

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19H02713

研究課題名（和文）カルボン酸水素化の基礎学理に基づく発展型分子触媒の開発とその応用展開

研究課題名（英文）Synthetic improvement of the basic principle for molecular hydrogenation catalysis of carboxylic acids

研究代表者

齋藤 進（Saito, Susumu）

名古屋大学・物質科学国際研究センター・教授

研究者番号：90273268

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）：「自己誘導型カルボン酸の水素化」という申請者が独自に以前に発見した水素化の基礎学理を用いて、金属錯体触媒（分子触媒）を用いる多種多様なカルボン酸の水素化法を深化すると同時に大きく発展させた。それら分子触媒は今回申請者が独自に開発した単座配位子や二座配位子をもつルテニウム（Ru）錯体および四座配位子をもつイリジウム（Ir）錯体である。天然由来のバイオマス資源カルボン酸類の水素化にそれら分子触媒を用いることでよりエネルギー豊富な対応するアルコールを水のみを副生物として得ることに成功した。今回検討したカルボン酸は1級カルボン酸である脂肪酸やアミノ酸、ポリカルボン酸であるクレブス回路代謝物などを含む。

研究成果の学術的意義や社会的意義

「失活しにくい長寿命高活性触媒」「より省エネで働く官能基許容触媒」が今回実現し、基礎的な学術研究を機軸とした数々の発展型分子触媒が創製され、次代に必要とされる再生可能な基幹アルコールや光学活性アルコールの多様化にも道を拓いた。産業界との対話によれば、今回見出した発展型分子触媒は技術化・事業化レベルに十分に繋がるレベルだと判断できる。より省エネかつ省資源的にCO₂を水素化しメタノールを合成する実用的な手法開発も社会と産業に大きく貢献する。低炭素利用を通じた持続可能社会や社会的共有価値の創造（CSV）に寄与する布石として社会的インパクトも大きいと考えている。

研究成果の概要（英文）：We previously discovered a new concept “carboxylic acid (CA) self-induced hydrogenation of CA”, which in this project was developed into a more general method for various hydrogenation of biomass-derived monocarboxylic acids such as fatty acids, and amino acids, and the Krebs cycle metabolites including polycarboxylic acids, to the corresponding alcohols. The hydrogenation was effectively and selectively promoted by newly-devised ruthenium complexes with monodentate or bidentate phosphine ligands or iridium complexes with tetradentate ligands as catalysts.

研究分野：有機化学

キーワード：水素化 金属錯体触媒 分子触媒 カルボン酸 アルコール CO₂ メタノール ギ酸

1. 研究開始当初の背景

枯渇資源への大きな依存度を幾分改め、再生可能資源も含めて炭素資源を多様化する必要性が今日叫ばれている。なかでもカルボン酸 (RCO₂H, 以下 CA と略す) は天然に豊富に存在し、CO₂ から光反応および熱反応によっても合成できるため有望な炭素資源である。「糖質バイオマス資源由来の高付加価値化合物群上位 30」の 20 種類以上が CA である (*Green Chem.* **2010**, *12*, 539)。バイオ技術や石油化学行程などから大規模生産も可能なため、CA をアルコールへと変換し、炭素ニュートラルな資源としての有効利用が強く求められている。アルコール類は燃料やファインケミカルの基幹原料として、次世代水素エネルギー源や電力貯蔵体 (*Energy Environ. Sci.* **2015**, *8*, 1456) としても汎用性が高い。CA からアルコールへの最も直截かつ理想的な還元法の一つが触媒的水素化である。しかしながら高収率で CA から水のみを副生させアルコールを与える上で、CA に対するモル比で 2–5% (mol%) もの触媒量を要するなど、官能基阻害による触媒の低活性や失活が大きな問題である。CO₂ の水素化でも同様に低活性もしくは不活性な分子触媒の前例しかない。触媒の「低活性」と「失活」はどのような金属錯体構造によって解決するか? という問いには当初答えが全く見つかっていなかった。

2. 研究の目的

カルボン酸は次世代の再生可能炭素原料として期待が高い反面、その力量ある触媒の化学変換は極めて難しい。本研究では、応募者らが発見した基幹学理「カルボン酸の自己誘導型カルボン酸の水素化 (*Nat. Commun.* **2015**; *Sci. Rep.* **2017**; *Chem. Commun.* **2018**)」を促進する触媒の原型構造「カチオン性単核金属カルボキシレート錯体」の高い潜在性と普遍性を、基質適用範囲を大幅に拡大することで証明し、実用化や技術化にも耐えうる高活性もしくは高選択的な発展型分子触媒へと大きく展開することを目的とする。

3. 研究の方法

① カルボン酸の高活性水素化法、② 官能基化カルボン酸の官能基許容的な水素化法、③ CO₂ の触媒的水素化法 (CH₃OH 合成法) を開発し、続いて④ 新奇な分岐ポリスチレン架橋位担持触媒や、炭素材料担持触媒へと発展させるための学術的な基盤研究を行った。鍵を握るのはさまざまな配位子と金属との組み合わせからなる新規な金属錯体群の立体的および電子的な性能を微妙に変化させ、カルボン酸やその他様々な官能基でも触媒が失活しない絶妙な錯体構造を創造することにある。

4. 研究成果

以下の 4 項目に分けてそれぞれ実験研究を行い、当初想定していた以上の研究成果を得た。様々な (PP)Ru 錯体や (PNNP)Ir 錯体、および他金属殻をもつ PNNP 金属錯体を合成し、カルボン酸の水素化や CO₂ の還元反応に用いることでそれら錯体触媒群の、新たな還元手法としての有効性と学術的な意義を明確に証明することに成功した。

- ① カルボン酸の高活性水素化法の開発 (図 1a)

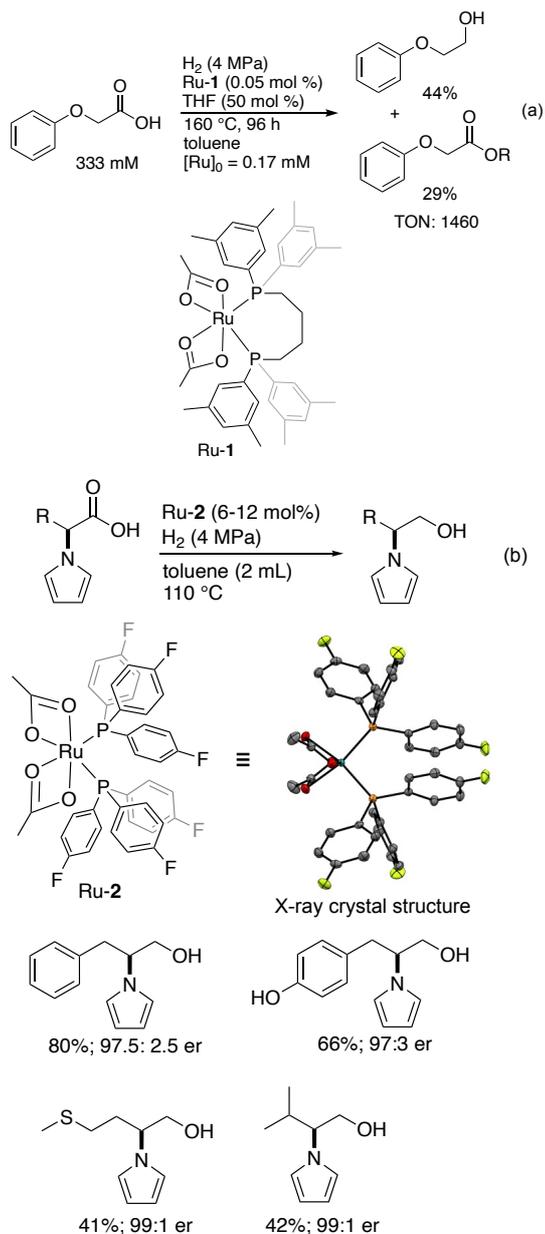


図 1 (PP)Ru 錯体を用いる水素化

延べ約 20 種類の単座配位子および二座配位子を新たに合成した。それらや市販の配位子 40 種類程度と Ru(acac)₃ を反応系中で混合し系内で錯形成させて合成した (PP)Ru 錯体をモデル基質である 2-フェニルプロピオン酸の水素化に用いて配位子がもたらす触媒活性の違いを検討した。その結果、最も高い触媒活性が錯体触媒 Ru-1 の配位子を用いた場合にみられた。Ru 錯体触媒の綿密な調整法が高活性な (PP)Ru 錯体の形成に必須であることを見出した。最終的には Ru-1 を合成の上単離精製し、その錯体を用いた α -フェノキシ酢酸の水素化を検討したところ最高の触媒回転数 (TON) として TON >1400 で還元反応自体は進行したが、対応するアルコールを高選択的に得ることは難しく、エステル形成を有意に抑えることができなかった。エステル形成は、カチオン性錯体がLewis酸触媒として働いたためだと判断した (*Bull. Chem. Soc. Jpn.* **2021**, *94*, 1510 (Selected Paper; Inside Front Cover))。

② 官能基化カルボン酸の官能基許容的な水素化法の開発 (図 1b)

様々な単座配位子および二座配位子を検討する中から N 保護 α -アミノ酸の水素化に最も有効なフッ化アリール置換リン配位子を見出した。この配位子をもつ (PP)Ru 錯体 Ru-2 を用いたところ 100 °C–120 °C 程度の低温条件で N 保護 α -アミノ酸の水素化が進行し、還元生成物である β -アミノアルコールの不斉炭素の絶対配置は水素化の前後でほぼ保持された。世界で初めての N 保護 α -アミノ酸の絶対立体配置保持型の水素化法だと位置付けられる (*Adv. Synth. Catal.* **2020**, *362*, 424 (Invited))。反応中間体として非常に不安定でエピ化しやすい光学活性な α -アミノアルデヒドが生じているはずだが、本反応条件下で有意にエピ化を避けることができた本手法の利点は注目に値する。カチオン性の (PP)Ru 錯体触媒は総じて、カルボン酸が Ru 中心に直接相互作用する内圏型水素移動機構によって Ru–H のヒドリドがカルボン酸のカルボニル炭素に移り還元反応が進行する。一方でカチオン性金属中心を含む内圏型水素移動機構が内面的にもつ反応性制御の難しさと官能基許容性の限界を想定し、(還元されるカルボン酸基質が金属中心に触れにくい) 外圏型水素移動機構が働くと期待される PNNP 型四座配位子をもつ Ir ((PNNP)Ir) 錯体を今回新たに開発した。その結果、(PNNP)Ir 錯体を用いれば (Ir = 0.5–1.5 mol % (per acid); NaH, none or 6–9 mol%; 180–190 °C, P_{H_2} = 6 MPa)、さまざまな 1 価カルボン酸、2 価カルボン酸ならびにその他の多価カルボン酸を効果的に水素化でき、対応する 1 価アルコール、2 価アルコール、および多価アルコールへと変換できる (図 2a,b) ことを証明した (*Sci. Adv.* **2020**, *6*: eabc0274; *ACS Catal.* **2022**, *12*, 1957 (Editor's choice; Front cover; Most Read as of Jan 2023))。高温を必要とする一つの理由は、多価カルボン酸類が用いるトルエン溶媒に溶けにくいことが挙げられる。これら多官能基化カルボン酸類の官能基によって触媒が失活せず、触媒活性を長時間維持できた秘訣は、嵩高い PNNP 配位子で覆われた実質的に配位飽和な Ir 中心が H₂ 分子などの、より小さな分子のみを優先的・選択的に取り込むことができるという本 Ir 錯体構造がもつ独特の性質に起因すると考えられる。

③ CO₂ の触媒的水素化法 (CH₃OH 合成法) の開発

同様に (PNNP)Ir 錯体を用いて CO₂ の水素化 (Ir = 1 μ mol; NaH, 90–180 μ mol; 190 °C, P_{H_2} = 8.4 MPa, P_{CO_2} = 2 MPa) を検討したところ、CO₂ トラップ剤 (CO₂ の系中濃度をあげる補助分子) であるアミンや MOF を用いることなく単核・単独の均一系分子触媒のみを用いる CO₂ の水素化として現時点では世界最高の TON = 9,900 で MeOH (9.9 mmol) へと変換できることを証明した

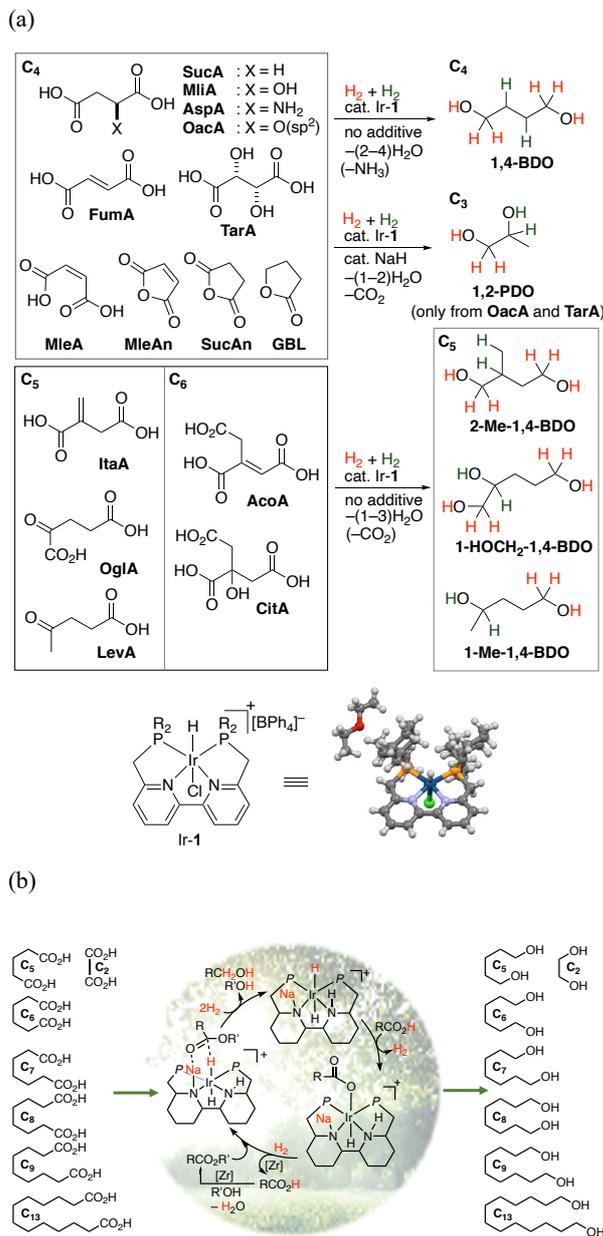


図 2 Ir-1 を用いるポリカルボン酸類の水素化

(論文投稿中)。本反応は $\text{CO}_2 \rightarrow \text{HCO}_2\text{Et} \rightarrow \text{MeOH}$ の多段階反応経路を辿る。その中で HCO_2Et の分解による一酸化炭素 (CO) の形成が示唆されたが、逆反応 $\text{CO} + \text{EtOH} \rightarrow \text{HCO}_2\text{Et}$ によって HCO_2Et が水素化されるため、CO の量を最小限に抑えることができる。また嵩高い(PNNP)Ir 錯体を用いることで C-H 結合をもつ有機化合物を電子源・プロトン源とする CO_2 の可視光還元反応が進行し、ギ酸 (とギ酸塩) が高い触媒回転数 (TON = 10,400 以上) で形成されることを見出した。別途光増感剤を必要としない、自己光増感型の単核・単独の金属錯体触媒を用いる CO_2 の光還元法による選択的なギ酸合成法としては現時点では世界最高の TON である (*J. Am. Chem. Soc.* **2020**, *142*, 10261; *Chem. Commun.* **2022**, *58*, 9218 (Invited))。熱反応、光反応いずれにおいても微量に生成する CO によって(PNNP)Ir 触媒が失活しないことは新たな発見であった。Ir 殻を Ru および Fe へと変えても CO_2 の光還元は進行した (*Synlett* **2022**, *33*, 1137 (Invited); *Organometallics* **2022**, *41*, 1865 (Invited))。前者の(PNNP)Ru 錯体を用いる方法では同様に別の光増感剤を必要としない。(PNNP)Ir 錯体は、高温条件下においてだけでなく光照射下においても頑健な錯体構造を保てることが示唆された。

④ 新奇な分岐ポリスチレン架橋位担持触媒や、炭素材料担持触媒への発展

澤村正也教授 (北海道大学) の研究グループとの共同研究を通じて分岐ポリスチレン架橋位リン二座配位子 (PS-DPPBz) および三座配位子 (PS-triphos) の合成と、それらを配位子とする Ru および Re を担持金属とする不均一系触媒 (不均一化された分子触媒) の開発を行った。カルボン酸の水素化触媒として対応する均一系触媒の同等の活性が発現したが、当初の予定に反して均一系触媒をはるかに上回る触媒活性までには至らなかった。また様々な炭素材料に(PNNP)Ir 錯体溶液をドロップキャストする方法を用いて錯体担持炭素電極触媒 ((PNNP)Ir-C) の作製と合成的・触媒的応用に成功した。すなわち、(PNNP)Ir-C をカソード電極として用いて CO_2 の水による電解還元法を検討したところ、低い過電圧 (100 mV 未満) とまずまずのファラデー効率 (~90%) で CO_2 からギ酸を選択的に得ることに成功した。この際、CO や H_2 の形成をほぼ抑えられた点は既存例と比較しても注目に値する。電気エネルギーが水素 (H-H) エネルギーではなく C-H 結合の化学エネルギーとして選択的に蓄えられた (論文執筆中)。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計20件（うち査読付論文 18件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Noto Naoki, Yada Akira, Yanai Takeshi, Saito Susumu	4. 巻 62
2. 論文標題 Machine Learning Classification for the Prediction of Catalytic Activity of Organic Photosensitizers in the Nickel(II) Salt Induced Synthesis of Phenols	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 e202219107
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.202219107	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 Noto Naoki, Saito Susumu	4. 巻 12
2. 論文標題 Arylamines as More Strongly Reducing Organic Photoredox Catalysts than [Ir(ppy) ₃]	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Catalysis	6. 最初と最後の頁 15400 ~ 15415
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acscatal.2c05034	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 Yamauchi Miho, Saito Hikaru, Sugimoto Toshiki, Mori Shogo, Saito Susumu	4. 巻 472
2. 論文標題 Sustainable organic synthesis promoted on titanium dioxide using coordinated water and renewable energies/resources	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Coordination Chemistry Reviews	6. 最初と最後の頁 214773
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ccr.2022.214773	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 Wakabayashi Taku, Kamada Kenji, Sekizawa Keita, Sato Shunsuke, Morikawa Takeshi, Jung Jieun, Saito Susumu	4. 巻 41
2. 論文標題 Photocatalytic CO ₂ Reduction Using an Iron-Bipyridyl Complex Supported by Two Phosphines for Improving Catalyst Durability	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Organometallics	6. 最初と最後の頁 1865 ~ 1871
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.organomet.2c00171	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 Groemer Bendik, Yoshioka Shota, Saito Susumu	4. 巻 12
2. 論文標題 Selective Reduction of Carboxylic Acids to Alcohols in the Presence of Alcohols by a Dual Bulky Transition-Metal Complex/Lewis Acid Catalyst	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Catalysis	6. 最初と最後の頁 1957 ~ 1964
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acscatal.1c04392	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 Yoshioka Shota, Wen Ke, Saito Susumu	4. 巻 94
2. 論文標題 Development of Effective Bidentate Diphosphine Ligands of Ruthenium Catalysts toward Practical Hydrogenation of Carboxylic Acids	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Bulletin of the Chemical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 1510 ~ 1524
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20210023	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 Mori Shogo, Saito Susumu	4. 巻 23
2. 論文標題 C-H bond functionalization with styrenes via hydrogen-atom transfer to an aqueous hydroxyl radical under photocatalysis	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Green Chemistry	6. 最初と最後の頁 3575 ~ 3580
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1GC00753J	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 Wada Yuki, Akiyama Toshiki, Harada Kazuo, Honma Tetsuo, Naka Hiroshi, Saito Susumu, Arisawa Mitsuiro	4. 巻 11
2. 論文標題 Preparation of a platinum nanoparticle catalyst located near photocatalyst titanium oxide and its catalytic activity to convert benzyl alcohols to the corresponding ethers	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 22230 ~ 22237
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d1ra00988e	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 Jung Jieun, Saito Susumu	4. 巻 53
2. 論文標題 Recent Advances in Light-Driven Carbon-Carbon Bond Formation via Carbon Dioxide Activation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Synthesis	6. 最初と最後の頁 3263 ~ 3278
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1055/a-1577-5947	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 Jung Jieun, Saito Susumu, Kamada Kenji, Okuwa Hiroko, Wakabayashi Taku, Sekizawa Keita, Sato Shunsuke, Morikawa Takeshi	4. 巻 33
2. 論文標題 A Highly Durable, Self-Photosensitized Mononuclear Ruthenium Catalyst for CO2 Reduction	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Synlett	6. 最初と最後の頁 1137 ~ 1141
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1055/a-1709-0280	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 Soleymani Movahed Farzaneh, Foo Siang Wan, Mori Shogo, Ogawa Saeko, Saito Susumu	4. 巻 87
2. 論文標題 Phosphorus-Based Organocatalysis for the Dehydrative Cyclization of N-(2-Hydroxyethyl)amides into 2-Oxazolines	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Organic Chemistry	6. 最初と最後の頁 243 ~ 257
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.joc.1c02318	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 Yoshioka Shota, Wen Ke, Saito Susumu	4. 巻 94
2. 論文標題 Development of Effective Bidentate Diphosphine Ligands of Ruthenium Catalysts toward Practical Hydrogenation of Carboxylic Acids	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Bulletin of the Chemical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 1510 ~ 1524
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20210023	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 Yoshioka Shota, Nimura Sota, Naruto Masayuki, Saito Susumu	4. 巻 6
2. 論文標題 Reaction of H ₂ with mitochondria-relevant metabolites using a multifunctional molecular catalyst	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 eabc0274
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.abc0274	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 Kamada Kenji, Jung Jieun, Wakabayashi Taku, Sekizawa Keita, Sato Shunsuke, Morikawa Takeshi, Fukuzumi Shunichi, Saito Susumu	4. 巻 142
2. 論文標題 Photocatalytic CO ₂ Reduction Using a Robust Multifunctional Iridium Complex toward the Selective Formation of Formic Acid	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 10261 ~ 10266
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.0c03097	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 Saito Susumu, Movahed Farzaneh Soleymani, Sawant Dinesh N., Bagal Dattatraya B.	4. 巻 52
2. 論文標題 Tris(o-phenylenedioxy)cyclotriphosphazene as a Promoter for the Formation of Amide Bonds Between Aromatic Acids and Amines	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Synthesis	6. 最初と最後の頁 3253 ~ 3262
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1055/s-0040-1707174	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 Saito Akari, Yoshioka Shota, Naruto Masayuki, Saito Susumu	4. 巻 362
2. 論文標題 Catalytic Hydrogenation of N protected Amino Acids Using Ruthenium Complexes with Monodentate Phosphine Ligands	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Synthesis & Catalysis	6. 最初と最後の頁 424 ~ 429
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adsc.201901298	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 Mori Shogo, Aoki Takahiro, Selvam Kaliyamoorthy, Fukuzumi Shunichi, Jung Jieun, Saito Susumu	4. 巻 -
2. 論文標題 Spatiotemporal Control of Amide Radicals During Photocatalysis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ChemRxiv	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) 10.26434/chemrxiv.12040146.v1	査読の有無 無
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 Morioka Yuna, Huang Ivven, Saito Susumu, Naka Hiroshi	4. 巻 -
2. 論文標題 Ag(I)/TiO ₂ -Photocatalyzed N-Methylation of Amino Acids with Methanol	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ChemRxiv	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) 10.26434/chemrxiv.12588266.v1	査読の有無 無
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 Yoshioka Shota, Jung Jieun, Saito Susumu	4. 巻 78
2. 論文標題 Development of Catalytic Reduction of Renewable Carbon Resources Using Well-Elaborated Organometallic Complexes with PNNP Tetradentate Ligands	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Synthetic Organic Chemistry, Japan	6. 最初と最後の頁 856 ~ 866
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5059/yukigoseikyokaishi.78.856	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 Lyu-Ming Wang, Mitushiro Arisawa, Susumu Saito*, Hiroshi Naka*	4. 巻 21
2. 論文標題 Pd/TiO ₂ -photocatalyzed self-condensation of primary amines to afford secondary amines at ambient temperature	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Org. Lett.	6. 最初と最後の頁 341-344
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.orglett.8b03271	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36件（うち招待講演 22件 / うち国際学会 9件）

1. 発表者名 橋場 悠輝、黄意文、森岡優奈、中 寛史、森 彰吾、斎藤 進
2. 発表標題 金属担持酸化チタン光触媒とメタノールを用いるアミノ酸およびペプチドのN-メチル化反応
3. 学会等名 第103回日本化学会春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 桜井 脩、森 彰吾、斎藤 進
2. 発表標題 半導体光触媒が促す α -ヒドロキシエステルの酸化による炭素中心ラジカルの選択的な形成とその有機合成への応用
3. 学会等名 第103回日本化学会春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Farzaneh SOLEYMANIMOVAHED, Shogo Mori, Daling Lu, Takashi Hisatomi, Kazunari Domen, Susumu Saito
2. 発表標題 Photocatalytic transfer hydrogenation from water to carbon-carbon multiple bonds of unsaturated carboxylic acids
3. 学会等名 第103回日本化学会春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Bendik Groemer, Susumu Saito
2. 発表標題 Selective Hydrogenation of CO ₂ to MeOH using Sterically Confined Ir Complexes
3. 学会等名 第103回日本化学会春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Buddhini Ranasinghe, Shogo Mori, Susumu Saito
2. 発表標題 Water-controlled C(sp ³)-bond functionalization of ethers under Ag/TiO ₂ photocatalysis
3. 学会等名 第103回日本化学会春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 橋本 陸、多田 裕哉、鄭 知恩、森 彰吾、齋藤 進
2. 発表標題 ニッケル錯体と酸化チタン光触媒を用いるヘテロ原子求核剤の効率的なアリール化反応
3. 学会等名 第103回日本化学会春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 永野 泰規、納戸 直木、齋藤 進
2. 発表標題 機械学習を用いた脱水アミド化反応における触媒活性の予測
3. 学会等名 第103回日本化学会春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 西本 康一郎、亀谷 陽平、塩田 淑仁、吉澤 一成、納戸 直木、齋藤 進
2. 発表標題 PNCP四座配位子を有するイリジウム錯体を用いたカルボン酸の水素化反応
3. 学会等名 第103回日本化学会春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 棚橋 映水、若林 拓、鄭 知恩、斎藤 進
2. 発表標題 フェロセニル基を有するマンガン錯体と有機光増感剤を用いるCO ₂ の光還元反応
3. 学会等名 第103回日本化学会春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山田 千裕、若林 拓、鄭 知恩、斎藤 進
2. 発表標題 PNNP型四座配位子を有するタングステン光触媒のCO ₂ 還元反応の開発
3. 学会等名 第103回日本化学会春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 若林 拓、鄭 知恩、亀谷 陽平、塩田 淑仁、吉澤 一成、斎藤 進
2. 発表標題 フェロセニル (Fc) 基を有するクロム錯体と有機光増感剤を用いたCO ₂ 還元反応の開発
3. 学会等名 第103回日本化学会春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 柴山 寛章、大桑 寛子、鎌田 健司、鄭 知恩、斎藤 進
2. 発表標題 自己光増感型モリブデン錯体を用いた二酸化炭素の光還元反応
3. 学会等名 第103回日本化学会春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 納戸直木、斎藤進、矢田陽
2. 発表標題 光・ニッケル触媒システムにおける光増感剤の反応性予測を行う機械学習モデルの開発
3. 学会等名 第53回中部化学関係学協会支部連合秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森 彰吾、橋本 陸、久富 隆史、堂免 一成、斎藤 進
2. 発表標題 有機合成を指向した人工光合成 半導体光触媒による有機分子のC-H活性化を経る スチレン誘導体と水との脱水素型三成分連結反応
3. 学会等名 第53回中部化学関係学協会支部連合秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 斎藤進
2. 発表標題 水（素）と物質変換が拓く未来
3. 学会等名 歴史的化学論文大賞受賞記念シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 斎藤進
2. 発表標題 エネルギー応答性金属錯体が拓くCO2還元
3. 学会等名 近畿化学協会有機金属部会第3回例会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Susumu SAITO
2. 発表標題 PNNP-ligand-coordinated metal complexes as robust catalysts for hydrogenation directing toward CO ₂ and nylon reduction
3. 学会等名 BASF ARENA 2022, BASF Japan (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 斎藤進
2. 発表標題 エネルギー応答型精密Ir錯体触媒が拓くバイオマス資源とCO ₂ の還元
3. 学会等名 第960回分子研コロキウム (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 斎藤進
2. 発表標題 エネルギー応答型精密Ir錯体触媒が拓く再生可能炭素資源の水素化
3. 学会等名 名古屋大学学術・産学官連携推進本部・名古屋大学協会の主催 研究シーズ提案セミナー (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 斎藤進
2. 発表標題 エネルギー応答型精密分子触媒が拓くバイオマス資源とCO ₂ の還元
3. 学会等名 九州大学先端物質化学研究所 非常勤講師講演会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 斎藤進
2. 発表標題 多エネルギー応答型精密分子触媒が拓くCO2還元
3. 学会等名 CIPセッション「革新的触媒がもたらすカーボンネガティブ技術」, 第103回日本化学会春季年会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 斎藤進
2. 発表標題 分子触媒によるカルボン酸の水素化
3. 学会等名 第127回 触媒討論会特別シンポジウム (触媒学会) (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 斎藤進
2. 発表標題 水素を使ったカルボン酸還元技術
3. 学会等名 名商ecoクラブ 産学連携クリーンテック (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 斎藤進
2. 発表標題 水素マネジメントと再生可能な炭素資源開拓
3. 学会等名 GTRシリーズ講義第5回2020 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 齋藤進
2. 発表標題 カルボン酸水素化触媒の高機能化と光学活性化合物合成への展開
3. 学会等名 長瀬科学技術振興財団 平成30年度成果発表会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Susumu Saito
2. 発表標題 Semiconductor Photocatalysis of Renewable Alcohol and Amine Feedstock: Hydrogen Management for Fine Chemical Synthesis
3. 学会等名 International Conference on Photocatalysis and Photoenergy 2019 (ICOPP2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 齋藤進
2. 発表標題 精密錯体触媒を用いる安定カルボン酸誘導体の水素化法の開拓と応用
3. 学会等名 第115回有機合成シンポジウム企業冠賞受賞講演 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Susumu Saito
2. 発表標題 Looking for the bridge between photo-organic synthesis and surface catalysis science
3. 学会等名 The 1st Workshop of Reaction Infography (R-ing) Unit of WPI-next, Nagoya University (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Susumu Saito
2. 発表標題 Catalytic Hydrogen Management for Sustainable Future
3. 学会等名 NU-UoE JD and JSPS CtC Joint Workshop “New Horizons in Chemistry and Materials Science” (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 齋藤進
2. 発表標題 再生可能資源とCO2からのモノづくり
3. 学会等名 夢ナビTalk 2019 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 齋藤進
2. 発表標題 水素と光を操り有機物質生産を変える
3. 学会等名 夢ナビ講義ライブ 2019 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Susumu Saito
2. 発表標題 Catalytic hydrogen management: Dehydrogenative photocatalysis follows hydrogenation of carboxylic acid derivatives
3. 学会等名 School of Chemical Engineering, Nanjing University of Science and Technology (NJUST) Chemical Engineering Visiting Professor Seminar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Susumu Saito
2. 発表標題 Hydrogenation catalysis followed by semiconductor photocatalysis for fine chemicals synthesis
3. 学会等名 Zhejiang University Pharmaceutical Seminar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Susumu Saito
2. 発表標題 Catalytic hydrogen management: Dehydrogenative photocatalysis follows hydrogenation of carboxylic acid derivatives
3. 学会等名 School of Chemical Engineering, Soochow University, SU Materials Chemistry Seminar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Susumu Saito
2. 発表標題 Catalytic hydrogen management: Dehydrogenative photocatalysis follows hydrogenation of carboxylic acid derivatives
3. 学会等名 School of Chemical Engineering, Nanjing Tech University, NJTech Chemistry Seminar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Susumu Saito
2. 発表標題 TiO ₂ -based photocatalysis for selective organic synthesis and fine chemicals
3. 学会等名 3rd International Solar Fuels Conference/International Conference on Artificial Photosynthesis-2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 吉岡頌太, 斎藤進	4. 発行年 2020年
2. 出版社 化学同人	5. 総ページ数 11
3. 書名 CSJ Current Review 高機能性金属錯体が拓く触媒科学	

1. 著者名 吉岡頌太, 斎藤進	4. 発行年 2020年
2. 出版社 有機合成化学協会	5. 総ページ数 1
3. 書名 有機合成化学協会誌 十字路: Krebs (クレブス) 回路	

1. 著者名 鄭知恩, 斎藤進	4. 発行年 2020年
2. 出版社 有機合成化学協会	5. 総ページ数 1
3. 書名 有機合成化学協会誌 十字路: 光誘起電子移動	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>クレブス回路代謝物と水素でエネルギー炭素資源を創出 https://www.chem-station.com/blog/2020/12/mmc.html クレブス回路代謝物と水素でエネルギー炭素資源を創出 https://www.nagoya-u.ac.jp/about-nu/public-relations/researchinfo/upload_images/20201026_rcms1.pdf Catalyzing a zero-carbon world by harvest... https://en.nagoya-u.ac.jp/research/activities/news/2020/11/catalyzing-a-zero-carbon-world-by-harvesting-energy-from-living-cells.html アルコール取り出す効率良い触媒を開発 名大チーム バイオマス資源で成果 https://www.chunichi.co.jp/article/142505 Catalyzing a zero-carbon world by harvest... https://www.eurekalert.org/pub_releases/2020-11/nu-caz111120.php 水素が与えてくれる、持続可能な社会への夢 https://yumenavi.info/lecture_sp.aspx?GNKCD=g009882&OraSeq=56&ProId=WNA002_Sp&SerKbn=Z&SearchMod=6&Page=1&Keyword=再生可能資源やCO2からのモノづくり https://talk.yumenavi.info/archives/2534?site=p&close=true</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
---------	---------