

氏名	野辺 理恵	〈※枠内は 12 ポイント〉
授与学位	博士 (工学)	
学位授与年月日	令和 3 年 3 月 23 日	
学位授与の根拠法規	学位規則第 4 条第 1 項	
研究科専攻	秋田県立大学大学院システム科学技術研究科 博士後期課程総合システム科学専攻	
学位論文題目	射出発泡成形した繊維強化 PP 複合材料の内部構造と強度の 関係	
指導教員	教授 <u> 邱 建輝 </u>	
論文審査委員	主査 教授 <u> 邱 建輝 </u>	
	副査 教授 <u> 尾藤 輝夫 </u>	教授 <u> 倪 慶清 </u> (信州大学)
	准教授 <u> 中山 昇 </u> (信州大学)	

論文内容要旨

近年、地球温暖化防止のため二酸化炭素 (CO₂) 排出量の削減が急務となっている。日本の CO₂ 排出量は運輸部門が 18% であり、そのうち自動車産業が 85% 以上を占めている。そのため、自動車産業においては、軽量化による燃費向上が重要な研究課題となっている。車両軽量化のために金属材料の樹脂化が進められ、車体重量の 12~15% を樹脂部品が占めるまでになっている。しかしながら、燃費向上のためには樹脂部品のさらなる軽量化が求められている。樹脂部品の軽量化手法の一つに超臨界発泡射出成形法 (Microcellular Injection Molding : MIM) がある。MIM は超臨界状態の不活性ガス (超臨界流体 Supercritical Fluid : SCF) の CO₂ または窒素 (N₂) を発泡剤として用いる環境負荷の少ない成形法である。MIM にはショートショット式とコアバック式があり、射出成形の特徴である形状自由度の高い成形ができるのはショートショット式である。また、MIM において均一で微細な発泡構造を得るには、シリカ、ナノクレイなどの充填材を用いることが効果手的であることが知られている。一方、ポリプロピレン (PP) は自動車、包装、日用品などに広く使用されている。自動車産業においては、樹脂材料の 50% 以上を PP が占めており、その軽量化や使用量削減が求められ、発泡成形が注目されている。しかしながら、熔融張力が低く、ひずみ硬化性がない PP は、破泡や気泡も合一が起りやすく、発泡成形性に課題がある。そのため、充填材添加や長鎖分岐 (LCB) 構造の導入などにより、発泡成形性を改善する手法の検討が行われているが、ショートショット式 MIM で作製した繊維強化 PP 発泡体の特性に関する報告は少ない。

本論文は、ショートショット式 MIM を用いて繊維強化 PP 複合材料発泡体を作製し、その内部構造と強度の関係を明らかにすることを目的としている。強化繊維は導電性を付与できるミクロン繊維の炭素繊維 (CF)、および環境負荷低減材料として期待されているナノ繊維のセルロースナノファイバー (CNF) を使い、繊維強化 PP 複合材料発泡体の特性を検討した。本論文は全 6 章で構成されている。第 1 章は緒論として、MIM のプロセス、その成形品の特徴および最近の動向について概説している。

さらに、PP、CF/熱可塑性樹脂複合材料および CNF/熱可塑性樹脂複合材料の発泡成形に関する既存の研究報告から問題点を挙げ、本研究に至る背景を述べ、本研究の目的を示している。

第2章では、材料および実験方法として、使用した材料と発泡体の作製方法およびそれらの内部構造、強度などの分析方法について説明している。CF強化PP (PP/CF) はCF添加量の異なる3種を用いた。CNF強化PPは母材がLCBPPであり、CNF添加量が10 wt%のペレットをマスターバッチとして使用した(LCBPP/CNF)。ショートショット式MIMは、発泡剤としてN₂を使用し、JIS規格に準拠したダンベル形および短冊形試験片を作製した。PP/CF発泡体は軽量化率(WR)を10%に固定し、N₂注入量、射出速度およびCF添加量を変化させた。LCBPP/CNF発泡体は、WRおよびCNF添加量を変化させた。発泡体の内部構造はX線CTを用いて観察した画像から、流動方向(MD)および厚さ方向(TD)における平均気泡径、気泡密度および各層厚さを計測した。力学特性の評価は引張試験、3点曲げ試験およびシャルピー衝撃試験を行い、試験後の破断面を走査型電子顕微鏡(SEM)で観察した。さらに、LCBPP/CNF発泡体の熱伝導率を迅速熱伝導率計で測定し、断熱性を評価した。

第3章では、PP/CF発泡体のダンベル形試験片を用いて、射出条件およびCF添加量が内部構造と引張特性に及ぼす影響を検討している。結果として、ショートショット式MIMにより作製したPP/CF発泡体は、通常の射出成形と同様に三層構造が形成されていた。その三層構造は、未発泡のスキン層、流動方向に伸展した気泡の存在する中間層、球状気泡構造のコア層であった。また、N₂注入量の増加、射出速度の低下およびCF添加量の増加により、平均気泡径が31%減少して18 μm、気泡密度が2倍に増加して 3.8×10^4 cell/cm²となり、気泡構造が改善した。引張特性は射出条件の影響はほとんど受けませんが、CF添加量の増加により著しく向上した。特に、CF添加量を10 wt%から30 wt%に増加した場合、未発泡体の引張弾性率は78%増加したのに対し、発泡体では113%増加した。つまり、CFの高い力学特性だけでなく、気泡構造の改善によって35%の補強効果を得られた。

第4章では、ダンベル形と同時に成形した短冊形のPP/CF発泡体に対し、射出条件とCF添加量が内部構造、曲げおよび衝撃特性に及ぼす影響を評価している。結果として、短冊形試験片において、N₂注入量の増加、射出速度の低下、CF添加量の低下により、最も微細な気泡構造を得ることができた。その平均気泡径は45 μmであり、気泡密度は 12×10^3 cell/cm²であった。また、ノッチのない試験片では、中間層は不明確だが、ノッチ付き試験片では、流動速度の変化および流動方向の影響により、中間層が確認できた。つまり、短冊形はダンベル形と異なる内部構造を形成し、気泡の形成、形状、分布および大きさは成形条件だけでなく、成形品形状に依存することを明らかにした。N₂注入量の増加により、PP/CF発泡体の曲げ比弾性率は未発泡体より13%向上し、7.0 GPa/(g/cm³)を達成した。さらに、CF添加量が10 wt%から30 wt%に増加すると、PP/CF発泡体の曲げ比弾性率は14 GPa/(g/cm³)となり、未発泡体よりも高い値を達成した。PP/CF発泡体のシャルピー衝撃強さは、CF添加量を10 wt%から30 wt%に増加することで、67%向上した。

第5章では、ナノ繊維であるCNFと発泡成形性に優れるLCBPPの複合材料(LCBPP/CNF)発泡体を作製し、その特性を評価している。特に、WRおよびCNF添加量が及ぼす影響を検討している。結果として、CNFは気泡核剤として機能し、LCBPP発泡体と比較して、LCBPP/CNF発泡体の気泡構造は改善した。LCBPP/CNF発泡体のWRが6%から13%に増加すると、平均気泡径が43 μmに減少し、気泡密度は 20×10^3 cell/cm²と増加して気泡構造が改善した。WRの増加により、LCBPP/CNF発泡体の引張特性は低下するが、曲げ弾性率は未発泡体と同等以上であった。特に、WRが6%のとき、LCBPP/CNF発泡体の曲げ弾性率は未発泡体より20%上昇し、2.2 GPaを達成した。また、LCBPP/CNF発泡体(CNF添加量:10 wt%)はLCBPP発泡体と比較して、引張強さは22%、引張弾性率は49%、それぞれ向上した。さらに、LCBPP/CNF発泡体の曲げ弾性率は、LCBPP発泡体と比較して57%増加し、2.2 GPaを達成した。

LCBPP/CNF 発泡体のシャルピー衝撃強さは、CNF 添加量が 10 wt% のとき、未発泡体と同等の 3.6 kJ/m^2 を達成した。LCBPP/CNF 発泡体の熱伝導率は、WR の増加に伴って 0.20 W/mK から 0.15 W/mK に減少し、断熱性が向上できることが示された。

第 6 章は総論であり、本研究で得られた知見についてまとめている。本研究では、ショートショット式 MIM を用いて、PP/CF 発泡体および LCBPP/CNF 発泡体を作製し、その内部構造と強度の関係を調査した。近年の CO_2 排出量削減や、導電性の付与、環境負荷低減といったニーズに応えるため、これらの繊維強化 PP 複合材料発泡体は、自動車だけでなく、家電、建築、医療など様々な分野への利用拡大に貢献できるものと期待される。

