

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：12301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H02043

研究課題名(和文) 光縮環法を駆使した有機超伝導・半導体創製から有機EL発光素子開発への展開

研究課題名(英文) Development of OLED materials based on polyaromatic hydrocarbons possessing semi- and super-conductivities

研究代表者

山路 稔 (Yamaji, Minoru)

群馬大学・大学院理工学府・准教授

研究者番号：20220361

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,300,000円

研究成果の概要(和文)：ベンゼン環が縮環した化合物を有機化学の手法で作成することは大変な手間と時間を必要とするが、光化学反応を用いると、簡単な有機合成手法で準備できる光反応前駆体から容易に作成可能である。本研究では多環芳香族化合物であるフェナセンを簡便かつ高効率に合成するために、フロー式の光反応装置を作成した。これを用いてベンゼン環数が少ないフェナントレン、クリセン、ピセンの誘導体を作成し、以降作成する高次フェナセン合成の基本ユニット分子を準備した。基本ユニットに官能基を付加することで新規のフェナセンを作成し、それらの光物理、電子デバイス特性の評価を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

光環化反応で作成可能なフェナセンは外部環境に対し堅牢であり半導体性・超伝導性を示し、ベンゼン環数を変化させると電気物性が変化する一方、発光効率は良くない。本研究の成果としてフェナセンをビルディングブロックとした複数のクロモファーから成る芳香族化合物が効率の良い固体青色発光を誘起することを見出した。マルチクロモファー分子は青色OLEDの発光層としての応用が期待される。また、ベンゼン環の縮環様式をフェナセンとアセンのハイブリッド化した分子の半導体性が分子の対称性に依存することを見出した。この発見は、有機半導体化合物の設計方針の一助になると考えられる。

研究成果の概要(英文)：Organic synthesis of fused aromatic compounds of a large number of the benzene ring requires multistep synthetic procedures whereas photocyclization process of corresponding ethene precursors is a facile procedure for synthesizing them. In advance of the main study, we made a flowphotoreactor that achieves efficient photocyclization. By using this instrument, we synthesized small phenacene derivatives, such as phenanthrene, chrysene and picene, with bromomethyl and formyl groups at various substituted positions used as the basic chromophores for the following photocyclization of diarylethenes. We prepared various diarylethenes, and carried out their photocyclization to obtain a variety of cyclized aromatic compound. Photophysical properties of compounds were studied based on emission and transient absorption measurements as well as the single crystal structures by X-ray crystallography. The electronic properties as semiconductor and electroluminescence devices were examined.

研究分野：物理化学(光化学・放射線化学)

キーワード：光環化反応 多環芳香族炭化水素 有機半導体性 有機超伝導性 固体発光 フェナセン

1. 研究開始当初の背景

(1) ピセンは原油を精製した後に得られるピッチから分離されて得られる縮環化合物として古くから知られていた。しかし工業的な利用目的が少ないため、その効率的な化学合成法の研究例は少なく、合成の最終段階に至るまでの準備段階が多く、収率も比較的小さいため、目的物である高純度のピセンを効率良く得ることは困難とされてきた。しかし我々は溶液中でキサントンを光増感剤として 1,2-ジ(1-ナフチル)エタンに光増感反応を行うと、高純度ピセンが大量に生成できることを見出した。キサントンの代わりにベンゾフェノンや 9-フルオレノンを用いても同様にピセンは生成することが判った。また、ジアリルエテンをヨウ素と酸素共存下で直接光照射しても光環化反応が進行してピセンのベンゼン環数よりも大きなベンゼン環数をもつフェナセン骨格を形成できることが明らかになっていた。

(2) 有機トランジスタのデバイスとしての基本的な構造は有機物を活性層とする電界効果トランジスタ(FET)である。デバイスの特性を示す指標は電界効果移動度(μ)が用いられる。有機薄膜FETに使用されたデバイスの μ 値の最高値はペンタセンの $3.0 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ であったが、ペンタセンは空气中で不安定であり溶媒に溶けにくい、高電圧によりデバイスが破壊されるという欠点があった。そこで我々はペンタセンのベンゼン環をジグザグにしたピセンを代わりに用いて p-channel 動作する FET を作成した。我々の光環化法で作成した高純度ピセンを使った FET デバイスでは現在までに世界最高値に匹敵する $5.0 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ の値を実現している。

(3) 我々はピセン結晶に K, Rb などのアルカリ金属原子や Ca などのアルカリ希土類原子を挿入することで、ピセン分子系へ電子をドーピングし電子物性を変化させた。K 原子の場合、ドーパ量が 3 付近で金属層から超電導転移が 18 K で起きることを世界で初めて有機化合物で見出した。

2. 研究の目的

本研究の目的は、光環化反応を用いて従来の有機合成法では作成困難な大きな電子系炭化水素化合物を作製し、その物性、特に超伝導性・半導体性および高効率発光性を見出すことである。光環化法で作成可能な多環縮環化合物はベンゼン環がジグザグに縮環したフェナセンである。これまでに作成したベンゼン環数 n が 3 から 6 までのフェナセンの光反応前駆体はジアリルエテンであり、分子内一箇所環化反応が進行するモデルであった。しかし、 n の数が 7 以上のフェナセンを作成する場合、前駆体の準備のステップ数が増えるため、効率のよい合成反応系を開拓する必要があった。その解決策の一つとして、複数の光環化反応点を有する光反応前駆体の準備を提案し、その実証を行うことを第一の目標とした。次に、このアイデアをフェナセン以外の分子構造を有する化合物の作成への応用を試みる。つまり、ベンゼン環の縮環が一次元方向だけでなく、二次元平面方向、三次元立体方向へ伸展した分子構造を持つ化合物の作成を試み、それらの電気伝導性、光物性における新規機能性の開拓を第二の目的とした。

3. 研究の方法

(1) フロー式光反応装置の利用

効率的な光縮環反応条件の探索がこの研究の重要な点の一つである。光反応生成物の効率を低下させる主な原因は、生成した化合物が光反応の励起光を吸収することによる二次的な光分解反応である場合が多い。この分解反応を極力避けるためには光反応生成物を生成反応終了後光反応系から速やかに除去することである。従来のバッチ法による光反応システムでは、この除去過程が行えない。そのため、我々は光反応溶液を流路に流すことで光反応が終了すると同時に反応系から分離可能なシステムを準備した。

(2) 基本ユニットの作成

高次フェナセンを光縮環法で作成する際、光反応前駆体の芳香環は低次のフェナセンをビルディングブロックとする方針とした。実際、ベンゼン環数 $n = 3 \sim 6$ の低次のフェナセン骨格を持つ(ジ)メチル前駆体(図 1; $[n]\text{Me}_{(2)}$)を光縮環法によりフロー式光反応装置を用いて作製した。作製した $[n]\text{Me}_{(2)}$ から N -ブロモスクシンイミド(NBS)を用いて(ジ)メチルプロモ前駆体($[n](\text{CH}_2\text{Br})_{(2)}$)を経由してホルミル化により(ビス)ホルミル体($[n](\text{CHO})_{(2)}$)へ誘導した。作製した $[n](\text{CH}_2\text{Br})_{(2)}$ および $[n](\text{CHO})_{(2)}$ は次段階以降の合成で用いるビルディングブロックとして高次縮環化合物合成のための光反応前駆体へ誘導、あるいは発光分子のクロモファーとして用いた。

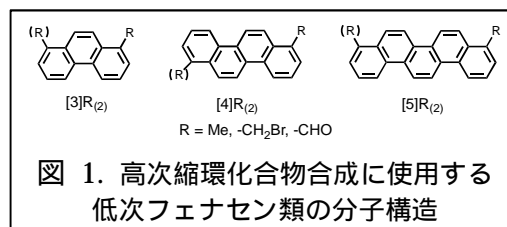


図 1. 高次縮環化合物合成に使用する低次フェナセン類の分子構造

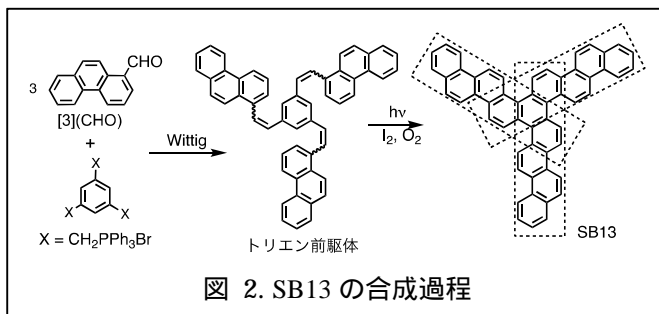
(3) 高次フェナセン合成

準備したビルディングブロックである $[n](\text{CH}_2\text{Br})_2$ のホスホニウム塩と $[n](\text{CHO})$ を Wittig 反応により結合させ、二重結合を二箇所所有するトリアリールジエン体を合成し、光縮環法により高次フェナセンへ誘導する。様々なベンゼン環数のパーツ分子を組み合わせることにより高次フェナセン

ンの合成を試みた。

(4) 二次元に縮環展開した多環縮合化合物の作成

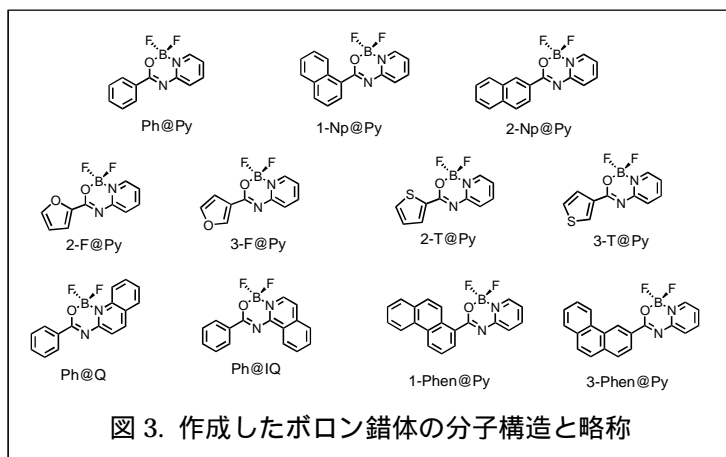
上記 (3) で作成される $[n]$ フェナセンの分子構造は長軸方向へ延伸を計った(一次元方向)分子群である。光縮環反応を応用して二次元(平面)方向に電子芳香環の拡張を試みた。これにより、一分子中複数箇所の光反応点を付与しても一度の光照射過程で複数の光縮環反応が進行することを



を検証できる。1,3,5-トリプロモメチルベンゼンのホスホニウム塩と $[n](CHO)$ を Wittig 反応により反応させ、一分子中三箇所の光反応点をもつトリエン前駆体を合成した。このトリエン前駆体に光縮環を施し、平面上で三方向に縮環系が展開した化合物を作成した。例として図 2 にベンゼン環 13 個からなる平面方向に縮環系が展開した Star Burst 分子(SB13)の合成経路を示す。合成した SB13 は $[6]$ フェナセンが 3 つ重複した骨格を有している。

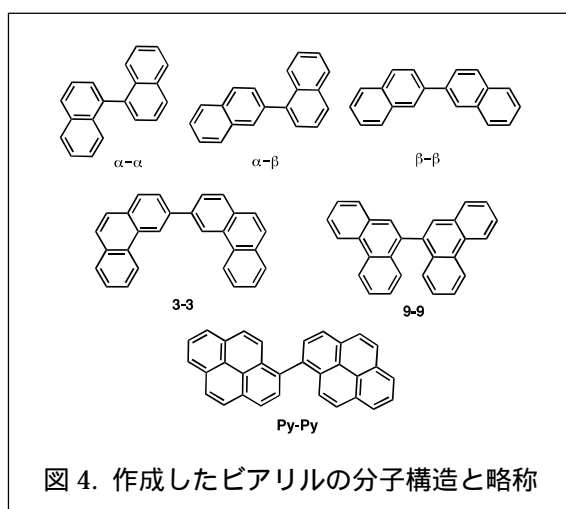
4. 研究成果

(1) 我々はフェニル環をクロモファーにもち、酸素と窒素で配位されたボロン錯体が固体および溶液中で強い青色蛍光を示すことを見出している。クロモファーをフェナセンに置換した場合、発光の効率と波長、その他の物性がどのような影響を受けるかを考察するため、図 3 に示すボロン錯体を準備し、その光物性と結晶構造との関連を調べた。尚、Phen@Py のフェナセン骨格は光環化反応により準備した。



フェナントレン骨格を有するボロン錯体(Phen@Py)は溶液中で 420 nm 付近に 0.4-0.5 の量子収率で蛍光を示し、固体状態では 450-480nm 付近に 0.3-0.5 の量子収率で蛍光を示した。他のクロモファーのボロン錯体の発光量子収率は 0.01-0.3 であったことから、クロモファーにフェナセンを導入すると、発光効率が向上する効果があることが判った。外部因子に対して堅牢性を示すフェナセンを有する Phen@Py は有機電界発光(OLED)の発光素子としてデバイス作製が試みられている。

(2) 芳香族有機化合物は溶液中で光励起に伴う蛍光発光現象が一般的に観測される。しかし、固体状態での発光現象は、特定のクロモファー(例えばアントラセン)のみで観測されるだけであった。我々は二つのクロモファーを連結させたビスアリル分子が、固体発光を示す事を偶然見出した。固体発光が確認させた分子構造を図 4 に示す。ビスフェナンスリルはビルディングブロックとして作成したフェナセンプロモ体からボロン酸を誘導し、そのボロン酸とプロモ体間の Suzuki 反応により作成した。



作成したピアリル分子の溶液中の発光は、基本のクロモファー自体の発光領域より長波長側に観測された。また、 α - α 、9-9 の固体発光は溶液中と同じ波長領域は観測されたが、 β - β 、3-3、Py-Py の固体発光は、溶液中よりも長波長域に現れた。この固体発光における波長シフトは特筆するものであり、後に結晶構造との関連性で議論された。発光の量子収率に関しては、基本のクロモファー分子よりピアリル分子の方が、効率が良いことが示された。発光効率を高める分子設計の方針として、クロモファーを複数有することが具体的に示された。

発光波長が溶液中と固体中でシフトが観測されなかったピアリルの結晶構造は、カラムスタックであったが、発光波長が異なったピアリルの結晶構造はヘリングボーンである、という区別ができることがわかった。これまでに知られている有機半導体性を示す化合物の結晶構造はヘリングボーンである事が判っている。今回の発見は、固体発光が溶液中の発光波長域と異なる分

子は、有機半導体性の可能性を示唆し、有機半導体分子探索の簡単なスクリーニング基準になる事が期待されている。

(3) 効率の良い多環縮合化合物を光環化法にて作成する方策として、光環化反応点を複数有する光反応前駆体を準備することを提案した。光反応点一つを有するジアリルエテンの光環化によるフェナセン作成では一次元方向にベンゼン環が伸展する。これを2次元方向(平面方向)に伸展する光反応前駆体を設計し、実際に光環化反応の可否を検証した。図5に分子構造を示す1,3,5-トリス(アリルエテニル)ベンゼンを準備し、光環化反応により分子構造がスターバースト型(SB)でベンゼン環数がそれぞれ7と10の多環縮合化合物、SB7およびSB10を作成した。これらの化合物の骨格に一部には、フェナセンの骨格が埋没していると見なすと(図5右式)光物性がどれくらい類似しているかに注目した。

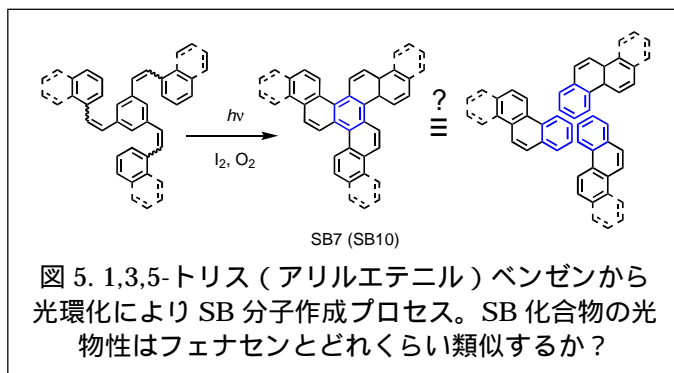


図6にSB化合物とそれを比較するためのフェナントレンおよびクリセンの吸収発光スペクトルを示す。SB7とSB10の吸収発光スペクトルは互いに類似している。一方、SB7とフェナントレンおよびSB10とクリセンの吸収発光スペクトルは全然類似していないとみとめられる。また、SB7とSB10の蛍光の量子収率と寿命は、それぞれ0.1と約5 ns前後であり、お互い類似していた。つまり、SB化合物の延伸された縮環部分に分子構造が類似するフェナセンとは物理物性が全く類似していないこと、一方SB7とSB10の光物性はとても類似していることが明らかになった。この類似性は、量子化学計算を用いた構造最適化の結果から、次のことが明らかになった。SB10の延伸した電子系の先端は中心のトリフェニレン部位に対して捻れるため平面性を失っている。そのため、電子の共役が末端まで広がっておらず、SB10の最高占有分子軌道(HOMO)と最低非占有分子軌道(LUMO)はSB7のそれらととても類似している。以上の事から、光環化反応点を複数有する反応系を構築し、実際に分子内3箇所光環化反応が進行することをSB7およびSB10の作成で示すことができた。SB10の延伸した電子系部位のためこの二つのSB化合物の光物性は大変類似することが明らかになった。

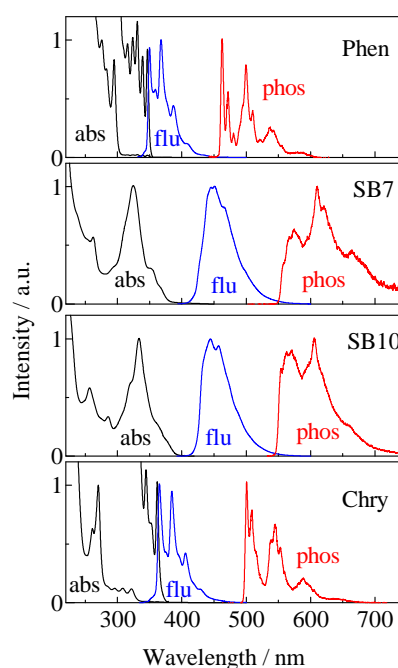
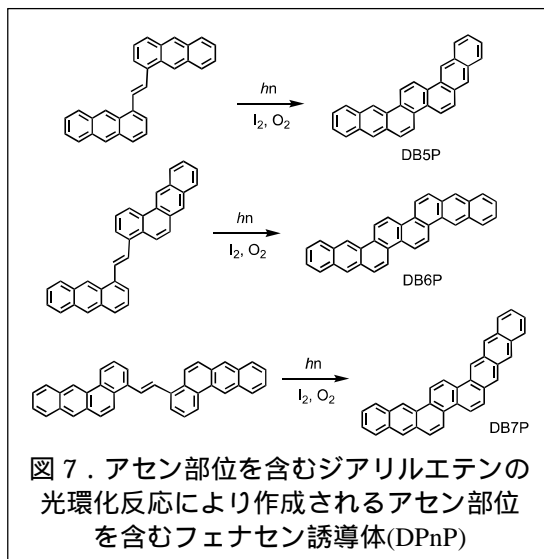


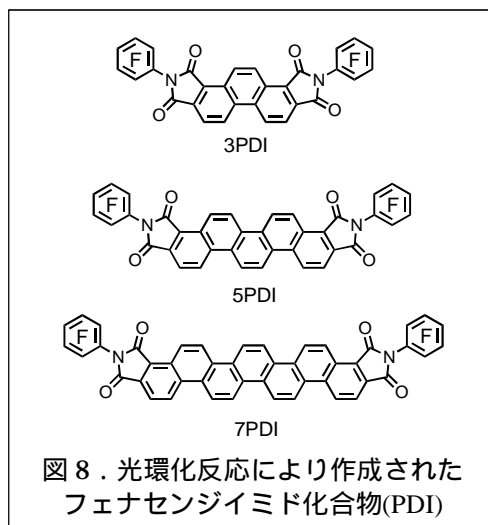
図6. SB7とSB10のシクロヘキサン中の吸収(黒線)および発光(青色)スペクトルおよび77 K、メチルシクロヘキサン：イソペンタン(3:1 v/v)中のリン光スペクトル(赤色)フェナントレンと(Phen)クリセン(Chry)の吸収発光スペクトルを比較のために示した。

(4) 光反応前駆体としてジアリルエテンを光環化するとフェナセン骨格が作成される。ベンゼン環が直線状に縮環したアセンをジアリルエテンのアリル部位として光環化反応を進行させると、アセン部位を有するフェナセン誘導体を作成される可能性がある。この過程を検証するため、図7の右側に示す、アセン部位を含むジアリルエテンを準備し、光反応によって図7中右側の多環縮合化合物、DPnP ($n = 5-7$)を作成した。作成した化合物の単結晶フィルムを用いて電界効果トランジスタデバイスを作成し、半導体性である電荷移動度(μ)を測定した。 C_{2v} 対称性をもつDP5PとDP7Pの μ 値 $0.5 - 0.9 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ であったが、 C_{2h} 対称性のDP6Pでは $1.5 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ であった。

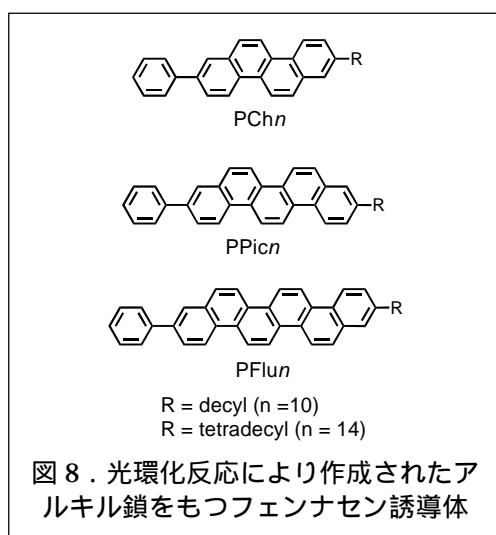


(5) 光環化法は光反応前駆体クロモファーに対してより大きな電子系をもつ化合物を作成する方針に最適な化学反応過程である。ジアリルエテンの様な炭化水素化合物のみでは無く、ヘテロ原子を含む化合物にも光環化法が適用可能であることを試みた。フェナセンクロモファーの末端部にイミド部位を有するジイミドジアリルエテン光反応前駆体を準備し、光環化反応により図8に示すフェナセンジイミド化合物(n PDI, $n = 3, 5, 7$)を作成しその光物性を調査した。

n PDIはCV測定によりラジアルイオンとジアニオンの二段階の還元過程を有することが判った。3PDI溶媒の極性に依存しない青色蛍光を示したが、5PDIと7PDIの蛍光スペクトルは溶媒の極性の増加に伴い、長波長シフトを示した。後者の二つはLippert-Matagaプロットから励起状態で電荷移動性を示していることが明らかになった。このようにフェナセン骨格にイミドの様なヘテロ原子で構成される部位を導入すると、電荷移動性を発現させることが可能になり、発光デバイスの発光源として利用する可能性を示すことができた。



(6) 電界効果トランジスタの電子移動層に使用される芳香族有機化合物が効率良くその半導体性を示す方策として、近年アルキル鎖を付加した芳香族化合物の半導体性性能向上の報告が多くなされている。光環化反応で作成できるフェナセンにアルキル鎖を付加した図9に示す化合物を作成し、その半導体性を検討した。クリセンをクロモファーとするPCh10およびPCh14の移動度 $\mu / \text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ はいずれも-2のオーダーであり、PFlu10およびPFlu14はそれぞれ-2~-1および-3~-1のオーダーであった。一方、PPic10およびPPic14の μ 値は-1および-2~-1のオーダーであり、他の二つの化合物より大きな値を示した。つまり移動度は必ずしもフェナセンのベンゼン環数に比例するわけではなく、またアルキル鎖の長さもその長さに比例して効率的な移動度を示すというわけでは無いことが実験的に示された。



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計21件（うち査読付論文 21件／うち国際共著 1件／うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Yamaji Minoru, Tojo Sachiko, Majima Tetsuro, Fujitsuka Mamoru	4. 巻 25
2. 論文標題 Mesolysis of an asymmetric diphenyldisulfide radical anion studied by γ -ray and pulsed-electron radiolyses	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 9152 ~ 9157
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d3cp00780d	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 Yamaji Minoru, Okamoto Hideki	4. 巻 436
2. 論文標題 Star-burst polycyclic aromatic hydrocarbons prepared by multi-photocyclization and the photophysical features	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry	6. 最初と最後の頁 114387 ~ 114387
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jphotochem.2022.114387	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 Nose Keito, Yoshioka Kaito, Yamaji Minoru, Tani Fumito, Goto Kenta, Okamoto Hideki	4. 巻 13
2. 論文標題 Solvent-dependent fluorescence behaviour of imide-fused [<i>n</i>]phenacenes (<i>n</i> = 3, 5, 7)	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 4096 ~ 4101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2RA07771J	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 Zhang Yanting, Eguchi Ritsuko, Okamoto Hideki, Goto Kenta, Tani Fumito, Yamaji Minoru, Goto Hidenori, Kubozono Yoshihiro	4. 巻 10
2. 論文標題 Fabrication and characterization of thin-film field-effect transistors with alkyl-phenyl [<i>n</i>]phenacenes (<i>n</i> = 4?6)	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry C	6. 最初と最後の頁 16309 ~ 16320
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2TC03383F	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 Zhang Yanting, Eguchi Ritsuko, Hamao Shino, Goto Kenta, Tani Fumito, Yamaji Minoru, Kubozono Yoshihiro, Okamoto Hideki	4. 巻 57
2. 論文標題 Photochemical synthesis and device application of acene?phenacene hybrid molecules, dibenzo[<i>h</i>]phenacenes (<i>n</i> = 5?7)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 4768 ~ 4771
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d1cc01294k	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 Yamaji Minoru, Okamoto Hideki, Goto Kenta, Tani Fumito	4. 巻 421
2. 論文標題 Solid-state photoluminescence of biaryls: Relationship between photophysical feature and crystal structure	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry	6. 最初と最後の頁 113518 ~ 113518
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jphotochem.2021.113518	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 Yamaji Minoru, Sano Kanae, Okamoto Hideki, Matsuo Ichiro	4. 巻 400
2. 論文標題 Synthesis and photophysical properties of blue-color emitting compounds having multi N-methylanthranillic (MANT) chromophore	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry	6. 最初と最後の頁 112650 ~ 112650
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jphotochem.2020.112650	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 Mu?oz Resta Ignacio, Miravet Juan F., Yamaji Minoru, Galindo Francisco	4. 巻 8
2. 論文標題 Solid-state white-light emission from a pyrylium dye obtained in one synthetic step	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry C	6. 最初と最後の頁 14348 ~ 14352
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0TC02987D	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 Maeda Hajime, Horikoshi Ryo, Yamaji Minoru, Furuyama Taniyuki, Segi Masahito	4. 巻 2020
2. 論文標題 Photophysical Properties of Silyl Substituted Stilbene Derivatives	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 European Journal of Organic Chemistry	6. 最初と最後の頁 3410 ~ 3422
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ejoc.202000397	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 M. Yamaji, K. Tomonari, K. Ikuma, K. Goto, F. Tani, H. Okamoto	4. 巻 18
2. 論文標題 Blue fluorescence from n,o-coordinated bf2 complexes having aromatic chromophores in solution and the solid state	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Photochem. Photobiol. Sci.	6. 最初と最後の頁 2884-2892
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9PP00410F	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 L. Wang, M. Fujii, M. Namba, M. Yamaji, H. Okamoto	4. 巻 60
2. 論文標題 Fluorescence properties of amido-substituted 2,3-naphthalimides: Excited-state intramolecular proton transfer (esipt) fluorescence and responses to ca2+ ions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Tetrahedron Lett.	6. 最初と最後の頁 151189
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tetlet.2019.151189	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 Y. Takahashi, T. Uehara, C. Matsushashi, M. Yamaji, T. Mutai, I. Yoshikawa, H. Houjou, K. Kitagawa, T. Suenobu, S. Maki, T. Hirano	4. 巻 376
2. 論文標題 Spectroscopic properties of push-pull 2-(4-carboxyphenyl)-6-dimethylaminobenzothiazole derivatives in solution and the solid state	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Photochem. Photobiol. A: Chem.	6. 最初と最後の頁 324-332
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jphotochem.2019.03.021	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 R. Misawa, C. Matsuhashi, M. Yamaji, T. Mutai, I. Yoshikawa, H. Houjou, K. Noguchi, S. Maki, T. Hirano	4. 巻 60
2. 論文標題 Halogen-substituent effect on the spectroscopic properties of 2-phenyl-6-dimethylaminobenzothiazoles	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Tetrahedron Letters	6. 最初と最後の頁 1702-1705
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tetlet.2019.05.052	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 Yamaji, Minoru Okamoto, Hideki Goto, Kenta Kato, Shin-ichiro Tani, Fumito Nakamura, Yosuke	4. 巻 59
2. 論文標題 Synthesis of isomeric coumarin-fluorene hybrids by photocyclization and the photophysical features	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Tetrahedron Letters	6. 最初と最後の頁 1216-1219
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tetlet.2018.02.033	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 Yamaji, Minoru Okamoto, Hideki	4. 巻 360
2. 論文標題 Photophysical features of naphthols having esters, formyl and acetyl groups and the difluoroboronated complex in solution and the solid state	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry	6. 最初と最後の頁 1010-6030
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jphotochem.2018.04.017	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 Wang, L. Fujii, M. Yamaji, M. Okamoto, H.	4. 巻 10
2. 論文標題 Fluorescence behaviour of 2-, 3- and 4-amino-1,8-naphthalimides: effects of the substitution positions of the amino functionality on the photophysical properties	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Photochem Photobiol Sci	6. 最初と最後の頁 1319-1328
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c8pp00302e	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 Okamoto, Hideki Itani, Kazumasa Yamaji, Minoru Konishi, Hiroyuki Ota, Hiromi	4. 巻 59
2. 論文標題 Excited-state intramolecular proton transfer (ESIPT) fluorescence from 3-amidophthalimides displaying RGBY emission in the solid state	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Tetrahedron Letters	6. 最初と最後の頁 388-391
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tetlet.2017.12.049	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 Fujino, Shota Yamaji, Minoru Marciniak, Bronislaw	4. 巻 365
2. 論文標題 Laser Photolysis Studies of C-C Bond Dissociation in Aromatic Carbonyls of Five-Membered Rings Induced by Triplet Sensitization	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry	6. 最初と最後の頁 39-44
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jphotochem.2018.07.028	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 Fujikawa, Tomoya Uehara, Takuya Yamaji, Minoru Kanetomo, Takuya Ishida, Takayuki Maki, Shojiro Hirano, Takashi	4. 巻 59
2. 論文標題 Structure-fluorescence relationship of push-pull 2-phenylbenzothiazole derivatives designed based on the firefly light-emitter	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Tetrahedron Letters	6. 最初と最後の頁 1431-1434
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tetlet.2018.02.075	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 Shinozaki Yukino, Yamaji Minoru, Arai Tatsuo	4. 巻 500
2. 論文標題 Excited state properties of 2-hydroxychalcone analogues functionalized with a diene moiety studied by steady state and laser flash photolysis	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 15~18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.chemphys.2017.11.006	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 Shinozaki Yukino, Yamaji Minoru, Arai Tatsuo	4. 巻 350
2. 論文標題 Investigations of excited-state relaxation processes in 2 - hydroxychalcone analogues having pyrrole and indole moieties based on emission and transient absorption measurements	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry	6. 最初と最後の頁 17~22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jphotochem.2017.09.021	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19件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 M. Yamaji, H.Okamoto, K. Suzuki, T. Mutai, I. Yoshikawa and H. Houjyou,
2. 発表標題 Relationship between fluorescence in the solid state and the crystal structures of diphenylnaphthalenes
3. 学会等名 2022光化学討論会 (京都)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 多月あおい, 伊谷一将, 西村賢宣, 山路 稔, 岡本秀毅
2. 発表標題 環状及び非環状のスルホンアミドをプロトンドナーとするフタルイミド類のESIPT蛍光特性
3. 学会等名 2022光化学討論会 (京都)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 野勢 勁斗, 吉岡 海渡, 山路 稔, 五島 健太, 谷 文都, 岡本 秀毅
2. 発表標題 分子長軸両端にイミド官能基を持つ[n]フェナセン誘導体(n = 3, 5, 7)の合成および蛍光特性
3. 学会等名 2022光化学討論会 (京都)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 多月あおい, 伊谷一将, 西村賢宣, 山路 稔, 岡本秀毅
2. 発表標題 環状及び非環状のスルホンアミドをプロトンドナーとするフタルイミド類のESIPT蛍光特性
3. 学会等名 2022年日本化学会春期年会(東京)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 M. Yamaji, H.Okamoto, K. Goto and .F. Tani
2. 発表標題 Relationship between fluorescence in the solid state and the crystal structures of biaryls
3. 学会等名 2021光化学討論会(Web開催)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉岡海渡, 山路 稔, 五島健太, 谷文都, 岡本秀毅
2. 発表標題 分子長軸の両端にイミド基をもつフェナセン誘導体の蛍光の溶媒応答
3. 学会等名 2021光化学討論会(Web開催)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 多月あおい, 伊谷一将, 山路 稔, 岡本秀毅
2. 発表標題 スルホンアミドをプロトンドナーとするフタルイミド類のESIPT蛍光特性
3. 学会等名 2021光化学討論会(Web開催)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山路 稔、岡本秀毅、加藤真一郎
2. 発表標題 マルチクロモファー化による芳香族分子の発光特性への影響
3. 学会等名 2020光化学討論会 (Web開催)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Y. Zang, R. Eguchi, S. Hamao, K. Goto, F. Tani, M. Yamaji, Y. Kubozono and H. Okamoto
2. 発表標題 Organic field-effect transistors based on newly synthesized dibenzo[n]phenacenes (n = 5-7)
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会 (Web開催)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 M. Yamaji
2. 発表標題 Blue fluorescence from N,O-coordinated BF ₂ complexes with aromatic chromophores in solution and solid state
3. 学会等名 Asian Chemical Confress (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山路 稔
2. 発表標題 Blue fluorescence from N,O-coordinated BF ₂ complexes having aromatic chromophores in solution and solid state
3. 学会等名 2019年光化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山路 稔
2. 発表標題 放射線化学的手法によるジアリルエテンの光化学的性質の研究
3. 学会等名 放射線化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Yamaji
2. 発表標題 Blue fluorescence from N,O-coordinated BF ₂ complexes having aromatic chromophores in solution and solid state
3. 学会等名 The 12th Taiwan-Japan Bilateral Symposium on Architecture of Functional Organic Molecules (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山路稔、岡本秀毅、五島健太、谷文都
2. 発表標題 カルボニル基をもつナフトール類とそのボロン錯体の光物理特性の研究
3. 学会等名 2018年光化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊谷一将、山路稔、岡本秀毅
2. 発表標題 フタルイミド誘導体のESIP蛍光特性に及ぼすアミド置換
3. 学会等名 2018年光化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岡本 秀毅、久保園 久保園 芳博、浜尾 志乃、郷田 慎、杉野 久子、山路 稔
2. 発表標題 共役拡張フェナセンの光環化による合成と電子スペクトル特性
3. 学会等名 2018年光化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Lei Wang, Minoru Yamaji, Hideki Okamoto
2. 発表標題 Preparation of Amino-substituted 1,8-Naphthalimide Derivatives and Their Fluorescence Properties
3. 学会等名 2018年光化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Minoru Yamaji,1 Hideki Okamoto,2 Kenta Goto3 and Fumito Tani
2. 発表標題 Photophysical features of naphthols having esters, formyl and acetyl groups and the difluoroboronated complex in solution and the solid state
3. 学会等名 The 11th Japan-Taiwan Bilateral Symposium on Architecture of Functional Organic Molecules (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Minoru Yamaji
2. 発表標題 Photoinduced π -bond dissociation of aromatic carbonyls in higher triplets triggered upon triplet sensitization studied by laser flash photolysis
3. 学会等名 Asian Photochemistry Conference 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 化合物、化合物の製造方法、青色発光材料及び有機発光素子	発明者 山路 稔	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2019-179505	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 青色固体発光材料、青色固体発光材料の製造方法及び有機発光素子	発明者 山路 稔	権利者 群馬大学
産業財産権の種類、番号 特許、COP-17345	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

励起分子科学研究室 http://photochem.chem-bio.st.gunma-u.ac.jp/~yamaji/Japanese/Welcome.html
--

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	岡本 秀毅 (Okamoto Hideki) (30204043)	岡山大学・自然科学学域・准教授 (15301)	

	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
連携研究者	久保園芳博 (Kubozono Yoshihiro) (80221935)	岡山愛学・自然科学学域・教授 (15301)	

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