

令和 2 年 6 月 10 日現在

機関番号：14301

研究種目：新学術領域研究(研究領域提案型)

研究期間：2015～2019

課題番号：15H05799

研究課題名(和文)不活性結合活性化による高難度精密有機合成反応の創出

研究課題名(英文) Developments of Extremely Difficult Substrate Conversion Reactions through Activation of Unreactive Bonds

研究代表者

中尾 佳亮(Nakao, Yoshiaki)

京都大学・工学研究科・教授

研究者番号：60346088

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 26,800,000円

研究成果の概要(和文)：有機分子にユビキタスなC-H, C-C, C-N, C-O結合を活性化して直截的に官能基化する反応は、従来のように事前の官能基化の必要がないため、原子およびステップ効率の観点からきわめて有用である。これらの反応は、近年世界中で活発に研究されているが、それらの多くは、金属触媒に配位子として作用する特殊な配向基を必要としたり、分子構造の歪みの解放を利用するものである。本研究では、そのような「基質の工夫」に頼ることなく、「触媒の工夫」によって不活性結合の直截的変換を実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、配向基や分子構造の歪みの解放を利用することなく、Ar-H, Ar-NO₂, Ar-O結合を官能基化できるPdおよびNi触媒を開発し、これまで報告例のなかった高難度精密有機合成反応の創出に成功した。いずれも、「基質の工夫」に頼る必要のない分子変換であり、有機合成化学における学術的成果として意義深い。従来の化学プロセスを革新して、省資源、省エネルギー型の物質生産に寄与しうる点において、社会的意義も有する成果である。

研究成果の概要(英文)：Catalytic direct functionalization of unreactive C-H, C-C, C-N, and C-O bonds, which are ubiquitous in organic molecules, is highly useful in organic synthesis in terms of atom- and step-economy. Much attention has been paid to these transformations and many research groups have reported various methods using different metal catalysts. Nevertheless, many of known protocols rely on the use of substrates having coordinating functional groups to direct metal catalysts and/or strains to be relieved to cleave such unreactive bonds. In this project, we have developed the synthetic organic transformations involving activation of these bonds in readily available conventional organic molecules, without using substrates specially prepared.

研究分野：有機合成化学

キーワード：高難度分子変換 不活性結合活性化

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

有機分子にユビキタな C-H, C-C, C-N, C-O 結合を活性化して直截的に官能基化する反応は、従来のように事前の官能基化の必要がないため、原子およびステップ効率の観点からきわめて有用である。これらの反応は、近年世界中で活発に研究されているが、それらの多くは、金属触媒に配位子として作用する特殊な配向基を必要としたり、分子構造の歪みの解放を利用するものであった。

2. 研究の目的

本研究では、上記のように「基質の工夫」に頼ることなく、「触媒の工夫」によって不活性結合の直截的変換を実現することを目指した。

3. 研究の方法

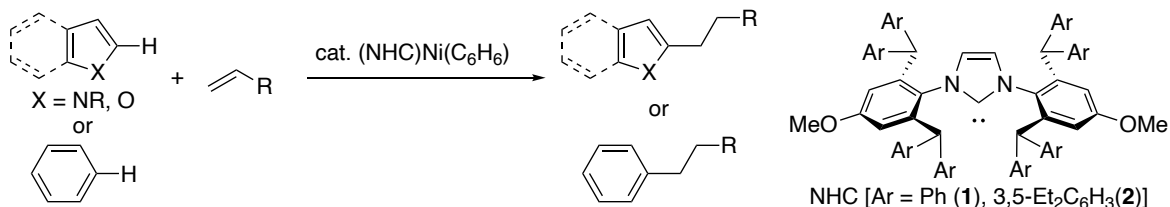
いろいろな遷移金属触媒を用いて標的反応を行った。ガスクロマトグラフィーによって反応の進行状況を確認し、シリカゲルカラムクロマトグラフィーによって反応生成物を単離した。生成物の分子構造は、核磁気共鳴スペクトル、紫外吸収スペクトル、質量分析および元素分析によって決定した。

4. 研究成果

(1) 逆 Markovnikov 選択的ヒドロアリアル化反応

アルケンを用いて芳香環をアルキル化するヒドロアリアル化反応は、機能分子に含まれるアルキル基置換芳香環を原子効率 100% で生じるため、極めて重要な反応である。工業的に利用されている Friedel-Crafts アルキル化反応では、アルケンに酸触媒が作用して生じるカルボカチオンを経由するため、Markovnikov 則に従って必ず分岐体を生じる。一方、遷移金属触媒を用いると、ヒドロアリアル化反応において直鎖型の生成物を得ることが可能になるが、オルト配向基を有する芳香環の反応に限られていた。

本研究では、インドールなど電子豊富な複素環の 1-アルケンに対する逆 Markovnikov 選択的ヒドロアリアル化反応において、嵩高い *N*-ヘテロ環状カルベン (NHC) 配位子 **1** を有する Ni 触媒が有効であることを見出した。さらに、配位子外周部を嵩高くした NHC 配位子 **2** によって、ベンゼンを用いる逆 Markovnikov 選択的ヒドロアリアル化反応にも成功した。(NHC)Ni^{II}(Ph)(alkyl) 中間体からの還元的脱離が律速段階であること、静電引力や分散力が還元的脱離の遷移状態安定化に大きく寄与していることを明らかにした。

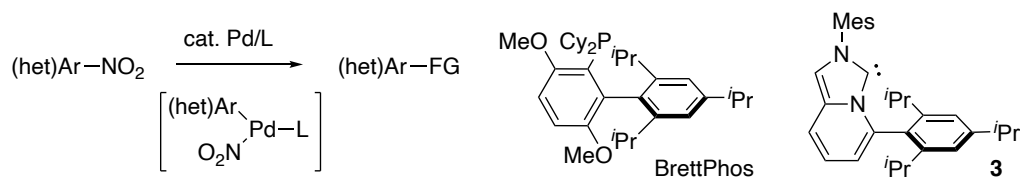


(2) ニトロアレーンのクロスカップリング反応

ニトロアレーンは安価で入手容易であり、既存の反応によって位置選択的かつ様々に修飾できるため、有機合成化学において有用なビルディングブロックである。しかし芳香環上のニトロ基を他の官能基へと変換するには、通常、多段階プロセスを必要とする。したがって、ニトロアレーンの直截的なクロスカップリングは、ステップおよびアトムエコノミーに優れた多置換芳香環の合成手法となる。そのような例は存在するものの、適用可能な基質や変換形式に大きな制

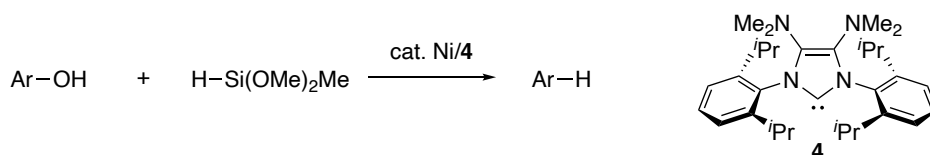
限があり、一般性が全くなかった。

本研究では、Pd/BrettPhos 触媒によって、ニトロアレーンの鈴木-宮浦カップリングや還元的脱ニトロ化反応、Buchwald-Hartwig アミノ化が進行することを見出した。これらの反応が、Ar-NO₂ 結合の Pd⁰ への酸化的付加を経て進行することを明らかにした。さらに、BrettPhos と骨格の類似した NHC 配位子 **3** を用いると、より高活性な Pd 触媒が得られることも見出した。



(3) フェノールの水素化分解反応

フェノールの水素化分解反応は、リグニンなど非可食芳香族バイオマスから有用な多置換ベンゼンを合成するための手法として有用である。本研究では、Ar-OH 結合選択的な水素化分解反応が、電子供与性の高い NHC 配位子 **4** を有する Ni 触媒存在下、ヒドロシランを還元剤として進行することを見出した。



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 17件／うち国際共著 6件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Noam I. Saper, Akito Ohgi, David W. Small, Kazuhiko Semba, Yoshiaki Nakao, John F. Hartwig	4. 巻 12
2. 論文標題 Nickel-catalysed anti-Markovnikov hydroarylation of unactivated alkenes with unactivated arenes facilitated by non-covalent interactions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature Chemistry	6. 最初と最後の頁 276-283
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41557-019-0409-4	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 該当する
1. 著者名 Myuto Kashihara, Rong-Lin Zhong, Kazuhiko Semba, Shigeyoshi Sakaki, Yoshiaki Nakao	4. 巻 55
2. 論文標題 Pd/NHC-catalyzed cross-coupling reactions of nitroarenes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 9291-9294
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9CC05055H	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 Shogo Okumura, Tomohiro Ebara, Kazuhiko Semba, Yoshiaki Nakao	4. 巻 99
2. 論文標題 Synthesis of N-Heterocyclic Carbene Ligands for Site-Selective C-H Alkylation by Cooperative Nickel/Alu	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Heterocycles	6. 最初と最後の頁 1128-1144
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3987/COM-18-S(F)84	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 Kitty K. Asahara, Toshimasa Okita, Ami N. Saito, Kei Muto, Yoshiaki Nakao, Junichiro Yamaguchi	4. 巻 21
2. 論文標題 Pd-Catalyzed Denitrative Intramolecular C-H Arylation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Organic Letters	6. 最初と最後の頁 4721-4724
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.orglett.9b01593	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 Lichen Yang, Nao Uemura, Yoshiaki Nakao	4. 巻 141
2. 論文標題 meta-Selective C-H Borylation of Benzamides and Pyridines by an Iridium-Lewis Acid Bifunctional Catalyst	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 7972-7979
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.9b03138	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 Okumura Shogo, Nakao Yoshiaki	4. 巻 7
2. 論文標題 Aluminum-Mediated C6-Selective C-H Alkylation of 2-Carbamoylbenzofuran by Nickel Catalysis	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Asian Journal of Organic Chemistry	6. 最初と最後の頁 1355-1357
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ajoc.201800208	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 Kashihara Myuto, Yadav M. Ramu, Nakao Yoshiaki	4. 巻 20
2. 論文標題 Reductive Denitration of Nitroarenes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Organic Letters	6. 最初と最後の頁 1655 ~ 1658
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.orglett.8b00430	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 該当する

1. 著者名 Okumura Shogo, Komine Takuya, Shigeki Erika, Semba Kazuhiko, Nakao Yoshiaki	4. 巻 57
2. 論文標題 Site-Selective Linear Alkylation of Anilides by Cooperative Nickel/Aluminum Catalysis	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 929 ~ 932
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201710520	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 該当する

1. 著者名 Inoue Fumiyoshi, Kashihara Myuto, Yadav M. Ramu, Nakao Yoshiaki	4. 巻 56
2. 論文標題 Buchwald-Hartwig Amination of Nitroarenes	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 13307 ~ 13309
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201706982	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 該当する

1. 著者名 Yadav M. Ramu, Nagaoka Masahiro, Kashihara Myuto, Zhong Rong-Lin, Miyazaki Takanori, Sakaki Shigeyoshi, Nakao Yoshiaki	4. 巻 139
2. 論文標題 The Suzuki Miyaura Coupling of Nitroarenes	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 9423 ~ 9426
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.7b03159	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 該当する

1. 著者名 Inoue Fumiyoshi, Saito Teruhiko, Semba Kazuhiko, Nakao Yoshiaki	4. 巻 53
2. 論文標題 C3-Selective alkenylation of N-acylindoles with unactivated internal alkynes by cooperative nickel/aluminium catalysis	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 4497 ~ 4500
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c7cc00852j	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 該当する

1. 著者名 Fumiyoshi Inoue, Teruhiko Saito, Kazuhiko Semba, Yoshiaki Nakao	4. 巻 53
2. 論文標題 C3-Selective Alkenylation of N-Acylindoles with Unactivated Internal Alkynes by Cooperative Nickel/Aluminium Catalysis	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 4497-4500
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C7CC00852J	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 Lichen Yang, Kazuhiko Semba, Yoshiaki Nakao	4. 巻 56
2. 論文標題 para-Selective C-H Borylation of (Hetero)Arenes by Cooperative Iridium/Aluminum Catalysis	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 4853-4857
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201701238	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 Shogo Okumura, Yoshiaki Nakao	4. 巻 19
2. 論文標題 para-Selective Alkylation of Sulfonylarenes by Cooperative Nickel/Aluminum Catalysis	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Organic Letters	6. 最初と最後の頁 584-587
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.orglett.6b03741	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 Shogo Okumura, Shuwei Tang, Teruhiko Saito, Kazuhiko Semba, Shigeyoshi Sakaki, Yoshiaki Nakao	4. 巻 138
2. 論文標題 para-Selective Alkylation of Benzamides and Aromatic Ketones by Cooperative Nickel/Aluminum Catalysis	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 14699-14704
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.6b08767	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 Akito Ohgi and Yoshiaki Nakao	4. 巻 45
2. 論文標題 Selective Hydrogenolysis of Arenols with Hydrosilanes by Nickel Catalysis	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 45-47
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.150807	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 York Schramm, Makoto Takeuchi, Kazuhiko Semba, Yoshiaki Nakao, John F. Hartwig	4. 巻 137
2. 論文標題 Anti-Markovnikov Hydroheteroarylation of Unactivated Alkenes with Indoles, Pyrroles, Benzofurans, and Furans Catalyzed by a Nickel ^{II} -N-Heterocyclic Carbene System	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 12215-12218
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.5b08039	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37件 (うち招待講演 24件 / うち国際学会 17件)

1. 発表者名 中尾佳亮
2. 発表標題 協働金属触媒による C-H 官能基化反応
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshiaki Nakao
2. 発表標題 C-H Functionalization by Cooperative Metal Catalysis
3. 学会等名 The 8th Spanish-Portuguese-Japanese Organic Chemistry Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中尾佳亮
2. 発表標題 協働金属触媒による有機合成反応
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 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshiaki Nakao
2. 発表標題 C-H Functionalization by Cooperative Metal Catalysis
3. 学会等名 JGP Chem & ChemEn International Workshop: Sustainability-Oriented Organic Synthesis (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshiaki Nakao
2. 発表標題 Cooperative Metal Catalysis for Efficient Organic Synthesis
3. 学会等名 The 1st Sino-Japanese Symposium on Catalysis for Precision Synthesis (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中尾佳亮
2. 発表標題 ニトロアレーンのクロスカップリング反応
3. 学会等名 日本化学会第98春季年会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中尾佳亮
2. 発表標題 協働金属触媒による有機合成反応
3. 学会等名 東北大学大学院薬学研究科セミナー (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中尾佳亮
2. 発表標題 ニトロアレーンのクロスカップリング反応
3. 学会等名 新学術領域研究「精密制御反応場」第4回公開シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中尾佳亮
2. 発表標題 協働金属触媒による有機合成反応
3. 学会等名 バイスター分子制御による未来型物質変換研究拠点 2017年度公開シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中尾佳亮
2. 発表標題 協働金属触媒による有機合成反応
3. 学会等名 第6回 IoTコロキウム 特別講演会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yoshiaki Nakao
2. 発表標題 C-H Functionalization by Cooperative Metal Catalysis
3. 学会等名 1st Singapore Japan Germany Trilateral Symposium on Precision Synthesis&Catalysis（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yoshiaki Nakao
2. 発表標題 Nickel Catalysis for Hydroarylation and Related Reactions
3. 学会等名 Symposium on Nickel and Related Chemistry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yoshiaki Nakao
2. 発表標題 Cooperative Metal Catalysis for Efficient Organic Synthesis
3. 学会等名 1st International Symposium on Catalysis for Sustainable Chemical Synthesis Joint Symposium of FRIAS/Nagoya IAR (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中尾佳亮
2. 発表標題 協働金属触媒による有機合成反応
3. 学会等名 第34回有機合成化学セミナー (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yoshiaki Nakao
2. 発表標題 C-H Functionalization by Cooperative Catalysis
3. 学会等名 Nordic/Kyoto OMCOS 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yoshiaki Nakao
2. 発表標題 Cooperative Metal Catalysis for Efficient Organic Synthesis
3. 学会等名 Southern University of Science and Technology (SUS Tech Chemical Sciences Lectureship) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Akito Ohgi, Alastair Herron, Shunya Yamamoto, Yoshiaki Nakao
2. 発表標題 Nickel-Catalyzed Hydrogenolysis of Diarylamines with Hydrosilane
3. 学会等名 日本化学会第97春季年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 柏原美勇斗, Ramu Yadav Muntha, 仙波一彦, 中尾佳亮
2. 発表標題 芳香族ニトロ化合物の還元的脱ニトロ化反応
3. 学会等名 日本化学会第97春季年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 井上文善, Ramu Yadav Muntha, 中尾佳亮
2. 発表標題 芳香族ニトロ化合物のBuchwald-Hartwigアミノ化反応
3. 学会等名 日本化学会第97春季年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masahiro Nagaoka, Muntha Ramu Yadav, Yoshiaki Nakao
2. 発表標題 Mechanistic Studies on the Suzuki-Miyaura Coupling of Nitroarenes
3. 学会等名 日本化学会第97春季年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Muntha Ramu Yadav, Yoshiaki Nakao
2. 発表標題 The Suzuki-Miyaura Coupling of Nitroarenes
3. 学会等名 日本化学会第97春季年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中尾佳亮
2. 発表標題 協働金属触媒による有機合成反応
3. 学会等名 TbM/IGER Chemistry Workshop (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Akito Ohgi, Yoshiaki Nakao
2. 発表標題 Hydrogenolysis of Arenols with Hydrosilanes by Nickel Catalysis
3. 学会等名 6th Asia-Oceania Conference on Sustainable and Green Chemistry (AOC-SGC6) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 中尾佳亮
2. 発表標題 協働金属触媒による有機合成反応
3. 学会等名 早稲田大学理工学術院講演会 (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 中尾佳亮
2. 発表標題 協働金属触媒による有機合成反応
3. 学会等名 平成28年度 後期 (秋季) 有機合成化学講習会 (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Akito Ohgi, Yoshiaki Nakao
2. 発表標題 Hydrogenolysis of Arenols with Hydrosilanes by Nickel Catalysis
3. 学会等名 International Symposium on C-O Activation (ISCO-2016) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 大木暁登, 中尾佳亮
2. 発表標題 ニッケル触媒とヒドロシランによるフェノール類の水素化分解反応
3. 学会等名 第63回有機金属化学討論会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Yoshiaki Nakao
2. 発表標題 Cooperative Metal Catalysis for Efficient Organic Synthesis
3. 学会等名 9th Asian-European Symposium on Metal-Mediated Efficient Organic Synthesis (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Yoshiaki Nakao
2. 発表標題 Cooperative Metal Catalysis for Efficient Organic Synthesis
3. 学会等名 The 3rd International Conference on Organometallics and Catalysis (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Akito Ohgi, Yoshiaki Nakao
2. 発表標題 Hydrogenolysis of Arenols with Hydrosilanes by Nickel Catalysis
3. 学会等名 27th International Conference on Organometallic Chemistry (ICOMC-2016) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Akito Ohgi, Yoshiaki Nakao
2. 発表標題 Hydrogenolysis of Arenols with Hydrosilanes by Nickel Catalysis
3. 学会等名 20th International Symposium on Homogeneous Catalysis (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 大木暁登, 中尾佳亮
2. 発表標題 ニッケル触媒によるフェノール類の水素化分解反応
3. 学会等名 第5回 JACI/GSCシンポジウム
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 大木暁登, 中尾佳亮
2. 発表標題 Hydrogenolysis of Arenols with Hydrosilanes by Nickel Catalysis
3. 学会等名 日本化学会第96春季年会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 中尾佳亮
2. 発表標題 不活性結合活性化による高難度精密有機合成反応の創出
3. 学会等名 新学術領域研究「精密制御反応場」第1回公開シンポジウム(招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Yoshiaki Nakao
2. 発表標題 C-C Bond Forming Reactions by Cooperative Metal Catalysis
3. 学会等名 Pacifichem 2015(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Yoshiaki Nakao
2. 発表標題 C-C Bond Forming Reactions by Cooperative Metal Catalysis
3. 学会等名 6th International Collaborative and Cooperative Chemistry Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Yoshiaki Nakao
2. 発表標題 C-C Bond Forming Reactions by Cooperative Metal Catalysis
3. 学会等名 16th Tetrahedron Symposium Asia Edition (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 Yoshiaki Nakao	4. 発行年 2017年
2. 出版社 Georg Thieme Verlag KG	5. 総ページ数 15
3. 書名 Science of Synthesis: N-Heterocyclic Carbenes in Catalytic Organic Synthesis Vol. 1	

1. 著者名 Yoshiaki Nakao	4. 発行年 2016年
2. 出版社 Georg Thieme Verlag KG	5. 総ページ数 150
3. 書名 Science of Synthesis: Catalytic Transformations via C-H Activation Vol. 1	

〔出願〕 計4件

産業財産権の名称 芳香族化合物の製造方法	発明者 江口久雄、宮崎高則、萩原秀樹、中尾佳亮、柏原美勇斗	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-034287	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 芳香族化合物の製造方法	発明者 柏原美勇斗, 中尾佳亮, 宮崎高則, 江口久雄	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2017-037443	出願年 2017年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 芳香族アミンの製造方法	発明者 中尾佳亮, 宮崎高則, 江口久雄	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2016-213753	出願年 2016年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 芳香族化合物の製造方法	発明者 中尾佳亮, 宮崎高則, 江口久雄	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2016-213752	出願年 2016年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
---------------------------	-----------------------	----