

光学レンズ

(非球面レンズ；1982年～現在)

Key-words：非球面レンズ、ガラスモールドレンズ、監視カメラ、スマートフォン

注1 光線の理想結像点からのずれを「収差」と言う。ザイデルの5収差と2種類の色収差があり、これらの収差が抑制されるように、硝種（光学ガラスの種類）、形状、配置などがレンズ設計される。

注2 可視域では、ガラスの屈折率は長波長になるとともに低くなる。光学ガラスには屈折率とその波長依存性（分散と呼ぶ）が異なる種類が多数あり、屈折率 n_d （d線：587.56nmの屈折率）とアッベ数 v_d で簡易表示される。 $v_d = (n_d - 1) / (n_F - n_C)$ で、 n_F 、 n_C はそれぞれF線（486.13nm）、C線（656.27nm）の屈折率である。波長による屈折率変化が大きいほど v_d が小さくなり、これを高分散と言う。図3参照。

光学レンズには球面レンズと非球面レンズがある。球面レンズはずいぶん昔から光学ガラスを研磨して作られてきた。1980年代に、精密に加工した特殊材料からなる成形型を用いて、軟化ガラスを精密に加圧成形する技術が開発され、ガラス非球面レンズが量産できるようになった。今日、デジタルカメラ、監視カメラ、スマートフォンなど光学機器が高精細化し、発展する中で、ガラス非球面レンズが光学系のコンパクト化と高性能化に大きく貢献している。

1. 製品適用分野

カメラなどの精密光学機器。

2. 適用分野の背景

カメラなどの光学系は球面レンズを多数組み合わせることで収差^{注1}が少なくなるように設計されてきた。球面レンズの場合、図1(a)に示すように、中心に入射した光線と周辺に入射した光線では焦点位置にずれが生じて球面収差が発生する。光学系に非球面レンズを使用できれば、図1(b)のように球面収差の除去が容易になるので、光学系のレンズ枚数低減および高性能化が可能となる。このため非球面レンズの導入が望まれていたが、研削・研磨法では量産が困難だった。

精密に加工した特殊材料からなる成形型を用いて軟化ガラスを加圧成形することにより、型を正確に転写して高精度の光学素子を得る技術が1980年代に開発され、ガラス非球面レンズが量産できるようになった。

この技術によるレンズをガラスモールドレンズと呼ぶ。ここでは、今日、光学機器の高精細化に欠かせないものとなったガラス非球面レンズについて示す。

3. 製品の特徴

光学系に非球面レンズを導入することにより光学系のコンパクト化と高性能化が実現した。非球面レンズ

にはプラスチック製もあるが、ガラス製は屈折率・分散^{注2}の種類が豊富であることと、温度・湿度などの環境変化に対する品質安定性が高いため、高性能、高信頼性を要求されるところで使用されている。ガラスは成形温度が高いため、プラスチック製に比べてコスト高になる。このため、用途により使い分けられている。

近年、光学機器のデジタル化により、デジタルカメラ市場が急速に伸び、最近では高画素のカメラ付き携帯電話が急速に伸びている。これらの精密光学機器の中で、小口径のガラス非球面レンズ（図2）が活躍している。レンズ面の形状精度は0.1～0.2μm以下である。最近、更なる高性能、高精細化のために、レンズ系での非球面レンズの使用枚数が増加しており、高屈折低分散ガラスと高屈折高分散ガラスの採用が盛んである（モールド用光学ガラスを図3に例示する）。デジタルカメラの光学系の例を図4に示す。前玉の凹メニスカスレンズも非球面化され、今後は高屈折低分散ガラスが使用されるだろう。図5に200万画素カメラ付き携帯電話での使用例を示す。光ディスク用のピックアップレンズはプラスチック主体になったが、次世代の大容量のものにはガラスの出番がある。光通信用の結合レンズとしても使用されている。

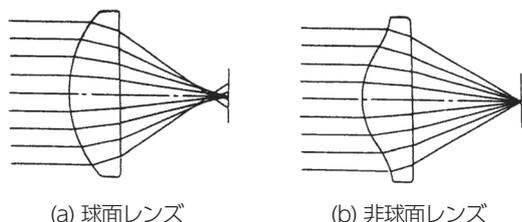


図1 球面収差の除去

撮像光学系では複数のレンズを組み合わせることで各種の収差が除去される。



図2 種々のガラスモールド非球面レンズ

直径φ3.5～φ15mmレンズの数量が多いが、さらに小さいレンズも大きいレンズもある。

4. 製法

高精度レンズの成形法の発端となったイーストマン・コダック社のパイオニアの特許¹⁾では、特別な材料(例えばグラッシーカーボン)からなる型にガラスをセットして非酸化性雰囲気中で昇温し、ガラスの軟化点近傍でガラスと型の温度を等しくしてプレスし、その後、ガラスの転移点以下まで(固化するまで)加圧したまま冷却している。これは高温の流動ガラスを低温の型でプレスする従来のレンズブランクスの成形法とは著しく異なるものであった。その後、日本で多岐にわたる生産技術開発が行われ、進歩・発展してきた。

ガラスモールドレンズを製造するには、①型材料および表面薄膜、②超精密型加工、③成形に適したガラス組成およびプリフォーム(被成形ガラス素材)、④精密成形技術(プレス機、型構造を含む)、⑤非球面の測定、評価、⑥非球面を含む光学設計技術が重要である。成型材料に求められる要件は、光学鏡面に高精度加工でき、高温で変化せず、硬度・強度が高いこと、そして、軟化ガラスが融着しないことである。単一材料では要件が満たせないため、基板と表面膜の複合構造にしている場合が多い。基板としては超硬合金や炭化ケイ素などのセラミックス、表面薄膜としては貴金属系、炭素系、窒化物や炭化物等多数知られている。型の酸化防止のため、プレス成形は通常、非酸化性雰囲気で行われる。ガラスとしては、プレス温度が例えば600℃以下の、軟化温度の比較的低い光学ガラスが開発されてきた(最近の高屈折低分散ガラスではプレス温度が700℃以上になるものもある)。これらのガラスは研削・研磨してプレス成形用のプリフォームとしてもよいが、熔融ガラスから直接、球形状や扁平球形状の表面欠陥のないプリフォームを作ることでもできる。

軟化ガラスと型表面の反応を防止しつつ、形状精度、偏心精度の高い非球面レンズが製造されている。

5. 将来展望

次世代大容量光ディスク用の開口数(NA)0.85 対物レンズでは究極ともいえる

精度が要求され、形状精度がP-V値で0.05 μm 以下、レンズ肉厚精度 $\pm 1\mu\text{m}$ 以下、両非球面軸の軸ずれ1 μm 以下が必要である。今後、種々の光学機器において、より高精度の非球面レンズが求められ、進化・発展していくだろう。

文献

- 1) M. A. Angle, G. E. Blair and C. C. Maier, USP 3,833,347 (1974).

[連絡先] 広田慎一郎
HOYA(株)オプティクス事業部
〒196-8510 昭島市武蔵野3-3-1

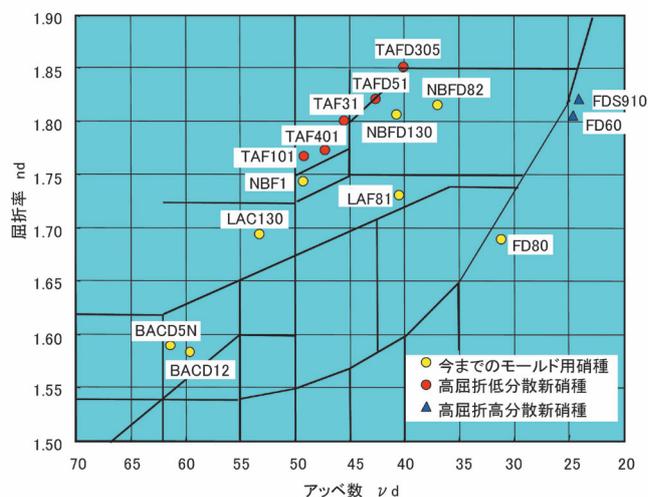


図3 モールドレンズ用光学ガラス (HOYA カタログから)

高屈折率のガラスはレンズの薄肉化、コンパクト化に有利であり、使用が拡大している。

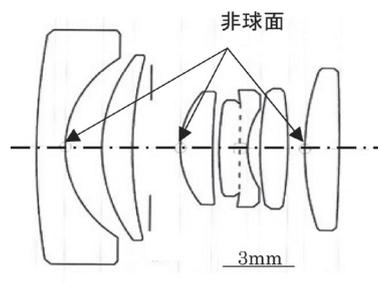


図4 デジタルカメラの光学系

前玉レンズ(図中の左)が凹メニスカス形状のレンズ。



図5 カメラ付き携帯電話での使用例(イメージ図)

3枚(6面)ともガラス非球面にすることで高画質が実現。