

超音波照射がポリスチレンの発泡成形に及ぼす影響  
～ルミノール発光による音場の観測と発泡性～

Investigating the effect of ultrasonic irradiation on the foamability of polystyrene by  
visualizing the cavitation field using sonochemiluminescence

(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 visualization of cavitation to examine the effect on bubble structure and bubbles of foam by morphological observation.

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。また気泡を微細化することで強度の低下を抑えながら、断熱性や軽量化を実現できるため注目されている。発泡体の気泡径やその分布、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、軽量化などの機能の点から重要なパラメーターである。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<sup>1)</sup>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、超音波照射時の水中キャビテーションを可視化し、超音波の強度が発泡体の気泡構造に与える影響を検討する。

---

\*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. 実験方法

### 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、CO<sub>2</sub>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、120 °Cのオイル中で 60 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、 $\alpha$ は標準偏差、 $d$ は平均気泡径である。

### 2-3. 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。超音波ホーンから底までの距離を  $y$ 、超音波ホーンからの距離を  $y'$  とし、 $y, y' = 1.3, 2.6, 3.9, 5.2\text{cm}$  と変化させて発泡を行った。超音波照射の実験の模式図を図 1 に示す。

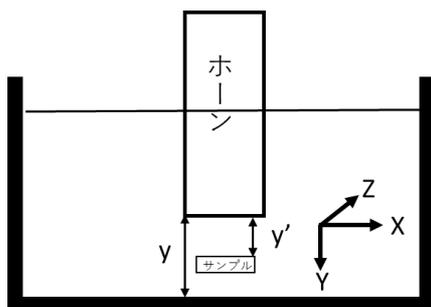


図 1 超音波照射の模式図

### 2-3 ソノケミカルルミネッセンス

精製水 2L に炭酸ナトリウム 20 g、ルミノール 0.083g を溶解させる。その溶液中に超音波ホーンとサンプルを入れ超音波を照射することにより超音波により発生したキャビテーションを可視化する。

### 3. 実験結果および考察

超音波照射無しで発泡させた発泡体断面 SEM 画像を図 2 に示す。また、 $y$  の距離を 2.6 cm、 $y'$  の距離を 1.3cm の距離で超音波照射し、発泡させた発泡体断面図を図 3 に示す。

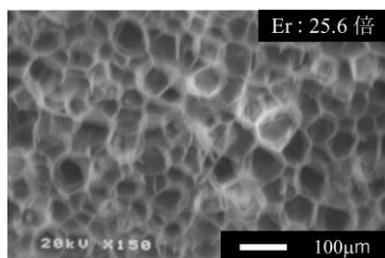


図 2 超音波照射無しの発泡体断面 (含浸 40°C、15 MPa、発泡 120°C)

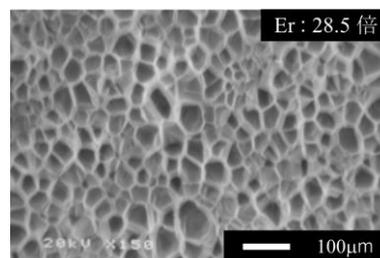


図 3  $y = 2.6\text{cm}$ 、 $y' = 1.3\text{cm}$  で超音波照射 PS 発泡体の断面図 (含浸 40°C、15 MPa、発泡 120°C、超音波 28.5kHz、30s)

表 1 に図 2.3 の気泡径データを示す。超音波照射することで発泡体の平均気泡径が 33.1  $\mu\text{m}$  から 21.8  $\mu\text{m}$  と気泡が微細化し、 $N$  も約 4 倍の差が出るのが明らかになった。超音波照射あり、なしの CV はどちらも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に変化がないことがわかる。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。ソノケミカルルミネッセンスによりキャビテーションの可視化を行いホーンからサンプル間が強く発光していることが確認できた。そのためキャビテーションにより発泡体の気泡が微細化した可能性が高いが、キャビテーションと気泡の微細化との関係性を詳細に理解できなかった。

表 1 図 2.3 の気泡径データ

	図 2	図 3
平均気泡径 $d / \mu\text{m}$	33.1	21.8
気泡数密度 $N / \text{cm}^3 \times 10^8$	0.37	1.2
CV	0.30	0.33

### 4. 結言

超音波照射することで発泡体の気泡が微細化した。キャビテーションが気泡構造及び気泡に与える影響をさらに詳しく検討を行う。

### 参考文献

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