバイスにより伝送を極限まで速めることが HFT を行う業者にとって優位性をもたらす。すなわち、物理的な距離の極小化に加えて、電気を光に置き換えることが収益機会を生み出すのである。

その他にも  
様々な活用余  
地あり

光電融合デバイスを活用することで付加価値が増加する領域としては、上記の他にも様々なものが考えられる。例えば NTT グループは、低遅延伝送技術と低遅延映像処理技術<sup>31</sup>を活用することで、演奏や手拍子を双方向で配信し、遠隔地での同時演奏に成功している。他にも、遠隔地から医療ロボットを用いて高度な手術を行ったり、フィジカル空間の事象をセンシングしてリアルタイムでフィードバックする CPS (Cyber Physical System) を構築したり、HPC<sup>32</sup>に格納することで省エネや高速化を実現したりする等、光電融合デバイスには様々な活用可能性がある。

## V. 光電融合デバイス導入を包含する IOWN 構想

このように、課題や必要な対応事項が多くある中で、光電融合デバイスの実現と普及に向けては、複数の企業を跨いだ取り組みが必要となろう。本章では、光電融合デバイスが包含されている IOWN 構想の概要を記載の上で、その対抗馬が現状不在であることを踏まえて IOWN 構想に優位性がある旨を示す。

### 1. IOWN 構想の概要

NTT が掲げる  
IOWN 構想には  
光電融合デバイ  
スが含まれる

ここまで述べてきたように、様々な課題を抱えつつも省エネ効果や伝送速度高速化等をもたらす光電融合デバイスは、NTT グループが掲げる IOWN 構想の中にも含まれている。IOWN とは Innovative Optical and Wireless Network の略称であり、光を中心とした革新的技術を活用した高速大容量通信、膨大な計算リソース等を提供可能な、端末を含むネットワーク・情報処理基盤のことを指す。この IOWN の機能構成は【図表 13】の通りであり、NTT によると主な構成要素は以下の 3 つとなる。

- オールフォトニクス・ネットワーク: ネットワークから端末まで、すべてにフォトニクス(光)ベースの技術を導入したネットワーク。情報処理基盤のポテンシャルを大幅に向上させる
- デジタルツインコンピューティング: 実世界とデジタル世界の掛け合わせによる未来予測等を実現する技術。サービス、アプリケーションの新しい世界を産み出す
- コグニティブ・ファウンデーション: あらゆるものをつなぎ、その制御を実現する。すべての ICT リソースの最適な調和を目指す

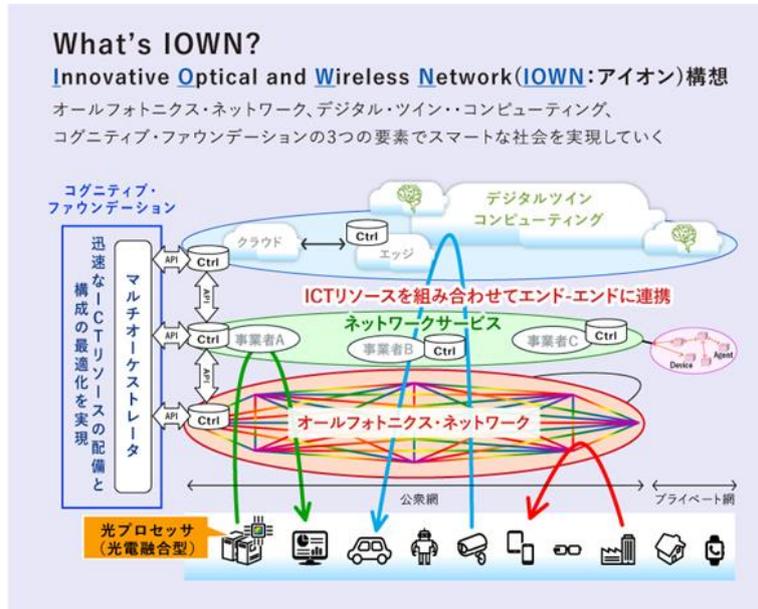
30 HFT は、High Frequency Trading の略称であり、短期間の売買を高速で繰り返す金融市場取引や投資戦略を指す。HFT 業者の約定代金の割合は市場全体の 40% を超え、注文件数の割合は同じく 70% を超えていると言われる。

31 各拠点からの映像を縮小し、1 つのモニタの画面を分割して表示させる処理について、伝送される映像を入力された順に画面配置を制御しながら表示することで、処理装置への映像入力から出力までの処理遅延を 10 ミリ秒程度以下で実現する技術。

32 HPC とは、High Performance Computing の略称であり、従来の PC をはるかにしのぐ速度でデータを処理し、計算を実行できるソリューションを指す。

注目すべきは、【図表 13】の下部に記載されている通り、光電融合型のデバイスが含まれている点である。光電融合デバイスは、この IOWN 構想を実現するために不可欠な要素となっている。

【図表 13】 IOWN 構想の機能構成イメージ



(出所)NTT グループホームページ

IOWN 構想では、光電融合デバイスは 2030 年度以降に最終化

光電融合デバイスの実現に向けて、NTT グループ内では多層的に<sup>33</sup>様々な研究開発を行っており、今後のロードマップとしては、2025 年度にボード接続用デバイスでの光電融合デバイスの適用 (IOWN2.0)、2029 年度にチップ間向けデバイスでの適用 (IOWN3.0)、2030 年度以降にチップ内までの光化 (IOWN4.0) が想定されている<sup>34</sup>。

IOWN Global Forum には多様なレイヤーのプレイヤーが参加

この IOWN 構想の特徴の一つに、IOWN Global Forum という関連企業の団体を組成している点が挙げられる。主な構成企業は 2024 年 3 月時点で【図表 14】の通りであり、創設メンバー (Founding Members) として NTT を中核に、半導体企業である米 Intel 社と光電融合デバイスの活用主体として想定されるソニーが参画している。スポンサーメンバー (Sponsor Members) としては、NTT の同業である KDDI に加え、光電融合デバイスを活用しうる三菱 UFJ フィナンシャル・グループ/三菱 UFJ 銀行やみずほフィナンシャルグループといった金融機関や、トヨタ自動車のような自動車企業も参画している。中国企業や韓国企業も参画しており、国籍の多様性も確認できる。【図表 14】では割愛しているが、一般メンバー (General Member) には電子部品企業も参画しており、IOWN 構想を支える IOWN Global Forum は、レイヤーや国籍をまたいで様々なプレイヤーが参画している枠組みと言えよう。

33 NTT IOWN 総合イノベーションセンタ、NTT 先端技術総合研究所、NTT イノベティブデバイス、NTT デバイステクノロジ等が取り組んでいる。

34 なお、前提として 2023 年 3 月に IOWN1.0 のサービス提供が開始されている。端末装置として OTN Anywhere の提供も開始されているが、当該装置での光電変換は行われず、遅延測定結果をログとして出力して可視化したり、1 マイクロ秒単位での遅延調整が行われたりするものである。

【図表 14】 IOWN Global Forum の構成企業 (2024 年 3 月時点)

Founding Members			
Intel	NTT	ソニー	
Sponsor Members			
Accenture	中華電信	Ciena	Cisco
Dell	デロイトトーマツ	DELTA	Ericsson
富士通	古河電気工業	博報堂	KDDI
KIOXIA	Microsoft	三菱電機	みずほFG
MUFG／三菱UFJ銀行	NEC	NICT(情報通信研究機構)	NOKIA
ORACLE	Orange	PwC	楽天モバイル
Red Hat	Samsung	SK hynix	SK telecom
住友電工	トヨタ自動車	VMware	

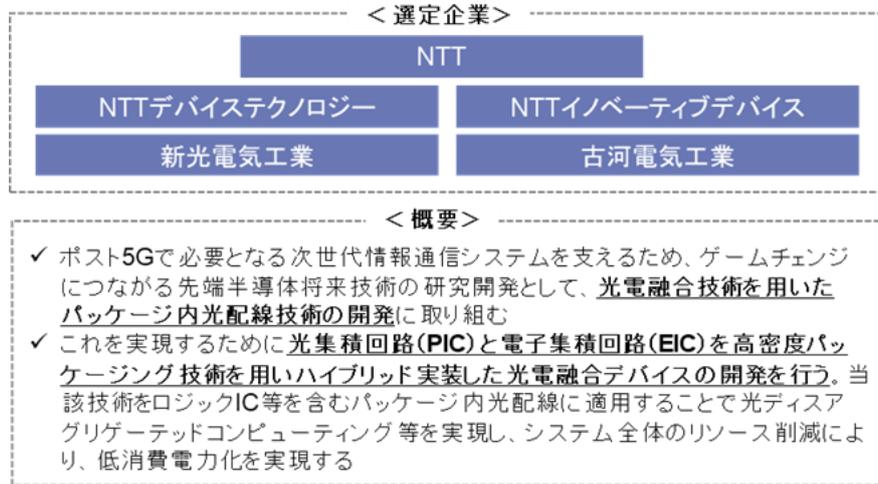
(注) Founding Members と Sponsor Members を掲載。社名は IOWN Global Forum ホームページの掲載順に記載している。

(出所) IOWN Global Forum ホームページより、みずほ銀行産業調査部作成

#### 日本政府も支援

なお、日本政府も IOWN 構想を後押ししている。例えば、2023 年 5 月 8 日に開催された IOWN Global Forum 年次総会における岸田内閣総理大臣のビデオメッセージでは、「日本政府として、しっかりサポートしていく」旨の寄稿がされている。2024 年 1 月には経済産業省が「ポスト 5G 情報通信システム基盤強化研究開発事業」の採択事業者を決定しており、総額で 452 億円の支援が行われる。この対象事業には「光チップレット技術の研究開発」の題目にて光電融合デバイスの開発も含まれており、光電融合デバイスの普及に向けた官民一体での推進の枠組みが整いつつある(【図表 15】)。

【図表 15】ポスト5G情報通信システム基盤強化研究開発事業における  
光チップレット実装技術の研究開発



(出所)経済産業省ホームページより、みずほ銀行産業調査部作成

## 2. IOWN 構想の対抗馬

IOWN 構想の有力な対抗馬は現状不在

この IOWN 構想への有力な対抗馬は、現時点では不在と考える。例えば、米国には【図表 16】に示す通り様々な次世代通信技術に関するコンソーシアムが存在している。それぞれのコンソーシアムで取り扱い分野や目的が掲げられているものの、API フレームワークの構築やセキュリティの向上に特化していたり、アプリケーションをデータセンターに絞っていたりする等、IOWN 構想と比較すると個別の論点に焦点を当てている面が強い。主要参画企業を見ても、通信関連企業を中心に、データセンターを有する大手テック企業と半導体企業が組成するコンソーシアムが多く、一部日本企業が含まれるものの米国企業を中心であることを踏まえると、網羅性や包括性の観点では、IOWN 構想に分があると見てよいであろう。

【図表 16】 米国の次世代通信技術に関するコンソーシアム

名称	分野・目的	主要参画企業	概要・取り組み内容
Open Gateway Initiative (by GSMA)	モバイル領域ユニバーサルなAPIフレームワークの構築	Verizon AT&T T Mobile Amazon Microsoft NTT docomo KDDI	<ul style="list-style-type: none"> <li>現在35の通信事業者が加入、全世界の全携帯電話加入者の約60%をカバー</li> <li>光ファイバーネットワークと5Gネットワークの統合運用を目標。ネットワークAPIの適用領域はモバイルだけではなく、より広範な領域を視野に入れている</li> <li>ハイパースケーラー等がプロジェクトを通じて標準化されたAPIで、複数事業者へのネットワークAPIアグリゲーターとして参画する可能性もあるとの報道あり</li> <li>MWC2023ではEricsson、Telefonica、DT等の基調講演で言及され、注目を集めた</li> </ul>
Open Compute Project	データセンター向けの製品仕様や運用の標準化	Meta Google Microsoft Intel	<ul style="list-style-type: none"> <li>データセンター向けの製品仕様や運用に関するコミュニティOpen Compute Projectは、旧Facebookの内部プロジェクトから発生したコミュニティ</li> <li>Metaの他にGoogle、Microsoft、Intelがボードメンバー</li> <li>ハイパースケールDCのサーバーやネットワーク等の構成の検討が推進</li> </ul>
Ultra Ethernet	データセンター向け次世代イーサネットの検討	AMD Cisco Meta Microsoft Broadcom Oracle Intel HP Ent.	<ul style="list-style-type: none"> <li>生成AI等の膨大なデータ需要を背景に、より大きなスケール、高い帯域幅密度、マルチバス、輻輳への迅速な対応等を課題として認識</li> <li>従来型のイーサネットの改善を図るUltra EthernetはBroadcomの他にMicrosoft、Meta、Cisco、Intel、Oracle等が設立会員</li> </ul>
Network Resilience Coalition	データ・ネットワークのセキュリティ向上	Verizon Juniper Cisco AT&T Broadcom Intel	<ul style="list-style-type: none"> <li>セキュリティ脅威への対抗の観点で、ハードウェア・ソフトウェアの更新支援、ネットワーク可視性の向上に重点を置いたコンソーシアム</li> <li>当面は、古いルーター、スイッチ、ファイアウォール、ベンダー・サポートが終了している可能性のあるもの、セキュリティ・パッチや交換が見過ごされているものに焦点を当てると見られるとの報道あり</li> </ul>

(出所) 各種公開情報より、みずほ銀行産業調査部作成

## VI. 光電融合デバイスの実現と普及が日本の半導体・電子部品企業にもたらす影響

本章においては、日本の半導体・電子部品企業による光電融合デバイスへの取り組みが限定的であることを示した上で、光電融合デバイスが実現し普及した場合の半導体・電子部品への影響(リスク)を記載する。

### 1. 日本の半導体・電子部品企業による光電融合デバイスへの取り組みの現状

現状では電気と光は分離している

光電融合デバイスの考え方自体は必ずしも新しいものではないが、先述のような取り組みは一部確認されるものの、未だ本格的な取り組みは見られず、電気領域と光領域が分離しているのが現状である。理由として、①光が取り扱う領域(基地局等の通信インフラ)と電気が扱う領域(スマホ、PC、家電、自動車、産業機械等の端末)がある程度分離していること、②現状のように完成品の外または周縁部で光電変換を行う場合には完成品の設計を電気と光で分けて考えることができること、③このような現状下では電気と光を単一企業内で取り扱うことによるシナジーが限定的であること、といった要因を挙げることができる。

光電融合デバイスはその棲み分けを覆しうる

一方、光電融合デバイスの実現と普及は光領域による電気領域の侵食も意味しており、電気領域と光領域が棲み分けられている現状を覆しうる。電子デバイス産業新聞(2024年1月11日)によると、完成品に不可欠な電子部品については日本企業の生産割合がグローバルの1/3を占めており、半導体についてもパワー・イメージセンサ・アナログや周辺領域において依然として日本企業が高い存在感を示している。光領域による電気領域の侵食はこのような日本の電子部品・半導体企業の優位性に変化をもたらす可能性があり、日本企業はその影響(リスク)に注意する必要がある。

### 2. 半導体・電子部品への影響(リスク)

既存の市場が脅かされるリスクが存在

光電融合デバイスの実現と普及に向けては依然様々な課題が存在するが、社会課題解決という意義もある。今後、政府の後押しを受けた IOWN 構想にけん引される等してテクノロジー面や用途面で対応すべき事項が解決した場合には、日本の半導体・電子部品企業は様々な影響を受けると想定される。以下の通り、電気領域が光に置き換えられることで既存製品の市場が脅かされるリスクがある。

リスクが大きいのは受動部品と接続部品

半導体・電子部品が被る可能性のあるリスクを影響度合い別に示すと【図表17】の通りとなる。まず、リスクが大きい領域は、コンデンサ・コイル等の受動部品とコネクタ・スイッチ・リレー等の接続部品である。製品により影響の内容は異なるが、受動部品とスイッチ・リレーでは、電気による伝送箇所が減少することで需要が減少するリスクが大きい<sup>35</sup>。コネクタでは、従前電気間で伝送を行っていた領域が、電気/光間または光/光間での伝送に置き換えられるリスクがある。これらの製品では、先述の段階1やボード接続用デバイスでの光電融合デバイスの適用(IOWN2.0)が想定される2025年度と比較的早期のタイミングで影響が顕現化してくるであろう。

処理演算には中程度のリスク

半導体のうち、CPUやGPU等処理演算機能を有する領域には中程度のリスクが存在する。影響が顕現化するタイミングは、先述の段階3やチップ内の光

35 一方で、レーザーの出力や安定のための、電源モジュールにおける受動部品の需要が増加するとの見方もある。

化 (IOWN4.0) が期待される 2030 年度以降と中期的な時間軸となる。ただし、半導体の微細化の限界が予測され、先端パッケージングにも様々な課題が存在する中で、光による処理演算の実現の兆しが見られていることを踏まえると、既存の電気を前提とした処理演算が置き換えられるリスクを念頭に置く必要があるだろう。

影響が限られる領域も

光電融合デバイスが実現・普及した場合でも、影響が限られる製品もある。半導体では、記憶を行うストレージについては、光による記憶のハードルが極めて高いことを踏まえると、現状と同様に電気が使用されていくであろう。モーター等のアクチュエーターでも、動力を生み出すための電気の活用が継続していくと考えられる。様々な物理現象を電気に変換するセンサや無線通信の受発信を行う高周波部品でも電気が基本的な原理を担うと想定されるが、これらの部品の内部においても、情報伝送のために電気を光に変換する機能が求められる可能性もある。

【図表 17】 光電融合デバイスが半導体・電子部品に与える影響(リスク)

影響度合	製品	光電融合デバイスが実現した場合の影響		
		時間軸	類型	内容
大	コンデンサ・コイル等	2025年度～	需要減	<ul style="list-style-type: none"> <li>電気による伝送箇所が減少することで、電気を蓄えたり、安定させたりする機能を有する受動部品の需要が減少</li> <li>なお、レーザーの出力と安定のための需要は新規に発生</li> </ul>
	コネクタ	2025年度～	形態変化	<ul style="list-style-type: none"> <li>電気同士で伝送を行うコネクタが、電気／光間または光／光間で伝送を行うコネクタに置き換えられる</li> </ul>
	スイッチ・リレー	2025年度～	需要減	<ul style="list-style-type: none"> <li>電気による伝送箇所が減少することで、電流の切り替えや伝搬機能を有するスイッチ・リレーの需要が減少</li> </ul>
中	CPU・GPU等	2030年度～	形態変化	<ul style="list-style-type: none"> <li>光による処理演算にシフトするリスク</li> </ul>
小	センサ	-		<ul style="list-style-type: none"> <li>光電融合デバイスが実装された完成品においても、物理現象の感知と電気信号への変換は電気が担うことが想定され、センシングの基本的な原理に影響は与えない</li> </ul>
	高周波部品	-		<ul style="list-style-type: none"> <li>光電融合デバイスが実装された完成品においても、電波による無線通信は残ることが想定され、無線通信の基本的な原理に影響は与えない</li> </ul>
極小	ストレージ	-		<ul style="list-style-type: none"> <li>光による記憶のハードルは極めて高い</li> </ul>
	アクチュエーター(モーター等)	-		<ul style="list-style-type: none"> <li>電気により磁界を発生させることで回転をもたらすなど、動力を創生する機能は電気が担うことを想定</li> </ul>

(出所) みずほ銀行産業調査部作成

Ⅶ. 日本の半導体・電子部品企業に求められる打ち手

ヒト・モノ・カネ・組織の視点で打ち手が必要

光電融合デバイスの導入が進んだ場合には、受動部品や接続部品を提供する企業を始めとして、多くの半導体・電子部品企業の既存事業領域が侵食されるリスクがある。もちろん、普及の確度には不透明さもある現況下では、一旦は状況を注視するという戦略もありえよう。しかし、IOWN 構想という優位な枠組みがある中では、これを有効活用しつつ、リスクを乗り越えながらも収益機会を獲得していくことが望ましいと考える。以下、ヒト・モノ・カネ・組織の 4 つの視点で、日本の半導体・電子部品企業が採るべき打ち手を記載する(【図表

18)。

【図表 18】日本の半導体・電子部品企業が採るべき打ち手



(出所)みずほ銀行産業調査部

**A.ヒト①: 電気企業と光企業の技術連携**

まずヒトの視点では、電気と光双方をまたいだ技術連携が必要になる。前提として、光電融合デバイスが実現・普及した場合でも、記憶等電気が機能を果たすべき領域は残存し続ける。すなわち、光電融合デバイスでも、光が電気を全て置き換えるのではなく、それぞれの間での連携と役割分担が必要になる。そのため、光電融合デバイスを実現するためには、電気と光をまたいだ研究開発、設計、生産・量産が必要になり、技術者の連携が必須となる。半導体・電子部品企業には、現事業領域を侵食しうる光領域の企業を、インオーガニック戦略も選択肢に入れて取り込んでいくことが特に有効な戦略となる。このような戦略は、光領域の企業にとっても、電気領域も取り込むことで光電融合デバイスの標準化において先鞭を付けることができるというメリットがある。

**A.ヒト②: 光電融合人材の育成**

中長期的には、電気と光の双方の知見を有し、かつ完成品設計や用途も見据えながら光電融合デバイスを実現可能な人材を育成していく必要もある。現状、電気と光の領域が分断されていることを踏まえると、インオーガニック戦略でもこのような人材を採用することは必ずしも容易ではないであろう。光電融合デバイスが省エネを始めとする普遍的な社会課題を解決するという側面を踏まえて、中長期的な視点で光電融合人材を採用し、育成することが重要となる。具体的には、大学・大学院において光電融合関連技術に重点を置いた専門的なカリキュラムを提供したり、産学連携を通じて学生が産業界で実

務経験を提供したりすることが重要である。また、企業においても、光電融合に関する社外の研究開発プロジェクトに参加する機会を設けたり、光電融合人材に対してキャリアパスと成長機会を明確に定義し、昇進や進学の機会を与えたりすることが重要になる。

**B.モノ①: 素材との連携による標準化と囲い込み**

モノの視点では、まず、基板材料領域の素材を提供する企業との連携が必要になる。先述の通り、電気回路と光回路を同時に成形するための基板の素材としてはシリコン(技術としてのシリコンフォトニクス)とガラスが有力な選択肢ではあるものの、いずれが標準となるか、用途により棲み分けがなされるか、あるいはその他の基板素材<sup>36</sup>が標準となるのか、現時点では方向性は不透明というのが実態であろう。半導体・電子部品企業にとっては、基板の素材領域を担う企業と連携することでその研究開発にまで入り込み、光電融合デバイスの標準化を先導したり、光電融合デバイス上の半導体・電子部品の囲い込みを目指したりする戦略が有効となる。

**B.モノ②: 完成品との連携は、設計への入り込みと用途開発の観点から重要**

また、完成品企業との連携も、完成品の設計段階から入り込むことと、用途を開発することという二つの側面から重要となる。光電変換を完成品の内部・深奥部で行うに際しては、コネクタやダイオードの発熱を一定程度前提としたり、水冷却装置や風冷装置(ファン等)の設置を前提としたりする完成品の設計が必要になる。半導体・電子部品企業は、光電融合デバイスが格納される完成品の設計段階から入り込むことで、自社の提供製品(半導体・電子部品)が組み込まれた光電融合デバイスの普及を促す戦略を採る必要がある。また、光電融合デバイスの市場規模拡大のためには、様々な用途を開発し普及を促すことも重要である。この点でも、エンドユーザー(法人・個人)との接点や情報量も多い完成品企業との連携が重要な要素となる。

**B.モノ③: 実装機企業との連携や内製化も効果的**

さらに、実装機企業との連携や内製化も有効な打ち手となる。光電融合デバイスのマザーボード上への実装や、ダイオードの光電融合デバイス上への実装には、半導体・電子部品といった電気部品の実装とは異なる技術が求められる。具体的には、光部品は電気部品と比較して脆いとも言われ、正確かつ繊細な実装が求められる。また、光回路の成形のためには、光軸を合わせる等の精緻な実装も求められる。実装機企業との連携により製造まで見据えた開発を行ったり、実装機の内製化により製造プロセスまでを含めて標準化を図ったり、内部化により模倣を防ぐ戦略を採用したりすることも効果的となる。

**C.カネ①: 研究開発への傾斜的な資金配分**

カネの視点では、光電融合デバイスの研究開発への傾斜的な資金配分が必要となる。光電融合デバイスの実現と標準化を目指すためには、A.で挙げた電気と光の技術連携も含めて、まずは研究開発に十分な資源を投入する必要がある。不確実性の高い領域でもあるため、資金の出し手がある程度のリスクを負いながらも投じることが可能なリスクマネーの投入が求められる。

**C.カネ②: インパクトファイナンスを活用した資金調達**

光電融合デバイスがもたらす社会的な意義を踏まえると、このような研究開発に必要な資金の調達的手段としてインパクトファイナンス<sup>37</sup>の活用も視野に入れるべきであろう。インパクトファイナンスには、融資や社債といった債権と株式の双方の手段が含まれる。光電融合デバイスの研究開発や製造には一定のコストが生じることが想定され、また実現に向けては中長期的な取り組みも

36 シリコンとガラス以外では、例えば窒化シリコン上でも電気回路と光回路を同時に成形することは可能と考えられる。

37 環境省の「インパクトファイナンスの基本的な考え方」によると、インパクトファイナンスは、「投融資において環境・社会・経済へのインパクトを追求する多様な動きのうち、ESG金融の発展形として適切なリスク・リターンを追求するもの」と定義される。

必要となるため、収益化には時間を要する可能性がある。この問題を解決すべく、光電融合デバイスが有する省エネ効果を訴求することによりインパクトファイナンスを活用し、社会的な支持を得たり、資金調達基盤を確立したりすることは有効な手段となろう。また、環境・気候変動に対応したファイナンスへの前向きな取り組みを表明している金融機関や投資家にも、光電融合デバイスの導入意義を踏まえたファイナンス提供が求められる。

**D. 組織①：既存事業を侵食しうる新規領域への取り組みを後押しする組織体制**

組織面では、既存事業を侵食しうる新規領域であっても、研究開発を始めとする取り組みを後押しし、企業全体としての生存と勝ち抜きを可能とする体制を構築することが重要になる。日本の半導体・電子部品企業にとって、光電融合デバイスは自社が築き上げてきた電気領域を侵食する考え方でもあり、取り組みに際しては社内的な反対が生じることも想定される。このような課題を乗り越えるためには、光電融合デバイスを推進する組織を社内的に既存事業から独立させて CxO 直下に置いたり、必要な権限と予算を委譲したりすることで、企業として取り組みを推進可能な組織体制とし、電気領域が侵食された世界でビジネス機会を取り込んでいく必要がある。

**D. 組織②：既存の枠組みの活用も有用**

また、既存の枠組みを活用することも重要となろう。例えば、日本の半導体・電子部品企業には先述した IOWN 構想の枠組みを有効活用する機会がある。100 社を超えるコンソーシアムの形成は容易ではなく、半導体・電子部品といった既存の電気領域にとどまらない打ち手が求められる中で、光や通信領域を担ったり、用途の候補となる事業を担ったりする企業が多く含まれるという特長を活用する余地は大きい。他にも、日本には、電気と光を融合させたアーキテクチャ、デバイス、システムの実現を目指して技術開発を行う技術研究組合光電子融合基盤技術研究所 (PETRA) が存在する。このような組織で技術開発に成功した場合には、製造や量産といった工程も団体の構成企業間において行われることもあり、団体への加入や技術開発動向への追従も有用となろう。

**D. 組織③：光電融合デバイス実現に向けた会社設立も一考**

既存の企業体を前提とした取り組みだけでなく、光電融合デバイスの実現と普及を目指して独立した会社を設立することも一考に値する。企業を分離させることで光電融合デバイスの実現と普及という目的を明確にし、責任と権限を付与することで推進を加速することができよう。A. で述べた電気企業と光企業の連携の一環として共同出資の形態を採ったジョイントベンチャーを設立したり、B. で述べたように素材企業や完成品企業、実装機企業の出資を呼び掛けたりといった対応も有効となろう。

Ⅷ. 終わりに

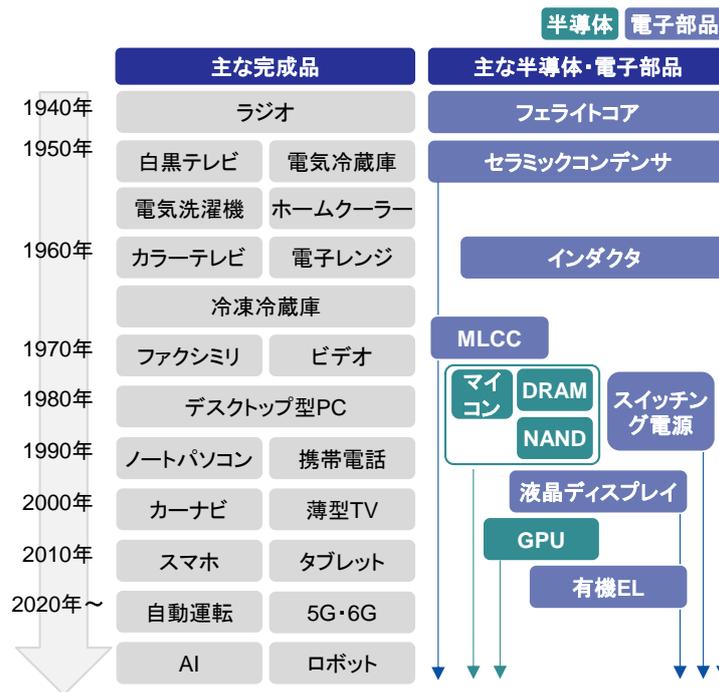
日本の電子部品・半導体のプレゼンスは高い

巷間で言われているように、エレクトロニクス産業全体で見た時には、中国や台湾企業の追従と成長により日本企業が誇っていた往時のプレゼンスが低下している。特に、いわゆるエレクトロニクス完成品と呼ばれる、スマートフォンやPC、各種家電といったアSEMBル(組み立て)の重要性が高い領域での苦戦は否めないであろう。一方で、先述した通り、完成品に不可欠な電子部品やパワー・イメージセンサ・アナログ等の半導体では依然として日本企業は高いプレゼンスを誇っている。

従前は、技術の進化を通じて変わりゆく完成品に対応

従前は、半導体・電子部品の企業は、完成品及び完成品企業から独立して進化することで、特定の完成品のライフサイクルに左右されることなく、多様な技術や市場に関する情報に基づいて学習効果を加速させ、製品能力の向上と顧客拡大の好循環を創出してきた(【図表 19】)。加えて、製造プロセスの起点である素材のレイヤーからプロセスエンジニアリングまで含めて内部化し、その模倣困難性を高めることを通じて、高いプレゼンスを維持してきたと言える。一方で、技術の進化へのこだわりと比較すると、半導体・電子部品が最終ユーザーにもたらす価値への着意は必ずしも高くはなかったと言えよう。

【図表 19】主な完成品と半導体・電子部品の進化



(出所) みずほ銀行産業調査部作成

光電融合デバイスは半導体・電子部品発の価値提案のチャンス

日本の半導体・電子部品企業が、これからもこのような高いプレゼンスを発揮し続けるためには、半導体・電子部品を起点とした価値創出の提案が必要なのではないだろうか。エンドユーザー(法人・個人)の需要を充足するためには、完成品企業が有するアSEMBル(組み立て)やマーケティングのノウハウのみでは不十分であり、半導体・電子部品企業が有するテクノロジー起点で提案し、完成品企業を含む川下の企業を動かすことが必要となるためである。本稿で採り上げた光電融合デバイスは、省エネや伝送を極限まで速めるとい

った大きな社会的意義を持つ革新的なテクノロジーであり、チップ／モジュールといったレイヤーにおける技術革新がコアとなる概念でもある。電気と光をまたいでの技術開発や企業を超えた連携といったハードルは存在するものの、第Ⅶ章で挙げた打ち手を採用することで、日本の半導体・電子部品業界発でエンドユーザーに対して価値を提案する大きなチャンスと言えよう。

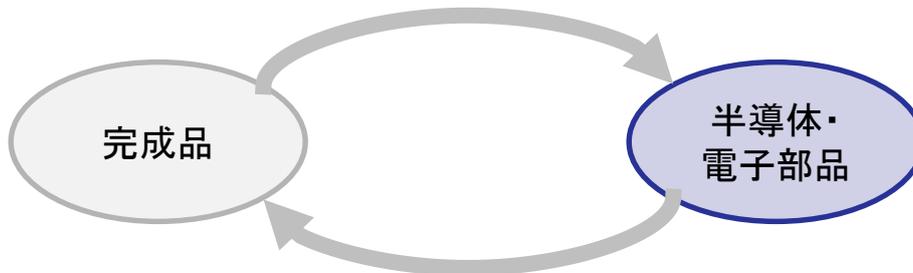
光電融合デバイスを端緒に日本産業の成長のけん引を

日本の半導体・電子部品が光電融合デバイスを先導するためには、光領域に加えて、完成品や用途領域を担う企業との連携も必要となり、半導体・電子部品起点で価値創出の提案を行うチャンスでもある(【図表 20】)。日本の半導体・電子部品企業が光電融合デバイスの普及を先導することで今後も強くあり続け、日本の産業をけん引していくことに期待したい。

【図表 20】 これからの半導体・電子部品企業のありたき姿

### 今まで

- ・ 技術の進化で変わりゆく完成品に対応



### これから

- ・ 光電融合デバイスを機とした、半導体・電子部品起点での価値創出の提案

(出所)みずほ銀行産業調査部作成

みずほ銀行産業調査部  
テレコム・メディア・テクノロジーチーム 山口 意  
kokoro.yamaguchi@mizuho-bk.co.jp

## 補論.日本の半導体・電子部品企業にとっての、光領域の協業候補の考え方

本章においては、補論として、光領域を代表する製品である通信機器の一般的な構成要素を示した上で、光領域における日本企業の強みを示す。日本企業が一定のプレゼンスを有する製品もあることから、日本の半導体・電子部品企業と光領域の企業が連携することで、光電融合デバイスの実現と普及を先導することが可能と考える。

通信機器は、多層のハードウェアで構成される

光領域を代表する、通信機器を構成する主なハードウェアを【図表 21】の通り示す。通信機器は、大要、光トランシーバー、アクティブデバイス、IC チップ、コンポーネント、部品・材料といったレイヤーで構成される。最終製品である通信機器は、通信キャリア、IT ベンダー、その他企業宛に販売される。

日本企業はアクティブデバイス、コンポーネント、部品・材料等で強みを有する

本稿では詳細は割愛するが、通信機器のサプライチェーンは、米国・欧州・中国・日本を中心に多数の企業で構成されている。その中で、完成品に位置する通信機器では、米 Cisco 社・フィンランド Nokia 社・中 Huawei 社といった外国企業が高いプレゼンスを有している。一方で、アクティブデバイス、コンポーネント、部品・材料や一部の IC チップにおいては、様々な日本企業が優位性を有している<sup>38</sup>。これらの製品における主な日本企業を【図表 22】の通り示す。

半導体・電子部品企業による協働候補は、レイヤーが近い企業が候補に

【図表 22】の通り、日本企業の例を見ても、光領域を構成する主なハードウェアは、分類・製品ごとに一定程度棲み分けされていることが分かる。これは、それぞれのレイヤーに特化することで研究開発のリソースを集中し、製造時の規模の経済を追求するためと考えられる。第VII章において、日本の半導体・電子部品企業には光領域の企業をインオーガニック戦略も含めて取り込む必要があると述べたが、半導体・電子部品とサプライチェーン上近いレイヤーにあることも踏まえて考えると、【図表 22】に掲げたような企業との協働が有効だと考える。

38 例えば、光の波長・方向・位相の制御、位相を変調させる素材、信号処理、小型化・パッケージ化といった技術面で優位性を有する。

【図表 21】通信機器を構成する主なハードウェア

分類	製品	分類	製品
通信機器	光伝送装置	ICチップ	イーサネットスイッチチップ
	ルーター		デジタルコヒーレントDSP
	L2・L3スイッチ		PAM用IC
光トランシーバー	ラインカード	コンポーネント	各種レンズ
	光トランシーバー		WSSモジュール
	ライン側		光アイソレーター
	クライアント側		光コネクタ
AOC	光ファイバー		
アクティブデバイス	LN変調器・HB-CDM		光フェルール
	COSA・IC-TROSA	POF	
	送信側デバイス	部品・材料	光通信パッケージ
	VCSEL		光アイソレーター用光学材料
	ITLA		接着剤
	DML・EML		
	その他LD		
	受信側デバイス		
	PD・APD		
	ICR		

- 通信機器
  - 光伝送装置: 通信ネットワークの接続・中継点に設置され、電気信号と光信号の変換、光信号の合派・分派、信号波形の復元、中継、増幅、分派といった機能を有する
  - ルーター: 異なるネットワークを相互に接続するネットワーク機器
  - L2・L3スイッチ: スイッチは、ネットワークを中継する装置。L2スイッチはMAC (Media Access Controlの略称) アドレス、L3スイッチはIPアドレスを参照してデータの伝送を行う
- 光トランシーバー
  - ラインカード: 光伝送装置に搭載されるカードであり、送受信機能を有する
  - 光トランシーバー(ライン側): 幹線系やメトロ系など、長距離伝送用の光トランシーバー
  - 光トランシーバー(クライアント側): アクセス系やデータセンター向けなど、中距離伝送用の光トランシーバー
  - AOC: Active Optical Cableの略称で、電気信号を光信号に変換し、光ファイバーで伝送するケーブルを指す
- アクティブデバイス
  - LN変調器: LiNbO3結晶のポッケルス効果(電圧により屈折率が変化する現象)による屈折率変化を利用して変調を行う光変調器
  - HB-CDM: High-Bandwidth Coherent Driver Modulatorの略称で、高帯域における光変調モジュールを指す
  - COSA: Coherent Optical Sub Assemblyの略称で、光と電気の変換を行う光インターフェース機能を小型化した通信用デバイスを指す
  - IC-TROSA: Integrated Coherent Transmit Receive Optical Sub Assemblyの略称で、送受信、変調機能がパッケージに集積されたデバイスを指す
  - VCSEL: Vertical Cavity Surface Emitting LASERの略称で、半導体レーザーの一種
  - ITLA: Integrable Tunable Laser Assemblyの略称で、超高速光デジタルコヒーレント(光の位相を用いることで信号劣化に強く雑音の影響を受けにくい伝送方式)伝送装置の部品を指す
  - DML: 直接変調レーザーであり、半導体材料内のキャリアの濃度の変化に応じてレーザーの振幅と位相を可変するもの
  - EML: 外部変調または電解吸収変調レーザーであり、半導体材料に電圧を印加することでレーザーの振幅と位相を可変するもの
- LD: Laser Diodeの略称で、半導体に電流を流してレーザーを発振させる素子を指す
- PD: Photo Diodeの略称で、光を電気に変換する計測用デバイスを指す
- APD: Avalanche Photo Diodeの略称で、入力信号に対し幅広い増幅効果が得られるPDを指す
- ICR: Integrated Coherent Receiverの略称で、LN変調、HB-CDM方式のデジタルコヒーレントを使用する際の光受信機を指す
- ICチップ
  - イーサネットスイッチチップ: イーサネットによるネットワークを構築する際に使用するスイッチ型のチップ
  - デジタルコヒーレントDSP: デジタルコヒーレントを適用し通信するためのデジタル信号処理のLSI
  - PAM用IC: 光トランシーバー内で信号間の変換を行うチップ
- コンポーネント
  - 各種レンズ: プラスチックレンズ、ボールレンズ、非球面レンズ等
  - WSSモジュール: WSSはWavelength Selective Switchの略称で、波長選択のスイッチモジュールを指す
  - 光アイソレーター: 順方向に進む光を透過し、逆方向の光を遮断する部品
  - 光コネクタ: 光ファイバー同士を接続する部品
  - 光ファイバー: 透過率の高い石英ガラスやプラスチックなどで作られた光の伝送路
  - 光フェルール: ファイバーを固定し、光ファイバー同士、もしくはレンズなどを介して光軸を機械的に接続するための部品
  - POF: Poly Olefin Filmの略称で、プラスチック型の光ファイバーを指す
- 部品・材料
  - 光通信パッケージ: アクティブデバイスに採用されるパッケージ
  - 光アイソレーター用光学材料: 珪酸塩鉱物の一種であるガーネット単結晶や偏光ガラスを指す
  - 接着剤: ファイバーアレイの組み立てや光路結合等、光通信分野で採用される光学接着剤

(出所) みずほ銀行産業調査部

【図表 22】 通信機器を構成するハードウェアにおける日本企業の例

分類・製品		日本企業の例
光トランシーバー		・ 日本電気、住友電気工業
アクティブデバイス	LN変調器・HB-CDM	・ 富士通オプティカルコンポーネンツ、住友大阪セメント
	ITLA	・ 古河電気工業
	DML・EML	・ 三菱電機、住友電気工業
	PD・APD	・ 京都セミコンダクター
	ICR	・ 富士通オプティカルコンポーネンツ
ICチップ	デジタルコヒーレントDSP	・ NTTインバーティブデバイス
コンポーネント	各種レンズ	・ エンプラス、日本電気硝子、パナソニックインダストリー
	光コネクタ	・ 日本航空電子工業、古河電気工業
	POF	・ 三菱ケミカル、東レ、旭化成、AGC
部品・材料	光通信用パッケージ	・ 京セラ、NGKエレクトロデバイス
	光アイソレーター用光学材料	・ HOYA、グラノプト
	接着剤	・ NTTアドバンステクノロジー

(出所) みずほ銀行産業調査部

## 【主要参考文献等】

## 1. 新聞・雑誌

- 「産経新聞」(2021年4月3日、ホームページ)
- 「電子デバイス産業新聞」(2024年1月11日)

## 2. 書籍・学术论文・業界紙

- 大山 篤之 福山 義隆 角七 凌太「高速取引(HFT)のスピード競争の現状とその影響(2022) 金融庁金融研究センター

## 3. ホームページ、リリース資料、官公資料等

- I-PEX 株式会社 プレスリリース  
(<https://corp.i-pex.com/ja/news/993>) (2024年4月17日閲覧)
- Intel Corporation CEO/CFO Earnings Call Comments  
([https://d1io3yog0oux5.cloudfront.net/\\_ffcfab0d15ad8b51e91fd27d52260e29/intel/db/887/8973/prepared\\_remarks/3Q23-Earnings-Script-FINAL.pdf](https://d1io3yog0oux5.cloudfront.net/_ffcfab0d15ad8b51e91fd27d52260e29/intel/db/887/8973/prepared_remarks/3Q23-Earnings-Script-FINAL.pdf)) (2024年4月17日閲覧)
- Intel Corporation プレスリリース  
(<https://www.intel.com/pressroom/archive/releases/2004/20040212tech.htm>)  
(<https://www.intel.co.jp/content/www/jp/ja/newsroom/news/intel-unveils-industry-leading-glass-substrates.html>)  
(ともに、2024年4月17日閲覧)
- IOWN Global Forum ホームページ  
(<https://iowngf.org/members/>) (2024年4月17日閲覧)
- LIGHTELLIGENCE Co., Ltd ホームページ  
(<https://www.lightelligence.ai/index.php/product/index/2.html>) (2024年4月17日閲覧)
- NTT グループ ホームページ  
([https://group.ntt.jp/magazine/blog/photonics\\_electronics\\_convergence/](https://group.ntt.jp/magazine/blog/photonics_electronics_convergence/)) (2024年4月17日閲覧)
- University of Oxford ホームページ  
(<https://www.ox.ac.uk/news/2015-09-22-light-based-memory-chip-first-ever-store-data-permanently>) (2024年4月17日閲覧)
- エヌ・ティ・ティ・アドバンステクノロジー株式会社 ホームページ  
(<https://keytech.ntt-at.co.jp/>) (2024年4月17日閲覧)
- 株式会社アルゴ ホームページ  
([https://www.argocorp.com/photonic\\_computing/lightelligence/PACE.html](https://www.argocorp.com/photonic_computing/lightelligence/PACE.html)) (2024年4月17日閲覧)
- 環境省 インパクトファイナンスの基本的考え方  
(<https://www.env.go.jp/content/900515884.pdf>) (2024年4月17日閲覧)
- 環境省 インパクトファイナンス参考資料  
(<https://www.env.go.jp/content/900515885.pdf>) (2024年4月17日閲覧)
- 金融庁 インパクト投資等に関する検討会報告書 ー社会・環境課題の解決を通じた成長と

- 持続性向上に向けて—  
(<https://www.fsa.go.jp/singi/impact/siryoku/20230630/01.pdf>) (2024年4月17日閲覧)
- クラウド Watch ホームページ  
(<https://cloud.watch.impress.co.jp/docs/news/1456204.html>) (2024年4月17日閲覧)
  - 経済産業省 ポスト5G情報通信システム基盤強化研究開発事業関連資料  
([https://www.meti.go.jp/policy/mono\\_info\\_service/joho/post5g/20240130.html](https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/joho/post5g/20240130.html)) (2024年4月17日閲覧)
  - 国立研究開発法人科学技術振興機構低炭素社会戦略センター  
「情報化社会の進展がエネルギー消費に与える影響(Vol.1)-IT機器の消費電力の現状と将来予測-」(<https://www.jst.go.jp/lcs/pdf/fy2018-pp-15.pdf>) (2024年4月17日閲覧)
  - 国立研究開発法人科学技術振興機構低炭素社会戦略センター  
「情報化社会の進展がエネルギー消費に与える影響(Vol.2)-IT機器の消費電力の現状と将来予測-」(<https://www.jst.go.jp/lcs/pdf/fy2020-pp-03.pdf>) (2024年4月17日閲覧)
  - 国立研究開発法人産業技術総合研究所 ホームページ  
([https://unit.aist.go.jp/rpd-envene/PV/ja/about\\_pv/principle/principle\\_2.html](https://unit.aist.go.jp/rpd-envene/PV/ja/about_pv/principle/principle_2.html)) (2024年4月17日閲覧)
  - 首相官邸 ホームページ  
([https://www.kantei.go.jp/jp/101\\_kishida/discourse/20230508contribution.html](https://www.kantei.go.jp/jp/101_kishida/discourse/20230508contribution.html)) (2024年4月17日閲覧)
  - 総務省「令和3年版情報通信白書」
  - 日経クロステック ホームページ  
(<https://xtech.nikkei.com/it/article/COLUMN/20060228/231239/>) (2024年4月17日閲覧)
  - 日本電信電話株式会社 ホームページ  
([https://group.ntt.jp/magazine/blog/photronics\\_electronics\\_convergence\\_pressconference/](https://group.ntt.jp/magazine/blog/photronics_electronics_convergence_pressconference/))  
(<https://journal.ntt.co.jp/article/20596>)  
(ともに、2024年4月17日閲覧)
  - 東日本電信電話株式会社 プレスリリース  
([https://www.ntt-east.co.jp/release/detail/20230302\\_01.html](https://www.ntt-east.co.jp/release/detail/20230302_01.html)) (2024年4月17日閲覧)

[アンケートに  
ご協力をお願いします](#)



Mizuho Industry Focus/247 2024 No.5

2024年4月25日発行

© 2024 株式会社みずほ銀行

本資料は情報提供のみを目的として作成されたものであり、取引の勧誘を目的としたものではありません。本資料は、弊行が信頼に足り且つ正確であると判断した情報に基づき作成されておりますが、弊行はその正確性・確実性を保証するものではありません。本資料のご利用に際しては、貴社ご自身の判断にてなされますよう、また必要な場合は、弁護士、会計士、税理士等にご相談のうえお取扱い下さいますようお願い申し上げます。本資料の一部または全部を、①複写、写真複写、あるいはその他如何なる手段において複製すること、②弊行の書面による許可なくして再配布することを禁じます。

**MIZUHO**

The logo features the word "MIZUHO" in a bold, dark blue, sans-serif font. Below the text is a red, curved underline that starts under the 'M' and ends under the 'O', arching slightly upwards.