

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 31 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25410017

研究課題名(和文)クマル酸とその誘導体の光誘起トランス-シス異性化機構の解明

研究課題名(英文) Theoretical and experimental study on the photoinduced trans-cis isomerization of coumaric acid and its derivatives

研究代表者

江幡 孝之 (Ebata, Takayuki)

広島大学・理学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：70142924

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：桂皮酸誘導体の電子励起状態の無輻射失活およびトランス-シス異性化の初期過程を明らかにする研究を行った。超音速分子線レーザー分光および極低温マトリックス赤外分光を行い、並行してS1励起状態からの無輻射緩和ルートを理論計算により探索した。実験の結果、プロペニル基に対してオルト位、メタ位に置換体をつけた桂皮酸誘導体はS1状態寿命が～10ナノ秒に対し、パラ位に置換体は数百ピコ秒以下の短い寿命であることが分かった。さらに、水分子がC=O基に水素結合するとS1状態が短くなった。実験結果と理論計算との対応から、S1状態からは直接異性化するルートと1np*状態に内部転換するルートが競合することが分かった。

研究成果の概要(英文)：Nonradiative process involving trans-cis isomerization of cinnamate and its derivatives has been studied experimentally and theoretically. The S1 lifetime measurements show that o- and m-substituted cinnamate is much longer than that of p-substituted cinnamate. In addition, the hydrogen-bonding to the carbonyl group shortens the S1 lifetime.

研究分野：Physical Chemistry

キーワード：isomerization intramolecular conversion coumaric acids PYP supersonic beam laser spectroscopy

1. 研究開始当初の背景

クマル酸は、照射に対して負の走光性を示す紅色光合成細菌の **Photoactive Yellow Protein (PYP)** の発色団として存在する。また、それら誘導体の桂皮酸やエステルは、紫外光照射後も速やかに電子基底状態に緩和することを利用して日焼止めなどの化粧品として用いられている。これら分子には共通してトランス→シス異性化が起きることが知られているが、異性化が無輻射過程のどの段階(電子状態)で起き、また溶媒等の環境に対する影響はそれまで分かってはいなかった。この光異性化の全貌を知るには、 S_1 状態の寿命や、 S_1 寿命を支配する要因、異性化がどの電子状態で起きるのか、さらに溶媒(水)が異性化を含む失活過程にどのような影響を与えるのか、等を明らかにする必要があった。

とくに、トランス→シス異性化初期過程に対して、図1に示すような、次の二つの異性化の可能性が議論されていた。

①トランス体が S_1 電子状態に光励起された後、直接シス異性化方向に反応が進行し、最終的に S_0 基底状態に乗り移り、シス異性体が生成する。

② S_1 電子状態から一度 $S_2(^1n\pi^*)$ に内部転換(IC)した後、引き続き異性化へと進行する。

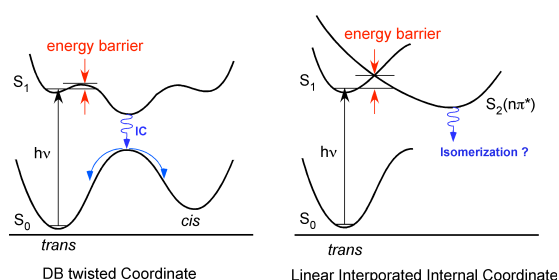


図1. 桂皮酸誘導体の光励起後の無輻射失活と異性化ルート

2. 研究の目的

本研究は、上記の当初の背景で説明した下記の問題を明らかにすることを目的とした。

- (1) S_1 電子状態の寿命の直接測定および S_1 寿命を支配する要因
- (2) 異性化がどの電子状態で起きるのか
- (3) 周りの環境(具体的には水和)が無輻射失活や異性化に及ぼす影響。

対象としたのは、クマル酸および桂皮酸エステル誘導体(methyl cinnamate)である。これらの単体および水和錯体を、気相極低温条件下で生成し、単体そのものの無輻射失活や異性化を調べ、さらにそれらの水和錯体について溶媒効果を調べることを目的とした。

3. 研究の方法

実験は、超音速分子線装置によりクマル酸および桂皮酸エステル誘導体(methyl cinnamate)の気相極低温分子および分子錯体を生成し、それらの赤外・電子スペクトルをレーザー分光により観測した。また、極低

温マトリックス単離赤外分光を用い、紫外光励起によるトランス体からシス体への異性化生成物を観測し、生成物の励起エネルギー依存性を調べた。並行して量子化学計算計算により、 S_0 電子基底状態、 $S_1(\pi\pi^*)$ 電子状態、 $S_2(^1n\pi^*)$ 状態について、vertical および adiabatic エネルギーを求めた。さらに、 S_1 電子状態での異性化座標に沿ったポテンシャルエネルギーカーブ、 S_1 状態と $S_2(^1n\pi^*)$ 状態とのポテンシャルエネルギー交差の計算を行った。また同様な計算を水和錯体について行った。これらの計算結果を実験結果と照合して、最も可能性の高い反応過程を検証した。

4. 研究成果

本研究では、クマル酸およびシナメート誘導体の電子励起状態の無輻射過程について、実験と理論計算の両面から検討した。対象とした分子は、*p*-coumaric acid, および *p*-, *m*-, *o*-methoxy methycinnamate (*p*-MMC, *m*-MMC, *o*-MMC) とそれらの水和錯体である。実験は、超音速分子線で冷却した各気相分子の電子スペクトルを、共鳴イオン化やレーザー誘起蛍光法で測定した。また、電子励起状態の寿命を、蛍光の減衰曲線やピコ秒レーザーによるポンプ-プローブ法により減衰曲線を観測し、コンボリューション法により減衰曲線をフィットして決定した。その結果、図2に示すように、*p*-MMC は、 S_1 電子状態の寿命が零点準位で 280 ps ($3.6 \times 10^9 \text{ s}^{-1}$) で、エネルギーが増えるに従い短くなり 500 cm^{-1} 高エネルギー側で 13 ps ($7.7 \times 10^9 \text{ s}^{-1}$) と著しく短くなることが分かった。

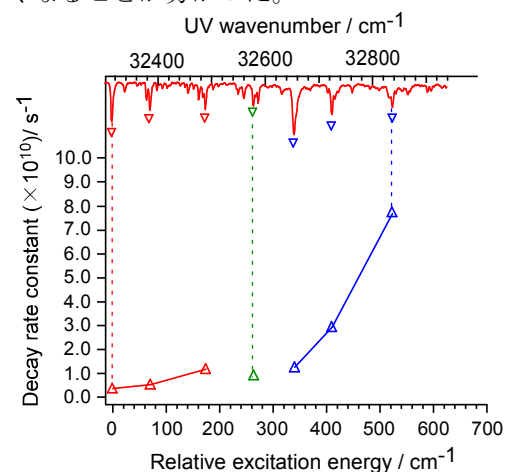


図2. *p*-MMC の S_1 - S_0 電子スペクトルと各バンドの失活速度(寿命の逆数)

一方、*m*-MMC や *o*-MMC は、 S_1 状態の寿命が *m*-MMC で 27~16 ns、*o*-MMC で 10~7 ns と *p*-MMC に比べ長くまた明瞭なエネルギー依存性はみられなかった。また、*p*-MMC については、水分子との 1:1 錯体を形成し電子励起状態の寿命を測定したところ、二つの異性体の零点準位で 21 ps, 35 ps となり、どちらも単体に比べ短くなることが明らかになった。

この実験結果に対して、励起状態の断熱エネルギー準位、およびポテンシャルエネルギー

一曲面を信頼度の高い量子化学計算で求め、 S_1 電子励起状態からの初期無輻射過程のルートを p -MMC, m -MMC, o -MMC について探索した。計算の結果、トランス体からシス体への異性化は、 p -MMC では 0.02 eV とほとんどエネルギー障壁なしに進行するが、 o -MMC, m -MMC では、それぞれ 0.081 eV, 0.07 eV のエネルギー障壁があり、実験で得られた S_1 励起状態寿命 p -MMC (280 ps), o -MMC (~10 ns), m -MMC (27 ns) の違いを定性的に説明できることが分かった。さらに、 p -MMC- H_2O では異性化へのエネルギーバリアーが 0.006 eV と単体よりも低くなり p -MMC- H_2O の S_1 励起状態寿命が 21 ps と単体よりも短くなることを説明でき異性化緩和モデルを支持する結果になった。

無輻射緩和ルートについては、 $S_1(\pi\pi^*)$ から ${}^1n\pi^*$ (adiabatic) 状態への反応座標に沿ってエネルギー計算を行い、 $S_1(\pi\pi^*)$ と ${}^1n\pi^*$ 状態のポテンシャル交叉のバリアーを求めた。その結果、 p -MMC, o -MMC, m -MMC では、バリアーがそれぞれ 0.0483 eV, 0.115 eV, 0.164 eV という p -MMC が最も低い結果となり、 $S_1(\pi\pi^*) \rightarrow {}^1n\pi^*$ 内部転換(IC)の緩和機構で p -MMC の S_1 寿命が最も短いことを説明できたが、 p -MMC- H_2O (1:1) complex では、ポテンシャル交叉のバリアーが 0.216 eV と単体の 0.0483 eV と比べかなり高くなり、 $S_1(\pi\pi^*) \rightarrow {}^1n\pi^*$ 内部転換(IC)速度が遅くなるすなわち S_1 寿命が長くなると予想される結果となった。これは実験結果の p -MMC- H_2O (1:1) complex の寿命が単体に比べ短くなった結果と矛盾する。これらの結果からメチルシンナメート酸誘導体の $S_1(\pi\pi^*)$ 励起後の初期緩和過程が、トランス体 \rightarrow シス体への異性化であると結論した。

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 17 件) (全て査読あり)

1. Fumiya Morishima, Ryoji Kusaka, Yoshiya Inokuchi, Takeharu Haino and Takayuki Ebata, "Cage Effect on Conformational Preference and Photophysics in the Host-Guest Complex of Benzenediols with 18-Crown-6" *Phys. Chem. Chem. Phys.* 18, 8027-8038 (2016)
2. Yoshiya Inokuchi, Takayuki Ebata, Toshiaki Ikeda, Takeharu Haino, Tetsunari Kimura, Hao Guo and Yuji Furutani, "New Insights into Metal Ion-Crown Ether Complexes Revealed by SEIRA Spectroscopy", *New J. Chem.* 39, 8673-8680 (2015)
3. Yoshiya Inokuchi, Kazuki Soga, Kenta Hirai, Motoki Kida, Fumiya Morishima, and Takayuki Ebata, "Ultraviolet Photodissociation Spectroscopy of Cold $K^+ \cdot Calix[4]arene$ Complex in the Gas Phase", *J. Phys. Chem. A*, 119, 8512-8518 (2015)
4. Yoshiya Inokuchi, Takayuki Ebata, and Thomas R. Rizzo, "Solvent Effects on the Encapsulation of Divalent Ions by Benzo-18-Crown-6 and Benzo-15-Crown-5"

J. Phys. Chem. A, 119, 8097- 8105 (2015)

5. Yoshiya Inokuchi, Takeharu Haino, Ryo Sekiya, Fumiya Morishima, Claude Dedonder, Géraldine Féraud, Christophe Juvet*, and Takayuki Ebata, "UV photodissociation spectroscopy of cryogenically cooled gas phase host-guest complex ions of crown ethers" *Phys. Chem. Chem.* 17, 25925- 25934 (2015)
6. Yoshiya Inokuchi and Takayuki Ebata, "IR Photodissociation Spectroscopy of $(OCS)_n^+$ and $(OCS)_n^-$ Cluster Ions: Similarity and Dissimilarity in the Structures of CO_2 , OCS , and CS_2 Cluster Ions" *J. Chem. Phys.*, 142, 214306(6pages) (2015)
7. Yasunori Miyazaki, Yoshiya Inokuchi, Nobuyuki Akai, and Takayuki Ebata, "Direct Spectroscopic Evidence of Photoisomerization in *Para*-Methoxy Methylcinnamate Revealed by Low-Temperature Matrix-Isolation FTIR Spectroscopy" *J. Phys. Chem. Letters*, 6, 1134-1139 (2015)
8. Fumiya Morishima, Ryoji Kusaka, Yoshiya Inokuchi, Takeharu Haino and Takayuki Ebata, "Anomalous cage effect of the excited state dynamics of catechol in the 18C6-catechol host-guest complex", *J. Phys. Chem. B*, 119, 2557-2565 (2015)
9. Yasunori Miyazaki, Kanji Yamamoto, Jun Aoki, Toshiaki Ikeda, Yoshiya Inokuchi, Masahiro Ehara, Takayuki Ebata, "Experimental and theoretical study on the excited-state dynamics of *ortho*-, *meta*-, and *para*-methoxy methylcinnamate", *J. Chem. Phys.*, 141, 244313 (13 pages) (2014)
10. Géraldine Féraud, Claude Dedonder, Christophe Juvet, Yoshiya Inokuchi, Takeharu Haino, Ryo Sekiya, Takayuki Ebata, "Development of Ultraviolet-Ultraviolet Hole-burning Spectroscopy for Cold Gas Phase Ions", *J. Phys. Chem. Letters*, 5, 1236-1240 (2014)
11. Yoshiya Inokuchi, Takayuki Ebata, Thomas R. Rizzo, Oleg V. Boyarkin, "Microhydration Effects on the Encapsulation of Potassium Ion by Dibenzo-18-Crown-6", *J. Am. Chem. Soc.* 136, 1815-1824 (2014)
12. Yoshiya Inokuchi, Takahiro Mizuuchi, Takayuki Ebata, Toshiaki Ikeda, Takeharu Haino, Tesunari Kimura, Hao Guo, Yuji Furutani, "Formation of host-guest complexes on gold surface investigated by surface-enhanced IR absorption spectroscopy", *Chem. Phys. Lett.* 592, 90-95 (2014)
13. Fumiya Morishima, Yoshiya Inokuchi, and Takayuki Ebata, "Structure and Hydrogen-bonding Ability of Estrogens Studied in the Gas Phase", *J. Phys. Chem. A*, 117, 13543-13555(2013)
14. Vladimir Jovanović, Yasunori Miyazaki, Takayuki Ebata, and Milena Petković, "Vibrational Spectroscopy of Picolinamide and Water: From Dimers to Condensed Phase", *J. Phys. Chem. A*, 117 (30), 6474-6482 (2013)
15. Yasunori Miyazaki, Yoshiya Inokuchi, Takayuki Ebata, Milena Petković, "Study on Vibrational Relaxation Dynamics of

Phenol-Water Complex by Picosecond Time-Resolved IR-UV Pump-Probe Spectroscopy in a Supersonic Molecular Beam”, *Chem. Phys.* 419, 205-211 (2013)

16. Keisuke Doi, Eijiro Togano, Sotiris S. Xantheas, Ryuzo Nakanishi, Takashi Nagata, Takayuki Ebata, Yoshiya Inokuchi,

“Microhydration Effects on the Intermediates of the ($\Gamma + \text{CH}_3\text{I}$) $\text{S}_{\text{N}}2$ Reaction” *Angewandte Chemie Int. Ed.* 52,4380-4383 (2013)

17. Yoshiya Inokuchi, Ryoji Kusaka, Takayuki Ebata, Oleg V. Boyarkin and Thomas R. Rizzo, “Laser Spectroscopic Study of Cold Host-Guest Complexes of Crown Ethers in the Gas Phase”, *ChemPhysChem.*, 14, 649-660 (2013)

[学会発表] (計 42 件)

○国際学会

1. T. Ebata: Effect of Solvation Conformational Preference of Inclusion Complexes, *The 2016 Gordon Research Conference on Molecular and Ionic Clusters* (Jan, 17-22, 2016, Ventura, CA, USA) (招待講演)

2. T. Ebata: Experimental and Theoretical Study on the Excited State Dynamics of Methyl Cinnamate and its Derivatives, *Pacificchem 2015* (Dec. 15-18, 2015, Honolulu, Hawaii, USA)

3. K. Hirai, T. Ebata, Y. Inokuchi, UV Photodissociation Spectroscopy of $\text{M}^+\text{Calix}[4]$ arene and $\text{M}^+\text{tert-butyl-Calix}[4]$ arene and Complexes under Cold Gas Phase Condition, *12th Nano Bio Info Chemistry Symposium* (Dec. 5-6, 2015, Hiroshima, Japan) (一般講演)

4. T. Ebata: Laser spectroscopic study of cold gas phase functional molecular ions generated by ESI combined with Cold Ion-trap, *Gordon research Conference on Gaseous Ions: Structures, Energetics & Reactions* (Feb. 22-27, 2015, Galveston, Texas, USA) (招待講演)

5. Y. Inokuchi: Spectroscopic Studies on Host-Guest Complexes in the Gas Phase and on Gold Surface, *The 10th Symposium on Gas-Phase Laser Spectroscopy and Reaction Dynamics* (February 11–13, 2015, Muju resort, Korea) (招待講演)

6. T. Ebata, G. Féraud, C. Dedonder, C. Jouvét, Y. Inokuchi: Development of Ultraviolet-Ultraviolet Hole- Burning Spectroscopy for Cold Gas Phase Ions, *Gordon research Conference on Molecular and Ionic Clusters* (Apr. 27- May 2, 2014, Lucca, Italy) (ポスター発表)

7. T. Ebata: Nonradiative decay dynamics of p-coumaric acid and its derivatives in the gas phase, *Chemical Physics of Molecules and Polyfunctional Materials* (Oct. 29-31, 2014, Orenburg State University Russia) (招待講演)

8. T. Ebata: Structure and Cage Effect of benzenediol---crown ether Inclusion Complexes, *Core-to-core International Symposium on Ionization Induced Switching* (Dec. 12-13, 2014, Berlin, Germany) (招待講演)

9. Y. Inokuchi, O. V. Boyarkin, T. R. Rizzo, Y. Furutani, T. Haino, T. Ebata : UV and IR spectroscopic studies on metal ion - crown ether complexes in the gas phase and on gold surface,

Gordon research Conference on Molecular and Ionic Clusters (Apr. 27- May 2, 2014, Lucca, Italy) (ポスター発表)

F. 10. Morishima, R. Kusaka, Y. Inokuchi, T. Ebata : Huge fluorescence lifetime elongation of catechol by complexation with 18-crown-6 ether, *Gordon research Conference on Molecular and Ionic Clusters* (Apr. 27- May 2, 2014, Lucca, Italy) (ポスター発表)

11. F. Morishima, R. Kusaka, Y. Inokuchi, T. Haino, T. Ebata : Huge fluorescence lifetime elongation of catechol by complexation by 18-Crown-6 ether, *30th Symposium on Chemical Kinetics and Dynamics*(June 4-6, 2014, Himeji, Japan)

12. Y. Miyazaki, Y. Inokuchi, T. Ebata, M. Ehara : S_1 excited-state dynamics of OMPCA and its hydrogen-bonded complexes, *30th Symposium on Chemical Kinetics and Dynamics*(June 4-6, 2014, Himeji, Japan) (一般講演)

13. F. Morishima, R. Kusaka, Y. Inokuchi, T. Haino, T. Ebata : 18-crown-6---benzenediol complex: fluorescence lifetime elongation accompanied by structural control, *2nd Hiroshima International Symposium on Sustainability Sciences*, (Nov. 16, 2014, Hiroshima, Japan) (ポスター発表)

14. F. Morishima, R. Kusaka, Y. Inokuchi, T. Haino, T. Ebata : 18-crown-6---benzenediol complex: changing of the S_1 lifetime accompanied by structural modification, *The 11th Nano Bio Info Chemistry Symposium*, (Dec. 13, 2014, Hiroshima, Japan) (一般講演)

15. K. Yamamoto, J. Aoki, Y. Miyazaki, Y. Inokuchi, M. Ehara, T. Ebata, Excited-State Dynamics of Methyl Cinnamate Derivatives in Gas Phase, *The 11th Nano Bio Info Chemistry Symposium*, (Dec. 13, 2014, Hiroshima, Japan) (一般講演)

16. Y. Inokuchi: Cold ion spectroscopy of host-guest complexes in the gas phase, *Symposium on molecular science and synthesis of functional molecules for next generation* (March 10-11, 2014, Hiroshima, Japan) (一般講演)

17. F. Morishima, Y. Inokuchi, T. Ebata: Conformational preference in the 18C6---benzenediol complexes, *Symposium on molecular science and synthesis of functional molecules for next generation* (March 10-11, 2014, Hiroshima, Japan) (ポスター発表)

18. Y. Miyazaki, K. Yamamoto, J. Aoki, Y. Inokuchi, T. Ebata, M. Ehara : Excited state dynamics of methyl cinnamate derivatives, *Symposium on molecular science and synthesis of functional molecules for next generation* (March 10-11, 2014, Hiroshima, Japan) (ポスター発表)

19. K. Soga, T. Ebata, Y. Inokuchi : Development of laser spectroscopy for cold encapsulated ion complexes in the gas phase, *Symposium on molecular science and synthesis of functional molecules for next generation* (March 10-11, 2014, Hiroshima, Japan) (ポスター発表)

20. F. Morishima, Y. Inokuchi, T. Ebata: Structure and hydrogen-bonding abilities of estrogens studied by supersonic jet / laser spectroscopy, 68th Ohio state international symposium on molecular spectroscopy (June 17-21, 2013, Columbus, Ohio) (一般講演)

21. Y. Miyazaki, Y. Inokuchi, T. Ebata, M. Petcovic; Study on vibrational dynamics of phenol-water complex in a supersonic beam, 29th Symposium on chemical kinetics & dynamics (June 5-7, 2013, Sendai, Japan) (一般講演)

22. T. Ebata: Nonradiative decay dynamics of p-coumaric acid and its derivatives in the gas phase, Core-to-core International Symposium on Ionization Induced Switching (Dec. 15, 2013, University of Manchester, England) (招待講演)

23. T. Ebata: Study on photoisomerization of PYP chromophores by picosecond time-resolved pump-probe spectroscopy in the gas phase, XVIth International conference on time-resolved vibrational spectroscopy (May 19-24, 2013, Oita, Japan) (一般講演)

24. Y. Inokuchi, O. V. Boyarkin, T. Ebata, T. R. Rizzo: Cold spectroscopy of metal ion-crown ether complexes in the gas phase, 7th International conference on advanced vibrational spectroscopy (Aug. 25-30, 2013, Kobe, Japan) (一般講演)

○国内学会

1. 井口佳哉, 曾我和毅, 平井健太, 木田基, 江幡孝之: 金属イオン-カリックスアレン錯体の極低温気相レーザー分光, 第9回分子科学討論会 (2015年9月16-19日, 東京) (一般講演)

2. 森島史弥, 井口佳哉, 灰野岳晴, 江幡孝之: フェノール誘導体・18-crown-6錯体における構造選択的包接, 第9回分子科学討論会 2015年9月16-19日, 東京) (一般講演)

3. 宮崎康典, 井口佳哉, 江幡孝之, 玉木愛梨, 小島聡志, 赤井伸行, 金澤悠紀, 江原正博: 低温アルゴンマトリックス赤外分光法と超音速ジェット分光法による桂皮酸遊惰応対の光異性化の研究, 第9回分子科学討論会 (2015年9月16-19日, 東京) (一般講演)

4. 江幡孝之, 井口佳哉, 森島史弥, 灰野岳晴, 関谷亮, C. Dedonder, C. Joouvet: 極低温気相クラウンエーテル包接錯体イオンのレーザー分光, 第9回分子科学討論会 (2015年9月, 東京) (一般講演)

5. 江幡孝之: クラウンエーテル包接錯体のレーザー分光, 第31回シクロデキストリンシンポジウム (2014年9月11-12日, 島根) (招待講演)

6. 井口佳哉, 江幡孝之, T. Rizzo: クラウンエーテルの金属イオン包接に対する溶媒効果の研究, 第8回分子科学討論会 (2014年9月21-24日, 広島) (一般講演)

7. 森島史弥, 日下良二, 井口佳哉, 灰野岳晴, 江幡孝之: 18-crown-6との錯体形成による benzenediol の構造と励起状態寿命の制御, 第8回分子科学討論会 (2014年9月21-24日, 広島) (一般講演)

8. 山本冠仁, 江幡孝之, 井口佳哉, 宮崎康典, 江原正博: メチルシンナメート誘

導体の電子励起状態無輻射緩和の置換基及び水素結合効果, 第8回分子科学討論会 (2014年9月21-24日, 広島) (ポスター発表)

9. 井口佳哉, 菊田里菜, 山内佑, 池田俊明, 灰野岳晴, 江幡孝之: 表面増強赤外分光法によるクラウンエーテルの金属イオン包接現象の観測, 第8回分子科学討論会 (2014年9月21-24日, 広島) (ポスター発表)

10. 井口佳哉, 曾我和毅, 平井健太, 江幡孝之: 極低温イオントラップ-飛行時間型質量分析計を用いた, イオン錯体の極低温紫外スペクトルの観測, 第8回分子科学討論会 (2014年9月21-24日, 広島) (ポスター発表)

11. 中山駿, 福原幸一, 江幡孝之: 偏光赤外スペクトル測定によるオキサアルカノール結晶の構造推定 ~結晶構造と融点降下能の相関~, 第8回分子科学討論会 (2014年9月21-24日, 広島) (ポスター発表)

12. 中山駿, 三島世奈, 原田望来, 福原幸一, 江幡孝之: 分岐オキサアルカン化合物の熱物性(2) オキサアルキル-メチルプロピルブロック化合物, 第50回熱測定討論会 (2014年9月28-30日, 大阪) (ポスター発表)

13. 宮崎泰典, 島田大樹, 井口佳哉, 江幡孝之, 江原正博: クマル酸誘導体の無輻射緩和経路の機構とダイナミクス, 第7回分子科学討論会 (2013年9月24-27日, 京都) (一般講演)

14. 水内喬裕, 池田俊明, 灰野岳晴, Guo Hao, 木村哲就, 古谷祐詞, 江幡孝之, 井口佳哉: 金薄膜上に化学吸着させたクラウンエーテル金属イオン錯体の赤外分光, 第7回分子科学討論会 (2013年9月24-27日, 京都) (一般講演)

15. 森島史弥, 井口佳哉, 江幡孝之: レーザー分光実験と量子化学計算によるエストロゲンの水酸基の水素結合能力と生理活性に関する研究, 第7回分子科学討論会 (2013年9月24-27日, 京都) (ポスター)

16. 曾我和毅, 江幡孝之, 井口佳哉: イオン包接錯体の研究を目的とした極低温レーザー分光装置の開発, 第7回分子科学討論会 (2013年9月24-27日, 京都) (ポスター)

17. 中岡拓馬, 江幡孝之, 井口佳哉: レーザー脱理法を用いた不揮発性分子のレーザー分光, 2013年日本化学会中国四国支部大会, (2013年11月16-17日, 広島) (一般講演)

18. 堀田貴仁, 奈須遼渡, 中山駿, 三島世奈, 福原幸一, 江幡孝之: 直鎖オキサアルカノールオキサアルカン酸エステルの熱物性, 第49回熱測定討論会 (2013年10月31-11月1日, 千葉) (ポスター)

[その他]

ホームページ等

<http://home.hiroshima-u.ac.jp/ebatalab/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

江幡 孝之 (EBATA TAKAYUKI)
広島大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号: 70142924

(2) 研究分担者

井口 佳哉 (INOKUCHI YOSHIYA)
広島大学・大学院理学研究科・准教授
研究者番号: 30311187