

令和 6 年 6 月 4 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01889

研究課題名(和文) 多重励起を利用した凝縮系の光イオン化過程の解明と高効率電子移動過程への展開

研究課題名(英文) Elucidation of photoionization process in condensed phase by using multiple excitation and development to high-efficiency electron transfer process

研究代表者

宮坂 博 (Miyasaka, Hiroshi)

大阪大学・エマージングサイエンスデザインR3センター・特任教授

研究者番号：40182000

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,700,000円

研究成果の概要(和文)：凝縮相におけるイオン化では、生成初期の親カチオンと電子の距離が数nmにも及ぶ。このようなイオン化状態あるいはその前駆体の電子を、迅速かつ効率良く捕捉し距離を固定化できれば、長い対間距離を持ち再結合が抑制された高エネルギーレベルの電荷分離状態の迅速な生成が期待できる。本研究では、種々の溶液系においてパルスレーザー多重励起により生成した高位電子励起状態を利用し、超高速(< 1 ps)電子捕捉を行うことで、長対間距離の電荷分離状態を実現するとともに、低エネルギーイオン化を可能とする特異電子状態の特定と機構、カチオン-電子間距離を決定する因子を解明した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、天然光合成系のZスキームと原理は異なるが、逐次2光子吸収によるイオン化を進行させ、放出電子を迅速かつ効率良く他分子に捕捉させ距離を固定化することで、後続の還元・酸化等の反応を誘起できる高エネルギーかつ再結合を抑制した電荷分離状態を高収率で実現した。これは、光エネルギー変換や人工光合成にも深く関わる光誘起電子移動反応におけるエネルギーギャップ則の制限により、従来は困難であった(1) 迅速な電荷分離反応、(2) 高エネルギーな電荷分離状態、(3) 遅い再結合を同時に満足できる新手法であり、光誘起電子移動反応の利用に対して重要な方法を示した。

研究成果の概要(英文)：In the photoionization process in the condensed phase, the initial distance between the parent cation and the ejected electron has been estimated to be several nanometers. In the case that the electrons in such ionized states or their precursors can be quickly and efficiently captured by other molecules and, as a result, the long distance is fixed, it is expected that a high-energy level charge-separated state with a long interionic distance can be rapidly generated and, consequently, the charge recombination can be suppressed. In this research, we utilized highly electronic excited states generated by pulsed laser multiple excitation methods in various solution systems and realized the formation of charge-separated states with long interionic distances by the ultrafast (< 1 ps) electron capture. In addition, we have revealed the mechanism of the unique electronic state that enables low-energy ionization, and factors that determine the cation-electron distance.

研究分野：物理化学、光化学

キーワード：電子移動 光イオン化 多重励起過程 フェムト秒ダイナミクス ピコ秒ダイナミクス 多光子吸収

1. 研究開始当初の背景

光誘起電子移動反応は喫緊の課題である光エネルギー変換、人工光合成、また最近では photoredox catalysis などの光物質変換にも深く関わる過程であり、その高効率化は学術のみならず応用展開に対しても重要な課題である。この高効率化のためには、(1) 有限の励起状態寿命の間に迅速に反応が進行し高収率で電荷分離状態が生成すること、また、後続の還元・酸化等の反応を誘起するためには、(2) 電荷分離状態が高いエネルギー（電位）を持ち、かつ (3) 再結合反応が遅いこと の3条件が必要となる。しかし多くの実験結果や Marcus に代表される理論から明らかのように、反応速度は始・終状態間のエネルギー差に依存し、この3条件を同時に満足することは一般的には困難な課題であった。

電子移動反応速度を <AD 間の電子的相互作用> × <Franck-Condon 因子> として記述した場合、速度の反応始終状態間のエネルギー差 (ΔE) 依存性は主に後者の Franck-Condon 因子に関係するが、電子的相互作用も反応速度を大きく支配する。一般に、この電子的相互作用の大きさは AD 間距離に強く依存し、その距離が長くなれば小さくなるのが理論、実験から示されている。したがって A と D を遠距離に保ち高エネルギーレベルの電荷分離 (CS) 状態を迅速に生成できれば、条件 2 と 3 も容易に達成できる。しかし AD 間距離を長くすれば再結合は遅くなるが電荷分離も遅くなるので、このような方法は実現不可能と考えられてきた。

一方、凝縮相において気相のイオン化電圧より低エネルギーで進行するイオン化過程では、生成初期の親カチオンと電子の距離が数 nm にも及ぶことが申請者を含めいくつかのグループから報告されている。この値は通常の光誘起電荷分離で生成する CS 状態 $A^{\cdot-}D^+$ の対間距離と比べて 5~10 倍程度長い。また、凝縮相でのイオン化では、前駆体となる電子状態から、サブピコ秒からピコ秒の時間をかけてイオン化が進行する場合を申請者らは見出している。したがってこのようなイオン化状態あるいはその前駆体の電子を、迅速かつ効率良く捕捉し距離を固定化できれば、長い対間距離を持ち再結合が抑制された高エネルギーレベルの CS 状態を迅速に生成することが期待できる。本研究では、上記のような考えに基づき多重励起により生成した高位電子励起状態を利用し距離の離れた電子供与体 - 受容体間での電荷分離反応を進行させることで、天然の光合成系とは原理の異なる 2 光子を利用した上記 3 条件を満たす高効率電荷分離状態生成手法の開拓をめざした。

2. 研究の目的

上述の学術的背景や予備的研究結果から、凝縮相のイオン化ダイナミクスの詳細な機構解明、イオン化前駆体となる特異電子状態の特定に基づく逐次 2 光子吸収を利用した高品質電荷分離状態の作製手法の開発を本研究課題の目的とした。

逐次 2 光子吸収 (多重励起) では、1 光子目の吸収で生成した実在中間体から 2 光子目の吸収が起こるので、同時 2 光子吸収と比べると非常に小さい尖頭値の光でも誘起できる。波長や吸収係数にも依存するが、太陽光を 10cm 程度の口径のレンズで 10^{-4} 倍程度の面積に集光した場合には、中間体寿命が数 100 ナノ秒からマイクロ秒程度あれば 2 光子目の吸収誘起が可能と見積もられることから、現実的展開へのアプローチとしても有効性を持つ。

一般には、逐次的な 2 光子利用は天然の光合成反応系でも行われており、PSII 複合体において 1 光子目の吸収で生成した CS 状態を、 $D^+A_1^-A_2A_3 \rightarrow D^+A_1A_2^-A_3$ のように、エネルギーレベルを低下させながらも、迅速な電荷シフト反応により $A^{\cdot-}D^+$ 間距離を増大させて再結合を抑制し CS 状態の“量”を確保し、この電荷を PS1 複合体に輸送した後に 2 光子目の吸収によって“質”の高い CS 状態に変換し後続の反応に用いている (Z スキーム)。また、このような 2 光子を用いる手法は、人工系の固体無機半導体光触媒の開発においても採用されている。今回の提案は逐次的な複数光子の利用という点を基本としつつも、逐次 2 光子吸収を用いて高位電子状態を作成し有効な電荷分離過程の作製を目指すものであり、必要な光強度から見積もられる展開の可能性を含め、新たな視座を与えるものと考えた。

3. 研究の方法

逐次 2 光子吸収を用いたダイナミクス測定には、既存のフェムト秒、ピコ秒パルスレーザーシステムを用いた。また、マイクロ秒からミリ秒のダイナミクスの測定のために、ナノ秒パルスレーザーを購入し、測定装置を構築した。特に、逐次二光子励起を効率的に行うために、最初の 1 光子励起で生成する中間体濃度を増加させるための方法も構築し応用した。また、イオン化後のダイナミクス測定結果の解析のためには、クーロン場内での拡散方程式 (Smoluchowski 式: 式 1) を用い、種々の条件に対応できるように、その数値積分ソフトを作成し用いた。

$$\frac{\partial \rho(r, t)}{\partial t} = D \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left[r^2 \left(\frac{\partial \rho}{\partial r} + \frac{r_c}{r^2} \rho \right) \right] \quad (\text{式 1})$$

ここで、 r は対間距離、 ρ はイオン対の生存確率、 D は拡散係数を示す。また r_c はクーロンポテンシャルと熱振動のエネルギー、 kT , が等しくなる距離 (Onsager 距離) を示す。

4. 研究成果

低エネルギーで進行する特異電子状態の特定と光イオン化過程の機構解明

溶液中において、置換基を持たない芳香族化合物は迅速に (< 100 fs) 光イオン化が進行するが、*N,N*-ジメチルアミノ基を有する芳香族化合物では、溶媒和の時間程度(数 100 fs から数 ps) の時定数で光イオン化が観測されることを、我々は見出している (Koga et al. Phys. Chem. Chem. Phys., 2019, 21, 2889)。この詳細な機構を明らかにするため、ヘテロ芳香環化合物であるメチルカルバゾールなどの光イオン化ダイナミクスを測定した。その結果「遅いイオン化過程」は、チッ素原子に正電荷が局在しうる化合物に共通の特徴であることが確認され、イオン化の前駆体として Rydberg 状態のような電子状態を強く示唆する結果を得た。また、DFT 計算の結果からもこれらを支持する結果が得られた。

他分子への電子捕捉過程とその電荷分離 (CS) 状態の特性の解明

極性溶媒中における電子放出後の電子捕捉のダイナミクスに対して、イオン化分子をピレン (Py) 放出電子の捕捉分子としてビフェニル (BP) を用いて、アセトニトリル溶液中におけるラジカルアニオン - カチオンのイオン対の生成・減衰ダイナミクスを測定した。BP は励起波長 (355 nm) に 1 光子吸収をもたない。ピレンとビフェニルの酸化還元電位から見積もられる電荷分離状態のエネルギーは、ピレンの S_1 状態よりも 0.5 eV 以上高い位置に存在する。実際、このエネルギー関係は、ピレンの蛍光が高濃度のビフェニル存在下においても消光されない。

Fig. 1a には、フェムト秒 355 nm レーザーによる多光子励起条件下におけるビフェニル添加・無添加のピレンのアセトニトリル溶液の過渡吸収スペクトルを示す。Fig. 1a に示したように、光励起直後からピレンのラジカルカチオンの吸収 (445 nm) が観測されるが、加えて 500 fs 以降の時間領域において、ビフェニル存在下では 405 nm 付近にも別の吸収帯が観測された。これはビフェニルのラジカルアニオンの吸収帯に由来し、ピレンの多光子イオン化により放出された電子がビフェニルに捕捉されたことを示す。この測定におけるビフェニルの濃度は 100 mM であり、溶液中のピレンとビフェニルの平均的な距離は 2.5 nm と見積もられる。溶媒であるアセトニトリル中の拡散係数の値から、500 fs の極短時間のうちにピレンの S_n 状態ないし S_1 状態が溶液中を拡散しビフェニルに電子を付与することは難しく、この結果は光イオン化により放出された電子が迅速にビフェニルに捕捉され、イオン対状態が形成することを支持している。

この生成した電荷分離状態の再結合および解離ダイナミクスを調べるために、ナノ秒以降の過渡吸収測定を併せて行った。Fig. 1b に、ピレンのラジカルカチオンに由来する 445 nm における過渡吸光度の時間変化を示す。ビフェニルが存在しない場合、ピレンラジカルカチオンは数ナ

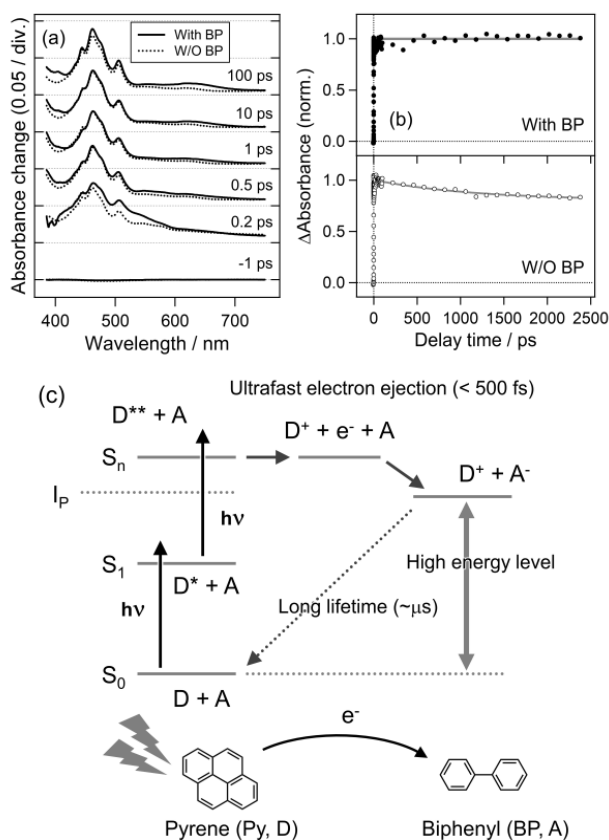


Fig. 1 (a) フェムト秒 355 nm パルスレーザー励起によるピレン / アセトニトリル溶液の過渡吸収スペクトル。ビフェニルの存在の有無による変。 (b) ピレンカチオンの吸収のナノ秒時間スケールでの時間変化。 (c) 2 光子イオン化と電子捕捉のスキーム。

ノ秒の時間スケールで若干減衰する。この時間域では、放出された電子はアセトニトリルのダイマーアニオンとして存在するが、このアニオン種とラジカルカチオンがクーロン場内における拡散過程を経てジェミネート再結合を行う過程がこの減衰に対応する。一方、ピフェニル存在下では、ラジカルカチオンは少なくとも 2.5 ns までは減衰は見られない。なお、この後、アセトニトリル中では数 10 ナノ秒からマイクロ秒領域までイオン種が生存するが、これはクーロン場内における拡散過程によりイオン対状態から解離（イオン解離）したイオン種に対応し、最終的には 2 分子的な再結合過程により失活する。

以上の観測結果から実証されたピレン・ピフェニル系の光イオン化駆動の電荷分離スキームを、Fig. 1c に示す。2 光子励起されたピレンは高位励起状態から電子を放出しこれをピフェニルが捕捉することで、電荷分離状態が 500 fs の極短時間のうちに生成する。こうして生成した電荷分離状態は、通常の 1 光子吸収では獲得の難しい高いエネルギーをもち、通常の電子移動よりも長い対間距離のため再結合が抑制されより多くの電荷分離状態がイオン解離に至る。

さらに、ピフェニルの有無によるピレンカチオンのダイナミクスの違いについて詳細を解明するために、放出電子と親カチオンの対間距離分布の時空間発展を先述の Smoluchowski 式を用いて数値シミュレーションを行った。アセトニトリルの比誘電率は 37.5 と大きいのが、これは溶媒配向による誘電応答が完了した後の値である。溶媒和が完了していない 1 ps 以内の時間領域では、主に電子分極による誘電応答しか寄与しないと考えると、その比誘電率は無極性溶媒と同程度と考えられる。さらに、溶媒和されていない電子は大きな拡散係数(易動度)を持つと考えられ、溶媒和が進行する前には、初期分布が大きく変化すると考えられる。

この動的変化の効果を定量的に考察するために、誘電率と拡散係数を変化させ対間距離分布のシミュレーションを行った。Fig.2a は、n-ヘキサン中の対間距離の時間依存性であり、初期対間距離として 3.65 nm を用いた。誘電率が低い n-ヘキサン中では 1ps 以内の時間領域で、対間距離分布が劇的に変化する様子が確認できる。一方、Fig.2b には、高極性溶媒であるアセトニトリルの対間距離の時間依存性を示す。ここに示すように、対間距離の変化の速度は遅くなるとともに、その極大距離も時間の経過とともに増大している。これは、クーロン引力が減少することと、電子の拡散係数が小さいことによる。

アセトニトリル中の溶媒和時間は、0.5 から 1 ps 程度の時定数で進行することが知られている。そこで、無極性溶媒中の 1 ps までの時間変化により生成した対間距離分布を用いて、アセトニトリル中での、その後の時間変化を計算した。カチオンの時間変化は、Fig.2 に示した各時間の分布曲線を積分した値に相当する (Fig.1b, w/o BP の実線)。この実線に示すように、再結合ダイナミクスをよく再現することができた。一方、Fig.1b with BP の実線は、Fig.2b の計算値から得られたものである。この BP 濃度は、初期対間距離と同程度に対応し、放出直後の電子を捕捉することにより、Fig.2a に示すような対間距離分布の超高速な変化を免れ、長い対間区域が保たれたため、ナノ秒時間域の再結合が抑制されたと考えられる。このような溶媒和前の分布関数の変化と考えられる挙動は、ペリレン/アセトニトリル系でも確認された。

なお、図 1 に示したような挙動は添加 BP の濃度にも大きく依存する。BP 濃度が低い場合には、励起直後の BP アニオンは観測されず、溶媒和電子（あるいは溶媒ダイマーアニオン）との拡散過程を経て、アニオンが生成する。この場合には、それぞれの拡散係数は通常分子種と同程度であり、溶媒和前の電子と比較して非常に小さいため、その濃度にも依存するが、ナノ秒以降で観測される。このような迅速な BP アニオンの生成とナノ秒以降の再結合の抑制が観測されるのは、Py と BP の平均距離が、初期カチオン - 電子の対間距離と同程度の場合のみであり、この結果も、溶媒和前の電子の捕捉を支持する。

カチオン - 電子間距離を決める因子の解明

イオン化直後のカチオン - 電子の距離を決定する因子を探るため、電子の移動度の異なる無極性溶媒を用いて、カチオン（とアニオン種）の時間変化を測定し、クーロン場内での拡散方程式に基づき解析した。

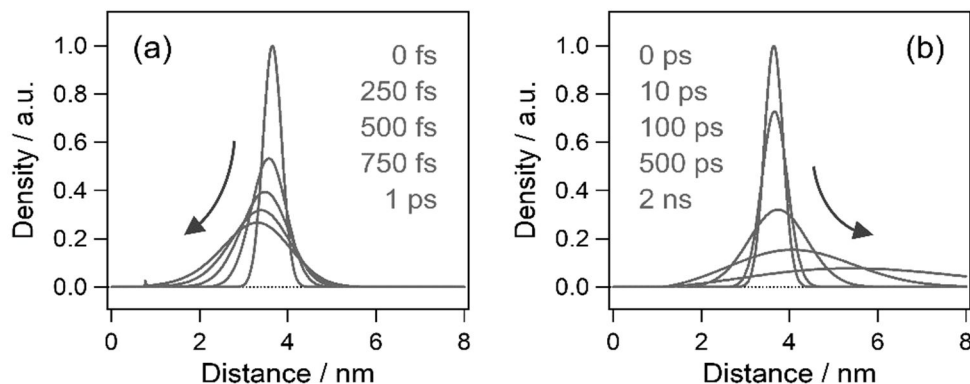


Fig.2 カチオン - 電子の対間距離の時間変化(式 1 を用いた計算値)。 (a) n-ヘキサン系 ($\epsilon = 1.88$, $D = 1.78 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$)。 (b) アセトニトリル系 ($\epsilon = 37.5$, $D = 2.00 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$)。

Fig.3 には、ペリレンを溶質とし n-ヘキサン(a)およびシクロヘキサン溶液系におけるカチオンの時間変化を示した。なお 1 番目の励起には 400 nm 多重パルスを用い、第 1 パルス照射後 10 ps に 350 nm パルス照射し、逐次 2 光子イオン化を行った。10 ps の遅延時間は、第 1 パルスで生成した S_1 状態の振動緩和のためである。Fig.3 の横軸は、第 2 パルス照射後の時間を表している。ここに示すように、カチオン種は第 2 パルス照射後迅速に現れ、その後、数 ps の時間域で再結合により消失している。実線は、式(1)を用いた計算値であり、極大値 r_0 、半値幅 0.5 nm のガウス関数として初期の対間距離を仮定している。n-ヘキサン系では、 $r_0 = 2.0$ nm、シクロヘキサン系では $r_0 = 2.7$ nm とした場合、実験値を再現した。

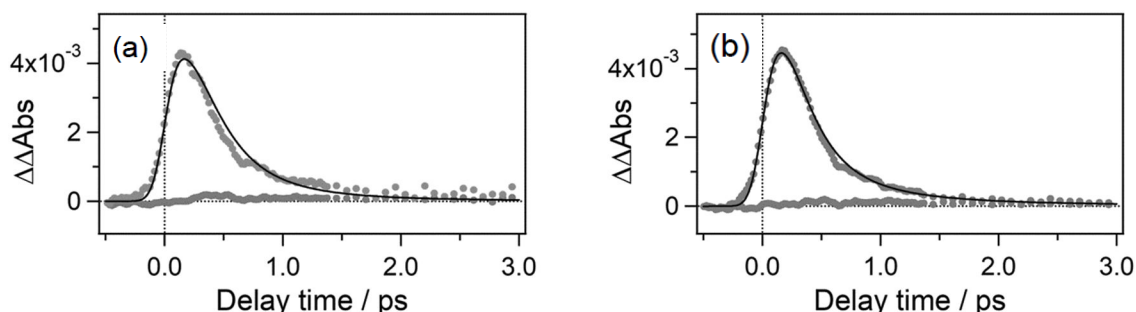


Fig.3 400 nm と 350 nm フェムト秒レーザーパルス照射により生成したペリレンカチオンの時間変化。(a) n-ヘキサン および (b) シクロヘキサン溶液。 実線は、式(1)による計算値。

他の無極性溶媒系でも同様の測定と解析を行った。これらから得られた初期対間距離 r_0 を Table 1 に示した。励起のエネルギー、また溶媒の比誘電率はほぼ同程度であるが、溶媒中の電子の移動度に依存して r_0 は大きく異なることが判明した。

溶媒	電子の移動度 ($\text{cm}^2/\text{V s}$)	比誘電率	初期対間距離 (nm)
n-ヘキサン	0.071	1.88	2.0
シクロヘキサン	0.23	2.02	2.7
イソオクタン	5.3	1.94	10
TMS	100	1.92	15

Table 1. 無極性溶媒中において逐次 2 光子イオン化で生成したペリレンカチオンと放出電子の初期対間距離。

このような r_0 の電子の移動度に対する依存性については、定性的には以下のような理由と考えられる。イオン化により放出された電子は、励起エネルギーからイオン化エネルギーとカチオンに残るエネルギーとの差に対応する運動エネルギー(速度)を持つ。この速度は、クーロン引力また溶媒との“摩擦”により減速される。このような、減速過程に対応する“摩擦”項は、単純には易動度の逆数に比例すると考えられるので、このような依存性が観測されたと考えられる。

ナノ秒以降のダイナミクス

イオン化後の挙動に対しては、ナノ秒レーザーを購入し、ナノ秒からマイクロ秒以降の挙動も観測した。極性、無極性溶媒系ともに、励起直後に溶質に電子が捕捉されなかった場合でも、
溶媒アニオン種 → 溶質アニオン種 → 2 分子的再結合
としてダイナミクスが確認された。

また、でも述べたイソオクタンや TMS 溶液系では、カチオン (+ アニオン) 種が無極性溶媒であるにもかかわらず、マイクロ秒以降も観測された。これはクーロン引力から逃れるイオン種が生成することを示しており、 r_0 が大きいことを支持する結果である。

まとめ

以上のように、多光子レーザー時間分解測定と、数値計算を行うことにより、放出直後の電子を(溶媒和前に)捕捉することにより、エネルギーレベルの高い電荷分離状態(カチオン - アニオン)を生成できるとともに、再結合も抑制できることがわかった。また、初期の対間距離を決定する因子としては、溶媒の電子移動度が大きな役割を果たすことも判明した。特に、電子移動度の大きな無極性溶媒系では、迅速(溶質濃度にも依存するが、サブナノ秒からナノ秒)に溶質アニオンの生成も確認されており、高効率に、カチオン - アニオンを生成できることがわかった。

以上の結果から、逐次 2 光子吸収を用いて高位電子状態を作成し有効な電荷分離過程の作製に必要な指針を獲得できた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Sotome Hikaru, Koga Masafumi, Sawada Tomoya, Miyasaka Hiroshi	4. 巻 24
2. 論文標題 Femtosecond dynamics of stepwise two-photon ionization in solutions as revealed by pump-repump-probe detection with a burst mode of photoexcitation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 14187 ~ 14197
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1CP03866D	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Masafumi Koga, Ko Masuoka, Shuhei Tsuneizumi, Tatsuya Kameyama, Syoji Ito, Tsukasa Torimoto, Hiroshi Miyasaka	4. 巻 13
2. 論文標題 Direct Detection of Long-Range Inter-Domain Auger Recombination in Dumbbell-Shaped quasi-Type II Nanoparticle	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem. Lett.	6. 最初と最後の頁 6845-6851
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcllett.2c01077	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kaori Sameshima, Tomomi Kawakami, Hikaru Sotome, Masaaki Fuki, Yasuhiro Kobori, Hiroshi Miyasaka	4. 巻 437
2. 論文標題 Dynamics and Mechanism of Radical Formation in a Highly Sensitive Oxime Photoinitiator as Revealed by Time-Resolved Absorption and EPR Measurements	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 J. Photochem. Photobiol. A	6. 最初と最後の頁 114479
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jphotochem.2022.114479	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 五月女 光, 宮坂 博	4. 巻 53
2. 論文標題 多重励起技術による光誘起電荷分離状態の計測と形成	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 光化学	6. 最初と最後の頁 155-158
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Koga Masafumi, Sotome Hikaru, Ide Naoki, Ito Syoji, Nagasawa Yutaka, Miyasaka Hiroshi	4. 巻 20
2. 論文標題 Direct determination of molar absorption coefficients of several molecules in the lowest excited singlet states	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Photochemical & Photobiological Sciences	6. 最初と最後の頁 1287 ~ 1297
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s43630-021-00104-z	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 宮坂 博, 五月女 光	4. 巻 52
2. 論文標題 凝縮系における高い電子励起状態からの反応過程	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 光化学	6. 最初と最後の頁 46-53
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Miyasaka Hiroshi, Ito Syoji, Sotome Hikaru	4. 巻 95
2. 論文標題 Reaction dynamics of molecules in highly electronically excited states attained by multiphoton and multiple excitation methods	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Pure and Applied Chemistry	6. 最初と最後の頁 921 ~ 929
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1515/pac-2023-0205	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計11件 (うち招待講演 7件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 澤田 知弥, 五月女 光, 宮坂 博
2. 発表標題 液相多光子イオン化における放出電子の拡散ダイナミクス : 電子易動度との相関
3. 学会等名 日本化学会 第103春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 澤田 知弥, 五月女 光, 宮坂 博
2. 発表標題 多光子イオン化により生成したカチオン - 電子対の再結合ダイナミクス : 電子易動度と対間距離分布の相関
3. 学会等名 第16回分子科学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiroshi Miyasaka
2. 発表標題 Photochemical Processes in Higher Excited States Attained via Multiphoton Absorption and Multiple Excitation in the Condensed Phase
3. 学会等名 International Congress on Pure & Applied Chemistry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiroshi Miyasaka
2. 発表標題 Photochemical Processes in Higher Excited States Produced by Multiphoton Absorption and Multiple Excitation in the Condensed Phase
3. 学会等名 VII Iberian Photochemistry Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiroshi Miyasaka
2. 発表標題 Ultrafast Multiphoton Spectroscopy of Higher Excited States
3. 学会等名 28th IUPAC Symposium on Photochemistry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮坂 博
2. 発表標題 超短パルスレーザーによる凝縮相分子系の多重光子応答過程の研究
3. 学会等名 日本化学会 第102春季年会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiroshi Miyasaka
2. 発表標題 Ultrafast Dynamics of Multiphoton Ionization and Electron Capture in Solutions
3. 学会等名 The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroshi Miyasaka
2. 発表標題 Advanced Ultrafast Multiphoton Laser Spectroscopy on Photochemical Molecular Processes in Higher Excited States in the Condensed Phase
3. 学会等名 Asian Photochemistry Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroshi Miyasaka
2. 発表標題 Ultrafast Dynamics of Multiphoton Ionization and Electron Capture in Solutions
3. 学会等名 6th Nanosynergetics Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 澤田 知弥, 古賀 雅史, 五月女 光, 神戸 正雄, 菅 晃一, 吉田 陽一, 伊都 将司, 宮坂 博
2. 発表標題 液相芳香族化合物の光イオン化により生成したカチオン - 電子対の超高速ダイナミクス
3. 学会等名 第15回分子科学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井出 直樹, 古賀 雅史, 三宅 友斗, 五月女 光, 宮坂 博
2. 発表標題 多重励起を利用したCdTe 量子ドットの光イオン化ダイナミクスの解明
3. 学会等名 2021年光化学討論会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	五月女 光 (Sotome Hikaru) (60758697)	大阪大学・大学院基礎工学研究科・助教 (14401)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
フランス	Lille University	Paris-Saclay高等師範学校	