



# ガラスプレス成形の 超精密光学デバイスへの応用

近畿大学 工学部

伊藤寛明

名古屋大学大学院 工学研究科

荒井政大

## 1. はじめに

近年、ガラス表面にマイクロ・ナノスケールの超微細構造を付与し、新たな光学特性を発現させる技術が注目されており<sup>1,2)</sup>、その製造方法として金型を用いたガラスプレス成形（熱インプリント成形）が注目されている<sup>3,4)</sup>。ガラスの熱インプリント成形は、ガラスの粘性が低下するガラス転移点以上の高温領域においてガラス試料をプレスすることで、あらかじめ所望の形状が付与された金型形状をガラスに転写させる技術であり、その原理や成形条件の決定指針などは、非球面レンズ等を対象とした“ガラスモールド成形”<sup>5)</sup>とほぼ同様である。

ここで、ガラスは典型的な熱粘弾性体<sup>6,7)</sup>であり、粘弾性状態の温度域における変形挙動は、応力とひずみの時間依存性ならびに温度依存性を十分に考慮する必要がある。そのため、単なる経験則により、熱インプリント成形やガラスモールド成形における成形温度や加圧時間、冷却速度勾配等を決定することが非常に難しく、実験により最適成形条件を探索することは多くのコストと労力が必要となる。例えば、成形中において、ガラスに高い内部応力が生じた場合には、割れの発生や屈折率の変化を生じてしまうため、良品を製造することが困難になる。

著者らはこの課題に対して、ガラスの熱粘弾性特性を考慮した有限要素法（Finite Element Method : FEM）解析によって、形状転写性や成形中の内部応力の観点から最適成形条件を明らかにしてきた<sup>8,9)</sup>。また、マイクロチャネルや非球面レンズを対象とした FEM 解析結果と、実際の成形試験結果とを比較し数値計算の妥当性について検証することで一定の成果を挙げている<sup>8,10)</sup>。本稿では、これらの報告をもとに、一軸圧縮クリープ試験によるガラスの熱粘弾性特性の導出方法について解説した後、ラインアンドスペースパターン（L&S）を対象とした熱インプリント成形試験、およびその数値シミュレーション結果について解説する。

## 2. ガラスの熱粘弾性特性の導出

### 2-1 一軸圧縮クリープ試験による熱粘弾性特性の評価

有限要素法解析において、ガラスの応力緩和挙動を表現するためには、線形粘弾性理論<sup>6,7)</sup>に基づく緩和せん断弾性係数のマスターカーブ、およびシフトファクタ（時間温度換算因子）を取得する必要がある。高分子材料や複合材料の熱粘弾性特性の評価は、一般に動的粘弾性試験（Dynamic mechanical analysis: DMA）によって実施されている。しかし、市販の DMA 装置の多くは測定温度の上限が 600℃以下と低いためガラス材料への適用は難しく、その適用は一部の低融点ガラスに限られる。そのため、ガラス転移点が 600℃以上にある光学ガラスや耐熱ガラスへの DMA の適用はほとんど報告されていない。

この現状を受け、著者らは 500～800℃程度の高温度域でのガラスの熱粘弾性特性の測定を可能とするため、一軸圧縮クリープ試験を実施した。クリープ試験は準静的試験であり DMA 試験のように周期的な応力もしくはひずみの繰り返し負荷を必ずしも必要とせず、一定荷重を負荷できる荷重負荷部、電気炉等の温度調整部、および時間経過に伴うガラス試験片の変形量を計測する変位計測部を備える非常にシンプル