

令和 3 年 6 月 10 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K05116

研究課題名(和文)革新的炭素-フッ素結合活性化法の開発

研究課題名(英文) Innovative Methodologies for Carbon-Fluorine Bond Activation

研究代表者

藤田 健志 (FUJITA, Takeshi)

筑波大学・数理物質系・助教

研究者番号：60603066

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)：炭素-フッ素結合は安定な結合であるため、これを切断しながら化学変換を行うのは困難とされてきた。これに対して、金属を用いるフッ素脱離や酸を用いるHF脱離に注目し、穏和な反応条件下でのC-F結合活性化法を開発した。フルオロアルケンを基質とすることで、金属による -フッ素脱離を酸化的環化、求核付加、あるいはメタラシクロプロパン化と組み合わせ、付加価値の高い含フッ素ヘテロ環化合物を合成することができた。さらに、フルオロアレンに対して適切な酸を用いることで、求電子付加と続くHFの脱離によって、アレンとの分子間C-F/C-Hカップリングを達成した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

炭素-フッ素結合は安定な結合であるため、これを切断するには加熱などの過酷な条件が必要であった。これに対して本研究課題では、金属を用いる -フッ素脱離や酸を用いるHF脱離を鍵とする種々のC-F結合活性化法を開発してきた。これらの反応はいずれも、穏和な反応条件下でC-F結合を切断するだけでなく、複雑な骨格を持つ含フッ素化合物の構築法となった。このことは、学術的に意義深い革新的なC-F結合活性化法を提供できたと考えている。また、複数のフッ素を持つ基質の選択的なC-F結合活性化により、医薬品や材料として有望な含フッ素化合物を効率的に合成できたため、今後の応用研究にこれらを提供できる。

研究成果の概要(英文)：Because carbon-fluorine bonds are stable bonds, it has been difficult to carry out chemical transformations while cleaving them. In contrast, focusing on fluorine elimination using metals and HF elimination using acids, I developed a C-F bond activation method under mild reaction conditions. By using fluoroalkenes as substrates, metal-mediated -fluorine elimination was combined with oxidative cyclization, nucleophilic addition, or metalcyclopropanation to produce high-value-added fluorine-containing heterocyclic compounds. Furthermore, an intermolecular C-F/C-H coupling was achieved by HF elimination followed by electrophilic addition on treatment of fluoroarenes with arenes in the presence of an appropriate acid.

研究分野：有機合成化学

キーワード：有機合成化学 フッ素 触媒

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

炭素-フッ素 (C-F) 結合は、高い結合エネルギーを持つ安定な化学結合である。このため、C-F 結合切断を伴う化学変換 (C-F 結合活性化) は困難とされてきた。近年では、遷移金属による酸化的付加を利用した C-F 結合の切断法がいくつか開発されているものの、不活性な C-F 結合を切断するには、一般に過酷な反応条件が必要とされている。

これに対し研究代表者は、金属を用いるβ-およびα-フッ素脱離や酸を用いる HF 脱離に注目し、穏和な反応条件下での C-F 結合活性化法を開発した。有機金属化合物において金属のβ-あるいはα炭素上にフッ素置換基が存在すると、フッ素が脱離して金属-フッ素結合を生じ、同時に炭素-炭素二重結合 (β-フッ素脱離) や炭素-炭素単結合 (α-フッ素脱離) が生成する。また、プロトン化で生じるフッ素によって安定化されたα-カルボカチオンは、求核剤との反応に引き続き脱 HF が進行する (HF 脱離)。これらの反応ではいずれも、新たな C-C (または C-N) 結合を生成した後に、穏和な条件でフッ素脱離が進行する。研究代表者は、酸化的環化あるいは求電子付加にフッ素脱離を組み合わせ、選択的なアリル位、ビニル位、および芳香族 C-F 結合の系統的活性化法を開発してきた。

2. 研究の目的

上記のフッ素脱離を用いる反応は基質や反応形式が限られており未だ汎用性に乏しく、これらを活用した合成化学は発展途上の分野と言える。例えば、金属を用いるフッ素脱離では、フッ素脱離過程と組み合わせる金属特有の素反応過程も限られていた。また、α-カルボカチオンを経る HF 脱離の反応は、分子内反応のみを対象としている。また、近年では含フッ素化合物が入手容易になったため、その効率的な変換法も強く望まれている。本研究課題では、様々な含フッ素基質を用いてβ-およびα-フッ素脱離や酸を用いる HF 脱離を活用する反応をさらに開発し、炭素-フッ素結合活性化の一般的手法として確立する。

3. 研究の方法

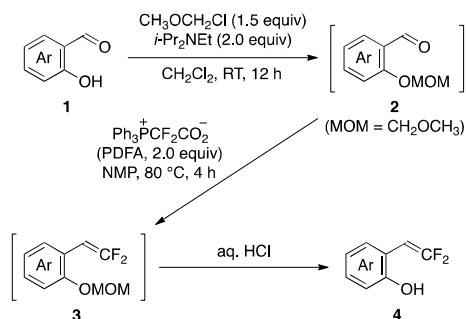
β-およびα-フッ素脱離や酸を用いる HF 脱離の新規活用法を見出し、C-F 結合活性化の新技术を種々開発した。酸化的環化、求核付加、あるいはメタラシクロプロパン化といった金属特有の素反応過程とフッ素脱離とを組み合わせ、フッ素を脱離しながら新たな骨格を構築する手法を開発した。

4. 研究成果

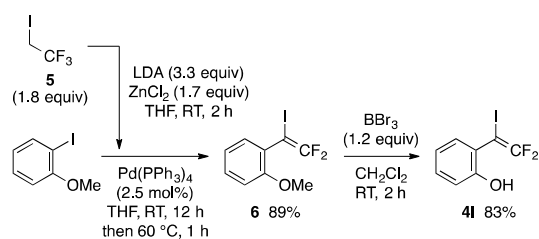
(1) 求核付加とβ-フッ素脱離による 5-endo-trig 環化：2-フルオロベンゾフランの合成

分子内反応のなかでも五員環構築に有望な 5-endo-trig 環化は、反応点どうしが十分な角度を保てないため、環化の経験則である Baldwin 則で不利とされている。しかし、ヒドロキシ基を有するβ,β-ジフルオロスチレンに適切な塩基を作用させることで、フッ素の脱離を伴う 5-endo-trig 環化を達成し、種々の 2-フルオロベンゾフランを合成した。

まず、β,β-ジフルオロスチレンの調製を行なった。種々の置換基を有するサリチルアルデヒド **1** を出発原料とし、ヒドロキシ基のメトキシメチル保護、ホルミル基のジフルオロメチレン化、および脱保護をワンポットで行なうことで、α位が無置換のβ,β-ジフルオロスチレン **4** を合成した (Scheme 1)。また、3,3,3-トリフルオロエチルヨードから生成するジフルオロヨードビニル亜鉛反応剤と *o*-ヨードアニソールのカップリングと続く脱メチル化により、β,β-ジフルオロα-ヨードスチレン **4I** を調製した (Scheme 2)。

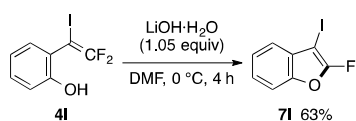


Scheme 1. β,β-ジフルオロスチレン **4** の調製

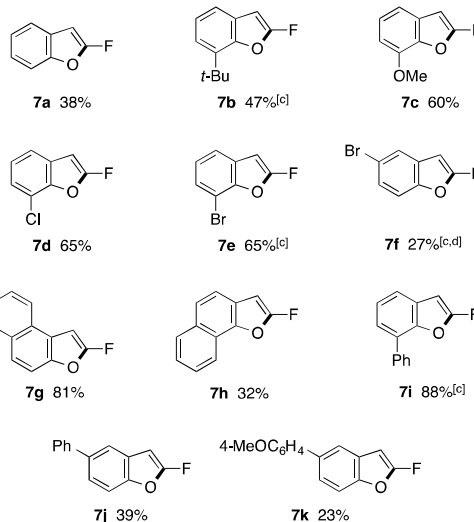
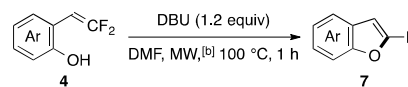


Scheme 2. **4I** の調製

α 位が無置換の β,β -ジフルオロスチレン **4** に対して、*N,N*-ジメチルホルムアミド (DMF) 溶媒中ジアザピシクロウンデセン (DBU) を作用させたところ、5-*endo-trig* 環化が進行し、3 位に置換基を持たない 2-フルオロベンゾフラン **7** が高収率で得られた (Scheme 3)。電子供与基やハロゲン置換基を持つ β,β -ジフルオロスチレン **4** でも、置換基の位置によらず問題無く反応が進行した。 β,β -ジフルオロ- α -ヨードスチレン **4l** の場合は、水酸化リチウム-水和物を用いた際、最もよい収率で対応する 2-フルオロベンゾフラン **7l** を合成できた (Scheme 4)。



Scheme 4. **7l** の合成



[a] Isolated yield, [b] Under microwave irradiation, [c] 20 min, [d] Nitromethane was used as a solvent. MS 3A was added.

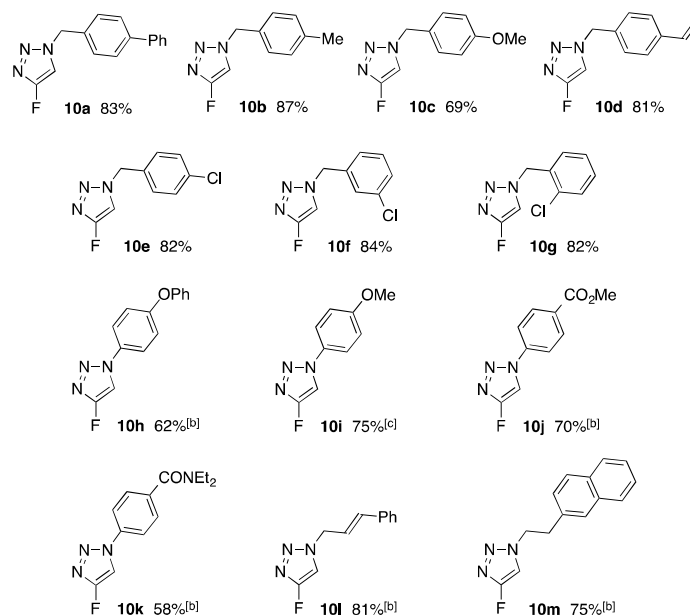
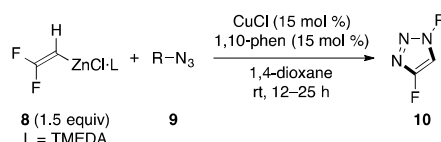
Scheme 3. 2-フルオロベンゾフラン **7** の合成^[a]

(2) 酸化的環化と β -フッ素脱離による[3 + 2]環化：4-フルオロトリアゾールの合成

フルオロアセチレンは有望な含フッ素ビルディングブロックであるが、調製が難しく不安定であるため、フルオロアセチレンの化学は未発展である。一方研究代表者は、調製容易で安定な 2,2-ジフルオロビニル亜鉛-ジアミン錯体を開発し、これを求核剤とするカップリング反応を達成してきた。ここでは、ジフルオロビニル亜鉛反応剤から β -フッ素脱離が進行するとフルオロアセチレンとなることから、この反応剤がフルオロアセチレン等価体になると想定し、銅触媒存在下での有機アジドとの脱フッ素[3 + 2]環化を検討した。

種々の条件検討の結果、触媒量の塩化銅 (I) および 1,10-フェナントロリン存在下でジフルオロビニル亜鉛反応剤 **8** と有機アジド **9** を反応させると、脱フッ素[3 + 2]環化が効率的に進行し、4-フルオロトリアゾール **10** が高収率で得られた (Scheme 5)。ベンジルアジドだけでなく、アリール、アリル、あるいはアルキルアジドを用いても反応は円滑に進行し、対応する 4-フルオロトリアゾールを与えた。

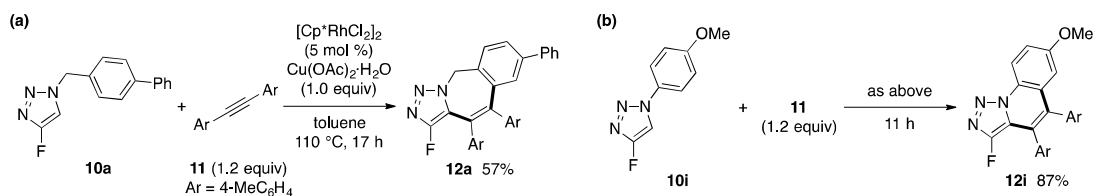
さらに、得られたベンジルアジド **10a** やアリールアジド **10i** に対して、ロジウム触媒化でアルキン **11** を作用させると、C-H 結合活性化を経る環化反応が進行した (Scheme 6)。これにより、七員環あるいは六員環が構築され三環式のフッ素置換ヘテロ環化合物 **12a**, **12i** をそれぞれ



[a] Isolated yield, [b] (2.5 equiv) was used, [c] (2.5 equiv), CuCl (30 mol %), and 1,10-phen (30 mol %) were used.

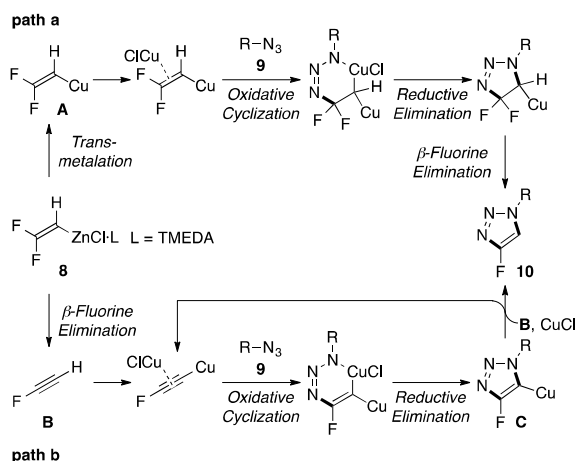
Scheme 5. 4-フルオロトリアゾール **10** の合成^[a]

合成することができた。



Scheme 6. フッ素置換三環式化合物 **12** の合成

この反応の機構は、次のように考えている (Scheme 7)。まず、ジフルオロビニル亜鉛反応剤 **8** が銅触媒との金属交換によって、ジフルオロビニル銅 **A** となる。さらに銅を介して、**A** と有機アジド **9** が酸化的環化を起こしてメタラサイクルを与え、続く還元的脱離およびβ-フッ素脱離によって、生成物 **10** を与える (path a)。一方この反応では、次の機構も考えている。最初に **8** からのβ-フッ素脱離によって、フルオロアセチレン **B** が生成する。銅を介した **B** と **9** の酸化的環化が起こり、続く還元的脱離およびプロトン化によって、**10** を与えると考えられる (path b)。

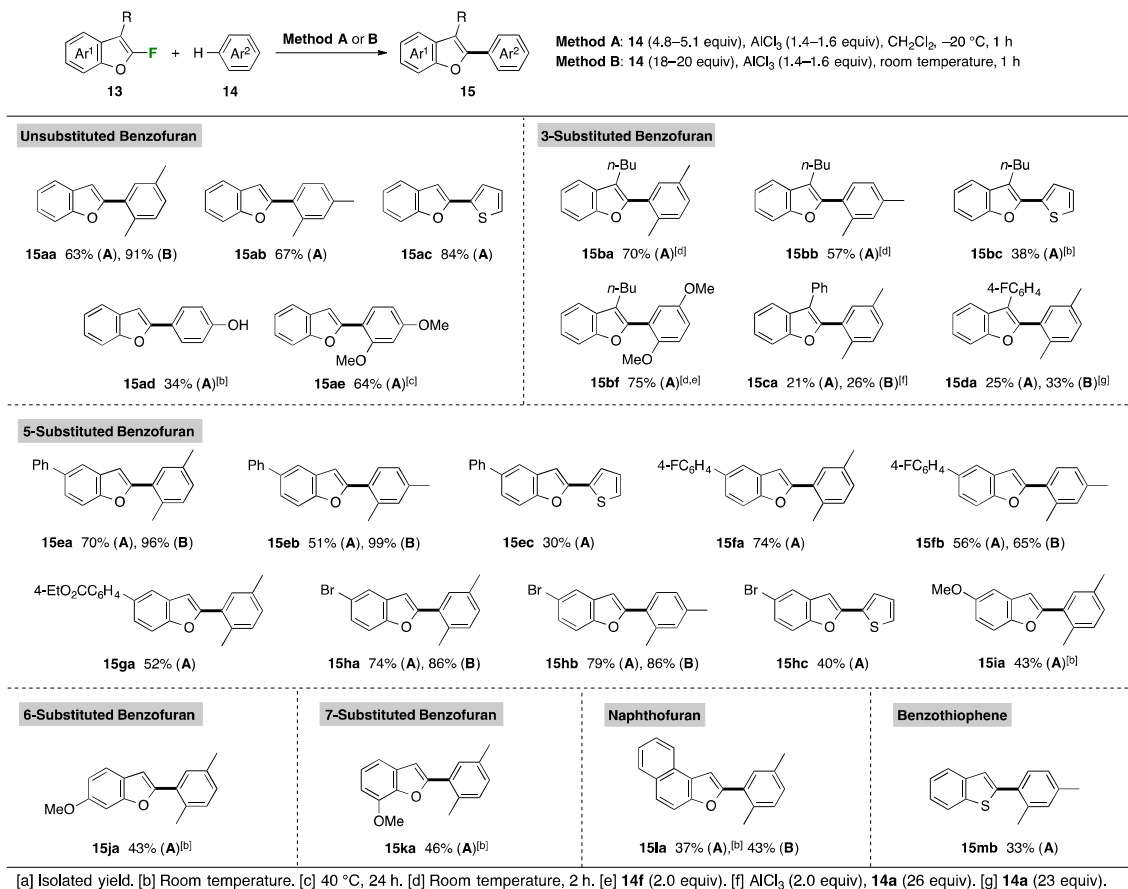


Scheme 7. 推定反応機構

(3) 求電子付加と HF 脱離による分子間 C-F/C-H クロスカップリング

遷移金属触媒を用いた芳香環どうしのカップリングは、有用な合成化学的手法として長らく重用されてきた。最近では、遷移金属を用いない C-X/C-H (X はハロゲン) による芳香環連結法も報告されるようになってきたが、フッ化アリアルルのフッ素の脱離を伴う C-F/C-H カップリングは報告例がなかった。ここでは、フッ化アリアルルに酸を作用させることで生じるカルボカチオンを鍵中間体として、求電子付加と続く HF 脱離による芳香環連結法を開発した。

塩化アルミニウム存在下、2-フルオロベンゾフラン **13** に対してアレーン **14** を作用させると、2-アリアルベンゾフラン **15** が得られた (Scheme 8)。この反応では、多様なベンゾフランと電子豊富なアレーンを組み合わせることが可能であった。



Scheme 8. 2-アリールベンゾフラン 15 の合成

以上のように、フッ素脱離法を用いて、新たな C–F 結合活性化法を開発した。得られる含フッ素化合物は、医農薬や材料としての応用が期待できる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Fujita Takeshi, Shoji Noriaki, Yoshikawa Nao, Ichikawa Junji	4. 巻 17
2. 論文標題 Helicene synthesis by Bronsted acid-catalyzed cycloaromatization in HFIP [(CF ₃) ₂ CHOH]	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Beilstein Journal of Organic Chemistry	6. 最初と最後の頁 396 ~ 403
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3762/bjoc.17.35	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 Fujita Takeshi, Takeishi Masafumi, Ichikawa Junji	4. 巻 22
2. 論文標題 Copper-Catalyzed [3 + 2] Annulation of Azides with a (Difluorovinyl)zinc Complex, Fluoroacetylene Equivalent	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Organic Letters	6. 最初と最後の頁 9253 ~ 9257
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.orglett.0c03476	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 Morioka Ryutaro, Fujita Takeshi, Ichikawa Junji	4. 巻 103
2. 論文標題 Facile Synthesis of 2-Fluorobenzofurans: 5-endo-trig Cyclization of α , β -Difluoro α -hydroxystyrenes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Helvetica Chimica Acta	6. 最初と最後の頁 e2000159
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/hlca.202000159	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 Fujita Takeshi, Ide Keisuke, Jankins Tanner C., Nojima Tomoya, Ichikawa Junji	4. 巻 8
2. 論文標題 Synthesis of 3-(Trifluoromethyl)indoles by Oxidative Cyclization of α -Sulfonamido (trifluoromethyl)styrenes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Asian Journal of Organic Chemistry	6. 最初と最後の頁 637 ~ 640
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ajoc.201900061	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 Takahashi Ikko, Fujita Takeshi, Shoji Noriaki, Ichikawa Junji	4. 巻 55
2. 論文標題 Bronsted acid-catalysed hydroarylation of unactivated alkynes in a fluoroalcohol/hydrocarbon biphasic system: construction of phenanthrene frameworks	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 9267 ~ 9270
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9CC04152D	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 Kubo Teruhiko, Fujita Takeshi, Ichikawa Junji	4. 巻 49
2. 論文標題 Nickel-catalyzed [4 + 2] Cycloaddition of Styrenes with Arynes via 1:1 Cross-coupling: Synthesis of 9,10-Dihydrophenanthrenes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 264 ~ 266
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.190906	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 Takeshi Fujita, Ryutaro Morioka, Tomohiro Arita, Junji Ichikawa	4. 巻 54
2. 論文標題 sp ³ Carbon-Fluorine Bond Activation in 2,2-Difluorohomoallylic Alcohols via Nucleophilic 5-endo-trig Cyclisation: Synthesis of 3-Fluorinated Furan Derivatives	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 12938-12941
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C8CC04643C	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 淵辺耕平、藤田健志、市川淳士	4. 巻 76
2. 論文標題 ピンポイントフッ素化多環式芳香族炭化水素 (F-PAH) : フルオロアルケンの求電子的活性化による合成と性質	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 有機合成化学協会誌	6. 最初と最後の頁 938-953
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5059/yukigoseikyokaisi.76.938	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 Takeshi Fujita, Masahiro Hattori, Masaaki Matsuda, Ryutaro Morioka, Tanner C. Jenkins, Masahiro Ikeda, Junji Ichikawa	4. 巻 75
2. 論文標題 Nucleophilic 5-endo-trig cyclization of 2-(trifluoromethyl)allylic metal enolates and enamides: Synthesis of tetrahydrofurans and pyrrolidines bearing exo-difluoromethylene units	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Tetrahedron	6. 最初と最後の頁 36-46
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tet.2018.11.011	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 Takeshi Fujita, Kohei Fuchibe, Junji Ichikawa	4. 巻 58
2. 論文標題 Transition Metal-Mediated and -Catalyzed C-F Bond Activation via Fluorine Elimination	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 390-402
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201805292	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22件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 森岡龍太郎、福田拓也、藤田健志、市川淳士
2. 発表標題 酸を用いるベンゾフランとアレーンのC-F/C-Hカップリング
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 藤田健志
2. 発表標題 回収フロンの直接的化学変換による再利用法
3. 学会等名 環境研究総合推進費課題アドバイザーボード会合 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 樋田源太郎、森岡龍太郎、藤田健志、市川淳士
2. 発表標題 酸による炭素-フッ素結合の活性化を利用したジフルオロペンタジエンのNazarov型環化
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 森岡龍太郎、在田知央、藤田健志、市川淳士
2. 発表標題 フルオロアルケンの求核的5-endo-trig環化による環フッ素化フラン類の合成
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 藤田健志
2. 発表標題 フッ素脱離の制御を鍵とする含フッ素化合物の変換法
3. 学会等名 有機合成化学協会「Mukaiyama Award・奨励賞」受賞講演会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤田健志、鈴木直人、福田拓也、市川淳士
2. 発表標題 酸を用いた炭素-フッ素結合活性化を経る多環式芳香族炭化水素の合成法
3. 学会等名 第115回有機合成シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤田健志
2. 発表標題 回収フロンの直接的化学変換による再利用法
3. 学会等名 環境研究総合推進費新規課題キックオフ会合（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤田健志
2. 発表標題 フロンガスの有効再利用を指向した触媒的炭素-フッ素結合活性化法
3. 学会等名 N.R.P. 育成対象者研究発表会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤田健志、渡部陽太、佐野公祐、武石匡史、市川淳士
2. 発表標題 ロジウム触媒によるビニル炭素-フッ素結合 / 酸素結合の活性化：ピフェニレンとの[4 + 2]環化を経る置換フェナントレンの合成
3. 学会等名 第66回有機金属化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐野公祐、渡部陽太、武石匡史、藤田健志、市川淳士
2. 発表標題 ロジウム触媒によるピフェニレンとジフルオロアルケンとの[4 + 2]環化：フルオロフェナントレンの合成
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 Shoji, N.; Takahashi, I.; Hayashi, M.; Yoshikawa, N.; Fujita, T.; Ichikawa, J.
2. 発表標題 Cyclizations in Cation-Stabilizing Hexafluoroisopropyl Alcohol (CF ₃) ₂ CHOH (HFIP)
3. 学会等名 4th International Symposium On Precisely Designed Catalysis with Customized Scaffolding (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤田健志
2. 発表標題 回収フロンの直接的化学変換による再利用法
3. 学会等名 環境研究総合推進費課題アドバイザーボード会合 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 武石匡史、藤田健志、市川淳士
2. 発表標題 銅(I)触媒によるアジドとジフルオロビニル亜鉛との脱フッ素[3 + 2]環化：フッ素置換トリアゾールの合成
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 樋熊竜也、渡部陽太、井出啓介、藤田健志、市川淳士
2. 発表標題 ニッケル触媒を用いるトリフルオロメチルアルケンのC-F 結合活性化：インドールの位置選択的ジフルオロアリル化
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 久保輝彦、藤田健志、市川淳士
2. 発表標題 Ni触媒を用いるスチレンとアラインの[4 + 2]付加環化反応：ジヒドロフェナントレンの合成
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 樋田源太郎、森岡龍太郎、藤田健志、市川淳士
2. 発表標題 3,3-ジフルオロペンタ-1,4-ジエンのC-F結合活性化を経るNazarov型環化：フッ素置換シクロペンタジエンの合成
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 藤田健志
2. 発表標題 フロンガスの有効再利用を指向した触媒的炭素 - フッ素結合活性化法
3. 学会等名 第3回 N.R.P. 育成対象者成果発表会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤田健志、高橋一光、林雅樹、庄司訓章、市川淳士
2. 発表標題 HFIP溶媒を用いたプレンステッド酸触媒による芳香環増環反応
3. 学会等名 第113回有機合成シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤田健志、福田拓也、鈴木直人、市川淳士
2. 発表標題 酸による芳香族炭素 - フッ素結合活性化：多環式芳香族炭化水素の合成法
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 庄司訓章、林雅樹、藤田健志、市川淳士
2. 発表標題 プレンステッド酸触媒によるらせん状多環式芳香族炭化水素の合成
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 森岡龍太郎、福田拓也、藤田健志、市川淳士
2. 発表標題 酸による芳香族炭素-フッ素結合活性化：フルオロベンゾフランとアレーンとのカップリング
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 井出啓介、野島智也、藤田健志、市川淳士
2. 発表標題 スルホンアミド置換スチレンの酸化的環化によるトリフルオロメチルインドールの合成法
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 瀧辺耕平、藤田健志、市川淳士	4. 発行年 2019年
2. 出版社 化学工業社	5. 総ページ数 8
3. 書名 有機半導体材料としてのピンポイントフッ素化PAH	

1. 著者名 藤田健志、瀧辺耕平、市川淳士	4. 発行年 2018年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 20
3. 書名 フッ素脱離を利用する炭素 - フッ素結合活性化反応の現状 (今野勉監修「有機フッ素化合物の最新動向」のうちの1節)	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>ORCID https://orcid.org/0000-0001-9666-022X Publons https://publons.com/researcher/1372940/takeshi-fujita/ Google Scholar https://scholar.google.co.jp/citations?hl=en&user=idjBPJwAAAAJ 筑波大学TRIOS https://trios.tsukuba.ac.jp/researcher/0000000665 市川淳士研究室ウェブサイト http://www.chem.tsukuba.ac.jp/junji/ ORCID https://orcid.org/0000-0001-9666-022X ResearcherID http://www.researcherid.com/rid/Q-5564-2017 Google Scholar https://scholar.google.co.jp/citations?hl=en&user=idjBPJwAAAAJ 筑波大学TRIOS https://trios.tsukuba.ac.jp/researcher/0000000665 市川淳士研究室ウェブサイト http://www.chem.tsukuba.ac.jp/junji/</p>
--

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