

令和 2 年 6 月 17 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(S)

研究期間：2015～2019

課題番号：15H05756

研究課題名(和文) 光と金属を用いる直截的分子変換手法の開発

研究課題名(英文) Development of Molecular Transformations by Means of Light and Metals Directing towards Straightforward Synthesis

研究代表者

村上 正浩 (Murakami, Masahiro)

京都大学・工学研究科・教授

研究者番号：20174279

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 154,600,000円

研究成果の概要(和文)：入手容易な炭化水素などの化合物を、光と金属触媒の作用によって有用な化合物へと直截的に変換する合成手法を開発した。例えば、単純な構造の炭化水素の炭素-水素結合を切断して、そこに二酸化炭素を直截固定化するカルボン酸合成法を開発した。反応性に極めて乏しい飽和炭化水素も反応させることに成功した。また、末端アルキンから出発して、ホウ素導入、アルケンの移動、アルデヒドへの付加を経て、連続する不斉中心を有するホモアリルアルコールを立体選択的に合成する手法を開発した。様々なホウ素化反応剤や金属触媒を用いることによって、多様な誘導体の合成を可能にした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

有機合成化学には、医薬品や高機能材料に至るまで、社会が必要とする様々な有機化合物を合成するためのより良い手法を提供することが求められている。本研究で開発した直截的な合成法は、合成プロセスの効率化、ひいては医薬品や高機能材料の開発に資すると考えられる。

研究成果の概要(英文)：Synthetic transformations of readily available materials such as hydrocarbons were developed by exploiting light and metal catalysts, providing a straightforward access to valued structural motifs. For example, a C-H bond of simple hydrocarbons was cleaved and CO₂ was inserted therein to furnish carboxylic acids. Even saturated hydrocarbons, which are generally unreactive, could be used as the substrates. Also developed were stereoselective synthetic pathways from terminal alkynes to homoallylic alcohols with contiguous stereocenters. The process involves (1) introduction of boron groups onto alkynes to prepare alkenylboranes, (2) transposition of the alkene moiety of the alkenylboranes to generate allylboranes, (3) allylation of aldehydes with the generated allylboranes. A variety of homoallylic alcohols were synthesized in an enantio- and diastereo-selective fashion.

研究分野：有機合成化学

キーワード：分子変換 光 触媒

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

有機合成化学には、医薬品や高機能材料に至るまで、社会が必要とする様々な有機化合物を合成するためのより良い手法を提供することが求められている。社会がゆゆしきエネルギー問題や資源問題に直面している現在、原料に多数の官能基変換を施して、多段階の単離工程を経て目的化合物へと至る合成経路を刷新することが緊喫の課題となっている。このような要請に応えるべく、入手の容易な化合物から標的の化合物をより直截的に合成する手法が必要とされている。

2. 研究の目的

炭化水素化合物などの入手の容易な化合物から有用性の高い化合物を直截的にかつ選択的に得ることを目的とした。この目的に対して(1)炭素-水素結合や炭素-炭素結合などの非極性 σ 結合を変換する反応を開発することと、(2)アルキンに多数の反応をワンポットで施し、複雑な骨格を一挙に構築する手法を開発することを重点目標として設定した。

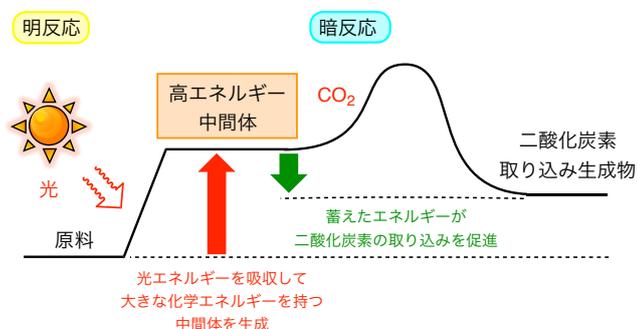
3. 研究の方法

上記の重点目標を実現するために、化学反応に対する光の作用と遷移金属触媒の作用の両者の特性に着目した。

(1) 非極性 σ 結合の活性化を経る直截的分子変換

炭素-炭素及び炭素-水素結合は速度論的に不活性のみならず、熱力学的にも安定である。これらを活性化して合成反応に用いるためには、反応を速度論的に加速する触媒のみならず、熱力学的にも有利にするための戦略が求められる。

光合成では、太陽光のエネルギーを化学エネルギーとして取り込み、これを駆動力として熱力学的に安定な水と二酸化炭素から有機化合物を合成している。この合成の反応過程は、エネルギーの観点から二段階で構成される。すなわち、光のエネルギーを有機化合物(NADPやADP)に化学エネルギーとして取り込んで高エネルギー化合物(NADPHやATP)を生成する段階(明反応)と、明反応で蓄えられた化学エネルギーを利用して二

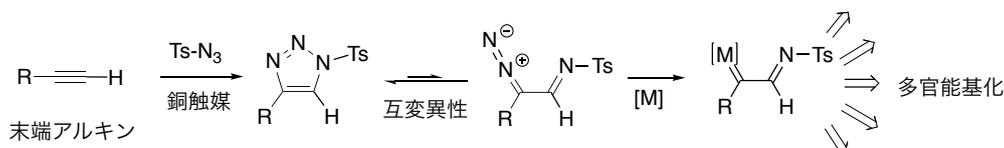


酸化炭素を還元して炭素骨格内に固定化する段階(暗反応)の二つの段階で構成されている(右上図)。この二段階機構によって、熱力学的に不利な二酸化炭素固定化を光のエネルギーを駆動力として利用して実現している。本研究項目では、光合成の二段階の反応機構に倣って、吸エルゴンのような光反応を組み込んだ機構を設計して、その実効性を検証した。

(2) アルキンを起点とする直截的ワンポット多官能基化

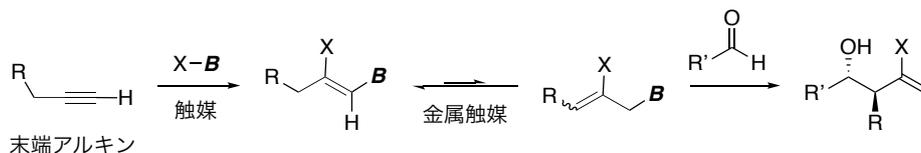
アルキンは多様な誘導体が市販されているほか、様々な合成法が確立されており、最も入手容易な原料の一つである。アルキンから出発して、炭素-炭素結合の生成や官能基の導入など複数の分子変換をワンポット(1つのフラスコ内)で連続的に行い、分子の複雑さ(molecular complexity)を一挙に増す変換手法を開発できれば、実用的な観点から強く求められている合成経路の短工程化と単離操作回数の削減が期待される。

アルキンは、銅触媒の存在下、アジドとの1,3-双極子付加環化反応により容易に1,2,3-トリアゾールを生成する。1,2,3-トリアゾールは環鎖互変異性・脱窒素を経てロジウム(II)やニッケル(0)錯体などの遷移金属錯体と反応して、 α -イミノカルベン錯体を発生する。この α -イミノカルベン錯体は、その電子欠損性に起因して高い反応性を持つことが期待され、極めて多様な分子変換の可能性が考えられる。そこで α -イミノカルベン錯体に内在する未開拓の反応性を探求した。さらに、見出した反応を展開して、末端アルキンからトリアゾールの生成、トリアゾールからカルベン錯体の生成、カルベン錯体と反応剤との反応、生成物のさらなる変換を一つのフラスコの中で連続的に行うことで、アルキンの直截的な多官能基化反応を開拓することを目指した。



また、アルキンにホウ素を導入してアルケニルホウ素化合物を調製したのち、二重結合部分を移動させて、アリルホウ素化合物を発生、これをカルボニル化合物に付加させることで、連続する不斉中心を立体選択的に構築する手法の開発を行った。連続する不斉中心を立体選択的に構築することは合成化学的な難題の一つとされている。アリルホウ素化合物のカルボニル化合物

への付加反応は、連続した不斉中心を立体選択的に構築する有用な手法であるが、アリルホウ素化合物の合成が難しく、比較的単純な誘導体しか合成できなかった。本研究項目では、アルキンから容易に調整されるアルケニルホウ素化合物の二重結合を遷移金属触媒の作用で移動させることでアリルホウ素化合物を反応溶液中で発生させて、単離することなくカルボニル化合物へと付加させる手法の開発検討を行った。

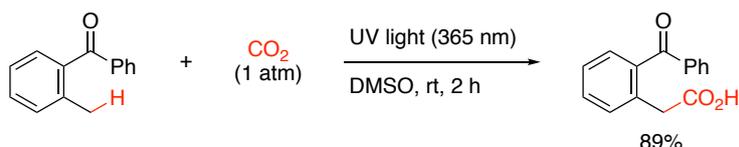


4. 研究成果

(1) 非極性 σ 結合の活性化を経る直截的分子変換

① 光のエネルギーを駆動力とするオルトアルキルフェニルケトンへの二酸化炭素固定化反応 (

オルトアルキルフェニルケトンに常圧の二酸化炭素を取り込み、カルボン酸を合成する反応を開発した (右式)。触媒や塩基、還元剤は不要であり、単純に太陽光 (紫外光) を照射



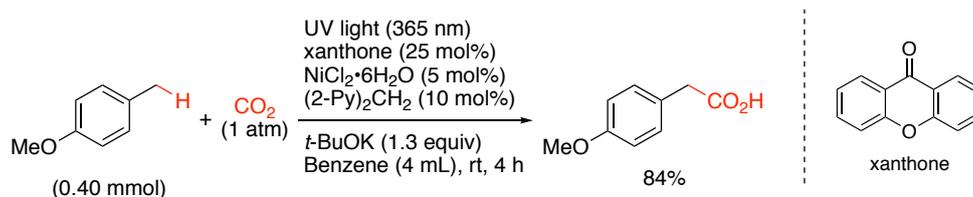
するのみで進行する。炭素-水素結合間に二酸化炭素を挿入しており、熱力学的に不利な方向へ進行する、光エネルギーによって駆動される反応である。

二酸化炭素は熱力学的に安定であるため、単純な有機化合物に二酸化炭素を直截取り込む反応は熱力学的に不利になることが少なくない。このため、通常、有機化合物に二酸化炭素を取り込むためには、高エネルギーな出発原料 (有機マグネシウム反応剤など) が用いられている。本研究で開発した反応は、高エネルギーな出発原料を用いずに、光のエネルギーを駆動力として利用して、単純な有機化合物に二酸化炭素を固定化している点で特筆に値する。

本研究で開発した反応で生成するカルボン酸は、ベンゾジアゼピンなど、ベンゼン環が縮環した様々なヘテロ環の合成中間体として有用である。本研究ではこの反応を利用して、抗うつ薬トフィソパムの新しい合成法も開発した。

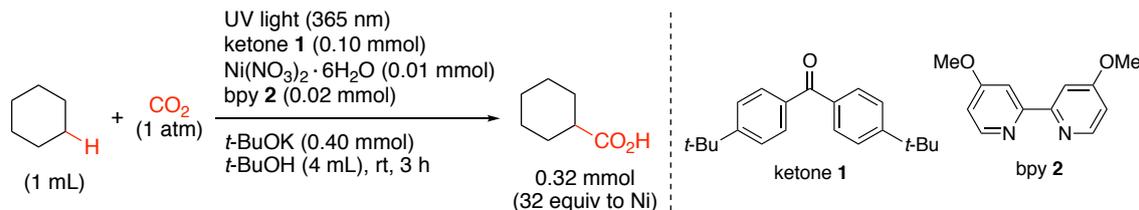
② 単純な炭化水素化合物への二酸化炭素固定化反応

入手の容易なトルエン誘導体のベンジル位炭素-水素結合を切断してそこに二酸化炭素を取り込み、イブプロフェン等の医薬品に見られる骨格である α -アリーール酢酸を合成する反応を開発した (下式)。



トルエン誘導体と二酸化炭素から同様のカルボン酸生成物を得る従来の手法は、いったんベンジル位を臭素化したのちに、マグネシウム金属等によりベンジル金属種を発生させる必要がある。今回開発した手法はより直截的な合成法を提供する。

また、類似の触媒系で、脂肪族炭化水素への二酸化炭素固定化が進行した。反応性に極めて乏しい脂肪族炭化水素化合物と二酸化炭素が、常温・常圧で反応する初めての例である。

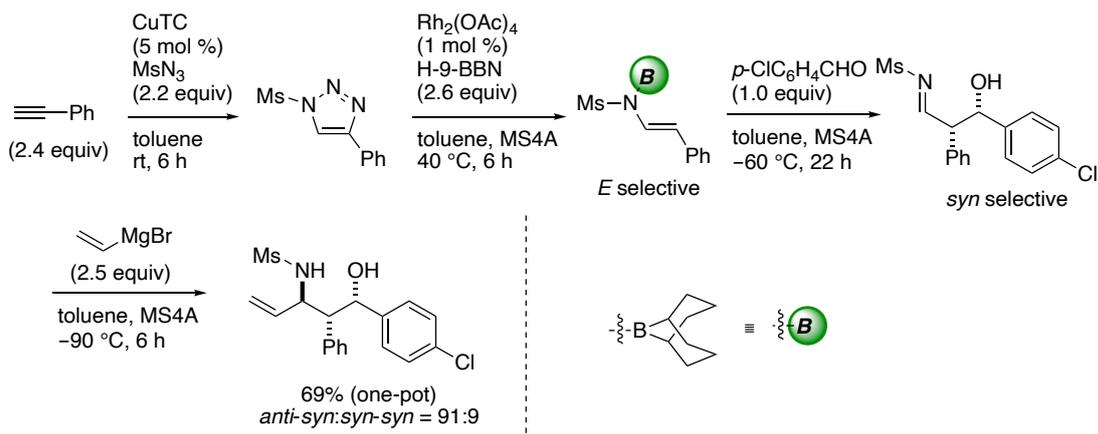


(2) アルキンを起点とする直截的ワンポット合成

① アルキンを原料とする多置換アミノアルコールの立体選択的合成

末端アルキンとスルホニルアジドから容易に調製される *N*-スルホニル-1,2,3-トリアゾールとヒドロボランがロジウム触媒の存在下で反応して、ホウ素アザエノラートが立体選択的に生成することを見出し、これを単離することなくアルドール反応に利用することで、連続した不斉中

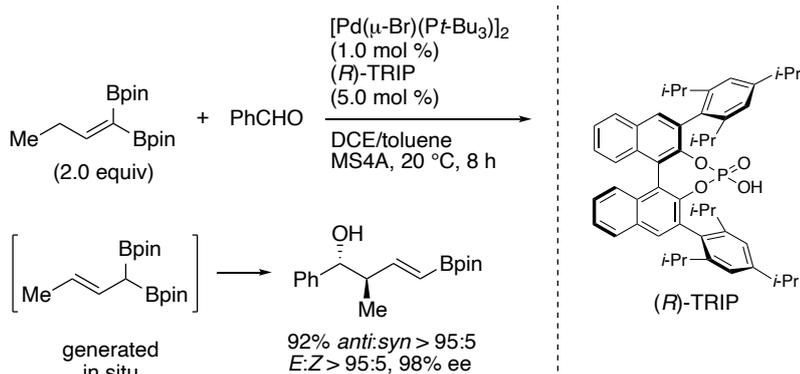
心を立体選択的に構築する手法を開発した。生じるイミンに Grignard 反応剤を反応させると、立体選択的な付加反応が進行して、3-アミノアルコールが高いジアステレオ選択性で生成した。



②アルケンの移動を用いるアルデヒドのアリル化

アルキンをヒドロホウ素化もしくはジホウ素化することで容易に調製できるアルケニルホウ素化合物とアルデヒドを、遷移金属触媒とキラルリン酸触媒の存在下で反応させて、連続する不斉中心を有するホモアリルアルコールを合成する簡便な手法を開発した。例えば、コバルト触媒による末端アルキンの 1,1-ジホウ素化反応によって容易に合成できる 1,1-ジボリルアルケンとアルデヒドから、従来法では合成困難であった δ 位がホウ素置換したホモアリルアルコールを

立体選択的に合成できた (右式)。メチル置換基を有するホモアリルアルコールはポリケチド系の天然物に頻繁に見られる骨格であり、この生成物はこれらの合成ビルディングブロックとして有用である。また、*Z*体のホモアリルアルコールや異なる位置にホウ素置換基を持つ誘導体など、多様なホモアリルアルコールを立体選択的に合成する手法も開発した。



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計41件（うち査読付論文 41件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Masuda Yusuke, Ito Misato, Murakami Masahiro	4. 巻 22
2. 論文標題 Dehydrative Allylation of C(sp ³)-H Bonds of Alkylamines with Allylic Alcohols	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Organic Letters	6. 最初と最後の頁 4467 ~ 4470
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.orglett.0c01464	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 Masuda Yusuke, Makita Katsuhiko, Murakami Masahiro	4. 巻 49
2. 論文標題 Dehydrative Allylation of 2-Alkylbenzophenones with Allylic Alcohols	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 616 ~ 618
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.200123	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 Miura Tomoya, Miyakawa Sho, Nakamuro Takayuki, Murakami Masahiro	4. 巻 48
2. 論文標題 Generation of Boron Aza-Enolates by a Nickel-catalyzed Reaction of Triazoles with Pinacolborane and Their Addition to Aldehydes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 965 ~ 967
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.190290	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 Ishida Naoki, Masuda Yusuke, Sun Fangzhu, Kamae Yoshiki, Murakami Masahiro	4. 巻 48
2. 論文標題 A Strained Vicinal Diol as a Reductant for Coupling of Organyl Halides	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 1042 ~ 1045
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.190403	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 Miura Tomoya, Oku Naoki, Murakami Masahiro	4. 巻 58
2. 論文標題 Diastereo and Enantioselective Synthesis of (E) Boryl Substituted anti Homoallylic Alcohols in Two Steps from Terminal Alkynes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 14620 ~ 14624
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201908299	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 Ishida Naoki, Masuda Yusuke, Liao Wenqing, Murakami Masahiro	4. 巻 48
2. 論文標題 Photo-assisted Fixation of CO ₂ onto Aryl Bromides Producing Aromatic Esters	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 1316 ~ 1318
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.190563	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 Miura Tomoya, Nakamuro Takayuki, Nagata Yuuya, Moriyama Daisuke, Stewart Scott G., Murakami Masahiro	4. 巻 141
2. 論文標題 Asymmetric Synthesis and Stereochemical Assignment of 12C/13C Isotopomers	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 13341 ~ 13345
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.9b07181	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 Masuda Yusuke, Makita Katsuhiko, Ishida Naoki, Murakami Masahiro	4. 巻 14
2. 論文標題 Synthesis of Tofisopam by Way of Photoinduced CO ₂ Fixation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemistry - An Asian Journal	6. 最初と最後の頁 4189 ~ 4192
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/asia.201901431	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 Ishida Naoki, Masuda Yusuke, Imamura Yuuya, Yamazaki Katsushi, Murakami Masahiro	4. 巻 141
2. 論文標題 Carboxylation of Benzylic and Aliphatic C-H Bonds with CO ₂ Induced by Light/Ketone/Nickel	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 19611 ~ 19615
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.9b12529	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 Masuda Yusuke, Tsuda Hiromu, Murakami Masahiro	4. 巻 59
2. 論文標題 C1 Oxidation/C2 Reduction Isomerization of Unprotected Aldoses Induced by Light/Ketone	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 2755 ~ 2759
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201914242	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 Kawasaki Tairin, Ishida Naoki, Murakami Masahiro	4. 巻 142
2. 論文標題 Dehydrogenative Coupling of Benzylic and Aldehydic C-H Bonds	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 3366 ~ 3370
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.9b13920	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 Ishida Naoki, Okumura Shintaro, Kawasaki Tairin, Murakami Masahiro	4. 巻 57
2. 論文標題 2-Arylsilacyclobutane as a Latent Carbanion Reacting with CO ₂	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 11399 ~ 11403
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) DOI: 10.1002/anie.201805333	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 Miura Tomoya, Funakoshi Yuuta, Nakahashi Junki, Moriyama Daisuke, Murakami Masahiro	4. 巻 57
2. 論文標題 Synthesis of Elongated Esters from Alkenes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 15455 ~ 15459
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) DOI: 10.1002/anie.201809115	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 Zhou Wang, Nakahashi Junki, Miura Tomoya, Murakami Masahiro	4. 巻 7
2. 論文標題 Light/Copper Relay for Aerobic Fragmentation of Lignin Model Compounds	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Asian Journal of Organic Chemistry	6. 最初と最後の頁 2431 ~ 2434
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) DOI: 10.1002/ajoc.201800520	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 Ishida Naoki, Hori Yusaku, Okumura Shintaro, Murakami Masahiro	4. 巻 141
2. 論文標題 Synthesis of 2-Aryloxy-1,3-dienes from Phenols and Propargyl Carbonates	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 84 ~ 88
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) DOI: 10.1021/jacs.8b11159	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 Miura Tomoya, Nakahashi Junki, Sasatsu Takanori, Murakami Masahiro	4. 巻 58
2. 論文標題 Synthesis of α -Boryl-Substituted Homoallylic Alcohols with anti Stereochemistry Based on a Double-Bond Transposition	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 1138 ~ 1142
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) DOI: 10.1002/anie.201811205	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 Masuda Yusuke, Ishida Naoki, Murakami Masahiro	4. 巻 14
2. 論文標題 Light/Palladium Promoted Benzylic C-H Acylation Using a Benzoyl Group as the Photo Directing Group	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemistry An Asian Journal	6. 最初と最後の頁 403 ~ 406
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) DOI: 10.1002/asia.201801881	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 Ishida Naoki, Kamae Yoshiki, Murakami Masahiro	4. 巻 38
2. 論文標題 Preparation of Ni(cod)2 Using Light as the Source of Energy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Organometallics	6. 最初と最後の頁 1413 ~ 1416
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.organomet.9b00057	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 Miura Tomoya, Murakami Masahiro, Moriyama Daisuke, Funakoshi Yuuta	4. 巻 30
2. 論文標題 Photoinduced 1,2-Hydro(cyanomethylation) of Alkenes with a Cyanomethylphosphonium Ylide	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Synlett	6. 最初と最後の頁 511 ~ 514
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1055/s-0037-1612230	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 Zhao Qiang, Miura Tomoya, Murakami Masahiro	4. 巻 48
2. 論文標題 Cyclization Reaction of 4-Acyl-1-sulfonyl-1,2,3-triazoles Possessing Phenyl Rings through Generation of Electron-Deficient Carbenoids	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 510-512
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1246/cl.190074	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 T. Miura, J. Nakahashi, M. Murakami	4. 巻 56
2. 論文標題 Enantioselective Synthesis of (E)- <i>o</i> -Boryl-Substituted anti-Homoallylic Alcohols Using Palladium and a Chiral Phosphoric Acid	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 6989-6993
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201702611	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 N. Ishida, T. Yano, T. Yuhki, M. Murakami	4. 巻 12
2. 論文標題 Photo-Induced Cyclization of (<i>o</i> -Alkylbenzoyl)phosphonates to Benzocyclobutenols	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Chemistry An Asian Journal	6. 最初と最後の頁 1905-1908
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/asia.201700766	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 T. Miura, J. Nakahashi, W. Zhou, Y. Shiratori, S. G. Stewart, M. Murakami	4. 巻 139
2. 論文標題 Enantioselective Synthesis of anti-1,2-Oxaborinan-3-enes from Aldehydes and 1,1-Di(<i>o</i> boryl)alk-3-enes Using Ruthenium and Chiral Phosphoric Acid Catalysts	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 10903-10908
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.7b06408	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 S. Okumura, F. Sun, N. Ishida, M. Murakami	4. 巻 139
2. 論文標題 Palladium-Catalyzed Intermolecular Exchange between C-C and C-Si σ -Bonds	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 12414-12417
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.7b07667	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 T. Miura, Q. Zhao, M. Murakami	4. 巻 56
2. 論文標題 Selective Functionalization of Aromatic C(sp ²)-H Bonds in the Presence of Benzylic C(sp ³)-H Bonds by Electron-Deficient Carbenoid Generated from 4-Acyl-1-sulfonyl-1,2,3-triazoles	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 16645-16649
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201709384	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 T. Yano, T. Kawasaki, T. Yuhki, N. Ishida, M. Murakami	4. 巻 20
2. 論文標題 Synthetic Approach to Benzocyclobutenones Using Visible Light and a Phosphonate Auxiliary	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Organic Letters	6. 最初と最後の頁 1224-1227
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.orglett.8b00160	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 N. Ishida, S. Okumura, M. Murakami	4. 巻 47
2. 論文標題 Site- and Regio-Selective Incorporation of Carbon Dioxide into the C(sp ²)-Si Bond of Benzosilacyclobutenes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 570-572
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.171211	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 W. Zhou, T. Miura, M. Murakami	4. 巻 57
2. 論文標題 Photo-Catalyzed Ortho-Alkylation of Pyridine N-Oxides through Alkene Cleavage	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 5139-5142
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201801305	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 T. Nakamuro, K. Hagiwara, T. Miura, M. Murakami	4. 巻 57
2. 論文標題 Enantioselective Denitrogenative Annulation of 1H-Tetrazoles with Styrenes Catalyzed by Rhodium	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 5497-5500
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201801283	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 Masahiro Murakami, Naoki Ishida	4. 巻 138
2. 論文標題 Potential of Metal-Catalyzed C-C Single Bond Cleavage for Organic Synthesis	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 13759, 13769
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.6b01656	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 Yusuke Masuda, Naoki Ishida, Masahiro Murakami	4. 巻 -
2. 論文標題 Aryl Ketones as Single-Electron-Transfer Photoredox Catalysts in	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 The European Journal of Organic Chemistry	6. 最初と最後の頁 5822-5825
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ejoc.201601352	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 Yuuta Funakoshi, Tomoya Miura, Masahiro Murakami	4. 巻 18
2. 論文標題 Synthesis of Penta-2,4-dien-1-imines and 1,2-Dihydropyridines by Rhodium-Catalyzed Reaction of N-Sulfonyl-1,2,3-triazoles with 2-(Siloxy)furans	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Organic Letters	6. 最初と最後の頁 6284-6287
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.orglett.6b03143	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 Akira Yada, Wenqing Liao, Yuta Sato, Masahiro Murakami	4. 巻 56
2. 論文標題 Buttressing Salicylaldehydes: Multipurpose Directing Group for C(sp ³)-H Bond Activation	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 1073-1076
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201610666	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 Tomoya Miura, Takamasa Tanaka, Qiang Zhao, Scott G. Stewart, Masahiro Murakami	4. 巻 100
2. 論文標題 Synthesis of 2-Substituted 2-Amino Ketones by Rhodium-Catalyzed Reaction of N-Sulfonyl-1,2,3-triazoles with 2-Alkenols	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Helvetica Chimica Acta	6. 最初と最後の頁 e1600320
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/hlca.201600320	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 Naoki Ishida, Takaaki Yano, and Masahiro Murakami	4. 巻 6
2. 論文標題 Acceleration of Inward Ring Opening of 3-Phosphorylcyclobutenes	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Asian Journal of Organic Chemistry	6. 最初と最後の頁 174-176
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ajoc.201600585	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 Akira Yada, Satoshi Okajima, Masahiro Murakami	4. 巻 137
2. 論文標題 Palladium-Catalyzed Intramolecular Insertion of Alkenes into the Carbon-Nitrogen Bond of Lactams	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 8708-8711
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.5b05308	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 Tomoya Miura, Yoshikazu Fujimoto, Yuuta Funakoshi, Masahiro Murakami	4. 巻 54
2. 論文標題 A Reaction of Triazoles with Thioesters Producing α -Sulfanyl Enamides by Insertion of an Enamine Moiety into the Sulfur-Carbonyl Linkage	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 9967-9970
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201504013	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 Tomoya Miura, Qiang Zhao, Yuuta Funakoshi, and Masahiro Murakami	4. 巻 91
2. 論文標題 Site-Selective Introduction of an Enamido Group at the C(3)-Position of Indoles	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Heterocycles	6. 最初と最後の頁 1579-1584
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3987/COM-15-13261	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 Masao Morimoto, Tomoya Miura, and Masahiro Murakami	4. 巻 54
2. 論文標題 Rhodium-Catalyzed Dehydrogenative Borylation of Aliphatic Terminal Alkenes with Pinacolborane	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 12659-12663
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201504013	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 Shota Sawano, Naoki Ishida, and Masahiro Murakami	4. 巻 44
2. 論文標題 Hydrogenolysis of 1-Alkoxybenzocyclobutenes with Site-Selective Cleavage of the Sterically Hindered C(sp ²)-C(sp ³) Bond	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 1521-1523
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.150719	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 Yusuke Masuda, Naoki Ishida, and Masahiro Murakami	4. 巻 137
2. 論文標題 Light-Driven Carboxylation of o-Alkylphenyl Ketones with CO ₂	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 14063-14066
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.5b10032	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45件 (うち招待講演 16件 / うち国際学会 28件)

1. 発表者名 Masahiro Murakami
2. 発表標題 Life-long Focus on Four-Membered Rings
3. 学会等名 Mini Symposium on Organic Chemistry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Naoki Ishida
2. 発表標題 Explorations of Metathesis Type Reactions between C-C, C-Si, and Si-Si sigma-Bonds
3. 学会等名 第2回日本・スペイン有機合成シンポジウム (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 堀 雄策
2. 発表標題 ニッケル触媒によるプロパラギルアルコール誘導体から2-アリールオキシ-1,3-ジエンへの変換反応
3. 学会等名 第7回JACI/GSCシンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masahiro Murakami
2. 発表標題 Sigma Bond Matathesis between C-C, C-Si and Si-Si Single Bonds
3. 学会等名 28th International Conference on Organometallic Chemistry(ICOMC2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Naoki Ishida
2. 発表標題 Synthetic Approach to Benzocyclobutenones Using Visible Light and a Phosphonate Auxiliary
3. 学会等名 International Symposium on Main Group Chemistry Directed towards Organic Synthesis (MACOS) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masahiro Murakami
2. 発表標題 Bond Metathesis between C-C, S-Si Single Bonds
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 Yusuke Masuda
2. 発表標題 Benzylic C-H Bond Acylation of o-Methylbenzophenones Using Light and a Palladium Catalyst
3. 学会等名 JGP Chem & ChemEn International Workshop: Sustainability-Oriented Organic Synthesis (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Junki Nakahashi
2. 発表標題 Synthesis of α -Boryl-Substituted anti-Homoallylic Alcohols from Terminal Alkynes, Aldehydes, and Diborons
3. 学会等名 JGP Chem & ChemEn International Workshop: Sustainability-Oriented Organic Synthesis (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tairin Kawasaki
2. 発表標題 Synthesis of Benzocyclobutenones via Photocyclization of Acylphosphonates
3. 学会等名 JGP Chem & ChemEn International Workshop: Sustainability-Oriented Organic Synthesis (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yusaku Hori
2. 発表標題 Synthesis of 2-Aryloxy-1,3-Dienes from Phenols and Propargylic Carbonates
3. 学会等名 JGP Chem & ChemEn International Workshop: Sustainability-Oriented Organic Synthesis (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Katsushi Yamazaki
2. 発表標題 Photo-Induced Carboxylation of Methylbenzenes with CO ₂ via Cooperative Catalysis of Ketone and Nickel
3. 学会等名 JGP Chem & ChemEn International Workshop: Sustainability-Oriented Organic Synthesis (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 堀雄策
2. 発表標題 ニッケル触媒を用いる2-アリールオキシ1,3-ジエンの簡便な合成法
3. 学会等名 第65回有機金属化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 増田侑亮
2. 発表標題 光とパラジウム触媒によるオルトメチルベンゾフェノンのベンジル位炭素 - 水素結合アシル化反応
3. 学会等名 第65回有機金属化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三浦智也
2. 発表標題 可視光レドックス触媒を用いたリンイリドからの(アルコキシカルボニル)メチルラジカルの生成とアルケンへの付加反応の開発
3. 学会等名 第65回有機金属化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masahiro Murakami
2. 発表標題 Photon-Driven Organic Synthesis
3. 学会等名 Frontiers in Chemistry Armenia (ArmChemFront 2018) (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yusaku Hori
2. 発表標題 Synthesis of 2-Aryloxy-1,3-Dienes from Phenols and Propargylic Carbonates
3. 学会等名 第8回 日本 - スペイン - ポルトガル有機化学国際会議 (8th SPJ-OCS) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Katsushi Yamazaki
2. 発表標題 Photo-Induced Carboxylation of Methylbenzenes with CO ₂ via Cooperative Catalysis of Ketone and Nickel
3. 学会等名 第8回 日本 - スペイン - ポルトガル有機化学国際会議 (8th SPJ-OCS) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masahiro Murakami
2. 発表標題 Generation of Allylboronates through Double Bond Transposition
3. 学会等名 the 13th International Symposium on Organic Reactions (ISOR-13) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masahiro Murakami
2. 発表標題 Photon-Driven Organic Synthesis
3. 学会等名 Pre-International Symposium on Organic Reaction (Pre-ISOR) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masahiro Murakami
2. 発表標題 Photon-Driven Organic Synthesis
3. 学会等名 Organic18-24th RACI Organic Chemistry Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masahiro Murakami
2. 発表標題 Synthesis of Elongated Esters from Alkenes
3. 学会等名 KANSAI-CMDS meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森山大輔
2. 発表標題 光によるリンイリドからのシアノメチルラジカル種の発生とアルケンへの付加反応
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会 (2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 蒔田克彦
2. 発表標題 ベンジル位炭素-水素結合の光によるカルボキシル化反応を利用したトフィソパムの合成
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会 (2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 津田裕陸
2. 発表標題 D-グルコースの2-デオキシ-D-グルコン酸への光異性化反応
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会(2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 奥 直樹
2. 発表標題 パラジウムおよびキラルリン酸触媒を用いる1,1-ジ(ボリル)-1-アルケンによるアルデヒドのエナンチオ選択的アリルホウ素化反応
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会(2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 釜江祥希
2. 発表標題 太陽光を利用したNi(cod) ₂ の合成
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会(2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石田直樹
2. 発表標題 Photo/Metal Hybrid Catalysis for C-H Carboxylation with CO ₂
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会(2019)(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masahiro Murakami
2. 発表標題 Synthetic Reactions Driven by Energy of Photons
3. 学会等名 The 14th Kinki-Youngnam Joint Symposium on Organometallic Chemistry (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Junki Nakahashi, Tomoya Miura, Masahiro Murakami
2. 発表標題 Enantioselective Synthesis of (E)- α -Boryl-Substituted anti-Homoallylic Alcohols by Relay Work of Palladium and Chiral Phosphoric Acid upon 1,1-Di(boryl)alk-3-enes and Aldehydes
3. 学会等名 the 19th IUPAC International Symposium on Organometallic Chemistry Directed Towards Organic Synthesis (OMCOS 19) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中橋惇貴、三浦智也、村上正浩
2. 発表標題 1,1-ジボリルアルカ-3-エンから二重結合の移動によるアリルホウ酸エステル生成とその反応
3. 学会等名 第64回有機金属化学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 三浦智也・船越雄太・中室貴幸・宮川 翔・藤本佳寿・村上正浩
2. 発表標題 トリアゾールをカルベン前駆体として利用した触媒反応
3. 学会等名 第7回 複素環化学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 石田直樹
2. 発表標題 光エネルギーを駆動力とする有機合成手法の開発
3. 学会等名 平成29年度 第1回 有機金属若手研究者の会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tomoya Miura
2. 発表標題 In Situ Generation of Allylboron Reagents from 1,1-Di(boryl)alk-3-enes and Their Reactions with Aldehydes
3. 学会等名 The 12th International Conference on Cutting-Edge Organic Chemistry in Asia (ICCEOCA-12) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Naoki Ishida
2. 発表標題 Synthetic Transformations Exploiting Light as the Energy Source
3. 学会等名 The 7th International Kyoto Symposium on Organic Nanostructures and Molecular Technology (IKSON+MT7) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masahiro Murakami
2. 発表標題 Generation of Allylboronates through Double-Bond Transposition
3. 学会等名 the 11th Australasian Organometallics Meeting (OZOM11) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中橋惇貴・白鳥陽太・三浦智也・村上正浩
2. 発表標題 ルテニウムおよびキラルリン酸触媒を用いた1,1-ジボリルアルカ-3-エンとアルデヒドによるanti-1,2-オキサボリナン-3-エンのエナンチオ選択的合成
3. 学会等名 日本化学会第98春季年会(2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 白鳥陽太・中橋惇貴・三浦智也・村上正浩
2. 発表標題 1,1-ジボリル-アルカ-3-エンからニッケル触媒を用いた二重結合の移動による(Z)-アリルホウ酸エステルの生成とそのアリル化反応
3. 学会等名 日本化学会第98春季年会(2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masahiro Murakami
2. 発表標題 Synthetic Use of Photo-generated Auinodimethanes
3. 学会等名 Pre-ISOR Symposium(国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Yusuke Masuda
2. 発表標題 Light-Driven Carboxylation on o-Alkylphenyl Ketones with CarbonDioxide
3. 学会等名 the 12th International Symposium on Organic Reactions (ISOR-12)(国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Masahiro Murakami
2. 発表標題 Photon-Assisted Synthetic Reactions
3. 学会等名 2016 National Syposium of the Korean Society of Organic Synthesis (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Masahiro Murakami
2. 発表標題 Photon-Assisted Synthetic Reactions
3. 学会等名 the 7th international forum on Homogeneous Catalysis (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Naoki Ishida
2. 発表標題 Light-Driven Carboxylation of o-Alkylphenyl Ketones with CO ₂
3. 学会等名 Tateshina Conference on Organic Chemistry (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Naoki Ishida
2. 発表標題 Enantioselective construction of 3-hydroxypiperidine
3. 学会等名 the 18th IUPAC International Symposium on Organometallic Chemistry Directed Towards Organic Synthesis (OMCOS 18) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Takayuki Nakamuro
2. 発表標題 Asymmetric synthesis and thermal rearrangement of iminosubstituted
3. 学会等名 the 18th IUPAC International Symposium on Organometallic Chemistry Directed Towards Organic Synthesis (OMCOS 18) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Tomoya Miura
2. 発表標題 Intramolecular dearomatizing [3+2] annulation of α -imino carbene complexes with aryl rings furnishing 3,4-fused indole skeletons
3. 学会等名 PACIFICHEM (環太平洋国際化学会議) 2015
4. 発表年 2015年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 Masahiro Murakami, Naoki Ishida	4. 発行年 2018年
2. 出版社 Wiley-VCH	5. 総ページ数 41
3. 書名 Rhodium(I)-Catalyzed Reaction via Carbon-Carbon Bond Cleavage in Rhodium Catalysis in Organic Synthesis	

1. 著者名 Tomoya Miura, Masahiro Murakami	4. 発行年 2018年
2. 出版社 Wiley-VCH	5. 総ページ数 22
3. 書名 Reactions of α -Imino Rhodium(II) Carbene Complexes Generated from N-Sulfonyl-1,2,3-Triazoles	

〔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
研究分担者	三浦 智也 (Miura Tomoya) (10378804)	京都大学・工学研究科・准教授 (14301)	
研究分担者	石田 直樹 (Ishida Naoki) (70512755)	京都大学・工学研究科・講師 (14301)	
研究分担者	増田 侑亮 (Masuda Yusuke) (20822307)	京都大学・工学研究科・特定助教 (14301)	
研究分担者	矢田 陽 (Yada Akira) (70619965)	京都大学・工学研究科・助教 (14301)	