

実用化へ大きく前進！革新的な光触媒システムを開発 ～水から水素と酸素を分離生成、逆反応を抑制して高効率化～

【本研究のポイント】

- ・水素発生セルと酸素発生セルを分離することで、高効率かつ実用的な光触媒システムを開発。
- ・太陽光エネルギー変換効率(STH)^{注1)}2.47%を実現することに成功し、実用化の目安とされる目標値5%へ大きく前進した。
- ・より大面積での屋外実験システムでは、STH 1.21%を1週間維持することに成功。

【研究概要】

名古屋大学大学院工学研究科の王 謙(オウ ケン) 准教授、呉 亜強(ウ ヤジヤン) 特任助教、櫻井 拓弥 博士前期課程学生らの研究グループは、信州大学/東京大学の堂免 一成 教授、山東大学の王 朋(オウ ポン) 教授らの研究グループとの共同研究で、高効率かつ実用的な水分解光触媒反応システムを開発しました。

太陽光と光触媒を利用した水分解反応は、持続可能なグリーン水素製造技術として大きな期待を集めています。しかし、従来の技術には、光触媒の反応効率の低さ、水素と酸素が混在することによる逆反応、および生成ガスの分離の必要性といった課題があり、実用化の大きな障壁となっていました。

本研究グループは、水素発生セルと酸素発生セルを独立させた設計により、水素と酸素を分離して生成する新たな光触媒システムを開発しました。水素発生用セルにはセレン化モリブデン(MOSe₂)をコーティングしたハロゲン化ペロブスカイト(CH(NH₂)₂PbBr_{3-x}I_x)光触媒を、酸素発生セルにはニッケル-鉄層状複水酸化物(NiFe-LDH)をコーティングしたバナジウム酸ビスマス(BiVO₄)を導入しました。これらのセル間の電子移動を、I₃⁻/I⁻電子伝達材^{注2)}を介して促進させることにより、太陽光エネルギー変換効率(STH)2.47%を実現することに成功しました。さらに、このシステムをスケールアップした692.5 cm²の屋外実験システムでは、平均1.21%のSTHを1週間維持することに成功しました。

本研究で開発した光触媒システムは、独自の設計により、水素と酸素を分離生成するだけでなく、逆反応を抑制することで、従来のシステムと比較してSTHを大幅に上昇させることに成功しました。本研究の成果は、光触媒を用いた水素製造技術の発展に新たな指針を示し、今後の大規模な水素生産への応用が期待されます。

本研究成果は、2025年1月24日(日本時間)付Nature Research社発行の国際学術誌『Nature Communications』に掲載されました。

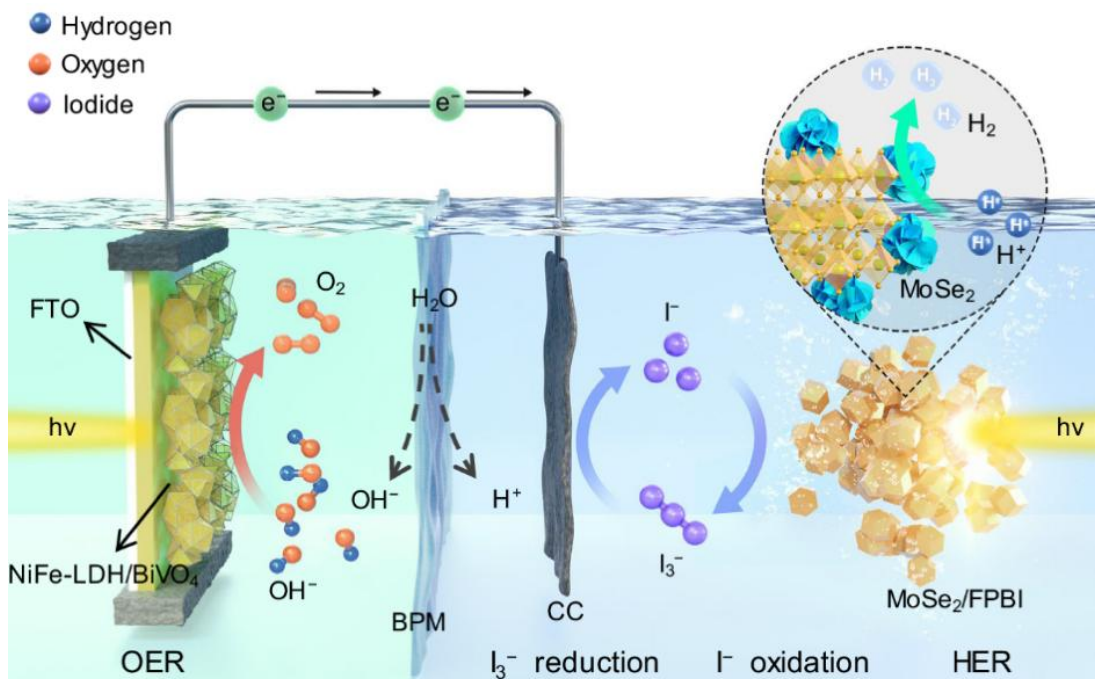


図1 水素発生と酸素発生を分離したZスキーム型水分解反応システムのイメージ図

【研究背景と内容】

太陽エネルギーは、枯渇の心配がなくクリーンで持続可能なエネルギー源であり、近年、化石燃料に代わる有力な選択肢として、その活用に関する研究が進められてきました。中でも、光触媒を利用した水分解反応は太陽エネルギーを水素という貯蔵可能な形に変換する手段として注目を集めています。水素は高いエネルギー密度を持ち、燃焼時に二酸化炭素などの温室効果ガスを排出しないことから、理想的なクリーンエネルギーとされています。光触媒は、太陽光を照射するだけで水から水素を生成できるため、シンプルかつ低コストの水素製造手段として期待されています。

Zスキーム型光触媒システム^{注3)}では、異なる2種類の光触媒を組み合わせ、それぞれの光触媒が水素と酸素の生成を促進します。このシステムでは、光触媒間の電子移動を促進するために電子伝達材(I_3^-/I^- 、 Fe_3^+/Fe_2^+)が使用されていますが、従来のZスキーム型光触媒システムでは、電子伝達材の副反応と水分解反応が競合するため、太陽エネルギーから水素への変換効率(STH)が1%未満に制限されていました。

さらに、水素と酸素が同じ反応セル内で生成されることで、水素と酸素の再結合による逆反応が発生し、効率が低下するという課題もありました。これらの問題を解決するために、水素と酸素を分離して生成できる新たな光触媒システムの開発が求められていました。

本研究では、図1に示すように、水素発生セルと酸素発生セルを分離し、両者を I_3^-/I^- 電子伝達材で連結させた新しい光触媒システムを開発しました。水素生成セルには、セレン化モリブデン($MoSe_2$)を担持したハロゲン化ペロブスカイト($CH(NH_2)_2PbBr_{3-x}I_x$)を導入しました。この光触媒は、 I^- を I_3^- に酸化しながら水を還元し、水素を生成します。一方、酸素発生セルでは、ニッケル-鉄層状複水酸化物($NiFe-LDH$)を担持したバナジン酸

Press Release

ビスマス(BiVO_4)光電極を使用しました。この光触媒電極上で水の酸化反応により酸素が発生し、連結されたカーボンクロス(CC)上で I_3^- が I^- に還元されます。この設計により、水素と酸素を別々に生成でき、水素と酸素の混在による逆反応を完全に回避するとともに、電子伝達材の副反応を完全に抑制することで STH2.47%を達成することに成功しました。

さらに、ペロブスカイト光触媒をアクリル基板の上に固定化し、図 2a に示すように、NiFe-LDH/ BiVO_4 //CC システムと統合したパネル型リアクターを開発しました。また、図 2b に示すように、屋外実証実験として 5 つのリアクター(692.5 cm^2)を組み込んだシステムを構築し、自然太陽光条件下で 1 週間の連続運転を行いました。その結果、水素と酸素の安定した分離生産が確認され、システム全体として平均 1.21%の STH を達成することに成功しました(図 2c)。

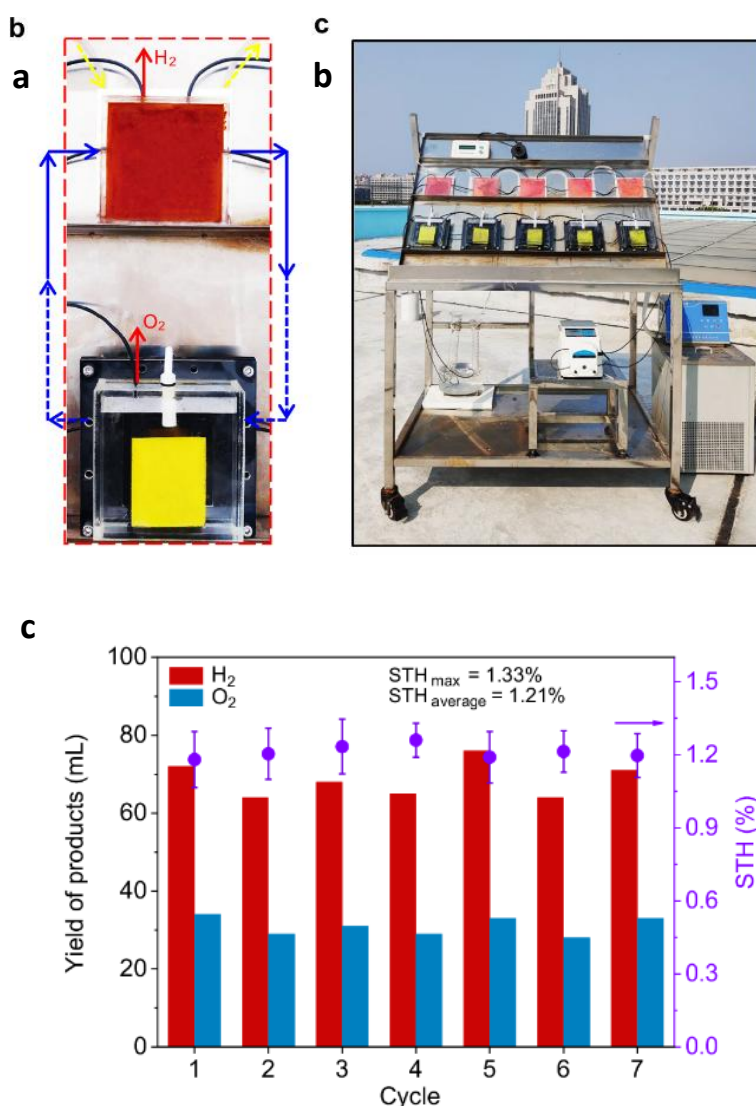


図2 (a)パネル型リアクターの拡大図:水素発生セル(上)と酸素発生セル(下)、(b)屋外実験モジュールの外観、(c)午前11時~午後2時を1サイクルとした場合の、水素と酸素の収率およびSTHの値(最大1.33%、平均1.21%)

【成果の意義】

本研究では、水素生成セルと酸素生成セルを分離した新たな Z スキーム型光触媒システムを開発しました。これにより、生成ガスによる逆反応と電子伝達材の副反応を抑制し、STH 2.47%を達成することに成功しました。このシステムは、従来の Z スキーム光触媒の課題を克服する設計となっており、屋外実証実験では大規模化の可能性を示しました。本研究は、Z スキーム型光触媒システムの実用化とさらなる効率向上に向けた重要な知見を提供します。

本研究は、2022年度から始まった NEDO『グリーンイノベーション基金事業・CO₂等を用いたプラスチック原料製造技術開発』、JST『創発的研究支援事業』の支援のもとで行われたものです。

【用語説明】

注1) 太陽光エネルギー変換効率(Solar-To-Hydrogen conversion efficiency: STH):

入射した太陽光エネルギーが水素の化学エネルギーにどれだけ変換されたかを示す指標。生成された水素のエネルギー量を入射光のエネルギー量で割ることで求められ、一般にパーセント(%)で表される。STH 効率が高いほど、より効率的に太陽光を利用して水素を生成できることを意味する。

注2) 電子伝達材:

Z スキーム型光触媒システムにおいて、光触媒間の電子移動を担う物質。水素生成光触媒と酸素生成光触媒の間で電子の受け渡しを行い、効率的な水分解反応を促す。しかし、従来のシステムでは、電子伝達材の副反応が水分解反応と競合し、反応効率を低下させることが課題とされていた。

注3) Z スキーム型光触媒システム:

水素発生光触媒と酸素発生光触媒を組み合わせ、自然界の光合成と類似したメカニズムで水を分解するシステム。水素発生光触媒が水を還元して水素を生成し、酸素発生光触媒が水を酸化して酸素を生成する。両者の間で電子をやり取りすることで、より広い波長範囲の光を活用しつつ、高い酸化・還元能力を維持することができる。単一光触媒よりも効率的に太陽光を活用できる技術として注目されている。

【論文情報】

雑誌名:Nature Communications

論文タイトル:A scalable solar-driven photocatalytic system for separated H₂ and O₂ production from water

著者:Hui Fu, Yaqiang Wu, Yuhao Guo, Takuya Sakurai, Qianqian Zhang, Yuanyuan Liu, Zhaoke Zheng, Hefeng Cheng, Zeyan Wang, Baibiao Huang, Qian Wang, Kazunari Domen, & Peng Wang 下線は名古屋大学

Press Release

DOI: 10.1038/s41467-025-56314-x

URL: <https://www.nature.com/articles/s41467-025-56314-x>



東海国立大学機構は、岐阜大学と名古屋大学を運営する国立大学法人です。
国際的な競争力向上と地域創生への貢献を両輪とした発展を目指します。

東海国立大学機構 HP <https://www.thers.ac.jp/>

