

# 大型三次元可視化金型による型内樹脂流動挙動の実験解析

Experimental Analyses of Cavity Filling Phenomena Using a 3-D Visualization Mold with a Large Cavity

横 井 秀 俊\*・櫛 田 茂 美\*\*・松 坂 茂\*\*・松 田 元\*\*

Hidetoshi YOKOI, Shigemi KUSHIDA, Shigeru MATSUZAKA and Hazime MATSUDA

## 1. 緒 言

射出成形品に発生するウェルドライン，フローマークなどの成形不良は，金型内の三次元樹脂流動挙動と密接な関係があり，上記流動挙動を多方向から詳細に観察することが重要と考えられている．そのため，これまでに型内樹脂流動をパーティング面およびキャビティ側面の両方から同時観察できる二方向同時可視化金型（三次元可視化金型）が，Mengesら<sup>1)</sup>や著者の一部ら<sup>2,3)</sup>によって提案されてきた．しかし，前者の金型では，型内で起こる多様な成形不良現象の定量解析に利用されるまでには至っていなかった．また，後者の金型では，ゲート付近での樹脂飛び出し状況や，リブ部およびコーナー部，段差部における樹脂流動挙動の観察に成功を収めたものの，型構造が複雑でキャビティサイズが小さいこと，照明方法に制約を有することなどの問題を残していた．

そこで，本研究では，従来金型の問題点を改善した，大型で機能的な三次元可視化金型を新たに試作し，各種リブを有するキャビティにおける樹脂流動挙動の観察実験を通して本金型の有効性を実証的に明らかにした．

## 2. 大型三次元可視化金型の基本構造

図1，図2に大型三次元可視化金型の基本構造と外観をそれぞれ示す．キャビティ正面の観察は固定側プリズムガラスを通して，また，側面の観察は可動側サイドガラスを通して行う．可動側サイドガラスをプリズム形状とする従来金型では，2台のカメラ位置の干渉を回避できる利点を有するものの，ガラス形状と組み付け構造が複雑であること，キャビティ内を均一に照明することが困難であることが問題となっていた．それに対して本金型で

は，プリズムガラスに代わって矩形サイドガラスによる単純な寄せ構造とし，可視化キャビティサイズを従来金型の約2倍の180×50mmまで拡張した．図3にキャビティ形状を示す．さらに，本金型では，金属キャビティブロックの一部分をガラスとし，リブ内部の流動観察を可能とした点も大きな特長となっている．すなわち，縦リブあるいは斜めリブの設けられた金属ブロックにキャビティガラスを接着し，リブ内部をサイドガラスを通して観察する構造となっている．

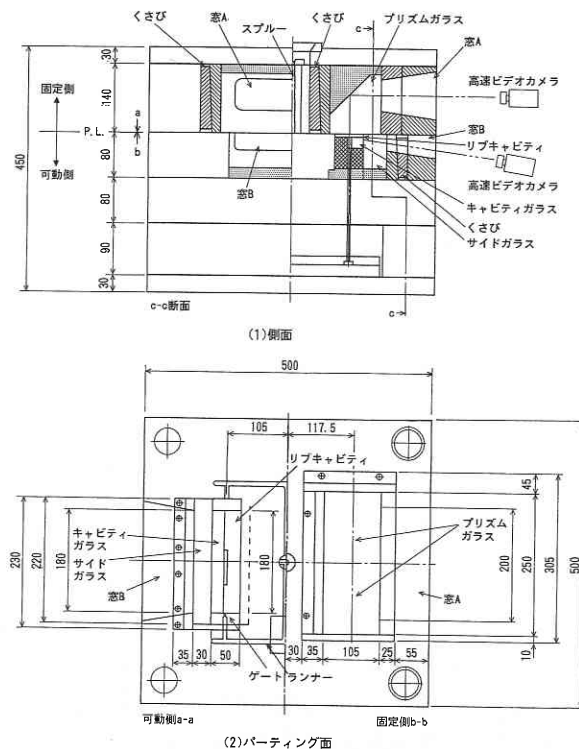


図1 大型三次元可視化金型の基本構造 (単位: mm)

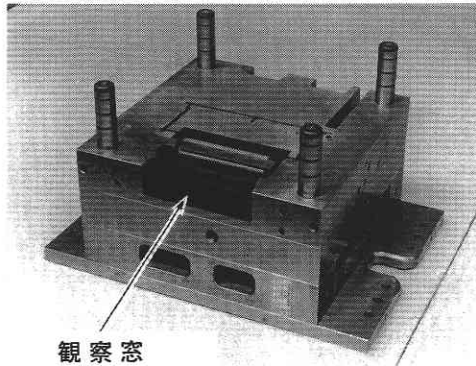
\* 東京大学生産技術研究所 第2部

\*\* アロン化成(株) 技術研究所

### 3. 実験方法

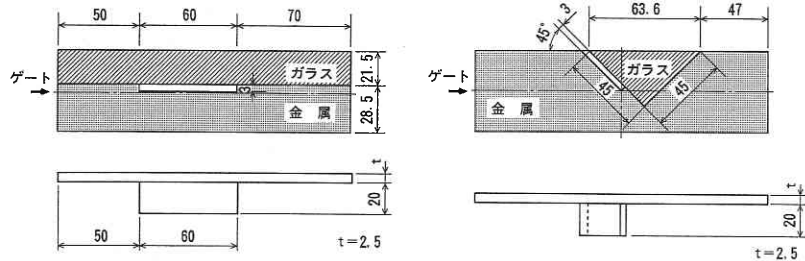
各種形状寸法のリブキャビティにおける樹脂流動挙動を、キャビティ正面と厚さ方向から同時に、2台の高速ビデオカメラ HSV-400 (株)ナック) を用いて毎秒 200 コマで撮影した。得られた画像は画像解析装置 ID-8000 (同) を用いて処理し、フローフロント形状・速度およびマーカ流線の抽出を行った。使用した射出成形機は、ROBOSHOT $\alpha$ -150 A (ファナック(株), 最大型締力 150 トン)

である。実験に使用した樹脂は、汎用ポリスチレン GPPS (住友化学工業(株): スミブライト 2V) とポリプロピレン PP (三井石油化学工業(株): ハイポール J900) である。射出率を 2.5 および 40 cm<sup>3</sup>/s の 2 通りに、樹脂温度を 200°C、金型温度を 50°C に設定して成形を行なった。



観察窓

図 2 大型三次元可視化金型可動側の外観



(1)縦リブキャビティ

(2)斜めリブキャビティ

図 3 キャビティ形状 (単位: mm)

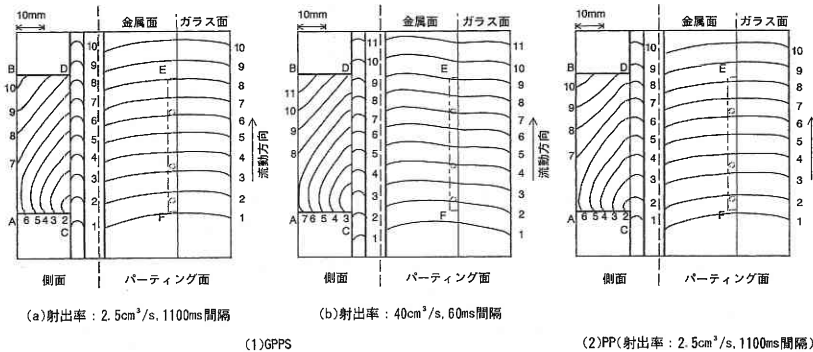


図 4 縦リブキャビティにおける樹脂充填パターン (平板部厚さ: t = 5 mm)

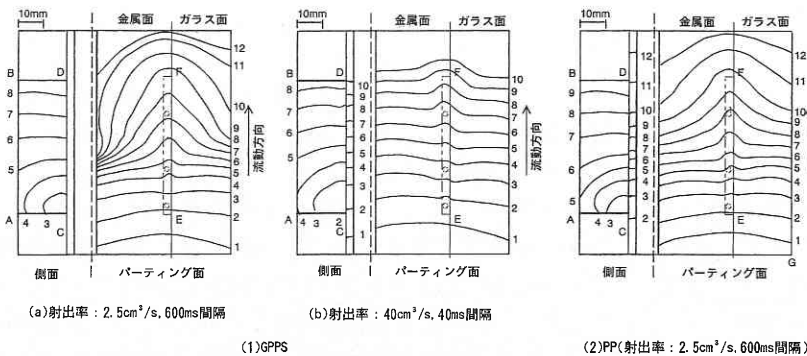


図 5 縦リブキャビティにおける樹脂充填パターン (平板部厚さ: t = 2 mm)

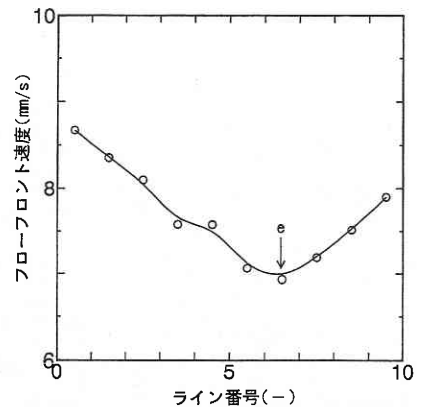


図 6 縦リブキャビティにおけるリブ上でのフローフロント速度変化 (平板部厚さ: t = 5 mm, 射出率: 2.5 cm<sup>3</sup>/s)

#### 4. 実験結果および考察

##### 4.1 縦リブキャビティ

###### 4.1.1 樹脂充填パターン

平板部厚さ5 mm および2 mm の縦リブキャビティ充填パターンを図4, 図5に示す。リブ内部の充填パターンでは, 図4の厚さ5 mm, 高射出率 $40 \text{ cm}^3/\text{s}$ の場合, ベント不良に起因すると考えられる充填パターンの遅れがリブ角部Bで観察される。また, GPPSよりもPPの方がフローフロント頂点がAB側よりもAC側へと近づく傾向が見られる。さらに図5の2 mmの場合では, 5 mmに比べてリブ底部側(AB側)でのフローフロントのせり出し方が大きくなっている。すなわち, 5 mmではフローフロントがCDに対して斜交状態で充填するのに対し, 2 mmでは斜交状態から垂直へと, 低射出率ではさらにAB側がせり出した形状へと大幅に変化しながら充填している。

平板部の充填パターンでは, 5 mmの場合において, 低射出率ではキャビティ中央部のフローフロントが凸形状に, 高射出率ではリブ部に沿うキャビティ中央部が凹形状になっている。一方, 2 mmでは, 特に低射出率において中央部フロントが大きく先行している。また, リブ内部への充填が開始されると同時にキャビティ両端部でのフローフロント前進速度が小さくなり, 上記充填が完了すると再び両端部の速度が大きくなっている。さらに, 平板部においてフローフロントが, 低射出率ではガラス面側で先行し, 高射出率では金属面側で先行している。

図6にリブ部上で計測された平板部のフローフロント速度変化を示す。極小値 $\epsilon$ は, リブ内部のフローフロントがリブ底部に到達した時点と対応しており, 射出率および樹脂種類, 平板部厚さを変えても同様の傾向が確認されている。マーカ追跡により得られた縦リブ内流線パターンを図7に示す。樹脂はリブ内流入後, フローフロ

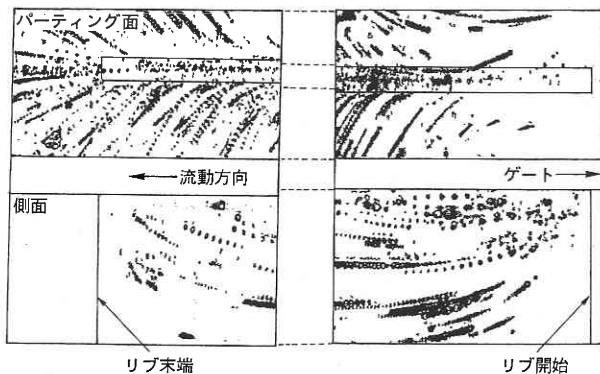


図7 マーカ追跡によって得られた縦リブキャビティにおける流線パターン(平板部板厚:  $t=2 \text{ mm}$ , GPPS)

ント前進とともにリブ長さの約1/3付近から平板部へと湧き出し始め, そしてリブ出口付近ではリブ部充填完了後も湧き出しが引き続き起こっている。

###### 4.1.2 考察

縦リブキャビティにおける充填現象は以下のように説明できる。平板部の流動では, (1) リブ部への樹脂の分流効果による速度低下要因と, (2) 流路断面積の増大による速度増加要因がともに作用すると考えられ, リブ厚さ・深さ, 平板部厚さ, リブ底面までの充填遷移過程等の影響により, 多様な充填パターンが生成するものと推察される。平板部厚さ2 mmの場合では, リブ厚さ(3 mm)の方が大きいので, リブが主キャビティとなる。そのため, リブ部におけるフローフロントが大きく先行した充填パターンになったものと推察される。平板部厚さ5 mmの場合のリブ内部, および厚さ2 mmの平板部では, GPPSとPPとの間で充填パターンの差異が明瞭に観察された。これは, PPの有する結晶化潜熱の影響で, 充填過程の固化層の成長がGPPSよりも抑制されることに起因するものと推察される。

射出率の差異により, 平板部のフローフロントがガラス・金属面で異なる先行状態を呈した原因は以下のように説明できる。低射出率では流動過程において樹脂とキャビティ面間での伝熱現象が促進されやすく, 熱伝導率の大きな金属面の方がより樹脂冷却を促進して流動抵抗を増大させる。その結果, 金属面側のフローフロント前進が遅れたものと考えられる。一方, 高射出率では充填が短時間に行われるために, 金属とガラスの伝熱特性の差異が大きく影響せず, むしろキャビティ表面性状やぬれ性等に支配されやすくなるものと考えられる。金属面はガラス面より面粗さが大きく接触熱抵抗が増加するため冷却が抑制される。その結果, 金属面ではスキン層生成と成長が遅れ, 流動抵抗が低減しフローフロントが先行したものと推察される。

##### 4.2 斜めリブキャビティ

平板部厚さ5 mm および2 mm の斜めリブキャビティにおける充填パターンを図8に示す。リブ内部の充填パターンは, 5 mm および2 mm の場合ともに樹脂種類および射出率の違いによる顕著な差は見られない。両厚さともに, リブ部樹脂流入形状はCDに対して斜交した形状を保ちつつ充填を完了しているが, 斜交角度は5 mmに比べて2 mmの方がより大きくなっている。一方, 平板部の充填パターンは, 5 mmではリブ部充填前と充填完了後でフローフロントの大きな形状変化は見られない。一方, 2 mmでは, リブ部への樹脂充填が開始されると同時にフローフロント前進速度が小さくなり, リブ部充填完了後に速

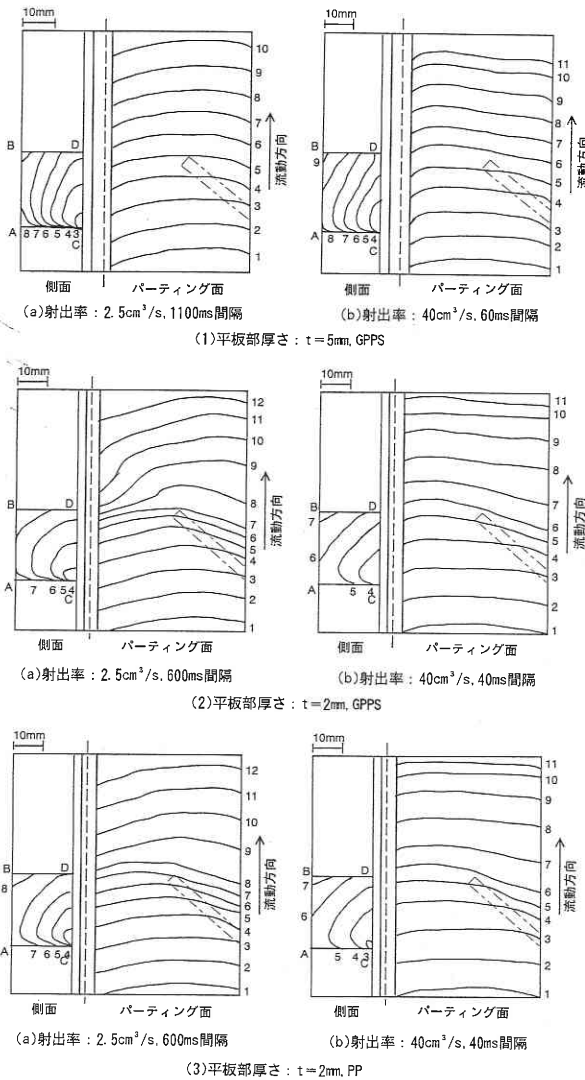


図 8 斜めリブキャビティにおける樹脂充填パターン

度は急に大きくなっている。この傾向はリブの設置されたキャビティ右側で顕著に観察される。また、高射出率よりも低射出率の方が、PPよりもGPPSの方がより明瞭に観察される。低射出率では、リブ部充填完了後、リブの設置されたキャビティ右側のフローフロントが先行している。この時、リブのない左側の充填速度は相対的に変化が小さくなる結果、リブ部充填中と充填完了後でフローフロントの先行が逆転する様相を呈する。一方、高射出率では同様にリブ部充填完了後にキャビティ右側での速度上昇は確認されるものの、キャビティ右左でのフ

ローフロント位置の逆転現象が現れるには至っていない。こうした平板部厚さの違いによる平板部充填パターンの差異は、平板部厚さとリブ厚さの比の違いにより樹脂の分流効果が変わるために生じるものと推察される。すなわち、2mmの低射出率では、リブ部への分流路が、リブ部充填までの流動遅延をもたらすものの、充填後は逆に平板部への主要な樹脂流路の役割を果たす。

5. 結 言

- (1) 大型三次元可視化金型を新たに試作し、各種リブ形状キャビティでの観察実験を通して、本金型の有効性を実証的に明らかにした。
- (2) 縦リブキャビティでは、リブ厚さに対して平板部厚さが小さくなるほど平板部よりもリブ部に対する分流効果が大きくなり、リブ部のフローフロントがより先行した充填パターンとなることが確認された。
- (3) 厚さ2mmの平板部では、マーカ追跡の結果、リブ長さの約1/3付近で、リブ部に一旦流入した樹脂の湧き出しが起きていることが確認された。
- (4) 斜めリブキャビティでは、リブ厚さに対して平板部厚さが小さくなるほど、平板部のリブ設置側のフローフロント前進速度が大きく変化することが確認された。特に低射出率では、リブ部充填までは斜めリブ部は充填遅延をもたらすが、充填後には分流路として機能しフローフロントの大幅な前進に寄与する。そのため、板幅方向でフローフロントの先行位置が逆転する。

今後、ボス・段差形状キャビティでの流動挙動観察を予定している。

おわりに、樹脂を提供下さいました住友化学工業(株)、三井石油化学工業(株)に謝意を表します。

なお本研究は、東京大学生産技術研究所の平成6、7年度民間等との共同研究-V'94 & V'95 プロジェクトにより遂行されたものであることを記し、謝意を表します。

(1997年6月23日受理)

参 考 文 献

- 1) Menges, G. and Leibfried, D.: *Plastverarbeiten*, 21, 951 (1970).
- 2) 横井秀俊, 渡辺広三, 宇高靖, 内藤貴弘, 村田泰彦: *成形加工*, 91, 27 (1991).
- 3) 横井秀俊, 梅山浩, 宇高靖, 村田泰彦: *成形加工*, 9, 232 (1997).