

令和 2 年 5 月 29 日現在

機関番号：16201

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03458

研究課題名(和文) 固体表面上での動的有機金属化学の展開と環境対応型固体触媒の創成

研究課題名(英文) Development of environmentally benign solid catalysis based on surface dynamic organometallic chemistry

研究代表者

和田 健司 (Wada, Kenji)

香川大学・医学部・教授

研究者番号：10243049

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、固体結晶表面上の有機金属種の動態制御による環境対応型高性能固体触媒を開発した。

脱水素型ベンゾイミダゾール類合成反応に有効なルチル担持Ir触媒、および水素移動型反応に有効な{010}/{101}面を豊富に有する酸化チタン担体Ir触媒を開発し、担体へのリン修飾の有効性を示した。一方、スチレン類の脱水素シリル化反応に対して、高活性、高選択性を示すイリジウム錯体・酸化セリウム複合触媒を開発した。さらに、炭素-炭素多重結合のヒドロアリアル化に対して有効なHCHOおよびPPh₃処理Ru/CeO₂触媒を見出し、近赤外分光イメージング法による反応生成物の迅速解析の可能性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来と比較して飛躍的に貴金属種当たりの活性が高い触媒開発、および温和な条件下での反応を可能にし、かつ回収・再利用が容易な触媒開発に至った。これら開発触媒はいずれも調製が容易で反応後の生成物分離も効率よく行える。さらに希少な貴金属元素の高効率利用を達成しており、有機合成プロセスの簡略化とコスト低減につながることから、産業および元素戦略の双方の観点から波及効果が期待できる。固体表面での有機金属錯体の動的挙動に完全な解明には至っていないが、高活性を引き出すための幾つかの必要要件を明らかにしており、学術的に意義深い。

研究成果の概要(英文)：In the present study, highly-active environmentally-benign solid catalysts were developed by controlling the dynamic behaviour of organometallic species on the surface of solid crystals.

Rutile-supported Ir catalysts that were effective for the synthesis of benzimidazoles via the dehydrogenative pathway were developed. For the synthesis of benzimidazoles via hydrogen transfer, the Ir catalysts supported on {010}/{101}-faceted anatase showed the excellent activity. Also, the P-modification of titania supports greatly enhanced the activity. The composite catalysts of Ir complexes and ceria that were active and selective for the dehydrogenative silylation of styrenes were developed. The treatment of Ru/CeO₂ catalysts with PPh₃ and HCHO was an efficient way to generate the active species for hydroarylation of C-C multiple bonds. A novel Fourier-transformed near-infrared imaging spectroscopic system that realized the rapid and direct analysis of organic products was developed.

研究分野：触媒化学

キーワード：グリーンケミストリー 固体触媒 有機金属触媒 イリジウム 酸化チタン 酸化セリウム 脱水素反応 C-H結合活性化

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

有機合成の環境負荷の最小化や金属使用量削減は、社会的に重要な課題である。一般に精緻な有機合成反応には、活性点制御が容易な均一系錯体触媒が頻繁に用いられているが、触媒の分離回収・再利用が困難で、生成物に重金属が混入する等の本質的な問題がある。こうした均一系触媒に特有な諸問題解決の観点から固体触媒の適用が検討されているが¹⁾、適用可能な反応に限られる、あるいは錯体固定化触媒の場合には煩雑な触媒調製や高コスト、安定性や耐久性等の問題があった。

一方、研究代表者らは、これまで錯体触媒が必須であった種々の反応に有効な固体触媒を開発している²⁾。これらの触媒は、反応の種類や条件に応じて、固体表面で機能したり、液相に溶出して機能したのちに固体表面に戻る「Release-Return 機構」といった、複雑な挙動を示す。しかし、こうした金属種の複雑な動きや変化の支配因子は不明であり、こうした挙動を活かした触媒開発は試行錯誤に頼る部分が大きく、表面金属種の構造や動きを制御する手法の確立が求められていた。

2. 研究の目的

上述の背景から、本研究では固体触媒表面上で金属種の構造や動きを制御する手法を確立し、飛躍的な触媒活性の向上と貴金属使用量低減を目的として、以下の検討を行った。

表面機構触媒について、脱水素型および水素移動型の含窒素化合物合成に温和な条件下で高活性を示す触媒を開発し、高活性発現の要因を明確化を試みた。一方、Release-Return 機構触媒について、脱水素シリル化反応や C-H 結合活性化を伴うカップリング反応をターゲットとして触媒活性最大化を進め、触媒活性を支配する因子の解明を図った。

3. 研究の方法

触媒反応の検討に用いる担持触媒は、特に記載のない限り、種々の酸化物担体に金属錯体の溶液を室温で含浸担持し、450°C、30 分間空気中で焼成し、必要に応じて 500°C、水素気流中で 30 分間還元処理を施した。あるいは、所定量の金属錯体と酸化物を混合して触媒反応に用いた。触媒反応には還流冷却装置を装着したホットスターラーおよび 20 cm³ Pyrex 製 Schlenk 管を使用し、生成物は GC-MS、NMR 等によって同定し、GLC 内部標準法で定量した。触媒は窒素吸着、XRD、FTIR、XPS および XAFS 等によって解析した。

4. 研究成果

(1) 脱水素型ベンゾイミダゾール合成反応に有効な担持イリジウム触媒の開発³⁾

医薬品の原料として重要なベンゾイミダゾール類の効率的な合成方法のひとつに、フェニレンジアミン類と第一級アルコールからの脱水素環化芳香族化反応が挙げられる。我々は常圧、120 °C といった温和な条件で本反応に高活性を示し、かつ生成物からの触媒の分離、回収、再利用が容易な不均一系酸化チタン担持イリジウム触媒を見出している⁴⁾。この際、触媒担体として、代表的な酸化チタンである触媒学会参照触媒 JRC-TIO-4 (P-25 相当) を用いたが、特定の結晶面上にイリジウムナノ粒子が集積して形成されている様子が TEM によって観察された。そこで本研究では、担体の結晶面によってナノ粒子形成が制御され、さらに低温で高活性を示す触媒が開発できると考え、反応温度 100°C において種々の単体の影響を詳細に検討した (式 1)。

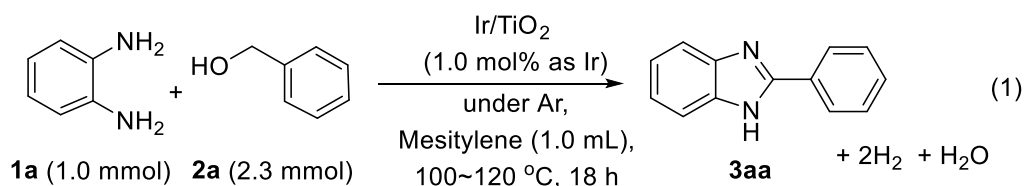


表 1 脱水素型2-フェニルベンゾイミダゾール合成反応に及ぼす各種Ir/TiO₂触媒の効果^a

	TiO ₂ support ^b	BET S.A. (m ² g ⁻¹)	Yield of 3aa	
			at 120 °C, 18 h (%)	at 100 °C, 18 h (%)
1	JRC-TIO-4(A+R)	51	96	24
2	JRC-TIO-6(R)	53	96	59
3	JRC-TIO-6(R) ^c	-	-	88
4	JRC-TIO-7(A)	133	29	17
5	JRC-TIO-8(A)	123	55	19

^aReaction conditions are shown in eq.1. ^bIr loading 2 wt%, (A) Anatase, (R) rutile titania.

^cCatalyst prepared without calcination procedure.

表 1 に、*o*-フェニレンジアミン **1a**、ベンジルアルコール **2a** からの脱水素型 2-フェニルベンゾイミダゾール **3aa** 合成反応を検討した結果を示した。特にルチルである JRC-TIO-6 担持触媒は、

400°C焼成を行った場合は 59%、焼成を行わず水素還元のみを行った場合は 88%と高収率を示した(entries 2,3)。なお、本触媒は繰り返し再生利用可能であり、熱時ろ過試験の結果から固体表面で触媒機能が発揮されることが示された。一方、アナターゼ型担体は高比表面積にかかわらず低活性にとどまった (entries 1,4,5)。

その原因を解明するため、触媒表面のイリジウム金属種に吸着する CO 量を計測したところ、触媒活性の間に相関が認められた(図 1)。アナターゼ担持触媒は低い CO 吸着量に留まる傾向が認められた。一般に CO 吸着量は金属種の分散度を反映するが、TEM 観察では高比表面積アナターゼ担持触媒上に平均粒径 0.74 nm の微細なイリジウムナノ粒子の高分散担持が確認されており、SMSI⁵⁾ によって CO 吸着が阻害された可能性が考えられる。一方、ルチル担持触媒の CO 吸着量は大きく、XPS から表面イリジウム種がより高い還元状態にあることが示された。これらの結果から、脱水素型合成反応においては、高い還元状態にあるイリジウム種が有効であることが考えられる。

このように、担体の結晶構造が表面ナノ粒子に及ぼす効果を駆使して、低温駆動可能な触媒を開発した。

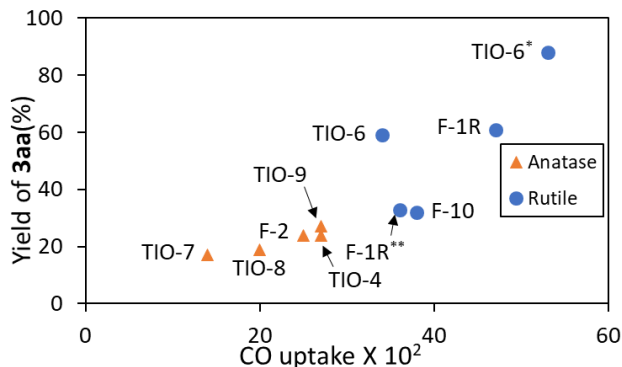


図 1. 触媒活性とCO吸着量の相関. * Prepared without calcination. ** Prepared using [IrCl(cod)]₂ as an iridium source.

(2) 水素移動型ベンゾイミダゾール合成反応に有効な担持イリジウム触媒の開発⁶⁾

ベンゾイミダゾール類合成の別経路として、2-ニトロアニリン類と第一級アルコールを原料とする水素移動型合成反応が挙げられる。これまで本反応には担持金触媒等の有効性が報告されているが、比較的高い反応温度や強塩基の添加を要する⁷⁾。そこでより温和な条件下で活性を有する触媒を探索したところ、比較的大きな比表面積を有する酸化チタンに加えて、研究分担者である Feng らが開発した{010}面や{101}面を豊富に有するアナターゼ (PA-133-3.5) (図 2)⁸⁾ が中程度の比表面積であるにもかかわらず、担体として有効であることを見出した(式 2、図 3)。なお、本触媒は繰り返し再生利用可能であり、熱時ろ過試験の結果から不均一系触媒として機能することが示された。これらの結晶面上には平均粒径 1.0 nm 程度の微細なイリジウムナノクラスターの形成が認められた。{010}面や{101}面の表面エネルギー(それぞれ 0.57 J/m², 0.43 J/m²)は{111} surface (1.61 J/m²) 等比べて小さく⁹⁾、それによって微細な粒子が高分散しやすい環境を作り出している可能性が推測される。これら高分散イリジウム種が優れた触媒機能を発揮すると推察される。

このように、特異な面を豊富に有する酸化チタンの優れた担体機能を明らかにした。

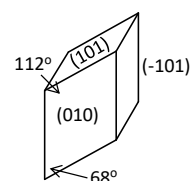


図 2. PA-133-3.5 ナノ粒子の形状

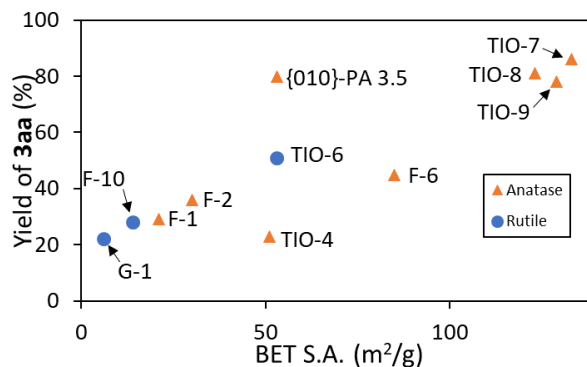
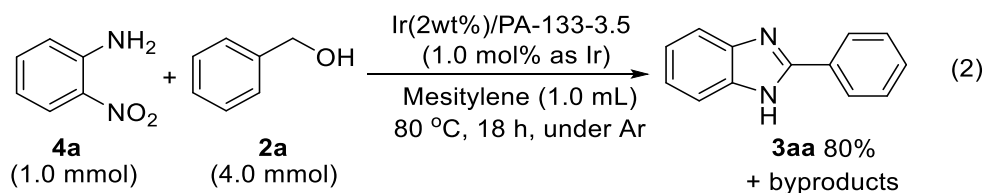


図 3. 水素移動型ベンゾイミダゾール合成反応における触媒活性とBET比表面積の相関



(3) 水素移動型ベンゾイミダゾール合成反応に対する酸化チタン担体へのリン修飾効果¹⁰⁾

上述の検討結果を基に、触媒担体に対する第二成分の添加効果を検討したところ、酸化チタン担体へのリン修飾が、水素移動型ベンゾイミダゾール合成について、顕著な促進効果を示すこと

を見出した。例えば水熱法¹¹⁾で調製したリン修飾酸化チタン担持イリジウム触媒の場合、2-ニトロアニリンおよび第一級アルコールからの目的生成物 (**3aa** および **3ab**) 収率は、リン添加によって5倍程度まで大幅に増加した (式3、図4)。この際、表面積の増加の影響は限定的である一方、リン修飾量 (P/Ti 比) と生成物の収率間には直線的な相関が認められた。XPS によってリン種は表面近傍に偏在していることが判明したため、含浸法によるリン修飾の影響を検討したところ、やはり目的生成物収率は3倍程度まで向上した。H₂-TPR 測定の結果、リン修飾によりイリジウム種の還元温度が顕著に変化し、添加したリン種が、本反応に適した酸化状態にあるイリジウム種の形成を促進したことを示す結果を得た。引き続き、多様な添加物の効果を検討中である。

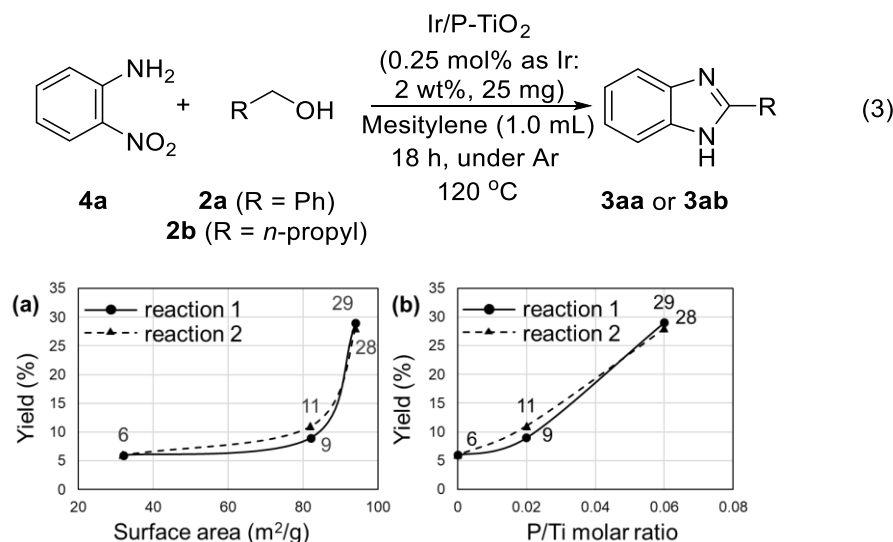
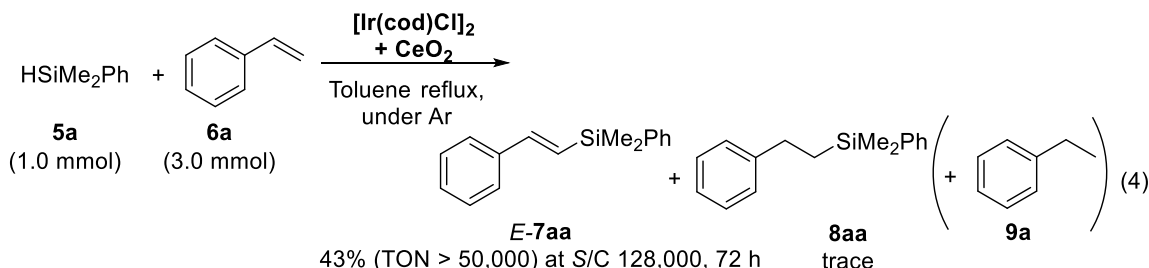


図4. 水素移動型ベンゾイミダゾール合成反応における触媒活性と、(a) 比表面積、および(b) P/Ti比との相関. Reaction 1; **3aa**合成反応、reaction 2; **3ab**合成反応

(4) 有機イリジウム錯体・金属酸化物複合触媒によるスチレン類の脱水素シリル化反応

研究代表者らは、ヒドロシランによるスチレン類の脱水素シリル化反応に有効で、副反応であるヒドロシリル化の併発をほぼ完全に抑制でき、かつ触媒の回収・再利用が容易な Ir(acac)₃・酸化セリウム複合触媒を開発した (acac=acetylacetonate)¹²⁾。そこで本研究では、こうした Release-Return 機構で駆動する触媒について、より多様なイリジウム錯体の有効性を検討した。その結果、[IrCl(cod)]₂ 錯体 (cod=1,5-cyclooctadiene) と酸化セリウムの組み合わせによって、極めて高い基質/触媒比において優れた活性・選択性が示されることを見出し、50,000 以上の触媒回転数 (Turnover number, TON) を達成した (式4)。



反応後の固体成分の XPS 解析により、表面イリジウム種は三価程度の中間的な酸化状態にあることが示唆された。反応開始段階において新たな表面イリジウム種が生成し、表面から脱離して液相で触媒としてふるまうと推測される。なお、反応終了後に残った固体成分は、少なくとも3回は活性低下を伴わずに固体触媒として機能することが判明した。

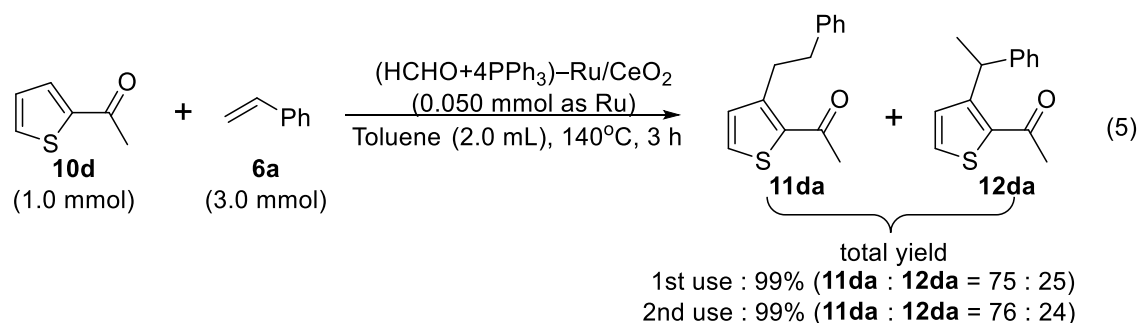
このように、単に金属錯体と金属酸化物の添加という単純な手法で、飛躍的に高活性な固体触媒が調製できることを示した。さらに予備的な検討により、アルコール類の脱水素反応に有効なイリジウム錯体・ゼオライト複合触媒を見出している。

今後、さらなる活性向上と、より多様な有機合成反応への適用を進める。

(5) 芳香族 C-H 結合のアルケンへの付加反応に有効な担持ルテニウム触媒の開発¹³⁾

我々は以前、芳香族ケトンの C-H 結合の活性化を経る有機合成反応に対して、Ru/CeO₂ 触媒が有効であることを報告したが¹⁴⁾、再利用性が低く、適用可能なアルケンがアルコキシビニルシラン類に限定されていた。そこで触媒前処理方法を検討したところ、HCHO と PPh₃ 存在下で 2-メトキシエタノール中で加熱することで調製した触媒 ((HCHO+4PPh₃)-Ru/CeO₂ 触媒) は、広範なアルケンへの芳香族 C-H 結合の付加反応に対して有効であることを見出した。また、簡便な方法で触媒を再生でき、複数回反応に使用可能であることを見出した (式 5)。なお、熱時ろ過試験によって、本触媒が Release-Return 機構で機能することを確認している。

このように、触媒の前処理法を工夫することで、C-H 結合活性化を含む広範な合成反応に適用可能な Release-Return 機構触媒を調製可能であることを示した。



(6) 触媒反応生成物解析への近赤外分光イメージングの応用¹⁵⁾

本研究遂行の過程で、近赤外分光イメージング法によって多成分の有機化合物混合物の迅速な組成分析が可能であることを示した。触媒反応生成物の迅速解析への適用が期待できる。

以上のように、本研究によって金属種あたりの活性が飛躍的に高く、温和な条件下での反応を可能にし、かつ回収・再利用が容易な一連の触媒の開発に至った。これらはいずれも調製が容易であり、産業応用や元素戦略の観点から波及効果が期待できる。

<引用文献>

- 1) Kaneda, K. *Synlett*, **2007**, 7, 999–1015; Motokura K. *et al.*, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **2012**, 51, 8017.
- 2) Wada, K.; Miura, H.; Hosokawa, S.; Inoue, M. *J. Jpn. Petro. Inst.* **2013**, 56, 69–79; 和田健司 *化学工業* **2016**, 67, 34–38.
- 3) Fukutake, T., Wada, K., Liu, G. C., Hosokawa, S., Feng, Q. *Catal. Today* **2018**, 303, 235; Wada, K.; Yu, H.; Feng, Q. *Chin. Chem. Lett.* **2020**, 31, 605–608.
- 4) Tateyama, K.; Wada, K.; Miura, H.; Hosokawa, S.; Abe R.; Inoue, M. *Catal. Sci. Technol.* **2016**, 6, 1677–1684.
- 5) Tauster, S.J.; Fung, S.C.; Garten, R.L. *J. Am. Chem. Soc.* **1978**, 100, 170–175.
- 6) Fukutake, T., Wada, K., Yu, H., Hosokawa, S., Feng, Q. *Mol. Catal.* **2019**, 477, 110550.
- 7) Tang, L.; Guo, X.; Yang, Y.; Zha, Z.; Wang, Z. *Chem. Commun.* **2014**, 50, 6145–6148; Chen, J.; Huang, S.; Lin, J.; Su, W. *Appl. Catal. A: Gen.* **2014**, 470, 1–7; Guan, Q.; Sun, Q.; Wen, L.; Zha, Z.; Yang, Y.; Wang, Z. *Org. Biomol. Chem.* **2018**, 16, 2088–2096.
- 8) Chen, C.; Sewvandi, G.; Kusunose, T.; Tanaka, Y.; Nakanishi, S.; Feng, Q. *CrystEngComm.* 2014, 16, 8885–8895.
- 9) Xu, H.; Reunchan, P.; Ouyang, S.; Tong, H.; Umezawa, N.; Kako, T.; Ye, J. *Chem. Mater.* **2013**, 25, 405–411.
- 10) Han, Y.; Wada, K.; Fukutake, T.; Feng, Q.; Uemura, S.; Isoda, K.; Hirai, T.; Iwamoto, S. *Catal. Today*, **2020**, doi: 10.1016/j.cattod.2020.02.014.
- 11) Hayashi, Y., Nakamura, S., Takagishi, M., Iwamoto, S. *Chem. Lett.* **2016**, 46, 307–309.
- 12) 和田健司、東田深志、細川三郎、阿部竜、国立大学法人香川大学、特願 2014-22456、特許第 6578211 号
- 13) Miura, H.; Nagao, M.; Hosokawa, S.; Shishido, T.; Inoue, M.; Wada, K. *Bull. Chem. Soc. Jpn.* **2018**, 91, 1397–1401.
- 14) Miura, H.; Wada, K.; Hosokawa, S.; Inoue, M. *ChemCatChem* **2010**, 2, 1223–1225.
- 15) Wada, K.; Okazaki, S.; Ishimaru I. *J. Imaging Soc. Jpn.* **2019**, 58, 644–650.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Miura Hiroki, Nagao Masahiro, Hosokawa Saburo, Shishido Tetsuya, Inoue Masashi, Wada Kenji	4. 巻 91
2. 論文標題 Generation of Active Ruthenium Catalysts for Hydroarylation of C≡C Multiple Bonds from Isolated Ru(IV)=O Species Supported on CeO ₂	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Bulletin of the Chemical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 1397 ~ 1401
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1246/bcsj.20180144	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 Fukutake Tatsuhiro, Wada Kenji, Liu Gang Chuan, Hosokawa Saburo, Feng Qi	4. 巻 303
2. 論文標題 Striking effects of a titania support on the low-temperature activities of Ir catalysts for the dehydrogenative synthesis of benzimidazole and indole	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Catalysis Today	6. 最初と最後の頁 235 ~ 240
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cattod.2017.08.014	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 Fukutake Tatsuhiro, Wada Kenji, Yu Han, Hosokawa Saburo, Feng Qi	4. 巻 477
2. 論文標題 Development of titania-supported iridium catalysts with excellent low-temperature activities for the synthesis of benzimidazoles via hydrogen transfer	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Molecular Catalysis	6. 最初と最後の頁 110550 ~ 110550
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.mcat.2019.110550	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 Yu Han, Wada Kenji, Fukutake Tatsuhiro, Feng Qi, Uemura Shinobu, Isoda Kyosuke, Hirai Tomomi, Iwamoto Shinji	4. 巻 -
2. 論文標題 Effect of phosphorus-modification of titania supports on the iridium-catalyzed synthesis of benzimidazoles	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Catalysis Today	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) 10.1016/j.cattod.2020.02.014	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 Kenji, Yu Han, Feng Qi	4. 巻 31
2. 論文標題 Titania-supported iridium catalysts for dehydrogenative synthesis of benzimidazoles	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chinese Chemical Letters	6. 最初と最後の頁 605 ~ 608
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ccllet.2019.05.054	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 Kenji, Okazaki Shinichiro, Ishimaru Ichiro	4. 巻 58
2. 論文標題 Visualization of Chemical Composition and Chloride Ion Distribution by Novel NIR Imaging Spectroscopic System	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Imaging Society of Japan	6. 最初と最後の頁 644 ~ 650
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11370/isj.58.644	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20件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 13件)

1. 発表者名 Kenji Wada
2. 発表標題 Low-Temperature Activities of Titania-supported Iridium Catalysts for the Synthesis of Benzimidazoles via Hydrogen Transfer
3. 学会等名 2018 International Symposium on Advancement and Prospect of Catalysis Science & Technology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kenji Wada
2. 発表標題 Striking effect of supports on Ir-catalyzed selective organic transformations
3. 学会等名 The 2nd BK 21+ International Symposium on Photo-Bio-Chemistry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 和田健司
2. 発表標題 固体表面・金属種間の相互作用を活かした有機合成用固体触媒の開発
3. 学会等名 第1回 物質エネルギー化学懇談会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kenji Wada, Daijiro Sorada, Qi Feng, Saburo Hosokawa
2. 発表標題 Striking effects of ceria on iridium catalysts for the dehydrogenative silylation of styrenes: Facile in situ preparation of solid catalysts
3. 学会等名 3rd Fundamentals and Applications of Cerium Oxide in Catalysis (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kenji Wada, Daijiro Sorada, Qi Feng
2. 発表標題 Active, Selective, and Recyclable Iridium Catalysts for Dehydrogenative Silylation of Styrenes Prepared in situ from Ir Complexes and Metal Oxides
3. 学会等名 18th International Symposium on Relations between Homogeneous and Heterogeneous Catalysis (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kenji Wada, Tatsuhiro Fukutake, Qi Feng
2. 発表標題 Striking Effect of Titania Supports on Ir-Catalyzed Synthesis of Benzimidazoles via Dehydrogenation or Hydrogen Transfer
3. 学会等名 The 8th Tokyo Conference on Advanced Catalytic Science and Technology (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kenji Wada, Hideya Taniguchi, Ichiro Ishimaru
2. 発表標題 Rapid and direct visualization of organic compounds/reactions by near infrared imaging spectroscopy
3. 学会等名 The International Symposium on Catalysis and Fine Chemicals 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kenji Wada, Tatsuhiko Fukutake, Qi Feng
2. 発表標題 Effect of Titania Supports on Ir-Catalyzed Synthesis of Benzimidazoles via Dehydrogenation or Hydrogen Transfer
3. 学会等名 16th Korea-Japan Symposium on Catalysis & 3rd International Symposium of Institute for Catalysis (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kenji Wada, Tatsuhiko Fukutake, Qi Feng
2. 発表標題 Effect of Crystalline Structure of Titania Support on Ir-Catalyzed Synthesis of Nitrogen-containing Chemicals
3. 学会等名 13th European Congress on Catalysis (EUROPACAT2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 和田健司
2. 発表標題 固体表面・金属種間の相互作用を活かした有機合成用触媒の開発
3. 学会等名 日本化学会中国四国支部 徳島地区化学講演会「四国からの触媒科学の新展開」(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Daijiro Sorada, Kenji Wada, Qi Feng, Masaaki Nishioka, Ken-ichi Fujita
2. 発表標題 Development of reusable composite catalysts for dehydrogenative reactions from Ir complexes and solid metal oxides
3. 学会等名 The 17th Korea Japan Symposium on Catalysis (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Han Yu, Kenji Wada, Tatsuhiro Fukutake, Qi Feng, Tomomi Hirai, Shinji Iwamoto
2. 発表標題 Effect of phosphorus-modified titania supports on the iridium-catalyzed synthesis of benzimidazoles
3. 学会等名 The 17th Korea Japan Symposium on Catalysis (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Han Yu, Kenji Wada, Tatsuhiro Fukutake, Qi Feng, Tomomi Hirai, Shinji Iwamoto
2. 発表標題 Effect of titania supports on the iridium-catalyzed synthesis of benzimidazoles
3. 学会等名 The 8th Asia-Pacific Congress on Catalysis (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kenji Wada, Tsubasa Saito, Hideya Taniguchi, Ichiro Ishimar
2. 発表標題 Rapid and direct visualization of organic compounds/reactions by near infrared imaging spectroscopy
3. 学会等名 14th European Congress on Catalysis (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kenji Wada, Tsubasa Saito, Hideya Taniguchi, Ichiro Ishimar
2. 発表標題 Rapid and direct visualization of organic compounds/reactions by near infrared imaging spectroscopy
3. 学会等名 19th International Council for NIR Spectroscopy (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔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
研究分担者	馮 旗 (Qi Feng) (80274356)	香川大学・創造工学部・教授 (16201)	
研究分担者	吉田 朋子 (Yoshida Tomoko) (90283415)	大阪市立大学・複合先端研究機構・教授 (24402)	
連携研究者	藤田 健一 (Fujita Ken-ichi) (80293843)	京都大学・人間・環境学研究科(研究院)・教授 (14301)	
連携研究者	細川 三郎 (Hosokawa Saburo) (90456806)	京都大学・実験と理論計算科学のインタープレイによる触媒・電池の元素戦略研究拠点ユニット・特定准教授 (14301)	