

令和 6 年 6 月 5 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01715

研究課題名（和文）光触媒表面に固定化されたリン酸系官能基を介するマストランスファー促進の学理構築

研究課題名（英文）Study on acceleration of mass transfer through phosphate-based functional groups immobilized on photocatalyst surface

研究代表者

影島 洋介（Kageshima, Yosuke）

信州大学・学術研究院工学系・准教授

研究者番号：20821846

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、光触媒の水素生成活性の向上に資する、活性部位近傍での反応物供給促進アプローチを提案する。ホスホン基を有するシランカップリング剤を光触媒粉末表面に修飾することで、光触媒材料の種類によらずに水素生成活性が向上することを見出した。反応のpH依存性や、対流ボルタンメトリーなどの電気化学測定に基づいて、ホスホン基を介した光触媒反応促進の機構を考察した。ホスホン基の緩衝作用が反応駆動時の光触媒近傍のpH勾配を抑制するとともに、ホスホン基がプロトンを供給するメディエーターとしても効果的に機能することで、水素生成反応を促進することが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

「光触媒的な水分解反応」と一口に言っても、半導体内部での物理的な過程、触媒表面で進行する化学反応、反応物の拡散など、タイムスケールの大きく異なる複数プロセスの関与する複雑な反応系である。これまでの「光触媒研究」では、主として半導体光触媒粉末や助触媒微粒子などの材料そのものの開発が中心であった。溶液内での反応物供給も全体での反応速度に影響しうるはずだが、光触媒反応におけるこうした物理化学現象の制御はこれまで試みられてこなかった。光触媒/溶液界面のごく近傍のみにおける反応物供給過程の制御を可能にする本研究コンセプトは、光触媒研究における新たなアプローチになり得ると期待できる。

研究成果の概要（英文）：A novel approach accelerating reactant supply in the vicinity of the photocatalytic active sites was proposed, intended for improved photocatalytic hydrogen evolution activity. Modification of silane coupling reagent containing phosphonate groups on the surface of photocatalytic particles enhanced the hydrogen evolution activity regardless of the identity of the photocatalytic materials employed. Based on the pH dependence of reaction and the electrochemical measurements such as hydrodynamic voltammetry, the mechanisms related to the promotion of photocatalytic reaction through the phosphonate groups were discussed. It was revealed that buffering effects of the phosphonate groups suppressed the pH gradient near the photocatalysts during the reaction, and that the phosphonate groups effectively served as a mediator for supplying protons, resulted in the boosted hydrogen evolution reaction.

研究分野：触媒化学

キーワード：光触媒 水分解 リン酸系官能基 マストランスファー シランカップリング修飾

1. 研究開始当初の背景

光触媒を用いたソーラー水素製造は、太陽光エネルギーを貯蔵・輸送に有利な化学エネルギーの形態に変換する、有望な「人工光合成系」の基幹技術として注目されている。これまでの「光触媒研究」では、高い水素生成活性を得るためのアプローチとして、主として半導体光触媒粉末や助触媒微粒子などの材料そのものの開発に注力されてきた。一方で、「光触媒的な水分解反応」と一口に言っても、光吸収や光励起キャリアの移動等が「半導体内部での物理過程」であるのに対し、触媒表面で進行する水分解反応は「化学過程」であり、また、反応物の拡散・生成物の脱離などの「溶液内での物理化学過程(拡散)」も全体での反応速度に影響し得る。すなわち、タイムスケールの大きく異なる複数プロセスが関与する、相当に複雑な反応系であると言える[1]。長波長光を利用するために光触媒のバンドギャップを狭窄化すると、光励起キャリアのポテンシャル低下が避けられない[2]。そのため、今後可視光応答材料での活性向上を目指すためには、各プロセスの個別での理解・制御が不可欠になってくるはずである。しかし、光触媒反応における溶液内での物理化学現象(反応物拡散過程の制御)は、材料の開発で制御することは出来ず、全く未開拓の領域と言える。

(光)電気化学の分野では、適切な pH・濃度のリン酸緩衝液を電解液として用いることで、中性領域でも高効率に水素生成反応が駆動可能であることがよく知られている[3]。これは、リン酸アニオンがプロトン供給のメディエーターとして機能することで、電極表面(活性点)まで効果的にプロトンが輸送されるためと考えられている[3]。このように、(光)電気化学の分野では、反応物の拡散に注目した適切な「電解液の設計」が、光電極または電極触媒のパフォーマンスを最大限発揮する上で極めて重要であるということが認識されている。研究代表者はこれまでに、こうした電気化学分野の知見に着想を得て、可視光応答型光触媒である La,Rh 共ドープ SrTiO₃ (La,Rh:STO) 表面に、ホスホン基を有するシランカップリング剤を修飾することで、光触媒的な水素生成活性を向上可能であることを報告している[4]。ホスホン基部位が活性点までプロトンを輸送することで、水素生成のキネティクスを改善していると考えられる。すなわち、バルクの電解液ではなく、極めて高濃度のリン酸系官能基を活性点周辺のみ常に纏っている状態と形容出来る。これは、材料そのものの開発でも電解液バルクの設計でもなく、光触媒/溶液界面のごく近傍のみにおける反応物供給過程の制御を可能にする、光触媒研究における新たなアプローチになり得ると期待できる。

2. 研究の目的

(1) 様々な光触媒材料への適用可能性の実証

本コンセプトは光触媒ごく近傍の溶液内での拡散過程の制御を目指すものであるため、原理的には使用する光触媒材料によらずに効果があるものと予想される。異なる吸収端波長を有するいくつかの光触媒粉末(紫外光応答型酸化物、可視光応答型酸化物、近赤外光応答型硫化物)に対して、ホスホン基修飾が水素生成活性に与える影響を評価する。

(2) ホスホン基を介した反応促進の機構解明

(光)電気化学の分野におけるリン酸緩衝液の効果から考えると、光触媒表面に固定化したホスホン基の緩衝作用が寄与しているのではないかと予想できる。そこで、水素生成速度や光触媒粉末のゼータ電位の pH 依存性、回転ディスク電極(RDE)を用いた対流ポルタンメトリーなどに基づいて、反応機構の考察を試みる。

3. 研究の方法

紫外光応答型酸化物として TiO₂ (Aerosil AEROXIDE, P25)、可視光応答型酸化物として La,Rh:STO、近赤外光応答型硫化物として Cu₂(Sn,Ge)S₃ (CTGS) を用いた。La,Rh:STO 及び CTGS 粉末は既報に従い固相法によって合成した[4, 5]。市販のシランカップリング剤(3-(trihydroxysilyl)propyl methyl phosphonate)水溶液中に光触媒粉末を懸濁させることで処理した。光触媒反応は閉鎖循環系に接続したガラスセル内で行い、生成ガスはガスクロマトグラフによって分析した。

電気化学測定では、シランカップリング修飾したカーボン担持白金触媒(Pt/C)を、グラッシーカーボン RDE に塗布することで作用極とした。電解液として 0.1 M NaCl 水溶液を用いた。

4. 研究成果

ホスホン基を修飾した各光触媒を用いた、犠牲試薬水溶液からの水素生成半反応の経時変化を図 1 に示す。いずれの試料も、光照射下で定常的な水素生成が確認された。ホスホン基の修飾量や反応条件をチューニングすると、いずれの光触媒においてもホスホン基修飾によって水素生成活性が向上した。適用する光触媒の組成や吸収端によらず、ホスホン基修飾が水素生成活性向上効果を発現しうることが実証された。

ホスホン基を介した反応促進の機構解明を目的として、La,Rh:STO 粉末を用いたメタノール水溶液からの水素生成速度の pH 依存性を図 2 に示す。未修飾の La,Rh:STO 光触媒は中性付近で最大の水素生成速度を示した。ホスホン基を修飾した場合、塩基性条件では活性の向上はほとんど見られなかったが、酸性～中性領域では水素生成速度が未修飾の場合に比べて増加した。ホスホン基修飾及び未修飾の La,Rh:STO 粉末のゼータ電位の pH 依存性を確認したところ、ホスホン基修飾によって等電点が酸性領域にシフトしていた。また、ホスホン基修飾後には、光触媒粉末懸濁液の中性付近の pH 域における緩衝能が向上することが確認された。したがって、ホスホン基の緩衝作用が光触媒反応駆動中の活性点近傍における pH 変化を抑制したことで、水素生成活性が向上したものと考えられる。一方、ホスホン基の緩衝作用が強い中性付近だけでなく、溶液中のプロトン濃度が比較的高い酸性領域においてもホスホン基修飾によって水素生成活性が向上している。この点に関しては、ホスホン基が光触媒粉末近傍での pH 勾配を抑制している効果だけでは説明できない。そこで、ホスホン基修飾が水素生成反応のキネティクスに及ぼす影響を評価するために、モデル電極触媒としてホスホン基修飾及び未修飾の Pt/C の電流-電位曲線を評価した(図 3)。弱塩基領域ではホスホン基修飾の効果のごくわずかであるのに対して、弱酸～中性領域では大幅な還元電流の向上が見られた。これは光触媒の水素生成活性の pH 依存性の傾向とも一致する。支持電解質として NaCl を採用していることから、水またはホスホン基がプロトン源として機能しうる。従って、ホスホン基修飾によって向上した分の還元電流は、ホスホン基由来のプロトンが水素生成反応に寄与したものと考えられる。以上の結果から、ホスホン基がプロトンを供給するメディエーターとしても効果的に働いたことが、光触媒の水素生成活性向上に寄与した一因と考えられる。ホスホン基の緩衝作用が弱く、かつ溶液中のプロトン濃度が低い塩基性条件では、ホスホン基修飾の効果が発現しなかったものと考えられる。本研究期間中には、上記の検討以外にも、水の全分解反応を駆動可能な GaN:ZnO 光触媒粉末に対するホスホン基修飾や、リン酸系官能基の濃度増大を目的としたシランカップリング剤のポリマー化等の検討も行ってきた。本研究で提案するリン酸系官能基修飾のアプローチは、今後より高活性な水分解用可視光応答型光触媒粉末の開発に寄与すると期待できる。

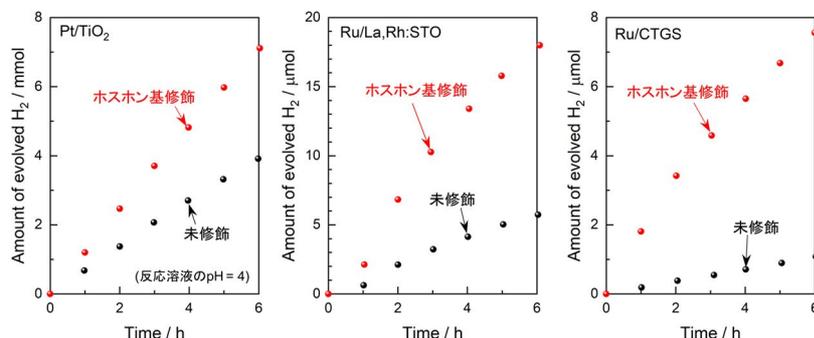


図 1 .ホスホン基修飾及び未修飾の光触媒粉末を用いた、水素生成半反応の経時変化。犠牲試薬: メタノール。光源: 300W Xe ランプ。

ホスホン基を介した反応促進の機構解明を目的として、La,Rh:STO 粉末を用いたメタノール水溶液からの水素生成速度の pH 依存性を図 2 に示す。未修飾の La,Rh:STO 光触媒は中性付近で最大の水素生成速度を示した。ホスホン基を修飾した場合、塩基性条件では活性の向上はほとんど見られなかったが、酸性～中性領域では水素生成速度が未修飾の場合に比べて増加した。ホスホン基修飾及び未修飾の La,Rh:STO 粉末のゼータ電位の pH 依存性を確認したところ、ホスホン基修飾によって等電点が酸性領域にシフトしていた。また、ホスホン基修飾後には、光触媒粉末懸濁液の中性付近の pH 域における緩衝能が向上することが確認された。したがって、ホスホン基の緩衝作用が光触媒反応駆動中の活性点近傍における pH 変化を抑制したことで、水素生成活性が向上したものと考えられる。一方、ホスホン基の緩衝作用が強い中性付近だけでなく、溶液中のプロトン濃度が比較的高い酸性領域においてもホスホン基修飾によって水素生成活性が向上している。この点に関しては、ホスホン基が光触媒粉末近傍での pH 勾配を抑制している効果だけでは説明できない。そこで、ホスホン基修飾が水素生成反応のキネティクスに及ぼす影響を評価するために、モデル電極触媒としてホスホン基修飾及び未修飾の Pt/C の電流-電位曲線を評価した(図 3)。弱塩基領域ではホスホン基修飾の効果のごくわずかであるのに対して、弱酸～中性領域では大幅な還元電流の向上が見られた。これは光触媒の水素生成活性の pH 依存性の傾向とも一致する。支持電解質として NaCl を採用していることから、水またはホスホン基がプロトン源として機能しうる。従って、ホスホン基修飾によって向上した分の還元電流は、ホスホン基由来のプロトンが水素生成反応に寄与したものと考えられる。以上の結果から、ホスホン基がプロトンを供給するメディエーターとしても効果的に働いたことが、光触媒の水素生成活性向上に寄与した一因と考えられる。ホスホン基の緩衝作用が弱く、かつ溶液中のプロトン濃度が低い塩基性条件では、ホスホン基修飾の効果が発現しなかったものと考えられる。本研究期間中には、上記の検討以外にも、水の全分解反応を駆動可能な GaN:ZnO 光触媒粉末に対するホスホン基修飾や、リン酸系官能基の濃度増大を目的としたシランカップリング剤のポリマー化等の検討も行ってきた。本研究で提案するリン酸系官能基修飾のアプローチは、今後より高活性な水分解用可視光応答型光触媒粉末の開発に寄与すると期待できる。

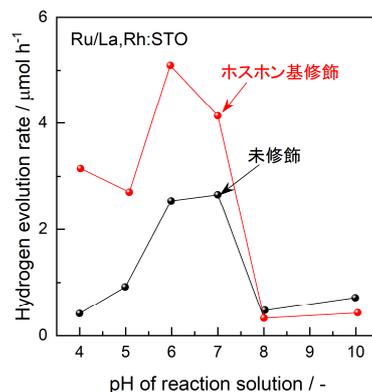


図 2 .Ru/La,Rh:STO の水素生成速度の pH 依存性。

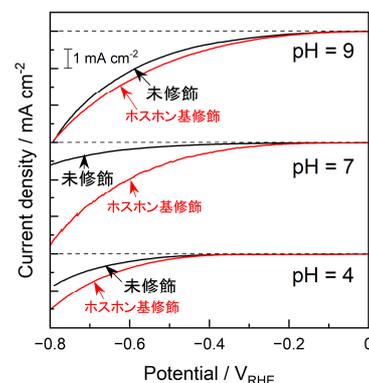


図 3 .ホスホン基修飾及び未修飾の Pt/C 電極の電流-電位曲線。

<引用文献>

- 1) K. Takanabe, Photocatalytic Water Splitting: Quantitative Approaches toward Photocatalyst by Design, *ACS Catal.*, **2017**, *7*, 8006-8022.
- 2) S. Nandy, *et al.*, Synthesis and Photocatalytic Activity of La₅Ti₂Cu(S_{1-x}Se_x)₅O₇ Solid Solutions for H₂ Production under Visible Light Irradiation, *ChemPhotoChem*, **2017**, *1*, 265-272.
- 3) T. Shinagawa, K. Takanabe, Electrocatalytic Hydrogen Evolution under Densely Buffered Neutral pH Conditions, *J. Phys. Chem. C*, **2015**, *119*, 20453-20458.
- 4) Y. Kageshima, *et al.*, Boosted Hydrogen Evolution Kinetics Over Particulate Lanthanum and Rhodium Doped Strontium Titanate Photocatalysts Modified with Phosphonate Groups, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **2021**, *60*, 3654-3660.
- 5) Y. Kageshima, *et al.*, Photocatalytic and Photoelectrochemical Hydrogen Evolution from Water over Cu₂Sn_xGe_{1-x}S₃ Particles, *J. Am. Chem. Soc.*, **2021**, *143*, 5698-5708.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5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 Kageshima Yosuke, Takano Hiroto, Nishizawa Mika, Takagi Fumiaki, Kumagai Hiromu, Teshima Katsuya, Domen Kazunari, Nishikiori Hiromasa	4. 巻 15
2. 論文標題 Precise analyses of photoelectrochemical reactions on particulate Zn _{0.25} Cd _{0.75} Se photoanodes in nonaqueous electrolytes using Ru bipyridyl complexes as a probe	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Chemical Science	6. 最初と最後の頁 6679 ~ 6689
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D4SC00511B	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 Kageshima Yosuke, Ooka Yusuke, Kumagai Hiromu, Takagi Fumiaki, Teshima Katsuya, Domen Kazunari, Nishikiori Hiromasa	4. 巻 7
2. 論文標題 Hydrogen-evolving photocathodes consisting of Cu ₂ Sn _x Ge _{1-x} S ₃ particles synthesized by polymerized complex method and sulphurization	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Sustainable Energy & Fuels	6. 最初と最後の頁 5342 ~ 5351
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D3SE00871A	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 Kageshima Yosuke, Inuzuka Hiroto, Kumagai Hiromu, Ohtani Bunsho, Teshima Katsuya, Nishikiori Hiromasa	4. 巻 127
2. 論文標題 Photothermal Boosting of Photocatalytic Hydrogen Evolution Induced by Defects and Cocatalysts on TiO ₂	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 18327 ~ 18339
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.3c05049	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 Kageshima Yosuke, Kato So, Shiga Sota, Takagi Fumiaki, Minamisawa Hikari, Horita Masaomi, Yamakami Tomohiko, Teshima Katsuya, Domen Kazunari, Nishikiori Hiromasa	4. 巻 15
2. 論文標題 Impact of Ball Milling on the Hydrogen Evolution Performance of Cu ₂ Sn _{0.38} Ge _{0.62} S ₃ Photocatalytic Particles Synthesized via a Flux Method	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 13108 ~ 13120
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.2c23103	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 Kageshima Yosuke, Wada Hiromasa, Teshima Katsuya, Nishikiori Hiromasa	4. 巻 327
2. 論文標題 Hydrogen evolution and electric power generation through photoelectrochemical oxidation of cellulose dissolved in aqueous solution	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Applied Catalysis B: Environmental	6. 最初と最後の頁 122431 ~ 122431
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apcatb.2023.122431	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70件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 影島洋介
2. 発表標題 非水系電解液中のレドックス反応をプローブとしたZn _{0.25} Cd _{0.75} Se粉末光アノードの界面電子構造の解明
3. 学会等名 表面技術協会関東支部 第102回若手講演会 in 琉球大学 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 影島洋介
2. 発表標題 ソーラー水素製造を志向した半導体光触媒粉末の界面の設計
3. 学会等名 コロナド&界面科学研究センター第7回 (2023年) 研究討論会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hiromasa Nishikiori, Yosuke Kageshima, Katsuya Teshima
2. 発表標題 In Situ Observation of Photocatalyst Surface Properties by Spectroscopic Measurements
3. 学会等名 ICSE2023 International Conference on Surface Engineering (ICSE2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 蓮尾健佑、影島洋介、手嶋勝弥、錦織広昌
2. 発表標題 光発熱を利用したセルロース水溶液からの光触媒的水素生成の促進
3. 学会等名 2023年光化学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 見山晃樹、高野裕人、西澤実花、影島洋介、手嶋勝弥、堂免一成、錦織広昌
2. 発表標題 非水系電解液中における半導体光アノードの光電気化学特性
3. 学会等名 2023年光化学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高野裕人、影島洋介、手嶋勝弥、堂免一成、錦織広昌
2. 発表標題 非水系電解液中におけるレドックス反応をプローブとしたZn _{0.25} Cd _{0.75} Se粉末光アノードの光電気化学特性の解析
3. 学会等名 第132回触媒討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 三宅晃弘、影島洋介、手嶋勝弥、堂免一成、錦織広昌
2. 発表標題 BiVO ₄ 粉末から成る酸素生成用半透明光アノードの開発
3. 学会等名 第132回触媒討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岩谷龍之介、影島洋介、錦織広昌
2. 発表標題 金属カチオンドーピング・助触媒修飾に基づく水分解用La5Ti2Ag07S5光触媒の開発
3. 学会等名 第54回中部化学関係学協会支部連合秋季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大岡祐介、影島洋介、錦織広昌
2. 発表標題 錯体重合法・硫化法に基づく合成ルート開発による水素生成用Cu2SnxGe1-xS3粉末光カソードの高効率化
3. 学会等名 第54回中部化学関係学協会支部連合秋季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 屋敷旭伸、影島洋介、錦織広昌
2. 発表標題 電気化学的メチルシクロヘキサン脱水素化反応を志向したホウ素ドーピング窒素系電極触媒担体の開発
3. 学会等名 第54回中部化学関係学協会支部連合秋季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山本雅隆、影島洋介、錦織広昌
2. 発表標題 La, Rh共ドーピングSrTiO3光触媒粉末へのホスホン基修飾による水素生成活性向上の機構解明
3. 学会等名 第54回中部化学関係学協会支部連合秋季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 太田亘、影島洋介、錦織広昌
2. 発表標題 液相中セルロースの直接酸化を志向した可視光応答性WO ₃ 光アノードの開発
3. 学会等名 第54回中部化学関係学協会支部連合秋季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大塚紫乃、影島洋介、錦織広昌
2. 発表標題 酸素生成反応を志向したLa ₅ Ti ₂ Ag _{0.7} S ₅ 粉末光アノードの開発
3. 学会等名 第54回中部化学関係学協会支部連合秋季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 米原温人、影島洋介、錦織広昌
2. 発表標題 水素生成活性向上を志向したLa ₅ Ti ₂ Cu _{0.9} Ag _{0.1} S ₅ 光触媒粉末へのCdS修飾
3. 学会等名 第54回中部化学関係学協会支部連合秋季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高野裕人、影島洋介、手嶋勝弥、堂免一成、錦織広昌
2. 発表標題 非水系電解液中におけるZn _{0.25} Cd _{0.75} Se粉末光アノードの界面電子構造の精密解析
3. 学会等名 第42回固体表面光化学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大塚紫乃、影島洋介、手嶋勝弥、堂免一成、錦織広昌
2. 発表標題 可視光応答型La ₅ Ti ₂ Ag _{0.7} S ₅ 粉末光アノードによる水からの酸素生成
3. 学会等名 第42回固体表面光化学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 金澤辰哉、影島洋介、手嶋勝弥、堂免一成、錦織広昌
2. 発表標題 フラックス法によるCu ₂ S _n Ge _{1-x} S ₃ 結晶微粒子の成長と水素生成反応への適用
3. 学会等名 第 52回結晶成長国内会議
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 太田亘、影島洋介、手嶋勝弥、錦織広昌
2. 発表標題 液相中セルロースの直接酸化を志向したW _{0.3} 光アノードに対する表面修飾の開発
3. 学会等名 第133回触媒討論会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 米原温人、影島洋介、手嶋勝弥、堂免一成、錦織広昌
2. 発表標題 水素生成用La ₅ Ti ₂ Cu _{0.9} Ag _{0.107} S ₅ 光触媒粉末へのCdS修飾方法の検討
3. 学会等名 第133回触媒討論会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 青木凱斗、影島洋介、手嶋勝弥、堂免一成、錦織広昌
2. 発表標題 Y2Ti2O5S2光触媒粉末へ担持する酸素生成用助触媒の開発
3. 学会等名 第133回触媒討論会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 久米本陸、影島洋介、手嶋勝弥、堂免一成、錦織広昌
2. 発表標題 水分解活性の向上を志向したY2Ti2O5S2光触媒粉末に対する金属カチオンドーピング
3. 学会等名 日本化学会 第104春季年会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 笹井勇佑、影島洋介、手嶋勝弥、堂免一成、錦織広昌
2. 発表標題 インピーダンス分析への適用を志向したSrTiO3粉末光電極の作製
3. 学会等名 日本化学会 第104春季年会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 平田美佳、犬塚寛人、影島洋介、手嶋勝弥、錦織広昌
2. 発表標題 光照射下の水系懸濁液中における光触媒近傍の温度が水素生成速度に与える影響
3. 学会等名 日本化学会 第104春季年会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 前田賢汰、影島洋介、手嶋勝弥、錦織広昌
2. 発表標題 強塩基水溶液中に溶解したセルロースの直接酸化を志向したPt/C電極触媒の開発
3. 学会等名 日本化学会 第104春季年会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 山村清遥、山本雅隆、影島洋介、手嶋勝弥、堂免一成、錦織広昌
2. 発表標題 水素生成用光触媒粉末表面へのリン酸系官能基含有ポリマーの修飾
3. 学会等名 日本化学会 第104春季年会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Yosuke Kageshima, Hiromasa Wada, Katsuya Teshima, Hiromasa Nishikiori
2. 発表標題 Photoelectrochemical oxidation of cellulose dissolved in aqueous solution for electric power generation or hydrogen evolution
3. 学会等名 12th International Conference on Environmental Catalysis (ICEC2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 影島洋介
2. 発表標題 人工光合成を志向した光電極の開発
3. 学会等名 2022年度 第2回 フォトニックデバイス・応用技術研究会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高野裕人, 西澤実花, 影島洋介, 手嶋勝弥, 堂免一成, 錦織広昌
2. 発表標題 非水系電解液中のレドックス反応をプローブとしたZn _{0.25} Cd _{0.75} Se粉末光アノードの光電気化学特性の精密解析
3. 学会等名 2022年光化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 矢川小春, 影島洋介, 手嶋勝弥, 錦織広昌
2. 発表標題 層間への光触媒的シリカナノピラー析出によるチタニアナノシート薄膜を介した水蒸気透過の抑制
3. 学会等名 2022年光化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 影島洋介, 志賀奏太, 加藤颯, 高木文彰, 手嶋勝弥, 堂免一成, 錦織広昌
2. 発表標題 ボールミル処理がCu ₂ Sn _x Ge _{1-x} S ₃ 粉末の光触媒的・光電気化学的水素生成活性に与える影響
3. 学会等名 第130回触媒討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 犬塚寛人, 影島洋介, 手嶋勝弥, 錦織広昌
2. 発表標題 可視-赤外域の光発熱を利用した酸化チタンの光触媒的な水素生成活性の向上
3. 学会等名 第130回触媒討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大岡祐介, 影島洋介, 熊谷啓, 手嶋勝弥, 堂免一成, 錦織広昌
2. 発表標題 錯体重合法をベースとした水素生成用Cu ₂ Sn _x Ge _{1-x} S ₃ 粉末光カソードの開発
3. 学会等名 第130回触媒討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 和田裕誠, 影島洋介, 手嶋勝弥, 錦織広昌
2. 発表標題 チタン酸化物系光アノードの電極構造が液相中セルロースの光電気化学的酸化分解特性に与える影響
3. 学会等名 第130回触媒討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 影島洋介, 大岡祐介, 熊谷啓, 手嶋勝弥, 堂免一成, 錦織広昌
2. 発表標題 錯体重合法・硫化法をベースとした Cu ₂ Sn _x Ge _{1-x} S ₃ 結晶微粒子の合成と 光電気化学的な水素生成
3. 学会等名 第51回結晶成長国内会議
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩谷龍之介, 錦織広昌, 影島洋介
2. 発表標題 金属カチオンドーピングによるLa ₅ Ti ₂ Ag _{0.7} S ₅ 粉末の光触媒活性向上
3. 学会等名 第53回中部化学関係学協会支部連合秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大岡祐介, 影島洋介, 錦織広昌
2. 発表標題 錯体重合法・硫化法によって合成したCu ₂ Sn _x Ge _{1-x} S ₃ 粉末から成る水素生成用光カソードの開発
3. 学会等名 第53回中部化学関係学協会支部連合秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高野裕人, 影島洋介, 錦織広昌
2. 発表標題 非水系電解液中におけるZn _{0.25} Cd _{0.75} Se粉末光アノードの光電気化学特性
3. 学会等名 第53回中部化学関係学協会支部連合秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 蓮尾健佑, 影島洋介, 錦織広昌
2. 発表標題 ブラックチタニアを用いたセルロース水溶液からの水素生成
3. 学会等名 第53回中部化学関係学協会支部連合秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 三宅晃弘, 影島洋介, 錦織広昌
2. 発表標題 半透明粉末光アノード作製における光触媒粉末コーティング手法の改良
3. 学会等名 第53回中部化学関係学協会支部連合秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 屋敷旭伸, 影島洋介, 錦織広昌
2. 発表標題 電気化学的メチルシクロヘキサン脱水素化反応を志向した電極触媒材料の開発
3. 学会等名 第53回中部化学関係学協会支部連合秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山本雅隆, 影島洋介, 錦織広昌
2. 発表標題 ホスホン基を修飾したLa,Rh共ドーブSrTiO ₃ 粉末の光触媒の水素生成活性のpH依存性
3. 学会等名 第53回中部化学関係学協会支部連合秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 犬塚寛人, 影島洋介, 錦織広昌
2. 発表標題 欠陥・助触媒の光発熱を利用した酸化チタンの光触媒の水素生成活性の向上
3. 学会等名 第53回中部化学関係学協会支部連合秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 加藤颯, 影島洋介, 錦織広昌
2. 発表標題 Cu ₂ (Sn,Ge)S ₃ 光触媒粉末へのNaヘビードーピング
3. 学会等名 第53回中部化学関係学協会支部連合秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 仲田蒼, 影島洋介, 錦織広昌
2. 発表標題 有機シリカを担体とする水-トルエン界面における光触媒的メチルシクロヘキサン生成系の構築
3. 学会等名 第53回中部化学関係学協会支部連合秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 蒔田帆乃香, 影島洋介, 錦織広昌
2. 発表標題 層状粘土化合物をホスト材料とする水系懸濁液中での三重項-三重項消滅アップコンバージョン発光
3. 学会等名 第53回中部化学関係学協会支部連合秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 水上智哉, 影島洋介, 錦織広昌
2. 発表標題 ホスホン基を修飾したCu ₂ (Sn,Ge)S ₃ 光触媒による水素生成反応
3. 学会等名 第53回中部化学関係学協会支部連合秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 矢川小春, 影島洋介, 錦織広昌
2. 発表標題 チタニアナノシート積層体層間への光触媒的シリカ析出による水蒸気透過の抑制
3. 学会等名 第53回中部化学関係学協会支部連合秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 和田裕誠, 影島洋介, 錦織広昌
2. 発表標題 液相中セルロースの光電気化学的酸化分解を利用した発電及び水素生成
3. 学会等名 第53回中部化学関係学協会支部連合秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 影島洋介
2. 発表標題 半導体光触媒粉末を利用したソーラー水素製造
3. 学会等名 善光寺バレーミニ学会2022 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩谷龍之介, 影島洋介, 手嶋勝弥, 堂免一成, 錦織広昌
2. 発表標題 金属カチオンドーピング及び表面修飾によるLa ₅ Ti ₂ Ag _{0.7} S ₅ 光触媒の水素・酸素生成活性向上
3. 学会等名 第131回触媒討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山本雅隆, 影島洋介, 手嶋勝弥, 堂免一成, 錦織広昌
2. 発表標題 ホスホン基修飾によるLa, Rh共ドーパSrTiO ₃ 粉末の光触媒的水素生成活性向上の機構解明
3. 学会等名 第131回触媒討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 太田亘, 和田裕誠, 影島洋介, 手嶋勝弥, 錦織広昌
2. 発表標題 可視光応答性光アノードを用いた液相中セルロースの直接酸化
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 大塚紫乃, 岩谷龍之介, 影島洋介, 手嶋勝弥, 堂免一成, 錦織広昌
2. 発表標題 La ₅ Ti ₂ Ag _{0.7} S ₅ 粉末光アノードを用いた光電気化学的な酸素生成反応
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 金澤辰哉, 卯野暁史, 志賀奏太, 影島洋介, 手嶋勝弥, 堂免一成, 錦織広昌
2. 発表標題 LiCl-RbClフラックスを用いて合成したCu ₂ SnXGe _{1-x} S ₃ 粉末による光電気化学的な水素生成
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 見山晃樹, 高野裕人, 西澤実花, 影島洋介, 手嶋勝弥, 堂免一成, 錦織広昌
2. 発表標題 非水系湿式太陽電池の発電特性向上を志向したZn _x Cd _{1-x} Seナノワイヤー光アノードの開発
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 米原温人, 岩谷龍之介, 影島洋介, 手嶋勝弥, 堂免一成, 錦織広昌
2. 発表標題 La ₅ Ti ₂ Cu _{0.9} Ag _{0.1} O ₇ S ₅ 粉末に対するCdS修飾が光触媒の水素生成活性に与える影響
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 Yosuke Kageshima, Toshiki Kawanishi, Katsuya Teshima, Kazunari Domen, Hiromasa Nishikiori
2. 発表標題 La,Rh-codoped SrTiO ₃ photocatalysts modified with alkylsilyl phosphonate for enhanced hydrogen evolution activities
3. 学会等名 PACIFICHEM2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yosuke Kageshima, Sota Shiga, Tatsuki Ode, Katsuya Teshima, Kazunari Domen, Hiromasa Nishikiori
2. 発表標題 First demonstration of photocatalytic and photoelectrochemical water reduction by particulate Cu ₂ S _n Ge _{1-x} S ₃ responsive up to infrared light
3. 学会等名 PACIFICHEM2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yosuke Kageshima, Haruka Momose, Katsuya Teshima, Kazunari Domen, Hiromasa Nishikiori
2. 発表標題 A tandem-type photoelectrochemical cell consisting of photocatalytic particles for overall water splitting
3. 学会等名 The 18th Japan-Korea Symposium on Catalysis (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 水上智哉, 影島洋介, 錦織広昌
2. 発表標題 Cu ₂ (Sn,Ge)S ₃ 光触媒表面へのホスホン基修飾による水素生成活性向上
3. 学会等名 第52回中部化学関係学協会支部連合秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 志賀奏太, 影島洋介, 錦織広昌
2. 発表標題 フラックス合成によるCu ₂ Sn _x Ge _{1-x} S ₃ 粉末光カソードの光電気化学的水素生成活性の向上
3. 学会等名 第52回中部化学関係学協会支部連合秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 加藤颯, 影島洋介, 錦織広昌
2. 発表標題 多種アルカリ金属ドーピングによる新規Cu ₂ (Sn,Ge)S ₃ ベース光触媒粉末の開発
3. 学会等名 第52回中部化学関係学協会支部連合秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 百瀬悠, 影島洋介, 錦織広昌
2. 発表標題 チタニアナノシートとSrTiO ₃ 粒子から成る多孔性光アノードの開発
3. 学会等名 第52回中部化学関係学協会支部連合秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西澤実花, 影島洋介, 錦織広昌
2. 発表標題 表面修飾の導入がZnxCd1-xSeナノワイヤー光アノードの光電気化学特性に及ぼす影響
3. 学会等名 第52回中部化学関係学協会支部連合秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 犬塚寛人, 影島洋介, 錦織広昌
2. 発表標題 ブラックチタニアを用いた光触媒的な水素生成反応
3. 学会等名 第52回中部化学関係学協会支部連合秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山本雅隆, 水上智哉, 影島洋介, 手嶋勝弥, 堂免一成, 錦織広昌
2. 発表標題 ホスホン基を介したプロトン供給促進による光触媒の水素生成活性向上のpH依存性
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高野裕人, 西澤実花, 影島洋介, 手嶋勝弥, 堂免一成, 錦織広昌
2. 発表標題 非水系電解液中のレドックス電位がZnxCd1-xSe粉末光アノードの光電気化学特性に与える影響
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大岡祐介, 志賀奏太, 影島洋介, 熊谷啓, 手嶋勝弥, 堂免一成, 錦織広昌
2. 発表標題 錯体重合法をベースに合成したCu ₂ S _n Ge _{1-x} S ₃ 粉末による光電気化学的な水素生成
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 三宅晃弘, 百瀬悠, 影島洋介, 手嶋勝弥, 堂免一成, 錦織広昌
2. 発表標題 チタニアナノシートとBiVO ₄ 粉末の複合体から成る半透明光アノードの作製
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩谷龍之介, 影島洋介, 手嶋勝弥, 堂免一成, 錦織広昌
2. 発表標題 金属カチオンドーピングがLa ₅ Ti ₂ AgO ₇ S ₅ 粉末の光触媒の水素または酸素生成活性に及ぼす影響
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会
4. 発表年 2022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
---------------------------	-----------------------	----

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