

# バーフロー金型による超高速充填特性の解析

——スプルー容積の影響——

Analysis of Ultra-high Speed Filling Process Using Bar-flow Mold

長谷川 茂\*・金 佑圭\*\*・横井 秀俊\*\*\*

Shigeru HASEGAWA, Wookyu KIM and Hidetoshi YOKOI

## 1. はじめに

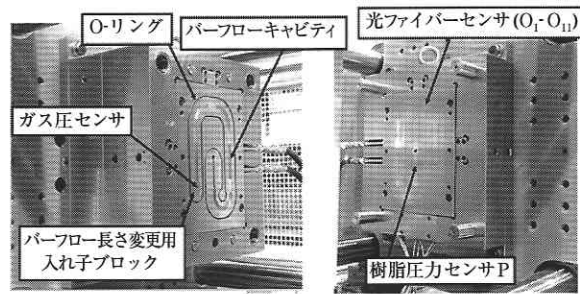
超高速射出成形は溶融した樹脂を金型内に高速で充填する成形法で、超薄肉成形品の実現に有効である。こうした超薄肉成形では、薄肉のキャビティ部に比べて、スプルーやランナー部の容積比が大きくなることに加えて、高速で充填された樹脂が金型内の残留ガスを急激に圧縮することとなる。そのため、射出速度やスプルー容積の変化が金型内残留ガスの圧縮挙動や成形品の流動長、外観に及ぼす影響を把握することは、極めて重要である。筆者の一部らは、これまで汎用の射出速度範囲で、ガスバント有無が流動樹脂の前進速度に及ぼす影響を検討し、流動末端部の残留ガス圧縮により樹脂の前進速度が低下することを明らかにした<sup>1)</sup>。さらに超高速充填過程における光ファイバーセンサを用いたフローパターン計測手法<sup>2)</sup>を提案した。本研究では、超高速射出条件における金型内ガス圧挙動やフローフロント前進速度を計測し、流動長や外観に及ぼす影響を明らかにすることを目的としている。

本報告では、バーフロー形状の薄肉キャビティ内にガス圧センサと上記の光ファイバーセンサを埋設し、フローフロント前進タイミングと金型内ガス圧が同時に計測できる薄肉バーフロー金型を開発した。さらに、ポリプロピレン樹脂を用いて同一成形条件下においてスプルー容積や射出率条件のみを変化させ、金型内ガス圧力や成形品の流動長および厚さに及ぼす影響について検討した。

## 2. 実験方法

薄肉バーフロー金型の外観を図1に示す。可動側はバーフロー形状のキャビティ(厚さ0.5mm, 幅10mm, 全長565.5mm)が掘り込まれている。ランナーからキャビティ

イまでのレイアウトを図2に示す。同図には、各種センサ位置を併記している。図2のキャビティ、ランナー、スプルー部外周部は、O-リングによりシールされている。またキャビティへの流入部はファンゲートによって絞られている。流動樹脂の前進に伴うキャビティ末端部のガス圧変化を感度よく計測するには、樹脂の流動性に応じてバーフ



(1) 可動側 (2) 固定側  
図1 バーフロー金型外観

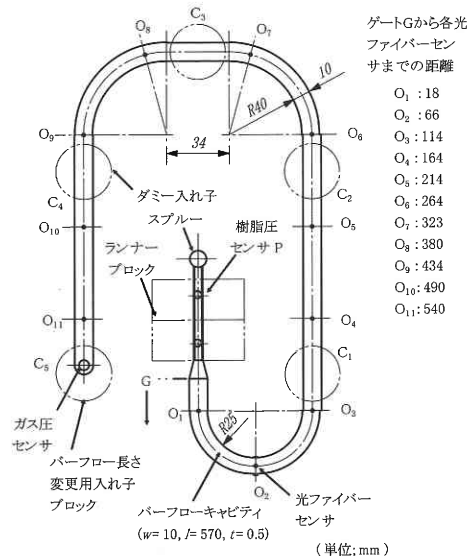


図2 バーフローキャビティ形状および各種センサのレイアウト

\*大宏電機(株) 東京大学国際・産学共同研究センター協力研究員  
\*\*元東京大学生産技術研究所 博士研究員  
\*\*\*東京大学生産技術研究所 情報・システム部門

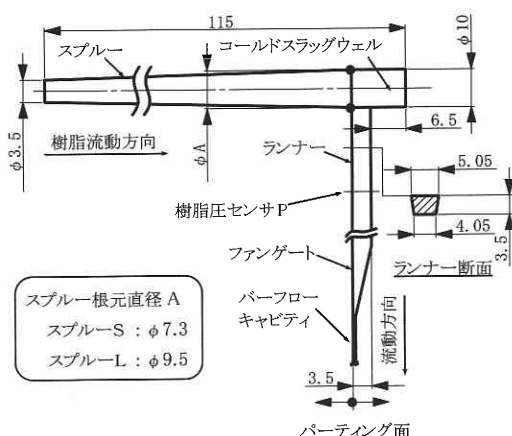


図3 スプルーおよびランナー形状

ロー全長を可変できる構造にする必要がある。キャビティ全長の変更は図2に示すパーフロー長さ変更用の円筒形状の入れ子をC<sub>1</sub>からC<sub>5</sub>にそれぞれ移動することで行なわれる。同入れ子には、ガス圧センサ (TYPE 601 H, 日本キスラー(株)製) が埋設され、キャビティ後方にはガスベント (幅6 mm, 深さ0.2 mm) が設けられている。本実験では、スプルー容積が金型内ガス圧や流動長に及ぼす影響を検討する目的で、容積比が約40%異なる2種類のスプルーを用いた。スプルーやランナーの断面形状を図3に示す。本報告では、容積の小さいスプルーをスプルー S (容積3.3 cm<sup>3</sup>), 大きいものをスプルー L (同4.7 cm<sup>3</sup>) と呼称する。使用樹脂は結晶性のPP (PP/J 3054 HP, 出光石油化学(株)) とした。成形機は日精樹脂工業(株)の超高速射出成形機 FN 4000-9 HTN (最大型締め力: 1120 kN, スクリュ径: φ32 mm, 最大スクリュ射出速度: 1000 mm/s (射出率換算: 803.8 cm<sup>3</sup>/s)) を使用し、射出率を80.4 cm<sup>3</sup>/s から803.8 cm<sup>3</sup>/s までの6段階に設定した。最大射出圧力のリミット値を300 MPaとし、樹脂の射出量 (設定スクリュストローク) を一定条件として成形した。設定樹脂温度は220 °Cで、キャビティ全長は円筒入れ子をC<sub>5</sub> (全長: 565.5 mm) の位置に統一している。

### 3. 実験結果と考察

#### 3.1 流動長および射出特性変化

各条件で得られた成形品の流動長計測結果を図4に示す。流動長は射出率の上昇に伴い増加し、スプルー容積の小さいスプルー S の流動長が L に比べて常に約10%大きくなることが確認された。

最大射出率で計測されたスクリュ速度・位置, 射出圧力, ランナー部の樹脂圧力 (以下 P) の経時変化を図5に重ね

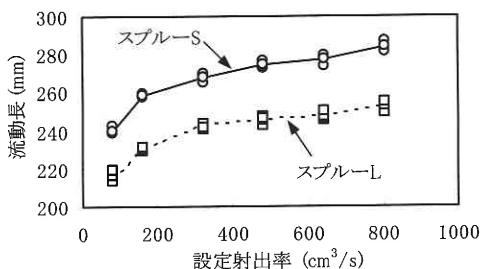


図4 成形品の流動長計測結果 (ショット数 N = 5)

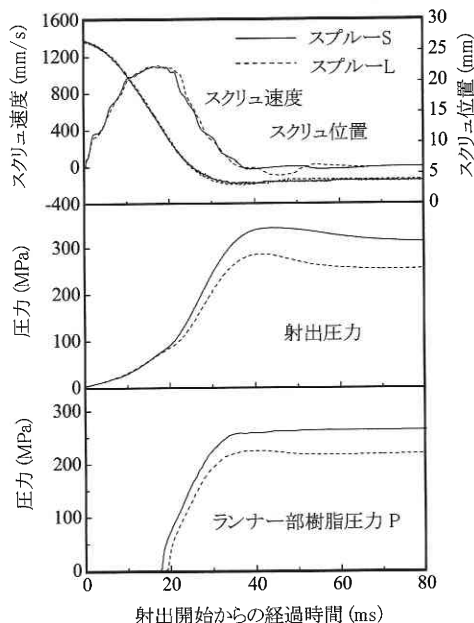


図5 射出特性の経時変化

書きして示す。また、同条件下で同時に計測されたフローフロントの前進に伴う光ファイバーセンサ O<sub>1</sub> から O<sub>6</sub> の出力タイミング, 金型内ガス圧力の経時変化を図6に示す。図5の結果から、スクリュ速度・位置はスプルー容積によらずよく一致した結果を示すが、射出圧力と P ではスプルー容積が小さいほどより大きな値を示すことが確認された。こうした射出圧力や P の昇圧傾向を比較するために、光ファイバーセンサ O<sub>1</sub>, O<sub>4</sub> 間の P の平均昇圧速度と射出率との関係を求めた。結果を図7に示す。また、上記センサ間の平均フローフロント速度 (以下 V) と射出率との関係を図8に示す。両図より、P の平均昇圧速度や V は、射出率の上昇に伴い単調な増加を示すが、スプルー容積が大きい場合には増加率が減少し、最大射出率では約30%の差が生じることが確認された。

以下では、スプルー容積 S, L について、同一フローフロント位置での樹脂圧力や平均フローフロント速度変化の

研究速報

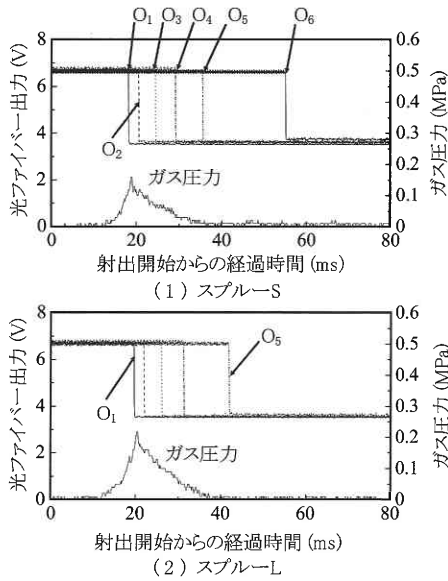


図6 光ファイバー出力とガス圧力の経時変化

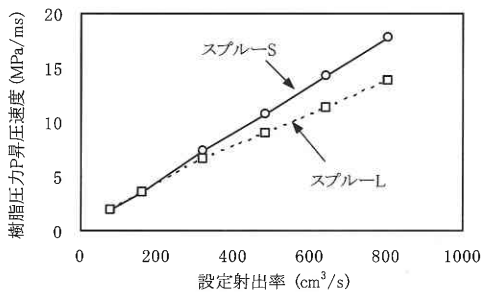


図7 光ファイバーセンサ O<sub>1</sub> から O<sub>4</sub> を樹脂が通過する際の単位時間当たりのランナー部の樹脂圧力昇圧速度

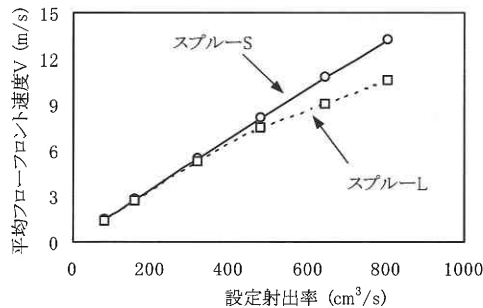


図8 光ファイバーセンサ O<sub>1</sub> から O<sub>4</sub> 通過時の平均フローフロント速度 V

比較検討を行なった。最大射出率条件での結果の一例を図9に示す。同図では、スプルーS, LのPとVをそれぞれ P<sub>S</sub>, P<sub>L</sub>, V<sub>S</sub>, V<sub>L</sub>、として表記している。同図より、樹脂が O<sub>1</sub> から O<sub>3</sub> を通過するまでのPとVはスプルー容積によらずほぼ同様の結果を示すものの、O<sub>4</sub>以降はスプルーSのP<sub>S</sub>と

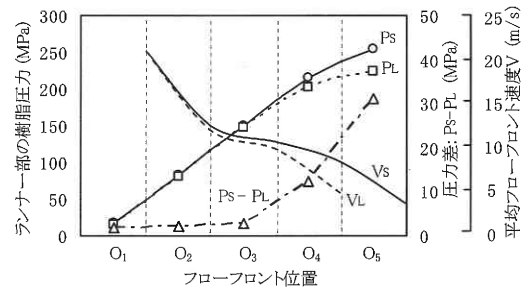


図9 光ファイバーセンサ O<sub>1</sub> から O<sub>4</sub> 到達時のランナー部樹脂圧力および各センサ間の平均フローフロント速度変化 V

V<sub>S</sub>がLに比べて大きくなっている。これらは以下のように理解された。スプルーSでは、Lに比べてより短時間でスプルー内に樹脂が充満し、最大射出圧力のリミット値の範囲で、より大きな樹脂圧力がランナー内に生成することとなる。本実験では、設定射出量を同一条件としているため、スプルー容積の変化によるこうした樹脂圧力の昇圧挙動の差が、フローフロント前進速度や流動長の差として反映されたものと考察された。

3.2 スプルー容積による金型内ガス圧力変化

金型内ガス圧力は、樹脂がスプルーやランナーを流動する過程で上昇し、ピーク値を示した後に、ファンゲートを通過して薄肉キャビティへと充填する過程では減少する(前掲図6参照)。これは以下の理由による。キャビティに比べ容積が大きいスプルーやランナー部では、充填に伴う金型内残留ガスの圧縮速度が、キャビティ末端部のガスベント溝からの排気速度を上回りガス圧力が上昇する。一方、ゲート絞り部以降では、流動抵抗の急激な増加によりフローフロント速度が減速する。これにより残留ガスの圧縮速度が低下し、末端部のガスベント効果が促進されガス圧力が減少に転じたものと推測された。

つぎにスプルーSとLとの金型内ガス圧力ピーク値の比較を行なった。結果を図10に示す。同図より、ピーク値はいずれも射出率の上昇に伴い増加するが、スプルーLがSに対して常に大きな値を示すことが確認された。一般に残留ガス圧はフローフロントの前進を阻害するが、図10の生成ガス圧力はいずれも低く、流動長にほとんど影響を及ぼさないことが示される。これよりスプルー容積によって流動長に差が生じる原因は、主に充填過程でのランナー部樹脂圧力Pのピーク値の差に起因しているものと推測された。

3.3 スプルー容積による成形品厚さ分布の変化

光ファイバーセンサの各理設位置における成形品厚さを計測し、結果を図11に示した。同図より、ゲートからフロント側にかけて厚さが薄くなり、最大射出率では、スプ

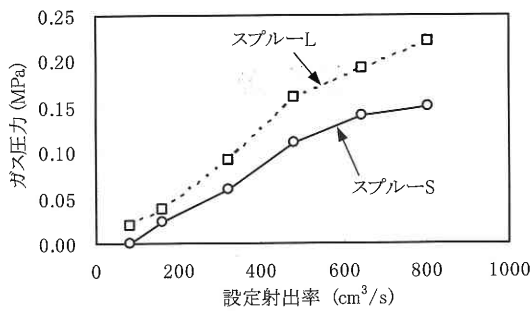
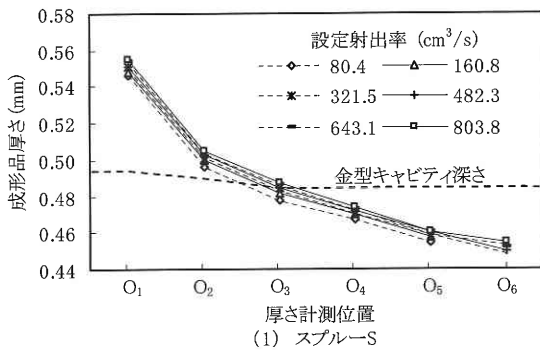
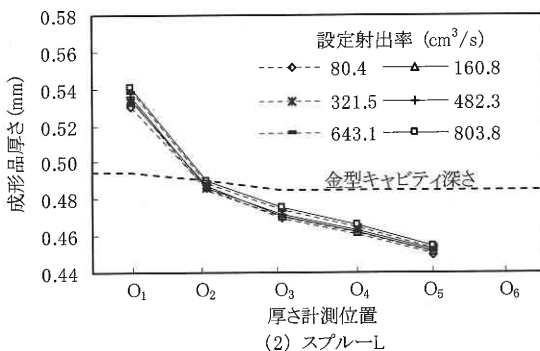


図 10 金型内ガス圧力のピーク値変化



(1) スプルー-S



(2) スプルー-L

図 11 各種スプルー、射出率変化に伴う成形品厚さ分布の変化

ルー S で 0.1 mm, L では 0.087 mm の厚さの差が生じていることが確認された。こうした結果は保圧・冷却時のキャビティ内樹脂圧力分布(型開き時の弾性回復量の分布)を反映したものと推測された。上記の最大厚さ変化量が弾性回復に起因すると仮定すると、ゲート部樹脂圧力はスプルー S で 202 MPa, L では 175 MPa (樹脂の弾性率を 1000 MPa<sup>3)</sup> と仮定)と試算され、前掲図 9 の P の圧力差とよく一致している。これより、スプルー容積の変化に伴うキャビティ内樹脂圧力分布の差が、厚さ分布として反映されたものと考察された。

フロント側の O<sub>5</sub>, O<sub>6</sub> の成形品厚さは、いずれもキャビティ厚さより 5~7% 収縮している。これは PP の一般的な収縮率 2% 前後に比べて、熱収縮や結晶化に伴う後収縮分を加味しても大きく、特異な計測データと考えられた。今後さらに詳細な検討が必要とされる。

なお、図 11 では射出率による厚さの変化には大きな差が認められなかった。これは本実験では最大射出圧力のリミット値が全条件で同一に設定されているため、設定射出率変化にかかわらず、実際の最大射出圧力が大きく変化しなかったことに起因しているものと推測された。

#### 4. 結 言

キャビティ内のフローフロント前進タイミングと金型内ガス圧力を同時計測できる薄肉パーフロー金型を開発し、超高速射出領域までの PP 成形実験を通して以下の結論を得た。

- (1) 射出量を同一として、スプルー容積のみを縮小させた場合には、より短時間でスプルー内に樹脂が充満し、射出圧力の増加とそれによる樹脂圧力、フローフロント前進速度、流動長の増加がもたらされること、こうした傾向は超高速領域ほど顕著に示されることを確認した。
- (2) 充填速度やスプルー容積の増加により、金型内残留ガスの圧縮速度や圧縮量が増大し、ガス圧力のピーク値が大きくなることを具体的に明らかにした。
- (3) 保圧・冷却固化領域においてキャビティ内が高圧下で保持されるような成形においては、ゲート側と反ゲート側(フローフロント側)で成形品厚さが大きく変化することを確認した。これは、キャビティ内圧力分布に対応した弾性回復量の差に起因しているものと考察された。

#### 謝 辞

本研究は(財)生産技術研究奨励会の平成 12, 13 年度「超」を極める射出成形」特別研究会により遂行されたことを記し、謝意を表します。

(2003 年 10 月 15 日受理)

#### 参 考 文 献

- 1) 村田泰彦, 横井秀俊, 内藤貴弘ら: 生産研究, 45, 419 (1993)
- 2) 横井秀俊, 渡辺順, 増田範通: 成形加工シンポジウム'01, 20 (2001)
- 3) 射出成形事典編集委員会: 射出成形事典, 704(2002), 産業調査会