

複雑な曲面を有する金型の鏡面仕上げに関する研究

小熊広之*

Study on Precision Grinding for Complicated Curved Surface Molds

OGUMA Hiroyuki*

抄録

デジタルカメラ等の光学機器の性能向上に大きく寄与しているのが、非球面レンズ等の光学部品である。特に非球面ガラスレンズは優れた光学特性を持っているため使用量が増えている。しかし、非球面ガラスレンズは量産が困難なことから、高温に熱したガラス材を高精度金型でプレスして成形する手法が用いられることが多い。本研究は、このガラスレンズ用非球面形状金型の製造工程の省力化を図ることを目的に実施したところ、#4000のボールノーズ形砥石でRz50nm以下の鏡面を得ることができた。

キーワード：ELID研削法， 鑄鉄ボンドダイヤモンド砥石， 超硬金型， 放電ツルーイング

1 はじめに

デジタルカメラ、カメラ付携帯電話、DVD等には、非球面レンズが多く用いられている。特に非球面ガラスレンズはプラスチックレンズに比べ屈折率が大きい等、光学的優位性を持つことから需要が増している。しかし、非球面ガラスレンズは研削・研磨加工で製造するため、量産することが困難である。そこで、高温で熱したガラス材を高精度な金型でプレスして成形する手法が用いられることが多い。金型材質は高温での耐久性が求められるため、主に高硬度材料の超硬が使われ、また、高い形状精度が求められることから、金型の製造は困難なものとなっている。このような課題を克服する手法として超精密非球面加工機を用いた研削¹⁾等の研究が行われている。本研究では、ボールノーズ形の鑄鉄ボンドダイヤモンド砥石を使用し、5軸制御マシニングセンタを用いることにより、非球面ガラスレンズ金型の製造工程の省力化を目的として研究を行った。

* 生産技術部

2 実験方法

2.1 ボールノーズ形砥石のツルーイング

非球面形状の金型を研削する際、ボールノーズ形砥石が用いられることが多い。しかし、先端が半球の砥石を高精度にツルーイング（砥石の振れ取りと形状の修正）する必要がある。そこで、図1に示すカーブジェネレータ法^{2)・3)}（以下CG法と呼ぶ）を適用して表1の条件で放電ツルーイングを行った後、カーボンの薄板に砥石先端形状を転写し、その形状を測定することで砥石の形状精度を検証した。

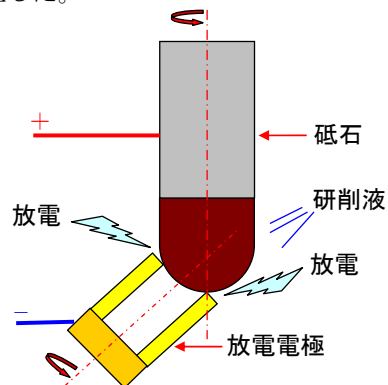


図1 CG法を用いた放電ツルーイング

表1 放電ツルーイング条件

使用砥石	鋳鉄ボンドダイヤモンド砥石 (#200, #600, #4000) ボールノーズ形状 (R=5mm) 〔富士ダイス(株)〕
砥石回転数	2000min ⁻¹
放電電極回転数	200 min ⁻¹
電源	FUJI ELIDER 920 〔富士ダイス(株)〕
設定値	パルス電圧 90V ピーク電流 20A パルスタイミング τ on/off 2/2msec
研削液	ノリタケクール CEM 〔ノリタケカンパニーリミテド〕
加工機	5軸制御マシニングセンタ MS5A-300 〔牧野フライス精機(株)〕

2.2 最適研削条件の検討

最適な研削条件を検証するため、砥石の目立て（電解ドレッシング）を行った後、表2に示す条件で研削実験を行い、研削条件と表面粗さとの関係を調べた。

表2 研削条件

周速	100~300 m/min
送り速度	25~200 mm/min
切込量	10 μm×3 (#200) 6 μm×3 (#600) 3 μm×3 (#4000)
ピックアップ量	0.5mm
被削材	超硬

2.3 非球面形状に対する研削実験

非球面形状（放物面）に対し研削実験を行い、形状誤差と表面粗さを測定した。図2に研削形状の断面を示す。

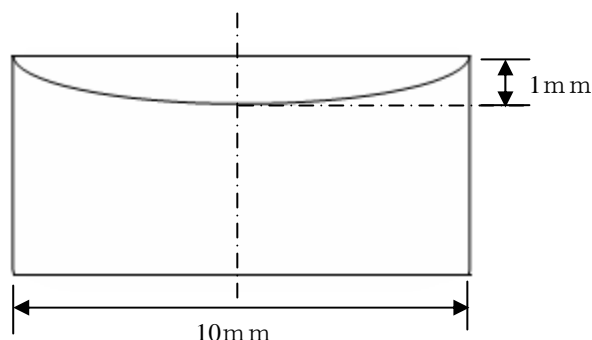


図2 研削形状断面

3 結果及び考察

3.1 放電ツルーイングの効果の検証

図1に示すCG法を用いて、表1に示す条件で、研削液をミスト状にして砥石に吹き付けながら放電ツルーイングを行った後、図3のとおりカーボンの薄板に砥石先端形状を転写し、輪郭形状測定機（フォームトレーサ SV-C624 〔株〕ミットヨ）を用いて形状を測定した。その結果、真円度は11 μmであった。この結果から「先端が半球の砥石に対し高精度にツルーイングする」という目標を達成することができた。



図3 カーボン転写写真

3.2 最適研削条件の検討

放電ツルーイングを行った後、電解ドレッシング法^{4)~7)}により砥石の目立てを行い、研削点に油性切削油を供給しながら表2に示す研削条件で超硬に対し研削を行った。これは電解インターバルドレッシング法⁸⁾と呼ばれる手法で、本研究の事例のような小径の非球面レンズでは、ELID用電極を設置することが困難なため、間欠的にドレッシングを行うことで、ELID研削による高精度な加工が可能となる。

送り速度を100mm/minとしたときの周速と表面粗さとの関係を図4（#200、#600）、図5（#4000）に示す。図4から#200の砥石では、周速が150~250m/minのとき表面粗さが良好であるが、この範囲から外れると悪化することがわかった。#600の砥石では、周速が大きくなるにつれて粗さが向上するが、周速250m/minと300mm/minでは同程度の粗さとなった。図5より#4000の砥石の場合、150m/min以上の周速では表面粗さは、ほぼ同じであることがわかった。

周速が大きくなると単位時間あたりに研削に作用する砥粒数が多くなるため表面粗さは向上するが、ある周速以上になると砥石の回転の影響によ

り、切削油が加工点まで届きにくくなり、脱落した砥粒や切り粉の排出、潤滑がうまく行われなくなり、表面粗さは悪化すると考察する。

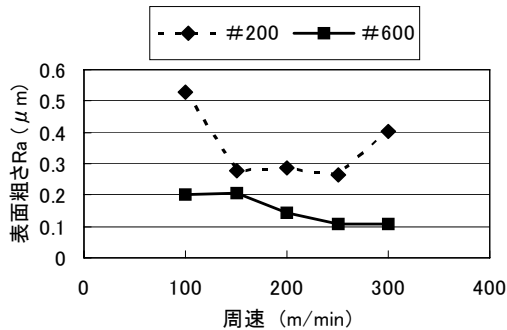


図4 周速と表面粗さの関係(#200, #600)

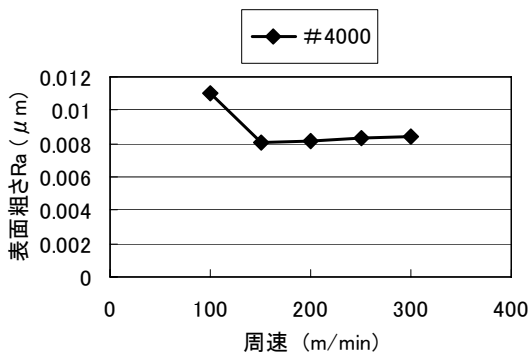


図5 周速と表面粗さの関係(#4000)

次に送り速度と表面粗さとの関係について調べた。周速 250m/min としたときの送り速度と表面粗さとの関係を図6 (#200、#600)に、周速 200m/min としたときの送り速度と表面粗さとの関係を図7 (#4000)に示す。図6、7とも送り速度が大きくなるにつれて、表面粗さが悪化することが確認できた。これは、送り速度の上昇により単位時間あたりに研削に作用する砥粒数が減ったためと考えられる。

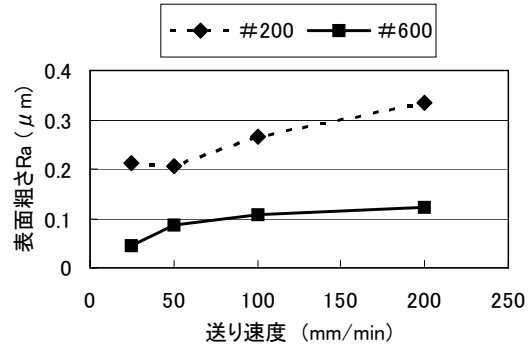


図6 送り速度と表面粗さの関係(#200, #600)

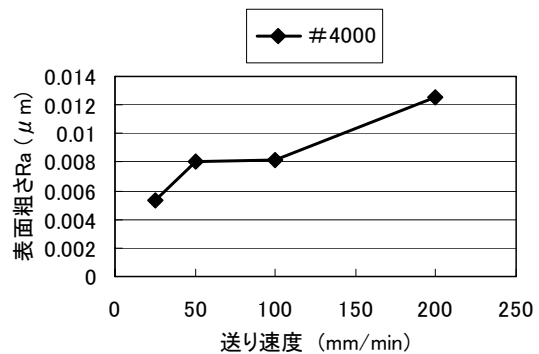


図7 送り速度と表面粗さの関係(#4000)

3.3 非球面形状に対する研削

3.3.1 形状誤差について

表3の条件で図2に示す非球面形状の研削を行った。このときボールノーズ形砥石では、中心部での周速が0になってしまうため、砥石を傾斜させることにより、各研削点で常に適切な周速が得られるように制御した。研削終了後、輪郭形状測定機で形状を測定し、形状誤差を求めた。座標を図8のとおり設定したときのX座標と形状誤差との関係を図9に示す。図9から、特に中心部分の削り残しが多いことがわかる。この原因として、工具軸中心と回転テーブル中心位置との誤差や、回転テーブルと被削材との中心がずれている等が考えられる。そこで、この測定結果を基にNCデータを補正し、再度研削を行い形状を測定した。補正前後の形状誤差を図10に示す。NCデータを補正したことにより、補正前の形状誤差が-8~+36 μmであったのに対し、補正後は-2~+5 μmとなり大幅に形状誤差を小さくすることができた。

表3 実験条件

砥石周速	250m/min (#200,#600) 200m/min (#4000)
送り速度	100 mm/min
切込量	10 μm×3 (#200) 6 μm×3 (#600) 3 μm×3 (#4000)
ヒックフィート量	0.3mm (#200) 0.25mm (#600) 0.15mm (#4000)
砥石傾斜角	リード角: 5° チルト角: -45°
研削液	不水溶性切削油 サルクラット S-23 (協同油脂㈱)
測定機	輪郭形状測定機 フォームトレーサ SV-C624 [(株)ミットヨ]



図1.1 研削面 (補正前)



図1.2 研削面 (補正後)

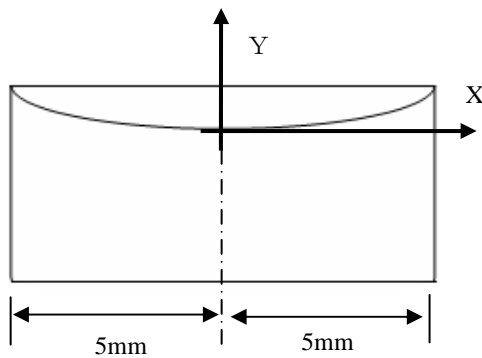


図8 設定座標

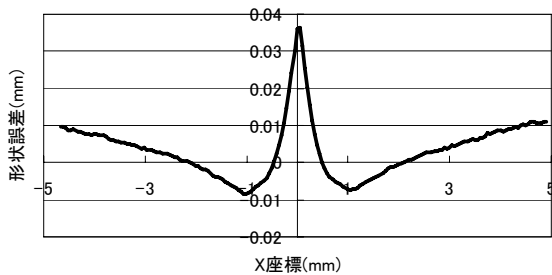


図9 形状誤差

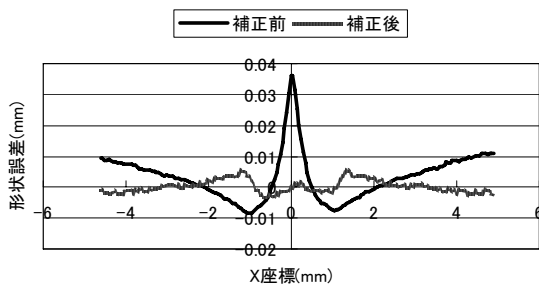


図10 形状誤差 (補正前、補正後)

表4 表面粗さ測定結果

	Ra (nm)	Rz (nm)
補正前	12.2	52.1
補正後	9.98	41.9

3.3.2 表面粗さについて

図1.1に補正前の研削面の写真を、図1.2に補正後の研削面の写真を示す。この研削面を表面粗さ測定機(サーフコム 1400D-3DF(株)東京精密)で測定したところ、表4のとおりとなり、鏡面(Rz100nm以下)を得ることができた。今回は、電解ドレッシングを間欠的に行う電解インターバルドレッシング法を用いたが、#4000の微細砥粒砥石を用いてもドレッシングの効果により目詰まりなく研削を行うことができ、このため鏡面を得ることができたと考察する。

4 まとめ

(1) CG法を適用した放電ツルーイング

先端が半球形状の砥石に対し、CG法を適用して放電ツルーイングを行い、カーボンの薄板に砥石先端を転写したところ、真円度は $11\mu\text{m}$ であった。

(2) 形状誤差について

非球面形状を研削し形状誤差を測定したところ、形状誤差が $-8\sim+36\mu\text{m}$ であったが、NCデータを補正して研削したところ、 $-2\sim+5\mu\text{m}$ まで形状誤差を小さくすることができた。

(3) 表面粗さについて

研削面の表面粗さを測定したところ、補正前では $R_z 52.1\text{nm}$ ($R_a 12.2\text{nm}$)、補正後では $R_z 41.9\text{nm}$ ($R_a 9.98\text{nm}$)となり、鏡面を得ることができた。

今後は、これらの研究成果を基に更なる高精度化、研削面の高品位化を目指して研究を進める予定である。

参考文献

- 1) 田中克敏：情報化社会に貢献する超精密加工—超精密加工の発展の経緯と現状および展望—, 砥粒加工学会誌, 第50巻10号(2006.10) 563-566
- 2) 佐伯優, 李周相, 厨川常元, 庄司克雄, 高木剛: 小径砥石のマイクロツルーイング, ドレッシング, 砥粒加工学会学術講演会講演論文集, (2001)19.
- 3) 佐伯優, 近藤晴崇, 厨川常元, 庄司克雄: 軸対称非球面レンズ研削の高精度化に関する研究, 精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, (2003)
- 4) H. Ohmori, and T. Nakagawa: Mirror Surface Grinding of Silicon Wafer with Electrolytic In-process Dressing, Annals of the CIRP, **39**, 1(1990) 329-332
- 5) 大森整: 超精密鏡面加工に対応した電解インプロセスドレッシング(ELID)研削法, 精密工学会誌, **59**, 9(1993) 1451-1457
- 6) H. Ohmori, and T. Nakagawa: Analysis of Mirror Surface Generation of Hard and

Brittle Materials By ELID (Electrolytic In-process Dressing) Grinding with Superfine Grain Metallic Bond Wheels, Annals of the CIRP, **44**, 1(1995) 287-290

- 7) H. Ohmori, and T. Nakagawa: Utilization of Nonlinear Conditions in Precision Grinding with ELID (Electrolytic In-process Dressing) for Fabrication of Hard Material Components, Annals of the CIRP, **46**, 1 (1997) 261-264
- 8) 鈴木享, 森田晋也, 林偉民, 渡邊裕, 上原嘉宏, 劉慶, 大森整, 村上淳, 平井聖児: 小径レンズ金型の超精密 ELID マイクロ研削加工, 精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, (2005)