

# 金型表面精度の影響が小さい超精密ガラス成形加工技術 「スランピング法」に関する研究

有明高専 創造工学科 人間福祉工学系 メカニクスコース

篠崎 烈

坂本 武司

真島 吉将

Akira SHINOZAKI

Takeshi SAKAMOTO

Yoshimasa MASHIMA

Research on the precision glass forming technique "slumping method" with reducing surface roughness influence of molding dies

National Institute of Technology, Ariake College, Department of Creative Engineering

The high precision technology for small optical components has been already established in the optical manufacturing fields. On the other hand, in recent year, the high precision geometric shape and surface roughness are required for large glass components molding process. In addition, in the space research field, the development of new type X-ray telescope is expected with short time schedules and low cost processes. In this research, the polishing process of stainless steel molding dies, and the slumping method to form glass plate to molding die shape are investigated. As a result, the influence of molding die surface roughness for formed glass plate surface is extremely small on a slumping process.

**Key Words:** molding die, glass forming, slumping method, glass optical components, surface roughness

## 1. はじめに

近年の光学部品産業では、小型のレンズや各種ハードディスクの基板等に代表されるように、極めて高い精度を得るための加工技術は広く実用化されている。その一方で、航空宇宙産業等の一部の分野においては、硬 X 線望遠鏡の例に見られるように、直径 300mm を超えるような大型の光学部品においても「高精度の表面粗さ」「高い形状精度」が要求されている<sup>1),2)</sup>。

2016 年 2 月に打ち上げられた X 線天文衛星「ひとみ」は、同年 4 月の不具合によって使用不能となり、天文学の分野では緊急に次世代機の開発が要望され始めた。JAXA は 2020 年に次世代機を打ち上げる計画を発表し、短期間でかつ低価格な X 線望遠鏡の開発が求められている。そこで、本研究では従来からガラス素材を用いた反射ミラーの製造技術について検討しており、応用技術としての適用も一部の研究者から指摘されている。

本研究では、ガラスを熱間成形する「スランピング法」を提案し、使用するステンレス金型の表面粗さが成形されたガラス表面に及ぼす影響について検討を行なった。

## 2. ガラス光学部品の成型加工技術

図 1 に、本研究で行なうガラス光学部品の成形加工技術の流れを示す。現在、大型ガラス光学製品の成形は比較的困難であるとされており、金属を用いた製品が多く使用されている<sup>1)</sup>。そこで、本研究では金型を用いた熱変形により、ガラス部品を成形する。主な成形工程は以下の通りである。

- (a) ガラス光学部品成形用金型を製作する。
- (b) 金型上に光学部品となる薄いガラス板を固定する。
- (c) ガラスの変形温度まで加熱し、金型に沿って成形する。
- (d) 金型からガラス素材を離型する。

本ガラス光学部品成形法の場合、金型の表面性状がガラス素材に転写されることを確認している<sup>2)</sup>。しかしながら、ガラス素材の表面粗さは、金型の表面粗さほど大きくならないことから、本研究では、表面粗さが異なる金型の影響を検討した。

## 3. 加工条件および実験方法

本実験では、先行してステンレス鋼 SUS310S の超精密金型を作成した。金型の加工条件を表 1 に、研磨加工の外観を図 2 に示す。金型は直径 50mm、高さ 60mm の耐熱系ステンレス鋼で、

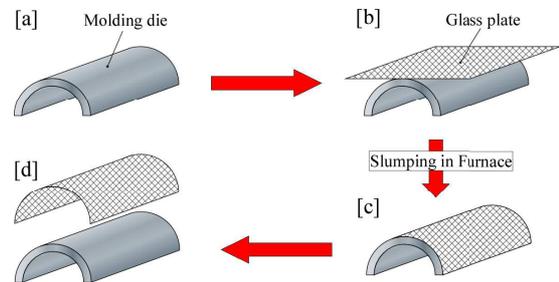


Fig. 1 Method of glass optical components molding process

Table 1 Machining conditions

Machine tool	Three one motor (TYPE HEIDON 600G)
Workpiece material	Stainless steel (SUS310S, in JIS)
Polishing tool	Suede type polishing pad (Fujibo ehime)
Abrasive	0.5[%] Alumina polishing liquid (WA #3000, Maximum particle size <13.0 [μm], Fujimi)
Supplying tool	Peristaltic pump (PST-110, IWAKI)
Experimental condition	Rotational speed of motor: 300 [rpm] Supplying amount of abrasive: 50 [ml/h]
Measuring instrument	Surface roughness tester (SJ-201, Mitutoyo)

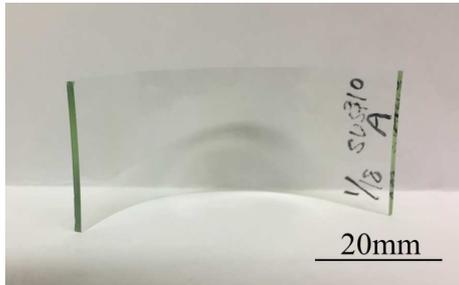


Fig. 2 Over view of the longitudinal molding die polishing system with a type HEIDON 600G motor

円筒面をスエードタイプの研磨パッドによって精密研磨している。研磨点にはアルミナ砥粒 0.5% の研磨液を 1 時間当たり 50ml ずつ供給し、攪拌機を改造した立て型研磨機で加工した。加工



(a) Overview of glass forming in the electric furnace



(b) Formed glass plate with SUS310S molding die

Fig. 3 Slumping method with SUS310S molding die for glass

面の観察はデジタルマイクロスコープで行ない、仕上げ面粗さは、小型表面粗さ測定機 (SJ-201, ミツトヨ) により測定した。

スランピング法は、小型電気炉 (NHK-120-H, 日陶科学) を用いて、厚さ 2mm のソーダ石灰ガラスに対して行なった。成形条件は、ガラスの軟化点である 680°C 付近で約 120 分の加熱時間とし、急激な冷却による割れを防ぐために炉冷とした。

#### 4. 実験結果および考察

図 3 に、精密研磨加工したステンレス鋼 SUS310S 金型<sup>3)</sup>を用いて小型電気炉内でガラス板をスランピング法により成形した様子、および成形後のガラス板の外観を示す。図 3(a)に示すように、直径 50mm の金型上に置かれたガラス板が、熱変形によって金型形状に成形されていることが確認できる。一方、使用した金型は金属光沢を持った鏡面状態であったものが、熱によって変色しているのが確認できる。成形されたガラス板は、図 3(b)に示されるように金型形状に沿って円弧上に変形しているのが分かる。ガラス板中央部の形状精度は 1 $\mu$ m 以下であり、比較的良好に成形されている。しかしながら、ガラス板端部は円弧形状に沿っておらず、ほぼ元の形状に近い状態である。今回使用したガラス板は厚さ 2mm のものであり、ガラスそのものが有する強度によって変形が進まなかったと想定される。一般的には、上部から加圧することで、全面に渡って成形することができると思われる。しかしながら、本研究の最終的なターゲットとするガラス板は、厚さ 0.2mm の液晶ガラスであることから、ガラス端の成形に対しても比較的可能になると考えられる。

図 4 に、スランピング法に用いた金型の加熱前後の表面粗さの変化、および成形したガラスの表面粗さを比較した結果を示す。表面粗さが異なる金型 A, B, C, D を製作し、それぞれの粗さは、図 4 各グラフ左より 0.28 $\mu$ m, 0.13 $\mu$ m, 0.10 $\mu$ m, 0.08 $\mu$ m である。これらの金型を用いてスランピング法によって成形したガラス板の表面粗さは、各グラフ右より 0.02 $\mu$ m, 0.02 $\mu$ m, 0.03 $\mu$ m, 0.04 $\mu$ m である。加熱前の表面粗さは 0.02  $\mu$ m 程度であることから、いずれの金型を用いた成形結果においても表面粗さは、ほぼ変化しないことが確認できた。また、一部では若干の表面粗さの

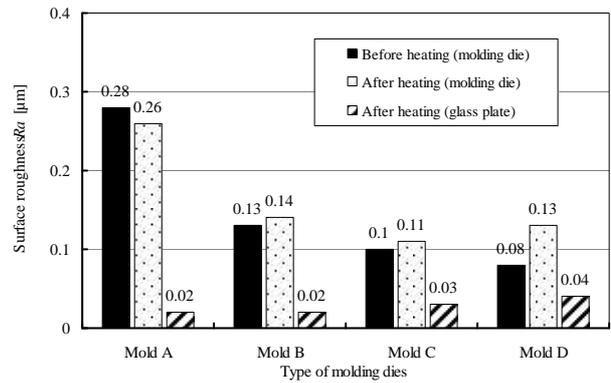


Fig. 4 Relationship between molding die surface and formed glass plate surface with slumping method

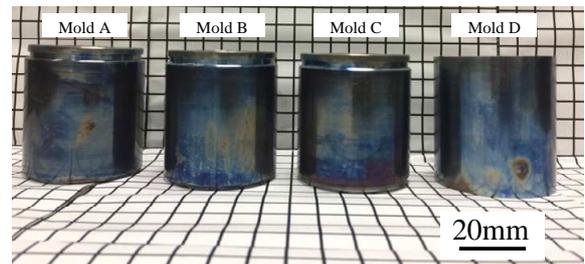


Fig. 5 Used molding die surface at slumping method process

悪化が見られたが、金型粗さほどに大きくなることはなかった。

一般的に金型を用いた成形加工では、金型精度以上の製品を作ることは困難であるとされている。しかしながら、本研究で提案するスランピング法では、ガラス本来の表面粗さを維持したままでの、形状加工が可能であることを確認した。これは、熱軟化による変形では、金型表面の粗さ形状にガラスが溶けて入り込むことはなく、大きな波形での変形現象となるためであると言える。

図 5 に、スランピング法に使用した各金型の外観を示す。いずれの金型においても、表面が熱焼けで変色しているのが分かる。今後、熱の影響の深さについても、検討を行なう計画である。

#### 5. まとめ

本研究では、ステンレス金型の表面粗さが成形されたガラス表面に及ぼす影響について検討し、以下の結果が得られた。

- (1) 表面粗さが異なるステンレス鋼金型を使用してガラス板を変形させた場合、ガラス板の表面粗さをほぼ一定に保ちながら、金型形状に沿った加工が可能である。
- (2) 熱成形に使用した金型は表面粗さが悪化するが、ガラス板に対する表面粗さの影響は非常に小さいと言える。

#### 謝 辞

本研究は、有明広域産業技術振興会平成 28 年度地場産業振興支援研究によりご支援を頂きました。心からお礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 國枝秀世：ASTRO-H 搭載硬 X 線望遠鏡プロジェクト，精密工学会誌，Vol.80, No.1, (2014)，pp.27-31.
- 2) 篠崎 烈，大木彬寛，難波義治：大型ガラス光学部品の成形技術に関する基礎的研究，2013 年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集，(2013)，pp.531-532.
- 3) 篠崎 烈，橋富りえ，難波義治：ステンレス鋼 SUS310S の精密研磨特性，精密工学会北九州地方講演会講演論文集，(2016)，pp.79-80.