

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 4 月 14 日現在

機関番号：34316

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K05426

研究課題名(和文) 時計・反時計回りキラリティーのみを不斉源としたキャビタンド触媒の創出

研究課題名(英文) Development of Inherently Chiral Cavitands for Catalytic Use

研究代表者

岩澤 哲郎 (Iwasawa, Tetsuo)

龍谷大学・先端理工学部・教授

研究者番号：80452655

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：インハラントキラルキャビタンドの人工酵素としての活用を目指し、反応性キャビタンドの新規合成法の開発とそれをベースにした選択的化学変換の達成に取り組んだ。その結果、レゾルシンアレノキノキサリン型化合物を起点にした幅広い新規キャビタンド合成法を見出し、従来にはない不斉分子の創出に成功した。また、アリル基やホスホン酸を化学空隙に持つ反応性キャビタンドの創製に成功し、化学空隙がアリル基の面識別能を持つこと、および、ある種の共役付加反応における求核剤の識別能を持つこと、をそれぞれ新たに見出した。これら知見は、触媒化学との関連において、化学空隙が選択的反応の制御原理になる価値を示すものである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

不斉触媒の研究は過去数十年に渡り行われてきたが、グリーンケミストリーの観点からは未だ成熟していない。そのため、革新的な解決を可能にする新しい概念に依拠した触媒開発が求められてきた。本研究では、アキラルな置換基を時計回りと反時計回りに配置することによって生じるキラリティーのみを不斉源としたキャビタンド触媒の創出に成功し、従来にはない触媒反応場の構築を達成した。この成果の社会性との関わりにおける意義は、環境にやさしい物質合成との関連において、新しい製法・製造原理を生み出す価値を持つ。また、学術との関連において、新しい不斉反応場の概念をベースにしたキラル化学の進展を促す価値を持つ。

研究成果の概要(英文)：Synthetic development of inherent chiral cavitands those enable catalysis unthinkable heretofore has been performed, which aims to find new synthetic methodology and prominent selective transformation: thus, novel protocols that employ quinoxaline-spanned resorcin [4]arenes were established and new chiral molecules unachievable so far were synthesized. When the inherent chiral platform was attempted in epoxidation of tethered allyl groups, the chirality was successfully transferred into the inside allyl substructure. In addition, the inherent chiral phosphoric acid was prepared for making complex with a guest molecule of (2-vinyl)pyridine, and competitive conjugate addition reactions between two nucleophiles were demonstrated: In contrast to control acid reagents, the cavitand typed-acid made the product distribution totally reversed. This new finding indicates the supramolecular space can regulate the chemical selectivity, and will lead us to achieve potent chemical transformations.

研究分野：有機合成化学

キーワード：Inherent キラルキャビタンド キャビタンド触媒 人工酵素 Inherentキラリティー ホスホン酸

## 1. 研究開始当初の背景

不斉触媒は過去数十年間に多くの研究が行われ、現代の医薬品合成等において必要不可欠なツールとなった。しかしグリーンケミストリーの観点からは未だ成熟していないため、単に高いエナンチオ選択性を達成するだけでなく、革新的な解決を可能にする新しい不斉制御機構を見出すことが求められる。化学者はこれまでに、点・軸・面・らせんといった各不斉源を打ち立ててきたが、今後は別の不斉源に基づいた反応場の構築が望まれる。近年の目新しい不斉源としては、超分子化学分野におけるインハラントキラリティー (*J. Inclusion Phenomena. Mol. Recognit. Chem.*, **1994**) やトポロジカルキラリティー (*ACIE*, **2017**) が報告されている。これらの成果は不斉源としては顕著なものであるが触媒作用が明らかでないため、不斉触媒研究へはほとんど展開されていない。特に、インハラントキラリティー (アキラルな置換基を時計・反時計回りに配置することによって得られるキャピタンドのキラリティー) は、1990年頃から断片的に実証されてきたが、不斉触媒や選択的反応に展開されるまでには至っていない。新しい不斉源による化学変換反応の実現が難しいことの傍証である。本研究によって、インハラントキラル化合物の合成や触媒能、および選択性の制御能を明らかにすることができれば、有機合成、特に不斉反応や選択的反応の分子化学研究が新たに展開されることになる。

## 2. 研究の目的

本研究では、アキラルな置換基を時計回りと反時計回りに配置することによって生じるキラリティーのみを不斉源としたキャピタンド化合物を創出し、従来にはない反応場の構築を行う。研究の焦点を、インハラントキラルキャピタンドの合成に据え、これらを用いた不斉触媒反応や化学選択的反応の実現を目指す。本研究によって『時計・反時計回り不斉空間』を実証し、新たな反応場が明らかになると期待される。特に、化学変換における制御機構の代表的な因子として立体的要因と電子的要因が知られているが、この範疇に収まらない全く新しい制御因子の発見と創出を『超分子化学空間』の合成を通して見出すことを狙う。

## 3. 研究の方法

土台となる化合物は、レゾルシンアレン (長鎖アルキル側鎖を持つ) とキノキサリンを母骨格とするキャピタンドに据えた。取り付けるキノキサリン構造の枚数や取り付ける位置、改変の程度が鍵を握ると考えた。また、反応性官能基を内側に向けた新規キャピタンドの調製も重要となる。ただし、官能基の配向については、過去の当研究室の研究結果から、アリル基とホスフィン原子、この二つそれぞれを用いれば、内向性か外向性かを制御できることがわかっていたため、この二つの官能基を礎にして新規キャピタンド合成を行おうと想定した。キノキサリン部位の代わりに反応性官能基を取り付けて空隙の内部において化学変換を行う独特の構造モチーフは、我々が2016年に初めて作り出した (*EJOC*, **2016**)。このモチーフを基礎として「インハラントキラリティー」「疎水性ポケット (化学空隙)」「酸触媒・反応性官能基」を統合した特有の新分子を作ろうと意図した。

## 4. 研究成果

(1)インハラントキラルキャピタンドの疎水性空隙にて実施するアリルシランのエポキシ化反応  
(1)-①多彩なインハラントキラルキャピタンドの新規合成、およびアリルシランを導入した反応性キャピタンドの新規合成：レゾルシンアレンに対してシス位にキノキサリンを2枚取り付けたテトラオール型のキャピタンドをプラットフォームとし、このプラットフォームの1組のジオールを化学修飾してインハラントキラルキャピタンドを調製した。化学修飾の種類としては、メチレン架橋・ピラジン架橋・6位7位置換基導入型ジクロロキノキサリン架橋、の3種類の架橋ユニットを用意した。6位7位置換基導入型ジクロロキノキサリンの置換基の6位と7位の置換基の組み合わせは、二つのメチル基・メチル基と水素原子・フッ素原子と水素原子、の3パターンを準備した。シスキノキサリン型プラットフォームの合成は、オクタオール型レゾルシンアレンに2当量のジクロロキノキサリンをピリジン溶媒中反応させて、22%収率で調製した。収率は低いが大規模合成可能であるので、10グラム以上用意した。このプラットフォームに、プロモクロロメタンやジプロモピラジンやジクロロキノキサリン類縁体などを反応させることで、前述の3種類の化学修飾体を新規に合成した。得られた3種類の誘導体はいずれも1組のジオール体であるから、ジクロロアリルメチルシランを反応させて、望みのアリルシラン体を調製した。このアリルシラン誘導体は、シリカゲルカラム精製によって十分に分離可能な程度であり、アリル基がキャピタンドの内側に向いた構造体と外側に向いた構造体、それぞれを純度よく得ることに成功した。最終的に、10種類の新規なアリルシラン結合型のインハラントキラルキャピタンドを用意することができた。これら10種類の化合物の溶液中の構造について核磁気共鳴分光装置を用いて調べたところ、重クロロホルム溶媒と重トルエン溶媒を用いた場合にはどのキャピタンドも花瓶型構造をとりケイ素原子上のアルキル基やアリル基が化学空隙の内部にて包接されていることがわかった。インハラントキラル空間が確かに形成されていることを示唆するものである。

(1)-②内向性アリルシランおよび外向性アリルシランのエポキシ化反応における反応性と選択性の結果：ある種のアリル基は過酸と適切に反応させると不斉炭素を有する三員環エーテル（エポキシド）を形成する。前記にて用意したアリルシラン部位が過酸と反応して生じるエポキシドは不斉炭素を生じるため、ラセミ体のインハラントキラル化合物を用いれば生成物はジアステレオマーの混合物となり、モル比を調べればインハラントキラリティーの転写の程度を推し量ることが可能である。そこで、過安息香酸を用いて10種類のキャピタンド型アリルシランのエポキシ化反応を行い、ジアステレオマー比を求めた。その結果、反応性に関して、内向性アリル基は外向性アリル基よりも最大で2倍ほど高いことが明らかになった。また、ジアステレオ比（選択性）はメチレン架橋型内向性アリル基とピラジン架橋型内向性アリル基だけが60：40と幅を持った値を示した。ジアステレオ比は概ね50：50に止まり、全く選択性を示さなかった。これらのことから、インハラントキラルキャピタンドの空隙の密閉性は、多少下がったとしても、反応過程をエネルギー的に安定化する効果を十分に保有していること、また、ジアステレオ選択性は空隙の密閉性が下がらない限り発現しないこと、この2点が明確になった。

(1)-③ジベンゾキノキサリンを用いたインハラントキャピタンドの合成と内向性アリルシランの酸化反応における反応性と選択性：空隙の密閉性の制御が鍵であるという示唆を生かし、インハラントキラリティーの増幅を行うキャピタンド化合物を着想した。レゾルシンアレンの8個の水酸基（4組のジオール）のうち、2組のジオールにメチレン架橋を行い、1組のジオールにジベンゾキノキサリンを架橋したジオール化合物である。シス位に2枚のキノキサリンを取り付けたレゾルシンアレンを出発原料として3工程を経て調製し、4ステップ目にジクロロメチルアリルシランを作用させて、望みとする内向性、および外向性アリル基結合型インハラントキラルキャピタンドを用意した。これら2種類のアリル化合物に対して過安息香酸を作用させると、内向性アリル基は84%収率、64：36のジアステレオ比でエポキシドを与えた。このジアステレオ比はこれまでで最も大きな比率となり、インハラントキラリティーを増幅する指針がある程度合っていることが示された。一方、外向性アリル基は想定通り、42%収率、50：50のジアステレオ比の結果に終わった。これらの結果から、高いジアステレオ選択性と化学収率を出すインハラントキラルキャピタンドの傾向は、メチレン架橋のような背丈の低い壁と平面性の高い壁とを併せ持っていることである。また、ジベンゾキノキサリンのような大きな壁が一つあれば（二つも不要という意味）、ある程度のジアステレオ選択性を稼げるということも明らかとなった。キャピタンドの空隙がもつ合成化学的かつ生化学的な意味を理解して今後の新しい触媒や選択的反応を見出す上での指針になると考えられる。

(2)アキラルな置換基によって作られる化学空隙が制御するキャピタンド型ブレンステッド酸触媒による基質選択的な共役付加反応

(2)-①ブレンステッド酸を有するキャピタンド（キノキサリンを3枚有するもの）の合成：レゾルシンアレンの4組のジオール単位のうち3組のジオールに対してジクロロキノキサリン3分子を結合させた既知化合物（3wall キャピタンド）を準備し、残るジオールに対してホスホン酸を取り付ける実験を行った。第一にオキシ三塩化リンをピリジン溶媒中にて反応させて、系中で加水分解を行った。それだけでは満足のいく収率を達成できなかったため、技術的な工夫をいくつか試し、最終的に、遠心分離機を使えば目的物の収率と純度が飛躍的に向上することを見出した。さらに、ピリジンを追加して攪拌することで、3wall型ホスホン酸キャピタンドをホスト分子としたピリジングゲスト分子との1：1ホストゲスト錯体をグラムスケールで得ることができた。この錯体の単結晶を作成してX線による構造解析を行ったところ、キャピティに1分子のピリジンが包接されていること、および酸塩基反応によるピリジニウム塩が形成されていることが明らかとなった。また、核磁気共鳴分光装置を用いて包接ピリジン分子のピークが確認されたことから、液相中においてもホストゲスト錯体が有意に発生していることがわかった。キノキサリン部分を適切に除去することができれば、インハラントキラルキャピタンドを調製できることが強く示唆された。一方、内包されているピリジンを塩酸によって抽出し、遊離ホスホン酸体も首尾よく単離することができた。この遊離ホスホン酸のキャピティに反応性ゲスト分子を取り込んで活性化できれば、反応場としての利用が可能となり、従来にはない化学変換や選択的反応の実施が期待される。そうした観点から、遊離ホスホン酸を数種類の重溶媒中にてプロトンNMRスペクトルを測定し、その包接の定性について調査を行った。重クロロホルムや重塩化メチレンや重アセトン、重ベンゼン溶媒中で測定すると花瓶型構造を示すスペクトルが得られ、キャピティに溶媒分子が包接されていることがうかがえた。これに対し、重トルエン、重パラキシレン、重メシチレンを用いると、無数の同定できない小さなピークが多数認められた。花瓶型構造を取っていないことを示唆するデータも得られた。これらのことから、トルエンやキシレンやメシチレンはホスホン酸型キャピティに包接されていないことがわかった。この分子認識が電子的要因、もしくは立体的要因に支配されているのかについて調査することを狙って、2-ピコリンと2,4,6-トリジンに包接実験を行ったところ、明確に包接されているプロトンNMRスペクトルが得られた。2-ピコリンと2,4,6-トリジンはそれぞれトルエンとメシチレンと類似したサイズの構造を取っていることを含んで考えると、トルエンとメシチレンが包接されなかったのは立体的な要因が影響したのではなく、電子的な要因が強く影響して

いることがわかった。酸塩基対の形成が可能であれば、ホスホン酸型キャピタンドの空隙にはピリジンのような平面性の高いゲスト分子が取り込まれる性質を持つことが明らかになった。

(2)-②キノキサリンを2枚有するタイプのインハラントキラル・非インハラントキラル型ブレンドステッド酸キャピタンドの合成：シス位に2枚のキノキサリン、トランス位に2枚のキノキサリンを有するレゾルシンアレンを合成し、それぞれにおける残る2組のジオール部位にメチレン架橋とホスホン酸を取り付ける実験に臨んだ。その結果、遠心分離機を用いた技術的な工夫を用いることで高い生産性の変換反応が達成され、インハラントキラルキャピタンド型ホスホン酸（シス位に2枚のキノキサリンを持つ）とトランス位に2枚のキノキサリンを持つキャピタンド型ホスホン酸を首尾良く調製することができた。これら2種類の密閉性の低いキャピタンドは、無置換のピリジンだけでなく、重ベンゼン、重トルエン、重キシレン、重メシチレン等の非極性芳香族炭化水素も包接できることを NMR スペクトルデータの取得を通じて確認することができた。空隙の密閉性が高い場合は酸塩基対の相互作用がない限りゲスト分子は包接されないが、密閉性が低い場合は酸塩基対の相互作用がなくともゲスト分子は包接されやすいことが明らかとなった。キノキサリンが3枚か2枚かによって、包接能が大きく変化することがわかる。一方で、化合物の安定性について、3種類のホスホン酸型キャピタンド類は、ピリジンとのホストゲスト錯体であれば1年以上安定であったが、遊離ホスホン酸の場合には、いずれのキャピタンドもわずか1週間程度で定性の変化と薄層クロマトグラフ上およびスペクトル上での分解がはっきりと観察された。ピリジニウム塩の酸解離定数はおよそ5くらいであるが、遊離ホスホン酸の酸解離定数はおよそ1程度であることが関係していると推測される。本化合物類は強酸には弱いことがわかる。

(2)-③キャピタンド型ホスホン酸の共役付加反応における化学選択性の発現：2-ビニルピリジンをマイケルアクセプターとした共役付加反応におけるアニリン求核剤とピラゾール求核剤との競争反応：前記キノキサリン3枚（**1**）、シス位に2枚（**2**）、トランス位に2枚（**3**）を持つ遊離ホスホン酸の触媒としての性能を調べる研究に臨んだ。種々検討の結果、2-ビニルピリジンをマイケルアクセプター、アニリンおよびピラゾールをマイケルドナーとした共役付加反応において、それらマイケルドナーの競争反応を行うと生成物選択性がキャピタンド型ホスホン酸の種類によって大きく変化する現象を見出した。反応条件は、2-ビニルピリジンと等量のホスホン酸を用い、対照ホスホン酸として市販のジフェニルヒドロホスフェートを用いた。第一に、2-ビニルピリジンへのアニリンとピラゾールの競争反応はホスホン酸非存在下において、室温下と45度下において進行しないことを確認した。続いて、対照ホスホン酸を用いた実験では、アニリン付加体とピラジン付加体がそれぞれ66%、10%収率で得られ、45度下では72%、10%収率で得られ、圧倒的にアニリン付加体の方が多く生成した。ホスホン酸（**1**）を用いた場合、アニリン付加体とピラゾール付加体が室温下では61%、9%収率で得られ、45度下では41%、33%収率で得られた。45度下における生成物の収率の差が有意に縮まっていることがわかる。一方、空隙の密閉性が小さいシス型（**2**）を用いるとアニリン付加体とピラゾール付加体がそれぞれ、室温下では29%、40%収率で得られ、45度下でもほとんど同じ29%、42%収率で得られた。また、トランス型（**3**）を用いた場合は、アニリン付加体とピラゾール付加体がそれぞれ、室温下では25%、46%収率、45度下では19%、52%収率で得られた。（**2**）と（**3**）を使用した場合は、対照ホスホン酸を用いた場合とは異なって、生成物の比率が逆転している。また、室温下での反応時間は、（**1**）を用いると72時間を要したが、（**2**）では48時間、（**3**）では24時間となり、徐々に短縮された。45度下での反応時間も同様に、（**1**）を用いると24時間を要したが、（**2**）では20時間、（**3**）では12時間となり、徐々に短くなった。空隙の密閉性を下げると反応性が高くなることは理解できるが、（**2**）と（**3**）における空隙の形の違いが反応時間に及ぼす影響や生成物の比率に及ぼす影響に関しては、詳しい情報が得られていないためよくわかっていない。そこで、用いるホスホン酸の量を2モル%に下げて触媒として利用する実験を行った。2-ビニルピリジンとホスホン酸を室温下15分ほど攪拌して錯形成を行い、その後アニリンとピラゾールを添加した。室温下にて実験を行うと、対照ホスホン酸を用いても、キャピタンド型ホスホン酸を用いても、原料が3日以上残る結果となった。一方、45度下で実験を行うと、対照ホスホン酸を用いると、24時間で原料の2-ビニルピリジンは完全に消失し、アニリン付加体が65%、ピラゾール付加体が22%収率で得られた。アニリン付加体の方が大変多く生成する状況は、量論量の対照ホスホン酸を用いた際の結果と変わっていない。これに対し、空隙の密閉性が高い（**1**）を用いると反応時間90時間を要するものの、対照ホスホン酸を用いた場合の結果と比べてアニリン付加体が14%減少して51%収率、ピラゾール体が11%増加して33%収率と有意な変化を示した。また、密閉性の低いシス型（**2**）を用いると反応時間は54時間に減少し、アニリン付加体は45%収率、ピラゾール付加体は32%収率となり、二つの生成物の収率の差がより一層縮まった。さらに、トランス体（**3**）を用いると反応時間は最も短い48時間まで減少し、アニリン付加体が47%収率まで減少し、ピラゾール付加体が43%収率まで増加し、生成物の比率はおおよそ1:1に近い結果となった。対照ホスホン酸を用いた場合とは大きな変化、違いを見せた。反応時間が減少する様子は、量論反応における様子とほとんど同じであることがわかる。量論量のホスホン酸を用いた場合に比べると生成物の比率の変化の度合いは小さくなったが、触媒量の使用においてもキャ

ビタンドの構造の影響が色濃く反映される結果となった。特に、シス型(2)はインハラントキラルキャビタンドとしての性質を持つため、生成物選択性を与えたという点でも大変興味深い。量論反応と触媒反応におけるこれら実験結果から、対照ホスホン酸を用いた場合とキャビタンド型ホスホン酸を用いた場合とで、明確に生成物の比率が変化した。アニリンとピラゾールそれぞれの分子の違いを認識する機能がキャビタンドには備わっていることを如実に示している。立体的な要因でもなく、また、電子的要因でもない、新しい制御機構が存在していることが強くうかがえる。

(2)-(4)化学選択性を制御する化学空隙の要素とは何か? : 空隙の密閉性の低減を通じた実験的考察: キャビタンド型ホスホン酸(2)や(3)が有する生成物選択性は一体何に起因するのだろうか、という疑問についていくつか検証実験を進めた。第一に、マイケルアクセプターである2-ビニルピリジンとマイケルドナーであるアニリンとピラゾールとを一つのフラスコに入れて混ぜ、そのフラスコにキャビタンド型ホスホン酸(3)を量論量だけ添加し、45度下でマイケル付加反応を実施した。(3)のゲスト認識能について反応性を元に評価することを狙った。すると、原料である2-ビニルピリジンは16時間で消失し、アニリン付加体が17%収率、ピラゾール付加体が56%収率で得られた。この生成物の比率は、あらかじめ(3)と2-ビニルピリジンとをホストゲスト錯形成させた化合物をアニリンとピラゾールの存在するフラスコに加えて得られる生成物の比率(アニリン付加体が19%収率、ピラゾール付加体が52%収率)とほとんど同じである。また、原料であるマイケルアクセプターが消失する時間もほとんど変わらない(16時間と12時間)。このことは、(3)のキャビティにはアニリンやピラゾールよりも2-ビニルピリジンの方が包接されやすいことを示しており、先のマイケル反応における生成物選択性がアニリンのキャビティへの包接の程度やピラゾールの包接の程度には依存していないことを意味している。次に、(3)の持つキノキサリンを1枚だけ除去したホスホン酸型キャビタンド(4)を用意した。この(4)はインハラントキラル構造を取る。(1)から1枚のキノキサリンを除いた(2)や(3)が変化の大きい生成物選択性を与えたことにならない、さらに1枚のキノキサリンを除いたキャビタンド型ホスホン酸(4)を着想した。空隙の密閉性をさらに下げることで、アニリン付加体とピラゾール付加体の生成比や反応時間が(3)に比べて、どう変化するのか、増えるのか、減るのか、について検討した。(4)の合成について、第一に、8個の水酸基を持つレゾルシンアレンから2工程を経て、2枚のキノキサリンがシス位に取り付けられ、2つのメチレン基がシス位に架橋されたレゾルシンアレン誘導体を用意する。次に、カテコールと強塩基を加えてキノキサリンを1枚だけ外しジオール体へと誘導し、最後にオキシ三塩化リンを加えてヒドロホスフェートのピリジニウム塩、すなわち(4・C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>N)を調製した。塩酸を用いてゲストピリジンを抽出し、遊離ホスホン酸(4)の合成に成功した。この(4)を2-ビニルピリジンと1:1のホストゲスト錯体へと変換し、マイケルドナーであるアニリンとピラゾールとを加えて、競争反応をこれまでと同様に行った。その結果、原料の2-ビニルピリジンは室温下24時間で消失し、アニリン付加体が34%収率、ピラゾール付加体が35%収率で得られ、45度下14時間で原料ビニルピリジンは消失し、アニリン付加体が32%収率、ピラゾール付加体が38%収率で得られた。また、触媒量2モル%の(4)を用いて競争反応を行なったところ、原料の2-ビニルピリジンは室温下では原料が大量に残ってしまったが、45度下では48時間で消失し、アニリン付加体が48%収率、ピラゾール付加体が32%収率で得られた。これらの結果から、キャビタンド型ホスホン酸は密閉性を大きく下げてキノキサリンを1枚だけにすると、アニリン付加体の生成量が増加し、ピラゾール付加体の生成量が減少することがわかる。つまり、ピラゾール付加体の生成量を増加させるには、キノキサリン壁が3枚あると多過ぎることになり、逆に1枚であると少な過ぎることになる。これまでのところ2枚のキノキサリン壁の存在がピラゾール付加体の生成量を最大化し、なおかつ、キノキサリン部位は互いに向き合った位置にあることが適切であると言える。単なる立体障害や電子的な要因とは異なる、化学空隙の形やサイズによって反応性や選択性が制御される新しい酵素型制御機構を明確に見出すことができた。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4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 Mami Inoue, Yoshino Fujii, Yasuhiro Matsumoto, Michael P. Schramm, Tetsuo Iwasawa	4. 巻 2019
2. 論文標題 Inherently Chiral Cavitand Curvature: Diastereoselective Oxidation of Tethered Allylsilanes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 European Journal of Organic Chemistry	6. 最初と最後の頁 5862-5874
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/ejoc.201900891	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 Mami Inoue, Shinsuke Kamiguchi, Katto Ugawa, Shaima Hikiri, Jules Bouffard, David Semeril, Tetsuo Iwasawa	4. 巻 2019
2. 論文標題 Evaluation of Catalytic Capability of cis- and trans-Diquinoxaline Spanned Cavitands	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 European Journal of Organic Chemistry	6. 最初と最後の頁 6261-6268
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/ejoc.201901058	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 Yasuhiro Matsumoto, Yuta Taguchi, Naruhiro Yoshida, Shugo Tokai, Tomoyuki Maruyama, Tetsuo Iwasawa	4. 巻 -
2. 論文標題 Introverted Brensted Acid Cavitands for Selective Conjugate Addition Reactions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Supramolecular Chemistry	6. 最初と最後の頁 in press
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/10610278.2021.1981323	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 Shinsuke Kamiguchi, Ryuhei Akasaka, Naruhiro Yoshida, Tomoya Imai, Yousuke Yamaoka, Toru Amaya, Tetsuo Iwasawa	4. 巻 92
2. 論文標題 Relevant Synthesis to Manipulating Non-planarity in Dibenzo[g,p]chrysene: Substitution Reactions at the Bay.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Tetrahedron Lett.	6. 最初と最後の頁 153664
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.tetlet.2022.153664	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5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 丸山知之、岩澤哲郎
2. 発表標題 キャビタンドが持つ分子空隙を利用した選択的金属触媒反応とその構造活性相関
3. 学会等名 日本化学会近畿支部 2020年度北陸地区講演会と研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 丸山知之、岩澤哲郎
2. 発表標題 キャビタンド触媒がもつ分子空隙を利用した位置選択的水和反応とその構造活性相関
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松本甚洋、井上茉美、岩澤哲郎
2. 発表標題 Inherentキラルキャビタンドの立体選択的反応場としての評価
3. 学会等名 第100回日本化学会春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 上口新祐、井上茉美、岩澤哲郎
2. 発表標題 シス/トランス型分子空隙の違いが引き起こす触媒性能の違い
3. 学会等名 第100回日本化学会春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉田匠完、松本甚洋、岩澤哲郎
2. 発表標題 キャタンド型プレnstेटド酸の開発と触媒性能の評価
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

龍谷大学 大学院理工学研究科 物質化学専攻 岩澤研究室  
<http://www.chem.ryukoku.ac.jp/iwasawa/>  
 龍谷大学理工学部岩澤研究室のウェブサイト  
<http://www.chem.ryukoku.ac.jp/iwasawa/>

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		
フランス	Strasbourg University		