

令和 5 年 5 月 31 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02798

研究課題名(和文)低波数ラマン分光法を利用した高分子の分子間相互作用の直接観察

研究課題名(英文) Direct observation of Intermolecular Interaction of polymers by low-frequency Raman spectroscopy

研究代表者

佐藤 春実 (Sato, Harumi)

神戸大学・人間発達環境学研究科・教授

研究者番号：10288558

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、結晶性ポリマーブレンドの相分離と結晶化挙動を、テラヘルツ領域である低波数ラマン分光法を用いて、モルフォロジーと分子間相互作用の可視化を試みた。その結果、高分子化合物の低波数領域と高波数領域によるラマンスペクトルを詳細に解析することで、低波数領域のラマンスペクトルから高分子の結晶構造に関する情報が得られること、および分子間相互作用に敏感なピークの確認することができた。また、ポリマーブレンドにおいても、低波数領域のラマンスペクトルを用いて、分子間相互作用の変化や高分子の結晶化過程を可視化することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果の学術的意義や社会的意義は、高分子の構造・物性研究における、テラヘルツ領域の振動分光法を用いた新しい解析手法の確立に繋がる点にある。一般に、振動分光法を用いた高分子の構造・物性解析では、高波数領域を用いるため、官能基の振動モードを解析することができるが、テラヘルツ領域のスペクトルからは、分子間振動に関する情報が得られるため、それらのイメージング測定により、高分子の高次構造と分子間相互作用を直接観察することが可能となる。本研究の結果から、高分子構造・物性の新しい解析手法としての可能性を示すことができた。

研究成果の概要(英文)：In this study, we have tried to visualize the morphology and intermolecular interactions of crystalline polymer blends by using low frequency Raman spectroscopy in the terahertz region to study the phase separation and crystallization behavior of crystalline polymer blends. The results of this study showed that the Raman spectra of polymers in low- and high-frequency regions provide information on the higher-order structure of polymers and the existence of peaks sensitive to intermolecular interactions. In polymer blends, we were also able to visualize changes in intermolecular interactions and the crystallization process of polymers using Raman spectra in the low-frequency region.

研究分野：高分子化学

キーワード：ラマン分光 テラヘルツ分光 ポリマーブレンド 分子間相互作用

1. 研究開始当初の背景

電波と光の境界に位置する電磁波であるテラヘルツ波を利用したテラヘルツ分光法は、高分子の高次構造を反映し、高分子の結晶構造に由来する分子間振動や分子間・分子内相互作用による振動モードを捉えることができる。そのため、テラヘルツ分光法は高分子の構造や物性研究に極めて有効であり、高分子材料の物性を評価する新しい手法の一つとして期待できる。

また、高分子材料は、現代社会を支えるエネルギー分野、IT 分野、医療、生活・環境などの多様な分野における基盤材料の一つとして、重要な役割を担っており、その分子構造や分子間相互作用、分散性等を制御することにより、特異な性質や新規な機能の発現が期待される。また、現在使用されている高分子材料は、用途に応じた性能や機能を持たせるために、そのほとんどがブレンドやナノコンポジット、共重合体等の多成分系で構成されている。これらの複合材料中には複雑な多成分間での相互作用が存在し、それらが複雑に絡み合って最終的な物性を決めているが、その解明は容易ではない。申請者はこれまで、赤外・ラマン分光法、小角・広角 X 線散乱法、量子化学計算等の手法を併せ用いて、ポリヒドロキシブタン酸 (PHB) やポリグリコール酸 (PGA) などの生分解性高分子の結晶構造形成機構や結晶構造中の弱い分子間水素結合の役割について研究を行ってきた。その中で、非常に弱い水素結合であっても、結晶構造中に多数存在することで、生分解性ポリマーの特異な分子鎖の折りたたみ構造や結晶構造の安定化に重要な役割を果たしていることを明らかにしてきた。¹⁻³

そこで、本研究では、テラヘルツ領域の分光法を用いて、高分子の結晶構造に由来する分子間振動や分子間・分子内相互作用による振動モードを捉えることで、高分子の構造・物性に関する新しい解析手法の確立を試みた。

2. 研究の目的

高分子材料の物性は、その高次構造に起因するところが大きく、高次構造と密接な関係にある分子間相互作用を把握することは非常に重要である。しかしながら、これまで高分子材料中の分子間相互作用を直接観察できる手法はなかった。テラヘルツ領域のスペクトルには、分子間振動や分子全体の振動モードが現れるため、高分子材料の高次構造や分子間相互作用を反映した情報が含まれる。また、ラマンスペクトルの低波数領域にも、テラヘルツスペクトルと同様に、分子間振動や骨格振動等の分子間相互作用に関する情報が含まれる。本研究では、低波数領域のラマン分光法を用いて、高分子のテラヘルツ領域における詳細なスペクトル解析と、それを利用したイメージング測定から、非破壊・非接触による高分子材料の物性測定、分子間・分子内水素結合およびその可視化を目的としている。それにより高分子の高次構造と分子間相互作用の直接観察が可能な新しい分光法の確立を目指す。

3. 研究の方法

ポリカプロラクトン (PCL) のフィルムを用いて、テラヘルツ領域 ($40\text{cm}^{-1} \sim 80\text{cm}^{-1}$) のラマンスペクトルの温度変化測定およびその 2 次元ラマンイメージング測定を行った。測定範囲は $2400\ \mu\text{m} \times 2400\ \mu\text{m}$ の範囲を $500\ \mu\text{m}$ 間隔で 25 点測定し、イメージング画像を作成した。また、ポリヒドロキシブタン酸 (PHB) / ポリ乳酸 (PLLA) のポリマーブレンドの試料を用いて、テラヘルツ領域および高波数領域のラマンスペクトルを測定した。得られたスペクトルを元に、量子化学計算の結果を併せ用いることで低波数領域に現れるピークの帰属を行い、ポリマーブレンドの系においてラマンイメージング測定に適した分子間相互作用に係るピークを特定した。特定したピークの波数位置およびラマン散乱強度を解析し、 $35\ \mu\text{m} \times 35\ \mu\text{m}$ の範囲を $10\ \mu\text{m}$ 間隔で測定し、PHB/PLLA の相分離および等温結晶化過程におけるラマンイメージングを作成することで、分子間相互作用や結晶化挙動を可視化することを試みた。

4. 研究成果

PCL ホモポリマーの高波数領域 (C=O 伸縮振動領域) とテラヘルツ領域 ($40\text{cm}^{-1} \sim 80\text{cm}^{-1}$) におけるラマンスペクトル温度変化測定を行った。PCL の室温のテラヘルツ領域におけるラマンスペクトルには、 $48, 59, 71\ \text{cm}^{-1}$ 付近にピークの存在が確認でき、昇温に伴い $48, 59\ \text{cm}^{-1}$ 付近に見られるピークはブロード化を示すことが確認できた。また、高波数領域のラマンスペクトルにおいては、C=O 伸縮振動の結晶由来である 1722cm^{-1} 付近のバンドと、 1732cm^{-1} に見られる非晶バンドの強度比を用いて PCL の結晶化度を評価した。

図 1 には、 $48\ \text{cm}^{-1}$ 付近のバンドの 2 次微分の値と、C=O 伸縮振動の結晶バンドと非晶バンドの強度比による、テラヘルツ領域ラマン温度変化 2 次元イメージングと高波数領域のラマン温度変化 2 次元イメージングによる結晶化度の分布を示す。高波数領域のイメージングでは、昇温に伴い、イメージング画像の色の分布が変化し、全体的に結晶構造が崩れて非晶になっていくのが分かる。テラヘルツ領域のイメージング画像の変化からも、昇温に伴い、ピークがブロード化していくことが分かる。

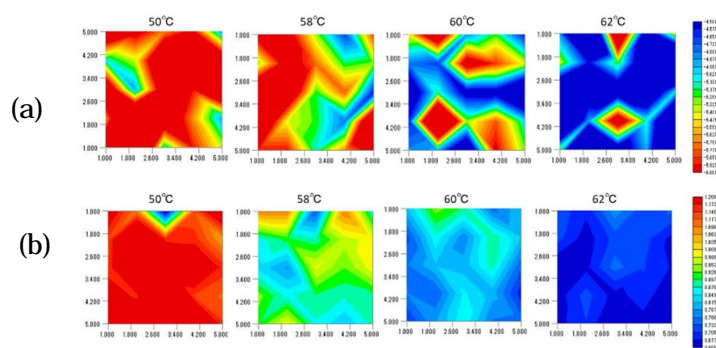


図1. (a)PCLのテラヘルツ領域ラマン温度変化2次元イメージングおよび(b)高波数領域のラマン温度変化2次元イメージングによる結晶化度の分布.

これらの温度変化ラマンイメージング測定より、テラヘルツ領域のラマンスペクトルを用いたラマンイメージング解析によっても、高分子の構造・物性を評価することができると考えられる。

同様に、紫外線照射によりPCLフィルムが劣化する様子を、テラヘルツ領域および高波数領域のラマンスペクトルから2次元ラマンイメージング画像を作成し、それらの変化を評価した。紫外線照射測定（照度 $60\text{mW}/\text{cm}^2$ 、0~13h）より、照射時間の経過に伴い、テラヘルツ領域に見られるピークのブロード化の進行が確認でき、結晶構造の崩れていく様子を可視化することができた。これらの結果から、テラヘルツ領域のラマンイメージングは、高分子の構造変化を鋭敏に捉えて可視化する手法としては非常に有効であることが示された。

また、PHB/PLLAポリマーブレンドは、分子量を変化させることで、UCST型の相図を有し、相分離と結晶化が同時に起こる領域が存在することが分かっている。PHB/PLLAのATR(全反射減衰法)-FTIR測定では、相分離と結晶化過程をピークシフトとピーク面積によるイメージング画像解析により、その挙動を追跡することに成功した。⁴⁻⁵ 本研究においても、UCST型の相図を有するPHB/PLLAポリマーブレンドの試料を用いて、相溶している熔融状態から、結晶化温度へ温度ジャンプさせた際の、等温結晶化過程におけるテラヘルツ領域および高波数領域のラマンスペクトルを測定し、テラヘルツ領域のラマンイメージングによる評価の可能性について検討した。

まず初めに、イメージング画像作成に用いるバンドの特定を行う必要があるため、PHBとPLLAホモポリマーのテラヘルツ領域および高波数領域における温度変化スペクトルから、PHBとPLLAの相分離と等温結晶化に伴う特徴的なバンドを選出した。相分離および結晶化過程におけるPHBとPLLAの分子間相互作用の評価は、テラヘルツ領域のラマンスペクトルに現れる、PHBの 75cm^{-1} 付近のバンドを利用してイメージング画像を作成した。高波数領域においては、PHBの結晶由来の 1720cm^{-1} のC=O伸縮バンドを用いてイメージング画像を作成した。テラヘルツ領域と高波数領域によるラマンイメージング画像を比較したところ、テラヘルツ領域の方が、高波数領域よりも、より敏感に相分離による分子間相互作用の変化を捉えていることが分かった。

以上の結果から、テラヘルツ領域のラマンイメージング測定は、高感度に高分子の構造・物性を評価することが可能であり、新しい解析手法として期待できることが示された。

<引用文献>

1. S. Tatsuoka, et al., *Spectrochimica Acta A*, 197, 95 (2018)
2. C. Funaki, et al., *Polymer*, 137, 245 (2018)
3. C. Funaki, et al., *Applied Spectroscopy*, 71, 1537 (2017)
4. H. Lu, et al., *Polymer* **248**, 124820 (2022)
5. H. Lu, et al., *Applied Spectroscopy*, **75**, 980–987 (2021)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 7件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Nishimae Atsushi, Sato Harumi	4. 巻 54
2. 論文標題 Study of Co-crystallization and Intermolecular Hydrogen Bondings of Poly(glycolide-co-L-lactide) Copolymers by Terahertz and Low-Frequency Raman Spectroscopy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 6440 ~ 6448
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.1c00561	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 Lu Huiqiang, Sato Harumi, Kazarian Sergei G.	4. 巻 75
2. 論文標題 Visualization of Inter- and Intramolecular Interactions in Poly(3-hydroxybutyrate)/Poly(L-lactic acid) (PHB/PLLA) Blends During Isothermal Melt Crystallization Using Attenuated Total Reflection Fourier Transform infrared (ATR FT-IR) Spectroscopic Imaging	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Spectroscopy	6. 最初と最後の頁 980 ~ 987
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1177/00037028211010216	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Nochi Mao, Ozaki Yukihiro, Sato Harumi	4. 巻 260
2. 論文標題 Water-induced conformational changes in the powder and film of -poly(L)lysine studied by infrared and Raman spectroscopy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy	6. 最初と最後の頁 119900 ~ 119900
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.saa.2021.119900	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 Yamamoto Yumiko, Hoshina Hiromichi, Sato Harumi	4. 巻 54
2. 論文標題 Differences in Intermolecular Interactions and Flexibility between Poly(ethylene terephthalate) and Poly(butylene terephthalate) Studied by Far-Infrared/Terahertz and Low-Frequency Raman Spectroscopy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 1052 ~ 1062
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.0c02049	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 -

1. 著者名 Nasu Tatsuro, Ozaki Yukihiro, Sato Harumi	4. 巻 250
2. 論文標題 Study of changes in water structure and interactions among water, CH ₂ , and COO- groups during water absorption in acrylic acid-based super absorbent polymers using Raman spectroscopy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy	6. 最初と最後の頁 119305 ~ 119305
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.saa.2020.119305	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 -

1. 著者名 Lu Huiqiang, Kazarian Sergei G., Sato Harumi	4. 巻 53
2. 論文標題 Simultaneous Visualization of Phase Separation and Crystallization in PHB/PLLA Blends with In Situ ATR-FTIR Spectroscopic Imaging	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 9074 ~ 9085
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.0c00713	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 -

1. 著者名 MARLINA Dian, PARK Yeonju, HOSHINA Hiromichi, OZAKI Yukihiro, JUNG Young Mee, SATO Harumi	4. 巻 36
2. 論文標題 A Study on Blend Ratio-dependent Far-IR and Low-frequency Raman Spectra and WAXD Patterns of Poly(3-hydroxybutyrate)/poly(4-vinylphenol) Using Homospectral and Heterospectral Two-dimensional Correlation Spectroscopy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Analytical Sciences	6. 最初と最後の頁 731 ~ 737
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/analsci.19P428	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 -

1. 著者名 Hiroto Asano, Nami Ueno, Yukihiro Ozaki, and Harumi Sato	4. 巻 53
2. 論文標題 Temperature-dependent structural variations of water and supercooled water and spectral analysis of Raman spectra of water in the OH stretching band region and low-frequency region studied by two-dimensional correlation Raman Spectroscopy	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 J. Raman Spectrosc.	6. 最初と最後の頁 1669-1679
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/jrs.6444)	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 Huiqiang Lu, Harumi Sato, Sergei G. Kazarian	4. 巻 248
2. 論文標題 Effect of Tm of blend components on the isothermal melt-crystallization process of PHB/PLLA blends investigated using spectroscopic imaging and DSC	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Polymer	6. 最初と最後の頁 124820
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.polymer.2022.124820	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 該当する

1. 著者名 Mateusz Z. Brela, Yuliia Didovets, Marek Boczar, Harumi Sato, Takahito Nakajima, Marek J. Wojcik	4. 巻 805
2. 論文標題 The hydrogen bond interaction dynamics in polyvinylphenol: Studied by Born-Oppenheimer molecular dynamics	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chem. Phys. Lett.	6. 最初と最後の頁 139976
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cpllett.2022.139976	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 該当する

1. 著者名 Yasuhiro Miwa, Tomoki Nagahama, Harumi Sato, Atsushi Tani, Kei Takeya	4. 巻 27
2. 論文標題 Intermolecular Interaction of Tetrabutylammonium and Tetrabutylphosphonium Salt Hydrates by Low-Frequency Raman Observation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Molecules	6. 最初と最後の頁 4743
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/molecules27154743	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42件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 吉江大成, 佐藤春実
2. 発表標題 低波数領域の振動分光法を用いたポリヒドロキシ酪酸/ポリ乳酸ブレンドの相分離挙動の可視化
3. 学会等名 若手フロンティア研究会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山本大将, 佐藤春実
2. 発表標題 温度変化ラマンスペクトルによる共重合体ポリマーの分子間相互作用に関する研究
3. 学会等名 若手フロンティア研究会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊藤光平, 佐藤春実
2. 発表標題 テラヘルツおよび低波数ラマン分光法によるポリブチレンサクシネートの分子間水素結合に関する研究
3. 学会等名 若手フロンティア研究会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Erika Mitani, Harumi Sato
2. 発表標題 Intermolecular interaction of PVA/PMMA blend studied by IR and Raman spectroscopy
3. 学会等名 2021 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kohei Ito, Harumi Sato
2. 発表標題 Study on the higher-order structure and hydrogen bonding of biodegradable polymer by low-frequency vibrational spectroscopy
3. 学会等名 2021 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Harumi Sato
2. 発表標題 Hydrogen bonding and higher order structure of polymers by low-frequency vibrational spectroscopy
3. 学会等名 2021 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤春実
2. 発表標題 テラヘルツ分光法および低波数ラマン分光法を用いた高分子結晶構造中の分子間水素結合の研究
3. 学会等名 第30回日本赤外線学会研究発表会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Harumi Sato
2. 発表標題 Study on intermolecular interaction of polymers using vibrational spectroscopy
3. 学会等名 11th International Conference on Advanced Vibrational Spectroscopy (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三谷恵里加, 佐藤春実
2. 発表標題 PVAのブレンド化による分子内・分子間水素結合に関する研究
3. 学会等名 第67回高分子研究発表会 (神戸)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊藤光平, 佐藤春実
2. 発表標題 振動分光法及び量子化学計算を用いたポリブチレンサクシネートの分子間水素結合に関する研究
3. 学会等名 第67回高分子研究発表会(神戸)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山本大将, 佐藤春実
2. 発表標題 ラマン分光法によるスチレンアクリロニトリル共重合体中の分子間相互作用に関する研究,
3. 学会等名 第67回高分子研究発表会(神戸)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三谷 恵里加, 佐藤 春実
2. 発表標題 振動分光法を用いた PVA/PMMA ブレンドの分子間相互作用に関する研究
3. 学会等名 第70回高分子学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊藤光平, 佐藤春実
2. 発表標題 赤外分光法及び量子化学計算によるポリブチレンサクシネートの分子間水素結合の検討
3. 学会等名 第70回高分子学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山本大将, 佐藤春実
2. 発表標題 低波数ラマン分光法を用いたスチレンアクリロニトリル共重 合体の熱挙動に関する研究
3. 学会等名 第70回高分子学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Harumi Sato
2. 発表標題 Intermolecular hydrogen bonding of polymer by terahertz and low-frequency Raman spectroscopy
3. 学会等名 The 8th International Workshop on Far-Infrared Technologies (IW-FIRT 2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西前 篤志, 佐藤 春実
2. 発表標題 テラヘルツおよび低波数ラマン分光法による PGAPLA 共重合体の組成比変化に伴う高次構造の研究
3. 学会等名 第69回 高分子討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 能智 真央, 佐藤 春実
2. 発表標題 振動分光法を用いた ポリ(L)リジンの吸水による高次構造の研究
3. 学会等名 第69回 高分子討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 那須 達郎, 佐藤 春実, 尾崎 幸洋
2. 発表標題 ラマン及び赤外スペクトルに現れる水と高吸水性樹脂中の水の振動モードの比較
3. 学会等名 第69回 高分子討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 西前 篤志, 佐藤 春実
2. 発表標題 ポリ(グリコリド-ラクチド)共重合体の低波数領域における振動モードの組成比依存性
3. 学会等名 第66回高分子研究発表会(神戸)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 能智 真央, 佐藤 春実
2. 発表標題 低波数領域の振動分光法を用いた ポリ(L)リジンの高次構造の研究
3. 学会等名 第66回高分子研究発表会(神戸)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 那須 達郎, 佐藤 春実, 尾崎 幸洋
2. 発表標題 高吸水性樹脂中の水の振動モードの低波数領域と高波数領域の比較
3. 学会等名 第66回高分子研究発表会(神戸)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉江大成, 佐藤春実
2. 発表標題 生分解性ポリマーブレンドのテラヘルツイメージングによるモルフォロジー観察
3. 学会等名 第66回高分子研究発表会(神戸)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 那須 達郎, 佐藤 春実, 尾崎 幸洋
2. 発表標題 低波数ラマン分光法と赤外分光法によるアクリル酸系高吸水性樹脂中の水の構造
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 吉江大成, 佐藤春実
2. 発表標題 THz イメージングによるポリヒドロキシブタン酸/ポリ乳酸ブレンドの相分離
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 山本大将, 佐藤春実
2. 発表標題 ラマン分光法を用いた共重合体ポリマーの分子間相互作用に関する研究
3. 学会等名 若手フロンティア研究会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 瀬川智明, 伊藤光平, 高嘉誠, 丸山陽大, 佐藤春実
2. 発表標題 ラマン分光法を用いたPCLの海洋分解過程の観察
3. 学会等名 若手フロンティア研究会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 丸山陽大, 佐藤春実
2. 発表標題 ポリトリメチレンテレフタレート of 低波数領域の振動分光法を用いた高次構造解析
3. 学会等名 若手フロンティア研究会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 伊藤光平, 佐藤春実
2. 発表標題 低波数領域の振動分光法を用いたポリブチレンサクシネートの分子間水素結合に関する研究
3. 学会等名 若手フロンティア研究会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 畑山昌寛, 佐藤春実
2. 発表標題 振動分光法を用いた高分子共重合体の高次構造の研究
3. 学会等名 若手フロンティア研究会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 安野ひより, Tulika Sharma, 佐藤春実, 高橋功
2. 発表標題 ガラス状態におけるポリスチレン超薄膜の体積緩和の分子量・膜厚依存性
3. 学会等名 日本結晶学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 重山紗葉, 滝川稜人, 佐藤春実, 大道英二, 太田仁
2. 発表標題 3D プリンターを用いたテラヘルツ帯ロッドアンテナの作製と評価
3. 学会等名 第31 回日本赤外線学会研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 伊藤光平, 諸岡昌彦, 佐藤春実
2. 発表標題 低波数領域の振動分光法及び量子化学計算によるポリブチレンサクシネートに関する研究
3. 学会等名 第71回高分子討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 丸山陽大, 佐藤春実
2. 発表標題 ポリトリメチレンテレフタレートの高次構造解析
3. 学会等名 高分子研究発表会(神戸)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 伊藤光平・諸岡昌彦・佐藤春実
2. 発表標題 テラヘルツ及び低波数ラマン分光法によるポリブチレンサクシネートの高次構造に関する研究
3. 学会等名 高分子研究発表会（神戸）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 瀬川智明, 伊藤光平, 高嘉誠, 丸山陽大, 佐藤春実
2. 発表標題 低波数領域を含む振動分光法を用いたPCLの海洋分解過程の観察
3. 学会等名 高分子研究発表会（神戸）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高嘉誠・佐藤春実
2. 発表標題 Study of PA6 performance under temperature variance, UV irradiation and seawater immersion using low-frequency Raman spectroscopy
3. 学会等名 高分子研究発表会（神戸）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山本大将, 佐藤春実
2. 発表標題 低波数ラマン分光法を用いたスチレンアクリロニトリル共重合体中の水素結合に関する研究
3. 学会等名 高分子研究発表会（神戸）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 伊藤光平・佐藤春実
2. 発表標題 低波数ラマン及びテラヘルツ分光法によるポリブチレンサクシネートの熱挙動
3. 学会等名 第71回高分子学会年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 丸山陽大・佐藤春実
2. 発表標題 低波数領域の振動分光法によるポリトリメチレンテレフタレートの高次構造解析
3. 学会等名 第71回高分子学会年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山本大将・佐藤春実
2. 発表標題 低波数ラマン分光法を用いたスチレンアクリロニトリル共重合体中の分子間相互作用に関する研究
3. 学会等名 第71回高分子学会年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 瀬川智明, 佐藤春実
2. 発表標題 ラマン分光法を用いたカラギーナンの分子間相互作用に関する研究
3. 学会等名 第71回高分子学会年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高嘉誠・佐藤春実
2. 発表標題 Study of PA6 thermal properties and natural degradation using low-frequency spectroscopy method
3. 学会等名 第71回高分子学会年次大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔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

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		
英国	Imperial College London		