焦　点

これからの光学設計について

株式会社タイコ　代表取締役社長
牛山善太
USHIYAMA, Zenta
（当協会 「レンズ設計法」講座 講師）

私は光学設計（レンズ設計）を仕事としています。本一般社団法人日本オプトメカトロニクス協会主催のレンズ設計法の講師もさせていただいても居りますので，この場をお借りして，近年の光学設計についての総論的なトピックスを書かせて頂きたいと思います。

Ⅰ

本誌をご覧になっておられる方々の中には光学設計（あるいはレンズ設計，私はどうしてもレンズ設計という呼び名に憧憬が有りますが）と聞けば，それは何か直ぐにご理解いただける方も多いかと思います。まさにカメラ，測定器などのレンズとかミラーを設計する仕事で，それを上手く遂行するためには，光学系全体の配置を考え，その系の収差の補正を行い，解像性能を向上させると言う技能がまず必要とされます。実際には，そうした具体的処理能力に加えて光学設計者には，レンズ設計作業の裏に潜む光学理論を捉え，解釈する力が重要になります。本人が意識するか否かに関わらず，無論伝統が肩代わりしている面もありますが，光学設計・評価に用いられる光学理論の妥当性，或いは必要とされる精度は，物作りも含めて，その後の光学系全体（或いは装置全体）のあり方も場合によっては定めるものです。用途が限定された狭い範囲のレンズを設計しているグループにおいてでさえ，物理理論を背景として，率先して新しい設計手法，或いは光学的要素を取り込んでいかなくてはなりません。ここら辺が起点としてのレンズ設計の特殊性かと思います。（そう考えますと，もしかするとレンズが無くなる様な時代が来ても[1]，我々レンズ設計者の仕事は残るかもしれません[2]。その時は正に“光学設計”と呼ぶべきですが。）

勿論，現実のレンズを理想光学系に近づけるために不可避な，ポテンシャルの高い基本構造の構築作業，そして収差補正作業そのものは，厳しいもので（試行錯誤性も強く）そのための個人的な経験も今の所，どうしてもある程度必要であり，その作業そのものに特殊性がある事は確かです。そして，より性能の高い設計値が起点としてのレンズ設計には求められます。さりとて，この技芸が，誤まった評価理論体系の下で行われるとすれば，無意味であり，この言わば職人的なところと，理論的なところで，両輪としての光学設計というシステムができていると考えられます。

個人的なレベルで考えてみますと，このバランスの度合，そして背景理論の多様性（結像理論に加え照明理論，画像処理，多層膜理論，発色理論，機構設計的要素等，近年特に多様になっています。）によって設計者のスタイルにバリエーションが生じて，何れにしても優れた設計者は，この両面において自分の世界を持っている方々かとも思われます。

Ⅱ

収差をコンピュータが半自動的に補正する最適化が，パーソナルコンピュータ（以下，PC）でも軽々と動くという実情が光学設計を非常に身近なものにしています。流石に素人が直ぐに手を出せるとい

う程，イージーではありませんが，覚悟を決めれば，簡単に光学設計の道に入って行けます。そして，ここで重要となるのは，既述の通り物理的な光学理論の背景を把握する事です。結局，PC の最適化でレンズとして成立するものをなんとか設計出来ても，その背後の成り立ち，正当性が分からないと「あなたはもうレンズ設計，出来てますよ。」と言われても，当然釈然としない気持ちになります。どのような理論的な裏ずけによりこのレンズ設計が正しいと言えるのか？という問いに対する答えが必要です。ただ，適切な知識をある程度積み上げ，考えて行けば，優れた最適化機能が個人レベルの PC 上で十二分に動かすことが出来るという事実は(勿論,エクスパートにも大きなメリットを齎します。)設計のレベル，そしてその裾野を大いに高め，広めることにも繋がります。市販の光学設計ソフトは入手しやすく，世界的にもこうした見方が出来るので，設計レベルの世界的な均質化はかなり明確な傾向かと思われます。

しかし人間というものは機械で何か可能となると，さらにその先を目指しますので設計者個人の仕事量の膨大さは意外と変わらない，ということにもなります。そしてもしかすると，日本の高いレベルの技術者を比較的低賃金で動かす事ができたという戦後からのメリットも光学設計においてでさえも失われてきているのかもしれません。

Ⅲ

そして三つ目に，これからの実現可能な競争力のある光学設計環境について述べさせていただきたく思います。設計レベルの均質化が進んでいると申しましても，ハイスペックのレンズは未だに，誰にでも簡単に設計できるわけではなく，場合によっては物理的裏付けも高度で，経験を積んだ専門的な光学設計者の優位性はまだまだ健在だとは思われます。しかしこれから特に考えねばならないのは，設計ソフトの能力がますます設計力に非常に大きな weight を占めてくると言うことです。上手い人が設計すれば，どのソフトでも競争力のあるレンズを作るという考え方は，ある意味，的を得ていますが，光学設計ソフトの大規模な発展を留まらせている一因になっている場合もあり得ます。それは過去の考え方かもしれません。いざとなれば外国のものを使えば良い，と言う発想にもなります。

最適化アルゴリズムそのものの向上は,常に目指され,またそれについても研究もされていますが，これはまた独創的な才能，解決法が待たれる別の問題として，ここでは，単純に計算能力が上がり，計算が早くなり，大量のデータを処理できるようになっている，と言う誰でも均等にその御利益にあずかれる，観点からのみ考えてみます。

計算能力が上がり所謂 AI 的処理が可能になり，ソフトが良くなれば，それだけで高度な光学設計が出来上がってしまう，と言う楽観的な考えは，今のところ持ちにくいかも知れません。しかし計算能力が向上するだけで，最適化能力そのものが向上する面も大いにあるでしょう。最適化機能をそれこそ最適に動かすためには色々な評価能力も向上させる事も必要であるからです。また，計算速度を向上させ，物理的に精度の高い評価を可能とする，あるいは最適化の，幾千，幾万にも及ぶ多くの計算結果を参照できる事[3,4]，それらを統計的に捉えられることは，さらなる経験値をエクスパートにも齎してくれるでしょう。

こうした希望はコンピュータが日進月歩する中で,以前からあまり変わらぬものではありましょう。しかし実用的には新しいパラダイムに達しているような気がいたします。PCによるクラウドコンピューティング（ネット上のマルチコアを用い，大量の計算を行う事が比較的安価に可能になっています）により，マルチコートを施した，ズームレンズに一億本の光線による，偏光を考慮した光線追跡を，576 コアを用いて 30.4 秒で処理し，しかも計算コストは 40 円程度しかかからないと言う計算結果の報告もすでになされています[8]。これは単なる一例に過ぎませんが，光学設計ソフトの進むべき平等な一つの方向を如実に示すもので，新しい光学設計に対するインスピレーションがそこには生まれます。実験データを収集する様に，多くのシミュレーション結果が，計算手法を色々と試して得られれば，有益な場合も多いでしょう。また，こうしたパワフルな光学計算的ベースがあり，本格的なディープラーニング等の光学設計への応用研究も行いやすくなるのでは無いかとも思われます。

以上，簡単ではありますが，光学設計の特質，国際的な能力の均質化，そして鍵となる設計環境の進化について述べさせて頂きました。こうした，国際的な進化が我が国でもスムーズに進み得るとすれば，その背景には，Ⅰで申し上げた，光学設計者の物作りのための設計技術と理論的なもののバランスシステムの伝統があるのかとも思います。また，我々は，ソフトの進化を支える，光学設計計算の原理，計算手法を，幸いにも本協会主催の講座を含めて，参考文献 3）から 7）等からも勉強することができます（勿論，光学理論，光学設計のための名著も数多く存在します)。長きにわたりこうした技術を伝え，そして伝え続けておられる諸先生方にこの場をお借りして，尊敬の，そして感謝の意を表させていただきたいと存じます。

参考文献

1) 島野健（日立製作所）：“レンズレスカメラについて”，光技術コンタクト，55, No.9 (2017)
2) 小川良太：“光学系の画像形成と評価”，カラー画像の評価とチャートⅡ（日本オプトメカトロニクス協会，1992）p.122
3) 一色真幸：“エスケープ関数を用いたグローバル解の探索”，光技術コンタクト，34, No.2 (1995)
4) 一色真幸：“レンズ設計におけるグローバル最適化”，光学，27（1998）492-497
5) 草川　徹：レンズ設計者のための波面光学（東海大学出版会，東京，1976）
6) 草川　徹：レンズ光学（東海大学出版会，東京，1988）
7) 松居吉哉：レンズ設計法（共立出版，東京，1972）
8) Hiroki Ono (NIKON) et al., “Massively Parallel Fast Ray Tracing in Cloud Computing Environment”, ODF 2018, HIROSHIMA