

令和 7 年 6 月 11 日現在

機関番号：32704

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2022～2024

課題番号：22K04715

研究課題名（和文）金属錯体を包含する層状Mn酸化物による水電解の効率化と速度論解析

研究課題名（英文）Kinetic analysis and High efficiency of water electrolysis with layered Mn oxides containing metal complexes

研究代表者

友野 和哲（Tomono, Kazuaki）

関東学院大学・理工学部・准教授

研究者番号：40516449

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、コバルト錯体やクロム錯体などの金属錯体を層間に有する層状MnO₂を電気化学的手法により作製し、これをアノードとすることで低電位における水素発生を実現した。特に[Co(en)₃]@MnO₂電極は+1.1 V (vs Ag/AgCl) で最大0.30 mL/hの水素生成を示し、層間錯体が電子シャトルとして機能していることを示唆した。また、ラマン分光によりMn(III)からMn(IV)への酸化反応が確認され、光照射によっても酸化電流と水素発生が向上することが明らかとなった。これにより、層間金属錯体が光応答性および触媒活性を付与する役割を果たすことが実証された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、従来困難とされていた金属錯体を直接層間に導入した層状MnO₂の電気化学的合成と、その光応答性を活かした水素発生触媒としての機能解明を実現した点で学術的に新規性が高い。混合原子価状態のMnO₂における電子移動メカニズムの一端を解明し、光電変換材料や次世代水電解触媒の設計指針を提供する。一方で、自然エネルギー由来の過剰電力を用いたクリーンな水素生成技術として、水素社会の実現に貢献しうる持続可能な分散型エネルギー技術への応用が期待される。

研究成果の概要（英文）：In this study, layered MnO₂ materials intercalated with metal complexes such as cobalt and chromium complexes were fabricated via an electrochemical method, and their use as anodes enabled hydrogen evolution at low potentials. In particular, the [Co(en)₃]@MnO₂ electrode exhibited a maximum hydrogen generation rate of 0.30 mL/h at +1.1 V (vs Ag/AgCl), suggesting that the intercalated complex functions as an electron shuttle. Raman spectroscopy confirmed the oxidation of Mn(III) to Mn(IV), and it was also revealed that light irradiation enhances both the oxidation current and hydrogen production. These findings demonstrate that the interlayer metal complexes impart photo-responsiveness and catalytic activity to the MnO₂ structure.

研究分野：無機分析・電気化学システム

キーワード：光電流 層状化合物 層間金属錯体 水素 触媒

1. 研究開始当初の背景

化石燃料や原子力からのエネルギー転換が叫ばれる中、CO₂ 排出を伴わない太陽光発電等の自然エネルギーはますます注目されている。WBGU が推奨した Energy Vision 2100 を旗印に自然エネルギーを推し進めてきたドイツでは、2018 年 4 月末に自然エネルギーにより電力量の 85% 供給を達成した(P. Graichen, Agora Energiewende Twitter, 2018 年 5 月 3 日)。また、コスタリカやノルウェーなどの数か国は電力量の 100% を自然エネルギーで賄っている(Renewable Global Status Report 2019)。一方、太陽光発電の比率が急速に高まった米国カリフォルニア州では、昼間に発電量ピークを迎える太陽光発電により 3000 万世帯の 1 時間分の電力量に匹敵する 95 ギガワットの電気を無駄にした(P. Braithwaite, WIRED Web News, 2018 年 6 月 6 日)。また、2018 年 10 月 13 日に九州電力が国内初の「出力制限」を実施し、2021 年でも実施され続けている(NHK News Web, 2021 年 6 月 23 日)。自然エネルギーによる電力供給過多の問題は、蓄電システム開発の必要性を求めるが、電気の大量・長期貯蔵や長距離輸送が困難という欠点がある。

この欠点を補完し相補的な役割を担うエネルギーキャリアとして「水素」がある。水素は気体・液体・金属水素化物と様々な形態で貯蔵でき、電気は送電線が必要であるが、これらの新たな敷設コストをかけずに水素は貯蔵・輸送ができる。申請者が研究対象とする層状 MnO₂ は高出力・長寿命の蓄電デバイスとして電池を補完するパワーソース(Lee and Goodenough, J. Solid State Chem., 1999, 電池ハンドブック, オーム社)として注目される。また、細孔型 MnO₂ は水電解を行うための優秀な酸素発生触媒(Li, Angew. Chem., Int. Ed, 2019)である。自然エネルギーのキャリアである【電気】と【水素】を研究対象とできる MnO₂ は材料開発から電子伝達機構の解明も含め魅力的な物質である。

脱炭素社会の実現に向けた世界的な潮流の中で、水素は再生可能エネルギーと並ぶクリーンなエネルギーキャリアとして大きな注目を集めている。特に、製造過程における環境負荷の違いを明確化するために、水素は「グリーン水素」「ブルー水素」「グレー水素」などの“カラー”で分類されるようになった。このように、色で識別されるほどに水素の起源と環境負荷に対する社会的関心が高まっており、研究開発の初期段階から、単なる水素利用だけでなく「どのようにして得られた水素か」にも焦点を当てる必要が生じている。本研究開発も、そうした潮流の中で、より環境調和型の水素製造・利用技術の確立を目指すものである。

層状 MnO₂ の作製法は、Layer-by-Layer 法やゾルゲル法など 6 種類程度に分類できるが、申請者が利用する作製法は極めて簡単な電気化学的手法である(中山他, Langmuir 2005)。本作製法は、対イオン存在下の Mn(II)水溶液を電解酸化することで、電極表面に層状 MnO₂ を薄膜状態で直接的に得ることができる。申請者は山口大学中山研究室所属時に層間への金属錯体の導入を行った。申請者は反応条件を精査することで、金属錯体と Mn(II)の混合水溶液から 1 段階で層間に金属錯体をもつ層状 MnO₂ が作製できることを初めて見出した。また、可視紫外領域に吸収帯をもつ金属錯体を有することで波長依存性の光電流を検出した。これは層状 MnO₂ と層間金属錯体とで電子のやり取りがあることを意味し、水電解に有用な材料である層状 MnO₂ に様々な触媒活性をもつ金属錯体を導入できる可能性を示す。

2. 研究の目的

本研究の層状 MnO₂ は、Mn(II)の Mn(III)と Mn(IV)への電解酸化を行うため、Mn 以外の電気化学的に活性な金属錯体を共存させることは不利(作製できない)と考えられていた。研究代表者は反応条件を精査することで、金属錯体と Mn(II)の混合水溶液から【1 段階】で金属錯体を層間にもつ MnO₂ が作製できることを初めて見出した(友野他, ECS Trans., 2013)。本申請課題の金属錯体を層間にもつ MnO₂ は、金属錯体のシャトル電子によるマンガニオンの再還元により高い電子授受反応を示す。さらには、可視紫外領域に吸収帯をもつ金属錯体を層間に有することで波長依存性の光電流を検出した。また、層状マンガニ酸化物の導電性のひくさに注目し、CNT と竹炭による混合電着膜上に製膜した。

本研究の目的は、金属錯体を層間にもつ層状 MnO₂ を電気化学的手法により作製し、より低エネルギーでの水の電気分解を行うための触媒材料としての性能の向上とガスクロ in situ 分析と電子伝達機構の解明である。

3. 研究の方法

竹炭を 0.05 g を秤量し、ミキサーで 30 分すり潰し粉末状にした。CNT を 0.05 g 秤量し、粉碎した竹炭と混ぜ合わせ、乳鉢で 10 分間すり潰した。竹炭と CNT を 1:1 の割合でイソプロピルアルコール 102 mL と硝酸マグネシウム・六水和物 0.017 g の混合溶液に懸濁させた。作製した懸濁液を遠心分離機(KUBOTA, IEC61010-2-020)により回転数 3000 rpm で 5 分間の遠心操作を行った。遠心分離後、黒い沈殿物が遠沈管の底にたまったが、その沈殿物が上澄み液に巻き上がらないように注意して、上澄み液のみ回収した。作用極に ITO 基板(表面積 0.9 × 2 cm², 厚さ 5 mm), 対極に白金板(表面積 1 × 1 cm², 厚さ 0.3 mm, Nilaco)を使用し、上澄み液を用いて電気泳動電着(EPD)法を行なった。直流安定化電源(PMX350 - 0.2 A, KIKUSUI)を用いて定電圧 80 V で EPD 法を 8 分間で行い、竹炭/CNT 混合膜を得た。この竹炭/CNT 混合膜を水素発生時の支持基板とし

て用いた。層間イオンとして、Co 錯体([Co(en)₃], [Co(bpy)₃]), Cr 錯体([Cr(en)₃]), Ru 錯体([Ru(bpy)₃])を用いた。5~10mMの層間イオンを含む5mMの硫酸マンガン水溶液を用いて、層状マンガン酸化物(MnO₂)膜を得た。印加電位は+700~1000mV(vs Ag/AgCl)で、作用極としては白金板(1×1 cm²), 透明電極であるITOあるいはFTO基板を用いた。作製膜のキャラクタリゼーションとして、粉末X線回折(XRD), 紫外可視吸収分光法(Uv-vis), 走査型電子顕微鏡(SEM-EDS), フーリエ変換顕微鏡IR(FT-IR), ラマン分光分析(Raman)を用いて行った。支持電解質には硫酸ナトリウム(Na₂SO₄)水溶液等を使用した。光電気化学実験として、電気化学測定前の混合膜に対して、系統的に波長を変更し、30分間照射して、暗下条件において電気化学測定を行った。電気化学測定には、電気化学測定システム(HZ-7000), 光源には波長可変光源(NIJI-2)を用いた。光の照射面積は1.0 cm²であった。水素ガス(H₂)の同定には、ガスクロマトグラフィー(GC)装置(GC-4000 Plus, GL Sciences)を用いた。使用したカラムはMolecular Sieve 5Aである。また、GC分析前に純粋な水素ガス(H₂; GL Sciences社製 Standard Gas, 純度99.99%)を用いて、水素の保持時間が0.82分になることを確認した。また、大気中のGC分析から窒素(N₂)と酸素(O₂)の保持時間がそれぞれ1.44分と2.30分になることを確認した。発生したガスを、シリンジを用いてGC装置に導入してガス分析を実施した。

4. 研究成果

(1) 作製膜のキャラクタリゼーション

Fig. 1(Left)に層間イオンを[Co(en)₃], [Cr(en)₃], [Co(bpy)₃]とする層状MnO₂膜のXRD結果を示す。Fig. 1の[Co(en)₃]@MnO₂は8.72°, 18.15°に9°づつの層状構造特有の等間隔の回折パターンをもつXRDパターンである。Bragg式より面間距離0.566 nmと見積もられ、[Co(en)₃]が層間内において、1分子の層を形成していると考えられる。また、[Cr(en)₃]@MnO₂は8.8°, 18.16°の回折パターンを示し、分子サイズ0.40nmのサイズをもつ[Cr(en)₃]を1層もつMnO₂が電気化学的に作製できたことがわかった。Fig. 1の[Co(bpy)₃]@MnO₂は、層構造特有の等間隔のパターンは観察されなかった。Fig. 1(Right)には、各作製膜のEDS分析結果を示す。各作製膜には、MnO₂に由来するマンガンと酸素のピークおよび層間イオンに由来するコバルトとクロムのピークが観察された。また、電気化学作製時に、原料である硫酸マンガンの硫酸根(SO₄²⁻)および金属錯体のカウンターアニオンである塩素(Cl⁻)とフッ素(F⁻)が観察された。

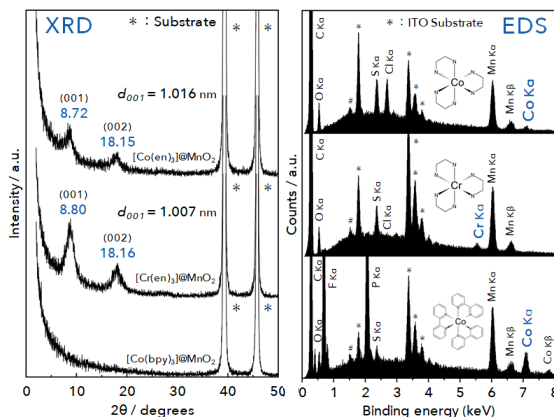


Fig. 1 XRD and EDS spectra of each obtained films.

(2) 水素発生

(2-1) 水素発生条件の探索

カソード電極に白金、アノード電極にマンガン酸化物膜を用いて、電位を徐々に変更した時の電流を測定した(LSV測定)。+0.08V, +0.56V, +1.10V(vs Ag/AgCl)において酸化還元反応における電流値の変化を観察した。各電位において、水素発生実験を実施したところ、+0.56Vおよび+1.10Vにおいて対極である白金電極から水素の発生を確認した。一方で、+0.56Vの印加電位では水素発生量が少なかったために、+1.10Vの印加電位における水素発生実験を検討することとした。

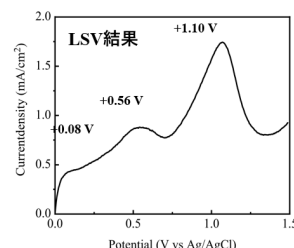


Fig. 2 LSV curve

(2-2) 対極からの水素ガスのGC検出

対極から発生する水素ガスをガスクロマトグラフィーによる定性・定量分析を行った。標準試薬から、保持時間は水素(0.82分), 窒素(1.44分), 酸素(2.30分)であった。図3には、アノード電極に[Co(bpy)₃]@MnO₂を用いて、対極である白金板から発生する水素を30分ごとに測定したGCチャートである。測定開始時には、1.44分と2.30分に窒素と酸素に由来するピークが観察された。実験開始後の混合気体には、0.82分にピークをもつ水素が検出された。このことから、対極で発生しているガスは水素ガスであることを確認した。以後、標準資料を用いたピークエリアによる検量線から、定量分析を行うこととする。

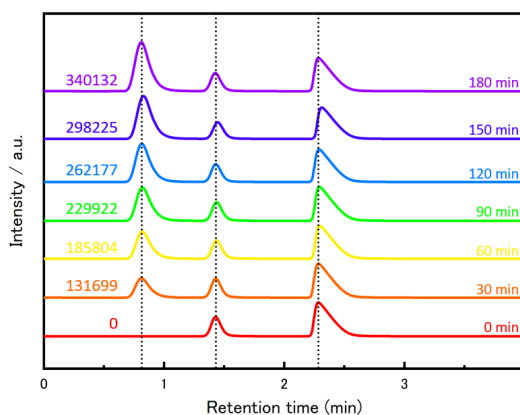


Fig. 3 GC chromatogram results obtained using [Co(en)₃]@MnO₂ as the anode electrode.

(2-3) 各作製膜の水素発生

図4には、各作製膜とITO基板のみのクロノアンペロメトリーの結果を示した。水の理論分解電圧である1.23Vよりも低い+1.1V (vs Ag/AgCl)を印加電位とした。ITO基板のみでは、酸化還元電流は検出されず、また対極である白金板からも水素の発生は観察されなかった。一方で、作製膜をアノード電極とした場合、全ての作製膜において酸化電流が観察され、対極から水素が発生した。[Co(en)₃]@MnO₂をアノード電極とした場合、Pt板(1.0 cm²)から0.14 mL/hの水素発生が生じた。[Cr(en)₃]@MnO₂をアノード電極とした場合、初期において大きな酸化電流が観察され水素発生も生じたが、反応開始40分ほどで酸化電流が定常化して、トータルの水素発生量としては[Co(en)₃]@MnO₂に比べて75%ほどの水素発生量であった。また、[Co(bpy)₃]@MnO₂をアノード電極とした場合、トータルの水素発生量としては[Co(en)₃]@MnO₂に比べて25%ほどの水素発生量であった。結果として、本条件では、[Co(en)₃]@MnO₂が最も多くの水素発生を示す電極であることが分かった。

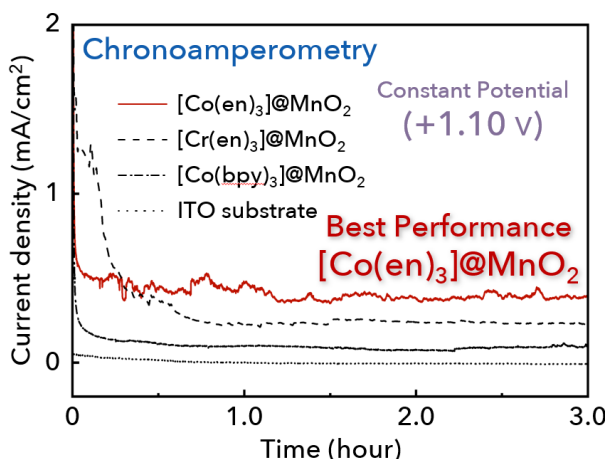


Fig. 4 CA curves of each obtained film, along with that of the bare ITO substrate.

(2-4) MnO₂の波長依存性

図5には、[Co(en)₃]Cl₃水溶液のUV-visスペクトルと[Co(en)₃]@MnO₂とK@MnO₂の固体拡散反射スペクトルを示す。Uv-visスペクトルから、340nmおよび460nm付近に、溶液中における[Co(en)₃]の極大吸収波長が観察された。一方で、層間に[Co(en)₃]錯体をもつ[Co(en)₃]@MnO₂とK@MnO₂の拡散反射スペクトルの比較から、460nm, 560nm, 660nmに層間イオンに起因するピークが観察された。そこで、[Co(en)₃]@MnO₂をアノード電極として、各波長(320nm, 460nm, 560nm, 660nm, 760nm)の光を照射しながら、印加電位+1.1V (vs Ag/AgCl)で水素発生実験を行った。

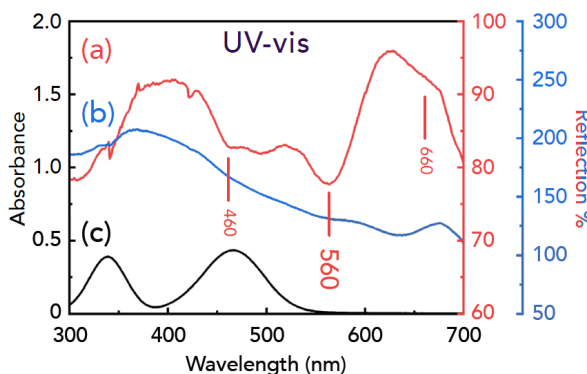


Fig. 5 Diffuse reflectance spectra of (a) [Co(en)₃]@MnO₂ and (b) K@MnO₂ films, and the UV-vis spectrum of a [Co(en)₃]Cl₃ solution.

460nmと660nmの波長の場合、光を照射しない条件と類似する酸化電流であり、水素生成量も同程度であった。一方で、560nmの光照射を行った条件では、酸化電流が明らかに上昇し、水素生成量も2倍に向上することが分かった。Pt板(1.0 cm²)から約0.30 mL/hの水素発生が生じた。カソードである白金板からは以下の反応が進行していると考えられ、pH試験紙から反応終了後は塩基性であることがわかっている。



一方、アノードであるMnO₂膜からはガス(酸素)発生は確認できず、以下の反応がほとんど起きていないと示唆される。

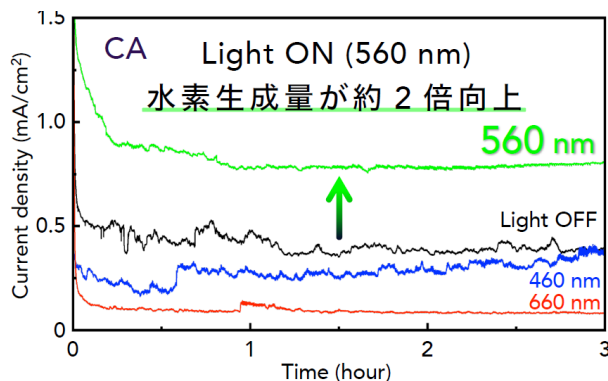
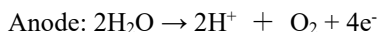


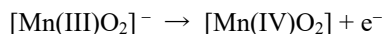
Fig. 6 CA curves of the [Co(en)₃]@MnO₂ film measured under illumination at 460, 560, and 660 nm.

しかし、MnO₂極において酸化電流が観察されていることから、アノードにおいて何かの酸化反応が生じている。そこで、アノードである[Co(en)₃]@MnO₂のラマン分光分析から酸化反応について検討を行った。通常であれば、各金属イオンの価数変化を検討したいが、本申請課題の電極は層間にも多くの水を含むためにXPS測定による検討はできなかった。

(3) メカニズム

(3-1) [Co(en)₃]@MnO₂(アノード)電極の Raman 測定

図 7 には、水素発生前後のアノード電極である [Co(en)₃]@MnO₂ の Raman 測定結果を示す。640 cm⁻¹ 付近と 570 nm⁻¹ 付近にピークが観察された。これは、層状 MnO₂ 特有のピークであることが報告されており、640 cm⁻¹ 付近のピークは、Mn(IV)-O、570 cm⁻¹ 付近のピークは、Mn(III)-O の伸縮振動に帰属されることがわかっている。対極での水素発生前後で、640cm⁻¹ のピークが増加し、570cm⁻¹ 付近のピークが減少することが分かった。各ピークの強度が同程度の検出と仮定すると、対極での水素発生により、アノード電極である MnO₂ 膜では下記の反応が進行していることが推察される。



混合原子価状態である MnO₂ 膜の一部の Mn(III)O₂ が Mn(IV)O₂ に酸化されることを示している。アノード電極側でのガス(酸素)発生が目視で確認できていないことから、この反応がアノード電極での主となる酸化反応であると考えられる。また、K@MnO₂ の水素発生前後のラマン測定結果と比較すると、Mn(III)-O の増加と Mn(IV)-O の減少の比率に差があることが分かった。同程度の水素発生量に対して、層間に金属錯体をもつ MnO₂ では、水素発生後においても Mn(III)O₂ の割合が多い。これは、層間の金属錯体と MnO₂ 間で電子移動が起きていることが示唆される。つまり、層間イオンである金属錯体が間接的に水素生成反応に関与していることがわかった。

また、固体拡散反射スペクトルから層間金属錯体に起因する波長を照射することで、酸化電流が増加して、水素発生量が増加したことも、層間金属錯体からの光電流が MnO₂ に作用することで還元反応 ([Mn(IV)O₂] + e⁻ → [Mn(III)O₂]⁻) が進行し、結果として水素発生量が増加したと推察される。

アノード側の溶液を採取して pH 試験紙による検査を行ったところ中性から酸性に変化していた。この結果から、目視では確認できないものの、水の分解による酸素発生(2H₂O → 4H⁺ + O₂ + 4e⁻)も生じていることがわかった。

(3-2) 水素発生メカニズムの考察

以上の結果から、本水素生成反応の推定メカニズムを図 8 に示した。カソード電極である白金対極で還元反応による水素(GC による確認)が発生する。アノード電極である混合原子価状態の MnO₂ が酸化することで反応系の酸化還元反応が完結する。また、アノード側では、水の酸化反応が生じていることから、水の酸化反応による MnO₂ あるいは層間金属錯体の還元反応が生じていることが Raman 分光分析からも示唆される。さらには、層間金属錯体に関係する波長を照射することで、酸化電流が増加し、結果として水素生成量が 2 倍に向上することがわかった。

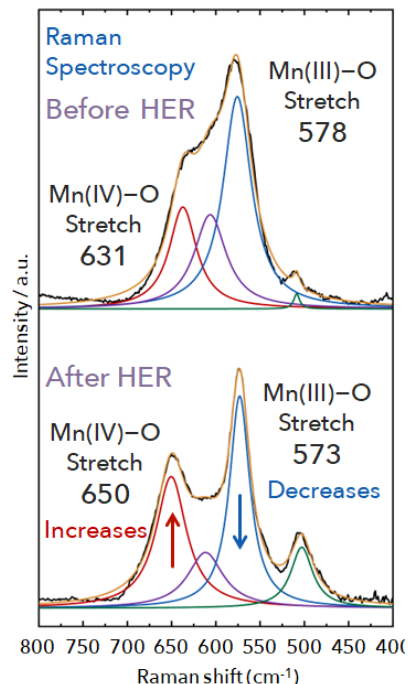


Fig. 7 Raman spectra of the membrane before and after the hydrogen evolution reaction.

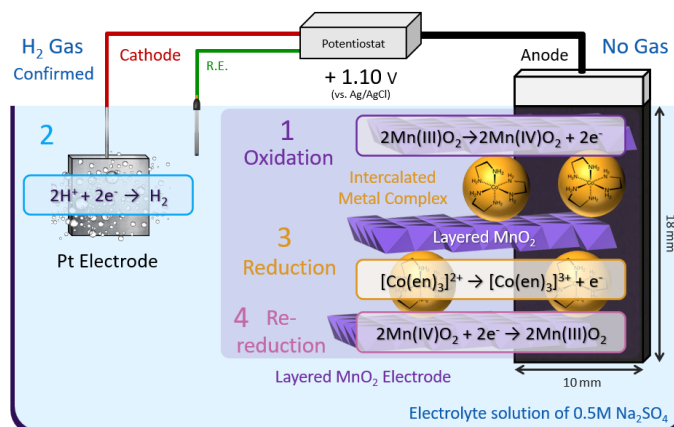


Fig. 8 Mechanism of Hydrogen generation

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2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 A. Hanaya, M. Itakura, K. Tomono	4. 巻 66
2. 論文標題 Wavelength dependence of redox capacity of Birnessite-type MnO ₂ with visible responsive metal complexes and lipid molecules as interlayer ions by light irradiation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Technological Researches, Society of Science and Engineering Architecture and Environmental Design, Kanto Gakuin University	6. 最初と最後の頁 31-36
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 Riku Okiguchi, Kazuaki Tomono	4. 巻 65
2. 論文標題 Development of High-performance capacitor electrodes utilizing [Co(en) ₃]Cl ₃ /MnO ₂ on a bamboo charcoal/carbon nanotube film	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Technological Researches, Society of Science and Engineering Architecture and Environmental Design, Kanto Gakuin University	6. 最初と最後の頁 21-27
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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15件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 瀬沼 愛佑梨・佐々木 涼・友野 和哲
2. 発表標題 金属錯体を挿入した層状MnO ₂ 薄膜の水素生成に及ぼす可視光照射の影響
3. 学会等名 化学工学会 第89回年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐々木 涼・瀬沼 愛佑梨・沖口 陸・友野 和哲
2. 発表標題 電解液変更によるCo錯体を含む層状マンガン酸化物を用いた低電位水素生成
3. 学会等名 第26回化学工学会 学生発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐々木 涼・瀬沼 愛佑梨・沖口 陸・友野 和哲
2. 発表標題 電子キャリア剤の添加によるCo 錯体を 層間イオンとするMnO ₂ 薄膜の水素発生能の向上
3. 学会等名 第13回CSJ化学フェスタ 2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 瀬沼 愛佑梨・佐々木 涼・沖口 陸・小岩 一郎・友野 和哲
2. 発表標題 Ruイオンの配位子変更による層状マンガン酸化物の水素生成能の向上
3. 学会等名 第13回CSJ化学フェスタ2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 瀬沼愛佑梨, 佐々木涼, 沖口陸, 友野和哲
2. 発表標題 Ru錯体を含む層状MnO ₂ を電極とする薄膜の 膜厚変更による水素発生量への影響
3. 学会等名 錯体化学討論会第73回討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐々木涼, 瀬沼愛佑梨, 沖口陸, 友野和哲
2. 発表標題 電子伝達剤添加液による含コバルト錯体層状マ ンガン酸化物薄膜を用いた水素生成への影響
3. 学会等名 第41回夏の学校 電気化学会関東 支部
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 沖口陸, 瀨沼愛佑梨, 趙鶴天, 鎌田素之, 友野和哲
2. 発表標題 炭素系混合膜と層状MnO ₂ の複合電極における層間機能性金属錯体による水素生成への影響
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 瀨沼愛佑梨, 沖口陸, 友野和哲
2. 発表標題 層間Ru(bpy) ₃ 錯体によるマンガン酸化物薄膜の作製と水素生成への影響
3. 学会等名 第25回化学工学会学生発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐々木涼, 瀨沼愛佑梨, 趙鶴天, 沖口陸, 友野和哲
2. 発表標題 竹炭/CNT上にCo錯体を含む層状MnO ₂ 電極を用いた低電位における水素生成
3. 学会等名 第25回化学工学会学生発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 趙鶴天, 沖口陸, 稲葉光亮, 友野和哲
2. 発表標題 脂質イオンと Co 錯体を層間イオンとする層状 MnO ₂ 電極による水の電気分解
3. 学会等名 第12回CSJ化学フェスタ2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 沖口 陸, 瀬沼愛佑梨, Zhao Hetian, 鎌田素之, 友野 和哲
2. 発表標題 層状MnO ₂ による水素生成および[Co(en) ₃]を層間に導入し水素生成能力の向上
3. 学会等名 錯体化学討論会第72回討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐々木 涼・瀬沼 愛佑梨・友野 和哲
2. 発表標題 機能性金属錯体を有する層状マンガン酸化物を用いた低エネルギー水素生成
3. 学会等名 第33回日本エネルギー学会大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 佐々木涼, 瀬沼愛佑梨, 友野和哲
2. 発表標題 金属錯体を層間イオンとする層状マンガン酸化物を用いた水素生成メカニズム
3. 学会等名 電気化学会関東支部 夏の学校
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 佐々木 涼・瀬沼 愛佑梨・友野 和哲
2. 発表標題 可視光照射が及ぼす含Co錯体層状マンガン酸化物を用いた水素生成量の向上
3. 学会等名 第14回CSJ化学フェスタ2024
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 佐々木 涼・佐野隼斗・友野 和哲
2. 発表標題 層状マンガンの層間金属錯体をもたらす水素生成能の評価
3. 学会等名 化学工学会第90回年会
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

1. 第33回 日本エネルギー学会 「題目：機能性金属錯体を有する層状マンガンをを用いた低エネルギー水素生成」ポスター賞, 2024.10.21 2. 第42回 夏の学校 電気化学会関東支部 「題目：金属錯体を層間イオンとする層状マンガンをを用いた水素生成メカニズム」優秀ポスター賞, 2024.09.02
研究業績&表彰/ Publication & Award@友野研究室 https://tomonolab.com/publication_award/

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	本田 暁紀 (Honda Akinori) (10812977)	東京理科大学・理学部第一部化学科・助教 (32660)	

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