

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 30 年 6 月 22 日現在

機関番号：14301

研究種目：新学術領域研究(研究領域提案型)

研究期間：2013～2017

課題番号：25102004

研究課題名(和文)動的秩序・崩壊のダイナミクスから観る高次機能発現の分子機構解明

研究課題名(英文)Studies on molecular mechanism of dynamic ordering and disassembling of biomolecular systems

研究代表者

寺嶋 正秀(Terazima, Masahide)

京都大学・理学研究科・教授

研究者番号：00188674

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 71,000,000円

研究成果の概要(和文)：生体分子が生命機能を行う際のネットワークは、作られては解離し、解離しては会合するような動的な秩序が本質的に重要である。こうした動的秩序形成を明らかにするために、熱力学量や並進拡散係数を時間分解することのできる過渡回折格子法を用いて、分子間相互作用の時間変化や安定性をリアルタイムで検出する手法を開発した。この手法を用いて、構造揺らぎが会合・解離に重要であることを時間分解で明らかにし、いくつかの光センサータンパク質の分子間会合や解離過程の動的変化を時間分解で検出することに成功した。さらに、光応答DNAの会合・解離過程ダイナミクス計測にも成功するなど、多くの新規な知見を得た。

研究成果の概要(英文)：Dynamical association and dissociation processes are essentially important for biological functions of biomolecules. To reveal the dynamical ordering of proteins and DNA, several new methods for detections of the intermolecular interaction and stability in time-domain have been developed based on the transient grating method, which can monitor the translational diffusion and thermodynamical properties in time domain. Using these methods, it was found that the structural fluctuation controls the association/dissociation reactions. Furthermore, for many photosensor proteins, increase and/or decrease in the intermolecular interaction during the protein reactions were observed. These observations are important to understand the molecule mechanism of the dynamical association/dissociation processes.

研究分野：生物物理化学

キーワード：タンパク質 反応 時間分解 拡散係数 分子間相互作用

### 1. 研究開始当初の背景

生体分子が生命活動を行うには、その分子自体の化学反応が必要ではあるが、その反応で終わりではない。他の分子との分子間相互作用を変化させることで、ネットワークが形成され、それが信号伝達となって下流分子に情報が受け渡され、生理活性を生む。そのネットワークは、単に静的な分子組織体の秩序が形成されるというだけではなく、作られては解離し、解離しては会合するような動的な秩序が本質的に重要である。そのため、生体分子は、まさに分子間相互作用を時間変化させ、離合集散を行うようなシステムとなっている。

こうした動的秩序形成を明らかにするためには、分子間相互作用の時間変化や安定性をリアルタイムで検出する必要があるが、これまではそうした会合変化を時間分解で検出することは非常に困難であった。こうした点で、申請者が着目したのは、古くから用いられている熱力学量や並進拡散係数である。これは分子の大きさや溶媒との摩擦を反映する良い物理量であるが、従来の拡散係数測定法では測定に数分から数時間かかることが多く、特に速いダイナミクスを調べられなかったし、分子体積変化は現在でも非常に測定困難な量であり時間分解測定はだれも成功していなかった。申請者のグループは、過渡回折格子(TG)法を用いて、熱力学量や拡散係数を化学反応ダイナミクスと共に変化する量としてとらえるという独自の画期的な手法を開発してきた。この手法を用いることで通常の分光法ではその存在さえ確認できない中間体を数々発見してきたし、それだけでなく熱力学量を通して短寿命中間体の性質を明らかにすることができ、生体分子研究にはなくてはならない手法であることを示してきた。しかし、この手法を動的秩序・崩壊のダイナミクス検出として使う場合には、いくつかの解決しなくてはならない課題が残されていた。

### 2. 研究の目的

分子間相互作用を時間分解で検出し、実際に機能するシステムで秩序・崩壊のダイナミクスを検出するため、信号解析法の開発と、測定法の改善を試みる。解析法としては、会合・離散の平衡系を扱えるようにする。これまでの我々の研究では不可逆反応を扱っており、またそれが大きな特徴になっていたが、会合・離散の平衡系では解析法が異なってくる。こうした系に対して最適の解析法を開発する。これを適用するターゲットとして、例えば光センサータンパク質の信号伝達過程システムを用いる。これまでの我々の研究により、例えばフォトリポピンの持つ LOV ドメインは 2 量体とモノマーの平衡にあり、光によりその平衡をコントロールしていること、それと類似した機構でドメイン間の信号伝達が行われているらしいことが明らかと

なっている。しかしまだ如何にして分子(ドメイン)間相互作用を変え、如何にして生理活性を生む反応を起こしているのかは不明であるし、速い平衡がある系での信号解析が残されたままになっていた。ここで開発する解析法を用いて、会合・解離反応の時間変化を分子レベルで明らかとする。また、典型的なストレス制御タンパク質 YtvA は、多くのタンパク質との会合・解離を経由して機能を発現することが知られている。ここでは、こうした静的なネットワーク図を超えて、ダイナミックなネットワークとしてこの信号伝達の分子機構を明らかとする。

次に、測定法の開発として、高感度化と一般化を目指す。天然タンパク質では試料が十分には作れず量に制限がある場合が多いし、また実際の生体系では濃度が希薄である時にも対応できるようにするという点で高感度化が重要となる。更に、本手法の一般化を行う。これまで TG 法による測定手法や解析手法を開発してきたが、励起光で濃度分布を作り出すために、光で反応を開始できる系でないと分子間相互作用などを検出するのが困難であった。ここでは光とは関係ないタンパク質まで、申請者が開発してきた手法が適用できる手法を開発し、多くのタンパク質に適用できるシステムとする。

### 3. 研究の方法

これまで不可逆反応に用いていた TG 信号解析法を、速い会合・解離平衡がある場合に適用できるように改良する。TG 法の基本的な原理は、会合変化による屈折率変化を検出するのであるが、それを溶液中で高感度に時間分解で行えるところに特徴がある。この信号強度の時間発展は分子体積変化の速度と拡散係数の変化で決まる。会合変化があればほぼ必ず分子体積変化があり、拡散係数も変化するため、他の手法では検出が困難な時間分解構造変化や会合変化を検出できることになり、タンパク質間相互作用ダイナミクスを検出することができる。この信号の解析は、これまで単純な不可逆反応を対象として行ってきた。平衡がある場合、通常のキネティック解析では平衡を含む速度方程式を解けばよいのだが、ここに空間的濃度変化が寄与する拡散過程が含まれると非常に複雑になり直接的な解析は困難となる。これを解く新しいモデルを提出し、動的秩序・崩壊のダイナミクスを検出する手法を提出する。

これらの方法を光センサータンパク質であるフォトリポピンなどを用いて、その機能に関係する反応機構を分子間相互作用変化と関連付けて時間分解で検出する。特に光感知ドメインと生理学的な機能ドメインを含むマルチドメインタンパク質や動的会合を含むタンパク質について、そうした分子間相互作用変化がドメイン間相互作用とどのように関係しているか、その変化が如何にして次のネットワークに組み込まれていくかを

明らかにする。

#### 4. 研究成果

分子間の構造形成や崩壊は、機能を生み出すために必須であり、それがなぜ起きているかを明らかにすることは重要な問題となる。こうした分子機構を明らかにするため、圧縮率と呼ばれる物理量の時間追跡を行い、反応している最中の「揺らぎ」を時々刻々と追跡した。等温圧縮率は物体の「揺らぎ」とよい相関があることが理論的に知られていたが、この量は定常状態でさえも非常に測定が難しく、時間分解測定はほとんど不可能とされていた量である。ここでは、この熱力学量の短い時間での時間発展を直接観測することに世界で初めて成功した。

対象としたタンパク質は、TePixD と呼ばれる好熱性シアノバクテリアのもつ青色光センサータンパク質である。青色光の受容のために、発色団としてフラビンを結合する BLUF (sensors of Blue Light Using FAD) ドメインを持ち、10 量体構造が溶液中でも保持されている。TePixD を青色光で励起した後の過渡回折格子(TG)信号には、過渡吸収では検出されない時定数をもつ体積膨張を表す信号が観測され、この信号強度から体積変化量を求めることができる。この量を種々の圧力で定量したところ、中間体では「揺らぎ」と直接相関を持つ圧縮率が大きくなっていることを示すことができた。さらに、光強度を増加させて多量体のうちの2つのモノマーを励起すると解離反応が起こらなくなることが我々のこれまでの研究で分かっていたが、その理由を揺らぎが小さくなったためであることを明らかにすることができた。光強度を制御することによって、「揺らぎ」を小さくすると、反応が起こらなくなるのである。この結果は中間体で発生する「揺らぎ」が反応を引き起こす駆動力であることを示唆しており、「揺らぎ」が解離反応過程に関与していることを直接的に示すことに初めて成功したものである。

また、生体分子の動的会合解離過程を観測する手法をフォトトロピン(phot)の持つ LOV1 ドメインに適用し、その基本的な反応がタンパク質間会合であることを示し、そのダイナミクスを明らかにした。phot は、多くの植物が持ち、光屈性や気孔の開閉や葉緑体の運動をコントロールしている代表的な青色光センサータンパク質である。高等植物では2種類の phot(phot1, phot2)を持ち、さらにそれぞれの phot は LOV ドメインと呼ばれる光受容を担うドメインを2つ(LOV1, LOV2)有している。その光反応は多くの興味を集めているが、いくつかの反応ドメインがあるため、各ドメインの反応を知ることが必要となる。しかし、LOV1 ドメインの反応については、ほとんどの分光法で顕著な変化を検出することができず、不明のまま残されていた。

この反応について、我々のグループが開発

してきた時間分解拡散係数法を適用し、反応スキームを明らかにした。さらに、その由来を知るために、タンパク質濃度を変化させたところ、励起状態数で規格化すると、濃い溶液の方が信号強度が減少することが分かった。このことは、会合状態によって反応が変わり、会合数が小さい分子種が拡散係数変化の反応を起こすことを示している。またその反応速度は濃度に比例して増加することが分かった。さらに、ゲル濾過測定によって、溶液中にはモノマーとダイマーが存在することが分かった。以上の結果より、phot1LOV1 では、基底状態でモノマーとダイマーが動的平衡にあり、モノマーの光励起によりダイマーが生成すること、ダイマーの光励起では反応が起こらないことなどが明らかとなった。さらに温度依存性の測定により、低温でダイマーが増えることや、その熱力学パラメータを決めることもできた。最近では光遺伝学などいろいろなところで応用がなされている LOV ドメインであるが、その基本的な反応が分子間反応であることは興味深いし、また新しい応用を考察するうえで重要な知見になると思われる。

近年、アゾベンゼンを利用した光応答性 DNA が開発され、遺伝子発現の光制御や光駆動型 DNA ナノマシンの開発など様々な面で応用が期待されている。この原理は、アゾベンゼンを DNA の側鎖にリンカーを介して導入した状態でアゾベンゼンへの光照射によってシス・トランス異性化反応を起こさせる。トランス体は隣接する塩基対間にインターカレートし、スタッキング相互作用により二重鎖を安定化する一方、シス体は非平面構造を持つため立体反発を生じ二重鎖を不安定化するため、光で会合・解離を制御できるというものである。本研究ではその分子機構を明らかにすべく、TG 法により会合・解離ダイナミクスを調べた。TG 法のユニークなところは拡散係数変化として会合状態と解離状態を明確に検出でき、さらにその時間分解が可能などところである。

アゾベンゼンを導入した DNA と、その相補鎖 DNA を含む試料について紫外光励起(トランス体→シス体)により得られた TG 信号は、速い時間に熱拡散信号、2~40 ms 付近に立ち上がり減衰からなる分子拡散信号が観測された。山形の拡散信号が得られたことは光照射で拡散係数が変化していることを示す明確な証拠である。屈折率変化の符号関係より立ち上がりが生成物、減衰が反応物の拡散信号と同定され、トランス体からシス体への異性化によって拡散係数の増加を伴う反応が誘起されることがわかった。この拡散係数変化は相補鎖を含まない試料では観測されなかったことから、異性化によって不安定化した二重鎖が解離する過程を捉えたものと同定した。さらに格子波数を変えて測定した結果、拡散係数変化(解離反応)の速度が求まり、アゾベンゼンの異性化速度よ

り  $10^7$  倍も遅いことが明らかとなった。すなわち、DNA は異性化直後に高速で解離するわけではないことがわかった。さらに、濃度依存性の実験により、アゾベンゼンがシス体の時の会合速度と解離速度を決めることができた。

枯草菌 (*Bacillus subtilis*) 由来の青色光センサータンパク質である YtvA は転写因子である  $\sigma^B$  の活性調節を介して環境ストレス(光、熱、塩濃度など)に対する応答を制御する。その構造は光受容を担う LOV ドメイン、活性部位である STAS (Sulfate Transporter and Anti-Sigma factor antagonist) ドメイン、そしてこれらをつなぐ linker ドメインからなっている。ここでは他の手法では検出できない変化まで検出できる TG 法を用いて、機能やシグナル伝達過程において重要なドメイン単位で切り取ったサンプル、YLOV-linker、N 未 extension のついた N-YLOV、そして N 未 extension と linker のついた N-YLOV-linker について反応を調べ、それぞれの光反応ダイナミクスを明らかにした。

YLOV の TG 信号は、拡散係数変化がないことを示していた。一方で、N-YLOV と YLOV-linker では、顕著な拡散係数変化が観測された。しかし興味深いことに、これらのサンプルの CD スペクトル変化は YLOV の場合と同じであり、顕著な違いは見られなかった。すなわち、ヘリックス含有量や 2 次構造変化がないにもかかわらず、拡散係数変化が検出されたことになる。この違いは N 未 extension と linker のヘリックス構造の回転に由来していると同定した。また、N-YLOV-linker では、さらに大きな拡散係数変化が観測された。この摩擦係数を計算すると、YLOV-linker と N-YLOV のほぼ和になっており、N 未 extension と linker の構造変化はほぼ独立と考えられる。また、LOV ドメイン自身は光励起で大きな構造変化を起こしていないにもかかわらず、それに付随した部分に変化が起こっていることは、平均構造が変わらないまま揺らぎが大きくなって、構造変化を引き起こすトリガーになっているのではないかと推測された。

我々は高い時間分解能で揺らぎを捉えるべく、TG 法および過渡レンズ法による測定を高圧条件下で行った。測定の結果、反応中間体と基底状態の体積揺らぎの差が求められ、中間体は基底状態よりも大きく揺らいでいることが分かった。更に、TG 法を用いて LOV ドメインと発色団の間の共有結合形成過程における体積変化を 0.1 MPa から 150 MPa までの圧力範囲で測定し、その圧力依存性から、S390 状態に移る過程において体積揺らぎがすでに大きく増大していることが分かった。こうした測定から各中間体における体積揺らぎを求めることに成功した。これは「揺らぎ」が反応を引き起こす駆動力であることを示しており、「揺らぎ」がドメイン間相互作用にも重要であることを直接的に初

めて捉えたものである。

## 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 27 件)

1. Photoreaction Dynamics of LOV1 and LOV2 of Phototropin from *Chlamydomonas Reinhardtii*, Y. Nakasone, M. Ohshima, K. Okajima, S. Tokutomi, M. Terazima, *J.Phys.Chem.B*, 122, 1801-1815(2018). doi: 10.1021/acs.jpcc.7b10266
2. Sequential DNA binding and dimerization processes of the photosensory protein EL222, A. Takakado, Y.Nakasone, M. Terazima, *Biochemistry*, 57,1603-1610(2018). doi: 10.1021/acs.biochem.7b01206
3. Photoreaction of BlrP1: a role of nonlinear photo-intensity sensor, K. Shibata, Y. Nakasone M. Terazima, *Phys.Chem.Chem.Phys.*, 20,8133-8142(2018). doi: 10.1039/c7cp08436f
4. 光熱変換現象の時間分解検出と化学反応解析への応用, 寺嶋正秀, *分光研究*, 67, 22-34(2018).
5. Light-Induced Conformational Changes of the LOV2-Kinase and the Linker Region in *Arabidopsis Phototropin2*, A. Takakado, Y. Nakasone, K. Okajima, S. Tokutomi, M. Terazima, *J.Phys.Chem.B*, 121, 4414-4421(2017). DOI: 10.1021/acs.jpcc.7b01552
6. Comparative study of thylakoid membranes in terminal heterocysts and vegetative cells from two cyanobacteria, *Rivularia M-261* and *Anabaena variabilis*, by fluorescence and absorption spectral microscopy, S.Nozone, M. Katayama, M. Terazima, S. Kumazaki, *Biochim. Biophys. Acta*, 1858, 742-749(2017). doi: 10.1016/j.bbabi.2017.05.007.
7. Photoinduced dimerization of a photosensory DNA-binding protein EL222 and its LOV domain, A. Takakado, Y.Nakasone, M. Terazima, *Phys.Chem.Chem.Phys.*, 19,24855-24865(2017). doi: 10.1039/c7cp03686h.
8. Conformational and Intermolecular Interaction Dynamics of Photolyase/Cryptochrome Proteins Monitored by the Time-resolved Diffusion Technique, M.Kondoh, M. Terazima, *Photochem. Photobiol.*, 93, 15-25(2017).
9. Characterization of thylakoid membrane in filamentous cyanobacteria and green alga with dual-detector fluorescence lifetime imaging microscopy with a systematic change of incident laser power, S. Nozue, A. Mukuno, Y. Tsuda, T. Shiina, M. Terazima, S. Kumazaki, *Biochim. Biophys.Acta.*,1857,46-59(2016). doi: 10.1016/j.
10. Time-resolved fluctuation during the photochemical reaction of a photoreceptor protein: Phototropin1LOV2-Linker, K.Kuroi, F. Sato, Y. Nakasone, K. Zikihara, S. Tokutomi, M. Terazima, *Phys.Chem.Chem.Phys.*, 18, 6228

-6238 (2016). doi: 10.1039/c5cp07472j.

11. Macromolecular crowding effect for photoreactions of LOV2 domains of *Arabidopsis thaliana* phototropin 1, T. Yoshitake, T. Toyooka, Y. Nakasone, K. Zikihara, S. Tokutomi, M. Terazima, *J.Mol.Liq.*, 217, 43-50(2016). <http://dx.doi.org/10.1016/j.molliq.2015.08.030>

12. Photochemical reactions of the LOV and the LOV-linker domains of the blue light sensor protein YtvA, S. Choi, Y. Nakasone, K. J. Hellingwerf, M. Terazima, *Biochemistry*, 55, 3107-3115(2016). DOI: 10.1021/acs.biochem.6b00263

13. Anomalous pressure effects on the photoreaction of a light-sensor protein from *Synechocystis*, PixD (Slr1694), and the compressibility change of its intermediates, T. Nakajima, K.Kuroi, Y. Nakasone, K. Okajima, M. Ikeuchi, S. Tokutomi, M. Terazima, *Phys.Chem. Chem.Phys.*, 18, 25915-25925(2016). DOI: 10.1039/C6CP05091C

14. Dynamics of Inter-DNA Chain Interaction of Photoresponsive DNA, Y. Nakasone, H. Ooi, Y. Kamiya, H. Asanuma, M. Terazima, *J.Am.Chem. Soc.*, 138, 9001-9004(2016). DOI: 10.1021/jacs.6b02525

15. Time-resolved detection of light-induced dimerization of monomeric Aureochrome-1 and change in affinity for DNA, Y. Akiyama, Y. Nakasone, Y. Nakatani, O. Hisatomi, M. Terazima, *J.Phys.Chem.B*, 120, 7360-7370(2016). DOI: 10.1021/acs.jpcc.6b05760

16. 圧力印加過渡回折格子法による反応中のタンパク質圧縮率の時間分解計測, 黒井邦巧, 寺嶋正秀, *熱測定*, 43, 66-71(2016).

17. Pressure-sensitive reaction yield of the TePixD blue-light sensor protein, K. Kuroi, K. Okajima, M. Ikeuchi, S. Tokutomi, T. Kamiyama, M. Terazima, *J.Phys.Chem.B*, 119, 2897- 2907 (2015).Doi: 10.1021/jp511946u

18. Reaction dynamics of the UV-B photosensor UVR8, T. Miyamori, Y. Nakasone, K. Hitomi, J.M. Christie, E. D. Getzoff, M. Terazima, *Photochem.Photobiol.Sci.*, 14, 995 - 1004(2015).

19. Transient conformational fluctuation of TePixD during a reaction, K.Kuroi, K. Okajima, M. Ikeuchi, S. Tokutomi, M. Terazima, *Proc.Natl.Acad.Sci.USA*, 111, 14764-14769 (2014).doi:10.1073/pnas.1413222111

20. Photo-induced inter-protein interaction changes in the time domain; a blue light sensor protein PixD, M. Terazima, *Rapid Comm. Photosci.*, 4, 1-8 (2015). ISSN 2288 -4564

21. Photo-Induced Oligomerization of *Arabidopsis thaliana* Phototropin 2 LOV1, Y.Nakasone, Y. Kawaguchi, S.-G. Kong, M. Wada, M. Terazima, *J.Phys.Chem.B*, 118, 14314-14325(2014).DOI: 10.1021/jp509448b

22. High hydrostatic pressure induces CCW to CW reversals of the *Escherichia coli* flagellar

motor, M.Nishiyama, Y.Sowa, Y.Kimura, M. Homma, A. Ishijima, M. Terazima, *J.Bacteriol.*, 195,1809-1814(2013). doi:10.1128/JB.02139-12

23. Anomalous diffusion of TePixD and identification of the photoreaction product, K.Kuroi, K.Tanaka, K.Okajima, M. Ikeuchi, S. Tokutomi, M. Terazima, *Photochem.Photobiol. Sci.*, 12, 1180-1186(2013). DOI: 10.1039/c3pp25434h

24. Photochemistry of *Arabidopsis* phototropin 1 LOV1: transient tetramerization, Y. Nakasone, K. Zikihara, S. Tokutomi, M. Terazima, *Photochem. Photobiol.Sci.*, 12, 1171-1179(2013). DOI: 10.1039/c3pp50047k

25. Anomalous ground-state proton transfer of 4'-N,N-diethylamino-3-hydroxyflavone in ionic liquids of imidazolium-based cations with tetrafluoroborate, K. Suda, M. Terazima, H. Sato, Y. Kimura, *Chem. Comm.*, 49, 3976-3978 (2013). 10.1039/c3cc40943k

〔学会発表〕(計 194 件)

1. いかにして刺激受容後にタンパク質分子全体の構造変化過程や標的分子との分子間反応過程を時間分解で捉えるか, 寺嶋正秀, 分子研研究会「触媒反応であるタンパク質反応を分子科学的観点から捉える」2017年6月14日

2. Multiphoton excitation controls inter-protein interaction of light sensory proteins, M. Terazima Gordon Research Conference on photochemistry, Bates College in Lewiston ME, USA, July 23-28, 2017.

3. 蛍光異方性解消法を用いたタンパク質の構造変性と回転拡散係数の関係に関する研究, 吉武智之, 寺嶋正秀, 日本化学会 第97春季年会、慶應義塾大学、2017年3月16日-19日

4. Reaction dynamics of photo-activation and DNA-binding of the light-dependent DNA binding protein EL222, A. Takakado, Y. Nakasone, M. Terazima, 日本化学会 第97春季年会、慶應義塾大学、2017年3月16日-19日

5. Driving force that controls a protein reaction for optogenetics, M. Terazima, *Frontiers in Optics 2016*, Rochester, New York, 17-21 October 2016

6. 光依存的なDNA結合タンパク質EL222の光刺激構造変化のダイナミクス, 高門輝, 中曾根祐介, 寺嶋正秀, 分子科学討論会, 神戸, 9月13-15日, 2016

7. TG法による光応答性DNAの反応ダイナミクスの観測, 端村航, 中曾根祐介, 大威英晃, 神谷由紀子, 浅沼浩之, 寺嶋正秀, 分子科学討論会, 神戸, 9月13-15日, 2016

8. BLUFタンパク質PapBの光反応および下流分子PapAとの相互作用ダイナミクス, 中曾根祐介・菊川耕太郎・増田真二・寺嶋正秀, 日本化学会 第96春季年会、同志社大学、2016

年 3 月 24 日 - 27 日

9. 回転拡散係数に対するタンパク質の二次構造変化の影響, 吉武智之・寺嶋正秀, 日本化学会 第 96 春季年会、同志社大学、2016 年 3 月 24 日 - 27 日

10. Spectrally Silent Dynamics of Photo-induced Protein-Protein Interaction Change, M. Terazima Trombay Symposium on Radiation & Photochemistry & 6th Asia Pacific Symposium on Radiation Chemistry, Mumbai, India, Jan., 5-9, 2016.

11. How to detect photoreactions of proteins: Blue light sensors, M. Terazima, International Workshop on Radiation and Photochemistry, Pune, India, Jan. 10-12, 2016

12. 光制御転写因子 Aureochrome1 の二量体化反応および DNA との相互作用ダイナミクス, 秋山 祐樹, 中曽根 祐介, 久富 修, 中谷陽一, 寺嶋正秀, 分子科学討論会、東京工業大学大, 2015 年 9 月 16 日 - 19 日

13. 光応答性 DNA の二重鎖形成および解離反応の時間分解検出, 中曽根祐介、大威英晃、神谷由紀子、浅沼浩之、寺嶋正秀, 分子科学討論会、東京工業大学大, 2015 年 9 月 16 日 - 19 日

14. タンパク質反応における揺らぎと動的分子間相互作用, 寺嶋正秀, 分子科学討論会、東京工業大学大, 2015 年 9 月 16 日 - 19 日

15. Protein diffusion of reaction intermediates under crowded condition, M. Terazima, International Conference on Fluid Flow, Heat and Mass Transfer, Ottawa, April 30 - May 1, 2015

16. 時間分解拡散係数法を用いた赤色光センサー蛋白質 Cph1 の光反応ダイナミクスの検出, 武田公利・寺嶋正秀, 日本化学会 第 95 春季年会、日本大学、2015 年 3 月 26 日 - 29 日

17. 青色センサータンパク質 SyPixD の反応への圧力効果, 中島翼・黒井邦巧・岡島公司・池内昌彦・徳富哲・寺嶋正秀, 日本化学会 第 95 春季年会、日本大学、2015 年 3 月 26 日 - 29 日

18. 光応答性 DNA の二重鎖形成および解離反応の時間分解検出, 中曽根祐介・大威英晃・神谷由紀子・浅沼浩之・寺嶋正秀, 日本化学会 第 95 春季年会、日本大学、2015 年 3 月 26 日 - 29 日

19. 揺らぎと分子間相互作用, 寺嶋正秀, 国際高等研究プロジェクト「分子基盤に基づく生体機能ネットワークとダイナミクスの解明」2015 年 3 月 17 日

20. Studies on molecular mechanism of dynamic ordering and disassembling of biomolecular systems: TePixD, K. Kuroi, K. Okajima, M. Ikeuchi, S. Tokutomi, M. Terazima, The 3rd International Symposium on Dynamical Ordering of Biomolecular Systems for Creation of Integrated Functions, Mie, Jan., 10,11,2015.

{ 図書 } ( 計 4 件 )

1. Transient Grating Spectroscopy: Dynamics of Photoreceptors, Novel physical chemistry approaches in biophysical researches with advanced application of lasers: detection and manipulation, K. Iwata; M. Terazima; H. Masuhara, BBA - General Subjects, 1862, 335-357(2018). doi: 10.1016/j. bbagen. 2017.11.003

2. Time-Resolved Detection of Protein Fluctuations During Reactions, M. Terazima, Molecular Science of Fluctuations Toward Biological Functions, Eds., M. Terazima, M. Kataoka, R. Ueoka, 1-28, 2016, Springer. ISBN 978-4-431-55840-8

3. 現代物理化学, 寺嶋正秀、馬場正昭、松本吉泰, 2015 年 化学同人 ISBN 978-4-7598-1809-3

4. 「揺らぎ・ダイナミクスと生体機能—物理化学的視点から見た生体分子—」寺嶋正秀編、化学同人, 2013

{ 産業財産権 }

出願状況 ( 計 0 件 )

名称 :  
発明者 :  
権利者 :  
種類 :  
番号 :  
出願年月日 :  
国内外の別 :

取得状況 ( 計 0 件 )

名称 :  
発明者 :  
権利者 :  
種類 :  
番号 :  
取得年月日 :  
国内外の別 :

{ 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

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者

(4) 研究協力者