

令和 6 年 5 月 14 日現在

機関番号：14401

研究種目：学術変革領域研究(B)

研究期間：2021～2023

課題番号：21H05098

研究課題名（和文）表面水素工学：スピルオーバー水素の高次制御と革新材料合成への応用

研究課題名（英文）Surface Hydrogen Engineering: Utilization of Spillover Hydrogen and Verification of Quantum Tunneling Effect

研究代表者

森 浩亮 (Mori, Kohsuke)

大阪大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：90423087

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 28,000,000円

研究成果の概要（和文）：触媒分野では古くから知られる『水素スピルオーバー』現象の全容は未だ解明されておらず、またその利用は極めて限定的である。本研究では、高速に固体表面を移動する高密度かつ高活性なスピルオーバー水素を使いこなすための学理（表面水素工学）構築と、革新的応用分野の開拓をターゲットに、『制御因子の解明』、『特殊合金ナノ粒子合成への応用』を検討した。また、古典的熱力学に従わず、ポテンシャル障壁を透過して化学反応が進行する『量子トンネル効果』の寄与を実験的に検証することでその発現因子を突き止め、反応制御の可能性を実証することを目的とした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で得られた知見は全くの未知であり学術的価値は極めて高く、環境、エネルギーを指向した新しい魅力ある研究分野を創成できる。また、『水素スピルオーバー』の利用による新しい材料の開発は、既存プロセスの高効率化・省エネ化・低コスト化を実現する可能性を秘め、先進的なマテリアルサイエンス分野へも多大な波及効果をもたらす。さらに、『制御因子の解明』に関する成果は新たな研究分野の創出が期待でき、学術的な波及効果は極めて高い。また、近い将来実現されうる水素社会のさらにその先を見据えた次世代水素社会のキーテクノロジーとなる。

研究成果の概要（英文）：The full scope of the “hydrogen spillover” phenomenon, which has been known for a long time in the field of catalysts, has not yet been elucidated, and its use is extremely limited. In this research, we aim to establish a theory (surface hydrogen engineering) for making full use of high-density and highly active spillover hydrogen that moves at high speed on solid surfaces, and to develop innovative application fields, elucidation of controlling factors and application to synthesis of special alloy nanoparticles was investigated for the first time. In addition, by experimentally verifying the contribution of “quantum tunneling”, in which chemical reactions proceed through potential barriers without following classical thermodynamics, we will identify the factors that cause it and demonstrate the possibility of reaction control.

研究分野：触媒科学

キーワード：スピルオーバー 水素拡散 特殊合金ナノ粒子 量子トンネル効果

1. 研究開始当初の背景

1964年の観測以来、スピルオーバーは多くの科学者の関心を集め、その機構解明だけでなく、新規水素化法としての利用が研究された。しかしながら、次第に研究が下火になった。その最も大きな要因は、多くの研究が触媒化学を専門とする研究者のみによってなされ、応用が限定されていたためである。昨今、水素社会構築のための技術が期待されている。そのなかで、触媒分野はもとより、水素燃料電池、水素貯蔵材料分野においても、水素スピルオーバーが関与していると思われる技術が散見されるようになりその重要性が再認識され始めている。しかしながら現状体系的な研究はなされておらず、国内外で画期的なムーブメントは未だ起こっていない。

代表者の森は、スピルオーバー水素の還元駆動力を利用すると、従来製法では調製が困難である非平衡合金ナノ粒子が合成できるという興味深い研究成果を見出している。詳細な構造解析、ならびに理論計算からのアプローチにより、スピルオーバーした原子状の水素種は、気相中の分子状水素に比べ非常に強力な還元力を有し、難還元性卑金属の還元を促進するという概念を提唱した。この概念は『水素スピルオーバー現象』の新たな利用法として可能性を示すものでありその制御因子、具体的な応用例を更に示す必要がある。

一方で、金属ナノ粒子上でのH/D交換反応が『量子トンネル効果』に支配されてることを明らかにしている。この結果は固体表面を低温で移動する水素スピルオーバー現象にも量子トンネル効果の関与が疑われる。そこで、この仮説を検証し、ポテンシャル障壁を透過して化学反応が進行する量子トンネル効果を利用した反応制御の可能性を実験的に実証する。

2. 研究の目的

本研究では、高密度かつ高活性なスピルオーバー水素を使いこなすための学理構築と、その応用としての斬新で画期的な革新材料合成を目的とする。これまで水素スピルオーバー研究は触媒分野のみに限定されており多面的なアプローチはなされなかった。本研究の最大の特徴は、スピルオーバー水素を任意に制御して新規材料合成を支援するツールという新たな視点を加えた点であり、これまで未踏であった新たな機能発現が期待できる。

さらにもう一つの特徴は「量子トンネル効果」という新たなキーワードを加味し、スピルオーバー現象との関連性を精査する点にある。これまで電子伝達系、酵素、種々の有機化学反応などにおいて量子トンネル効果が確認されているが、固体表面水素スピルオーバー現象と量子トンネル効果の関係性を証明できれば、新たな研究分野の創出が期待でき、学術的な波及効果は極めて高い。

3. 研究の方法

主に、「水素スピルオーバー現象の制御因子解明」と「特殊金属ナノ粒子合成手法の確立」について検討を行う。

水素スピルオーバー現象の制御因子解明では、スピルオーバーを支配因子(金属ナノ粒子のサイズ・構造・組成、ならびに異種接合界面を有する担体)を系統的に制御した試料を調製し、その速度を、TPRやin situ FT-IRを用いたH/D交換反応において定性的に評価することで、最も重要な因子を実験的に導き出す。同時に温度依存性も検討し、計算班の結果と併せて、量子トンネル効果との関係を検証する。

特殊金属ナノ粒子合成手法の確立では、還元力の強いスピルオーバー水素を駆動力とし、『相制御』に基づいた特殊合金ナノ粒子、触媒材料として全く未開拓なハイエントロピー合金ナノ粒子合成技術へと拡張する。研究分担者である吉田(大阪大学)の支援

により、環境制御 TEM を利用した生成過程を可視化し、合金ナノ粒子の生成メカニズムの解明も同時に行う。

4. 研究成果

4-1. 水素スピルオーバー現象の制御因子解明

4-1-1 酸化グラフェンにおける水素スピルオーバー経路の調査と非平衡合金ナノ粒子合成への応用

触媒担体として、GO、Ar-GO(Ar 雰囲気下で熱処理した GO)、air-GO(空気焼成した GO)の3種類を用いた。湿式含浸法を用いて Ru³⁺と Ni²⁺の金属前駆体を GO 上に共担持した。その後、水素昇温雰囲気下で金属前駆体を還元することで、Ru と Ni を GO 上に共担持した、RuNi/GO を調製した。同様の手法で RuNi/Ar-GO、および RuNi/air-GO を調製した。

ラマン測定、TPD-MS、XPS 測定より、air-GO の基底面にはエーテル基を含む炭素欠陥が豊富に導入されていることが分かった。各種 GO の水素スピルオーバー特性を H₂-D₂雰囲気における TPD-MS 測定で調査したところ、air-GO が最も低温で高密度の原子状水素が拡散していることが分かった。これは、air-GO のエーテル基間を原子状水素が低い活性化障壁で移動できるためである。さらに、H₂-TPR 測定および *in situ* XAFS 測定を行ったところ、RuNi/air-GO でのみ Ru³⁺と Ni²⁺の同時還元が発現していることを確認した。この RuNi/air-GO に EDX 線分析を行ったところ Ru をコア、RuNi 固溶体をシェルとした非平衡合金ナノ粒子が形成していることが分かった (Fig. 1 (a))。各種触媒を用いてアンモニアボランの分解反応を行ったところ、RuNi/air-GO のみ単一の Ru 触媒と比べて特異的に高い活性を示した (Fig. 1 (b))。air-GO 上で発現した水素スピルオーバーによって Ru³⁺と Ni²⁺の同時還元が実現し、特異的に非平衡合金ナノ粒子が形成したと考える。

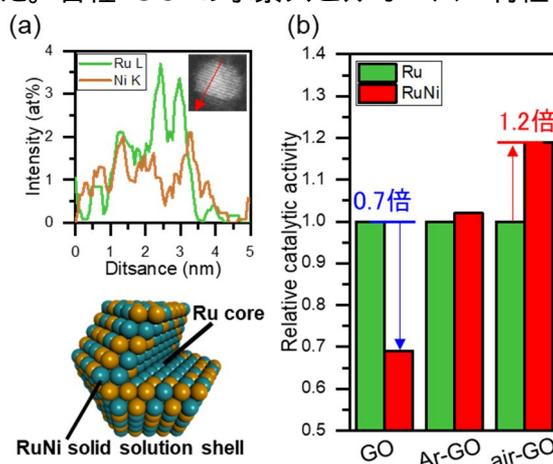


Fig. 1 (a) EDX line analysis (top) and proposed structure (bottom) of a nanoparticle on RuNi/air-GO. (b) Activity enhancement of each catalyst by the addition of Ni.

4-1-2 異種元素添加による非還元性酸化物での水素スピルオーバーの発現

水素スピルオーバーとは、貴金属上で解離吸着した原子状水素が H⁺ e⁻対を形成し、触媒担体へと流れる現象である。本機構で生成した H⁺ e⁻対は触媒担体を構成するカチオンのレドックスを介して拡散する。水素スピルオーバーの発現を決定づける重要因子の一つは『触媒担体の還元性』であり、これまで本現象の発現が報告された触媒担体は TiO₂ や CeO₂ といった還元性の金属酸化物である。水素スピルオーバーの類似現象として、MgO や Al₂O₃ のような非還元性金属酸化物上での H⁺ ホッピングが知られているが、H⁺ e⁻対の共拡散で発現する還元力・反応性は H⁺ のそれとは一線を画す。非還元性金属酸化物上での水素スピルオーバーが実現すれば、本現象を利用した触媒設計の多様性が大幅に増加する。そこで本研究では、MgO に Al を導入することで非還元性酸化物の Al-MgO を作製し、H⁺ および e⁻ の共拡散の観点から水素スピルオーバー特性を評価した。

異なる量の Al を添加した MgO の結晶構造を XRD で調査したところ、Mg/Al=5 までは相分離なく MgO 結晶中に Al が導入できていることが示された。²⁷Al 固体 NMR 測定より Mg/Al=5 の Al-MgO では、導入された Al のうち 80.8%が六配位、19.2%が 4

配位として MgO 結晶中に存在していることが分かった(Fig. 2)。つまり、Al の大部分は Mg と同型置換している一方で、一部の Al が特異サイトを形成していると推察する。

MgO および Al-MgO に水素開裂サイトとして Ru 粒子を担持し、 H_2 D_2 雰囲気におけるそれぞれの質量変化を TG で調査した。その結果、Ru/Al-MgO は D_2 雰囲気において急激な質量増加を示した。この結果からプロトン貯蔵量を算出したところ、Al-MgO の比表面積は MgO の半分以下にも関わらず 4.7 倍のプロトン貯蔵量を示すことが分かった(Fig. 3)。Al ドープによって水素貯蔵特性が向上した要因を追究するために、Ru/MgO、Ru/Al-MgO に対し昇温下で H D 交換反応を行い、ガス質量分析計にて HD 生成を観測した。その結果、Ru/MgO は 105 °C においてのみ HD 生成が確認されたのに対し、Ru/Al-MgO はこれに加え 170、300 °C と 3 つの温度域で HD 生成を示した。つまり、Al ドープにより比表面積が減少したにも関わらず水素貯蔵量が増大したのは MgO の表面だけでなく内部にも水素種が拡散可能になったためだと考える。

WO_3 を Ru/MgO または Ru/Al-MgO と 1:24 の割合で物理混合し、水素昇温下における各 WO_3 の可視光吸収量の変化を *in situ* UV vis 測定で追跡した。その結果、Ru/Al-MgO と物理混合した WO_3 のみ 200 °C 以上で急激な可視光吸収を示し、 W^{5+} W^{6+} の原子価揺動に由来する紺色に呈色した。つまり、Al-MgO 上では H^+ 拡散時に e^- も同時に拡散しており、典型的な非還元性金属酸化物では起こりえない水素スピルオーバーが発現していることが示された。

4 - 2. 特殊金属ナノ粒子合成手法の確立 ロッド状 CeO_2 のスピルオーバー水素を利用したサブナノクラスター合成

Ce^{3+}/Ce^{4+} の可逆的なレドックス能に優れるセリア(CeO_2)は、 TiO_2 同様水素のスピルオーバーを促進する。 CeO_2 の形状をナノロッド(CeO_2 -NR)、ナノキューブ(CeO_2 -NC)、ナノ粒子(CeO_2 -NP)のように制御すると、特定の結晶面が露出する。例えば、ロッド状では(110)面および(100)面が露出するのに対して、キューブ状では(100)面のみが露出する。そこで形状制御した CeO_2 のスピルオーバー特性を評価した(Fig. 4)。

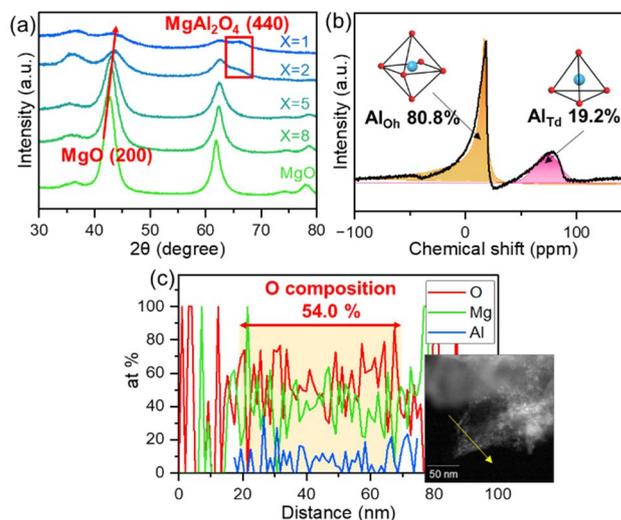


Fig. 2 XRD patterns of X-Al-MgO and MgO. (b) ^{27}Al -NMR spectra, and (c) EDX line analysis of Ru/Al-MgO (X=5).

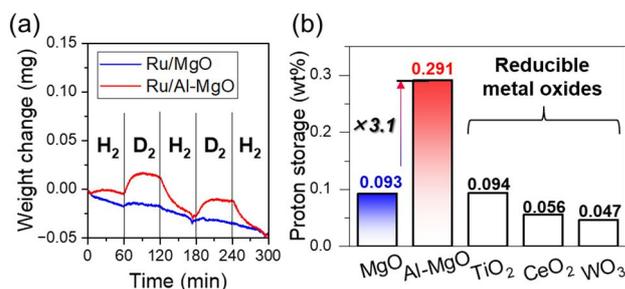


Fig. 3 (a) Variations in masses of Ru/MgO and Ru/Al-MgO under alternating H_2 and D_2 atmospheres as determined by TG analysis. (b) Calculated H^+ storage capacities of the MgO and Al-MgO together with values for reducible metal oxides.

H₂-TPR では、CeO₂-NR、CeO₂-NP、および CeO₂-NC でそれぞれ 456 °C、510 °C、および 537 °C に還元ピークが観察された。XPS 測定より、Ce³⁺の割合 (Ce³⁺/(Ce³⁺ + Ce⁴⁺))は、CeO₂-NC < CeO₂-NP < CeO₂-NR の順で増加した。DFT 計算より酸素空孔形成エネルギーが (110)面 < (100)面 < (111)面の順序で増加することが示された。すなわち、CeO₂-NR の(110)面は酸素モビリティが高く、酸素欠陥を形成しやすい。それゆえ表面還元性も高いと言える。

さらに、H/D 交換反応より各 CeO₂ の水素スピルオーバー特性を評価した(図 8)。想定している表面反応は、2H_{ad} + O_{lat} - D HD (g) + O_{lat} - H (H_{ad}: 吸着された H 原子、O_{lat}: CeO₂内の格子酸素)である。Pd/CeO₂-NR は最も強い

HD ピークを示し、Pd/CeO₂-NP および Pd/CeO₂-NC のそれぞれ 2.6 倍、4.4 倍であった。H/D 交換反応は可逆的な還元と酸化 (つまり、Ce⁴⁺ + e⁻ ↔ Ce³⁺) に伴うプロトンと電子の同時移動が関与しているため、(110)面を露出した CeO₂-NR は水素スピルオーバーを促進する可能性が最も高いことを示唆している。

これら形状制御した CeO₂ を用い、5 種類の金属前駆体イオン(Co²⁺, Ni²⁺, Cu²⁺, Zn²⁺, Pd²⁺)の同時還元による HEA ナノ粒子の合成を試みた。ナノロッドを担体に合成した CoNiCuZnPd/CeO₂-NR の局所 EDX マップは、Co:Ni:Cu:Zn:Pd = 20:19:16:10:35 のモル比を示した。Cs 補正 SEM 像では、直径 1 nm 未満のサブナノクラスターの存在が示唆された。EXAFS カーブフィッティングより全配位数は 5.5 となり、CoNiCuZnPd の粒子径は 0.89 nm と見積もられた。興味深いことに、CoNiCuZnPd/CeO₂-NR の Pd K-edge XANES スペクトルは、金属 Pd で観測される許容される 1s 5p および 1s 4f 遷移に起因する 24,390 eV および 24,415 eV の特徴的なピークがなく、独特の形状を示した。XANES スペクトルのシミュレーションより、バルク Pd、バルク HEA、および Pd₁₃ クラスタモデルは特徴的な電子遷移ピークを示したのに対して、13 元素から成る HEA サブナノクラスターにおいて、CoNiCuZnPd/CeO₂-NR のスペクトルをよく再現できた。すなわち水素スピルオーバーを促進する(110)面を露出した CeO₂-NR では、1 nm 以下の HEA サブナノクラスターが形成していると考えられる。一方 CeO₂-NP 担体上では、約 10 nm 程度の比較的大きな HEA ナノ粒子が確認された。また、CoNiCuZnPd/CeO₂-NC では、約 5 nm の小さな CoNi ナノ粒子と約 20 nm 程度の大きな CuZnPd ナノ粒子が生成し、明確な HEA の生成は確認されない。すなわち、均一かつ小さな HEA の生成に CeO₂ の水素スピルオーバー特性が重要な役割を果たしている。

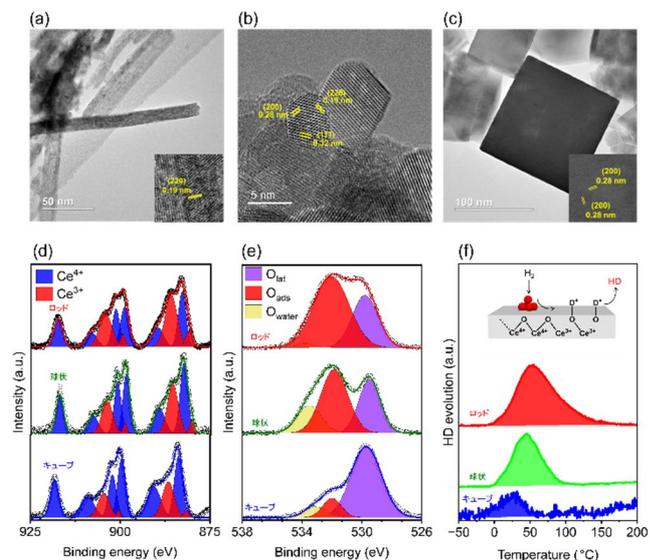


Fig. 4. (a)-(c) HR-TEM images of CeO₂ nanorods (NRs), nanoparticles (NPs), and nanocubes (NCs). (d,e) XPS spectra at Ce 3d and O 1s of each CeO₂ specimen. (f) Mass spectra obtained during HD evolution via hydrogen spillover using Pd/CeO₂ samples with different morphologies. Each mass spectrum was normalized relative to the S_{BET} for the material.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計18件（うち査読付論文 18件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Mori Kohsuke, Hata Hiroto, Yamashita Hiromi	4. 巻 320
2. 論文標題 Interplay of Pd ensemble sites induced by GaO modification in boosting CO ₂ hydrogenation to formic acid	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Applied Catalysis B: Environmental	6. 最初と最後の頁 122022 ~ 122022
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apcatb.2022.122022	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 Kohsuke, Fujita Tatsuya, Yamashita Hiromi	4. 巻 1
2. 論文標題 Boosting the activity of PdAg alloy nanoparticles during H ₂ production from formic acid induced by CrO _x as an inorganic interface modifier	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 EES Catalysis	6. 最初と最後の頁 84 ~ 93
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d2ey00049k	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 Hinuma Yoyo, Mori Kohsuke	4. 巻 3
2. 論文標題 CO ₂ adsorption on the (111) surface of fcc-structure high entropy alloys	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Science and Technology of Advanced Materials: Methods	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) 10.1080/27660400.2022.2161807	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 Shun Kazuki, Mori Kohsuke, Masuda Shinya, Hashimoto Naoki, Hinuma Yoyo, Kobayashi Hisayoshi, Yamashita Hiromi	4. 巻 13
2. 論文標題 Revealing hydrogen spillover pathways in reducible metal oxides	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemical Science	6. 最初と最後の頁 8137 ~ 8147
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d2sc00871h	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 Hinuma Yoyo, Mori Kohsuke	4. 巻 63
2. 論文標題 Geometrical Determination of Surface Atom Diffusion Paths	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 MATERIALS TRANSACTIONS	6. 最初と最後の頁 720 ~ 725
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/matertrans.MT-M2021225	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 Shun Kazuki, Mori Kohsuke, Masuda Shinya, Hashimoto Naoki, Hinuma Yoyo, Kobayashi Hisayoshi, Yamashita Hiromi	4. 巻 13
2. 論文標題 Revealing hydrogen spillover pathways in reducible metal oxides	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemical Science	6. 最初と最後の頁 8137 ~ 8147
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d2sc00871h	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 Kohsuke, Matsuo Jumpei, Kondo Yoshifumi, Hata Hiroto, Yamashita Hiromi	4. 巻 4
2. 論文標題 Photoreduction of Carbon Dioxide to Formic Acid with Fe-Based MOFs: The Promotional Effects of Heteroatom Doping and Alloy Nanoparticle Confinement	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Applied Energy Materials	6. 最初と最後の頁 11634 ~ 11642
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.1c02369	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 Yamazaki Yukari, Mori Kohsuke, Kuwahara Yasutaka, Kobayashi Hisayoshi, Yamashita Hiromi	4. 巻 13
2. 論文標題 Defect Engineering of Pt/TiO ₂ -x Photocatalysts via Reduction Treatment Assisted by Hydrogen Spillover	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials and Interfaces	6. 最初と最後の頁 48669 ~ 48678
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.1c13756	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 Yamazaki Yukari, Toyonaga Tetsuya, Doshita Naoto, Mori Kohsuke, Kuwahara Yasutaka, Yamazaki Suzuko, Yamashita Hiromi	4. 巻 14
2. 論文標題 Crystal Facet Engineering and Hydrogen Spillover-Assisted Synthesis of Defective Pt/TiO ₂ -x Nanorods with Enhanced Visible Light-Driven Photocatalytic Activity	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials and Interfaces	6. 最初と最後の頁 2291 ~ 2300
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.1c20148	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 Shun Kazuki, Matsukawa Satoshi, Mori Kohsuke, Yamashita Hiromi	4. 巻 -
2. 論文標題 Specific Hydrogen Spillover Pathways Generated on Graphene Oxide Enabling the Formation of Non Equilibrium Alloy Nanoparticles	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Small	6. 最初と最後の頁 2306765
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/smll.202306765	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 Hashimoto Naoki, Mori Kohsuke, Yamashita Hiromi	4. 巻 127
2. 論文標題 In Situ Investigation on the Formation Mechanism of High-Entropy Alloy Nanoparticles Induced by Hydrogen Spillover	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 20786 ~ 20793
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.3c05375	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 Hashimoto Naoki, Mori Kohsuke, Matsuzaki Shuichiro, Iwama Kazuki, Kitaura Ryota, Kamiuchi Naoto, Yoshida Hideto, Yamashita Hiromi	4. 巻 3
2. 論文標題 Sub-nanometric High-Entropy Alloy Cluster: Hydrogen Spillover Driven Synthesis on CeO ₂ and Structural Reversibility	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 JACS Au	6. 最初と最後の頁 2131 ~ 2143
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacsau.3c00210	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 Yamazaki Yukari, Doshita Naoto, Mori Kohsuke, Kuwahara Yasutaka, Kobayashi Hisayoshi, Yamashita Hiromi	4. 巻 14
2. 論文標題 Effect of oxygen vacancies and crystal phases in defective Pt/ZrO ₂ on its photocatalytic activity toward hydrogen production	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Catalysis Science and Technology	6. 最初と最後の頁 397 ~ 404
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d3cy01470c	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 Kim Hyo Jin, Mori Kohsuke, Nakano Takayoshi, Yamashita Hiromi	4. 巻 16
2. 論文標題 Advances in Metal 3D Printing Technology for Tailored Self Catalytic Reactor Design	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 ChemCatChem	6. 最初と最後の頁 e202301380
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cctc.202301380	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 Mori Kohsuke, Masuda Shinya, Yamashita Hiromi	4. 巻 2
2. 論文標題 The role of surface-grafted amine groups on carbon-based supports for formic acid/CO ₂ -mediated chemical hydrogen storage and supply	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Carbon Reports	6. 最初と最後の頁 206 ~ 213
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7209/carbon.020404	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 Kohsuke, Fujita Tatsuya, Hata Hiroto, Kim Hyo-Jin, Nakano Takayoshi, Yamashita Hiromi	4. 巻 15
2. 論文標題 Surface Chemical Engineering of a Metal 3D-Printed Flow Reactor Using a Metal Organic Framework for Liquid-Phase Catalytic H ₂ Production from Hydrogen Storage Materials	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials and Interfaces	6. 最初と最後の頁 51079 ~ 51088
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.3c10945	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 Kohsuke, Shimoji Yuki, Yamashita Hiromi	4. 巻 16
2. 論文標題 Improved Low Temperature Hydrogen Production from Aqueous Methanol Based on Synergism between Cationic Pt and Interfacial Basic LaOx	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 ChemSusChem	6. 最初と最後の頁 e202300283
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cssc.202300283	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 Kim Hyo Jin, Mori Kohsuke, Nakano Takayoshi, Yamashita Hiromi	4. 巻 33
2. 論文標題 Robust Self Catalytic Reactor for CO2 Methanation Fabricated by Metal 3D Printing and Selective Electrochemical Dissolution	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Advanced Functional Materials	6. 最初と最後の頁 202303994
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adfm.202303994	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 -

〔学会発表〕 計12件 (うち招待講演 12件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 森 浩亮
2. 発表標題 次世代水素技術としてのスピルオーバー水素を活用した多元系合金ナノ粒子の合成
3. 学会等名 水素エネルギー協会 (HESS) 170回定例研究会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 森 浩亮
2. 発表標題 カーボンニュートラル社会構築を目指した次世代触媒開発のための理論計算の活用
3. 学会等名 令和4年度触媒学会コンピューターの利用研究会セミナー (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森 浩亮
2. 発表標題 カーボンニュートラル社会構築を目指した金属有機ハイブリッド触媒の開発
3. 学会等名 産研 次世代材料セミナー < 金属有機融合材料に関する最新研究紹介と社会実装に向けた将来展望 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kohsuke Mori
2. 発表標題 Nanocatalyst Engineering for CO2 Hydrogenation to Formic Acid as a Promising Hydrogen Storage Material
3. 学会等名 ICEC2022, (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kohsuke Mori
2. 発表標題 Controlled Release of Hydrogen Isotope Compounds in the Heterogeneously-catalyzed Formic Acid Dehydrogenation
3. 学会等名 Taipei International Conference on Catalysis (TICC-2022) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kohsuke Mori
2. 発表標題 Nanocatalyst Engineering for Formic acid/CO2-mediated Chemical Hydrogen Delivery/Storage
3. 学会等名 1st Japan-China Symposium on Catalysis (1stJCSC) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kohsuke Mori
2. 発表標題 Nanocatalyst Engineering for CO2 Hydrogenation to Formic Acid as a Promising Hydrogen Storage Material
3. 学会等名 17th Japan-Taiwan Joint Symposium on Catalysis (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森 浩亮
2. 発表標題 水素キャリアとしてのギ酸の利用に向けたナノ構造触媒の開発
3. 学会等名 第12回JAC1/GSCシンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 森 浩亮
2. 発表標題 水素キャリアとしてのギ酸の利用に向けたナノ構造触媒の開発
3. 学会等名 合成樹脂工業協会 第13回環境・リサイクル研究部会講演会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 森 浩亮
2. 発表標題 ギ酸を利用したエネルギー資源革命
3. 学会等名 近畿大学アグリ技術革新研究所 第29回オープンセミナー (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 森 浩亮
2. 発表標題 次世代水素利用技術としてのスピルオーバー水素を駆動力とした多元系合金ナノ粒子触媒の合成
3. 学会等名 金属学会シンポジウム(カーボンニュートラル・水素社会実現に向けた触媒材料の研究・開発の最新動向) (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 森 浩亮
2. 発表標題 メタネーション触媒の新展開
3. 学会等名 第74回アナログ技術トレンドセミナー(HAB研セミナー) (招待講演)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>表面水素工学 http://www.mat.eng.osaka-u.ac.jp/surface-hydrogen-engineering/achievements.html 表面水素工学 http://www.mat.eng.osaka-u.ac.jp/surface-hydrogen-engineering/achievements.html</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
研究分担者	吉田 秀人 (Yoshida Hideto) (00452425)	大阪大学・産業科学研究所・准教授 (14401)	

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
---------	---------