焦　点

光学設計に携わっての雑感

元オリンパス株式会社
髙頭英泰　TAKATO, Hideyasu
（光応用技術研修会 講師）

オリンパスに入社以来，30 余年にわたって光学設計・光学系の開発業務に携わってきました。途中で部署が異動になって担当の役割が変わることもなく，またキャリアチェンジなどで業務内容が変わることなく光学系の開発業務を続けてくることができ，自分の専門性を高められたことは幸運だったと思っています。おかげで，専門は？と聞かれれば，“光学技術者”と答えることができましたし，光応用技術研修会の講師をやらせていただけています。

光学設計者は，全国に 5000~7000 人程度といわれています。光学機器のメカ設計，組み立ての従事者はそれぞれ数万人規模のようなので光学設計者が希少なことがよく分かります。それ故なのか，世の中一般的には，「光学設計ってどうやって行うの？ 設計だから CAD 使うの？？」程度の認識かと思われます。

実際の設計は，光学系のパラメータであるレンズの曲率，厚み，レンズ間隔，硝材を変数として，光学系の仕様，大きさ，性能などを製品の要求仕様に沿うように各パラメータを最適化する作業です。

最適化はスネルの法則に従って膨大な量の光線追跡の計算が必要なため，光学設計は計算機となる光学設計ソフトが必須になります。計算機のない時代は手計算で行っていたため途方もない作業だったわけですが，光学設計ソフトを動かす計算機の進歩，大型コンピュータから PC へ処理能力の進歩により複雑な光学系の設計も容易に(とは言えないかもしれませんが…)行えるようになっています。

設計は光学要素のパラメータを変数として，要求仕様である光学系の仕様や収差などの各評価項目の数値を満たす解を多元連立方程式で探すことになります。

変数と要求仕様の評価項目の数が同じであれば，解は正確に求まるものの，変数も要求仕様の数も多くなると解が何通りにもなって正確に求めることができなくなります。設計者は，まず光学系が満たすべき各々の要求仕様に対し，目標値とそれに対する閾値を設定，重み付けをすることで理想の解にどれだけ近いかを示すメリット関数を計算させ，そのメリット関数の変化を見ながら要求仕様の各項目に対する閾値と重み付けを再設定しながら進めます。それゆえ，光学設計は試行錯誤の賜物であるといえます。

では，収差をはじめとする要求仕様の各評価項目を目標値に近づけるため，どの変数をどれくらい動かせばよいのか？やみくもに試行錯誤を続けることなく，最適な設計解を得るにはどうすればよいのか？

その設計の指針を与えてくれるのが JOEM の講座にもある“収差論”に代表される収差係数と，各変数の評価項目に対する感度です。

収差係数は光学設計には非常に便利な道具で，光学系の収差発生状況を各光学要素ごとに計算することができます。着目する収差が光学要素のどこでどの程度発生しているのか，その発生状況が分かります。

わたしも30年ほど前に荒木先生の収差論の講義を受講しました。難しい数式がたくさん出てきて宿題もあり，ついていくのが精いっぱいでしたが業務で設計を進めていくうえで参考になることをたくさん学べました。講義中の「これくらいは分かっているよね？」と無言で問われているような先生の眼差しが印象に残っています。

収差論を学んでも設計時の試行錯誤がなくなることはありませんが…，少なからず効率的に光学設計を進めていくことが可能になり，設計解の見極めも多少なりとも容易になってきます。

もうひとつ設計に欠かせないのが，各変数に対する各評価項目の感度です。ある収差を小さくしたいとき，どの変数を動かすのが効果的かは感度を見ると分かります。そのため，収差係数から各要素の収差発生状況を確認し，その収差に対する各変数の感度を見ることで，どの光学要素をどう動かすとうまく補正できるか，といった指針は得られます。

ひとつの変数を動かしたとき，ある収差は補正方向に動いても，他の収差も補正の方向に動くとは限らず逆方向に動くことは多々あり，他の光学要素との組み合わせで補正していく必要があります。1枚のレンズであれば，変数となるパラメータは曲率が2面，厚み，不連続のため変数としては自由度の少ない硝材を入れると4つですが，枚数が増えるとその数はとても多くなってきます。少ない数枚の光学系で評価項目も少なければ，どの変数を動かせばそれぞれの要求仕様がどうなるか，収差がどう変化するのかを見通して設計することができますが枚数が多くなるとなかなか手に負えなくなってきます。

そのため，レンズ枚数が増え評価項目が多くなると解にたどり着くのか否か，見通しを立てるのがなかなか難しく･･･自動設計に頼らざるを得ないのですが，どの変数を動かすと評価項目がどう変化するかは予測しながら設計を進めることはできるようになります。

このように光学系の状況を把握しながら設計を進め，どこで設計を終わらせるかが設計者の経験とセンスが問われるところです。経験を積むことで徐々に光学系を見極める目も養われ，最適解への到達も早くなってくるのかなと思います。

また，設計にあたってスタートデータの選択がとても重要になってきます。

どのような光学系でも設計を始めるにあたって，スタートとなる設計データを選択して進めます。ごく簡単な光学系だと平行平板から始めることも可能かもしれませんが，多くの場合は要求仕様に応じて，それに近しい光学系を過去製品や特許公報の実施例の中から探して始めます。

要求仕様は多岐にわたるため，選択した光学系によって結果が異なってくることがよくあります。どのような光学系だと要求仕様を満たしやすいのか，収差補正がしやすいのか，などなど，その見極めも必要で，思うように設計が進まない場合はスタートデータを変えて設計し直すなど，試行錯誤も大切になります。

光学設計はこれまでコンピュータの飛躍的な進歩により発展してきました。今後，いろいろな分野の産業において人が行ってきた様々な業務がAIにとってかわられると言われています。光学設計もこれまで先人たちが培ってきた膨大な設計データをAIに学習させ，要求仕様をinputさえすれば目的にかなった光学系を提案してくれるようになるかもしれません。そうなると光学設計者は必要なくなってしまいますね…。そうならないよう光学設計者の経験や知恵はAIを凌げることを期待したいと思います。

ここまで光学設計の話をしてきましたが，学生の頃，光学設計をやるぞ！などとはつゆにも思っていなかったにもかかわらず，気が付けば光学設計者になっていて自分の専門となったのは，なんだかとても不思議な感覚があります。

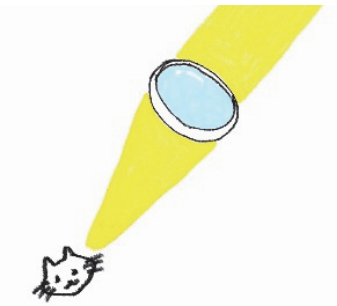
単純に物理系で入社したことで光学系の開発の部署に配属になったことが，光学設計をすることになった直接の理由ではありますが，高校の理科で物理を選択し物理系で大学進学したことと，その後，大学院進学の際に光学系を扱う研究室に進んだことが大きなきっかけとなりました。

高校で物理を選択したのは，他の科目に比べて覚えることが少なかったこと，世の中の事象を数式で表せるとこが興味深かったことが理由でした。それと先生の授業とは関係ない雑談の話で物理って面白いと思ったこともありました。高校生だった80年代当時は70年代にオイルショックがあってか，その頃は石油が枯渇した後のエネルギー問題をどうするのか？といった話が社会的な課題として取り上げられていましたが，それに対して，いまの再生可能エネルギーの話も含め，可能性のあるエネルギー確保手段をひとつずつ取り上げ，そのどれもが代替えにはならないとコメントしていたのがとても印象に残っていまして，CO2 削減に血眼になっている現在にも通じる話も多々あったのかなと思います。

大学院時代の研究テーマはレーザー光を使った光物性でした。物質に光を照射してその応答を観測するのですが，計測系にレンズを多用し光学系を扱っていたことで“光学”の付いた会社になじみを感じたのも就職の決め手のひとつとなりました。

計測系では主に単レンズを使っていましたが一眼レフの交換レンズも使っていました。微弱な応答の光を観測機器に集光して観測するのですが，結像性能が良いため集光スポットが単レンズよりの明らかに小さく，光量のロスが少なくなります。カメラのレンズは複数枚のレンズ構成なので収差が少ないからだと指導教官に教えてもらい，これほど高性能のレンズでもリーズナブルな値段で購入できるのは大量生産の賜物だと聞かされ感心していました。

いまこうして振り返えると，意図したわけではなかったですが光学設計を行うきっかけとなる選択が節目，節目にあり，そのおかげで最先端の日本の光学技術に触れることができたと感じています。

最後に，今回の焦点のコラムの執筆の機会を与えてもらい関係者の皆様に感謝申し上げます。光学設計を通じて JOEM にお世話になっていますので，その光学設計についての経験を自分の振り返りとともに雑談するような感覚で綴らせてもらいました。

とりとめのない話に終始してしまいましたが…最後まで読んでいただきありがとうございました。