

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 18 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2013

課題番号：22360340

研究課題名(和文) 電場中での触媒反応の学理解明とその応用

研究課題名(英文) Fundamental research and application of catalytic reactions in an electric field

研究代表者

関根 泰 (SEKINE, YASUSHI)

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：20302771

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,000,000円、(間接経費) 4,500,000円

研究成果の概要(和文)：水素社会到来が期待される中、水素製造の技術確立が望まれている。現在のところ、化石資源を還元剤とする水の分解(炭化水素の水蒸気改質)が、石油精製やアンモニア合成のための主な手法として知られている。これら炭化水素の水蒸気改質においては、高温の環境を必要とし、炭素析出などの課題があった。我々は、電場を印加した触媒反応によってPt/セリア系などの触媒を用いた場合に、わずか150度という低温でもメタンなどの水蒸気改質が炭素析出なく効率よく進行し水素が生成することを見出した。また、その際の1電子あたりの反応分子数は80を超え、触媒反応と電気化学反応の中間に位置する効率のよい反応系であることを見出した。

研究成果の概要(英文)：To realize upcoming hydrogen generation, novel method for hydrogen production is required. Now, steam reforming of hydrocarbon is an option for hydrogen production for oil refinery and ammonia synthesis. These high temperature processes cause carbon accumulation on the catalyst due to the catalytic nature. We have revealed that steam reforming of methane proceeds even at 150 degree-C by applying electric field on to Pt/ceria catalyst. The system enabled highly efficient hydrogen production which exhibited very high electron efficiency, thanks to its nature on the midway of catalytic system and electrochemistry.

研究分野：触媒化学

科研費の分科・細目：触媒・資源化学プロセス

キーワード：電場触媒反応 水素製造

### 1. 研究開始当初の背景

我々は、平成 18 年より平成 21 年までの科研費補助金(基盤研究 B・一般)「電子励起された酸化物等の固体表面を用いた常温常圧触媒反応の研究」において、放電場中での酸化物表面を用いた触媒反応を研究してきた。この中で、いくつかの酸化物の表面水酸基及び表面近傍格子酸素が、低エネルギー放電により活性化を受け、気相の炭化水素を酸化しうるなどを見いだした。また、放電場中での触媒反応では、放電により活性化された分子と、触媒表面とのシナジーにより、放電のみに比べて高い転化率を、かつ触媒によって制御された生成物選択率で得ることが可能であることもわかった。一方で、この研究を進めている中から、放電よりもより低電力消費である静的な電場の印加により、担持金属触媒を用いた各種反応が低温で進行することも新たにわかった。この電場中での触媒反応について、メタンの水蒸気改質、エタノールの水蒸気改質、DME(ジメチルエーテル)の水蒸気改質、メタンの二酸化炭素改質、エタノールの分解、水性ガスシフトなどに適用し、セリアやペロブスカイト型酸化物などの担体に貴金属を微量担持した触媒が、電場中で低温で高い活性を発現しうることを予備的に見いだした。よって本研究提案においては以下の目的に沿って研究を展開することとした。

### 2. 研究の目的

前述のとおりこれまでに、放電よりもより低電力消費である静的な電場の印加により、担持金属触媒を用いると、メタンの水蒸気改質、エタノールの水蒸気改質、DME(ジメチルエーテル)の水蒸気改質、メタンの二酸化炭素改質、エタノールの分解、水性ガスシフトなどが進行しうることを見いだした。そこで、本研究においては、「1. 電場中での触媒作用の学理解明」、「2. 他の反応系への展開」、「3. 応用を視野に入れた展開」を推し進めることとした。本電場印加触媒反応の基本的な作動学理、ならびにどういった反応に対して活性を発現しうるか、を検討することとした。

### 3. 研究の方法

「電場が吸着種に与える影響」、「電場が酸素イオン伝導性・電子伝導性に与える影響」、「電場が表面担持金属種に与える影響」の3つの鍵となる因子について詳細な研究を行い、基礎となる電場触媒反応の学理解明に向けて、精力的に研究を進めた。充填層触媒を用いた研究と並行してディスク成形体を触媒の担体として用いて、反応と同時にその場観察としてインピーダンス測定、表面電荷の測定・制御と触媒活性との相関、誘電率・導電率と触媒活性との相関などについて検討した。

具体的な実験手法としては、担体には  $\text{CeO}_2$

や CZO、ペロブスカイト型酸化物などを用いた。担持金属種としては Pt や Pd を用い、含浸法により担体上に担持した。担体を  $\text{H}_2\text{O}$  に浸し、減圧下で 120 rpm にて 2 h 脱気した後、前駆体溶液を加えさらに 120 rpm にて 2 h 攪拌した。その後 573 K に保持されたホットプレート上で溶媒が蒸発するまで蒸発乾固を行った。得られた固体を 393 K で 10 h 乾燥させ液体成分を完全に除き、973 K にて 12 h 焼成を行った。なおこの時昇温速度は  $5 \text{ K min}^{-1}$  とした。こうして調製された触媒を 60 kN にて 10 min 加圧成型した後、分級ふるいを用いてその粒径を 355-500 および 255~350  $\mu\text{m}$  に整えた。反応管には石英管(内径 6.0 mm 外径 8.0 mm)を用い、使用触媒重量は 50~200 mg とした。触媒層上下端に接するように棒状電極(SUS、o. d. =2.0 mm)を、さらに下端には温度検知のため熱電対を設置した。このため電極間距離は触媒層の高さに一致する。反応温度は 423~773 K とした。メタン水蒸気改質の場合は S/C 比率を 2 とし、常圧・GHSV 25000  $\text{h}^{-1}$  程度の条件で実験を行った。装置後段にはトラップを設置し、未反応の  $\text{H}_2\text{O}$  やガス中の液体成分などを捕集した。乾燥ガスをサンプリングポートから採取し FID、TCD ガスクロマトグラフにて分析を行った。電場を印加する際は低電圧定電流自動切り替え型直流高圧電源を用い、電流制御とした。投入電流波形/応答電圧波形を Digital Phosphor Oscilloscope により計測した。触媒の解析として EXAFS/XANES・XPS・BET・XRD・TPO・TPR・SEM・TEM・化学吸着・IR・SSITKA・交流インピーダンス解析などを用いた。

### 4. 研究成果

本研究によって、電場中での触媒反応は、常温での反応駆動が可能であり、排熱回収工程を省いた小型プロセスの高効率化に有利であることを見出した。その際に、一電子あたりの反応分子数が数百程度であり、電気化学反応よりも効率が良いことがわかった。

メタン水蒸気改質においては反応速度論を基に、水性ガスシフト反応においては熱力学平衡論を基に、電場中での触媒反応における反応促進効果を考察した。メタン水蒸気改質は、後段に水性ガスシフト反応が続き、全体では大きな吸熱反応となる。この反応は熱力学的に高温を必要とするため、装置や触媒の耐熱性が問題となる。加えて家庭用燃料電池の普及に伴い、水素製造プロセスの小型化が望まれている。小型プロセスでは熱交換器設置に制約があるため、反応は可能な限り低温で行うことが望まれる。これらを踏まえ、反応の低温駆動および反応速度の増大を目的とし、電場中でメタン水蒸気改質を行った。

種々の触媒を用いて電場中での触媒反応を行った中で、触媒としては白金族を中心とした Pt や Pd、Rh が有効であることが分かった。また電場中での触媒反応においては、触媒担体である酸化物の物性も同様に重要で

あることがわかった。例えば SiO<sub>2</sub> や Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> などの絶縁体を触媒担体に用いた場合、火花放電が生じ触媒特有の活性は発現しなかった。また Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> などの良導体を用いた場合、電場が形成するものの電圧が低く (< 100 V) 触媒活性は同様に発現しなかった。電場中での触媒反応に有効である酸化物担体は、半導体程度の電気伝導率を有したものであり、電場印加可否と電気伝導率には密接な相関があることがわかり、CeO<sub>2</sub> や Ce<sub>x</sub>Zr<sub>1-x</sub>O<sub>2</sub>、部分置換 ZrO<sub>2</sub> などの蛍石型酸化物、また部分置換ペロブスカイト型酸化物が電場中での触媒反応において安定な電場形成、高い活性を示すことがわかった。

種々の Ce<sub>x</sub>Zr<sub>1-x</sub>O<sub>2</sub> 固溶体を触媒担体に用い、Pd 触媒上で電場中でのメタン水蒸気改質による水素製造触媒反応を行った。Pd は白金族の中でも比較的安価であり、触媒としての実用性に優れている。担体の ZrO<sub>2</sub> 置換量を変化させ、電気伝導率と触媒活性の相関を検討した。電場を印加しない従来の触媒反応では、低温域では十分な触媒活性が発現しなかった。本反応において転化率 10% を達成するためには、700 K 以上が必要となる。加えて低温域では反応速度も乏しく、両者の観点から従来型での触媒反応では活性が発現しなかった。これに対して電場中での触媒反応では、低温域で高い活性を示した。その転化率は Pd/CeO<sub>2</sub> 上で 480 K において約 10%、更に Pd/Ce<sub>0.25</sub>Zr<sub>0.75</sub>O<sub>2</sub> 上では 550 K において 40% 以上となった。このように電場中での触媒反応においては熱力学平衡の制約を受けずに反応速度の増大が達成できた。この際に ZrO<sub>2</sub> 置換量のある程度まで増大させるほど活性が向上した。結晶構造は ZrO<sub>2</sub> 置換量増大に伴い CeO<sub>2</sub> 相から高角度側にピークシフトし、Ce<sub>0.5</sub>Zr<sub>0.5</sub>O<sub>2</sub> および Ce<sub>0.25</sub>Zr<sub>0.75</sub>O<sub>2</sub> では安定化 ZrO<sub>2</sub> 相を示した。また ZrO<sub>2</sub> は monoclinic 相であった。このことから電場中での触媒反応には安定化 ZrO<sub>2</sub> 相が有効であり、monoclinic-ZrO<sub>2</sub> 相では火花放電が発生した。

電場中での触媒反応における反応促進効果を検討するため、反応速度論に基づいた考察を行った。電場中での触媒反応による反応速度増加分は、メタンに対して小さく (0.1-0.2 次)、水に対して大きい (1.0-3.0 次) ことがわかった。このことから電場中での触媒反応は原料中の水に強く作用することが示唆された。加えて、電場中での触媒反応においては、水に対する分圧依存性が温度依存を示した。従来型の触媒反応においては、分圧依存性が温度に対して依存しないことは既知であり、電場中での触媒反応におけるメタン分圧依存性も温度に対して同様に依存しないことから、電場中での触媒反応が水に対して大きな影響を与えていると考えられた。さらに電場中での触媒反応初期の挙動観測を目的とし、四重極質量分析計による過渡応答試験を行ったところ、電場中での触媒反応初期において原料である水の脱離促進がみられた。これ

らから、電場中での触媒反応においては水が電場により励起され、反応が促進されると推定した。

さらに分光学的手法として大型放射光施設 SPring-8 において、軟 X 線による表面分析を行った。その結果、表面に存在する O 種の活性化が確認された。よって電場中においては表面に存在する O 種が活性化させることが分かった。

反応の展開として、電場中での触媒反応における多様性を検討するために、他反応においても電場中での触媒反応を行った。行った反応は順・逆水性ガスシフト (CO + H<sub>2</sub>O → CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>) とメタン炭酸ガス改質 (CH<sub>4</sub> + CO<sub>2</sub> → 2CO + 2H<sub>2</sub>) である。両者ともに電場中での触媒反応に有効な触媒を見出し、低温で高い活性を発現させることができた。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 33 件)

1. Y. Sekine<sup>\*</sup>, Y. Nakazawa, K. Oyama, T. Shimizu, S. Ogo, Effect of small amount Fe addition on ethanol steam reforming over Co/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalyst *Appl. Catal. A: Gen.*, 472, 113-122, 2014. doi:10.1016/j.apcata.2013.11.026 査読有
2. D. Mukai, Y. Murai, T. Higo, S. Ogo, Y. Sugiura, Y. Sekine<sup>\*</sup>, Effect of Pt addition to Ni/La<sub>0.7</sub>Sr<sub>0.3</sub>AlO<sub>3-d</sub> catalyst on steam reforming of toluene for hydrogen production *Appl. Catal. A: Gen.*, 471, 157-164, 2014. doi:10.1016/j.apcata.2013.11.032 査読有
3. K. Oshima, T. Shinagawa, Y. Nogami, R. Manabe, S. Ogo, Y. Sekine<sup>\*</sup>, Low temperature catalytic reverse water gas shift reaction assisted by an electric field *Catal. Today*, 232, 27-32, 2014. doi:10.1016/j.cattod.2013.11.035 査読有
4. 関根 泰, 非在来型触媒反応での水素製造 *クリーンエネルギー*, 41-46, 5, 2014. 査読無
5. D. Mukai, Y. Murai, T. Higo, S. Tochiya, T. Hashimoto, Y. Sugiura, Y. Sekine<sup>\*</sup>, *In-situ* IR study for elucidating reaction mechanism of toluene steam reforming over Ni/La<sub>0.7</sub>Sr<sub>0.3</sub>AlO<sub>3-d</sub> catalyst *Appl. Catal. A: Gen.*, 466, 190-197, 2013. doi:10.1016/j.apcata.2013.06.052 査読有
6. D. Mukai, S. Tochiya, Y. Murai, M. Imori, Y. Sugiura, Y. Sekine<sup>\*</sup>, Structure and activity of Ni/La<sub>0.7</sub>Sr<sub>0.3</sub>AlO<sub>3-d</sub> catalyst for hydrogen production by steam reforming of toluene *Appl. Catal. A: Gen.*, 464-465, 78-86, 2013. doi:10.1016/j.apcata.2013.05.023 査読有
7. Y. Sugiura, D. Mukai, Y. Murai, S. Tochiya,

- Y. Sekine<sup>\*</sup>, Oxidation resistance of Ni/La<sub>0.7</sub>Sr<sub>0.3</sub>AlO<sub>3-d</sub> catalyst for steam reforming of model aromatic hydrocarbon  
*Int. J. Hydrogen Energy*, 38, 7822-7829, 2013.  
doi:10.1016/j.ijhydene.2013.04.095 査読有
8. D. Mukai, Y. Izutsu, Y. Sekine<sup>\*</sup>, Highly and stably dispersed Pt catalysts supported over La<sub>1-x</sub>Sr<sub>x</sub>AlO<sub>3-0.5x</sub> perovskite for oxidative methane activation and their structures  
*Appl. Catal. A:Gen.*, 458, 71-81, 2013.  
doi:10.1016/j.apcata.2013.03.017 査読有
9. R. Watanabe, Y. Sakamoto, K. Yamamuro, S. Tamura, E. Kikuchi, Y. Sekine<sup>\*</sup>, Role of alkali metal in a highly active Pd/alkali/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalyst for water gas shift reaction  
*Appl. Catal. A:Gen.*, 457, 1-11, 2013.  
doi:10.1016/j.apcata.2013.03.010 査読有
10. D. Mukai, T. Eda, K. Tanaka, E. Kikuchi, Y. Sekine<sup>\*</sup>, Low temperature ignition of methane partial oxidation over Ni/LaAlO<sub>3</sub> catalyst  
*J. Jpn. Petrol. Inst.*, 56(3), 156-164, 2013.  
doi:10.1627/JPI.56.156 査読有
11. K. Yamamuro, S. Tamura, R. Watanabe, Y. Sekine<sup>\*</sup>, Hydrogen production by water gas shift reaction over Pd-K impregnated Co oxide catalyst  
*Catal. Lett.* 143(4) 339-344, 2013.  
doi:10.1007/s10562-013-0974-x 査読有
12. K. Oshima, K. Tanaka, T. Yabe, E. Kikuchi, Y. Sekine<sup>\*</sup>, Oxidative coupling of methane using carbon dioxide in an electric field over La-ZrO<sub>2</sub> catalyst at low external temperature  
*Fuel*, 107, 879-881, 2013.  
doi:10.1016/j.fuel.2013.01.058 査読有
13. K. Oshima, T. Shinagawa, M. Haraguchi, Y. Sekine<sup>\*</sup>, Low temperature hydrogen production by catalytic steam reforming of methane in an electric field  
*Int. J. Hydrogen Energy*, 38(7), 3003-3011, 2013.  
doi:10.1016/j.ijhydene.2012.12.069 査読有
14. D. Mukai, S. Tochiya, Y. Murai, M. Imori, T. Hashimoto, Y. Sugiura, Y. Sekine<sup>\*</sup>, Role of support lattice oxygen on steam reforming of toluene for hydrogen production over Ni/La<sub>0.7</sub>Sr<sub>0.3</sub>AlO<sub>3-d</sub> catalyst  
*Appl. Catal. A:Gen.*, 453, 60-70, 2013.  
doi:10.1016/j.apcata.2012.11.040 査読有
15. Y. Sekine<sup>\*</sup>, D. Mukai, Y. Murai, S. Tochiya, Y. Izutsu, K. Sekiguchi, N. Hosomura, H. Arai, E. Kikuchi, Y. Sugiura, Steam reforming of toluene over perovskite-supported Ni catalysts  
*Appl. Catal. A:Gen.*, 451, 160-167, 2013.  
doi:10.1016/j.apcata.2012.11.005 査読有
16. K. Oshima, T. Shinagawa, Y. Sekine<sup>\*</sup>, Methane conversion assisted by plasma or electric field  
*J. Jpn. Petrol. Inst.*, 56(1), 11-21, 2013.  
doi:10.1627/JPI.56.11 査読有
17. Y. Sekine<sup>\*</sup>, H. Koyama, M. Matsukata, E. Kikuchi, Low temperature plasma-assisted gasification of carbon particle by lattice oxygen on/in oxide catalyst  
*Fuel*, 103, 2-6, 2013.  
doi:10.1016/j.fuel.2011.03.046 査読有
18. 杉浦 行寛、大島 一真、向井 大揮、小河 脩平、関根 泰、非在来型触媒反応での水素製造  
*日本エネルギー学会誌*, 92(11), 1028-1033, 2013. 査読有
19. 関根 泰、大島一真、向井大揮、天然ガスの輸送・転換・利用に関する国内外の状況俯瞰  
*触媒*, 55(3), 130-135, 2013. 査読無
20. 大島一真、田中芳貴、品川竜也、関根 泰、プラズマ・電場中での触媒反応における触媒特性の交流インピーダンス測定法による評価  
*静電気学会誌*, 37(1), 8-13, 2013. 査読有
21. K. Oshima, K. Tanaka, T. Yabe, Y. Tanaka, Y. Sekine<sup>\*</sup>, Catalytic oxidative coupling of methane with a dark current in an electric field at low external temperature  
*Int. J. Plasma Environ. Sci. Technol.*, 6(3), 266-271, 2012. 査読有
22. K. Tanaka, Y. Sekine<sup>\*</sup>, K. Oshima, Y. Tanaka, M. Matsukata, E. Kikuchi, Catalytic oxidative coupling of methane assisted by electric power over a semiconductor catalyst  
*Chem. Lett.* 41, 351-353, 2012.  
doi:10.1246/cl.2012.351 査読有
23. K. Tanaka, Y. Sekine, J. Inoue, H. Araki, M. Matsukata, E. Kikuchi, Oxidative coupling of methane over Ba-incorporated LaInO<sub>3</sub> perovskite catalyst  
*J. Jpn. Petrol. Inst.*, 55(1), 71, 2012.  
doi:10.1627/jpi.55.71 査読有
24. 関根 泰、田中啓介、メタンの酸化カップリングによるエチレンの合成  
*ファインケミカル*, 41(12), 28-33, 2012 査読無
25. 関根 泰、田中啓介、大島一真、品川竜也、特殊反応場としての放電・電場利用による天然ガスの低温転換  
*日本エネルギー学会誌*, 91(9), 875-879, 2012 査読有
26. Y. Sekine<sup>\*</sup>, N. Furukawa, M. Matsukata, E. Kikuchi, Coke free dry reforming of model diesel fuel by pulsed spark-plasma at low temperature using exhaust gas recirculation (EGR) system  
*J. Phys. D.*, 44, 274004, 2011.  
doi:10.1088/0022-3727/44/27/274004 査読有

27. Y. Sekine<sup>\*</sup>, M. Haraguchi, M. Matsukata, E. Kikuchi, Low temperature steam reforming of methane over metal catalyst supported on  $Ce_xZr_{1-x}O_2$  in an electric field *Catal. Today*, 171, 116-125, 2011. doi:10.1016/j.cattod.2011.03.076 査読有
28. 関根 泰, 大気圧非平衡プラズマと触媒を用いたエネルギー転換プロセス・水素製造 *化学工学*, 75(6), 373-375, 2011 査読無
29. Y. Sekine<sup>\*</sup>, T. Chihara, R. Watanabe, Y. Sakamoto, M. Matsukata, E. Kikuchi, Effect of loading of potassium and palladium over iron-based catalyst for low temperature water gas shift reaction *Catal. Lett.*, 140(3-4), 184-188, 2010. doi:10.1007/s10562-010-0444-7 査読有
30. A. Kazama, Y. Sekine<sup>\*</sup>, K. Oyama, M. Matsukata, E. Kikuchi, Promoting effect of small amount of Fe addition onto Co catalyst supported on  $\alpha-Al_2O_3$  for steam reforming of ethanol *Appl. Catal. A: Gen.*, 383, 96-101, 2010. doi:10.1016/j.apcata.2010.05.031 査読有
31. Y. Sekine<sup>\*</sup>, M. Haraguchi, M. Tomioka, M. Matsukata, E. Kikuchi, Low temperature hydrogen production by highly-efficient novel catalytic system assisted with electric field *J. Phys. Chem. A*, 114(11), 3824-3833, 2010. doi:10.1021/jp906137h 査読有
32. R. Watanabe, Y. Sekine<sup>\*</sup>, H. Takamatsu, Y. Sakamoto, S. Aramaki, M. Matsukata, E. Kikuchi, Pt and/or Pd supported/ incorporated catalyst on perovskite-type oxide for water gas shift reaction *Topics in Catalysis*, 53(7), 621-628, 2010. doi:10.1007/s11244-010-9496-6 査読有
33. Y. Sekine<sup>\*</sup>, J. Yamadera, M. Matsukata, E. Kikuchi, Simultaneous dry reforming and desulfurization of biomethane with non-equilibrium electrical discharge at ambient temperature *Chem. Eng. Sci.*, 65(1), 487-491, 2010. doi:10.1016/j.ces.2009.06.011 査読有
- [学会発表] (計 243 件)
- [依頼講演]2014/05/30 日本電磁波エネルギー応用学会講演会, 東工大大岡山, プラズマ・電場を利用した化学反応の学理と応用, 関根 泰
  - [依頼講演]2014/3/19 電気学会全国大会シンポジウム, 松山, プラズマ・電場中での触媒反応の学理と応用, 関根 泰
  - [依頼講演]2014/3/17 日本化学連合シンポジウム, 東京, シェールガスをはじめとする非在来型化石資源と今後のエネルギー・化学, 関根 泰
  - [依頼講演]2014/2/26 化学工学会北関東地区シンポジウム, 宇都宮, 電場印加による低温での触媒反応, 関根 泰
  - [基調講演]2014/2/4 International Conference on Hydrogen Production (ICH2P-2014), 福岡, hydrogen production by steam reforming of toluene over Ni/perovskite oxide catalyst, Y. Sekine
  - [依頼講演]2013/11/25 第 32 回石油学会中国・四国支部講演会, 岩国, シェールガスを生かした天然ガス化学・石油化学の今後, 関根 泰
  - [依頼講演]2013/10/23 日本化学会 CSJ フェスタ, 東京, シェールガスと今後の化学技術・産業, 関根 泰
  - [依頼講演]2013/10/18 化学工学会触媒分子反応工学分科会講演会, 広島, 天然ガスの転換・利用と水素製造・利用のための非在来型触媒技術, 関根 泰
  - [依頼講演]2013/7-8 触媒学会触媒サマーセミナー, 神奈川, ペロブスカイト型等の複合酸化物を担体として用いた触媒反応の学理と応用, 関根 泰
  - [依頼講演]2013/5/31 触媒学会工業触媒研究会, 神奈川, 天然ガス転換および水素製造に関連した非在来型触媒プロセス, 関根 泰
  - [依頼講演]2012/12/20 新化学技術推進協会 (JACI) 講演会, 東京, 非在来型触媒反応と水素製造, 関根 泰
  - [招待講演]2012/10 17th Malaysian Chemical Congress, マレーシア, Low temperature hydrogen production by steam reforming of methane, K. Oshima, T. Shinagawa, Y. Sekine
  - [依頼講演]2012/9 第 110 回触媒学会討論会, 福岡, 水素の製造と利用に関連した最近の国内外の研究動向, 関根 泰
  - [基調講演]2012/4 Int. Conference on Global Sustainability, マレーシア, Hydrogen production by steam reforming of hydrocarbon over Ni/perovskite catalyst, Y. Sekine
  - [依頼講演]2012/3/2 日本エネルギー学会・触媒学会合同シンポジウム, 東京, 特殊反応場としての放電・電場利用による天然ガスの低温転換, 関根 泰
  - [依頼講演]2011/10 石油学会秋季大会, 山口, 低温触媒反応の実現のための電場・放電の応用, 関根 泰
  - [招待講演]2011/09 アジア化学会議, カンボジア, Low temperature catalytic process for hydrogen production in an electric field, Y. Sekine
  - [依頼講演]2011/8/5 触媒学会サマーセミナー, 神奈川, 電場あるいは放電を用いた触媒反応の学理と応用, 関根 泰
  - [依頼講演]2010/11/19 日本鉄鋼協会, 大分, 炭素の構造と反応性について, 関根 泰
  - [依頼講演]2010/9 触媒学会触媒討論会,

山梨, 電場及びプラズマアシストを用いた非平衡環境下での触媒反応による低温でのメタン転換, 関根 泰

21. [依頼講演]2010/9/6-8 化学工学会秋季大会, 京都, プラズマ・電場を用いた触媒反応の展開, 関根 泰
22. [依頼講演]2010/9/5 化学工学会反応工学会, 京都, 電場を生かした低温での触媒反応, 関根 泰

国際会議 40 件  
国内学会 181 件

〔図書〕(計 8 件)

1. 矢部 智宏, 真鍋 亮, 関根 泰 (分担執筆)  
第 4 編第 1 章 シェール革命による石油化学原料生産への影響と今後の展望  
「シェールガス～開発・生産と石油化学～」, エヌティーエス, pp.229-240, 2014.
2. 大島一真, 関根 泰 (分担執筆)  
3 - 8 節 電場中での天然ガスからの低温水素製造用触媒  
「触媒技術の動向と展望」, 触媒学会, pp.75-84, 2014.
3. 関根 泰, 大島一真, 小河脩平 (分担執筆)  
第 13 章 メタンの酸化カップリングによる C<sub>2</sub> 炭化水素合成  
「シェールガスの開発と化学プロセス」, シーエムシー出版, pp.126-134, 2013.
4. 関根 泰 (分担執筆)  
第 7 章 気固反応の基礎  
「プラズマ反応工学ハンドブック」, エヌティーエス, pp. 115-128, 2013.
5. 関根 泰 (分担執筆)  
「触媒調製ハンドブック」, エヌティーエス, pp. 48-49/606-607, 2011.
6. 関根 泰 (分担執筆)  
「大気圧プラズマの技術とプロセス開発」, シーエムシー出版, pp.191-197, 2011.
7. 関根 泰 (分担執筆)  
「究極のエネルギーと環境調和」, 日刊工業新聞社, pp.165-175, 2010.
8. 関根 泰 (分担執筆)  
「水素製造・吸蔵・貯蔵材料と安全化」, サイエンス&テクノロジー, pp.116-125, 2010.

〔産業財産権〕

- 出願状況 (計 0 件)
- 取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ

<http://www.f.waseda.jp/ysekine/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

関根 泰 (Yasushi SEKINE)

早稲田大学 先進理工学部応用化学科 教授

研究者番号 : 20302771