

令和 4 年 6 月 23 日現在

機関番号：35302
研究種目：基盤研究(C) (一般)
研究期間：2018～2021
課題番号：18K05134
研究課題名(和文) 小分子型可視光アンテナ色素：反芳香族ペンタレンの自在合成と光学材料への応用

研究課題名(英文) Antenna dye for visible light: synthesis of antiaromatic pentalenes and their application to optical materials

研究代表者
折田 明浩(Orita, Akihiro)
岡山理科大学・工学部・教授

研究者番号：30262033
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：電子供与基と求引基を置換した可視光吸収アセチレン色素を合成した。この色素に単層カーボンナノチューブ(single wall carbon nanotube, SWCNT)と強力な親和性をもつフェロセンを置換し、自在に色素-SWCNT複合材料を簡便に調製する方法を開発した。また、アルコキシ基の置換位置が異なる一連のバイ拡張ピレン光触媒を合成し、光触媒の還元力をチューニングすることで、ジエンなどやや不安定なオレフィンの還元的合成に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

再生可能エネルギーとして太陽光が高い注目を集めている。太陽光を高効率で利用するために可視光色素と単層カーボンナノチューブとを簡便に複合化する技術を開発した。ここで得られた色素-カーボンナノチューブ複合体はフレキシブルな光電変換素子として応用展開できる可能性を秘める。

光はクリーンエネルギーとして様々な化学反応に利用できる。ここでは還元能が異なる3種のピレン光触媒を合成し、精密光還元反応へ応用した。この方法論は他の光反応を用いた精密合成へも応用展開が可能である。

研究成果の概要(英文)：Visible light-absorbing acetylenic dyes bearing electron-donating and -withdrawing groups were synthesized. When these dyes were substituted with ferrocene which showed attractive interaction with single-wall carbon nanotube (SWCNT), dye-SWCNT composites were easily fabricated simply by mixing them and sonication. Ortho-, meta- and para-alkoxy substituted pi-expanded pyrene photocatalysts were prepared. By selecting the most proper catalyst of them, diene sulfones were successfully transformed to the desired dienes in irradiation of green light although the diene products were somewhat labile in the reductive conditions.

研究分野：有機合成化学

キーワード：アセチレン ペンタレン 渡環反応 光反応 光触媒

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

有機合成では炭素-炭素結合生成反応を中心に、様々な官能基変換反応を経て、望む機能性化合物が合成されるが、進行しにくかったり遅い反応過程が含まれる場合には、通常、加熱によって反応加速が試みられる。このとき反応に関わる化学種は溶媒を通じて活性化障壁を越えるのに十分な熱エネルギーを与えられ、目的生成物への変換が加速される。近年こうした加熱による反応加速とは別に、光触媒を用いた光励起による反応加速が頻繁に利用されるようになってきた。多くの場合、白色光や青色光など可視光照射から生じた励起状態の光触媒によって一電子酸化あるいは一電子還元が進行し、ここから発生した活性なラジカル化学種がトリガーとなって望む反応が速やかに進行する。これまでにアクリジニウム誘導体やルテニウム錯体など様々な光触媒が開発され、有機合成に利用されてきた。本研究では様々な機能性材料や生理活性化合物として有用なオレフィン合成ターゲットを設定し、様々なパイ拡張光触媒を合成し、光触媒を用いた自在合成法を確立する。すなわちスルホンとアルデヒドとのアルドール縮合型反応から容易に調製されるエテニルスルホンを鍵中間体に用いて、独自に開発した光触媒活性化によるオレフィン合成、特にパイ拡張した共役オレフィンの合成を検討する。

2. 研究の目的

オレフィンは合成機能性材料や生理活性化合物に幅広く含まれる基本的な炭素官能基である。炭素-炭素二重結合の導入には Wittig 反応に代表される塩基条件下でのオレフィン合成や Mizoroki-Heck 反応に代表される遷移金属触媒を用いたオレフィン合成が、現在世界中で幅広く利用される。ここではエテニルスルホンをオレフィンの合成前駆体に利用し、ピレンやジベンゾペンタレン誘導体など独自に開発した光触媒によるオレフィン合成法を確立する。このオレフィン化反応は一電子移動を含む還元的脱スルホニル化から進行するため、容易に還元を受け副反応を生じることが予想されるジエンなど共役オレフィンの合成には困難が予想される。光触媒のパイ系だけでなく光触媒がもつ置換基の電子的効果や置換位置を工夫することでオレフィン合成反応に適した光触媒を開発し、パイ拡張オレフィンの新たな合成法を開拓する。

3. 研究の方法

ピレン、アントラセンやペンタレンを主骨格にもつパイ拡張化合物を合成し、これらを光捕集色素や光触媒として活用する。具体的には、ここでは 1. 光電変換特性、および 2. 光還元触媒という 2 種類の光機能発現を目指し分子設計とその光学的特性評価を試みる。

より具体的には、光電変換特性評価では可視光領域に吸収帯をもつよう電子供与基と求引基とを置換したパイ拡張色素を合成する。色素構造と光学特性との相関を探り、SWCNT が吸収できない波長領域の可視光を可能な限り効果的に利用することを目指す。続いてこの色素に単層カーボンナノチューブ (single-wall carbon nanotube, SWCNT) との強固な親和作用をもつフェロセンを置換し、内包あるいは外壁への吸着から有機色素-カーボンナノチューブ複合化材料を調製し、可視光駆動型光電変換素子作成の一助とする。より効率的かつ強固に複合化可能な色素構造を探るとともに、より効果的な合成プロセスや合成-複合化のワンポットプロセス化を図る。複合化を迅速かつ定量的に評価する分光学的手法としてラマン分光法を利用するが、できるだけ高感度で検出・解析ができるようラマン分光に敏感な官能基を探り活用する。

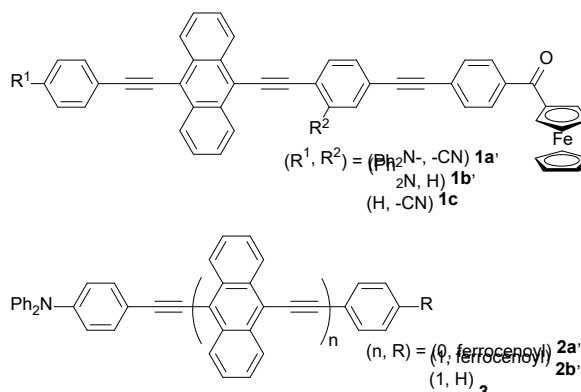
還元光触媒の特性評価では、まずベンジルスルホンとアルデヒドとを出発原料に用いたアルドール縮合型反応からエテニルスルホンを自在に合成できるよう工夫する。この反応は、炭素アニオンの生成、炭素-炭素結合生成反応、アルコールの官能基変換、アルコールの脱離反応という複数の官能基変換から構成される。これらの一連の変換反応をワンポット化し迅速合成を実現する。特にジエンやトリエンの合成を念頭にシンナミルスルホンやシンナミルアルデヒドなど共役系が拡張した基質を取り扱えるよう工夫する。こうして合成したエテニルスルホンに還元犠牲材として機能するアミンと新たに合成したパイ拡張ピレン、アントラセン、ペンタレンを添加し適切な可視光を照射することで、還元的脱スルホニル化官能を検討する。本反応ではジエンやトリエンなど光化学や電気化学に高活性な生成物を取り扱うことから、できる限り温和な条件で実施することを目指す。照射可視光には青色よりもさらに低エネルギーな緑色光を利用するとともに、エテニルスルホンの還元に必要な還元力を持ちながらパイ拡張生成物を損なわない光触媒の精密設計・合成を行う。

ここではパイ拡張化合物を触媒や反応基質、生成物として取り扱うことから、新たなパイ拡張反応も開発した。我々が独自に開発した強力な電子求引効果を示すホスフィニル保護基で末端アセチレン部分を置換したイナミン (アミノアセチレン) を C2 ユニットとして利用したアミノフェナントレン誘導体の合成法を確立した。この反応は、脱ホスフィニル化に続く遊離イナミンと α -ハロピフェニルとの菌頭萩原カップリング、ピフェニル置換イナミンへの求電子付加反応と渡環反応を経て進行する。また、活性な金属基板上に吸着したシリルアセチレンの脱シリルホモカップリングを経るオリゴマー反応を実現した。

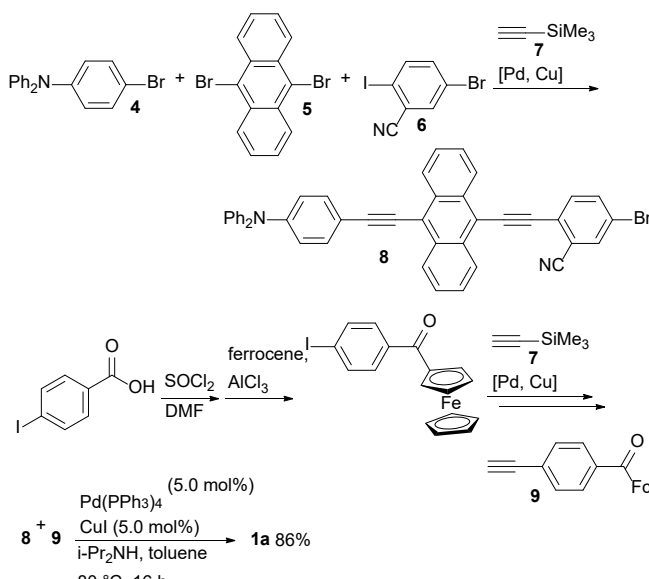
4. 研究成果

1. 光電変換色素の合成と SWCNT との複合化

本研究では可視光色素としてドナーアクセプターで置換したアントラセン誘導体 **1a** をデザインした。電子供与基としてアミノ基を、電子求引基としてシアノ基を置換することで長波長領域の可視光吸収を期待した。アミノ基側からパイ共役を眺めた際にシアノ基がベンゼン環のオルト位に置換するよう工夫することで供与基と求引基とが効果的に電子的相互作用できるよう工夫した。さらに9,10-アントリレンを共役系に組み込むことでより効果的な可視光利用を期待した。本研究では単層カーボンナノチューブ (single-wall carbon nanotube, SWCNT) を光電変換素子のドナーとして利用できるよう、色素 **1a** にフェロセンを置換し



Scheme 1. Structures of dyes **1a-c**, **2a-b**, and **3**



Scheme 2. Synthesis of **1a**

て SWCNT への自発的複合化を狙った。フェロセンは SWCNT と相互作用し内包化あるいは表面吸着されることが知られている。可視光色素複合化 SWCNT ではより効果的な可視光の吸収・利用が期待できることから、高い光電変換効率を実現できることを期待した。本研究では、色素 **1a** の分子設計妥当性を評価するために置換基が少しずつ異なる一連の誘導体 **1b-c**, **2a-b**, **3** を合成し、構造と光学的特性および SWCNT との複合化能を評価した (Scheme 1)。色素 **1a** の合成は以下のルートで実施した (Scheme 2)。ハロゲン化アリール **4-6** をトリメチルシリルアセチレン **7** と菌頭-萩原カップリングで逐次連結-脱シリル化した。得られた **8** とフェロセンの Friedel-Crafts 反応を経て合成した **9** とのカップリングから **1a** を得た。他の誘導体も同様の

合成で調製したが、得られた誘導体はいずれも空气中で安定な粉末であり、フェロセノイル誘導体はアセトニトリル中で可逆的な酸化還元挙動を示した。また、アントラセンを含む誘導体は褐色に呈色することから、可視光領域に強い吸収帯をもつことが期待された。クロロホルム溶液中で色素 **1a-c**, **2a-b**, **3** の紫外可視吸収スペクトルを測定したところ、アントラセン誘導体は予想通り可視光領域 400-550 nm 付近に強い吸収を示した (Figure 1)。特に電子供与基と求引基の両方を置換した **1a** は他の誘導体と比較して最も長波長に最も強い吸収帯を持つことが分かった。分子軌道計算を用いて色素 **1a** の構造最適化を行ったところ、HOMO はアミノ基側に LUMO はシアノ基側に局在していることが示された (Figure 2)。光励起によってアミノ基側からシアノ基側へ効果的に分子内で電荷移動が起こっていると考えられる。

色素 **1a-c**, **2b** はアントラセンを含む剛直で拡張したパイ共役系をもつことから、紫外線照射により蛍光発光を示すことが期待されるが、実際には極めて微弱な蛍光しか観測されない。これは遷移金属を含むフェロセニル基によって励起一重項から項間交差が速やかに進行し、生じた励起三重項から基底状態へ無輻射遷移が優先するためと考えられる。

て SWCNT への自発的複合化を狙った。フェロセンは SWCNT と相互作用し内包化あるいは表面吸着されることが知られている。可視光色素複合化 SWCNT ではより効果的な可視光の吸収・利用が期待できることから、高い光電変換効率を実現できることを期待した。本研究では、色素 **1a** の分子設計妥当性を評価するために置換基が少しずつ異なる一連の誘導体 **1b-c**, **2a-b**, **3** を合成し、構造と光学的特性および SWCNT との複合化能を評価した (Scheme 1)。色素 **1a** の合成は以下のルートで実施した (Scheme 2)。ハロゲン化アリール **4-6** をトリメチルシリルアセチレン **7** と菌頭-萩原カップリングで逐次連結-脱シリル化した。得られた **8** とフェロセンの Friedel-Crafts 反応を経て合成した **9** とのカップリングから **1a** を得た。他の誘導体も同様の

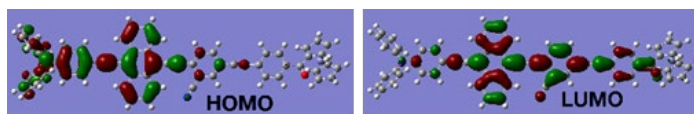
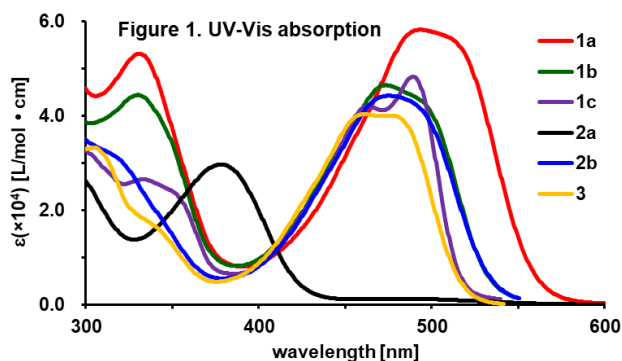


Figure 2. HOMO and LUMO of **1a**

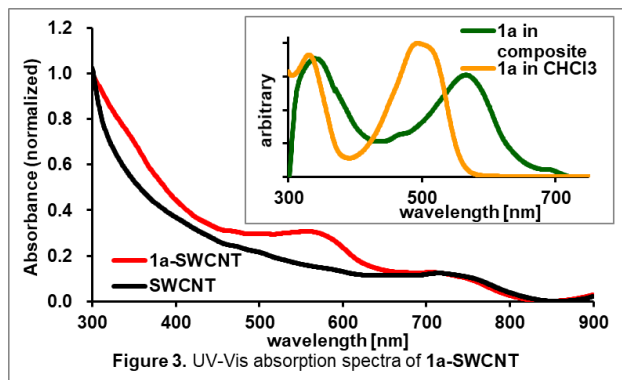


Figure 3. UV-Vis absorption spectra of 1a-SWCNT

分かった。また、ラマン分光法を用いた複合体 1a-SWCNT の分析では、アントラセン環に直接結合したアセチレンが高感度で検出できることが理論計算から示唆され、このエチニル基の有無をプローブとしてラマン分光測定を行うことで複合化の進行を定量的に評価することができた (Figure 4)。反芳香族化合物は長波長領域に禁制遷移に帰属される弱く幅広い吸収帯をもつことから、長波長領域の可視光を効果的に利用することを目指してジベンゾペンタレン色素 10 を合成した。複合化を試みたところ、残念ながら SWCNT

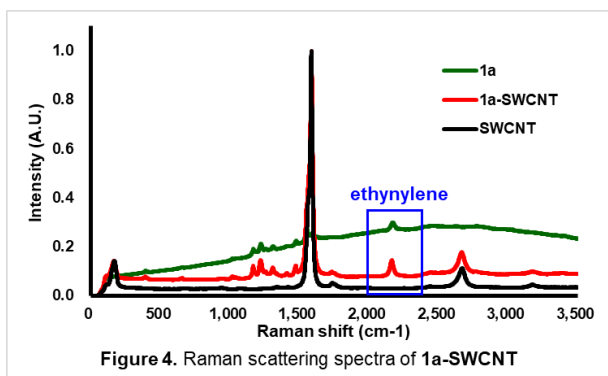
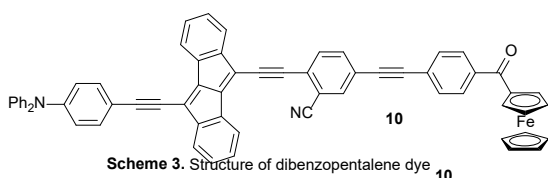
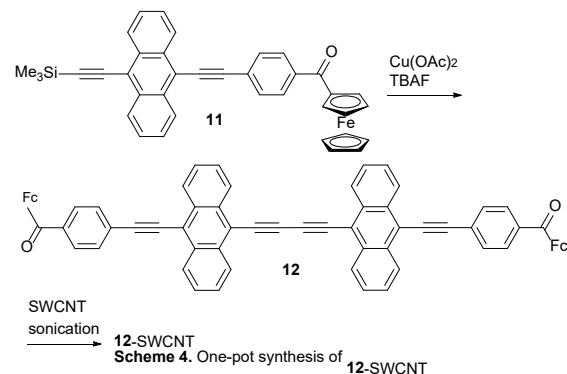


Figure 4. Raman scattering spectra of 1a-SWCNT



Scheme 3. Structure of dibenzopentalene dye 10



Scheme 4. One-pot synthesis of 12-SWCNT

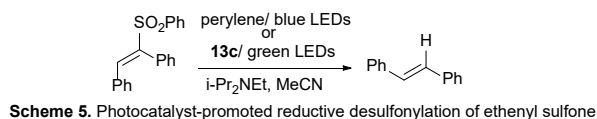
色素 1a のクロロホルム溶液に SWCNT を分散し、超音波照射によって複合体 1a-SWCNT を調製した。クロロホルム中に複合体 1a-SWCNT を分散させて紫外可視吸収スペクトルを測定したところ、色素 1a と SWCNT 両方の吸収帯が観測された。このとき、1a の吸収帯は長波長側にシフトすることが分かった (Figure 3)。フェロセノイル基を持たない色素 3 を用いた場合には複合化が観測されないことから、期待した通りフェロセンと SWCNT との相互作用が複合化の鍵になることが

との複合化は観測されなかった (Scheme 3)。次に合成プロセスの簡略化を目指して、色素の合成と SWCNT との複合化の連続化を検討した (Scheme 4)。ここで目指す簡略化プロセスは煩雑な色素の精製操作を回避することから、溶解性が乏しいパイ拡張色素の複合化には特に有効である。アントラニレン色素 11 の脱シリル化-酸化ホモカップリングから得られたテトライン色素 12 を単離精製することなく SWCNT との複合化を試みたところ、目的の複合体 12-SWCNT を得ることができた。この場合にも得られた複合体 12-SWCNT はラマン分光法でアントラニルエチンの振動に帰属される比較的強い反射を示した。

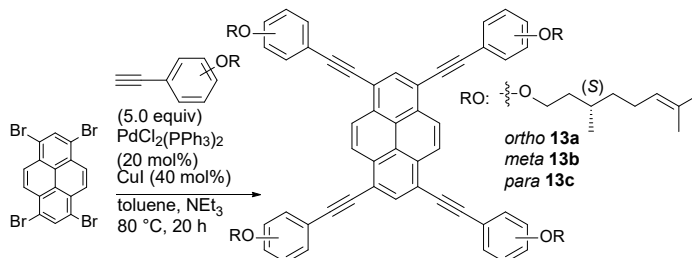
現在は、得られた 1a-SWCNT を用いてフラロデンドロンとの複合化の後に光電変換素子を作成し、光電変換特性評価を行っている。これら一連の成果は現在論文として準備中である。

2. ジエチニルスルホンの還元的脱スルホニル化触媒の開発

我々はこれまでにエチニルスルホンが光触媒の存在下、還元的脱スルホニル化を経てオレフィンを与えることを明らかにした。この光反応はペリレン/青色 LED あるいはパイ拡張ピレン 13c /緑色 LED の作用によってオレフィン化反応が速やか進行する (Scheme 5)。本触媒系はアルデヒドの還元から炭素-炭素結合生成反応を経由してピナコールカップリングが生起することからも比較的強力な還元力をもつが、その一方で還元に敏感なジエンなど共役オレフィンの合成反応には不適であった。本研究ではパイ拡張ピレン光触媒の置換位置を変更することで電子的な制



Scheme 5. Photocatalyst-promoted reductive desulfonylation of ethenyl sulfone



Scheme 6. Syntheses of π -expanded photocatalysts 13a-c

御を経てより温和な還元光触媒の開発を試みた。具体的にはパイ拡張ピレンにシトロネリルオキシ基をオルト位 **13a**、メタ位 **13b**、パラ位 **13c** へ置換し、可視光捕集効果および還元力のチューニングを試みた (Scheme 6)。 **13a-c** は 1, 3, 6, 8-四臭化ピレンと対応するシトロネリルオキシフェニルエチンとの菌頭-萩原カップリングから合成した。得られたピレン誘導体 **13a-c** は赤褐色の粉末であり、クロロホルム溶液中で紫外可視吸収スペクトルを測定したところ、可視光領域 450-520 nm 付近に強い吸収帯を示した (Figure 5)。

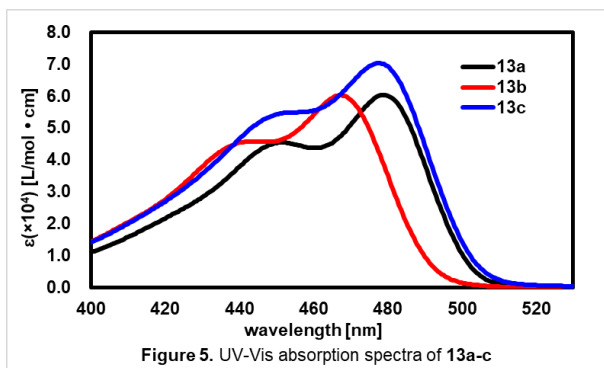
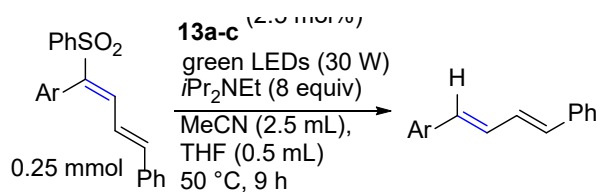
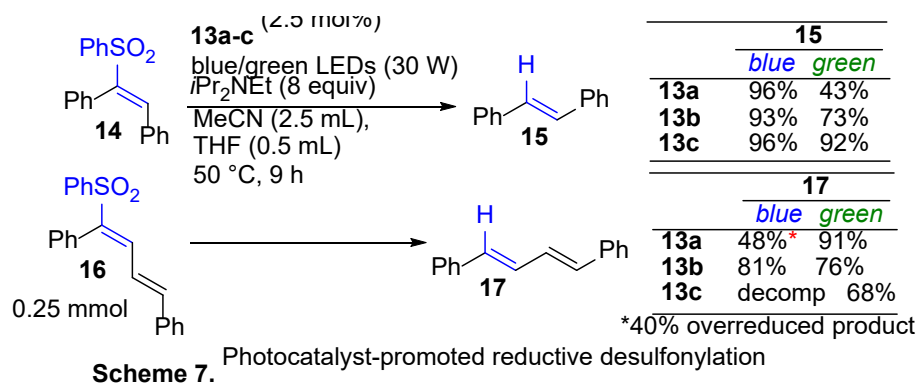


Figure 5. UV-Vis absorption spectra of **13a-c**

メタ置換体 **13b**、はオルト **13a**、パラ置換体 **13c** と比較して短波長 (468 nm) に極大吸収が見られた。一方、オルト **13a**、パラ置換体 **13c** は同じ波長 (479 nm) に極大吸収をもつが、**13c** がより大きなモル吸光係数を示した (7.0×10^4 L/mol·cm)。合成した光触媒 **13a-c** を用いてエテニルスルホン **14** の還元的脱スルホニル化を行った (Scheme 7)。青色光を用いて反応を行った際には触媒 **13a-c** はいずれも良好な収率で目的生成物の 1, 2-ジフェニルエテン (**15**) を与えた。一方、緑色光を用いた反応では **13c** は効果的に脱スルホニル化を促進するものの、**13b** は中程度で、**13a** は低収率で **15** を与えた。低エネルギーの緑色光を用いた反応では、光触媒 **13** 上の電子供与基の置換パターンに起因する還元電位の差が反応効率・収率に反映されているものと考えられる。続いて、ジエテニルスルホン **16** の還元的脱スルホニル化反応を行った。この反応の目的生成物は一電子還元を容易に受けるジエン **17** である。高エネルギーの青色光を用いた反応では、温和な還元力をもつ **13b** が最も良好な結果を与え、81%の収率で **17** を得た。十分な還元力をもつ **13a** や **13c** を用いた反応では過還元反応による **17** の収率低下および分解反応が観測され、満足いく結果は得られなかった。一方、低エネルギーの緑色光と触媒 **13a-c** とを組み合わせた光還元反応では、良好な収率で目的ジエン **17** が得られた。特にオルト置換触媒 **13a** が最も有効的に機能し 91%収率でジエン **17** を与えた。



| Ar | isolated yield [%] 13a, 13b, 13c |
|---|--|
| <i>o</i> -MeOC ₆ H ₄ | 20, 81, 81 |
| <i>m</i> -MeOC ₆ H ₄ | 50, 84, 51 |
| <i>p</i> -MeOC ₆ H ₄ | 26, 86, 86 |
| <i>m</i> -CF ₃ C ₆ H ₄ | 68, 80, 73 |
| <i>p</i> -CF ₃ C ₆ H ₄ | 57, 85, 55 |
| <i>o</i> -Br-C ₆ H ₄ | 49, 23, 9 |
| <i>m</i> -Br-C ₆ H ₄ | 62, 77, 53 |
| <i>p</i> -Br-C ₆ H ₄ | 80, 64, 60 |
| <i>m</i> -I-C ₆ H ₄ | 72, 72, (76)* |
| <i>p</i> -I-C ₆ H ₄ | 71, 74, (89)* |

* Deiodinated product
Scheme 8. Reductive desulfonation of substituted dienyl sulfones

緑色光照射下、適切な光触媒 **13a-c** を利用することでジエンが得られることから、ベンゼン環上に様々な置換基を持つジエテニルスルホンの還元的脱スルホニル化を試みた (Scheme 8)。電子供与基 (MeO 基) や電子求引基 (CF₃ 基) が置換した場合にも目的の変換反応は速やかに進行した。メタ置換触媒 **13b** あるいはパラ置換触媒 **13c** が特に有効であった。臭素やヨウ素で置換した基質についても問題なくジエンへの変換が進行した。還元条件にやや不安定なハロ基を損なうことなくジエンへの変換を行うことから、温和な還元触媒であるオルト置換触媒 **13a** やメタ置換触媒 **13b** が有効であった。特にヨード置換体の反応にパラ置換触媒 **13c** を用いた場合には、脱ヨウ素体のみが得られ、目的とするヨウ素置換ジエンは得られなかった。現在これら一連の結果をまとめ論文投稿準備中である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 0件）

| | |
|---|-----------------------------|
| 1. 著者名 Okuda Yasuhiro, Orita Akihiro, Otera Junzo | 4. 巻 80 |
| 2. 論文標題 Syntheses of -Expanded Alkynes and Alkenes by Using Sulfones as Starting Compounds | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Synthetic Organic Chemistry, Japan | 6. 最初と最後の頁 126 ~ 138 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5059/yukigoseikyokaisi.80.126 | 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 Okuda Yasuhiro, Fujimoto Mayo, Akashi Haruo, Orita Akihiro | 4. 巻 86 |
| 2. 論文標題 Dephosphinylative [4 + 2] Benzannulation of Phosphinyl Ynamines: Application to the Modular Synthesis of Polycyclic Aromatic Amines | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 The Journal of Organic Chemistry | 6. 最初と最後の頁 17651 ~ 17666 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.joc.1c01897 | 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 Sun Kewei, Sagisaka Keisuke, Peng Lifan, Watanabe Hikaru, Xu Feng, Pawlak Romy, Meyer Ernst, Okuda Yasuhiro, Orita Akihiro, Kawai Shigeki | 4. 巻 60 |
| 2. 論文標題 Head to Tail Oligomerization by Silylene Tethered Sonogashira Coupling on Ag(111) | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition | 6. 最初と最後の頁 19598 ~ 19603 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.202102882 | 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 Watanabe, Hikaru; Nakajima, Kazuki; Ekuni, Kento; Edagawa, Ryota; Akagi, Yuta; Okuda, Yasuhiro; Wakamatsu, Kan; Orita, Akihiro | 4. 巻 in press |
| 2. 論文標題 Custom-Made Pyrene Photocatalyst-Promoted Desulfonylation of Arylethenyl Sulfones Using Green-Light-Emitting Diodes | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Synthesis | 6. 最初と最後の頁 2984-2994 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1055/s-0040-1706025 | 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 Okuda, Yasuhiro; Imafuku, Kazuto; Tsuchida, Yoshiyuki; Seo, Tomoyo; Akashi, Haruo; Orita, Akihiro | 4. 巻 22 |
| 2. 論文標題 Process-Controlled Regiodivergent Copper-Catalyzed Azide-Alkyne Cycloadditions: Tailor-made Syntheses of 4- and 5-Bromotriazoles from Bromo(phosphoryl)ethyne | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Organic Letters | 6. 最初と最後の頁 5099-5103 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.orglett.0c01681 | 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 Watanabe Hikaru, Takemoto Mai, Adachi Kazumasa, Okuda Yasuhiro, Dakegata Aki, Fukuyama Takahide, Ryu Ilhyong, Wakamatsu Kan, Orita Akihiro | 4. 巻 49 |
| 2. 論文標題 Syntheses of Diarylethenes by Perylene-catalyzed Photodesulfonylation from Ethenyl Sulfones | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Chemistry Letters | 6. 最初と最後の頁 409 ~ 412 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.200046 | 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 Okuda Yasuhiro, Seo Tomoyo, Shigezane Yuki, Watanabe Hikaru, Akashi Haruo, Iwanaga Tetsuo, Orita Akihiro | 4. 巻 48 |
| 2. 論文標題 Synthesis of Ph ₂ P(O)-stabilized Ynamines via C(sp) ² N Bond Formation and Their Dephosphorylative Copper-catalyzed Click Reaction | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Chemistry Letters | 6. 最初と最後の頁 1484 ~ 1487 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.190647 | 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 Sun Kewei, Krejčí Ondřej, Foster Adam S., Okuda Yasuhiro, Orita Akihiro, Kawai Shigeki | 4. 巻 123 |
| 2. 論文標題 Synthesis of Regioisomeric Graphene Nanoribbon Junctions via Heteroprecursors | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C | 6. 最初と最後の頁 17632 ~ 17638 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.9b05881 | 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 Tajima Tomoyuki, Sanda Rai, Nishihara Katsuya, Shirai Hitoshi, Okuda Yasuhiro, Orita Akihiro, Takaguchi Yutaka | 4. 巻 9 |
| 2. 論文標題 Disproportionation-induced solid-state fluorescence in 6,13-dihydropentacenes | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 RSC Advances | 6. 最初と最後の頁 17035 ~ 17039 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c9ra03297e | 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 Kawai Shigeki, Krejci Ondrej, Foster Adam S., Pawlak Remy, Xu Feng, Peng Lifan, Orita Akihiro, Meyer Ernst | 4. 巻 12 |
| 2. 論文標題 Diacetylene Linked Anthracene Oligomers Synthesized by One-Shot Homocoupling of Trimethylsilyl on Cu(111) | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 ACS Nano | 6. 最初と最後の頁 8791 ~ 8797 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnano.8b05116 | 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 |

〔学会発表〕 計27件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 6件)

| |
|---|
| 1. 発表者名 奥田靖浩, 藤本真世, 清原和也, 桑山愛菜, 折田明浩 |
| 2. 発表標題 イナミンの芳香環形成反応による多環芳香族アミンの合成: 光学特性のチューニングを指向したパイ拡張戦略 |
| 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 奥田靖浩, 藤本真世, 清原和也, 桑山愛菜, 折田明浩 |
| 2. 発表標題 ホスフィニル基を置換した多環芳香族アミンの位置選択的合成とリン官能基が光学特性に及ぼす影響 |
| 3. 学会等名 第48回 有機典型元素化学討論会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 奥田靖浩, 藤本真世, 桑山愛菜, 清原和也, 折田明浩 |
| 2. 発表標題 ホスフィニルイナミンと2-ヨードピフェニルの[4 + 2]環化による含窒素・リン多環式化合物の合成と光学的特性の調査 |
| 3. 学会等名 第31回 基礎有機化学討論会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 奥田靖浩, 藤本真世, 清原和也, 桑山愛菜, 折田明浩 |
| 2. 発表標題 イナミンを用いた多環芳香族アミン合成: 合成プロセス制御によるアミノ基の位置転換戦略 |
| 3. 学会等名 第10回JAC1/GSCシンポジウム |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 奥田靖浩・益田和法・赤木伸行・折田明浩 |
| 2. 発表標題 プロモホスホリルエチンの位置選択的環化付加による4-および5-プロモトリアゾールの合成 |
| 3. 学会等名 2020年日本化学会中国四国支部大会島根大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 渡部光・中嶋和輝・奥田靖浩・折田明浩 |
| 2. 発表標題 緑色LED 照射下ピレン光触媒を用いた重金属フリーの還元的脱スルホニル化反応 |
| 3. 学会等名 2020年日本化学会中国四国支部大会島根大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 奥田靖浩・益田和法・赤木伸行・折田明浩 |
| 2. 発表標題 塩基および合成プロセスの制御によるホスホリルイナミンの位置選択的[4+2]芳香環形成 |
| 3. 学会等名 日本化学会第101春季年会(2021) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 渡部光・中嶋和輝・枝川領太・奥田靖浩・折田明浩 |
| 2. 発表標題 ピレン光触媒による還元的脱スルホニル化を経由した環境調和型Juliaオレフィン反応の開発 |
| 3. 学会等名 日本化学会第101春季年会(2021) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 A. Orita |
| 2. 発表標題 Syntheses of π -System Expanded Compounds by Using Ph ₂ P(O)-Protected Terminal Ethynes |
| 3. 学会等名 The 8th Japanese-Sino Symposium on Organic Chemistry for Young Scientists (招待講演)(国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 折田明浩 |
| 2. 発表標題 ホスホリルエチン: Ph ₂ P(O) 基で置換した末端アセチレンの合成と 拡張化合物への変換反応 |
| 3. 学会等名 2019 年度先端錯体工学研究会 (SPACC) 年会 (招待講演) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 A. Orita |
| 2. 発表標題 Amino(phosphoryl)ethynes: Synthesis, Physical Properties and Transformation to Aminotriazoles |
| 3. 学会等名 The 2nd International Symposium on Middle Molecular Strategy for Young Scientists (ISMYSys-2) (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Akihiro Orita, Yasuhiro Okuda, Sakimaru Mori, Masaki Taniguchi |
| 2. 発表標題 Synthesis of Monoiododiarenopentalene: Addition of in situ Prepared Hydrogen Iodide to Sondheimer-Wong Diyne |
| 3. 学会等名 The Third International Symposium on the Synthesis and Application of Curved Organic pi-Molecules & Materials (CURO-pai III) (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 折田明浩 |
| 2. 発表標題 アセチレン誘導体の簡略化合成法の開発と有機材料創製への応用 |
| 3. 学会等名 第34回若手化学者のための化学道場 (in 高知) (招待講演) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Akihiro Orita, Shigeki Kawai, Adam S. Foster, Yasuhiro Okuda, and Ernst Meyer |
| 2. 発表標題 One-shot Oligomerization of 9,10-Diethynylantracene on Cu(111): Consecutive Desilylation and Homo-coupling of 9,10-Bis(trimethylsilylethynyl)anthracene |
| 3. 学会等名 The 4th International Symposium on Middle Molecular Strategy (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 折田明浩、川井 茂樹、Foster Adam S.、奥田靖浩、Meyer Ernst |
| 2. 発表標題 9,10-ビス(トリメチルシリル)アントラセンを用いた銅(111)面上でのワンショット脱シリル-Glaserカップリング |
| 3. 学会等名 日本化学会第99春季年会(2019) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 ORITA, Akihiro; KAWAI, Shigeki; FOSTER, Adam S.; OKUDA, Yasuhiro; MEYER, Ernst |
| 2. 発表標題 One-shot desilylation and Glaser coupling of 9,10-bis(trimethylsilylethynyl)anthracene on Cu(111). |
| 3. 学会等名 日本化学会 第99春季年会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 OKUDA, Yasuhiro; SEO, Tomoyo; SHIGEZANE, Yuki; ORITA, Akihiro |
| 2. 発表標題 Development of Aminoacetylene Derivatives for Effective Synthesis of Organonitrogen Bioactive Compounds |
| 3. 学会等名 日本化学会 第99春季年会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 OKUDA, Yasuhiro; SEO, Tomoyo; SHIGEZANE, Yuki; ORITA, Akihiro |
| 2. 発表標題 Synthesis and Physicochemical Properties of Air-Stable Ynamines, and the Subsequent Dephosphorylative Click Reaction |
| 3. 学会等名 日本化学会 第99春季年会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 荒井由土・庄子良晃・奥田靖浩・折田明浩・福島孝典 |
| 2. 発表標題 9-ボラフルオレン誘導体を用いた歪みアルキンの芳香環化による湾曲 システムの構築 |
| 3. 学会等名 日本化学会 第99春季年会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 奥田靖浩・○渡部光・森咲丸・山田祐嗣・折田明浩 |
| 2. 発表標題 カーボンナノチューブ内包配向基を有する可視光色素の合成 |
| 3. 学会等名 2018年日本化学会中国四国支部大会 愛媛大会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 奥田靖浩・重實悠希・瀬尾朋世・折田明浩 |
| 2. 発表標題 プロモホスホリルエチンを用いる機能性アセチレンの合成・変換プロセス |
| 3. 学会等名 2018年日本化学会中国四国支部大会 愛媛大会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 ○折田明浩・川井茂樹・Adam S. Foster・奥田靖浩・Ernst Meyer |
| 2. 発表標題 One-shot Glaser coupling of 9,10-bis(trimethylsilylethynyl)anthracene on Cu(111) |
| 3. 学会等名 2018年日本化学会中国四国支部大会 愛媛大会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Akihiro Orita, Yasuhiro Okuda, Sakimaru Mori and Masaki Taniguchi |
| 2. 発表標題 One-pot Synthesis of Sondheimer-Wong Dienes and Their Transformations to Pentalene Derivatives through Transannulation |
| 3. 学会等名 The 8th Spanish-Portuguese-Japanese Organic Chemistry Symposium (8th SPJ-OCS) (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 折田明浩, 川井茂樹, Adam S. Foster, 奥田 靖浩, Ernst Meyer |
| 2. 発表標題 不安定化学種の銅(111)面上でのワンショットオリゴマー化反応: 9,10-ピス(トリメチルシリルエチニル)アントラセンの脱シリル化とホモカップリング |
| 3. 学会等名 フルオラス科学研究会第11回シンポジウム |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|-------------------------------------|
| 1. 発表者名 奥田靖浩、瀬尾朋世、重實悠希、竹本真愛、折田明浩 |
| 2. 発表標題 安定なイナミン等価体を用いる銅触媒クリック反応 |
| 3. 学会等名 第65回有機金属化学討論会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yasuhiro Okuda, Yuki Shigezane, Akihiro Orita |
| 2. 発表標題 Synthesis of Butadiynes via Palladium-Catalyzed Cross-Coupling of Bromo(phosphoryl)ethyne. |
| 3. 学会等名 The 4th International Symposium on C-H Activation (ISCHA4) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 One-shot Oligomerization of Unstable Terminal Ethyne on Cu(111): Consecutive Desilylation and Homo-coupling of 9,10-Bis(trimethylsilylethynyl)anthracene |
| 2. 発表標題 Akihiro Orita, Shigeki Kawai, Adam S. Foster Yasuhiro Okuda, Ernst Meyer |
| 3. 学会等名 The 14th International Kyoto Conference on New Aspects of Organic Chemistry (IKCOC-14) (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

〔図書〕 計1件

| | |
|----------------------------|-----------------|
| 1. 著者名 折田明浩 他 (監修 今野 勉) | 4. 発行年 2018年 |
| 2. 出版社 シーエムシー出版 | 5. 総ページ数 317 |
| 3. 書名 有機フッ素化合物の最新動向 | |

〔産業財産権〕

〔その他〕

| |
|---|
| 岡山理科大学 工学部 バイオ・応用化学科 折田研究室 http://www.dac.ous.ac.jp/orita/index.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 |

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 |
|---------|---------|