

令和 3 年 6 月 4 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01972

研究課題名(和文) 双性イオン型トリアゾリウムアミデートの分子設計とラジカル触媒機能の創出

研究課題名(英文) Design and Application of Zwitterionic Triazolium Amidate as Hydrogen-Atom Transfer Catalyst

研究代表者

大松 亨介 (Ohmatsu, Kohsuke)

名古屋大学・工学研究科(WPI)・特任准教授

研究者番号：00508997

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、水素原子移動触媒として機能する新しいアミジルラジカル前駆体として、双性イオン型トリアゾリウムアミデートを開発した。この双性イオンは安定な化合物であり、単独では触媒機能を発揮しない。しかし、適切な光レドックス触媒によって一電子酸化されることで、強力な水素原子引き抜き能を有するアミジルラジカルとなり、各種炭化水素化合物の結合を切断する。ここで生成する炭素ラジカルの反応性を活かすことで、様々な炭素-炭素結合形成反応を実現することに成功した。また、メソリティック開裂の能動的制御により、シリルエノールエーテル類のアリル位炭素-水素結合変換反応を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

有機分子に遍在する炭素-水素結合を切断し、任意の官能基に変換する手法は、効率的な物質生産の実現に貢献する重要な化学技術である。本研究で開発したトリアゾリウムアミデートによる水素原子移動反応や、メソリティック開裂の能動的制御によるシリルエノールエーテル類のアリル位炭素-水素結合変換反応は、反応基質に存在する極性官能基を残したまま比較的安定な炭素-水素結合を官能基化できるという特徴をもつ。合成化学の分野で長足の進歩を遂げてきた極性反応と組み合わせることで、単純な原料から複雑な化合物を効率的に合成する道を切り拓いたという点に、本研究成果の意義がある。

研究成果の概要(英文)：The catalysis for hydrogen-atom transfer (HAT) is a powerful tool for the direct conversion of inert C-H bonds to C-C bonds. We have designed a zwitterionic 1,2,3-triazolium amidate as an effective modular hydrogen-atom transfer catalyst for photoredox C-H functionalization. This zwitterionic amidate is stable yet amenable to single-electron oxidation for generating a highly reactive amidyl radical. By the combined use with an appropriate Ir-based visible-light photoredox catalyst, we have accomplished efficient catalytic C-H alkylation of a range of C-H nucleophiles. These results provide the new approach to the design of HAT catalysts, and we believe that the judicious exploitation of the structural modularity of zwitterionic amidates holds vast potential for the development of catalyst-controlled selective C-H functionalization methodologies.

研究分野：有機合成化学

キーワード：有機分子触媒 水素原子移動 光レドックス触媒

1. 研究開始当初の背景

ラジカルによる水素原子引き抜きを伴う炭化水素骨格の官能基化反応は、精密有機合成において主流であったイオン反応では実現困難な化学変換を可能にする。しかし、イオン反応の長足の進歩に対して、ラジカル触媒反応の開発は発展途上にある。特に、効率的な水素引き抜き反応の実現に資する触媒開発の成功例は、ごく限られた例が報告されているのみであった。

一方、アミン由来のアミニルラジカルやアミド由来のアミジルラジカルが飽和炭化水素化合物から効率的に水素原子を引き抜き、炭素ラジカルを発生させる水素原子移動 (HAT) 反応を起こすことが古くから知られていた。古典的な反応の代表例としては、Hofmann-Löffler-Freytag 反応が挙げられる。アミンまたはアミドを *N*-ハロアミンまたはハロアミドに変換し、紫外線照射によって生じる窒素ラジカルの分子内水素引き抜きを利用した反応である。研究を開始した時期には、Knowles らがプロトン共役電子移動 (Proton-coupled electron transfer, PCET) を利用したアミドからの直接的なアミジルラジカルの発生法を見出し、HAT を起点とするアルキル化反応を報告した。窒素ラジカルを利用する反応は、ほぼすべてが分子内での水素引き抜きを利用した反応であったが、この報告の中で、Knowles らは分子間の水素引き抜き反応も達成していた。ただし、PCET が起こる確率を上げるために、ラジカル前駆体であるアミドが化学量論量必要であった。

2. 研究の目的

ラジカル触媒の開発が発展途上であった当初の背景のもと、本研究では HAT を効率的に進行させる新規イオン性ラジカル触媒を開発し、固有の機能を活かした選択的かつ直接的分子変換反応の開拓に取り組んだ。触媒分子の合理的設計により HAT を促進するのみならず、ラジカル発生段階における基質の立体認識や発生位置の制御を目指した。さらに、イオン性分子の特徴を活かして、ラジカル発生に続く結合形成段階の立体制御にも挑んだ。

3. 研究の方法

効率的 HAT 反応の実現を指向し、新しいアミジルラジカル前駆体の設計を行った。まず、触媒を設計する上で、1) 高活性なアミジルラジカルを容易に発生させることができ、2) 反応制御への展開を見据え、多様な構造修飾が可能であることを重視した。アミドの結合解離エンタルピー (BDE) は 100 kcal/mol 以上であり、窒素-水素結合の不均衡開裂によってアミジルラジカルを発生させることは容易ではない。一方、アミドの共役塩基であるアミデートイオンは、適切な酸化剤 (あるいは酸化能をもつ触媒) によって容易に一電子酸化を受け、対応するアミジルラジカルを発生させる。しかし、アミドの pK_a が高いために、脱プロトン化には量論量以上の強塩基が必要となるため、アミデートがアミジルラジカルの前駆体として利用されることはほとんどなかった。

この課題に対して、本研究では安定に単離可能なアミデートの開発を行った。具体的にはアミド窒素原子上に 1,2,3-トリアゾリウムイオンを導入し、分子内のカチオンによる安定化効果によってアミデートイオンを安定化するという発想のもと、双性イオン型トリアゾリウムアミデートを開発した。この触媒は末端アセチレンとアジド化合物の Huisgen 環化 (クリックケミストリー) を含む 5 工程で簡便に合成可能であり、アミド窒素上の置換基やトリアゾール環上の置換基を容易に変更し、触媒機能を調節できるという利点を有する。

実際に *N*-ベンゾイルトリアゾリウムアミデート **1a** およびピバロイル基 (*t*-BuCO) を有する **1b** (図 1) を合成し、その性質を調査した。アミデート **1** の共役酸であるアミドトリアゾリウムを酢酸エチル等の汎用溶媒に溶解させ、飽和炭酸水素ナトリウム水溶液を加えた分液操作を行うと、脱プロトン化が進行し、双性イオンが定量的に得られることが分かった。また、得られたトリアゾリウムアミデートはシリカゲルカラムクロマトグラフィーによって単離可能であり、室温・空気下で安定に取り扱えることが分かった。次に、**1a** および **1b** の酸化電位を測定したところ、それぞれ 1.28 V (vs SCE)、1.19 V (vs SCE) であった。これらの値から、適切な可視光レドックス触媒と組み合わせることで、触媒的にアミジルラジカルを発生させられると見込んだ。実際に、励起状態で十分な酸

化力を発揮する可視光レドックス触媒 $[\text{Ir}(\text{dF}(\text{CF}_3)\text{ppy})_2(4,4'\text{-dCF}_3\text{bpy})]\text{PF}_6$ [$E_{1/2}(\text{Ir}^{\text{III}}/\text{Ir}^{\text{II}}) = 1.64 \text{ V vs SCE}$]を用いて Stern-Volmer 消光実験を行ったところ、アミデート **1a** および **1b** の添加によって Ir 錯体の発光が顕著に減少することを確認した。アセトニトリル溶媒中でのそれぞれの消光速度定数は $K_{q1a} = 6.23 \times 10^9 [\text{M}^{-1} \text{s}^{-1}]$ 、 $K_{q1b} = 5.81 \times 10^9 [\text{M}^{-1} \text{s}^{-1}]$ であり、拡散速度定数に近い値となったことから、アミデートの一電子酸化が極めて効率的に進むことが窺えた。さらに、**1a** および **1b** の共役酸の窒素-水素結合の BDE を理論計算によって見積り、それぞれ 100.2 kcal/mol、101.7 kcal/mol であると算出した。これらの値から、トリアゾリウムアミデートから発生するアミジルラジカルは、優れた HAT 触媒として機能すると期待した。

アミデート **1a** および **1b** の触媒機能を検証するため、*N*-Boc ピロリジンとメチルビニルケトンを経験とした HAT 反応を行った。その結果、**1a** と Ir 光触媒を用いた際には、わずかな触媒量で効率的に反応が進行し、期待通り双性イオン型トリアゾリウムアミデートが優れた HAT 触媒として機能することを実証した。一方、アミデート **1b** を用いた際には著しく収率が減少することが分かった。また、過渡吸収スペクトルを用いた実験により **1b** と基質である *N*-Boc ピロリジン間の HAT が遅いことも合わせて確認した。**1b** の共役酸の方が大きな BDE を有するにも関わらず反応性が低いという結果から、HAT の進行には、BDE だけではなく立体効果が大きく影響することが明らかとなった。

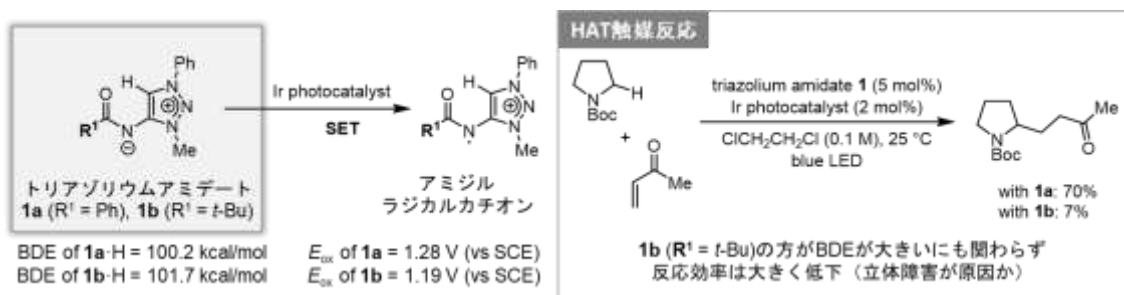


図 1

立体効果が HAT に大きな影響を与えるという知見のもと、触媒の立体構造によって HAT の位置選択性が変化するかを検証した。HAT の基質として 2-メチルテトラヒドロフランを選択し、また **1b** が比較的活性が低い点を考慮し、強力なラジカル受容体であるジスルホニルエチレンを用いることとした。実際に、**1a** および **1b** を用いて比較を行うと、**1a** を触媒とした際には約 1:1 の比率で位置異性体が生じたのに対して、高い **1b** での反応では、立体障害の少ない位置で反応した生成物が主生成物として得られた (異性体比は約 3:1)。

また、触媒が HAT 後の結合形成にも影響を与えるというユニークな知見を、*N*-Boc ペリジンと 2-フェニルアクリル酸エチルとの反応で見出した。これらの基質の HAT 反応生成物は 2 つの不斉炭素を有し、一般に、ジアステレオマー混合物として得られる。実際、汎用されている HAT 触媒であるベンゾフェノンやデカタングステン酸塩を用いた場合には約 1:1 のジアステレオマー混合物が得られた。一方、**1a** を触媒として同様の反応を行うと、13:1 の高いジアステレオ選択性で生成物が定量的に得られ、**1b** を用いた場合には、収率が低下するもののほぼ完全なジアステレオ選択性で反応が進行した (図 2)。これらの結果は、HAT およびラジカル付加、一電子移動に続く中間体のプロトン化段階にアミデート **1** の共役酸が関与し、立体制御を担っていることを示唆している。

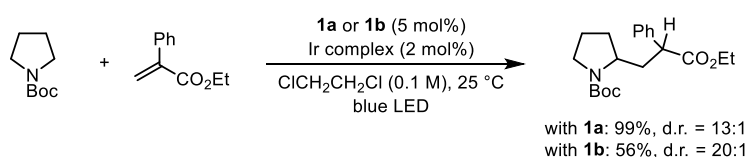


図 2

さらに、ラジカル的な炭素-水素結合の触媒的変換に焦点を当てた本研究の過程で、ラジカルイオンのメソリティック開裂を活用した新規分子変換も見出した。具体的には

シリルエノールエーテル類のアリル位炭素-水素結合変換を実現した。

シリルエノールエーテル類は、各種求電子剤への求核付加（置換）反応だけでなく、一電子酸化を起こすことが知られている。酸化によって生じるラジカルカチオンは、シリルカチオンの脱離が速やかに進行し、脱シリル化したカルボニル化合物を与える。ここで、ラジカルカチオンの物性を考慮すると、アリル位に相当する炭素-水素結合の酸性度が向上しているはずだと考えた。そのため、脱シリル化よりも速やかに脱プロトン化を進行させることができれば、対応するアリルラジカルが生成し、アリル位での結合形成反応を実現できる。

この発想にもとづき、まず、シリルエノールエーテルの一電子酸化により生じるラジカルカチオンの pK_a を計算化学的手法で算出した。アセトニトリル中の pK_a が実験的に求められているいくつかのアニリニウム塩を指標とし、ラジカルカチオンとアニリニウムおよびそれらの共役塩基の自由エネルギーの計算値をもとにラジカルカチオンの pK_a を見積った。その結果、シクロヘキサノン由来のシリルエノールエーテルから生じるラジカルカチオンの pK_a は、アセトニトリル中で 8.4 であり、同溶媒中のスルホン酸 [pK_a of TsOH (MeCN) = 8.6] と同等であることが分かった。

この情報をもとに、塩基の選定に着手した。ラジカルカチオンの pK_a が計算通りであれば、弱塩基でも問題なく脱プロトン化は進行する。塩基に必要な要素は、1) 脱シリル化よりも速やかに脱プロトン化を進行させること、2) シリルエノールエーテルの酸化条件に耐えることの 2 点である。1) の観点から不均一になる無機塩基よりも、有機塩基が好ましいと考えた。2) に関して、シリルエノールエーテルの酸化電位を測定したところ、高いもので 1.5 V (vs SCE) であり、一電子酸化には強力な酸化剤が必要となることから、酸化されづらいピリジン類 ($E^{ox} = 2V$ 以上) を塩基として採用した。具体的には、光酸化還元触媒として $[\text{Ir}(\text{dFCF}_3\text{ppy})_2(4,4'\text{-dCF}_3\text{bpy})]\text{PF}_6$ 、塩基として 2,4,6-コリジンを選択した。青色 LED 照射下で、Ir 錯体、コリジン、シリルエノールエーテルと、電子不足オレフィンとを反応させたところ、期待通り高収率で目的のアリル位アルキル化体が得られた。塩基の添加および種類の重要性も確認しており、酸化されやすいアルキルアミンや無機塩基を加えると目的の生成物はほとんど得られなかった。また、塩基非存在化や、2,6-ジ-*tert*-ブチル-4-メチルピリジンのような嵩高い塩基を用いた場合も、アルキル化体の収率は低く、脱シリル化が支配的となった。

開発した反応では、シリルエノールエーテルのケイ素上の置換基は反応性にはほとんど影響を与えず、ラジカル受容体であるオレフィンも含めて広範な基質の適用が可能であることが分かった。また、基質適用範囲を実験的に検証すると同時に、計算化学的手法による基質と収率の相関解明にも取り組み、発生するアリルラジカルのアリル位のスピンドensityの大きさが深段階の活性化エネルギーに影響することを突き止めた。本反応で得られた生成物はエノールエーテル部位を残したままであり、引き続き α -位でのイオン反応を行うことで高度に官能基化されたカルボニル化合物へと変換できることも実証した (図 3)。

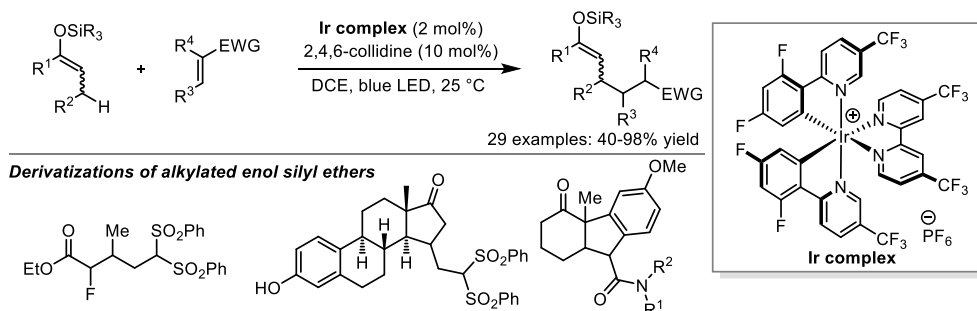


図 3

シリルエノールエーテルから生じるラジカルカチオンがスルホン酸と同程度の強酸性であるという点に着目し、プロトン化による Brønsted 塩基性の求電子剤の活性化を活かした反応開発に取り組み、シアノピリジン類とのアリル位炭素-水素結合へテロアリール化反応を達成した。また、シリルエノールエーテルのアリル位炭素-水素結合の BDE が比較的低いという性質を考慮し、チオールを HAT 触媒として用いることで、イ

ミンを基質としたアリル位炭素-水素結合アミノアルキル基化反応を達成した。いずれの反応生成物もエノールエーテル部位を保持しているため、引き続き α -位での官能基化を行い α 位と β 位が官能基化された多様なカルボニル化合物へと誘導することで、開発した化学選択的な炭素-水素結合変換反応の高い有用性を示した。

4. 研究成果

本研究で開発した双性イオン型トリアゾリウムアミデートを用いて、様々な炭素-水素結合の直接的変換反応を実現した。例えば、フルオロアルカン等の反応性の高い極性官能基を有する化合物の HAT を実現し、HAT による炭素-水素結合変換と極性反応による官能基変換を組み合わせることで、入手容易な化合物の 2 官能基化を可能にする合成戦略を提示した。有機分子へのフッ素原子の導入は、撥水性、脂溶性、耐熱性、あるいは安定性向上に大きく寄与すると同時に、電子構造を劇的に変化させるといった効果をもたらす。そのため、含フッ素化合物の合成法の開発は、特異な生理活性や優れた材料特性を発現する機能性有機分子の創製に必要不可欠である。一方、炭素-フッ素結合は高い結合解離エネルギーゆえに均等開裂条件に対して安定であるものの、ベンジル位やアリル位等に存在する活性な炭素-フッ素結合は、不均等開裂を起こす特定の反応条件下で切断可能であり、特異的な官能基変換が可能である。そのため、有機フッ素化合物は、機能性材料分野だけではなく、合成化学的にも潜在的に高い有用性を備えている。

入手容易な含フッ素化合物の変換反応、とりわけフッ素置換炭素中心の炭素-水素結合官能基化反応は、複雑な有機フッ素化合物の合成に有効な戦略のひとつとして広く研究されている。しかし、 α -フルオロカルボニル化合物のような pK_a の低い基質を用いた反応が数多く達成されているものの、より単純な含フッ素炭化水素化合物の炭素-水素変換反応はほとんど報告されていない。こうした背景を考慮すると、トリアゾリウムアミデートによるフルオロアルカン誘導体の炭素-水素結合変換は、有用な化合物群を提供する新たな方法論として価値がある。

また、メソリティック開裂の制御のもとに実現した炭素-水素結合変換反応を用いることで、単純なシリルエノールエーテルから直接的に複雑な構造を有するシリルエノールエーテルへと変換できるようになった。シリルエノールエーテル類は、有機合成化学の分野で汎用されたきた優れた反応剤であり、向山アルドール反応をはじめとする様々な結合形成反応に適用可能である。長年培われてきた極性反応との組み合わせによって、複雑化合物の効率的合成への道を切り拓いた点が、本研究の大きな成果の 1 つである。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kohsuke Ohmatsu, Tsubasa Nakashima, Makoto Sato, Takashi Ooi	4. 巻 10
2. 論文標題 Direct allylic C-H alkylation of enol silyl ethers enabled by photoredox-Bronsted base hybrid catalysis	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nature Commun.	6. 最初と最後の頁 2706
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-019-10641-y	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 Kohsuke Ohmatsu, Ryuhei Suzuki, Yukino Furukawa, Makoto Sato, Takashi Ooi	4. 巻 10
2. 論文標題 Zwitterionic 1,2,3-Triazolium Amidate as a Catalyst for Photoinduced Hydrogen-Atom Transfer Radical Alkylation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Catal.	6. 最初と最後の頁 2627-2632
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acscatal.9b04491	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 Yuya Nagato, Mari Kiyokawa, Yusuke Ueki, Jun Kikuchi, Kohsuke Ohmatsu, Masahiro Terada, Takashi Ooi	4. 巻 9
2. 論文標題 Non-Enzymatic Hybrid Catalysis for Stereoconversion of L-Amino Acid Derivatives to D-Isomers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Asian J. Org. Chem.	6. 最初と最後の頁 561-565
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ajoc.202000067	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 Kohsuke Ohmatsu, Naho Matsuyama, Yuya Nagato, Takashi Ooi	4. 巻 49
2. 論文標題 Ion-paired Ligands for Palladium-catalyzed Allylic Alkylation under Base-free Conditions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chem. Lett.	6. 最初と最後の頁 1114-1116
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.200264	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 Tsubasa Nakashima, Kohsuke Ohmatsu, Takashi Ooi 19	4. 巻 19
2. 論文標題 Mannich-type allylic C-H functionalization of enol silyl ethers under photoredox-thiol hybrid catalysis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Org. Biomol. Chem. 141	6. 最初と最後の頁 141-145
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D00B01862G	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 Tsubasa Nakashima, Haruka Fujimori, Kohsuke Ohmatsu, Takashi Ooi	4. 巻 -
2. 論文標題 Exploiting Transient Radical Cations as Bronsted Acids for Allylic C-H Heteroarylation of Enol Silyl Ethers	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chem. Eur. J.	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.202101352	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 Kohsuke Ohmatsu, Mari Kiyokawa, Yuto Shirai, Yuya Nagato, Takashi Ooi	4. 巻 -
2. 論文標題 Hybrid Catalysis of 8-Quinolinecarboxaldehyde and Bronsted Acid for Efficient Racemization of α -Amino Amides and Its Application in Chemoenzymatic Dynamic Kinetic Resolution	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Heterocycles	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3987/COM-20-S(K)32	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15件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 Ryuhei Suzuki, Kohsuke Ohmatsu, Takashi Ooi
2. 発表標題 Zwitterionic 1,2,3-Triazolium Amidate as a Catalyst for Photoinduced Hydrogen-Atom Transfer Radical Alkylation
3. 学会等名 第12回有機触媒シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryuhei Suzuki, Kohsuke Ohmatsu, Takashi Ooi
2. 発表標題 Zwitterionic 1,2,3-Triazolium Amidate as a Catalyst for Photoinduced Hydrogen-Atom Transfer Radical Alkylation
3. 学会等名 2019 International C-H Functionalization Workshop (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryuhei Suzuki, Kohsuke Ohmatsu, Takashi Ooi
2. 発表標題 Zwitterionic 1,2,3-Triazolium Amidate as a Catalyst for Photoinduced Hydrogen-Atom Transfer Radical Alkylation
3. 学会等名 The 1st International Symposium on Hybrid Catalysis for Enabling Molecular Synthesis on Demand (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nakashima, T.; Ohmatsu, K.; Ooi, T.
2. 発表標題 Direct Allylic C-H Alkylation of Enol Silyl Ethers Enabled by Photoredox-Brønsted Base Hybrid Catalysis
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nagato, Y.; Ohmatsu, K.; Ooi, T.
2. 発表標題 Hybrid Catalysis for Catalytic Stereoconversion of L-Amino Acid Derivatives to D-Isomers
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 孫福凌、大松亨介、大井貴史
2. 発表標題 ラジカルカチオンの強酸性の活用にもとづくケテンシリルアセタールのアリル位アルキル化反応
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松山菜歩、大松亨介、大井貴史
2. 発表標題 パラジウム-ハロゲン化物イオン協働触媒作用によるカルボニル化合物のアリル化反応
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 第11回有機触媒シンポジウム
2. 発表標題 光レドックス触媒とプレnstेटド塩基触媒の協働作用によるシリルエノールエーテルのアリル位C-Hアルキル化反応
3. 学会等名 中島翼、佐藤真、大松亨介、大井貴史
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中島翼、佐藤真、大松亨介、大井貴史
2. 発表標題 光レドックス触媒とプレnstेटド塩基触媒の協働作用によるシリルエノールエーテルのアリル位C-Hアルキル化反応
3. 学会等名 第49回中部化学関係学協会支部連合秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 永戸雄也、大松亨介、大井貴史
2. 発表標題 -アミノカルボニル化合物の触媒的異性化反応
3. 学会等名 第49回中部化学関係学協会支部連合秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木隆平、大松亨介、大井貴史
2. 発表標題 1,2,3-トリアゾールを鍵骨格とする超分子キラル酸触媒の開発
3. 学会等名 第35回有機合成化学セミナー
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木隆平、大松亨介、大井貴史
2. 発表標題 アニオン捕捉型超分子キラルプレンステッド酸触媒の開発と応用
3. 学会等名 第113回有機合成シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中島 翼・大松 亨介・大井 貴史
2. 発表標題 光レドックス触媒とチオール触媒の協働作用によるシリルエノールエーテルのアリル位Mannich型反応
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤森 春佳・大松 亨介・大井 貴史
2. 発表標題 シリルエノールエーテルのアリル位ヘテロアリール化反応
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤田 博貴・大松 亨介・大井 貴史
2. 発表標題 水素原子移動触媒による含フッ素ベンジル位C-H官能基化反応
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会
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

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