

実際の太陽光下で世界最高効率の水素製造に成功

1. 発表者：

杉山 正和（東京大学大学院工学系研究科電気系工学専攻 准教授）

藤井 克司（東京大学総括寄附講座「太陽光を機軸とした持続可能グローバルエネルギーシステム」^{※注1} 特任教授）

西岡 賢祐（宮崎大学 工学教育研究部 電子物理工学科 准教授）

2. 発表のポイント：

◆高効率太陽電池で得た電力で水を分解し、太陽光エネルギーの 24.4%を水素に蓄えることに成功した。これは世界最高効率となる。

◆従来の光触媒を用いた太陽光からの水素生成では、エネルギー変換効率は 10%以下に留まっている。本研究により、限られた面積で効率よく太陽光から水素を得ることが可能になる。

◆現在は化石燃料から製造している燃料電池自動車の水素を、太陽光で生成することが現実的になる。また、日射条件の良い国で高効率に水素を製造して日本に運搬することで日本の化石燃料を太陽光水素で代替することが可能になる。

3. 発表概要：

東京大学の杉山正和准教授、藤井克司特任教授、宮崎大学の西岡賢祐准教授らの研究グループは、高効率太陽電池の電力で水を電気分解するシステムを構築し、太陽光エネルギーの 24.4%を水素に蓄えることに成功した。水素は自動車などのクリーンな燃料として今後の需要増大が見込まれるが、現在は化石燃料から製造されている。今後、日本の再生可能エネルギー依存度を高めるためには、太陽光から効率よく低コストで水素を生成する技術が求められている。これまでの光触媒を用いた太陽光からの水素製造では、太陽光から水素へのエネルギー変換効率は 10%未満であった。杉山准教授らは、レーザーや LED などに用いられる高品質な半導体を、レンズで集めた強い光のもとに置いて発電する集光型太陽電池^{※注2}（発電効率 31%）を用い、水の電気分解装置との電氣的接続法を改良することでエネルギー損失を低減、水素へのエネルギー変換効率 24%以上を実際の太陽光のもとで実現した。このシステムに用いられる太陽電池と電気分解装置はすでに市販されており、設置条件に合わせたシステム設計により太陽光由来の水素を高効率に製造することが現在の技術で実現可能である。集光型太陽電池は通常の太陽電池に比べて高価だが、海外の高照度地域では発電効率が非常に高く発電コストを低減でき、米国エネルギー省が目標とする水素コスト 1 kgあたり 4 ドル以下へのコスト低減が見込まれる。

4. 発表内容：

①研究の背景・先行研究における問題点

水素は自動車などのクリーンな燃料として今後の需要増大が見込まれるが、現在は化石燃料から製造されている。今後、日本の再生可能エネルギー依存度を高めるためには、太陽光から

効率よく低コストで水素を生成する技術が求められている。これまで研究されてきた光触媒を用いた太陽光水素の製造では、太陽光から水素へのエネルギー変換効率は10%未満であった。(図1)。10%を超える変換効率は、太陽電池と同様な半導体素子と水の電気分解のための電極を組み合わせた光電気化学装置によってのみ得られており、イスラエルのグループが2000年に達成した18.3%^{※注3}がこれまでの最高記録であった。先月、オーストラリアのグループが、集光型太陽電池^{※注2}と水の電気分解装置の組み合わせで太陽光から水素へのエネルギー変換効率22.4%を実現し^{※注4}、注目を集めている。しかし、これらの実験結果は実験室内の模擬太陽光源で得られたものであり、より実用に近い、実際の太陽光下での高効率水素発生の実証が望まれていた。

②研究内容

東京大学の杉山正和准教授、藤井克司特任教授、宮崎大学の西岡賢祐准教授らの研究グループは、宮崎大学の屋外試験場に設置した新型の高効率集光型太陽電池^{※注2}に高分子膜を用いた水の電気分解装置を接続し(図3)、実際の太陽光下で安定的に水素を製造することに成功した。太陽光から水素へのエネルギー変換効率は24.4%であり、世界最高記録を樹立した。

集光型太陽電池は、レンズなど光学系の設計や、太陽の方向にレンズを正確に向ける追尾に高度な技術を必要とし、実際の屋外環境での発電効率を向上させることは容易ではない。今回の実験では、集光型太陽電池の研究開発拠点となっている宮崎大学において、光学系の設計を改良した住友電気工業(株)製の集光型太陽電池(図4)を、THK(株)製の高精度太陽追尾架台^{※注5}に搭載することにより、宮崎の日照条件で発電効率31%を達成した。

太陽電池の発電効率は接続する機器の電気抵抗に依存する。今回は、太陽電池と水の電気分解装置の電流電圧特性を考慮して直列接続数を最適化することで、31%の高効率で発電した電力をほぼ損失ゼロで電気分解装置に導入できた。今後、集光型太陽電池の発電効率は35%まで向上すると見込まれ、水の電気分解における電力から水素へのエネルギー伝達効率80%を考慮すると、太陽光から水素へのエネルギー変換効率は28%に達すると予想される。

③今後の課題と展開と社会へのインパクト

今回実証に用いた太陽電池と電気分解装置はすでに市販されており、設置条件に合わせた設計により太陽光から24%の高効率で水素を製造することは現在の技術で実現可能である。一方、太陽光由来の水素がエネルギー源として大規模導入されるためには、製造コストの低減が必須である。現在、集光型太陽電池は通常の太陽電池に比べて高価だが、直射日光の強い海外の高照度地域では、発電効率が高い分発電コストを低減できる。海外での大規模な水素製造に必要なギガワット級の導入が進めば、集光型太陽電池の価格はシリコン太陽電池並みに下がると予想されている。技術革新と大量生産により低コスト化した水の電気分解装置と組み合わせ、米国エネルギー省が目標とする水素コスト1kgあたり4ドル以下へのコスト低減が見込まれる。

今後は、集光型太陽電池の一層の効率向上と低コスト化、日照条件に合わせて太陽電池と水の電気分解装置の接続を逐次最適化する回路の開発が必要である。水の電気分解装置については、効率向上、貴金属触媒の代替による低コスト化、さらに入力電流の変動に対応した耐久性向上が求められる。これらは、日本のものづくり技術、摺り合わせ技術が強みを発揮する分野であり、今回実証した太陽光からの水素製造システムは、日本の産業競争力強化に貢献できる。

将来は、集光型太陽電池と水の電気分解による安価な水素を海外で大規模に製造し、大陸間の水素キャリア技術^{※注6}により日本に輸送し各種エネルギー源として用いることで、日本への再生可能エネルギーの大規模導入が期待される（図5）。

5. 発表雑誌：

雑誌名：Applied Physics Express

論文タイトル：

A 24.4% solar to hydrogen energy conversion efficiency by combining concentrator photovoltaic modules and electrochemical cells

著者：

Akihiro Nakamura¹, Yasuyuki Ota², Kayo Koike¹, Yoshihide Hidaka², Kensuke Nishioka², Masakazu Sugiyama^{1*}, Katsushi Fujii^{3*}

¹Department of Electrical Engineering and Information Systems, School of Engineering, The University of Tokyo, Bunkyo, Tokyo, Japan

²Department of Applied Physics, Faculty of Engineering, University of Miyazaki, Miyazaki, Japan

³Global Solar plus Initiative, The University of Tokyo, Komaba, Tokyo, Japan

DOI: Appl. Phys. Express Vol.8 No.10 論文 ID: 107101

URL: <http://stacks.iop.org/APEX/8/107101>

6. 注意事項：

7. 問い合わせ先：

東京大学大学院工学系研究科電気系工学専攻
准教授 杉山 正和

東京大学総括寄附講座「太陽光を機軸とした持続可能グローバルエネルギーシステム」
特任教授 藤井 克司

宮崎大学 工学教育研究部 電子物理工学科
准教授 西岡 賢祐

8. 用語解説：

※注1

東京大学総括寄附講座「太陽光を機軸とした持続可能グローバルエネルギーシステム」
共同代表 中野 義昭（工学系研究科教授） 茂木 源人（工学系研究科准教授）

本寄附講座では、将来ギガワット／テラワット級の太陽光発電所を低緯度砂漠地帯に建設し、そのエネルギーを大口消費地まで輸送し利用するにあたって必要となる、要素技術研究、システム研究、社会制度研究、実証実験等を産業界と連携して行い、持続可能なグローバルエネルギーシステムへの移行プロセスの検討を行っている。（参照：<http://www.gsi.u-tokyo.ac.jp/>）

※注2 集光型太陽電池（図2）

レーザーやLEDなどに用いられる高品質な半導体でできた小型の半導体素子に、レンズで集めた強い太陽光を当てて発電する太陽電池。半導体素子には、光の吸収波長帯が異なる3つの材料が用いられており、太陽光から高効率に発電することができる。

※注3 参照文献：S. Licht, B. Wang, S. Mukerji et al. “Efficient Solar Water Splitting, Exemplified by RuO₂-Catalyzed AlGaAs/Si Photoelectrolysis”. J Phys Chem B vol. 104, pp. 8920–8924 (2000) DOI: 10.1021/jp002083b

※注4 引用文献：S. A. Bonke, M. Wiechen, D. R. MacFarlanea and L. Spiccia, Energy Environ. Sci., vol. 8, pp. 2791-2796 (2015) DOI: 10.1039/C5EE02214B

※注5 太陽追尾架台：プログラムされたモーターにより、太陽に合わせて向きを制御する架台（図3）

※注6 水素キャリア技術：水素の体積を大幅に縮小して水素の長距離輸送を可能にする技術。現在国家プロジェクトとして研究開発が続けられている。代表例として、水素の液化、炭化水素化合物（トルエン等）への水素添加と脱水素反応を組み合わせるケミカルハイドライド技術、水素を窒素と反応させアンモニアとして運搬する技術が挙げられる。

9. 添付資料：

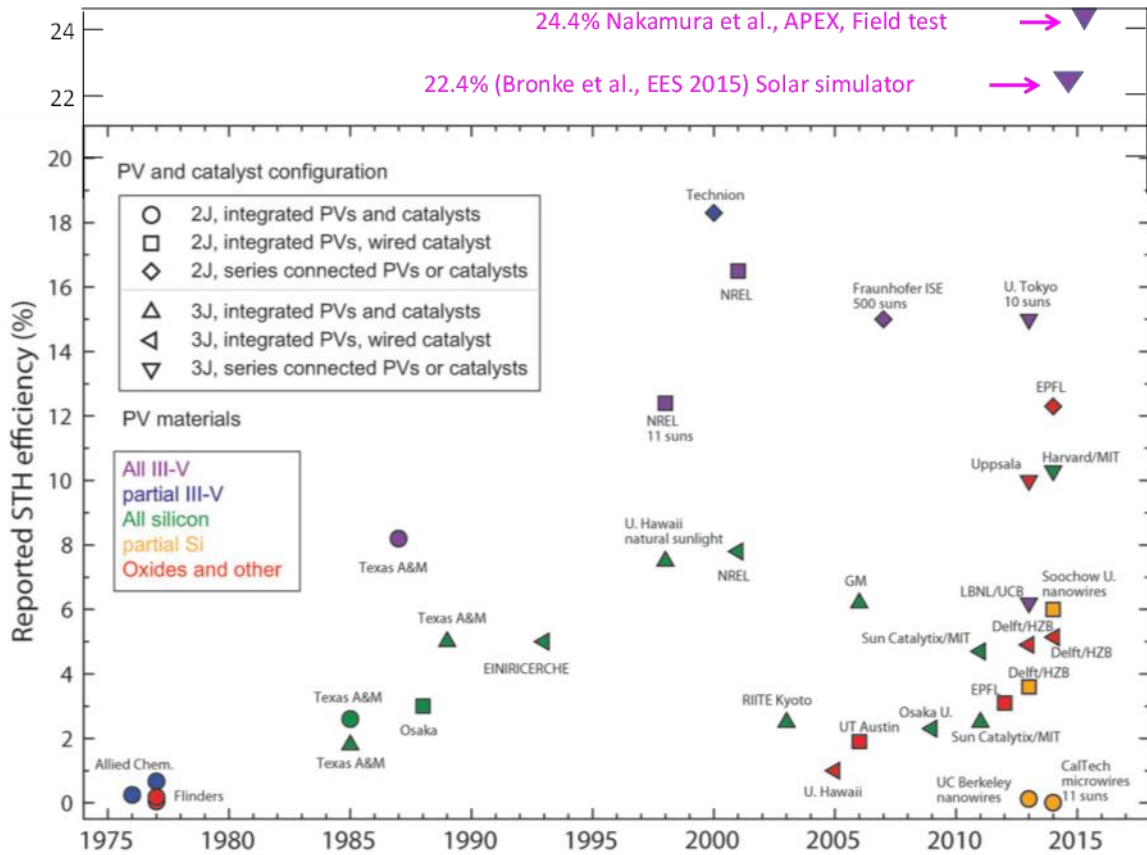


図1 太陽光から水素へのエネルギー変換効率の推移

(J. W. Ager III et al. Energy Environ. Sci., DOI 10.1039/C5EE00457H (2015)掲載の図に追記)

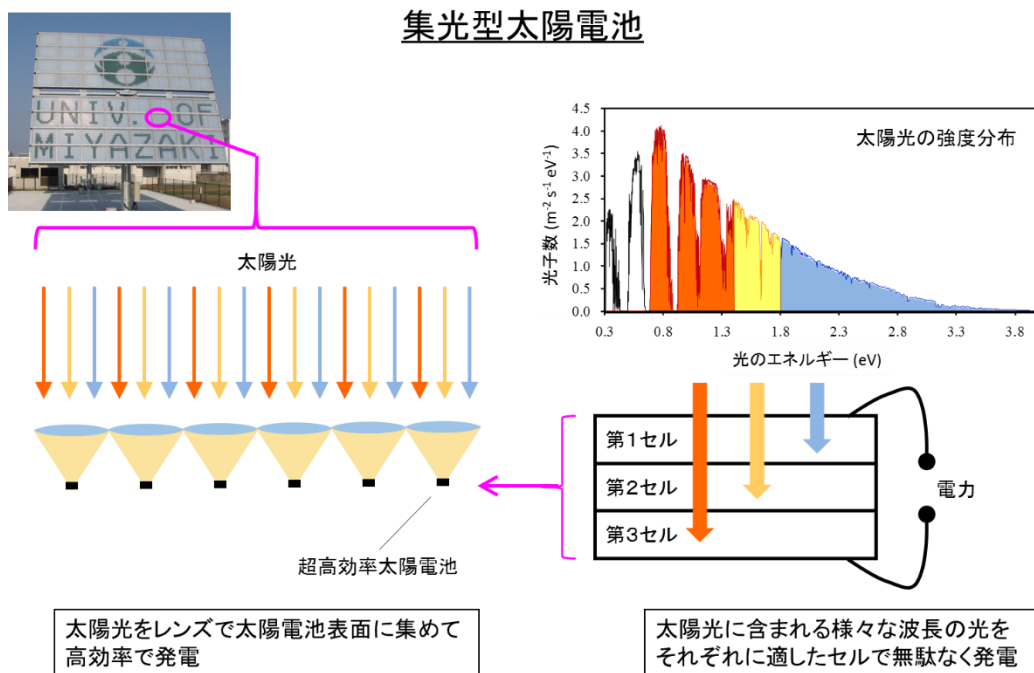


図2(a) 集光型太陽電池の原理



図 2 (b) 宮崎大学に設置された集光型太陽電池



図 3 宮崎大学での水素発生屋外試験に用いた実験装置
太陽光追尾架台に集光型太陽電池を載せ、水電気分解装置と接続した。



図4 実験に用いた集光型太陽電池（住友電気工業株式会社製）

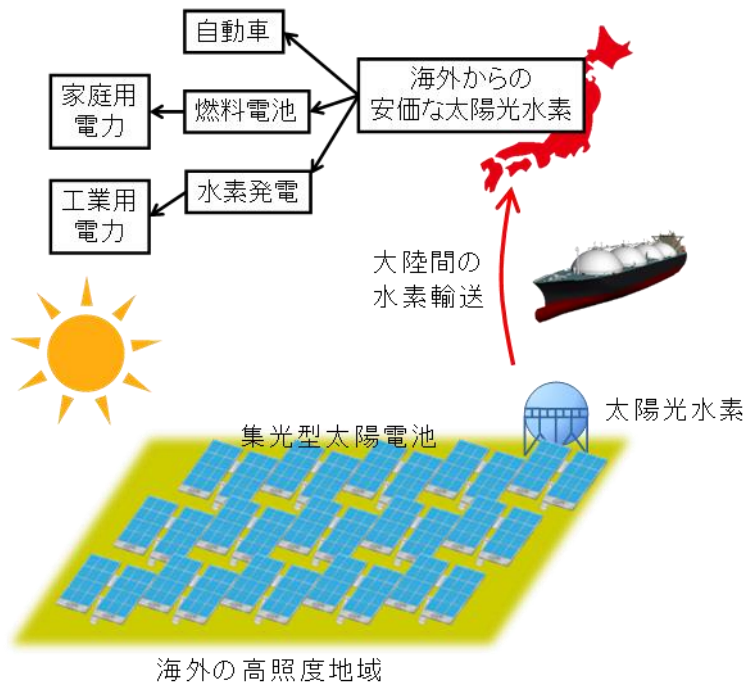


図5 海外で製造した安価な太陽光水素を日本に輸送して再生可能エネルギーとして利用するモデル