

# 高速デジタル複写機用自由曲面プラスチックレンズの開発

Development of Anamorphic Aspheric Plastic Lenses for High-Speed Digital Copier

西村 哲郎  
NISHIMURA Tetsuro

天野 啓  
AMANO Akira

本田 智  
HONDA Satoru

パソコンやネットワークの普及に伴い、デジタル複合機へのニーズが拡大している。当社は、これに対応するため、高速デジタル複写機 PREMAGE551/651を製品化した。特に、プリンタ機能の高速・高精細化を達成するために、同時に4本のレーザを走査するマルチビーム走査光学系が搭載されている。この光学系の走査レンズとして、高精度な自由曲面プラスチックレンズを開発した。このレンズの実用化にあたり、金型加工、樹脂成形、材料評価などの製造技術を確認した。

As a consequence of the remarkable diffusion of personal computers and information networks, demand has arisen for digital equipment with multiple functions. In line with this trend, Toshiba has introduced the PREMAGE 551/651 high-speed digital copier and printer, featuring a laser scanning optical system using four isolated semiconductor lasers. Anamorphic aspheric plastic lenses are utilized as important elements of the optical system.

This paper comprehensively describes the manufacturing technology for these plastic lenses, centering around structural designs for molds, machining methods for mold inserts, and polymer processing.

## 1 まえがき

パソコンやネットワークの普及に伴い、コピー、ファクシミリあるいはプリンタの各機能を統合したデジタル複合機へのニーズが拡大している。特に、プリンタ機能の高速・高精細化への要求にこたえるために、複数のレーザビームを用いるマルチビーム走査光学系が注目されている。

今回、4ビーム光学系を搭載した高速デジタル複写機 PREMAGE551/651の製品化にあたり、この光学系で使用する2種類のレーザ走査用レンズ(f レンズ)を樹脂成形により開発し、実用化した。

このレンズの光学面は、非球面形状の中でも成形が困難とされる自由曲面形状である。そこで、金型、材料評価、及び成形の各技術が三位一体となった取組みが求められた。ここでは、このレンズの開発を、要素技術に焦点を当てて述べる。

## 2 自由曲面レンズの概要<sup>(1)</sup>

高速デジタル複写機(図1)に搭載された2種類のレンズを図2に示す。図2(a)のf<sub>1</sub>レンズは、長辺が69mm、短辺が17mm、高さが12mmである。また、図2(b)のf<sub>2</sub>レンズは、寸法がそれぞれ183mm、30mm、11.5mmである。形状を巨視的にみれば、端部で薄く、中央部で厚い偏肉形状である。また、材料はいずれもアクリル樹脂である。以下に、このレンズの特徴を列記する。



図1. 高速デジタル複写機 開発したレンズを搭載した、A4サイズ65枚/分機である。  
High-speed digital copier

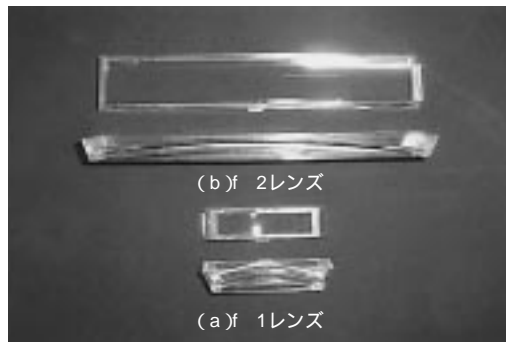


図2. 自由曲面レンズ 開発した2種類のレンズは、端部で薄く、中央部で厚い偏肉形状になっている。  
Anamorphic aspheric plastic lenses

(1) f レンズの光学面形状は、従来、トーリック<sup>注1</sup>面に代表される回転軸対称非球面形状が採用されることが多いが、このレンズは自由曲面、すなわち非回転軸対称非球面である。そして、光学面形状は式(1)で与えられる。

$$x = \frac{CUY \times y^2 + CUZ \times z^2}{1 + \sqrt{1 - AY \times CUY^2 \times y^2 - AZ \times CUZ^2 \times z^2}} + \sum_{n=0, m=0} A_{mn} y^m \times z^{2n} \quad (1)$$

ここで、 $x$ : 光軸方向の座標、 $y$ : 走査方向の座標、 $z$ : 副走査方向の座標である。また、 $CUY$ 、 $CUZ$ 、 $AY$ 、 $AZ$ 、 $A$ は定数。

(2) 4本のビームそれぞれの走査域で高い分解能が要求される。また、4本のビームを同時に走査する。したがって、レンズの短辺が従来のf レンズよりも長くなり、より広い自由曲面形状に対して高い形状精度が求められる。

### 3 レンズ成形技術の開発

樹脂成形とは、図3に示すように、所定の温度に加熱したキャビティの中に加熱溶解した樹脂を流し込み、キャビティ形状を樹脂に転写させて固化させる製造方法である。図4には、レンズ成形の要素技術を示す。

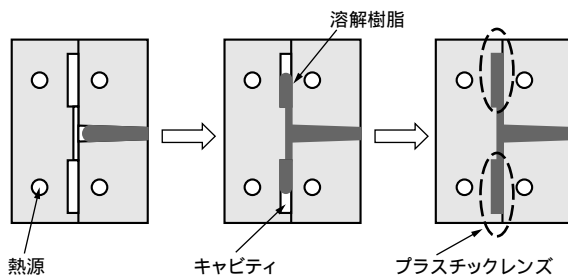


図3. 樹脂成形の概要 溶解樹脂がキャビティに充填(じゅうてん)されていくようすを模式的に示す。  
Outline of polymer processing

基本となる技術に、樹脂を流し込むキャビティの精密加工がある。また、溶解樹脂は成形過程で収縮し、形状精度と光学的品质の確保が困難である。そこで、レンズ形状と光学特性を同時に満足する精密成形も重要である。また、これら二つの要素技術に加えて、レンズの品質を引き出すためには、レンズの“造りやすさ”を志向した設計が求められる。そこで、解析ソフトウェアも開発し、レンズ形状及び金型の構造設計に適用した。

#### 3.1 金型の精密加工

キャビティの加工では、従来、鋼材にニッケルなどを無電

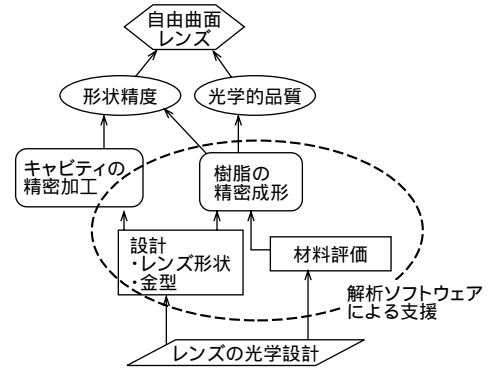


図4. レンズ成形の要素技術 材料、設計、成形プロセスを体系的にとらえるソフトウェアも極めて重要である。  
Fundamental technologies for development of lenses

解めつきし、めつき面をダイヤモンド工具で切削加工し、その後、研磨加工を施す方法が広く用いられる。しかし、研磨加工は表面粗さの確保には有効であるが、加工範囲の広い自由曲面形状を一様に、しかも高精度に仕上げることは困難であると考えられる。

そこで、ダイヤモンド工具による切削加工だけで、キャビティ形状を仕上げる方法を検討することとした。

3.1.1 加工装置 金型曲面の切削加工には、直線3軸及び回転1軸の合計4軸の制御が可能な超精密加工装置(ULG-100, 東芝機械製)を用いた<sup>(2)</sup>。

3.1.2 方法 切削工具には、円弧切刃輪郭度0.05 μm以下に製作された単結晶ダイヤモンドバイトを用い、装置に具備された小型エアスピンドルで工具を回転駆動させるフライカット方式で曲面加工を実施した。

(1) 実際に加工しているところを図5に、また、工具の軌跡を図6に示す。テーブル動作による装置の重心移動に起因する加工点の揺れや、送り誤差を抑止するために、加工時の重心移動速度及びテーブル動作などに関する動的特性を実測した。そして、この結果に基づき、



図5. 金型の加工 精密加工装置を用いて、自由曲面をダイヤモンド工具で切削加工した。  
Precision machining of cavity surface of mold

(注1) toric lens : 円環レンズ。

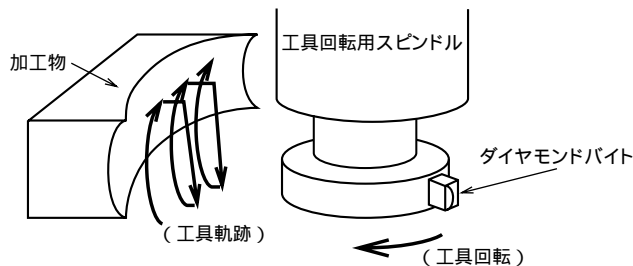


図6．工具軌跡 加工面長手方向をピックフィード軸とする走査線軌跡を選定した。

Tool path for curved surface machining

被加工物並びに工具回転用エアスピンドルの取付け方向と工具軌跡を選定した。加工面長手方向をピックフィード軸とする走査線方式の工具軌跡として、装置の重心移動やテーブル反転動作時の送り誤差の加工精度への影響を最小限にとどめた。

(2) 短時間で表面粗さの小さい加工を行うため、加工する曲面の形状に対し、干渉限界に近い工具回転半径（第1レンズでは半径40 mm，第2レンズでは半径60 mm）を選定した。

(3) 切削加工では、発生する切りくずによる加工面の損傷や、切りくずの溶着によって表面粗さが損なわれることが多い。インプロセスで切りくず処理を行うという観点から、切りくず排出性に優れたダウンカットを選定した。また、加工面及びバイト刃先に付着する切りくずを除去するために、エアブローと切削液を加工面に塗布するタイミングを適正化し、切りくずによる加工面の損傷発生を抑制した。

3.1.3 加工面性状の評価 加工面の断面形状を測定した結果を図7に示す。表面粗さは $0.02 \mu\text{mRy}$ <sup>(注2)</sup>、表面うねり成分は $0.05 \mu\text{mP-V}$ <sup>(注3)</sup>以下、加工面全体の形状精度は2

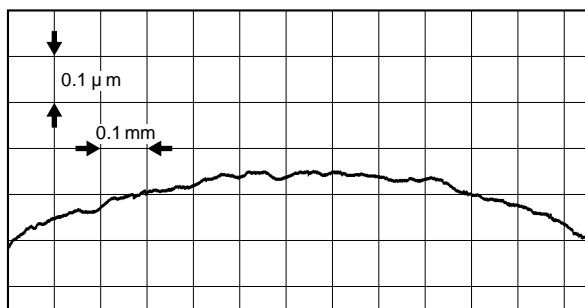


図7．加工面の断面形状 切削により高精度な曲面が加工された。  
Machined surface profile

(注2) Ryは粗さで、細かな凹凸を考えたとき、凹部と凸部の高さの差異を表わす。

(注3) P-V( Peak & Valley )は、山と谷の差を表わすが、Ryのように細かな凹凸ではなく、形状をおおまかに見たときにおけるうねり形状を高低差で表現したもの。

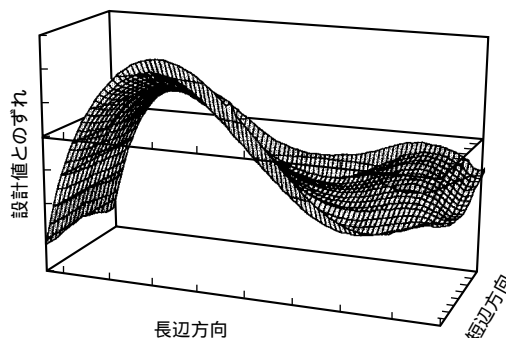
$\mu\text{mP-V}$ 以下であることが確認できた。

### 3.2 精密樹脂成形

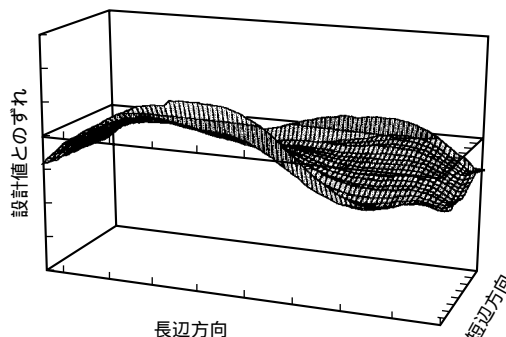
成形された樹脂は収縮する性質がある。高い圧力で成形すると、樹脂の収縮は抑えられ形状精度は向上するが、内部ひずみは増大し、変形や、光学的品質の低下を招きやすい。また、溶融樹脂にキャピティ面形状を良好に転写させるには、圧力はもとより溶融粘度を適正化する必要がある。したがって、レンズ成形では、流動過程における樹脂の粘度、成形した後の収縮を正確に把握することが重要である。

3.2.1 材料評価と成形プロセスの制御 まず、樹脂の溶融粘度と収縮特性を実測した。更に、充填圧力、温度、せん断応力などの流動性を支配する要因をコンピュータ解析した。図8は充填圧力がf 2レンズの形状精度に与える影響を示している。同じ形状のキャピティに樹脂を充填しても、充填圧力が変化すると、形状精度が著しく異なることがわかる。そこで、設計値とのずれが最小化できる成形条件を求めて、成形条件がばらつかないように、充填圧力や金型温度を精密に制御した。

3.2.2 設計 加熱された金型が著しく熱変形すると、成形品の形状精度が低下する要因となる。また、キャピティの温度分布が偏ると樹脂が不均一に収縮し、形状精度が確保できなくなる。そこで、図9に示す金型設計用構造解析シ



(a) 充填圧力適正化前



(b) 充填圧力適正化後

図8．充填圧力の形状精度に与える影響 形状精度は充填圧力と密接に関係する。

Effect of filling pressure on shape accuracy of plastic lens

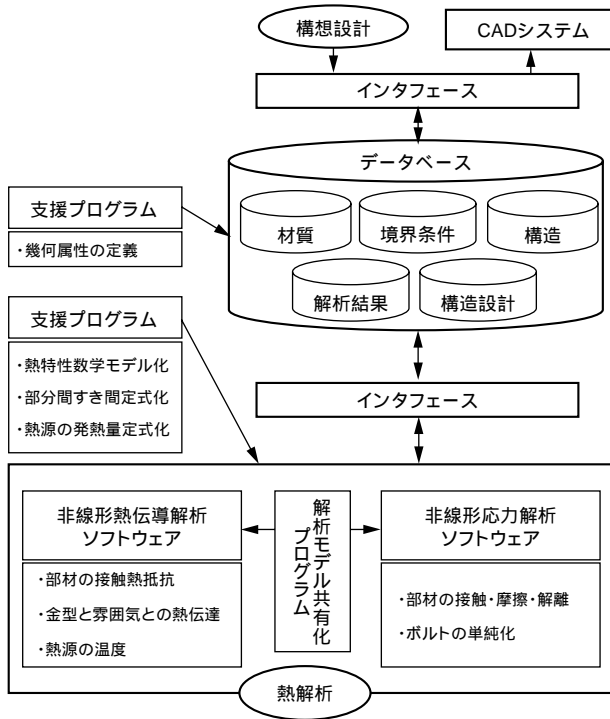


図9. 金型の構造設計システム 金型の熱設計及び剛性設計を行うために開発した。  
Structural analysis system for mold design

システムを開発した。これは、データベース部と熱解析部から構成されている。

熱解析部に含まれる非線形解析ソフトウェアを用いて、金型の構造設計を求める。解析機能の特長を次に示す。

- (1) 成形室内における雰囲気との対流は、金型温度の不均一を招く要因であり、レンズ成形金型では対流の要因を考慮した熱設計が必要である。このソフトウェアでは、金型の熱源位置やキャビティ配置を、雰囲気と金型との間の熱伝達を考慮して決定することができる。
- (2) 熱変形を小さくする金型構造設計の情報を、部品単位で与えることができる。

このシステムを活用することにより、例えばキャビティ温度分布については、 $f_2$  レンズで $\pm 1$ 以下を確保することができる。

### 3.3 レンズの評価

レンズの形状及び光学特性を評価した。結果を次に示す。

- (1) レンズの形状精度は、 $f_1$  レンズで $15\ \mu\text{m}$ 以下、 $f_2$  レンズで $30\ \mu\text{m}$ 以下を達成した。
- (2) 成形したレンズの表面粗さは $0.02\ \mu\text{mRy}$ 程度であり、精密加工したキャビティ面の形状を良好に転写できた。
- (3) 4本のレーザービームに対し、走査面全域で光学特性を満足した。

## 4 実用化

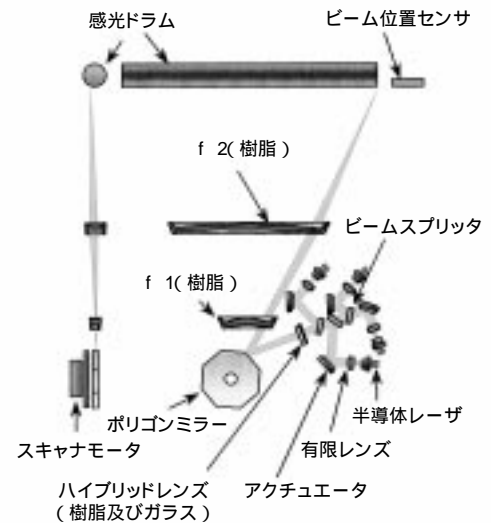


図10. 開発したレンズの実用化  $f_1$ 及び $f_2$  レンズをレーザ光学系に搭載した。  
Newly developed lenses in laser scanning optical system

開発した $f_1$ 及び $f_2$  レンズは、高速デジタル複写機PREMAGE551/651のレーザ光学系において、図10に示すように搭載された。

## 5 あとがき

自由曲面プラスチックレンズを高速デジタル複写機に搭載するにあたり、開発した製造技術について述べた。今後も、製品の高付加価値化に寄与できる部品製造技術の開発を促進していきたい。

## 文献

- (1) M. Yamaguchi, T. Shiraishi. "Development of four-beam laser scanning optical system". 1999 SPIE Annual Meeting, Optical Scanning: Design and Application. SPIE Vol.3787, pp.2 - 12.
- (2) 高島 譲, 他. 光学素子の超精密加工. 東芝レビュー. 52, 7, 1997, p.55 - 58.



西村 哲郎 NISHIMURA Tetsuro

生産技術センター 製造システム技術センター研究主幹。樹脂成形の研究・開発に従事。日本機械学会、プラスチック成形加工学会会員。

Manufacturing System Technology Center



天野 啓 AMANO Akira

生産技術センター 製造システム技術センター研究主務。精密加工の研究・開発に従事。日本機械学会、精密工学会、砥粒加工学会会員。

Manufacturing System Technology Center



本田 智 HONDA Satoru

生産技術センター 製造システム技術センター研究主務。樹脂成形の研究・開発に従事。プラスチック成形加工学会会員。

Manufacturing System Technology Center