

## 超高速射出成形における矩形薄肉キャビティ充填過程の可視化

Dynamic Visualization of Mold Filling Process inside Thin-walled Rectangular Cavity in Ultra-high Speed Injection Molding

長谷川 茂\*・村田 泰彦\*\*・横井 秀俊\*\*\*

Shigeru HASEGAWA, Yasuhiko MURATA and Hidetoshi YOKOI

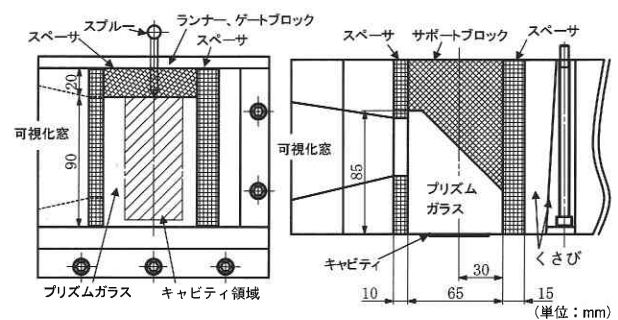
## 1. はじめに

射出成形技術の超高速射出化への進歩はめざましく、成形品の薄肉化には大きな効果を発揮している<sup>1,2)</sup>。スクリュ射出速度が1000 mm/s以上にも達する超高速射出成形過程では、高速条件下で射出された溶融樹脂が金型内で汎用射出成形とは全く異なる流動挙動を引き起こしているものと予測される。しかしながら、超高速射出成形条件下における樹脂流動現象については、研究報告がされておらず、可視化計測手法を用いた現象解析が望まれている。筆者の一部らは、通常の金型構造を有し、通常の成形機に取り付けて、通常の成形条件下における型内樹脂流動挙動の観察を可能とする2次元ガラスインサート金型を提案し<sup>3,4)</sup>、他の動的可視化手法では達成し得なかった型内直接観察を可能とした。

本研究では、従来の通常成形条件に加えて超高速射出成形条件までの型内樹脂流動挙動の可視化解析を行なうことを目的としている。本報告では、超高速射出成形条件に対応して従来の2次元ガラスインサート金型を改造し、矩形薄肉キャビティ内における低速から超高速射出領域までの充填現象やフローパターン変化について、2種類のゲート形状を用いて観察を行なった。以下にその概要を報告する。

## 2. 実験方法

改造ガラスインサート金型の基本構造を図1に、その外観写真を図2に示す。超高速射出条件下では、ランナーやゲート部、さらにキャビティ部での急激な樹脂圧力上昇によりプリズムガラスの破損が懸念された。そこでランナーやゲート部、キャビティ幅方向の一部をガラス領域外に設



(1) パーティング面からの平面図 (2) プリズムガラス部断面図

図1 プリズムガラス部の基本構造

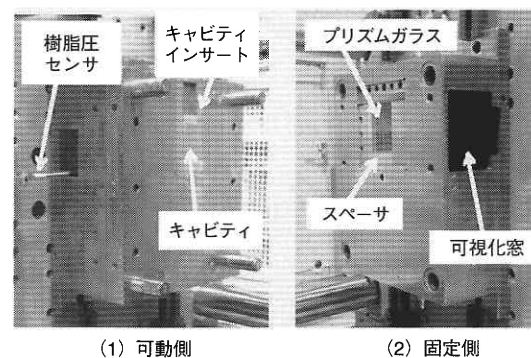


図2 成形機に取り付けられたガラスインサート金型の外観

定し、50 MPaまでの耐圧強度が確認されている従来のガラス面(110 mm×90 mm)を、一回り小さい90 mm×65 mmと変更し、耐圧強度の向上を図っている。本実験に用いた厚さ0.5 mmの矩形キャビティおよびファンゲート、サイドゲートの形状を図3に示す。成形機は、日精樹脂工業(株)の超高速射出成形機FN 4000-9 HTN(スクリュ径φ32 mm, 最大スクリュ射出速度1000 mm/s)を使用し、速度を10 mm/sから1000 mm/s(射出率換算で8 cm<sup>3</sup>/sから804 cm<sup>3</sup>/s)まで8段階に変化させた。樹脂は、PMMA

\*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

\*\*日本工業大学 東京大学生産技術研究所 協力研究員

\*\*\*東京大学生産技術研究所 情報・システム部門

(PMMA/DS 200 E, 三菱レイヨン(株)製)を使用した. 型内樹脂流動挙動は超高速ビデオシステム (HS 4540, コダック(株))を用いて記録し, 得られたフローパターンの輪郭線を手動にて抽出した. ランナー部には, 間接式の水晶圧電式圧力センサ (Type9221 A, 日本キスラー(株))を挿入して樹脂圧力を計測し, 同時に成形機からの射出圧力, スクリュー速度・位置信号を取出してデジタルレコーダー (NR 2000, キーエンス(株))にて記録した.

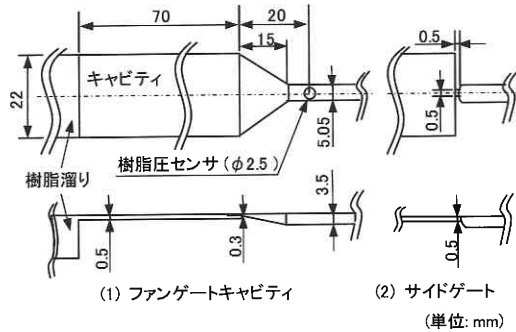


図3 キャビティおよびゲート形状

### 3. 実験結果と考察

#### 3.1 フローパターン観察結果

観察画像より抽出したフローパターン描画結果を図4に示す. 図中には後述するフローフロント前進距離 ( $L_s$ ,  $L_c$ )の計測ポイントを併せて表記している. ファンゲートの低射出率  $8 \text{ cm}^3/\text{s}$  では, キャビティ中央部のフローフロントが徐々に減速し, キャビティ中央部よりも側面部のフローフロントが先行するU字状のフローパターンを形成している. その後は, さらに先行速度を急激に増加させながらV字状のフローパターンへと変化しており, 特異な充填現象が確認された. 同現象は  $16.1 \text{ cm}^3/\text{s}$  の射出率では, V字形状のみを示すパターンへと変化し,  $24.1 \text{ cm}^3/\text{s}$  から  $80.4 \text{ cm}^3/\text{s}$  では, 僅かにキャビティ側面部のフローフロントが先行するパターンを呈している. 一方, それ以上の射出率範囲では, 射出率の増加に伴い凸状のフローパターン形状を示し, 特に超高速射出条件では全域で凸形状となることが確認される.

サイドゲートのゲート出口付近のフローパターンは, 射

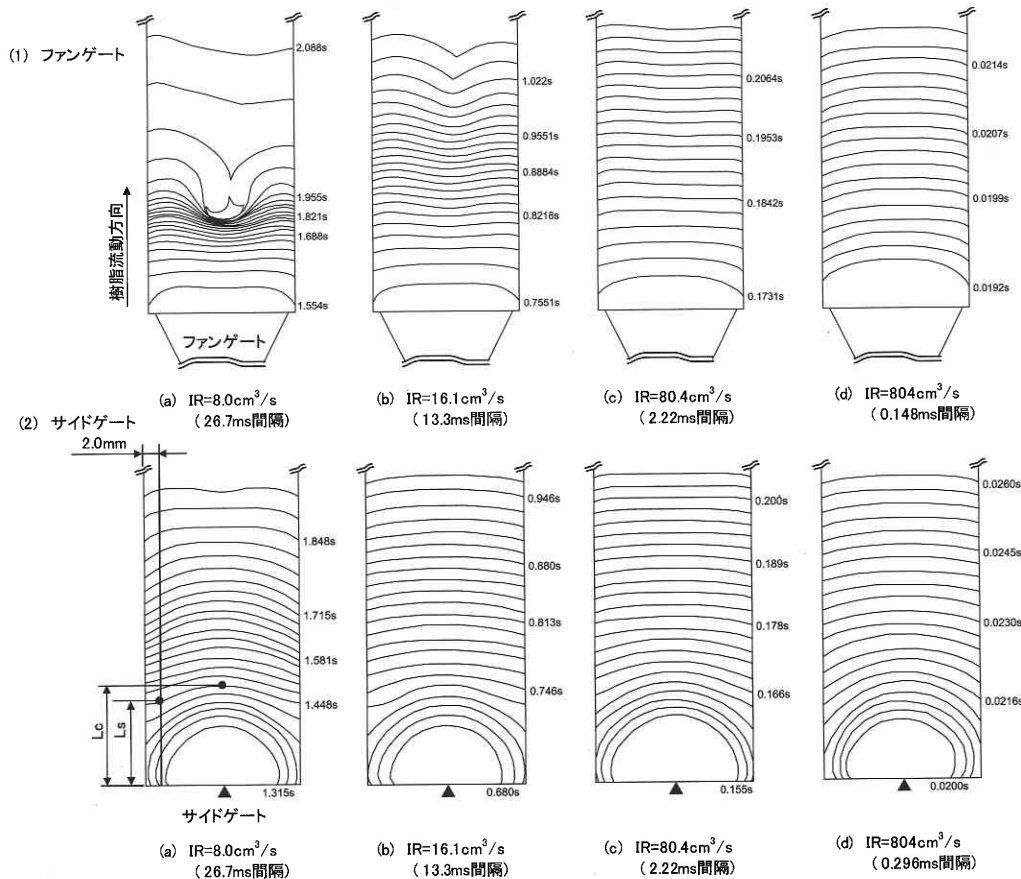


図4 各種ゲート形状, 射出率条件でのキャビティ内のフローパターンの比較 (IR: 設定射出率)

研 究 速 報

出率に関わらず半円状の拡大流領域を形成し、さらに、キャビティ側面部に到達したフローフロントは平坦な平行流領域へと移行し、射出率  $80.4 \text{ cm}^3/\text{s}$  以上では、ファンゲート時と同様に凸形状のパターンを呈している。このように、サイドゲートではファンゲートで観察された低射出率条件時の特異な充填パターンは認められないことが確認された。本特異充填現象は、厚さ  $1 \text{ mm}$  以上のキャビティでは観察されないもので、以上の結果と併せると、極薄肉キャビティでのゲート形状に起因していることが示唆される。

3.2 特異充填現象についての検討

ファンゲートにおける射出率  $8 \text{ cm}^3/\text{s}$  で計測されたスクリュ速度・位置、射出圧力、ランナー部樹脂圧力の経時変

化を図5に示す。射出率  $804 \text{ cm}^3/\text{s}$  では、最大で  $300 \text{ MPa}$  を上回る射出圧力を示すことが確認されており、本改造金型が超高速充填現象の可視化実験に対応可能であることを実証したものと確認された。図5において特に注目される点は、ファンゲートの低射出率  $8 \text{ cm}^3/\text{s}$  で計測されたランナー部樹脂圧力のステップ状の変化点Aである。同変化点Aは、他の条件下では確認されていない。

各ゲート条件で射出率  $8 \text{ cm}^3/\text{s}$  と  $16.1 \text{ cm}^3/\text{s}$ 、 $48.3 \text{ cm}^3/\text{s}$  におけるキャビティ幅中心軸上のフロント位置  $L_c$ 、前進速度  $V_c$  の経時変化を図6に示す。射出率  $8 \text{ cm}^3/\text{s}$  と  $16.1 \text{ cm}^3/\text{s}$  の結果にファンゲート時の樹脂圧力経時変化を重ね書きした結果では、時間経過とともに  $V_c$  が低下し、ある時点から急上昇する傾向が定量的に確認された。上述した樹脂圧力変化点Aはこうした  $V_c$  の上昇点と一致しており、同タイミングに対応して、ランナー部の樹脂圧力上昇が一時的に停止していることが確認された。

薄肉キャビティでの上記特異充填現象の要因を以下に考察する。本ファンゲートはランナーからキャビティにかけて幅・厚さ方向にテーパが設けられている。すなわち、ゲート内には、キャビティまでの流動距離の異なるゲート中央部と側面部が存在している。したがって、流動距離の短い中央部の樹脂は側面部に比べてより早いタイミングでゲート出口絞り部に到達する。先行して到達した中央部の樹脂は、ゲート内の樹脂充填とそれに伴う昇圧によるキャビティ側への充填が開始されるまでゲート側に滞留し、冷却・固化が促進される。その後、低速で薄肉キャビティ中央部に展開される過程で、キャビティ内では前進速度の低下が引き起こされ、特異な充填現象を生じたものと考察さ

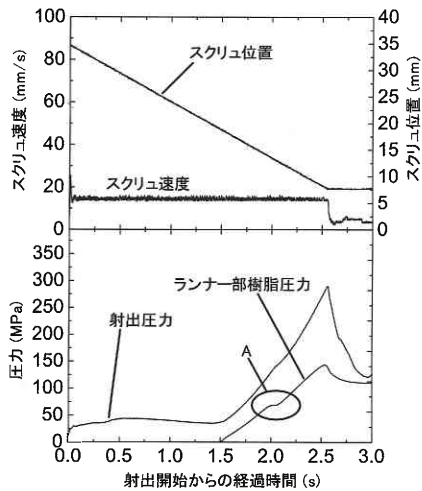


図5 射出開始からの各射出特性計測結果 (射出率  $8 \text{ cm}^3/\text{s}$ )

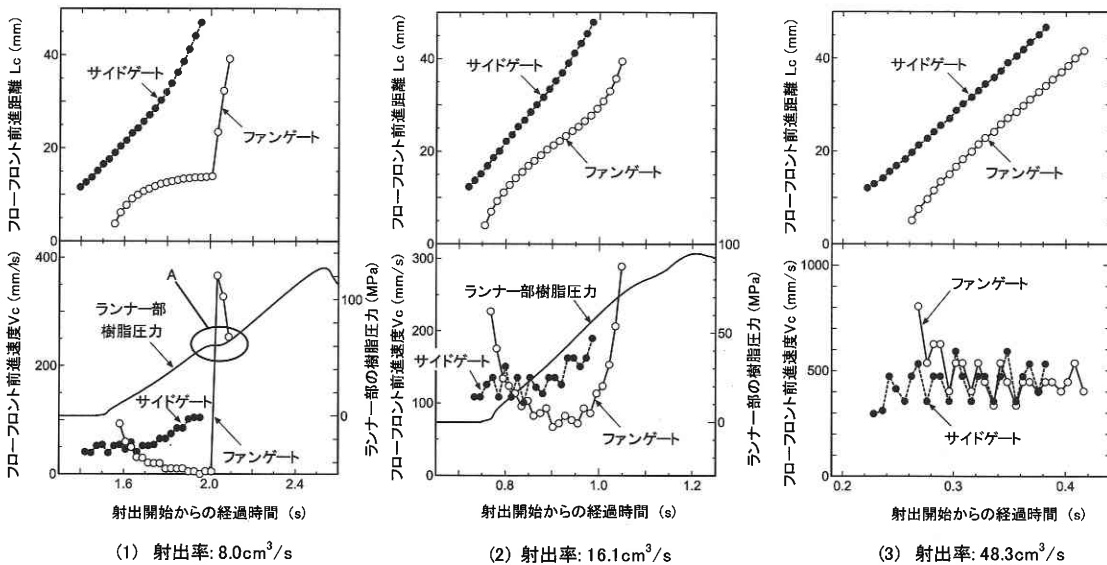


図6 各種条件下でのフローフロント前進距離  $L_c$ 、前進速度  $V_c$ 、ランナー部樹脂圧力の経時変化

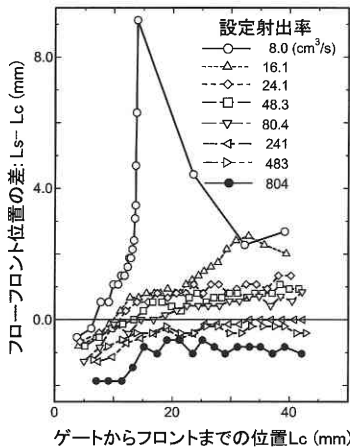
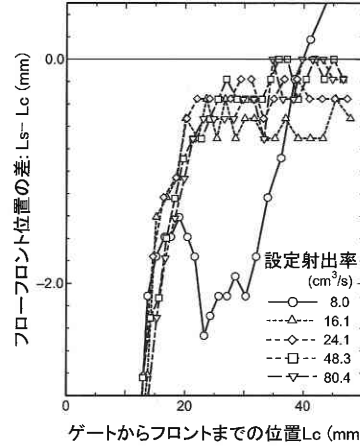
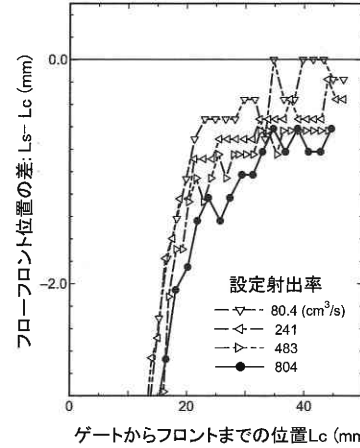


図7 キャビティ中央部と側面部のフローフロント前進量の差 (ファンゲート)



(1) 射出率: 8.0~80.4cm³/s



(2) 射出率: 80.4~804cm³/s

図8 キャビティ中央部と側面部のフローフロント前進量の差 (サイドゲート)

れた。

3.3 射出率変化に伴うフローフロント形状変化

キャビティ中心軸上に沿ったフローフロントまでの距離  $L_c$  とキャビティ壁面から 2 mm 離れた軸上でのフローフロント位置  $L_s$  を抽出し、両者の差  $\Delta L (= L_s - L_c)$  と  $L_c$  との関係を整理した。結果を図7と図8にそれぞれ示す。なお、図8に示すサイドゲートでは、射出率を (1)  $8 \text{ cm}^3/\text{s}$  から  $80.4 \text{ cm}^3/\text{s}$ 、(2)  $80.4 \text{ cm}^3/\text{s}$  から  $804 \text{ cm}^3/\text{s}$  の2つに分けて拡大して整理した。

ファンゲートにおけるフローフロント形状は、 $80.4 \text{ cm}^3/\text{s}$  までは凹状、 $241 \text{ cm}^3/\text{s}$  からは側面よりも中央部が先行する凸形状へと移行していることが確認された。

サイドゲートの (1)  $8 \text{ cm}^3/\text{s}$  から  $80.4 \text{ cm}^3/\text{s}$  では、ゲート出口の半円状をした拡大流の影響を受けた凸状のフロント形状がフローフロントの前進に伴い平行流に移行し平坦化している。一方、(2)  $80.4 \text{ cm}^3/\text{s}$  から  $804 \text{ cm}^3/\text{s}$  では、中央部が先行するフローフロント形状を呈し、凸形状が拡大する方向で  $\Delta L$  が増加している傾向が示された。

以上のように、高射出率条件下では、ゲート形状に関わらず凸形のフローパターンが大きくなる傾向が示された。これは高速充填によるゲート内部の充填時間の短縮によって、特にファンゲート内部では冷却因子が作用しないことに加えて、各ゲート絞り部における超高速充填による発熱現象<sup>5)</sup>が作用し、樹脂の低粘度化がはかられたことに起因しているものと推察された。

4. 結 言

従来の2次元ガラスインサート金型に改造を施し、超高

速射出領域までの可視化実験を実施し、以下の結論を得た。

- (1) ファンゲートの低射出率条件下では、ゲート中央部の樹脂がゲート内部で滞留し、冷却・固化が促進される。こうした滞留樹脂が薄肉キャビティ中央部に展開され、特異充填現象を生じることが確認された。
- (2) 超高速充填では、ゲート形状によらずキャビティ壁面よりも中央部のフローフロントが先行する凸形状のフローパターンが示された。
- (3) 高速充填では、充填時間の短縮によってファンゲート内での樹脂の滞留や冷却固化が抑制され、さらに超高速充填では各ゲート絞り部での発熱現象と樹脂の低粘度化により、より凸形状フローパターンへと遷移しているものと推測された。

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9月30日受理)

参 考 文 献

- 1) 加藤：プラスチックス, 49, 42 (1998)
- 2) 稲葉：成形加工, 8, 522 (2001)
- 3) 横井, 林, 平岡：生産研究, 39, 306 (1987)
- 4) H. Yokoi, T. Hayashi, K. Toda and N. Morikita: SPE ANTEC'88, 329 (1988)
- 5) H. Yokoi, W. Kim, Y. Murata: Abstract for the 19<sup>th</sup> Annual Meeting of the Polymer Processing Society, 59 (2003)