

バイオプラスチック成形品の付加価値を向上させる成形加工技術

山田岳大* 大澤旺欣**

Molding Technology of Bio-Plastics for Value Addition

YAMADA Takehiro*, OSAWA Akiyoshi**

抄録

脱炭素社会実現や海洋プラスチックのゴミ問題解決の要望から、海洋中においても分解するバイオプラスチックが注目されている。中でもポリヒドロキシブチレートとヒドロキシヘキサネートの共重合体 (PHBHHx) は、生産性も比較的良好で、環境性能に加えて生体適応性も高い。今後、容器といった汎用品や医療部材に加えて、省材料かつ軽量、緩衝性などの機能性を付与する発泡品への適用が想定される。そこで本研究では、環境性や生体適応性を維持しつつ、PHBHHxの成形温度に適した低コストの水系発泡法により発泡成形を試みた。その結果、水+エタノールを発泡剤とした発泡成形において、真空減圧操作を利用することで、最適な温度かつ短時間で環境・生体適応発泡体を成形した。

キーワード：バイオプラスチック，生分解性，ポリヒドロキシアルカン酸，水，発泡成形

1 はじめに

化石燃料を原料とするプラスチックは量産性も高く、機能性も高いことから、雑貨や汎用品、家電、自動車、医療機器などに幅広く使用される。一方で、プラスチックを焼却処理する際の二酸化炭素の排出や、河川並びに海洋中に流出したプラスチックゴミが問題視されている。この問題解決の一つとして従来の化石燃料からバイオマスを原料とするバイオプラスチックへの転換が挙げられている¹⁾。環境省からも2030年までに、バイオプラスチックの生産量を10万トンから200万トンに増加させる目標が挙げられている²⁾。バイオプラスチックの中でも、自然環境や海洋中で迅速に分解するポリヒドロキシブチレート (PHB) にヒドロキシヘキサネート (HHx) を共重合させた材料

* 機械技術担当

** 現 循環器・呼吸器病センター

(PHBHHx) が注目されている。このPHBHHxは生産性も比較的良好で、環境性能に加えて生体適応性も高いため、回収が難しい微粒子などの製品や環境対応型の容器、スプーンなどの汎用品、食品容器、医療部材などへの適用が考えられる。さらには、省材料かつ軽量、緩衝といった付加価値を付与できる発泡品 (緩衝材や釣り具、柔軟部品、研磨パッド等) への適用も考えられる。前年度の研究では、付加価値をより向上させることが可能な発泡成形に着目し、動的粘弾性の測定装置を用いて発泡に最適な成形温度 (80–120°C) を提示した³⁾。今回では、素材の特性である環境適応性と生体性を維持しつつ最適に発泡させる成形方法を検討した。一般的なプラスチックと比較して低温側に発泡に最適な温度帯があるPHBHHxに対応した発泡剤が必要となる。例として高圧の窒素や二酸化炭素といった物理発泡剤が挙げられる。この発泡剤では微細な気泡が数多く形成され、また、環境や生体適応性などに悪影響を与える、発泡剤

の残渣が残らない。高压装置を使用しないでポンベ圧程度の低压の二酸化炭素や窒素を利用した射出発泡方法も提案されており、高压ガスを利用した射出発泡成形に近い微細気泡が得られている⁴⁾。

近年では、水等の液体を発泡剤とした発泡成形が注目され始めている。Marlらは、シリコンゴムを水発泡剤で射出発泡させ、得られた発泡成形品の柔軟性を向上させた⁵⁾。また、装置においても既存の射出成形に水等の液体供給装置を付加する装置も実用化され、水等を利用した射出発泡成形も実施されつつある⁶⁾。水やエタノールの液体であれば、環境や生体適応性などにさほど悪影響を与えないものと考えられ、また、高压装置よりも比較的安価で容易に取り扱うことが可能である。本件ではこの水にエタノールを混合した発泡剤に注目した。沸点も低く抑えることが出来て、低温での発泡が必要なPHBHHxにおいても発泡成形が可能であると考えられる。ところがまだ新しい材料であるPHBHHxにおける水発泡の適用はまだ行われていない。

発泡成形では、樹脂に対する発泡剤の量並びに発泡成形時における周囲の温度、圧力によって気泡構造が決まる。本研究では、まず基本的なバッチ方式で水とエタノールの混合量や周囲の圧力条件を変化させて、発泡条件を検討した。また、高压装置を用いない常圧となる水発泡では、常圧よりもさらに圧力を下げる操作により気泡構造を制御できるものと考えられる。このため真空減圧炉による減圧操作を付加して、気泡の構造に及ぼす影響についても調査した。

2 実験方法

材料として HHx の割合が 20mol% の PHBHHx を用いた。小型射出成形機 (babyplast6/12P, Rambaldi 社) により PHBHHx 成形し、40mm×40mm×2mm のプレートを成形した。およそ 1mm×1mm×2mm にカットして発泡成形用のサンプルとした。発泡剤に純水とエタノールの混合溶液を用いた。この発泡剤における純水に対するエタノールのモル分率を 0mol%、0.2 mol%、0.4

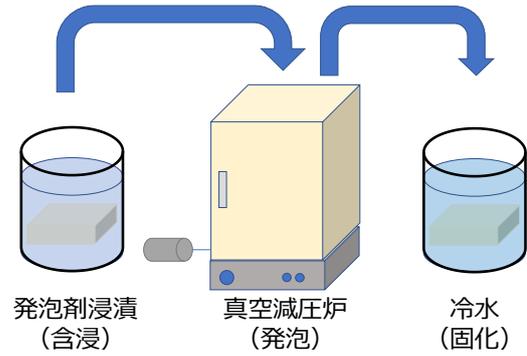


図1 発泡成形工程概略図

表1 成形条件

| | | | |
|------|---------|---------|---------|
| 発泡条件 | 温度 | 94 °C | |
| | 減圧前時間 | 4.5 min | 30 s |
| | 減圧度 | - | 200 Pa |
| | 減圧速度 | - | 37 Pa/s |
| | 減圧後維持時間 | 30 s | |

mol%、0.5mol%と設定した。各モル分率がPHBHHxへの含浸状況及び発泡に及ぼす影響を調査した。発泡成形では真空加熱炉を利用して、発泡剤が含浸した成形品を加熱した(発泡工程)。発泡工程後に氷水で冷却して発泡成形品を得た。発泡成形の概略図を図1に示す。発泡工程の減圧状況の違いによる発泡成形品への影響を調査した。表1に減圧の有無及び成形条件を示す。マイクロフォーカスX線CT (SKYSCAN, ブルカージャパン株) を用いて得られた発泡成形品の気泡構造を確認した。

3 結果及び考察

図2に純水に対するエタノールの各モル分率におけるサンプルに対する含浸状況の経時変化を示す。各発泡剤において時間の増加とともにサンプルの含浸率が増加した。純水に対するエタノールのモル分率が増加するほどサンプルの含浸率が増加した。一方モル分率を 0.5mol%まで増やすと0.4mol%との差は少なくなった。含浸したサンプルを94°Cで加熱した発泡成形実験では、含浸率が5wt%を超えると発泡が生じることを確認した。モル分率が上昇することによる発泡剤の含浸率の増加に加えて、発泡剤の沸点の低下も発泡性を向上させたものと推察した。最小のエタノール添加で発泡するモル分率が 0.4mol%の発泡剤を利用し

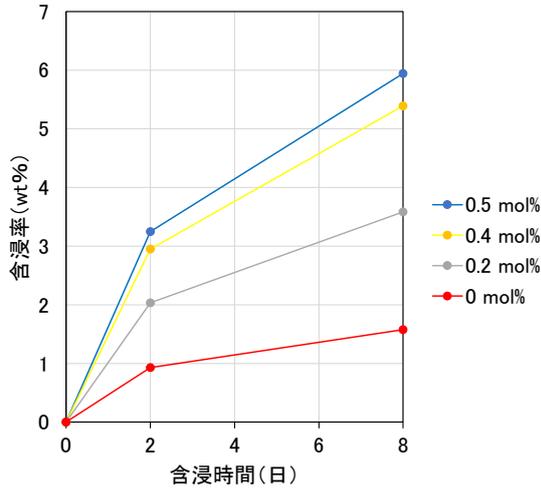
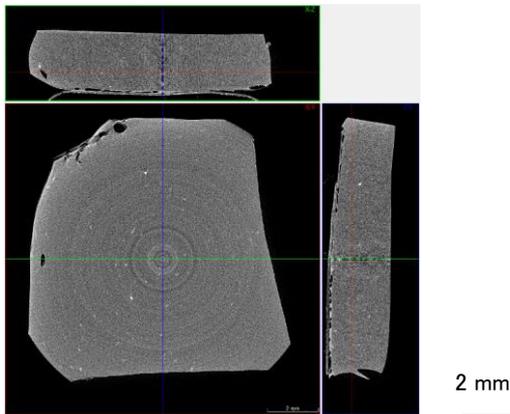
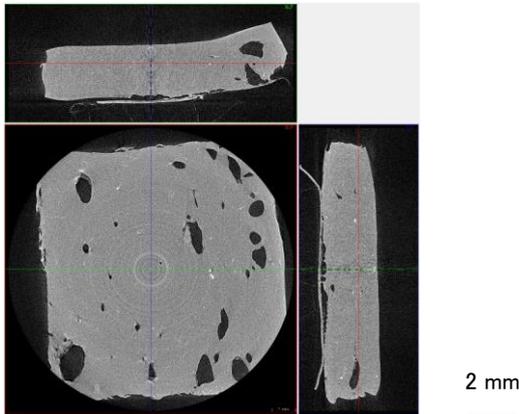


図2 含浸時間と含浸率の関係



加熱: 5分, 真空減圧: 無



加熱: 1分26秒, 真空減圧: 有

図3 発泡成形品内部構造

て、真空減圧操作を含めた加熱発泡成形で発泡成形品を得た。これら発泡体の内部構造を図3に示す。真空減圧無しでは、一部表層に気泡が形成されていることが確認された。真空減圧操作を利用して得られた成形品の気泡構造は気泡の生成が促進された。また、真空操作がないものと比較して

短時間で気泡を形成させることが出来た。微細な気泡もあるが温度の影響を周囲から受ける領域では気泡が大きく成長したため、平均気泡径は600 μ m程度となった。さらなる気泡生成数の増加と気泡径の抑制が今後の課題となった。

4 まとめ

- (1) 生体・環境に影響の少ない水・エタノール発泡剤でPHBHHxを成形に最適な温度で発泡させることが可能となった。
- (2) 真空減圧操作により、短時間で発泡させることが可能となり、この操作で、気泡生成 気泡数の増加を確認した。
- (3) 高付加価値につながる環境及び環境適応性の発泡体成形方法の可能性を確認した。

参考文献

- 1) 環境省, “第四次循環型社会形成推進基本計画”, https://www.env.go.jp/recycle/recycle/circul/keikaku/pam4_J.pdf, (2018).
- 2) 環境省, “バイオプラスチック導入ロードマップ”, <https://www.env.go.jp/content/900534515.pdf>, (2022).
- 3) 山田岳大, 大澤旺欣, “バイオプラスチック成形品の付加価値を向上させる成形加工技術”, 埼玉県産業技術総合センター研究報告, vol. 20, no. 8, (2022).
- 4) 岩槻祐馬, Long. W, 石原彰太, 引間悠太, 大嶋正裕, “低圧発泡射出成形機(RIC-II)でのCO₂,N₂,Air,Ar,Heを使った微細発泡体の製造”, 成形加工シンポジウム, pp.149-150 (2018).
- 5) Svenja. M, Annette. R, Michael. H, Kevin. K, Urs G. R., Peter. H. H, “Liquid Silicone Rubber Foams Made with Water as Blowing Agent”, *Advanced Engineering Materials*, vol. 24, pp. 1 (2022).
- 6) “Liquid foam molding technology with less environmental impact”, *TOYO PRESS*, 327, pp. 4 (2022).