

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 12 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23350031

研究課題名(和文)多極子異方吸収による新しいエネルギー準位創出と表面増強ラマン分光法への応用

研究課題名(英文)Generation of new energy states by anisotropic multipole absorption and its application study to Raman spectroscopy

研究代表者

長谷川 健 (Hasegawa, Takeshi)

京都大学・化学研究所・教授

研究者番号：30258123

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,200,000円、(間接経費) 4,560,000円

研究成果の概要(和文)：一軸配向を考慮して偏光ラマン散乱強度を解析的に計算した結果、分極率に比例する式が得られた。言い換えると、分極率のみをくくりだした式が得られたため、異なる偏光測定の数式と比を取ると、唯一の未知数さえも消し去ることができ、配向角だけの関数にすることができた。これにより、ラマンスペクトルから薄膜中の官能基の分子配向を定量的に決定することに成功した。

研究成果の概要(英文)：Raman scattering intensity was analytically deduced by considering the uniaxial orientation. As a result, the intensity was obtained to be proportional to the polarizability. In other words, the polarizability was put aside the equation, which enables us to remove it by making a ratio of two different polarization measurements. Thanks to this achievement, the molecular orientation in a thin film on a glass plate was readily obtained quantitatively by using Raman spectroscopy.

研究分野：化学

科研費の分科・細目：複合化学・分析化学

キーワード：ラマン分光法 多極子相互作用 薄膜

1. 研究開始当初の背景

電子遷移吸収(共鳴)を積極的に利用する共鳴ラマン分光法は、分子局所的な高感度分光法として、すでに多くの研究実績がある。しかし、偏光測定という側面から考えると、共鳴吸収を起こさせるところまでは吸収異方性を考えず、ラマン散乱が放出される過程ではじめて散乱異方性を考慮するといった立場は変わっていない。これは、非共鳴ラマン散乱で、励起光にも偏光を考えるのと異なる状況と言える。2次元凝縮系の膜のように分子が整然と並んでいる系では、色素の電子励起が双極子相互作用を通じたフレネル励起子として膜面に平行な方向にエネルギーが伝播する。これはJまたはH会合体としてとらえることもでき、凝縮系ならではの電子的性質を発揮する点として重要である。

励起子は、100分子程度の距離に渡って伝播が起こり、その伝播距離に依存して吸収波長が変換する。つまり、励起子が伝播する距離と方向を実験的に正しく定めることができれば、それに合わせた偏光によって、共鳴励起の範囲を制御して振動スペクトルを測定するという、新たな偏光共鳴ラマン分光法が原理的に可能である。しかし、赤外分光法での研究に較べて未開拓な部分が多い。表中に太字で示した未開拓領域は、すべて可視励起を通じたラマン分光法ならではの実験で、いずれも可視光の異方的な吸収を考慮することで新しいラマン分光のあり方を示すことができるものである。

2. 研究の目的

ラマン分光法による表面吸着種や薄膜の構造解析は、実用的に利用が普及する一方で、定量的に正しい測定に問題がある場合が多い。とりわけ偏光解消度を正確に測れる光学系で測定されているケースは非常に少ない。また、分子配向解析を赤外分光法と同じ感覚で実施する過ちをおかす場合も後を絶たず、線形の振動分光法が正しく広まっていないことは、現時点で改めねばならない大きな問題と言える。

本研究では、ラマン分光法で薄膜中の分子配向を定量的に決めるために、つぎのような項目の研究を実施する。

1. 薄膜の分子配向解析を可能にするラマン分光の基礎理論の構築
  2. 構築した理論の実験による検証
  3. SERS応用に向けた金属微粒子薄膜の局在プラズモン共鳴の異方性の実験的説明
  4. ラマン分光法に適用する薄膜の精密解析：偏光変調赤外分光法による
- 以上4つのテーマに沿って順次実施した。

3. 研究の方法

研究目的に沿って、それぞれの研究方法を述べる。

1. ラマン分光法による薄膜の配向解析は、すでに確立されているように見えて、実

は理論的に未整備のものである。最大の要因は、入射光を平面波と近似できるのに対し、双極子から放出される光は球面波であることにある。すなわち、平面波を仮定した理論であるAbelesの理論は、散乱光の扱いには適用できないことになる。本研究では、この代わりになる精密な理論を探すとともに、これを組み込んだ新理論を構築する。また、解析的に導出する式から、光量の絶対値を知らなくても解析できるように、偏光ごとの式の比を取り、より実用的に使いやすい理論とする。

2. 偏光解消度を正確に測れるラマン光学系を構築し、また単分子膜の非共鳴ラマン散乱を高感度に測れる明るい光学系を構築する。
3. 金ナノ粒子の薄膜について、可視MAIRS分光法を適用し、その経時変化を議論する。
4. Langmuir膜の形成メカニズムを、偏光変調赤外分光(PM-IRRAS)法およびX線吸収微細構造(XAFS)スペクトルを組み合わせる。

4. 研究成果

一軸配向の仮定に‘光軸が膜面に垂直’という条件を加えると、分極率テンソルは大幅に簡単にできる。さらに、解析の対象とするバンドの対称性をうまく選ぶと、テンソルは思いのほか簡単になる。

ここで、ラマン分光法が観測する分子振動が、赤外分光法で見る振動と似て非なるものであることに注意が必要である。理論的に扱いやすい結晶を想定して考えると、可視光励起によるラマン散乱では、許容されるフォノンの波数ベクトルはブリルアンゾーンの原点近くに収まる<sup>3)</sup>。すなわち、単位構造が同一の位相で振動するモードが観測される。これは炭化水素鎖の場合について言い換えると、メチレン基を単独(C2v)で解析するのではなく、炭素鎖についたメチレン基が同位相で振動する様子を解析しなくてはならず、D2hの対称性を考える。

D2hの指標の表を見ると、CH2の対称および逆対称伸縮振動はそれぞれAgおよびB1gの規約表現に属し、そのことからテンソルの表記はそれぞれ式(1)および(2)のように書けることがわかる。

$$\alpha^M = \begin{bmatrix} \alpha_{xx}^M & 0 & 0 \\ 0 & \alpha_{yy}^M & 0 \\ 0 & 0 & \alpha_{zz}^M \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\alpha^M = \begin{bmatrix} 0 & \alpha' & 0 \\ \alpha' & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

B1gモードは、テンソル中の未知数が一

つしかなないので、解析が非常に楽であることを意味する。したがって、ラマン分光法で定量的な分子配向解析をするには、逆対称伸縮振動が適している。言い換えると、ラマン分光法では、すべてのバンドを解析の対象にするのは難しい。

伊藤らは、一軸配向を考慮して偏光ラマン散乱強度を解析的に計算すると、に比例する式が得られる。つまり、をくくりだした式が得られるため、異なる偏光測定のと比を取ると、唯一の未知数 さえも消し去ることができ、配向角 だけの関数にすることができた。

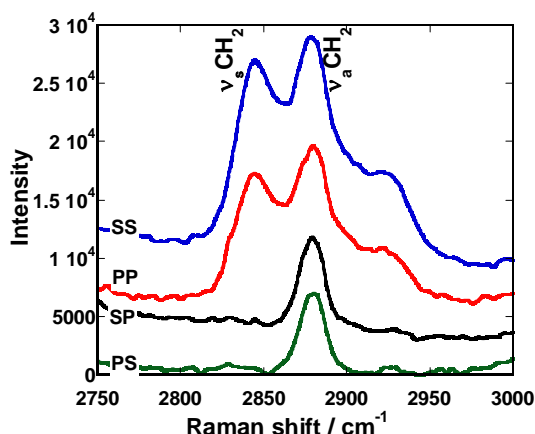


図 1 ガラス基板上ステアリン酸カドミウム 5 層 LB 膜の偏光ラマンスペクトル

図 1 に、ガラス基板上に作製したステアリン酸カドミウム 5 層 LB 膜の偏光ラマンスペクトルを示す。SP とは、s 偏光で励起し、p 偏光条件で測定したことを示す。非共鳴の薄膜スペクトルながら、かなり良質なスペクトルが測定できている。また、偏光子をクロスニコル条件にすると、対称伸縮振動のバンドが欠落する、ラマン分光法ならではの偏光解消現象が見られる。

図 1 の SP および PS スペクトルを見ると、偏光解消のおかげで逆対称伸縮振動バンドだけが単独に残っており、バンド強度が正確に測りやすいことがわかる。この意味でも、逆対称伸縮振動バンドを解析に選ぶことは適切である。これより、2 つのスペクトルのバンド強度比を測るとちょうど 1.0 になっており、分子の傾き角が  $29^\circ$  と求まった。これは既報の配向角 ( $25^\circ$ ) と実験誤差内でよく一致し、ラマン分光法からも分子配向が定量的に求まることがわかる。

#### 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 10 件) すべて査読有

- ① Takafumi Shimoaka, Kazuaki Rikiyama, Yukiteru Katsumoto, and Takeshi Hasegawa, Infrared Spectroscopic Study of Stereo-controlled Poly(*N*-isopropylacryl

amide) with an Extended Chain Conformation Induced by Adsorption on a Gold Surface, *Anal. Bioanal. Chem.* 405, 2013, 9411 – 9418  
DOI 10.1007/s00216-013-7400-5

- ② Shingo Norimoto, Seiya Morimine, Takafumi Shimoaka, and Takeshi Hasegawa, Analysis of Surface Coverage of a Self-Assembled Monolayer of Octadecyl Silane on a Si(100) Surface by Infrared External-Reflection Spectroscopy, *Anal. Sci.* 29(10), 2013, 979 – 984  
DOI: 10.2116/analsci.29.979

- ③ Chihiro Wakai, Takafumi Shimoaka, and Takeshi Hasegawa, Analysis of Hydration Process and Rotational Dynamics of Water in a Nafion Membrane Studied by  $^1\text{H}$  NMR Spectroscopy, *Anal. Chem.* 85, 2013, 7581 – 7587  
DOI: 10.1021/ac401653v

- ④ Hirokazu Seto, Masaki Takara, Chie Yamashita, Tatsuya Murakami, Takeshi Hasegawa, Yu Hoshino, Yoshiko Miura, Surface Modification of Siliceous Materials Using Maleimidation and Various Functional Polymers Synthesized by Reversible Addition Fragmentation Chain Transfer Polymerization, *ACS Appl. Mater. Interfaces* 4, 2012, 5125 – 5133  
DOI: 10.1021/am301637q

- ⑤ Takafumi Shimoaka, Takeshi Hasegawa, Keiichi Ohno and Yukiteru Katsumoto, Correlation between the Local OH Stretching Vibration Wavenumber and the Hydrogen Bonding Pattern of Water in a Condensed Phase: Quantum Chemical Approach to Analyze the Broad OH Band *J. Mol. Struct.* 1029, 2012, 209 – 216  
DOI: 10.1016/j.molstruc.2012.09.038

- ⑥ Takafumi Shimoaka, Yuki Itoh, and Takeshi Hasegawa, Dynamic Rearrangement of Stearic Acid Molecules Adsorbed on a Gold Surface Induced by Ambient Water Molecules Studied by Infrared Spectroscopy, *J. Phys. Chem. C* 116, 2012, 17142 – 17148  
DOI: 10.1021/jp305828c

- ⑦ Maiko Muro, Makoto Harada, Takeshi Hasegawa, and Tetsuo Okada, Formation and Growth of Tetrahydrofuran Hydrate at Ice/hexane Interface, *J. Phys. Chem. C* 116, 2012 13296 – 13301  
DOI: 10.1021/jp303713q

- ⑧ Yuki Itoh and Takeshi Hasegawa, Polarization Dependence of Raman Scattering from a Thin Film Involving Optical Anisotropy Theorized for Molecular Orientation Analysis, *J. Phys. Chem. A* 116, 2012 5560 – 5570  
DOI: 10.1021/jp301070a

- ⑨ Maiko Muro, Makoto Harada, Tetsuo Okada

and Takeshi Hasegawa, Molecular Rearrangement in a Zinc Stearate Langmuir Film Dependent on a Film Preparation Method Studied Using Polarization-Modulation Infrared Reflection Absorption Spectroscopy and X-ray Absorption Fine Structure, *J. Phys. Chem. B* 116(10), 2012, 3148 – 3154  
DOI: 10.1021/jp212028d

- ⑩ Akiyoshi Kasuya, Yuki Itoh, Tetsuo Okada, Masatoshi Osawa, Yukina Takahashi, Emiko, Kazuma, Tetsu Tatsuma and Takeshi Hasegawa, Anisotropic Light Absorption by Localized Surface Plasmon Resonance in a Thin Film of Gold Nanoparticles Studied by Visible Multiple-Angle Incidence Resolution Spectrometry, *Phys. Chem. Chem. Phys.* 13, 2011, 9691 – 9696  
DOI: 10.1039/C1CP20152B

[学会発表] (計 113 件)

1. 日本化学会第 94 春季年 2014/3/29 パーフルオロアルキル鎖長の異なる DMPC アナログ分子群の合成と膜物性の解析、森田康平、高橋浩、網井秀樹、園山正史、高木俊之、金森敏幸、長谷川健 名古屋大学東山キャンパス
2. Seminar of Chemistry Department at University of Miami 2014/3/7 "A recent progress in a study of Nafion Membrane Using Infrared, NMR and MS Spectroscopy", Takeshi Hasegawa, Miami, FL, USA
3. Seminar at University of Ulm, 2014/1/22 Structural analysis of condensed molecular adsorbates on a solid surface using infrared spectroscopy, Takeshi Hasegawa, Ulm, Germany
4. 第 143 回ポバル会 2013/12/7 薄膜および界面の振動分光学、長谷川健 京都
5. テラヘルツ分光法の最先端シンポジウム：どこへいくテラヘルツ分光 2013/10/29 ケモメトリックスと赤外分光法による薄膜構造異方性解析、長谷川健 京都
6. 第 62 回高分子討論会 2013/9/13 凝縮系の構造転移に与える微量な分子水の影響：赤外分光法による解析、長谷川健, 金沢
7. 日本分析化学会第 62 年会 2013/9/11 化学シフト及びスピン—格子緩和時間測定による Nafion 膜中の水分子の解析、若井千尋、長谷川健 東大阪
8. 日本分析化学会第 62 年会 2013/9/11 アイソタクティシテイの高い poly(N-isopropylacrylamide) の有機溶媒中での相挙動と微量水の関係、下赤卓史、力山和晃、勝本之晶、若井千尋、長谷川健 東大阪
9. 日本分析化学会第 62 年会 2013/9/11 吸

着分子構造を議論するための赤外拡散反射法の表面選択律、森峰聖也、乗本真吾、長谷川健 東大阪

10. 日本分析化学会第 62 年会 2013/9/10 多角入射分解分光法の原理創出と機器開発 (JAIMA 先端機器開発賞受賞講演)、長谷川健 東大阪
11. The 7th International Conference on Advanced Vibrational Spectroscopy 2013/8/26 Molecular Orientation Analysis of a Spin-Coated Film of Poly(3-hexylthiophene-2,5-diyl) on Calcium Fluoride Analyzed by Infrared Multiple-Angle Incidence Resolution Spectrometry, Nobutaka Shioya, Takafumi Shimoaka, Takeshi Hasegawa, Kobe, Japan
12. The 7th International Conference on Advanced Vibrational Spectroscopy 2013/8/26 Characterizations of Tacticity-Controlled Poly(N-isopropylacrylamide) Studied by Infrared Spectroscopy, Takafumi Shimoaka, Kazuaki Rikiyama, Yukiteru Katsumoto, Takeshi Hasegawa Kobe, Japan
13. The 7th International Conference on Advanced Vibrational Spectroscopy 2013/8/26 Analysis of the preparation process of a self-assembled monolayer on silicon by FT-IR spectroscopy, Shingo Norimoto, Seiya Morimine, Takafumi Shimoaka, Takeshi Hasegawa Kobe, Japan
14. The 7th International Conference on Advanced Vibrational Spectroscopy 2013/8/26 Multivariate Analysis of Spectral Components Involved in Infrared Diffuse Reflectance Spectra, Seiya Morimine, Takafumi Shimoaka, Takeshi Hasegawa Kobe, Japan
15. The 7th International Conference on Advanced Vibrational Spectroscopy 2013/8/26 The development of compact total internal reflection system combined with Raman microscope and its application, Chikashi Ota, Nobuyuki Naka, Takeshi Hasegawa Kobe, Japan
16. 新学術領域研究「ソフトインターフェースの分子科学」第 10 回公開シンポジウム 2013/7/12 赤外分光法による立体規則性の異なる高分子薄膜の金基板上での構造解析、長谷川健、下赤卓史、力山和晃、勝本之晶、東京
17. 九州大学理学部化学科・公開講演会 最新化学談話シリーズ 2013/6/20 分子集合系に与える微量水の仕事：赤外分光法による解析 長谷川健, 福岡
18. IR・ラマン ユーザーズフォーラム 2013 2013/5/24 赤外分光法による立体規則性の異なる高分子薄膜の金基板上での構造解析、下赤卓史、力山和晃、勝本

- 之晶、長谷川 健，大阪
19. IR・ラマン ユーザーズフォーラム 2013 2013/5/24 シリコン基板上での自己組織化単分子膜作製過程の赤外分光法による研究、乗本真吾、森峰聖也、長谷川 健 大阪
  20. IR・ラマン ユーザーズフォーラム 2013 2013/5/24 赤外拡散反射スペクトルを構成する成分の分離解析、森峰聖也、乗本真吾、長谷川 健 大阪
  21. 第 73 回日本分析化学討論会 2013/5/18 ケイ酸カルシウム水和物の構造解析への固体NMRおよびIR スペクトルのケモメトリックス法の応用、山崎悟、坂部輝御、長谷川 健 函館
  22. 第 73 回日本分析化学討論会 2013/5/18 赤外分光法による立体規則性の異なる高分子薄膜の金基板上での構造解析、下赤卓史、力山和晃、勝本之晶、長谷川 健，函館
  23. 第 73 回日本分析化学討論会 2013/5/18 縦及び横磁化緩和時間測定によるNafion 膜中の水分子の回転ダイナミクスの解析、若井千尋、長谷川 健，函館
  24. 第 73 回日本分析化学討論会 2013/5/18 シリコン基板上での自己組織化単分子膜作製過程の赤外分光法による研究 乗本真吾、森峰聖也、長谷川 健，函館
  25. 第 73 回日本分析化学討論会 2013/5/18 赤外拡散反射を構成する成分の分離解析 森峰聖也、乗本真吾、長谷川 健，函館
  26. 第 73 回日本分析化学討論会 2013/5/18 顕微光学系を用いた全反射ラマン分光装置の開発と応用、太田周志、長谷川健，函館
  27. 日本曹達千葉研究所講演会 2012/11/30 赤外分光法で表面を知る、長谷川 健 市原市
  28. H24年度日本分光学会中部支部北陸ブロック第1回講演会 2013/2/28 界面が線形分光法に与える影響、長谷川 健，福井
  29. 日本化学会第 93 春季年会 2013/3/22 疎水性金基板上に弱く吸着したステアリン酸分子が見せる分子再配向過程の解析、長谷川 健、下赤卓史、伊藤雄樹，草津
  30. Friday seminar of Leblanc's Lab 2012/11/16 Molecular Re-Orientation of Stearic Acid Weakly Adsorbed on a Hydrophobic Gold Surface, Takeshi Hasegawa Miami, FL
  31. Eastern Analytical Symposium and Exhibitions 2012/11/13 Dynamic Reorientation of Stearic Acid on a Gold Surface Induced by Ambient Water Molecules Studied by Infrared Spectroscopy, Takeshi Hasegawa, Takafumi Shimoaka, Yuki Itoh Somerset, NJ
  32. 第 61 日本分析化学会年会 2012/9/20 NMR スペクトル解析へのケモメトリックス法の応用、坂部輝御、山崎悟、長谷川 健 金沢
  33. サーマユーザーズフォーラム 2012 2012/6/5 金表面に吸着したステアリン酸分子の集合構造変化の赤外分光法による研究、下赤卓史、伊藤雄樹、長谷川 健 大阪
  34. 高分子分析討論会 2012/9/6 赤外ATR法とケモメトリックスを用いた皮膚の状態解析、坂部輝御、山崎悟、長谷川 健，名古屋
  35. The 63rd Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry 2012/8/19 Probing the Electrochemical Interface by ATR-SEIRAS Using Polarized Radiation, Taro Uchida, Masatoshi Osawa, Takeshi Hasegawa, Prague, Czech
  36. 14th International Conference on Organized Molecular Films - ICOMF14 2012/7/10 Molecular Rearrangement in a Zinc Stearate Langmuir Film Dependent on a Film Preparation Method Studied Using PM-IRRAS and XAFS, Takeshi Hasegawa, Maiko Muro, Makoto Harada, Tetsuo Okada Paris, France
  37. 14th International Conference on Organized Molecular Films - ICOMF14 2012/7/10 Water sorption on a thin film of stereocontrolled acrylamide polymers, Yukiteru Katsumoto, Takeshi Hasegawa Paris, France
  38. 第 30 回高分子表面研究会講座 2012/7/6 赤外反射分光法による高分子表面構造解析、長谷川 健 東京
  39. 日本化学会第 92 春季 2012/3/25 分子水が誘起する金表面に吸着したステアリン酸分子の集合構造変化の赤外分光法による研究、下赤卓史、長谷川健，横浜
  40. 赤外分光法講習会(関東地区) 2012/5/21 赤外外部反射および正反射分光法、長谷川健，東京
  41. Thermo Scientific FT-IR・ラマンユーザーズフォーラム 2011 2011/5/18、偏光ラマン分光法による Langmuir-Blodgett 膜の分子配向解析、伊藤雄樹、長谷川 健，大阪
  42. 2011 年第 2 回高分子表面研究会 2012/1/30 分子水が引き起こす分子集合系薄膜の構造転移：赤外分光法による研究、長谷川健 東京
  43. 2011 年第 2 回高分子表面研究会 2012/1/30 分子水が引き起こす分子集合系薄膜の構造転移：赤外分光法による研究、長谷川 健 東京
  44. 新学術領域研究「ソフトインターフェースの分子科学」第 9 回公開シンポジウム 2012/1/23 疎水性金基板上に弱く吸着したカルボン酸の構造変化と大気中水の役割、長谷川 健、下赤卓史、伊藤雄樹，

- 東京
45. 2011 Eastern Analytical Symposium and Exposition 2011/11/15 Molecular Rearrangement in a Zinc Stearate Langmuir Film Dependent on a Film Preparation Method Studied by Using Polarization-Modulation Infrared Reflection Absorption Spectroscopy and X-ray Absorption Fine Structure, Hasegawa T, Muro M, Harada M, Okada T, Somerset, USA
  46. 法科学に有効な機器分析法 2011/11/11 赤外反射分光法による表面定量分析、長谷川健 大阪
  47. 関西学院大学講演会 2011/11/2 界面の分光分析の考え方、長谷川健 三田
  48. 分子科学討論会 2011 2011/9/20 量子化学計算による氷 Ih の OH 伸縮振動波数と水素結合構造の相関解析、下赤卓史、勝本之晶、長谷川健 札幌
  49. 分子科学討論会 2011 2011/9/20 偏光ラマン分光法による固体基板上の有機薄膜の分子配向解析、伊藤雄樹、長谷川健 札幌
  50. 第 5 回バイオ関連化学シンポジウム 2011/9/12 ロイシン誘導体 SAM 膜の配向解析、小笠原 梢、山田哲弘、長谷川健 つくば
  51. 新学術領域「ソフト界面」第 6 回公開シンポジウム 2011/7/28 負吸着性イオン種の気液界面単分子膜での濃縮と膜中拡散機構のオペランド解析、長谷川健、室 麻衣子、伊藤雄樹 福岡
  52. 新学術領域研究「ソフトインターフェース分子科学」領域会議 2012/7/26 偏光非共鳴ラマン分光法による有機薄膜の分子配向解析、長谷川健、伊藤雄、米沢
  53. 第 29 回高分子表面研究会講座 2011/7/7 高分子膜解析におけるケモメトリックスの活用、坂部輝御、山崎 悟、長谷川健 東京
  54. 37th IEEE Photovoltaic Specialist Conference, 2011/6/19, "Photoabsorption-Enhanced Dye-Sensitized Solar Cells Using Localized Surface Plasmon of Gold Nanoparticles with 16-Mercapto Hexadecanoic Acid", Ihara M, Ikenouchi S, Taniguchi K, Tanaka Y, Hasegawa T, Seattle, USA
  55. The 6th International Conference on Advanced Vibrational Spectroscopy, 2011/6/13, A Conformation and Orientation Model of the Carboxylic Group of Fatty Acids Dependent on Chain Length in a Langmuir Monolayer Film Studied by Polarization-Modulation Infrared Reflection Absorption Spectroscopy, Hasegawa T, Muro M, Itoh Y, Sonoma County, USA
  56. IUPAC International Congress on Analytical Sciences 2011, 2011/5/24, Multiple-Angle Incidence Resolution Spectrometry: A Novel Analytical Platform for Spectroscopic Analysis of Thin Film, Hasegawa T, Kyoto, Japan
  57. IUPAC International Congress on Analytical Sciences 2011, 2011/5/24 "Study of CH<sub>3</sub>(CH<sub>2</sub>)<sub>16</sub>COOH/Zn<sup>2+</sup> System Using X-Ray Absorption Fine Structure and Polarization Modulation Infrared Reflection Absorption Spectroscopy", Muro M, Hasegawa T, Okada T, Harada M Kyoto, Japan
  58. IUPAC International Congress on Analytical Sciences 2011, 2011/5/24, Molecular Orientation Analysis of Langmuir-Blodgett Films by Polarized Raman Spectroscopy, Itoh Y., Hasegawa T., Kyoto, Japan
  59. Thermo Scientific FT-IR・ラマンユーザーズフォーラム 2011 2011/5/18, 分子の一次構造と薄膜の機能性をつなぐ鍵・構造異方性を読み解く、長谷川健 大阪
  60. Thermo Scientific FT-IR・ラマンユーザーズフォーラム 2011 2011/5/18, 水素結合パターンによる液体状態の水およびメタノールの OH 伸縮バンドの解析、下赤卓史、長谷川健、勝本之晶 大阪
  61. 名古屋大学大学院工学研究科・応用計測化学・公開講演会 2011/5/10, 偏光変調赤外反射吸収分光法による水面上の単分子膜の構造解析の原理と実際、長谷川健 名古屋
- [図書] (計 5 件)
- ① 長谷川健 情報協会出版 IR 分析データ集・第 2 章 7 節 2013 9
  - ② 長谷川健 シーエムシー出版 プラズモンナノ材料開発の最前線と応用 (山田淳・監修) 2012 9
  - ③ 長谷川健 エス・ティ・ジャパン出版 赤外分光測定法・基礎と最新手法 (田隅三生・編著) 第 8 章・薄膜・界面の外部反射測定法 2012 4
  - ④ 長谷川健 エス・ティ・ジャパン出版 赤外分光測定法・基礎と最新手法 (田隅三生・編著) 第 7 章・正反射測定法 2012 4
  - ⑤ 長谷川健 エス・ティ・ジャパン出版 赤外分光測定法・基礎と最新手法 (田隅三生・編著)・第 6 章 “赤外分光におけるケモメトリックス 2012 4
6. 研究組織  
(1) 研究代表者  
長谷川 健 (Hasegawa, Takeshi)  
京都大学・化学研究所・教授  
研究者番号 : 30258123