

令和 6 年 6 月 3 日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01719

研究課題名(和文) 金ナノ粒子-酸塩基協働触媒系の作動原理解明に基づく迅速炭素-ヘテロ原子結合形成

研究課題名(英文) Rapid carbon-heteroatom bond formation based on elucidation of the principle of gold nanoparticle-acid-base cooperation

研究代表者

三浦 大樹 (Miura, Hiroki)

東京都立大学・都市環境科学研究科・准教授

研究者番号：20633267

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：酸化物担持Au触媒はエステル $C-O$ 結合ボリル化に高い活性を示す。この金ナノ粒子触媒に対して周辺の酸塩基点が及ぼす影響を解析したところ、エステルがAuナノ粒子に、ボロン酸エステルが担体上のLewis酸点によってそれぞれ活性化されることで反応が効率的に進行することを明らかにした。一方、Auナノ粒子を SiO_2 に担持した触媒では、 SiO_2 表面の弱い塩基性と、Auナノ粒子のソフトLewis酸性の協働によって、ヒドロシランからシリルカチオンが発生することで芳香族 $C-H$ 結合のシリル化が効率的に進行した。このように本研究により担持金ナノ粒子-他元素の協働触媒作用が最大限に発現される触媒に対する設計指針が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究成果は、環境負荷の少ないグリーンな有機合成を実現するために化学的安定性が高く、再利用が可能、有害な金属の生成物への混入が少ないなどの利点を有する固体触媒の高機能化指針に資するものである。特に本研究では担持金触媒による効率的な炭素-ケイ素、炭素-ホウ素結合形成反応の開発に成功しており、これらは重要な合成中間体である有機ケイ素化合物、有機ホウ素化合物の実用的な合成に資するものである。これにより医薬・農薬などの機能性有機分子の研究開発の加速が期待される。

研究成果の概要(英文)：Metal oxide-supported Au catalysts showed high activity for the C-O bond borylation of allyl esters. Detailed mechanistic study revealed that Au nanoparticles and the acid-base sites at their surroundings activated ally esters and boryl esters, respectively, thus enabling the reaction to proceed efficiently. On the other hand, SiO_2 -supported Au catalysts promoted the silylation of aromatic C-H bonds efficiently due to the generation of silyl cations from hydrosilanes by the cooperation of the weak basicity of the SiO_2 surface and the soft Lewis acidity of Au nanoparticles. These investigations provided us a guideline for designing the catalysts that maximize the cooperative catalysis of supported Au nanoparticles and other catalytic components.

研究分野：触媒化学

キーワード：担持金触媒 炭素-ヘテロ原子結合形成

1. 研究開始当初の背景

高性能触媒を用いた効率的有機分子変換は、バルクケミカルズから複雑分子骨格を有する医薬品、機能性有機材料やその中間体に至るほぼすべての合成過程において不可欠なツールとして利用されている。近年のマテリアルサイエンス、ライフサイエンスの急速な発展は、必要とする有機分子の構造をさらに多様・複雑化しており、その合成を可能とする触媒系の開発例は増加の一途を辿っている。現在、高選択的有機分子変換を必要とする有用合成中間体製造の領域では、活性中心の立体・電子状態の精密制御が可能な金属錯体触媒や有機分子触媒などの均一系分子性触媒が主役を担っている。しかしこれらはその安定性の低さのため生成物からの触媒の分離回収や反応系の高スケール化が困難であり、大型プロセスなどへの実用展開が極めて難しいという問題がある。今後の持続的な社会の発展のために、市場に対して有用有機化合物を低価格かつ安定的に供給できる製造体制を構築するには、こうした分子間結合形成反応を“大規模かつ迅速に”さらには“環境に優しく”進行させる有機分子変換システムの発展を進めなければならない。一方、担持金属触媒に代表される不均一系触媒は安定かつ触媒の回収・再利用が容易、生成物への有毒金属の混入が少ないなどの利点を有するため、古くからバルクケミカルズ合成などの大規模プロセスにおいて有効利用されている。近年では有機分子変換の分野においても酸化や還元など分子内の選択的官能基変換などに対して著しい機能向上を見せている。しかし、分子アップグレードの起爆剤である分子間結合形成反応に対する不均一系触媒の適用とそれによる有用合成中間体製造の効率化は未だ十分ではない。金属ナノ粒子を中心とする異種元素の協働触媒作用の自在制御が可能になれば、不均一系触媒のさらなる高機能化が見込まれる。しかし、それらを広範囲に実現するためには、固体表面上で協働触媒機能がどのように起こっているか、異種元素をどのように配置すれば協働触媒機能がより効率的に発現するか、各元素の電子状態をどのように制御すれば発生した活性中間体を効率的に結合させられるか、といった複数の因子を包括的に理解することが重要になると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、高活性・高環境調和的かつ安価な不均一系触媒およびその設計指針を構築することによる合成中間体生産プロセスの大幅な効率化と低コスト化を実現することを目標とした。その実現は市場に対する有用な有機分子の低価格かつ迅速な提供を可能にするだけでなく、それに相乗されて創薬や機能性材料開発が促進されるなど、より下流のマテリアルおよびライフサイエンスの発展にもインパクトを与えるのは必至である。

3. 研究の方法

担持 Au 触媒は析出沈殿法によって調製した。蒸留水に金の前駆体(HAuCl₄), 担体を加え, NaOH を用いて pH を 7 に調整し, 70 °C にて 1 h 攪拌した。得られた粉末に対して焼成および水素還元を行い, 担持 Au 触媒を得た。生成物の定性・定量には GC, LC, GC-MS, NMR を用いた。調製した触媒は種々の分光学的手法によって構造解析を行った。

4. 研究成果

(1) 担持 Au 触媒による複素環化合物の求電子的シリル化

アリールシランは様々な機能性材料の原料や、楡山クロスカップリングによるビアリール合成などに利用される有用な化合物である。遷移金属触媒を用いる C(sp²)-H 結合のシリル化は、アリールシランを合成するために有用な手法である。これまでに種々の均一系触媒の有効性が報告されているが、環境調和性の高い不均一系触媒の適用はこれまで報告されていなかった。本研究では担持 Au 触媒を用いることにより C(sp²)-H 結合のシリル化が極めて効率的に進行することを明らかにした。担持 Au 触媒はインドールやベンゾチオフェンのような複素芳香族化合物の C-H 結合シリル化に有効であり、対応するアリールシランが得られた。触媒および反応条件の

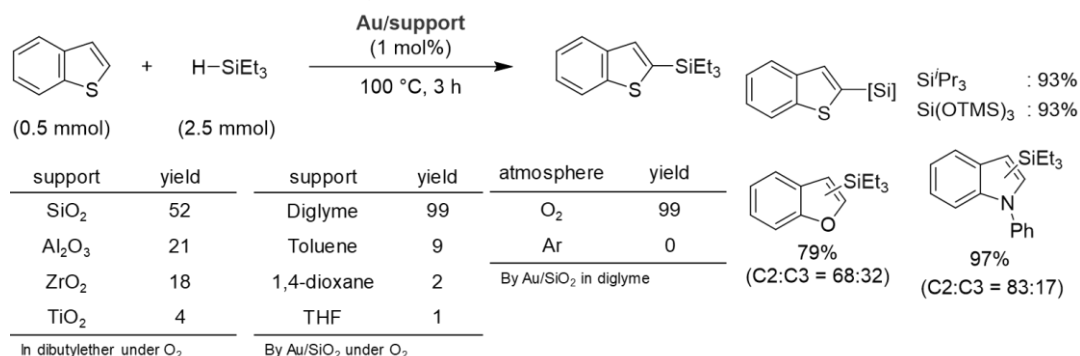


図 1. 担持 Au 触媒による芳香族 C-H 結合のシリル化

最適化を検討した結果、担持 Au 触媒を用いて本反応を良好に進行させるためには、担体、溶媒、反応雰囲気を制御することが重要となる (図 1)。担体として SiO₂ が最適であり、溶媒は diglyme などのエーテルが有効であった。また、O₂ の存在が必須であり、Ar 雰囲気下では全く反応は進行しなかった。本触媒系は C(sp³)-H 結合を含むさまざまな芳香族化合物が適用可能で、対応する有機ケイ素化合物がそれぞれ良好な収率で得られた。詳細な速度論的反應機構解析をおこなった結果、Au ナノ粒子によるシリルカチオンの形成が効率的に進行するカギとなっていることを明らかにした。コントロール実験や速度論的反應解析から、O₂ によって活性化された Au ナノ粒子によってヒドロシランの H 種が引き抜かれシリルカチオンが生成する過程が本反應の鍵であるとわかった。生成したシリルカチオンは求電子的に電子豊富な芳香環と結合しアリールシランを与える (図 2)。一方、シリルカチオンは高い反応性を有する半面、非常に不安定であることが知られている。本触媒系では、SiO₂ 表面やエーテル溶媒の弱塩基性の酸素原子がヒドロシランの Si 種に配位し、シリルカチオンの生成のための Si-H 結合切断を促進するとともに、その安定化にも寄与していると考えられる。

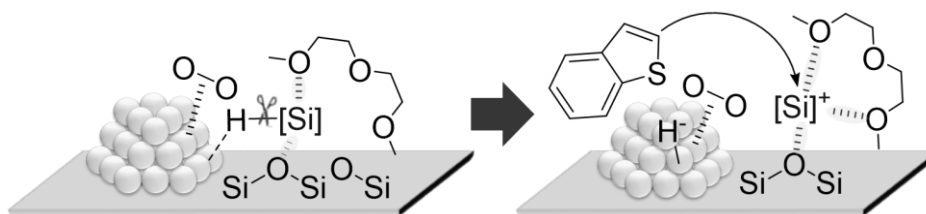


図 2. Au ナノ粒子-弱塩基協働作用による Si-H 結合活性化の概略

(2) Au ナノ粒子—固体酸協働作用に基づく超高効率の C-O 結合ボリル化

有機ホウ素化合物はさまざまな有機合成反応に幅広く利用される有用な合成中間体である。C(sp³)-O 結合のボリル化は有機ホウ素化合物を効率よく合成するための有用な手法であり、これまでに Pd や Ni など種々の遷移金属錯体触媒の有効性が報告されている。一方、環境調和の観点から、触媒と生成物の分離や再利用が容易な固体触媒の適用が求められている。研究代表者のグループではこれまでに TiO₂ に Au ナノ粒子を担持した触媒 (Au/TiO₂) が高い触媒活性を示すことを報告している (*ACS Catal.*, 2021)。しかし、金属酸化物担体の表面酸性質が Au 触媒の活性に与える影響は詳細に検討されておらず、これを明らかにすることで Au ナノ粒子と担体表面に存在する他の元素の協働触媒作用に関する洞察を深めるとともに、より高活性な触媒の開発が可能であると考え種々検討を行った。図 3 に示すように Cinnamyl acetate の bis(pinacolato)diboron による C-O 結合ボリル化反応に対して、Au ナノ粒子を保持する担体を種々検討したところ、活性が大きく変化し、検討した中では α-Fe₂O₃ を担体とした場合に、極めて効率的に反応が進行することが分かった。

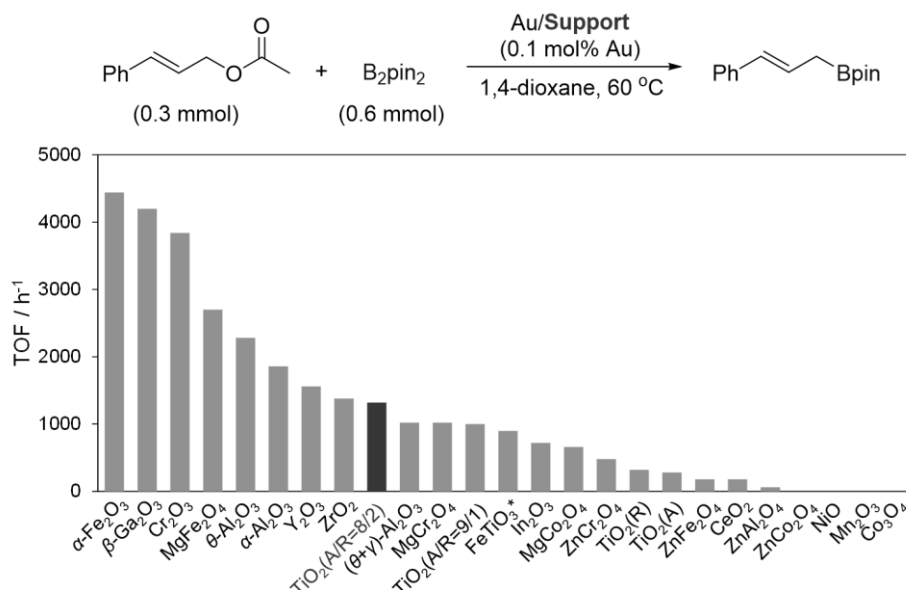


図 3. C-O 結合のボリル化に対する種々の担持 Au 触媒の活性

速度論的反應機構解析により B₂Pin₂ の酸点による活性化が重要であるという知見を得たことから、各担持 Au 触媒の表面酸性質と活性の関係を評価した。活性(TOF)と触媒重量当たりの Lewis 酸量に明確な相関が認められなかったのに対し、触媒単位面積当たりの Lewis 酸量(酸密度)と TOF との間には正の相関が確認された(図 4)。このことから、Au ナノ粒子とその近傍に位

置する担体上の Lewis 酸点が協働的に反応基質を活性化する素過程が反応に含まれること、Lewis 酸密度の高い触媒を用いることで Au との協働的な分子活性化が効率的に起こることがわかった。

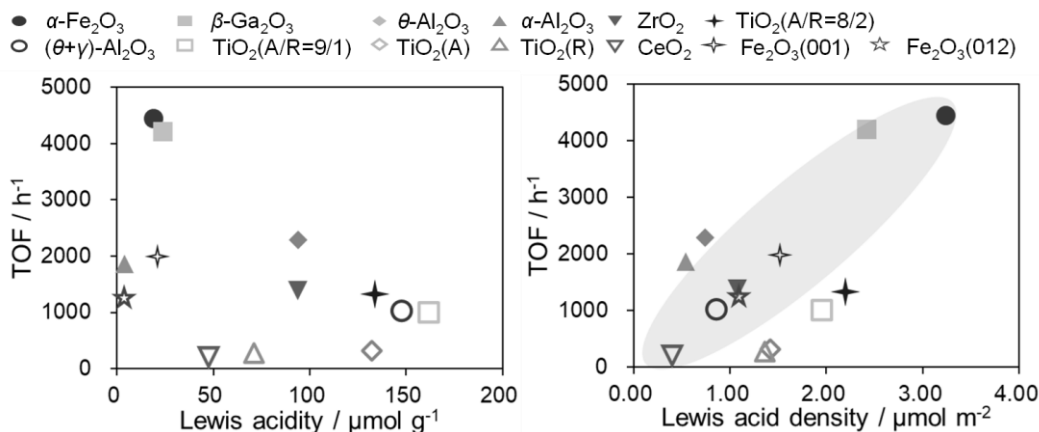


図 4. C-O 結合のポリル化に対する担持 Au 触媒の酸性質と活性の関係

さらに、C-O 結合ポリル化に高活性を示した Au/ α -Fe₂O₃ 触媒が不活性な C-N 結合のポリル化に対して極めて高い活性を示すことも見出した (図 5)。C-N 結合はその反応性を増大させる処理をしたのちに交換することが一般的だが、Au 触媒系は C-N 結合を C-B 結合へと直接変換することができた。このように合成中間体として有用な有機ホウ素化合物 C-O 結合ポリル化に対して、Au ナノ粒子と Lewis 酸の協働触媒作用が極めて有効であることを明らかにするとともに、Au ナノ粒子の周辺に多くの Lewis 酸点が配置された触媒を調製することでこれらの協働触媒作用がより効率化されるという新たな指針を見出した。

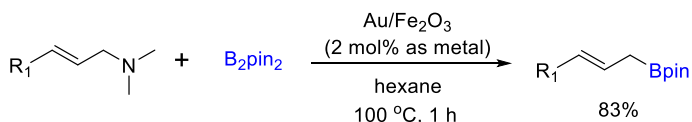


図 5. Au/ α -Fe₂O₃ 触媒による C-N 結合の直接ポリル化

(3) Au ナノ粒子—異種元素協働作用による有機ケイ素化合物の迅速合成

有機ケイ素化合物は界面活性剤・シリコンの原料や医薬中間体などとして非常に有用な化合物である。C(sp³)-Si 結合を生成する手法として、アルケンのヒドロシリル化があるが、生成物の位置選択性制御に課題があるため、アルコールから容易に誘導されるアルキルエステルやアルキルエーテルに含まれる C(sp³)-O 結合を直接 C(sp³)-Si 結合へと変換できる触媒系の開発は有意義である。ここで担持 Au 触媒とケイ素源としてジシランを用いることにより、エステルやエーテルに含まれる極めて安定な C(sp³)-O 結合を C(sp³)-Si 結合へと効率的に変換できることを見出した (図 6)。

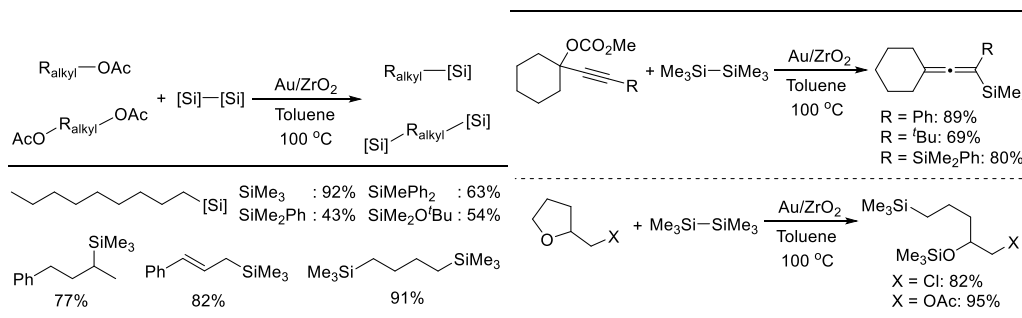


図 6. 担持 Au 触媒による C(sp³)-O 結合のシリル化

本反応では酸と塩基の両方を豊富に有する ZrO₂ などの両性金属酸化物を担体にするのが必須である。3.2 項に示した C(sp³)-O 結合のポリル化と異なり、本反応では C(sp³)-O 結合がホモリシスしてアルキルラジカルが生成することが種々のコントロール実験からわかった。塩基によって活性化されたジシランは容易に一電子酸化され、シリルラジカルが発生することが知られている。一方、Au ナノ粒子は金属酸化物との界面に酸化力の強い Au(I)種を形成する。つまり、Au ナノ粒子の近傍に存在する両性酸化物上の塩基点がジシランを活性化し、Au(I)種に対する一電子移動を促進していると考えられる。一方、Au/ZrO₂ を用いた際にエステルの反応次数が 1 次であったことから、両性酸化物上の Lewis 酸点はエステルを活性化し、ジシランの一電子酸化によって生じたシリルラジカルへの求核攻撃と、続くアルキルラ

ジカルの生成を促進していると考えられる。生成したアルキルラジカルは、別のジシランから発生したシリルラジカルとカップリングすることでアルキルシリルを生成物として与える(図 7)。このように、本反応は、Au ナノ粒子の1電子移動能と、両性酸化物の酸点および塩基点が高度に協働することで進行する担持金属触媒に特有の機能によるものである。

さらに、金ナノ粒子が1電子酸化還元能を有するという新しい知見を応用することで、アルキルエステルとヒドロシランから高選択的にアルキルシランが得られることも明らかにした(図 8)。担持 Au 触媒の担体効果を検討したところ、TiO₂ を用いた場合に最も高い収率で目的生成物が得られたことから、本反応に対する担体上のルイス酸点の関与が示唆された。最適条件下にてエステルおよびヒドロシランの基質適用範囲の検討を行ったところ、様々な官能基を有する幅広い基質が適用可能であることが分かった。また、本触媒系は環状エーテルおよびプロパルギルカーボネートのシリル化にも有効であり、対応するアルキルシランおよびアレニルシランが高選択的に得られた。ヒドロシランは求核性の高い H 種をもつため、クロスカップリングでは一般的に Si 源ではなく H 源として利用されるが、担持 Au 触媒を用いることでヒドロシランが Si 源として利用され、従来反応とは全く異なる選択性を示す触媒反応の開発に成功した。

(4) 担持 Au 触媒による脱炭酸型クロスカップリング

(2)に示した検討から、Au ナノ粒子が優れた一電子移動能を示すことがわかった。フタルイミジル基などの電子受容部位を有するエステルはレドックス活性エステルと呼ばれ、一電子還元することで脱炭酸を伴ってアルキルラジカルを生成することが知られている。ジシランの一電子酸化に有効な担持 Au 触媒を用いることで、レドックス活性エステルとジシランの脱炭酸型シリル化が効率的に進行し、対応するアルキルシランが良好な収率で得られることを見出した(図 9)。本触媒系は様々なジシランおよびレドックス活性エステルの脱炭酸型クロスカップリングに適用可能であり、広範な有機ケイ素化合物が合成できることが分かった。

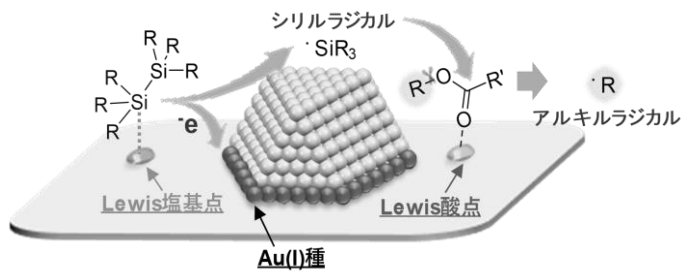


図 7. Au ナノ粒子-固体酸塩基点協働作用による C-O 結合シリル化の概略

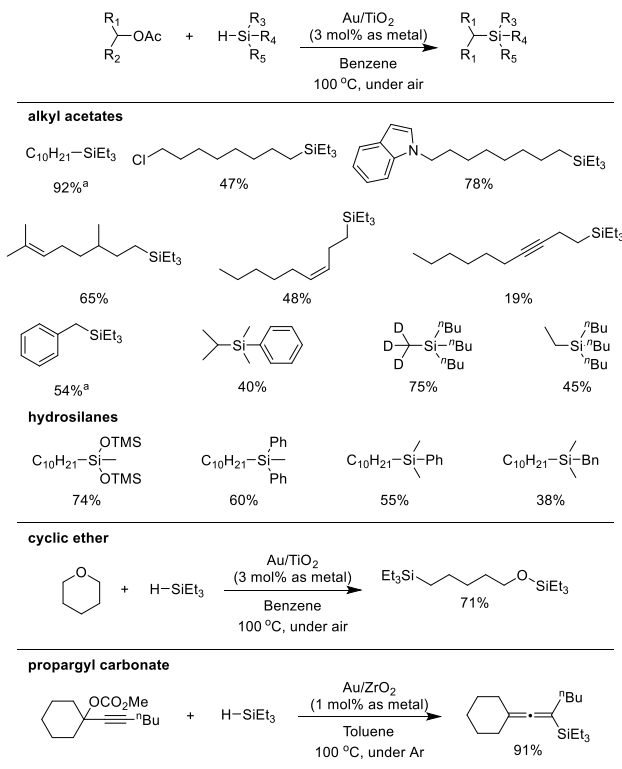


図 8. 担持 Au 触媒によるヒドロシランとアルキルエステルのシリルクロスカップリング

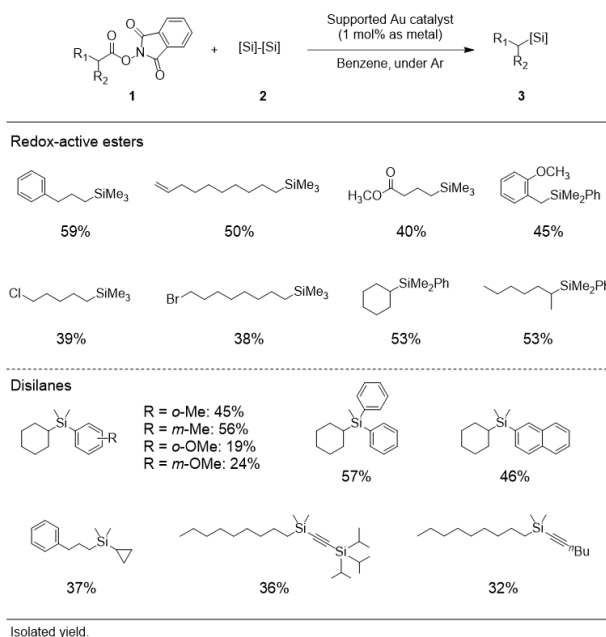


図 9. 担持 Au 触媒によるレドックス活性エステルの脱炭酸

以上本研究では、Au ナノ粒子と担体の協働作用を活用することにより C-B 結合や C-Si 結合の迅速な形成が可能になることを明らかにした。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 4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 Miura Hiroki, Doi Masafumi, Yasui Yuki, Masaki Yosuke, Nishio Hidenori, Shishido Tetsuya	4. 巻 145
2. 論文標題 Diverse Alkyl-Silyl Cross-Coupling via Homolysis of Unactivated C(sp ³)-O Bonds with the Cooperation of Gold Nanoparticles and Amphoteric Zirconium Oxides	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 4613 ~ 4625
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.2c12311	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 Miura Hiroki, Yasui Yuki, Masaki Yosuke, Doi Masafumi, Shishido Tetsuya	4. 巻 13
2. 論文標題 Deoxygenative Silylation of C(sp ³)-O Bonds with Hydrosilane by Cooperative Catalysis of Gold Nanoparticles and Solid Acids	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 ACS Catalysis	6. 最初と最後の頁 6787 ~ 6794
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acscatal.3c00973	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 Miura Hiroki, Hirata Ryuji, Tomoya Toyomasu, Shishido Tetsuya	4. 巻 13
2. 論文標題 Electrophilic C(sp ²)-H Silylation by Supported Gold Catalysts	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ChemCatChem	6. 最初と最後の頁 4705 ~ 4713
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cctc.202101123	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 Miura Hiroki, Toyomasu Tomoya, Nishio Hidenori, Shishido Tetsuya	4. 巻 12
2. 論文標題 Gold-catalyzed thioetherification of allyl, benzyl, and propargyl phosphates	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Catalysis Science & Technology	6. 最初と最後の頁 1109 ~ 1116
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1CY02085D	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 Miura Hiroki, Ameyama Kaede, Shishido Tetsuya	4. 巻 366
2. 論文標題 Harnessing Supported Gold Nanoparticle as a Single Electron Transfer Catalyst for Decarboxylative Cross Coupling	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Advanced Synthesis & Catalysis	6. 最初と最後の頁 62 ~ 69
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adsc.202300462	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 Doi Masafumi, Miura Hiroki, Shishido Tetsuya	4. 巻 26
2. 論文標題 Borylation of Stable C(sp ³)-O Bonds of Alkyl Esters over Supported Au Catalysts	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Organic Letters	6. 最初と最後の頁 2902 ~ 2907
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.orglett.4c00225	査読の有無 無
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24件 (うち招待講演 9件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 三浦 大樹、土井 雅文、安井 祐希、宍戸 哲也
2. 発表標題 金ナノ粒子-両性酸化物の協働によるC(sp ³)-O結合のシリル化
3. 学会等名 第68回有機金属化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 土井雅文・安井祐希・三浦大樹・宍戸哲也
2. 発表標題 担持Au触媒を用いたC(sp ³)-O結合ホモリスによる有機ケイ素化合物合成
3. 学会等名 第130回触媒討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 安井祐希・土井雅文・三浦大樹・宍戸哲也
2. 発表標題 担持金触媒を用いるアルキルエステルとヒドロシランのシリルクロスカップリング
3. 学会等名 第130回触媒討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 三浦大樹
2. 発表標題 金と他元素の協働で拓く新しい不均一系有機合成
3. 学会等名 第13回触媒科学研究発表会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 三浦大樹
2. 発表標題 固体表面での高効率有機分子変換を可能にする金と他元素の協働触媒作用
3. 学会等名 日本化学会第103回春季年会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 飴山楓・三浦大樹・宍戸哲也
2. 発表標題 担持Au触媒による活性エステルの脱炭酸型シリル化
3. 学会等名 第130回触媒討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井元郁・三浦大樹・Anchalee Junkaew・江原正博・宍戸哲也
2. 発表標題 高速C-B結合形成を実現するAuナノ粒子 固体酸協働触媒作用
3. 学会等名 第130回触媒討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 豊増智也・三浦大樹・宍戸哲也
2. 発表標題 担持Au触媒を用いるアリルリン酸エステルのチオエーテル化
3. 学会等名 第128回触媒討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中智大・三浦大樹・宍戸哲也
2. 発表標題 担持金触媒を用いたインドールのsp ² C-H結合のジシランによるシリル化
3. 学会等名 第129 回触媒討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井元郁・西尾英倫・三浦大樹・宍戸哲也
2. 発表標題 担持Au触媒による sp ³ C-O結合ポリル化に対する担体の影響
3. 学会等名 第129 回触媒討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Toyomasu, H. Miura, T. Shishido
2. 発表標題 Thioetherification of allyl phosphates by supported gold catalysts
3. 学会等名 (Pacifichem 2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三浦大樹
2. 発表標題 金ナノ粒子と他元素の協働による高効率有機分子変換
3. 学会等名 人工光合成研究センター 第1回若手研究者研究発表会(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三浦大樹
2. 発表標題 高効率有機分子変換を可能とする 金-他元素協働作用型固体触媒の開発
3. 学会等名 2023年度フロンティア材料研究所 学術賞受賞記念講演会(招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 三浦大樹
2. 発表標題 異種元素協働で拓く不均一系有機合成の新展開
3. 学会等名 第19回触媒化学ワークショップ 静岡(招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 三浦大樹
2. 発表標題 分子間結合形成を促進する 金ナノ粒子-他元素協働触媒作用
3. 学会等名 第132回触媒討論会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hiroki Miura
2. 発表標題 Supported Gold Nanoparticles as Single-Electron Transfer Catalysts for Cross-Coupling Reactions
3. 学会等名 International Symposium on Catalysis and Fine Chemicals 2023 (C&FC2023) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hiroki Miura
2. 発表標題 Silylation of Stable C-O bonds by Supported Gold Catalysts and the Application for Depolymerization of Polyesters
3. 学会等名 Asian Polyolefin Workshop 2023 (AP02023) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 三浦大樹
2. 発表標題 炭素資源循環に資する不均一系有機合成反応
3. 学会等名 日本化学会 第104春季年会(2024) (招待講演)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 土井雅文・三浦大樹・宍戸哲也
2. 発表標題 Borylation of C(sp ³)-O Bonds of Alkyl Esters by Supported Au Catalysts
3. 学会等名 第69回有機金属化学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 安井祐希, 三浦大樹, 宍戸哲也
2. 発表標題 Reductive Cross-Coupling of C(sp ³)-O Electrophiles and Carbonyl Compounds by Supported Au Catalysts
3. 学会等名 第69回有機金属化学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 飴山楓・三浦大樹・宍戸哲也
2. 発表標題 担持Au触媒によるアレンのカルボシリル化
3. 学会等名 第132回触媒討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 井元郁・三浦大樹・宍戸哲也
2. 発表標題 担持PdAu合金触媒による , -不飽和ケトンのヒドロシリル化に対する担体の影響
3. 学会等名 第132回触媒討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 黄 嘉名・三浦 大樹・宍戸 哲也
2. 発表標題 Rh/CeO ₂ 触媒を用いるアルキンのヒドロシリル化と異種触媒の添加効果
3. 学会等名 第132回触媒討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 千田 実優・田中 智大・三浦 大樹・宍戸 哲也
2. 発表標題 担持金触媒を用いたジシランによる複素環化合物の位置選択的シリル化
3. 学会等名 第132回触媒討論会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 化合物及びその製造方法	発明者 三浦大樹；土井雅文； 安井祐希；宍戸哲也	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2022-031606	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

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