

機関番号：34504

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2008 ~ 2010

課題番号：20550026

研究課題名 (和文)

環境調和型高分子の C-H...O 水素結合がその結晶構造と熱的挙動に及ぼす影響

研究課題名 (英文)

Effect of the C-H...O=C Hydrogen Bondings of Biodegradable Polymers on the Crystal Structures and Thermal Behaviors

研究代表者 尾崎 幸洋 (OZAKI YUKIHIRO)

関西学院大学 理工学部 教授

研究者番号：00147290

研究成果の概要 (和文)：赤外・ラマン分光法、量子化学計算、X線回折測定等を組み合わせて、生分解性高分子の共重合体に見られる弱い水素結合とラメラ構造との関係を明らかにすることを試みた。共重合体の側鎖の長さを変化させ、それらの赤外スペクトルの温度変化測定を行った。その結果、側鎖の長い共重合体の割合が増えるほど室温でのアモルファスの割合は増加することが示され、それに伴い C-H...O 水素結合は弱くなることが示された。またその熱挙動は、アモルファスが多いほど結晶構造はより低い温度から崩れやすい傾向にあることがわかった。

研究成果の概要 (英文)：The purpose of this study is to investigate C-H...O=C hydrogen bondings and thermal behavior of biodegradable polyhydroxyalkanoates by using IR and Raman spectroscopy and quantum chemical calculation studies. It is very likely that the C-H...O=C hydrogen bondings break much more easily in P(HB-co-HHx) copolymer than in PHB because of the bulkiness of large amounts of amorphous parts. However, the polymer chains still keep the lamella structure even in the copolymers with the HHx (long side chain unit) content of more than several percent. The crystal structure of PHB remains almost unchanged until 140 °C, but that of P(HB-co-HHx) decreases gradually from fairly low temperature (~50 °C).

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2009 年度	700,000	210,000	910,000
2010 年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,900,000	1,170,000	5,070,000

研究分野：化学

科研費の分科・細目：基礎化学・物理化学

キーワード：水素結合、生分解性高分子、ラマン分光、赤外分光、X線回折

1. 研究開始当初の背景

最近、C-H...O 水素結合の研究が多くの化

学者あるいは生命科学者の注目を集めている。この水素結合は従来の水素結合 (N-H...

O や O-H \cdots O 水素結合) に比べるとかなり弱い。弱いゆえにこれまであまり知られていなかったが、この“弱い水素結合”がコンホマーの安定化、タンパク質-核酸相互認識、遷移状態形成など、化学や生命科学のいろいろな場面においてカギとなる役目を果たしていることがしだいに明らかになってきた。C-H \cdots O 水素結合が形成されると N-H \cdots O や O-H \cdots O 水素結合の場合とは異なり、C-H 結合は短くなる。この C-H 結合の収縮は、CH 伸縮振動の振動数のブルーシフトを引き起こす(C-H \cdots O 水素結合はブルーシフト水素結合とも呼ばれる)。この普通と違う CH 伸縮振動のブルーシフトは、多くの研究者の間で関心を集め、振動分光法、X 線回折、中性子回折、量子化学計算法による活発な研究が行われている。我々は、最近、赤外分光法による研究から生分解性ポリマーとして注目されているポリ-3-ヒドロキシブタン酸(P(3HB): 図 1)と 3-ヒドロキシブタン酸(3HB)と 3-ヒドロキシヘキサン酸(3HHx)との共重合体 P(3HB-co-3HHx) (図 1) 中に C-H \cdots O 水素結合が存在することを見いだした(図 2)。

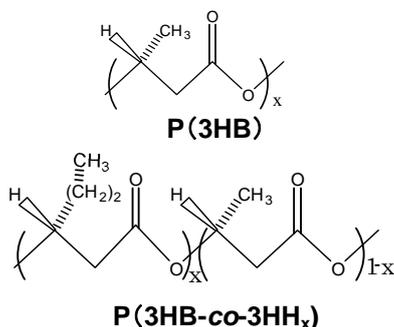


図 1 構造式

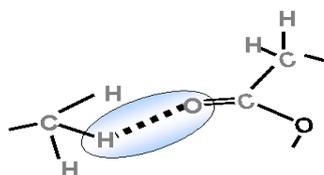


図 2 C-H \cdots O水素結合の模式図

C-H \cdots O水素結合の研究はこの10年ばかりの間、世界中で極めて活発に行われている。比較的小さな有機化合物中のC-H \cdots O水素結合の研究もあれば、タンパク質、核酸など生

体高分子中のC-H \cdots O水素結合の研究もある。このC-H \cdots O水素結合の本質がしだいに明らかになりつつあるが、それは最近、量子化学計算法のような理論研究法や振動分光法、中性子回折法などの実験的研究法が大きく進歩したからである。本研究では、これまでほとんど行われてこなかった合成高分子中のC-H \cdots O水素結合と高分子のラメラ構造との関係、CH \cdots O水素結合と高分子物性との関係に注目した。

2. 研究の目的

本研究の目的は、赤外・ラマン分光法、量子化学計算、X 線回折測定等を組み合わせて、生分解性高分子の結晶構造中に見られる弱い水素結合と高分子のラメラ構造との関係を明らかにすることにある。

具体的には(1)P(3HB)と P(3HB-co-3HHx)中の C-H \cdots O 水素結合の構造(C-H 結合の長さ、H \cdots O の距離、C-H \cdots O 水素結合の強さ)を赤外ラマン分光法、X 線回折法(小角散乱法を含む)、量子化学計算法を併せ用いて明らかにすること、(2)C-H \cdots O 水素結合が高分子の高次構造安定化に果たす役割、C-H \cdots O 水素結合とラメラ構造形成との関係、さらには高分子の熱的挙動、結晶化のメカニズムとC-H \cdots O 水素結合との関係を明らかにすることである。

3. 研究の方法

研究手法としては 1) 赤外スペクトルの温度変化、2) X 線(小角、広角)の温度変化、3) モデル化合物の量子化学計算(最安定化構造と振動スペクトル計算)が3つの柱となる。本研究の特色の一つは3つの手法を併せ用いるという点である。それにより 1)、3) からは高分子の C-H \cdots O 水素結合と骨格部分に関する情報を得、2) からはラメラ構造と結晶構造に関する知見を得る。以上を統合し、C-H \cdots O 水素結合の構造と役割について総合的な情報を得る。本研究のもう一つの特色は図 3 に示すようにモデル化合物(オリゴマー)の量子化学計算に力を入れる点である。すでに α 構造と β 構造の最安定化構造については結果を得つつある。図 3 の構造について振動スペクトル計算(偏光特性に関する情報を含む)を行い、赤外スペクトルの測定結果と比較する。またもう少し小さいオリゴマーについては C-H \cdots O 水素結合を持つものと持たないものについて最安定構造や振動スペクトル計算を行い、C-H \cdots O 水素結合の影響について調べる。

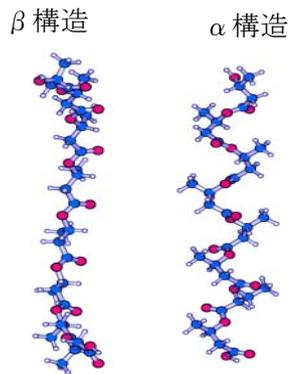


図 3. P(3HB)のモデル化合物(オリゴマー)の量子化学計算結果(最安定化構造)

4. 研究成果

共重合体においては、側鎖の $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n$ 基の部分で $n=0, 1, 2, 4$ と変化させ、それらの赤外スペクトルの温度変化測定(室温から融点以上まで)を行った。赤外およびラマンスペクトルに顕著に現れる $\text{C}=\text{O}$ 伸縮振動において、結晶構造に起因するバンドとアモルファス構造に起因するバンドを分離して、その温度変化を比較検討した。それにより、 n の数が0と1のものは融点近傍までその結晶構造を保持しており、融点の極近傍で一気に溶融するのに対し、 $n=2$ および 4 では温度の上昇とともに低い温度からその結晶構造が崩れていくのが確認できた。また、側鎖の長い共重合体の割合が増えるほど室温でのアモルファスの割合は増加することが示された。それに伴い $\text{C}-\text{H}\cdots\text{O}$ 水素結合は弱くなり、その熱挙動はアモルファスが多いほど結晶構造は崩れやすい傾向にあることがわかった。量子化学計算では、P(3HB)のダイマーモデル化合物を用いて最安定構造を計算した。これにより分子間で互いに $\text{C}-\text{H}\cdots\text{O}$ 水素結合を形成する構造がエネルギー的に最も安定であることが示された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 20 件)

1. X. Sun, F. Pi, J. Zhang, I. Takahashi, F. Wang, S. Yan, and Y. Ozaki, Study on the Phase Transition Behavior of Poly(butylene adipate) in its Blends with Poly(vinyl phenol), *J. Phys. Chem. B*, **115**, 1950-1957 (2011), 査読有.
2. H. Chang, J. Zhang, L. Li, Z. Wang, C. Yang, I. Takahashi, Y. Ozaki, and Shouke Yan: A Study on the Epitaxial Ordering Process of the Polycaprolactone on the Highly Oriented Polyethylene Substrate,

Macromolecules, **43**, 362-366 (2010) , 査読有.

3. H. Hoshina, Y. Morisawa, H. Sato, A. Kamiya, I. Noda, Y. Ozaki, and C. Otani: Higher Order Conformation of Poly(3-hydroxyalkanoates) Studied by Terahertz Time-Domain Spectroscopy, *Applied Physics Letters*, **96**, 101904-1-3 (2010) , 査読有.
4. J. Zhang, C. Li, Y. Duan, A. J. Domb, Y. Ozaki, Glass Transition and Disorder-To-Order Phase Transition Behavior of poly(L-lactic acid) Revealed by Infrared Spectroscopy, *Vibrational Spectroscopy*, **53**, 307-310 (2010) , 査読有.
5. J. Zhang, Y. Duan, A. J. Domb, and Y. Ozaki, PLLA Mesophase and Its Phase Transition Behavior in the PLLA-PEG-PLLA Copolymer As Revealed by Infrared Spectroscopy, *Macromolecules*, **43**, 4240-4246 (2010) , 査読有.
6. Longhai Guo, Harumi Sato, Takeji Hashimoto, Yukihiro Ozaki, "Thermally Induced Exchanges of Hydrogen Bonding Interactions and Their Effects on Phase Structures of Poly(3-hydroxybutyrate) and Poly(4-vinylphenol) Blends" *Macromolecules*, **43**, 3897-3902 (2010) , 査読有.
7. Y. Duan, J. Zhang, H. Chang, S. Yan, C. Yang, I. Takahashi, and Y. Ozaki, Melting Behavior of Epitaxially Crystallized Polycaprolactone on a Highly Oriented Polyethylene Thin Film Investigated by in Situ Synchrotron SAXS and Polarized Infrared Spectroscopy, *Macromolecules*, **43**, 5315-5322 (2010) , 査読有.
8. T. Tajiri, S. Morita, R. Sakamoto, M. Suzuki, S. Yamanashi, Y. Ozaki, and S. Kitamura, Release Mechanisms of Acetaminophen from Polyethylene oxide/polyethylene Glycol Matrix Tablets Utilizing Magnetic Resonance Imaging, *International Journal of Pharmaceutics*, **395**, 147-153 (2010) , 査読有.
9. H. Li, Y. Wu, H. Sato, L. Kong, C. Zhang, K. Huang, D. Tao, J. Chen, X. Liu, Y. Zhao, Y. Xu, J. Wu, and Y. Ozaki, A New Facile Method for Preparation of Nylon-6 with High Crystallinity and Special Morphology, *Macromolecules*, **42**, 1175-1179 (2009) , 査読有.
10. W. Wu, H-S Wang, and Y. Ozaki, Effective Length of the Alkyl Chain and Thermal Behaviors of Langmuir-Blodgett Films of Octadecylammonium Laurate, Octadecylammonium Octadecanoate and Octadecylammonium Tetracosanoate, *Vibrational Spectroscopy*, **50**, 2, 285-288 (2009) , 査読有.

11. S. Watanabe, N. Sano, I. Noda, and Y. Ozaki, Surface Melting and Lamella Rearrangement Process in Linear Low Density Polyethylene, *Journal of Physical Chemistry B*, **113(11)**, 3385-3394, (2009), 査読有.
12. T. Tajiri, S. Morita, and Y. Ozaki, Hydration Mechanism On a poly(methacrylic acid) Film Studied By In Situ Attenuated Total Reflection Infrared Spectroscopy, *Polymer*, **50**, 5765-5770 (2009), 査読有.
13. A. Tanabe, S. Morita, M. Tanaka and Y. Ozaki, Multivariate Curve Resolution Analysis on the Multi-Component Water Sorption Process into a Poly(2-methoxyethyl acrylate) Film, *Applied Spectroscopy*, **62**, 46-50 (2008), 査読有.
14. S. Morita, K. Kitagawa, I. Noda and Y. Ozaki, Perturbation-Correlation Moving-Window 2D Correlation Analysis of Temperature-Dependent Infrared Spectra of a Poly(vinyl alcohol) Film, *Journal of Molecular Structure*, **883-884**, 181-186 (2008), 査読有.
15. S. Watanabe, I. Noda and Y. Ozaki, Thermally induced conformational and structural disordering in polyethylene crystal studied by near-infrared spectroscopy, *Polymer*, **49**, 774-784, (2008), 査読有.
5. Harumi Sato, "Crystal structures and C-H...O=C hydrogen bonding of poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) studied by infrared spectroscopy and X-ray diffraction", 18th European Symposium on Polymer Spectroscopy (ESOPS18), 2010年9月20日, Zadar, Croatia
6. Harumi Sato, "Sol-Gel Transition of Gellan Gum Studied by Infrared Spectroscopy", 18th European Symposium on Polymer Spectroscopy (ESOPS18), 2010年9月20日, Zadar, Croatia
7. Mariko Okada, "IR, DSC, and WAXD studies on Nano Structure of Polymer Nanocomposite", 18th European Symposium on Polymer Spectroscopy (ESOPS18), 2010年9月20日, Zadar, Croatia
8. 佐藤 春実, "表面増強ラマン散乱・赤外分光法によるカーボンナノチューブを含むポリマーコンポジットの表面研究", 第59回高分子討論会, 2010年9月16日, 北海道大学
9. 佐藤 春実, "赤外分光法によるジェランガム水溶液のゲル化形成過程の研究", 第59回高分子学会年次大会, 2010年5月27日, パシフィコ横浜
10. 佐藤 春実, "赤外分光法を用いた高分子多糖類のゲル化過程に関する研究", 第71回分析化学討論会, 2010年5月16日, 島根大学松江キャンパス
11. 保科宏道, "テラヘルツ時間領域分光法による poly(3-hydroxybutyrate) の高次構造の研究", 2010年春季第57回応用物理学関係連合講演会, 東海大, 2010年3月17日.

[学会発表] (計 53 件)

1. 佐藤 春実, "カーボンナノチューブを含むポリマーナノコンポジットのラマンスペクトル", 文科省科研費補助金・新学術領域・「ソフトインターフェースの分子科学」第5回公開シンポジウム, 2011年2月3日, 東京理科大学 森戸記念館
2. Harumi Sato, "Specific crystal structure of poly(3-hydroxybutyrate) thin films studied by infrared reflection-absorption spectroscopy", The 2010 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem2010), 2010年11月16日, Honolulu, Hawaii, USA
3. Takeshi Miyake, "Infrared spectroscopy study on intermolecular interaction and phase separation of PS/PVME polymer blends", The 2010 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem2010), 2010年11月18日, Honolulu, Hawaii, USA
4. Longhai Guo, "Hydrogen-bonding interactions and crystallization behavior of biodegradable polymer blends of poly(3-hydroxybutyrate) and poly(4-vinylphenol)", 18th European Symposium on Polymer Spectroscopy (ESOPS18), 2010年9月20日, Zadar, Croatia
12. 佐藤春実, "ポリマー超薄膜のラマンスペクトル、微小角入射X線回折測定, 文部科学省科学研究費補助金・新学術領域研究「ソフトインターフェースの分子科学」, 第三回公開シンポジウム, 筑波大学総合研究棟B0110公開講義室, 2010年1月21日.
13. 尾崎幸洋, "表面増強ラマン散乱の基礎と応用—単一分子を診る、関学化学フォーラム(関学—産総研連携シンポジウム), 2009年12月12日(関西学院大学神戸三田キャンパス)
14. 佐藤春実, "赤外・ラマン分光法によるバイオポリエステルメソ構造形成機構における弱い水素結合の役割", 第4回赤外ラマン分光部会シンポジウム, 2009年12月10日(島津製作所関西支社マルチホール、大阪市)
15. Y. Ozaki, Second Enhancement in Surface-Enhanced Resonance Raman Scattering, The Second Asian Spectroscopy Conference, 30 November, 2009 (Hoam Convention Center, Seoul National University, Seoul, South Korea).

16. 尾崎幸洋, 振動分光イメージング、CACフォーラム一泊研修会、2009年10月23日 (有馬ビューホテル、神戸市)
17. 佐藤春実・尾崎幸洋, “バイオポリエステル結晶構造形成における弱い水素結合の役割”, 第一回バイオプラスチックシンポジウム, 池田市民文化会館, 2009年10月2日.
18. 尾崎幸洋, “チップ増強ラマン散乱法による高分子超薄膜の相分離機構の研究”, 文部科学省科学研究費補助金・新学術領域研究「ソフトインターフェースの分子科学」, 第二回公開シンポジウム, 理化学研究所・和光キャンパス (鈴木梅太郎ホール), 2009年9月29日.
19. 佐藤春実, “赤外・近赤外分光法によるポリヒドロキシブチレート/ポリビニルフェノールの分子間水素結合とその熱挙動”, 第58回高分子討論会, 熊本大学, 2009年9月17日.
20. Ryosuke Funatsu, “Thermal behavior and crystal structure of polyhydroxyalkanoate by using FT-IR and WAXD-SAXS”, 5th International Conference on Advanced Vibrational Spectroscopy (ICAVS-5), Melbourne, Australia, 15 July 2009
21. Y. Ozaki, A Study on Blinking in Surface-Enhanced Resonance Raman Scattering of Thiocyanine Adsorbed on a Single Silver Nanoaggregate, The 12th ISEC, 13 August 2009 (Changchun, China).
22. H. Shinzawa, Multiple Perturbation Two-Dimensional (MP2D) Correlation Analysis of Cellulose by Attenuated Total Reflectance Infrared (ATR IR) Spectroscopy, The Fifth International Symposium on Two-dimensional Correlation Spectroscopy (2DCOS5), 7 August 2009 (Wroclaw, Poland).
23. T. Tajiri, Hydration Behavior of a Poly(methacrylic acid) Film Studied by ATR-IR Spectroscopy, 5th International Conference on Advanced Vibrational Spectroscopy (ICAVS5), 15 July 2009 (Melbourne, Australia).
24. Y. Ozaki, Experimental Studies of SERS Two-Fold Electromagnetic Enhancement Theory, 5th International Conference on Advanced Vibrational Spectroscopy (ICAVS5), 13 July 2009 (Melbourne, Australia).
25. 佐藤春実, “カーボンナノチューブを含むポリマーナノコンポジットのラマンスペクトル”, 文部科学省科学研究費補助金・新学術領域研究「ソフトインターフェースの分子科学」, 第5回領域会議, 2009年7月2日, 国立循環器病研究センター
26. 佐藤春実, “近赤外分光法による生分解性ポリエステル結晶構造形成過程の研究”, 第25回近赤外フォーラム, 名古屋大学 野依記念学術交流館, 2009年5月14日.
27. 佐藤春実, “赤外分光法およびX線回折法を用いたポリヒドロキシブチレート/ポリビニルフェノールの分子間水素結合と結晶構造の熱的挙動”, 日本分析化学会、和歌山大学、2009年5月16日.
28. Harumi Sato “NIR and IR Spectroscopy Studies on Intermolecular Interaction of Biodegradable Polymer Blends”, Frontiers of Near-Infrared Spectroscopy (FNIRS), 関西学院大学, 2009年5月14日.
29. 尾崎幸洋, CH \cdots O=C 水素結合による生分解性ポリエステルの高次構造とその熱挙動、高分子・ソフトマターの新機能と精密構造制御 —基礎・バルクから応用・表面界面まで—、関西学院大学オープンリサーチセンター研究会、2009年3月19日 (関西学院大学神戸三田キャンパス)
30. 尾崎幸洋, NIR Spectroscopy; the Present Status and Near Future, Frontiers of Near-Infrared Spectroscopy, 14 March 2009 (Osaka-Umeda Campus, Kwansei Gakuin University, Osaka)
31. 佐藤春実, NIR and IR Spectroscopy Studies on Intermolecular Interaction of Biodegradable Polymer Blends, Frontiers of Near-Infrared Spectroscopy, 14 March 2009 (Osaka-Umeda Campus, Kwansei Gakuin University, Osaka)
32. Y. Ozaki, Recent Progress in SERS Spectroscopy (Invited Lecture), 80 years of Raman effect: Reflections and the Future, 8 December 2008 (Indian Institute of Science, Bangalore, India)
33. Y. Ozaki, Noninvasive NIR Measurement of Blood Glucose (Invited Lecture), The Second National Academic Conference on Near-Infrared Spectroscopy, 21 November 2008 (Changsha, China).
34. Y. Ozaki, Mechanism of Surface-Enhanced Raman Scattering and Its Application to Highly Sensitive Protein Detection (Plenary Lecture), The 15th National Conference on Molecular Spectroscopy, 18 October 2008 (Tsinghua University, Beijing, China).
35. 佐藤春実, “有機修飾されたナノファイバーにおけるアルキル鎖の結晶構造”, 第20回高分子加工技術討論会 2008年10月20日, 名古屋市工業研究所.
36. 佐藤春実, 第9回池田銀行>TOYRO ビジネスマッチングフェア 2008「生分解性ポリマーの物性制御への試み」2008年10月17日マイドームおおさか(大阪).
37. Y. Ozaki, Studies of Mechanism of Surface-Enhanced Raman Scattering and Development of Ultrasensitive Analytical Methods of Biological Molecules based on the Studies (Plenary Lecture), International Chemical Conference, Taipei: Analytical Chemistry, 3 October 2008 (National Sun Yat-Sen University, Kaohsiung, Taiwan).

38. Y. Ozaki, Perturbation-Correlation Moving-Window 2D Correlation Spectroscopy and Its Applications to a Series of Vibrational Spectra, The 35th Federation of Analytical Chemistry and Spectroscopy Societies (FACCS), 30 September 2008 (Grand Sierra Resort, Reno, Nevada, USA).
39. 佐藤春実, “層状チタン酸に層間挿入されたアルキル鎖の結晶構造に関する研究”, 第57回高分子学会討論会 2008年9月25日, 大阪市立大学.
40. Harumi Sato, “Crystallization behaviour of biodegradable polymer nanocomposite by Raman and IR studies”, The 21th International Conference on Raman Spectroscopy (ICORS 2008), August 20, 2008.
41. Y. Ozaki, NIR Spectra of Alkanes, Alcohols, and Water - How We Go About Understanding Them, The 14th International Diffuse Reflectance Conference (IDRC), 5 August 2008 (Wilson College, Chambersburg, PA, USA).
42. Harumi Sato, “Weak Hydrogen Bondings in Biodegradable Polymers Studied by Infrared Spectroscopy and X-ray Diffraction”, International Symposium on Polymer Physics (PP2008), City Hotel Xiamen, China, June 10, 2008.
43. Harumi Sato, “Lamella Structure and Thermal Behavior of Biodegradable Polymer Blends Studied by Time-Resolved Small-Angle X-ray Scattering with a Synchrotron X-ray Radiation Source”, International Symposium on Polymer Physics (PP2008), City Hotel Xiamen, China, June 10, 2008.
44. Ryosuke Funatsu, “The study of crystal structure and thermal behavior of PHB by using infrared spectroscopy and X-ray diffraction”, International Symposium on Polymer Physics (PP2008), City Hotel Xiamen, China, June 10, 2008.
45. Y. Ozaki, Weak Hydrogen Bondings in Biodegradable Polymers Studied by Infrared Spectroscopy and X-ray Diffraction, The 8th International Symposium on Polymer Physics (PP'2008), 8-12 June 2008 (Xiamen, China).
46. 佐藤春実, “生分解性ポリマー・クレイ ナノコンポジットの結晶構造とその熱挙動”, 第57回高分子学会年次大会, 2008年5月28日, パシフィコ横浜.
47. 佐藤春実, 芦屋公民館 春の公民館講座 「2008年サイエンス・トピックス - 最先端の科学を知ろう-」「めざせ! 地球にやさしい高分子」, 2008年5月24日, 芦屋公民館.
48. Harumi Sato “Crystal Structures, Thermal Behaviors and Weak Hydrogen Bondings of Polyhydroxyalkanoate by Infrared Spectroscopy and X-ray diffraction”, Polymer Symposium 2008年5月22日, 関西学院大学.
- [図書] (計 5 件)
1. S. Šašić and Y. Ozaki, eds: *Raman, Infrared and Near-Infrared Chemical Imaging*, John Wiley & Sons (2010).
 2. Harumi Sato, Yukihiro Ozaki, Jianhui Jiang, Ru-Qin Yu, Hideyuki Shinzawa, “Vibrational Spectroscopy Imaging in Polymer Research”, in *Raman, Infrared, and Near-Infrared Chemical Imaging*, Sasic, Slobodan / Ozaki, Yukihiro (eds.), Wiley-VCH, 2010; Chapter 14.
 3. Y. Kitahama, M. K. Hossain, Y. Ozaki, T. Itoh, A. Sujith and X. Han: 15. Surface-Enhanced Raman Scattering Imaging: Application and Experimental Approach by Far-Field with Conventional Setup, 285-299, in *Raman, Infrared and Near-Infrared Chemical Imaging*, Edited by S. Šašić and Y. Ozaki, John Wiley & Sons (2010).
 4. 尾崎幸洋編, 「人と環境にやさしい材料化学」、アドスリー (2008).
 5. 尾崎幸洋編, 「未来を拓く人と環境にやさしいサイエンス」、アドスリー (2008).
6. 研究組織
- (1) 研究代表者
尾崎 幸洋 (OZAKI YUKIHIRO)
関西学院大学・理工学部・教授
研究者番号: 00147290
- (2) 研究分担者
佐藤 春実 (SATO HARUMI)
関西学院大学・理工学研究科・専門技術員
研究者番号: 10288558