



レンズ設計と製造の狭間にて

オプトソリューション 代表
松岡和雄 MATSUOKA, Kazuo
(当協会 レンズ設計法技術講座 講師)

もう何十年も前の私が学生時代のエピソードとなります。当時名人と呼ばれたある著名なカメラレンズ設計者に「先生は、カメラは何をお使いでしょうか？」とお伺いしたところ「オートのコンパクトカメラ」とお答えになりました。当時私がメインで使用していた一眼レフカメラの交換レンズ開発の中心の方でしたのでそれなりのカメラをお使いになっていると思っていたところ驚きの答えでした。理由は、「どうせ絞り込んで使うのだからどんなレンズでも同じような画になる」でした。当時は卒業研究でレンズ設計を題材に学んでいたときでしたからその答えにそんなことはないはずと思いながらも妙に納得してしまいました。

一昨年何年かぶりにカメラを買いました。コンデジです。一眼レフカメラを買おうと意気込んでいたのですが“重くてかさばるのは嫌だ”という理由で諦めました。レンズは F/1.8 でズーム比はあまり大きくありませんが 2000 万画素以上あり記録写真としては十分な画が得られます。機能が多すぎて未だに使いこなしているという状態にはほど遠いのですが旅行の時は大いに活躍してくれています。

ここまでは使用者の立場で感想を述べましたが、これを開発・製造の立場から見ると見え方が一転します。驚愕の一言です。大きく分けて動作部と非動作部に分けられます。レンズ設計者としてはやはり動作部に着目してしまいます。主にレンズ部になりますが、最適に設計されたズームレンズであり幾つかの群が正確な間隔を保って移動すること、また、オートフォーカスに対応して特定の群が高速に移動すること、手ぶれ防止の為に機能が動作することが求められます。また、これらの動作は人が暮らせる程度の寒暖の差があっても正常に動作しなければならず、数多くの繰り返し動作を行っても一定の期間故障することが許されません。購入する側からみれば当たり前のことのように、これを実現していることが如何に大変なことであるかは実際に開発に携わってみないと理解出来ないと思います。

私が光学会社に就職した当時はスチールカメラ全盛期であり、大手のカメラメーカーがしのぎを削って開発競争をしていました。同時に交換レンズの開発も盛んで交換レンズ専門メーカーも参戦して各種の交換レンズやズームレンズが盛んに開発されていました。私の入社した会社は当時まだ小規模でありカメラレンズの OEM 製造は行っていたものの事務機器や家電関係のレンズが主要生産品目であり、レンズ設計業務もそれらがメインとなっていました。今から考えると驚くようなことですが、とある事情から光学（設計面）の専門家は社内で自分一人であり出来上がったものは責任（役職的ではないが）を持たないといけない立場に立っていました。レンズ設計は専門分野として学びましたので周りよりは多少知識がありましたが製造技術に関する知識はほぼ皆無に近かった私が図面を描き（もちろん上司のチェックは入ったが）それでもものが出来ていたことを考えると恐ろしい限りです。幸い

に現場の大先輩の方々に可愛がって頂きアドバイスを受けながら何とか乗り切った感があります。

当時の状況を整理してみますと、レンズ設計に関して一般的には理論を元に経験と勘を頼りに設計を進め、図面公差は経験に基づいて決定、製造に於いてはやはり経験に基づいて加工プロセスの係数を定めていたと言えます。あるときに原価管理の責任者が高齢のレンズ設計者に原価低減の為の改善策を提言したところ次の様な会話がなされたと聞きました。担当「先生、この方法は如何でしょうか？」、設計者「君～、それは駄目だよ。」、担当「何故でしょうか？」、設計者「経験的に駄目なんだ！」笑い話のようなやり取りですが当時の状況を考えるとそれほど不思議なことではない感じもします。当時はまだパソコンはなくコンピュータがあったとしても現在とは比べようもない能力しかなくて感度計算等が行えるレベルではありませんでした。現在では数値化とか見える化といったことが一般的に言われていますが、当時の状況では客観的な資料による説明は困難だったと思います。

レンズ設計とコンピュータの発達は切っても切れない関係があり、コンピュータの速度が向上するとレンズ性能も向上してきました。これは、計算量が増えることでよりトライアル回数が増え高度な最適化が出来ること、レンズ構成が増えても従来に比べ短い開発期間で設計を完成させることが可能になったことに依ります。あるときにやや公差の厳しいレンズを設計して設計ソフトの機能である公差計算を真面目にやってみました。そして公差を決めた後にモンテカルロ法で実際に製作する試作数でシミュレーションを行った後に試作結果を待ちました。結果はシミュレーションの結果とほぼ一致しました。これ以降、公差の厳しいレンズや新しい構成のレンズを設計した折には公差計算と同時に製造シミュレーションを行い事前に良品率について検討する習慣がつかしました。

レンズ設計を行っているとき最良の解を求めて設計しているのに敢えてその最良解を捨てて次善解を求めなくてはならないことにしばしば直面します。最も多い要因は加工の可否です。比較的多い例がレンズの両面の曲率半径が近く面の区別がつかないこと、曲率が同心円に近くなり芯取り加工が困難になること、感度が敏感過ぎて指定公差に対して加工能力が追いつかないことなどが上げられます。レンズ設計が完了して出図した後でこのような問題が顕在化すると設計の修正を余儀なくされるので設計完了前に判定しておく必要があります。加工限界については工程の能力として設計者が把握しておくこと、感度や公差については感度計算を行い問題が起らないかどうか確認しておく必要があります。こういった作業は工程毎に加工能力をまとめ設計時に指標として活用することが好ましいのですが、出来れば設計者が実際の加工の特質を理解して限界に近いところまで攻めることが出来ればより優れた性能のレンズに近づけることも可能となります。

さて、現在のレンズ設計は完成されたレンズの性能だけではなく付帯的な特性も満足しなくてはなりません。従来の設計性能（光学定数、MTF、収差特性など）の静的性能に対して、温度特性、手ぶれ防止機能などの動的性能にゴーストなどの特性が加味された非常に多くの仕様を満たすようなレンズ設計が要求されています。特に最近急速に需要が高まってきている車載レンズに関しては過酷な環境下で使用されること、センシングなどのAIが画像判定を行う為にゴーストを厳密に制御しなくてはならないなど、従来のレンズ設計では必要に応じてのみ取り入れた仕様を全て満足させる必要に迫られています。また、近年樹脂メーカーの努力により様々な樹脂が選択出来るようになりましたが、樹脂を使用しても一定水準の温度特性は実現する必要があり、要求性能によっては全レンズが光学ガラスで構成されても温度特性を満足する設計が求められます。

車載レンズは全ての特性を加味して設計が完了した上で実際に製造したレンズが一定のバラツキに収まっていることも求められます。設計されたレンズについて感度計算や公差による量産バラツキのシミュレーションも要求されるような状況であり、1本のレンズを仕上げるまでに従来の何倍もの労

力を要するようになってきました。このような状況ではレンズ設計者に掛かるときのプレッシャーはかなり大きいと考えられます。その理由は、設計を完了した時点でほぼ全ての事項が決まってしまうということです。レンズ設計の後に機構設計を経て実際に試作に取りか掛かるわけですが、曲率半径、面間隔、材質の変更は出来ません。従って、感度も要求公差も加工難度も全て決まってしまうのです。どの仕様をとっても後の工程では変更出来ないのです。実際には設計が完成してもそれから動的性能や製造能力について詳細なシミュレーションを行い全ての特性を掴んだ上で次のステップに進むこととなりますが、不具合が有れば設計のやり直しになるので設計者としては安心できません。

以前は「レンズ設計は重い荷物を背負いながら見通しの悪いジャングルを進むような作業」などと言われていましたが、コンピュータの高速化によって多少見通しは良くなった感がありますが、荷物が何倍にも増えて歩くのが大変になってきています。

この度、日本オプトメカトロニクス協会様よりこのような執筆の機会を賜り自身の経験を元にレンズ設計の実態について述べさせて頂きました。この記事を通してレンズ設計者以外の方々が少しでもレンズ設計者の気持ちをご理解頂けたら幸いです。