

超音波照射がポリスチレンの発泡成形に及ぼす影響

Effect of ultrasonic irradiation on the foamability of polystyrene

(山形大) ○ (学) 野川大樹, (正) Sathish K. Sukumaran, (正) 杉本昌隆

Adequate control of cell diameter, cell distribution, and cell structure is necessary to obtain polymer foams with enhanced heat insulation, mechanical strength, energy absorption, weight reduction etc. While talc or similar foaming nucleating agents have been used to reduce the cell size, uniform dispersion of nucleating agents is challenging. Previous studies suggest that ultrasonic irradiation not only can increase the expansion ratio of polystyrene foams, but also lead to smaller cells. While the effect has been attributed to cavitation caused by ultrasonic waves, the relationship is yet to be elucidated. Therefore, we investigated the effect of varying the distance between the ultrasonic horn and the polymer sample on the resulting cell size distribution.

Keywords: Ultrasonic irradiation, Cell size distribution, Cavitation

1. 緒言

プラスチックの発泡成形では、発泡核剤として超臨界二酸化炭素を用いた方法が実用化されており、自動車や住宅の断熱材などで広く応用されている。また発泡体を更に微細化することで強度の低下を防ぎながら、断熱性や軽量化を実現できるため注目されている。そのため気泡径やその分布、連続あるいは独立気泡などの気泡構造は、断熱性や力学強度、エネルギー吸収、軽量性などの機能の点から重要なパラメーターである。また、これまでタルクなどを発泡核剤として用いた微細化が研究されているが、微細な無機粒子を均一に分散させるのは困難である。Zhai ら¹⁾は発泡時に超音波を照射することで発泡倍率の向上と気泡径の微細化を報告している。超音波によるキャビテーションの影響と考察されているが、微細化との関係は詳細に理解されていない。そこで、超音波の照射距離が発泡体の気泡構造及び気泡に与える影響をモルフォロジーより検討した。

2. 実験方法

*Daiki Nogawa, Sathish K. Sukumaran,
Masataka Sugimoto
Graduate School of Organic Materials Science,
Yamagata University,
4-3-16 Jonan Yonezawa, Yamagata,
992-8510, Japan
TEL:0238-26-3058, FAX:0238-26-3411
Email: sugimoto@yz.yamagata-u.ac.jp

2-1. サンプル

ポリスチレン(PS,PS ジャパン社製, PS680, $M_w=1.9 \times 10^5$)を用いた。試料をプレス成形機で長さ 20 mm×高さ 20 mm×厚み 1 mm に成形した。

2-2. 発泡実験

発泡実験は、CO₂を使用したバッチ式発泡法である。含浸条件は、温度 40 °C、圧力 15 MPa、含浸時間 8 h で行った。減圧後すぐに、25 °Cのウォーターバス中で周波数 28.5 kHz、出力 90 W の超音波照射を 30 s 行った後、70 °Cの水中で 30 s 発泡させ、その後直ちに水中で冷却固化し、発泡体を得た。得られた発泡体を破断し、断面を走査型電子顕微鏡(SEM)で観察した。気泡径を SEM 画像より測定した。気泡数密度(N)は以下の式より求めた。

$$N = \left(\frac{n}{A}\right)^{\frac{3}{2}} \quad (2)$$

ここで、n は SEM 画像内の気泡数、A は SEM 画像内の面積である。また、気泡径のばらつきを評価するために変動係数(CV)を用いた。計算式を以下に示す。

$$CV = \frac{\alpha}{d} \quad (1)$$

ここで、 α は標準偏差、d は平均気泡径である。

2-2. 超音波照射条件

水温 25 °Cにおける周波数 28.5 kHz の超音波の波長は、5.2 cm になる。発振装置の軸上で超音波ホーンからの距離を y とする。 $y=1.3, 2.6, 3.9, 5.2\text{cm}$ において発泡を行った。また、超音波発泡における超音波照射時の実験条件を図 1 に示す。

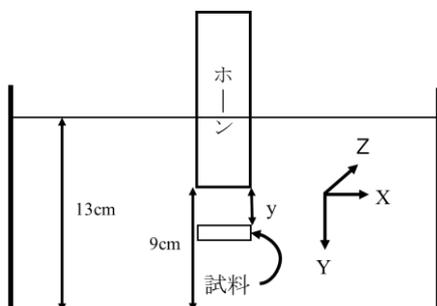


図 1 超音波照射の模式図

3. 実験結果および考察

ここでは、顕著に領域が分かれた $y=1.3\text{ cm}$ の位置の発泡体断面の SEM 画像を図 2 に示す。超音波照射無しの発泡体では、 d が $22.7\mu\text{m}$ に対し、超音波照射すると図 2 の(a), (c)の領域のように d が $10\mu\text{m}$ 以下に微細化することがわかった。しかし(b)の領域では、(a), (c)に比べ大きな気泡を示した。照射無しに比べて d はやや小さいものの(a), (c)と比べやや大きい領域が見られた。図 3 に図 2 の四角で囲んだ領域の拡大図 (I)を示す。

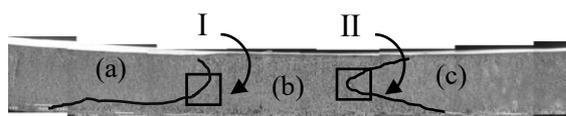


図 2 $y=1.3\text{ cm}$ で超音波照射発泡体の断面図

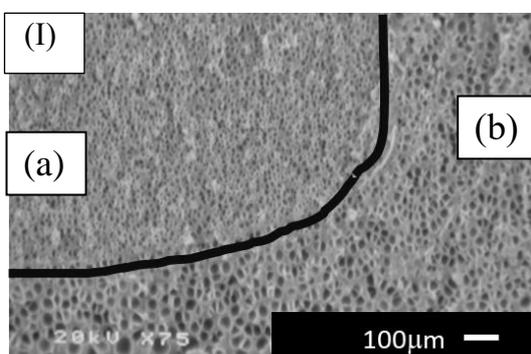


図 3 領域(I)の拡大図

表 1 に $y=1.3\text{ cm}$ で超音波照射した気泡径データを示す。微細化した領域である(a)と(c)の d はそれぞれ $9.0\ \mu\text{m}$ 、 $9.5\ \mu\text{m}$ であり、中央の(b)では d が $17.9\ \mu\text{m}$ と d が半分近く小さくなり、 N も約 8 倍の差が出るのが明らかになった。(a) ~ (c)の CV はすべてほぼ同じ値を示しているため微細化が起こったとしても気泡のばらつきはないことがわかる。気泡が微細化した理由として水中での超音波照射によるエネルギーあるいはキャビテーションにより核生成が促進された可能性がある。気泡径が二様分布化した理由として狭いウォーターバス内で照射したことで反射を起こし複雑な波を形成し強め合う領域と弱め合う領域ができたのではないかと推測される。図 1 のように湾曲状に出た理由として、進行波が水中を伝播する際の波の形通りに微細化したためと考えられる。

表 1 $y=1.3\text{ cm}$ で超音波照射した気泡径データ

	(a)	(b)	(c)
平均気泡径 $d / \mu\text{m}$	9.0	17.9	9.5
気泡数密度 $N / \text{cm}^3 \times 10^8$	18.7	2.3	15.6
CV	0.21	0.23	0.22

4. 結言

超音波照射することで微細化した領域と微細化していない領域に分かれ、微細化した領域では、平均気泡径が $10\ \mu\text{m}$ 以下まで微細化した。今後は、超音波の可視化を行い、細かく距離を変化させさらなる検討を行う。

参考文献

- 1) Zhai et al., *Polymer*, **49**, 2430-2434 (2008)