



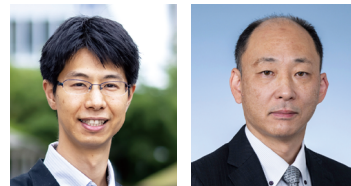
光触媒とルイス酸でPFASを分解・変換する新技術

工学研究科 応用化学専攻

准教授 西本 能弘

<https://researchmap.jp/nishimoto123>

教授 安田 誠

<https://researchmap.jp/read0185253>

研究の概要

本研究では、フッ素化合物の中でも特に分解が難しい「CF₂基」を持つ化合物のフッ素-炭素結合を、光と酸の力を組み合わせて効率的に置き換える新しい化学反応を開発しました。まず、可視光を利用した光触媒反応でCF₂基の一部を選択的に変換し、有機ラジカルを導入します。次に、ルイス酸を用いて残るフッ素を別の官能基へと置き換えることで、多様な有用化合物へと変換することに成功しました。この手法は、強固なフッ素結合を穏やかな条件で制御可能とするもので、PFAS 汚染対策や新素材開発に新たな道を開きます。

研究の背景と結果

フッ素原子を多く含む有機化合物は、薬や材料に広く利用されていますが、一方で自然環境中で分解されにくい「PFAS (有機フッ素化合物)」として深刻な汚染問題を引き起こしています。その中でも、特に強固な炭素-フッ素結合 (C-F 結合) を2つ含む「CF₂基」の選択的な変換は困難でした。従来法では高温高圧など厳しい条件が必要で、同じ化学基が二重に導入されるなど、制御性に限界がありました。

本研究では、光と酸という穏やかな条件を組み合わせた「段階的反応設計」によって、CF₂基を2種類の化学基に順次変換する新手法を開発しました。まず、可視光により動作するフェノチアジン系光触媒を用いて、TEMPO という有機ラジカルをCF₂基の一方に導入し、部分的なフッ素除去 (アミノキシル化) を達成しました。さらに、ルイス

酸を加えることで、残るフッ素を有機シランなど多様な試薬と置換し、アルコールなど多機能性化合物を合成することに成功しました。

鍵となるのは、新たに設計した光触媒の分子構造です。メチル基を持つフェノチアジン誘導体が触媒の再生を高速化し、反応効率を飛躍的に高めることがわかりました。レーザーを用いた時間分解分光測定や計算化学により、その仕組みを分子レベルで明らかにしました。また、この反応は電子的性質の異なる多様な基質に適用でき、高い汎用性を示しました。

以上の成果は、PFAS などの有機フッ素化合物を「壊す」だけでなく「利用可能な化学資源」に変換する可能性を開くものです。温和な条件下で選択的な C-F 結合変換を実現したことは、将来の環境浄化技術や新素材合成において大きな意義を持ちます。

研究の意義と将来展望

PFAS 類は自然環境で極めて分解されにくく、世界的な環境汚染の一因となっています。本研究では、その中核構造であるCF₂基の強固なフッ素-炭素結合を、光触媒とルイス酸という穏やかな条件で段階的に切断・変換することに成功しました。この成果は、汚染物質としてのPFASを「処理する対象」から「有用な資源」に転換する可能性を示すものです。今後は、実環境中のPFAS除去や資源循環型の化学プロセスへの応用、さらには他の難活性化学結合の変換技術への展開も期待されます。

PFASの新規有機合成の開発



反応機構解明&触媒開発

◆多置換基制御による光触媒設計

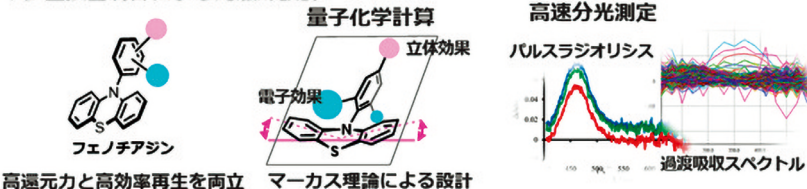


図1

研究の意義と将来展望



図2

特許

論文

Sugihara, Naoki; Nishimoto, Yoshihiro; Yasuda, Makoto et al. Sequential C-F bond transformation of the difluoromethylene unit in perfluoroalkyl groups: A combination of fine-tuned phenothiazine photoredox catalyst and Lewis acid. *Angew. Chem. Int. Ed.* 2024, 63, e202401117. doi: 10.1002/anie.202401117

参考URL

<http://www.chem.eng.osaka-u.ac.jp/~yasuda-lab/>

キーワード

光触媒、ルイス酸、PFAS分解・変換、C-F結合活性化