

補助事業番号 2023M-297

補助事業名 2023年度全可視光領域の光をエネルギー源とする光触媒システムの創製補助事業

補助事業者名 岡山大学 異分野基礎科学研究所 田中 健太

1 研究の概要

これまで開発されている光触媒反応は短波長領域の可視光である紫～青色光(波長380～490nm)を光源として使用しており、いずれも低いエネルギー効率が課題となっている。本研究ではこれまでに培った光触媒(TXT)の合成法を応用し、全可視光領域の光をエネルギー源として利用することのできるTAS光触媒を開発しエネルギー効率の高い光触媒システムの創製を目的とした。これは太陽光の利用によるエネルギー分野などの様々な分野への大きな波及効果が期待できる。

2 研究の目的と背景

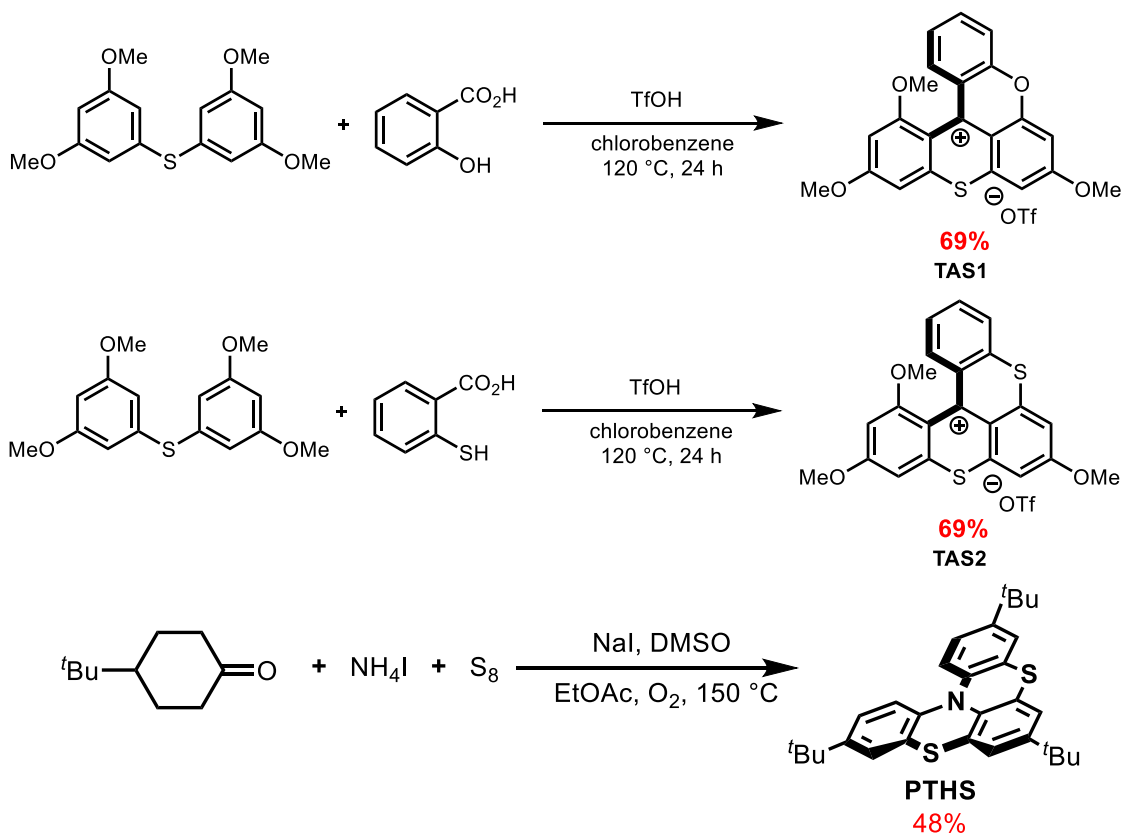
近年の地球環境問題への世界的な取り組みとして「持続可能な開発目標(SDGs)」を目指した活動が活発に展開されており、有機合成化学の分野においても環境に対する負荷を軽減しうる新たな合成プロセスの開発が試みられている。可視光を光源として利用することのできる光触媒反応はクリーンで持続可能な化学プロセスに応じる新戦略の1つであり注目を集めている。その一方で、現在報告されている光触媒反応は短波長領域の可視光である紫～青色光(波長380～490nm)を光源として使用しており、低いエネルギー効率が課題となっている。本補助事業では可視光の全波長領域(380-800nm)を吸収することのできる新規光触媒を開発し合成反応へ応用することによりエネルギー効率の高い光触媒システムの創製を実現する。これにより、全世界でエネルギー効率の高い合成反応を開発できるようになることから、世界のエネルギー問題や地球環境問題の解決に貢献し、太陽光を利用した環境調和型の化学製品の生産に応用することにより持続可能な社会の実現を目指す。

3 研究内容

(1) 新規光触媒の合成に関する研究

(2) (<https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2024/cc/d4cc00904e>)

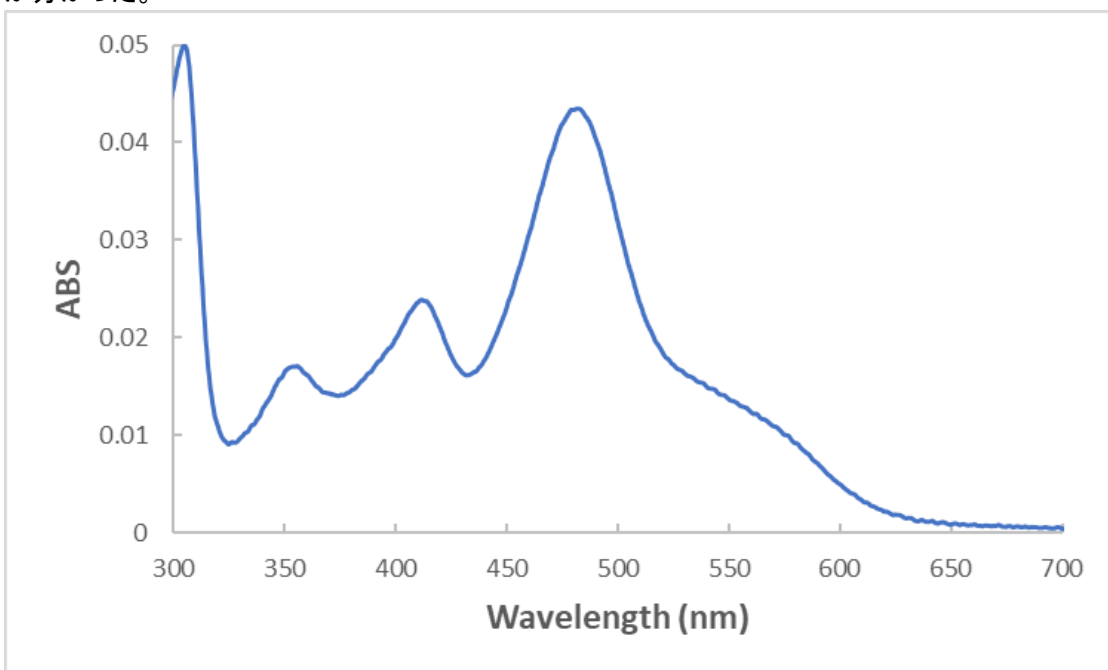
光触媒の合成を試みたところ、当初設計した2つ酸素原子が導入された光触媒は得ることができなかった。そこで、基質をサリチル酸およびチオサリチル酸に変更し検討したところ、反応の進行が確認され良い収率で目的物とする光触媒を合成することに成功した。また、類似した構造を有するTXT触媒や硫黄原子を含む螺旋型光触媒の合成にも成功した。



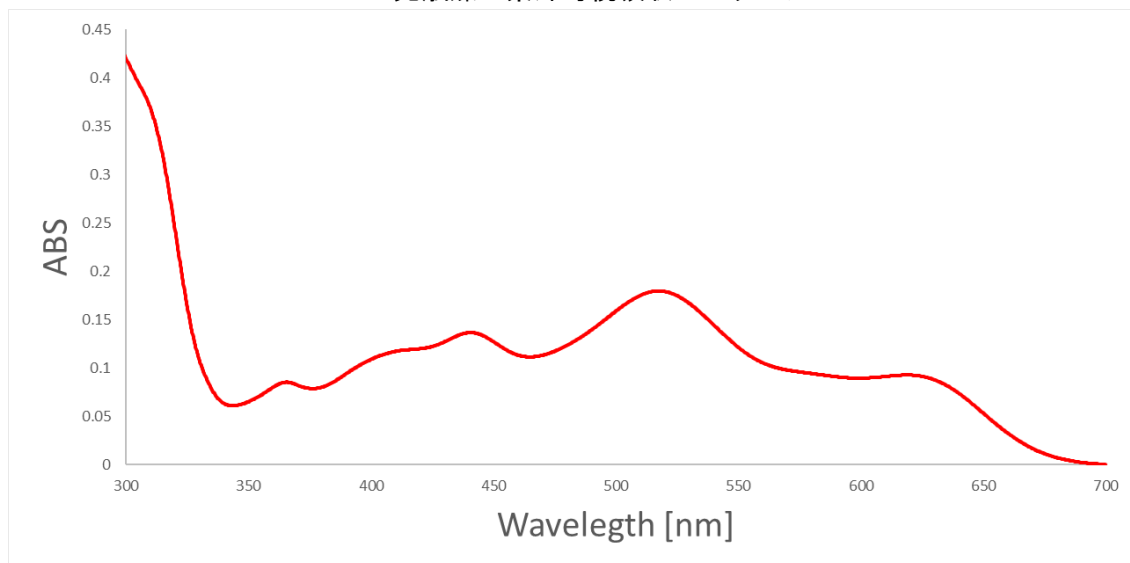
(2) 光触媒の光触媒特性評価に関する研究

(<https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2024/cc/d4cc00904e>)

合成した光触媒の分子特性評価を行った結果、いずれの触媒も可視光に吸収帯を有する触媒であることが分かった。さらに酸化還元電位も光触媒反応に十分適応可能な電位を有していることが分かった。



TAS1光触媒の紫外可視吸収スペクトル

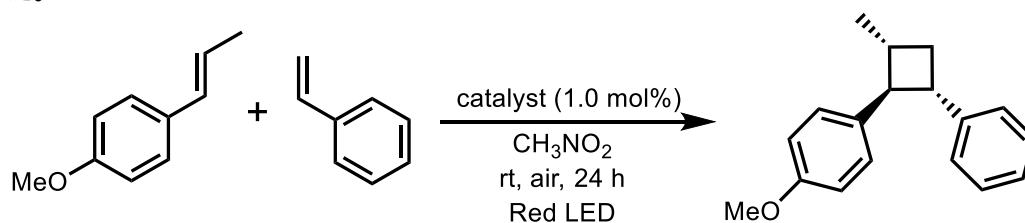


TAS2光触媒の紫外可視吸収スペクトル

(3) 光触媒を利用した新規合成反応の開発

(<https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2024/cc/d4cc00904e>)

合成した光触媒を新規反応に応用するべく、種々の光触媒反応を検討した。その結果、 π 共役分子の合成反応は反応が進行しなかったものの、[2+2]環化付加反応では反応の進行が確認された。



entry	catalyst	yield (%)
1	TAS1	26
2	TAS2	24

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

- ① 本研究で開発した有機光触媒は安価な原料から容易に合成することができることから、世界中の化学者が容易に利用可能であるため、全世界でエネルギー効率の高い合成反応を開発できるようになる。また、現在光触媒反応に利用されている触媒の多くがルテニウムやイリジウムなどの高価で毒性を有する希少金属触媒である。一方で、申請者が今回独自に開発するTAS光触媒は有機元素のみで構成された触媒であり、従来の希少金属触媒(1g 約15,000-30,000円)と比較し圧倒的に安価で合成できる(1g 約2000円)。即ち、希少金属触媒

の代替の触媒としても利用可能であることから、地球の限りある資源である希少金属を消費せずに安全性の優れた合成反応を世界中の化学者が開発できる点においても意義がある。

② 本触媒によって全可視光領域の光をエネルギー源とした光触媒反応を開発できるようになることから、高いエネルギー効率に基づく消費電力の削減が期待できる。更に持続可能なエネルギー資源である太陽光の利用に基づく持続可能な化学製品の合成プロセスの開発が可能になることから、有機合成化学や有機化学分野のみならず、エネルギー分野や地球環境分野への大きな波及効果が期待できる。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

申請者は博士課程在学時から現在の助教職に至るまで、継続して有機光触媒の開発と光触媒反応への応用に取り組んできた。本研究はこれまでに申請者が開発した緑色光を光源として利用することができる有機フォトリドックス触媒(TXT)の構造をさらに発展させることにより、可視光の全波長領域を活用できる新たな有機光触媒(TAS)を開発するに至った。本研究はこれまで活用することが特に難しかった長波長側の可視光である赤色光(600nm～)を用いることが特筆すべき点であり、エネルギー効率の高い光触媒系の構築に期待できる結果である。さらに、硫黄原子を含む類似の螺旋型有機光触媒(PTHS)の開発にも成功しており、可視光の吸収領域は小さいものの、安定性の高い有機光触媒を開発することができた。今後はこれらの独自に開発した有機光触媒を利用し、様々な新規光触媒反応を開発する予定である。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

【論文】

Ando, H.; Takamura, H.; Kadota, I.*; Tanaka, K.*

“Strongly Reducing Helical Phenothiazines as Recyclable Organophotoredox Catalysts”

Chem. Commun. **2024**, DOI: 10.1039/D4CC00904E.

(<https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2024/cc/d4cc00904e>)

【特許】

出願番号: 特願2024-014841

出願日: 2024年2月2日

出願人: 国立大学法人 岡山大学

発明者: 田中健太、安藤早春

発明の名称: 有機光触媒及びその製造方法

7 補助事業に係る成果物

(1) 補助事業により作成したもの

Ando, H.; Takamura, H.; Kadota, I.*; Tanaka, K.*

“Strongly Reducing Helical Phenothiazines as Recyclable Organophotoredox Catalysts”

Chem. Commun. **2024**, DOI: 10.1039/D4CC00904E.

(<https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2024/cc/d4cc00904e>)

(2) (1)以外で当事業において作成したもの

該当なし。

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 岡山大学異分野基礎科学研究所

(オカヤマダイガク イブンヤキソカガクケンキュウジョ)

住 所： 〒700-8530

岡山県岡山市北区津島中三丁目1番1号

担 当 者： 田中 健太 (タナカ ケンタ) 役職名: 助教

担 当 部 署： 異分野基礎科学研究所 (イブンヤキソカガクケンキュウジョ)

E - m a i l: ktanaka@okayama-u.ac.jp

U R L: <http://chem.okayama-u.ac.jp/~organic/homejpn.html>