

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 18 日現在

機関番号：11501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24656434

研究課題名(和文)超音波を用いた新規発泡制御法の確立

研究課題名(英文)Establishing a new method of foaming process using ultrasonic

研究代表者

杉本 昌隆(Sugimoto, Masataka)

山形大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：10361271

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円、(間接経費) 960,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は発泡成形における超音波照射の影響を明らかにすることである。試料にあらかじめ超臨界二酸化炭素を飽和溶解させ、試料のガラス転移温度近傍の液体中で超音波を照射しながら発泡させる。有効に音波を伝えるために高温の液体中で直接超音波を照射できる装置を作製した。

発泡実験は超音波が結晶化に影響を及ぼす可能性があるため、非晶性高分子であるポリスチレン(a-PS)を用いて検討を行った。平面型振動子と音波を集中的に照射できる凹面型振動子を用いて得られた発泡体は超音波を照射せずに得られた発泡体より気泡構造の微細化が確認できた。また、凹面型振動子を用いて得られた発泡体は大きさの異なる気泡が層状に形成された。

研究成果の概要(英文)：This study is to clarify the influence of ultrasonic irradiation on foaming. The supercritical carbon dioxide was dissolved into the sample. Foaming was carried out in the hot water (temperature was slightly lower than Tg of PS) by irradiating ultrasonic in order to propagate effective ultrasonic to the sample.

We used amorphous polystyrene (a-PS) as a sample because ultrasonic can affect the crystallization. The concave vibrator which can focus ultrasonic wave on the sample enhanced cell number density in comparison with the planar vibrator. The use of concave vibrator caused arrangement of cells with different size in laminae.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学、材料加工・処理

キーワード：超音波 発泡成形 微細加工

1. 研究開始当初の背景

高分子の発泡体は、断熱材・緩衝材・自動車材料など多くの分野で使用されている。中でも自動車産業では燃費の更なる向上のため、また環境負荷の低減の観点から軽量化が進められている。近年、超臨界状態の二酸化炭素(以下 SC-CO₂)を発泡剤に用いた発泡成形法は盛んに研究されている。SC-CO₂は不燃・無臭・安価である等の特長を持ち、発泡剤として用いることで容易にマイクロオーダーの発泡体を作製できる。しかし、SC-CO₂を用いた発泡成形では気泡の微細化はできるが、気泡径や気泡数密度などの制御は困難であり、現在様々な添加剤(造核剤等)等を添加することにより気泡の制御が図られている。しかし、このような添加剤等を添加することは、機械的強度やリサイクル性を低下させるため添加剤等を使用しない発泡制御法が強く求められている。

そこで本研究では、近年発表された論文にある「超音波を高分子溶融体に照射することにより、結晶化が促進される」という報告から、気体・液体・固体のどの状態にも伝播する疎密波である超音波照射に着目した。高分子の結晶サイズは数 nm から数 mm と言われており、発泡成形の気泡径とほぼ同スケールであるため、発泡成形にも応用できるのではないかと考えた。申請者が行ったプレ実験の結果より超音波照射が気泡成長に何らの影響を与えていること、特に超音波により気泡成長が促進され得ることを見出した。

超音波が発泡特性に及ぼす影響についてこれまで報告されておらず、発泡制御メカニズムやその可能性を見出すことは学術的に見ても大変意義がある。また、超音波照射装置は各種成形加工装置に組み込みやすいため、この発泡制御法が確立されれば射出発泡成形などへの工業的応用が大いに期待される。

2. 研究の目的

本研究の目的は発泡成形における超音波照射の影響を明らかにすることである。本研究により発泡成形における超音波の影響、そのメカニズムが明らかにされ、新規発泡制御法が確立すれば SC-CO₂を物理発泡剤として用いた発泡法だけでなく、物理、化学発泡法など様々な発泡成形に応用されることが考えられる。また、添加剤を使用しない低環境負荷の発泡制御技術の確立は、次世代の環境基準に対応した新規発泡成形法であると期待される。

3. 研究の方法

(1)超音波照射装置の作製

試料にあらかじめ SC-CO₂を十分に溶解させ、その後試料の T_g(ガラス転移温度)近傍の高温に入れ発泡させる。そのため高温の液

体中で直接試料に超音波が照射できるように超音波照射装置を作製する。

(2)発泡実験

本研究では、超音波が結晶化に影響を及ぼす可能性があるため、非晶性高分子であるポリスチレン(a-PS)を使用し発泡実験を行う。実験方法は以下の通りである。

SC-CO₂雰囲気下に試料を長時間置き試料内部に SC-CO₂を十分含浸させる。この時、圧力を 15MPa、温度を 40 とし、減圧しても発泡が進行しないように温度設定する。

試料に SC-CO₂が十分に含浸したら、減圧し試料を取り出す。

試料を照射装置に取り付け、超音波を照射しながら装置ごと高温の液体中で一定時間発泡させる。

発泡後、急冷させ発泡を停止させる。

(3)発泡体の解析

比重計を用いて発泡倍率を求める。また、発泡体断面の SEM 写真を撮り、画像解析から気泡径・気泡数密度・空隙率を求める。

4. 研究成果

(1)超音波照射装置の作製

高温の液体中でも超音波を照射することができるように照射装置を作製した。(図 1)

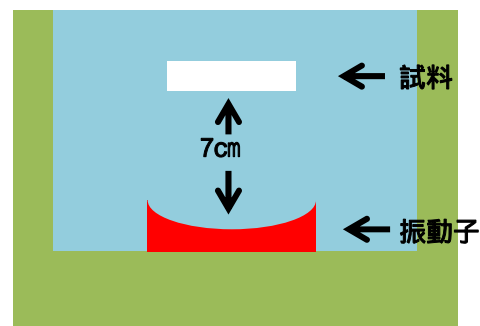


図1 超音波照射装置の概要

また、本研究では平面型の振動子と音波を集中的に照射することができる凹面型振動子の二種類を用いて検証を行った。今回用いた凹面型振動子の焦点距離が7cmであるため二種類の振動子で試料と振動子を7cm離して実験を行った。

(2)発泡実験

作製した超音波照射装置を用いて発泡実験を行った。SC-CO₂を十分に溶解させたポリスチレンを二種類の振動子を用いて発泡させ気泡構造の変化を検証した。

平面型振動子を用いた発泡実験

平面型振動子は 291KHz と 418KHz の周波数

を持つ振動子を用意し、70 の液体中で発泡させた。図2に発泡温度70での超音波なし、周波数291KHz、周波数418KHzで得られた発泡体のSEM画像、図3にSEM画像から算出した気泡径と気泡数密度のグラフを示す。

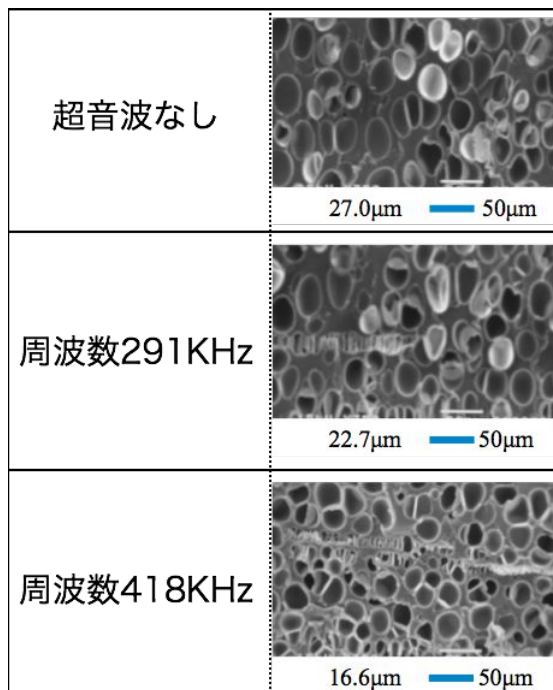


図2 発泡温度70における平面型振動子を用いたときの発泡体のSEM画像

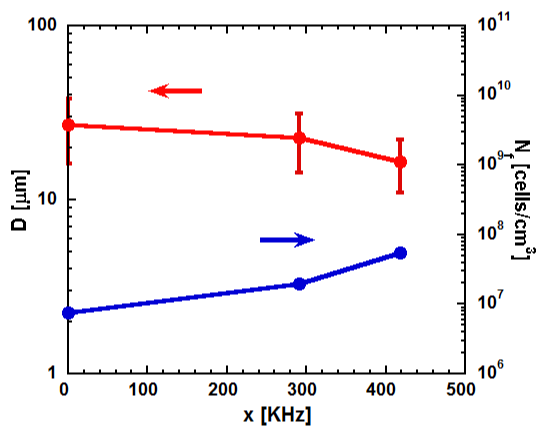


図3 発泡温度70における平面型振動子を用いたときの周波数xに対する気泡径Dと気泡数密度 N_f の変化

図2、図3より超音波を使用することでやや気泡が細くなるのがわかる。また、周波数の上昇で気泡径の減少と気泡数密度の増加が確認できた。特に周波数418KHzでは気泡径16.6μmと超音波なしでの27.0μmに

比べて減少していた。このことから平面型振動子を用いることにより気泡構造に効果があることがわかった。

凹面型振動子を用いた発泡実験

凹面型振動子は周波数300KHzの振動子を用意し、平面型振動子を用いた発泡実験と同条件で実験を行った。図4に発泡温度70における凹面型振動子で得られた発泡体のSEM画像を示す。

図4より大きさの異なる気泡が層状に形成されていることがわかる。小さな気泡の層では平均気泡径が3.7μm、大きな気泡の層では12.1μmと大きく異なることがわかった。これは図5に示す各層の気泡径分布からも分布が3通りに分かれていることがわかる。また、平面型振動子を用いて得られた発泡体と比較すると、気泡径の減少と気泡数密度の大きな増加がみられた。さらに発泡倍率でも凹面型振動子を用いることで大きく上昇することがわかった。(図6)発泡温度70において平面型振動子では発泡倍率が約1.5倍であるのに対して、凹面型振動子を用いることによって発泡倍率が約2倍の発泡体を得られた。これらのことから凹面型振動子は平面型振動子を用いたときよりも効果が高いことが確認できた。

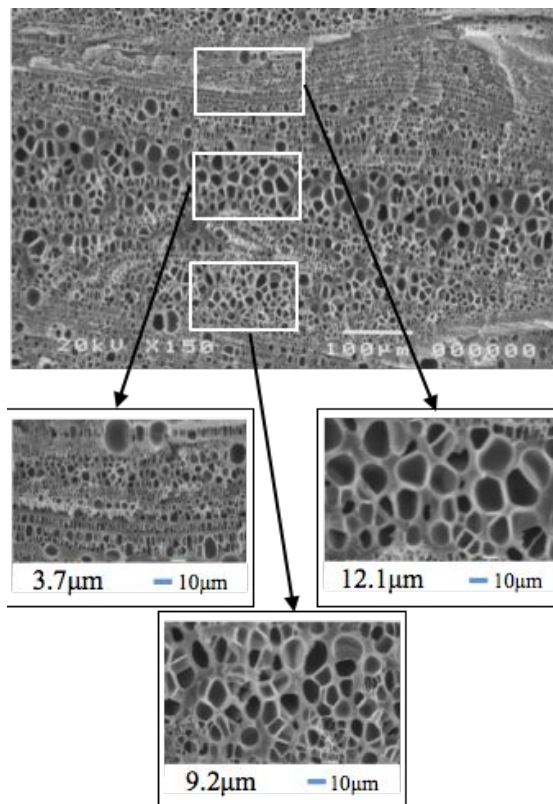


図4 発泡温度70における凹面型振動子を用いたときの各層の気泡構造

凹面型振動子を用いることで層状に気泡

が形成した原因は、超音波を集中的に照射することによって超音波の波に位相差が生じたためと考えられる。位相差による影響で、超音波が共鳴している部分と打ち消し合っている部分があったため層状に気泡が形成したのではないかと考えられる。しかし、詳細なメカニズムは明らかになっておらず今後さらなる検討が必要である。

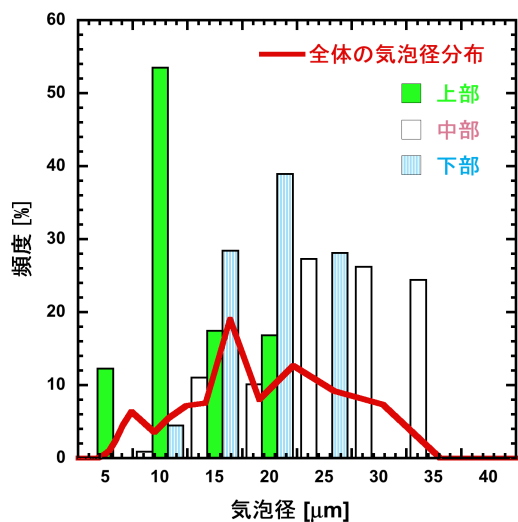


図5 発泡温度 70 における凹面型振動子を用いたときの全体の気泡径分布と各層の気泡径分布

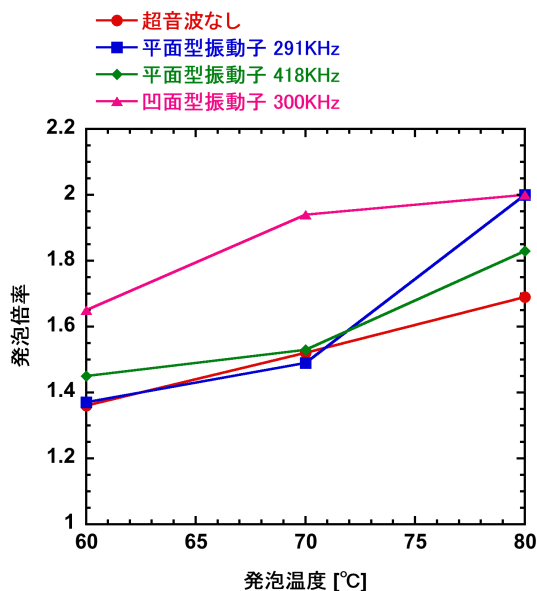


図6 各振動子を用いたときの発泡温度に対する発泡倍率の変化

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計0件)

[学会発表](計0件)

[図書](計0件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

杉本 昌隆 (SUGIMOTO, Masataka)

山形大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号：10361271

(2) 研究分担者

小山 清人 (KOYAMA, Kiyohito)

山形大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：60007218

柳田 浩隆 (YANAGIDA, Hirotaka)

山形大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号：80323179