

平成 22 年 5 月 14 日現在

研究種目：基盤研究 (A)
 研究期間：2006～2009
 課題番号：18205002
 研究課題名（和文） 時間分解熱力学の創生と蛋白質反応機構の解明への適用
 研究課題名（英文） Creation of time-resolved thermodynamics and application to elucidation of protein reaction mechanism
 研究代表者
 寺嶋 正秀 (TERAZIMA MASAHIDE)
 京都大学・大学院理学研究科・教授
 研究者番号：00188674

研究成果の概要（和文）：時間分解熱力学法という新しい分野を創生し、熱力学と速度論の 2 つの大きな分野を融合した。さらにその手法を、種々のタンパク質反応に適用し、歴史上はじめて反応中間体の熱容量変化や体積変化などの熱力学量を時間分解計測することに成功した。その結果、他の手法では観測されない水和量変化や構造変化などのダイナミクスを発見し、機能に直結した反応機構解明を行った。

研究成果の概要（英文）：A new scientific research field "time-resolved thermodynamics" was created so that two important fields, the thermodynamics and the dynamics, are unified. This new technique was applied to researches of reaction mechanism of biological proteins and various thermodynamical properties, i.e., enthalpy, partial molar volume, heat capacity change and so on, have been measured in time domain for the first time. Many spectrally silent dynamics of protein reactions were elucidated and reaction mechanisms in molecular level have been established.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	11,100,000	3,330,000	14,430,000
2007年度	9,300,000	2,790,000	12,090,000
2008年度	10,200,000	3,060,000	13,260,000
2009年度	7,200,000	2,160,000	9,360,000
年度			
総計	37,800,000	11,340,000	49,140,000

研究分野：生体分子科学

科研費の分科・細目：基礎化学・物理化学

キーワード：熱力学・時間分解・タンパク質・反応ダイナミクス・過渡回折格子・反応中間体

1. 研究開始当初の背景

化学において、物質の性質と反応は基本的な根幹である。18世紀より物質の特性を明らかにするための様々な手法、特に熱力学量の測定法と理論体系が作られ、膨大なデータとともに物質の理解に大きな役割を果たして

きたし、現在でも熱力学量による研究は幅広く行われている。一方で反応を理解するため、フラッシュフォトリシス法は、速度論の体系とともに広範に用いられ、現在では科学における非常に大きな分野となっている。特にレーザーの発展とともに、その対象をマイクロ

秒からナノ、ピコ、フェムト秒に広げ、より短寿命でより初期の素過程が研究できるようになり、それに続く後続反応を明らかにしてきた。このように反応中間体のダイナミクスと熱力学量の測定は、化学における両輪の役目を果たし、基本的で重要な分野であることは疑いない。ところがこれまで、熱力学研究は（準）安定状態や平衡状態にある物質に適用されており、反応のダイナミクス研究と言う視点で考察されたことはほとんどなかった。速度定数の温度依存性や圧力依存性より遷移状態の活性化エンタルピーや活性化体積が求められるという関係で結ばれていたぐらいであり、反応途中における過渡的中間体に対する熱力学量という概念、あるいは熱力学量を指標とするダイナミクス研究は、少なくとも実験的には考えられたことがなかった。これは、熱力学量が定常状態で測られる量であり、その時間発展を（特に速度論のような時間分解能で）測定する手法がなかったことが大きな理由であると考えられる。

2. 研究の目的

安定分子への熱力学の大きな貢献を考えると、もし短時間にしか存在しない過渡的中間体に対しても、その熱力学的性質を明らかにすることができれば、科学全体に対してのブレークスルーになるであろう。このダイナミクスと熱力学から得られる情報を統合することによって、化学反応の理解はより深まるはずである。時間分解熱力学量測定法の創生とこの手法を用いた蛋白質反応機構の解明を目的とした。

具体的には、エンタルピー、部分分子容変化に加えて時間分解熱容量 (ΔC_p)、時間分解圧縮率（等温圧縮率 $\Delta \kappa_T$ ）の測定法を確立する。そしてそれを用いた光受容蛋白質の反応機構の解明、蛋白質ドメイン間の情報伝達機構の解明などを行う。数千あるいは数万の原子が反応のための環境を整えて特異で高効率かつ選択的な反応を進める生体分子反応の研究は、生体科学だけでなく、分子科学の発展として非常に重要であり、この新しい分野を適用するにふさわしい対象である。

3. 研究の方法

実験の基本的構成は、パルスレーザー励起の過渡回折格子 (TG) 法にある。この実験においては、パルスレーザー光を波長変換した後、2つに分割し、それを光のコヒーレント時間内に試料中で交差させることにより光強度の干渉縞を作り出す。ここに、CWレーザーを入射して TG 信号を回折光として検出する。この信号強度は、温度変化や分子体積変化を反映する。温度変化は用いた光のエネルギーと反応によるエンタルピー変化に由

来するが、光子のエネルギーは波長から計算できるので、温度変化をエンタルピー変化に直すことができる。この信号を種々の寄与による成分に定量的に分離し、時間分解測定することで、従来は平衡にある系でしか測定できなかったエンタルピー変化、体積変化を、不可逆反応系で温度や圧力一定のもとで、しかも時間分解で測定できる。

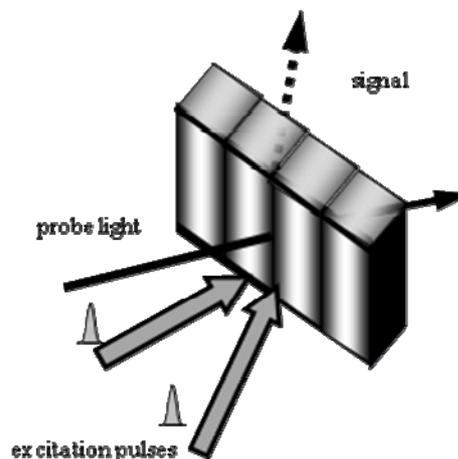


図 測定のベースとなった過渡回折格子法
の概念図

4. 研究成果

熱力学と速度論という2つの大きな分野を融合した、時間分解熱力学手法を、種々のタンパク質の機能に直結する反応に適用し、歴史上はじめて反応中間体の熱容量変化や体積変化などの熱力学量を時間分解計測することに成功した。その結果、他の手法では観測されない水和量変化や構造変化などのダイナミクスを発見し、反応機構解明を行った。具体的には、以下のような成果を得た。

(1) Photoactive Yellow Protein (PYP) と呼ばれる光感受性蛋白質に適用し、歴史上はじめて反応中間体の熱容量変化を時間分解計測することに成功した。その結果、3ns で生成する pR 状態ではほとんど熱容量は変化していないが、200 マイクロ秒で生成する pB 状態では、その生成に伴って熱容量の増加が観測された。これは、疎水残基の水和したためと結論し、経験式に基づいて何残基が水和しているかを明らかにした。

(2) 植物の青色光センサー蛋白質であるフォトロボリンの LOV2 ドメインを用いて、基底状態と生成物の拡散を決定することができた。この拡散係数の変化を調べた結果、光照射によって光励起された蛋白質と基底状態の蛋白質の間でダイマー化が起こっていることを示すことに成功した。また、Phot1LOV2 ドメイン単体 (LOV2 試料) とそれに

linker を付随させたもの(LOV2-linker 試料)を用いて、その反応を研究した。得られた拡散信号の形や強度に観測時間依存性が見出され、光照射により誘起された拡散係数変化を伴う蛋白質全体の構造変化が観測されていると結論した。

(3) 古細菌の光受容タンパク質である Sensory rhodopsin II (SRII) の Asp75 を置換した、D75N 変異体について研究を行った。従来は必須と思われていた M 中間体が欠損した変異体でも生理活性は保たれていること、光情報伝達で重要な役目を果たすトランスデューサーの細胞質側に伸びた部分の構造変化が構造変化していることを時間分解で示すことができた。またトランスデューサーの構造変化は、吸収で見るフォトサイクルが元に戻ってもしばらく残っていることを明らかとした。また、長さの異なるトランスデューサーを用いて検討した結果、HAMP ドメインと呼ばれる部位が大きな構造変化をしていることを明らかとした。

(4) アポプラストシアニンの折り畳み過程における熱力学量を、時間分解で測定した。その結果、折り畳みにしたがって、これまでになく大きなエンタルピー不安定化が起こっていることが明らかとなった。これは、化学反応によってギブズエネルギーが減少すべきであるという原理に基づくと、折り畳みによってエントロピーが大きく増大している事を示し、従来の概念では説明できない事が分かった。その理論的な解析を行い、水分子が排除されるためのエントロピーによる効果で折りたたみが進行していることを明らかとした。

(5) 多くのセンサータンパク質に見られる BLUF と呼ばれるドメインの反応に対して時間分解熱力学法を適用し、その反応が 2 量化反応であることを示し、そのダイナミクスを明らかにした。これは、他の手法では検出できないユニークな結果である。また、その熱力学的測定から、ダイマー形成がどういう原因で起こっているのかを示した。

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 65 件)

1. Pressure-induced changes in the structure and function of the kinesin-microtubule complex, M. Nishiyama, Y. Kimura, Y. Nishiyama, M. Terazima, *Biophys.J.*, 96, 1142-1150 (2009). 査読有
2. Reaction dynamics of halorhodopsin studied by time-resolved diffusion, K. Inoue, M. Kubo, M. Demura, N. Kamo, M. Terazima,

Biophys.J., 96, 3724-3734(2009). 査読有

3. Diffusion of gold ions and gold particles during photoreduction processes probed by the transient grating method, M. Harada, K. Okamoto, M. Terazima, *J. Collo. Inter. Sci.*, 332, 373-381 (2009). 査読有

4. Oligomeric State-Dependent Conformational Change of a BLUF Protein TePixD (Tl10078), K. Tanaka, Y. Nakasone, K. Okajima, M. Ikeuchi, S. Tokutomi, M. Terazima, *J. Mol. Biol.*, 386, 1290-1300(2009). 査読有

5. Charge effect on the diffusion coefficient and the bimolecular reaction rate of diiodide anion radical in room temperature ionic liquids, Y. Nishiyama, M. Terazima, Y. Kimura, *J. Phys. Chem. B*, 113, 5188-5193(2009). 査読有

6. Raman spectroscopic study on solvation of p-aminobenzonitrile in supercritical water and methanol, K. Osawa, T. Hamamoto, T. Fujisawa, M. Terazima, H. Sato, Y. Kimura, *J. Phys. Chem. A*, 113, 3143-3154(2009). 査読有

7. Energetics and role of hydrophobic interaction during photoreaction of BLUF domain of AppA, P. Hazra, K. Inoue, W. Laan, K. J. Hellingwerf, M. Terazima, *J. Phys. Chem. B*, 112, 1494-1501(2008). 査読有

8. Conformational changes in the N-terminal region of photoactive yellow protein: A time-resolved diffusion study, Y. Hoshihara, Y. Imamoto, M. Kataoka, F. Tokunaga, M. Terazima, *Biophys.J.*, 94, 2187-2193(2008). 査読有

9. Raman spectroscopic study on the solvation of decafluorobenzophenone ketyl radical and related compounds in 2-propanol from ambient to supercritical temperature, T. Fujisawa, T. Ito, M. Terazima, Y. Kimura, *J. Phys. Chem. A*, 112, 1914-1921(2008). 査読有

10. Transient grating study on vibrational energy relaxation of bridged azulene-anthracene's, H. Fujiwara, M. Terazima, Y. Kimura, *Chem. Phys. Lett.*, 454, 218-222(2008). 査読有

11. Study of sound velocity dispersion in room temperature ionic liquids by the transient grating method, M. Fukuda, M. Terazima, Y. Kimura, *J. Chem. Phys.*, 128, 114508(1-8) (2008). 査読有

12. Signal transmission through the HtrII transducer alters the interaction of two α -helices in the HAMP domain, K. Inoue, J. Sasaki, J. L. Spudich, M. Terazima,

- J.Mol.Biol.*, 376, 963-970(2008). 査読有
13. Protein diffusion probed by the transient grating method with a new type of photochromic molecule, T. Eitoku, M.Terazima, *Photochem.Photbiol.*, 84, 869-873(2008). 査読有
14. Sound velocity dispersion in room temperature ionic liquids studied by the transient grating method, M. Fukuda, M.Terazima, Y. Kimura, *J.Chem.Phys.*, 128 114508 (2008). 査読有
15. Solvent Effects on the Local Structure of p-Nitroaniline in Supercritical Water and Supercritical Alcohols, T.Fujisawa, M.Terazima, Y. Kimura, *J.Phys.Chem.A*, 112, 5515-5526(2008). 査読有
16. Study of the translational diffusion of the benzophenone ketyl radical in comparison with stable molecules in room temperature ionic liquids by transient grating spectroscopy, Y. Nishiyama, M. Fukuda, M.Terazima, Y. Kimura, *J.Chem.Phys.*, 128, 164514(1-9) (2008). 査読有
17. An optical high-pressure cell for transient grating measurements of biological substance with a high reproducibility, Y. Hoshihara, Y. Kimura, M.Matsumoto, M. Nagasawa, M.Terazima, *Rev.Sci.Instrum.*, 79, 034101 (1-5) (2008) 査読有
18. Charge stabilization in reaction center protein investigated by optical heterodyne detected transient grating spectroscopy, H.Omori, L.Nagy, M. Dorogi, M.Terazima, *Eur.Biophys.J.*, 37, 1167-1174(2008). 査読有
19. Distribution analysis for single molecule FRET measurement, K.Okamoto, M.Terazima, *J.Phys.Chem.B*, 112, 7308-7314(2008). 査読有
20. Thermodynamics of apoplastocyanin folding: Comparison between experimental and theoretical results, T.Yoshidome, M. Kinoshita, S. Hirota, N. Baden, M.Terazima, *J.Chem.Phys.*, 128, 225104(1-9) (2008). 査読有
21. Transport properties of binary mixtures of carbon dioxide and 1-butyl-3-methylimidazolium hexafluorophosphate studied by transient grating spectroscopy, M. Demizu, M.Terazima, Y.Kimura, *Anal.Sci.*, 24,1329-1334 (2008). 査読有
22. G-quadruplex structures of human telomere DNA examined by single molecule FRET and BrG⁻ substitution, K.Okamoto, Y.Sannohe, T. Mashimo, H. Sugiyama, M.Terazima, *Bioorg.Med.Chem.*, 16, 6873-6879(2008). 査読有
23. Photochemical reaction and diffusion of caged calcium studied by the transient grating, M. Kondoh, N. Baden, M.Terazima, *Chem.Phys.Lett.*, 462, 58-63(2008). 査読有
24. Stability of dimer and domain-domain interaction of Arabidopsis phototropin 1 LOV2 , Y. Nakasone, T. Eitoku, K. Zikihara, D. Matsuoka, S.Tokutomi, M.Terazima, *J.Mol.Biol.*, 383, 904-913 (2008). 査読有
25. Spectrally silent light induced conformation change in photosynthetic reaction centers, L.Nagy, P.Maróti, M.Terazima, *FEBS Lett.*, 582,3657-3662(2008). 査読有
26. Initial heating mechanism of fluids after photoexcitation of molecules in various phases, M.Terazima, *Eur.Phys.J. ST*, 153, 19-24(2008). 査読有
27. 隠されたタンパク質反応に光を当てる, 寺嶋正秀, 化学, 63, 20-24,(2008). 査読有
28. Application of the transient grating method to the investigation of the photo-thermalization process of malachite green in room temperature ionic liquids, M. Fukuda, O. Kajimoto, M.Terazima, Y. Kimura, *J.Mol.Liq.*, 134, 49-54(2007). 査読有
29. Laser-induced Transient Grating Analysis of Dynamics of Interaction between Sensory Rhodopsin II D75N and the HtrII Transducer, K.Inoue, J.Sasaki, J.L. Spudich, M.Terazima, *Biophys.J.*, 92, 2028-2040(2007). 査読有
30. Photo-reverse-reaction dynamics of octopus rhodopsin, K.Inoue, M. Tsuda, M.Terazima, *Biophys.J.*, 92, 3643-3651(2007). 査読有
31. Dynamics of conformational changes of Arabidopsis phototropin 1 LOV2 with the linker domain, Y.Nakasone, T.Eitoku, D.Matsuoka, S.Tokutomi, M.Terazima, *J.Mol.Biol.*, 367, 432-442(2007). 査読有
32. Transient dimerization and conformational change of a BLUF protein: YcgF , Y.Nakasone, T.Ono, A.Ishii, S.Masuda, M.Terazima, *J.Am.Chem.Soc.*, 129, 7028-7035(2007). 査読有
33. Observation of pressure wave generated by focusing a femtosecond laser pulse inside a glass, M. Sakakura, M.Terazima, K.Miura, K.Hirao, Y. Shimotsuna, *Opt.Express*, 15, 5674-5686 (2007). 査読有
34. Raman spectroscopic study on the

solvation of N,N-dimethyl-p-nitroaniline in room temperature ionic liquids, Y. Kimura, T. Hamamoto, M.Terazima, *J.Phys.Chem.A*, **111**,7081-7089(2007). 査読有

35. Photochemical intermediates of *Arabidopsis* phototropin 2 LOV domains associated with conformational changes, T. Eitoku, Y. Nakasone, K. Zikihara, D. Matsuoka, S.Tokutomi, M.Terazima, *J.Mol.Biol.*, **371**, 1290-1303(2007). 査読有

36. Preparation of gold nanoparticles by the laser ablation in room temperature ionic liquids, Y. Kimura, H. Takata, M.Terazima, T. Ogawa, S. Isoda, *Chem.Lett.*, **36**, 1130-1131(2007). 査読有

37. Thermodynamical properties of reaction intermediates during apoplastocyanin folding in time-domain, N. Baden, S. Hirota, T. Takabe, N. Funasaki, M.Terazima, *J.Chem.Phys.*, **127**, 175103 (1-12) (2007). 査読有

38. Heating and rapid cooling after photoexcitation of bulk glass by focusing a femtosecond laser pulse, M. Sakakura, M.Terazima, Y. Shimotsuma, K. Miura, K. Hirao, *Opt.Express.*, **15**, 16800-16807(2007). 査読有

39. フェムト秒レーザーを用いた透明媒質内部加工における変形過程とエネルギー散逸過程の観測法, 坂倉政明, 寺嶋正秀, 三浦清貴, 平尾一之, *レーザー研究*, **35**, 109-115(2007). 査読有

40. 蛋白質反応における体積変化と圧力効果 寺嶋正秀, 木村佳文, 星原悠司, 日本高圧力学会誌(The review of high pressure science and technology), **17**, No1, 4-12(2007). 査読有

41. 新しいバイオセンサーによるタンパク質間相互作用の時間分解検出, 寺嶋正秀, 生体の科学, **58**, 366-369(2007). 査読有

42. 時間分解タンパク質間相互作用検出法とその応用, 寺嶋正秀, 生物物理学会誌, **47**,235-240(2007). 査読有

43. Photo-excitation dynamics of malachite green in ionic liquids studied by the transient grating method, M.Fukuda, O.Kajimoto, M.Terazima, Y.Kimura, *Ultrafast Phenomena XV*, edited by P. Corkum, D. Jonas, R. J. D. Miller, A. M. Weiner, Springer, 294-296 (2007). 査読有

44. Microscopic Analysis of kinesin-microtubule complex under high hydrostatic pressure, M.Nishiyama, Y.Kimura, M.Terazima, *Biophys.J.*, **499A-500A** (2007). 査読有

45. A line-scanning multiphoton fluorescence spectromicroscope applied to

the study of the thylakoid membrane in cyanobacteria and chloroplasts, S.Kumazaki, M.Hasegawa, M. Ghoneim, M.Terazima, H.Oh-Oka, T.Shiina, *Photosynthesis research*, **91**,211-211 (2007). 査読有

46. 分子分光による生体分子科学の進展, 寺嶋正秀, 学術の動向, **12**, 72-73(2007). 査読有

47. Time-resolved thermodynamics: Heat capacity change of transient species during photo-reaction of PYP, J.S.Khan, Y.Imamoto, M.Kataoka, F.Tokunaga, M.Terazima, *J.Am.Chem.Soc.*, **128**, 1002-1008(2006). 査読有

48. Conformational changes of PYP monitored by diffusion coefficient: Effect of N-terminal α -helices, J.S.Khan, Y.Imamoto, M.Harigai, M.Kataoka, M.Terazima, *Biophys.J.*, **90**, 3686-3693(2006). 査読有

49. Raman spectroscopic study on solvation of diphenylcyclopropenone and phenol blue in room temperature ionic liquids, T. Fujisawa, M.Fukuda, M.Terazima, and Y. Kimura, *J.Phys.Chem.A*, **110**, 6164-6172(2006). 査読有

50. Excitation wavelength dependence of the Raman stokes shift of N,N-dimethyl-p-nitroaniline, T. Fujisawa, M.Terazima, and Y. Kimura, *J.Chem.Phys.*, **124**, 184503(1-9)(2006). 査読有

51. Conformational Changes during Apoplastocyanin Folding Observed by Photocleavable Modification and Transient Grating, S.Hirota, Y.Fujimoto, J.Choi, N. Baden, N. Katagiri, M.Akiyama, R.Hulsker, M.Ubbink, T.Okajima, T.Takabe, N.Funasaki, Y. Watanabe, M.Terazima, *J.Am.Chem.Soc.*, **128**, 7551-7558(2006). 査読有

52. Kinetic measurement of transient dimerization and dissociation reactions of *Arabidopsis* phototropin 1 LOV2 domain, Y.Nakasone, T.Eitoku, D.Matsuoka, S.Tokutomi, M.Terazima, *Biophys.J.*, **91**, 645-653(2006). 査読有

53. Tetramer Formation Kinetics in the Signaling State of AppA monitored by the time-resolved diffusion, P.Hazra, K.Inoue, W. Laan, K.J. Hellingwerf, M.Terazima, *Biophys.J.*, **91**,654-661(2006). 査読有

54. Time-resolved detection of conformational changes in Oat Phytochrome A: Time-dependent diffusion, T.Eitoku, X.Zarate, G.V. Kozhukh, J.-I.Kim, P.-S. Song, M.Terazima, *Biophys.J.*, **91**,3797-3804(2006). 査読有

55. Study on the vibrational energy

relaxation of p-nitroaniline, N,N-dimethyl-p-nitroaniline and azulene by the transient grating method, Y. Kimura, M. Fukuda, O. Kajimoto, M.Terazima, *J.Chem.Phys.*, **125**, 194516 (1-12) (2006). 査読有

56. Diffusion of the platinum ions and platinum nanoparticles during the photoreduction processes using the transient grating method, M.Harada, K.Okamoto, M.Terazima, *Langmire*, **22**, 9142-9149(2006). 査読有

57. Intermolecular interaction of myoglobin with water molecules along the pH-denaturation curve, N.Baden, M.Terazima, *J.Phys.Chem.B*, **110**, 15548-15555(2006). 査読有

58. Diffusion coefficients as a monitor of reaction kinetics of biological molecules, M.Terazima, *Phys.Chem.Chem.Phys.*, **8**,545-557(2006). 査読有

59. 植物はどうやって光を見るのか：青色光受容の分子ダイナミクス解明に向けて, 寺嶋正秀, *化学*, 61, No.3, 72-73 (2006). 査読有

60. Ligand dissociation process from Myoglobin monitored by the time-resolved volume change, M.Terazima, *J.Chine.Chem.Soc.*, **53**, 253-262(2006). 査読有

〔学会発表〕(計 236 件)

1. Time-Resolved Thermodynamics of Chemical Reactions, Y.Nakasone, S.Tokutomi, M.Terazima, 24th European Symposium on Applied Thermodynamics, Santiago de Compostela, SPAIN, June 27 -July 1, 2009

2. Detection of protein fluctuations during reactions by the time-resolved thermodynamics, M.Terazima, 生物物理年会、徳島、2009年10月30-11月1日

3. アポプラスチアニン折りたたみの熱力学理論と実験との定量的比較
吉留崇、木下正弘、廣田俊、馬殿直樹、寺嶋正秀, 第31回溶液化学シンポジウム、近畿大学、2008年11月11日 - 13日

4. Direct time-resolved measurement of the thermodynamical properties of photoreceptor protein "phototropin". Y. Nakasone, T. Ono, A. Ishii, S. Masuda, M.Terazima, Gordon Research Conference on Photoacoustic and Photothermal Phenomena, Ventura, USA, Feb.10-15 (2008).

5. Time-Resolved Thermodynamics of Biological Proteins, M.Terazima, 23rd European Symposium on Applied Thermodynamics, Riviera, France, May 29-June 1(2008).

6. AppA-BLUF ドメインの光反応における熱力学的ダイナミクスの解明, Partha Hazra、井

上圭一、W.Laan, K.J.Hellingwerf、寺嶋正秀, 日本化学会第87春季年会、関西大学、2007年3月25日-28日

7. 時間分解熱力学量から見た、青色光センサー-Phototropinの光反応構造変化, 永徳丈、中曾根祐介、松岡大介、徳富哲、寺嶋正秀, 日本化学会第87春季年会、関西大学、2007年3月25日-28日

8. 青色光センサー蛋白質フォトトロピンの光反応分子機構とその熱力学的ダイナミクス, 中曾根 祐介, 永徳 丈, 松岡 大介, 直原一徳, 徳富 哲, 寺嶋正秀, 第1回分子科学討論会、仙台、2007年9月16日-20日

9. Conformational change of photoactive yellow protein studied by the time-resolved thermodynamics, P.Hazra, 今元 泰, 針貝 美樹, 片岡 幹雄, 寺嶋正秀, 第1回分子科学討論会、仙台、2007年9月16日-20日

〔図書〕(計 5 件)

1. 可視・紫外分光法, 寺嶋正秀・馬場正昭・富宅喜代一・星野幹雄・松本剛昭・宮崎芳雄・西澤潔 共著, 講談社サイエンティフィック (2009)

2. Time-resolved detection of intermolecular interaction of photosensor proteins, M.Terazima, Water and Biomolecules, Physical Chemistry of Life Phenomena, Eds. K.Kuwajima, Y.Goto, F.Hirata, M.kataoka, M.Terazima, Springer, (149- 172), 2009.

3. フェムト秒過渡回折格子法と過渡レンズ法による高速エネルギー・構造変化ダイナミクス観測, 寺嶋正秀、フェムト秒テクノロジー、平尾一之・邱建榮編 化学同人、(2006) (分担執筆)

4. 基礎物理化学, 梶本興亜、寺嶋正秀、佐藤啓文 培風館 (2006)

〔その他〕

ホームページ等

<http://kuchem.kyoto-u.ac.jp/hikari/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

寺嶋 正秀 (TERAZIMA MASAHIDE)

京都大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：00188674