

高精度プラスチック光学素子の加工技術開発

Development of Low-Cost Manufacturing Technology for Precision Plastic Optical Elements

稻田 久* 山中 康生* 金松 俊宏* 井関 敏之*

Hisashi INADA Yasuo YAMANAKA Toshihiro KANEMATSU Toshiyuki ISEKI

新保 晃平* 福島 明**

Kohei SHINBO Akira FUKUSHIMA

要 旨

プリンター、複写機を中心とするデジタル機器のプラスチック光学素子を低成本かつ高精度に加工するための技術を開発した。本技術は、鏡面駒の形状補正技術を核に、低成本化が可能な射出成形をベースとした成形の安定化技術、曲面に対応した鏡面駒加工技術、成形品形状精度の三次元的な測定評価技術から構成されている。本技術を用いることで、従来の高精度成形法と同等の形状精度を、成形時間1/9以下で達成することができた。

ABSTRACT

A low-cost process for manufacturing the precision plastic optical elements for digital copier and printer is developed. It consists of the molding technology, such as the low-cost injection, the shape correction, the stabilization and three-dimensional measurement/evaluation of moldings and the generation of curved mirror surface on mold insert. Using this new technology, the shape accuracy equivalent with conventional precision molding method can be obtained with less than 1/9 of molding time.

* 研究開発本部 生産技術研究所

Manufacturing Technology R&D Center, Research and Development Group

** 生産事業本部 画像部品事業部 光学技術開発室

Optical Components Development Office, Imaging System Component Production Division, Production Business Group

1. 背景と目的

近年、レーザ走査光学系用レンズ(以下、走査レンズ)に、プラスチックレンズを用いることが多い。特に最近では、デジタル画像機器のさらなる低価格・高画質を追求するために、より低成本で高品質なプラスチック走査レンズが必要となっている。

走査レンズに求められる品質には、レンズ内部の均一性と、レンズ表面の形状精度の2つがある。

従来の射出成形法では、樹脂を急冷するために、1)成形品内部に歪みが残留する、2)不均一な樹脂収縮が生じるので高い形状精度が得られない、という問題があった。

これに対して当社では、「ゲートシール成形法(通称:「GATESEAL® / ゲートシール®」)」や「リメルト成形法(通称:「REMELT™ / リメルト™」)」という高精度成形法を実用化し、高品質なプラスチックレンズの量産に成功した。

本稿では、ゲートシールやリメルトで成形したものに近い品質の走査レンズを、射出成形法と同等の低成本で成形することを目的として、成形法の改良と鏡面駒形状補正を基礎とする新たな加工技術を開発したので紹介する。

2. 技術の特徴

2.1 概要

前述した高精度成形法では、型温度の徐冷により、金型内の樹脂密度分布を一様にして固化させるので、均一な樹脂収縮を生じさせることができる。従って、成形品の設計形状よりも収縮率分だけ大きめに鏡面駒を加工すれば、所望の形状の成形品が得られる。

一方、射出成形法では、冷却時間が短いため、金型内の樹脂密度分布が一様な状態にならないままに樹脂が固化してしまう。そのために、不均一な収縮による形状精度の劣化や、内部歪みの増大が生じるという問題がある。この問題に対して、短い冷却時間で、形状精度の向上と内部歪みの低減ができる低圧射出成形法を採用し、改良を行った。しかし、本成形法によっても必要とする形状精度を得ることができなかった。そこで、所望の成形品精度を得るために、形状誤差を3次元的に測定し、誤差形状から鏡面駒の目的形状を計算して、鏡面駒を補正加工する、という補正加工プロセスを考案した。この補正加工プロセスが今回開発した加工技術の骨子である。補正加工プロセスのフローをFig.1に示す。

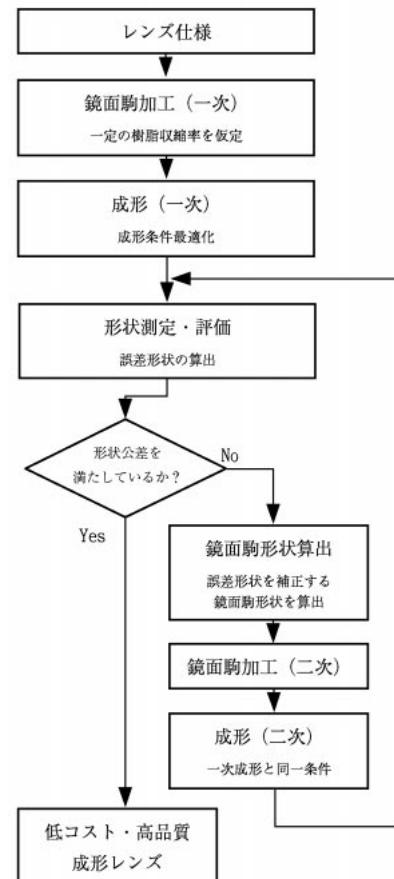


Fig.1 Flow chart of the shape correction process.

Fig.1における鏡面駒形状算出では、次の点を考慮して算出式を導出した(Fig.2)。

- ・レンズ長さの成形収縮率
- ・走査方向曲率半径の成形収縮率
- ・副曲率半径の成形収縮率
- ・設計値からのレンズ形状誤差

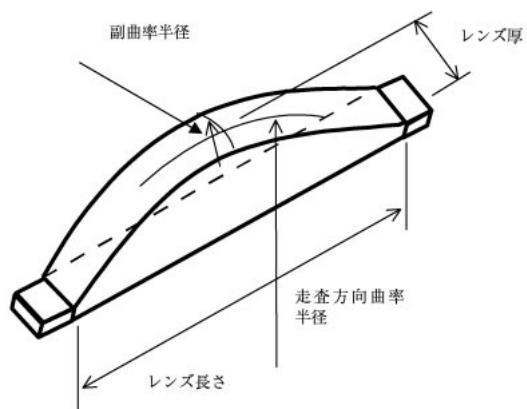


Fig.2 Schematic view of typical scanning lens.

ただし、この前提となる成形レンズ形状誤差のばらつき安定性については、低圧射出成形技術を詰めることにより達成した。

以上を鏡面駒の設計式に展開することで、レンズ形状誤差を鏡面駒の形状に合わせて正確な補正形状を求めることができる。

また、補正前のレンズ形状は不均一収縮により非対称形状となる。そのため、成形技術とともに、次の技術課題が重要となる。

- ・レンズ形状の三次元的(面的)な測定と、非対称形状に対応した解析技術
- ・鏡面駒の加工において、従来の回転対称形状とは異なる非対称形状の高精度な加工技術

次に、補正加工技術を構成する各要素技術について述べる。

2-2 成形技術

2-2-1 低圧射出成形法

走査光学系の光学素子である走査レンズには、形状精度と内部均質性の両方が求められる。しかし、従来の射出成形法で成形した場合、冷却の不均一性から金型内に圧力分布が発生し、形状精度、内部歪みともに劣化が起こる。そこで、冷却が不均一であっても圧力分布を小さくできるように、低圧射出成形法をベースに改良を行った。

2-2-2 成形結果

Fig.2に示すように、レンズ厚が中心で14mm、周辺で3mmという偏肉形状の走査レンズを成形した。

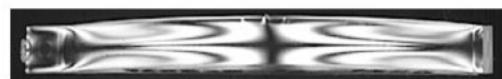
基本的な成形条件をTable 1にまとめる。今回開発した低圧射出成形法の特徴は、射出圧力をレンズ面の転写に必要な最小圧力にまで押さえることにある。

Table 1 Molding conditions.

樹脂材料	COC (シクロオレフィンコポリマー)
成形機	ファナック(株)社製 ROBOSHOT a-100B
金型温度	135°C
樹脂温度	280°C
射出圧力	50 MPa
成形時間	7 min

(n=10)

Fig.3に走査レンズの光弾性干渉縞の一例を示す。従来の射出成形法と比較して、低圧射出成形法は内部歪みが低減していることが確認できる。また、ゲートシールで成形した走査レンズと比較しても同等レベルである。



Injection molding (Injection pressure : 130MPa)



Low pressure injection molding (Injection pressure: 50MPa)



GATESEAL METHOD®

Fig.3 Optical strain of scanning lenses.

また、形状測定結果の一例をFig.4に示す。同一成形条件下の走査レンズ10個の形状精度を並列表示しており、形状誤差のばらつきは0.3 μmと安定していることがわかる。なお、同データは、2-3)で述べる三次元測定装置を用いて測定、解析を行った結果である。

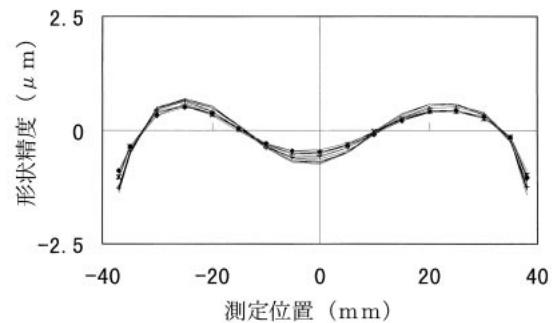


Fig.4 Repeatability of form accuracy by low pressure injection molding.

このように、内部歪みを低減し、形状誤差のばらつきが低減可能な成形法を実現した。

2-3 形状測定・評価

2-3-1 形状測定装置の構成・動作

形状測定・評価には、当社で独自に開発した3次元形状測定装置を用いた。

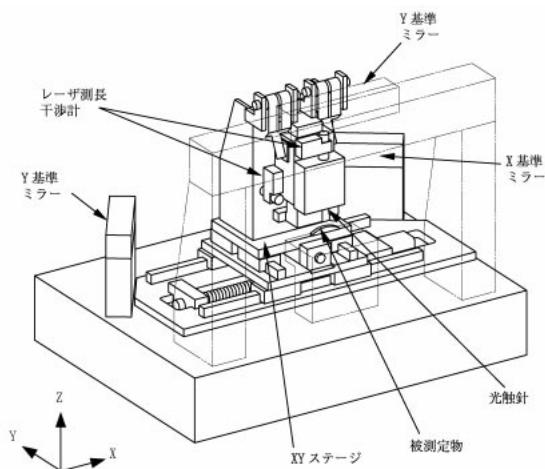


Fig.5 Schematic view of 3-D profile measuring system.

装置構成をFig.5に示す。同図中、光触針とは形状測定用プローブヘッドとして用いる光学式変位計のことであり、レーザ測長器と共にXYZ3軸直交ステージ上に搭載されている。被測定物は光触針と対向する位置に固定される。

光触針は被測定面との距離に応じた信号を出力する。この信号を利用することで被測定面との距離を一定に制御できる。距離を一定に制御したまま被測定面を走査し、走査経路の座標をレーザ測長器で逐次測定して形状データを収集する。

本装置の特徴の一つは、走査速度が早いことである。走査速度が遅いと、被測定面を3次元的に走査する場合に膨大な測定時間を要するが、本装置では、粗微動2段サーボによって最高30mm/secの走査速度を実現した。Table 2に本装置の基本仕様をまとめる。

Table 2 Specifications.

測定範囲	300×50×40mm
測定精度	±0.1 μm
走査速度	30mm/sec
測定可能条件	反射率 4%, 角度 30deg

2-3-2 測定方法と解析プログラム

射出成形したレンズでは、成形収縮に起因する形状誤差は数μm～十数μmにも達し、しかも不均一収縮により非対称形状となる。今回、非対称形状をサポートして、成形品の形状誤差を補正した鏡面駒形状を算出できる解析プログラムを新たに開発し、本装置に搭載した。

2-4 鏡面駒加工技術

2-4-1 非対称形状鏡面駒の加工方法

非対称形状の鏡面駒を創成する加工機は、Fig.6に示

すように、X, Y, Zの3軸テーブルと工具スピンドルで構成される。加工機の精度は、各軸とも位置決め分解能が0.01 μmである。また、本加工機には、鏡面駒を取り外すことなく形状精度を測定できる、接触式の形状測定装置が設置されている。

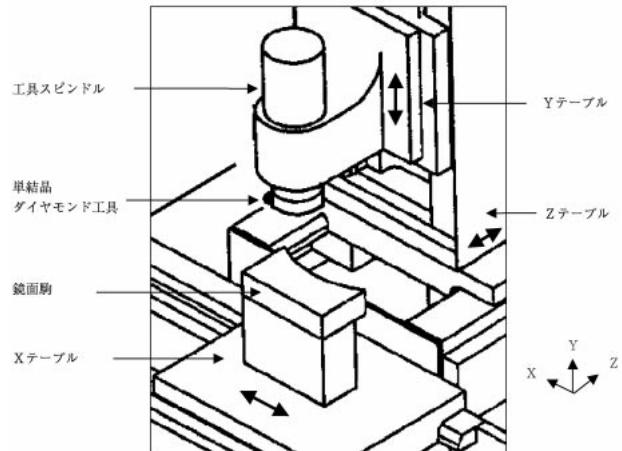


Fig.6 Schematic view of 3-Axis Ultraprecision Machine.

ここで、加工方法について述べる(Fig.7)。工具は単結晶ダイヤモンド工具を使用し、工具を回転させるフライカットと呼ばれる切削により加工を行う。まず、単結晶ダイヤモンド工具を固定した工具スピンドルを一定速度で回転させながら、X軸とZ軸の同時2軸制御によりに設定軌跡を移動させて加工する。そして、鏡面駒の1ライン加工後、Y軸を一定ピッチ移動させ、次のラインを加工する。この加工を繰り返すことにより、鏡面駒一面の加工が終了する。

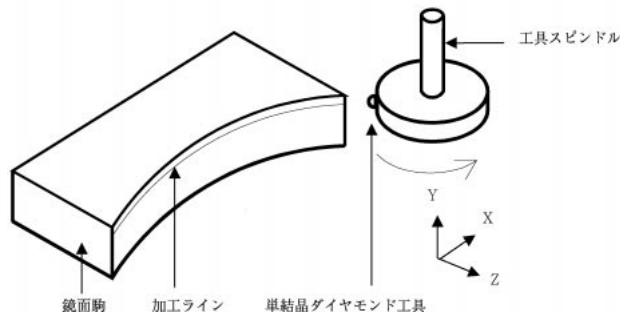


Fig.7 Schematic image of machining process by 3-Axis Ultraprecision Machine.

2-4-2 高精度加工方法

加工精度を向上させるために、工具刃先の輪郭精度が0.1 μmレベルの単結晶ダイヤモンド工具を用いた。そして、0.1 μmオーダーの形状精度と0.01 μmオーダーの表面粗さを得るために加工条件を把握するとともに、円弧にて加工点を補間して滑らかなツールパスが発生させられるソフトの開発を行った。また、加工後、加工機に設置し

てある接触式の形状測定装置を用いて、形状精度を三次元的に測定、評価し、目標値を満足しないときには、形状誤差を設定値にフィードバックして修正加工を行う。以上の結果、一例としてFig.8に示すように、形状精度 $0.11\mu\text{m}$ を達成した。なお、同データは、2-3)で述べた三次元測定装置を用いて測定、解析を行った結果である。

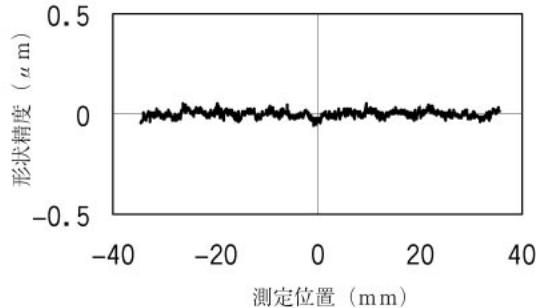


Fig.8 Form Accuracy of mirror insert.

以上のように、非回転対称形状鏡面駒の加工技術により、レンズの形状誤差を補正した高精度な鏡面駒を加工可能にした。

3. 成果

低コスト、高精度プラスチック光学素子実現のために開発した本技術を用いて走査レンズを成形し、検証を行った結果を次に示す。成形した形状は、長手方向が非球面式に沿った形状、短手方向は円弧形状である。Fig.9は走査方向の形状精度を示し、 $0.3\mu\text{mPV}$ を達成した。また、Fig.10には短手方向の曲率半径誤差を示しており、鏡面駒形状補正の効果が確認できる。

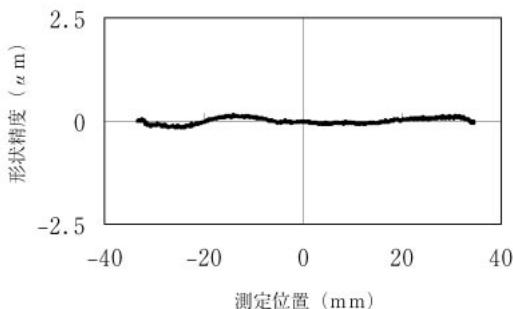


Fig.9 Form accuracy of scanning lens in scanning direction.

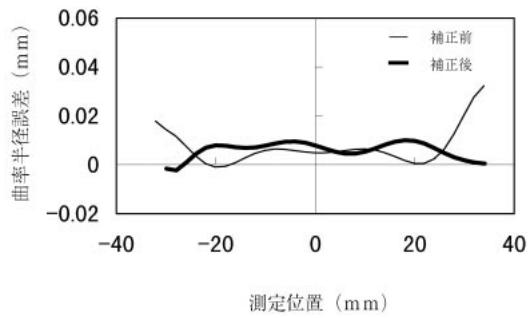


Fig.10 Radius error of scanning lens.

本技術を用いた結果は、高精度成形法であるゲートシールと同等の精度であるが、成形時間はゲートシールに対して、本方法では $1/9$ 以下に短縮できた。

以上のように、本技術の有効性が確認された。

4. 今後の展開

光学性能を向上させるため、光学面形状が回転対称非球面から自由度の高い複雑なものに変化することは必至である。この状況に対応し、任意の鏡面駒形状を高精度に加工するためのプログラムの開発、形状精度の更なる安定性を確保できる成形法の開発、任意の形状の光学素子性能を測定、評価する技術を開発し、それらを統合した高精度加工システムへと展開していく。

謝辞

本技術の開発にあたり、下記関係部署はじめ、多くの方にご指導・ご協力いただきましたことを深く感謝いたします。

E P 開発センター 第三開発室
生産事業本部 精機センター
画像部品事業部 光学技術開発室