

超高速射出成形における樹脂充填制御技術の開発

The Development of Polymer Flow Control Technology for Ultrahigh Speed Molding

石川 華奈*
Kana Ishikawa元山 貴史**
Takashi Motoyama澤田 靖彦**
Yasuhiko Sawada荒木 克之*
Katsuyuki Araki

要 旨

プラスチック射出成形品は年々、大型化、薄肉化が進んでおり、射出成形機の超高速化および、成形プロセスの高精度化が求められている。本研究では、光学物性と樹脂流動挙動とを比較することにより、超高速射出により成形される薄肉成形品の賦形性、成形品特性を満たすための流動方法、減速方法を見出した。その結果、超高速射出成形における樹脂流動に対して有効と考えられる制御の開発へとつながった。

— Synopsis —

Plastic injection molding products are enlarging their size and reducing their thickness in recent years and requiring high responsivity and high accuracy on molding process. We analyzed thin wall molded parts to clarify the reason for their physical property change during injection. And we considered suitable polymer flow control and deceleration control of flow to reduce the property change and to meet requirements for their formability and quality. Considering these results, we operated the efficient controls of polymer flow and revealed their advantages.

1. 緒 言

ディスプレイ部材などの光学製品や、自動車用の構造部品、容器等において、射出成形品は広く使用されており、今後は更なる大型化、薄肉化が進むことが予想される。成形品の薄肉化により、金型内での樹脂の冷却・固化速度が早くなるため、金型内において熔融樹脂を効率的に充填することは非常に重要な技術と考えられる。そこで、成形品の光学特性を把握し、射出時における制御条件が金型内の樹脂流動挙動におよぼす影響を測定実験によって確認することにより、薄肉成形に適した制御方法について調査した。本報告では、薄肉導光板成形品を例にとり紹介する。

2. 薄肉成形品の光学特性と樹脂流動挙動

薄肉成形品に適した射出制御方法を検討するに当たり、成形品の物性の詳細調査と射出時の樹脂流動挙動とを比較し、物性がどのように形成されるかを把握した。本章では薄肉成形品のイエローインデックス（以下 YI）を細部にわたり測定し、金型内における樹脂流動挙動の測定結果と比較した結果について説明する。

2.1 成形品の YI 変化

薄肉成形は金型内での樹脂の冷却・固化速度が早いいため、射出圧力が高くなりやすく、比較的難しい成形とされている。中でも薄肉導光板成形は、非常に精密な流動制御が必要とされ、色度・輝度等の光学特性や肉厚等が面内で高度に均一であることと同時に、反り等が少ないことが求め

*: 広島研究所
Hiroshima Research Laboratory**: 広島製作所
Hiroshima Plant

られる。図1に成形品中の色度分布のイメージ図を示すが、成形品への樹脂の入り口であるゲート部分において色度が急激に高くなる傾向がたびたび観察される。ゲート部分と反ゲート部分とで光学物性が違うと、製品の面内で画面の色味が変わってしまい、要求品質を満たすことができない。図2に故意に射出充填量を減らした導光板成形品のショートショットを作製し、充填率の異なる成形品ゲート部分のYIを色彩色度計により測定した結果を示す。ショートショットとは充填が不完全な成形品のことである。図2 a)の白い枠内(成形品のゲート側)のYIを充填率順に測定したところ、充填率75%以上のサンプルにおいてYIが上昇していることが分かる。このYIの上昇はゲート部の色度が急激に高くなる原因の一つと考えられ、充填終盤の流動状態の重要性が示唆される。

さらに、成形品断面において、どの部分でYIが上昇しているかを微小面分光色差計により求めた結果を図3に示す。30 μ mの測定径で図3a)における0~11の測定位置のYIを測定したところ、図3b)のように、測定位置2~

4間、測定位置8~10間(図3 a)の点線枠)でのYIの上昇が確認された。また図3 a)の測定位置0~2間付近を拡大し、顕微ラマン分光光度計により分子配向分布を測定した。高配向部分を暗く、無配向部分を明るくコントラストをつけた分子配向分布を図4に示す。スキン層の配向部分の直下に低配向層があり、その下の層に高配向層が観察された。この断面内側に観察された高配向層は図3においてYIが上昇した部分(測定位置2~4間)と一致していた。

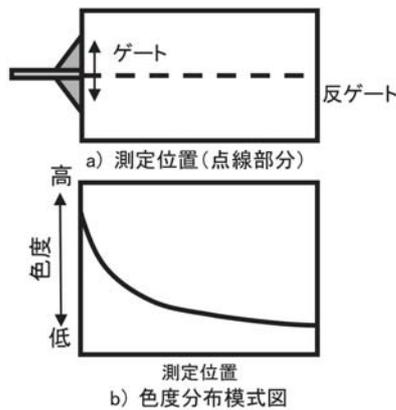
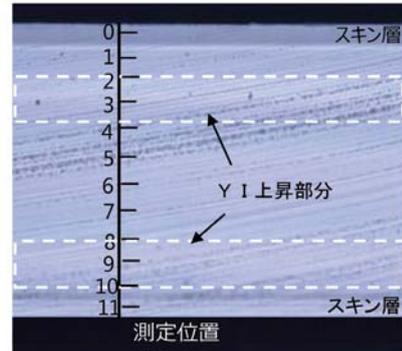
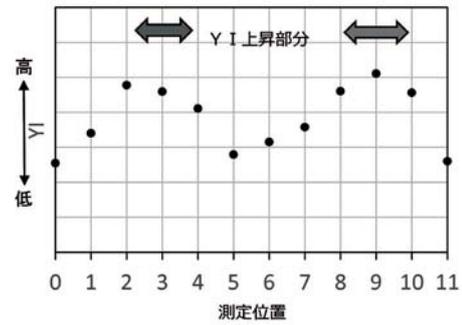


図1 薄肉導光板の色度分布

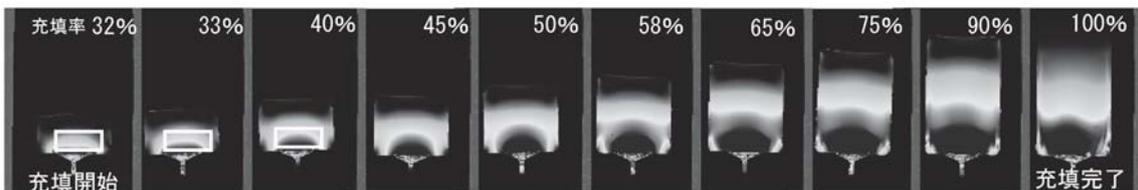


a) 成形品断面の測定位置

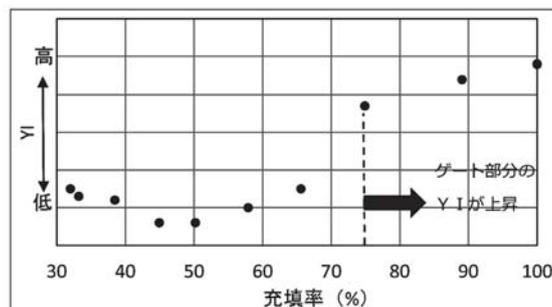


b) YI 測定結果

図3 成形品断面のYI分布



a) ショートショット成形品(白枠内、ゲート側のYIを測定)



b) ゲート部分のYI 測定結果

図2 充填率とYIの関係

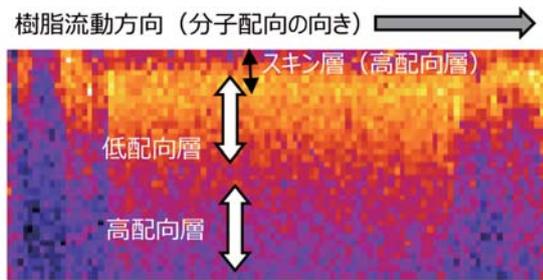


図4 ラマン分光測定による断面の分子配向分布

2.2 樹脂充填中の金型内圧

ゲート部分において YI が上昇し始める充填終盤において、金型内の樹脂の状態を観察するため、図5に示す65mm × 120mm、厚さ0.4mmの導光板を模擬したキャビティ内に、速度センサ、圧力センサ、温度センサを設置することができる金型を製作した。この測定金型を用いて超高速射出成形機 J180AD-60H-USM で成形したときのキャビティ内の圧力変化を測定した。樹脂がそれぞれセンサ2、センサ3、センサ4の位置まで充填したときの各センサ位置におけるキャビティ内圧を図6に示す。この結果、樹脂がセンサ3に到達したときに、ゲート部分であるセンサ1の圧力をもっとも高くなり、金型内の圧力差も最大となることが判明した。その後、スクリュの減速、後退に伴い、センサ4に樹脂が到達した際にはセンサ1、センサ2の圧力は低減する。

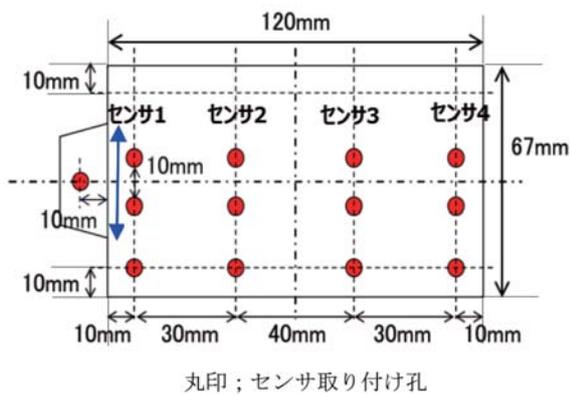


図5 計測金型のキャビティ形状とセンサ取り付け位置

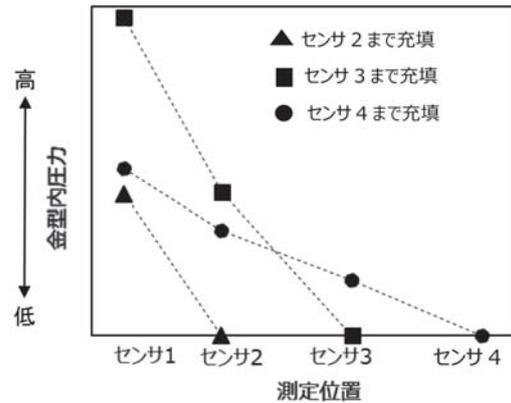


図6 金型内圧比較

2.3 YI 変化要因の考察

薄肉成形においては、スキン層が形成された後、充填開始時から充填終了までの間、経過時間に伴い、次第に固化が進行し流動可能な層が狭くなることが知られている⁽¹⁾。特にゲート部分は最初に樹脂が充填されるため、固化の進行が早いと考えられる。図7に、ゲート部断面の流動層の厚みが、充填に伴い狭くなる様子を模式的に示す。図7 b) に表すように、充填に伴い流路が狭まり、流動抵抗が大きくなるため、充填中盤ではゲート部分の内圧も高くなると考えられる。この状態で無理な充填を行なうことによって、流動層のせん断速度が上がり、せん断発熱や配向度の上昇から色度の上昇や YI 上昇等の光学特性の変化が引き起こされると推測される。したがって、図3で確認された YI の高い部分が分布していたのは、冷却が進み比較的粘度の高い流動層と固化した部分との界面におけるせん断が原因である可能性が高い。

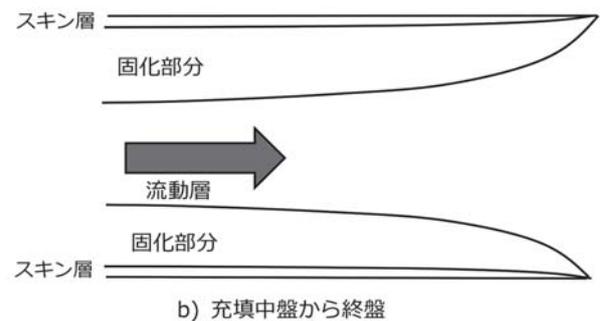
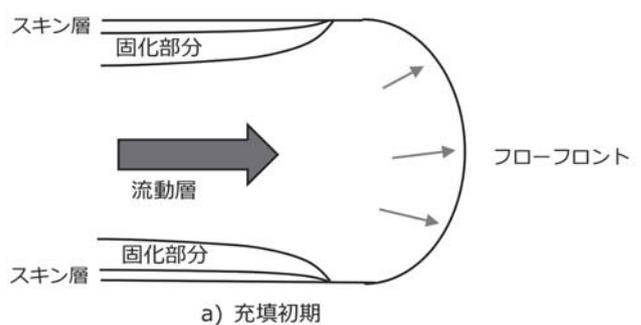


図7 ゲート部分の断面模式図

以上の結果から、ゲート部分での光学特性の悪化を抑えるためには、固化層の成長を抑え流動層を確保した状態で充填することが重要であるため、樹脂の充填速度を高め、樹脂が固化する前に早く充填させる必要がある。また、高い型内圧力によりせん断速度の上昇が起こる可能性が懸念されることから、より低い圧力での充填が望まれる。

3. 樹脂の充填制御技術

前章では薄肉成形品における高流速充填の必要性が示されたが、その反面、高圧を伴う成形によりせん断応力の上昇が懸念される。これらに対応した射出制御方法について検討した内容について、各種測定結果をもとに述べる。

3.1 圧力保持制御の効果

前述のとおり薄肉成形において、充填中盤から終盤では流動抵抗が著しく増大する。それに伴い、流路内の溶融樹脂が圧縮される。この圧縮力は射出圧力の増加につながるため低減させることが望ましい。圧縮された樹脂を緩和するためには、射出減速過程で、一定時間スクリュを停止する圧力保持制御が有効である⁽²⁾⁽³⁾。導光板を成形した際の従来制御と、圧力保持制御による射出波形の違いを図8、図9に示す。図8は射出指令、図9は図5のセンサ1(金型内ゲート付近)の圧力を比較したものである。図8においてスクリュを一定時間停止させると、図9に見られるように金型内の圧力も同じタイミングで金型内の圧力が最大圧力値のまま一定に保持されることが分かる。これは、スクリュが停止しても圧縮された樹脂が、自身の回復力により流動し、一定時間圧力が保持されるためと考えられる。この結果、樹脂の圧縮力は緩和されるため、スクリュを押し続けたまま充填する従来制御と比べて金型内圧は30%程度、射出圧力は20%程度低減した。

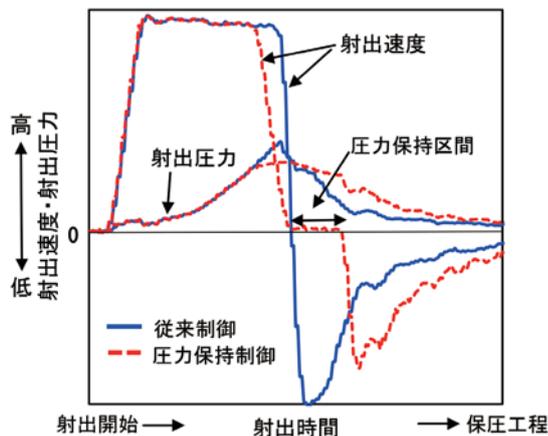


図8 射出速度・射出圧力波形

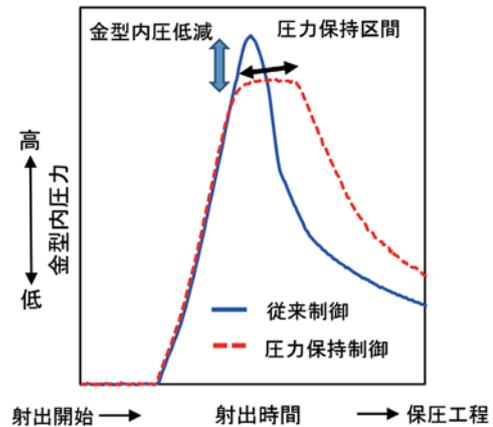


図9 金型内樹脂圧力

3.2 多段減速制御の効果

従来のスクリュ停止方法は、射出速度から一気に設定保圧圧力まで減速する一速減速制御が一般的であるが、薄肉成形の場合、樹脂の流速が高速であることから、一速減速では高精度な充填量の制御が困難な場合があり、肉厚のばらつき等につながる恐れがある。そこで、減速工程で射出速度を減速し、その後保圧設定圧力まで減速する多段減速制御を用い、樹脂流動に与える効果を確認した。

射出速度から一速で保圧圧力まで減速する従来制御と、射出速度を減速した後に保圧圧力まで減速した制御の射出速度指令の波形を図10に示す。それぞれの減速条件について、図5のセンサ4の圧力を測定した結果を図11に示す。金型内の流速センサから求められた樹脂の平均流速により充填完了したタイミングを予測すると、図11の丸印の時点が、樹脂が反ゲート末端まで到達した充填完了時間と考えられる。図11では、充填完了の後に大きく圧力が増加する様子が確認された。これは樹脂が金型内に充填完了した後の過充填により、圧力が増加したと推測される。図11より、フル充填時の圧力はどちらの条件でも同程度であるが、その後に圧力が立ち上がったときの最大値を比較すると、減速した場合は減速しない場合と比べて30%程度圧力が低減されることが分かった。また条件ごとに適当な減速速度を用いて成形した場合、減速しない場合と比べ、色度等の光学品質の改善が確認された。これは、充填完了した後の過充填により起こる流動層のせん断が色度等の光学品質に影響を及ぼしているため、過充填を抑えることにより光学特性が改善したと推測される。

4. 結 言

薄肉成形に適した制御方法を検討するために、成形品の光学特性を把握し、射出時における制御条件が金型内の樹脂流動挙動におよぼす影響を測定実験によって確認した。その結果、以下の知見が得られた。

- ・ゲート部分で光学特性が悪化する原因は、充填中盤から終盤に、樹脂が冷え流動抵抗が増大した状態で無理に充填することによりせん断発熱や配向度の上昇から光学特性の変化が引き起こされると推測され、対策のためには樹脂流速を早くすることが重要であることが判明した。
- ・圧力保持制御により金型内の圧力が最大圧力値のまま一定に保持されるため樹脂の圧縮が緩和されることにより充填が進行し、射出圧力の低減につながった。
- ・圧力保持制御とともに適正な減速制御を行なうことにより充填完了後の製品への過充填が抑えられ、製品品質の改善につながることを示された。

現在、上記で得られた結果を導光板の成形条件に適用し、光学特性、肉厚、反り等の製品品質の改善につなげることができた。今後は超高速射出機のさらなる技術向上に向け、開発を継続していく所存である。

参 考 文 献

- (1) 瀬戸 雅宏：射出成形過程における型内樹脂流動挙動および固化層成長挙動について、成形加工 Vol.19 (2007), p589
- (2) 増田、横井：超高速射出成形における型内フローフロント挙動とスクリュ挙動の相関解析、精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, (2005) p993
- (3) 兎玉、澤田：薄肉成形品の成形方法、特許 5290388 (2013)

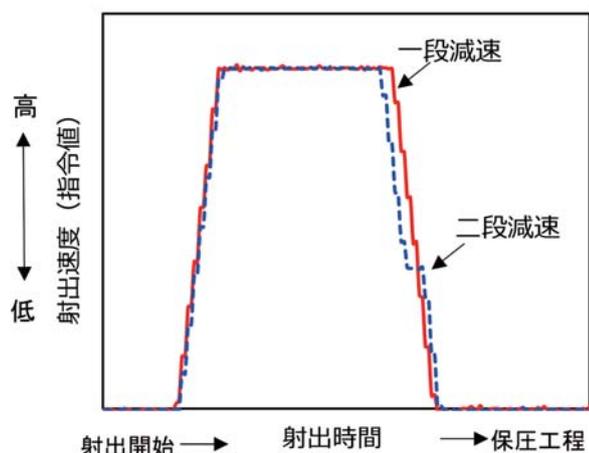


図 10 減速制御 速度指令

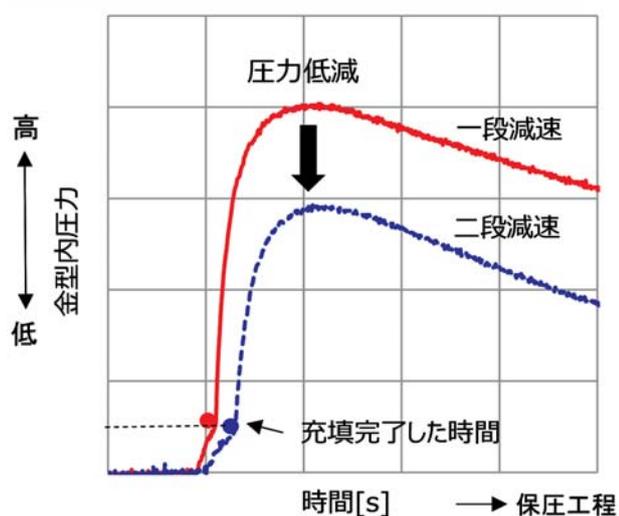


図 11 金型内樹脂圧力