

令和 6 年 6 月 26 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01689

研究課題名（和文）海洋生分解性ポリマーの社会実装化のための革新的成形加工技術および装置開発

研究課題名（英文）Development of innovative marine biodegradable polymer processing machine and technology for social implementation

研究代表者

大嶋 正裕（Ohshima, Masahiro）

京都大学・工学研究科・教授

研究者番号：60185254

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,600,000円

研究成果の概要（和文）：海洋生分解性ポリマーは既にいくつか存在しているが、結晶化速度が遅い、耐久性・耐熱性が弱いなどの問題があり、実用化の妨げとなっている。従って、既存のポリマーと同等以上の性能を示し、実社会で使用できるようにするためには、合成以外にも、適切な複合化、ブレンド、加工技術が必要となる。

本研究では、海洋生分解性ポリマーの熱分解と酵素分解速度論モデルを導出した。また、成形機上インラインで分解性を測定できる技術の開発を行った。さらに、セルロースナノファイバーとのコンポジット化により、海洋生分解性を維持したまま生分解性ポリマーの物性向上や新機能創出、その特性を利用した微細発泡射出成形法を確立した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

海洋生分解性ポリマーのブレンド・コンポジット・アロイ化による複合材料の研究として、単なる複合化による高機能性の発現にとどまらず、熱分解反応速度や酵素分解反応速度式の導出など海洋生分解性の反応工学的なアプローチで研究成果を上げていること、成形装置内での生分解性ポリマーの分解性がインラインで測定できる近赤外プローブの開発とそれを使った計測技術を開発し、成形加工中のポリマーの分解挙動の管理を可能にしたこと、さらには、セルロースナノファイバー（CNF）をフィラーとして生分解性ポリマーの結晶化速度の制御や物性制御の可能性、微細発泡成形法の適用性を示すなど、学術上実際上価値のある成果となっている。

研究成果の概要（英文）：The microplastic problem has made it an urgent issue to review biodegradable polymers and to develop and implement marine biodegradable polymers.

Polyhydroxy-alkanoic-acid-based marine-degradable polymers already exist. However, they have very slow crystallization rates, weak durability and heat resistance, which have hindered their applications. The appropriate methods for composites, blending, and processing are required besides synthesis to let the polymers show the same or better performance as existing polymers and be used in the real world.

In this research, we investigated the thermal and micro-bacteria decompositions of marine degradable polymer, especially PHBH. We also improved the physical properties and create new functions while maintaining the marine biodegradability of biodegradable polymers (PLA, PBSA, PHBH) by nanocomposite with biomass-derived resin reinforcing agents such as modified cellulose nanofibers and blending with other biodegradable polymers.

研究分野：高分子成形加工、化学工学

キーワード：海洋生分解性ポリマー 生分解性ポリマー 熱分解速度式 酵素分解速度式 ナノコンポジット セルロースナノファイバー 近赤外分光法 発泡成形

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

プラスチックの環境汚染、とりわけ、5 mm以下の大きさの微小なプラスチック粒子（マイクロプラスチック）の海洋汚染問題は深刻さを増している。この問題を解決し、プラスチックの資源循環システムを確立のための一つの要素技術として、**海洋流出しても影響の少ない素材（生分解性プラスチック）の開発とその素材の特性を生かす機能部材の創製等のイノベーションが必要となっていた。**

2. 研究の目的

上記の社会的背景から、今一度、生分解性ポリマーの特性を見直し、さらには**海洋生分解性ポリマーの開発と社会実装化に貢献することを目指した。**海洋生分解性ポリマーとしてポリヒドロキシアルカン酸系樹脂 (poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyhexanoate:PHBH) などがすでに開発されてはいるが、コスト面はもとより、結晶化速度が極めて遅いことや耐久性・耐熱性も弱い。これらの樹脂で、**既存の樹脂と同等以上の性能を出し、実社会での使用に供するためにも、物性の正確な評価ならびに最適な成形加工方法の同定も目指した。**

具体的には、次の課題の研究を進めた：

課題1) 海洋分解性ポリマーであるポリヒドロキシアルカン酸系樹脂 (PHBH) の加水分解・酵素分解実験を行い、反応速度論モデルとしてまとめる。また、PHBH の**結晶化挙動を定量数式モデル**としてまとめる

課題2) **海洋流出しても影響の少ない素材同士** (PHBH, ポリ乳酸 (PLA), ポリブチレンサクシネートアジペート (PBSA)) の**ブレンド体ならびにセルロースナノファイバーとのナノコンポジット**の射出成形および発泡射出成形を行い、**海洋生分解性を保ったままでの物性と成形加工法の協奏による物性の改善や新機能の発現を図る。**

3. 研究の方法

加水分解反応機構の同定【課題1】関連】：PHBH の分解反応を大別すると、微生物が分泌する酵素が PHBH に収着し、樹脂成形体表面から加水分解が進行する生分解機構と水熱処理による加水分解機構がある。酵素による生分解機構は、0.1 mM CaCl₂を溶解した 50 mM Tris-HCl 緩衝液 (pH7.5) に PHBH 顆粒を懸濁し、微生物が分泌した酵素をそこに添加して酵素分解反応を起こし、吸光度計 (SpectraMax iD3, モレキュラーデバイス) を用いて反応進行に伴う OD の変化を波長 650 nm で測定し、そのデータから反応機構をモデル化する

また、加水分解機構は、厚さ 0.5 mm の金型と加熱プレス機を用いて、PHBH ペレット (X131A, カネカ) を短冊状に成形し、高圧容器に入れ、オープン中で高圧容器を加熱昇温し、一定温度で水を送液・加圧した状態で所定の時間保持し分解反応を起こした。温度は 100~140℃、圧力は 3 MPa とした。処理後の試料の分子量をゲル浸透クロマトグラフィー (GPC, 島津製作所) で測定した。近赤外分光法を用いて PHBH 内への水の収着挙動を組成の時間変化から同定し、数式モデル化した。また、FTIR イメージング測定により厚み方向の水の濃度分布を可視化し、その実験結果と導出した反応速度論モデルによる整合性を評価した。

結晶化挙動の解析と制御【課題1】関連】：PHBH は結晶化速度が遅いため成形サイクルが長くなるという欠点がある。本研究では、熔融直後の高分子鎖が結晶時の形態的特徴 (メルトメモリー効果) を保持することで直後の冷却過程で結晶核生成を促進させる効果に着目し、高速示差走査熱量測定装置 (FSC) を用いて幅広い温度域で結晶化速度解析を行った。メルトメモリー効果により、添加剤を入れることなく結晶化促進効果を得ることができ、様々な半結晶性ポリマーでその効果が確認されている。実験では、標準試料 (コントロール) を次のように作成した。60℃で 24 時間以上乾燥させた PHBH (3HHx 6 mol%, X131A, カネカ) を 150℃に予熱したホットプレスで圧力 20 MPa 下で 10 分保持した。その後、40℃まで冷却を行い 10 分保持して十分に結晶化させ標準試料とした。その試料を用いて、FSC (Flash DSC1, Mettler-Toledo) を用いて、等温結晶化測定を行った。作成した試料から厚さ 10 μm, 約 200 μm 四方の切片を切り出し、FSC の UFS1 チップセンサ上に置いた。所定の熔融温度 (150~180℃) で 1 s 熔融させた後、決められた結晶化温度 (30~100℃) まで 4000 K/s で冷却し 0.1~1000 s の範囲で等温結晶化させた。直後に熔融温度まで 300 K/s で昇温した際の融解ピーク面積から、等温過程で形成した結晶量を求めた。

メルトメモリー効果を活かしたマイクロセルラー発泡射出成形条件【課題2】関連】

PHBH を 150℃以上 170℃以下の間で熱処理した場合 (熔融状態にした場合)、結

晶構造の融解後もポリマー鎖に秩序構造が残り、その後の冷却過程で、結晶温度を高温側にシフトし結晶化を促進するメルトメモリー効果があることが明らかになった。このメルトメモリー効果を成形加工時（特に発泡射出成形）に生かすための検討を行った。重量平均分子量 $M_w=450,000$ g/mol（6 mol%の 3-HH 組成）の PHBH を、RIC-Foam (SOFIT) と呼ばれる低圧発泡射出成形装置 (J35AD-30H, 日本製鋼所) で窒素 N_2 を物理発泡剤として微細発泡体を作製した。その際、射出成形機内での樹脂の熔融温度を $150\sim 190^\circ\text{C}$ で変化させ、メルトメモリー効果を樹脂に残した場合と残さない場合とで、樹脂の発泡性がどのように変化するか検討した。

4. 研究成果

4.1 海洋分解性ポリマー (PHBH) の加水分解特性の研究

4.1.1 酵素による加水分解

図1に示すように PHBH 顆粒の表面から加水分解が進行し、粒径が小さくなり、光学濃度 (OD) が時間とともに減少した。この結果の OD から PHBH 濃度 $[E]$ を計算し、図1の直線の傾きから加水分解の反応速度 R を酵素濃度ごとに算出した。

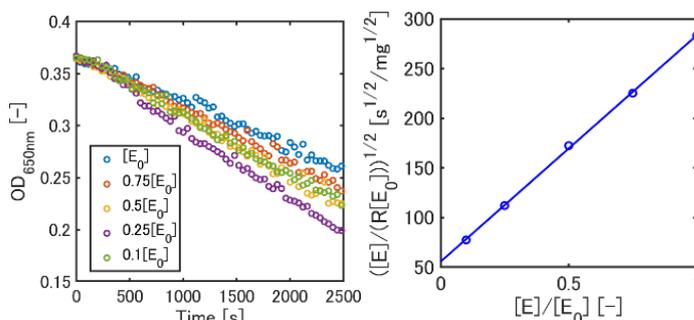


図1 OD測定の結果

図2 $\frac{[E]}{[E_0]}$ vs $[E]/R[E_0]$ $^{1/2}$ 関係

その結果を $[E]/[E_0]$ と $([E]/R[E_0])^{1/2}$ でプロットしたところ図2に示すように両者に直線関係が得られた。これにより、PHBHの酵素による加水分解反応は式(1)で表される Langmuir の吸着理論と反応を組み合わせたモデルで表現できることが明らかとなった。

$$R = \frac{k_s K [E]}{(1 + K [E])^2} \Leftrightarrow \left(\frac{[E]}{R}\right)^{\frac{1}{2}} = \frac{K [E]}{(k_s K)^{\frac{1}{2}}} + \frac{1}{(k_s K)^{\frac{1}{2}}} \quad (1)$$

ここで R : 反応速度 [mg s^{-1}], k_s : 反応速度定数 [mg s^{-1}], $[E]$: 酵素濃度 [mol m^{-3}], K : 吸着パラメータ [$\text{m}^3 \text{mol}^{-1}$]

4.1.2 水熱処理

実験では、 $100\sim 140^\circ\text{C}$ のいずれの水温でも加水分解が進行した。その進行にともない、数平均分子量・重量平均分子量はともに減少した。式(2)で表されるような、加水分解がエステル結合と分解後のカルボキシ基の両方の濃度に依存する自触媒反応のモデルから、数平均分子量・重量平均分子量の経時変化の式(3)、式(4)を導いた。

$$\frac{d(\sum_{n=1}^{\infty} [P_n])}{dt} = k \{ \sum_{n=1}^{\infty} (n-1) [P_n] \} [\text{COOH}] \quad (2), \quad \ln(M_n) = \ln(M_{n0}) - k (\sum_{n=1}^{\infty} n [P_n]) t \quad (3)$$

$$\frac{dM_w}{dt} = \frac{k M_w}{3} \left(1 - \frac{2 M_w}{M_n}\right) (\sum_{n=1}^{\infty} n [P_n]) \quad (4)$$

ここで $[P_n]$: 重合度 n のポリマーの数 [mol m^{-3}], t : 時間 [s], $[\text{COOH}]$: カルボキシ基の数 [mol m^{-3}], k : 反応速度定数 [$\text{m}^3 \text{mol}^{-1} \text{s}^{-1}$], M_{n0} : 初期の数平均分子量

式(3)を実験結果にフィッティングして、反応速度定数 k を導出し (図3)、さらに、 k を式(4)に代入し、数値的に式(4)の微分方程式を解くことで重量平均分子量の経時変化を計算した結果、図4に示すように良好に分子量変化を表現することができた。

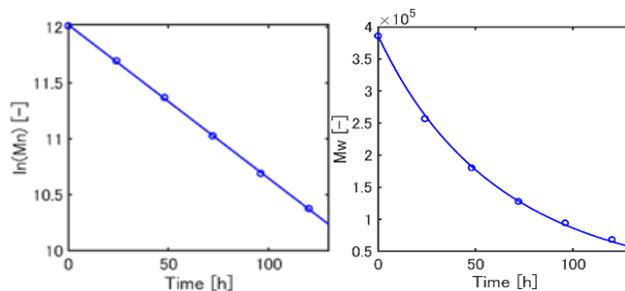


図3 数平均分子量の時間変化

図4 重量平均分子量の時間変化

4.2 結晶化挙動の解析と制御:

高速熱分析装置 (FDSC) で得られる、所定の温度 ($T_c: 30\sim 120^\circ\text{C}$) での等温結晶化過程の結晶量の時間発展を、高分子の一次結晶化と二次結晶化を考慮した式(5)でフィッティングし、各

結晶化温度での結晶化速度定数 K を決定した。

$$\Delta H(t)/\Delta H_{\max} = \{1 - \exp\{-(Kt)^n\}\} + \alpha \log_{10} \left(\frac{t}{t_{\text{half}}} \right) \times \frac{1}{2} \left(1 + \frac{t-t_{\text{half}}}{|t-t_{\text{half}}|} \right) \quad (5)$$

ここで、 $\Delta H(t)$ は結晶化のエンタルピー変化量、 ΔH_{\max} は一次結晶化完了までの結晶化のエンタルピー変化量、 t は結晶化時間、 n は結晶化の成長次元を表す Avrami 指数、 α は二次結晶化に関する速度定数、 t_{half} は結晶化のエンタルピー変化量が一次結晶化完了までの変化量の 1/2 に達するまでの結晶化時間

溶融温度 T_h を 150, 160, 170, 180 °C に設定した場合の PHBH の結晶化速度定数 K の温度依存性を図 5 に示す。ここで T_c は結晶化温度である。図 5 より $T_h = 150, 160$ °C では結晶化速度定数 K は 65 °C 付近に極大値を持つ温度依存性を示した。また、 $T_h = 170, 180$ °C では結晶化速度が、 $T_h = 150, 160$ °C の場合と比べて大幅に低下し、 $T_h \geq 170$ °C でメルトメリー効果が消失することが分かった。

上述の結晶化速度解析で求めた PHBH の結晶化速度定数 K の温度依存性を、式 (6) に示す高分子の結晶成長モデルである Lauritzen-Hoffman モデルでフィッティングすることで、温度に対して関数化した。ここで、 K_0 は頻度因子、 K_s は表面核生成頻度の定数、 U^* は高分子のモビリティの定数、 T_m^0 は平衡融点、 $T^\infty (=T_g - 50 \text{ K})$ は Vogel 温度であり、 T_g はガラス転移温度を表す。

$$K(T) = K_0 \exp \left[- \left(\frac{K_s}{T(T_m^0 - T)} \right) - \left(\frac{U^*}{T - T^\infty} \right) \right] \quad (6)$$

得られた結晶化速度定数の関数 $K(T)$ を、Avrami 式の変形で得られる結晶化速度モデルである Nakamura-Katayama モデル (式 (7)) に適用した。

$$\frac{dX}{dt} = nK(T)(1 - X)\{-\ln(1 - X)\}^{\frac{n-1}{n}} \quad (7)$$

これをさらに式 (8) に示す結晶化熱を考慮した一次元熱拡散方程式と合わせて、材料内部の相対結晶化度 X と温度 T の時間変化を計算した。

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{k}{\rho C_p} \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\Delta h_f}{C_p} \frac{\partial X}{\partial t} \quad (8)$$

ここで、 z は材料中心を 0 とする厚み方向の位置、 ρ は固体時の密度、 k は固体時の熱伝導度、 C_p は定圧熱容量、 Δh_f は結晶融解熱。

物性パラメータは実験により求め、 $\rho = 1100 \text{ kg m}^{-3}$, $k = 0.168 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$, $\Delta h_f = 44.8 \text{ J kg}^{-1}$, $C_p = 1340 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ とした。Avrami 指数 n は結晶化速度解析より得られた $n=3$ を適用した。樹脂成型品の厚さは 2 mm として計算した。 $t=0$ s のとき、材料全体は溶融温度 T_h とし、 $X=0$ とした、境界条件として材料表面は瞬時に金型温度 T_{mold} になり、 $z=0$ での熱流束は 0 とした。結晶化完了時間は材料内部の全領域で $X > 0.99$ になるのにかかる時間とした。

溶融温度 T_h と金型温度 T_{mold} が異なる 4 つの条件で、射出された樹脂が金型のキャビティ内どのように結晶化していくかのシミュレーションした結果が図 6 である。横軸が金型キャビテ

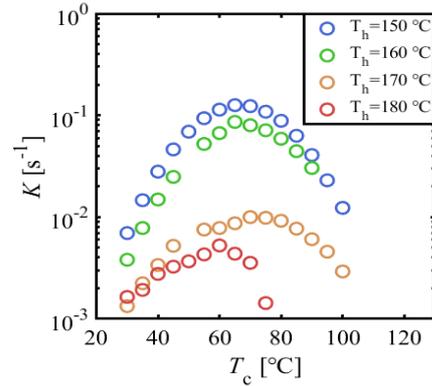


図 5 PHBH の結晶化速度定数 K の溶融温度ならびに等温結晶化温度への依存性

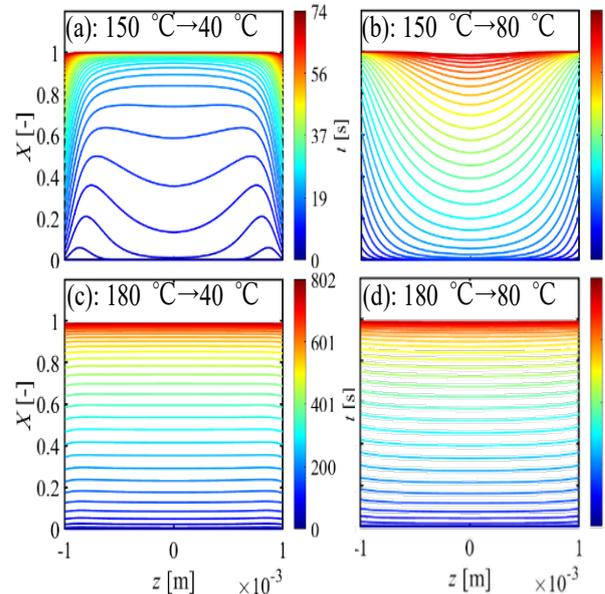


図 6 PHBH の金型内での結晶化シミュレーションにおける、厚み方向の各位置の X の時間変化、 $(T_h, T_{\text{mold}}) = ((a)150 \text{ °C}, 40 \text{ °C})((b)150 \text{ °C}, 80 \text{ °C})((c)180 \text{ °C}, 40 \text{ °C})((d)180 \text{ °C}, 80 \text{ °C})$

ィ (厚み 2 mm の長方形形状) 内での樹脂の厚み方向である。Th = 150 °C の場合、T_{mold} = 40 °C (図 6(a)) では中心側から結晶化が完了したのに対し (図 6(a))、T_{mold} = 80 °C (図 6(b)) では表面から結晶化が完了するという、金型温度の違いによる結晶化挙動の逆転が生じることがわかった。Th = 180 °C の場合、T_{mold} = 40 °C (図 6(c)) と T_{mold} = 40 °C (図 6(d)) では、厚み方向の距離 z に依らず一様に結晶化が進行することが分かった。これは熔融温度 180 °C ではメルトメモリー効果が消失しているため、熱伝導による温度変化と比べて結晶化速度が遅く、材料全体が T_{mold} に達してから結晶化が主に進行したからである。

熔融温度の影響を確認するために、T_{mold} = 40 °C とした場合の結晶化完了時間に着目すると、Th = 150 °C (図 6(a)) では 74 s、Th = 180 °C (図 6(c)) では 802 s と、結晶化完了時間に 10 倍以上の差が生じることが分かった。すなわち、メルトメモリー効果が保持される熔融温度に設定することで、結晶化完了時間を大幅に短縮できることが示された。

Th = 150 °C における金型温度の違いによる結晶化挙動の逆転を詳細に検討するため、材料中心部分 (z = 0) と材料表面近傍 (z = + 0.95 mm) における T と dx/dt の時間変化を比較した。図 7(a) に示した、T_{mold} = 40 °C の条件では、表面近傍 (赤線) では急速に温度が低下し、PHBH の結晶化は結晶化速度の遅い 40 °C で主に進行する。一方、中心部 (青線) では温度が比較的ゆっくりと低下し、結晶化は図 5 で示した K の極大である 65 °C 付近で進行することがわかる。すなわち、T_{mold} < 65 °C の場合、冷却途中の 65 °C 付近で結晶化速度が増大するため、温度変化が緩慢な材料中心部で先に結晶化が完了したと考えられる。

以上の結果から、結晶化挙動の逆転現象は、メルトメモリー効果による結晶化速度の大幅な増加と、PHBH の結晶化速度が示す 65 °C をピークに持つ釣鐘型の温度依存性によって引き起こされたと結論付けられる。

PHBH の等温結晶化速度解析により、PHBH のメルトメモリー効果が熔融温度 170 °C 以上で消失することを明らかになった。実験で求めた結晶化速度定数を用いて結晶化シミュレーションを行い、熔融温度と金型温度を操作することで、結晶化完了時間や材料内部の結晶挙動の制御が可能であることが示唆された。本結果は PHBH の成形サイクルの時間短縮や成形体内部の物性制御における成形条件選定の指針となりうる。

4.3 PHBH のメルトメモリー効果と微細発泡成形性

図 7 に、熔融温度 (成形機でのシリンダー設定値) を変化させて得られた発泡体の孔構造の SEM 写真を示す。低压発泡射出成形機で、コアバック操作を行うタイミングを調整し、金型内で樹脂が冷却される時間を変えて樹脂を発泡させている。各 SEM 写真の左上角の温度は、金型内で冷却された樹脂の発泡時の温度である。右に行くほど、発泡までの冷却時間が長く、温度が低くなっている。

発泡倍率が 3 倍の発泡体が成形はできているものの、熔融温度が 170 °C を超えると、冷却時間を長くとっても気泡径が大きい発泡体しか作製できず、熔融温度を 190 °C にした実験では、発泡体を作製できなかった。この結果は、メルトメモリー効果による秩序構造が結晶化挙動を変え、粘弾性に影響を与えるため、発泡体の気泡径に影響を与えていることを示している。すなわち、PHBH の成形には、熔融温度によるメルトメモリー効果の維持が重要な物性因子となることがわかった。

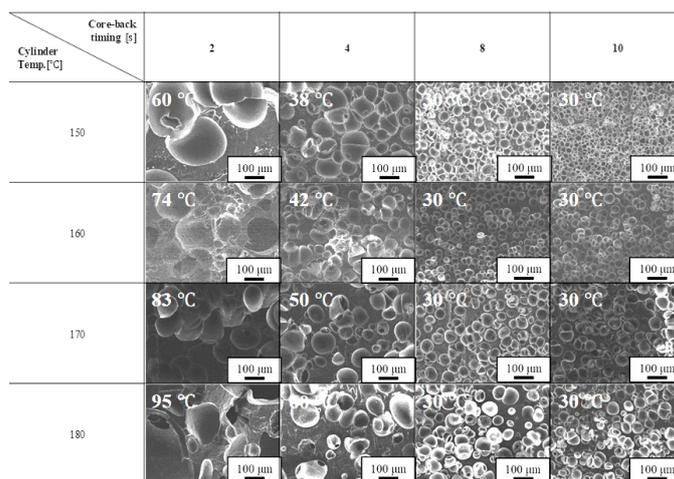


図 7 熔融温度と発泡温度を変えて発泡射出成形して得られた発泡体の孔構造 SEM 写真

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Lee Jisuk, Moriyama Kenta, Hikima Yuta, Ohshima Masahiro	4. 巻 140
2. 論文標題 Poly(3 hydroxybutyrate co 3 hydroxyhexanoate) microcellular foams using a melt memory effect as bubble nucleation sites	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Applied Polymer Science	6. 最初と最後の頁 e54386
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/app.54386	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Lee Jisuk, Hikima Yuta, Sekiguchi Takafumi, Ohshima Masahiro	4. 巻 29
2. 論文標題 Thermal, rheological, and mechanical properties of cellulose nanofiber (CNF) and poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyhexanoate) (PHBH) biopolymer nanocomposites	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Cellulose	6. 最初と最後の頁 3901 ~ 3913
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10570-022-04539-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Yoshikawa Itsuki, Hosoe Shunsuke, Hikima Yuta, Watari Masahiro, Ohshima Masahiro	4. 巻 62
2. 論文標題 In-Line Monitoring of the Physical Blowing Agent Concentration by Transmission Near-Infrared Spectroscopy with High-Pressure Resistance Fiber Optic Probes for Foam Injection Molding Processes	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Industrial & Engineering Chemistry Research	6. 最初と最後の頁 6338 ~ 6346
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.iecr.3c00216	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Ren Qian, Li Wanwan, Cui Shijie, Ma Wenyu, Zhu Xiuyu, Wu Minghui, Wang Long, Zheng Wenge, Semba Takeshi, Ohshima Masahiro	4. 巻 302
2. 論文標題 Improved thermal insulation and compressive property of bimodal poly (lactic acid)/cellulose nanocomposite foams	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Carbohydrate Polymers	6. 最初と最後の頁 120419 ~ 120419
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.carbpol.2022.120419	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Koike Takanari, Hikima Yuta, Muranaka Yosuke, Maki Taisuke, Ohshima Masahiro	4. 巻 218
2. 論文標題 Kinetic models for water sorption and a hydrolysis reaction with poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyhexanoate) (PHBH)	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Polymer Degradation and Stability	6. 最初と最後の頁 110583 ~ 110583
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.polymdegradstab.2023.110583	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計11件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 Jisuk Lee, Yuta Hikima, Masahiro Ohshima
2. 発表標題 Effects of Cellulose Nanofiber (CNF)-added poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyhexanoate) (PHBH) on thermal, rheological and mechanical properties
3. 学会等名 The 37th Annual Meeting of the Polymer Processing Society (PPS-37) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 守山 兼多、Lee Jisuk、川口 裕生、引間 悠太、大嶋 正裕
2. 発表標題 Poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyhexanoate)の溶融成形における物性と化学構造変化の解明
3. 学会等名 プラスチック成形加工学会第33回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 守山兼多, 李知昔, 大須賀翔, 引間悠太, 大嶋正裕
2. 発表標題 Poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyhexanoate)の溶融成形条件が化学構造と力学物性に与える影響
3. 学会等名 プラスチック成形加工学会成形加工シンポジア (2022.11.28-29)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大須賀 翔・守山 兼多・李 知昔・引間 悠太・大嶋 正裕
2. 発表標題 メルトメモリー効果を利用したPHBHの結晶化過程の高速化
3. 学会等名 化学工学会第88年会（東京農工大学 小金井キャンパス）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吉川 樹、引間 悠太、大嶋 正裕
2. 発表標題 近赤外分光法を用いた生分解性ポリマー射出成形プロセスのインラインケミカルモニタリング
3. 学会等名 プラスチック成形加工学会第33回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 守山 兼多
2. 発表標題 Poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyhexanoate)の溶融成形における化学構造変化の解明
3. 学会等名 プラスチック成形加工学会関西支部令和3年度若手セミナー
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masahiro Ohshima
2. 発表標題 Efficacy of Cellulose Nanofiber on Thermoplastic Foaming
3. 学会等名 International conference on Advances in Foam Materials & Technology FOAMS 2023 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Masahiro Ohshima
2. 発表標題 Front-line polymer foams processing - the State of the Arts
3. 学会等名 International Polymer Conference, Session T-7 Polymer Processing, Sapporo (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大須賀 翔、守山 兼多、引間 悠太、大嶋 正裕
2. 発表標題 Acceleration and control of PHBH crystallization behavior using melt memory effect
3. 学会等名 化学工学会第54回秋季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大須賀 翔、守山 兼多、引間 悠太、大嶋 正裕
2. 発表標題 PHBHの溶融成形条件が結晶化挙動に与える影響
3. 学会等名 プラスチック成形加工学会第34回年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 吉川 樹、引間 悠太、大嶋 正裕
2. 発表標題 インライン分光分析を活用したブレンドポリマー射出成形プロセスのケミカルモニタリング
3. 学会等名 プラスチック成形加工学会成形加工シンポジア ' 23
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 宇山浩, 徐于懿 (大嶋正裕分担著)	4. 発行年 2024年
2. 出版社 シーエムシー	5. 総ページ数 203
3. 書名 ポリ乳酸の生産・成形加工・高機能化技術 (分担: 第 編第3章)	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	引間 悠太 (Hikima Yuta) (50721362)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・材料・化学領域・主任研究員 (82626)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------