

先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム) 実績報告書

本様式の内容は一般に公表されません

研究課題名	太陽エネルギーの化学エネルギーへの革新的変換技術の研究
研究機関・部局・職名	独立行政法人産業技術総合研究所・エネルギー技術研究部門・研究グループ長
氏名	佐山 和弘

1. 研究実施期間 平成23年2月10日～平成26年3月31日

2. 収支の状況

(単位:円)

	交付決定額	交付を受けた額	利息等収入額	収入額合計	執行額	未執行額	既返還額
直接経費	126,000,000	126,000,000	0	126,000,000	125,982,293	17,707	0
間接経費	37,800,000	37,800,000	0	37,800,000	37,800,000	0	0
合計	163,800,000	163,800,000	0	163,800,000	163,782,293	17,707	0

3. 執行額内訳

(単位:円)

費目	平成22年度	平成23年度	平成24年度	平成25年度	合計
物品費	257,137	17,611,756	49,678,452	31,240,930	98,788,275
旅費	0	261,060	1,356,162	63,920	1,681,142
謝金・人件費等	0	5,429,991	8,407,658	8,064,488	21,902,137
その他	0	1,696,089	957,055	957,595	3,610,739
直接経費計	257,137	24,998,896	60,399,327	40,326,933	125,982,293
間接経費計	77,141	12,822,859	13,950,000	10,950,000	37,800,000
合計	334,278	37,821,755	74,349,327	51,276,933	163,782,293

4. 主な購入物品(1品又は1組若しくは1式の価格が50万円以上のもの)

物品名	仕様・型・性能等	数量	単価 (単位:円)	金額 (単位:円)	納入 年月日	設置研究機関名
ソーラーシミュレータ	三永電機製作所 XES-40S1	1	945,000	945,000	2011/7/13	産業技術総合研究所
マイクロプレートリーダー	テカン Infinite M200 ProABS	1	3,273,900	3,273,900	2011/8/26	産業技術総合研究所
加圧電解セル装置	耐圧硝子工業 TEM-V-500	1	1,184,728	1,184,728	2012/1/20	産業技術総合研究所
光電極反応時定数評価システム	ビー・イー・エス CIMPS-1	1	5,827,500	5,827,500	2012/2/8	産業技術総合研究所
純水製造装置	オートスチル WA200 ヤマト科学	1	676,200	676,200	2012/6/22	産業技術総合研究所
自動半導体膜合成システム	FREEDOM EVO75 テカン	1	18,868,500	18,868,500	2012/8/9	産業技術総合研究所
多試料自動解析用X線回析装置	PANalytical製 X線解析装置	1	14,626,500	14,626,500	2012/8/20	産業技術総合研究所
ソーラーシミュレータ	XES-40S1 三永電機製作所	1	945,000	945,000	2012/9/10	産業技術総合研究所
クセノンイルミネーターシステム	Cermax イーグルエンジニアリング製	1	847,350	847,350	2012/12/19	産業技術総合研究所
高速自動光電流評価装置	光電流測定装置 東方技研	1	4,636,800	4,636,800	2013/3/28	産業技術総合研究所
ソーラシミュレータ	XES-40S1 三永電機製作所	1	945,000	945,000	2013/5/28	産業技術総合研究所
導電性ガラス(TCO)基板	1.8tx113mmx40mm 1000枚	1	840,000	840,000	2013/5/29	産業技術総合研究所
半導体表面形状解析装置	島津製作所 走査型プローブ顕微鏡	1	7,843,500	7,843,500	2013/8/1	産業技術総合研究所

様式20

光触媒反応活性評価装置	閉鎖循環系、硝子排気ライン、ガス導入ライン 圧力センサー、ガス自動サン	1	6,791,400	6,791,400	2013/8/28	産業技術総合研究所
自動比表面積／細孔分布測定装置	日本ベル製、BELSorpII	1	3,486,000	3,486,000	2013/9/13	産業技術総合研究所
太陽分光放射計	型式:S-2440 (ひだまりmini)	1	977,550	977,550	2013/10/15	産業技術総合研究所
疑似基準太陽電池セル	リファレンスPVセル AK-120 リファレンスPVセル AK-300	1	777,000	777,000	2013/10/24	産業技術総合研究所
光電気化学反応評価装置	BAS製電気化学特性評価装置660E	1	3,412,500	3,412,500	2013/11/15	産業技術総合研究所

5. 研究成果の概要

酸化光触媒電極による水分解水素製造に関して、BiVO₄半導体膜の多層構造や炭酸塩電解液効果により、世界最高の太陽エネルギー変換効率(外部バイアスロス考慮済み)1.35%を達成することができた。また、高速自動半導体探索装置を有効活用して、約2万種類の光電極材料を探索し、100種類以上の電荷分離能力の高い新規材料群を見いだした。レドックス媒体を用いる人工光合成反応に関して、過塩素酸鉄溶液中のCs-WO₃光触媒を用いて化学エネルギーに蓄積する太陽エネルギー変換効率として世界最高の0.38%を達成した。提案のシステムで太陽光発電と水電解の単なる組み合わせよりも低コストの水素製造を将来実現できることを検証した。

課題番号	GR100
------	-------

先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム) 研究成果報告書

本様式の内容は一般に公表されます

研究課題名 (下段英語表記)	太陽エネルギーの化学エネルギーへの革新的変換技術の研究
	Research on Innovative Technology for Solar Energy Conversion to Chemical Energy
研究機関・部局・ 職名 (下段英語表記)	独立行政法人産業技術総合研究所・ エネルギー技術研究部門・研究グループ長
	Group Leader, Solar Light Energy Conversion Group, Energy Technology Research Institute, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)
氏名 (下段英語表記)	佐山 和弘
	Kazuhiro SAYAMA

研究成果の概要

(和文):

酸化物光触媒電極による水分解水素製造に関して、 BiVO_4 半導体膜の多層構造や炭酸塩電解液効果により、世界最高の太陽エネルギー変換効率(外部バイアスロス考慮済み: ABPE) 1.35%を達成することができた。また、高速自動半導体探索装置を有効活用して、約 2 万種類の光電極材料を探索し、100 種類以上の電荷分離能力の高い新規材料群を見いだした。レドックス媒体を用いる人工光合成反応に関して、過塩素酸鉄溶液中の Cs-WO_3 光触媒を用いて化学エネルギーに蓄積する太陽エネルギー変換効率として世界最高の 0.38%を達成した。提案のシステムで太陽光発電と水電解の単なる組み合わせよりも低コストの水素製造を将来実現できることを検証した。

(英文):

We obtained the highest applied bias photon-to-current efficiency (ABPE=1.35%) over BiVO_4 semiconductor composite film in carbonate electrolyte solution among all oxide photoanodes for solar hydrogen production. The photocurrents of more than 20 thousands samples were measured using out high throughput screening system, and more than 100 new semiconductors having high

charge separation ability could be found. We also obtained the highest solar energy conversion efficiency (0.38%) into the chemical energy using Cs-WO₃ photocatalyst in Fe³⁺/Fe²⁺ redox perchlorate solution. The feasibility of low cost H₂ production on the proposed systems compared to the conventional ones could be verified.

1. 執行金額 163,782,293 円
(うち、直接経費 125,982,293 円、間接経費 37,800,000 円)

2. 研究実施期間 平成23年2月10日～平成26年3月31日

3. 研究目的

低炭素社会の実現を目指して、太陽エネルギー利用技術の高度化や省エネルギー促進のための燃料電池等の水素エネルギー研究が盛んに行われている。水素は将来的には太陽光エネルギー等を用いて水から製造するのが望ましい。クールアース・エネルギー革新技術ロードマップには、光触媒や半導体光電極を用いた水分解による太陽光水素製造が将来の有望技術の一つとして記載されている。直近の太陽エネルギーで水素製造する技術としては、太陽光発電と水電解を組み合わせる水素製造の試みがある。太陽光発電の発電コストは 2020～2030 年には 7 円～14 円/kWh を目標 (NEDO PV-2030+) としているが、仮にその目標発電コストで水電解しても水素製造コストは 35～65 円/Nm³ なので、2020 年のクールアース目標の供給コスト 40 円/Nm³ 以下 (水素製造コストとしては 30 円/Nm³ 以下) は達成困難であり、技術革新が不可欠である。本研究では高効率かつ実現可能性・経済性が最も高いと考えられる次の研究項目 (I) 光電気化学的手法による新規半導体の探索と多孔質半

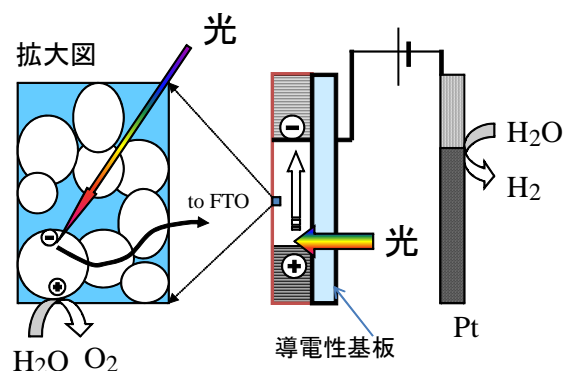


図 1 : 半導体光電極の水分解の原理図

導体光電極 (図1) の高性能化、および (II) レドックス媒体を用いる光触媒—電解ハイブリッドシステム (図2)、という2つの革新的太陽光水素製造システムの研究提案をする。太陽光発電と水電解の単なる組み合わせよりも低コストの水素製造の実現可能性を検証することを全体の目的とする。

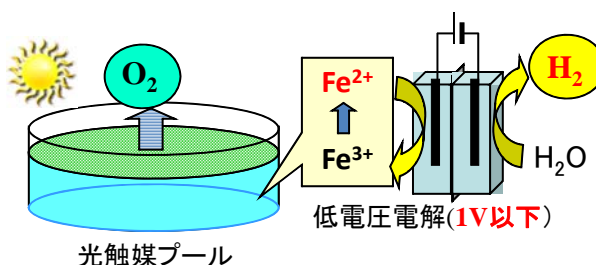


図 2 : 光触媒—電解ハイブリッドシステムの原理図

4. 研究計画・方法

光電気化学的手法による新規半導体の探索と多孔質半導体光電極の高性能化に関しては、独自性・実効性の非常に高い高速自動半導体探索装置の開発と応用を行い、酸素発生用のn型酸化半導体の探索だけでなく、還元反応に

最適なp型酸化物半導体の探索にも活用する。本提案で用いる装置は、複雑な複合化合物を低温で均一に合成しやすい有機金属熱分解(MOD)法により薄膜調製することを基本としている。分注機を用いているので金属混合比率を正確に制御する。光電流の検出評価方法については、一枚板の半導体ライブラリーの光電流をマッピングする。これらの装置を改良しながら探索速度と精度の向上を行う。また、可視光応答性半導体膜の改良については、自己組織化的な成膜法を工夫することによりナノスケールで膜構造を制御することで、世界最高効率の光電極を開発する。炭酸塩添加法などの酸素発生を促進する電解液組成の改良手法を活用する。

レドックス媒体を用いる光触媒—電解ハイブリッドシステムに関しては、既存の半導体および新規開発した半導体を用いてレドックス媒体を用いる光触媒反応の高性能化を行う。表面処理や助触媒による酸化還元サイトの分離、逆電子移動抑制などのあらゆる手法を組み合わせることで光触媒活性を向上していく。開発した光触媒に対して、その活性向上因子を解明するとともに更なる高性能化の指針を明確にする。

最終的に水素製造コスト等の試算を行い、太陽光水素製造技術全体の将来性や開発シナリオを検討する。

5. 研究成果・波及効果

<多孔質半導体光電極の高性能化>

BiVO_4 は我々が初めて光電極として水分解できることを報告し、現在世界中で開発競争が激しくなっている半導体であり、本研究ではこの BiVO_4 系に特に注力して検討した。ナノ構造を制御した $\text{WO}_3/\text{SnO}_2/\text{BiVO}_4$ の三層構造の多孔質光電極を高濃度の炭酸塩電解液中で反応する事で BiVO_4 系としては最も高い太陽エネルギー変換効率(ABPE:外部バイアスロス考慮済みの効率)を得られ、さらに光閉じ込め構造を利用することで全てのn型光電極の中で世界最高効率の 1.35%を達成した(図3、2012.3.12 プレス発表当時)。この値は従来報告されていた酸化物光電極の変換効率の約 2 倍である。通常、電解による水の分解反応では、理論上 1.23 V 以上、実際には過電圧の影響で 1.6 V 以上の電解電圧が必要である。光電極を用いれば、低い補助電源電圧(この光電極では 0.7 V 程度)で水を分解して水素を生成できるので水素製造の低コスト化につながる。また、 BiVO_4 半導体膜を調製する前駆体溶液に界

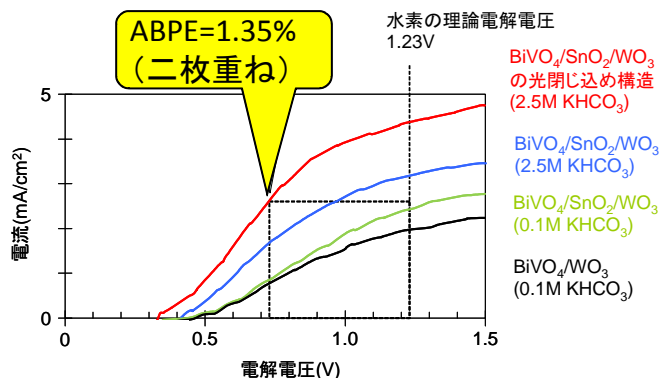


図3 : $\text{WO}_3/\text{SnO}_2/\text{BiVO}_4$ の多孔質光電極の電流-電圧特性

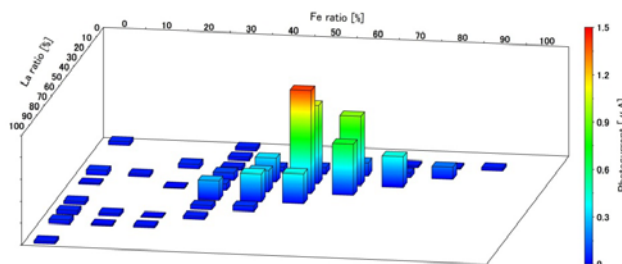


図4 : 高速自動半導体探索の光電流の例 (Fe-La-In)

面活性剤と多量の酸化剤を同時に添加することで、低温で結晶性が高く且つ高表面積の多孔質膜を合成することができた。その結果、効率は1枚の光電極と比較して約5割向上することに成功した。

光電気化学的手法による新規半導体の探索に関しては、可視光照射下での電荷分離能力の高いn型およびp型の半導体の探索を行い、2元系または3元系の金属酸化物について現在までに2万個以上の光電極材料を探索し、Fe系やCu系など105種類程度の電荷分離能力の高い新規材料群を見だし、7件の特許出願を行った。図4にFe-La-In系の例を示すが、Fe:La:In=5:4:1で最も高い光電流応答を示すことがわかる。これらの新規半導体の個別の最適化には少し時間がかかるが、BiVO₄系の性能を超える調製条件が有力候補の中から見いだせると考えられる。

<レドックス媒体を用いる光触媒—電解ハイブリッドシステム>

表面にCs-W複合酸化物を形成したWO₃光触媒を過塩素酸アニオンの鉄系レドックス媒体中で用いると、可視光(420nm)での量子収率が31%に向上することを見いだした。この値はレドックス媒体を用いる可視光応答性光触媒の中で格段に大きい。レドックス媒体に変換蓄積される太陽エネルギー変換効率としては世界最高の0.38%を達成した。この効率は一見低いように見えるかもしれないが、バイオマスエタノール原料作物として注目されている雑草植物スイッチグラスの2倍程度高い値である。将来的には水素発生用の光触媒をプールの下に重ねて2段階(Zスキーム型)で水を分解した場合において、水分解速度としては太陽エネルギー変換効率1.42%の水分解システムに利用できる酸素発生光触媒を本研究で開発できたことに相当する非常に高い性能である。また、TiO₂粉末系光触媒のレドックス反応において太陽光に含まれる光での50%以上の世界最高量子収率を達成できた点も重要である。ごく少量のAu助触媒を担持すると強い光量でも高い量子収率が維持できる効果を見いだしている。

半導体自動スクリーニング装置で得られた結果を活用して新規の鉄系半導体光触媒を多数開発した。Ti-Srを添加したFe₂O₃光触媒が600nmまでの長波長の可視光を利用してヨウ素系レドックスで酸素発生できることを見いだした。光触媒として最適化した添加量は半導体自動スクリーニング装置の光電流応答として最大値を得られた添加量とほぼ一致しており、光電気化学的な高速スクリーニングの有用性が確かめられた。

鉄イオンに替わるレドックスとしてV⁵⁺/V⁴⁺イオン対およびI₃⁻/I⁻イオン対が新規レドックス媒体として有望であることを確認できた。表面処理したWO₃半導体の表面にFe³⁺/Fe²⁺レドックスを固定すると、V⁵⁺/V⁴⁺イオン対のレドックス反応が著しく促進される効果を見出した。この複数のレドックス媒体と光触媒とを組み合わせることで活性が向上する新規な反応機構はこれまで成功例が無かったものであり、光合成明反応のメカニズムと類似している点で興味深い。V⁵⁺/V⁴⁺イオン対については水素と酸素を別々に発生させるZスキーム型水分解にも成功している。

<低コスト水素製造の実現可能性の検証>

全体目的である、太陽光発電と水電解の単なる組み合わせよりも圧倒的に低コストの水素製造の実現可能性を検証することに関しては、光電極および光触媒—電解ハイブリッドシステムの

両方の技術で検討してきた。光電極に関しては、世界最高性能のn型酸素生成用光電極を開発して電解電圧を半減できることを実証した。コストの大部分を占める太陽電池の必要数を大幅に削減できることから、この目的の低コスト化は達成できると言える。さらに、産総研独自技術である光触媒—電解ハイブリッドシステムについて水素製造コスト試算を詳しく行った。実験的に得られた結果および理論効率予測等を総合して考察すると、将来的に太陽エネルギー変換効率 3%を超える光触媒システムは実現できると言える。鉄レドックスを用い、太陽エネルギー変換効率が3%まで向上した場合の水素製造コストは 25 円/Nm³ 程度になることがわかった。理想のレドックス媒体を用いて電解電力がゼロに近くなれば水素製造コストは 14 円/Nm³ に近くなる。これらのコストは太陽光発電と水電解の単なる組み合わせよりも圧倒的に低コストの水素製造を実現でき、且つ NEDO 水素ロードマップの 2020 年目標である 30 円/Nm³ を下回ることができることを示している。このコスト試算の詳細および実用化への開発シナリオを査読付き論文で報告した。

6. 研究発表等

<p>雑誌論文 計 14 件</p>	<p>(掲載済み一査読有り) 計7件</p> <ul style="list-style-type: none"> ・R. Saito, Y. Miseki, K. Sayama, Highly efficient photoelectrochemical water splitting using a thin film photoanode of BiVO₄/SnO₂/WO₃ multi-composite in a carbonate electrolyte, CHEMICAL COMMUNICATIONS, 48, (2012), 3833-3835. (ISSN: 1359-7345) ・Y Miseki, H Kusama, K Sayama, Photocatalytic energy storage over surface modified WO₃ using V5+/V4+ redox mediator, Chemistry Letters, 41, (2012) 1489-1491. (ISSN: 0366-7022) ・R Saito, Y Miseki, K Sayama, Photoanode characteristics of multi-layer composite BiVO₄ thin film in a concentrated carbonate electrolyte solution for water splitting, Journal of Photochemistry and Photobiology A-Chemistry, 258, (2013) 51-60. (ISSN 1010 - 6030) ・Y Miseki, S Fujiyoshi, T Gunji, K Sayama, Photocatalytic water splitting under visible light utilizing I₃⁻/I⁻ and IO₃⁻/I⁻ redox mediators by Z-scheme system using surface treated PtOx/WO₃ as O₂ evolution photocatalyst, Catalysis Science & Technology, 3, (2013), 1750-1756 (ISSN: 2044-4753) ・S. Fujimoto, N. Wang, R. Saito, Y. Miseki, T. Gunji, K. Sayama, WO₃/BiVO₄ composite photoelectrode prepared by improved auto-combustion method for highly efficient water splitting, Int. J. Hydrogen Energy, 39, (2014) 2454-2461 (ISSN: 0360-3199) ・Y. Miseki, K. Sayama, High-efficiency water oxidation and energy storage utilizing various reversible redox mediators under visible light over surface-modified WO₃, RSC ADVANCES, 4, (2014), 8308-8316 (ISSN: 2046-2069) ・佐山 和弘、三石 雄悟、ソーラー水素製造の研究開発— 独創的な光触媒—電解ハイブリッドシステムの実現を目指して —, Synthesiology (シンセシオロジー), 7, (2014) 81. (ISSN: 1882-6229) <p>(掲載済み一査読無し) 計 7 件</p> <ul style="list-style-type: none"> ・佐山 和弘、三石 雄悟、半導体を用いた人工光合成反応, 月刊機能材料, 32, (2011), 21-27. ・斉藤 里英、三石 雄悟、佐山 和弘、酸化物半導体光電極および光触媒を用いた水分解水素製造, セラミックス誌, 47, (2012), 674-678. ・佐山 和弘、三石 雄悟、斉藤 里英, BiVO₄ 光電極による水分解水素製造, 会報光触媒, 38, (2012), 58-61. ・佐山 和弘, 人工光合成の可能性と今後の展望, 研究開発リーダー, 9, (2012), 4-7. ・佐山 和弘、斉藤 里英、三石 雄悟、人工光合成実現を目指した酸化物光電極および光触媒による水分解水素製造, 光技術コンタクト, 50, (2012), 4-10. ・三石 雄悟、佐山 和弘, 夢の技術“人工光合成”を実現するために, 月刊 OPTRONICS, 32, (2013), 127-131. (ISSN: 0286-9659) ・佐山 和弘, 光触媒および光電極による太陽エネルギーの化学エネルギーへの変換, 化学工業, 64, (2013) 29-35.(ISSN: 0451-2014) <p>(未掲載一査読有り) 計0件</p>
<p>会議発表 計 58 件</p>	<p>専門家向け 計 51 件</p> <ul style="list-style-type: none"> ・佐山和弘、「太陽光水素製造—理想の人工光合成を目指して」、2011 年春季第 58 回応用物理学関係連合講演会、招待講演、神奈川、2011.3.24、応用物理学会。(震災により学会は中止になったが、要旨集の出版をもって発表成立) ・人工光合成 ～太陽エネルギーによる水分解水素製造～, 佐山 和弘, 第7回 新エネルギー技術シンポジウム, 筑波大学、2012/03/14 ・レドックス媒体と光触媒を用いた太陽エネルギー変換, 佐山 和弘、三石 雄悟, 光触媒研究討論会, 神奈川、2011/07/21 ・太陽光と光触媒による水分解水素製造, 佐山 和弘, エネルギー技術シンポジウム

<p>2011, 東京, 2011/12/13</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 太陽光と光触媒による水分解水素製造, 佐山 和弘, IEA/HIA 水素実施協定活動報告会, 東京, 2012/02/22 ・ 光触媒を用いた Fe(III)水溶液からの酸素生成反応に与えるアニオンの影響, 三石雄悟、草間 仁、杉原 秀樹、佐山 和弘, 第30回光がかかわる触媒化学シンポジウム, 東京工業大学, 2011/06/10 ・ Z スキーム型反応機構による可視光水分解における光触媒の表面処理の検討, 藤吉聡、三石 雄悟、郡司 天博、佐山 和弘, 2011 年電気化学秋季大会, 朱鷺メッセ(新潟市)、2011/09/11 ・ 可視光応答性半導体を用いた光触媒および多孔質光電極による水分解水素製造の研究開発, 三石 雄悟、佐山 和弘, NEDO 燃料電池・水素技術開発 平成 22 年度成果報告シンポジウム, 東京国際交流館, 2011/10/04 ・ Z スキーム型可視光水分解における光触媒の表面処理の検討, 藤吉 聡、三石 雄悟、郡司 天博、佐山 和弘, 第 1 回 CSJ 化学フェスタ—2011 世界化学年記念大会—, 早稲田大学, 2011/11/15 ・ 太陽エネルギーの革新利用技術, 佐山 和弘, 長野県工業技術総合センター講演会, 長野県松本市, 2011/11/28 ・ Z スキーム型可視光水分解に用いる Cr,Ta ドープ SrTiO₃ 光触媒の調製条件検討, 藤吉 聡、三石 雄悟、郡司天博、佐山 和弘, 日本化学会第 92 春季年会(2012), 慶応大学, 2012/03/26 ・ 炭酸塩電解質下における BiVO₄ 薄膜光アノードによる水の高効率光電気化学分解, 齊藤 里英、三石 雄悟、wang nini、藤本 一正、佐山 和弘, 電気化学会第 79 回大会, アクトシティ浜松, 2012/03/29 ・ WO₃ 光触媒による V イオンを用いたエネルギー蓄積反応の高効率化, 三石 雄悟、佐山 和弘, 電気化学会第 79 回大会, 浜松, 2012/03/29 ・ 水分解水素製造のための FTO/WO₃/BiVO₄ 積層光電極の高性能化の研究, 藤本 一正、齊藤里英、三石 雄悟、郡司天博、佐山 和弘, 日本化学会第 92 春季年会(2012), 慶応大学, 2012/03/27 ・ Fe³⁺還元反応および酸素生成反応のための WO₃光触媒の高活性化, 間島 悠、三石 雄悟、郡司天博、佐山 和弘, 日本化学会第 92 春季年会(2012), 慶応大学, 2012/03/27 ・ H₂ Production Using Multi-Composite Semiconductor Photoelectrodes and Photocatalysis-Electrolysis Hybrid System, 佐山 和弘、三石 雄悟、齊藤 里英, International Workshop on Solar-Chemical Energy Storage (SolChES2012), 仙台, 2012/07/27 ・ BiVO₄ 光電極による水分解水素製造, 佐山 和弘、三石 雄悟、齊藤 里英, 第 12 回光触媒研究討論会, 東京, 2012/07/10 ・ Significant carbonate ion effect in electrolyte on photoelectrochemical water splitting using thin film photoanode of BiVO₄/WO₃ multi composite, 佐山 和弘、齊藤 里英、藤本 一正、三石 雄悟、郡司 天博, 19th International Conference on the Conversion and Storage of Solar Energy (IPS-19), 米国、カリフォルニア工科大学, 2012/07/31 ・ Highly Efficient Photoelectrochemical Water Splitting using a Thin Film Photoanode of BiVO₄ in Carbonate Electrolyte, 齊藤 里英、三石 雄悟、wang nini、藤本 一正、佐山 和弘, The 19th International Conference on Photochemical Conversion and Storage of Solar Energy, Pasadena, California, Caltech Campus, 2012/07/30 ・ Photocatalytic energy storage over surface modified WO₃ using V⁵⁺/V⁴⁺ redox mediator, 三石 雄悟、草間 仁、佐山 和弘, 19th International Conference on the Conversion and Storage of Solar Energy, California Institute of Technology (Caltech), 2012/08/01 ・ 光触媒および光電極を用いた水分解水素製造, 佐山 和弘、触媒学会・触媒道場、岐阜、2012/8/24 ・ クロム系複合酸化物光触媒による Fe³⁺還元反応, 間島 悠、三石 雄悟、郡司 天博、佐山 和弘, 第 110 回触媒討論会, 九州大学 伊都キャンパス, 2012/09/25 ・ V⁴⁺を電子供与剤とした光触媒による水分解水素生成, 藤吉 聡、三石 雄悟、郡司 天博、佐山 和弘, 第 110 回触媒討論会, 九州大学 伊都キャンパス, 2012/09/26
--

<ul style="list-style-type: none"> ・多層複合型 BiVO₄ 薄膜光電極による高効率水分解, 齊藤 里英、三石 雄悟、wang nini、藤本 一正、佐山 和弘, 第 110 回触媒討論会, 九州大学伊都キャンパス、2012/09/26 ・強酸性中における Fe(III)イオン存在下での WO₃ 光触媒による酸素生成反応, 三石 雄悟、佐山和弘, 第 110 回触媒討論会, 九州大学 伊都キャンパス、2012/09/26 ・水分解水素製造のための高性能 WO₃/BiVO₄ 積層光電極の研究, 藤本 一正、齊藤 里英、三石 雄悟、郡司 天博、佐山 和弘, 第 2 回 CSJ 化学フェスタ 2012, 東京工業大学 大岡山キャンパス、2012/10/15 ・クロム系複合酸化物光触媒による可視光照射下での Fe³⁺還元および酸素生成反応, 間島悠、三石 雄悟、郡司 天博、佐山 和弘, 第 2 回 CSJ 化学フェスタ 2012, 東京工業大学 大岡山キャンパス、2012/10/15 ・V⁵⁺/V⁴⁺レドックス剤を用いた光触媒による水の完全分解反応, 藤吉 聡、三石 雄悟、郡司天博、佐山 和弘, 第 2 回 CSJ 化学フェスタ 2012, 東京工業大学 大岡山キャンパス、2012/10/15 ・人工光合成実現の現状と展望、佐山 和弘, 有機エレクトロニクス材料研究会、新宿、2013/01/25 ・太陽光と光触媒による水分解水素製造, 佐山 和弘, IEA/HIA 水素実施協定活動報告会, 東京、2013/02/22 ・自動半導体探索装置を応用した光電極の安定性評価, 齊藤 里英、藤本 一正、wang nini、三石 雄悟、佐山 和弘, 日本化学会第 93 春季年会(2013), 立命館大学びわこ・くさつキャンパス、2013/03/22 ・表面処理を施した酸化物半導体光触媒による I³⁻を電子補足剤とした水の酸化反応, 三石雄悟・藤吉聡・佐山和弘、日本化学会第 93 春季年会(2013), 立命館大学びわこ・くさつキャンパス、2013/03/23 ・高性能 WO₃/BiVO₄ 積層光電極を用いた太陽光水分解, 藤本 一正、WANG Nini、齊藤 里英、三石 雄悟、郡司 天博、佐山 和弘, 日本化学会第 93 春季年会(2013), 立命館大学びわこ・くさつキャンパス、2013/03/22 ・異種元素ドーブ Fe₂O₃ 光触媒による可視光照射下における AgNO₃ 水溶液からの酸素生成反応, 間島悠・三石雄悟・郡司天博・佐山和弘, 日本化学会第 93 春季年会(2013), 立命館大学びわこ・くさつキャンパス、2013/03/22 ・H₂ Production Using Multi-Composite Semiconductor Photoelectrodes, 佐山 和弘, The Second International Conference on Photocatalysis and Solar Energy Conversion (PASEC-2), 京都、2013/07/11 ・WATER SPLITTING USING MULTI-COMPOSITE SEMICONDUCTOR PHOTOELECTRODES AND PHOTOCATALYSTS, 佐山 和弘, International Conference on Hydrogen Production (ICH2P-2014), 九州大学、2014/02/03 ・各種レドックス媒体を用いた光触媒反応および酸化物半導体光電極による水分解水素製造, 佐山 和弘、齊藤 里英、三石 雄悟, 光機能材料研究会第 44 回講演会, 東京、2013/05/16 ・レドックス媒体を用いた光触媒反応および酸化物系半導体光電極による水素製造, 佐山 和弘, 光が関わる触媒化学シンポジウム, 東京、2013/06/14 ・光触媒および光電極を用いたソーラー水素製造, 佐山 和弘, エネルギー総合工学研究所講演会, 東京、2013/11/29 ・WO₃/BiVO₄ 積層光電極を用いた水分解水素製造の高性能化, 藤本 一正、齊藤 里英、wang nini、福 康二郎、三石 雄悟、郡司 天博、佐山 和弘, CSJ 化学フェスタ 2013, 東京、2013/10/22 ・酸化鉄光触媒によるヨウ素酸水溶液からの酸素生成反応, 間島 悠、三石 雄悟、郡司 天博、佐山 和弘, CSJ 化学フェスタ 2013, 東京、2013/10/22 ・Highly Efficient WO₃/BiVO₄ Composite Photoanode for Solar Water Splitting, 藤本 一正、wang nini、齊藤 里英、福 康二郎、三石 雄悟、郡司 天博、佐山 和弘, 第 23 回日本 MRS 年次大会, 横浜、2013/12/09 ・Au 担持 TiO₂ 光触媒上での高効率な鉄イオンの還元および水の酸化反応, 寺島 直宏、三石 雄悟、郡司 天博(東京理科大学)、佐山 和弘, 第 23 回日本 MRS 年次大会, 横浜、2013/12/09 ・Photocatalytic water oxidation utilizing reversible redox ion over modified Fe₂O₃ photocatalyst, 間島 悠、三石 雄悟、郡司 天博、佐山 和弘, 第 23 回日本 MRS 年次大会, 横浜、2013/12/09 ・Efficient water oxidation reaction utilizing redox reagent over surface modified WO₃
--

	<p>photocatalyst by excellent undesirable-reaction inhibition, 三石 雄悟、藤吉 聡、郡司 天博、佐山 和弘, 第 23 回日本 MRS 年次大会, 横浜、2013/12/09</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 複合型 BiVO₄ 薄膜光電極を用いた高効率水分解のための支持電解質の影響, 齊藤 里英、三石 雄悟、佐山 和弘, 第 20 回シンポジウム光触媒反応の最近の展開, 東京大学生産技術研究所コンベンションホール、2013/12/13 ・ 高性能 WO₃/BiVO₄ 積層光電極による太陽光水分解, 藤本 一正、wang nini、齊藤 里英、福 康二郎、三石 雄悟、郡司 天博、佐山 和弘, 日本化学会第 94 春季年会, 名古屋、2014/3/27 ・ Au 担持 TiO₂ 光触媒上での高効率な鉄イオンの還元及び水の酸化反応, 寺島 直宏、三石 雄悟、郡司 天博、佐山 和弘, 日本化学会第 94 春季年会, 名古屋、2014/3/29 ・ Fe 系複合酸化物による可逆レドックス水溶液からの酸素生成反応, 間島 悠、三石 雄悟、郡司 天博、佐山 和弘, 日本化学会第 94 春季年会, 名古屋、2014/3/28 ・ 効率的水素製造を目指した WO₃/BiVO₄ 光電極の設計, 福 康二郎、藤本 一正、wang nini、齊藤 里英、三石 雄悟、佐山 和弘, 日本化学会第 94 春季年会, 名古屋、2014/3/29 ・ 自動半導体探索装置を応用した水分解用光電極 BiVO₄/WO₃ の安定性評価, 齊藤 里英、三石 雄悟、wang nini、佐山 和弘, 電気化学会第 81 回大会, 関西大学、2014/3/31 <p>一般向け 計 7 件</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 人工光合成技術の現状と展望, 佐山 和弘, むつ小川原工業地域立地企業連絡会講演会, 青森、2011/07/13 ・ 太陽光エネルギー変換の新展開, 佐山 和弘, 神奈川大学工学部講演会, 神奈川大学、2011/09/14 ・ 人工光合成技術, 佐山 和弘, インテレクチャルカフェ, つくば、2011/10/13 ・ 人工光合成技術の実現に向けて, 佐山 和弘, 京都産学公連携フォーラム 2011, 京都、2011/11/18 ・ 太陽エネルギーを蓄積する人工光合成の可能性, 佐山 和弘, フード・フォーラム・つくば、つくば市農研機構、2012/5/29 ・ 半導体光触媒および光電極を用いた人工光合成, 佐山 和弘, 筆頭・登壇, 「神奈川 R&D 推進協議会光エネルギー研究部会」公開フォーラム ～人工光合成研究の現状と将来～, 横浜、2012/09/28 ・ 人工光合成—植物のメカニズムで光エネルギーを蓄積, 佐山 和弘, Smart City Week 2012, 横浜、2012/11/2
<p>図 書</p> <p>計 5 件</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ レドックス媒体を利用した光触媒による水分解水素製造, 三石 雄悟、佐山 和弘, 可視光応答型半導体光触媒, 技術教育出版社, pp.251-258、2012/01、ISBN: 978-4-907837-23-5 ・ 人工光合成の実現に向けて, 佐山 和弘, フォトサイエンス 生物図録, 数研出版, pp.64-65、2012/01、ISBN: 978-4-410-28144-0 ・ Photoelectrochemical Hydrogen Production, Mixed Metal Oxide Photoelectrodes and Photocatalysts, 佐山 和弘, Springer, pp157-172、2011/12/08、978-1-4614-1379 ・ 佐山和弘(分担執筆)、「人工光合成 実用化に向けた最新技術」、情報機構、2013 年、総ページ数 278、ISBN: 978-4-86502-006-9 ・ 佐山和弘、トピックス執筆、『改訂版 フォトサイエンス生物図録』、数研出版、高等学校理科の科目「生物」の資料集、2014 年、総ページ数 280、ISBN: 978-4-410-28145-7
<p>産業財産権 出願・取得 状況</p> <p>計 10 件</p>	<p>(取得済み) 計 0 件</p> <p>(出願中) 計 10 件</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 可視光応答性の半導体光電極の安定化方法及び該方法を用いた水分解反応装置, 佐山和弘、齊藤里英、wangnini、三石雄悟, 国内特許出願、産総研、特願 2012-152505、2012/07/06 ・ 可視光応答性半導体光電極, 佐山和弘、齊藤里英、wangnini、三石雄悟, 国内特許出願、産総

	<p>研、特願 2012-152506、2012/07/06</p> <ul style="list-style-type: none"> ・可視光応答性半導体光電極の製造方法、並びに可視光応答性半導体光電極及び該電極を用いた水分解反応装置、佐山和弘、三石雄悟、国内特許出願、産総研、特願 2012-163422、2012/07/24 ・可視光応答性組成物とこれを用いた光電極、光触媒、光センサー、草間仁、佐山和弘、wangnini、三石雄悟、特願 2013-136924、2013/06/28 ・可視光応答性組成物とこれを用いた光電極、光触媒、光センサー、草間仁、佐山和弘、wangnini、三石雄悟、特願 2013-136925、2013/06/28 ・可視光応答性組成物とこれを用いた光電極、光触媒、光センサー、草間仁、佐山和弘、wangnini、三石雄悟、特願 2013-136926、2013/06/28 ・可視光応答性組成物とこれを用いた光電極、光触媒、光センサー、草間仁、佐山和弘、wangnini、三石雄悟、特願 2013-136927、2013/06/28 ・可視光応答性組成物とこれを用いた光電極、光触媒、光センサー、草間仁、佐山和弘、wangnini、三石雄悟、特願 2013-256282、2013/12/11 ・可視光応答性組成物とこれを用いた光電極、光触媒、光センサー、草間仁、佐山和弘、wangnini、三石雄悟、特願 2013-256283、2013/12/11 ・可視光応答性組成物とこれを用いた光電極、光触媒、光センサー、草間仁、佐山和弘、wangnini、三石雄悟、特願 2013-256284、2013/12/11
<p>Webページ (URL)</p>	<p>研究者・研究グループの Web ページ</p> <p>http://unit.aist.go.jp/energy/groups/slecg.htm</p>
<p>国民との科学・技術対話の実施状況</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・高校生向けの生物教科書の補助教材(数研出版)の中で人工光合成・太陽光水素製造のトピックス解説を掲載した。全国の多くの高校生が人工光合成の概要や原理、重要性を学習する機会を得ることになる。 ・開成中学高校(東京)の化学部の依頼で人工光合成・太陽光水素製造の出前出張講座を開催した。2011/11/14 ・太陽の光で水から水素を ～エネルギー問題解決を目指す人工光合成～、2013/03/08、つくば市(カフェベルガ)、産総研サイエンスカフェ、一般向け、30名。エネルギー問題解決を目指す人工光合成の話題提供と議論、実験実演を行った。今後どのような太陽エネルギー変換や人工光合成技術が重要なのか一般市民の人と話し合いを行った。また、前述の会議発表記載の一般向け講演会を3件行った。さらに後述の新聞や一般雑誌において積極的に研究意義や成果を広く発信した。 ・「人工光合成 太陽光水素製造」、第8回再生可能エネルギー世界展示会(RE2013)、2013/07/24-2013/07/26、東京ビッグサイト、展示会への来場人数は3日間で45,000名。本展示会は再生可能エネルギーに興味を持つ一般の人に対しての最適なアピール機会である。太陽光水素製造に関するパネルや光触媒-電解ハイブリッドシステムの模型、光電極の水分解のビデオなどを展示した。 ・FIRST エキスポ(2014/3/1)において、ポスターにより成果を発表した。 ・後述の新聞や一般雑誌において積極的に研究意義や成果を広く発信した。
<p>新聞・一般雑誌等掲載計12件</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・化学工業日報 朝刊 10面 「太陽光用い水素製造」(2012.3.12) ・日本経済新聞:web 電子版 http://release.nikkei.co.jp/print.cfm?relID=305196 「酸化物光電極を用いた水分解による水素製造で高性能な積層光電極を開発」(2012.3.12) ・日刊工業新聞 朝刊 17面 「光電極で水素生成」(2012.3.14) ・マイナビニュース :web 電子版 (2012.3.14) http://news.mynavi.jp/news/2012/03/14/033/ 「産総研、酸化物半導体光電極による人工光合成の効率を従来の約2倍にアップ」 ・日刊工業新聞社 2012/6/6、14面、「人工光合成 中 実用化の可能性と課題」 ・日刊工業新聞社 2012/9/26、22面、「水素製造 低コスト化に道、酸化物半導体光電極」

様式21

	<ul style="list-style-type: none"> ・北海道新聞 2012/10/6、7面「人工光合成」進む研究 変換効率 植物に匹敵 ・ ユナイテッド航空機内誌 Leader's Review, 人工光合成, 68, pp.20-23、2012/11 ・ Newton, 人工光合成 実現にいどむ, pp.96-101、ニュートンプレス、2012/06 ・Newton Highlight(韓国語版), 人工光合成 実現にいどむ, 福住俊一、佐山 和弘、姫田 雄一郎, ニュートン出版、2013/06/10 ・ニュートン別冊『社会を一変させる新素材 100 注目のスーパーマテリアル』, 人工光合成 実現にいどむ, 福住俊一、佐山 和弘、姫田 雄一郎, ニュートンプレス、2014/02/15 ・日本経済新聞社 日経ヴェリタス、2013/11/3、 15 面、「人工光合成 ～プラスチック・脱石油は夢じゃない～」
<p>その他</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・プレス発表: 酸化物光電極の水分解水素製造の世界最高効率を達成, 佐山 和弘、斉藤 里英、2012/03/12

7. その他特記事項