

令和 5 年 5 月 24 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H03360

研究課題名(和文) 光学活性多置換シクロブタン及びラダラン化合物の立体選択的合成法の確立と応用

研究課題名(英文) Stereoselective Synthesis of Chiral Substituted-Cyclobutanes and Ladderanes

研究代表者

佐藤 美洋 (Sato, Yoshihiro)

北海道大学・薬学研究院・教授

研究者番号：90226019

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、多置換シクロブタン誘導体やシクロブタン環がはしご状に連結したラダラン誘導体の立体選択的合成法の開発を目指した。その結果、(1) Rh触媒によるロダサイクルの形成 - Csp<sup>3</sup>-H結合活性化を経由するシクロブタン誘導体の不斉合成法の開発、(2) Ru触媒を用いたアレンインの環化反応を利用した含硫黄ラダラン誘導体及び含ホウ素多置換シクロブタン誘導体の合成に成功した。また貴金属であるRhの使用を避けるため、同族のCo触媒を用いたエンインの環化反応に関する基礎研究を開始し、(3) 水素(H<sub>2</sub>)を還元剤とするCo触媒によるエンインの還元的環化反応の開発にも成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

シクロブタン骨格は天然物などにも含まれ、創薬においてもオレフィンやベンゼンの生物学的等価体としての利用も期待される骨格である。またシクロブタン環が連結し「はしご状」となったラダラン骨格をもつ天然物も最近発見され、その機能にも興味を持たれている。一方、多置換シクロブタンの立体選択的合成法や光学活性体での合成法は限られており、さらにラダラン骨格に関しては合成例が極めて少ない。本研究では、例のないスピロ骨格を持つシクロブタン誘導体の不斉合成や、官能基化の手掛かりとなる硫黄やホウ素を骨格内に含むラダラン誘導体の合成に成功しており、その学術的意義や社会的意義は大きい。

研究成果の概要(英文)：In this project, we aimed to develop stereoselective synthesis of polysubstituted cyclobutane derivatives and radarane derivatives. As a result, we succeeded in synthesizing spiro-cyclobutane derivatives via Rh-catalyzed enantioselective cyclization of enynes via Csp<sup>3</sup>-H bond activation triggered by formation of rhodacycle intermediates. Also, we succeeded in synthesis of sulfur-containing radarane derivatives and boron-containing multisubstituted cyclobutane derivatives through Ru-catalyzed cyclization of allenynes. Furthermore, to avoid the use of the rare metal such as Rh, we started a basic research on Co-catalyzed reaction via cobaltacycle, resulting in developing Co-catalyzed reductive cyclization of enynes using hydrogen (H<sub>2</sub>) as a reducing agent.

研究分野：有機合成化学

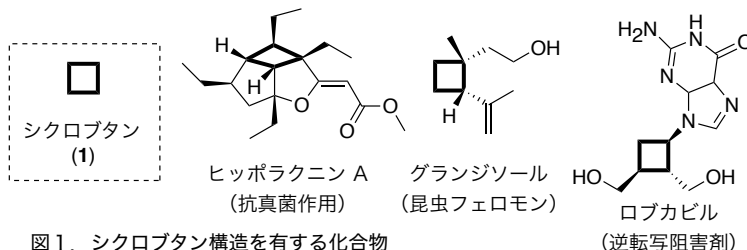
キーワード：シクロブタン ラダラン ロジウム ルテニウム コバルト メタラサイクル

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

シクロブタン (1) は4つの炭素からなる小員環で、立体配座の自由度が制限され、且つ環歪みを持つため、特有の三次元構造や反応性を有している。またシクロブタン骨格は、天然物や生物活性化合物等の構造中にもよく見られ、例えば、海綿から単離されたヒポラクニン A や昆虫ホルモンのグランジソール、抗ウイルス薬としての開発が期待されるロブカビルなどが挙げられる (図1)。

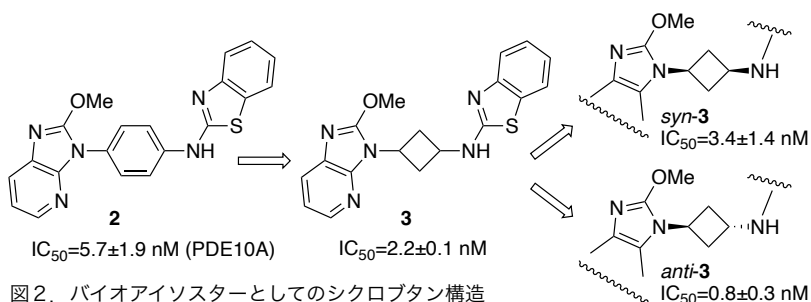
創薬においてシクロブタン構造は、ベンゼンなどの「生物学的等価体 (バイオアイソスター)」として有用であることも明らかとなっている。例えば、図2に示したホスホジエステラーゼ 10A



(PDE10A) 阻害剤の開発に

において、化合物 2 のベンゼン部分をシクロブタン環に変換した 3 では、PDLE10A 阻害活性が2倍強に増強されることがわかった。また、3 は *syn* 体と *anti* 体の混合物として合成されたが、これを分離したところ *anti*-

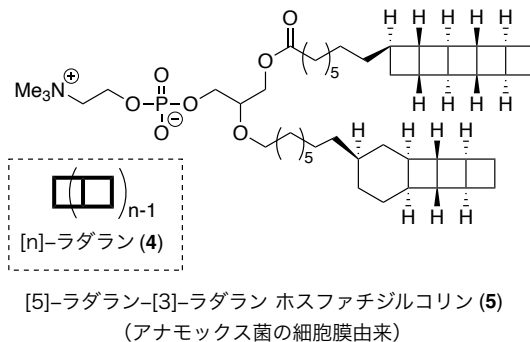
3の方がより強い阻害活性を有し、元化合物 2 の約7倍の阻害活性を有することも明らかとなっている (Hu, E. *et al.* *ACS Med. Chem. Lett.* 2014, 5, 700.)。この例は、バイオアイソスターとしてのシクロブタン骨格の有用性を示すとともに、シクロ



ブタン骨格を「立体選択的」に合成することが重要であることを示している。しかし、シクロブ

タン誘導体は、環歪みが大きな小員環であるがゆえにその合成法が限定されており、立体選択的な合成法は十分に確立されておらず、また生物活性化合物において重要となる光学活性体としての合成例も少ない。

一方、シクロブタン環が連結してはしご (ladder) 状の構造となった化合物をラダラン (ladderane) と呼び、シクロブタン環が  $n$  個連結している場合は  $[n]$ -ラダラン (4) と呼ぶ。最近、このラダラン構造を持つ脂質、[5]-ラダラン-[3]-ラダラン ホスファチジルコリン (5) が嫌気性アンモニア細菌 (アナモックス菌) の細胞膜から発見され、その生物学的機能にも大きな興味を持たれている (図3)。

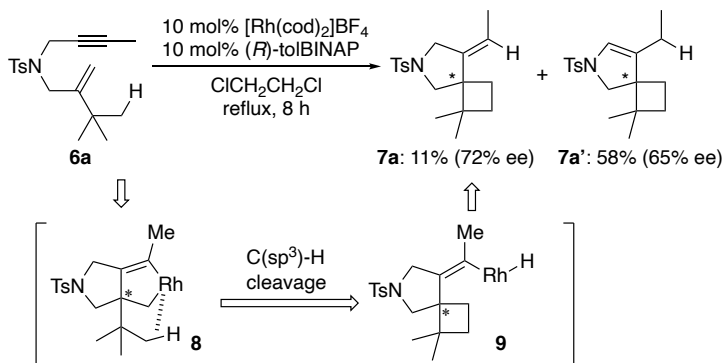


ラダラン誘導体は、そのユニークな構造が多くの有機合成化学者の興味を引き、合成研究がなされてきた化合物群であるが、その合成法はシクロブタン骨格以上に極めて限定される。

### 2. 研究の目的

本研究代表者らのグループではこれまで、遷移金属触媒を利用した  $[m+n]$  型環化反応の開発に注力してきた。 $[m+n]$  型環化反応の特徴は、比較的単純な構造を持つ直鎖状の基質から三次元的構造多様性を持つ環構造を一挙に構築できることにある。これらの研究を通じて、上述のシクロブタンおよびラダランの合成に適用できる可能性がある環化反応をいくつか見出している。

例えば、最近エンイン 6a を不斉配位子存在下 Rh 触媒と反応させると、スピロシクロブタン構造を持つ 7a および 7a' が混合物ながら良好な収率及び鏡像異性体過剰率で得られることを見出している (図4)。本反応は、ロ



ダサイクル中間体 **8** において、通常困難な  $Csp^3-H$  結合の活性化-切断が起こり、**9** を経由して **7a** が得られるという、これまでに全く例のない反応機構で進行していると想定され、有機合成化学及び有機金属化学の領域において学術的にも極めて興味を持たれる。一方、図5に示した Ru 触媒による環化反応では、[3]-ラダラン **13** とシクロブテン **15** の合成が可能であった (Sato, Y. et al. *Organometallics* **2009**, *28*, 669; *Org. Lett.* **2009**, *11*, 4124).

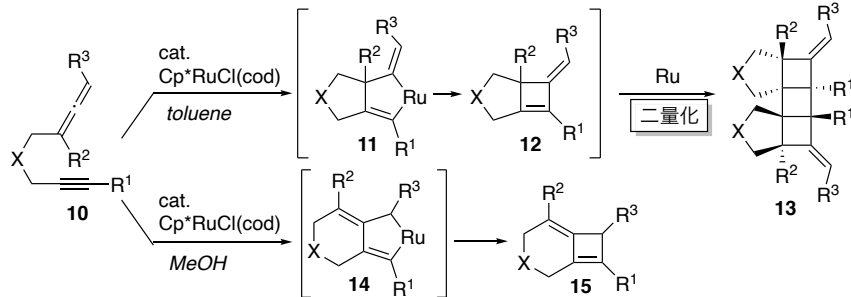


図5. Ru触媒による反応経路分岐型閉環反応によるシクロブテン及びラダラン骨格の構築

本反応では、1) 同一の基質 **10** と同一の触媒 ( $Cp^*RuCl(cod)$ ) から溶媒を変えるだけで反応経路の制御が可能であり、**13** と **15** の作り分けが行える、2) [3]-ラダラン **13** の合成において、環状のすべての置換基の立体化学が閉環反応によって制御される、3) アレン部に軸不斉を持つ光学活性な基質 **10** からの反応において、ほぼ完璧な不斉転写が起こり **13** や **15** が光学活性体として得られる、などユニークな特徴を持つ反応である。そこで本研究では、図4に示した Rh 触媒によるエンインの  $Csp^3-H$  結合の活性化-切断を伴う環化反応、及び図5に示した Ru 触媒によるアレンインの環化反応のそれぞれの反応を活用し、シクロブタン誘導体や [3]-ラダラン誘導体の立体選択的な合成法として確立することを目的としている。

### 3. 研究の方法

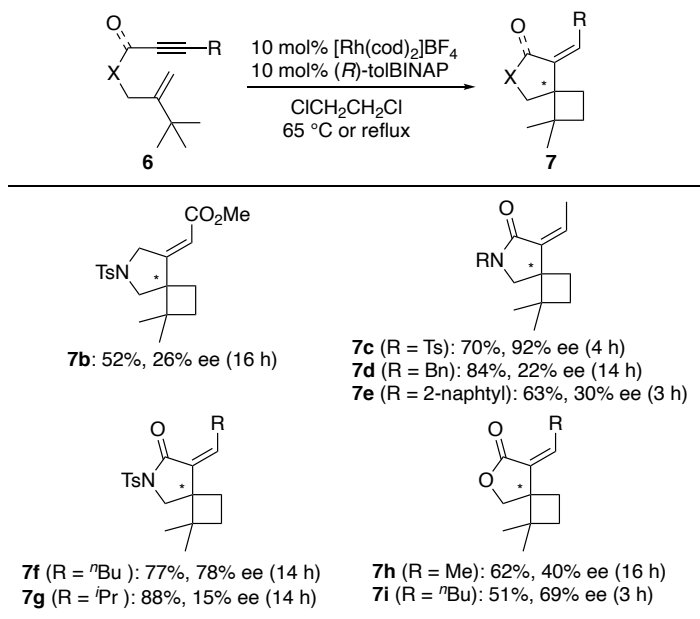
図4の Rh 触媒によるエンインの環化反応では、これまで合成例が稀なスピロシクロブタン誘導体を合成できることから、本反応の最適条件の確立や適用範囲の拡大を目指した。一方、図5に示した Ru 触媒によるアレンインの環化反応では、**10** のテザー部分 ( $X$ ) に硫黄 (S) やホウ素 (B) を含む基質を用いた環化反応を検討する。S や B を含む基質でも反応が進行するならば、反応後に生成するラダランやシクロブテンの S や B を足掛かりに、官能基の導入などを検討する。

### 4. 研究成果

#### (1) Rh 触媒によるロダサイクルの形成- $Csp^3-H$ 結合活性化を経由するエンインの環化反応

図4に示した通り、予備的検討において本反応ではスピロシクロブタン誘導体 **7a** とそのオレフィン部の位置異性体 **7a'** が得られてくることがわかっている。**7a'** は **7a** から生成していることが示唆されていたため、**7a** のみが生成する反応条件を見出すべく、配位子や反応条件を精査したが、異性化を止めることはできなかった。そこで、基質のデザインによって、反応後に生成したスピロシクロブタン誘導体からのオレフィンの異性化を止めることができるかを検討した。その結果、アルキン末端にエステル基を導入した基質 **6b** では **7b** のみが生成するものの、その鏡像異性体過剰率は大きく低下した。一方、窒素の  $\alpha$  位にカルボニル基を導入した基質 **6c-6g** でも異性化を止めることができ、対応する生成物 **7c-7g** が良好な収率で単一生成物として得られたが、その鏡像異性体過剰率は窒素上の保護基やアルキン末端の置換基の影響を大きく受けることがわかった。すなわち、窒素上の保護基がトシル基、アルキン末端にメチル基を持つ **6c** やアルキン末端に *n*-ブチル基を持つ基質 **6f** からは良好な鏡像異性体過剰率で生成物 **7c** や **7f** が得られたものの、他の基質では、生成物の鏡像異性体過剰率は概ね低い値を示した。本反応はアミド部位の代わりにエステルを鎖内に持つ基質 **6h** や **6i** でも進行したが、アミド部を持つ基質よりも収率はやや低く、また閉環体の鏡像異性体過剰率はアルキン末端部の置換基の影響を受けることはわかった。

図6. Rh触媒によるスピロシクロブタン誘導体の触媒的不斉合成

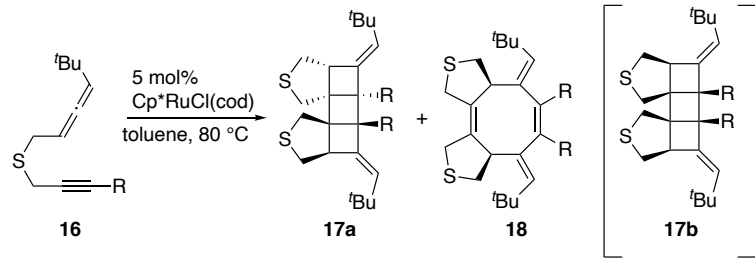


#### (2) Ru 触媒によるアレンインの環化反応を利用したシクロブタン誘導体及び[3]-ラダラン誘導

### 体の立体選択的合成

研究計画に従い、まず鎖内にSを含む基質**16**の閉環反応を検討した。その結果、以前の検討で用いていた基質**10**のテザー部分(X)が炭素や窒素であった基質とは反応の様相が全く異なり、[3]-ラダラン骨格を持つ生成物**17a**が得られたものの、構造不明の化合物も相当量得られてきた。この構造不明の化合物は、最終的にX線構造解析でシクロオクタジエン構造を持つ**18**であることがわかった。詳細は省略するが、**18**の立体構造と立体反応経路の考察により、目的物**17a**の異性体**17b**が生成したのち開環して**18**が生成していることが強く示唆

表1. 硫黄テザーを持つ基質を用いたRu触媒による閉環反応の検討



run	-R	17a (%)	18
1		24	42
2		19	24
3		13	32
4	-Me	25	-

された。そこで、**17a**のみが生成する反応条件を見出すべく様々な検討を行なったが、**17a**のみが生成する条件は現時点では見つかっていない。一方、本反応は基質のアルキン上の置換基を種々変更しても進行し、様々な[3]-ラダラン誘導体の合成に利用できることも明らかとなった(表1)。

上記の検討と並行して、鎖内にBを含む基質**16**の閉環反応も検討した。Bを含む基質は不安定

であることが予想されたため、アレニールアルコール**19**とアルキニルボラン**20**とのエステル交換反応によって基質**21**を系内で調製し、Ru触媒を用い種々検討を行ったが、対応するシクロブタン体**22**や[3]-ラダラン誘導体**23**は全く得られなかった(図7)。一方、炭素鎖を一つ伸ばしたアルコール**24**とアルキニルボラン**20**から調製した基質**25**とカチオン性Ru錯体([Cp\*Ru(MeCN)<sub>3</sub>]PF<sub>6</sub>)との反応では、Bを含んだシクロブタン体**26**が66%の良好な単離収率で得られた。一方、**26**はやや不安定な化合物で、単離操作の途中で一部分解していることが観察されたため、単離せずにそのままヨウ化フェニルとの鈴木-宮浦反応の条件に付したところ、フェニル基が導入された四置換シクロブタン誘導体**28**が二工程72%の収率で得られることがわかった。同様に、**26**を単離せずにそのまま酸化炭素挿入反応の条件に付すと、エステル基が導入された四置換シクロブタン誘導体**29**が良好な収率で得られることもわかった。現在、上述のSを含んだ[3]-ラダラン誘導体の合成法の改良と応用、及びBを含んだシクロブタン誘導体合成の適用範囲の拡大と応用展開を継続して検討中である。

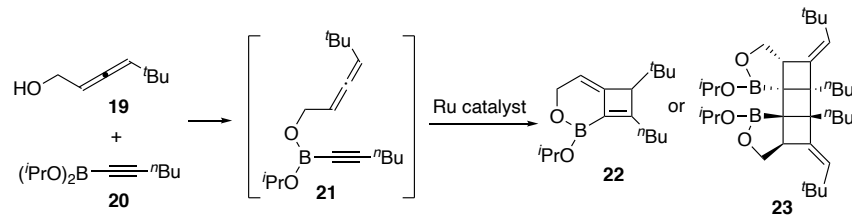


図7. Bを含む基質でのRu触媒による閉環反応の検討(1)

であることが観察されたため、単離せずにそのままヨウ化フェニルとの鈴木-宮浦反応の条件に付したところ、フェニル基が導入された四置換シクロブタン誘導体**28**が二工程72%の収率で得られることがわかった。同様に、**26**を単離せずに

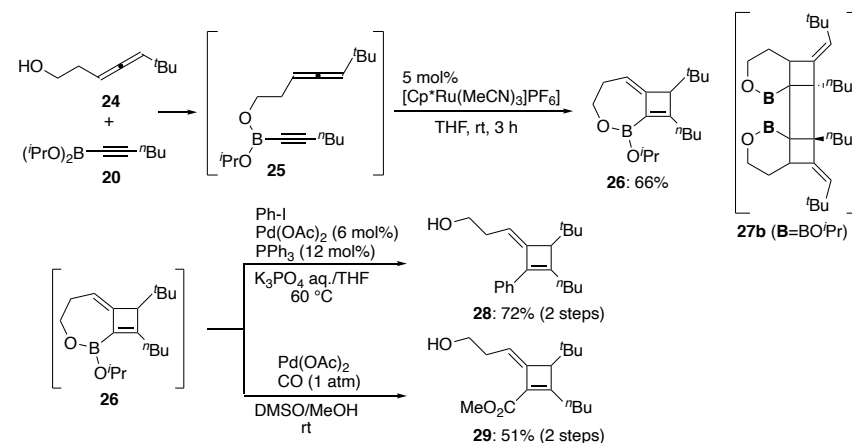


図8. Bを含む基質でのRu触媒による閉環反応の検討(2)

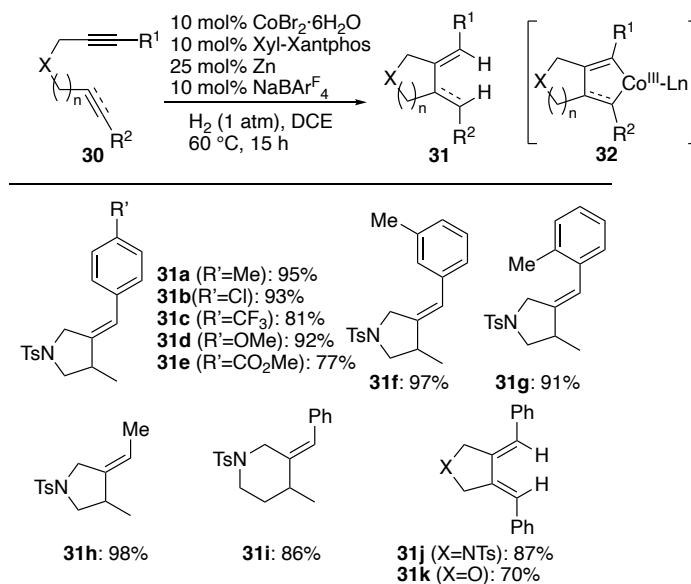
そのまま酸化炭素挿入反応の条件に付すと、エステル基が導入された四置換シクロブタン誘導体**29**が良好な収率で得られることもわかった。現在、上述のSを含んだ[3]-ラダラン誘導体の合成法の改良と応用、及びBを含んだシクロブタン誘導体合成の適用範囲の拡大と応用展開を継続して検討中である。

### (3) Co触媒によるエンインの還元的環化反応の検討

上の(1)に記したRh触媒によるエンインの環化反応では、重要な中間体としてRhを含む環状中間体であるロダサイクル**8**を経由して進行する。一方、Rhは貴金属(レアメタル)に分類され、非常に高価なことから、Rh触媒を卑金属(ベースメタル)触媒へと置換するための研究が現在盛んに行われている。ベースメタルであるコバルト(Co)は周期表上、Rhと同族であり、類似の反応性を持つことが期待されるが、Coを触媒として用いる反応に関する研究はRhと比べるとま

だまだ少ない. 特に, Coを含む環状中間体であるコバルタサイクルの性質に関しては極めて知見が少ない. そこで, 我々はメタラサイクル中間体を經由する代表的な反応である還元的環化反応に着目し, Co触媒を用いるエンインの還元的環化反応の検討を開始した. 我々が研究に着手した段階では, Co触媒によるエンインの還元的環化反応はいくつか報告されていたが, いずれもコバルタサイクルの還元には化学量論量以上の還元剤の添加が必要であった. その場合, Coに関しては反応が触媒的に進行しても, 還元剤由来の副産物が化学量論量以上副生することになり, 原子効率の高い反応とは言えない. 一方, 我々はクリーンな還元剤として, 水素 (H<sub>2</sub>) に着目

図9. Co触媒によるH<sub>2</sub>を還元剤として利用するエンインの還元的環化反応



し検討を行ったところ, エンインやジインの還元的環化反応が1気圧の水素ガス雰囲気下, 良好に進行し, 対応する環化体が高収率で得られることを見出した. 図9に示すように, 本環化反応は, 様々な置換基を持つエンインやジインに適用可能である. 本反応は, コバルタサイクル中間体**32**を經由して進行していると考えられ, 今後さらにコバルタサイクル中間体自身の性質や, (1)に示したシクロブタン合成法にRhの代わりにCo触媒が適用できるかどうかを探索していく予定である.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11件／うち国際共著 1件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Isoda Kaho, Sato Yoshihiro	4. 巻 25
2. 論文標題 Cobalt(I)-Catalyzed Reductive Cyclization of Enynes and Diynes Using Hydrogen Gas as a Reductant	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Organic Letters	6. 最初と最後の頁 2103 ~ 2107
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.orglett.3c00524	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 Onishi Yoshihiro, Takagishi Kazuki, Liu Yi Min, Sato Yoshihiro	4. 巻 -
2. 論文標題 Enantioselective Intramolecular Hydroacylation of Alkynes by Rhodium Catalysis through Dynamic Kinetic Resolution	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Advanced Synthesis & Catalysis	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) 10.1002/adsc.202300206	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 Yabuta Akimasa, Onishi Yoshihiro, Doi Ryohei, Morisaki Kazuhiro, Sato Yoshihiro	4. 巻 47
2. 論文標題 Palladium-catalyzed decarboxylative cyclization of $\alpha$ -acyloxyketones having an allene moiety in the tether	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 New Journal of Chemistry	6. 最初と最後の頁 539 ~ 544
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2NJ04657A	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 Doi Ryohei, Shimizu Koji, Ikemoto Yuma, Uchiyama Masashi, Koshiba Mikiko, Furukawa Atsushi, Maenaka Katsumi, Watanabe Satoshi, Sato Yoshihiro	4. 巻 13
2. 論文標題 Nickel Catalyzed Acyl Group Transfer of $\alpha$ -Alkynylphenol Esters Accompanied by C-O Bond Fission for Synthesis of Benzo[b]furan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ChemCatChem	6. 最初と最後の頁 2086 ~ 2092
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cctc.202001949	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 Doi Ryohei, Hayashi Kanako, Sato Yoshihiro	4. 巻 50
2. 論文標題 Palladium-catalyzed Decarboxylative -Polyfluoroarylation of Ketones	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 1181 ~ 1183
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.210092	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 Oonishi Yoshihiro, Sakamoto Shunki, Agata Shuya, Sato Yoshihiro	4. 巻 53
2. 論文標題 Rhodium(I)-Catalyzed Enantioselective Cyclization of Enynes through Site-Selective C(sp <sup>3</sup> )-H Bond Activation Triggered by Formation of Rhodacycle	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Synthesis	6. 最初と最後の頁 2976 ~ 2983
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1055/a-1469-7408	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 Misawa Souta, Miyairi Asaki, Oonishi Yoshihiro, Sato Yoshihiro, Nolan Steven P.	4. 巻 53
2. 論文標題 Synthesis of , -Unsaturated Esters and Amides via Au(I)-Catalyzed Reactions of Aryl Ynol Ethers or Ynamides with Allylic Alcohols	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Synthesis	6. 最初と最後の頁 4644 ~ 4653
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1055/a-1559-3020	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 Miyairi Asaki, Oonishi Yoshihiro, Sato Yoshihiro	4. 巻 19
2. 論文標題 One-pot synthesis of tetrasubstituted 2-aminofurans via Au-catalyzed cascade reaction of ynamides with propargylic alcohols	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Organic & Biomolecular Chemistry	6. 最初と最後の頁 9396 ~ 9400
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D10B01910D	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26件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 高岸 和輝、劉 宜旻、大西 英博、佐藤 美洋
2. 発表標題 動的速度論的光学分割を経由したRh(I)触媒によるアルキンの分子内不斉ヒドロアシル化反応の開発
3. 学会等名 第33回万有札幌シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大西英博, 宮入愛咲季, 佐藤美洋
2. 発表標題 Au(I)触媒によるカスケード反応を利用したイナミドからの多置換フランの合成
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 本郷伶奈, 大西英博, 佐藤美洋
2. 発表標題 AuおよびZn触媒によるカスケード反応を利用したイナミドからのオキシインドールの合成
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 高岸 和輝、劉 宜旻、大西 英博、佐藤 美洋
2. 発表標題 Rh(I)触媒による分子内不斉ヒドロアシル化反応を利用した環状ケトンの合成
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 林可奈子、土井良平、佐藤美洋
2. 発表標題 パラジウム触媒による 位C-O結合切断を伴うケトンの脱炭酸型 位ポリフルオロアリアル化反応
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 高岸 和輝、劉 宜旻、大西 英博、佐藤 美洋
2. 発表標題 ロジウム触媒(I)による動的速度論的光学分割を経由したアルキンの分子内不斉ヒドロアシル化反応
3. 学会等名 日本化学会第102回春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 長井世梨花、櫻谷宙生、大西英博、佐藤美洋
2. 発表標題 "Rh触媒による4-アレナールとアルキンの[6+2]環化付加反応を利用した Longpene Bの合成研究"
3. 学会等名 日本薬学会 第142年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 磯田夏帆、佐藤美洋
2. 発表標題 水素を還元剤とするコバルト触媒を用いたエンインの還元的環化反応
3. 学会等名 日本薬学会 第142年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小芝 未希子, 土井 良平, 佐藤 美洋
2. 発表標題 Ni触媒を用いたアミドのC - N結合切断を鍵とするインドール合成法の開発
3. 学会等名 日本薬学会第143年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高岸 和輝, 劉 宜旻, 大西 英博, 佐藤 美洋
2. 発表標題 Rh( )触媒による動的速度論的光学分割を利用したアルキンの分子内不斉ヒドロアシル化反応の開発
3. 学会等名 日本薬学会第143年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 本郷 伶奈, 大西 英博, Steven P. Nolan, 佐藤 美洋
2. 発表標題 Au(I)触媒およびZn(II)触媒によるヒドロキシアミドのイナミドへの付加/3,3-シグマトロピー転位を経由するオキシインドールの合成
3. 学会等名 日本薬学会第143年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 本郷伶奈, 大西英博, 佐藤美洋
2. 発表標題 AuおよびZn触媒によるカスケード反応を利用したオキシインドールの開発
3. 学会等名 日本薬学北海道支部 第147回例会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 林可奈子、土井良平、佐藤美洋
2. 発表標題 パラジウム触媒によるケトンの 位フルオロアリール化反応を鍵とする含フッ素ヘテロ環化合物の合成
3. 学会等名 第32回万有札幌シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高岸 和輝、劉 宜旻、大西 英博、佐藤 美洋
2. 発表標題 Rh(I)触媒による動的速度論的光学分割を利用したアルキンの分子内不斉ヒドロアシル化反応
3. 学会等名 日本薬学会 第141回年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 本郷伶奈, 大西英博, Steven P. Nolan, 佐藤美洋
2. 発表標題 Au(I)触媒およびZn(II)触媒によるヒドロキシアミドの イナミドへの付加/3,3-シグマトロピー転位を経由する オキシインドールの合成
3. 学会等名 日本薬学会 第141回年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小芝未希子・土井良平・佐藤美洋
2. 発表標題 Ni錯体を用いたアシル基の転移を伴うインドール合成法の開発研究
3. 学会等名 日本薬学会 第141回年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 縣秀弥、大西英博、佐藤美洋
2. 発表標題 口ダサイクル形成を引き金とするシクロブタノールの炭素-炭素結合切断反応
3. 学会等名 日本薬学会第143年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 安達佑朔、大西英博、佐藤美洋
2. 発表標題 銅触媒による炭素-炭素結合の切断を伴うアルキリデンシクロブタノールと二酸化炭素のカップリング反応
3. 学会等名 日本薬学会第143年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮本公平、川口瑛美子、森崎一宏、佐藤美洋
2. 発表標題 求核的モノフルオロアルキル化の開発
3. 学会等名 日本薬学会第143年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森川諒一、森崎一宏、佐藤美洋
2. 発表標題 -フルオロビニル亜鉛種の生成
3. 学会等名 日本薬学会第143年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 縣秀弥、大西英博、佐藤美洋
2. 発表標題 口ダサイクル形成を引き金とするシクロブタノールのC(sp <sup>3</sup> )-C(sp <sup>3</sup> )結合切断反応
3. 学会等名 日本薬学会第143年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 磯田夏帆、佐藤美洋
2. 発表標題 コバルト触媒を用いた水素を還元剤とする還元的環化反応
3. 学会等名 第51回複素環化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高岸和輝、大西英博、佐藤美洋
2. 発表標題 ロジウム(I)触媒によるアルキンの分子内不斉ヒドロアシル化反応を利用した環状ケトンの合成
3. 学会等名 第51回複素環化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大西英博、宮入愛咲季、本郷伶奈、植田裕紀子、佐藤美洋
2. 発表標題 第48回反応と合成の進歩シンポジウム
3. 学会等名 Au(I)触媒によるイナミドの活性化を基軸とするカスケード反応
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤美洋
2. 発表標題 遷移金属触媒による二酸化炭素をC1ユニットとして利用したカルボキシル化の開発
3. 学会等名 令和4年度 有機合成化学協会東海支部 若手研究者のためのセミナー（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤美洋
2. 発表標題 二酸化炭素をC1ユニットとして用いる有機合成
3. 学会等名 新化学技術推進協会 先端化学・材料技術部会 高選択性反応分科会 講演会（招待講演）
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

精密合成化学研究室ホームページ <a href="http://hokudaigouka.main.jp">http://hokudaigouka.main.jp</a> 北海道大学大学院薬学研究院精密合成化学研究室HP <a href="http://hokudaigouka.main.jp">http://hokudaigouka.main.jp</a>
---

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