

光学設計の未来について

長谷川雅宣*・池田 賢元**・森本 智英***

1. 光学設計シミュレーターの未来について

長谷川 本日は光学設計の未来について、Zemax Japan の池田賢元さんと三菱電機の森本智英さんに語っていただくと思います。池田さんは御社では光学設計シミュレーターの開発を行っているそうですが、池田さんが考える光学設計の未来とはどのようなものですか。

池田 私が考える未来像は、光学設計の進化がもたらす光技術全体の発展です。具体的には、AI の発展によって誰もが高い水準の光学設計ができ、技術者がより広く能力を発揮し、技術が発展する未来です。

長谷川 現在まで光学設計はどのように発展してきたか教えてください。

池田 光学設計の歴史を語るには、写真レンズの歴史を語らねばなりません。100 年以上の歴史がある光学設計は当初は手計算で行っており、収差論からレンズ形状を決め、試作品の光学評価を繰り返すのが常でした^{1,2)}。その後、コンピューターにより光線追跡の計算が飛躍的に速くなりました。最初は収差の計算、そのうち収差図や解像度を表す MTF (modulation transfer function) が計算できるようになり、現代に近い最適化アルゴリズムによる自動設計が主流になりました³⁾。

現代ではさまざまな産業機器が光を必要としていることから、光学設計は多様化している技術と考えます。しかし、高いレベルの光学設計はいまだ職人の世界のように個々人の差が大きく、人材が育つまでに時間がかかり、やむなく外部に光学設計を委託する場合があります。

長谷川 光学設計にはまだまだ発展の余地はあるということですか。

池田 30 年後は徐々に光学設計が変わっていくと考えます。今や光学設計は写真レンズだけではなく、用途も照明光学系やレーザー光学系やメタマテリアルレンズなどがあり、波長は紫外線からテラヘルツ波にまで至りま

す。光学設計と機械設計をシームレスに進める統合や、光学設計に熱データや構造データ (FEA: 有限要素解析) を加える統合や、光学設計と CMOS センサー構造の回折を統合した画像シミュレーションなどが考えられます。光の屈折以外にさまざまな物理現象が融合されていくと想像します。

また、クラウドコンピューティングと AI 技術により、過去の光学設計のデータベースにアクセスしながらの光学設計が可能になります。仕様を入力するだけで適切なレンズ形状が出来上がる技術です。囲碁や将棋のように、光学設計もコンピューターが人間を超えると考えます。

そのときには光学設計者が必要なくなるのか、と問われれば答えはノーです。ディープラーニングの系統の AI 技術は最善手を教えてくれますが、「なぜ」その解に至ったかを解析してくれないのです。例えば、設計仕様を入力して幾千幾万ものカテゴリ化された設計結果から、最も適した設計結果を選ぶとか、結果をアルゴリズムにフィードバックし、AI を教育することも考えられます。

光学設計と光技術の知識をもった人は、光学仕様の取り決めから、最適解の解析、そして製造の支援まで、光学製品が世に送り出される上流から下流の道標のために必要です。ますます多様化してゆく光技術では、仮想的な試作 (バーチャルプロトタイピング) によって複雑な光学製品をシミュレーションし、製造過程の明確化と効率化が図れます。

長谷川 30 年後の光技術の未来は明るいでしょうか。

池田 かつて、光線追跡をコンピューターが高速処理してくれることで、私のような計算に強くない人間でも光学設計を生業にできました。30 年後の光学設計は AI によって最適化解を計算する時間が標準化され、さまざまな技術の統合により、人間にしか判断できないことに能力を費やす仕事となります。光学設計者の時間が解放され、より広く深く光学系に携わることで光技術全体が発展してほしいです。

*キヤノン株式会社 E-mail: hasegawa.masanobu@mail.canon

**Zemax Japan 株式会社

***三菱電機株式会社

2. レンズ設計の未来について

長谷川 森本さんは御社で照明系や計測技術の開発に携わられているようですが、森本さんが考える光学設計の未来とはどのようなものですか。

森本 私が考える未来像はメタマテリアルの一般化による光技術のさらなる発展です。メタマテリアルは波長より小さな人工構造物を三次元的に並べたもので、巨視的には有効屈折率をもつ媒質としてみなすことができます。メタマテリアルはおもに電波・マイクロ波などの波長の長い領域で実用化研究がなされています。また、近年ではメタマテリアルを二次元上に配列したメタサーフェスの分野が開拓されており、三次元的なメタマテリアルに比べて微細加工が容易なことから、より波長の短い可視光や近赤外領域での実用化研究も進められています^{4,5)}。これからの光学設計は、メタマテリアルやメタサーフェスを取り入れられ、さまざまな光学デバイスに適用されていくと思います。

長谷川 メタマテリアルを使うことでどういった利点がありますか。

森本 一般的にレンズに用いられる材料と違い、メタマテリアルは比誘電率に加えて比透磁率も制御できるため、それぞれの平方根の掛け算で表される屈折率はさまざまな値をとることが可能です。これにより、例えば複数枚のレンズを用いて構成された複雑な光学系の機能を単一のメタマテリアルにもたせることなどが可能となります。レンズ群に比べ小型で軽量であることから、ドローンやスマートフォンなどへの応用が期待できます。また、電気信号によってズームやビームステアリング可能なメタマテリアルも報告されており、メカレス化にも期待がもてます。そのほかにも、透明マントや回折限界を超えて集光するパーフェクトレンズなど、これまでにならぬデバイスの実現も期待できます^{4,5)}。

長谷川 これまでのレンズがすべて置き換わると思えますか。

森本 いえ、そうは思いません。先に池田さんが話されているように、これまでのレンズには長い歴史、技術の蓄積があり、その信頼度はメタマテリアルより高いと思います。それぞれが適材適所に組み込まれたハイブリッドな光技術になっていくと思います。

長谷川 メタマテリアルの台頭により光学設計はどのように変わっていきますか。

森本 一般的なレンズ設計ですと、膨大な過去のデータの中から目標仕様に近い設計データを選定し、最適化していきます。一方、メタマテリアルの設計では、目標となる機能を備えた新たな構造を発案し、最適化しなければならないため、参入障壁が非常に高いと思われ⁵⁾。しかし、30年後にはさまざまなメタマテリアルに関して構造データが蓄積されているでしょうから、通常のレンズと同じような設計が可能となっているのでしょうか。池田さんが述べられたように、アルゴリズムやAIの発展によって、仕様を入力するだけで適切なメタマテリアルが設計可能になれば、さらに理想的だと思います。

長谷川 メタマテリアルの出現により、光設計の可能性がより広がっていると思います。一般化されることで、そのユニークな特性を生かした新しい光技術が発展していったらいいですね。

文 献

- 1) M. Berek: *Grundlagen Der Praktischen Optik: Analyse Und Synthese Optischer Systeme* (De Gruyter, Berlin, 1970).
- 2) H. D. Taylor: *Trans. Opt. Soc.*, **24** (1923) 143-167.
- 3) 高野栄一: レンズデザインガイド (写真工業出版社, 1993).
- 4) N. Yu and F. Capasso: *Nat. Mater.*, **13** (2014) 139-150.
- 5) 高原淳一, 岩長祐伸, 長崎裕介, 田中拓男, 佐野栄一, 松井龍之介, 岡本敏弘, 納谷昌之, 金森義明, 岩見健太郎, 玉山泰宏, 堀 俊和, 宮崎英樹, 久保若奈: メタマテリアル, メタサーフェスの設計・作製と応用技術 (R&D 支援センター, 2020).