

## プラスチック光学部品の成形加工

今富芳幸

プラスチックレンズは、大量生産によるコストダウン、レンズ面の非球面、複合化、製品の軽量化などその加工法(射出成形)や材料特性の利点を生かし、様々な用途に適用されている。一方、耐熱性、耐環境性、精度等の問題で適用範囲が限定されているため、新材料の開発や新成形法の開発が行われているのも現実である。

本稿では、高精度プラスチックレンズの成形を例に、射出成形と射出圧縮成形の2つの成形方法の特徴について解説する。また、近年注目を集めている、液晶ディスプレイのバックライトの部品として使用されている導光板の射出成形について、新成形法の紹介とともに解説する。

### 1. プラスチックレンズ成形の特徴

射出成形において、ペレット状の樹脂が製品となるまでに表1のような工程を経る。射出成形機は樹脂の溶融から流動・加圧・保圧・冷却を経て製品の突出しまでの各工程で種々の制御を行う。一般的なプラスチック成形と同様、プラスチックレンズの成形においても金型、樹脂、周辺機器は重要な役割を担っているが、ここでは個々については省略することとし、射出成形機に関わることを工程ごとにまとめた。

(1) 可塑化工程：プラスチックレンズに異物や樹脂焼けが混入すると光学性能を損なう。樹脂焼けは、樹脂の滞留や剪断発熱によって発生する。プラスチックレンズに使用される樹脂の大半は粘性の高いアクリル(PMMA)、ポリカーボネート(PC)であるため、可塑化

溶融時に樹脂同士の摩擦による局所的な剪断発熱が生じやすい。これを防止するため、できるだけ可塑化時のスクリュー回転を低速にして樹脂を溶融させる必要がある。また、樹脂がスクリュー表面やスクリューへッドなどの金属表面に長時間滞留すると、その部分から樹脂焼けが発生する。したがって、樹脂が滞留しないよう樹脂流路に接する金属の表面処理を考慮したスクリューアップブリーダーが必要である。

(2) 充填工程：外観不良の防止、レンズ面精度の確保のため充填速度を遅くする必要がある。レンズ形状によっては、射出成形機のスクリュー前進速度を1mm/s以下にする場合もある。当然、多段充填は必須条件である。

(3) 充填から保圧への切換え：プラスチックレンズの成形では、レンズの面精度はキャビティ内の樹脂圧力のピークに左右される。したがって、充填工程から保圧工程への切換えは圧力切換えが望ましい。

(4) 保圧工程：キャビティ内の樹脂圧力を均一化させるため、多段制御が必要である。

(5) 冷却工程：肉厚が比較的厚いため、長い冷却時間が必要である。

(6) その他：レンズ面を形成する固定側、可動側の入子の同心度、傾きはレンズの光軸のズレ、傾きに影響を及ぼす。高精度な型締装置(プラテンの平行度、型締力のバランス、剛性など)が必要である。レンズが高精度になれば、射出成形機の安定性、再現性が要求される。溶融、充填、保圧、冷却すべてにおいて安定した制御が必要である。

これらの特徴に適合した射出成形機で高精度なピックアップレンズの成形を行い、次の結果を得た。

Injection molding of optical parts (1995年10月5日受理)  
Yoshiyuki IMATOMI 住友重機械工業(株)プラスチック機械事業部営業技術部 (〒263 千葉市稻毛区長沼原町 731-1)

表1 射出成形の工程。

工程 成形機の工程	樹脂供給 可塑化	溶融	流动	加压	保压	冷却	離型	製品 休止
--------------	-------------	----	----	----	----	----	----	----------

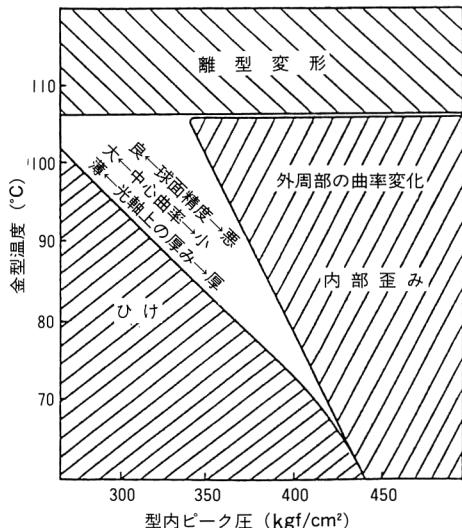


図1 型内圧、金型温度と成形品品質の関係。

金型は、キャビティ部に型内圧センサーを埋め込み、キャビティ内の樹脂圧を測定できるような構造となっている。型内圧と金型温度によってレンズの品質が変化する様子を図1に示す。金型温度を樹脂の熱変形温度付近まで高くし、キャビティ内の圧力をレンズにヒケが発生しない限界まで下げることによってレンズの面精度を向上させることができた。これは、冷却工程におけるキャビティ内の樹脂温度分布、圧力分布を均一化させることに他ならない。

## 2. 射出圧縮成形法

射出圧縮成形法とは、金型のキャビティ内に充填された樹脂が冷却工程で体積収縮するときに、収縮量に応じて外部から強制的に力を加えることによって金型寸法を小さくして、収縮分を補う成形法である。通常の射出成形ではスクリューの動きを精密に制御することによって、キャビティ内に送り込む樹脂の速度・圧力を間接的に制御して、製品の品質を確保する。ところが、射出圧縮成形ではキャビティから樹脂に直接圧力を加えることができるので、製品の品質を向上させたり、不良化の低減を容易に実現できる。以下に射出圧縮成形法の適用例を示すが、比較的精度が高く、射出成形では満足な精度が得られない場合に主に使用されている。

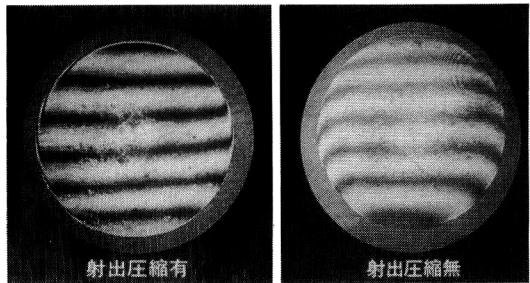


図2 反射波面の比較。

- (1) カメラの鏡筒などの機構部品の真円度向上
- (2) 厚肉歯車のヒケ防止によるピッチ誤差の向上
- (3) 光ディスクにおける転写性の向上、複屈折レベルの向上、複屈折の面内一様性、ソリ防止
- (4) 光学レンズにおける曲面・平面の形状精度の向上

## 3. 射出圧縮成形法によるプラスチックレンズの成形

射出圧縮成形法としては、ローリンクス法、マイクロモルダ法、サンドイッチプレス法、直圧方式、2段直圧式などがあり、それぞれ特徴を有している。住友重機械で採用している射出圧縮成形法の方式は、いわゆるマイクロモルダー法と呼ばれ、圧縮力を金型に組み込んだ油圧シリンダーによって発生させるのではなく、成形機の可動プラテン上に圧縮力発生用の油圧シリンダーを組み込んでその力を金型のコアに伝える方式である。

ピックアップレンズの球面の反射波面をレーザー干渉計で測定した結果を図2に示す。充填・保圧で発生する型内圧よりも若干高めの樹脂圧がかかるような圧縮力を設定することにより、レンズ周辺の球面精度を向上させることができた。圧縮力の設定がこれよりも低い場合、レンズの球面精度はまったく変化せず、圧縮力がこれよりも高い場合、レンズの球面精度は保圧を高くしたときと同じように悪くなる。充填・保圧で発生する型内圧と圧縮で発生する型内圧のバランスがとれたときにレンズの球面は部分的に矯正され、それがレンズ周辺の球面精度を向上させる結果となったと推測される。この結果により、射出圧縮法は高精度レンズの精度を向上させる有効な手段であることを確認した。

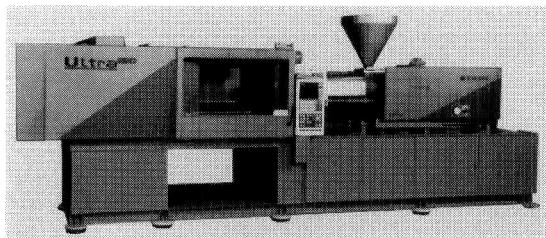


図3 射出成形機「ULTRA」。

#### 4. 最適自動型締制御による新成形法

住友重機械では、昨年、新成形法を取り入れた射出成形機「ULTRA」を開発した(図3)<sup>1)</sup>。このシステムの型締装置(図4)は、従来と全く異なる型締力の制御方法を採用しており、油圧アクチュエーターを使用したシステムで構成されている。従来機との違いとして2つの検出器と1つの圧力制御弁がある。型締力を発生させる型締シリンダーには圧力検出器が接続され、型締力の代用として型締圧力を検出している。金型が取り付けられて

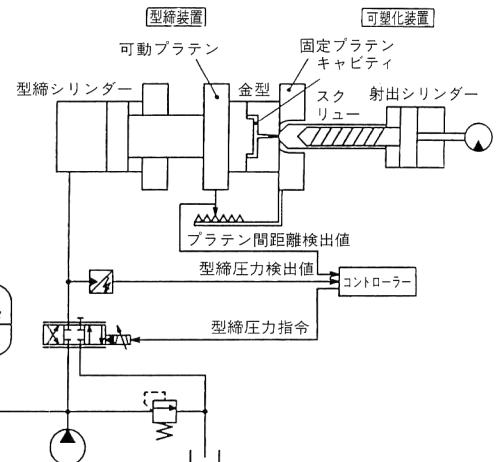
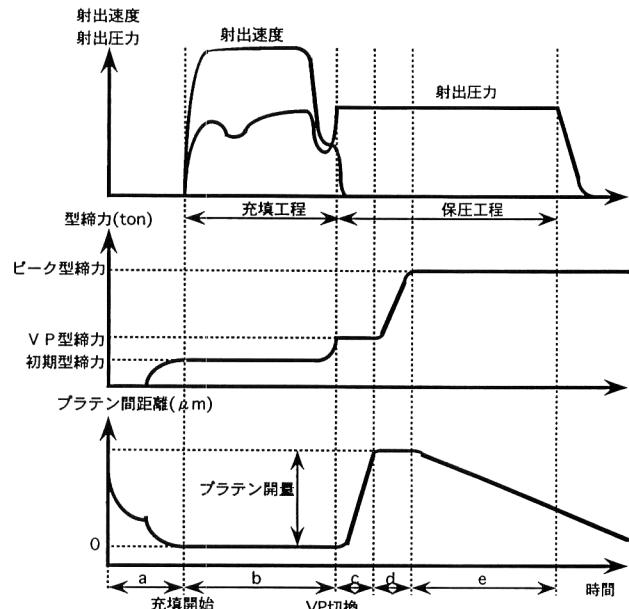
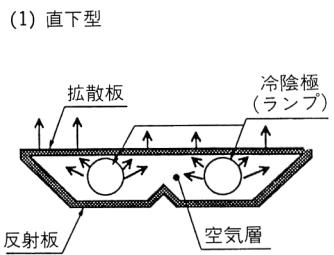


図4 型締装置のシステム図。

いる固定プラテンと可動プラテン間には、位置検出器が取り付けられており、プラテン間の距離を検出している。充填・保压工程中の型締圧力とプラテン間距離は、

図5 型締制御の動作波形。工程a：成形品を取り出すために、開いていた金型を可動プラテンを移動させて密着させる型閉区間である。工程b：初期型締力により低圧で型締した後に、その時点でのプラテン間距離を保持する位置制御を行う。同時に、充填が開始され、金型内に樹脂が注入される。この充填工程末期に金型内に樹脂は充满してくるため、樹脂圧力がプラテン間を開かせる力となる。この力の増加に伴い、プラテン間距離の位置制御の結果、金型内に加わった力に応じて型締力を発生させる。したがって、初期型締力が低圧であるにもかかわらず、成形品にバリは発生せず、金型内のエアーや樹脂から発生するガスが金型のパーティング面から抜けやすく、ガス焼け、ショートショットなどの不良現象を防止する。工程c：射出装置はスクリューの速度制御から圧力制御へ切り換わる(V-P切換え)。保压工程では、金型内の樹脂の収縮を補うため高い圧力を加える。したがって、金型内の圧力はさらに増加し、プラテン間を開こうとする力も急激に増加する。このとき、型締装置はプラテン間距離の位置制御からV-P切換え時の圧力を保持する型締力制御へ切り換わり、設定されたプラテン開量まで開いてくるのを待つ。ここで意図的にプラテン間を開かせるのは、金型のゲート付近の樹脂圧力のピークを抑え、ゲート遠方の樹脂圧力との差を小さくし、ソリ、バリなどの不良現象を防止し、キャビティ内の圧力分布を均一にできるからである。工程d：プラテン間距離が設定値に到達したら、型締装置はその位置を保持するプラテン間距離の位置制御へ切り換わり、その結果、これ以上プラテン間が開いて成形品にバリが発生しないように型締力が増加する。その後、金型内の樹脂の固化による収縮が始まると、設定されたプラテン開量を保持するための型締力はピークを迎え、やがて減少し始める。このタイミングで次の工程eに移行する。工程e：プラテン間距離の位置制御から、再び移行時の型締力を保持する型締力制御に切り換わる。切り換わった後は、樹脂の収縮とともにプラテン間距離は閉じてきて、樹脂の収縮に見合った自然な圧縮効果が得られる。また、この工程以降において、さらに圧縮が必要な成形の場合、型締力を増加させることも可能である。





(2) サイドライト型

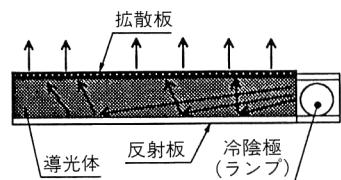


図6 バックライトの各方式。

キャビティ内溶融樹脂の状態によって刻々と変化するが、その検出値はコントローラーにフィードバックされ、演算後の最適な圧力指令値は、コントローラーから油圧源と型締シリンダー間に配された圧力制御弁に出力される。このシステムにより、型締力を各工程ごとに最適な値に制御することが可能となった。

この制御システムでは、成形品に適した動作モードをいくつか選択できるようになっている。図5は本制御を使用した場合の充填速度、圧力、型締力およびプラテン間距離の代表波形である。型締力とプラテン間距離の2つの制御量を適宜選択、切り換えることで本成形法独特的成形効果が得られる。

## 5. 最適自動型締制御による導光板成形

### 5.1 導光板について

近年、ノートパソコン、ワープロをはじめ携帯電話、ゲーム機、カーナビゲーションなどの用途として、LCD(液晶表示装置)は急速な市場の拡大をみせている。それに伴い、LCDのバックライトの部品として使用されている導光板の射出成形による生産に注目が集まっている。

表2 射出条件。

条件 No.	a	b	c
型締制御	220 ton 一定	プラテン開量 50 $\mu\text{m}$ その後圧縮 220 ton	プラテン開量 80 $\mu\text{m}$ その後圧縮 220 ton
保圧 (樹脂圧換算)	36% 817 kg/cm <sup>2</sup>	28% 636 kg/cm <sup>2</sup>	25% 568 kg/cm <sup>2</sup>

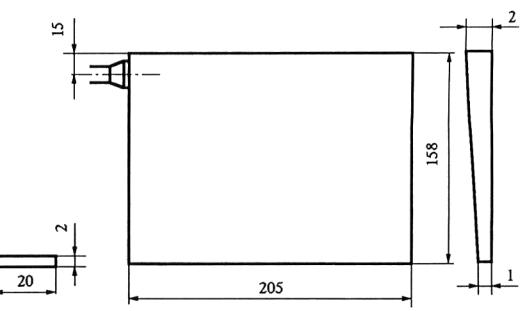
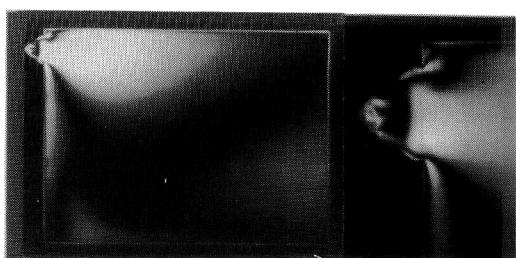
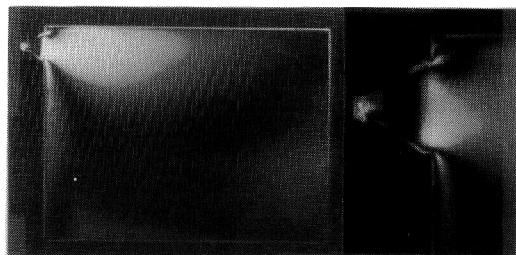


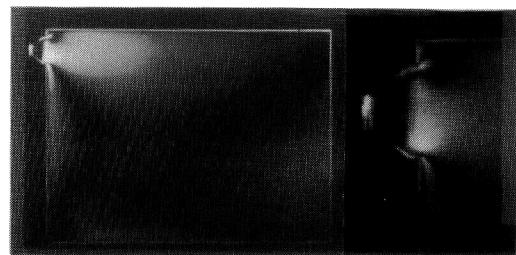
図7 導光板形状。



条件 a 220 ton 一定



条件 b 型締制御 (50  $\mu\text{m}$ )



条件 c 型締制御 (80  $\mu\text{m}$ )

図8 導光板の内部応力。

バックライトは、自己発光機能のない液晶パネルの裏側から、光を均等に照射する装置で、その方式として次の2つが知られている(図6)。

1) 直下型：光源(ランプ)を液晶パネルの直下に配置したタイプ。特徴としては、輝度確保は容易であるが、薄型化に限界がある。

2) サイドライト式：現在の主流で、導光板を用いて側面から光を照射する方式。薄型化は可能だが、輝度向上、光の均等化に工夫を要するといわれている。

従来から、導光板は、アクリルシート加工品(押出し板、キャスト板)に、白色インクによるドットパターン印刷を施して使用しているが、高輝度化、軽量化、加工工程の合理化、コストダウンなどの理由により射出成形によるアクリル成形品に移行しつつある。

## 5.2 導光板の成形加工

バックライトの要求品質を確保するために、導光板単体での評価項目が挙げられる。

① 内部歪み(内部応力)，② 肉厚均一性，③ 外径寸法均一性，④ 平面度，⑤ ソリ，⑥ 外観(異物，ウェルド，ヒケ)，⑦ 黄変度(長光路光線透過率)，⑧ 転写性(ドットパターンがあるとき)。

外観の異物、黄変度については、その発生原因が樹脂や可塑化に起因しているのでここでは説明を省くとして、他の特性について最適自動型締制御の効果を述べる。

### 1) テスト条件：

成形機：ULTRA 220

樹脂：PMMA(高流動タイプ)

成形品：9.5インチ導光板 2個取り(図7)

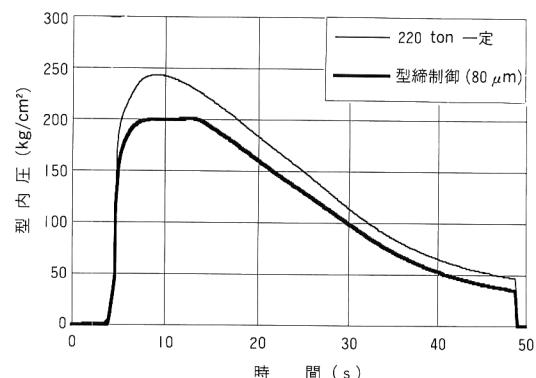


図9 導光板成形時のゲート付近の型内圧波形。

重量： 59.8 g

射出条件：表2 参照

2) 内部応力分布：図8は、偏光板を使って導光板の内部応力を観察した写真である。型締力を220 ton一定にした条件(条件a)と型締制御を使ってプラテン間を開き、その後220 tonまで圧縮した条件(条件b：プラテン開量50 μm, 条件c：プラテン開量80 μm)で成形したときのものである。一定型締力下で成形したときより型締制御を使って成形したときの方が残留応力が小さくなり、さらにプラテン間を開くことによって、いっそう残留応力は小さく抑えられた。特に顕著なのはゲート付近の応力集中である。

残留応力を低減させるために、保压プログラムを組んで樹脂の固化とともに射出側の圧力を徐々に減少させる方法を行ったが、十分満足できる品質レベルを得ることができなかった。本成形法では、樹脂がキャビティ内に

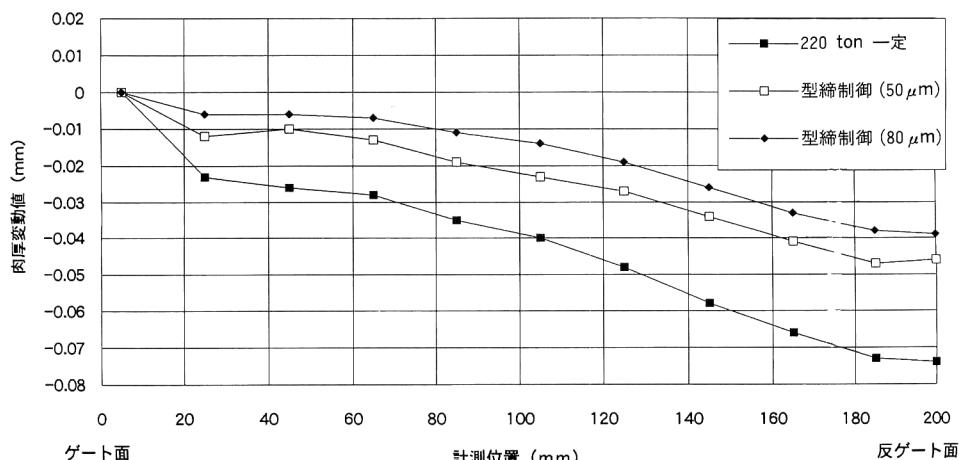


図10 同一肉厚上における肉厚差。

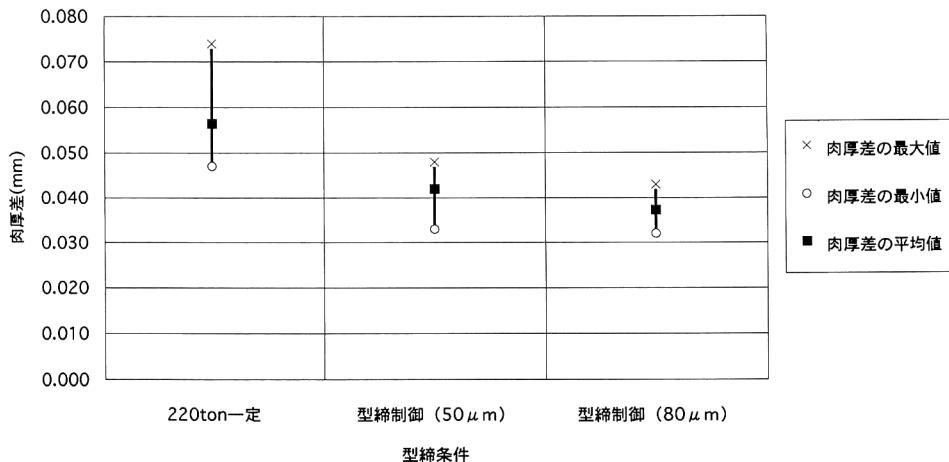


図 11 型締制御による肉厚差。

充满した直後にプラテン間を開かせることによってキャビティ内の樹脂圧分布を均一化し、その後、樹脂の収縮とともに金型を圧縮することによって製品全体に均一な圧力が加えられることで残留応力の低減が実現できたと推測される。

図 9 に条件 a と条件 c のゲート付近の型内圧波形を示す。条件 c でプラテン間を  $80 \mu\text{m}$  開いたときには、条件 a よりも型内圧のピークが低く抑えられていることがわかる。

3) 肉厚寸法：成形品の長辺方向に平行な同一肉厚上の肉厚寸法を 8 ライン計測した(1 ラインの計測ポイントは 20 mm 間隔で 11箇所とした)。肉厚 2 mm の端面から 40 mm 離れた位置の肉厚を計測した結果を一例として図 10 に示す。図 11 は、8 ライン計測した結果の肉厚差の最大値、最小値、平均値をプロットしたもの

で、本成形法によって、肉厚差を平均で約  $20 \mu\text{m}$ 、最大で約  $40 \mu\text{m}$  減少させることができた。

肉厚分布と前項の内部応力分布には強い相関が認められ、ここでも型締制御による有効性が実証された。

光学レンズを含むプラスチック光学部品の成形加工について、成形方法を中心述べた。今後、成形機メーカーとして、従来では困難と考えられていた製品の成形加工を実現可能にする新しい成形方法を開発することもさることながら、量産現場において扱いやすい成形機、安定した成形を実現させる成形機を提供することにも取り組んでゆく所存である。

## 文 献

- 1) 今富芳幸：“新制御方式による光学部品の成形不良防止”，*プラスチック成形技術*, 11, 7 (1994) 22-27.