

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 27 日現在

機関番号：13904

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01974

研究課題名(和文)カルボキシル基の脱炭酸を利用した官能基変換反応の開拓

研究課題名(英文)Development of Decarboxylative Functionalization Reactions of Carboxylic Acids

研究代表者

柴富 一孝 (Shibatomi, Kazutaka)

豊橋技術科学大学・エレクトロニクス先端融合研究所・教授

研究者番号：00378259

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)：カルボン酸を他の官能基に変換する有機合成手法の開発を行った。主な成果として、ピリジル酢酸類のカルボン酸部分をフッ素原子およびトリフルオロメチルチオ基へ変換する手法を開発した。また、ピリジル酢酸メチルエステルの加水分解によるカルボン酸リチウム塩の合成と続く脱炭酸的フッ素化反応およびトリフルオロメチルチオ化反応をワンポットで行うことにも成功した。さらに、 $\beta$ -ケトカルボン酸の脱炭酸を伴う不斉重水素化反応を高いエナンチオ選択性で達成した。本研究で合成された化合物はいずれも医薬品の部分構造として有用であることから、創薬分野への貢献が期待できる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

カルボン酸は自然界に広く存在しており、安価かつ入手容易な化合物群の一つである。このため、カルボキシル基を一段階で他の官能基に変換する脱炭酸反応は有用な分子変換反応である。今回の研究で筆者は、ピリジン環に隣接するカルボン酸をフッ素系官能基へ容易に変換する手法を開発した。ピリジン環やフッ素系官能基は医薬品の部分構造として極めて重要であることから、本手法の医薬品開発への貢献が期待できる。その他の主な成果として、 $\beta$ -ケトカルボン酸の高エナンチオ選択的重水素化反応に初めて成功した。近年重水素医薬品の開発が注目されていることから、当該分野への貢献を期待している。

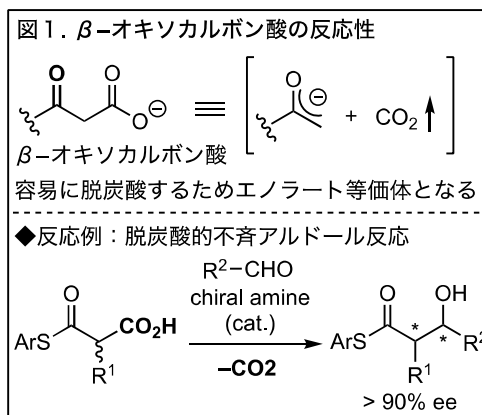
研究成果の概要(英文)：Methods for organic transformation of carboxylic acids via decarboxylation have been developed. First, 2-pyridylacetic acids were converted to 2-fluoromethylpyridines with an electrophilic fluorination reagent. Similarly, transformation of 2-pyridylacetic acids to 2-(trifluoromethylthio)pyridines has also been achieved with an electrophilic trifluoromethylthiation reagent. Next, decarboxylative deuteration of  $\beta$ -ketocarboxylic acids was performed to yield enantioenriched  $\alpha$ -deuterio ketones with high level of enantioselectivity. Fluorinated and deuterated organic molecules are attracted much attention as building blocks of pharmaceutically-relevant compounds. Therefore, compounds synthesized in this study would be useful in drug discovery.

研究分野：有機合成化学

キーワード：脱炭酸反応 有機分子触媒 不斉合成 ピリジン環 重水素化反応 フッ素化反応 ハロゲン化反応

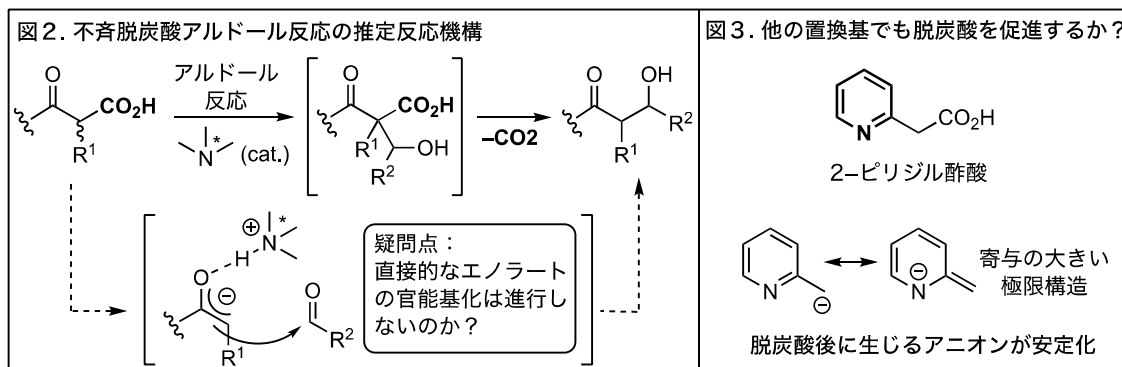
### 1. 研究開始当初の背景

カルボン酸は自然界に広く存在しており、入手容易かつ重要な機能を持つ化合物である。このためカルボキシル基の脱炭酸を伴う官能基変換反応は古くから研究されている。結合エネルギーの大きい炭素-炭素結合の切断を要する反応であることから温和な条件下での実践は容易ではないが、遷移金属触媒や光レドックス触媒を用いた手法が報告されている。しかしながら、これらの手法は往々にして激しい反応条件を必要としていた。また、主にアルキルラジカル中間体を経由して反応が進行することから不斉反応への応用例はほとんどなかった。一方で、 $\beta$ 位にカルボニル基を持つアルキルカルボン酸 ( $\beta$ -オキソカルボン酸) はアミン触媒の存在下で容易に脱炭酸を起こすことが知られており (図1)



キラルアミン触媒を用いた不斉合成への応用も報告されている。カルボキシル基を一段階で不斉官能基化できる興味深い反応であるが、基質適用範囲が限定的であり、反応機構に疑問も残されていた。

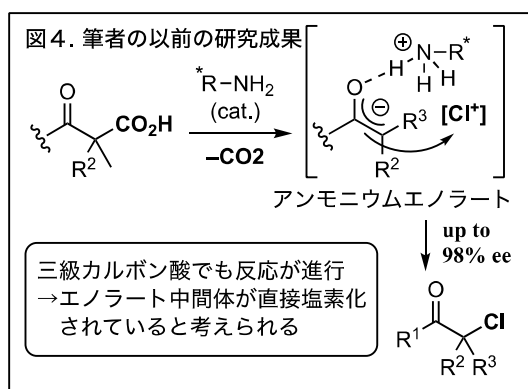
例えば、以前に報告された  $\beta$ -オキソカルボン酸の脱炭酸的不斉アルドール反応では  $\beta$ -オキソカルボン酸の  $\beta$ 位が官能基化されたのちに、脱炭酸を伴うプロトン化が起こり生成物を与えていると考えられていた (図2)。このため、三級カルボン酸 ( $\beta$ 位に四級炭素を持つカルボン酸) で同反応が進行した例はほとんど報告されていなかった。また、図1に示したように、 $\beta$ -オキソカルボン酸は脱炭酸後に生じるカルバニオンが隣接するカルボニル基によって安定化されるため、容易に脱炭酸を起こすと考えられる。しかしながら、 $\beta$ 位にカルボニル基を持たないカルボン酸でも同様の反応が進行するのかを調査した例はほとんどなかった。例えば図3に示す  $\beta$ 位にピリジン環を持つカルボン酸 (2-ピリジル酢酸) であれば脱炭酸後に生じたカルバニオンを安定化できると考えられるが、このようなカルボン酸をアミン触媒で脱炭酸させることができるのかは不明であった。また、従来の不斉反応の成功例はアルドール型もしくは共役付加型の反応に限られていた。ハロゲン化反応など他の求電子剤を用いた反応の可能性についても十分に調査されていなかった。



### 2. 研究の目的

上記の背景を踏まえ、カルボン酸の脱炭酸的不斉官能基化反応の応用範囲の拡大を本研究の目的とした。具体的には、2-ピリジル酢酸類の脱炭酸反応の開発および利用できる求電子剤の範囲調査を行った。

$\beta$ -オキソカルボン酸の脱炭酸的不斉官能基化反応は図2に示した通り、 $\beta$ 位の官能基化と続く脱炭酸のプロトン化の2段階を経て進行していると考えられており、このため三級カルボン酸で同反応が進行した報告はいくつかの特殊な例があるのみであった。一方、筆者は以前に三級-ケトカルボン酸の不斉反応に初めて成功し (図4) 同タイプの反応の反応機構の議論に一石を投じた。本研究はこの知見を基に、同反応に利用できる第三級カルボン酸および求電子剤を調査して反応の一般性を大きく拡大することを目的とした。



本研究はこの知見を基に、同反応に利用できる第三級カルボン酸および求電子剤を調査して反応の一般性を大きく拡大することを目的とした。

### 3. 研究の方法

ピリジル酢酸誘導体を利用した脱炭酸的官能基化反応を検討した。ピリジル酢酸類は脱炭酸後に生じるアニオンがピリジン環内（特に電気陰性度の高い窒素原子上）に非局在化するため（図3）容易に脱炭酸を起こすと考えた。求電子剤としてはハロゲン化剤を利用して検討を行った。ピリジン環は医、農薬品の部分構造として有用であるため、置換ピリジンを簡単に合成する手法の開発は重要な研究課題と言える。さらに、 $\alpha$ -ケトカルボン酸の不斉脱炭酸的官能基化反応において、重水を求電子剤とした重水素化反応を検討した。近年、医薬品の開発研究において重水素化医薬品の利用が注目を集めていることから、不斉炭素上に重水素を立体選択的に導入する手法が開発できれば、当該研究分野へ貢献できると考えた。

### 4. 研究成果

はじめに2-ピリジル酢酸 **1a** を合成し、これを Selectfluor と反応させたところ、目的とするフッ素化体 **2a** が77%収率で得られ、プロトン化体 **3** が15%副生した（図5上式）。検討の中で反応基質である **1a** は熱的にやや不安定であり、常温でゆっくりと脱炭酸を起こして **3** を生じる

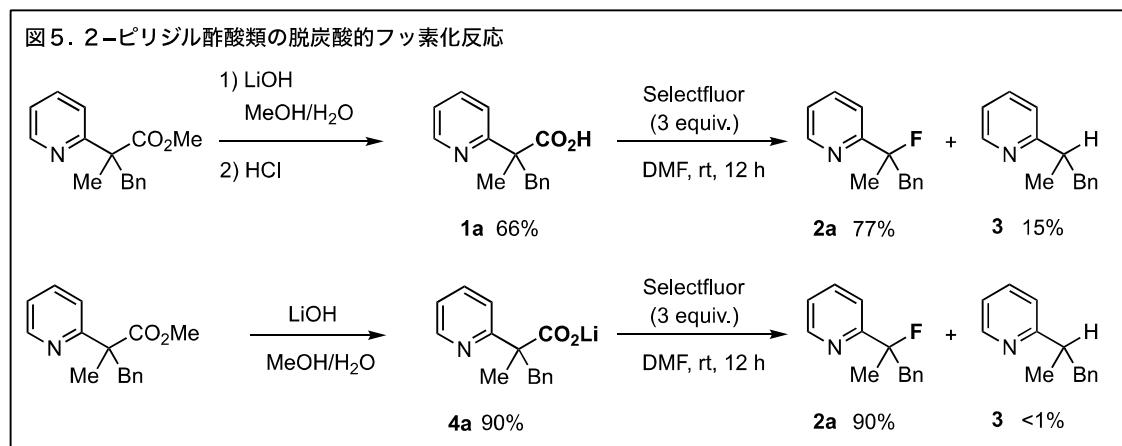


図6. 2-フルオロメチルピリジンのワンポット合成

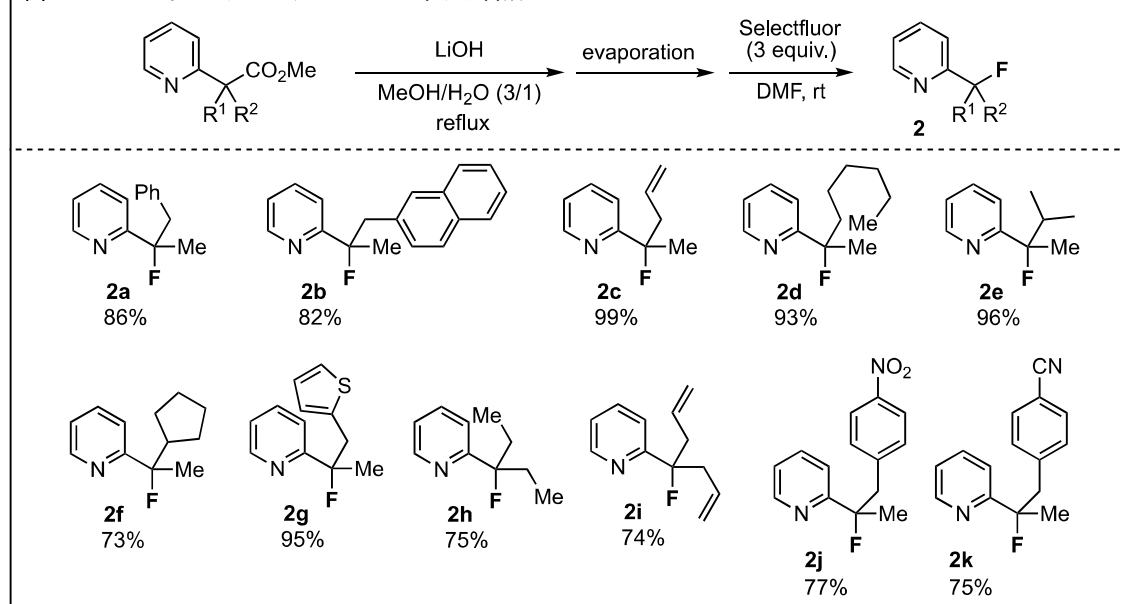
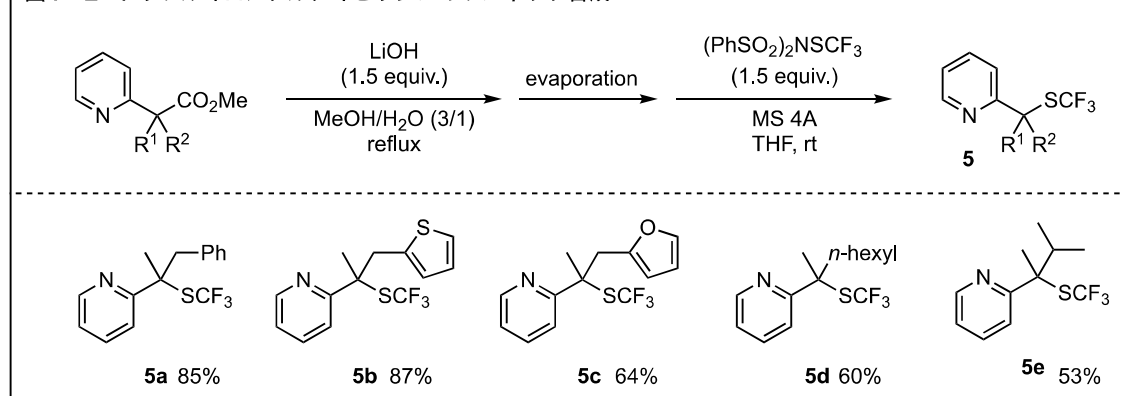


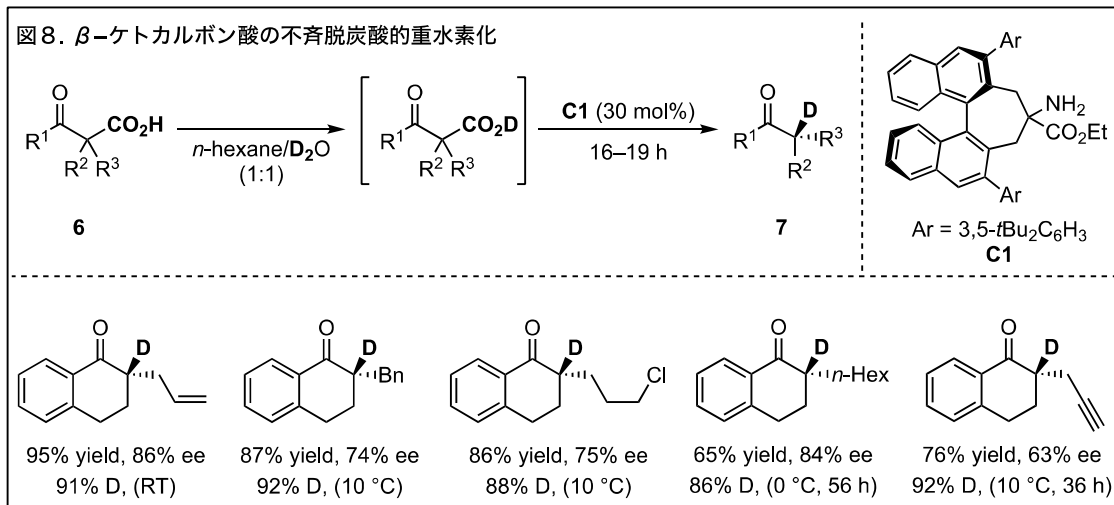
図7. 2-トリフルオロメチルチオピリジンのワンポット合成



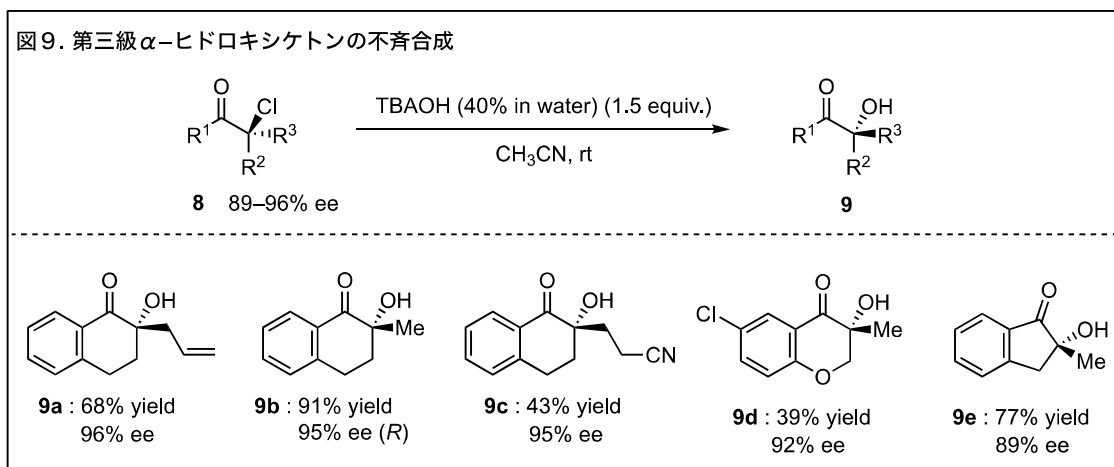
ことがわかった。一方で、2 - ピリジル酢酸リチウム塩 **4a** は熱的に安定であり取り扱いも容易であったため、これを反応基質としてフッ素化反応を行った。その結果 **3** は全く生成せずフッ素化体 **2a** が 90% 収率で得られた (図 5 下式)。さらに、2 - ピリジル酢酸メチルエステルのアルカリ加水分解による **4a** の合成と、続く脱炭酸的フッ素化反応を同一フラスコ内で実践することにも成功した。反応条件の最適化を行なった後に、様々なフルオロメチルピリジン **2** の合成を行なった (図 6)。本研究成果は Chemistry A European Journal 誌に発表した。

また、求電子剤として  $(\text{PhSO}_2)_2\text{NSCF}_3$  を用いることで、ピリジン環の隣接炭素上にトリフルオロメチルチオ基を導入できることを見出した (図 7)。本研究成果は Beilstein Journal of Organic Chemistry 誌に発表した。フルオロメチル基、トリフルオロメチルチオ基はいずれも医薬品候補分子の部分構造として有用であることから、当該分野への応用が期待できる。

次に、脱炭酸的な重水素化反応を検討した。炭素-重水素結合は対応する炭素-水素結合に比べて結合エネルギーが高いため、医薬品の適切な位置に重水素を導入することで代謝安定性が向上する可能性がある。このため近年、医薬品への重水素の導入が注目されているが、重水素を立体選択的に導入する手法の報告例は少ない。はじめに、 $\beta$ -ケトカルボン酸 **6** を合成し、ヘキサン/重水混合溶媒中で 30 分間攪拌することでカルボキシル基の水素を重水素に交換した。続いてキラルアミン触媒で処理することで脱炭酸的な重水素化反応を行なった。種々のキラルアミン触媒および反応条件を検討した結果、30 mol% の触媒 **C1** を用いてヘキサン溶媒中で反応を行なった場合に最も高いエナンチオ選択性で目的の重水素化体 **7** が得られることがわかった。最適条件を用いて種々の重水素化ケトンが高い光学純度で合成することに成功した (図 8)。本研究成果は Chemical Communications に発表した。



さらに、図 4 に示した  $\beta$ -ケトエステルの脱炭酸的塩素化反応を利用した光学活性第三級アルコールの合成を行なった。不斉塩素化反応により合成した  $\beta$ -クロロケトン **8** をアセトニトリル溶媒中でテトラブチルアンモニウムヒドロキシド (TBAOH) と反応させることで S<sub>N</sub>2 反応が円滑に進行して目的とする第三級アルコール **9** が光学純度を損なうことなく得られた (図 9)。通常、S<sub>N</sub>2 反応は四置換炭素上では進行しないが、本反応においては隣接するカルボニル基との軌道相互作用により反応が促進されていると考えている。本研究成果は Molecules 誌に発表した。



## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8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 Mizutani Haruna, Kawanishi Ryouta, Shibatomi Kazutaka	4. 巻 57
2. 論文標題 Enantioselective decarboxylative protonation and deuteration of $\alpha$ -ketocarboxylic acids	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 6676 ~ 6679
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d1cc01610e	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 Kawanishi Ryouta, Nakada Kosuke, Shibatomi Kazutaka	4. 巻 17
2. 論文標題 Decarboxylative trifluoromethylthiolation of pyridylacetates	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Beilstein Journal of Organic Chemistry	6. 最初と最後の頁 229 ~ 233
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3762/bjoc.17.23	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 Kam Mei Kee, Sugiyama Akira, Kawanishi Ryouta, Shibatomi Kazutaka	4. 巻 25
2. 論文標題 Asymmetric Synthesis of Tertiary $\alpha$ -Hydroxyketones by Enantioselective Decarboxylative Chlorination and Subsequent Nucleophilic Substitution	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Molecules	6. 最初と最後の頁 3902 ~ 3902
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/molecules25173902	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 Kitahara Kazumasa, Mizutani Haruna, Iwasa Seiji, Shibatomi Kazutaka	4. 巻 51
2. 論文標題 Asymmetric Synthesis of $\alpha$ -Chloro- $\beta$ -halo Ketones by Decarboxylative Chlorination of $\alpha$ -Halo- $\beta$ -ketocarboxylic Acids	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Synthesis	6. 最初と最後の頁 4385 ~ 4392
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1055/s-0039-1690009	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 Kawanishi Ryouta, Hattori Shinya, Iwasa Seiji, Shibatomi Kazutaka	4. 巻 24
2. 論文標題 Amine-Catalyzed Decarboxylative Aldol Reaction of $\alpha$ -Ketocarboxylic Acids with Trifluoropyruvates	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Molecules	6. 最初と最後の頁 2773 ~ 2773
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/molecules24152773	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 Kawanishi Ryouta, Phongphane Lacksany, Iwasa Seiji, Shibatomi Kazutaka	4. 巻 25
2. 論文標題 Decarboxylative Fluorination of 2-Pyridylacetates	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemistry - A European Journal	6. 最初と最後の頁 7453 ~ 7456
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.201900565	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 Naruse Atsushi, Kitahara Kazumasa, Iwasa Seiji, Shibatomi Kazutaka	4. 巻 8
2. 論文標題 Synthesis of $\alpha$ -Fluoroenones by Elimination of $\alpha$ -Chloro $\alpha$ -fluoroketones	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Asian Journal of Organic Chemistry	6. 最初と最後の頁 691 ~ 693
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ajoc.201900072	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 Shibatomi Kazutaka, Katada Misaki, Kitahara Kazumasa, Iwasa Seiji	4. 巻 29
2. 論文標題 Catalyst-Free Decarboxylative Fluorination of Tertiary $\alpha$ -Keto Carboxylic Acids	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Synlett	6. 最初と最後の頁 2408 ~ 2411
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1055/s-0037-1611019	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30件（うち招待講演 6件 / うち国際学会 7件）

1. 発表者名 柴富一孝
2. 発表標題 新奇的構造を持つ医薬原料の創製
3. 学会等名 令和3年度豊橋技術科学大学エレクトロニクス先端融合研究所シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 柴富一孝
2. 発表標題 新規キラルアミン触媒反応の開発と不斉反応への応用
3. 学会等名 第126回触媒討論会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 杉山瑛，安藤若菜，河西遼大，柴富一孝
2. 発表標題 分子内SN2反応を鍵としたスピロ構造を内包する多環式化合物の合成
3. 学会等名 日本化学会第102回春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 河西遼大，酒井雅輝，柴富一孝
2. 発表標題 パラジウム触媒を用いた - ケトアリルエステルの脱炭酸的フッ素化反応
3. 学会等名 第44回フッ素化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 貝沼健成, 北原一利, 柴富一孝
2. 発表標題 銅触媒を用いた -クロロ- -フルオロ- , -不飽和エステルのアリル位置換反応
3. 学会等名 第44回フッ素化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 貝沼健成, 北原一利, 柴富一孝
2. 発表標題 銅触媒を用いたキラル3-クロロ-3-フルオロプロペン誘導体の立体特異的アリル位アルキル化反応
3. 学会等名 第52回中部化学関係学協会支部連合秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 貝沼健成, 北原一利, 柴富一孝
2. 発表標題 キラル 3-クロロ-3-フルオロプロペン誘導体の SN2' 型反応によるフルオロアルケン類の不斉合成
3. 学会等名 第43回フッ素化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 河西 遼大, 服部 信哉, 柴富 一孝
2. 発表標題 トリフルオロピルビン酸エステルをアルドール受容体とする第三級 ケトカルボン酸の脱炭酸的アルドール反応
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 水谷 春菜, 柴富 一孝
2. 発表標題 キラルー級アミン触媒を用いた ケトカルボン酸の不斉脱炭酸的プロトン化反応および重水素化反応
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 河西 遼大, Phongphane Lacksany, 中田 康介, 柴富 一孝
2. 発表標題 カルボキシル基の脱炭酸的官能基化反応による含窒素ヘテロ環化合物へのフッ素系官能基の導入
3. 学会等名 第42回フッ素化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazutaka Shibatomi
2. 発表標題 Decarboxylative fluorination and trifluoromethylthiolation of carboxylic acids
3. 学会等名 France-Japan Joint Symposium on Organofluorine Chemistry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 河西 遼大, Phongphane Lacksany, 中田 康介, 岩佐精二, 柴富 一孝
2. 発表標題 ピリジル酢酸類の脱炭酸的官能基化反応
3. 学会等名 第9回CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 柴富一孝
2. 発表標題 カルボン酸の脱炭酸を伴う官能基変換反応
3. 学会等名 第3回日本プロセス化学会東海地区フォーラム (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 河西 遼大, Phongphane Lacksany, 中田 康介, 岩佐 精二, 柴富 一孝
2. 発表標題 脱炭酸ハロゲン化反応を利用した第三級ハロアルキルピリジン類の合成
3. 学会等名 第36回有機合成化学セミナー
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryouta Kawanishi, Lacksany Phongphane, Koji Nakata, Seiji Iwasa, Kazutaka Shibatomi
2. 発表標題 Catalyst-free Decarboxylative functionalization of Lithium Pyridylacetate
3. 学会等名 The 4th International Symposium on Process Chemistry (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 R. Kawanishi, L. Phongphane, S. Iwasa, K. Shibatomi
2. 発表標題 Decarboxylative fluorination of lithium 2-pyridylacetates
3. 学会等名 24th Winter Fluorine Conference (Division Meeting of American Chemical Society, Division of Fluorine Chemistry) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Kitahara, R. Kawanishi, M. K. Kam, S. Iwasa, K. Shibatomi
2. 発表標題 Enantioselective Decarboxylative Halogenation of $\alpha$ -keto Acids
3. 学会等名 The 14th International Kyoto Conference on New Aspects of Organic Chemistry (IKCOC-14) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Shibatomi
2. 発表標題 Synthesis of organofluorides via decarboxylation of alkyl carboxylic acids
3. 学会等名 1st International Symposium of Soft Molecular Activation Research Center (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Shibatomi
2. 発表標題 Synthesis of organofluorides via decarboxylation of alkyl carboxylic acids
3. 学会等名 22nd International Symposium on Fluorine Chemistry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 R. Kawanishi, S. Iwasa, K. Shibatomi
2. 発表標題 Enantioselective decarboxylative aldol reaction of $\alpha$ -ketocarboxylic acids with trifluoromethyl ketones
3. 学会等名 22nd International Symposium on Fluorine Chemistry (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 河西遼大, Phongphane Lacksany, 岩佐精二, 柴富一孝
2. 発表標題 脱炭酸的フッ素化反応によるフッ素ヘテロ環化合物の合成
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中田康介, 岩佐精二, 柴富一孝
2. 発表標題 ビリジル酢酸誘導体の脱炭酸的トリフルオロメチルチオ化反応
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kam Meikee, 岩佐精二, 柴富一孝
2. 発表標題 キラル $\alpha$ -クロロケトンのSN2反応による $\beta$ -ヒドロキシケトンの不斉合成
3. 学会等名 2018ハロゲン利用ミニシンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 水谷春菜, 岩佐精二, 柴富一孝
2. 発表標題 キラルアミン触媒を用いた $\alpha$ -ケトカルボン酸の不斉脱炭酸的プロトン化反応
3. 学会等名 第11回有機触媒シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 河西遼大, Phongphane Lacksany, 岩佐精二, 柴富一孝
2. 発表標題 2-ビリジル酢酸誘導体の脱炭酸的フッ素化反応
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
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 服部信哉, 河西遼大, 岩佐精二, 柴富一孝
2. 発表標題 -ケトカルボン酸とトリフルオロピルビン酸エステルの脱炭酸的不斉アルドール反応
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
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 河西遼大, Phongphane Lacksany, 岩佐精二, 柴富一孝
2. 発表標題 ビリジル酢酸アニオンの脱炭酸的フッ素化反応による2-フルオロアルキルピリジン類の簡便合成
3. 学会等名 第41回フッ素化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 成瀬敦司, 北原一利, 岩佐精二, 柴富一孝
2. 発表標題 脱炭酸的塩素化反応を利用した -フルオロエノンの新規合成法の開発
3. 学会等名 第8回CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 倉田悠里, 佐々木希, 岩佐精二, 柴富一孝
2. 発表標題 キラル α-クロロ-β-ケトエステルのFavorskii転移反応
3. 学会等名 第8回CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 河西遼大, 安部春菜, 片田美沙希, 岩佐精二, 柴富一孝
2. 発表標題 α-オキソカルボン酸およびピリジル酢酸類の脱炭酸的フッ素化反応
3. 学会等名 第113回有機合成シンポジウム2018
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 柴富一孝	4. 発行年 2018年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 317
3. 書名 有機フッ素化合物の最新動向 1-1 最近のフッ素化剤動向	

1. 著者名 Kazutaka Shibatomi	4. 発行年 2018年
2. 出版社 Elsevier	5. 総ページ数 390
3. 書名 Late-Stage Fluorination of Bioactive Molecules and Biologically-Relevant Substrates, 1st Edition: Chapter 4. Enantioselective fluorination	

1. 著者名 柴富 一孝	4. 発行年 2021年
2. 出版社 数研出版	5. 総ページ数 288
3. 書名 フォトサイエンス化学図録 「特集 科学で考える3 "分子の設計と合成"」	

〔産業財産権〕

〔その他〕

豊橋技術科学大学 柴富研究室HP <a href="https://chem.tut.ac.jp/orgchem/">https://chem.tut.ac.jp/orgchem/</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
研究分担者	木村 力  (Kimura Tsutomu)  (40452164)	東京理科大学・理学部第二部化学科・講師    (32660)	

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