小型光学技術のトレンド・技術的課題・戦略的ソリューション

サンジェイ・ガンガダラ

小型光学は産業の変革をけん引する技術であるが、設計、製造、コスト面での課題克服には、先見性のあるアプローチが求められる。シミュレーション技術の活用により、効率性の向上、イノベーションの促進、競争優位性の維持に必要なツールを利用できるようになる。

消費者向け電子機器、医療、通信など、ますますさまざまな業界が小型化された光学技術を導入する中、研究開発（R&D）事業において効率性、コスト、市場投入までの時間の最適化を図りながらイノベーションを推進することは、ますますプレッシャーが高まる。小型光学技術は技術進歩を実現するものであり、拡張現実（AR）グラス、三次元（3D）センシング、高速データ通信などの用途において、中核的な役割を担うものである。しかし、このような進歩の真価を最大限に引き出すには、技術的および運用上の重大な課題への対処が必要となる。

小型光学技術を推進するトレンド

光学分野における最も顕著なトレンドとして、小型化への取り組みが挙げられる。より小型で軽量、かつ高性能なデバイスを求める消費者の需要に応えるべく、コンパクトかつ高性能な光学システムの設計が進められているのだ。課題となるのは、形状を小型化する中で、性能が損なわれないように維持することである。マイクロ光学、導波路、メタサーフェスなどは、システム設計において重要なコンポーネントとして注目されている。特に拡張現実（AR）や仮想現実（VR）など、コンポーネントの複雑性よりもサイズ・重量・消費電力（SWaP）が重視される用途において、その重要性が一層高まっている。フォトニック集積回路（PIC）は、デバイスの小型化を実現するもう1つのソリューションとして市場で注目されており、自律走行車用のライダ（LiDAR）システムがその代表例に挙げられる。

また、プラガブルオプティクスから、ニアパッケージドオプティクス（NPO）およびコパッケージドオプティクス（CPO）への移行も、もう1つの革新的なトレンドだ。この移行によって、複数のコンポーネントを単一チップ上に集積できるようになり、高速かつ低消費電力のデータ伝送が可能になる。NPOおよびCPOは、より小さなフットプリント（設置面積）でより優れた機能性を発揮し、現代のデータセンターの限界を突破し、新たな可能性を拓くものである。このようなイノベーションによって、通信技術や高性能コンピューティング技術の進歩が促進されており、費用対効果が高く、スケーラブルな設計アプローチの導入を可能にしている。

メタサーフェス（いわゆる「フラットオプティクス」）もまた、従来の光学設計パラダイムを大きく変化させる要素である。このようなナノ構造化された超薄型材料によって、光の制御性が飛躍的に高められるため、コストと性能のバランスを取りながら、製造プロセス全体を再検討できるのだ。従来型レ

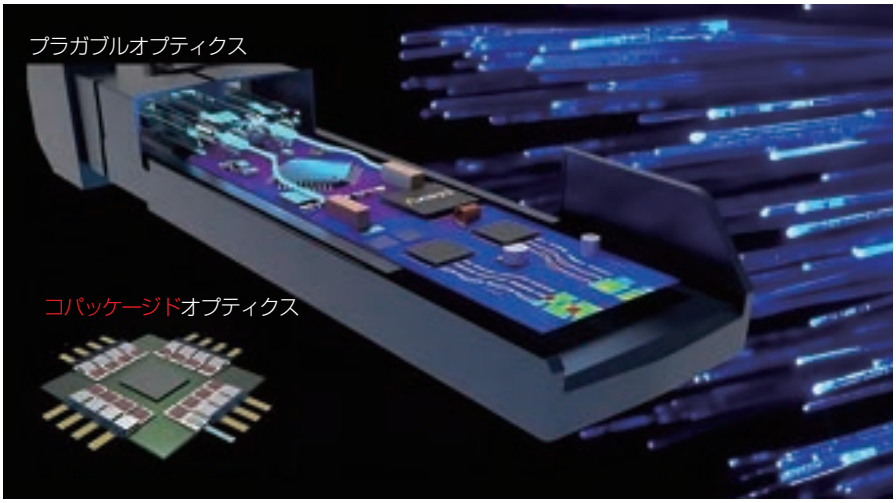

図1　プラガブルオプティクスとコパッケージドオプティクスの比較

ンズとは異なり、メタサーフェスは光の操作において高度にカスタマイズ可能な特性を有しているため、イメージング、センシング、光コンピューティングといった分野に新たな可能性が拓かれる。

人工知能（AI）もまた、光学システムの設計・開発を大きく変化させる要素だ。AIを活用することで、革新的なシステムアーキテクチュアをより効率的に構築できるようになり、各用途の要件に応じてアーキテクチュアをより的確に最適化できるようになっている。このような進展によって、性能と製造可能性の基準を満たす、さらに迅速かつ効率的な開発プロセスが実現されつつある。

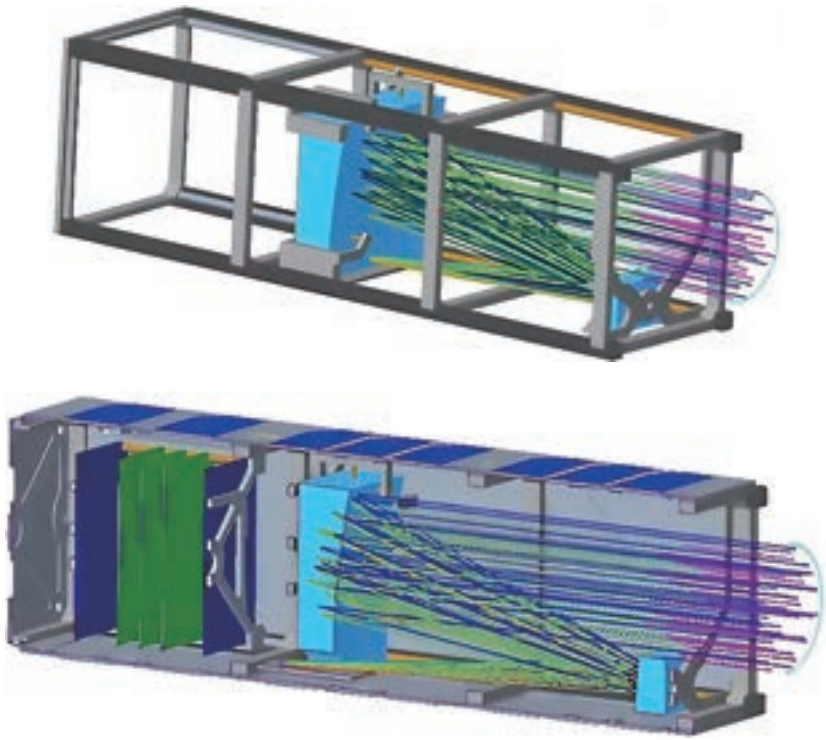

図2　3Uキューブサット用光機械設計の完成例

業界の課題

小型光学技術には将来性がある一方で、数多くの課題も存在する。中でも設計の複雑化は、特に差し迫った懸念事項である。光学コンポーネントの小型化に伴い、システムを正確に動作させ、損失を最小限に抑えることがますます困難になっている。

ナノスケールからシステムレベルに至るまでの相互作用を正確にモデリングする必要があり、光の伝播を予測し、あらゆるスケールで性能を最適化するには、高度なツールの活用が不可欠である。

このような設計のプロトタイプ（試作）段階から量産体制へのスケールアップもまた、重要な課題だ。革新的な光学設計がすべて容易に大量生産へ移行できるわけではないため、製造可能性は重要な考慮事項であり続ける。また、小型化と性能の繊細なバランスを取る必要があり、効率や画像品質といった性能指標を維持しながら、光学機械的迷光や熱効果などの問題を軽減しなければならない。コストと時間の制約により、プロセスはさらに複雑化している。ナノスケールでのプロトタイプや実験検証には、多大なコストと時間を要するため、製品開発プロセスにおけるリスクが増大している。物理的なプロトタイプに着手する前にコストのかかるミスを防止するためにも、迅速な設計反復を可能にする仮想検証ツールがこれまで以上に必要とされている。

シミュレーションソリューション

このような課題に対処するには、先進的なマルチスケール・マルチフィジクスシミュレーションを中心とした統合的アプローチを採用する必要がある。光学的、熱的、機械的要因の相互作用を包括的に把握することにより、問題の発生を予防することが可能になる。バーチャルプロトタイピングを活用することで、迅速な反復設計が可能になり、物理的な検証への依存を低減しながら、性能と製造可能性の要件を満たす設計が可能になる。費用対効果の高いバーチャルプロトタイピングは、開発リスクを最小限に抑える上で重要な役割を果たす。AI搭載の最適化ツールもまた、この戦略には不可欠だ。反復設計プロセスを自動化することで、設計効率が向上するため、より広範な設計空間を検討し、最適なソリューションを迅速に導き出せるようになる。このようなツールによって、製造可能性も向上し、高性能であるだけでなく、量産にも適した設計が実現できる。費用対効果の高いバーチャルプロトタイピングとAI搭載の最適化ツールを組み合わせると、高精度なソフトウエアモデリングが可能になり、物理的プロトタイプを過剰に必要とせずに、光学システムを精緻化できる。これにより、イノベーションサイクルを加速させ、市場投入時間を短縮できる。

マルチスケール・マルチフィジックス

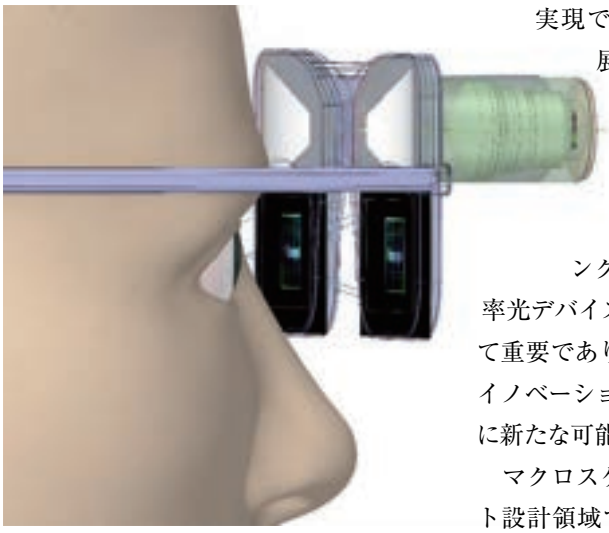

図3　最適化されたアクロマティック投影レンズと入射用導波路グレーティングを備えた、拡張型3チャネル導波路サブシステムの一例

シミュレーションツールは、小型光学技術を用いたシステム設計における課題を解決する手段となる。最先端のモデリング機能は、開発サイクルを加速させ、リスクを軽減し、コストを削減できる。米アンシス社光学部門（Ansys Optics）のマルチフィジックスシミュレーション機能を用いると、電磁的・熱的・機械的要因を考慮した実環境条件下において、光学システムの評価が可能になる。このような包括的なアプローチによって、光学システムを現場で最適に機能させ、導入後の故障リスクも最小限に抑えられる。

ナノスケールの領域では、アンシス社はLumericalをフォトニックコンポーネントのモデリングツールとして提供している。対象は、光導波路、イメージセンサ、発光ダイオード（LED）、垂直共振器型面発光レーザ（VCSEL）、回折格子、メタサーフェスなど多岐にわたる。また、デバイスレベルでのPICのモデリングにも対応しており、電気-光学ワークフローおよび電子-フォトニック設計自動化（EPDA）ワークフローの堅牢なコシミュレーションも実現できる。量子光学分野の進展に対応し、Lumericalは、量子効果を高精度にモデリングできるツール機能を備えている。この機能は、量子コンピューティング、セキュア通信、超高効率光デバイスなどの新興技術には極めて重要であり、研究開発において光学イノベーションの限界を突破し、確実に新たな可能性を拓くものである。

マクロスケールの光学コンポーネント設計領域では、幾何光学（必要に応じて波動光学を併用）を用いてコンポーネントの性能を高精度に特性評価する際に、アンシス社のZemaxが重要な役割を担う。Zemax OpticStudioは、携帯電話カメラからキューブサット（CubeSat）光学システム開発、ウェアラブルセンサ、光ファイバチップカップリングユニットまで、幅広い用途において、小型かつ高精度な光学システムの設計・解析・最適化を支援する。OpticStudioは、製造性を考慮した設計（DFM）に重点を置き、製造や組立工程で生じる誤差がシステム性能に及ぼす影響を評価できる各種ツール機能を備えている。また、機械設計ワークフローとシームレスに統合でき、光学コンポーネントを限られたスペース内でも性能と製造可能性を維持し、確実に組み込めるよう支援する。

システムレベルの領域では、アンシス社のSpeosが優れたシミュレーション機能を備えており、小型光学技術を活用したデバイスの高精度な設計可視化および検証を支援する。Speosは、高精度照明・イルミネーションシステム（自動車用ヘッドランプや携帯電話ディスプレイなど）の設計・最適化ツール機能に加え、導波路やマイクロレンズなどの小型光学デバイスをシステムレベルモデルに統合できる機能を備えており、AR/VRヘッドセットから自動車用ヘッドアップディスプレイ（HUD）まで、幅広い用途に対応している。このような統合によって、システム構築に使用されるフォトニックコンポーネントおよび光学コンポーネントの性能を、それらが実際に配置される実物大の3D環境において評価できるようになる。また、システム性能を評価する際に、人間の知覚特性や視力の影響を考慮することも可能になる。例えば、ARグラスを通して見る実際のユーザー体験を、プロトタイプとして作成することが可能になる。

アンシス社のシミュレーション機能は、既存の研究開発ワークフローとシームレスに統合でき、設計からシミュレーション、製造に至るまで、一貫したプロセスを実現する。この統合によって、設計の反復サイクルを短縮し、製品イノベーションを加速できるため、企業は最先端の光学技術をより効率的に市場投入できるようになる。

研究開発における競争優位性

光学分野の未来は、先進的なツールと技術の戦略的活用にかかっている。光学開発の最先端に身を置くためには、業界リーダーは、デジタルプロトタイピング、AIによる最適化、統合シミュレーションワークフローの導入が不可欠である。アンシス社は、小型光学技術の複雑性を的確に捉え、競争が激化する市場環境において、常に一歩先を行くための開発体制を支援している。

著者紹介
サンジェイ・ガンガダラ（Sanjay Gangadhara）はアンシス社光学部門（Ansys Optics）の光学シニアプログラムディレクター。
URL：www.ansys.com/products/optics

LFWJ