

# 射出成形中の溶融プラスチックの 流動の可視化に関する研究

東京工業大学工学部生産機械工学科

教授 黒崎 晏夫

(昭和62年度奨励研究助成 AF-87026)

## 1. 研究の背景

プラスチック射出成形部品の使用される領域は、その製作の容易さから今後ますます拡がると予想される。その使用領域が拡がるにつれて、精度への要求も厳しくなってきたのが現状であり、特にエレクトロニクス部品、光学部品などにおいては高い精度が要求されている。しかしこれまでのところ、溶融プラスチックの金型内の流れ・凝固過程、温度分布の変化などの詳細、冷却速度の凝固・残留応力への影響などについての基礎的な研究は皆無であるといつて良い状況である。

本研究では、これまで射出成形においてブラックボックスとして取り扱われてきた金型内の溶融プラスチックの流動を可視化し、射出成形製品への影響因子を明らかにすることに挑戦する。

## 2. 研究の目標

### (1) 従来の金型内の流動観察

これまで、溶融プラスチックの流れを可視化するにはショートショット法を用いるのが一般的である。この方法では、射出するプラスチック量を減らして凝固させ、その樹脂先端部がどのような形状になっているかを観察する。射出量を順次増加させてこの実験を繰り返すことにより、樹脂が金型内へどの様に充填するかを解析する。この方法では、金型内への樹脂の充填状況は把握できるが、凝固プロセスや残留応力の解析は不可能である。

## (2) 本研究の目標

従来の可視化手法では流動樹脂の挙動や凝固プロセス、残留応力の検討が不可能であるので、本研究では、金型壁の一部を切り取りガラス製の窓を付けることによって、金型内部が直接可視化できるようにした。その上で、金型内の熔融プラスチックの流動・凝固を樹脂中に生じる複屈折の変化を利用して可視化し、プラスチック内の温度および応力の時間的変化を解析する。これらの結果により、これまで解明されていなかった射出成形中の樹脂の挙動、温度変化、応力変化と射出条件・金型冷却条件との関連を明らかにして、射出成形製品の成形精度向上のための基礎的知見を得ることを本研究の目標とする。

## 3. 成果の概要

### (1) 金型内の射出成形樹脂の流動と固化挙動の可視化

本研究では、研究目標の項に既に記したが、金型内の樹脂の挙動を直接可視化するために、光が透過できるよう金型壁の一部を切り取りガラス製の窓を付けた可視化用金型を作成した。そのガラス窓の両側に偏光板を配置することによって、樹脂の複屈折性を利用した光弾性の原理により樹脂内の応力場の時間的変化を可視化することができる。

実験の一例として、幅 12mm、厚さ 4mm、長さ 65mm の平板上キャビティを持つ金型を作成し、厚さ方向の樹脂内の応力場を観察した。複屈折の比較的大きいポリスチレンを直径 5mm のゲートから射出したとき、熔融樹脂の充填の進み具合、凝固の進行を高速ビデオカメラで記録することができた。上下の冷却壁からの凝固層の厚さ、成形された樹脂固化層内、熔融層内の応力（複屈折）の時間的変化など、興味ある結果が得られている。参考までに、流動樹脂先端部の写っている写真を添付しておく。この写真では、流動樹脂内の等歪線に対応する縞が明瞭に観察される。

このような観察を様々な射出条件に対して行った結果、射出成形された樹脂内の応力には、大きく分けて ①流動中のせん断応力に起因するものと ②冷却中の熱

収縮によるものの2つがあることが明らかとなった。そのどちらが製品内に残留するかは、流動によるせん断歪みが緩和する時間と、樹脂製品が固化するまでの時間とのかねあいによって決定され、一概に製品厚さが大きくなるにつれ、樹脂が固化するまでに流動複屈折が緩和し、熱応力が残留する傾向が強くなる。

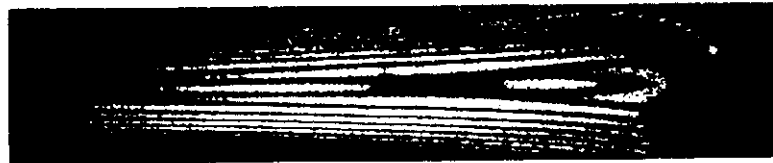


Photo.1 流動中の溶融樹脂内の複屈折の様子

## (2) 溶融樹脂の物性値の測定

さて、得られた複屈折による可視化像を応力場に変換するためには、溶融樹脂の光学的・材料力学的物性値が必要とされる。溶融樹脂の光学的・材料力学的物性値、すなわち光弾性係数や擬塑性粘度などは、溶融樹脂が非ニュートン流体でありレオロジ的な取り扱いを要するため、従来あまり詳細な報告がなされていない。そこで本研究では上記実験とは別に、溶融樹脂の物性値測定をも試みた。

測定装置は、同心二重円筒の隙間部に樹脂を閉じ込め、溶融可塑化した上で、内筒を回転させ、樹脂に一様せん断応力を加えて、その時の回転数、トルク、樹脂中の複屈折の縞次数から光弾性定数、擬塑性粘度などを求めるものである。この測定を樹脂温度、樹脂にかかるせん断力の大きさなどを変えて行った結果、樹脂の光弾性定数は、樹脂が溶融している範囲内では温度によって余り変化しないこと、擬塑性粘度は樹脂温度の低下に伴って増加することを明らかにした。

## (3) 総合的検討とこれからの課題

上記の検討を通して、射出成形金型内の樹脂の流動と固化の挙動から、射出成形製品中の残留応力減少のための指針を得ることができる。すなわち、製品の厚さが

薄く樹脂の固化が速い場合には、流動によるせん断応力が金型壁に近い部分（いわゆるスキン層）に残留するので、射出速度を抑え、射出温度を上げることで残留応力を減少させることが出来る。一方、成形品厚さが厚く、樹脂固化以前に流動によるせん断応力が緩和する場合には、残留応力は熱収縮に伴う熱応力によって支配されるので、補圧によって効果的に応力を減少できると言える。

現在、金型形状、成形品厚さ、補圧力などを様々に変化させて上記の実験を継続中であり、高精度な射出成形品を得るための射出条件に関する更に詳細な知見を得るべく努力している。また、現在は樹脂中の温度分布の測定に熱電対を用いているが、波長の異なる2つの光で複屈折の様子を測定することによって、光弾性定数の波長依存性から樹脂中の応力と温度を同時に非接触で測定することについても検討中である。このためには、光弾性定数の波長に対する変化を詳細に測定する必要がある、これについても検討を開始したところである。

## 研究発表

- (1) 黒崎晏夫：金型内の熔融プラスチックの流動と固化層の成長状況の観察、  
日本機械学会第65期通常総会先端技術フォーラム資料集、pp. 30-32 (1988)
- (2) 黒崎晏夫・石井浩一郎・佐藤 勲：複屈折を用いた射出成形金型内のプラスチックの流動と固化挙動の可視化、  
第39回塑性加工連合講演会、pp. 271-274 (1988)