

## 超臨界流体を用いた精密成形に関する研究

山田岳大\*<sup>1</sup> 小熊広之\*<sup>1</sup> 横井秀俊\*\*\*<sup>1</sup> 村田泰彦\*\*\*<sup>2</sup>

### Study on foam product in microcellular injection mold

YAMADA Takehiro\*<sup>1</sup>, OGUMA Hiroyuki\*<sup>1</sup>,  
YOKOI Hidetoshi\*\*\*<sup>1</sup>, MURATA Yasuhiko\*\*\*<sup>2</sup>

#### 抄録

低密度の成形品を迅速に提供できる技術微細発泡射出成形機は自動車部品や家電部品に適用されている。これら複雑形状の成形品では、多点ゲートや障害ピンの設置より、複数のメルトフロントが会合して形成されるウェルドライン（ウェルド部）における発泡構造形成プロセスの理解が求められている。本研究では、ピン後方のウェルド部におけるX線CTによる発泡構造の観察とガラスインサート金型を用いた動的可視化を行い、2つのメルトフロントを覆っていた無発泡層がピン後方の会合時に扇形に堆積し、扇形の無発泡層が形成されることを確認した。無発泡層の周囲の気泡挙動、形成された気泡形状を考慮し、この無発泡層の形成プロセスをモデル的に提示した。流動初期にピン周後方に堆積した2つのメルトフロントの無発泡層がその周囲を流動する発泡セル層から受ける伸長履歴により引き伸ばされることで、帯状無発泡層の幅は、次第に減少する。

キーワード：超臨界窒素，微細発泡，X線CT，HIPS，可視化，ウェルド

#### 1 はじめに

近年では、自動車部品は燃費向上、環境の配慮が必然となっているため、これらプラスチック成形部品は、以前よりも、軽量、省資源、迅速な成形性が要求されている<sup>1)</sup>。窒素や二酸化炭素を物理発泡剤として使用する微細発泡射出成形機は、低密度の成形品を迅速に提供できる技術として使用されている<sup>2,3)</sup>。射出発泡成形により得られる発泡構造は、最表層のシルバーストリークの痕跡（スキン層Ⅰ）と表層の無発泡層（スキン層Ⅱ）に、発泡層（コア層）が挟まれたサンドイッチ構造により構成される<sup>4)</sup>。このコア層とスキン層Ⅱの占める割合や、気泡（セル）数、セル径と強度特性と関係があることが示されている<sup>5)</sup>。

このため単純形状のキャビティを利用して成形条件（操作パラメータ）と発泡構造の比較が行われている<sup>6), 7), 8), 9), 10), 11), 12)</sup>。また、複雑形状の実成形品では、多点ゲートによる成形や障害ピンが設置され、複数のメルトフロントが会合し、ウェルドライン（ウェルド部）が形成される。2つのメルトフロントが対向して形成される対向流ウェルド部において、成形条件と発泡構造が比較され、板厚全域にわたってスキン層Ⅱが形成されるなどの特異な発泡構造が確認されている<sup>13), 14)</sup>。均質な発泡構造を得るためには、これら発泡構造形成過程の理解が重要な研究課題となっている。形成プロセスについては、多くの研究者等<sup>15), 16), 17)</sup>や既報<sup>18)</sup>によって矩形単純キャビティでの調査が中心に行われているが、障害ピン後方に形成されるウェルド部の形成過程については検証されてこなかった。そこで、本研究では、超臨界微細発泡射出成形に

\*<sup>1</sup> 技術支援室 機械技術担当

\*\*\*<sup>1</sup> 東京大学生産技術研究所

\*\*\*<sup>2</sup> 日本工業大学

において、障害ピンの後方におけるウェルド部の発泡構造の形成過程の可視化および圧力計測、成形品の発泡構造の観察を統合し、ウェルド部の発泡層構造形成機構を検証する。

## 2 実験方法

### 2.1. 実験装置

使用した微細発泡射出成形機は J85EL III-110H-Mucell 型(株日本製鋼所)である。ガラスインサート金型<sup>19)</sup>により、充填過程を高速ビデオカメラ MEMRECAM fx K4 (株ナックイメージテクノロジー)によって可視化した。図1にキャビティ形状及び障害ピンの配置と観察領域を示す。A部に圧力センサ Type9221 (日本キスラー(株))を配置し樹脂圧力を測定した。成形条件を表1に示す。流動中の気泡分布がほぼ保持されるように、射出樹脂容量の調整によって、型内の最高圧力 (Pmax) を 5MPa に設定した。気泡挙動の観察の阻害となるガラス面上でのシルバーストリーク生成を抑制するため、型温を 90℃と設定し、ガス添加量を減少させた。成形品の発泡構造は、マイクロフォーカス X 線 CT 装置 SMX-130CT SV (株島津製作所) により観察した。

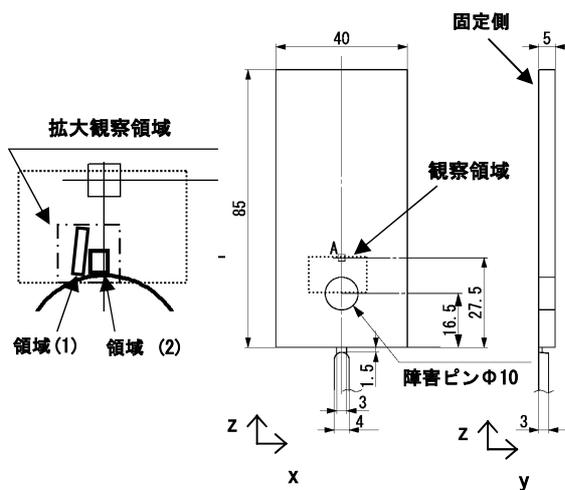


図1 キャビティ形状及び観察領域

表1 成形条件

	Cell structure observation	Visualization
樹脂	HIPS H610 (TOYO STYRENE Co.,Ltd)	GPSS (CR2500, DIC Corporation)
成形温度 (°C)	220-215-215-215-215-200- 190-170 (N-H)	215-210-200-205-210-200- 195-190 (N-H)
金型温度 (°C)	30	90
最高充填圧力 P <sub>max</sub> at 領域A (MPa)	5	
射出率 (cm <sup>3</sup> /s)	40.2	
保圧 (MPa)	0	
背圧 (MPa)	15	
冷却時間 (s)	100	
窒素ガス添加量 (wt%)	0.3	0.1

## 3 結果

図2に、成形品の各断面図を示す。(1)は、z-x流動断面における板厚中心部の発泡構造を示す。(1)で示されるa-a'板厚断面を(2)に示す。ピン部周辺を取り囲むように無発泡層(スキン層II)が形成されている。会合部領域では、ピン周りの無発泡層は、一部気泡が取り残されているものの、逆扇状に形成され、下流では、キャビティ末端に向かって直線的に形成された。この無発泡層を取り囲むように発泡層(コア層)が形成され、無発泡層のやや外側に大きな気泡が流動方向に沿って扁平化して分布している。板厚方向では、無発泡層は表層側が末広がりになり、その両側にコア層が放物線状に張り出して形成されている。コア層と無発泡層の境界領域では、コア層の微細なセルの内部に大きな気泡が混在した。これらの大きな気泡は無発泡層沿った方向に大きく扁平化している。

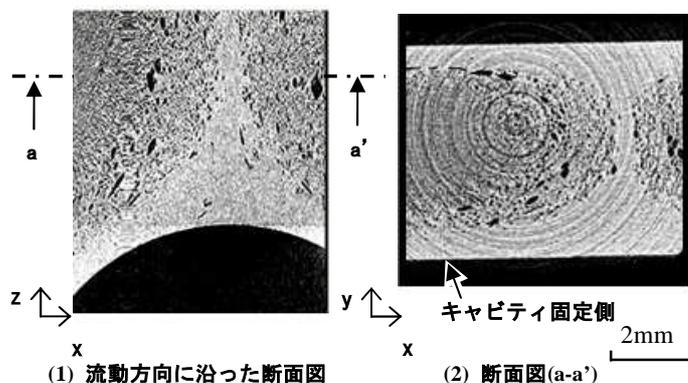


図7 X線CTによるウェルド部の発泡構造

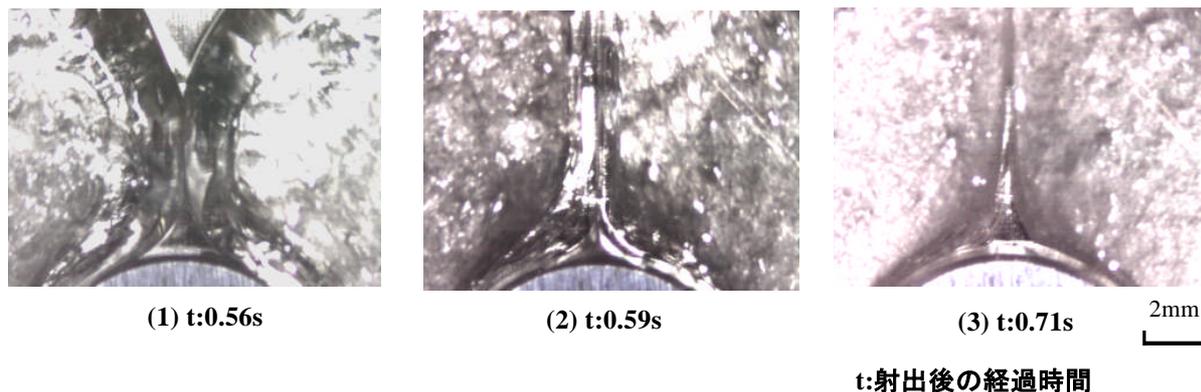


図5 ピン後方のウエルド部におけるセル挙動観察

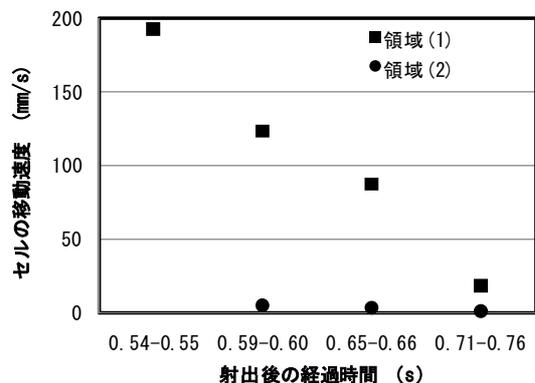


図6 領域(1)(2)におけるセルの移動速度と経過時間の関係

図3に型内流動過程の可視化画像を示す。(1)では2つの流れが会合する。左右の熔融樹脂内において、フロントには破泡する大きな気泡、無発泡層、大きな気泡層、微細な気泡が順次流動していることが確認されている。(2)では、会合した無発泡層は、会合点を境に、空隙のあるピン後方側と下流方向との双方に流れ、会合点からピン後端外周側へと扇状に広がる無発泡層が形成される。その外側では、気泡を含む樹脂がキャビティ末端に向かって流動している。流動が終了する(3)では、気泡を含む樹脂により無発泡層が下流側へと伸長されてその占有面積が減少した。ウエルド両側の流動気泡群は無発泡層に分断され交わることない。

拡大可視化により、無発泡層と気泡を含む層の境界領域(図1領域(1))では、気泡群が無発泡領域に沿って次々に流動していること

が確認された。また扇状の無発泡層内(図1領域(2))に、一部入り込んだ気泡が観察された。図4にこれら各領域における気泡流速の経時変化を示す。

流動初期から充填完了にかけて、領域(1)の気泡群の速度は低下していくものの流動を維持している。一方、扇形の無発泡層が形成される射出開始0.59s後からは、領域(2)の気泡の速度は低く、滞留している。

#### 4 考察

障害ピン後方のウエルド部では、板厚全域にわたって無発泡層が形成され、内層部の無発泡層はコア層に囲まれた扇形となっていることが確認された。またコア層では、微細な気泡群の内部に扁平化したセルが混在している。メルトフロントを覆っている無発泡領域とその周囲を移動するセル挙動の動的可視化及びセルの形状観察から、ウエルド部に形成される扇形の無発泡層の形成機構について考察することとする。障害ピン後方では、2つのフロントに形成される無発泡層が会合し、ウエルド及びピン周りに無発泡層が形成される。ピン後方では、会合時の三角状の空隙を充填する過程で無発泡層が扇状に形成され滞留する。これら無発泡層は、その後の流動樹脂・気泡群により両側から伸長されて引き出され、その体積を減少させつつウエルド領域に介在する。板厚方向では、流速の高い板厚中心部の無発泡層が早期に伸長・流

出され薄肉化された。初期の $\Delta$ 層の堆積の幅と $\Delta$ 層に沿った気泡群のずり流動による流出履歴、 $\Delta$ 層の変形履歴（流動履歴）などにより、ウェルド部の帯状無発泡層の幅が決定されるものと推察される。

## 5 結言

- 1) 板厚中心断面観察より、無発泡層はピン後端側では扇状に形成され、コア層は無発泡層の両側に分布した。板厚断面観察より、無発泡層は両表面側に末広がり分布し、その両側に放物線様のコア層が形成された。無発泡近傍の気泡は、流動方向に大きく扁平化していることが観察された。
- 2) 障害ピン後方の形成過程の可視化より、フローフロント内層に形成される無発泡層は、ピン後方の会合点を境にピン後方の空隙側と下流側との双方に流れ、扇形に滞留する。充填完了まで樹脂内層を流動するセル群は、無発泡層を周囲から伸長させる。拡大観察では、無発泡層とセル群の境界領域では、充填完了直前までセル群が減速しながら上流側から流入し、一部セルは扁平化した。
- 3) ウェルド部の発泡構造形成プロセスの動的可視化と構造観察の結果から、流動初期にピン周後方に堆積した2つのメルトフロントの無発泡層が、その周囲を流動する発泡セル層から受ける伸長履歴により引き伸ばされることで、帯状無発泡層の幅は次第に減少することを、モデル的に提示した。

## 参考文献

- 1) 岩野昌夫、安田武夫、草川紀久：自動車用プラスチック，工業調査会，(1997)13
- 2) Ogawa, J., et al., "Development of Door Module Carrier Using Foam Molding Technology", Mazda Technical Review, 27, (2009) 21
- 3) Ishikawa, T., et al., "Visual Observation of Polymer Foaming in Mold Cavity during Core-back Type Physical Foam Injection Molding Process", The Polymer Processing Society 24th Annual Meeting. Papers, (2008) S15-478
- 4) Bledzki, A.K.,Gajdzik,J.K., "Microcellular of Glass Fiber Reinforced PC/ABS: Effect of the Processing Condition on the Morphology and Mechanical Properties", Cellular Polymers, 29, 1, (2010) 27
- 5) J.D.Yoon, T.Kuboki, P.U.Jung, J. Wang and C.B. Park., *Compos. Interfaces*,16 (2009) 797
- 6) Leduc,S.,Rodrigue,D., "Effect of weld line on the Injection Moulding of Structural Foams. I .Foam Morphology", Cellular Polymer, 24, 6 (2005) 313
- 7) Yuan.M., et al. "Study of Injection Molded Microcellular Polyamide-6 Nanocomposites", Polymer Engineering and Science, 44, 4, (2004) 673
- 8) Huang, H.X., Wang, J.K., "Equipment development and experimental investigation on the cellular structure of microcellular injection molded parts", Polymer Testing, 27, 4, (2008) 513
- 9) Guo, M.C.,et at. "Cell Structure and Dynamic Properties of Injection Molded Polypropylene Foams" Polymer Engineering and Science, 47, 7, (2007) 1070
- 10) Cisneros, C.T., et al. "Effect of Mold Temperature on Morphology and Mechanical Properties of Injection Molded HDPE Structural Foams", Journal of Cellular Plastics, 44, 3, 223-237 (2008)

- 11) Throne, J.L., "Structural Foam Molding Parameter", Journal of Cellular Plastics, 12, 3, (1976) 161
- 12) Yuan, M., et al. "Effect of Nano- and Micro-fillers and Processing Parameters on Injection-Molding Microcellular Composites", Polymer Engineering and Science, 45, 6, (2005) 773
- 13) Turng, L. S., Kharbas, H.: Effect of process conditions on the weld-line strength and microstructure of microcellular injection molded parts, Polymer Engineering and Science, 43, (2003) 157
- 14) S. S. Hwang, Z. S. Ke.: The dimensional stability of a microcellular injection molded gear shaft, Int. J. Heat. Mass. Transfer., 35, (2008) 263
- 15) Han, C.D. and Viliamizar, C.A.: Studies on Structural Foam Processing I. The Rheology of Foam Extrusion", Polymer Engineering and Science, 18, 9, (1978) 687
- 16) Han, C.D. and Yoo, H.J. : Studies on Structural Foam Processing IV. Bubble Growth During Mold Filling", Polymer Engineering and Science, 21, 9, (1981) 518
- 17) 小松 道男, 砂村 安秀, 大嶋 正裕 : MuCell (微細発泡) の可視化, 成形加工'09, (2009) 93
- 18) 山田岳大, 小熊広之, 村田泰彦, 横井秀俊 : 超臨界流体を用いた微細発泡射出成形における Cell 成長挙動に関する研究, 埼玉県産業技術総合センター研究報告, 7, (2009) 87
- 19) 横井秀俊, 村田泰彦, 坂本一郎: ガラスインサート金型におけるガラスキャビティ面の充填特性評価, 成形加工, 6, 5, (1994) 349