

令和 2 年 6 月 27 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K12836

研究課題名（和文）アミノ酸由来バイオマスプラスチックの開発と微細構造制御による高性能化

研究課題名（英文）Development of Amino-Acid-Derived Biomass Plastics and Their Property Improvements through Fine Structure Control

研究代表者

丸林 弘典 (Marubayashi, Hironori)

東北大学・多元物質科学研究所・講師

研究者番号：00723280

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：アミノ酸を原料として、種々の側鎖構造を有する立体規則性ポリエステル、ポリ(γ-ヒドロキシ酸)（ポリ乳酸の側鎖置換体）を合成した。側鎖イソプロピル基とsec-ブチル基のポリ(γ-ヒドロキシ酸)は結晶性を示し、その融点は代表的なバイオマスプラスチックであるポリ(L-乳酸)より高い値を示した。ラメラ結晶の厚さや結晶多形といった固体構造の制御により、結晶性ポリ(γ-ヒドロキシ酸)に潜在する熱物性を最大限に引き出し高性能化を達成した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

【学術的意義】代表的なバイオマスプラスチックであるポリ(L-乳酸)の側鎖構造を改変した新奇高分子を合成し、側鎖構造と結晶性の関係を明らかにした。そして、結晶性を示した高分子の固体構造と基礎物性、および両者の相関を解明した。

【社会的意義】側鎖イソプロピル基の新規高分子は融点および結晶化速度の両観点でポリ(L-乳酸)より優れており、来る循環型社会において高性能バイオマスプラスチックとしての実用化が特に期待される。

研究成果の概要（英文）：We have successfully synthesized poly(γ-hydroxy acid)s [side-chain-substituted poly(lactic acid)s], stereoregular polyesters with various side-chain structures, using amino acids as raw materials. Poly(γ-hydroxy acid)s having isopropyl and sec-butyl side-chain groups showed crystalline nature, and their melting points were higher than that of poly(L-lactic acid), which is a representative biomass plastic. By controlling the solid-state structure such as lamellar crystal thickness and crystal polymorphism, we have successfully maximized thermal properties of crystalline poly(γ-hydroxy acid)s and developed high performance biomass plastics.

研究分野：高分子の結晶化

キーワード：高分子 ポリ乳酸 バイオマスプラスチック アミノ酸 結晶 融点 結晶化速度 結晶構造

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

近年、石油資源の枯渇や地球温暖化への危惧から、ポリエチレンに代表される石油合成高分子の代替材料として、再生可能な生物資源を原料とする高分子材料(バイオマスプラスチック)が注目されている。ポリ乳酸(図1)を中心に世界中で研究開発が行われてきたが、従来のバイオマスプラスチックは物性に課題を多く有し、応用範囲が限定されている。

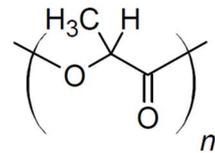


図1.ポリ乳酸の化学構造.

一般に、所望の物性・機能を得るために高分子の化学構造を設計する際、側鎖構造の改変が一つの手段である。ポリ乳酸の側鎖を改変した高分子、ポリ(-ヒドロキシ酸)(PAHA、図2)に関する研究は非常に少なく、そのプラスチック材料としての可能性は未知であった。これに対して、申請者らはアミノ酸のL-バリンを原料として立体規則性 PAHA の高分子量体を合成し、PLLA に比べて融点が高いだけでなく、結晶化が著しく速いなど優れた特性を示すことを報告していた(文献1)。このように、天然に豊富に存在し多種多様な化学構造を有し立体規則性の制御されたアミノ酸を出発物質とすることで、多様な側鎖構造を有する立体規則性 PAHA が合成可能であり、物性を幅広くコントロールできると期待される。

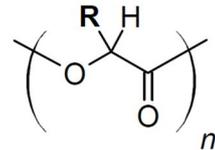


図2. PAHA の化学構造(R:置換基).

### 2. 研究の目的

高光学純度アミノ酸を原料として新規バイオマスプラスチックであるポリ(-ヒドロキシ酸)(PAHA)を合成し、その物性を開拓し、構造学的見地から高性能化を達成する。PAHA の側鎖構造と固体構造を制御することで物性を幅広くコントロールし、所望の物性・機能を得るための材料設計指針を得る。

### 3. 研究の方法

本研究では、アミノ酸を由来とするポリ(-ヒドロキシ酸)(PAHA)から高性能バイオマスプラスチックを開発するために、以下の方法で研究を行った。

- (1) 種々の高光学純度アミノ酸を原料として、立体規則性 PAHA のオリゴマーを合成し、その結晶性を評価した。結晶性が確認できた立体規則性 PAHA については、高分子量体を合成した。
- (2) 立体規則性 PAHA の熱物性と結晶化挙動を評価した。
- (3) 結晶性を有する立体規則性 PAHA の階層的な固体構造を解析した。
- (4) 2)、3)により得られた構造と物性の相関を明らかにし、固体構造の制御により結晶性 PAHA に潜在する物性を最大限に引き出し、高性能化を達成した。

比較対象として、ポリ(L-乳酸)(PLLA)に関する実験・解析も併せて行った。

### 4. 研究成果

#### (1) 立体規則性 PAHA の合成と結晶性の評価

炭素数 3~4 の様々なアルキル側鎖を有する立体規則性 PAHA のオリゴマー(数平均分子量: 2~16 kg/mol)を直接重縮合法により合成し、その結晶性を調査した。その結果、図3に示す通り、側鎖にイソプロピル基(iPr)を有する立体規則性 PAHA のポリ[L-2-ヒドロキシ-3-メチルブタン酸][P(L-iPr)]に加えて、側鎖に sec-ブチル基(s-Bu)を有する立体規則性 PAHA のポリ[(2S,3S)-2-ヒドロキシ-3-メチルペンタン酸][P(L-s-Bu)]も結晶性を有することを見出した。充分に結晶化した P(L-s-Bu)の結晶化度は、P(L-iPr)と同程度の約 60%に達した。これに対して、側鎖プロピル基(Pr)、n-ブチル基(n-Bu)の PAHA は、側鎖イソブチル基(iBu)のものと同様に、結晶性を示さなかった。このように、側鎖構造が PAHA の結晶性に大きな影響を及ぼすことを明らかにした(文献2、図4)。

P(L-iPr)の高分子量体(数平均分子量: 6万)の合成法(文献1)を参考にして、アミノ酸のL-イソロイシンを原料として P(L-s-Bu)の高分子量体(数平均分子量: 7万)の合成に成功し、得られた P(L-s-Bu)が結晶性を示すことを確認した。

#### (2) 立体規則性 PAHA の熱物性と結晶化挙動の評価

示差走査熱量計を用いて、炭素数 3~4 の様々なアルキル側鎖を有する立体規則性 PAHA のガラス転移温度( $T_g$ )と融点( $T_m$ )を評価した(文献2)。同じ側鎖炭素数の場合、直鎖型(Pr, n-Bu)よりも分岐型(iPr, iBu, s-Bu)の側鎖を有する PAHA の方が高い  $T_g$  を示すことが分かった。また、直鎖型の側鎖構造の場合、PAHA の  $T_g$  は側鎖炭素数の増加に伴い減少した。これより、分岐型よりも直鎖型の側鎖の方が、そして直鎖型であればより炭素数の大きい側鎖構造の方が、主鎖間の距離を広げ主鎖間の相互作用(主として、カルボニル(C=O)基間の双極子-双極子相互作用であろう)を弱めることが示唆された。

図3に示す通り、結晶性 PAHA オリゴマーの P(L-iPr)と P(L-s-Bu)の  $T_m$  はいずれも約 160

と同程度であった。両オリゴマーの融解エンタルピーも同程度（約 30 J/g）であり、P(L-iPr)と同様に P(L-s-Bu)も高い結晶性を示すことが分かった。次に高分子量体を比較すると、P(L-s-Bu)の実測の最大の融点は 193 °C であり、PLLA の 177 °C よりも高く、P(L-iPr)の 222 °C よりも低いことが分かった。高分子量体の平衡融点については、P(L-iPr)が 240 °C を示し、PLLA の 200 °C に比べて 40 °C も高い。ここで、P(L-s-Bu)の平衡融点の決定には、解析の妨げとなる複雑な多重融解現象（文献 2,3）を詳細に調査する必要があり、今後の課題である。上述の実測の最大融点の大小関係から類推すると、P(L-s-Bu)の平衡融点は 200 °C（PLLA）より高く、240 °C [P(L-iPr)]よりは低いのではないかと考えられる。以上より、P(L-s-Bu)は P(L-iPr)と同様に PLLA よりも高い融点を示す優れたバイオマスプラスチックであることを明らかにした。

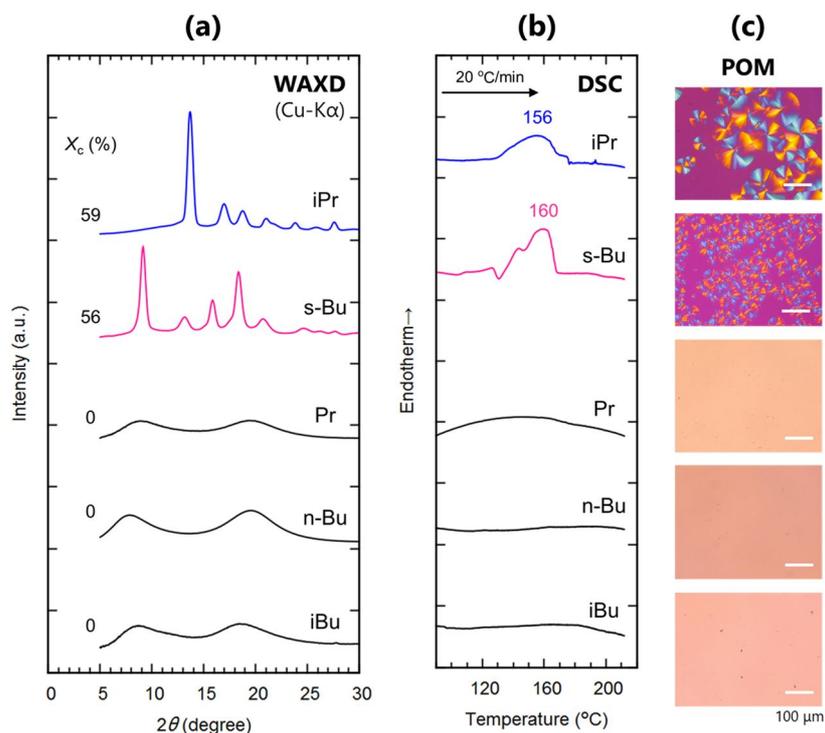


図 3．立体規則性 PAHA オリゴマーの結晶性を示したデータ．100 °C で等温熱処理後の (a) 広角 X 線回折曲線 ( $X_c$ : 結晶化度) (b) 示差走査熱量曲線 (吸熱上向き) (c) 偏光顕微鏡写真 (100 μm での観察)．iPr: 側鎖イソプロピル基 [すなわち、P(L-iPr)]、s-Bu: 側鎖 *sec*-ブチル基 [すなわち、P(L-s-Bu)]、Pr: 側鎖プロピル基、n-Bu: 側鎖 *n*-ブチル基、iBu: 側鎖イソブチル基の PAHA ．

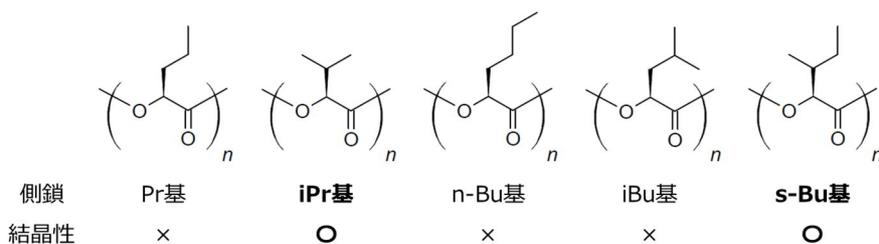


図 4．立体規則性 PAHA オリゴマーの結晶性．P(L-iPr)、P(L-s-Bu)の高分子量体もオリゴマーと同様に結晶性を示す．

偏光顕微鏡観察により求めた球晶成長速度（図 5）から等温結晶化挙動を、示差走査熱量測定を用いた熔融状態からの等速降温実験から非等温結晶化挙動を調査した（文献 2）．その結果、等温・非等温いずれの場合も P(L-iPr)の結晶化が圧倒的に速く、P(L-s-Bu)は PLLA と同程度の速度で結晶化することが分かった．高分子量体の最大球晶成長速度を例に挙げると、P(L-iPr)で 4 μm/s 以上、P(L-s-Bu)と PLLA は 0.2 μm/s となり、P(L-iPr)の結晶化が P(L-s-Bu)と PLLA に比べて 20 倍以上速いことを示している．これより、P(L-iPr)は融点及び結晶化速度の両観点で PLLA より優れており、高性能バイオマスプラスチックとして今後の実用化が特に期待される．

当初、熱物性以外の物性評価も予定していたが、様々な理由により実際に検討はしなかった．今後、力学特性や生分解性を調査し、固体構造との関係を明らかにすることができれば、結晶性 PAHA が優れたバイオマスプラスチックであることをより一層示すことができると期待される．

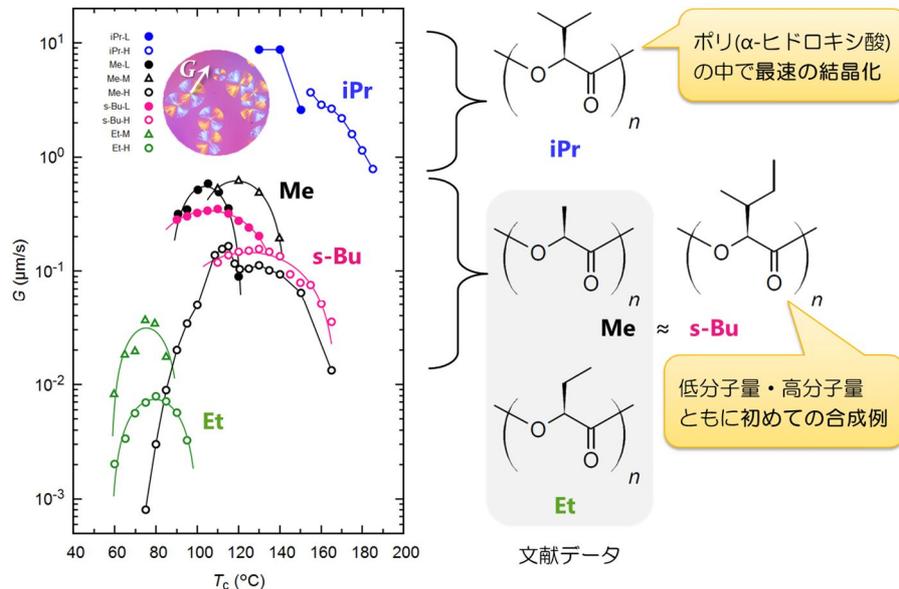


図5. 立体規則性 PAHA の球晶成長速度 ( $G$ ) の結晶化温度 ( $T_c$ ) 依存性. 比較のため、PLLA (Me、文献 4, 5, 6)、側鎖エチル基の PAHA (Et、文献 7, 8) の文献値も示す. ○: 高分子量体 (-H)、●: 中分子量体 (-M)、○: 低分子量体 (-L, オリゴマー) のデータ.

### (3) 立体規則性 PAHA の結晶階層構造の解析

結晶性の立体規則性 PAHA である P(L-iPr) と P(L-s-Bu) の高分子量体について、結晶階層構造の解析を行った。P(L-iPr) については、晶と晶の結晶多形があることを見出し、さらに両者を作り分けることに成功した。まず、X 線繊維図に基づき P(L-iPr) の晶の結晶構造解析を行い、結晶鎖は繊維周期 0.9 nm の左巻 3/1 らせん構造を取り、擬六方晶格子に充填されていることを明らかにした。単位格子中での正確な原子座標の決定にはさらなる検討が必要であり、今後の課題である。次に、P(L-iPr) の晶の X 線繊維図を解析した結果、晶では晶に比べてらせん構造が乱れていることが示唆された。P(L-iPr) の晶は晶よりも融点が 100 以上低いため、その原因がこの乱れた構造にあると推察される。この結果は PAHA の結晶構造に応じて材料物性が大きく変化するという点で、学術・応用の両観点において大変興味深い。さらに、赤外分光法により P(L-iPr) の晶の分子間相互作用について調べた結果、「弱い水素結合」の存在が示唆された。

P(L-s-Bu) を様々な条件で結晶化させたが、いずれも単一の結晶形が形成され、結晶多形は見られなかった。P(L-s-Bu) の X 線繊維図を解析することで、結晶鎖は繊維周期 1.0 nm の 3 回らせん構造を取ることが示唆された。得られた格子定数の妥当性を示すためにも分子鎖の充填様式を詳細に解析する必要があり、今後の課題である。そして、放射光小角 X 線散乱 (SAXS) 測定 (Photon Factory, KEK) により、P(L-s-Bu) の積層ラメラ構造の解析を行った (文献 3)。その結果、ラメラ結晶の厚さが結晶化温度に対してあまり変化しないという興味深い傾向が見られた。上述の多重融解現象と関係していると考え、昇温過程の SAXS その場測定を行ったが、現象の真の理解には至っておらず、今後の検討課題である。加えて、赤外分光法により P(L-s-Bu) の分子間相互作用について調べた結果、P(L-iPr) とは異なり「弱い水素結合」の存在を示すスペクトルは見られなかった。この「弱い水素結合」が結晶性 PAHA の構造・物性にどのような影響を及ぼしているのかは不明であり、今後の検討課題である。

### (4) 立体規則性 PAHA の構造・物性相関の解明と構造制御による高性能化

側鎖にイソプロピル基を有する立体規則性 PAHA である P(L-iPr) の高分子量体の熱力学的パラメータを実験的に求め、平衡融点 ( $T_m^\circ$ )、平衡融解エンタルピー ( $\Delta H_m^\circ$ )、平衡融解エントロピー ( $\Delta S_m^\circ$ ) の関係式 ( $T_m^\circ = \Delta H_m^\circ / \Delta S_m^\circ$ ) に基づき高融点の発現機構を考察した。これらの熱力学的パラメータを実験的に評価するため、放射光 X 線回折・散乱測定 (Photon Factory, KEK) と入力補償型示差走査熱量計を活用して等温・非等温条件下での結晶化その場観察を行った。(3) で述べた通り、赤外分光法から P(L-iPr) に弱い水素結合が存在するという結果が得られ、これが高融点の要因ではないかと当初考えていた。その後、熱力学的な観点に立ち返り、弱い水素結合ではなく、PLLA と比較した際の融解エントロピー  $\Delta S_m^\circ$  の低さが P(L-iPr) の高融点発現の理由だと結論付けた。ここで、比較対象の PLLA の熱力学的パラメータも同様にして実験的に評価した。今後、P(L-s-Bu) の熱力学的パラメータも実験的に求め、P(L-iPr) や PLLA と比較検討を行うことができれば、結晶性 PAHA の構造・物性相関を体系的に理解できると期待される。

上記の熱力学的パラメーターの実験的評価の過程で、P(L-iPr)の高融点化の知見を得ることができた。具体的には、融点を決めるラメラ結晶厚さの温度依存性と、ラメラ結晶厚さが無限大の時の極限の融点（平衡融点、 $T_m^\circ$ ）を求めたということである。これにより、PAHAの潜在する物性を最大限に引き出し高性能化を達成するという目的について、耐熱性に関しては達成できたと言える。なお、P(L-s-Bu)は(2)、(3)で述べた通り複雑な多重融解挙動を示すことから、高融点化の知見を得るには多重融解現象そのものを紐解く必要があり、今後の課題である。

以上の通り、本研究では、2種類の結晶性 PAHA [P(L-iPr)、P(L-s-Bu)]が優れた耐熱性を有し、結晶性プラスチック材料として十分に実用可能であることを示した。すなわち、PAHAの高性能プラスチック材料としての可能性を開拓できたと言える。さらに、本研究は、新奇バイオマプラスチックの構造・物性相関を解明し高性能化のための知見を得たという実学としての意義だけでなく、新奇の結晶性高分子の固体構造と物性、および両者の相関に関する基礎的知見を得たという点で基礎科学としての意義も兼ね備えている。上述した今後の課題を順に紐解いていくことで、結晶性 PAHAの研究が益々発展していくと期待される。

#### < 引用文献 >

- (1) Marubayashi, H.; Nojima, S. *Macromolecules* **2016**, *49*, 5538-5547.
- (2) Marubayashi, H.; Mizukami, R.; Hamada, Y.; Nojima, S. *Polym. Degrad. Stab.* **2018**, *153*, 318-324.
- (3) Marubayashi, H.; Mizukami, R.; Hamada, Y.; Nojima, S. *Photon Factory Activity Report 2018*, **2019**, *36*, 241.
- (4) Bouapao, L.; Tsuji, H. *Macromol. Chem. Phys.* **2009**, *210*, 993-1002.
- (5) Tsuji, H.; Tezuka, Y. *Biomacromolecules* **2004**, *5*, 1181-1186.
- (6) Di Lorenzo, M. L. *Eur. Polym. J.* **2005**, *41*, 569-575.
- (7) Ghanbari, A.; Prud'homme, R. E. *Polymer* **2017**, *112*, 377-384.
- (8) Tsuji, H.; Hayakawa, T. *Macromol. Chem. Phys.* **2016**, *217*, 2483-2493.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 2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 Marubayashi Hironori, Mizukami Ryo, Hamada Yuji, Nojima Shuichi	4. 巻 153
2. 論文標題 Crystallizability of substituted poly(lactic acid)s: Effects of alkyl side-chain structure	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Polymer Degradation and Stability	6. 最初と最後の頁 318 ~ 324
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.polymdegradstab.2018.04.033	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 Marubayashi Hironori	4. 巻 73
2. 論文標題 Elucidation of crystal polymorphism and cocrystallization of biomass plastics by x-ray diffraction and scattering methods	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Sen'i Gakkaishi	6. 最初と最後の頁 312 ~ 315
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Hironori MARUBAYASHI, Ryo MIZUKAMI, Yuji HAMADA, Shuichi NOJIMA	4. 巻 36
2. 論文標題 Structural Dynamics of Substituted Poly(lactic acid) with sec-Butyl Side Chains Revealed by Synchrotron SAXS/WAXD Simultaneous Measurements	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Photon Factory Activity Report 2018	6. 最初と最後の頁 241
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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23件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 Hironori MARUBAYASHI
2. 発表標題 Structure and Transition of Side-Chain Substituted Poly(lactic acid)s
3. 学会等名 Collaborative Conference on Crystal Growth (3CG 2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hironori MARUBAYASHI, Ryo MIZUKAMI, Yuji HAMADA, Shuichi NOJIMA
2. 発表標題 Crystallization of Side-Chain Substituted Poly(Lactic Acid)s
3. 学会等名 The 10th International Conference of Modification, Degradation and Stabilization of Polymers (MoDeSt2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 水上 諒, 丸林 弘典, 野島 修一
2. 発表標題 sec-ブチル基を側鎖に有する置換型ポリ乳酸の結晶化
3. 学会等名 第67回高分子討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 浜田 悠司, 丸林 弘典, 野島 修一
2. 発表標題 側鎖にイソプロピル基を有する置換型ポリ乳酸の分子間相互作用
3. 学会等名 第67回高分子討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 丸林 弘典, 水上 諒, 浜田 悠司, 野島 修一
2. 発表標題 X線繊維回折法によるポリ(L-2-ヒドロキシ-3-メチルブタン酸) 晶の結晶構造解析
3. 学会等名 第67回高分子討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 丸林 弘典, 水上 諒, 浜田 悠司, 野島 修一
2. 発表標題 ポリ(L-2-ヒドロキシ-3-メチルブタン酸) 晶の結晶構造解析
3. 学会等名 第67回高分子学会年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 水上 諒, 丸林 弘典, 野島 修一
2. 発表標題 側鎖にsec-ブチル基を有する置換型ポリ乳酸の結晶化と固体構造
3. 学会等名 第67回高分子学会年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Marubayashi Hironori, Mizukami Ryo, Nojima Shuichi
2. 発表標題 Crystallization and Melting of Poly(L-2-hydroxy-3-methylbutanoic acid)
3. 学会等名 The 15th Pacific Polymer Conference (PPC-15) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Marubayashi Hironori, Nojima Shuichi
2. 発表標題 Crystallization and polymorphism of poly(L-2-hydroxy-3-methylbutanoic acid)
3. 学会等名 Fifth International Symposium Frontiers in Polymer Science (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 丸林 弘典, 水上 諒, 野島 修一
2. 発表標題 ポリ(L-2-ヒドロキシ-3-メチルブタン酸)の結晶多形
3. 学会等名 第66回高分子討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 水上 諒, 丸林 弘典, 野島 修一
2. 発表標題 アルキル側鎖を有する置換型ポリ乳酸の結晶化
3. 学会等名 第66回高分子討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 丸林 弘典
2. 発表標題 X線回折・散乱法を用いたバイオマスプラスチックの結晶多形と共結晶化の解明
3. 学会等名 平成29年度繊維学会年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 丸林 弘典
2. 発表標題 バイオベースポリマーの結晶化と固体構造
3. 学会等名 第66回高分子学会年次大会(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 丸林 弘典, 水上 諒, 浜田 悠司, 野島 修一
2. 発表標題 側鎖置換型ポリ乳酸の結晶化と固体構造
3. 学会等名 第68回高分子学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 浜田 悠司, 丸林 弘典, 野島 修一
2. 発表標題 側鎖にイソプロピル基を有する置換型ポリ乳酸の結晶内分子間相互作用
3. 学会等名 第68回高分子学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 丸林 弘典, 水上 諒, 浜田 悠司, 野島 修一
2. 発表標題 側鎖置換型ポリ乳酸の構造と物性
3. 学会等名 2019年 繊維学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 丸林 弘典, 水上 諒, 浜田 悠司, 野島 修一
2. 発表標題 アルキル側鎖を有する置換型ポリ乳酸の結晶化と固体構造に関する研究
3. 学会等名 第68回高分子討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 浜田 悠司, 丸林 弘典, 野島 修一
2. 発表標題 側鎖にイソプロピル基を有する置換型ポリ乳酸結晶の構造・物性相関に関する研究
3. 学会等名 第68回高分子討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Marubayashi, R. Mizukami, Y. Hamada, S. Nojima
2. 発表標題 Crystallization and Microstructure of Side-chain-substituted Poly(lactic acid)s
3. 学会等名 INTERNATIONAL DISCUSSION MEETING ON POLYMER CRYSTALLIZATION 2019 (IDMPC19) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Hamada, H. Marubayashi, S. Nojima
2. 発表標題 Intermolecular Interaction of Substituted Poly(lactic acid) Crystals Having Isopropyl Side Chains
3. 学会等名 INTERNATIONAL DISCUSSION MEETING ON POLYMER CRYSTALLIZATION 2019 (IDMPC19) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 丸林 弘典, 水上 諒, 浜田 悠司, 野島 修一
2. 発表標題 結晶性を有する側鎖置換型ポリ乳酸の固体構造と熱物性
3. 学会等名 2019年 繊維学会秋季研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 丸林 弘典, 浜田 悠司, 水上 諒, 野島 修一
2. 発表標題 アルキル側鎖を有する置換型ポリ乳酸の固体構造と熱物性
3. 学会等名 第69回高分子学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 丸林弘典, 浜田悠司, 野島修一
2. 発表標題 アルキル側鎖を有する置換型ポリ乳酸結晶の熱的性質
3. 学会等名 2020年 繊維学会年次大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

Hironori MARUBAYASHI Website <a href="https://sites.google.com/view/hmaru-polymer-crystal-2888">https://sites.google.com/view/hmaru-polymer-crystal-2888</a> T2R2 Tokyo Tech Research Repository <a href="http://t2r2.star.titech.ac.jp/cgi-bin/researcherpublicationlist.cgi?q_researcher_content_number=CTT100513758&amp;alldisp=1&amp;tab_yf=2017">http://t2r2.star.titech.ac.jp/cgi-bin/researcherpublicationlist.cgi?q_researcher_content_number=CTT100513758&amp;alldisp=1&amp;tab_yf=2017</a>
---

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
---------------------------	-----------------------	----