

令和 5 年 5 月 31 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02720

研究課題名(和文)電気化学的手法を活用した超原子価有機臭素および塩素化合物の合成とその反応

研究課題名(英文) Synthesis of Hypervalent Organobromine and Chlorine Compounds by Electrochemical Approaches and Their Use in Organic Synthesis

研究代表者

宮本 和範 (Miyamoto, Kazunori)

東京大学・大学院薬学系研究科(薬学部)・准教授

研究者番号：40403696

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,700,000円

研究成果の概要(和文)：現代有機化学の様々な局面で汎用される超原子価有機ヨウ素化合物とは対照的に、同族の超原子価有機臭素および塩素化合物は、実用的な合成法が無く、長い間その性質はほとんど謎に包まれていた。本研究では新たな超原子価臭素および塩素化合物の合成法を確立するべく、分子構造、溶媒系、酸化手法について広く検討を行ってきた。特に最後の酸化手法に関して、電解酸化を中心に精査する過程で、幾つかの重要な知見が見いだされた。例えば、これまで有機臭素化合物の酸化に用いることが難しかった強力な酸化剤、たとえばXeF₂を適切な条件下、置換プロモアレンに作用させると、効率よく超原子価臭素化合物を合成できることが判明した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で得られた成果は、いまだ不明な点の多い超原子価臭素・塩素の化学を切り拓くための重要な発見を含んでいる。具体的には、入手が難しく危険を伴う三フッ化臭素などの前駆体の使用が必須であった超原子価臭素・塩素化合物の合成を容易に実現できるようになり、また、環状構造の導入により安定性を付与することで、多種多様な誘導体化が可能になった。これにより同族のヨウ素類縁体との直接の性質の比較が可能になり、周期律表の同族元素間のうち、最後まで明らかにされていなかったハロゲン族元素の超原子価化合物に眠っている特徴や法則を解明できることが最大の成果である。

研究成果の概要(英文)：In contrast to hypervalent organoiodine compounds, widely used in modern organic synthesis, hypervalent organobromine and chlorine analogs remain to be explored, probably due to the lack of practical synthetic methods. In this study, we have extensively investigated molecular designs, solvent systems, and oxidation methods in order to establish new synthetic methods for hypervalent bromine and chlorine compounds. In particular, several important findings were found during the process of the study on the oxidation methods involving anodic oxidation. For example, it was found that hypervalent organobromane(III) can be efficiently synthesized by using potent oxidant such as xenon difluoride under optimized conditions, which has been considered difficult to use for the oxidation of organobromine(I) compounds.

研究分野：有機化学、典型元素化学、有機合成化学

キーワード：超原子価 塩素 臭素 安定化 酸化

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

超原子価有機ヨウ素化合物は、高い反応性と安全性が両立する優れた反応剤であるため、現代有機化学の様々な局面で頻用されている。一方、同族の超原子価有機臭素および塩素化合物は、実用的な合成法が無く、長い間その性質はほとんど謎に包まれていた。我々は 20 年以上にわたり、三フッ化臭素を用いて、種々の三価の超原子価有機臭素化合物の合成に成功し、それらが予期した通り、ヨウ素類縁体を大幅に上回る特異な反応性を有することを明らかにしてきた。また、最近では高効率な超原子価ジアリール塩素化合物の合成法の開発に成功している (JACS 2019, 141, 6499. 基盤研究 B (17H03017, 2017–2019 年度) に関連)。超原子価有機臭素化合物 (プロマン) や塩素化合物 (クロラン) は、それらの電気陰性度の差 (ヨウ素: 2.66; 臭素: 2.96; 塩素: 3.16) やイオン化電位から予想すると、電子求引性、酸化力、および脱離能などの物理化学的性質が同族の超原子価ヨウ素化合物 (ヨードン) より、遥かに優れていることが予想されてきた。しかし、前駆体の乏しさから、特にクロランは、最初の発見から 60 年以上が経過した現在でも、最近の申請者らの報告例を除くと実用的な合成法は存在せず、ほとんど未開拓な研究対象として残されていた。

2. 研究の目的

本研究では、適切な分子設計と酸化手法に基づき、超原子価有機臭素および塩素化合物の合成に挑戦する。安全かつ安価な試薬や簡便な手法によりこれまで入手困難だった上記超原子価有機ハロゲン化合物の安定供給をもたらす、有機元素化学、有機反応化学、有機合成化学の長期的な発展に資することが大きな目的である。

3. 研究の方法

従来、低周期の超原子価有機ハロゲン化合物の効率的合成には、炭素求電子剤 (アリールカチオンなど) により一価のハロゲン化合物を捕捉する方法や、予め三価の無機臭素化合物 (三フッ化臭素など) を芳香環に導入する手法が主として報告されているが、前者には、導入した炭素置換基を他の置換基に変換することが困難であること、後者には、無機臭素化合物のポテンシャルエネルギーが高く取扱いが難しいことが問題点として残されていた。そこで、我々は優れた酸化能を示す試薬 (ペルオキシ二硫酸塩、オゾン、二フッ化キセノン、トリフルオロ過酢酸など) を作用させる条件および、高酸化耐性を示す電極および電解質を用いた電解酸化条件を広く検討した。並行して、原料の有機ハロゲン化合物の電子状態を計算化学的手法により調べ、ハロゲン選択的酸化が起こりやすいと考えられる分子設計を行い、実験系にフィードバックした。

4. 研究成果

検討の過程において、安全で扱いやすい試薬二フッ化キセノンを適切な Lewis 酸存在下、低温でプロモアレーンに作用させると、効率よく酸化できることが判明した。例えば、芳香環 *p*-位に CF_3 基を有するプロモアレーンの酸化では、ジフルオロプロマン **1** を最大収率 40% で合成することに成功した (図 1a)。**1** は従来様々なプロマンの合成原料として利用されてきた実績があるが、空気中の微量の水分に不安定で容易に分解してしまうという扱いづらさがあるため、さらに、1) 臭素の酸化段階、2) 生成した超原子価臭素化合物の安定化を目指し、分子構造の最適化に着手した。イオン化ポテンシャルや分子軌道の係数を理論計算により見積もると、プロモアレーンのオルト位に電子求引性のエステル基を導入したところ、芳香環の酸化を抑制と臭素の酸化効率の増大を両立できることが予想された。実際に、モデル反応として *o*-プロモ安息香酸エチルへのイミノ基転位反応を試みたところ、**2** が収率良く得られることがわかった (図 1b)。**2** は更に種々の超原子価臭素前駆体に誘導可能であり、条件最適化の結果、プロモニウムイリド **3**、ジアリールプロマン **4**、ヒドロキシプロマン **5** を収率よく合成できた (図 1c)。これらのプロマンは隣接するエステル基の配位の恩恵のため、いずれも空気中室温で長期間安定に保存できることがわかった。一方、溶液中では超原子価臭素特有の高い反応性は維持されており、たとえば **2** は、温和な条件下シクロヘキサンの C-H 結合を協奏的にアミノ化できる (図 1d)。この反応は同族のヨウ素類縁体では全く進行しない。このように、超原子価臭素の扱いづらさを克服しつつ、優れた反応性を示す例を提示することができた。

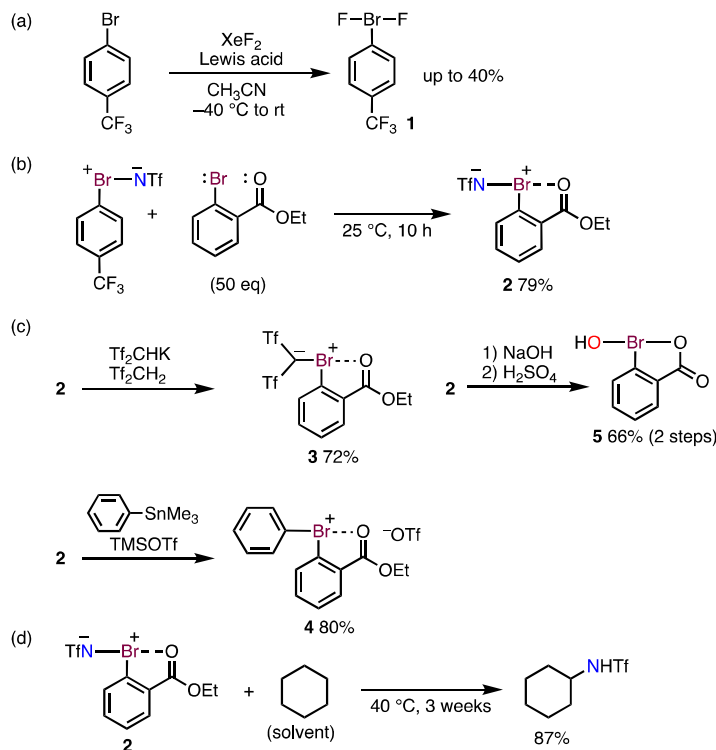


図 1. 三価の超原子価有機臭素化合物の合成と反応

特にヒドロキシ基を配位子として持つプロマン **5** はこれまで前例がないため、反応性について精査したところ、反応条件に応じて、求電子的/求核的酸化剤いずれにも振る舞うことが明らかとなった。また、穏やかな加熱条件下、ヒドロキシラジカルを発生できるラジカル開始剤として機能することも判明した(図 2)。なお、**5** はアルキニル基を有するプロマン前駆体として適していることもわかった。本結果は、国内外で高い評価を受け、アメリカ化学会誌に掲載された(*J. Am. Chem. Soc.* **2021**, *143*, 9327)。

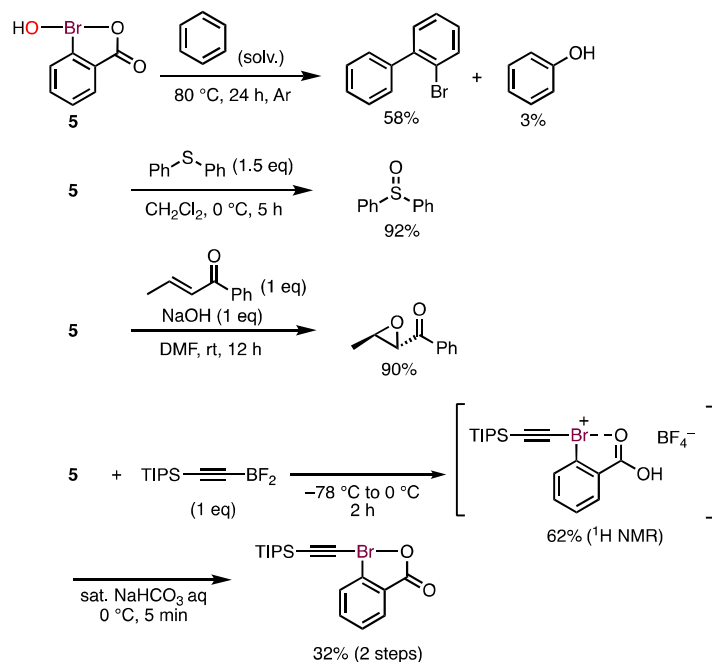


図 2. 三価のヒドロキシプロマン **5** の反応

電解条件においては、種々のプロモアレーンの酸化を検討したところ *o*-位の種々のエステル基、アミド基を導入した場合、予想に反し有意の酸化は観測されなかった。分解物の解析の結果、アミド基を持つ基質、例えば **6** を用いた場合、窒素上のアルキル基が意図せず酸化されてしまい、所望の目的物が得られなかったと予想された。他方、エステル基を有する基質、例えば **7** を用いた場合、*o*-アルキル基の酸化は特に観測されなかったものの、臭素への電子供与が不十分であったため、孤立電子対の酸化そのものが進行しなかったと考えられる。カルボン酸陰イオンを

o-位に有する 2-ブロモ安息香酸塩 **8** の酸化を試みたところ、脱炭酸を伴う分解が一部観測された。ごく最近、検討を進める過程で、Suna らのグループにより、*o*-位に Martin 配位子 [C(OH)(CF₃)₂] を配した基質 **9** の電解酸化により、超原子価臭素化合物が合成できることが報告された (*Org. Lett.* **2023**, 25, 2047) (図 3)。この結果は、適切な電解質と電極、溶媒の組み合わせにより、上記基質でも電極で臭素原子選択的に酸化できる可能性を示唆しており、継続して反応条件を精査する予定である。また、超原子価塩素化合物の化学酸化剤・電解酸化による合成は、いまだ未踏の研究領域であり、こちらも臭素化合物での検討結果をフィードバックしつつ継続して検討する。

最近、一価の有機ヨウ素化合物をピリリウム型光触媒 **10** により三価に酸化できることが Cariou らにより報告された (*Angew. Chem. Int. Ed.* **2021**, 60, 175)。この触媒の光励起状態の還元電位は $E = 2.62$ V にのぼり、適切な配位子を有するプロモアレーンの酸化に十分使える可能性がある。また、DDQ の可視光による励起状態では $E = 3.18$ V と塩素の酸化にも対応できる可能性がある。今後は、電解液にこれらの電子移動をアシストする触媒を加える検討もさらに継続して行う予定である。

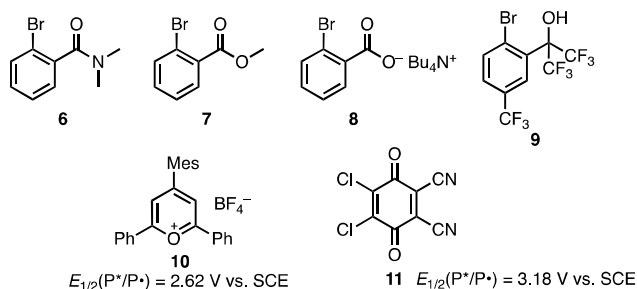


図 3 . プロモアレーンおよび光触媒の構造

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計21件（うち査読付論文 21件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Ayumi Watanabe, Kenta Koyamada, Kazunori Miyamoto, Junichiro Kanazawa, Masanobu Uchiyama	4. 巻 24
2. 論文標題 Decarboxylative Bromination of Sterically Hindered Carboxylic Acids with Hypervalent Iodine(III) Reagents	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Organic Process Research and Development	6. 最初と最後の頁 1328; 1334
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.oprd.0c00130	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 Kazunori Miyamoto, Shodai Narita, Yui Masumoto, Takahiro Hashishin, Taisei Osawa, Mutsumi Kimura, Masahito Ochiai, Masanobu Uchiyama	4. 巻 11
2. 論文標題 Room-temperature Chemical Synthesis of C2	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature Communication	6. 最初と最後の頁 2134; 2140
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-020-16025-x	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 Yuichiro Watanabe, Taisei Takagi, Kazunori Miyamoto, Junichiro Kanazawa, Masanobu Uchiyama	4. 巻 22
2. 論文標題 Shelf-Stable (E)- and (Z)-Vinyl- 3-chlorane: A Stereospecific Hyper-vinylating Agent	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Organic Letters	6. 最初と最後の頁 3469; 3473
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.orglett.0c00924	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 Daisuke Sato, Yuichiro Watanabe, Keiichi Noguchi, Junichiro Kanazawa, Kazunori Miyamoto, Masanobu Uchiyama, Akio Saito	4. 巻 22
2. 論文標題 BF3-Catalyzed Skeletal Rearrangement of 7-En-2-ynones to endo-Type Cyclic Dienes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Organic Letters	6. 最初と最後の頁 4063; 4067
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.orglett.0c00949	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 Suzuka Kinoshita, Ryota Yamano, Yu Shibata, Yusuke Tanaka, Kyoichi Hanada, Dr. Takashi Matsumoto, Kazunori Miyamoto, Atsuya Muranaka, Masanobu Uchiyama, Ken Tanaka	4. 巻 59
2. 論文標題 Rhodium-Catalyzed Highly Diastereo- and Enantioselective Synthesis of A Configurationally Stable S-Shaped [11]Helicene-Like Molecule	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 11020; 11027
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ange.202001794	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 Masaki Kondo, Junichiro Kanazawa, Tomohiro Ichikawa, Takumi Shimokawa, Y. Nagashima, Kazunori Miyamoto, Masanobu Uchiyama	4. 巻 59
2. 論文標題 Silaboration of [1.1.1]Propellane: Storable Feedstock for Bicyclo[1.1.1]pentane Derivatives	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 1970; 1974
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201909655	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 Keiichi Hirano, Kensuke Morimoto, Shota Fujioka, Kazunori Miyamoto, Atsuya Muranaka, Masanobu Uchiyama	4. 巻 59
2. 論文標題 Nucleophilic Diboration Strategy Targeting Diversified 1-Boraphenarene Architectures. K. Hirano,* K. Morimoto, S. Fujioka, K. Miyamoto, A. Muranaka, M. Uchiyama,	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 21448; 21453
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.202009242	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 Hajime Sato, Takahiro Hashishin, Junichiro Kanazawa, Kazunori Miyamoto, Masanobu Uchiyama	4. 巻 142
2. 論文標題 DFT Study of A Missing Piece in Brasilane-Type Structure Biosynthesis: An Unusual Skeletal Rearrangement	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 19830; 19834
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.0c09616	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 Mmamoru Watanabe, Junichiro Kanazawa, Tomofumi Hamamura, Takumi Shimokawa, Kazunori Miyamoto, Mitsuhiro Hibino, Kensuke Nakura, Yuu Inatomi, Yu Kitazawa, Masanobu Uchiyama	4. 巻 2
2. 論文標題 Boron-Vertex Modification of Carba-closo-dodecaborate for High-Performance Magnesium-Ion Battery Electrolyte	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Materials Advances	6. 最初と最後の頁 937; 941
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0MA00925C	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 Kazunori Miyamoto, Tomohide Okada, Takashi Toyama, Shinji Imamura, Masanobu Uchiyama	4. 巻 103
2. 論文標題 Facile Preparation of 1-Hydroxy-1,2-Benziodoxol-3(1H)-One 1-Oxide (IBX) and Dess-Martin Reagent Using Sodium Hypochlorite under Carbon Dioxide	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Heterocycles	6. 最初と最後の頁 694; 698
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)66	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 Kazunori Miyamoto, Masanobu Uchiyama	4. 巻 50
2. 論文標題 Hypervalent Organo- 3-chloranes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 832; 838
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.200849	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 Hajime Sato, Taisei Takagi, Kazunori Miyamoto, Masanobu Uchiyama	4. 巻 69
2. 論文標題 Theoretical Study on the Mechanism of Spirocyclization in Spiroviolene Biosynthesis.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemical and Pharmaceutical Bulletin	6. 最初と最後の頁 1034-1038
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1248/cpb.c21-00536	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 Hajime Sato, Bi-xiao. Li, Taisei Takagi, Chao Wang, Kazunori Miyamoto, Masanobu Uchiyama	4. 巻 1
2. 論文標題 DFT Study on the Biosynthesis of Verrucosane Diterpenoids and Mangicol Sesterterpenoids: Involvement of Secondary-carbocation-free Reaction Cascades.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 JACS Au	6. 最初と最後の頁 1231-1239
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacsau.1c00178	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 Junki Morimoto, Kazunori Miyamoto, Yuki Ichikawa, Masanobu Uchiyama, Makoto Makishima, Yuichi Hashimoto, Minoru Ishikawa	4. 巻 11
2. 論文標題 Improvement in Aqueous Solubility of Achiral Symmetric Cyclofenil by Modification to A Chiral Asymmetric Analog.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Report	6. 最初と最後の頁 12697
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-92028-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 Kazunori Miyamoto, Motomichi Saito, Shunsuke Tsuji, Taisei Takagi, Motoo Shiro, Masanobu Uchiyama, Masahito Ochiai	4. 巻 143
2. 論文標題 Benchtop-Stable Hypervalent Bromine(III) Compounds: Versatile Strategy and Platform for Air- and Moisture-Stable 3-Bromanes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 9327-9331
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.1c04536	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 Shotaro Shimo, Richiro Ushimaru, Alicia Engelbrecht, Mei Harada, Kazunori Miyamoto, Andreas Kulik, Masanobu Uchiyama, Leonard Kaysser, Ikuro Abe	4. 巻 143
2. 論文標題 Stereodivergent Nitrocyclopropane Formation During Biosynthesis of Belactosins and Hormaomycins	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 18413-18418
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.1c10201	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 Xingxing Wei, Taro Matsuyama, Hajime Sato, Dexiu Yan, Pui Man Chan, Kazunori Miyamoto, Masanobu Uchiyama, Yudai Matsuda	4. 巻 143
2. 論文標題 Molecular and Computational Bases for Spirofuranone Formation in Setosusin Biosynthesis	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 17708-17715
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.1c08336	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 Henry. S. Rzepa, Miki Arita, Kazunori Miyamoto, Masanobu Uchiyama	4. 巻 24
2. 論文標題 A Combined DFT-predictive and Experimental Exploration of the Sensitivity towards Nucleofuge Variation in Zwitterionic Intermediates Relating to Mechanistic Models for Unimolecular Chemical Generation and Trapping of Free C2 and Alternative Bimolecular Pathways Involving No Free C2	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 25816-25821
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2CP01214F	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 Shun Sunagawa, Fumiya Morisaki, Takafumi Baba, Akira Tsubouchi, Akira Yoshimura, Kazunori Miyamoto, Masanobu Uchiyama, Akio Saito	4. 巻 24
2. 論文標題 In situ Generation of N-Triflylimino- 3-iodanes: Application to Imidation of Phosphines and Catalytic -Amidation of 1,3-Dicarbonyl Compounds	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Organic Letters	6. 最初と最後の頁 5230-5234
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.orglett.2c02264	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 Toranosuke Iida, Junichiro Kanazawa, Tadashi Matsunaga, Kazunori Miyamoto, Keiichi Hirano, Masanobu Uchiyama	4. 巻 144
2. 論文標題 Practical and Facile Access to Bicyclo[3.1.1]heptanes: Potent Bioisosteres of meta-Substituted Benzenes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 21848-21852
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.2c09733	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 Shiho Ishigaki, Yuki Nagashima, Daiki Yukimori, Jin Tanaka, Takashi Matsumoto, Kazunori Miyamoto, Masanobu Uchiyama, Ken Tanaka	4. 巻 14
2. 論文標題 Dearomative Triple Elementalization of Quinolines Driven by Visible Light	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 652
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-023-36161-4	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10件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 渡邊 勇一郎、高木 泰成、宮本 和範、内山 真伸
2. 発表標題 3価の超原子価ビニルクロランの合成とその反応
3. 学会等名 日本薬学会 第141年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高木 泰成、齊藤 基道、辻 俊輔、落合 正仁、宮本 和範、内山 真伸
2. 発表標題 隣接基関与による安定化を活用した三価の超原子価臭素化合物の合成と反応
3. 学会等名 日本薬学会 第141年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小山田 健太、渡辺 歩実、宮本 和範、内山 真伸
2. 発表標題 三価の超原子価ヨウ素試薬を用いた嵩高い脂肪族カルボン酸の脱炭酸臭素化反応
3. 学会等名 日本薬学会 第141年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮本和範、渡邊勇一郎、高木泰成、岡田倫英、外山高志、今村真治、内山真伸
2. 発表標題 次亜塩素酸ナトリウム5水和物と二酸化炭素を用いた 超原子価ヨウ素試薬の実用的合成法の開発
3. 学会等名 第24回 ヨウ素学会シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高木 泰成, 齊藤 基道, 辻 俊輔, 落合 正仁, 宮本 和範, 内山 真伸
2. 発表標題 新たなプラットフォームとなる安定な三価の超原子価臭素化合物の合成とその利用
3. 学会等名 第 11 回 CSJ 化学フェスタ
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 内山 真伸、金澤 純一郎、宮本 和範
2. 発表標題 電荷シフト:理論・物性・合成
3. 学会等名 第 47 回 反応と合成の進歩シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 栗田 大樹、佐藤 玄、宮本 和範、内山 真伸
2. 発表標題 理論計算を用いたジスルフィド結合を持つETP化合物群の分解機構の解明
3. 学会等名 日本薬学会第 143 年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 松元 耀久、柳 俊佑、鳥海 尚之、田中 裕介、宮本 和範、村中 厚哉、内山 真伸
2. 発表標題 酸化還元により近赤外光吸収をスイッチング可能な18 /20 ベンジテトラアザポルフィリンの開発
3. 学会等名 日本薬学会第 143 年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 宮本和範
2. 発表標題 室温における炭素二原子分子 C2 の化学合成
3. 学会等名 日本化学会学会第 102 回春季年会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kazunori Miyamoto, Tadashi Matsunaga, Junichiro Kanazawa, Tomohiro Ichikawa, Mei Harada, Yusuke Nishiyama, Nghia Tuan Duong, Takashi Matsumoto, Masanobu Uchiyama
2. 発表標題 -Cyclodextrin Encapsulation of Iodobicyclo[1.1.1]pentanes and Its Derivatives: A Storable Feedstock for Preparation of [1.1.1]Propellane
3. 学会等名 5th International Symposium on Halogen Bonding 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

東京大学大学院 薬学系研究科・薬学部 基礎有機化学教室
<https://kisoyuki.f.u-tokyo.ac.jp>
 東京大学大学院 薬学系研究科 プレスリリース
<https://www.f.u-tokyo.ac.jp/topics.html?page=6&key=1588557706>

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