

熱粘弾性モデルを用いたガラスレンズの成形シミュレーション

Numerical Simulation of Forming Process of Glass-Lens
Using Thermo-Viscoelastic Model荒井 政大¹⁾, 山本 和也²⁾, 松葉 郁文³⁾, 松倉 利顕⁴⁾, 杉本 公一⁵⁾Masahiro ARAI, Kazuya YAMAMOTO, Ikufumi MATSUBA,
Toshiaki MATSUKURA and Ko-ichi SUGIMOTO

- 1) 信州大学工学部機械システム工学科 (〒380-8553 長野市若里 4-17-1, E-mail: arai@mech.shinshu-u.ac.jp)
 2) 信州大学大学院工学系研究科 (院生) (〒380-8553 長野市若里 4-17-1, E-mail: kazuyama@str1.shinshu-u.ac.jp)
 3) 信州大学工学部 (学部生) (〒380-8553 長野市若里 4-17-1, E-mail: ikufumi@str1.shinshu-u.ac.jp)
 4) チノンテック (株) (〒392-0015 諏訪市中洲 4710, E-mail: t_matsukura@chinontec.co.jp)
 5) 信州大学工学部機械システム工学科 (〒380-8553 長野市若里 4-17-1, E-mail: sugimot@gipwc.shinshu-u.ac.jp)

In the present paper, numerical simulation of forming process of glass lens using finite element method is demonstrated. Generally, material properties of glass, e.g. viscoelastic constants and coefficient of thermal expansion, depend on time-history and temperature. In the present study, creep test has been conducted to determine the thermo-viscoelastic constants of glass. The creep function obtained by experiment has been transformed into relaxation function using Laplace transform and its inversion. Shift factor which gives the relation between the time and temperature can be determined by creep test, too. Some numerical simulation by FEM are executed to obtain the residual stress and residual deformation under several thermal conditions changing the cooling time, and the optimal condition for forming of glass lens is discussed.

Key Words: Press Forming, Glass Lens, Finite Element Method, Thermo-Viselasticity, Relaxation Modulus, Creep Function, Laplace Transform, Residual Stress

1. 緒 論

IT 技術の発展に伴い、レンズを中心としたガラス製工学デバイスおよび光通信デバイスの高機能化・高精度化の要求が高まっている。ガラスを素材とした光学デバイスは、高い光透過性を有するだけでなく耐候性に極めて優れていることから、CD, DVD 装置の光ピックアップ、液晶プロジェクターの照明光学系ユニット、デジタルカメラ等への多くの需要が見込まれており、さらなる大量生産へ向けてのコスト低減、成形の高度化が求められている。

近年、これらの光学デバイスを金型を用いた高温プレス成形により安価に製造する方法が開発され、注目を集めつつある。しかしながら融点近傍において成形されたガラスレンズを室温にまで冷却する過程において、温度変化に起因してレンズ内部に残留応力が発生し、さらにはレンズ全体に生ずる残留変形によって設計時の寸法精度が満たされないといった問題点がある。

そこで本研究では、これらの残留応力と残留変形の影響を明らかにするため、ガラスレンズのプレス成形過程に関する数値シミュレーションを実施した。ガラス材料の材料物性値、特に弾性定数は温度と時間の両者に依存する熱粘弾性特性を示す⁽¹⁾⁽²⁾。本研究では数値シミュレーションに先立ち、ガラス材の圧縮クリープ試験を実施し、熱粘弾性特性のモデル化と同定を行った。

熱粘弾性特性は、4 要素からなる一般化 Maxwell モデル⁽³⁾を用いて近似を行い、実験データより得られたクリープ曲線からガラス材のマスターカーブの作成を行った。また、種々の温度環境における実験データから、熱粘弾性特性の時間 - 温度換算則を表すシフトファクターを Narayanaswamy⁽⁴⁾の式に従い算出した。さらに得られた熱粘弾性特性を用い、汎用有限要素法コード ANSYS⁽⁵⁾を用いて、ガラスレンズ成形過程の数値シミュレーションを実施した。

本報では、2,3 の数値シミュレーションの結果より、主にガラスレンズ成形時の温度降下条件と残留応力、残留変形の関係に着目し、レンズ成形の最適条件について考察を行った。

2. 理 論

2・1 線形粘弾性体の構成方程式 以下、線形粘弾性体の構成方程式について議論する。なお、ここでは議論の簡略化のために一次元の構成方程式のみを扱うものとする。

均質等方性材料からなる線形粘弾性体の微小要素に対して次式のように、時間 t に関してステップ関数状のひずみ:

$$\epsilon(t) = \begin{cases} 0 & (t < 0) \\ 1 & (t \geq 0) \end{cases} \quad (1)$$

を作用させた場合の応力の時間変動を $k(t)$ と定義すると、線形粘弾性体における応力 $\sigma(t)$ とひずみ $\epsilon(t)$ の関係式、すなわち構成方程式は以下のように Duhamel の積分形により記述