

令和元年6月24日現在

機関番号：14401

研究種目：新学術領域研究(研究領域提案型)

研究期間：2014～2018

課題番号：26107002

研究課題名(和文)多重光子過程を利用した光反応の高次制御

研究課題名(英文)Advanced Control of Photochemical Reactions by Multiple-Photon Processes

研究代表者

宮坂 博(Miyasaka, Hiroshi)

大阪大学・基礎工学研究科・教授

研究者番号：40182000

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 81,200,000円

研究成果の概要(和文)：多原子分子では高位電子励起状態から最低励起状態への迅速な緩和のため、電子状態に強く依存した反応はほとんど知られていなかった。我々は凝縮系のフォトクロミック分子系の研究から、高位電子状態の開環反応の促進や励起モードに依存した反応を見出してきた。これらの結果に基づき、本課題では高位電子状態の利用とその一般化手法の開拓を目的とし、超高速多段励起システムを構築し、高位電子状態のダイナミクス、二光子反応の効率化、高位励起状態からの反応過程の開拓の3点から研究を行った。その結果、6電子系の高位電子状態からの開環反応に関わる電子状態や核配置の解明、また高位電子状態からの電子放出の機構を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

多原子分子では高位電子励起状態から最低励起状態への迅速な緩和のため、励起に用いられた光エネルギーの損失が起こるとともに、電子状態に強く依存した反応を進行させることも困難であった。これらの高位電子励起状態分子の共通の特徴は、効率的な光エネルギー利用における大きさ制限になっていた。本課題では凝縮系において大きな多原子分子である6電子系の高位電子状態からの特異的高効率開環反応や芳香族分子系の電子放出を主な対象に詳細な研究を行い、反応に関わる高位電子状態や核配置の観点から機構を解明した。これらの結果は分子系を用いた光の有効利用に対する共通制限の超克に対し、重要な知見を与えたものとして位置づけられる。

研究成果の概要(英文)：Because of the rapid relaxation from higher electronic excited state to the lowest one, the reaction strongly dependent on the electronic state was hardly known for the polyatomic molecules. From studies of photochromic molecules in condensed phase, however, we found efficient ring-opening reactions in highly excited states attained by the stepwise two-photon absorption and responses dependent on the excitation mode. On the basis of these studies, we aimed the elucidation of these reactions, realization of more effective reactions in highly excited state, and the exploration of the new reactions in highly excited state in the present project. By developing the precise detection system with the multiple excitation of femtosecond laser pulses, we revealed the electronic state and nuclear configuration for the ring-opening reaction from the high-order electron state of the 6 electron system and the mechanism of the electron transfer and ejection from the high-order electron state.

研究分野：物理化学

キーワード：光化学 多重励起プロセス 多光子過程 光機能 超高速分光 フォトクロミズム

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

分子の電子状態を励起波長により選択し、その電子状態に依存した反応を進行させることは、光化学の大きな目標の1つである。同じ分子でも、電子状態が異なればその性質は異なるので、励起波長(電子状態)を変えることによって原理的には異なる物性、反応性を発現させることが期待できる。しかしKasha 則として知られているように、10 から 20 原子分子以上からなる大きな分子では、たとえ高位電子励起状態が生成しても、迅速な無輻射遷移(サブピコ秒程度)により最低電子励起状態(多くの場合には  $S_1$  状態)に緩和する。特に凝縮系では、内部変換に続く振動縦緩和(クーリング)によって、 $S_1$  状態の疑似熱平衡状態(蛍光状態)へと、エネルギー緩和も進行するため、イオン化エネルギーを超えるような高い電子状態生成を除外し、高位電子励起状態から特異的な反応を進行させることは、一般的には困難であった。

我々は、パルスレーザーを用いたフルギドやジアリールエテンなどの有機フォトクロミック化合物の光反応挙動の研究を行い、図1に示すように、可視1光子励起では非常に開環反応収率の小さな分子(量子収率 $\leq 1\%$ )でも、逐次2光子励起により生成した高位電子状態から、非常に大きな収率( $\geq 50\%$ )で開環反応を行うこと、また可視2光子励起のエネルギーにほぼ等しい紫外1光子励起を行った場合には、このような高い収率を持つ反応は進行しないことを見いだした。Kasha 則を超えた高位電子状態の反応挙動ダイナミクスについては、筆者らの報告以来、国際的にも実験や理論グループからの報告がなされており、今後の高次光機能開拓に関わる手法としての応用が期待されていた。

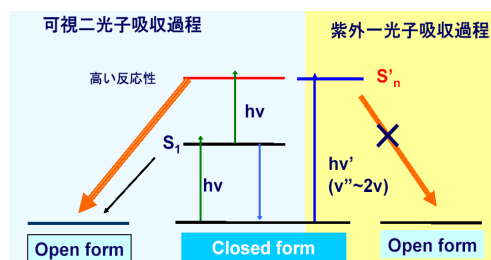


図1. 多光子吸収によるフォトクロミック分子系

### 2. 研究の目的

上記の2光子開環反応は、可視1光子反応収率と比較した場合、同じ入射光子数に対して著しい場合には2500倍を超える大きな値が得られている。このような非線形応答は、光読みだしと光消去能を併せ持つ光メモリーの実現などの応用的観点からも興味深い結果であるとともに、基礎的にも高位励起状態からの反応機構の解明は、Kasha 則を超える光化学応答の開拓に対しても重要な知見を与える。そこで本研究では、2光子吸収で生成した高位電子励起状態の開環反応ダイナミクスの解明、この知見に基づく逐次2光子反応の高効率化、新規逐次2光子の開拓の観点から研究を行い、本新学術領域の他研究者に対しても多重励起、多光子励起の有効的利用法を提示することを目的とした。

### 3. 研究の方法

(1) 高精度フェムト秒2パルス励起システムの構築：上記の紫外1光子吸収と可視逐次2光子吸収に依存した反応挙動の違いは、基底状態からは1光子光学禁制あるいは垂直遷移では到達できない高位電子状態が効率の良い反応に関与していることを示す。一般に逐次2光子吸収では、1光子目の吸収で生成した励起状態がその寿命の間に2光子目の吸収を行う。したがって、低い電子励起状態において構造変化が進行する場合には、2光子目の吸収で生成する高位電子励起状態の核配置は、基底状態からの垂直遷移で到達できる状態のものとは異なることが期待できる。一般に、高位電子励起状態の寿命はサブピコ秒程度と短いので、大きな構造緩和を起こす前に元の低位電子励起状態へと失活する。したがって高位励起状態からの反応では、電子状態のみならず、励起 Franck-Condon 核配置が反応の効率に対して重要な役割を果たすと考えられる。

2つのフェムト秒レーザーパルスを励起光として、両パルスの励起波長、また2つの励起パルスの時間間隔( $\tau$ )を変化させて2光子反応量を測定する手法は、高位電子状態や分子の構造に関する詳細な知見の獲得を可能とする。しかし過渡吸収測定は、励起したときとなかった時の“差”として信号が与えられるものであるのに対し、逐次2光子励起は1光子目で生成した励起状態を、さらにもう1光子吸収させ、その励起を行ったときとなかった時の“差”として信号を得ることになる。いわば“差”の“差”として信号を得る方法であるため、非常に高い実験精度が必要となる。特に、基底状態の吸収に共鳴する波長で逐次2光子励起を行う場合には、励起状態と基底状態の間で光吸収の競争が起こる。したがって効率良く励起状態が2光子目を吸収するためには、多数の分子が励起状態に存在している必要がある。しかし過渡吸収測定条件でのフェムトパルスのエネルギーは、非共鳴の非線形現象を避けるため、せいぜい数  $\mu\text{J}/\text{mm}^2$  程度以下に出力を抑える必要があり、通常は励起体積中の基底状態分子の中で数%程度以下の分子しか励起できない。これらの実験的な制限を超えた信号検出のために、新たに安定なOPA(光学パラメトリック増幅器)の導入などを行いレーザー光源の安定性を向上させるとともに、検出系を改良した微弱変化量を測定可能な高精度フェムト秒2パルス励起システムを構築した。

(2) 非共鳴同時2光子吸収による開環反応ダイナミクスの測定：非共鳴2光子吸収では、基底状態から禁制の電子状態への励起をより容易に行うことができる。特にフルギドやジアリールエテンのような6電子系の開環反応(閉環体から開環体が生成)の場合には、閉環体の低位励起状態( $S_1$ )において、1B状態から2A状態への電子状態変化が理論的にも示されており、

非共鳴 2 光子の励起エネルギーと逐次 2 光子吸収で生成する電子状態のエネルギーレベルが同程度の場合、同時 2 光子励起と逐次 2 光子の反応挙動を比較することで、電子状態の違いと反応性の関係、また励起 FC の配置に対する詳細な知見の獲得が可能となる。このために非共鳴同時 2 光子励起による過渡吸収測定系を構築し測定に用いた。

(3) 高位電子励起状態からの光反応の開拓：6 電子系の開環反応のみならず、より多種の高位電子励起状態からの反応の開拓のために、上記の手法を用いて高位電子状態からの電子移動反応や電子放出過程の動的挙動の測定と機構の解明を行った。

#### 4. 研究成果

(1) 可視逐次 2 光子励起によるジアリールエテンやフルギド誘導体の開環反応機構：

可視一光子開環反応収量の異なる種々のジアリールエテン開環体を対象に、2 つのフェムト秒レーザーパルスを用い、そのパルス間隔 ( $t$ ) や波長 ( $\lambda_1, \lambda_2$ ) を変化させ二光子開環反応量の  $t$  や  $\lambda_1, \lambda_2$  に対する依存性の測定を行った。一例を図 2 に示す。一例を図 2 を示す。この図に示したジアリールエテン誘導体は、可視定常光照射による開環反応量子収率は 1% 程度と小さい。一方、ピコ秒 532nm 照射によって逐次二光子励起を行った場合には、生成した高位励起状態からの反応収率は 50% と大きい[1]。フェムト秒 2 パルス励起による測定の結果、

基底状態から 1 光子吸収で生成する 1B 電子状態から、更に 1 光子吸収して生成する高位励起状態では高い開環反応収量は得られないが、2A 電子状態から光吸収により生成した高位励起状態からは大きな収率で開環反応が進行すること、また更に、2A 状態における構造緩和の後にもう一光子吸収して生成した高位励起状態からは、より高収率 (90%) に開環反応が進行することがわかった (図 2) [2]。この結果は、図 3 に示すように、A (対称) 電子状態から許容光吸収で生成する B (反対称) 電子状態では、環開閉に関与する C-C 結合間に波動関数の節の存在が考えられるが、一方、逆に B から A 状態への遷移では節が存在せず、開環反応に大きく寄与しないと考えると、軌道の対称性に基づく反応性の違いとして説明できる。

既に、“3. 研究の方法” の項でも述べたように、一般に高位電子励起状態の寿命は数 100 fs 以下と短い (この系では 300 fs)。そのため、媒体の配向や反応分子の構造の多数回の揺らぎの中で進行する通常の化学反応とは大きく異なり、分子の大きな構造変化が進行する前に励起状態は失活する。したがって、この結果は、2 光子目の吸収の始状態が遷移後の高位電子励起状態において反応に適した構造であることが効率の良い反応に重要であり、電子状態の対称性だけでなく垂直遷移では到達できない分子構造を選択することも、反応に対して重要な役割を果たすことが示された。そこで、 $S_1$  近傍の励起状態の減衰挙動にコヒーレント振動信号の観測される系に対して、この振動位相に合わせて 2 番目のパルスを照射した結果、振動位相に依存した多光子開環反応量の大きな変調が観測された。このことも上記の考え方を支持するものである。

また種々の系に測定を展開した結果、逐次 2 光子過程による反応量の増大は、一般に可視一光子開環反応収率の小さな系では顕著であるが、1 光子開環収量の大きな系では高位電子状態からの収率が小さいことも見出した。モデル系であるシクロヘキサジエンとは異なり、種々の置換基を持つこれらのフォトクロミック分子系では、実際の励起状態は純粋な A と B 状態では無く、いわば両者の性質が混在したものと考えられる。したがって B 状態の寄与の大きな系 (可視 1 光子開環反応収率の大きな系) では許容遷移で生成する高位励起状態において A 状態の寄与が大きくなるためと考えられ、基本的には上記の波動関数の対称性に基づく解釈を支持する。また種々のフルギド誘導体にも研究を展開し同様の結果を得ており、6 電子系における共通の反応機構が確認できた[3]。

(2) 非共鳴同時二光子吸収による開環反応：

同時 2 光子吸収の場合にも、逐次 2 光子吸収のように、1 光子吸収とは異なる電子状態が生成する。ただし、この 2 つの方法でエネルギーレベルとしてはほぼ等しい励起状態が生成しても、その吸収過程の違いにより異なる電子状態が生成することが期待できる。さらに同時 2 光子吸収過程は基本的に垂直遷移であるので、励起 Franck-Condon 核配置は基底状態と同じと考えられる。したがってこれらの電子状態の違いや核配置の違いから、異なる緩和過程や反応性が期待できる。そこで 2 光子吸収断面積の大きな系を探索し、いくつかのジアリールエテン誘導体の開環体の同時 2 光子吸収による開環反応性を測定した[4]。この開環体分子を紫外 365nm で励起した場合には、2-3% の反応収率で開環反応が進行するが、730nm で非共鳴 2 光子励起した場合には約 20% と高い収率が得られた。一方 365nm のエネルギー 3.4eV と同程度のエネルギーに対応する 600nm (Pump1) と 880nm (Pump2) で逐次 2 光子励起を行った場合には、高位励

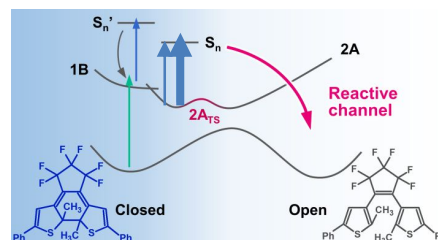


図 2. ジアリールエテン誘導体の多重励起による開環反応.

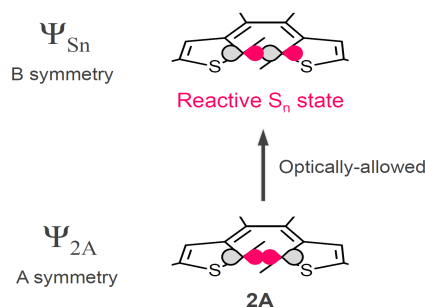


図 3. 2A 状態から光学許容遷移で到達する波動関数の模式図.

起状態から開環反応率はせいぜい 1%程度と小さく、それぞれの励起手法によって異なる電子状態が生成することが判明した。これらの違いの詳細な説明は今後の課題であるが、いずれにせよ励起モードの違いにより異なる電子状態にアクセスできること、またこれを利用して効率的な反応の促進が可能であることがわかった[4]。

(3) 高位電子励起状態からの反応開拓：

この逐次 2 光子励起法を光イオン化ダイナミクスの直接測定に応用し、気相中のイオン化電圧より低いエネルギーで進行する溶液中の光イオン化では、サブピコ秒程度の寿命を持つ特異な電子状態からイオン化が進行することを明らかにした[5]。また本新学術領域計画班の阿部 G との共同研究により、可視逐次 2 光子吸収により高位電子励起状態からの選択的な電荷分離反応を経たラジカル解離型フォトクロミック分子系[6]、小林(阿部 G 分担者)らとの共同研究による半導体量子ドットの逐次 2 光子電子移動系の開拓を行った[7]。

(4) CW 単一波長レーザーによる複合光応答：

開環体(蛍光 OFF)状態 - 閉環体(蛍光 ON 状態)のように蛍光スイッチングを行うジアリールエテン誘導体は、超解像蛍光イメージングへの応用も期待されている。一般には OFF-ON 過程は紫外光で、蛍光励起と ON-OFF 過程は可視光で行うため、光源は少なくとも 2 つ必要であり、また OFF-ON 過程に用いる紫外光のため試料劣化が進行しやすいなどの欠点があった。本研究では、開環体吸収の長波長端に現れる Urbach tail (ホットバンド)を利用することで 蛍光性ジアリールエテンの開環体の 1 光子励起が可能となることを見出し、閉環反応により生成した蛍光性閉環体を用いた 1 波長による OFF ON、ON OFF、蛍光励起可能な解像蛍光イメージングを実現した[8,9]。これは多数光子による複合応答ではないが、1 つの波長の光子が多数の役割を果たして新規機能の発現に至る複合応答に対応する。この方法を用いた場合、連続して 3 - 5 時間以上の測定が可能であり、光誘起相分離挙動などの複合メソスコピック光応答に関わるスロ - ダイナミクスの研究への展開も可能となった。

(5) メソスコピック粒子の複合光応答の開拓：

A03 阿部 G、森本 G と共同で、光圧により捕捉された数 100 nm から数  $\mu\text{m}$  サイズの微粒子に対して、内包されるフォトクロミック分子の光反応を誘起することによって、勾配力、吸収力、散乱力のバランスを変化させ、メソスコピックサイズの可逆的並進運動を誘起できることを示し複合励起・複合応答系の発展を行った[10,11]。

(6) その他

分担者の長澤、公募班の出羽グループとの共同研究として脂質二分子膜中に分子集合体として組み込まれた光捕集アンテナ(LH2)天然 - 人工分子複合体の作成と評価、および LH2 におけるバクテリアクロロフィル分子団(B800)のエネルギー移動や励起子消滅の検出などを明らかにした[12,13]。また分担者の八ッ橋らは、高強度レーザーを用いた多価力チオン生成やクーロン爆発、高強度レーザーによる新規反応など極限的複合光応答に研究を展開した[14]。

[1] H. Miyasaka et al, "Photon-Working Switches", Y. Yokoyama, K. Nakatani eds, Springer, **2017**, 225.

[2] H. Sotome, T. Nagasaka, S. Kobatake, H. Miyasaka et al., *J. Am. Chem. Soc.* **2017**, *139*, 17159.

[3] T. Nagasaka, H. Sotome, H. Miyasaka et al., *J. Phys. Chem. C* **2018**, *122*, 24987.

[4] H. Sotome, T. Nagasaka, S. Kobatake, H. Miyasaka et al., *J. Phys. Chem. Lett.* **2017**, *8*, 3272.

[5] M. Koga, Y. Yoneda, H. Sotome, H. Miyasaka, *Phys. Chem. Chem. Phys.* **2019**, *21*, 2889.

[6] Y. Kobayashi, S. Ito, H. Miyasaka, J. Abe et al., *J. Am. Chem. Soc.* **2016**, *138*, 5930.

[7] Y. Kobayashi, H. Miyasaka, N. Tamai et al., *J. Phys. Chem. Lett.* **2018**, *9*, 7098.

[8] Y. Arai, S. Ito, M. Morimoto, M. Irie, H. Miyasaka et al., *Chem. Commun.* **2017**, *53*, 4066.

[9] R. Kashiwara, M. Morimoto, S. Ito, H. Miyasaka, M. Irie, *J. Am. Chem. Soc.* **2017**, *139*, 16498.

[10] S. Ito, K. Setoura, M. Morimoto, H. Miyasaka et al., *J. Phys. Chem. Lett.* **2018**, *9*, 2659.

[11] K. Setoura, S. Ito, K. Mutoh, J. Abe, H. Miyasaka et al., *J. Phys. Chem. C* **2018**, *122*, 22033.

[12] Y. Yoneda, Y. Nagasawa, H. Miyasaka, T. Dewa et al., *J. Am. Chem. Soc.* **2015**, *137*, 13121.

[13] Y. Yoneda, Y. Nagasawa, H. Miyasaka et al., *J. Am. Chem. Soc.*, **2016**, *138*, 11599.

[14] T. Okamoto, T. Asahi, T. Yatsushashi et al., *ChemPhysChem*, **2018**, *19*, 2480.

## 5 . 主な発表論文等

[雑誌論文](計 7 5 件)

Masafumi Koga, Yusuke Yoneda, Hikaru Sotome, Hiroshi Miyasaka, "Ionization Dynamics of a Phenylendiamine Derivative in Solutions as Revealed by Femtosecond Simultaneous and Stepwise Two-Photon Excitation", *Phys. Chem. Chem. Phys.* **2019**, *21*, 2889-2898, 査読有 ( **Back cover** ) DOI: 10.1039/C8CP06530F

Syoji Ito, Morio Mitsuishi, Kenji Setoura, Mamoru Tamura, Takuya Iida, Masakazu Morimoto, Masahiro Irie, Hiroshi Miyasaka, "Mesoscopic Motion of Optically Trapped Particle Synchronized with Photochromic Reactions of Diarylethene Derivatives", *J. Phys. Chem. Lett.* **2018**, *9*, 2659-2664, 査読有 DOI: 10.1021/acs.jpcclett.8b00890

Kenji Setoura, Ahsan Memon, Syoji Ito, Yuki Inagaki, Katsuya Mutoh, Jiro Abe, Hiroshi Miyasaka, "Switching of Radiation Force on Optically Trapped Microparticles through Photochromic Reactions of Pyranoquinazoline Derivatives", *J. Phys. Chem. C*, **2018**, *122*, 22033-22040. DOI: 査読有 ( **Front cover, ACS editor's choice** ) 10.1021/acs.jpcc.8b03420

Tatsuhiko Nagasaka, Tomohiro Kunishi, Hikaru Sotome, Masafumi Koga, Masakazu Morimoto, Masahiro Irie, Hiroshi Miyasaka, "Multiphoton-Gated Cycloreversion Reaction of a Fluorescent Diarylethene Derivative as Revealed by Transient Absorption Spectroscopy", *Phys. Chem. Chem. Phys.* **2018**, *20*, 19776-19783, 査読有 ( **Back cover, hot article** ) DOI: 10.1039/C8CP01467A

Takuya Okamoto, Takahiro Nakamura, Ryo Kihara, Tsuyoshi Asahi, Kenji Sakota, Tomoyuki Yatsuhashi, "Synthesis of Bare Iron Nanoparticles from Ferrocene Hexane Solution by Femtosecond Laser Pulses", *ChemPhysChem* **2018**, *19*, 2480-2485, 査読有 DOI: 10.1002/cphc.201800436

Tatsuhiko Nagasaka, Tomohiro Kunishi, Hikaru Sotome, Masafumi Koga, Masakazu Morimoto, Masahiro Irie, Hiroshi Miyasaka, "Multiphoton-Gated Cycloreversion Reaction of a Fluorescent Diarylethene Derivative as Revealed by Transient Absorption Spectroscopy", *Phys. Chem. Chem. Phys.* **2018**, *20*, 19776-19783. 査読有 ( **Back cover, hot article** ) DOI: 10.1039/C8CP01467A

Hikaru Sotome, Tatsuhiko Nagasaka, Kanako Une, Soichiro Morikawa, Tetsuro Katayama, Seiya Kobatake, Masahiro Irie, Hiroshi Miyasaka, "Cycloreversion Reaction of a Diarylethene Derivative at Higher Excited States Attained by Two-Color Two-Photon Femtosecond Pulsed Excitation", *J. Am. Chem. Soc.* **2017**, *139*, 17159-17167, 査読有 DOI: 10.1021/jacs.7b09763

Hikaru Sotome, Tatsuhiko Nagasaka, Kanako Une, Chiaki Okui, Yukihide Ishibashi, Kenji Kamada, Seiya Kobatake, Masahiro Irie, Hiroshi Miyasaka, "Efficient Cycloreversion Reaction of a Diarylethene Derivative in Higher Excited States Attained by Off-Resonant Simultaneous Two-Photon Absorption", *J. Phys. Chem. Lett.* **2017**, *8*, 3272-3276, 査読有 DOI: 10.1021/acs.jpcllett.7b01388

Yuhei Arai, Syoji Ito, Hajime Fujita, Yusuke Yoneda, Takahiro Kaji, Satoshi Takei, Ryota Kashihara, Masakazu Morimoto, Masahiro Irie, Hiroshi Miyasaka, "One-Colour Control of Activation, Excitation and Deactivation of a Fluorescent Diarylethene Derivative in Super-Resolution Microscopy", *Chem. Commun.* **2017**, *53*, 4066-4069, 査読有 ( **Back cover** ) DOI: 10.1039/C6CC10073B

Yoichi Kobayashi, Tetsuro Katayama, Takuya Yamane, Kenji Setoura, Syoji Ito, Hiroshi Miyasaka, Jiro Abe, "Stepwise Two-photon Induced Fast Photoswitching via Electron Transfer in Higher Excited States of Photochromic Imidazole Dimer", *J. Am. Chem. Soc.* **2016**, *138*, 5930-5938, 査読有 DOI: 10.1021/jacs.6b01470

Yusuke Yoneda, Tetsuro Katayama, Yutaka Nagasawa, Hiroshi Miyasaka, Yasufumi Umena, "Dynamics of Excitation Energy Transfer Between the Subunits of Photosystem II Dimer", *J. Am. Chem. Soc.* **2016**, *138*, 11599-11605, 査読有 DOI: 10.1021/jacs.6b04316

Yusuke Yoneda, Tomoyasu Noji, Tetsuro Katayama, Naoto Mizutani, Daisuke Komori, Mamoru Nango, Hiroshi Miyasaka, Shigeru Itoh, Yutaka Nagasawa, Takehisa Dewa, "Extension of Light-Harvesting Ability of Photosynthetic Light-Harvesting Complex 2 (LH2) through Ultrafast Energy Transfer from Covalently Attached Artificial Chromophores", *J. Am. Chem. Soc.* **2015**, *137*, 13121-13129, 査読有 ( **Spotlights on Recent JACS Publications** ) DOI: 10.1021/jacs.5b08508

他 6 3 件

〔学会発表〕(計 4 0 2 件)

Hiroshi Miyasaka, "Laser Photochemistry; Photosynergetic Response induced by Multiple Excitation and Multiphoton Absorption", 10th Asian Photochemistry Conference, 2018 ( Masuhara Lectureship Award )

宮坂 博, "多重励起・多光子励起による高位電子励起状態の反応過程の解明", 第 61 回放射線化学討論会, 大阪市立大学, 2018 年 ( 特別講演 )

Hiroshi Miyasaka, "Photosynergetic Responses in Molecules: Multiphoton-Gated Photochromic Reactions", International Conference on Photochemistry and Its Applications (ICPA2017), 2017 ( 基調講演 )

長澤 裕, "Vibrational Coherences in Photoinduced Charge Transfer Systems", The 28th International Conference on Photochemistry (ICP 2017), 2017 ( 招待講演 )

八ッ橋 知幸, "フェムト秒レーザー誘起プラズマによる液体からの親水性炭素ナノ粒子の生成", 第 63 回応用物理学会春季学術講演会, 2016 年

Hiroshi Miyasaka, "Control of Photochromic Reactions by Pulsed Laser Excitation", 27th International Conference on Photochemistry, 2015 ( 招待講演 )

Hiroshi Miyasaka, "Toward the photoresponse beyond the paradigm "one photon, one excited state and one outcome", 2015 光化学討論会, 2015 年 ( 特別講演賞 )

他 3 9 5 件

〔図書〕(計 1 2 件)

宮坂 博, 化学同人, 光化学フロンティア, 2018, 30-68, 400-412.

宮坂 博, Springer, Photon-Working Switches, 2017, 225-235.

八ッ橋 知幸, 朝倉書店, 光化学の事典, 2014, 254-255.

長澤 裕, 朝倉書店, 光化学の事典, 2014, 244-245.  
他 8 件

〔その他〕

ホームページ情報

<http://photosynergetics.jp/>, <http://www.chem.es.osaka-u.ac.jp/laser/>

アウトリーチ活動情報

オープンキャンパスにおける研究紹介、新学術領域の紹介、出前授業  
(計 10 件)

## 6 . 研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名：長澤 裕

ローマ字氏名：(NAGASAWA, Yutaka)

所属研究機関名：立命館大学

部局名：生命科学部

職名：教授

研究者番号 ( 8 桁 ): 50294161

研究分担者氏名：八ッ橋 知幸

ローマ字氏名：(YATSUHASHI, Tomoyuki)

所属研究機関名：大阪市立大学

部局名：大学院理学研究科

職名：教授

研究者番号 ( 8 桁 ): 50294161

### (2) 研究協力者

研究協力者氏名：伊都 将司

ローマ字氏名：( ITO, Syoji )

研究協力者氏名：五月女 光

ローマ字氏名：( SOTOME, Hikaru )

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。