

超臨界流体を用いた精密成形に関する研究

山田岳大* 小熊広之* 横井秀俊***¹ 村田康彦***²

Study on foam product in microcellular injection mold

YAMADA Takehiro*, OGUMA Hiroyuki*,
YOKOI Hidetoshi***¹, MURATA Yasuhiko***²

抄録

超臨界微細発泡射出成形は、成形品内部に気泡（セル）を形成し、軽量化や高寸法精度の成形品を作製できることから注目を集めている。今後は、家電に使用される非晶樹脂（HIPS）と、自動車部品に使用される結晶性樹脂（PP）との両者が超臨界微細発泡成形により作製されることが期待されている。本研究では、成形条件の変化によるHIPSとPPの発泡構造やセル形態の推移についてX線CTを用いて比較提示した。その結果、最高充填圧力が増加すると、HIPSとPPの気泡径は増加し、気泡密度が低下した。最高充填圧力（ P_{max} ）が低い場合、HIPSとPPの発泡構造は酷似している。一方（ P_{max} ）が高い場合は、PPとHIPSの構造に差異が生じ、PPにのみ表面近傍において楕円状の気泡が形成した。

キーワード：超臨界窒素，微細発泡，X線CT，非晶性樹脂，結晶性樹脂

1 はじめに

既報において、通常の射出成形と比較して、超臨界微細発泡射出成形では、ヒケの大幅な抑制による寸法精度の向上が確認された¹⁾。通常の射出成形では、金型で冷却されるとき、射出された熔融樹脂は大きく収縮する。これを抑制するためには、射出後、保圧をかけて収縮を抑制するが、リブ部など肉厚部が存在する場合は、先にゲートがシールしてしまい、保圧による十分な補償流動が肉厚部に対して与えられない。その結果、冷却の遅れる肉厚部などを中心に大きな収縮が生じ、ヒケなどの変形が生じる。一方、超臨界微細発泡射出成形では、射出された熔融樹脂内に微細な気泡（セル）が形成され、冷却過程においても、セルの生成、成長が生じ、冷却時間の長時間にわたっ

て金型に圧力が付与される。この結果、収縮異方向性が低減され、寸法精度の高い成形品が得られる。このため、高寸法精度および軽量化が求められる家電製品（非晶性樹脂）や、自動車部品等（結晶性樹脂）を対象とした超臨界微細発泡射出成形の使用²⁾が期待されている。その中で、成形の品質に影響を及ぼす内部の発泡構造の把握が重要となっている。従来、成形品内部構造の観察には、破断面のSEM観察が行われてきたが³⁾、近年では非破壊検査法のX線CTを用いたセルの分布や形状の詳細な観察が試みられている。しかし、こうした試みは、一部の押出成形⁴⁾及び、化学発泡剤による射出発泡成形品⁵⁾を対象として行われているが、超臨界射出発泡成形品における各諸条件による発泡3次元構造の推移に対する調査の適用については、これまで報告がされていない。本研究では、PPとHIPSの射出成形品の発泡構造ならびにセル形態をX線CTにより計測・3次的に表示した。そし

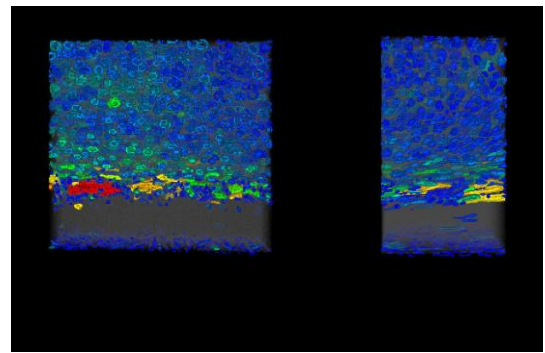
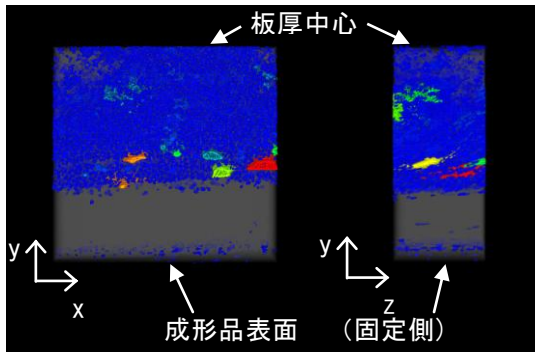
* 試験研究室 生産技術担当

***¹ 東京大学 生産技術研究所

***² 日本工業大学

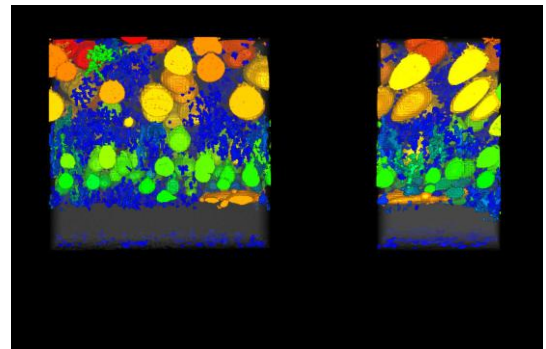
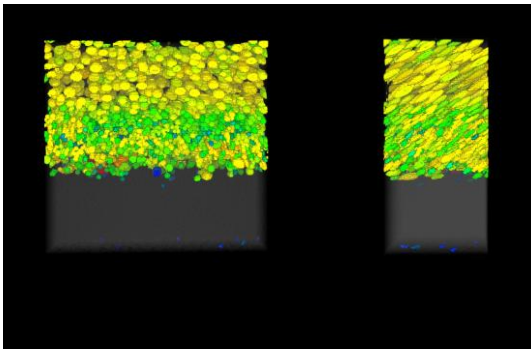
(1) 樹脂: HIPS

(2) 樹脂: PP



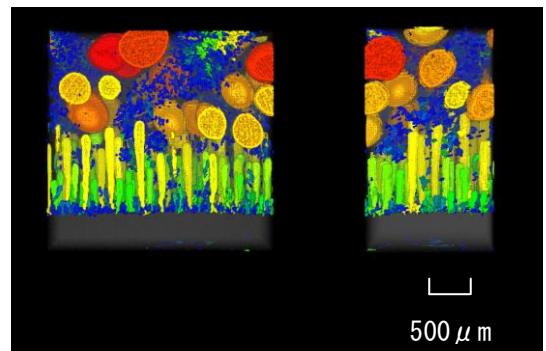
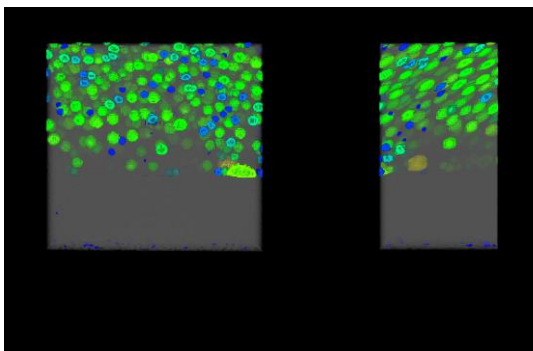
(a) Pmax: 5MPa

(a) Pmax: 5MPa



(b) Pmax: 15MPa

(b) Pmax: 15MPa



(c) Pmax: 30MPa

(c) Pmax: 30MPa



図2 X線CTによる各Pmaxにおける成形品表層から中心部までの3次元発泡構造
(射出率:40.2cm³/s, キャビティ位置:A)

の場合に、各層の厚さとセル径の絶対値は HIPS と異なるものの、基本的な構造は HIPS と同様である。 P_{max} が 15MPa でも、PP の基本構造は HIPS と同様であるが、特に中心部に、微細なセルが分布 ($d < 50\mu\text{m}$) している点が異なっている。一方 P_{max} が 30MPa 場合には、コア層の構造は大きく異なっている。スキン層 II とコア層の境界層に、板厚方向に林立する“つらら状の長尺セル”が観察される。このつらら状のセルは大半がスキン層 II に接しており、内層側に向かって断面径を広げるように伸びている。コア層の中心領域には、大きなセルと小さなセル ($d < 50\mu\text{m}$) とが混在している。

4 考察

P_{max} が低い場合は、流動過程のセル状態を維持して、成形品の発泡構造が形成される。一方、 P_{max} が高い場合は、樹脂充填による圧縮過程でセルが消失し、減圧・冷却過程で新たに生成するセルが成形品の発泡構造を構成する。このため P_{max} が低い場合は、流動過程の PP と HIPS セル分布は大きな差がないために基本構造が一致した。一方、減圧・冷却過程で新たにセルが生成する場合について以下に記す。非晶性樹脂の場合、型内での冷却にともなって、減圧・冷却過程後半では、樹脂の温度がガラス転移点 (T_g) 以下となるため、初期にほぼ同時に生成したセルが同じように成長し、セル径が均一となる。一方、PP の場合は T_g が型温より遥かに低いため、減圧・冷却過程初期 (熔融状態) ならびに後半 (結晶核成長時) において、それぞれセルが生成、成長する。初期に生成したセルは大きく成長するが、後半では、結晶核の生成による核剤効果とセル周囲の樹脂粘性の上昇の影響で、微細なセルが多数形成された。そのため PP では、微細なセルが混在する構造が形成されたと推察される。 P_{max} が 30MPa となると、減圧・冷却過程におけるセルの生成が抑制される。冷却固化したスキン層 I の内側のスキン層 II では、その表層から内層部に向かって冷却速度が徐々に遅くなり、表層から順次結晶化プ

ロセスが進展する。これに伴い表層から中心部にかけて体積収縮が進展すると推察される。このため、スキン層 II の表層側にあったセルは、その体積収縮を補うように次第に内層側へと広がる結果、スキン層 II 境界領域でセルがつらら状に成長したものと推察される。

5 まとめ

- 1) HIPS と PP のいずれの樹脂及び条件においても、表面から成形品中心部にかけてシルバーストリーク層 (スキン層 I)、無発泡層 (スキン層 II)、発泡層 (コア層) の積層構造が形成された。
- 2) 最高圧力 P_{max} が 5MPa では、HIPS と PP はほぼ同様の層構造を形成するが、 P_{max} が 15MPa 以上では、結晶化プロセスを有する PP において、HIPS に見られる大きなセルに加えて微細なセル ($d < 50\mu\text{m}$) が混在する形態がコア層中心領域に形成された。
- 3) P_{max} が 30MPa の場合、PP の層構造は、スキン層 II の境界から内層側に向かって断面径を広げるように林立する、非晶性樹脂では観察されなかった特異な“つらら状の長尺セル”の形成が確認された。

参考文献

- 1) 山田岳大: 射出成形におけるヒケ、ソリ対策技術, 成形加工学会第 96 回講演会資料, (2007) 27
- 2) Ogawa, J., et al. “Development of Door Module Carrier Using Foam Molding Technology”, Mazda Technical Review, 27, (2009) 21
- 3) 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
- 4) Cho, K.Y., Rizvi, S.S.H. “3D microstructure of supercritical fluid extrudates I”, Food Res Int, 42, 5-6 (2009) 595
- 5) Structural analysis of polymeric foam, http://www.skyscan.be/company/UM2009/abstract_014.pdf#search='Structural analysis of polymeric foam', 2011.3