

令和 4 年 6 月 8 日現在

機関番号：16101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K05457

研究課題名(和文) N(5)位無置換フラビン分子の触媒機能の開拓

研究課題名(英文) Exploration of catalysis of N(5) unmodified flavin molecules

研究代表者

今田 泰嗣 (IMADA, Yasushi)

徳島大学・大学院社会産業理工学研究部(理工学域)・教授

研究者番号：60183191

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：フラビン酵素が司る酵素機能のシミュレーションに基づいて、N(5)位無置換フラビン分子の触媒機能を開拓し実用的有機分子触媒としての可能性を示した。

(1)N(5)位無置換フラビン分子の近傍に導入したカルボキシル基の協働効果を検証し、モノオキシゲナーゼ触媒活性を持つN(5)位無置換フラビン分子の設計指針を示した。(2)含フラビン多孔性ポリマー及び含フラビン球状ポリマーのオキシダーゼ触媒作用を検証し、これらを固定床触媒とするフロー反応への展開を実証した。(3)フラビン分子触媒と第二級アミン触媒の協働作用によるアルデヒドのオキシアミノ化反応を開発して、フォトリアーゼ触媒作用を実証しフロー反応に展開した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

(1)のフラビン分子とカルボキシル基の協働効果によるモノオキシゲナーゼ触媒機能の発現の実証とこれに基づく触媒の設計指針及び(3)のフラビン分子のフォトレドックス触媒機能の実証と分子設計に基づく高機能触媒の開発はいずれも前例のないものであり、フラビン分子の新規触媒機能の開発として学術的に極めて重要である。(2)のフラビン分子のオキシダーゼ触媒作用によるヒドラジンの脱水素反応を鍵とするオレフィンの水素化反応と(3)のフラビン分子のフォトレドックス触媒採用によるアルデヒドのオキシアミノ化反応のフロー反応システムへの展開は、フラビン分子触媒による分子変換反応の実用性を示すものであり社会的意義は大きい。

研究成果の概要(英文)：Based on simulations of enzymatic functions governed by flavoenzymes, we pioneered the catalytic function of N(5)-unsubstituted flavin molecules and demonstrated their potential as practical organocatalysts.

(1) The cooperative effect of carboxyl groups introduced into the N(5)-unsubstituted flavin molecules was demonstrated, and design guidelines for N(5)-unsubstituted flavin molecules with monooxygenase-type catalysis were provided. (2) The oxidase-type catalysis of flavin-containing porous polymers and flavin-containing spherical polymers was verified, and their application to a flow reaction system using them as fixed-bed catalysts was demonstrated. (3) Photolyase-type catalysis was demonstrated by developing oxyamination of aldehydes through the cooperative catalysis of a flavin molecule catalyst and a secondary amine catalyst, and was applied to a flow reaction system.

研究分野：有機合成化学

キーワード：有機分子触媒 フラビン触媒 フォトレドックス触媒 酸素添加反応 脱水素反応 フロー反応

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

フラビン酵素は哺乳類の肝臓で酸化還元反応を司る金属を含まない酵素である。フラビン酵素の活性部位は N(5)位無置換フラビン (Fl_{ox}) であり、その特異な酸化還元特性により O_2 を直接活性化して (1)モノオキシゲナーゼ型の有機基質 (Sub) への酸素添加反応【図 1a】、(2)オキシダーゼ型の有機基質 (ProH_2) の脱水素反応【図 1b】に加えて、(3)紫外光吸収によるフォトリアーゼ型の DNA 損傷修復【図 1c】を効率よく進行させている。

単純なフラビン分子を用いるフラビン酵素機能のシミュレーションは、有機分子触媒による環境調和型の分子変換手法の開発につながる重要な課題であるが、入手容易な N(5)位無置換フラビン分子を触媒とするフラビン酵素機能のシミュレーション

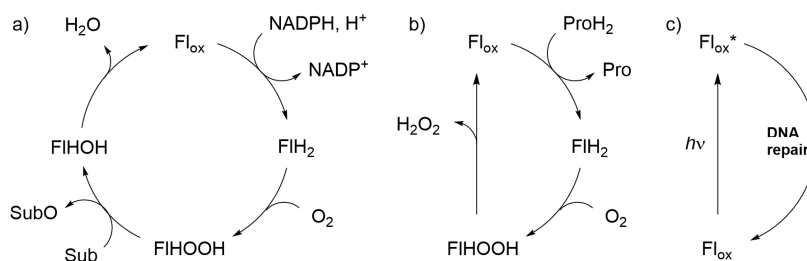


図 1. (a)モノオキシゲナーゼ型 (b)オキシダーゼ型 (c)フォトリアーゼ型フラビン酵素反応

に基づく触媒反応の確立には至っていない。(1)フラビン分子を触媒とする酸素添加反応は、村橋らによる過酸化水素を酸化剤とするスルフィドやアミンの酸化反応【*J. Am. Chem. Soc.* **1989**, *111*, 5002】の発見を端緒として、研究代表者らを含む国内外のグループにより、多様な過酸化水素酸化反応への拡張、酸素酸化反応及び不斉反応への展開が達成されているが、一連のフラビン触媒酸素添加反応において有機分子触媒として機能するのは、N(5)位をエチル化した N(5)位エチル置換カチオン性フラビン分子 ($\text{FlEt}^+_{\text{ox}}$)【図 2b】に限られ、N(5)位無置換フラビン分子 (Fl_{ox})【図 2a】を触媒とする酸素添加反応は、計算化学に基づいてトリペプチドの導入により酸化活性種 (FIHOOH) の安定化を実現した研究代表者らの報告【*Chem. Sci.* **2017**, *8*, 5468】に限られている。

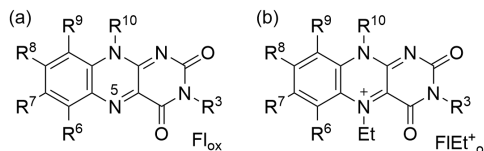


図 2. (a)N(5)位無置換フラビン (Fl_{ox}) 及び(b)N(5)位エチルカチオン性フラビン ($\text{FlEt}^+_{\text{ox}}$)

いる。フラビン酵素の活性中心であり入手容易で取扱いが簡便な N(5)位無置換フラビン分子を触媒とする酸素酸化反応の実現には、フラビン酵素反応の機構解明及び触媒反応の実用性の確立の両面から大きな意義がある。(2)フラビン分子による脱水素反応において、N(5)位無置換フラビン分子 (Fl_{ox}) が有機分子触媒として機能することが報告されているが、有機合成反応として利用可能な反応は限られている。研究代表者らはフラビン触媒によるヒドラジンの脱水素反応を鍵とする、オレフィンの水素添加反応を開発している【*Org. Lett.* **2010**, *12*, 32】。この反応は水素ガスや遷移金属錯体触媒を必要としないオレフィンの水素添加反応として有用な反応で、国内外で応用研究が報告されているが、フラビン触媒の回収再利用及び触媒効率の点で改善の余地を残している。従って、これらの課題を解決できるフラビン触媒の開発には、実用性向上の観点から大きな意義がある。(3)2008 年から 2009 年にかけて、 $\text{Ru}(\text{bpy})_3\text{Cl}_2$ への可視光照射により生成する励起状態の $\text{Ru}(\text{bpy})_3^{2+*}$ の一電子移動 (SET) を鍵とする新形式の反応が相次いで報告されている。これらの反応過程には、光励起された $\text{Ru}(\text{bpy})_3^{2+*}$ による反応剤からの一電子受容 (基質の酸化) と反応剤への一電子供与 (基質の還元) の両方を含み、 $\text{Ru}(\text{bpy})_3\text{Cl}_2$ はレドックスニュートラルなフォトレドックス触媒として機能している【図 3】。従来当量のラジカル開始剤あるいは一電子還元剤や一電子酸化剤を必要としていたラジカル反応を触媒量の $\text{Ru}(\text{bpy})_3\text{Cl}_2$ と可視光照射で簡便に行えることから、フォトレドックス触媒は多くの有機合成化学者の注目を集め、活発な研究が進められており、2013 年には MacMillan らによって総説【*Chem. Rev.* **2013**, *113*, 5360】がまとめられている。フォトレドックス触媒としては Ru や Ir などの遷移金属錯体を利用され、多様な反応へと展開されているが、安価で分子設計の容易な有機フォトレドックス触媒の開発は重要な課題である。フラビン分子の光励起を利用する N(5)位無置換フラビン分子の有機フォトレドックス触媒機能の開拓は、稀少資源である遷移金属錯体触媒に代替する新たな有機フォトレドックス触媒の開発に繋がり元素戦略の観点から意義がある。

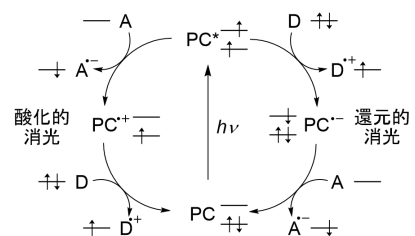


図 3.フォトレドックス触媒 (PC) の触媒サイクル (A=電子供与体; D=電子受容体)

2. 研究の目的

本研究の目的は、リボフラビン (ビタミン B2) に代表される入手及び取り扱いの容易な N(5)位無置換フラビン分子の触媒機能を開拓し、実用的な有機分子触媒として確立することにある。具体的には、N(5)位無置換フラビン分子骨格を活性中心とするフラビン酵素が発揮する以下の 3 つの触媒機能を標的として、N(5)位無置換フラビン分子触媒による酵素類似触媒反応を開発する。(1)フラビン酵素の酸素添加触媒機能に倣い、N(5)位無置換フラビン分子を触媒とするヘテロ原子化合物への酸素添加反応を開発する。(2)フラビン酵素の脱水素触媒機能に倣い、N(5)

位無置換フラビン分子を触媒とする脱水素反応の実用性を確立し、フロー反応への展開を視野に入れて、担持型触媒の合成と触媒機能評価を行う。(3)フラビン酵素のフォトリアーゼ触媒機能に倣い、N(5)位無置換フラビン分子のフォトレドックス触媒機能を開拓し、遷移金属錯体に代替する有機フォトレドックス触媒としての有用性を確立する。

3. 研究の方法

(1)フラビン酵素の活性中心は N(5)位無置換フラビン (Fl_{ox}) であり、NADPH などの還元剤と O₂ との反応で生成する FIHOOH を酸化活性種としてヘテロ原子化合物の酸素添加反応を実現している。これに対して非酵素系では FIHOOH が不安定で、N(5)位無置換フラビン分子による酸素添加反応は実現していなかった。研究代表者は N(5)位無置換フラビン分子に短いペプチド鎖を導入して水素結合により FIHOOH の安定化を図る独自の戦略に基づき、非酵素系での O₂ を用いるスルフィドやアミン及びシクロブタノンの酸素添加反応を世界に先駆けて達成している【*Chem. Sci.* **2017**, *8*, 5468】。(1)- FIHOOH の安定化に加えて、基質ポケットとして機能する反応場を有するフラボペプチドを設計し、先例のない N(5)位無置換フラビン分子触媒によるシクロペンタノンやシクロヘキサノンの酸素酸化 Baeyer-Villiger 反応を達成する。(1)- 実用的な触媒の簡便な合成を目指して、単純な水素結合性官能基を有する高分子鎖への N(5)位無置換フラビン分子の導入により FIHOOH の安定化を図り酸素添加反応を実現する。

(2)研究代表者らは、含フラビンスチレン誘導体の溶液共重合により高分子担持型 N(5)位無置換フラビン分子を合成し、ヒドラジンの脱水素酸化を利用するオレフィンの水素添加反応への高い触媒活性を報告している【*Polym. Chem.* **2017**, *55*, 1706】。(2)- 溶液共重合及び高分子反応により、各種官能基を有する高分子主鎖への N(5)位無置換フラビン分子の担持を行い、高分子主鎖の官能基とヒドラジンの脱水素酸化活性の相関を評価する。(2)- 懸濁重合及び沈殿重合により含フラビン球状高分子微粒子を合成し、ヒドラジンと空気によりオレフィンを水素化するカラム型フローシステムを構築する。

(3)置換基導入により、多様な酸化還元特性を有する N(5)位無置換フラビン分子を設計し、Ru や Ir などの遷移金属錯体触媒に代替する有機分子フォトレドックス触媒として確立する。具体的には、(3)- 既存の多様な遷移金属錯体フォトレドックス触媒反応についてリポフラビン誘導体のフォトレドックス触媒機能を評価し適用範囲を明確にする。(3)- N(5)位無置換フラビン分子骨格 3,6,7,8,9,10 位【**図 2a**】への置換基導入により、酸化還元電位及び HOMO-LUMO ギャップを調整したフラビン分子を設計する。フラビン分子の構造的特徴と、還元的及び酸化的消光サイクルにおける触媒機能との相関に基づき、多様なフォトレドックス触媒反応へと展開し、最終的にはフラビン分子に特徴的なフォトレドックス触媒反応を開発する。(3)- フォトレドックス触媒反応は光エネルギーの効率的な吸収が重要で、マイクロ流路を利用したフローシステムにより高濃度での反応が可能となる。N(5)位無置換フラビン分子によるフォトレドックス触媒反応を実用的なマイクロフローシステムとして確立する。

4. 研究成果

(1)-

研究代表者らが開発したモノオキシゲナーゼ触媒活性を有するフラボペプチド **Fl-pep-1** を触媒として 5 員環及び 6 員環ケトンの酸素酸化 Baeyer-Villiger 反応を検討したが、いずれの反応においても原料回収となった【**図 4**】。

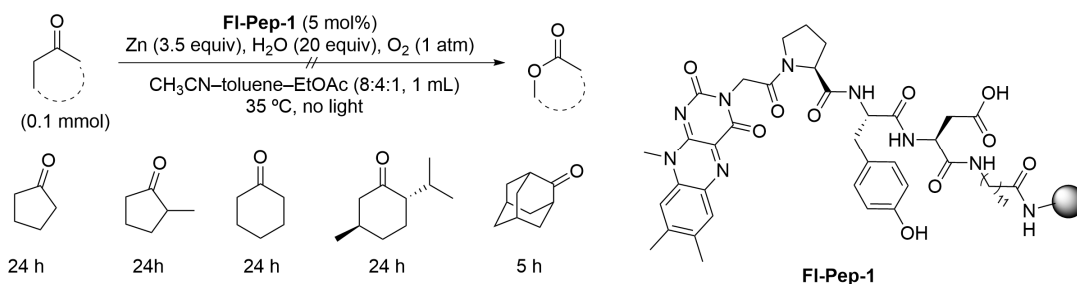
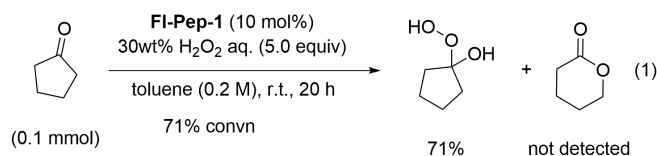


図 4. フラボペプチドを触媒とするシクロペンタン及びシクロヘキサノ誘導体の Baeyer-Villiger 反応

一方、過酸化水素を酸化剤とするシクロペンタノンの Baeyer-Villiger 反応においては過酸化水素付加体が生成したが、ラクトンの生成を確認することはできなかった【**式 1**】。



(1)-

ポリメタクリル酸と 10-アミノエチルフラビンとの高分子反応による部分的なアミド結合形成により合成した含フラビンポリメタクリル酸 **poly(MMA-co-FIMA)** (0.99 mmol/g) を触媒として、ヒドラジンを犠牲還元剤とする

スルフィドの酸素酸化反応を検討したところ、48時間の反応において99%の転化率で反応が進行した。一方、均一フラビン触媒 (**3-MeLFI**) を用いた反応では同様条件下で5%の転化率であったことから、N(5)位無置換フラビン分子がモノオキシゲナーゼ活性を発現するためにはフラビン分子近傍のカルボキシル基との協働作用が必須であることを実証した【図5】。

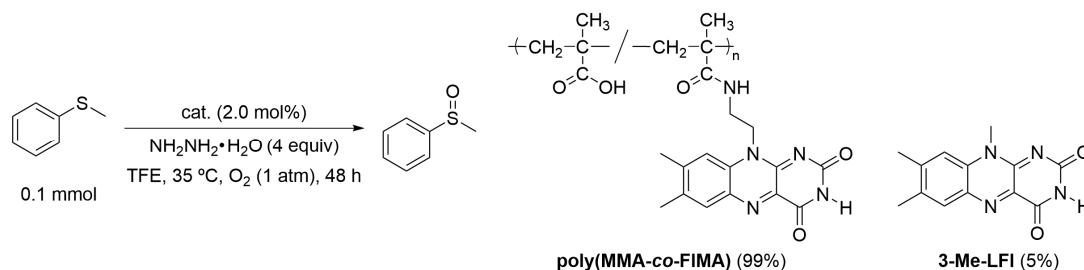


図5. 含フラビンポリメタクリル酸 (**poly(MMA-co-FIMA)**) を触媒とするスルフィドの酸素酸化反応

球状ポリエチレンのフルオロアシル化処理に続くフラビン分子との部分アミド結合形成反応により合成した含フラビンポリエチレンカルボン酸 (**PE-FI-COOH**, 0.128 mmol/g) を触媒として、ヒドラジンを犠牲還元剤とするスルフィドの酸素酸化反応を検討したところ、10%収率で相当するスルホキッドが生成した【図6】。一方、含フラビンポリエチレンカルボン酸メチルエステル (**PE-FI-COOMe**, 0.132 mmol/g) 及び均一系フラビン触媒 (**3-MeLFI**) を触媒とした反応では、いずれも3%収率でスルホキッドが生成したことから、フラビン分子とその近傍に存在するカルボキシル基との協働効果の重要性を示す結果となった。

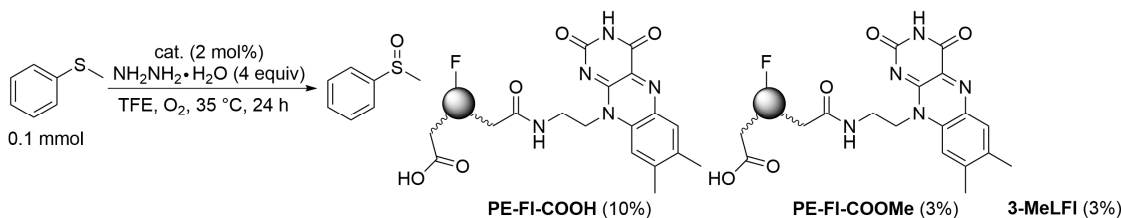


図6. 含フラビン球状ポリエチレン (**PE-FI-COOH**) を触媒とするスルフィドの酸素酸化反応

(2)-

エチレングリコール二メタクリル酸エステル (**EGDMA**) 及びグリセリン二メタクリル酸エステル (**GLDMA**) とリポフラビン四メタクリル酸 (**RFITMA**) の重合誘起相分離ラジカル共重合により **poly(EGDMA-co-RFITMA)** (0.25 mmol/g) 及び **poly(GLDMA-co-RFITMA)** (0.20 mmol/g, SSA_{BET} unmeasurable) をそれぞれ合成し、ヒドラジンの脱水素酸化により生成するジイミドを水素源とするオレフィンの水素化反応における触媒活性を評価した【図7】。高い BET 表面積 ($SSA_{BET}=570 \text{ m}^2/\text{g}$) を有する **poly(EGDMA-co-RFITMA)** を触媒とすると水素化生成物が定量的に得られたのに対し、 BET 表面積が測定できない **poly(GLDMA-co-RFITMA)** の触媒活性は低く、高分子主鎖の官能基による触媒活性を実証した。また、**poly(EGDMA-co-RFITMA)** は有機溶媒に不溶であり、反応後に簡単なる過による回収が可能で少なくとも5回の再利用においても触媒活性の低下は観測されなかった。

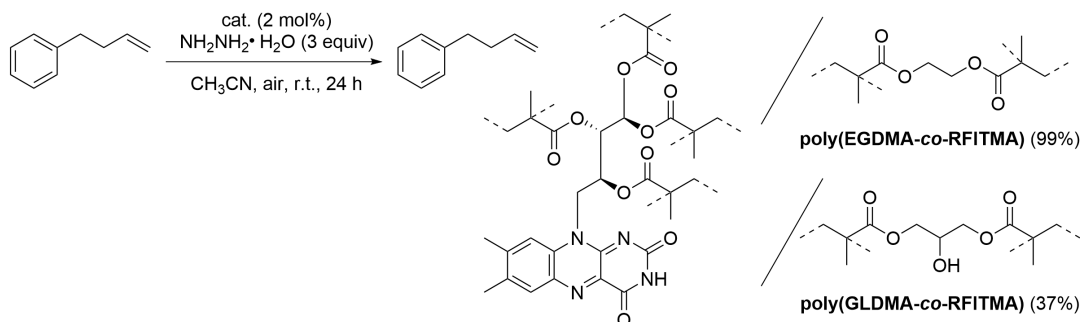
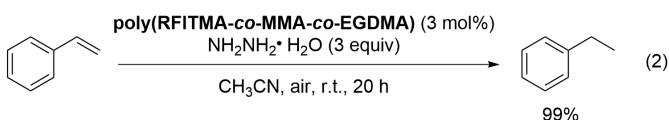


図7. 含フラビンメタクリル酸エステルを触媒に用いるヒドラジンの脱水素酸化を鍵とするオレフィンの水素化反応

(2)-

リポフラビン四メタクリル酸エステル (**RFITMA**)、メタクリル酸メチル (**MMA**)、エチレングリコール二メタクリル酸エステル (**EGDMA**) の懸濁重合 (**RFITMA:MMA:EGDMA=2:96:2**) により合成した球状 **poly(RFITMA-co-MMA-co-EGDMA)** (0.176 mmol/g, 120 μm Φ) は、ヒドラジンの脱水素酸化を鍵とするオレフィンの水素化反応にお



いて極めて高い触媒活性を示すとともに、反応終了後ろ過により分離して再利用すると 6 回の再利用においても触媒活性を維持する高い再利用性を示した【式 2】。

球状 poly(RFITMA-co-MMA-co-EGDMA) 2.3 g (0.4 mmol) を内径 6.6 mmΦ のガラスカラムに充填し、これを固定床触媒とするフロー反応に展開した。シリンジポンプからのスチレン (0.5 M) とヒドラジン (1.5 M) のアセトニトリル溶液 (0.18 mL/min) と、エアークンプレッサーからの空気 (40 mL/min) を T 字型ミキサーで混合し、poly(RFITMA-co-MMA-co-EGDMA) を充填したカラムを通じ (滞留時間 10 分) その溶出液を解析したところ、98% の転化率でエチルベンゼンが生成した【図 8】。

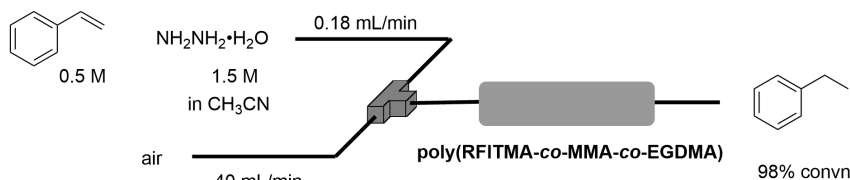


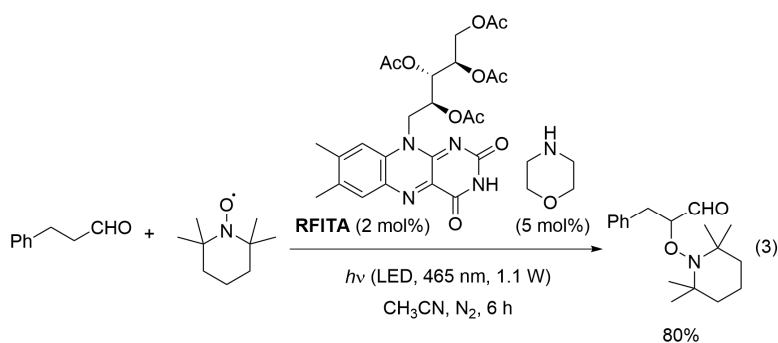
図 8. 含フラビン球状高分子を固定床触媒とするフロー反応

(3)-

リボフラビン四酢酸エステル (RFITA) がアルデヒドの位オキシアミノ化反応におけるフォトドックス触媒として機能することを明らかにした【式 3】。この反応はフラビン触媒、第二級アミン触媒、LED 照射 (1.1 W) の全てが必須で、いずれかが欠けた場合は反応は全く進行しない。また、本反応は各種芳香族及び脂肪族アルデヒドに適用可能で、いずれもアルデヒドの

位に TEMPO を導入することができる。

この反応の鍵段階は、光励起されたフラビン触媒 (RFITA*) と第二級アミンとアルデヒドから系中で生成するエナミンとの間の電子移動にあると予測し、計算化学に基づいてフラビン分子の適切な位置に第二級アミン触媒を配置したフラビンアミン一体型触媒 (FI-amine) を設計・合成した。式 3 に示す反応条件で LED の出力を 0.09 W に低下した場合、反応は全く進行しないが、FI-amine を触媒とする場合は、0.09 W の LED 照射条件で反応が効率よく進行し、その反応量子収率は 0.80 まで向上した【図 9】。



without cat.
without morpholine
without LED } no reaction

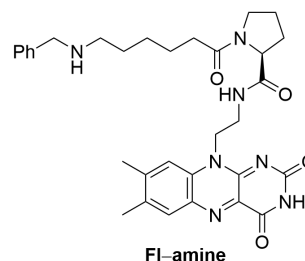


図 9. フラビンアミン一体型触媒

(3)-

フラビン触媒をフォトドックス触媒とするアルデヒドの位オキシアミノ化反応をフロー反応に展開した。アルデヒド (0.2 M)、TEMPO (0.4 M)、RFITA (4 mM, 2 mol%) のアセトニトリル溶液 (10 mL/min) とピロリジン・TFOH (10 mM, 5 mol%) のアセトニトリル溶液 (10 mL/min) をそれぞれシリンジポンプで送液し、T 字型ミキサーで混合した後に 450 cm の PTFE チューブに送液し外から 1.8 W の LED を 12 個で照射して反応させたところ、85% の収率で相当するオキシアミノ化生成物が得られた【図 10】。

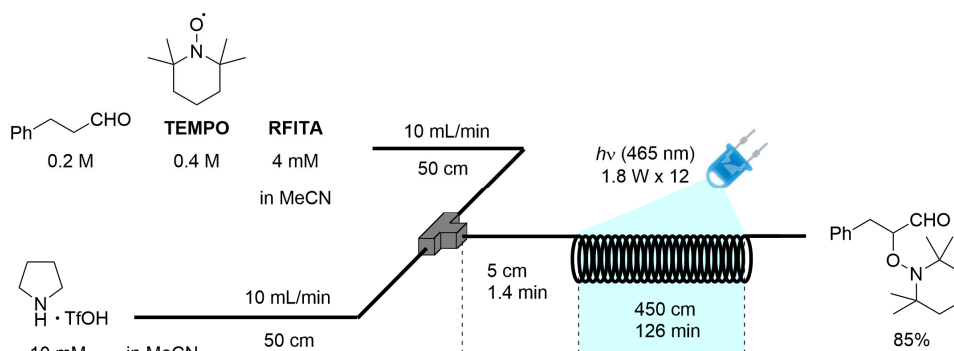


図 10. フラビン分子をフォトドックス触媒とするアルデヒドのオキシアミノ化反応のフローシステムへの展開

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Tagami Takuma, Arakawa Yukihiro, Minagawa Keiji, Imada Yasushi	4. 巻 21
2. 論文標題 Efficient Use of Photons in Photoredox/Enamine Dual Catalysis with a Peptide-Bridged Flavin?Amine Hybrid	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Organic Letters	6. 最初と最後の頁 6978 ~ 6982
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.orglett.9b02567	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 Arakawa Yukihiro, Sato Fumiaki, Ariki Kenta, Minagawa Keiji, Imada Yasushi	4. 巻 61
2. 論文標題 Preparation of flavin-containing mesoporous network polymers and their catalysis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Tetrahedron Letters	6. 最初と最後の頁 151710 ~ 151710
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tetlet.2020.151710	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 Arakawa Yukihiro, Ueta Shun, Okamoto Takuma, Minagawa Keiji, Imada Yasushi	4. 巻 31
2. 論文標題 Nucleophilic Addition to Nitrones Using a Flow Microreactor	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Synlett	6. 最初と最後の頁 866 ~ 870
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1055/s-0039-1691601	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 Arakawa Yukihiro, Mihara Tomohiro, Fujii Hiroki, Minagawa Keiji, Imada Yasushi	4. 巻 56
2. 論文標題 An uncommon use of irradiated flavins: Broensted acid catalysis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 5661 ~ 5664
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0CC01960G	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 Arakawa Yukihiko, Takechi Nao, Yamanomoto Ken, Minagawa Keiji, Imada Yasushi	4. 巻 73
2. 論文標題 Effect of stereochemistry on the catalytic activity of flavopeptides	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Tetrahedron Letters	6. 最初と最後の頁 153107 ~ 153107
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tetlet.2021.153107	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 Arakawa Yukihiko, Kawahara Takayuki, Minagawa Keiji, Imada Yasushi	4. 巻 94
2. 論文標題 Alloxazinium-Resins as Readily Available and Reusable Oxidation Catalysts	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Bulletin of the Chemical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 1728 ~ 1730
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20210096	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 -

〔学会発表〕 計10件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 坂東新之助, 荒川幸弘, 南川慶二, 今田泰嗣
2. 発表標題 空気酸化 樹脂担持法による新規フラビニウム塩の合成
3. 学会等名 第35回中国四国地区高分子若手研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三好正敏, 荒川幸弘, 南川慶二, 今田泰嗣
2. 発表標題 1,2-ビス (アルキルアミド) シクロヘキサンのゲル化を利用した含フラビン物理ゲルの物性評価
3. 学会等名 第35回中国四国地区高分子若手研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 西谷和晃, 曾我部佳子, 荒川幸弘, 南川慶二, 今田泰嗣
2. 発表標題 フルオロアシル化処理ポリエチレンへのフラビンの担持とその触媒作用
3. 学会等名 第34回中国四国地区高分子若手研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西谷和晃, 曾我部佳子, 荒川幸弘, 南川慶二, 今田泰嗣
2. 発表標題 フルオロアシル化処理ポリエチレンへのフラビンの担持とその触媒作用
3. 学会等名 2019年日本化学会中国四国支部大会徳島大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田上拓磨, 亀井健佑, 荒川幸弘, 南川慶二, 今田泰嗣
2. 発表標題 光触媒作用によるジチオアセタールS,S-ジオキシドからカルボニルへの直接変換
3. 学会等名 2019年日本化学会中国四国支部大会徳島大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takuma Tagami, Yukihiro Arakawa, Keiji Minagawa, Yasushi Imada
2. 発表標題 Efficient Use of Photons in Photoredox/Enamine Dual Catalysis with a Flavin-Amine Hybrid
3. 学会等名 International Joint Symposium on Synthetic Organic Chemistry (ISONIS-12, ISMMS-5, ICAMS-2, & ICSFC) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 坂東新之助, 南川慶二, 今田泰嗣, 荒川幸弘
2. 発表標題 空気酸化 樹脂担持法によるフラビニウムレジンの合成とその触媒作用
3. 学会等名 第36回中国四国地区高分子若手研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 北倉匠真, 藤原望恵, 南川慶二, 今田泰嗣, 荒川幸弘
2. 発表標題 フラビン分子と光学活性第二級アミンの協働触媒作用によるアルデヒドの光誘起不斉 α -オキシアミノ化反応
3. 学会等名 第36回中国四国地区高分子若手研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松岡芹菜, 南川慶二, 今田泰嗣, 荒川幸弘
2. 発表標題 酵素類似酸素酸化機能を有するフラボペプチド触媒の開発
3. 学会等名 第36回中国四国地区高分子若手研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 今田泰嗣
2. 発表標題 LED光を利用する有機合成反応の開発
3. 学会等名 LED フォーラム 2022 in 徳島 (招待講演)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔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
研究 分担者	南川 慶二 (MINAGAWA Keiji) (70250959)	徳島大学・教養教育院・教授 (16101)	
研究 分担者	荒川 幸弘 (ARAKAWA Yukihiro) (70709203)	徳島大学・大学院社会産業理工学研究部(理工学域)・准教授 (16101)	

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