

令和 4 年 6 月 9 日現在

機関番号：12501

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2021

課題番号：20K15271

研究課題名(和文)キラルプロモニウム塩の開発を基盤とする新規不斉ハロゲン結合触媒の創製

研究課題名(英文)Development of Novel Chiral Halogen-bonding Catalyst Based on Bromonium Salt

研究代表者

吉田 泰志 (Yoshida, Yasushi)

千葉大学・大学院工学研究院・助教

研究者番号：10773963

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では超原子価臭素化合物であるプロモニウム塩を、ハロゲン結合触媒として利用できることを世界で初めて発見した。キラルプロモニウム塩を開発し、vinylogous-Mannich反応へ触媒として適用することで、生成物を最高96% eeで得ることに成功した。種々のキラルハロニウム塩を開発し、その中でもキラルヨードニウム塩が高高いチオールのイミンへの不斉付加反応において高いパフォーマンスを示すことを見出し、生成物を高い立体選択性で得ることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

医薬品分子の中には光学活性体として用いられているものも多く、それ故、キラル分子の触媒的不斉合成は重要である。不斉触媒として従来盛んに研究されてきた水素結合を駆動力とする分子に対し、ハロゲン原子が形成可能な「ハロゲン結合」を有する触媒が特異な反応性を示すことが近年見出されているものの、その不斉触媒分野における例は限られていた。本研究ではこれまでに例のない、超原子価臭素化合物であるプロモニウム塩のハロゲン結合触媒としての応用により、従来困難であったキラルハロゲン結合触媒を用いる生成物への高度な不斉導入を達成した。

研究成果の概要(英文)：The bromonium salt, which is one of the hypervalent bromine reagent, has been found to work as a halogen-bonding catalyst. The chiral bromonium salt, which contains chiral binaphthyl backbone, has been developed and applied as an asymmetric halogen-bonding catalyst in vinylogous-Mannich reaction to form the corresponding products in up to 96% ee. Various chiral halonium salts have been developed, and the chiral iodonium salt has found to be optimal in the asymmetric addition reaction of bulky thiols to imines, which provided corresponding products in high yields with excellent ees.

研究分野：有機合成化学

キーワード：不斉触媒 ハロゲン結合 プロモニウム塩 不斉合成

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ハロゲン原子と Lewis 塩基との相互作用により形成されるハロゲン結合は、水素結合に置き換わる可能性のある新しい相互作用として近年注目されており、超分子化学や結晶工学、機能性材料分野等において広く研究されている。この結合は高い指向性を有することから、その特性を生かした分子認識や有機分子触媒としての研究が行われつつあるものの、限られた反応例があるだけである。

申請者はこれまでに、キラル触媒や超原子価ヨウ素試薬を用いる新規不斉合成反応を開発し、医薬品原料として有用なキラルアミンの高選択的合成に成功している(例えば *J. Org. Chem.* **2019**, *84*, 7362)。本研究ではこれまでの知見を生かして、ハロゲン原子を含むキラル触媒の新たな展開として、超原子価ハロゲン化合物であるキラルプロモニウム塩の開発とそのハロゲン結合触媒としての応用を行った。

2. 研究の目的

本研究では

(1) ハロゲン結合触媒としての新規キラルプロモニウム塩の開発と不斉反応への応用

(2) ハロニウム塩触媒特有の新規不斉反応開発

の2点を目的として行った。(1)においては、特異な反応性が明らかになりつつあるハロゲン結合触媒の新たな展開としてキラルプロモニウム塩の開発を行う。プロモニウム塩はこれまでカップリング反応等に用いられた先駆的な例があるものの、触媒としての応用例は無い上に、キラルなプロモニウム塩に関しては合成例も無い。本研究において、申請者はキラルプロモニウム塩触媒を開発することで、そのキラル中心と基質のプロキラル炭素を空間的に近づけ、世界初のハロゲン結合を駆動力とする触媒的不斉合成を達成することとした。(2)においては、(1)で開発したハロニウム塩触媒により初めて可能となる新規不斉反応の開発を試みた。

3. 研究の方法

まずアキラルなプロモニウム塩を開発し、それがハロゲン結合触媒として機能することを見出し、その中で活性の高い構造を決定しモデル反応において基質適用範囲の調査を行った。続いて、キラルなプロモニウム塩の合成を行った。その設計としてアキラルな触媒で得られた知見を活かすことで、高活性と高立体選択性を両立できる触媒を開発した。得られたキラル触媒のアミド部位や用いるハロゲン原子を検討することで、最適な触媒構造を決定した。得られた最適触媒を用いて不斉 vinylogous-Mannich 反応を行うことで、本反応系の適用可能範囲の調査を行った。続いて、得られた触媒を用いた新規反応の開発を試みた。さらに、我々の触媒の優位性を確立すべくチオールイミンへの不斉付加反応へ適用し、既存の触媒を超えるパフォーマンスを示すことを見出した。

4. 研究成果

(1) ハロゲン結合触媒としての新規キラルプロモニウム塩の開発と不斉反応への応用

まず、アキラルな新規プロモニウム塩を市販品であるアニリン誘導体から数段階の変換のうちに合成し、インドールの *trans*-クロトノフェノンへの Michael 付加反応にハロゲン結合触媒として適用した。その結果、芳香環上に電子供与基を有する触媒や、カウンターアニオンとしてトリフラートイオンを有するものが高い触媒活性を示すことを見出した。これは、プロモニウム塩が触媒活性を示した世界初の例である。また本反応の進捗を ¹H-NMR で追跡したところ、生成物の収率は反応時間に対して通常とは異なるシグモイドカーブを描くという結果が得られた。これは反応中で、生成物と触媒の複合体と予想される別の化学種が生成し、それが真の触媒活性種であることを示唆している結果である。続いて、本反応の基質適用範囲の調査を行った。その結果、電子供与基や電子求引基を有する広いインドール類やエノンが本反応へ適用可能であることがわかり、生成物が最高 96% 収率で得られた。

次に、キラルプロモニウム塩の開発を行った。上で見出した触媒活性を有する環状プロモニウム塩部位をキラルピナフル骨格に導入した分子を設計し、合成を行った。市販品である BINAM から容易に合成可能な 3-Iodo-BINAM を出発原料とし、4 段階の変換により目的とするキラルプロモニウム塩の合成に成功した。その他の置換基を有するプロモニウム塩や、ヨードニウム塩、クロロニウム塩に関しても同様の手法で合成を行った。得られたキラル分子をシアノメチルケマリンとイミンの vinylogous-Mannich 反応へ触媒として適用したところ、反応が高収率、高立体選択的に進行することを見出した。続いて触媒が有するハロゲン原子を検討したところ、クロロニウム塩やヨードニウム塩を用いた場合にも反応が進行したものの、生成物の収率、立体選択性はプロモニウム塩を用いた場合に及ばなかった。次に、触媒中のアミド置換基を種々検討したところ、電子豊富なアミドを有する場合には良い立体選択性で生成物が得られたものの、電子不足なアミドや立体的に嵩高いアミドを有する場合には立体選択性の低下や逆転が見られた。また、ハロニウム塩部位を有さないアミドを触媒として用いたところ生成物

はラセミ体として得られたため、本反応において生成物へ不斉導入を行うためにはハロニウム塩部位が必須であることがわかった。続いて反応の基質適用範囲調査を行ったところ、種々のシアノメチルクマリンやイミンが本反応に適用可能であることを見出した。

(2) ハロニウム塩触媒特有の新規不斉反応開発

次に、開発したキラルハロニウム塩を用いる新規反応開発を試みた。種々のアルケンやアルキンなどの不飽和結合の活性化や、新規 Diels-Alder 反応の開発を試みたものの、目的とする生成物はほとんど得られなかった。そこで、ソフトな求核剤の活性化による反応開発へとシフトして行く事とした。まずモデル反応としてチオールのイミンへの付加反応を選択し、本反応における触媒検討を行った。(1)で行った vinylogous-Mannich 反応において最適であったキラルプロモニウム塩を用いた場合、生成物は中程度の収率で得られた一方、本反応においてはキラルヨードニウム塩を用いた方が高い収率、立体選択性で生成物が得られることがわかった。さらに、我々の触媒は分子間の相互作用が強固であることが示唆されたため反応濃度を低下させたところ、生成物の立体選択性が大幅に向上することを見出した。キラルヨードニウム塩を用いて基質適用範囲の調査を行ったところ、嵩高いチオールを求核剤とする場合において生成物が高い立体選択性で得られることがわかった。チオールのイミンへの不斉付加反応は従来、キラルリン酸やシンコナ由来の触媒を用いて行われているものの、嵩高いチオールを用いる場合は立体選択性が中程度に止まることが報告されていた。我々の触媒は従来の他者の研究とは異なり、嵩高いチオールを用いた際に生成物が高い立体選択性で得られていることから新たな反応性を開拓したと言え、今後、キラルハロニウム塩触媒を用いた場合においてのみ進行するような、特有の反応開発へと展開していきたい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計29件（うち査読付論文 29件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Nakamura Takumi, Ishikawa Hiroki, Ban Kazuma, Yoshida Yasushi, Mino Takashi, Kasashima Yoshio, Sakamoto Masami	4. 巻 87
2. 論文標題 Attrition Enhanced Asymmetric Transformation of Axially Chiral Nicotinamides by Dynamic Chiral Salt Formation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ChemPlusChem	6. 最初と最後の頁 e202100504
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cplu.202100504	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 Yagishita Fumitoshi, Hoshi Keita, Mukai Shoma, Kinouchi Takashi, Katayama Tetsuro, Yoshida Yasushi, Minagawa Keiji, Furube Akihiro, Imada Yasushi	4. 巻 11
2. 論文標題 Effect of Phenolic Substituent Position in Boron Complexes of Imidazo[1,5-a]pyridine	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Asian Journal of Organic Chemistry	6. 最初と最後の頁 e202200040
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ajoc.202200040	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 Nakajima Isami, Shimizu Minori, Okuda Yuta, Akiyama Ryo, Tadano Ryu, Nagaoka Masahiro, Uemura Naohiro, Yoshida Yasushi, Mino Takashi, Shinozaki Hiraku, Yamamoto Tetsuya	4. 巻 364
2. 論文標題 Synthesis and Catalysis of NHC Coordinated Cyclometalated Palladium(II) Complexes with Bridging Hydroxide Ligands	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advanced Synthesis & Catalysis	6. 最初と最後の頁 1763 ~ 1768
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adsc.202200176	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 Sanada Kazutaka, Washio Aoi, Ishikawa Hiroki, Yoshida Yasushi, Mino Takashi, Sakamoto Masami	4. 巻 61
2. 論文標題 Chiral Symmetry Breaking of Monoacylated Anhydroerythritols and meso-1,2-Diols through Crystallization-Induced Deracemization	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 e202201268
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.202201268	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 Mino Takashi, Yamaoka Toshiki, Watanabe Kohei, Masuda Chihiro, Kasano Shohei, Yoshida Yasushi, Takita Ryo, Kasashima Yoshio, Sakamoto Masami	4. 巻 -
2. 論文標題 Synthesis of 3-Allylindoles via Annulation of N-Allyl-2-ethynylaniline Derivatives Using a P,Olefin Type Ligand/Pd(0) Catalyst	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Journal of Organic Chemistry	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) 10.1021/acs.joc.2c00588	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 Yoshida Yasushi, Fujimura Tappei, Mino Takashi, Sakamoto Masami	4. 巻 364
2. 論文標題 Chiral Binaphthyl Based Iodonium Salt (Hypervalent Iodine(III)) as Hydrogen and Halogen Bonding Bifunctional Catalyst: Insight into Abnormal Counteranion Effect and Asymmetric Synthesis of N,S Acetals	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advanced Synthesis & Catalysis	6. 最初と最後の頁 1091 ~ 1098
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adsc.202101380	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 Yoshida Yasushi, Mino Takashi, Sakamoto Masami	4. 巻 11
2. 論文標題 Chiral Hypervalent Bromine(III) (Bromonium Salt): Hydrogen- and Halogen-Bonding Bifunctional Asymmetric Catalysis by Diaryl- 3-bromanes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Catalysis	6. 最初と最後の頁 13028 ~ 13033
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acscatal.1c04070	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 Yoshida Yasushi, Ishikawa Seitara, Mino Takashi, Sakamoto Masami	4. 巻 57
2. 論文標題 Bromonium salts: diaryl- 3-bromanes as halogen-bonding organocatalysts	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 2519 ~ 2522
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0CC07733J	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 Nakamura Takumi, Ban Kazuma, Yoshida Yasushi, Mino Takashi, Kasashima Yoshio, Sakamoto Masami	4. 巻 27
2. 論文標題 Asymmetric Synthesis of Indoline from Achiral Phthalimide Involving Crystallization Induced Deracemization	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemistry ? A European Journal	6. 最初と最後の頁 16338 ~ 16341
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.202103345	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 Hoshi Keita, Kusumoto Kazuma, Matsumoto Airi, Tabata Atsushi, Nagamune Hideaki, Hase Eiji, Minamikawa Takeo, Yasui Takeshi, Yoshida Yasushi, Minagawa Keiji, Imada Yasushi, Yagishita Fumitoshi	4. 巻 50
2. 論文標題 Synthesis of D- -A type benzothiazole-pyridinium salt composite and its application as photo-degradation agent for amyloid fibrils	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 128324 ~ 128324
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bmcl.2021.128324	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 Sanada Kazutaka, Washio Aoi, Nishihata Kazuki, Yagishita Fumitoshi, Yoshida Yasushi, Mino Takashi, Suzuki Shinichi, Kasashima Yoshio, Sakamoto Masami	4. 巻 21
2. 論文標題 Chiral Symmetry Breaking of Racemic 3-Phenylsuccinimides via Crystallization-Induced Dynamic Deracemization	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Crystal Growth & Design	6. 最初と最後の頁 6051 ~ 6055
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.cgd.1c01010	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 Sakamoto Masami, Uemura Naohiro, Saito Rei, Shimobayashi Haruna, Yoshida Yasushi, Mino Takashi, Omatsu Takashige	4. 巻 60
2. 論文標題 Chirogenesis and Amplification of Molecular Chirality Using Optical Vortices	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 12819 ~ 12823
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.202103382	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 Washio Aoi, Hosaka Momoka, Uemura Naohiro, Yoshida Yasushi, Mino Takashi, Kasashima Yoshio, Sakamoto Masami	4. 巻 21
2. 論文標題 Asymmetric Anisoin Synthesis Involving Benzoin Condensation Followed by Deracemization	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Crystal Growth & Design	6. 最初と最後の頁 2423 ~ 2428
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.cgd.1c00036	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 Mino Takashi, Yamaguchi Daiki, Kumada Manami, Youda Junpei, Saito Hironori, Tanaka Junya, Yoshida Yasushi, Sakamoto Masami	4. 巻 32
2. 論文標題 Chiral P,Olefin Ligands with Rotamers for Palladium-Catalyzed Asymmetric Allylic Substitution Reactions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Synlett	6. 最初と最後の頁 532 ~ 538
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1055/s-0039-1690901	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 Yagishita Fumitoshi, Hoshi Keita, Yoshida Yasushi, Ueta Shoko, Minagawa Keiji, Imada Yasushi, Kawamura Yasuhiko	4. 巻 -
2. 論文標題 Facile Construction of Benzofulvene Scaffold from Tetraaryl[3]cumulene Through Electrophilic Iodocyclization	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 European Journal of Organic Chemistry	6. 最初と最後の頁 235 ~ 238
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ejoc.202001200	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 Mino Takashi, Fujisawa Yohei, Yoshida Shizuki, Hiram Mitsuru, Akiyama Takumu, Saito Ryo, Yoshida Yasushi, Kasashima Yoshio, Sakamoto Masami	4. 巻 19
2. 論文標題 Cinnamoyl amide type chiral P,olefin ligands for Pd-catalyzed reactions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Organic & Biomolecular Chemistry	6. 最初と最後の頁 10385 ~ 10389
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1OB02086B	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 Hoshi Keita, Yasuda Masashi, Nakamura Takumi, Yoshida Yasushi, Ueta Shoko, Minagawa Keiji, Kawamura Yasuhiko, Imada Yasushi, Yagishita Fumitoshi	4. 巻 19
2. 論文標題 Unexpected formation of poly-functionalized fulvenes by the reaction of a tetraaryll[5]cumulene with iodine	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Organic & Biomolecular Chemistry	6. 最初と最後の頁 7594 ~ 7597
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D10B01270C	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 Hoshi Keita, Itaya Masami, Tahara Koki, Matsumoto Airi, Tabata Atsuh, Nagamune Hideaki, Yoshida Yasushi, Hase Eiji, Minamikawa Takeo, Yasui Takeshi, Katayama Tetsuro, Furube Akihiro, Minagawa Keiji, Imada Yasushi, Yagishita Fumitoshi	4. 巻 11
2. 論文標題 Two-photon excitable boron complex based on tridentate imidazo[1,5-a]pyridine ligand for heavy-atom-free mitochondria-targeted photodynamic therapy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 26403 ~ 26407
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1RA05059A	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 Yoshida Yasushi, Kasuya Reina, Mino Takashi, Sakamoto Masami	4. 巻 19
2. 論文標題 Phase-transfer catalysed asymmetric synthesis of α -chiral tetrasubstituted β -aminothioesters	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Organic & Biomolecular Chemistry	6. 最初と最後の頁 6402 ~ 6406
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D10B00829C	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 Yoshida Yasushi, Kukita Mayu, Omori Kazuki, Mino Takashi, Sakamoto Masami	4. 巻 19
2. 論文標題 Iminophosphorane-mediated regioselective umpolung alkylation reaction of α -iminoesters	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Organic & Biomolecular Chemistry	6. 最初と最後の頁 4551 ~ 4564
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D10B00596K	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 Hoshi Keita, Sanagawa Yohei, Umebayashi Ryuta, Tabata Atsushi, Nagamune Hideaki, Hase Eiji, Minamikawa Takeo, Yasui Takeshi, Yoshida Yasushi, Minagawa Keiji, Kawamura Yasuhiko, Imada Yasushi, Yagishita Fumitoshi	4. 巻 49
2. 論文標題 Synthesis and Optical Properties of Quadrupolar Pyridinium Salt and Its Application as Bioimaging Agent	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 1487 ~ 1489
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.200604	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 Shiotsuki Masashi, Saito Shogo, Nagahata Hiroki, Iwamura Takeru, Uemura Naohiro, Yoshida Yasushi, Mino Takashi	4. 巻 61
2. 論文標題 A new class of polychlorinated compounds derived from o-chloranil	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Tetrahedron Letters	6. 最初と最後の頁 152268 ~ 152268
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tetlet.2020.152268	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 Shimizu Waku, Uemura Naohiro, Yoshida Yasushi, Mino Takashi, Kasashima Yoshio, Sakamoto Masami	4. 巻 20
2. 論文標題 Attrition-Enhanced Deracemization and Absolute Asymmetric Synthesis of Flavanones from Prochiral Precursors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Crystal Growth & Design	6. 最初と最後の頁 5676 ~ 5681
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.cgd.0c00955	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 Uemura Naohiro, Hosaka Momoka, Washio Aoi, Yoshida Yasushi, Mino Takashi, Sakamoto Masami	4. 巻 20
2. 論文標題 Chiral Symmetry Breaking of Thiohydantoins by Attrition-Enhanced Deracemization	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Crystal Growth & Design	6. 最初と最後の頁 4898 ~ 4903
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.cgd.0c00829	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 Uemura Naohiro, Toyoda Seiya, Shimizu Waku, Yoshida Yasushi, Mino Takashi, Sakamoto Masami	4. 巻 12
2. 論文標題 Absolute Asymmetric Synthesis Involving Chiral Symmetry Breaking in Diels-Alder Reaction	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Symmetry	6. 最初と最後の頁 910 ~ 910
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/sym12060910	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 Uemura Naohiro, Yoshida Yasushi, Mino Takashi, Sakamoto Masami	4. 巻 76
2. 論文標題 Crystallization-induced diastereomer transformation of thiohydantoin derivatives	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Tetrahedron	6. 最初と最後の頁 131166 ~ 131166
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tet.2020.131166	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 Yagishita Fumitoshi, Nagamori Tatsuya, Shimokawa Sota, Hoshi Keita, Yoshida Yasushi, Imada Yasushi, Kawamura Yasuhiko	4. 巻 61
2. 論文標題 Visible-light-induced oxidative coupling reaction of benzylic amines using iridium(III) complex of pincer type imidazo[1,5-a]pyridine ligand	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Tetrahedron Letters	6. 最初と最後の頁 151782 ~ 151782
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tetlet.2020.151782	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 Ishikawa Hiroki, Ban Kazuma, Uemura Naohiro, Yoshida Yasushi, Mino Takashi, Kasashima Yoshio, Sakamoto Masami	4. 巻 2020
2. 論文標題 Attrition Enhanced Deracemization of Axially Chiral Nicotinamides	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 European Journal of Organic Chemistry	6. 最初と最後の頁 1001 ~ 1005
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ejoc.201901826	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 Hase Eiji, Takanari Hiroki, Hoshi Keita, Okamoto Masaki, Tabata Atsushi, Nagamune Hideaki, Minamikawa Takeo, Yasui Takeshi, Yoshida Yasushi, Minagawa Keiji, Kawamura Yasuhiko, Imada Yasushi, Yagishita Fumitoshi	4. 巻 18
2. 論文標題 Two- and three-photon excitable quaternized imidazo[1,2-a]pyridines as mitochondrial imaging and potent cancer therapy agents	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Organic & Biomolecular Chemistry	6. 最初と最後の頁 7571 ~ 7576
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D00B01585G	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60件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 Kazutaka Sanada, Takumi Nakamura, Yasushi Yoshida, Takashi Mino, Masami Sakamoto
2. 発表標題 Chiral symmetry breaking of sugars involving crystallization-induced dynamic optical resolution
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takashi Mino, Daiki Yamaguchi, Manami Kumada, Yasushi Yoshida, Masami Sakamoto
2. 発表標題 Chiral P _o olefin ligand with rotamers for palladium catalyzed asymmetric allylic substitution reaction
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yasushi Yoshida, Kazuki Omori, Tomohiko Hiroshige, Reina Kasuya, Takashi Mino, Masami
2. 発表標題 Regio- and enantioselective catalytic umpolung reaction of α -imino carbonyl compounds
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tapei Fujimura, Yasushi Yoshida, Takashi Mino, Masami Sakamoto
2. 発表標題 Development and catalytic application of chiral binaphthyl-based halonium salts
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Toshiki Yamaoka, Takashi Mino, Yasushi Yoshida, Masami Sakamoto
2. 発表標題 Synthesis of 3-allylindole derivatives using palladium catalyst with P,olefin type ligand
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Aoi Washio, Yasushi Yoshida, Takashi Mino, Masami Sakamoto
2. 発表標題 Asymmetric Benzoin Condensation Reaction Involving Crystallization-Induced Dynamic Asymmetric Amplification
3. 学会等名 Molecular Chirality Asia 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takumi Nakamura, Momoka Hosaka, Yasushi Yoshida, Takashi Mino, Masami Sakamoto
2. 発表標題 Absolute Asymmetric Synthesis of Indolines by Photoreaction of Phthalimide
3. 学会等名 Molecular Chirality Asia 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kazutaka Sanada, Aoi Washio, Yasushi Yoshida, Takashi Mino, Yoshio Kasashima, Masami Sakamoto
2. 発表標題 Total Optical Resolution of Meso-Sugars Involving Dynamic Crystallization
3. 学会等名 Molecular Chirality Asia 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020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
---------	---------