

新しいデータセンター時代における フォトニクス製造の課題

イー・チェン

ハイパースケールのデータセンター向けの多品種大量生産には、重要なフォトニクス部品のジャストインタイム (JIT) での供給と迅速なイノベーションを実現するために、柔軟で、高速で、高精度なオートメーションが必要である。

指数的なペースで増加するインターネットトラフィックによって生成されるデータの量は膨大で、それに伴うデータ通信、ストレージ、クラウドコンピューティングによる処理ニーズに対応するには、データセンターが不可欠である。それらのデータセンターにおいて、フォトニックデバイスは重要な役割を担っており、そのことから、フォトニクスの大量生産 (HVM: High Volume Manufacturing) には重大な課題がもたらされている。

米シスコ社 (Cisco) の最近の調査によると、世界の IP トラフィックとデータセンタートラフィックの両方が、約 25% の年平均成長率 (CAGR: Compound Annual Growth Rate) で増加しているという。モノのインターネット (IoT: Internet of Things)、動画ストリーミング、3D センシング、スマートカー、仮想現実 (VR: Virtual Reality)

ity) や拡張現実 (AR: Augmented Reality) といった新しいアプリケーションが次々に登場したことで、さらなる帯域幅が必要となり、ひいては新しいデータセンターが必要となった。2020 年までには、データセンターの 50% がハイパースケール規模になると予測されている。つまり、そのアーキテクチャは、システムに対する需要の増加に応じて適切に規模を拡大できなければならないことを意味する。今後 3 年間にかけて、約 40 ものハイパースケール・データセンターが毎年設立される見込みである。

フォトニクスは、帯域幅の増加に不可欠である。帯域幅の需要を押し上げるのは、従来は電気通信 (テレコム) だったが、現在では、データセンター事業の驚異的な成長に牽引されるデータ通信 (データコム) のほうが大きな要因となっている。図 1 は、テレコムとデー

タコム用の光学トランシーバの世界売上高を示したものである。大きな転換点となるのは 2017 ~ 2019 年頃で、データコム用トランシーバの売上高がテレコムを上回るようになる。この調査では、データコムのほうが将来的にはるかに高い成長率を示すとも予測されている。

データコムの課題

データセンターの需要が新たな成長牽引要因になることで、フォトニクス業界は、従来のテレコムモデルとは全く異なる、新しいデータセンターのビジネスモデルに対応しなければならないという課題を感じている。テレコムを中心とするビジネスモデルとデータセンターを中心とするビジネスモデルの主な違いを、表にまとめた。フォトニクス製造に最大のインパクトを与える重要な要素は、大量生産であること、先行きの見通しが悪いこと、イノベーションのペースが速いこと、迅速な対応が求められること、コストが低いことである。

フォトニクス業界はこれまで、テレ

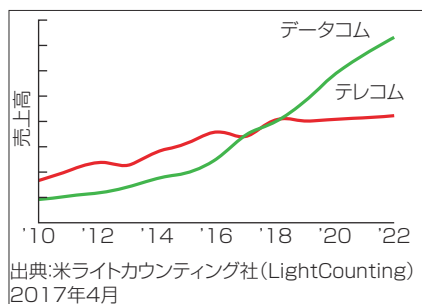


図 1 データセンターによって牽引されるデータ通信用光トランシーバの世界売上高は、テレコム用トランシーバを上回りつつある。

フォトニクス業界に対する 2 つのエンド顧客ビジネスモデルの比較

新しいクラウドベースの DC モデル	従来のテレコム中心型モデル
<ul style="list-style-type: none"> ・制御された動作環境 ・フォトニクスの導入コストが低い ・3 ~ 5 年ごとにアップグレード ・大量生産 ・先行きの見通しが悪い ・プロジェクトの立ち上がりと終息が速い ・イノベーションのペースが速い ・フォトニクスコストに非常に敏感 (1 ギガビット / 秒あたり 1 ドル未満) 	<ul style="list-style-type: none"> ・非常に過酷な動作環境 ・フォトニクスの導入コストが高い ・デバイスの寿命は 20 年以上 ・少数から中程度の生産 ・先行きの見通しが良好 ・プロジェクトの立ち上がりと終息が緩やか ・イノベーションのペースが遅い ・フォトニクスコストに対する感度は低め (現時点で最も高いのは、現場保守コスト)

コムによる影響が大きく、広大な現場に導入されるケースが多かった。動作環境が厳しいので(-40°~85°C、相対湿度[RH]は最大85%)、システムの導入コストと保守コストは高い。したがって、各テレコムのアップグレードサイクルは長く、慎重な計画に基づいて実施される。通信事業者から装置や部品の供給メーカーに至るまで、年間予測の見通しは極めて良好である。サイクルが長いので、高度で高額なフォトニクス部品を受け入れることができる。フォトニクスメーカーは、より長い時間をかけて計画を練り、顧客の要求に応えることができる。生産量は、近年のデータセンター事業ほど多くはない。

データセンターでは、制御された環境内、例えば、温度や湿度が制御された建物内(0°~55°C、RH:40~60%など)で、ネットワークの大半が稼働する。資本コスト(capex)のほとんどは、土地、建物、配線である。運用コスト(opex)の大部分は、消費電力と環境制御に投じられる。フォトニクス部品が資本コストと運用コストに占める割合は比較的小さい。しかし、クラ

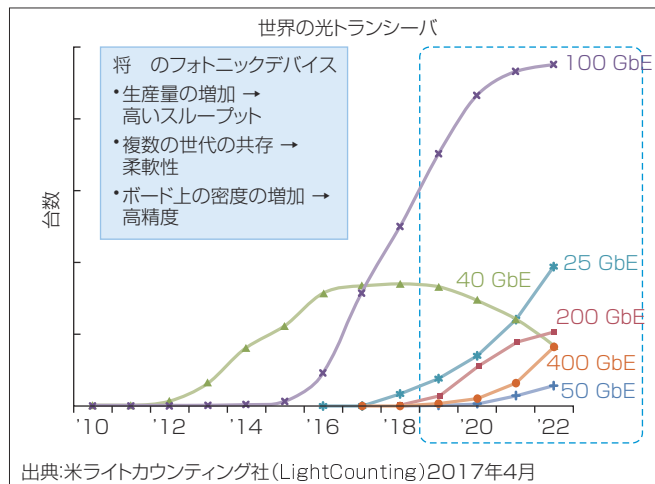


図2 イノベーションが急速なペースで進行し、複数世代の製品が共存することから、フォトニクス製造には多品種大量生産という特徴がある。

ウド顧客に帯域幅を提供して収益を生成するという点においては、重要な寄与因子である。

オフィスのような制御環境では、アップグレードのコストは低くなる。フォトニクス部品は交換コストが低く、また、全体的な資本コストと運用コストに占める割合が低いので、データセンタープロバイダーは、既存のデータセンターを3~5年のサイクルでアップグレードすることができる。また、アップグレードごとに、同じ建物でできるだけ多くの収益を上げるために、

その時点で最大限の帯域幅を提供する最先端のフォトニクス技術を採用したいと考える。

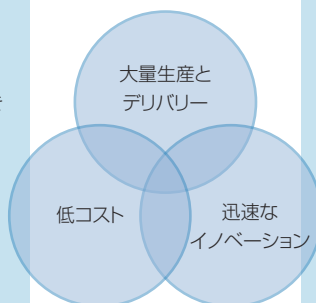
データセンタープロバイダーが、具体的なデータセンター・プロジェクトの開始時期を正確に予測するのは難しい。新しいデータセンターを建設するにはまず、土地の測量と取得が行われ、その地域の政府機関による承認も必要になるためである。したがって、フォトニクス部品の供給メーカーにとっては、先行きの見通しがつきにくい状態になる。その一方で、プロジェクトが

データセンタープロバイダーのクラウドベースのビジネスモデル

- プロジェクトベースでジャストインタイム式の調達
- 複数の供給メーカーが、最良のデリバリーと最小のコストを目指して競う

フォトニックデバイス供給メーカーの課題

- 各注文規模に対応する、十分に大規模な製造基盤が必要
- 受注時のリードタイムが短く、製造を素早く立ち上げることができない
- 受注が減少したときに、人件費を素早く削減することができない
- 複数のフォトニクス顧客からの同じプロジェクトに対して同時にキャパシティの競争が生じるので、CMモデルへの対応が難しい場合がある



フォトニックデバイス供給メーカーの対策

- 「融通の利く」キャパシティモデルの採用
 - 需要の急激な増加と減少に対応する、高品質かつ低コストの製造を行う
- R&D&Eと製造に対するさらなるオートメーションの導入
 - 手作業への依存を減らして、変動コスト(人材の雇用、トレーニング、維持)を抑える
 - 同じオートメーションプラットフォームとプロセスを使用することにより、NPIのリスクを最小限に抑える
 - 高精度なオートメーションにより、手作業では達成できないプロセスと高度な製品を実現する

図3 データセンター事業の課題と、それに対して考えられるフォトニクス製造の対策。

いったん承認されると、当然ながらデータセンタープロバイダーは、直ちに収益源を確立するために迅速に建設工事を進めようとする。一般的に2～3年の建設工事を経て、最先端のフォトニクス装置を備え、稼働したその日から最大限の収益を生成することのできる、新しいデータセンターが完成する。

最後に、急速なペースで進行するイノベーションが、多品種大量生産のデータセンター用フォトニクス製造にさらなる追い打ちをかける。10Gから40Gへのトランシーバのアップグレードが、この数年間の主な動きだった(図2)。現在は、40Gに代わって100Gが主流の技術として新たに大量に導入されている。それと同時に、200/400Gのソリューションが、試作と少数生産の段階にある。こうした異なる技術と製品のすべてを、しばらくの間共存させ、同じフォトニクス製造施設で製造する必要がある。

機会と解決策

新しいクラウドベースのデータセンタービジネスモデルは、上述のすべて

の課題とともに機会ももたらす。フォトニクス業界は、どうすればこれらの課題に対応できるだろうか。これらの課題に対処するための鍵を握るのは、オートメーションである。

先行きの見通しがつきにくいデータセンターのジャストインタイム(JIT: Just In Time)式のモデルに対し、フォトニックデバイスの供給メーカーは、高品質かつ低コストの大量生産が可能で、需要の急激な増加と減少に対応する、融通の利くキャパシティモデルを採用することが急務である(図3)。オートメーションを導入すれば、手作業による大量生産に必要な膨大なトレーニングについて心配することなく、迅速に生産量を増加させることができる。また、手作業への依存を減らすことで、特にダウンタイム時の変動コストを抑えることができる。オートメーションによって、新製品導入(NPI: New Product Introduction)のリスクも最小限に抑えられる。メーカーは、同じオートメーションプラットフォームとプロセスを、開発フェーズと製造

フェーズで共有できるためである。加えて高精度なオートメーションは、手作業では製造できない、高度な製品の製造プロセスを可能にする。

フォトニクス製造が現在直面する最大の課題は、いかにして多品種大量生産に対応するかである。製品が多品種になる一般的な理由は、NPI、つまり、異なる製品間の切り替わりである。構成が絶えず変化するので生産量を増加させることができず、量産を達成するのが難しい。

この問題を解決するには、柔軟で高速なオートメーションが必要である。従来は、オートメーション装置に柔軟性と高速性の両方を求めるのは難しかった。以下では、オートメーション業界のイノベーションにより、柔軟性を損なうことなく高速性を実現できることを示す、ケーススタディを紹介する。

ダイボンディング用の柔軟で高速なオートメーションプラットフォーム

オートメーション・ソリューションを

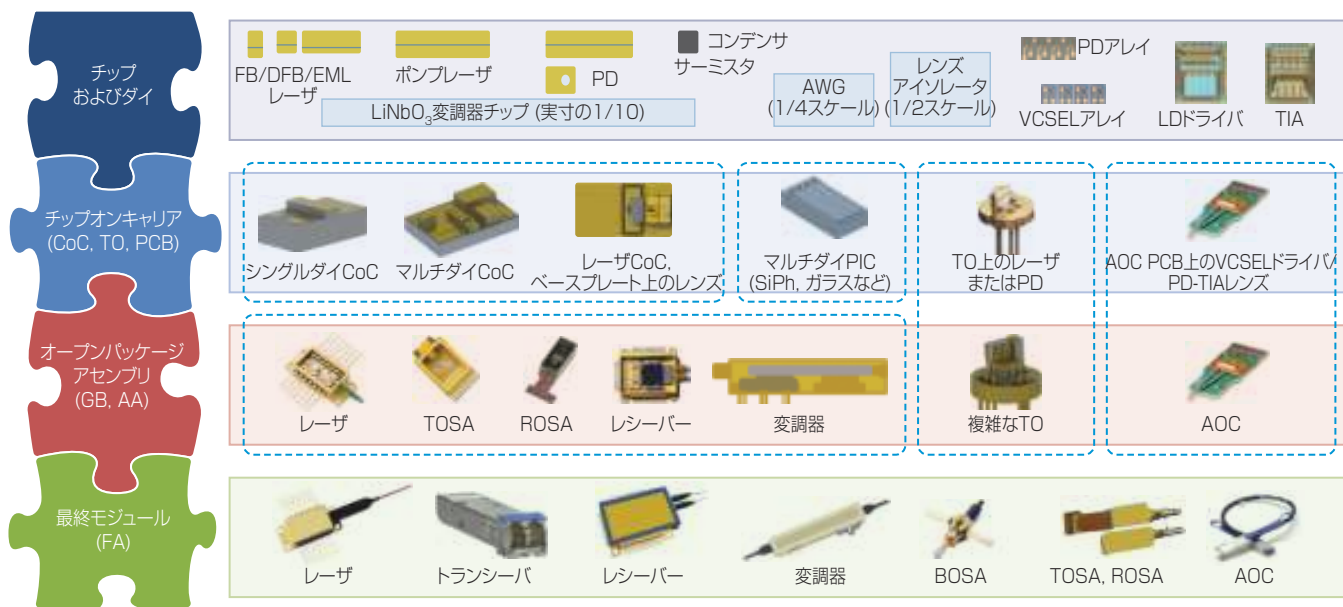


図4 フォトニクス製造におけるさまざまな部品と、オートメーションプロセスのグルーピングの例。

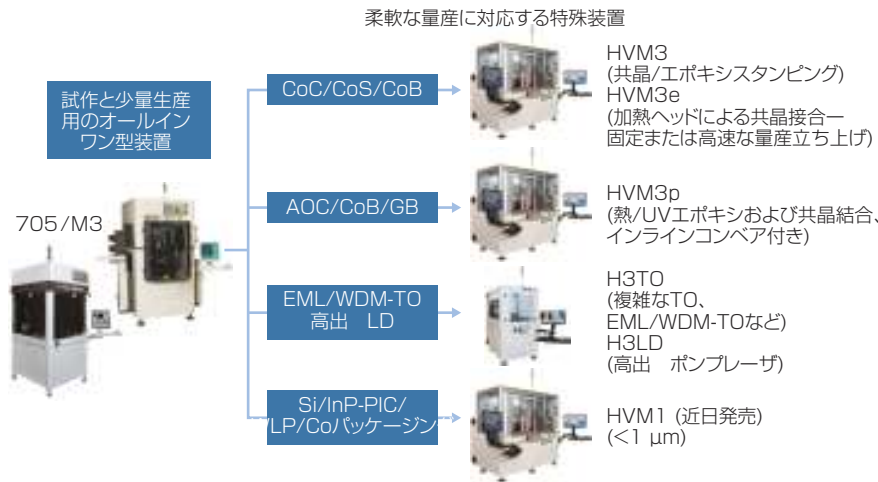


図5 品種大量生産のフォトニクス製造に対するプラットフォームアプローチの例。

理解してもらうために、ダイボンディングという主要な製造プロセスの1つを対象とした、ケーススタディを紹介する。図4は、フォトニクス製造によって一般的に製造される、さまざまな部品である。これだけ多様な部品が存在するのは、データセンターの幅広い種類の通信ネットワークに対応するために、さまざまな種類/世代の製品が使われるためである。さまざまな最終製品に対する、主要なプロセス手順は以下のとおり。

1. 高出力レーザーを搭載するトランシーバなどのゴールドボックス製品の場合、通常は、チップオンキャリア/チップオンサブマウント (CoC/CoS : Chip-on-Carrier/Submount) のボンディングを行ってから、レンズ/ミラーを取り付けるための共通ベースプレートにCoC/CoSをボンディングし、パッケージに収容する。最近では、より多くのレーザー、キャパシタンス、サーミスタなどチップやダイが、共晶接合またはエポキシ接合によって共通のキャリアに接合される傾向にある。
2. アクティブ光ケーブル (AOC :

Active Optical Cable) やオンボードオプティクス (OBO : onboard optics) などのプリント回路基板 (PCB) レベルの製品の場合、ダイはPCBに直接接合される。垂直共振器面発光レーザー (VCSEL : Vertical Cavity Surface Emitting Laser) アレイ、フォトダイオード (PD : photodiode) アレイ、レーザードライバ、トランスインピーダンスアンプ (TIA : transimpedance amplifier) など、複数のダイをPCBに接合する必要がある。最後にレンズを取り付ける作業は、従来はアクティブアライメントによって行われていたが、高速で高精度な (3 μ m) ダイボンディング装置が提供されるようになったことで、現在では、パッシブなダイ接合を採用するケースがますます増えている。

3. TO-Canパッケージ製品の場合、レーザーチップなどのダイは、90°フリップしてからTOベースまたは垂直ポストに取り付けられる。来たる5G無線に対応するために、波長分割多重通信 (WDM : Wavelength Division Multiplexing) レ

ーザや電界吸収型変調レーザー (EML : Electro-absorption Modulated Laser) が、低コストのTO-Canパッケージに集積される。これらのWDM/EML-TOは、多数のダイを接合しなければならないため、1つか2つのダイしか扱う必要のない従来のTO-Canパッケージよりも格段に複雑である。

4. シリコンフォトニクスの場合、さらに多くのプロセスがCoCからチップオンインポーサ (chip on interposer) やチップオンウエハ (CoW : Chip on Wafer) に移行している。まだ確定していない部分が多いが、将来的にはより多くの要素がウエハレベルで集積される状態に落ち着くはずである。

図5は、効率を最適化するためにどのように自動ダイボンディング装置とプロセスを組み合わせればよいかを示す例である。この図は3列からなり、左には、研究開発 (R&D) や少量から中規模生産用のオールインワン型のダイボンディング装置、中央には、図4に示した部品に対応するプロセス、右には、HVM用の柔軟で高速な特殊タイプのダイボンディング装置の例が示されている。

このアプローチが、上述のフォトニクス製造の課題にどのように対処するかを示す、3つの主要ポイントを以下に挙げる。

1. ハードウェアとソフトウェアの両方のレベルでプラットフォームを共通にすることにより、開発フェーズですでに適格性が確認されている制御やプロセスの変更をなくし、NPIのリスクを大幅に抑えることができる。R&D/NPIフェーズでは、複数の種類の製品の開発に、オールインワン型のダイボンディング

装置が使用できる。これらの自動装置は、1台で多様な種類のダイやプロセスに対応することができる。速度も十分に高速で、少量から中規模レベルの生産に対応でき、設計および製造プロセスの適格性を確認することができる。需要が増加して量産が必要になれば、製造ラインを特定のプロセスグループ別に編成することができる。

2. 多品種大量生産のフォトニクス製造には、1台で1つ以上のプロセスグループに対応し、複数のダイ、プロセス、製品を処理できる、柔軟な量産装置が必要である。超高速共晶モジュールを導入し、材料処理をダイボンディング工程から

分離したり、時間を浪費することなく集積ツールを実行時に変更したりするなど、複数レベルの並列処理を採用することにより、速度とスループットを最適化する。

3. イノベーションを迅速かつ並行して進めるには、次世代製品を念頭にHVM装置を構築する必要がある。上記の例は、3 μ mの配置精度を達成し、配置精度が5 μ mを超える現在主流のフォトニクスプロセスよりも一歩先にある。高精度なダイボンディングは、新製品に対応できるだけでなく、プロセスのできるだけ早い段階で、組み立ての誤差を抑えることにより、現行製品の製造に対するプロセス

歩留まりの向上にもつながる。

要約であるが、柔軟性、正確性、信頼性を損なうことなく24時間年中無休体制で稼働する、高速オートメーションプラットフォームが、多品種大量生産のフォトニクス製造には不可欠である。R&DとHVMで共通のプラットフォームを使用することと、将来に対応する精度を備えることも、迅速なイノベーションとNPIリスクの緩和、そして、製造歩留まりを向上させてHVMのコストを削減するために重要である。

著者紹介

イー・チェン (Yi Qian) は、米MRSIシステムズ社 (MRSI Systems) の製品管理担当副社長。e-mail: yi.qian@mrsisystems.com
URL: www.mrsisystems.com

LFWJ

光産業技術マンスリーセミナー

OITDA

Optoelectronics Industry and Technology Development Association

プログラム (12~1月)

No. / 開催日	講演テーマ / 講師
第427回 12月18日(火) 15:30-17:30	「自動運転のためのライダーと画像のフュージョンによる環境認識手法」 講師：伊東 敏夫 氏 (芝浦工業大学)
第428回 1月22日(火) 15:30-17:30	「第5次エネルギー基本計画における太陽光発電産業技術動向」 講師：田中 良 氏 (NTTファシリティーズ)

- 場所 一般財団法人光産業技術振興協会
- 定員 各60名
- 参加費 光協会賛助会員：1,500円(税込み) / 一般参加：3,000円(税込み)
大学・公的機関：無料(学生・院生含む)
※支払いは、当日受付にて現金でお願いします。
- 申込方法 オンライン申込フォーム >>> http://www.oitda.or.jp/main/monthly/monthly_postmail.html
- 申込締切 定員になり次第締め切ります。なお、締め切った場合には Web 上にその旨を掲載します。

問い合わせ先

一般財団法人光産業技術振興協会マンスリーセミナー担当 村谷・間瀬
〒112-0014 東京都文京区関口1-20-10 住友江戸川橋駅前ビル7F TEL:03-5225-6431 FAX: 03-5225-6435
E-mail: mly@oitda.or.jp URL: <http://www.oitda.or.jp/>