

# 光学面加工用プログラム作成システムの開発

Development of program system for optical surface machining

松田 裕之\*

Matsuda, Hiroyuki

The control program generation system for optical surface cutting and grinding processes of lens molds is described. This system could fluently connect measurement process to cutting or grinding process in machine shop. Then more efficient routine in machining and higher quality of lens molds were attained by the use of this system.

## 1 はじめに

近年、プラスチックモールドレンズの生産量は急激に増加し、現在、我々は年間1500本以上の成形型を切削加工している。一方、ガラスモールドレンズや複合非球面レンズなどの研削加工による成形型についても、需要が確実に増加している。さらに、これらの型加工の光学面形状精度は、 $0.1\mu\text{m}$ 以下の高精度化が求められている。この数量増と高精度化に対応するために、我々は従来の加工工程の見直しを図った。今回新たに、工程の支援システムとして光学面加工用プログラム作成システムを開発し、加工工程に導入した。これは、高精度な光学面型の切削加工と研削加工を統括的に支援するシステムである。これにより、作業効率の大幅な向上と光学面形状の高精度化を実現することができた。

## 2 従来の光学面加工工程と光学面加工用プログラム作成システム

成形型の光学面の加工方法は、型の材料により切削加工と研削加工に分けられる。従来、それぞれの加工方法において、光学面加工工程は次のように行われていた。

### 2.1 光学面の切削加工工程

切削加工方法は、2軸の超精密旋盤に取り付けられた成形型をダイヤモンド工具を用いて旋削し、超精密旋盤の高い運動精度を加工面に転写して、光学面を得るものである。

切削加工工程を Fig. 1 に示す。加工者は、まず工具位置の原点を成形型の回転中心軸上にあわせる。その方法は、球面形状を切削し、その形状の測定結果から判断する。次に、超精密旋盤をNC制御する加工用プログラムを作成し、フロッピーディスクにより超精密旋盤に入力する。そして光学面を切削加工し、その形状を測定して、形状誤差が公差内であれば加工を終了する。形状誤差が大きい場合は、その様子から工具位置を修正したり、工具先端Rの値を修正した加工用プログラムを再作成して、

\* オプト事業部 光学開発センター

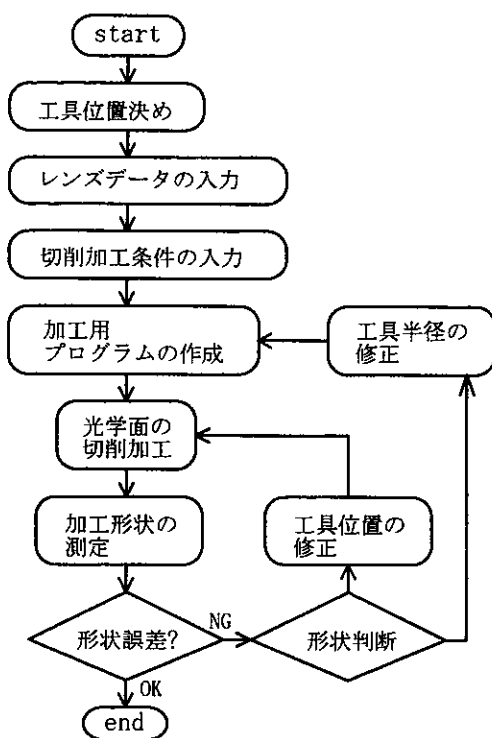


Fig. 1 Diamond turning process for optical molds

再び加工を行う。従来は、この工具位置や工具先端Rの修正量は加工者が経験的な判断により決定していたため、試行錯誤と技能を必要としていた。

### 2.2 光学面の研削加工工程

研削加工方法は、2軸の超精密旋盤とダイヤモンド砥石を用いて、Fig. 2 に示す工程で行う。

研削加工では、加工原理が圧力転写加工でもあり、また砥石の磨耗も大きいため加工効率が一律とならず、工具軌跡を理想形状に一致させるだけでは、Fig. 4 (a)に示すように理想形状が得られない。ここで発生した形状誤差をなくすために、その補正値を取り入れた加工用プログラムによる、補正加工が必要となる。

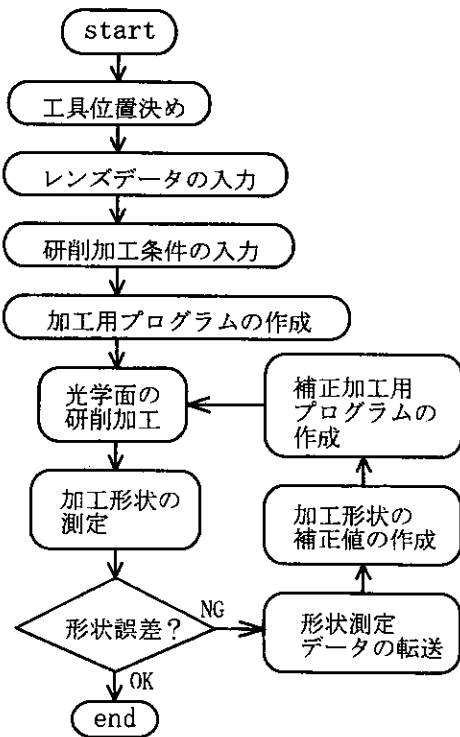


Fig.2 Grinding process for optical molds

加工者は加工した形状測定データを測定機からパソコンに転送し、加工形状の補正値を作成する。その値を取り入れて補正加工用プログラムを作成し、再び加工を行う。従来は、この加工形状の補正値の作成・修正を加工者が判断し手作業で行っていたため、効率と再現性に問題があった。

### 2.3 加工用プログラム作成システム

以上の加工工程に用いられていた、従来の加工用プログラム作成システムは、以下の問題を有していた。

- (1) 加工用プログラムが持つ理想非球面形状からの誤差について考慮されていなかった。例えば、
  - ① 加工用プログラムを作成する際に、非球面形状を微小な円弧の連続として近似するが、そのときの近似誤差については考慮されていなかった。円弧どうしの間隔は、加工者が感覚的に決定していた。
  - ② 加工用プログラムの各円弧が互いの接続する点において不連続であったため、これにより制御される工具軌跡が滑らかではなかった。
- (2) 成形型の光学面縁部分の形状に対応した同時加工用プログラムが、作成できない場合があった。そのため、加工作業が光学面と縁部分に二分されることがあった。
- (3) 成形型の光学面形状公差を目標値として工具軌跡を設定し、形状誤差を管理するシステムになってい

なかった。

- (4) 加工用プログラムの作成手順が煩雑で、間違いが起りやすく作業効率も悪かった。
- (5) ハードウェアが旧式化し、加工用プログラムの作成に多大な時間を要した。

## 3 開発の目的と基本概念

### 3.1 目的

本光学面加工用プログラム作成システムの開発目的は、以下の3つである。

- (1) 加工作業を効率化し、加工者の負担を軽減して、成形型の加工数量の増加に対応する。
- (2) 加工条件の設定・判断を経験や技能に頼らず誰でもできるようにし、加工者の人的な対応を容易にする。
- (3) 加工用プログラムの作成ルーチンをより合理的にし、成形型の光学面形状精度の高精度化に対応する。

### 3.2 基本概念

本システムの開発にあたって今までになかった3つの新しい概念を導入した。

- (1) 各加工工程を連続的に結合し、工程の流れを円滑にする。
- (2) 加工条件や加工形状の補正量などの判断基準を標準化し、誰でも一流の加工者と同様の判断ができるようにする。
- (3) 各工程での手順・操作が視覚的に行え、間違いなく迅速な処理を可能にする。

## 4 新光学面加工用プログラム作成システム

光学面の加工における基本的な工程のつながりをFig.3に示す。加工工程の中核を成す本システムは、パソコンにより超精密旋盤と形状測定機を統括し結びつけている。さらに、従来の加工工程の中で、加工者の判断に任されていた部分を自動化するなどして、従来の加工用プログラムシステムが有していた問題点を解決した。

以降の4.1~4.6で、本システムに盛り込まれた具体的な機能について説明する。

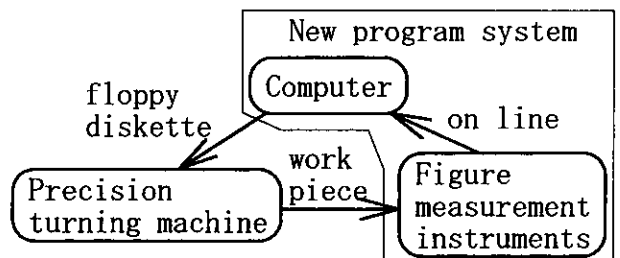
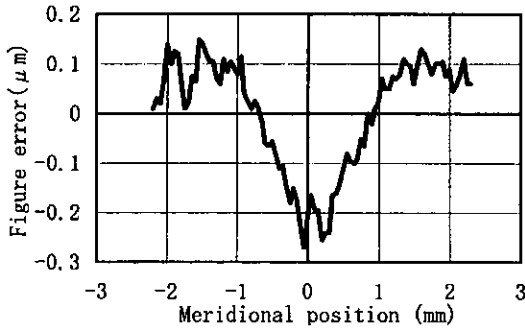


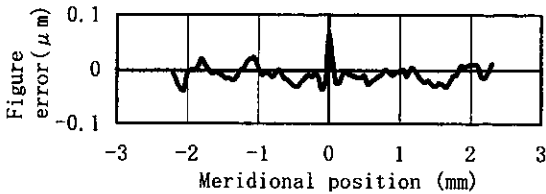
Fig.3 Conceptual drawing of new program system

#### 4.1 補正加工の自動化

加工した形状の測定データから、補正値を取り入れて補正加工を行う工程を自動化した。この工程にあたる、形状測定機からパソコンへの形状測定データの転送、加工形状の補正値の作成・修正、補正加工用プログラムの作成などの操作は、全てウィンドウ形式でディスプレイに表示され、視覚的で確実に作業が進められる。これにより簡単で効率的な処理が可能となった。Fig. 4 (a)(b)に補正前の研削加工面と補正後の加工面の形状測定の結果を示す。通常は3回までの補正加工で、要求される形状精度に加工することができる。



(a) Ground optical figure before compensation



(b) Ground optical figure after compensation

Fig. 4 (a)(b) Ground optical figure of ceramic mold

#### 4.2 加工条件の判断と指示

一部の加工条件の設定・判断を標準化して、本システム内に組み込み、客観的に判断して加工者に指示するようにした。その結果、一部の加工条件について誰にでも適切な判断が行えるようになった。例えば、

- ① 研削加工において使用すべき砥石半径を指示できる。砥石半径の大きさは加工表面粗さや工具磨耗に大きな影響を与える。加工者が加工用プログラムを作成すると、本システムはその加工に最適な工具を指示する。
- ② 切削加工において、補正加工する際の工具先端Rの補正値を、形状測定結果から算出し、指示する。

#### 4.3 補間間隔の最適化

Fig. 5に理想非球面形状を微小円弧で補間する方法(円弧補間)を示す。a~dは理想非球面上の工具が通る点列で、その点を補間点といい、補間点の間隔を補間間隔という。また、補間点を通る微小円弧Iab, Ibcと理想

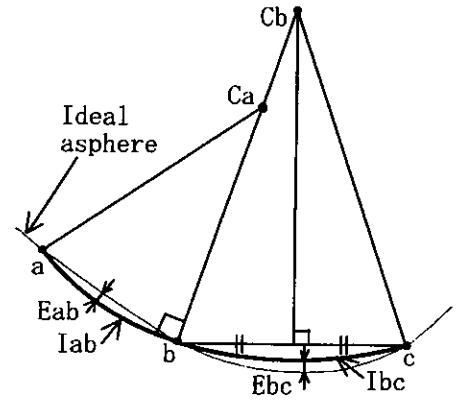


Fig. 5 New optimized method of circular interpolation

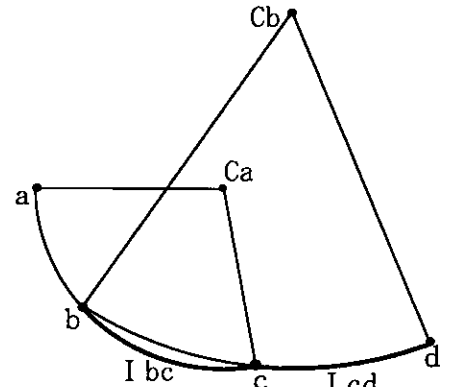


Fig. 6 Conventional method of circular interpolation

非球面形状との近似誤差 Eab, Ebcを補間誤差という。今仮に、補間点bからcへ円弧補間する場合を考えると、本システムはこの補間誤差 Ebcが、レンズの性能から決まる公差の範囲 ( $0.9 \times \text{公差} < \text{補間誤差} < \text{公差}$ ) に入るように理想非球面上に補間点cの位置を決め補間間隔を決定し、加工用プログラムを作成する。

そのため加工者は、成形レンズの要求性能を満たす公差が保証された加工用プログラムを作成できる。また、加工用プログラムが不必要に長くなることを防ぐことができる。

#### 4.4 円弧接続点での不連続性の解消

従来の円弧補間方法は、理想形状上の3つの補間点を通る円弧で2つの補間点間を結び行っていた。例えば、Fig. 6において、補間点bとcを結ぶ円弧補間Ibcは補間点a~cを通る円弧とし、補間点cとdを結ぶ円弧補間Icdは補間点b~dを結ぶ円弧としていた。この方法では、円弧補間Ibc及びIcdが、その接続点(補間点c)で不連

続になる。

そこで本システムの円弧補間方法では、円弧中心を直前の補間円弧の接続点における法線上にとり、接線が連続する円弧のつながりとした。例えば、Fig. 5において補間点bとcを結ぶ場合、この2点を結ぶ補間円弧の中心(Cb点)を、直前の補間円弧(補間点aとbを結ぶ円弧)の補間点bにおける法線上にとる。つまりCb点は、この法線とb、c点の垂直二等分線との交点となる。これにより補間円弧の接続点(補間点b)で両円弧の接線が連続し、工具軌跡を滑らかにすることができる。

#### 4.5 光学面と縁部分の同時加工

成型型の光学面縁部分の断面がFig. 7に示すような直線形状をした場合でも、ここを光学面と同時加工できる加工用プログラムを作成できるようにした。以下の光学面縁部分の断面形状に対応している。

- (1) R形状。
- (2) 任意の角度の直線。
- (3) 光学面の最外周部における接線となるような直線。

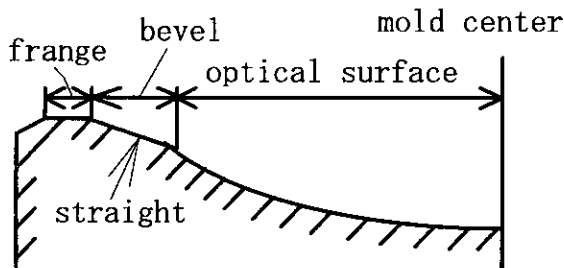


Fig. 7 Cross section of mold

#### 4.6 操作性の改善

加工用及び補正加工用プログラムの作成に必要な諸データ・諸条件の入力及び修正などの一切の操作を、加工工程の流れに沿って配置されたコマンドの選択で行うようにした。これにより、誤操作の防止が可能となり、作業効率が大幅に向上した。例えば、従来10分程度かかっていた形状計測から補正加工用プログラムの作成までを、ハードの処理速度の向上もあわせて2分以下で行うことができる。また、各処理の高速化により、加工者の待ち時間が少なくなり、各工程の作業リズムが乱れにくくなった。

### 5 成果

本システムにより得られた成果をTable 1に示す。本システムの導入前の工程工数を1.0とし、導入後を各工程別に比較した。Table 1より以下のことがいえる。

- (1) 加工作業を効率化し、加工者の負荷を軽減することができた。
- (2) 加工条件の設定の一部を標準化し、加工者の人的対応を容易にすることができた。

- (3) 加工用プログラム作成ルーチンを合理化し、加工精度を管理するシステムができた。

Table 1 Fruits of system

	項目	導入前	導入後
工	レンズデータと加工条件の入力	1.0	0.5
	加工用プログラム作成	1.0	0.2
	光学面加工	1.0	1.0
	加工形状測定	1.0	1.0
程	補正加工データの転送と作成	1.0	0.2
	補正加工用プログラム作成	1.0	0.2
機	加工条件の指示	不可	一部可能
	加工用プログラムの誤差量の管理方法	感覚的	レンズの公差
能	光学面と縁部分の同時加工	不可	数種類が可能

本システムで実現した新機能を以下にまとめる。

- ① 補正加工に関する手順・操作を自動化した。
- ② 加工条件の最適値を算出し、指示できるようにした。
- ③ 加工用プログラムの補間誤差を制御し、補間円弧をなめらかに接続した。
- ④ 光学面とその縁部分が同時加工できるようにした。
- ⑤ 各手順・操作をディスプレイ上で視覚化し分かりやすくした。
- ⑥ 各処理を高速化した。

### 6 まとめ

今後もモールドレンズの生産量は急激に増加することが予想され、成型型の数量の増加や光学面形状の高精度化は益々重要となっている。それに対応していくには、本稿で示した工程の改良だけでなく、加工機の高精度化や加工工程の改革などが必要となり、今後の課題となるであろう。

最後に本業務を完遂するにあたり、数多くの助言をいただいたオプト事業部光学開発センターの方々に深く感謝する。

#### ●参考文献

- 1) 石灰勲夫：金型加工技術とマイクロレンズの実状、光技術コンタクト 31、3、(1993)
- 2) 細江 秀：非球面プラスチック対物レンズの加工法、光技術コンタクト 31、10、(1993)