

令和 4 年 6 月 15 日現在

機関番号：17401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02692

研究課題名(和文) 近赤外光応答型蛍光性ジアリールエテンの開発に向けた基盤研究

研究課題名(英文) Development of near-infrared light responsive fluorescent diarylethenes

研究代表者

深港 豪 (Fukaminato, Tsuyoshi)

熊本大学・大学院先端科学研究部(工)・准教授

研究者番号：80380583

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究により、(1)可視光のみで可逆的なフォトクロミズムならびに蛍光スイッチング挙動を示す分子の開発に成功し、紫外光を必要としないスイッチング分子に対する新しい分子設計指針を明らかとした。また、(2)蛍光性フォトクロミックナノ粒子における超高効率な非線形蛍光スイッチング挙動を利用することで、近赤外領域の蛍光を可逆的かつ高効率にスイッチングできる分子の開発に成功した。今後、本研究により得られた上記の成果を融合することで、可視または近赤外領域の光で近赤外領域の蛍光を可逆的にスイッチングできる分子の開発が可能になると期待される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでに提案されてきた可視光応答型のフォトクロミック分子のほとんどが450 nm以下という短い可視領域の光での反応に留まっていた。また、酸素が存在する通常的环境下で使用できない点も大きな障害となっていた。それに対し、本研究で開発した分子は、500 nmを超える長波長側の可視光のみで光反応が起こるだけでなく、酸素存在下においても反応性が全く減少しないことが確認できており、学術的な観点だけでなく応用の観点からも興味深い分子として期待される。また、近赤外領域の蛍光を効率よくスイッチングできる分子系は今後のバイオイメージング等の分野において重要なツールとして発展していく可能性が十分に期待できる。

研究成果の概要(英文)：In this study, we successfully prepared all-visible-light activatable fluorescence photoswitching molecule. We found a DAE derivative covalently linked to a fluorescent perylenebisimide (PBI) exhibited unexpected photocyclization reaction upon visible light (500-550 nm) irradiation, where DAE unit has no absorption band. From several detailed experiments, it was suggested that the direct conversion from the excited singlet-state of PBI unit to the excited triplet-state of DAE unit took place upon excitation to the PBI unit. Furthermore, we also demonstrated reversible and efficient near-infrared fluorescence photoswitching by utilizing the efficient nonlinear fluorescence quenching property in a photochromic nanoparticle state. It is expected that these results will pave the way for new molecular design to develop visible or near-infrared light switching molecules.

研究分野：光機能性分子材料

キーワード：フォトクロミズム 近赤外光 ジアリールエテン 蛍光

1. 研究開始当初の背景

研究開発当初、オプトジェネティクス(光遺伝学)や超解像蛍光イメージング技術の分野において、光により二つの状態間で可逆的に構造や分子物性を变化させるフォトクロミック分子の重要性が再認識され、その応用に向けた研究が活発化していた。しかしながら、従来のフォトクロミック分子は、少なくとも片方の光反応に紫外光の照射を必要とする場合がほとんどであり、上記の応用には好ましくない。フォトクロミック分子を真に有用な分子ツールとして利用するためには、紫外光の波長域よりも長波長側の可視光、理想的には生体の光学的窓となる近赤外光で可逆的な光反応を誘起できる(紫外光を必要としない)新しいフォトクロミック分子の開発が不可欠であり、それに向けた取り組みが世界中で本格化し始めていた。また、それと同時に、生体試料の深部の情報を非破壊的に観測するために、近赤外(NIR)領域の発光をフォトクロミック分子の光反応で可逆的に制御できる分子の開発も必要となってきた。しかしながら、そのような特性を有する分子系は皆無であり、(1)可視光もしくは近赤外光で可逆的な蛍光スイッチングを可能とする分子系、ならびに(2)NIR領域の蛍光を可逆的かつ効率よくスイッチングできる分子系が開発が切望されている状況にあった。

2. 研究の目的

本研究では上述の背景に鑑みて、

- (1)可視光もしくは近赤外光で可逆的な蛍光スイッチングを可能とする分子系
 - (2)近赤外領域の蛍光を可逆的かつ効率よくスイッチングできる分子系
- の開発に取り組むことを目的とした。

3. 研究の方法

(1)可視光もしくは近赤外光で可逆的な蛍光スイッチングを可能とする分子系の開発

この目的を達成するために、我々が偶然見出した蛍光性のペリレンビスイミド(PBI)色素を連結させたジアリールエテン分子の特異な可視光による光閉環反応特性に着目した。この分子に対し、波長 500 nm 付近の可視光を照射し蛍光ユニットを光励起すると、その波長域に吸収を持たないはずのジアリールエテン(開環体)が光閉環反応を起こし、それに伴い蛍光強度も変化する興味深い現象が観測されていた(*J. Phys. Chem. C* **2009**, 113, 11623)。しかしながら、この特異な光閉環反応がどのようなメカニズムで進行しているのか全く明らかになっていなかった。そこで、可視光により光閉環反応を示す分子が他にもないか探索し、その光反応特性を詳細に調べることで、その光反応メカニズムを解明することをめざした。さらに得られた知見を基に、可視光に対する反応効率の向上や閉環反応を誘起する波長の長波長化を可能とする分子の設計・合成に取り組んだ。

(2)近赤外領域の蛍光を可逆的かつ効率よくスイッチングできる分子系の開発

この目的分子の開発に対する問題点として、蛍光性フォトクロミック分子におけるアクセプター(ジアリールエテン)を用意するのが困難であることが考えられた。すなわち、NIR 発光を分子内エネルギー移動によりスイッチングする場合、近赤外領域(波長 700-1400 nm)に大きな吸収バンドを持っているフォトクロミック分子が必要となるが、これまでにそのようなフォトクロミック分子の報告例はほとんどない。その打開策として、我々が開発したフォトクロミックナノ粒子の高効率な蛍光スイッチング技術に着目した。我々はこれまでの研究で、適切な蛍光ユニットを有する蛍光性フォトクロミック分子をナノ粒子化することで、わずか数%程度の光反応で系全体の蛍光を完全に消光できる超高効率な非線形応答を示す蛍光スイッチングシステムを開発することに成功していた(*Angew. Chem. Int. Ed.* **2016**, 55, 3662)。この結果を利用すれば、アクセプター(ジアリールエテン)の吸収スペクトルとドナー(NIR 蛍光色素)の蛍光スペクトルとの間の重なりが少ない場合でも、高効率な蛍光スイッチングを実現できる可能性があるのではないかと考えた。そこで、本研究では NIR 蛍光色素とジアリールエテンを連結させた分子を設計・合成し、その分子をナノ粒子化することで NIR 領域の蛍光を可逆的かつ効率よく光スイッチングできる分子系を開発に取り組んだ。

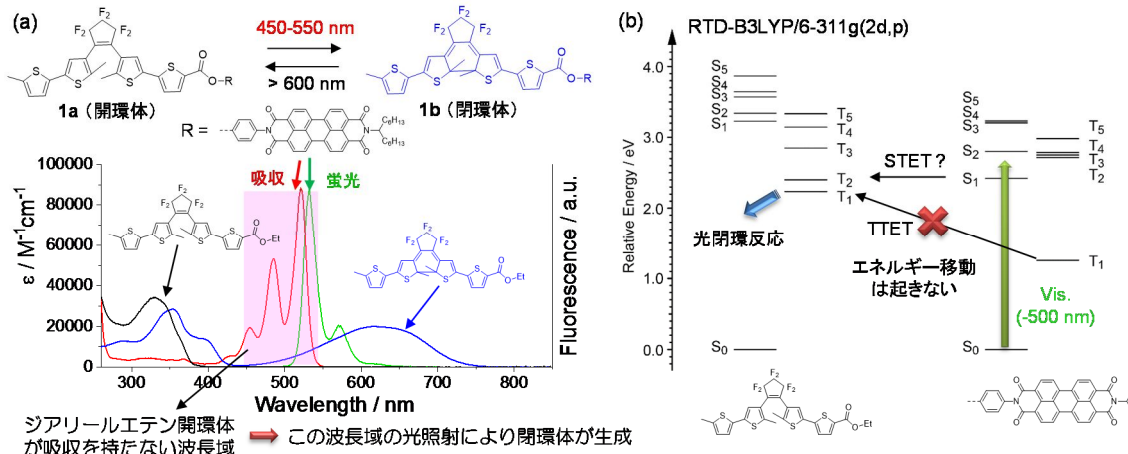
4. 研究成果

(1)可視光もしくは近赤外光で可逆的な蛍光スイッチングを可能とする分子系の開発

ペリレンビスイミドが連結したジアリールエテンにおける特異な光反応に対するメカニズムとして、(i)ジアリールエテンユニット自体が(吸収スペクトルでは検出できないほど)弱い吸収バンドを有している可能性、(ii)ジアリールエテンユニットと蛍光ユニット間で光誘起電子移動が起こり、電荷分離状態から酸化的に閉環反応が進行する可能性、および(iii)蛍光色素の光励起状態から何らかのエネルギー移動過程を経て、ジアリールエテンの三重項が生成し、そこから光閉環反応が進行するといった可能性が考えられた。これらの可能性についてひとつひとつ検証した結果、(i)と(ii)の可能性は完全に除外できる結果が得られ、(iii)のメカニズムが

最も有力と考えられた。また、PBI を連結させた様々なジアリールエテン誘導体を合成し、その可視光応答性を調べた結果、図 1a に示す分子 1 において同様の可視光による閉環反応が起こることが見出された。この分子は波長 500-600 nm の可視光を照射すると、ジアリールエテンユニットの閉環体由来する吸収バンドが増加し、光閉環反応を示すことが認められた。

図 2 ペリレンビスイミド連結ジアリールエテン 1 の特異な可視光によるフォトクロミズム : (a)



ジアリールエテンユニットと蛍光ユニットのスペクトルの重ね合わせ、(b)分子軌道計算 (RTD-B3LYP/6-311g(2d,p)) により求められた各ユニットのエネルギー相関図

波長 532 nm のレーザー照射下での光定常状態 (PSS) における光反応転換率を様々な溶媒条件下で測定した結果、光反応転換率に対する明確な極性依存性は認められなかった (図 2)。しかしながら、四塩化炭素 (CCl₄) やヨウ化エチル (C₂H₅I) などの重原子を含む溶媒を用いた場合、波長 532 nm のレーザー照射下での PSS における光反応転換率が約 50% 程度まで大きく向上し、蛍光強度も同じ割合で減少することが認められた。その状態に 600 nm よりも長波長の可視光を照射すると吸収および蛍光スペクトルともに完全に元のスペクトルに戻ることから、これらのスペクトル変化がジアリールエテンの光閉環 - 光開環反応に起因するものであると結論付けられた。この結果は、500 nm 以上の可視光のみで可逆的なフォトクロミズムを示す分子が得られたことを意味しており、本研究により初めて明らかとなった成果の一つである。

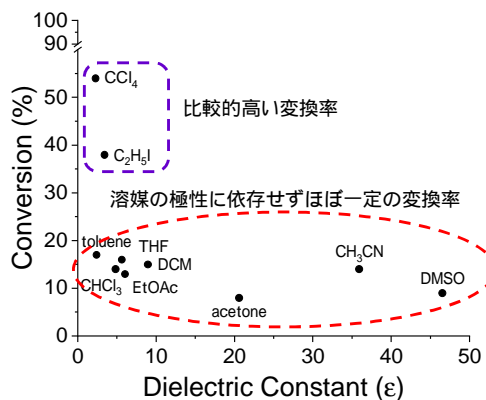


図 2 分子 1 の種々の溶媒中における波長 532 nm の可視光照射に伴う開環体から閉環体への変換率

この可視光照射に伴う光閉環反応は重原子を含む溶媒中で促進されることから、この光反応メカニズムが上記の (iii) のメカニズムに起因する現象であることが支持された。さらに理論的な解析を行った結果、この光反応がこれまでに提唱されてきた色素の三重項励起状態からジアリールエテンの三重項状態へのエネルギー移動 (TTET) によりジアリールエテンの三重項が生成するのではなく、色素の一重項励起状態からジアリールエテンの三重項へと異なる多重度間でエネルギー移動が起こることによりジアリールエテンの三重項が生成し、そこから光閉環反応が進行することを示唆する結果が得られた (図 1b)。一般的に異なる多重度間での遷移は禁制過程であり、このような光反応メカニズムは起こらないと考えられてきたが、最近、(特に有機 EL などの分野において) 異なる多重度間でのエネルギー移動も条件次第では十分に進行することが実証され始めている。従って、我々の分子系において観測された現象も、従来とは異なる新しい反応機構に起因するものであり、紫外光を必要としない蛍光スイッチング分子を設計する上での有力な戦略として発展することが期待される。実際に、この考えを応用することで、さらに長波長の 600 nm 付近の可視光によって光閉環反応を示す分子も開発することができおり、さらに効率を高めることで、近赤外光で光閉環反応を示す分子の開発も可能であると期待される (*J. Phys. Chem. A* 2021, 125, 5895; 論文投稿中)。

(2) 近赤外領域の蛍光を可逆的かつ効率よくスイッチングできる分子系の開発

最適な NIR 蛍光色素およびジアリールエテンユニットを検討した結果、最適と思われる NIR 色素とジアリールエテン誘導体を選択し、それらを連結した分子 2 (図 3) を合成した。

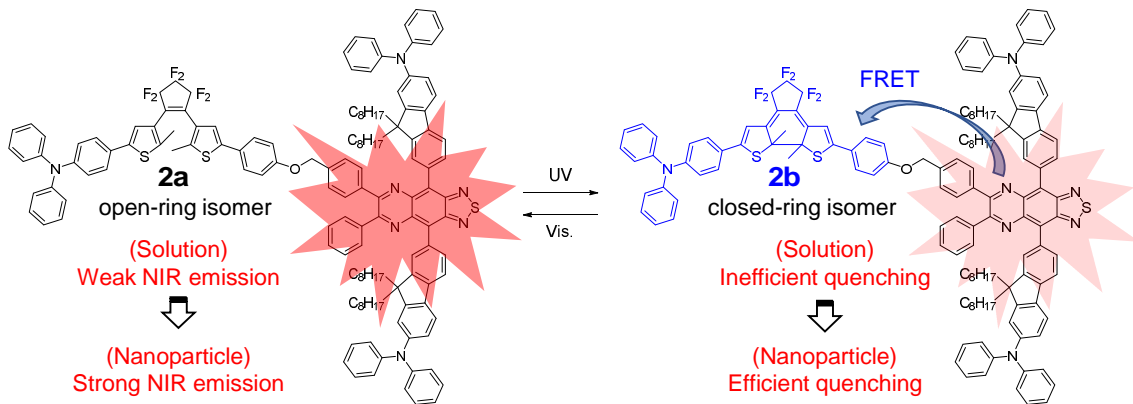


図3 NIR 蛍光スイッチングジアリールエテン 2 のフォトクロミズムと蛍光スイッチング機構

図4 に選択した NIR 色素の蛍光スペクトルとジアリールエテン誘導体の吸収スペクトルを重ね合わせた図を示す。図4a はジアリールエテン誘導体が開環体の時、図4b はジアリールエテン誘導体が閉環時のスペクトルの重なりを示している。この図から、ジアリールエテン誘導体が開環体の時にはスペクトルの重なりが全くなく、閉環体の時はわずかに重なりが生じていることが確認できる。このことから、分子2では、ジアリールエテンが閉環体の時に少なからずエネルギー移動がドナー（NIR 蛍光色素） アクセプター（ジアリールエテン閉環体）間で起こることが期待された。

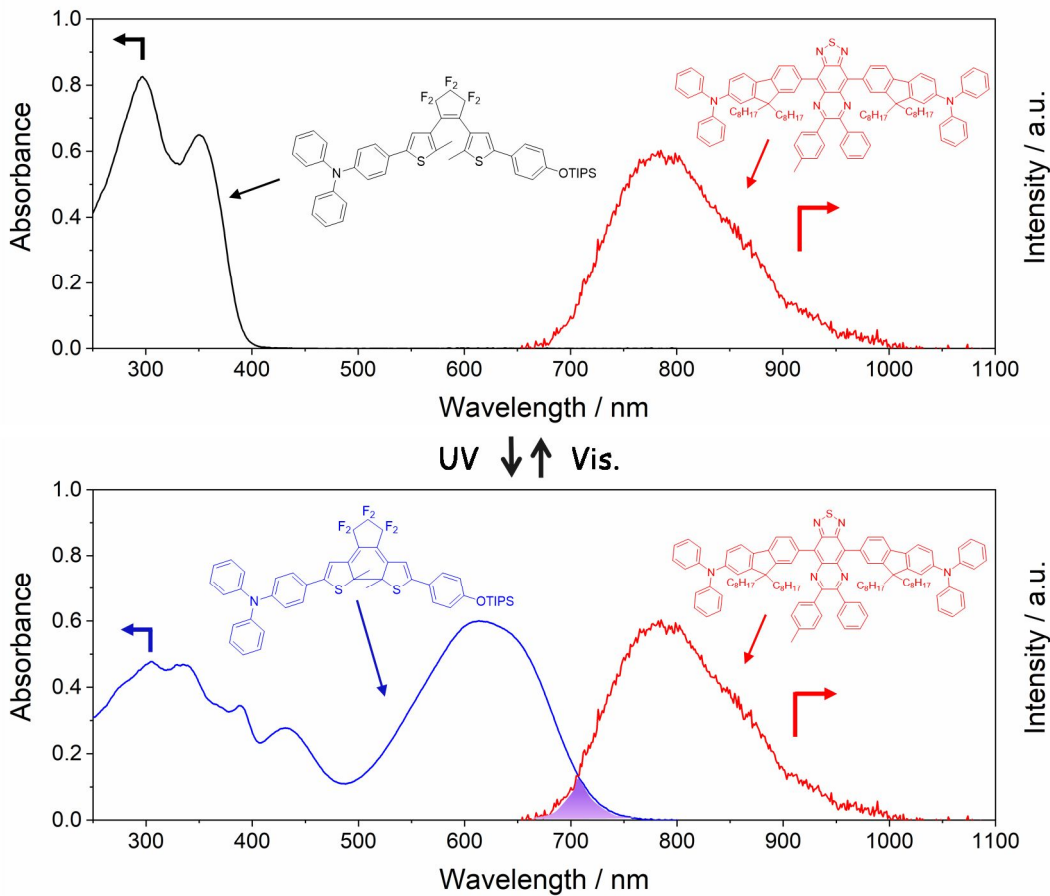


図4 分子2におけるジアリールエテンユニットとNIR 蛍光色素の吸収スペクトルと蛍光スペクトルの重なり：(a) 開環体、(b) 閉環体

合成した分子2は溶液状態において、波長365 nmの紫外光照射に伴い波長500-700 nm領域に新たに閉環体由来する吸収帯が現れ、波長540 nm以上の可視光照射で元の吸収スペクトルまで完全に戻る可逆的なフォトクロミズムを示すことが認められた(図5a)。また、分子2は開環体の状態で波長800 nm付近に極大をもつNIR 蛍光を示し、波長365 nmの紫外光照射によりその蛍光強度が約42%減少し、波長540 nm以上の可視光照射で元の蛍光強度に戻る可逆的な蛍光スイッチング挙動を示すことが認められた(図5b)。しかしながら、単離した閉環体の状態においても蛍光が観測されたことから、溶液中においては完全な蛍光ON-OFFスイッチングは達成

できないことが確認された。これは、ジアリールエテン閉環体の吸収スペクトルと NIR 蛍光色素の蛍光スペクトルの重なりが小さいため、分子内エネルギー移動の効率が低いことに起因していると考えられる。続いて、再沈殿法により作製した分子 2 のナノ粒子に対して同様の実験を行った結果、溶液中と同様のフォトクロミズムに伴う吸収スペクトルの変化が認められた(図 5c)。一方、蛍光スペクトルは溶液状態とは異なる挙動が観測された。閉環体から作製したナノ粒子では全く蛍光が観測されなかった。さらに、そこから波長 540 nm 以上の可視光照射し閉環体に変化させると、波長 800 nm 付近に明瞭な蛍光観測された。その後、波長 365 nm の紫外光を照射し、閉環体を生成させると、再び蛍光スペクトルが元のバックグラウンドレベルまで減少することが認められた。この結果から、溶液と比べて高コントラストなフォトクロミズムに伴う NIR 蛍光の ON-OFF スwitching を達成できることが確認された。

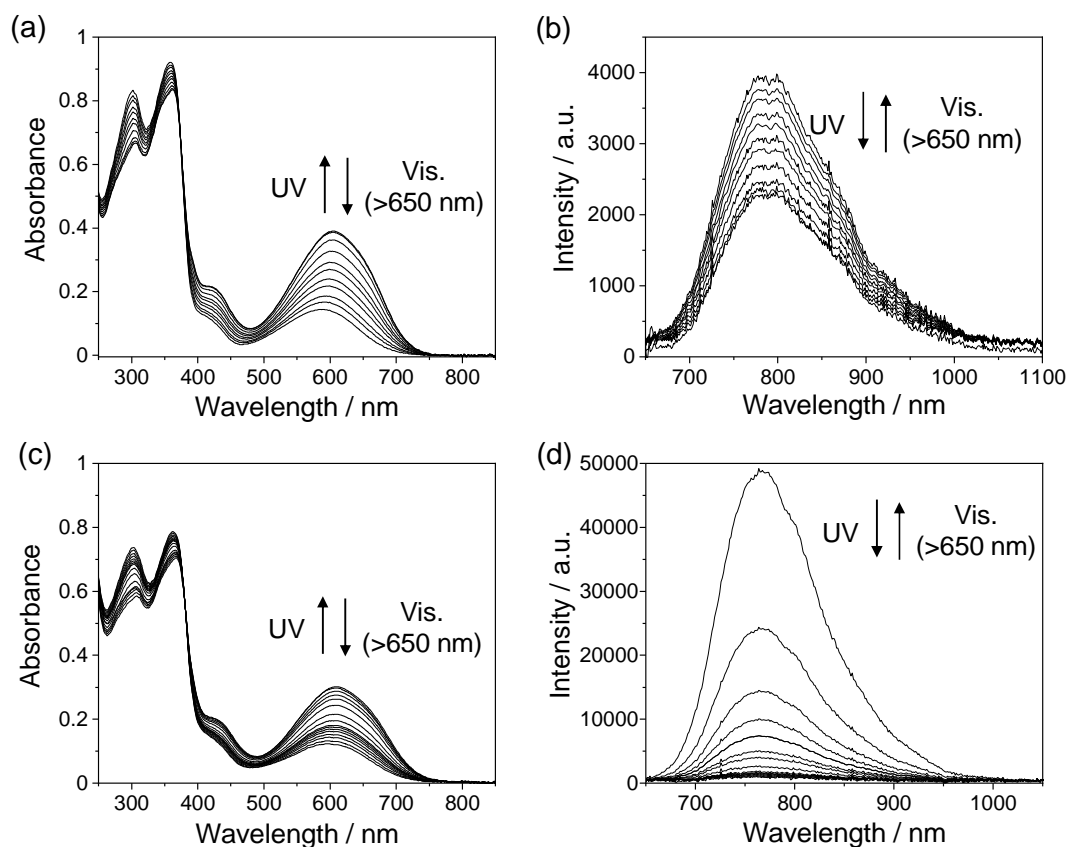


図 5 分子 2 のフォトクロミズムに伴う(a), (c)吸収および(b), (d)蛍光スペクトル変化：(a), (b)THF 溶液中、(c), (d)ナノ粒子

光反応転換率に対する蛍光強度の変化を溶液中およびナノ粒子中で比較した結果、図 6 に示すように溶液中では光反応転換率に比例して蛍光強度が線形的に変化するのに対し、ナノ粒子の状態では非線形的に蛍光強度が変化し、約 50% 程度の変換率で完全に蛍光を消光できることが認められた。以上のことから、分子内エネルギー移動の効率が悪い蛍光スイッチング分子においても、ナノ粒子化させ分子間エネルギー移動を利用することで高コントラストな NIR 蛍光スイッチングを達成できることが明らかとなった(Chem. Commun. 2021, 57, 5422)。

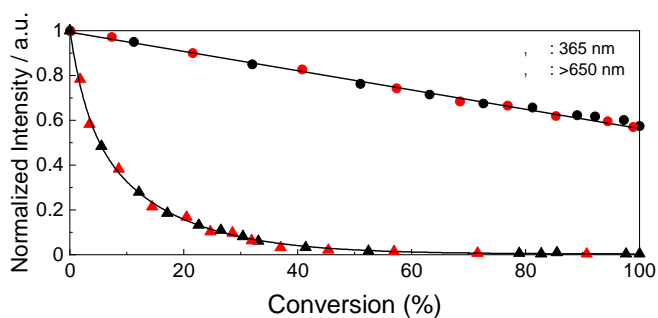


図 6 分子 2 の光反応転換率に対する蛍光強度のプロット：(●)溶液中における蛍光スイッチング挙動、(▲)ナノ粒子の状態における蛍光スイッチング挙動

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 14件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Shinohara Mai, Ashikaga Yuya, Xu Wei, Kim Sunnam, Fukaminato Tuyoshi, Niidome Takuro, Kurihara Seiji	4. 巻 7
2. 論文標題 Photochemical OFF/ON Cytotoxicity Switching by Using a Photochromic Surfactant with Visible Light Irradiation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 6093 ~ 6098
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.1c06473	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Mokhtar Ashkan, Morinaga Ryuki, Akaishi Yuji, Koinuma Michio, Kim Sunnam, Kurihara Seiji, Kida Tetsuya, Fukaminato Tuyoshi	4. 巻 50
2. 論文標題 Luminescence Photoswitching of Colloidal CsPbBr ₃ Nanocrystals by Photochromic Diarylethene Ligands	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 1534 ~ 1538
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.210254	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 Kim Sunnam, Moriya Sho, Maruki Sakura, Fukaminato Tuyoshi, Ogata Tomonari, Kurihara Seiji	4. 巻 8
2. 論文標題 Adsorption and release on three-dimensional graphene oxide network structures	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Royal Society Open Science	6. 最初と最後の頁 201585 ~ 201585
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1098/rsos.201585	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Shinoda Keiko, Yokojima Satoshi, Fukaminato Tuyoshi, Nakamura Shinichiro	4. 巻 125
2. 論文標題 Determining Factor of the Quantum Yield of the Cyclization Reaction via Triplet States for Dye-Attached Diarylethene	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry A	6. 最初と最後の頁 5895 ~ 5902
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpca.1c02912	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 Yamasaki Shinya, Ishida Sanae, Kim Sunnam, Yamada Mihoko, Nakashima Takuya, Kawai Tsuyoshi, Kurihara Seiji, Fukaminato Tuyoshi	4. 巻 57
2. 論文標題 Efficient NIR-I fluorescence photoswitching based on giant fluorescence quenching in photochromic nanoparticles	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 5422 ~ 5425
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1CC01389K	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 Mokhtar Ashkan, Morinaga Ryuki, Akaishi Yuji, Shimoyoshi Manami, Kim Sunnam, Kurihara Seiji, Kida Tetsuya, Fukaminato Tuyoshi	4. 巻 2
2. 論文標題 Reversible Luminescence Photoswitching of Colloidal CsPbBr3 Nanocrystals Hybridized with a Diarylethene Photoswitch	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Materials Letters	6. 最初と最後の頁 727 ~ 735
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsmaterialslett.0c00131	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 Ikariko Issei, Hashimoto Takuma, Kim Sunnam, Kurihara Seiji, Ito Fuyuki, Fukaminato Tuyoshi	4. 巻 61
2. 論文標題 Synthesis and fluorescence photoswitching of a diarylethene derivative having a dibenzoylmethanato boron difluoride complex	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Tetrahedron Letters	6. 最初と最後の頁 152108 ~ 152108
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tetlet.2020.152108	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 Ikariko Issei, Deguchi Sei, Fabre Nicolas, Ishida Sanae, Kim Sunnam, Kurihara Seiji, Metivier Remi, Fukaminato Tuyoshi	4. 巻 180
2. 論文標題 Highly-stable red-emissive photochromic nanoparticles based on a diarylethene-perylenebisimide dyad	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Dyes and Pigments	6. 最初と最後の頁 108490 ~ 108490
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.dyepig.2020.108490	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 該当する

1. 著者名 Katsumi Shiho, Sagawa Takehiro, Fukaminato Tsuyoshi, Ito Fuyuki	4. 巻 49
2. 論文標題 Assembling Structures of Diphenylalanine Linked with Dibenzoylmethanatoboron Difluoride Depending on the Solvent as Probed by Fluorescence Changes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 802 ~ 805
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.200215	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 Ishida, Sanae, Kim, Sunnam, Kurihara, Seiji, Fukaminato, Tuyoshi.	4. 巻 11098
2. 論文標題 Multi-color fluorescence photoswitching in fluorescent diarylethene nanoparticles	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering	6. 最初と最後の頁 110980R
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2531350	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 Fukaminato, Tuyoshi, Kato, Tomoe, Kim, Sunnam, Kurihara, Seiji	4. 巻 11098,
2. 論文標題 Fluorescence modulation and non-destructive fluorescence readout based on the cooperative orientation of a fluorescent dye in an azobenzene liquid crystalline polymer film	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering	6. 最初と最後の頁 1109806
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2531352	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 Akaishi Yuji, Pramata Azzah Dyah, Tominaga Shuhei, Kawashima Shimpei, Fukaminato Tuyoshi, Kida Tetsuya	4. 巻 55
2. 論文標題 Reversible ON/OFF switching of photoluminescence from CsPbX3 quantum dots coated with silica using photochromic diarylethene	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 8060-8063
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c9cc03797g	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 Ishida Sanae, Kitagawa Daichi, Kobatake Seiya, Kim Sunnam, Kurihara Seiji, Fukaminato, Tuyoshi	4. 巻 55
2. 論文標題 Efficient "turn-off" fluorescence photoswitching in a highly fluorescent diarylethene single crystal	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 5681-5684
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c9cc02441g	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 Pin Christophe, Takahashi Gen, Fujikawa Seiya, Sudo Kota, Fukaminato Tuyoshi, Sasaki Keiji	4. 巻 11141
2. 論文標題 Optical trapping of nanoparticles using dimer and trimer plasmonic nanogap antennas	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering	6. 最初と最後の頁 OMC-2-04
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 -

〔学会発表〕 計23件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 垂野航也、金善南、栗原清二、深港豪
2. 発表標題 ペリレンビスイミド連結ジアリールエテンの可視光フォトクロミズムにおける重原子効果
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 碓子 壱成、金 善南、栗原 清二、深港 豪
2. 発表標題 蛍光色素連結ジアリールエテンの可視光フォトクロミズム
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 モクタール アシカン、明石 優志、金 善南、栗原 清二、木田 徹也、深港 豪
2. 発表標題 フッ化アルキル基を有するシランカップリング剤を用いたジアリールエテン複合ペロブスカイト型量子ドットの発光スイッチング
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tsuyoshi Fukaminato, Issei Ikariko, Sunnam Kim, Seiji Kurihara, Kenji Higashiguchi, Takashi Hirose, Kenji Matsuda, Hikaru Sotome, Hiroshi Miyasaka
2. 発表標題 Visible-light induced photocyclization reaction in diarylethene-perylenebisimide dyads
3. 学会等名 PacifiChem2020 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 碓子 宥成、金 善南、栗原 清二、深港 豪
2. 発表標題 ペリレンビスイミド連結ジアリールエテンの可視光閉環反応の長波長化
3. 学会等名 2021年光化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 坂西 麻未、佐藤 文紀、太田 最実、鍋谷 俊太、上久保 真紀、前橋 亮太、小原 朋也、金 善南、栗原 清二、深港 豪
2. 発表標題 単一成分で黒く着色するジアリールエテン誘導体の合成
3. 学会等名 2021年光化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名	MOKHTAR, Ashkan; MORINAGA, Ryuki; AKAISHI, Yuji; KIM, Sunnam; KURIHARA, Seiji; KIDA, Tetsuya; FUKAMINATO, Tsuyoshi
2. 発表標題	Photoluminescence photoswitching of perovskite quantum dots having photochromic diarylethene ligands
3. 学会等名	2021年光化学討論会
4. 発表年	2021年

1. 発表者名	Ashkan Mokhtar、森永 竜樹、明石 優志、金 善南、栗原 清二、木田 徹也、深港 豪
2. 発表標題	ジアリールエテン誘導体を表面配位子として有するCsPbBr ₃ 量子ドットの発光スイッチング
3. 学会等名	日本化学会第101春季年会
4. 発表年	2021年

1. 発表者名	明石 優志、Ashkan Mokhtar、下吉 真実、森永 竜樹、深港 豪、木田 徹也
2. 発表標題	ジアリールエテン誘導体-CsPbBr ₃ ナノ結晶ハイブリッドの発光特性
3. 学会等名	日本化学会第101春季年会
4. 発表年	2021年

1. 発表者名	碓子 壱成、東口 顕示、廣瀬 崇至、五月女 光、金 善南、松田 建児、宮坂 博、栗原 清二、深港 豪
2. 発表標題	ペリレンビスイミド連結ジアリールエテンの可視光閉環反応に対するメカニズムの検討
3. 学会等名	日本化学会第101春季年会
4. 発表年	2021年

1. 発表者名 石田 沙奈恵・金 善南・栗原 清二・深港 豪
2. 発表標題 有機溶媒中で粒子化する水溶性ジアリールエテンの蛍光スイッチング
3. 学会等名 2020年光化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 碓子 啓成、東口 顕示、広瀬 崇、五月 女光、金善南、松田 建児、宮坂 博、栗原清二、深港 豪
2. 発表標題 ペリレンビスイミド連結ジアリールエテンの可視光フォトクロミズムに及ぼすスペーサーユニットの影響
3. 学会等名 2020年光化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森永 竜樹、モクタル アシカン、明石 優志、金 善南、栗原清二、木田 徹也、深港 豪
2. 発表標題 ジアリールエテンを配位子として有するペロブスカイト型量子ドット複合体の蛍光スイッチング
3. 学会等名 2020年日本化学会九州支部秋期研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 坂井 李帆、金善南、深港豪、前橋 亮太、甲斐 康郎、佐藤 文紀、太田 最実、栗原清二
2. 発表標題 高ねじり力を有する新規キラル分子の開発
3. 学会等名 2020年日本化学会九州支部秋期研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 足利友弥、篠原真衣、金善南、深港豪、新留琢朗、栗原清二
2. 発表標題 光応答性界面活性剤を用いた細胞毒性の光制御
3. 学会等名 2020年日本化学会CSJフェスタ
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 篠原真衣、足利友弥、金善南、深港豪、新留琢朗、栗原清二
2. 発表標題 逆フォトクロミズム性スピロピランを用いた細胞膜透過性制御システムについて
3. 学会等名 2020年日本化学会CSJフェスタ
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ashkan Mokhtar, Ryuki Morinaga, Yuji Akaishi, Manami Shimoyoshi, Sunnam Kim, Seiji Kurihara, Tetsuya Kida, Tuyoshi Fukaminato
2. 発表標題 Reversible Photoluminescence Switching of CsPbBr ₃ Quantum Dots Hybridized with a Diarylethene Photoswitch
3. 学会等名 The 15th International Student Conference on Advanced Science and Technology (ICAST) 2020 Online Kumamoto (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ashkan Mokhtar, Ryuki Morinaga, Yuji Akaishi, Manami Shimoyoshi, Sunnam Kim, Seiji Kurihara, Tetsuya Kida, Tuyoshi Fukaminato
2. 発表標題 Reversible Luminescence Photoswitching of Perovskite Quantum Dots Hybridized with a Diarylethene Photoswitch
3. 学会等名 2020年光化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 深港 豪
2. 発表標題 超高感度な蛍光スイッチング特性を有する蛍光性フォトクロミック分子材料の開発
3. 学会等名 2019年度高分子・ハイブリッド材料研究センター(PHYM)若手フォーラム(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tsuyoshi Fukaminato, Sanae Ishida, Daichi Kitagawa, Seiya Kobatake, Remi Metivier
2. 発表標題 Efficient fluorescence photoswitching in photochromic nanoparticles and single crystals
3. 学会等名 9th International Symposium on Photochromism (ISOP 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Issei Ikariko, Kenji Higashiguchi, Takashi Hirose, Hikaru Sotome, Sunnam Kim, Kenji Matsuda, Hiroshi Miyasaka, Seiji Kurihara, Tsuyoshi Fukaminato
2. 発表標題 Visible-light photochromism of a perylenebisimide-diarylethene dyad
3. 学会等名 9th International Symposium on Photochromism (ISOP 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomoe Kato, Sunnam Kim, Seiji Kurihara, Tsuyoshi Fukaminato
2. 発表標題 Reversible fluorescence photoswitching based on the cooperative orientation in a dye-doped liquid crystalline azobenzene polymer
3. 学会等名 9th International Symposium on Photochromism (ISOP 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nicolas Fabre, Tsuyoshi Fukaminato, Katsuya Mutoh, Jiro Abe, Remi Metivier
2. 発表標題 Fluorescence modulation with photochromic-fluorescent nanosystems
3. 学会等名 9th International Symposium on Photochromism (ISOP 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 Tsuyoshi Fukaminato, Sanae Ishida, Su Jia, Keitaro Nakatani, Remi Metivier	4. 発行年 2020年
2. 出版社 Springer, Singapore	5. 総ページ数 14
3. 書名 Photosynthetic Responses in Molecules and Molecular Aggregates, Chapter 20	

1. 著者名 坪井 泰之・深港 豪	4. 発行年 2019年
2. 出版社 化学同人	5. 総ページ数 216
3. 書名 プラズモンと光圧が導くナノ物質科学 (CSJカレントレビュー) : 5章「光ナノピンセット」	

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 フォトクロミック化合物	発明者 鍋谷 俊太、太田最 実、深港 豪、栗原清 二、他3名	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2021-139802	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計1件

産業財産権の名称 表示装置	発明者 栗原清二、深港 豪、 佐藤文紀、甲斐康 朗、太田最実、前橋	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2019-146721	取得年 2020年	国内・外国の別 国内

〔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
---------	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------