

戦略的創造研究推進事業
研究領域「低エネルギー、低環境負荷で持続可能な
ものづくりのための先導的な物質変換技術の創出」
(ACT-C)

研究課題「ニッケル錯体によるアルケンと CO₂ からの
アクリル酸誘導体の直接的合成法の開発と
新規ナノ粒子ニッケル錯体の創製と応用」

研究終了報告書

研究期間 平成24年10月～平成30年3月

研究代表者：佐藤 美洋
(北海道大学大学院薬学研究院、教授)

目次

§ 1. 研究実施の概要	(2)
(1) 実施概要	
(2) 顕著な成果	
§ 3. 研究実施体制	(3)
(1) 研究体制について	
(2) 国内外の研究者や産業界等との連携によるネットワーク形成の状況について	
§ 4. 研究実施内容	(4)
§ 6. 成果発表等	(7)
(1) 原著論文発表	
(2) その他の著作物	
(3) 国際学会発表及び主要な国内学会発表	
(4) 知財出願	
(5) 受賞・報道等	
(6) 成果展開事例	
§ 7. 研究期間中の活動	(15)
(2) 主なワークショップ、シンポジウム、アウトリーチ等の活動	

§ 1. 研究実施の概要

(1) 実施概要

本研究課題では、「Ni 錯体を用いたアルケンへの CO₂ 固定化反応によるアクリル酸誘導体の合成法の開発 (佐藤グループ)」及び「高活性ナノ粒子ニッケル担持触媒 (SANi) の開発 (有澤グループ)」を中心に研究を行った。佐藤グループの研究においては、エチレン (7.5 atm) と CO₂ (1.5 atm) を NiI₂ (1 当量) 及び Zn (10 当量) を用い、LiI (200 当量) 及びトリエチルアミン (Et₃N, 400 当量) 存在下、クロロベンゼン中で反応させるとアクリル酸が最高収率 6988% (TON=70) で得られることを見出した。同様の反応機構で進行する先行研究例と比較しても本反応条件は極めて温和であり、その反応効率も極めて高いものである。一方、有澤グループでは硫黄修飾金担持ナノ粒子金属錯体 (SAMetal) の創製に関する研究を展開し、Ni ナノ粒子触媒 SANi, Fe ナノ粒子触媒 SAFe, 及び Ru ナノ粒子触媒 SARu の開発に成功した。また、SANi を用い上記の液相反応条件を参考にエチレン (7.5 atm) と CO₂ (1.5 atm) との反応を行なったところ、液相での反応とは異なり還元剤 Zn を全く加えずとも反応が進行することを見出し、その TON は約 6 (概算) であることもわかった。一方、関連研究としてエチレン以外の多重結合を持つ化合物 (イナミド, イノールエーテル, アリル化合物など) と CO₂ との反応も広範に検討し、新規カルボキシル化反応を数多く開発した。

(2) 顕著な成果

<優れた基礎研究としての成果>

1. エチレンと CO₂ からのアクリル酸合成法に関する研究

炭素-炭素多重結合を持つ化合物と CO₂ は Ni と反応し、「ニッケララクトン」と呼ばれる環状中間体が生成することが古くから知られている。本研究課題の研究によって、エチレン (7.5 atm) と CO₂ (1.5 atm) を NiI₂ (1 当量) 及び Zn (10 当量) を用い、LiI (200 当量) 及びトリエチルアミン (Et₃N, 400 当量) 存在下、クロロベンゼン中で反応させるとアクリル酸が最高収率 6988% (TON=70) で得られることを見出された。同様の反応機構で進行する先行研究例と比較しても本反応条件は極めて温和であり、その反応効率も極めて高い。

2. 多重結合を持つ化合物 (イナミド, イノールエーテル, イミン前駆体, アリル化合物など) と CO₂ との反応に関する研究

イナミド, イノールエーテル, 及びアリル化合物と CO₂ との反応を広範に検討し、新規カルボキシル化反応を開発した。イナミド, イノールエーテルとの反応で生成する β-アミノ及びアルコシアクリル酸誘導体は、Rh 触媒を用いた不斉水素化反応によって光学活性 β-アミノ酸及び β-オキシカルボン酸誘導体へと変換できた。また、アリル化合物との反応では、Co 触媒を用いることにより類例のない C(sp³)-H 結合の直接的カルボキシル化反応の開発に成功した。

<科学技術イノベーション・課題解決に大きく寄与する成果>

1. 再利用可能な有機合成用ナノ粒子金属触媒の開発

硫黄修飾金担持ナノ粒子金属錯体 (SAMetal) の創製に関する研究を展開し、Ni ナノ粒子触媒 SANi, Fe ナノ粒子触媒 SAFe, 及び Ru ナノ粒子触媒 SARu 等の開発にも成功した。これらの触媒は、通常不安定なナノ粒子金属が担持されているにも関わらず空気中でも安定に取り扱うことができ、しかもナノ粒子金属特有の高い反応性を有している。また、触媒の再利用が可能であることも大きな特徴である。これらの金属触媒に関しては、ACT-C 研究の成果として PCT 出願 (出願日 PCT2014 年 3 月 28 日) 後、現在では国際特許 (出願国: 日本, 米国, 欧州 (英, 独, 仏), 中国, 韓国, 適用できる金属の範囲: Fe, Co, Ni, Ru, Rh, Pd, Ir, Pt, Au) にも移行しており、今後の大量合成プロセスにおける利用などの実用化も期待される。

§ 3. 研究実施体制

(1) 研究体制について

① 佐藤グループ

研究代表者: 佐藤 美洋 (北海道大学大学院薬学研究院、教授)

研究項目

- ・Ni 触媒を用いたエチレンと CO₂との反応によるアクリル酸の合成
- ・Fe 触媒を用いたエチレンと CO₂との反応によるアクリル酸の合成
- ・SANi 触媒を用いたエチレンと CO₂との反応によるアクリル酸の合成
- ・金属触媒を用いた多重結合と CO₂との反応の開発

参画した研究者の数 (研究員 3 名、研究補助員 0 名、学生 15 名)

② 有澤グループ

主たる共同研究者: 有澤 光弘 (大阪大学大学院薬学研究科、准教授)

研究項目

- ・硫黄修飾金担持ナノ粒子金属錯体(SAMetal)の調製法の開発
- ・SAMetal の構造解析
- ・SAMetal の基本的な反応性の探索

参画した研究者の数 (研究員 0 名、研究補助員 1 名、学生 4 名)

(2) 国内外の研究者や産業界等との連携によるネットワーク形成の状況について

1. ナノ粒子金属触媒の構造解析-X 線吸収微細構造解析実験, 本間徹生 博士 (硬 X 線: SPring-8 BL14B2), 為則雄祐 博士 (軟 X 線: SPring-8 BL27SU)
2. ナノ粒子金属触媒の電子顕微鏡実験: 物質・材料研究機構 NIMS 竹口雅樹 博士
3. ナノ粒子金属触媒の第一原理計算 大規模: 物質・材料研究機構 NIMS 宮崎 剛 博士, 大阪大学大学院工学研究科 森川良忠 教授, 鳥取大学大学院工学研究科 石井 晃 教授
4. 有機合成用ナノ粒子パラジウム触媒 SAPd を用いた機能性ペプチドの開発: 徳島大学薬学部 大高 章 教授
5. 有機合成用ナノ粒子金属触媒を用いた新規機能性材料の開発: 熊本大学理学部化学科 石川 勇人 准教授
6. 有機合成用ナノ粒子金属触媒を用いた新規抗がん剤の開発: 理化学研究所 城宜嗣 博士
7. 有機合成用ナノ粒子金属触媒を用いた医薬化学研究: ベルギー王国ブリュッセル自由大学化学科 Guido Verniest 教授
8. 有機合成用ナノ粒子金属触媒を用いた炭素-水素結合活性化反応: 台湾精華大学 Chin-fa Lee 教授
9. 有機合成用ナノ粒子パラジウム触媒 SAPd の大量合成: (株) フルヤ金属, 頒布: 和光純薬工業 (株)
10. ナノ粒子金属触媒を用いたデスクトップファクトリーの開発: 民間企業 1 社 (守秘義務あり)

§ 4. 研究実施内容

研究項目1. アルケンと CO₂ からのアクリル酸誘導体合成(北海道大学 佐藤グループ)

①研究のねらい

エチレンと CO₂ から直接的にアクリル酸を合成できる反応系の開発を目指し, Ni 錯体存在下, エチレンと CO₂ から形成される「ニッケララクトン中間体」の調製法を確立し, その反応性を調査する. また, 本中間体と金属試薬とのトランスメタル化反応を検討し, 触媒サイクルを形成させる. 更に, 「ニッケララクトン中間体」の一般的な反応性を探るべく, エチレン以外の多重結合と CO₂ から形成される「ニッケララクトン中間体」の反応性を調査する. 一方, Ni 以外の金属を用いた「メタララクトン中間体」の調製法を検討し, その反応性の調査を行う. また, 「メタララクトン中間体」を経由しないカルボキシル化反応の開発可能性を探るべく, 様々な金属を用いた多重結合化合物の CO₂ によるカルボキシル化反応を検討する.

②研究実施方法

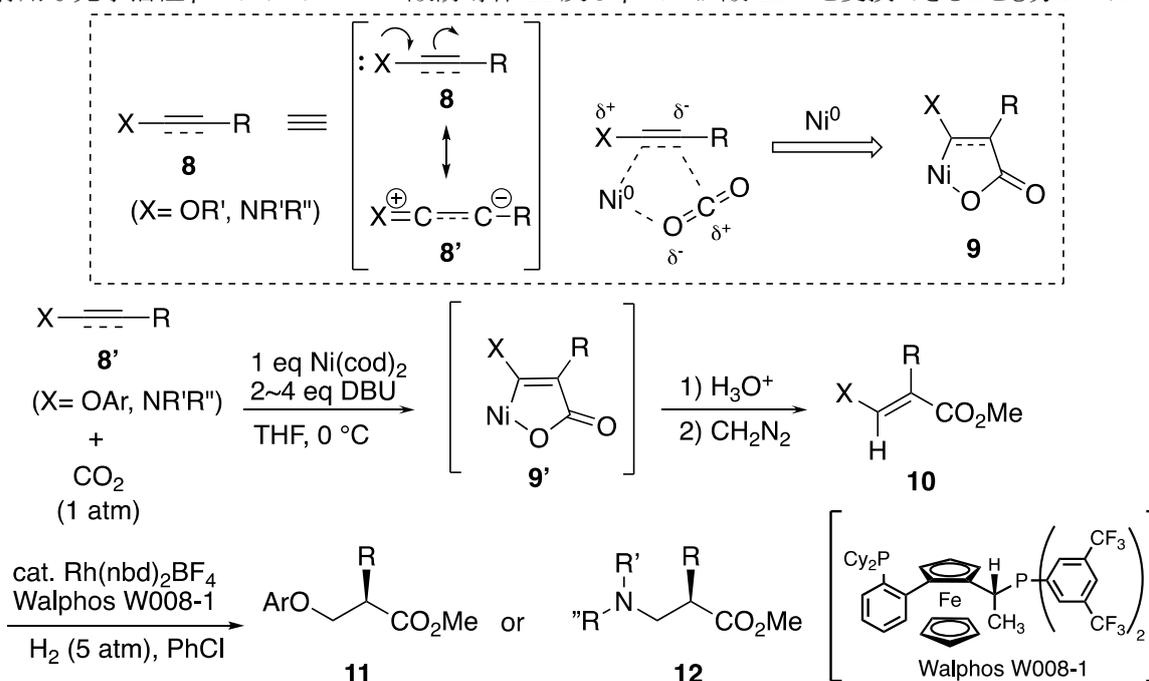
上記の「研究のねらい」に従い, エチレンと CO₂ から形成される「ニッケララクトン中間体」の反応性を検討し, 次に金属試薬とのトランスメタル化反応を検討した. また, 分極したアルキンであるイノールエーテル及びイナミドと CO₂ から形成される「ニッケララクトン中間体」の反応性を調査した. また, Fe 錯体とエチレン, CO₂ から形成される「フェララクトン中間体」の調製法の検討及び反応性の調査を行った. 更に, 「メタララクトン中間体」を経由しないカルボキシル化反応に関する知見を得るため, Pd 及び Co 触媒を用いたアリル化合物の CO₂ によるカルボキシル化反応を検討した.

③採択当初の研究計画(全体研究計画書)に対する研究達成状況(§ 2. と関連します)と得られた成果

④当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況と得られた成果

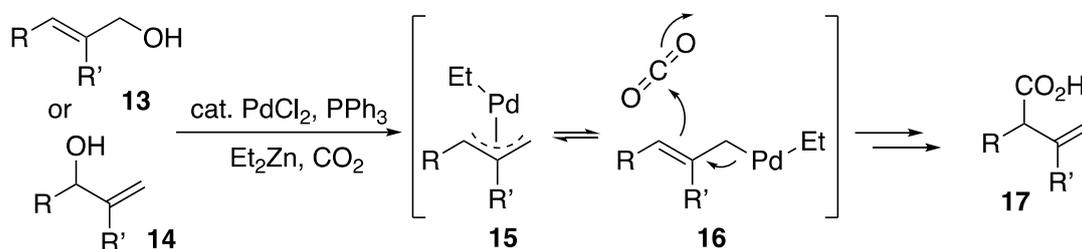
1) 分極した多重結合と CO₂ から生成するニッケララクトン中間体の反応性に関する研究

「非対称多重結合」と CO₂ との反応では「ニッケララクトン中間体」の異性体の生成が問題となり, 一方の中間体のみを立体選択的に生成させることが困難である. 一方我々は, イナミド, イノールエーテル, アレナミドなどの「分極した多重結合 **8** (polarized multiple bonds)」と CO₂ との反応では立体選択的にニッケララクトン中間体 **9** を生成できることを見出した. 特にイノールエーテル, イナミドと CO₂ との反応で得られる β-アルコシアクリル酸誘導体及び β-アミノ **10** は, Rh 触媒を用いた不斉水素化反応によって生物活性化合物の合成等に有用な光学活性 β-オキシカルボン酸誘導体 **11** 及び β-アミノ酸 **12** へと変換できることも分かった.

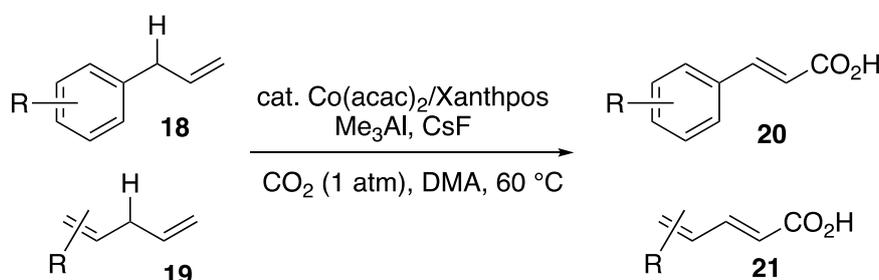


2) アリル化合物の「メタララクトン中間体」を経由しない立体選択的カルボキシル化反応の開発

「メタラクトン中間体」を経由しないカルボキシル化反応開発の可能性を探るべく、様々な金属を用いた多重結合化合物の CO₂ によるカルボキシル化反応を検討した。その結果、Pd 触媒を用いたアリルアルコールのカルボキシル化反応を見出した。本反応は、アリルアルコール **13** 及び **14** から同一のカルボン酸 **17** が得られることから π-アリル Pd 中間体 **15** を経由していると考えられ、Et₂Zn とのトランスメタル化により生じた求核性 σ-アリル Pd 中間体 **16** の γ 位で立体選択的に CO₂ と反応したと考えられる。



一方、Co 触媒を用いると通常困難な C(sp³)-H 結合の活性化がアリル位で起こり、立体選択的に CO₂ と反応することを見出した。すなわち、**18** または **19** を Me₃Al と CsF の存在下、Xanthphos を配位子とした Co(acac)₂ 触媒と 1 atm の CO₂ 雰囲気下反応させると、立体選択的にカルボン酸 **20** または **21** が得られることを見出した。活性化が難しい C(sp³)-H 結合を遷移金属触媒で活性化し、求電子剤としては反応性の低い CO₂ と直接反応させた例はこれまでにほとんどなく、本反応の発見は極めて意義がある。



研究項目2. SAPd(硫黄修飾金担持 Pd 触媒)の構造解析(大阪大学 有澤グループ(構造解析))

①研究のねらい

既に開発に成功している SAPd の構造解析を行う

②研究実施方法

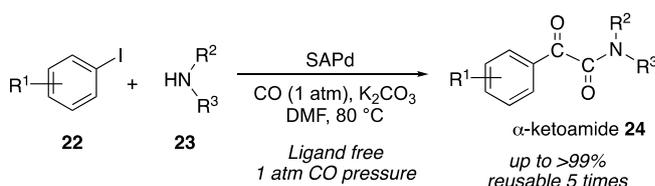
SPring-8 での高輝度 X 線吸収微細構造解析(軟 X 線及び硬 X 線 XAFS), NIMS でのトンネル型電子顕微鏡実験(TEM)及び大規模第一原理計算

③採択当初の研究計画(全体研究計画書)に対する研究達成状況(§2. と関連します)と得られた成果

SAPd の断面をトンネル型走査顕微鏡(TEM)で観察した結果、表面に多層状の Pd ナノパーティクル(PdNp, 約 5 nm)が存在していることが明らかとなった。また、X 線吸収微細構造(XAFS)分析からも TEM で得られた構造と相補的なデータが得られた。

④当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況と得られた成果

硫黄修飾金担持金属触媒の気体との反応性を確認するために、SAPd によるアリールハライドの CO 挿入反応(カルボニル化反応)を試みたところ、通常は高压下の CO や特殊な添加剤(配位子、塩基等)がなければ進行しないダブルカルボニル化反応が 1 atm の CO 下で進行することを見出した。本結果は SAPd が含有する高活性ナノ粒子 Pd の特異な反応性から引き起こされた現象である。



研究項目3. SANi の調製(北海道大学 佐藤グループ 及び 大阪大学 有澤グループ)

①研究のねらい

硫黄修飾金担持 Ni 錯体(SANi)を創製し、これを用いたアクリル酸合成法を開発する。

②研究実施方法

研究項目2の知見を元に SANi を創製し、CO₂によるカルボキシル化反応を検討する。

③採択当初の研究計画(全体研究計画書)に対する研究達成状況(§ 2. と関連します)と得られた成果

1) SANi の調製

SAPd の調製法を参考に SANi の作製を検討したところ、SAPd の場合とは異なりニッケルナノパーティクル(NiNp)の形成に「還元剤」が必要であることがわかった。また XAFS 実験により、還元剤の違いが生成した NiNp の粒子径等に大きな影響を与えることを見出した。調製した SANi の性能を熊田-玉尾-Corriu カップリング反応及び根岸カップリング反応を用い検討したところ、いずれの反応においても配位子非存在下、SANi のみで反応が進行した。また、再利用が可能なこと及び Ni 漏洩量が 1 ppm 以下であることも確認できた。

2) SANi を用いたエチレンと CO₂からのアクリル酸合成法の開発

SANi によるエチレンと CO₂との反応を検討したところ、上の研究項目1. で述べた均一系触媒系とは異なり、還元剤の Zn を加えずともアクリル酸が生成した。反応終了後の溶液に残存している Ni の量を ICP-MS により測定し、その量を元に大凡の収率及び TON を算出したところ、TON=約 6 であることも分かった。

3)他の金属 Np 担持法の検討

SANi の調製法を参考に、更に他の金属 Np の担持を検討し Fe ナノ粒子触媒 SAFe, Ru ナノ粒子触媒 SARu 等の開発にも成功した。これらの金属触媒に関しては、ACT-C 研究の成果として PCT 出願(出願日 PCT2014 年 3 月 28 日)後、現在では国際特許(出願国:日本, 米国, 欧州(英, 独, 仏), 中国, 韓国, 適用できる金属の範囲:Fe, Co, Ni, Ru, Rh, Pd, Ir, Pt, Au)にも移行しており、今後の実用化も期待される。

④当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況と得られた成果

§ 6. 成果発表等

(1)原著論文発表 【国内(和文)誌 0件、国際(欧文)誌 28件】

1. Mohammad Al-Amin, Satoshi Arai, Naoyuki Hoshiya, Tetsuo Honma, Yusuke Tamenori, Takatoshi Sato, Mami Yokoyama, Akira Ishii, Masashi Takeuchi, Tomohiro Maruko, Satoshi Shuto, and Mitsuhiro Arisawa; Development of Second Generation Gold-Supported Palladium Material with Low-Leaching and Recyclable Characteristics in Aromatic Amination. *J. Org. Chem.* **2013**, *78* (15), 7575-7581. (DOI: 10.1021/jo4011415)
2. Naoyuki Hoshiya, Takaaki Kobayashi, Mitsuhiro Arisawa, and Satoshi Shuto; Palladium-Catalyzed Arylation of Cyclopropanes via Directing Group-Mediated C(sp³)-H Bond Activation To Construct Quaternary Carbon Centers: Synthesis of *cis*- and *trans*-1,1,2-Trisubstituted Chiral Cyclopropanes. *Org. Lett.* **2013**, *15* (24), 6203-6205. (DOI: 10.1021/ol4030452)
3. Tsuyoshi Mita, Yuki Higuchi, and Yoshihiro Sato; Carboxylation with CO₂ via Brook Rearrangement: Preparation of α -Hydroxy Acid Derivatives. *Org. Lett.* **2014**, *16* (1), 14-17. (DOI: 10.1021/ol403099f)
4. Yoshihiro Oonishi, Takayuki Yokoe, Akihito Hosotani, and Yoshihiro Sato; Rhodium(I)-Catalyzed Cyclization of Allenynes with a Carbonyl Group through Unusual Insertion of a C=O Bond into a Rhodacycle Intermediate. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2014**, *53* (4), 1135-1139. (DOI: 10.1002/anie.201308824)
5. Nozomi Saito, Yasuyuki Sugimura, and Yoshihiro Sato; Nickel(0)-Promoted Carboxylation of Allenamides with Carbon Dioxide via a Nickelalactone Intermediate. *Synlett* **2014**, *25* (5), 736-740. (DOI: 10.1055/s-0033-1340628)
6. Tsuyoshi Mita, Jianyang Chen, and Yoshihiro Sato; Synthesis of Arylglycines from CO₂ through α -Amino Organomanganese Species. *Org. Lett.* **2014**, *16* (8), 2200-2203. (DOI: 10.1021/ol500701n)
7. Mohammad Al-Amin, Mitsuhiro Arisawa, Satoshi Shuto, Yusuke Ano, Mamoru Tobisu and Naoto Chatani; Palladium-Nanoparticle-Catalyzed Direct Ethynylation of Aliphatic Carboxylic Acid Derivatives via C(sp³)-H Bond Functionalization. *Adv. Synth. Catal.* **2014**, *356* (7), 1631-1637. (DOI: 10.1002/adsc.201301180)
8. Mitsuhiro Arisawa, Takatoshi Sato, Naoyuki Hoshiya, Mohammad Al-Amin, Yuji Kogami and Satoshi Shuto; Ligand-free Suzuki-Miyaura Coupling with Sulfur-modified Gold-supported Palladium in the Synthesis of a Conformationally-Restricted Cyclopropane Compound Library with Three-Dimensional Diversity. *ACS Combi. Sci.* **2014**, *16* (5), 215-220. (DOI: 10.1021/co4001138)
9. Tsuyoshi Mita, Hiroyuki Tanaka, Kenichi Michigami, and Yoshihiro Sato; Ru-Catalyzed C-H Silylation of 1-Arylpyrazole Derivatives and Fluoride-Mediated Carboxylation: Use of Two Nitrogen Atoms of the Pyrazole Group. *Synlett* **2014**, *25* (9), 1291-1294. (DOI: 10.1055/s-0033-1341230)
10. Tsuyoshi Mita, Masami Sugawara, Keisuke Saito, and Yoshihiro Sato; Catalytic Enantioselective Silylation of N-Sulfonylimines: Asymmetric Synthesis of α -Amino Acids from CO₂ via Stereospecific Carboxylation of α -Amino Silanes. *Org. Lett.* **2014**, *16* (11), 3028-3031. (DOI: 10.1021/ol501143c)
11. Koji Takagi, Mohammad Al-Amin, Naoyuki Hoshiya, Johan Wouters, Hiroshi Sugimoto, Yoshitsugu Shiro, Hayato Fukuda, Satoshi Shuto and Mitsuhiro Arisawa; Palladium-Nanoparticle-Catalyzed 1,7-Palladium Migration Involving C-H Activation, Followed by Intramolecular Amination: Regioselective Synthesis of N1-Arylbenzotriazoles and an Evaluation of Their Inhibitory Activity Towards Indoleamine 2,3-Dioxygenase. *J. Org. Chem.* **2014**, *79* (13), 6366-6371. (DOI: 10.1021/jo5009838)
12. Mitsuhiro Arisawa, Mohammad Al-Amin, Tetsuo Honma, Yusuke Tamenori, Satoshi Arai, Naoyuki Hoshiya, Takatoshi Sato, Mami Yokoyama, Akira Ishii, Masaki Takeguchi, Tsuyoshi Miyazaki, Masashi Takeuchi, Tomohiro Maruko and Satoshi Shuto; Formation of self-assembled multi-layer stable palladium nanoparticles for ligand-free coupling reactions. *RSC Adv.* **2015**, *5* (1), 676-683. (DOI: 10.1039/C4RA11215F)
13. Yoshihiro Oonishi, Akira Saito, and Yoshihiro Sato; Rh(I)-Catalyzed Intermolecular [2+2+2] Cycloaddition of Allenyl Aldehydes with Alkyne and Related Cyclization. *Asian J. Org. Chem.* **2015**, *4* (1), 81-86. (DOI: 10.1002/ajoc.201402239)
14. Nozomi Saito, Zhongdong Sun, and Yoshihiro Sato; Nickel-Promoted Highly Regioselective Carboxylation of Aryl Ynol Ether and Its Application to the Synthesis of Chiral β -Aryloxypropionic Acid Derivatives. *Chem. Asian J.* **2015**, *10* (5), 1170-1176. (DOI: 10.1002/asia.201403399)
15. Nozomi Saito, Takahisa Taniguchi, Naoyuki Hoshiya, Satoshi Shuto, Mitsuhiro Arisawa, and Yoshihiro Sato; Double Carbonylation of Aryl Iodides with Amines under an Atmospheric Pressure of Carbon Monoxide Using Sulfur-Modified Au-Supported Palladium. *Green Chemistry* **2015**, *17* (4), 2358-2361.

(DOI: 10.1039/C4GC02469A)

16. Koji Takagi, Hayato Fukuda, Satoshi Shuto, Akira Otaka, and Mitsuhiro Arisawa; Safe Removal of the Allyl Protecting Groups of Allyl Esters using a Recyclable, Low-leaching and Ligand-free Palladium Nanoparticle Catalyst. *Adv. Synth. Catal.* **2015**, 357 (9), 2119-2124. (DOI: 10.1002/adsc.201500055)
17. Tsuyoshi Mita, Yuki Higuchi, and Yoshihiro Sato; Highly Regioselective Palladium-Catalyzed Carboxylation of Allylic Alcohols with CO₂. *Chem. Eur. J.* **2015**, 21, 16391-16394. (DOI: 10.1002/chem.201503359)
18. Tsuyoshi Mita, Kenta Suga, Kaori Sato, and Yoshihiro Sato; A Strained Disilane-Promoted Carboxylation of Organic Halides with CO₂ under Transition-Metal-Free Conditions. *Org. Lett.* **2015**, 17, 5276-5279. (DOI: 10.1021/acs.orglett.5b02645)
19. Mincen Xiao, Naoyuki Hoshiya, Katsumasa Fujiki, Tetsuo Honma, Yusuke Tamenori, Satoshi Shuto, Hiromichi Fujioka, and Mitsuhiro Arisawa; Development of a Sulfur-modified Glass-supported Pd Nanoparticle Catalyst for the Suzuki-Miyaura Coupling. *Chem. Pharm. Bull.* **2016**, 64, 1154-1160. (DOI: 10.1248/cpb.c16-00261)
20. Tsuyoshi Mita, Hiroyuki Tanaka, Yuki Higuchi, Yoshihiro Sato; Palladium-Catalyzed Carboxylation of Activated Vinylcyclopropanes with CO₂. *Org. Lett.* **2016**, 18, 2754-2757. (DOI: 10.1021/acs.orglett.6b01231)
21. Tsuyoshi Mita, Masumi Sugawara, and Yoshihiro Sato; One-Pot Synthesis of α -Amino Acids through Carboxylation of Ammonium Ylides with CO₂ Followed by Alkyl Migration. *J. Org. Chem.* **2016**, 81, 5236-5243. (DOI: 10.1021/acs.joc.6b00837)
22. Naoyuki Hoshiya, Katsumasa Fujiki, Takahisa Taniguchi, Tetsuo Honma, Yusuke Tamenori, Mincen Xiao, Nozomi Saito, Mami Yokoyama, Akira Ishii, Hiromichi Fujioka, Satoshi Shuto, Yoshihiro Sato, Mitsuhiro Arisawa; Self-Assembled Multilayer-Stabilized Nickel Nanoparticle Catalyst for Ligand-Free Cross-Coupling Reactions: in situ Metal Nanoparticle and Nanospace Simultaneous Organization. *Adv. Synth. Catal.* **2016**, 358, 2449-2459. (DOI: 10.1002/adsc.201600024)
23. Nozomi Saito, Iman Abdullah, Kayoko Hayashi, Katsuyuki Hamada, Momoko Koyama, Yoshihiro Sato; Enantioselective Synthesis of β -Amino Acid Derivatives via Nickel-Promoted Regioselective Carboxylation of Ynamides and Rhodium-Catalyzed Asymmetric Hydrogenation. *Org. Biomol. Chem.* **2016**, 14, 10080-10089. (DOI: 10.1039/C6OB01234E)
24. Yuki Higuchi, Tsuyoshi Mita, Yoshihiro Sato; Palladium-Catalyzed Intramolecular Arylative Carboxylation of Allenes with CO₂ for the Construction of 3-Substituted Indole-2-Carboxylic Acids. *Org. Lett.* **2017**, 19, 2710-2713. (DOI: 10.1021/acs.orglett.7b01055)
25. Kenichi Michigami, Tsuyoshi Mita, Yoshihiro Sato; Cobalt-Catalyzed Allylic C(sp³)-H Carboxylation with CO₂. *J. Am. Chem. Soc.* **2017**, 139, 6094-6097. (DOI: 10.1021/jacs.7b02775)
26. Toshiki Akiyama, Takahisa Taniguchi, Nozomi Saito, Ryohei Doi, Tetsuo Honma, Yusuke Tamenori, Yuuta Ohki, Naoyuki Takahashi, Hiromichi Fujioka, Yoshihiro Sato, Mitsuhiro Arisawa; Ligand-Free Suzuki-Miyaura Coupling Using Ruthenium(0) Nanoparticles and a Continuously Irradiating Microwave System. *Green Chem.* **2017**, 19, 3357-3369. (DOI: 10.1039/C7GC01166K)
27. Ryohei Doi, Iman Abdullah, Takahisa Taniguchi, Nozomi Saito, and Yoshihiro Sato; Nickel-Catalyzed Hydrocarboxylation of Ynamides with CO₂ and H₂O: Observation of Unexpected Regioselectivity. *Chem. Commun.* **2017**, 53, 7720-7723. (DOI: 10.1039/C7CC03127K)
28. Tsuyoshi Mita, Satoshi Hanagata, Kenichi Michigami, and Yoshihiro Sato; Co-Catalyzed Direct Addition of Allylic C(sp³)-H Bonds to Ketones. *Org. Lett.* **2017**, 19, 5876-5879. (DOI: 10.1021/acs.orglett.7b02871)

(2)その他の著作物(総説、書籍など)

1. Tsuyoshi Mita and Yoshihiro Sato; One-Pot Synthesis of α -Amino Acids from CO₂ Using Bimetal Reagents. *J. Synth. Org. Chem. Jpn.* **2013**, 71, 1163-1171. (総説) (有機合成化学協会誌 英文出版号)
2. 中川昌子, 有澤光弘, ヘテロ環の化学: 基礎と応用 (東京化学同人, 2016)
3. 美多剛, 佐藤美洋, 二酸化炭素を用いた化学製造技術, p132-145 (杉本 裕監修 S&T 出版, 2016)

(3)国際学会発表及び主要な国内学会発表

① 招待講演 (国内会議 7件、国際会議 5件)

1. 有澤光弘(阪大院薬、ACT-C, JST)、自己組織的多層状パラジウムナノパーティクルの開発、新化学技術推進協会先端化学技術部会 講演会、新化学技術推進協会会議室(東京都千代田区)、2013年4月23日
2. 有澤光弘(阪大院薬、ACT-C, JST)、Development of Organometallic Catalysis on Metal Surface、

- 3rd International Symposium on Molecular Activation, Sheraton Steamboat Resort, コロラド(アメリカ)、2013年7月26日
- 有澤光弘(阪大院薬、ACT-C, JST)、自己組織的多層状パラジウムナノパーティクルの開発、(社)近畿化学協会フロー・マイクロ合成研究会 第60回研究会、大阪科学技術センター(大阪市西区)、2013年11月8日
 - 有澤光弘(阪大院薬、ACT-C, JST)、硫黄修飾金に担持した有機合成用金属ナノ粒子触媒の開発、第11回Spring-8産業利用報告会、姫路商工会議所(兵庫県姫路市)、2014年9月4日
 - Tsuyoshi Mita, Masumi Sugawara, Jianyang Chen, Yuki Higuchi, and Yoshihiro Sato(北大院薬)、One-Pot Synthesis of α -Amino Acids from CO₂ and Imine Equivalents, Organic Chemistry Symposium, Royal Society of Chemistry Roadshow, 東北大学(仙台)、2015年6月1日
 - 有澤光弘(阪大院薬)、機能性分子合成を指向した有機金属触媒並びにワンポット反応の開発、熊本大学大学院自然科学研究科特別講演会、熊本大学(熊本)、2016年9月8日
 - Yoshihiro Sato(北大院薬)、Synthesis of α -Amino Acids through CO₂ Incorporation, The 11th International Conference on Cutting-Edge Organic Chemistry in Asia (ICCEOC 11)、KAIST(韓国)、2016年10月30日
 - Kenichi Michigami, Tsuyoshi Mita, Yoshihiro Sato(北大院薬)、Cobalt-Catalyzed Carboxylation of Allylic C-H Bond with Carbon Dioxide, The 11th International Conference on Cutting-Edge Organic Chemistry in Asia, KAIST(韓国)、2016年10月30日
 - Yoshihiro Sato(北大院薬)、Synthesis of β -Aryloxy Carboxylic Acid and β -Amino Acids Derivatives via Regioselective Carboxylation of Polarized Alkynes with CO₂, Catalysis & Fine Chemicals 2016 (C&FC2016)、Howard International House(台湾)、2016年11月12日
 - 有澤光弘(阪大院薬)、機能性分子合成を指向した有機金属触媒並びにワンポット反応の開発、日本薬学会東海支部特別講演会、岐阜薬科大学(岐阜)、2017年1月20日
 - 有澤光弘(阪大院薬)、機能性分子合成を指向した有機金属触媒並びにワンポット反応の開発、明治薬科大学若手研究者講話会、明治薬科大学(東京)、2017年1月23日
 - 有澤光弘(阪大院薬)、Development of Highly Efficient Metal Nano-particle Catalyst toward Drug Discovery、日本薬学会第137年会、仙台国際センター(仙台)、2017年3月25日

② 口頭発表 (国内会議 27 件、国際会議 2 件)

- 星谷尚亨¹、周東智¹、有澤光弘^{1,2,3}(¹北大院薬、²ACT-C, JST、³阪大院薬)、Transition-Metal Nanosized Palladium Particles for Organic Reaction”, 3rd International Symposium on Molecular Activation, コロラド(アメリカ)、2013年7月28日
- 美多剛¹、菅原真純¹、陳建揚¹、佐藤美洋^{1,2}(¹北大院薬、²ACT-C, JST)、One-Pot Synthesis of α -Amino Acids Using CO₂ via α -Amino Carbanion Intermediates, ISCC 10、同志社大学(京都)、2013年9月26日
- 齋藤望¹、林香代子¹、濱田勝征¹、小山桃子¹、近藤安佑子¹、佐藤美洋^{1,2}(¹北大院薬、²ACT-C, JST)、イナミドへの二酸化炭素の固定化と不斉水素化を経由した β アミノ酸のエナンチオ選択的合成法の開発、日本薬学会第134年会、熊本大学(熊本)、2014年3月28日
- 美多剛¹、田中寛之¹、道上健一¹、佐藤美洋^{1,2}(¹北大院薬、²ACT-C, JST)、ルテニウム触媒を用いた 1-アリールピラゾール類の C-H 結合シリル化、続く CO₂ ガスによるカルボキシル化反応の開発、日本薬学会第134年会、熊本大学(熊本)、2014年3月28日
- 陳建揚¹、美多剛¹、佐藤美洋^{1,2}(¹北大院薬、²ACT-C, JST)、二酸化炭素と *N,O*-アセタールを用いた還元的カルボキシル化による α -アミノ酸の化学合成、日本薬学会第134年会、熊本大学(熊本)、2014年3月28日
- 谷口敬寿¹、齋藤望¹、星谷尚亨¹、周東智¹、有澤光弘^{1,2}、佐藤美洋^{1,2}(¹北大院薬、²ACT-C, JST)、SAPd 触媒を用いたヨウ化アリールへのダブルカルボニル化反応の開発、日本薬学会第134年会、熊本大学(熊本)、2014年3月28日
- 孫仲冬¹、齋藤望¹、佐藤美洋^{1,2}(¹北大院薬、²ACT-C, JST)、ニッケル錯体を用いたイノールエーテルへの二酸化炭素固定化反応、日本薬学会第134年会、熊本大学(熊本)、2014年3月28日
- 高木耕治¹、星谷尚亨¹、杉本宏²、城宜嗣²、福田隼¹、周東智¹、有澤光弘^{1,3}(¹北大院薬、²理化学研播磨、³阪大院薬)、Pd ナノパーティクルを用いた C(sp²)-H 結合活性化反応によるベンゾトリアゾール骨格の構築、日本薬学会第134年会、熊本大学(熊本)、2014年3月28日

9. Xiao Mincen¹、星谷尚亨^{2,3}、周東智³、藤岡弘道¹、有澤光弘^{1,2}(¹ 阪大院薬、² 北大院薬、³ 京都薬大)、硫黄修飾ガラス担持型パラジウムの開発:リガンドフリーBuchwald-Hartwig 反応、第 64 回日本薬学会近畿支部総会・大会、京都薬科大学(京都)、2014 年 10 月 11 日
10. 田口直人¹、齋藤望¹、佐藤美洋^{1,2}(¹ 北大院薬、² ACT-C, JST)、ニッケル錯体によるスチレン誘導体への二酸化炭素固定化反応の開発、日本薬学会 135 年会、神戸学院大学(神戸)、2015 年 3 月 26 日
11. 谷口敬寿¹、齋藤望¹、星谷尚亨¹、本間徹生³、周東智¹、藤岡弘道²、有澤光弘^{2,4}、佐藤美洋^{1,4}(¹ 北大院薬、² 阪大院薬、³ 高輝度光科学研究センター、⁴ ACT-C, JST)、硫黄修飾金担持型ニッケル触媒の開発とアルキンへの二酸化炭素固定化反応の利用、日本薬学会 135 年会、神戸学院大学(神戸)、2015 年 3 月 26 日
12. 藤木勝将¹、星谷尚亨²、谷口敬寿²、周東智²、藤岡弘道¹、齋藤望²、佐藤美洋^{2,3}、有澤光弘^{1,3}(¹ 阪大院薬、² 北大院薬、³ ACT-C, JST)、硫黄修飾金担持型ニッケル触媒を用いたリガンドフリークロスカップリング反応の開発、日本薬学会 135 年会、神戸学院大学(神戸)、2015 年 3 月 26 日
13. 星谷尚亨²、藤木勝将¹、谷口敬寿²、周東智²、藤岡弘道¹、齋藤望²、佐藤美洋^{2,3}、有澤光弘^{1,3}(¹ 阪大院薬、² 北大院薬、³ ACT-C, JST)、硫黄修飾された金担持型ニッケルナノパーティクルの開発とその有機合成への応用、第 62 回有機金属化学討論会、関西大学千里山キャンパス(吹田)、2015 年 9 月 7 日
14. 菅原真純、美多剛、佐藤美洋(北大院薬)、アンモニウムイリドのカルボキシル化を経由する CO₂ を用いた α -アミノ酸のワンポット合成、第 45 回複素環化学討論会、早稲田大学国際会議場(東京新宿区)、2015 年 11 月 20 日
15. Takahisa Taniguchi²、Nozomi Saito²、Naoyuki Hoshiya²、Katsumasa Fujiki¹、Satoshi Shuto²、Hiromich Fujiokai¹、Mitsuhiro Arisawa¹、Yoshihiro Sato²(¹ 阪大院薬、² 北大院薬)、Development of Sulfur-Modified Au-Supported Nickel Catalyst (SANi) and Its Application to Catalytic Carboxylation of Multiple Bonds、日本化学会第 96 春季年会 2016、同志社大学(京田辺)、2016 年 3 月 25 日
16. 淡路直矢、谷口敬寿、齋藤望、佐藤美洋(北大院薬)、ニッケラクトン中間体を経由するエチレンと二酸化炭素からのアクリル酸合成法の開発研究、日本化学会第 96 春季年会 2016、同志社大学(京田辺)、2016 年 3 月 25 日
17. 菅健太、美多剛、佐藤香、佐藤美洋(北大院薬)、二酸化炭素を一炭素源とした環状ジシランによる有機ハロゲン化合物のカルボキシル化反応の開発、日本薬学会 136 年会、パシフィコ横浜(横浜)、2016 年 3 月 29 日
18. 樋口裕紀、美多剛、佐藤美洋(北大院薬)、二酸化炭素を利用した Pd 触媒によるアリルアルコールのカルボキシル化反応の開発、日本薬学会 136 年会、パシフィコ横浜(横浜)、2016 年 3 月 29 日
19. 肖玫岑、藤岡弘道、有澤光弘(阪大院薬)、Microwave とガラス担持型 Pd ナノ粒子触媒を用いたプロモベンゼンの鈴木-宮浦 カップリング反応の開発、日本薬学会 136 年会、パシフィコ横浜(横浜)、2016 年 3 月 29 日
20. 秋山敏毅¹、藤岡弘道¹、佐藤美洋²、有澤光弘¹(¹ 阪大院薬、² 北大院薬)、硫黄修飾金担持型ルテニウム触媒を用いたリガンドフリー鈴木-宮浦反応の開発、日本薬学会 136 年会、パシフィコ横浜(横浜)、2016 年 3 月 29 日
21. 谷口敬寿²、齋藤望²、星谷尚亨²、藤木勝将¹、周東智、藤岡弘道¹、有澤光弘¹、佐藤美洋²(¹ 阪大院薬、² 北大院薬)、硫黄修飾金担持型ニッケル触媒 SANi の開発と二酸化炭素固定化反応への利用、第 14 回次世代を担う有機化学シンポジウム、日本薬学会長井記念ホール(東京)、2016 年 5 月 27 日
22. 樋口裕紀、美多剛、佐藤美洋(北大院薬)、求核性アリルパラジウム種を利用した新規二酸化炭素固定化反応の開発、第 46 回複素環化学討論会、金沢歌劇座(金沢)、2016 年 9 月 26 日
23. Kenichi Michigami, Tsuyoshi Mita, Yoshihiro Sato(北大院薬)、Cobalt-Catalyzed Carboxylation of Allylic C-H Bond with Carbon Dioxide、The 6st Junior International Conference on Cutting-Edge Organic Chemistry in Asia、九州大学筑紫キャンパス C-CUBE(福岡)、2016 年 10 月 25 日
24. Iman Abdullah, Ryohei Doi, Nozomi Saito, Yoshihiro Sato(北大院薬)、From stoichiometry to catalysis: Hydrocarboxylation of ynamides with nickel complex employing carbon dioxide、日本化

- 学会第 97 春季年会、慶応大学日吉キャンパス(横浜)、2017 年 3 月 17 日
25. 石原義弘、大西英博、佐藤美洋(北大院薬)、銅錯体によるシクロブタノールのエナンチオ選択的な開環を伴うカルボキシル化反応の開発、日本薬学会第 137 年会、東北大学川内北キャンパス(仙台)、2017 年 3 月 26 日
 26. 石井聖、樋口裕紀、美多剛、佐藤美洋(北大院薬)、二酸化炭素を用いたパラジウム触媒によるインドリルメタノール誘導体のカルボキシル化反応、日本薬学会第 137 年会、東北大学川内北キャンパス(仙台)、2017 年 3 月 26 日
 27. 道上健一、美多剛、佐藤美洋(北大院薬)、二酸化炭素を用いたコバルト触媒によるアリル位 C(sp³)-H 結合カルボキシル化反応の開発、日本薬学会第 137 年会、東北大学川内北キャンパス(仙台)、2017 年 3 月 26 日
 28. 美多剛、道上健一、佐藤美洋(北大院薬)、二酸化炭素を用いるアリル位 C(sp³)-H 結合の触媒的カルボキシル化反応、第 43 回反応と合成の進歩シンポジウム、富山国際会議場(富山)、2017 年 11 月 7 日
 29. 石井聖、樋口裕紀、美多剛、佐藤美洋(北大院薬)、CO₂ を一炭素源として用いた新規触媒的ダブルカルボキシル化反応の開発、日本薬学会第 138 年会、金沢、2018 年 3 月 27 日

③ ポスター発表 (国内会議 14 件、国際会議 18 件)

1. 菅原真純¹、齋藤啓介¹、美多剛¹、佐藤美洋^{1,2}(¹北大院薬、²ACT-C, JST)、Copper-Catalyzed Enantioselective Silylation to *N*-Sulfonyl Imines toward Asymmetric Synthesis of α -Amino Acids Using CO₂, OMCOS 17、フォートコリンズ(アメリカ)、2013 年 7 月 29 日
2. 谷口敬寿¹、齋藤望¹、星谷尚亨¹、周東智¹、有澤光弘^{1,2}、佐藤美洋^{1,2}(¹北大院薬、²ACT-C, JST)、Sulfur-Modified Au-Supported Palladium-Catalyzed Double Carbonylation Reaction under Ligand-Free Conditions, OMCOS 17、フォートコリンズ(アメリカ)、2013 年 7 月 29 日
3. 美多剛¹、樋口裕紀¹、佐藤美洋^{1,2}(¹北大院薬、²ACT-C, JST)、One-Pot Synthesis of α -Amino Acids from Three Basic Materials: an Aldehyde, an Amine, and CO₂, OMCOS 17、フォートコリンズ(アメリカ)、2013 年 7 月 29 日
4. 星谷尚亨¹、周東智¹、有澤光弘^{1,2,3}(¹北大院薬、²ACT-C, JST、²阪大院薬)、Palladium(II)-catalyzed Regioselective Intermolecular Direct Arylation of Tertiary Carbon on Cyclopropane, OMCOS 17、フォートコリンズ(アメリカ)、2013 年 7 月 29 日
5. 高木耕治¹、佐藤隆俊¹、アルアミン モハンマド¹、星谷尚亨¹、周東智¹、有澤光弘^{1,2,3}(¹北大院薬、²ACT-C, JST、²阪大院薬)、Development of sulfur-modified Au-supported palladium and its use in medicinal research, The Sixteenth International Symposium on Relations between Homogeneous and Heterogeneous Catalysis (ISHHC-16)、北海道大学(札幌)、2013 年 8 月 5 日
6. 谷口敬寿¹、齋藤望¹、星谷尚亨¹、周東智¹、有澤光弘^{1,2}、佐藤美洋^{1,2}(¹北大院薬、²ACT-C, JST)、硫黄修飾金に担持したパラジウム触媒によるリガンドフリー条件でのダブルカルボニル化反応の開発、第 60 回有機金属化学討論会、学習院大学(東京都豊島区)、2013 年 9 月 12 日
7. 齋藤望¹、林香代子¹、濱田勝征¹、小山桃子¹、佐藤美洋^{1,2}(¹北大院薬、²ACT-C, JST)、イナミドへの二酸化炭素の固定化と不斉水素化を経由した α -アミノ酸誘導体のエナンチオ選択的合成、第 60 回有機金属化学討論会、学習院大学(東京都豊島区)、2013 年 9 月 14 日
8. 樋口裕紀¹、美多剛¹、佐藤美洋^{1,2}(¹北大院薬、²ACT-C, JST)、二酸化炭素を一炭素源として用いたアルデヒドからの α -アミノ酸および α -ヒドロキシ酸の新規合成法の開発、第 39 回反応と合成の進歩シンポジウム、九州大学医学部百年講堂(福岡)、2013 年 11 月 6 日
9. 谷口敬寿¹、齋藤望¹、星谷尚亨¹、周東智¹、有澤光弘^{1,2}、佐藤美洋^{1,2}(¹北大院薬、²ACT-C, JST)、SAPd 触媒を用いたヨウ化アリールへのダブルカルボニル化反応、新学術領域「分子活性化」第 7 回公開シンポジウム、北海道大学学術交流会館(札幌)、2014 年 6 月 20 日
10. 田中寛之¹、道上健一¹、美多剛¹、佐藤美洋^{1,2}(¹北大院薬、²ACT-C, JST)、Ruthenium-Catalyzed C(sp²)-H Silylation of Arylpyrazoles Followed by Carboxylation with CO₂, ICOMC 2014、ロイトン札幌(札幌)、2014 年 7 月 14 日
11. 孫仲冬¹、齋藤望¹、佐藤美洋^{1,2}(¹北大院薬、²ACT-C, JST)、Nickel(0)-Promoted Carboxylation of Aryl Ynol Ether with CO₂, ICOMC 2014、ロイトン札幌(札幌)、2014 年 7 月 17 日
12. 谷口敬寿¹、齋藤望¹、星谷尚亨¹、周東智¹、有澤光弘^{1,2}、佐藤美洋^{1,2}(¹北大院薬、²ACT-C, JST)、Sulfur-Modified Au-Supported Palladium (SAPd) -Catalyzed Double Carbonylation of Aryl

- Iodides under Atmospheric CO Pressure, ICOMC 2014, ロイトン札幌(札幌)、2014年7月17日
13. 樋口裕紀¹、美多剛¹、佐藤美洋^{1,2}(¹北大院薬、²ACT-C, JST)、One-Pot Synthesis of α -Amino Acids and α -Hydroxy Acids from Aldehydes and Carbon Dioxide, ICOMC 2014, ロイトン札幌(札幌)、2014年7月17日
 14. 肖玫岑¹、星谷尚亨^{2,3}、周東智²、藤岡弘道¹、有澤光弘^{1,3}(¹阪大院薬、²京都薬大、³北大院薬)、硫黄修飾ガラス担持型パラジウムの開発:リガンドフリーBuchwald-Hartwig 反応、第61回有機金属化学討論会、九州大学医学部百年講堂(福岡)、2014年9月24日
 15. 有澤光弘^{1,2,3}、佐藤隆俊¹、星谷尚亨^{1,4}、モハムドアルアミン¹、小上裕二⁵、周東智¹(¹北大院薬、²ACT-C, JST、³阪大院薬⁴京都薬大、⁵PRISM BioLab)、Ligand-free Suzuki-Miyaura Coupling with Sulfur-modified Gold-supported Palladium in the Synthesis of a Conformationally-Restricted Cyclopropane Compound Library with Three-Dimensional Diversity、2nd International Conference on Organochemicals and Catalysis (OM&Cat 2014)、東大寺総合文化センター金鐘ホール(奈良)、2014年10月28日
 16. 齋藤望¹、孫仲冬¹、佐藤美洋^{1,2}(¹北大院薬、²ACT-C, JST)、ニッケル錯体によるイノールエーテルのカルボキシル化と不斉水素化を経由した β -アリールオキシカルボン酸類のエナンチオ選択的合成、第40回反応と合成の進歩シンポジウム、東北大学百周年記念会館(仙台)、2014年11月11日
 17. 美多剛¹、菅原真純¹、齋藤啓介¹、佐藤美洋^{1,2}(¹北大院薬、²ACT-C, JST)、Asymmetric Synthesis of α -Amino Acids Using CO₂ via Copper-Catalyzed Silylation Followed by Stereospecific Carboxylation, ICCEOCA-9、クアラルンプール(マレーシア)、2014年12月3日
 18. 淡路直矢¹、田口直人¹、齋藤望¹、谷口敬寿¹、佐藤美洋^{1,2}(¹北大院薬、²ACT-C, JST)、Nickel-Promoted Carboxylation of Alkenes: Synthesis of Acrylic Acid Derivatives, OMCOS18、シッチェス(スペイン)、2015年6月29日
 19. 谷口敬寿¹、齋藤望¹、星谷尚亨¹、藤木勝将²、周東智¹、本間徹生³、藤岡弘道²、有澤光弘^{2,4}、佐藤美洋^{1,4}(¹北大院薬、²阪大院薬、³高輝度光科学研究センター、⁴ACT-C, JST)、Nickel-Catalyzed Carboxylation of Alkynes Using Sulfur-Modified Au-Supported Nickel Nanoparticles Catalyst (SANi), OMCOS18、シッチェス(スペイン)、2015年6月29日
 20. 菅健太¹、美多剛¹、佐藤香¹、佐藤美洋^{1,2}(¹北大院薬、²ACT-C, JST)、Carboxylation of Halocarbons with CO₂ Using a Structurally Strained Disilane, OMCOS18、シッチェス(スペイン)、2015年7月1日
 21. 菅健太、美多剛、佐藤香、佐藤美洋(北大院薬)、二酸化炭素を一炭素源とした環状ジシランによるアリール、アルケニル及びアルキニルハライドのカルボキシル化反応の開発、第27回札幌万有シンポジウム、北海道大学工学部オープンホール(札幌)、2015年7月4日
 22. Iman Abdullah, Nozomi Saito, Kayoko Hayashi, Katsuyuki Hamada, Momoko Koyama, and Yoshihiro Sato, Nickel-Mediated and -Catalyzed Carboxylation of Ynamide and Its Application to the Enantioselective Synthesis of α -Amino Acid Derivatives, IKCOC-13, Rihga Royal Hotel KYOTO(京都)、2015年11月10日
 23. Takahisa Taniguchi¹, Nozomi Saito¹, Naoyuki Hoshiya¹, Katsumasa Fujiki², Satoshi Shuto¹, Hiromichi Fujioka², Mitsuhiro Arisawa², Yoshihiro Sato¹(¹北大院薬、²阪大院薬)、Sulfur-Modified Au-Supported Nickel Nanoparticles Catalyst (SANi)-Catalyzed Hydrocarboxylation of Alkynes, IKCOC-13, Rihga Royal Hotel KYOTO(京都)、2015年11月11日
 24. Takahisa Taniguchi¹, Nozomi Saito¹, Naoyuki Hoshiya¹, Katsumasa Fujiki², Satoshi Shuto¹, Hiromichi Fujioka², Mitsuhiro Arisawa², Yoshihiro Sato¹(¹北大院薬、²阪大院薬)、Nickel-catalyzed Hydrocarboxylation of Alkynes and Styrenes Using Sulfur-modified Au-supported Nickel Nanoparticles Catalyst, ICOMC2016, Melbourne Convention and Exhibition Centre(オーストラリア)、2016年7月21日
 25. 秋山敏毅¹、本間徹生²、藤岡弘道¹、佐藤美洋³、有澤光弘¹(¹阪大院薬、²高輝度光科学研究センター、³北大院薬)、硫黄修飾金担持型ルテニウムナノ粒子触媒の開発とリガンドフリー鈴木-宮浦反応への応用、第36回有機合成若手セミナー「明日の有機合成を担う人のために」、京都薬科大学(京都)、2016年8月9日
 26. 石原義弘、大西英博、佐藤美洋(北大院薬)、銅錯体によるシクロブタノール誘導体の開環を伴うカルボキシル化反応の開発、第33回有機合成化学セミナー、ヒルトンニセコビレッジ(ニセコ)、

- 2016年9月7日
27. 道上健一、美多剛、佐藤美洋(北大院薬)、コバルト触媒と二酸化炭素によるアリル位 C-H 結合カルボキシル化反応の開発、第 63 回有機金属化学討論会、早稲田大学西早稲田キャンパス(東京)、2016年9月16日
 28. Iman Abdullah, Ryohei Doi, Takahisa Taniguchi, Nozomi Saito, Yoshihiro Sato(北大院薬)、Nickel-Catalyzed Regioselective Hydrocarboxylation of Ynamides、第 63 回有機金属化学討論会、早稲田大学西早稲田キャンパス(東京)、2016年9月16日
 29. 秋山敏毅¹、本間徹生²、藤岡弘道¹、佐藤美洋³、有澤光弘¹(¹阪大院薬、²高輝度光科学研究センター、³北大院薬)、ルテニウムナノ粒子触媒を用いたリガンドフリー鈴木-宮浦反応の開発、第 46 回 複素環化学討論会、金沢歌劇座(金沢)、2016年9月27日
 30. 石井聖、樋口裕紀、美多剛、佐藤美洋(北大院薬)、二酸化炭素を一炭素源として利用したインドールカルボン酸誘導体の新規合成法の開発、第 111 回有機合成シンポジウム、岡山大学津島キャンパス(岡山)、2017年6月9日
 31. 石原義弘、大西英博、佐藤美洋(北大院薬)、銅触媒によるシクロブタノールのエナンチオ選択的な C-C 結合切断を伴うカルボキシル化反応の開発、第 64 回有機金属化学討論会、東北大学百周年記念会館(仙台)、2017年9月9日
 32. Tsuyoshi Mita, Kenichi Michigami, Satoshi Hanagata, Masashi Uchiyama, Yoshihiro Sato (北大院薬)、Formation of Nucleophilic p-Allylcobalt Complexes via C(sp³)-H Activation: Coupling with low reactive CO₂ and Ketones, The 12th International Conference on Cutting-Edge Organic Chemistry, Yongning Hall, Ambassador International Hotel(西安, 中国)、2017年11月3日

(4)知財出願

① 国内出願 (1 件)

1. 金属ナノ粒子含有複合体及びその利用、有澤光弘・周東 智・星谷尚亨・新井聡史、独立行政法人 科学技術・株式会社 フルヤ金属、2013年3月28日、特願 2013-069471

② 海外出願 (1 件)

1. 金属ナノ粒子含有複合体及びその利用、有澤光弘・周東 智・星谷尚亨・新井聡史、独立行政法人 科学技術・株式会社 フルヤ金属、2014年3月28日、WO2014/157677 A2, PCT(米国・イギリス・フランス・ドイツ・中国・韓国)

③ その他の知的財産権

(他に記載すべき知的財産権があれば記入してください。(実用新案 意匠 プログラム著作権 等))

(5)受賞・報道等

① 受賞

1. 有澤光弘、平成 26 年度大阪大学総長顕彰・総長奨励賞、2014年7月8日
2. 佐藤美洋、平成 26 年度北海道大学研究総長賞(奨励賞)、2015年3月11日
3. 有澤光弘、平成 27 年度大阪大学総長顕彰・総長奨励賞、2015年7月14日
4. 佐藤美洋、Asian Core Program/Advanced Research Network Lectureship Award (Korea)、2016年10月30日
5. 佐藤美洋、Asian Core Program/Advanced Research Network Lectureship Award (China)、2016年10月30日
6. 有澤光弘、平成 29 年度日本薬学会学術振興賞、2017年3月24日

② マスコミ(新聞・TV等)報道(プレス発表をした場合にはその概要も記入してください。)

1. 上記の「②口頭発表」記載の 16 は、「日本化学会第 96 春季年会」のハイライト講演に選出され、2016年3月7日(月)14:00 から化学会館 6 階会議室で行われた記者会見において、研究内容のプレゼンテーションを行なった。
2. 「石油化学新報」(重化学工業通信社 発行)2016年3月10日付に、上記の学会発表に関して、その概要が紹介された。

③その他

1. 上記の「(1)原著論文発表」記載の 14 は, *Chem. Asian J.*誌の Back Cover に採用された (Back Cover の DOI: 10.1002/asia.201590017).
2. 上記の「(1)原著論文発表」記載の 15 の成果は, 二次情報誌 *Synfacts* 誌の Highlights として紹介された DOI: 10.1055/s-0034-1380992).

(6)成果展開事例

①実用化に向けての展開

- ・ 和光純薬工業(株)より SAPd を市販中(製造 フルヤ金属)
- ・ ナノ粒子触媒を用いたデスクトップファクトリーの開発について、民間企業1社(守秘義務あり)と共同研究中

② 社会還元的な展開活動

該当なし

§ 7. 研究期間中の活動

(2) 主なワークショップ、シンポジウム、アウトリーチ等の活動

年月日	名称	場所	参加人数	概要
2013年1月7日	チーム内ミーティング (非公開)	北海道大学	5人	研究進捗報告のためのミーティング
2013年3月1日	チーム内ミーティング (非公開)	北海道大学	5人	研究進捗報告のためのミーティング
2013年5月9日	チーム内ミーティング (非公開)	北海道大学	5人	研究進捗報告のためのミーティング
2013年8月7日	チーム内ミーティング (非公開)	北海道大学	5人	研究進捗報告のためのミーティング
2013年9月26日	チーム内ミーティング (非公開)	北海道大学	5人	研究進捗報告のためのミーティング
2013年10月30日	チーム内ミーティング (非公開)	北海道大学	5人	研究進捗報告のためのミーティング
2013年12月5日	チーム内ミーティング (非公開)	北海道大学	5人	研究進捗報告のためのミーティング
2014年1月27日	チーム内ミーティング (非公開)	北海道大学	5人	研究進捗報告のためのミーティング
2014年3月24日	チーム内ミーティング (非公開)	北海道大学	5人	研究進捗報告のためのミーティング
2014年5月8日	チーム内ミーティング (非公開)	北海道大学	4人	研究進捗報告のためのミーティング
2014年6月19日	チーム内ミーティング (非公開)	北海道大学	4人	研究進捗報告のためのミーティング
2014年9月12日	チーム内ミーティング (非公開)	北海道大学	3人	研究進捗報告のためのミーティング
2014年9月19日	帯広柏葉高校での特別授業	帯広柏葉高校	30人	帯広柏葉高校の高校生対象にACT-Cでの研究を含む、研究内容の紹介を行った
2014年10月8日	JST 監事監査(非公開)	北海道大学	7人	ACT-C プロジェクトに関する監事監査において研究の状況を説明
2014年10月22日	チーム内ミーティング (非公開)	北海道大学	5人	研究進捗報告のためのミーティング
2014年12月15日	チーム内ミーティング (非公開)	北海道大学	4人	研究進捗報告のためのミーティング
2015年2月28日	チーム内ミーティング (非公開)	大阪大学	2人	研究進捗報告のためのミーティング
2015年2月28日	ACT-C サイトビジット (非公開)	大阪大学	6人	サイトビジットにて、研究進捗の報告を行った
2015年3月26日	チーム内ミーティング (非公開)	神戸学院大学	4人	研究進捗報告のためのミーティング
2015年5月22日	チーム内ミーティング (非公開)	北海道大学	3人	研究進捗報告のためのミーティング
2015年7月22日	函館中部高校での特別授業	函館中部高校	15人	函館中部高校の高校生対象にACT-Cでの研究を含む、研究内容

				の紹介を行った
2015年7月23日	チーム内ミーティング (非公開)	北海道大学	5人	研究進捗報告のためのミーティング
2015年8月25日	函館ラサール高校での 特別授業	函館ラサール 高校	10人	函館ラサール高校の高校生対象に ACT-Cでの研究を含む, 研究内容 の紹介を行った
2015年10月1日	チーム内ミーティング (非公開)	北海道大学	8人	研究進捗報告のためのミーティング
2015年10月29日	チーム内ミーティング (非公開)	北海道大学	5人	研究進捗報告のためのミーティング
2015年11月11日	チーム内ミーティング (非公開)	大阪大学	4人	研究進捗報告のためのミーティング
2015年12月2日	チーム内ミーティング (非公開)	北海道大学	5人	研究進捗報告のためのミーティング
2016年1月13日	チーム内ミーティング (非公開)	北海道大学	5人	研究進捗報告のためのミーティング
2016年2月22日	チーム内ミーティング (非公開)	北海道大学	5人	研究進捗報告のためのミーティング
2016年3月23日	チーム内ミーティング (非公開)	大阪大学	7人	研究進捗報告のためのミーティング
2016年5月10日	チーム内ミーティング (非公開)	北海道大学	8人	研究進捗報告のためのミーティング
2016年6月16日	チーム内ミーティング (非公開)	富士ソフト ア キバプラザ	2人	研究進捗報告のためのミーティング
2016年9月1日	チーム内ミーティング (非公開)	北海道大学	8人	研究進捗報告のためのミーティング
2016年9月29日	岩見沢東高校での特別 授業	岩見沢東高 校	12人	岩見沢東高校の高校生対象に ACT-Cでの研究を含む, 研究内容 の紹介を行った
2016年11月15日	チーム内ミーティング (非公開)	北海道大学	7人	研究進捗報告のためのミーティング
2017年2月2日	チーム内ミーティング (非公開)	北海道大学	8人	研究進捗報告のためのミーティング
2017年2月20日	チーム内ミーティング (非公開)	大阪大学	9人	研究進捗報告のためのミーティング
2017年6月5日	チーム内ミーティング (非公開)	北海道大学	5人	研究進捗報告のためのミーティング
2017年9月15日	チーム内ミーティング (非公開)	北海道大学	8人	研究進捗報告のためのミーティング
2017年11月14日	チーム内ミーティング (非公開)	北海道大学	5人	研究進捗報告のためのミーティング