

京都大学	博士 (工学)	氏名	リン ウェイユエン Lin, Weiyuan
論文題目	Physical Foaming of a Thermoplastic Elastomer (Styrene-Isobutylene-Styrene Copolymer) – Microcellular Foam Injection Molding and Stretching-Induced Foaming Methods (熱可塑性エラストマー(SIBS)の物理発泡—微細発泡射出成形と延伸発泡法について)		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>本論文は、熱可塑性エラストマーの一種であるスチレン-イソブチレン-スチレン共重合体 (SIBS) の物理発泡について研究した結果をまとめたものである。SIBS は、化学構造の中にハードセグメントとソフトセグメントを有し、ハードセグメントにより物理的に架橋されたソフトセグメントが 3次元ネットワークを形成することによって優れた弾性挙動を示し、また、ハードセグメントのガラス転移温度以上での流動性による高い加工性も有する。本論文では、SIBS に物理発泡法を適用することによって、上記の優れた特性を活かしつつ、プラスチックの消費低減、環境負荷の低減を目指した高機能軽量化部材の開発を目指している。</p> <p>一般に、熱可塑性エラストマーの物理的な発泡は、その高い弾性挙動ゆえに、発泡で体積膨張させたのちに強い収縮挙動が生じるという問題がある。本論文では、これらの難点を克服し、あるいは逆にその特性を活用し、マイクロおよびナノオーダーの大きさの微細孔を有する SIBS の発泡体材料 (マイクロセルラー発泡体) を創製するための手法の研究を行い、その成果を次のような内容でまとめている。</p> <p>第 1 章は、熱可塑性高分子発泡体および物理発泡技術全般の研究動向について述べている。</p> <p>第 2 章では、SIBS の発泡性とセル構造を改善する方法を提案している。コアバック操作を伴う発泡射出成形により SIBS のマイクロセルラー発泡体を製造する手法を開発している。その際、結晶性の樹脂であるポリプロピレン (PP) を発泡核剤並びに構造安定素材としてブレンドすることにより、高い多孔数密度、微細孔径で、収縮率の低いマイクロセルラー発泡体が創製できることを示している。</p> <p>第 3 章では、ポリプロピレン (PP) フォームの表面品質を材料物性、特に結晶化と粘性の観点から改善する方法について述べている。シルバー・スワルマークと呼ばれる表面外観不良は、金型内を流れる樹脂の流動先端で圧力差により気泡が発生し、その気泡がファウンテンフローで金型界面に延伸されながら運ばれ、金型との界面で冷却固化されてできる泡のフットプリントである。この表面外観不良を低減・消滅させるために、気泡核剤や高温で粘性の高い樹脂をブレンドして、流動先端で形成される気泡の径を可能な限り小さくし、かつ、PP の結晶化を遅延できる樹脂をブレンドして金型界面でのポリマーの固化挙動を遅らせ、金型とポリマー界面に存在する気泡を固化する前に成形圧力によって押しつぶす手法を提案している。ブレンドする樹脂として、SIBS と PP と相溶性の高い低結晶化ポリプロピレン (LMPP) を選定し、それらの効果を比較検討している。結果、SIBS と LMPP のどちらを PP に配合しても、発泡体の表面外観を改善できることを実証している。特に、LMPP は固体試料とほぼ同等の良好な発泡体表面外観を得ることができることをまとめている。</p> <p>第 4 章では、SIBS が室温でも高い弾性を有することや高いガスバリア性を有することを利用し、CO₂ を含侵させたのち延伸操作を施すことにより、マイクロセルラー発泡体を作る延伸発泡法を提案している。この延伸発泡法において CO₂ の溶解濃度、延伸の速度、ひずみが、セル密度やセルサイズに与える影響についても理論的な考察も加え検討している。</p> <p>第 5 章は、各章を総括し、熱可塑性エラストマーの物理発泡の今後の展望について述べている。</p> <p>以上のように、本論文は、熱可塑性エラストマーの一種である SIBS のマイクロおよびナノオーダーの大きさの微細孔を有する発泡体材料 (マイクロセルラー発泡体) を創製するための手法の研究をまとめたものである。得られた知見は、SIBS に限定されず、他の多くの熱可塑性エラストマーに適用できる内容のものである。</p>			

氏名

リン ウェイユエン
Lin, Weiyuan

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、熱可塑性エラストマーの一種であるスチレン-イソブチレン-スチレン共重合体 (SIBS) の物理発泡について研究した結果をまとめたものである。一般に、熱可塑性エラストマーの物理的な発泡は、その高い弾性挙動ゆえに、発泡で体積膨張させたのちに強い収縮挙動が生じるという問題がある。本論文では、これらの難点を克服するため、あるいは逆にその特性を活用し、マイクロおよびナノオーダーの大きさの微細孔を有する SIBS の発泡体材料 (マイクロセルラー発泡体) を創製するための手法を提案している。本論文での主な成果は、以下のとおりである。

1. 結晶性樹脂であるポリプロピレン PP を SIBS にブレンドし、PP の結晶を気泡核剤として活用し、発泡体の気泡径を微細化できること、ならびに、成形された後の発泡体の収縮を PP により抑制できることを示した。
2. 発泡射出成形品の表面品質を材料物性、特に結晶化と粘性の観点から改善する方法として、SIBS ならびに低結晶性ポリプロピレン (LMPP) のブレンドによる方法を提案している。この方法の基本的な考え方は、以下のとおりである：シルバー・スワルマークと呼ばれる表面外観不良は、金型内を流れる樹脂の流動先端で圧力差により気泡が発生し、その気泡がファウンテンフローで金型界面に延伸されながら運ばれ、金型との界面で冷却固化されてできる泡のフットプリントである。この表面外観不良を低減・消滅させるために、SIBS や LMPP をブレンドして、PP の結晶化を遅延できる樹脂をブレンドして金型界面でのポリマーの固化挙動を遅らせ、金型とポリマー界面に存在する気泡を固化する前に成形圧力によって押しつぶす。LMPP と気泡の微細化剤 (ゲルオール) の組み合わせが特に有効であることを実験的に示している。
3. 窒素や二酸化炭素を含浸させた SIBS を延伸することにより、発泡させる手法とその理論を提案している。

以上のように、本論文は、熱可塑性エラストマーの一種である SIBS のマイクロおよびナノオーダーの大きさの微細孔を有する発泡体材料 (マイクロセルラー発泡体) を創製するための手法の研究をまとめたものである。そのなかでも、とりわけ、延伸操作により樹脂中に気泡を発生させる延伸発泡法は、弾性率の高い他のエラストマー系への展開が期待できるものであるとともに、従来からある気泡核生成理論式に、樹脂の特徴を取り込み発展させている点で、学術上、実際上も寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士 (工学) の学位論文として価値あるものと認める。また、令和 5 年 2 月 13 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

なお、本論文は、京都大学学位規程第 14 条第 2 項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。