

## 精密非球面プラスチックレンズの開発

伊賀 和夫

松下電器産業(株)開発本部 570 守口市八雲中町 3-15

光学と電気・電子工学は隣接した技術領域であるにもかかわらず、産業としてはおのおの別個に成長してきた。しかし、1980年代に入って、光学産業と電機産業は急速に接近・融合してきている。これには二つの原因があると思う。第1の原因は、いうまでもなく、1960年のレーザの発明、1970年の低損失光ファイバの開発を契機としたオプトエレクトロニクスの発展によるものであり、ここでは光と電子が不離一体となって伝送、処理、蓄積等の機能を実現している。第2の原因は、テレビカメラに代表されるようにハードウェアとしては分離可能であるが、量的規模拡大が産業の融合を促す場合である。テレビシステムにおいては、光と電気の関係は融合というよりは結合ないし接続とみなすのが適当な状態にとどまっている。テレビカメラの使用が放送局に限定され、量的に少なかった時代には、テレビ光学系は光学メーカーで製造され、電機メーカーがこれを購入してテレビカメラを組み立てるといふ風に分業化されていた。しかし、業務用・家庭用VTRの普及につれ、テレビカメラも広く使用され生産数量が飛躍的に増加してくると、機能の高度化、価格の合理化等の要望が切実化し、この改善を他所まかせにはしておけない状況が生まれ、自力で全システムを構築できる技術力・製造力が必要となった。こうして産業の融合化が促進される。このカテゴリーに属するものとしては、投写形テレビ、ファクシミリ、複写機、OCR、各種プリンタなどがある。上記第1と第2の原因による促進力がある閾値を超えたのが1980年代であり、今後の高度映像化、高度情報化社会の進展につれ、大画面テレビ、VTR機器、レーザー応用機器、光通信、光情報処理などがますます発展してゆくものと思われる。松下電器がプラスチックレンズに取り組んだのも、このような環境変化に促されてのことであった。

具体的には、投写形テレビ用の大口径の非球面プラスチックレンズを高い精度で能率よく生産できる新技術の開発を目標とし、約6年間で非球面光学設計から金型加工、プラスチック成形、反射防止膜形成、非球面形状計測、光学性能評価に至る各要素技術にいくつかの新しい

試みを導入し、1983年にはほぼその目標を達成した。本文では、この開発の経緯と技術内容について述べてみたい。

これまで、実用レンズ系ではガラスを研磨して作った球面レンズを多数枚組み合わせるものが一般的であったが、アメリカでは非球面レンズの研究が進んでいた。たとえば、投写形テレビに用いるレンズ系をガラス球面レンズによって構成すると、5~6枚のレンズエレメントが必要であり、重さも1本当り3~4kgになる。しかし、これをプラスチックの非球面レンズを用いて構成するとレンズエレメントは3枚に半減し、重さも約1kgに軽量化される。非球面レンズはレンズの高性能化にも効果的であり、明るさの向上(Fナンバーの低下)、解像力・MTFの向上、歪曲収差の減少に役立つ。

投写形テレビ用レンズは、直径100~150mmφ、厚さ20~40mmの大口径、厚肉の大型レンズエレメントから構成されるが、このような非球面大型レンズを軽量かつ合理的価格で製造できる材料はいまのところプラスチックに限定される。プラスチック材料には、周知のごとく、耐熱性、耐湿性、屈折率の安定性、耐擦傷性などに問題が残されているが、これらは光学設計やシステム化技術で克服できる範囲内である。一方、プラスチックレンズには非球面化が容易、軽量、大量生産・低価格化が可能などの優れた特長がある。100年以上にわたる伝統をもつ球面ガラスレンズは、性能、価格面で極限近くまで進歩してきており、今後期待される電子映像機器の莫大な需要を現実のものとし、またこの需要をまかなってゆくためには、新しい魅力的なレンズ技術が要望される。われわれは、それは非球面レンズであり、新製造プロセスによる非研磨レンズであると考えたのである。

前述の3枚構成プラスチック投写レンズは1978年にアメリカで開発され、わが国においても一部のメーカーでこれに刺激されて追随する動きが見られた。その製造プロセスは、あくまでも推定であるが、ガラスレンズ加工に類似したもので、たとえばプラスチックブロックを旋盤で旋削して粗かたのレンズ形状を作り、最終の精密な形状修正と表面の平滑化は研磨で仕上げるものと考え

られる。このような加工法では形状精度安定性、生産性に問題があり、両面非球面化が困難であるという結果を得た。当時のプラスチックレンズはガラスレンズに画質的に及ばないと一般的に考えられていたが、おそらく上記のような原因に起因しているものと思われる。これらの問題点は旋削や研磨プロセスによるものであり、高画質で安価なプラスチックレンズを得るためには非研磨プロセスが必要であると考えた。

われわれが目標とした新製造プロセスは、1工程でプラスチック材料から精密レンズを作りあげるもので、高生産性、高精度、高安定性、両面非球面化の実現を目指したものであった。この目標に合う工法には射出成形法があるが、それまでの射出成形法では大口径・厚肉のプラスチックレンズを数 $\mu\text{m}$ の形状精度で仕上げることは到底不可能とされていた。その理由は主として、熔融状態にあるプラスチック材料が固化する際の体積収縮、偏光性や配向性の発生を抑える手段が解決されていなかったからである。もちろん、非球面金型の加工法や非球面形状計測法も未発達という技術的課題も残されていた。

われわれは非研磨プロセスとしてやはり射出成形法が最適であると判断し、上記問題点の克服に取り組んだ。結論からいえば、新射出成形理論、新射出成形機、新金型機構などを開発して、直径120mm $\phi$ 、中心厚さ30mmのレンズで形状誤差 $\pm 5\mu\text{m}$ 以下の高精度を実現することができた。この新射出成形法の原理を簡単に述べると、熔融樹脂に強力な圧力を加えて圧縮し、樹脂温低下につれて圧力を減少させてゆき、樹脂温低下により体積収縮を圧力低下による体積膨張で相殺して、体積変化なしに冷却固化させるものであり、体積収縮はもちろんのこと偏光性や配向性も低減される。

レンズ形状精度を決める他の要因に非球面金型の精度がある。レンズ面を形成する金型(オプティカルインサート)の形状精度は $\pm 1\mu\text{m}$ 以下、表面粗さは $\pm 0.01\mu\text{m}$ 以下が要求される。この加工には先端加工技術であるダイヤモンド鏡面切削加工法を適用している。

高精度の加工技術を開発するには当然のことながら、加工精度を上まわる高精度の計測技術が必要であるが、非球面形状の高精度計測は実に厄介なものである。非球面の効果を最大限に発揮するように設計したレンズでは、非球面設計値とこの面に最もよく近似された最適球面との偏差が最大数mmにも達する場合があるほど非球面度がきつい。このような、いわば超非球面の形状計測法としてCGH法(computer generated hologram法)やモアレ法を検討したが適用不可とわかり、工業的

に有用な方法として、測定精度のきわめて高い超精密三次元測定機を基本とした計測法がむしろ適しているという結論になった。そこでレーザー測長を主体とした超精密三次元測定機を開発した。これにより現在までのところ十分に所期の目的を達してはいるものの、三次元測定機により測定はあくまでもpoint to point計測であり、レンズは波面の変換伝達を行なうものである以上、本質的には波面計測法が要望される。超非球面の簡便な波面計測法の研究が活発化されることが期待される。

射出成形法によるプラスチックレンズでは、反射防止膜の形成法にも改善を加える必要がある。ガラスや注型グレード樹脂基板への薄膜形成は容易であるが、射出グレード樹脂材料に蒸着した薄膜には往々にしてマイクロクラックが発生し、光学性能や耐久性が劣化する。この原因は明確化されていないが、基板耐熱温度と基板への蒸着物質の衝突エネルギーが関係している模様である。このため、洗浄法や蒸着条件の精密制御を実施して、耐久性、表面硬度のすぐれた多層膜形成に成功した。

これらの技術を集約して建設された工場はコンピュータ自動化されており、1984年2月から稼動している。投写形テレビに関する性能上や品質条件に配慮したレンズ設計と、両面非球面化、高精度ばらつきの新製造プロセスの特長を発揮して、その性能は業界でも高く評価されており、この技術開発に対して昭和58年度日刊工業新聞社選定10大新製品賞を受賞する光栄に浴した。

プラスチックレンズは軽量化が大きなメリットであり、われわれはこの特長が最大限に発揮される大型の投写形テレビ用レンズに最初に取り組んだが、この技術は非常に広い適用性をもっており、現在関係開発部門では電子映像機器をはじめオプトエレクトロニクスの分野への応用展開を熱心にすすめている。

このように開発のあとを振り返ると、射出成形法による非球面プラスチックレンズの開発というテーマは実に魅力的なテーマではなかったかという思いがする。それは一つには、高度映像化、高度情報化時代の到来とともにこの開発成果に限りない発展への期待がもてることであり、また一つには、光学、電子、物理、化学、機械にまたがる広範な分野の最先端技術を駆使してはじめて実現できる高い精度を追求しなければならなかったということであろう。

時代の要請はさらに高い精度を必要とする方向に向かっており、今後ともその方向に沿っての開発努力を継続してゆく所存である。

(1985年4月4日受理)