

平成 30 年 4 月 19 日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K07852

研究課題名(和文) 高活性な三価ヨウ素試薬の創製とメタルフリー環化付加反応による複素環合成法の開発

研究課題名(英文) Development of Iodine(III) Reagents with High Reactivity and Its Application to Metal-Free Cycloaddition-Type Reactions

研究代表者

齊藤 亜紀夫 (Saito, Akio)

東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：10339103

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：三価ヨウ素は低毒性かつ安全な酸化剤であり、遷移金属と類似した反応性を示すことが知られている。しかし、環化付加反応による複素環合成法で汎用されている「遷移金属錯体」と比べて、従来の三価ヨウ素の反応性や触媒能は低く、適用できる基質が限定されていた。そこで本研究では、「不飽和結合の活性化機能」を向上させた新規三価ヨウ素試薬を創製し、独自に開発したフタルフリーな環化付加反応の改良と触媒反応への展開を行い、他の環化付加反応の開発を行った。

研究成果の概要(英文)：Iodine(III) compounds are less toxic and safe oxidants and are known to show reactivities similar to transition metals. However, compared with transition metal complexes, which are frequently used in the cycloaddition reaction for the synthesis of heterocycles, iodine(III) compounds show low reactivities and catalytic abilities. Therefore, new iodine(III) compounds with improved abilities of unsaturated bonds were developed, and then our self-developed metal-free cycloaddition reactions were improved and extended to catalytic methods as well as other cycloaddition reactions.

研究分野：有機合成化学

キーワード：超原子価ヨウ素 環化付加反応 触媒 メタルフリー 複素環化合物

### 1. 研究開始当初の背景

複素環は、医・農薬や機能性材料などの有用物質に見られる重要な骨格であり、今後の生命科学や材料科学を支える点からも新規かつ効率的な複素環合成法の開発は重要な課題である。現在に至るまで、温和な条件下で高度に不飽和結合を活性化できる遷移金属触媒が注目されており、ヘテロ求核種を分子内に有する不飽和化合物の環化反応や、ヘテロ原子を含む不飽和化合物の環化付加反応は複素環合成法において重要な位置を占めている。

一方、天然資源の乏しい我が国において、希少資源の代替資源を活用した有機合成法の確立は、持続的発展が可能な社会を築く上で必要となっている。このような観点から、遷移金属の特徴を有する非金属資源の合成化学的な利用法として、毒性が低く、国内豊富に存在するヨウ素を活用した有機合成法の開発が推し進められてきている。特に、超原子価ヨウ素による有機反応が近年盛んに研究されてきたが、適用可能な有機反応に限られていたため、新たな反応性を有する高活性な超原子価ヨウ素の開発が切望された。

### 2. 研究の目的

本研究では、「不飽和結合の活性化機能」を向上させた新規三価ヨウ素試薬を創製して、独自に開発した環化付加反応の改良と触媒反応への展開を行うと共に、他の環化付加反応へと応用することを目的とした。我々の研究グループは、以前の研究において、三価ヨウ素試薬が有する「不飽和結合の活性化」と「ヘテロ原子供与体」の二つの機能に着目し、不活性不飽和化合物のメタルフリーな環化付加反応を開発した。本手法は、従来法で必要とされてきた希少な遷移金属触媒を超原子価ヨウ素で代替した点で有用であったが、基質適用の制限や化学量論量以上のヨウ素試薬の使用などの問題点を残していた。これらの解決法として、三価ヨウ素に不飽和結合を高度に活性できる機能を付与することを考えた。このような高活性なヨウ素試薬の創製は、我々が以前に開発した環化付加反応の改善だけでなく、不飽和化合物を出発物質とするメタルフリー有機合成法の開発にもつながることが期待される。

### 3. 研究の方法

#### (1) 三価ヨウ素試薬の母核の化学修飾

三価ヨウ素による不飽和結合の高度活性化はヨウ素の親電子性向上が鍵となるため、母核となる芳香環上に電子求引性基を導入して、ヨウ素上の電子密度を制御することを考えた(図1)。そこで、電子求引性基の種類、導入する位置や数などを詳細に検討し、高活性な三価ヨウ素試薬の創製を行った。

#### (2) 三価ヨウ素試薬の配位子の選択

三価ヨウ素の配位子は「官能基供与体」として機能するだけでなく、「ヨウ素の親電子

性」の制御も行っている(図1)。しかし、従来の三価ヨウ素を利用した有機反応では、アシロキシ基などの酸素系配位子が多用されている。また、他の配位子を有する三価ヨウ素の調製や触媒の発生においても、酸素系配位子との配位子交換が主体となっている。そこで、直接導入可能なフッ素原子配位子を中心に、他の配位子を有する三価ヨウ素の反応性を探索した。

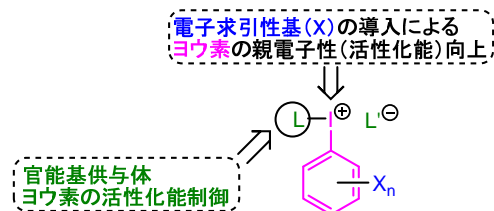


図1. 三価ヨウ素試薬の化学修飾

### 4. 研究成果

#### (1) 母核の化学修飾による高活性な三価ヨウ素試薬の創製と環化付加型反応への応用

イミノヨウダンに関する従来の研究では主にその構造論に焦点が当てられており、イミノヨウダン(代表的な試薬: PhINTs)は有機合成法において窒素供与体としての利用に限られていた。そこで、高活性なイミノヨウダンの創製について検討し、図2に示した4種類のイミノヨウダンの開発に成功した。

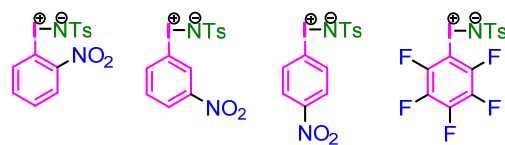


図2. 高活性なイミノヨウダン

上記の試薬を利用した環化付加型反応は以下の通りである(成果①)。また、他の三価ヨウ素を利用した環化付加反応の開発も行った(成果②③)。

#### ① 高活性なイミノヨウダンをを用いる[2+2+1]環化付加型イミダゾール合成法

以前に開発した「PhINTsを用いるアルキンとニトリル、窒素原子の[2+2+1]環化付加型反応」は、かさ高いアルキンに対して適用できなかった。これに対して、上記の  $C_6F_5$ INTs が、以前の手法で合成可能であったイミダゾールの収率向上をもたらすと共に、かさ高いアルキンからも対応するイミダゾールを与えることを明らかにした(図3)。

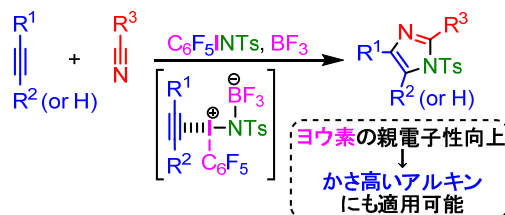


図3. [2+2+1]環化付加型イミダゾール合成法

## ②三価ヨウ素触媒による[2+2+1]環化付加型オキサゾール合成法

以前に開発した「三価ヨウ素試薬を用いるアルキンとニトリル、酸素原子の[2+2+1]環化付加型反応」は、ヨウ素試薬を化学量論量以上必要としていた。そこで、アトムエコノミーやステップエコノミーの向上を目指して、触媒前駆体であるヨウ化アリアルと共酸化剤から発生する三価ヨウ素触媒を用いる手法について検討した。その結果、ヨードベンゼンあるいは4-クロロヨードベンゼンとメタククロ過安息香酸を用いることにより、[2+2+1]環化付加型反応が温和な条件下、高位置選択的に進行し、種々のオキサゾール化合物が以前の手法と同程度の収率で得られることを明かにした(図4)。

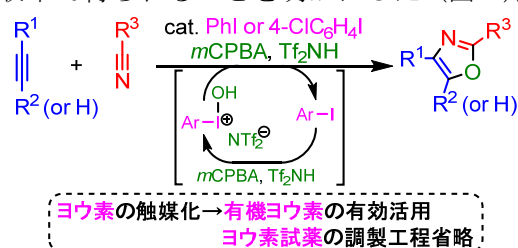


図4. 触媒的[2+2+1]環化付加型オキサゾール合成法

## ③ヒドロキサム酸とジェンとの酸化的環化付加型反応

三価ヨウ素試薬がヒドロキサム酸のN-O結合の酸化に有効であることを見出し、本反応で形成されるアシルニトロソ種とジェンとのhetero-Diels-Alder反応の開発に成功した(図5, 上式)。この酸化的環化付加反応は、触媒量のヨウ化テトラブチルアンモニウムとtert-ブチルヒドロペルオキシド(あるいは過酸化水素水)から発生する次亜ヨウ素酸塩によっても、効率的に触媒される。また、三価ヨウ素試薬と共に強酸を添加すると、ヒドロキサム酸とジェンから一段階でニトロソ化合物が得られることを明かにした(下式)。

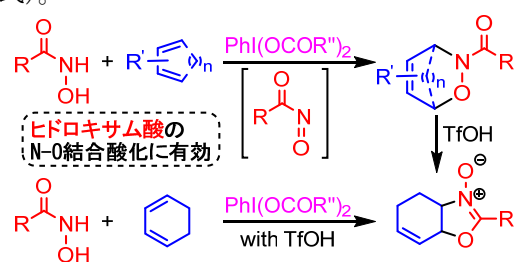


図5. ヒドロキサム酸とジェンとの酸化的環化付加反応

## (2)配位子の選択による三価ヨウ素種の反応性の探索と環化-官能基化反応の開発

以前の研究展開において、「N-プロパルギルアミド誘導体の環化-アセトキシ化反応」から「アルキン類のメタルフリーな環化付加型オキサゾール合成法」を見出した。そこで、新たな環化付加型複素環合成法の開発を念頭に置き、プロパルギルアミド誘導体の環化-官能基化反応をモデル反応として、種々の配位子を有する三価ヨウ素種の反応性の探

索を行った。その結果、直接導入可能なフッ素原子配位子を有する三価ヨウ素種が、「環化-フッ素化反応」だけでなく、炭素官能基導入に対しても有効であることが明らかとなった(成果①)。また、他の配位子を有する三価ヨウ素種の反応性探索から、「環化-アミド化反応」及び「環化-ヨウ素化反応」の開発にも成功した(成果②③)。

## ①N-プロパルギルアミド誘導体の触媒的環化-フッ素化反応

Selectfluor<sup>®</sup>とHF·Py(Py:ピリジン)存在下、4-ヨードアニソールから触媒的に発生する含フッ素三価ヨウ素種を用いることにより、種々のプロパルギルアミド誘導体から、フッ素原子の導入を伴ったオキサゾールが一段階で得られることを明かにした(図6)。有機フッ素化合物は医・農薬などに対して優れた特徴を発現するため、本生成物の物性などが期待される。また、本ヨウ素触媒系は、環化-フッ素化反応で汎用される金(I)錯体/Selectfluor<sup>®</sup>触媒系よりも有効であったことから、他のアルキン類の環化-フッ素化反応に拡張できると考えている。

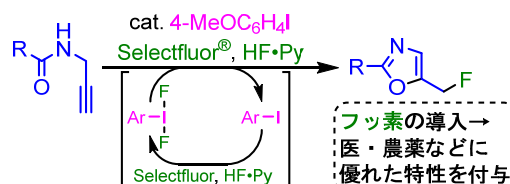


図6. 環化-フッ素化反応

上記の検討過程において、触媒前駆体のヨウ化アリアルを導入を伴ったオキサゾールが目的の含フッ素オキサゾールと共に得られることが分かった。本知見は、上記の触媒系が芳香族化合物のような炭素官能基の導入にも有効であることを示唆すると共に、芳香環が連結した環化付加型反応への応用も期待される。現在、別の研究プロジェクトで、炭素官能基の導入法に関する研究を行っており、有益な結果が得られている。

## ②N-プロパルギルアミド誘導体の触媒的環化-イミド化反応

プロパルギルアミド誘導体とスルホンイミドとの触媒的環化-イミド化反応については、再酸化剤としてOxone<sup>®</sup>が良好であった。また、スルホン基の脱保護条件を適切に選択することにより、対応するスルホンアミド体及びアミノ体にそれぞれ誘導することも可能であった(図7)。

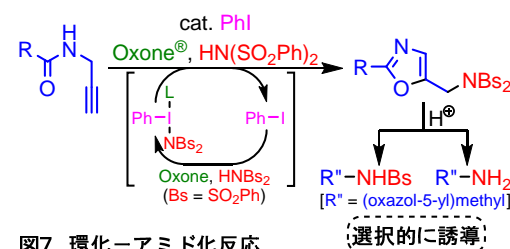


図7. 環化-アミド化反応

窒素官能基は、生理活性の発現に重要な役割を果たす他、合成的なスキュフールドとしても有用であるため、本成果は生理活性物質の合成において有力な手法を提供したと考えている。

### ③ *N*-プロパルギルアミド誘導体の環化—ヨウ素化反応

プロパルギルアミド誘導体と通常の原子価ヨウ素試薬から得られるヨード環化体は、対応する含ヨウ素オキサゾールへの脱芳香族化が進行しないため、種々の官能基に変換可能なヨウ素をオキサゾールに導入することは困難であった。これに対して、我々は、分子状ヨウ素、ヨードシルベンゼン及びトリフルオロメタンスルホン酸トリメチルシリル (TMSOTf) から発生するヨードトリフラート (IOTf) を用いることにより、種々のプロパルギルアミド誘導体から含ヨウ素オキサゾールが一段階で得られることを明らかにした (図8)。

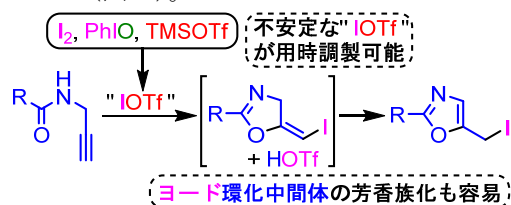


図8. 環化—ヨウ素化反応

得られた含ヨウ素オキサゾールは、アジド体やフェニルアミノ体などの窒素官能基含有オキサゾール、及びシアノ体やメシル体などの炭素官能基含有オキサゾールに変換可能であった。

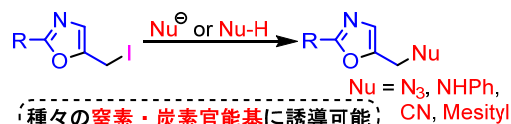


図9. 含ヨウ素オキサゾールの変換反応

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 18 件)

- ① Hisato Shimizu, Akira Yoshimura, Keiichi Noguchi, Victor N. Nemykin, Viktor V. Zhdankin, Akio Saito, "Oxidative cycloaddition of hydroxamic acids with dienes or guaiacols mediated by iodine(III) reagents", *Beilstein J. Org. Chem.* **2018**, *14*, 531–536. DOI: 10.3762/bjoc.14.39. (査読有)
- ② Yuichiro Takeda, Ryota Kajihara, Naoko Kobayashi, Keiichi Noguchi, Akio Saito, "Molecular-Iodine-Catalyzed Cyclization of 2-Alkynylanilines via Iodocyclization–Protodeiodination Sequence", *Org. Lett.* **2017**, *19*, 6744–6747. DOI: 10.1021/acs.orglett.7b03497. (査読有)
- ③ Akira Yoshimura, Jonathan Fuchs, Kyle Middleton, Andrey Maskae, Gregory Rohde,

Akio Saito, Pavel Postnikov, Mekhman Yusubov, Victor N. Nemykin, Viktor V. Zhdankin, "Pseudocyclic Arylbenziodoxaboroles: Efficient Benzyne Precursors Triggered by Water at Room Temperature", *Chem. Eur. J.* **2017**, *23*, 16738–16742. DOI: 10.1002/chem.201704393. (査読有)

④ Takafumi Baba, Shunsuke Takahashi, Yui Kambara, Akira Yoshimura, Victor N. Nemykin, Viktor V. Zhdankin, Akio Saito, "Development of Imino- $\lambda$ 3-iodanes with Improved Reactivity for Metal-Free [2+2+1] Cycloaddition-Type Reactions", *Adv. Synth. Catal.* **2017**, *359*, 3860–3864. DOI: 10.1002/adsc.201700934. (査読有)

⑤ Sho Suzuki, Akio Saito, "Single-Step Synthesis of Iodinated Oxazoles from *N*-Propargyl Amides Mediated by I<sub>2</sub>/Iodosylbenzene/TMSOTf Systems", *J. Org. Chem.* **2017**, *82*, 11859–11864. DOI: 10.1021/acs.joc.7b01563. (査読有)

⑥ Yuki Okamura, Daisuke Sato, Akira Yoshimura, Viktor V. Zhdankin, Akio Saito, "Iodine(III)-Mediated/Catalyzed Cycloisomerization–Amination Sequence of *N*-Propargyl Carboxamides", *Adv. Synth. Catal.* **2017**, *359*, 3243–3247. DOI: 10.1002/adsc.201700587. (査読有)

⑦ Takuma Yagy, Yusuke Takemoto, Akira Yoshimura, Viktor V. Zhdankin, Akio Saito, "Iodine(III)-Catalyzed Formal [2+2+1] Cycloaddition Reaction for Metal-Free Construction of Oxazoles", *Org. Lett.* **2017**, *19*, 2506–2509. DOI: 10.1021/acs.orglett.7b00742. (査読有)

⑧ Akio Saito, "Metal-free syntheses of oxazoles and their analogues based on  $\lambda$ 3-iodane-mediated cycloisomerization/functionalization reactions or [2+2+1] cycloaddition type reactions", *ARKIVOC* **2017**, 84–98. DOI: 10.3998/ark.5550190.p009.965. (査読有)

⑨ Akira Yoshimura, Scott C. Klasen, Michael T. Shea, Khiem C. Nguyen, Gregory T. Rohde, Akio Saito, Pavel S. Postnikov, Mekhman S. Yusubov, Victor N. Nemykin, Viktor V. Zhdankin, "Preparation, Structure, and Reactivity of Pseudocyclic Benziodoxole Tosylates: New Hypervalent Iodine Oxidants and Electrophiles", *Chem. Eur. J.* **2017**, *23*, 691–695. DOI: 10.1002/chem.201604475. (査読有)

⑩ Kosuke Murai, Keiichiro Tateishi, Akio Saito, "Barluenga's Reagent with HBF<sub>4</sub> as An Efficient Catalyst for Alkyne–Carbonyl Metathesis of Unactivated Alkynes", *Org. Biomol. Chem.* **2016**, *14*, 10352–10356. DOI: 10.1039/C6OB02090A. (査読有)

⑪ Naoki Asari, Yusuke Takemoto, Yukino Shinomoto, Takuma Yagy, Akira Yoshimura, Viktor V. Zhdankin, Akio Saito, "Catalytic Cycloisomerization–Fluorination Sequence of

*N*-Propargyl Amides by Iodoarene/HF·Pyridine/Selectfluor Systems”, *Asian J. Org. Chem.* **2016**, *5*, 1314–1317. DOI: 10.1002/ajoc.201600383. (査読有)

⑫ Tomoyuki Obata, Sho Suzuki, Asuka Nakagawa, Ryota Kajihara, Keiichi Noguchi, Akio Saito, “Gold-Catalyzed Domino Synthesis of Functionalized Benzofurans and Tetracyclic Isochromans via Formal Carboalkoxylation”, *Org. Lett.* **2016**, *18*, 4136–4139. DOI: 10.1021/acs.orglett.6b02159. (査読有)

⑬ Akira Yoshimura, Khiem C. Nguyen, Scott C. Klasen, Pavel S. Postnikov, Mekhman S. Yusubov, Akio Saito, Victor N. Nemykin, Viktor V. Zhdankin, “Hypervalent Iodine-Catalyzed Synthesis of 1,2,4-Oxadiazoles from Aldoximes and Nitriles”, *Asian J. Org. Chem.* **2016**, *5*, 1128–1133. DOI: 10.1002/ajoc.201600247. (査読有)

⑭ Akira Yoshimura, Khiem C. Nguyen, Gregory T. Rohde, Akio Saito, Mekhman S. Yusubov, Viktor V. Zhdankin, “Oxidative Cycloaddition of Aldoximes with Maleimides using Catalytic Hydroxy(aryl)iodonium Species”, *Adv. Synth. Catal.* **2016**, *358*, 2340–2344. DOI: 10.1002/adsc.201600331. (査読有)

⑮ Yukino Shinomoto, Akira Yoshimura, Hisato Shimizu, Mutsumi Yamazaki, Viktor V. Zhdankin, Akio Saito, “Tetra-*n*-butylammonium Iodide Catalyzed C–H Azidation of Aldehydes with Thermally Stable Azidobenziodoxolone”, *Org. Lett.* **2015**, *17*, 5212–5215. DOI: 10.1021/acs.orglett.5b02543. (査読有)

⑯ Akira Yoshimura, Khiem Chau Nguyen, Scott Klasen, Akio Saito, Victor N. Nemykin, Viktor V. Zhdankin, “Preparation, Structure, and Versatile Reactivity of Pseudocyclic Benziodoxole Triflate, New Hypervalent Iodine Reagent”, *Chem. Commun.* **2015**, *51*, 7835–7838. DOI: 10.1039/C5CC02009C. (査読有)

⑰ Akio Saito, Yui Kambara, Takuma Yagyū, Keiichi Noguchi, Akira Yoshimura, Viktor V. Zhdankin, “Metal-Free [2+2+1] Annulation of Alkynes, Nitriles and N-Atoms from Iminoiodanes for Synthesis of Highly Substituted Imidazoles.”, *Adv. Synth. Catal.* **2015**, *357*, 667–671. DOI: 10.1002/adsc.201500032. (査読有)

⑱ Akira Yoshimura, Steven R. Koski, Jonathan M. Fuchs, Akio Saito, Victor N. Nemykin, Viktor V. Zhdankin, “Saccharin-based  $\mu$ -Oxo Imidoiodane: A Readily Available and Highly Reactive Reagent for Electrophilic Amination”, *Chem. Eur. J.* **2015**, *21*, 5328–5331. DOI: 10.1002/chem.201500335. (査読有)

[学会発表] (計 31 件)

① 竹本 優介, 浅利 直生, 高橋 俊輔, 齊藤 亜紀夫, “超原子価ヨウ素触媒による炭素官能基導入型オキサゾール合成法の開発”, 日本

化学会第 98 春季年会, 2018 年 3 月 20 日, 日本大学理工学部船橋キャンパス (千葉県船橋市).

② 浦岡 早紀, 篠原 生命, 齊藤 亜紀夫, “次亜ヨウ素酸触媒を用いたアシルニトロソ化合物の Hetero-Diels-Alder 反応”, 日本化学会第 98 春季年会, 2018 年 3 月 20 日, 日本大学理工学部船橋キャンパス (千葉県船橋市).

③ Akio Saito, Takafumi Baba, Yui Kambara, “Development of Highly Reactive Imino- $\lambda^3$ -iodane reagent and Its Application to Imidazole Synthesis”, 8th International Meeting on Halogen Chemistry, 2017 年 9 月 13 日, 犬山国際観光センター (愛知県犬山市).

④ Hisato Shimizu, Akira Yoshimura, Viktor V. Zhdankin, Akio Saito, “Synthesis of 1,2-Oxazine from Hydroxamic Acids and dienes using Hypervalent Iodine(III) Reagents”, 8th International Meeting on Halogen Chemistry, 2017 年 9 月 13 日, 犬山国際観光センター (愛知県犬山市).

⑤ 高橋 俊輔, 齊藤 亜紀夫, “配位性官能基を導入した三価ヨウ素触媒による *N*-プロパルギルアミド誘導体の環化異性化-フッ素化反応の開発”, 第 20 回ヨウ素学会シンポジウム, 2017 年 9 月 8 日, 千葉大学西千葉キャンパス (千葉県千葉市).

⑥ 齊藤 亜紀夫, 岡村 優紀, “三価ヨウ素触媒を用いた *N*-プロパルギルアミド誘導体の環化異性化-アミド化反応”, 第 20 回ヨウ素学会シンポジウム, 2017 年 9 月 8 日, 千葉大学西千葉キャンパス (千葉県千葉市).

⑦ 武田 有一郎, 梶原 凌太, 齊藤 亜紀夫, “分子状ヨウ素触媒を用いた *o*-アルキニルアニリン誘導体の環化反応”, 日本薬学会第 137 年会, 2017 年 3 月 25 日, 東北大学川内キャンパス (宮城県仙台市).

⑧ 鈴木 彰, 齊藤 亜紀夫, “三価ヨウ素試薬を活用した含ヨウ素オキサゾールの一段階合成法”, 日本化学会第 97 春季年会, 2017 年 3 月 18 日, 慶應義塾大学日吉キャンパス (神奈川県横浜市).

⑨ 清水 寿人, 吉村 祥, Viktor V. Zhdankin, 齊藤 亜紀夫, “超原子価ヨウ素試薬を用いたヒドロキサム酸誘導体からの 1,2-オキサジン合成法の開発”, 日本化学会第 97 春季年会, 2017 年 3 月 18 日, 慶應義塾大学日吉キャンパス (神奈川県横浜市).

⑩ 齊藤 亜紀夫, 浅利 直生, 鈴木 彰, “プロパルギルアミド誘導体の環化異性化-ハロゲン化反応”, 第 110 回有機合成シンポジウム, 2016 年 11 月 10 日, 早稲田大学国際会議場 (東京都新宿区).

⑪ 鈴木 彰, 齊藤 亜紀夫, “*N*-プロパルギルアミド誘導体のメタルフリーな環化異性化-ヨウ素化反応”, 第 19 回ヨウ素学会シンポジウム, 2016 年 9 月 16 日, 千葉大学西千葉キャンパス (千葉県千葉市).

⑫ Akio Saito, Takuma Yagyū, Yusuke Takemoto, “ $\lambda^3$ -Iodane-Catalyzed [2+2+1] Cycloaddition for

Oxazole Synthesis”, 5th International Conference on Hypervalent Iodine Chemistry, 2016年7月5日, Eurotel Victoria (Les Diablerets, Switzerland).

⑬ 柳生拓磨, 竹本優介, 齊藤 亜紀夫, “三価ヨウ素触媒を基盤とする[2+2+1]環形成型オキサゾール合成法の開発”, 日本薬学会第136年会, 2016年3月29日, パシフィコ横浜 (神奈川県横浜市).

⑭ 馬場 崇史, 神原 結衣, 齊藤 亜紀夫, “高活性な含窒素三価ヨウ素試薬の創製と複素環合成法への応用”, 日本化学会第96春季年会, 2016年3月25日, 同志社大学京田辺キャンパス (京都府京田辺市).

⑮ 岡村 優紀, 齊藤 亜紀夫, “超原子価ヨウ素試薬を用いた *N*-プロパルギルアミド誘導体の環化異性化-アミノ化反応”, 日本化学会第96春季年会, 2016年3月25日, 同志社大学京田辺キャンパス (京都府京田辺市).

⑯ Akio Saito, “Metal-free multicomponent cycloaddition-type reactions for synthesis of heterocycles”, 17th Annual Florida Heterocyclic and Synthetic Conference, 2016年2月29日, The J. Wayne Reitz Union (Gainesville, FL, USA). **招待講演.**

⑰ 中川 明日香, 齊藤 亜紀夫, “プロト-脱ヨウ素化機構を基盤とするプロパルギルアミド誘導体の環化異性化反応”, 第70回記念有機合成化学協会関東支部シンポジウム, 2015年11月22日, 長岡工業高等専門学校 (新潟県長岡市).

⑱ 柳生 拓磨, 竹本 優介, 齊藤 亜紀夫, “ヨウ化アリアル触媒を用いた[2+2+1]環形成反応によるオキサゾール合成”, 第45回複素環化学討論会, 2015年11月20日, 早稲田大学国際会議場 (東京都新宿区).

⑲ Akio Saito, Yukino Shinomoto, Akira Yoshimura, Viktor V. Zhdankin, “TBAI-Catalyzed C-H Azidation of Aldehydes with Thermally Stable Azidobenziodoxolone”, The 13th International Kyoto Conference on New Aspects of Organic Chemistry, 2015年11月12日, リーガロイヤルホテル京都 (京都府京都市).

⑳ Naoki Asari, Yusuke Takemoto, Akio Saito, “Iodoarene-Catalyzed Cycloisomerization/Fluorination Reaction of Propargyl Amides”, The 13th International Kyoto Conference on New Aspects of Organic Chemistry, 2015年11月10日, リーガロイヤルホテル京都 (京都府京都市).

他 11 件

[その他]

ホームページ等

<http://www.tuat.ac.jp/~akio-sai/>

<http://kenkyu-web.tuat.ac.jp/Profiles/44/0004321/profile.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

齊藤 亜紀夫 (SAITO AKIO)

東京農工大学・大学院工学研究院・准教授  
研究者番号：10339103

### (4) 研究協力者

Viktor V. Zhdankin (Viktor V. Zhdankin)

ミネソタ大学ダールス校・化学科・教授