

NEDO 海外レポート

2015.11.20

1115

1	【蓄電池・エネルギーシステム分野】 スタンフォード大学開発のアルミニウムイオン蓄電池が従来蓄電池の安全な代替に(米国)	2015/4/6 公表	1
2	【材料・ナノテクノロジー分野】 3Dプリントで作成されたエアロゲルがエネルギー貯蔵を高効率化(米国)	2015/4/22 公表	5
3	【材料・ナノテクノロジー分野】 オークリッジ国立研究所が初の大面積グラフェン複合材料を作製(米国)	2015/5/14 公表	8
4	【新エネルギー(太陽光発電)】 ブラックシリコン太陽電池効率 22.1%を記録(フィンランド)	2014/5/18 公表	10
5	【材料・ナノテクノロジー分野】 世界最薄の電球・グラフェンが光輝く(米国)	2015/6/15 公表	13
6	【新エネルギー分野(燃料電池・水素)】 UCLA が燃料電池向けの低コスト・高効率ナノ構造を開発(米国)	2015/6/12 公表	16
7	【新エネルギー分野(燃料電池・水素)】 スタンフォード大学開発の単一触媒水電解装置がクリーンに燃焼する水素を休み無く生産(米国)	2015/6/23 公表	19
8	【材料・ナノテクノロジー分野】 液体層でより高速により大面積のグラフェンを製造(英国)	2015/7/15 公表	23
9	【新エネルギー分野(太陽光発電)】 微細な熊手が低コスト太陽電池の効率を倍増(米国)	2015/8/12 公表	26
10	【環境・資源分野】 人工葉で太陽光を捕獲して効率的に燃料を製造(米国)	2015/8/27 公表	30
11	【蓄電池・エネルギーシステム分野】 グリーンなエネルギーをグリーンに貯蔵(米国)	2015/9/24 公表	35

※ 各記事への移動は Adobe Acrobat の「しおり」機能をご利用ください

URL : <http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/report/>

《本誌の一層の充実のため、ご意見、ご要望など下記宛お寄せください。》
海外レポート問い合わせ E-mail : q-nkr@ml.nedo.go.jp
NEDO は、国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構の略称です。

【蓄電池・エネルギーシステム分野】

仮訳

スタンフォード大学開発のアルミニウムイオン蓄電池が 従来蓄電池の安全な代替に(米国)

新たなアルミニウムイオン蓄電池が、今日普及している
リチウムイオン蓄電池やアルカリ乾電池に取って代わる可能性

By Mark Shwartz

2015年4月6日

[ここ](#)をクリックすると、動画を閲覧できます。

スタンフォード大学(Stanford University)の科学者が、急速充電が可能で長寿命かつ安価な高性能アルミニウムイオン蓄電池の開発に初めて成功した。研究者らによれば、この新技術は今日幅広く使用されている数多くの市販蓄電池に対する安全な代替品を提供するものである。



同大学の化学教授 [Hongjie Dai 氏](#) は次のように話した。「私たちが開発したアルミニウムイオン蓄電池は、環境に悪影響を与えるアルカリ乾電池や、発火の恐れがあるリチウムイオン蓄電池等の既存の蓄電デバイスに取って代わる可能性があります。この新しい蓄電池は、ドリルで穴を開けても発火しません。」

スタンフォード大学のポストドク研究員 Yingpen Wu 氏は同僚の研究者らと共に、安価、長寿命で安全なアルミニウムイオン蓄電池を世界で初めて開発した。
(Mark Shwartz / Precourt Institute for Energy)

Die 氏が率いる研究チームは、学術誌 [Nature](#) オンライン版 4 月 6 日号に掲載予定の論文「An ultrafast rechargeable aluminum-ion battery (超高速充電アルミニウムイオン蓄電池)」で、この斬新なアルミニウムイオン蓄電池について説明する。

アルミニウムは低コストかつ難燃性で充電容量が大きいことから、蓄電池材料として長らく注目されてきた。数十年もの間、研究者らは商用化が可能なアルミニウムイオン蓄電池の開発に取り組んできたが、いずれも失敗に終わっている。開発の鍵となる重要課題は、充放電を繰り返した後も十分な電圧を生み出すことができる材料の発見であった。

グラファイトカソード

アルミニウムイオン蓄電池は、二つの電極から構成される。負に帯電したアルミニウム製のアノード（負極）と、正に帯電したカソード（正極）である。

「カソードには様々な種類の材料が試されてきました。私たちは、それを簡単に解決する一つの方法が、炭素の一種であるグラファイトを使用することだと偶然に気付いたのです。今回の研究では、非常に優れた性能をもたらす数種類のグラファイト材料を特定しました。」と Dai 氏は語った。

同研究チームは実験用蓄電池として、フレキシブルな高分子被覆ポーチの中に、アルミニウムアノードとグラファイトカソードをイオン液体電解質と共に配置した。

「この電解質は、基本的に室温で液体の塩ですから、非常に安全です。」と、*Nature* 掲載論文の共同筆頭著者でスタンフォード大学院生の Ming Gong 氏は説明した。

アルミニウムイオン蓄電池は、何百万台ものノートパソコンや携帯電話で現在使用されている従来型のリチウムイオン蓄電池よりも安全であると、Dai 氏が付け加えた。

「リチウムイオン蓄電池は火災を引き起こす恐れがあります。」と同氏は言う。

その一例として、旅客機によるリチウムイオン蓄電池の大量輸送を禁止したユナイテッド航空とデルタ航空の最近の決定を指摘した。

そしてこのように述べた。「私たちが作成した動画は、このアルミニウムイオン蓄電池にドリルで穴を開けても発火せず、その後もしばらくの間作動し続ける様子をとらえています。これに対してリチウムイオン蓄電池は、大気中や自動車の中、あるいはポケットの中などで、時に予想外の破裂を起こします。安全性に加えて、私たちはアルミニウムイオン蓄電池の性能面でも飛躍的な進歩を実現しました。」

その一つが超高速充電である。スマートフォンを持っている人なら、リチウムイオン蓄電池の充電には何時間もかかることを知っているだろう。しかし同チームはこのアルミニウム（イオン蓄電池）の試作品を用いて、たったの1分間という「前例のない充電時間」を報告している。

もう一つの重要な要素が耐久性だ。他の研究室が開発したアルミニウムイオン蓄電池は多くの場合、わずか100回の充放電サイクルで寿命が尽きた。しかし同大学の蓄電池

は、その蓄電容量を一切損なうことなく 7,500 回超の充放電サイクルに耐えた。「数千サイクルの充放電に耐え得る安定性を備えた超高速（充電）アルミニウムイオン蓄電池が作製されたのは、初めてのこと。」と同論文の著者らは述べている。

これに比して、代表的なリチウムイオン蓄電池の寿命は約 1,000 サイクルである。

「この蓄電池のもう一つの特長は、柔軟性です。曲げたり折りたたんだりできるので、フレキシブルな電子デバイスに使用できる可能性があります。また、アルミニウムはリチウムよりも安価です。」と Gong 氏は話した。

様々な用途

アルミニウムイオン蓄電池は、小型電子デバイスだけでなく、電力グリッドにおける再生可能エネルギーの貯蔵にも利用できると Dai 氏は言う。

「電力グリッドに必要なのは、サイクル寿命が長く、エネルギーを迅速に貯蔵・放出できる蓄電池です。私たちがまだ発表していない最新のデータによると、アルミニウムイオン蓄電池は数万回の充電が可能です。グリッド電力貯蔵のために巨大なリチウムイオン蓄電池を設置するなんて、想像できないでしょう。」

同氏によれば、アルミニウムイオン技術は使い捨てのアルカリ乾電池に代わる環境に優しい選択肢も提供する。

「数百万人の消費者が、1.5 ボルトの単 3、単 4 乾電池を使用しています。私たちが開発した蓄電池は約 2 ボルトの電気を生み出しますが、これは今までにアルミニウム（イオン蓄電池）で達成された最大の電圧です。」

ただし、これをリチウムイオン蓄電池と同等の電圧まで高めるためには、さらなる改良が必要だと付け加えた。

「この蓄電池の電圧は代表的なリチウムイオン蓄電池の半分ほどですが、カソード材の改良によって、最終的には電圧とエネルギー密度を増大することができます。その他の点では、この蓄電池は電池に望まれる条件をすべて備えています。安価な電極、安全性、高速充電、柔軟性、そして長いサイクル寿命です。私たちは、これを新型蓄電池の初期段階と考えています。本当にワクワクしますね。」と同氏は話した。

スタンフォード大学に所属する同論文の共同筆頭著者は、Gong 氏の他、台湾工業技術研究院(Taiwan Industrial Technology Research Institute: ITRI)からの客員研究員 Meng

Chang Lin 氏、湖南大学(Hunan University)からの客員研究員 Bingan Lu 氏、およびポ
ストドク研究員の Yingpeng Wu 氏である。この他の著者は、スタンフォード大学の Di-
Yan Wang 氏、Mingyun Guan 氏、Michael Angell 氏、Changxin Chen 氏、Jiang Yang
氏と、国立台湾師範大学(National Taiwan Normal University)の Bing-Joe Hwang 氏で
ある。

本研究の主たる支援は、米国エネルギー省([Department of Energy](#))、台湾の [ITRI](#)、ス
タンフォード大学 [Global Climate and Energy Project](#)、同大学 [Precourt Institute for
Energy](#) および台湾教育部([Taiwan Ministry of Education](#))から提供。

スタンフォード大学に所属する化学および他分野の専門家について
より詳しく知りたい方は、[Stanford Experts ウェブサイト](#)をご覧ください。

連絡先

Hongjie Dai, Department of Chemistry: (650) 723-4518, hdai@stanford.edu

Mark Schwartz, Precourt Institute for Energy: (650) 723-9296, mshwartz@stanford.edu

Dan Stober, Stanford News Service: (650) 721-6965, dstober@stanford.edu

関連情報

[動画：スタンフォード大学開発のアルミニウムイオン蓄電池が従来蓄電池の安全な代替に](#)

翻訳：NEDO（担当 技術戦略研究センター 多胡 直子）

出典：本資料は、スタンフォード大学(Stanford University)の以下の記事を翻訳したも
のである。

“Aluminum battery from Stanford offers safe alternative to conventional batteries”

<http://news.stanford.edu/pr/2015/pr-aluminum-ion-battery-033115.html>

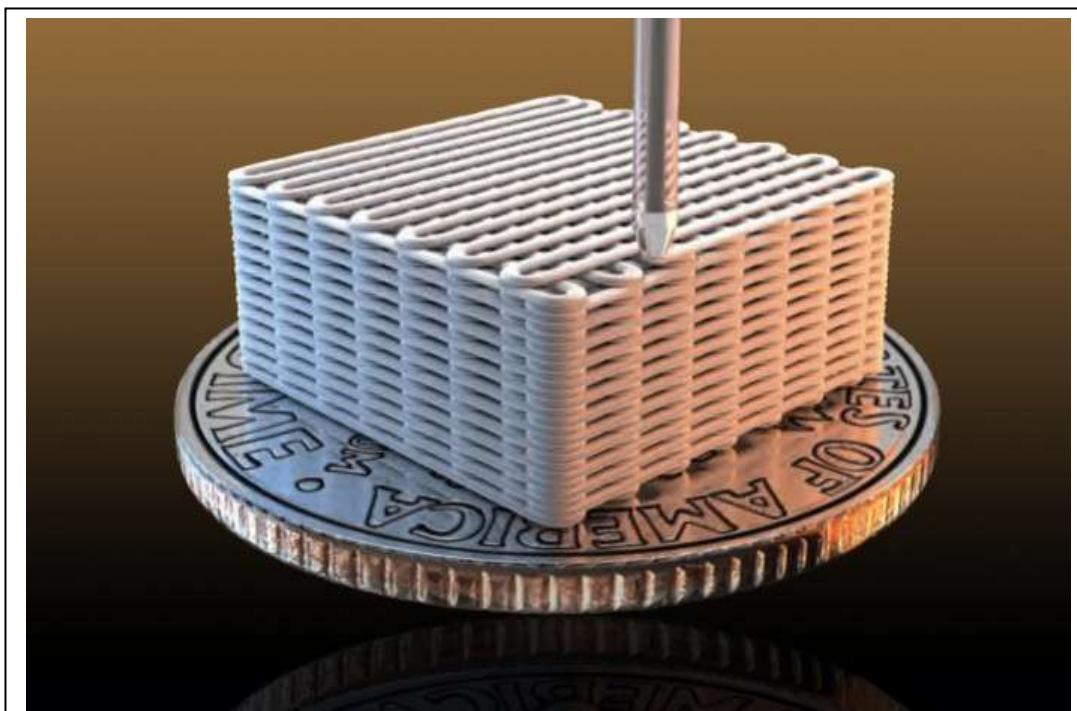
(Used with Permission of Stanford University)

【材料・ナノテクノロジー分野】

仮訳

3D プリントで作成されたエアロゲルがエネルギー貯蔵を高効率化
(米国)

2015年4月22日

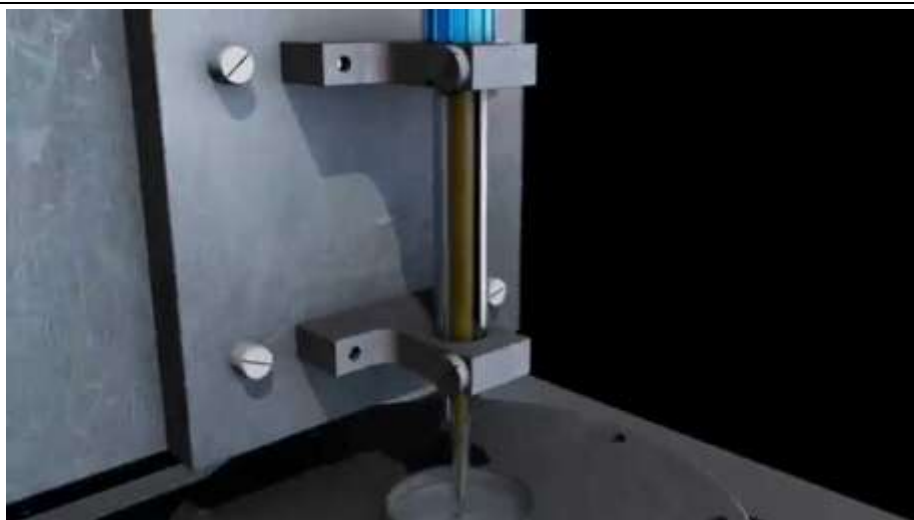


ローレンスリバモア国立研究所の研究チームが、直描法として知られる 3D プリンティング技法により設計した構造のグラフェンエアロゲル微小格子を作成。

画像 : Ryan Chen (LLNL)

新しいタイプのグラフェンエアロゲルが、より高性能なエネルギー貯蔵、センサ、ナノエレクトロニクス、触媒、セパレータを実現する。

ローレンスリバモア国立研究所の研究チームが、直描法として知られる 3D プリンティング技法により設計した構造のグラフェンエアロゲル微小格子を作成した。本研究は、4月22日版の [Nature Communications](#) 誌に掲載される。



[How we 3D-printed aerogel: YouTube 動画へのリンク](#)

3D プリントのグラフェンエアロゲルは広い表面積と良好な導電性を有し、軽量で、機械的剛性を備え、高い圧縮性能（最大 90%の圧縮歪み率）を示す。加えて、3D プリントのグラフェンエアロゲル微小格子はバルクグラフェン材料を一桁上回る高性能で、格段に優れた物質輸送を示す。

エアロゲルはゲル由来の合成多孔性の超軽量材料で、ゲル内部の液体成分が気体で置換されたもの。そのため”Liquid smoke”と呼ばれることもある。

バルクグラフェンのエアロゲルを作成する従来の試みでは、大部分が不規則な多孔構造になり、セパレータ、レドックスフロー蓄電池、圧力センサといった特定の用途のための、物質輸送やその他の機械的特性を調整する能力が阻害されていた。

「制御可能でスケラブルな構築方法による特定の用途に合わせたマクロ構造のグラフェンエアロゲル製造は、私達取り組み得た、大きな課題であります。」工学者で論文の共著者の Marcus Worsely は言う。「3D プリントはエアロゲルの多孔構造を機能的に設計することを可能にして、物質輸送の制御（エアロゲルは微細でねじれた多孔構造のため物質輸送には通常高い圧力勾配が必要）や剛性といった物理的特性の最適化を図れます。今回の開発は革新的で創造的な用途へのエアロゲル利用のための設計空間を広げてくれるはずです。」

このプロセスではまず、均質で粘性の高いインクを作成するため、酸化グラフェン(GO)懸濁液とシリカ充填剤を組み合わせ、GO インクを用意する。この GO インクを次にシリンジバレルに装填し、マイクロノズルを通して絞り出すことで 3D パターンを造形する。

「3D プリンティング技法をエアロゲルに適用することが、用途に合った機械的特性や圧縮性能などの非常に複雑なエアロゲル構造の製作を可能にします。これは今まで成し得ていません。」論文の別の共著者、工学者の Cheng Zhu はそう述べる。

その他のリバモアの研究者には、Yong-Jin Han、Eric Duoss、Alexandra Golobic、Joshua Kuntz、Christopher Spadaccini が含まれる。本研究は、研究所主導研究開発プログラムにより資金提供を受けた。

翻訳：NEDO（担当 技術戦略研究センター 渡邊 史子）

出典：本資料は米国・ローレンスリバモア国立研究所 (Lawrence Livermore National Laboratory)の以下の記事を翻訳したものである。

“3D-printed aerogels improve energy storage”

<https://www.llnl.gov/news/3d-printed-aerogels-improve-energy-storage>

【材料・ナノテクノロジー分野】

仮訳

オークリッジ国立研究所が初の大面積グラフェン複合材料を作製 (米国)

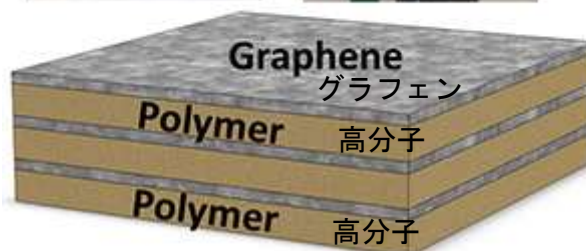
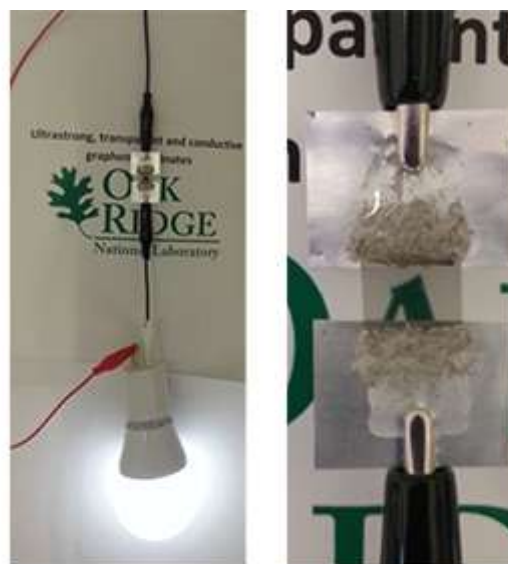
テネシー州オークリッジ、2015年5月14日－米国エネルギー省(Department of Energy: DOE)のオークリッジ国立研究所(Oak Ridge National Laboratory: ORNL)の研究者らが実証した方法によって、グラフェンの商業規模利用を妨げている障害の一つが克服されるかもしれない。

炭素繊維よりも強く固い材料であるグラフェンは非常に大きな商業的可能性を有するが、大面積での使用が難しいため、研究者は同材料の小片のみを利用している。

今回、ORNLのIvan Vlassiouk氏は化学蒸着法(chemical vapor deposition: CVD)を用いて、この六角形に配列された1原子厚の炭素原子(グラフェン)の2インチ四方のシートを含む高分子複合材料を作製した。

Applied Materials & Interfaces 誌に発表されたこの研究成果は、フレキシブルな電子機器の新時代の先駆けとなり、この強化材料に対する見方やその最終的な利用法に変化をもたらす可能性がある。

ORNLのEnergy and Transportation Science Divisionの一員であるVlassiouk氏は、次のように語った。「これまでグラフェンの優れた力学的特性はミクロンスケールで



グラフェンと高分子の層構造を特徴とする ORNL の高強度グラフェンは、効果的な導電体である。

[\(高解像度の画像\)](#)

示されていきました。私たちがそれを大面積に拡張したことで、グラフェンの潜在的な用途と市場は大幅に拡大します。」

多くの高分子ナノ複合材料製造法では、高分子内部での分散が難しい小片のグラフェンや他の炭素ナノ材料が用いられるが、同氏の研究チームは大面積のグラフェンシートを使用した。これにより同小片の分散・凝集の問題を回避し、高分子内部のグラフェン量を低減しつつ導電性を向上することが可能になる。

「私たちは化学蒸着法を用いて、今日の最高水準のサンプルの 50 分の 1 のグラフェン充填量で導電性を発揮するナノ複合積層材を作製しました。」と同氏は話した。これが、同材料の市場競争力を高めた決め手である。

同研究チームがコストの低減と拡張性の実証に成功すれば、グラフェンを航空宇宙（構造モニタリング、難燃剤、氷結防止剤、導電体）や自動車（触媒、耐摩耗性被膜）、構造応用（自己洗浄被膜、温度制御材料）、電子機器（ディスプレイ、プリントドエレクトロニクス、熱管理）、エネルギー技術（太陽電池、ろ過、エネルギー貯蔵）および製造技術（触媒、保護膜、ろ過）の諸分野で利用するのも夢ではない。

論文 ”Strong and Electrically Conductive Graphene Based Composite Fibers and Laminates” の共著者は、ORNL の Georgios Polizos 氏、Ryan Cooper 氏、Ilia Ivanov 氏、Jong Kahk Keum 氏、Felix Paulauskas 氏と Panos Datksos 氏、およびニューメキシコ州立大学(New Mexico State University)の Sergei Smirnov 氏である。同論文はインターネット (<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acsami.5b01367>) で公開されている。

本研究は、ORNL の研究所指定研究開発(Laboratory Directed Research and Development)プログラムの支援を受けた。本研究の一部は、DOE 科学局(Office of Science)のユーザー施設である Center for Nanophase Materials Sciences にて行われた。

翻訳：NEDO（担当 技術戦略研究センター 多胡 直子）

出典：本資料は、オークリッジ国立研究所(Oak Ridge National Laboratory)の以下の記事を翻訳したものである。

“ORNL demonstrates first large-scale graphene composite fabrication”

<https://www.ornl.gov/news/ornl-demonstrates-first-large-scale-graphene-composite-fabrication>

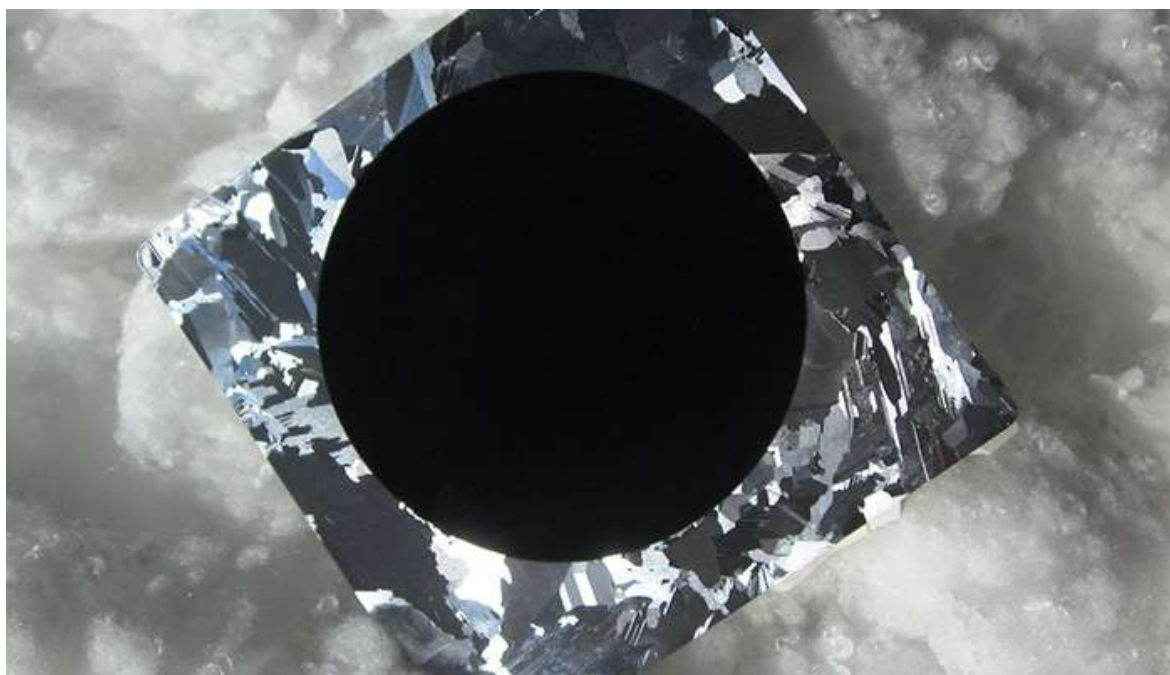
【新エネルギー分野（太陽光発電）】

仮訳

ブラックシリコン太陽電池効率 22.1%を記録(フィンランド)

2015 年 5 月 18 日

アールト大学の研究者たちが、カタルーニャ工科大学と共同で前回の記録を 3 ポイントパーセント超、向上させた。



昨年開発した太陽電池は、次の「BLACK」プロジェクトに引き継がれ、Savin 博士とその研究チームが産業界と共同でさらなる技術開発を行う予定である。

研究者たちはナノ構造のシリコン太陽電池で 22.1%の変換効率の新記録を達成し、Fraunhofer ISE（独・フラウンホーファー協会太陽エネルギーシステム研究所）CallLab により認証された。前回の記録からほぼ 4 ポイントパーセントの増加は、原子層堆積(ALD)法を用いてナノ構造表面にパッシベーション薄膜を適用し、全ての金属コンタクト(電極)をセルの背面にまとめることで達成された。

表面再結合は長い間ブラックシリコン太陽電池の障害であり、これまで太陽電池の変換効率をあまり大きくない値に制限してきた。新記録を出した太陽電池は、受光面側表面再結合に極めて感度が高いとされる厚い裏面接点構造で構成されている。300nm の波長で 96% の外部量子効率の認証は、さらなる表面再結合の問題がもはや存在せず、ブラックシリコンが初めて最終的なエネルギー変換効率を制限しないことを立証する。

研究結果は *Nature Nanotechnology* 誌に 2015 年 5 月 18 日にオンライン掲載された。

北欧の状況について

— エネルギー変換効率が注目すべき唯一のパラメーターではありません、と本研究を取りまとめたアールト大学の **Hele Savin** 博士は説明する。ブラック太陽電池は低い角度からの太陽光を捉えることができるため、従来の太陽電池と比べると 1 日を通してより多く発電しています。

我々は、ヘルシンキの冬ではブラック太陽電池が従来の太陽電池よりかなり多く発電することを実証しました。

— これは 1 年のほとんどが低い角度からの日射である北国では特に長所となります。我々は、どちらも同じ変換効率値であるにもかかわらず、ヘルシンキの冬ではブラック太陽電池が従来の太陽電池よりかなり多く発電することを実証しました。

近い将来の研究チームの目標はこの技術を他の太陽電池構造—特に薄膜・多結晶太陽電池に応用することである。

— 我々の新記録を出した太陽電池は不純物関連の劣化を受けることで知られる p 型シリコンを使って作られました。n 型シリコンやより先進的なセル構造を用いれば、さらに高効率を達成できない理由はありません、と Hele Savin 博士は予測する。

昨年開発した太陽電池は、EU の支援による次の「BLACK」プロジェクトに引き継がれ、Savin 博士とその研究チームが産業界と共同でさらなる技術開発を行う予定である。

— 本研究における最高記録の太陽電池の表面積は既に 9cm² あります。これは、本研究結果をフルウェハに、そして産業規模まで拡大するに格好の出発点です。

NEDO 海外レポート NO.1115, 2015.11.20.

本研究の詳細についての連絡先 :

Professor Hele Savin

hele.savin@aalto.fi

tel. +358 50 541 0156

公表論文: 22.1% efficient black silicon solar cells with interdigitated back-contacts. Hele Savin, Päivikki Repo, Guillaume von Gastrow, Pablo Ortega, Eric Calle, Moises Garín and Ramon Alcubilla. Nature Nanotechnology.

公表サイト (www.nature.com)

翻訳 : NEDO (担当 技術戦略研究センター 勝本 智子)

出典 : 本資料はフィンランド・アールト大学の以下の記事を翻訳したものである。

“Efficiency record for black silicon solar cells jumps to 22.1%”

<http://www.aalto.fi/en/current/news/2015-05-18-002/>

(Used with Permission of Aalto University)

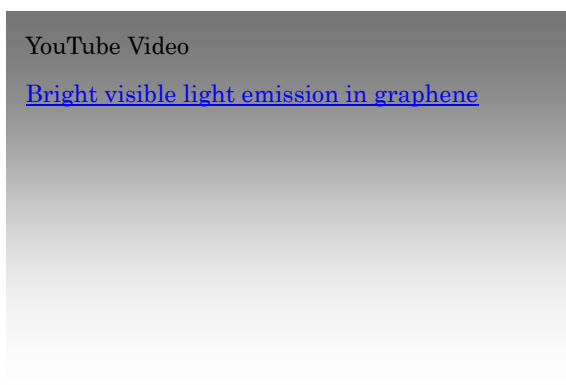
【材料・ナノテクノロジー分野】

仮訳

世界最薄の電球・グラフェンが光輝く(米国)

2015 月 6 月 15 日

コロンビア大学工学部の [James Hone](#) 教授のグループのポスドク研究者 Young Duck Kim 氏が率いる、コロンビア大学、ソウル大学校 (SNU)、そして韓国標準科学研究所 (KRISS) の科学者チームが、原子レベルの薄さで完全な炭素の結晶構造をしたグラフェンをフィラメントとして利用したオンチップ可視光源を、世界で初めて実証したと発表した。グラフェンの小片を金属電極に取付け、基板の上に小片を吊り下げ、フィラメントに電流を流して加熱した。本研究「Bright Visible Light Emission from Graphene」は、6月15日に [Nature Nanotechnology](#) 誌のウェブサイトにオンライン掲載された。

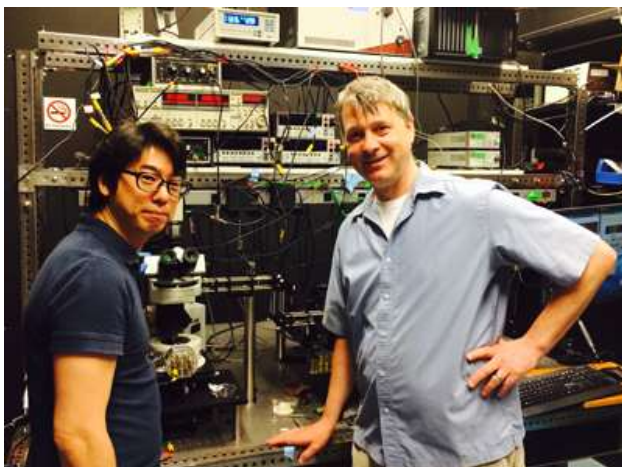


光輝くグラフェンの可視発光

—ビデオは KRISS の Myung-Ho Ba 氏の厚意による

「我々は実質的に世界で最も薄い電球を創り出しました。」と、コロンビア大学工学部 Wang Fon-Jen Professor of Mechanical Engineering であり、本研究の共同執筆者である Hone 教授は言う。「この新しいタイプの『ブロードバンド』光エミッタはチップに集積できるため、原子レベルの薄さでフレキシブルな透明ディスプレイやグラフェンベースのオンチップ光通信の実用化への道が開かれるでしょう。」

現在、半導体集積回路の電流で行われていることを光で行う、完全な「フォトニック」集積回路の開発にはチップの表面上の微細な構造の中で光を作り出すことが不可欠である。そのため、研究者たちは多くのアプローチを開発してきたが、最も古く最もシンプルな光源である白熱電球をチップ上に載せることはこれまで実現しなかった。その主な理由は、電球のフィラメントが可視域で発光するには何千℃という超高温にならなければなら



Young Duck Kim 氏と James Hone 教授

ず、微小な金属線はその温度に耐えられないからである。さらに、マイクロスケールでは高温のフィラメントから周辺への熱伝導が極めて効率的なため、このような構造は非現実的で、周辺のチップに損傷を引き起こす。

グラフェンからの発光スペクトルを計測することで、研究チームはグラフェンが明るく光るのに十分な温度である 2,500°C 超に達することを明らかにした。「原子レベルの薄さのグラフェン

からの可視光は非常に強いので、さらに拡大せずとも裸眼でも見ることができます。」と、論文の筆頭及び共同主執筆者である Kim 氏は説明する。

興味深いことに、発光スペクトルは特別な波長でピークを示すが、研究チームは、それがグラフェンからの直接発光と、シリコン基板に反射しグラフェンを通過して戻ってきた光との干渉が原因であることを発見した。Kim 氏は「従来のフィラメントとは異なり、グラフェンが透明だからこそできることであり、基板との距離を変えることで発光スペクトルを調整することが可能なのです。」と語る。

基板や金属電極を溶かすことなく、このような高温を実現するグラフェンの能力は、別の興味深い特性による。すなわち、加熱するにつれてグラフェンは非常に効率の悪い熱伝導体になる。つまり、高温は中央の小さな「ホットスポット」に閉じ込められるのである。

「最高温時には、電子温度はグラフェン格子の音響振動モードの電子温度よりもはるかに高くなるため、可視発光に必要な温度に達するためのエネルギーは少なくて済みます。」と KRISS のシニア研究員で共同主執筆者 Myung-Ho Bae 氏は語る。「このような特殊な熱特性により、吊り下げられたグラフェンを太陽の温度の半分まで熱することができます。固体基板上のグラフェンに比べて効率を 1,000 倍向上することができます。」

また、研究チームは大規模な化学蒸着 (CVD) グラフェン光エミッタアレイを実現することで本技術の拡張可能性を実証した。

ソウル大学校 Department of Physics and Astronomy の教授で共同主執筆者である Yun Daniel Park 氏は、研究チームがトーマス・エジソンが白熱電球の発明時に用いたの

と同じ材料を使っていると言及する。「エジソンは当初、電球のフィラメントに炭を用いていました。そして、我々はここで同じ素材に戻ってきたわけです。但し、グラフェンという純粋な形で、原子1個分の薄さという究極のサイズで使用していますが。」

現在、研究チームはこれらのデバイスの性能のさらなる特徴付け（例えば、光通信の「ビット」を作り出すオン・オフ速度の高速化）やフレキシブルな基板への集積技術の開発に取り組んでいる。

「このような構造の別の用途、例えば、高温化学反応や触媒を調べるために一瞬で何千°Cにまで熱することができる極小ホットプレートについて考え始めたばかりです。」と Hone 教授は付け加える。

本研究はコロンビア大学工学部、ソウル大学校、韓国標準科学研究所、建国大学校、西江大学校、世宗大学校、イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校及びスタンフォード大学の研究者たちによって実施された。

この研究は、「Convergent Science and Technology for Measurements at the Nanoscale」(15011053)プロジェクトの下で韓国標準科学研究所により、また、韓国政府(MSIP)から資金提供を受けた韓国研究財団からの助成金(2014-023563, NRF-2008-0061906, NRF-2013R1A1A1076141, NRF-2012M3C1A1048861, 2011-0017605, BSR-2012R1A2A2A01045496 及び NMTD-2012M3A7B4049888)、MSIP の Global Frontier Research Program を通じた Center for Advanced Soft Electronics からの助成金(2011-0031630)、Priority Research Center Program (2012-0005859)、POSTECH の Center for Topological Matters からの助成金(2011-0030786)、NSF (DMR-1122594)、AFOSR (FA95550-09-0705)、ONR (N00014-13-1-0662)、Army Research Office (ARO) グラント W911NF-13-1-0471 及び Qualcomm Innovation Fellowship (QInF) 2013 による支援を受けた。

一文・Holly Evarts

翻訳：NEDO（担当 技術戦略研究センター 勝本 智子）

出典：本資料はコロンビア大学の以下の記事を翻訳したものである。

“World's Thinnest Light Bulb—Graphene Gets Bright!”

<http://engineering.columbia.edu/worlds-thinnest-light-bulb%E2%80%94graphene-gets-bright>

(Used with Permission of Columbia University)

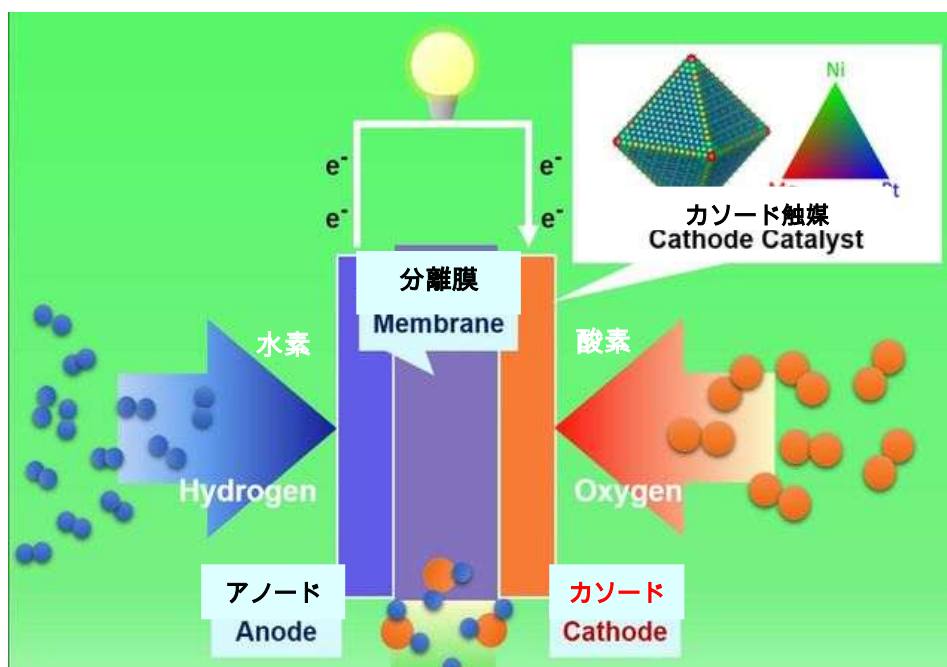
【新エネルギー分野（燃料電池・水素）】

仮訳

UCLA が燃料電池向けの低コスト・高効率ナノ構造を開発(米国)

2015年6月12日

白金-ニッケル-モリブデン複合物が環境に優しい自動車や
その他クリーンエネルギー技術で利用可能に



Yu Huang 研究室/UCLA

「表面ドーピング」と呼ばれる表面設計技術を用いて作成された固体高分子形燃料電池の図。

UCLA（カリフォルニア大学ロサンゼルス校）の Henry Samueli School of Engineering and Applied Science の研究者を中心とするチームが、燃料電池の生産コストを低減させながら効率と耐久性を向上させる、3種類の金属の複合物から成るナノ構造を開発した。このソリューションは技術の導入を停滞させている難問に焦点を当てる。

本研究の代表者は UCLA、materials science and engineering の Yu Huang 准教授で、その成果は6月12日刊行の [Science](#) 誌に掲載された。

固体高分子形燃料電池は、ゼロエミッション自動車をはじめ、多くのアプリケーションが可能なクリーンエネルギー技術として非常に有望であることを示している。この燃料電池は水素燃料と空気からの酸素を反応させて電気を起こすことで機能し、従来の自動車エンジンから排出される汚染物質や温暖化ガスとは異なり、その排気は水である。

固体高分子形燃料電池の内部で起こる化学的プロセスは金属の触媒作用に依る。これらのプロセスの一つに酸素の還元反応があり、触媒として一般的に白金が使用されるが、白金の高コストは燃料電池の広範な導入を妨げる大きな要因となっている。そのため科学者は、白金-ニッケル複合物の使用も含め、代替となる触媒を研究しているものの、これまでにいずれも実用的な解決策たり得る耐久性を得られていない。

より効率的で耐久性があり、廉価に製造できる燃料電池の作成のため、研究チームは「表面ドーピング」と呼ばれる表面設計手法を用い、白金-ニッケルのナノ構造の表面にモリブデンという第三の金属を添加した。この変化は合金表面をより安定させ、白金-ニッケルの経時的な損失を防いだ。

研究では、白金-ニッケル-モリブデンのナノ構造表面が、市販の白金-炭素複合物から成る触媒に比べ、81倍の高効率であることが明らかになった。また、この三金属複合物は長時間に渡り約95%の効率を維持しており、白金-ニッケル触媒の効率、66%以下に比べ顕著に高い。

「私達は第三の遷移金属の添加が、効率、耐久性双方の向上により長期的なコスト削減をもたらすことを示しました」と、California NanoSystems InstituteのメンバーでもあるHuangは語る。「さらに、表面ドーピングのアプローチは、様々な触媒に応用が可能で、環境保護、エネルギー発生、化学品製造のための高性能触媒の探求に向けた触媒設計への新たな道を開くものです。」

本論文の共同筆頭著者は、ポストドクトラル研究員のXiaoqing Huang、大学院生のZipeng Zhaoで、いずれも[Huangの研究グループ](#)所属。

その他の著者には、Huang研究室の大学院生、Yu Chen と Enbo Zhu、UCLA 化学・生化学の大学院生、Zhaoyang Lin と Mufan Li と指導教官の Xiangfeng Duan 教授、カリフォルニア大学バークレー校物理学ポストドクトラル研究員、Aiming Yan と指導教官の Alex Zettl 教授、ローレンスリバモア国立研究所研究員、Y. Morris Wang、及びジョンズ・ホプキンス大学、物理学の大学院生、Liang Cao と指導教官の Tim Mueller 教授が含まれる。

本研究は、米・海軍研究局、国立科学財団(NSF)、及びエネルギー省(DOE)の支援による。

メディア連絡先

Matthew Chin

310-206-0680

mchin@support.ucla.edu

翻訳：NEDO（担当 技術戦略研究センター 渡邊 史子）

出典：本資料は米国・カリフォルニア大学ロサンゼルス校 (University of California, Los Angeles)の以下の記事を翻訳したものである。

“UCLA researchers develop lower-cost, more efficient nanostructure for fuel cells”

<http://newsroom.ucla.edu/releases/ucla-researchers-develop-lower-cost-more-efficient-nanostructure-for-fuel-cells>

(Used with Permission of University of California, Los Angeles)

【新エネルギー分野（燃料電池・水素）】

仮訳

スタンフォード大学開発の単一触媒水電解装置が クリーンに燃焼する水素を休み無く生産(米国)

クリーンに燃焼する水素燃料を水から連続抽出する
安価で効率的な方法をスタンフォード大学の科学者らが開発

By Mark Shwartz

2015年6月23日

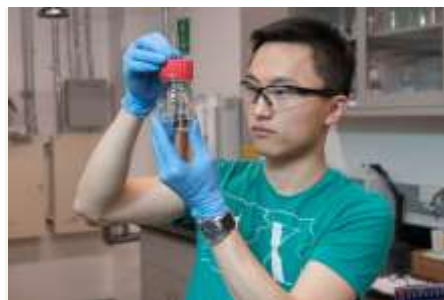
スタンフォード大学(Stanford University)の科学者らが、単一触媒を用いて水素と酸素を連続的に生産する低コストの水電解装置を開発した。

6月23日付の [Nature Communications](#) 発表論文で説明されている本装置は、輸送および産業用途のクリーンに燃焼する水素燃料という再生可能資源を提供する可能性がある。

同論文の共著者で、同大学の材料科学・工学および SLAC 国立加速器研究所(SLAC National Accelerator Laboratory)の光量子科学の准教授である [Yi Cui 氏](#) は次のように話した。「私たちは、200 時間を超えて休み無く水素と酸素を生み出す、低電圧の単一触媒水電解装置を開発しました。この素晴らしい性能は、世界新記録です。」

同氏が率いる研究チームは、水電解反応を全面的に促進し得る低コスト触媒を作り出すため、初めてリチウムイオン蓄電池技術を利用した。

「私たちの研究グループは、リチウムイオン蓄電池を使って触媒を探索するというアイデアを開発しました。水電解のほか、様々な反応に対する新触媒がこの手法によって発見されることを願っています。」と同氏は話した。



クリーンに燃焼する水素を連続的に水から作り出すため、同僚研究者らと開発した新しい水電解装置を調べるスタンフォード大学院生の Haotian Wang 氏。
(Linda A. Cicero / Stanford News Service)

クリーンな水素

水素は、排気ガスを出さないガソリン代替燃料として長年にわたり促進されてきた。

しかし、水素燃料の持続可能性という評判に反し、商用グレードの水素の大部分は地球温暖化の一因となる化石燃料の天然ガスから製造されている。科学者らはこれに代わるものとして、水から純水素を抽出する安価で効率的な方法の開発に努めてきた。

従来の水電解装置は、水性電解液に浸した二つの電極から構成される。両電極に低電圧電流を流すと H₂O 分子を分解する触媒反応が促進され、一方の電極に水素の泡が、他方の電極に酸素の泡が放出される。

それぞれの電極には異なる触媒（通常、高価なレアメタルである白金とイリジウム）が組み込まれている。しかし 2014 年に同大学の化学者 [Hongjie Dai 氏](#) は、安価なニッケルと鉄を用いて市販の 1.5 ボルト電池で作動する水電解装置を開発した。

単一触媒

今回の研究で、Cui 氏の研究チームはその技術をさらに発展させた。

「この水電解装置は他に例を見ないものです。なぜなら、ニッケル・鉄酸化物というたった一つの触媒を両方の電極に使用するからです。この二機能触媒は、わずか 1.5 ボルトの定常入力で一週間以上連続して水を分解します。室温で 82% というこれまでにない水電解効率を実現しました。」と、同論文の筆頭著者で大学院生の Haotian Wang 氏は語った。

従来型の水電解装置において水素触媒と酸素触媒の各々の安定性と活性を維持するには、pH 値が異なる酸性とアルカリ性の二種類の電解液が必要である。同氏によれば、「実用的な水電解では二種類の電解液を隔離する高価な隔膜が必要とされるため、装置コストが増大します。しかし、この単一触媒水電解装置は、pH 値が均一の一種類の電解液で効率よく作動するのです。」

Wang 氏と同僚の研究者らは、安価で製造が容易なニッケル・鉄酸化物が、貴金属を使用した一部の市販触媒よりも安定していることを発見した。

「私たちは、二種のベンチマーク触媒として白金とイリジウムを用いた従来型の水電解装置を作製しました。初めはわずか 1.56 ボルトの電気で作動しましたが、30 時間後には電圧を 40% 近く上昇させなければなりません。これは重大な効率損失です。」と同氏は述べた。

蓄電池と触媒の融合

同研究チームは、両電極に適した触媒物質を見つけるため、蓄電池研究で用いられる「lithium-induced electrochemical tuning」と呼ばれる技術を借用した。リチウムイオンを利用して、金属酸化物触媒をより微細な小片へと化学的に分解するという発想だ。

Cui 氏は次のように話した。「金属酸化物を微粒子に分解すると表面積が大きくなり、相互に接続した極小の粒界が露出します。この粒界が水電解触媒反応の活性部位となるのです。このプロセスで強力で結び付いた微粒子を作り出すことで、導電性と安定性に優れた触媒が得られます。」

Wang 氏は、リチウム（イオン）の出し入れによる電気化学的チューニングを用いて、数種類の金属酸化物の潜在的な触媒能力を検証した。

「Haotian (Wang 氏) は最終的に、ニッケル・鉄酸化物が水素反応と酸素反応の双方に対する最高の触媒性能を備えていることを発見したのです。これほど高性能の触媒作用を発揮する物質は、他にありません。」と Cui 氏は話す。

ニッケルと鉄から成る単一触媒を使うことは、コスト面でも重要な意味を持つと同氏は付け加えた。

「材料がより安価であるというだけでなく、単一触媒を用いることで 2 件の設備投資を 1 件に減らすことができます。電気化学的チューニングによって、水素以外の化学燃料に適した新たな触媒も発見できると私たちは考えています。この手法は蓄電池研究で長年用いられてきましたが、触媒分野では新しいアプローチです。この二分野の結び付きは非常に効果的です。」と同氏は述べた。

スタンフォード大学に所属する同論文の共著者は、上述の二氏の他、ポスドク研究員 Hyun-Wook Lee 氏、訪問学生 Zhiyi Lu 氏、および大学院生の Yong Deng 氏、Po-Chun Hsu 氏、Yayuan Liu 氏と Dingchang Lin 氏である。

本研究は、スタンフォード大学 [Global Climate and Energy Project](#) と [Stanford Interdisciplinary Graduate Fellowship](#) プログラムの支援を受けた。

スタンフォード大学に所属するエネルギーおよび他分野の専門家についてより詳しく知りたい方は、[Stanford Experts ウェブサイト](#)をご覧ください。

連絡先

Mark Shwartz, Precourt Institute for Energy: (650) 723-9296, mshwartz@stanford.edu

Dan Stober, Stanford News Service: (650) 721-6965, dstober@stanford.edu

Yi Cui, Materials Science and Engineering: (650) 723-4613, yicui@stanford.edu

関連情報

[動画：スタンフォード大学の水電解装置がクリーンな水素を休み無く生産](#)

翻訳：NEDO（担当 技術戦略研究センター 多胡 直子）

出典：本資料は、スタンフォード大学(Stanford University)の以下の記事を翻訳したものである。

“Single-catalyst water splitter from Stanford produces clean-burning hydrogen 24/7”

<http://news.stanford.edu/pr/2015/pr-water-splitter-catalyst-062315.html>

(Used with Permission of Stanford University)

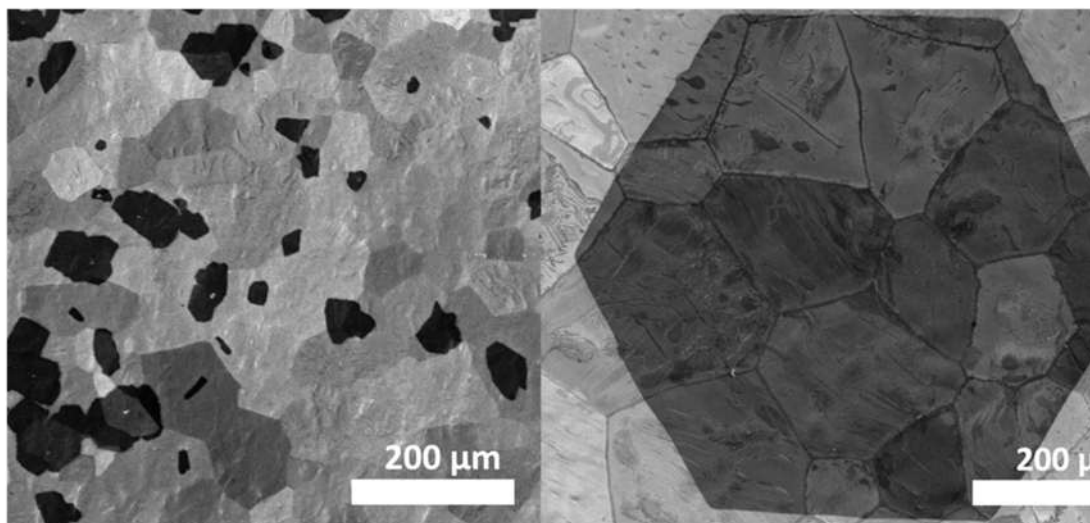
【材料・ナノテクノロジー分野】

仮訳

液体層でより高速により大面積のグラフェンを製造(英国)

2015年7月15日

英国・オックスフォード大学の研究者らは、ミリメートルサイズの高品質グラフェン結晶がこれまでの数時間に代わりスケラブルな新技術を利用して数分で製造が可能であることを実証した。



白金上に製造したグラフェン結晶(左)とシリサイドの液体層上に製造したグラフェン結晶(右)との比較

この製造方法では、たった 15 分間で 2~3mm サイズの大面積のグラフェン結晶を作ることができる。例えばガス中の炭素と銅等との反応によりグラフェンを形成する従来の化学気相成長法(chemical vapour deposition: CVD)では、このサイズのグラフェン結晶製造には最大で約 19 時間かかっていた。

グラフェンは、強度、柔軟性、電気特性や化学的耐久性を持ち合わせることから新たな技術を構築する「驚異的材料」と期待されているが、商業規模で費用対効果的に製造できるようになって初めてそれが実現可能となる。

研究者らは白金フォイル上に蒸着したシリカ薄膜を加熱して、ケイ化プラチナの層を作った。この層は白金やシリカよりも低温度で溶融して白金上のナノスケールの「谷」をならして薄い液体(溶融)層を形成し、白金の表面に触れるメタンガス中の炭素原子がグラフェンの大きな片を形成できるようにする。

この研究結果は、『Nature Communications』に掲載されている。

「数分でミリメートルサイズのグラフェン片を作れ、さらにこのグラフェンの品質は他の方法で作った高品質グラフェンにも匹敵するものです。」と、この研究を主導したオックスフォード大学の Department of Materials の Nicole Grobert 教授は説明する。

「単一グラフェン結晶で自然に成長させることができるため、材料の機械的、電気特性を損なうような結晶粒界がありません。」

研究論文の共著者である同大学 Department of Materials、博士課程学生の Vitaliy Babenko は、次のように説明する。「一般的に普及している多結晶金属をこのように利用することで、最高品質グラフェンを必要とするアプリケーションのためのコスト低減や大規模なグラフェン製造の可能性が拓けます。」

この技術で作るグラフェンのサイズについては、従来からの「スコッチテープによる剥離方法」に勝るものだ。この方法は、スコッチテープでグラファイトの塊からグラフェンを剥がし取るもので、約 10 ミクロン(0.01mm)のグラフェン片ができる。白金のみを使った CVD 法では、約 80 ミクロン(0.08mm)のグラフェン片ができる。今回、研究者らはケイ化プラチナの液体(溶融)層を使うことにより、数分間で 2~3mm のグラフェン結晶ができることを実証した。

様々な種類のグラフェンを作る現在の技術の中でも、CVD 法は費用対効果的な工業プロセスのためのスケールアップが最も期待されているものだ。オックスフォード大学研究チームは、今回開発した技術には速さと品質を超える利点があると考えている。液体(溶融)層をさらに厚くすることで、グラフェンを基板から取り外す必要がなくなる可能性があるのだ。これは、他の製造方法で必須のコストと時間がかかる追加的な行程である。

「今回の研究は、炭素原子の単一層の高品質グラフェンが、この技術開発を実施している人々が望むサイズと時間で作ることができるという原理を証明したものです。」と Grobert 教授は述べ、次のように続ける。「グラフェン技術の確立には、さらに研究を進める必要はもちろんありますが、この材料が実験室レベルから実際の製造設備へと飛

躍しようとしている今、これを実現するために産業パートナーと是非協力したいと思っています。」

研究者らは、理論的にはこの技術開発をさらに進めてスケールアップしてグラフェン片をウェハーサイズのシートに作ることも可能であると説明している。

今回の開発は、Grobert 教授が率いる Nanomaterials by Design チームによるナノ材料や製造技術の特許ポートフォリオをさらに充実させるものだ。オックスフォード大学の技術商業化企業である Isis Innovation 社による商業化プログラムの下、同チームは自分たちの製品をアプリケーション利用に開発するための不可欠な要素として産業パートナーとの協力体制を構築している。さらに、新たなビジネスベンチャーの一環として、Grobert 教授は独自の様々な特殊ナノ材料の製造と販売を計画している。

本研究論文である'Rapid epitaxy-free graphene synthesis on silicidated polycrystalline platinum'は、『Nature Communications』に掲載されている。本研究は以下の組織が支援した：英国工学・物理科学研究会議(Engineering and Physical Sciences Research Council、Royal Society)、英国連邦奨学金委員会 (Commonwealth Scholarship Commission, Royal Society)、および欧州研究会議(European Research Council)

翻訳：NEDO (担当 技術戦略研究センター 松田 典子)

出典：本資料は英国・オックスフォード大学(University of Oxford) の以下の記事を翻訳したものである。

“For faster, larger graphene add a liquid layer”

<http://www.ox.ac.uk/news/2015-07-15-faster-larger-graphene-add-liquid-layer>

(Used with Permission of the University of Oxford)

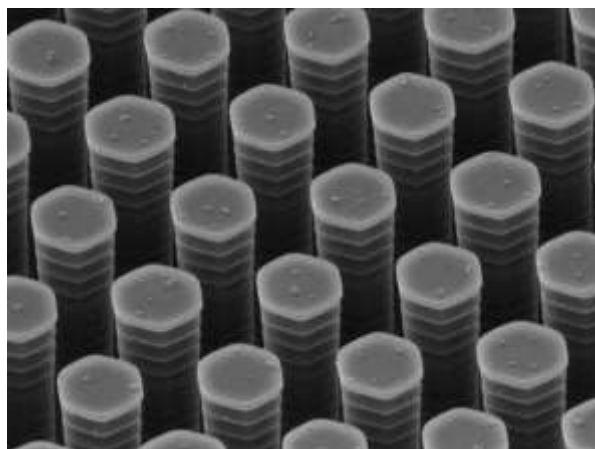
【新エネルギー分野（太陽光発電）】

仮訳

微細な熊手が低コスト太陽電池の効率を倍増(米国)

2015年8月12日

米国エネルギー省(Department of Energy: DOE)の SLAC 国立加速器研究所(SLAC National Accelerator Laboratory: SLAC)とスタンフォード大学(Stanford University)の研究者らが、光吸収ポリマーの塗布時に微細な熊手（状の突起群）を用いることで、低コスト太陽電池の電気出力を倍増する製造技術を開発した。



光吸収ポリマーを太陽電池に塗布する際に使用する「FLUENCE」熊手の固い柱状突起群を撮影した走査型電子顕微鏡像。柱状突起間の距離は1マイクロンで、人の毛髪の直径の約100分の1である。
(Z. Bao et al, Nature Communications)

この新技術が商用化されれば、高分子太陽電池は経済的に魅力ある選択肢として、はるかに高価なシリコン結晶ウェハーを用いて製造された太陽電池に取って代わる可能性がある。

実験では、微細な熊手を用いて作製した太陽電池の変換効率は、これを用いずに作製した太陽電池の2倍であり、微細ストレートエッジブレードを使用して作製した太陽電池に比して18%優れている。

本研究のリーダーは、スタンフォード大学化学工学教授で、SLACと同大学の共同機関である Stanford Institute for Materials and Energy Sciences (SIMES)会員の Zhenan Bao 氏である。同研究チームは、本研究成果を8月12日に *Nature Communications* 誌で報告した。

同氏は次のように話した。「この研究から得られる基礎科学的洞察によって、太陽電池メーカーはプロセス改良において試行錯誤のみに頼るのではなく、合理的なアプローチをとることが可能になるでしょう。」

「また、この単純で効果的かつ多用途の概念は、適切な分子配向が重要となる他のポリマーデバイスの製造にも幅広く適用できるものと期待しています。」

ポリマーの問題点

シリコン太陽電池の価格は低下しているが、その機器購入費用や設置費用を相殺するには、今なお5年～15年の発電期間が必要である。さらに、シリコン太陽電池は製造時に大量のエネルギーを要するため、再生可能エネルギー源としての価値が一部相殺されてしまう。

高分子太陽電池は、所定の位置に塗布や印刷が可能な低価格材料から作られるため、はるかに安価である。また、フレキシブルで製造時にエネルギーをほとんど必要としない。実験室規模の小型サンプルでは10%超の太陽光を電気に変換できるのに対し、大面積の塗布型太陽電池の変換効率は概して5%未満であり、市販のシリコン太陽電池の変換効率20～25%と比較して非常に低い。

一般的な高分子太陽電池は、太陽光を電子に変換するドナーと、電子が使用可能な電気として太陽電池から取り出されるまで貯蔵しておくアクセプターの2種類のポリマーを組み合わせたものである。しかし、製造時にこの混合物を太陽電池の導電面に塗布する際、これら2種のポリマーは乾燥して大きな塊の不規則な集合体となり、分離する傾向がある。そのため、高分子太陽電池による電子の生成と捕集はますます困難になる。

同研究チームが今回開発した解決法は、「fluid-enhanced crystal engineering」(FLUENCE)と呼ばれる製造技術である。この技術の[元々の開発目的](#)は、有機半導体の導電性の改善であった。

今回の研究では、導電面にポリマーを塗布する時に、固く微小な柱状突起が並んだ熊手(状の器具)をわずかな傾斜をつけて押し当て、塗布面を毎秒25～100マイクロン(毎時3.5～14.2インチに相当)の比較的ゆるやかな速度で引っかく。柱状突起群を通り抜けて跳ね返されながら流れていくうちに、大きなポリマー分子のもつれが解けて相互に混ざり合い、最終的に、乾燥させると大きさが均一で電気特性が強化されたナノメートルサイズのごく小さな結晶が得られる。

シミュレーションとX線

研究者らはFLUENCEの熊手(状突起群)を太陽電池の製造に適した特別仕様とするため、DOE科学局ユーザー施設(Office of Science User Facilities)であるSLACのスタンフォード・シンクロトロン放射施設(Stanford Synchrotron Radiation Lightsource:

SSRL)と、ローレンスバークレー国立研究所(Lawrence Berkeley National Laboratory: LBNL)の先進光源施設(Advanced Light Source: ALS)において、コンピューターシミュレーションと X 線分析を行った。

SSRL Materials Sciences グループのリーダーで、本研究論文の共著者である Mike Toney 氏は次のように話した。「SSRL では、X 線回折法を用いてポリマーの結晶化度を測定し、さらに X 線散乱法で 2 種のポリマーの分離度を判定しました。これらは基礎的な問題に関わる技術であり、私たちは近年 SSRL でその新たなアプローチを開発したのです。」

太陽電池に求められるポリマーパターンを実現するため、研究者らは熊手の柱状突起を、以前有機半導体に対して使用した時よりも大幅に短くして密集させた。その高さは 1.5 ミクロン、間隔は 1.2 ミクロンである。なお、人間の毛髪は直径約 100 ミクロンである。

近く、でも近すぎず

Bao 氏のチームに所属するスタンフォード大学の研究者 Yan Zhou 氏は次のように述べた。「理想的には、2 種の光起電ポリマーは、ドナーからアクセプターへの素早い電子移動が可能な近距離にあるのが望ましいのですが、電子が電気として取り出される前にアクセプターがドナーへ電子を再放出してしまうほど近すぎではいけません。」

「私たちの新しい FLUENCE の熊手は、この中庸をうまく達成しています。何が起きているのか理解しているからこそ、熊手の設計や処理速度を調整して最終的なポリマー構造体を変化させることができるのです。」

今後の研究目標は、同技術を他のポリマーブレンドに適用し、産業規模の高速ロールツーロール印刷プロセスに適応させることである。同プロセスは最高で毎時 50 マイルにも達するが、これらの目標を実現できれば、太陽電池製造コストを最も低く抑えることが可能になる。

本プロジェクトは、[SLAC Laboratory Directed Research & Development プロジェクト](#)として 2011 年 10 月に開始され、現在は DOE の [Bridging Research Interactions through collaborative Development Grants in Energy](#) (BRIDGE) プログラムから資金提供を受けている。

本研究の協力者には、元 SLAC staff scientist で現在はドイツ・ドレスデン工科大学 (Technical University in Dresden)教授の Stefan Mannsfeld 氏、元 SIMES ポスドク研

研究者で現在はイリノイ大学(University of Illinois)教授の Ying Diao 氏、および ALS、中国・北京大学(Peking University)と韓国・成均館大学校(Sungkyunkwan University)の科学者らが含まれる。

引用文献：[Y. Diao, et al, Nature Communications, 12 August 2015 \(10.1038/ncomms8955\)](#)

ご質問やコメントは、SLAC Office of Communications（メールアドレス：communications@slac.stanford.edu）宛てにお送りください。

SLAC は、フォトンサイエンス、天体物理学、素粒子物理学および加速器研究分野における最先端の謎を探求する様々なプログラムを扱う研究所です。SLAC はカリフォルニア州メンロパーク(Menlo Park)において、スタンフォード大学により DOE 科学局の下で運営されています。

SLAC は DOE 科学局の支援を受けています。同局は米国の物理科学基礎研究に対する唯一にして最大の支援者であり、現代の最も差し迫った課題の数々に取り組んでいます。詳しくは DOE 科学局のウェブサイト(science.energy.gov)をご参照ください。

翻訳：NEDO（担当 技術戦略研究センター 多胡 直子）

出典：本資料は、SLAC 国立加速器研究所(SLAC National Accelerator Laboratory)の以下の記事を翻訳したものである。

“Microscopic Rake Doubles Efficiency of Low-cost Solar Cells”

<https://www6.slac.stanford.edu/news/2015-08-12-microscopic-rake-doubles-efficiency-low-cost-solar-cells.aspx>

【環境・資源分野】

仮訳

人工葉で太陽光を捕獲して効率的に燃料を製造(米国)

2015年8月27日

太陽光や風力等の再生可能エネルギーによる発電とその貯蔵は、クリーンエネルギー経済の要である。カリフォルニア工科大学(Caltech)内に 2010 年に設立されたエネルギー省(DOE)イノベーション・ハブである [Joint Center for Artificial Photosynthesis \(JCAP\)](#) には、主要な目標があった。植物の自然な光合成プロセスのように太陽光、水、CO₂のみを使ってコスト効果的に燃料を製造し、需要に応じて利用できるようエネルギーを化学的燃料の形態で貯蔵する方法の開発である。過去5年間において JCAP の研究者らはこの目標に向かって大きく進展し、今回、効果的で安全に水素燃料を生成する太陽光を使った統合的な水分解システムを初めて完成させた。

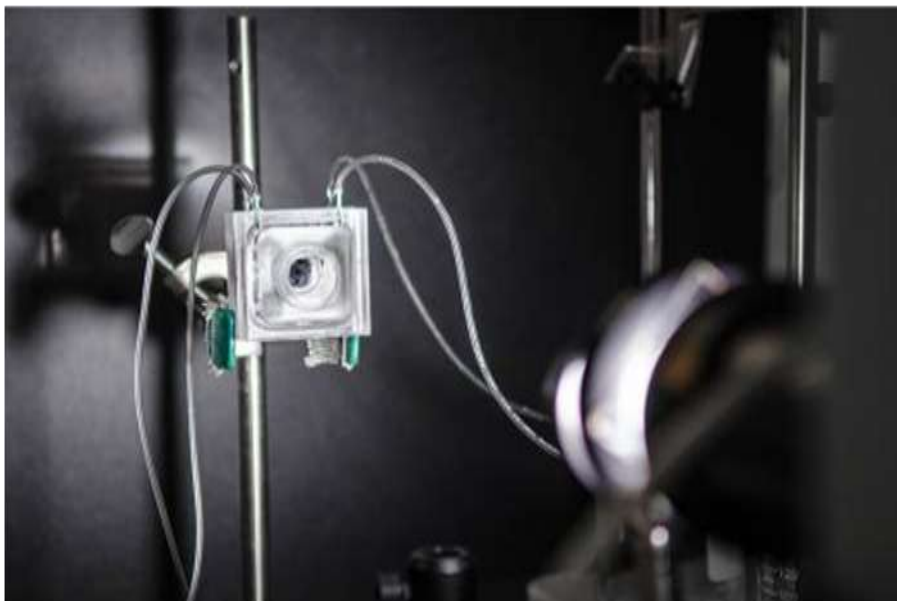


TiO₂ 安定化層で保護したモノリシックⅢ-V族集積デバイスを作成する Chengxiang Xiang (左) と Erik Verlage (右)。同デバイスは、自立的な太陽光水分解で水素燃料と酸素を生成する。

Credit: Lance Hayashida/Caltech

「今回の成果は、JCAP 全体の過去 5 年間の長期プロジェクトにおける画期的な業績でした。しかも予定期間内に、予算内で目標を達成したのです。」と、Caltech の George L. Argyros Professor であり、化学教授、また JCAP の scientific director である [Nate Lewis](#) 教授は言う。

今回開発の太陽光による燃料生成システム、つまり人工葉については、『Energy and Environmental Science』誌、8 月 27 日のオンライン版に詳細が掲載されている。この研究は、Lewis 教授の研究室の研究者らと JCAP および Howard Hughes Professor of Applied Physics and Materials Science のディレクターである [Harry Atwater](#) 氏が実施した。

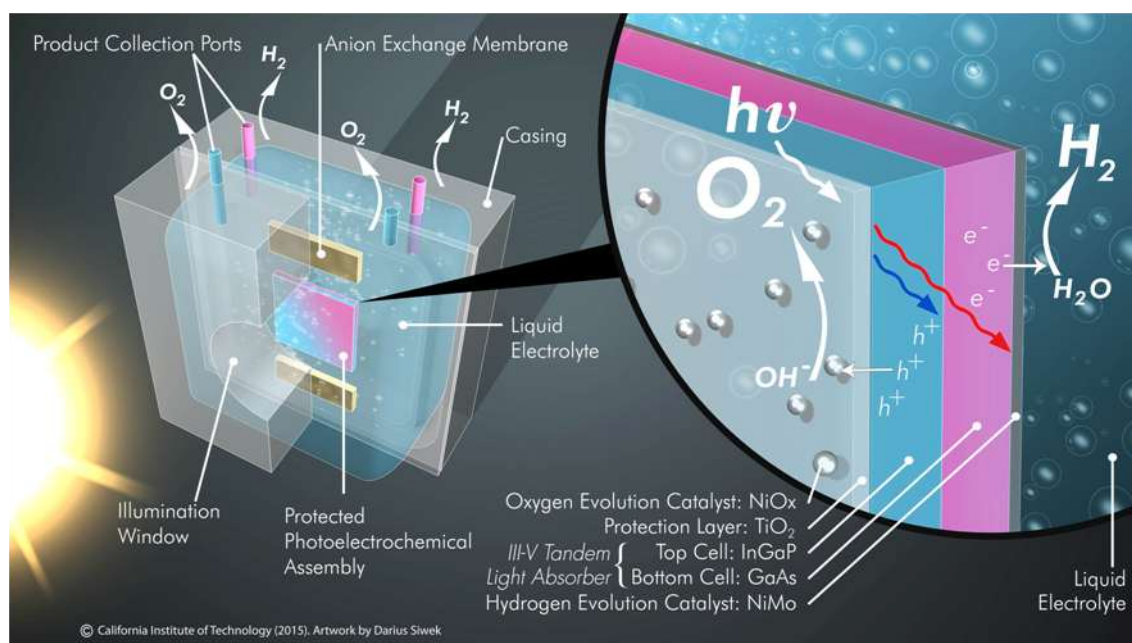


高効率な光電気化学(photoelectrochemical: PEC)デバイスでは、太陽光を利用して水を水素と酸素に分解する。独立型のプロトタイプは、両方のガスを収集する半透過性の分離膜で隔てられた 2 つの部屋から構成される。

Credit: Lance Hayashida/Caltech

「これはハブスケールでの活動で統合研究チームが達成できることを示す、JCAP の体系的知識と洞察力、そして能力を活用した結果です。」と Atwater 氏は述べ、次のように続ける。「ここで報告するデバイスは、総合的な太陽光による燃料生成システムに必要な設計と構成材料を決定する長年の大規模な研究活動から得られたものです。」

この新しいシステムは、フォトアノードとフォトカソードの2本の電極と分離膜の主要な3部品から構成されている。フォトアノードは太陽光を受けて水分子を酸化させ、プロトン(陽子)と電子(電子)、そして酸素ガスを生成し、フォトカソードは陽子と電子を再結合させて水素ガスを生成する^注。JCAP の同システムのデザインの要となる部分は樹脂でできた分離膜で、酸素ガスと水素ガスを分離する。これら両ガスが混合して誤って点火すると爆発もあり得るため、この分離膜は圧力下で水素燃料を個別に収集してパイプラインへと安全に押し出す役割を担っている。



酸素・水素発生反応触媒を有する保護された光電気化学アセンブリを特徴とした、効率的かつ頑健な一体型太陽光水分解システムのプロトタイプイラスト。[\[大サイズで見る\]](#)

Credit: Image provided courtesy of Joint Center for Artificial Photosynthesis; artwork by Darius Siwek

シリコンやヒ化ガリウム等の半導体は、効率的に光を吸収することから太陽光パネルに利用されている。しかし、これらの半導体は水に触れると表面が酸化して(錆ついて)しまうため、直接的に燃料生成に利用できない。今回、一体型のシステムの開発を促進したものは、Lewis 教授の研究室による[過去の研究結果](#)であった。白色ペンキや歯磨き粉、日焼け止め等で利用されている二酸化チタン(TiO₂)のナノメートルの薄膜層を電極に添加し、電極の腐食を防ぎながら光を透過させ、電子を通過させる。今回のシステムでは、62.5nmの薄さの TiO₂ 層を利用して効果的に腐食を回避しながらヒ化ガリウムベースの光電極の安定性を向上させている。

^注 固体高分子形水電解の反応を説明したものであるが、本システムはアルカル水電解の反応であることを研究者の一人に確認済み。

[Solar Fuels Prototype in Operation](#) (動画) (JCAP: Joint Center for Artificial Photosynthesis)
A fully integrated photoelectrochemical device performing unassisted solar water splitting for the production of hydrogen fuel. Credit: Erik Verlage and Chengxiang Xiang/Caltech

もう一点の主要な開発は、燃料製造に安価な活性触媒を利用したことである。フォトアノードには、肝心の水電気分解反応を促す触媒が必要である。白金等の希少で高価な金属は効果的な触媒ではあるが、研究チームは今回の研究において、TiO₂の表面に2nmのニッケル層を添加する安価な活性触媒創成方法を発見した。この触媒は水分子を酸素、陽子、電子に分解する触媒の中でも最も高活性な触媒として知られており、今回開発のデバイスが示した高効率性の鍵である。

フォトアノードはフォトカソード上に成長させたもので、このフォトカソードも同様に安価なニッケルモリブデン活性触媒を含んでいる。これらが太陽光による水電解システムをして機能する統合的な単一材料を作りあげている。

この新しいシステムの効率性と安全性に寄与する重要な構成部品は、酸素ガスと水素ガスを分離させ、爆発の可能性を回避しながらシームレスなイオンの流れを可能とさせてセルの電気回路を完成させる、樹脂製の特別な分離膜である。システムの全構成部品は同一の条件下で安定して協働し、高性能かつ完全な統合システムを作りあげている。実証用システムは面積が約1cm²で、太陽光の10%のエネルギーを貯蔵エネルギーとして化学燃料に変換し、40時間連続して運転できる。

Lewis 教授は「このシステムは人工業技術の安全性、性能、安定性全てにおいて5~10倍以上に記録を打ち破るものです。」と説明する。

「私たちのシステムは、安価な部品から構成される統合的なシステムで太陽光から安全で効率的に燃料を生産できることを証明しています。」と同教授は言い添え、次のように続ける。「当然、システムの寿命を延ばすためにやらなくてはならないこともあるし、コスト効果的な全体システムの製造方法の開発も必要ですが、どちらも現在進行中です。」

同システムは JCAP 内の多数のチームが開発した様々な部品から構成されることから、同研究論文の共同著者で JCAP のプロトタイピングとスケールアッププロジェクトの共同責任者である Chengxiang Xiang 氏は、この研究結果は協働活動の成果であると述べ、次のように続ける。「JCAP によるデバイス設計、シミュレーション、および材料の発見と一体化の研究開発を全てこの新システムの実証に集中させました。」

同研究結果は、以下のタイトルで公表されている：["A monolithically integrated, intrinsically safe, 10% efficient, solar-driven water-splitting system based on active, stable earth-abundant electrocatalysts in conjunction with tandem III-V light absorbers protected by amorphous TiO2 films."](#)

Lewis 教授、Atwater 氏、Xiang 氏に加えて、Caltech の共同著者は大学院生の Erik Verlage 氏、ポスドクスカラーの Shu Hu 氏、Ke Sun 氏、material processing and integration research engineer の Rui Liu 氏、JCAP の mechanical engineer の Ryan Jones 氏。同研究には米国エネルギー省(DOE)の科学局およびゴードン・アンド・ベティー・ムーア財団が資金を提供した。

著者: Jessica Stoller-Conrad

本記事の連絡先: Judy Asbury (626) 395-3226 jasbury@caltech.edu

翻訳：NEDO（担当 技術戦略研究センター 松田 典子）

出典：本資料は米国・カリフォルニア工科大学(California Institute of Technology: CALTECH)の以下の記事を翻訳したものである。

“Artificial Leaf Harnesses Sunlight for Efficient Fuel Production”

<http://www.caltech.edu/news/artificial-leaf-harnesses-sunlight-efficient-fuel-production-47635>

(Used with Permission of the California Institute of Technology)

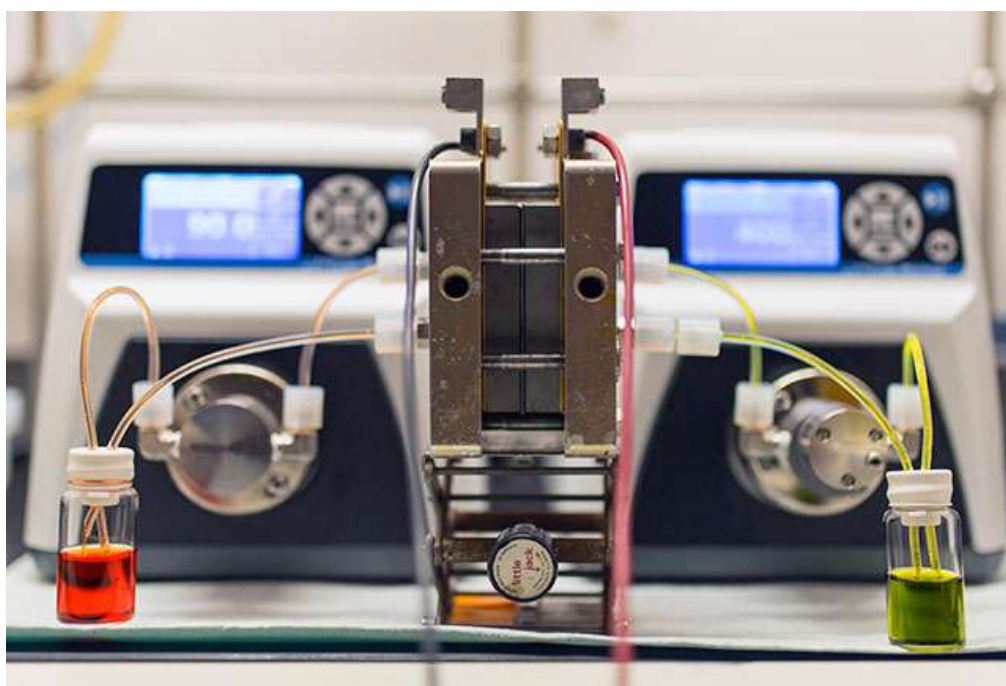
【蓄電池・エネルギーシステム分野】

仮訳

グリーンなエネルギーをグリーンに貯蔵(米国)

2015年9月24日

蓄電池で屋根のソーラーパネルから家庭に電力供給



この改良されたフロー蓄電池は、安全かつ費用対効果の高い方法で太陽光や風力のような断続的なエネルギー源からの電力を家庭用および事業用に貯蔵することができる。固体電極の蓄電池と異なり、フロー蓄電池は燃料電池と同様に外部タンク(ここでは赤色と緑色のもの)に入った液体にエネルギーを貯蔵する。

(写真提供: Kaixiang Lin 氏)

マサチューセッツ州ケンブリッジ, 2015年9月24日ー ハーバード大学の科学者・技術者チームは、安全かつ費用対効果の高い方法で太陽光や風力のような断続的なエネルギー源からの電力を家庭用および事業用に貯蔵することができる蓄電池を実証した。この新しい研究は、同チームのメンバーの以前の取り組みである「グリッド用のより安価で信頼性の高い電力貯蔵に関する研究」を基礎としている。

風力や太陽光の断続的な供給力と需要の変動性との間に生じるミスマッチは、再生可能エネルギー源から必要とする電力の大部分を得ようとする際に大きな障害となる。この問題は、風が吹いていないときや太陽が出ていないとき、長期にわたって供給できる大量の電力エネルギーを費用対効果の高い方法で貯蔵することにより解決できる。

この蓄電池を稼働すると、電子は、水に溶けた安価で地球上に豊富にある元素（炭素、酸素、窒素、水素、鉄、カリウム）からなる化合物によりやり取りされる。この化合物は無毒・不燃性で広く利用可能であり、他の蓄電池システムより安全で安価に蓄電池を提供できる。

「自宅の地下室にも安心して置ける化学物質が使われています」と、ハーバード大学ポールソン校工学・応用科学部 ([Harvard Paulson School of Engineering and Applied Sciences](#); SEAS) の特別教授 (Gene and Tracy Sykes Professor of Materials and Energy Technologies) でプロジェクト研究責任者の [Michael J. Aziz](#) 氏は言う。「無毒で安価かつ豊富にある物質が水溶液中にあるということは、安全で発火の恐れがなく、生活圏内に大量の電力エネルギーを貯蔵しておける利点があるということです。」

研究内容は、本日発行の[科学誌](#)「Science」に掲載されている。

この新しい蓄電池の化学成分は、共同執筆者でハーバード大学特別教授 (Thomas Dudley Cabot Professor of Chemistry and Professor of Materials Science) の [Roy Gordon](#) 氏と共同研究している博士研究員 (ポスドクフェロー) Michael Marshak 氏と大学院生の Kaixiang Lin 氏が発見した。

「蓄電池電圧を私達が開発した従来材料のものから約 50%以上増加させるために、ありふれた有機色素と安価な食品添加物を結合させました」と Gordon 氏は言う。この発見により、「初めて高性能・不燃性・無毒性・非腐食性で安価なフロー蓄電池のための化学物質が実現したのです。」

固体電極をもつ蓄電池と異なり、フロー蓄電池は、燃料電池と同様に外部タンクに入った液体にエネルギーを貯蔵する。タンク (エネルギー容量を決定する部分) と液体がポ

ンプでくみ上げられ電気化学変換が起こるハードウェア（最大発電容量を決定する部分）は、それぞれ自由な容量で設計ができる。貯蔵できるエネルギー量はタンクのサイズを好きな様に大きくすればよいため、従来の蓄電池システムよりも低コストでより多くのエネルギー量を貯蔵することが可能となった。

フロー蓄電池の稼働の仕組みについては、下記ビデオを参照のこと。

(動画) https://www.youtube.com/embed/4ob3_8QjmR0

ほとんどのフロー蓄電池の設計に使われる電解質の活物質は、酸に溶けたバナジウムのような金属イオンであった。金属は、高価で腐食性があり取扱いが困難で、動力学的に鈍く非効率をもたらす。昨年、Aziz 氏とハーバード大学の同僚は、金属を光合成や細胞呼吸のような生物学的プロセスに不可欠となる豊富で天然の化学物質であるキノンと呼ばれる有機（炭素ベース）分子に置き換えたフロー蓄電池を実証した

(<http://www.seas.harvard.edu/news/2014/01/organic-mega-flow-battery-promises-breakthrough-for-renewable-energy>)。水溶液中のキノンが電池の負極電解質側を形成する一方、陽極側は他の蓄電池にもよく用いられる従来の臭素を含んだ電解質でできていた。ハーバード大学がヨーロッパの企業にライセンスしたこの高性能で低コストな技術は、拡張性のあるグリッドレベルの電力貯蔵解決策を提供する可能性をもつ。

しかし、臭素の毒性と揮発性は、熟練の専門家により保護柵の中で安全に取扱わなければならないほど注意が必要である。

よってチームは、家庭にも事業用にも安全に普及できる化学薬品を用いて同等の貯蔵利点（安価で長持ちかつ効率的）のある新しい方法を探し始めた。本日発行の科学誌「サイエンス」に掲載された新しい蓄電池では、臭素をフェロシアニドという無毒で非腐食性のイオンに置き換えている。

「『シアン化合物』という言葉を含むので、これも毒性があると思われるかもしれませんが」と、共同執筆者で現在コロラド大学ボルダー校の化学助教である Marshak 氏は説明する。「シアン化合物は体内の鉄と非常に強く結びついて致死的な作用を及ぼします。フェロシアニドは最初から鉄と結びついているので安全なのです。実際、フェロシアニドは食品添加物や肥料にも広く用いられています。」

フェロシアンイドは水溶性が高く酸性よりもアルカリ性の溶液で安定するので、ハーバード大学のチームは、昨年開発した元の蓄電池の酸性環境とは対照的に、アルカリ条件下で溶けやすく安定するキノン化合物と組み合わせた。

Marshak 氏は、濃縮アルカリ溶液に触れることと損傷した使い捨て単三電池に触れることとを比較する。「食べたりまき散らしたりしたいものではないですが、それを別とすれば大した問題ではありません。」

アルカリ溶液を用いることに他の利点もある。非腐食性であるため、フロー蓄電池システムの部品はプラスチックなどのよりシンプルで安価な材料から構成することができるのである。

「第一世代のフロー蓄電池は、バナジウムや鉄またはクロムといった遷移金属からなる単一元素の組み合わせでした」と、ユナイテッド・テクノロジー研究センターの電気化学系プロジェクトリーダーの Michael Perry 氏（本研究には関与していない）は言う。「現在、一つの完全なシステム内に求める性質や特性をもたらす人工的な分子の可能性を調べているところです。さらなる研究が必要とされるのはもっともですが、ハーバード大学のチームはまさに次世代化学の有効性を実証しています。」

蓄電池の専門家である著名な大学教授でありケース・ウェスタン・リザーブ大学の特別教授（George S. Dively Professor of Engineering）の Robert F. Savinell 氏（ハーバード大学の本研究には関与していない）は、この新技術には他のフロー蓄電池のコンセプトに対して『持続可能な材料で非常に低コストにできる可能性、実用的な出力密度での高効率、そして安全でシンプルな作動』などの大きな優位点がある、と同意する。「このフロー蓄電池の手法が短期間の開発を経て速やかに商業的に導入される道を開くであろうことが期待されます。」

ハーバード大学の [Office of Technology Development](#) は研究チームと密接に連携し、エネルギー貯蔵市場の複雑な変化の舵取りや、新しい化学を商業化する体制の整った企業との関係構築に取り組んでいる。

蓄電池の需要は、経済的要因と同程度に規制要因によっても左右される。米国の一部の州も世界各地でも、電力需要に見合って即時に使われなければ、ソーラーパネルに入射した太陽エネルギーは電力が貯蔵されないうちに無駄になる。しかしながら、多くの州において、顧客には「ネットメータリング」と呼ばれる規制のもと、屋根のソーラーパネルで発電した電力を割高の消費者価格で売る権利がある。このため、消費者には蓄電池を設置するメリットがほとんどない。しかし、市場の専門家であるハーバード大学 Kennedy School の特別教授（Raymond Plank Professor of Global Energy Policy）

[William W. Hogan 氏は](#)、このような規制政策は究極的には『不経済で持続不可能』であると考えている。ソーラーパネルを設置する住宅所有者がどんどん増えるにつれ、電力事業者は顧客からの電力買取り要求に反対するようになる。

Hogan 氏は、ネットメータリングは一連の『太陽光発電をより魅力的に見せるための規制の策略』の一つであると言い、いずれは太陽光発電パネルを屋根につけた消費者は電力を自身の公共電力料金の割引と引き換えにする選択肢を失うだろうと予測する。そうなったとき、これら住宅所有者は蓄電池に投資するメリットを持つ。

これは、テスラモーターズの起業家の Elon Musk 氏が同社が最近発表した Powerwall システムの活用の望みをかける新興市場の機会である。しかし、Aziz 氏と彼のハーバード大学の同僚により設計されたフロー蓄電池構造には、リチウム蓄電池と比べてコストと電力出力のピークを維持できる時間の長さの点において潜在的な利点がある。

「太陽光発電が非常に急速に成長しているため、本発明には将来性があります」と Aziz 氏は言う。「太陽光発電装置と BAM に雲がかかると発電量は激減し、雲がなくなれば発電量は急上昇します。これを調整する最良の手段が蓄電池なのです。」

Aziz 教授、Gordon 教授、Marshak 博士、Lin 氏の他、「サイエンス」共同執筆者には Qing Chen 氏、Michael R. Gerhardt 氏、Liuchuan Tong 氏、Sang Bok Kim 氏、Louise Eisenach 氏、Alvaro W. Valle 氏、David Hardee 氏を含む。

米国エネルギー省エネルギー高等研究計画局 (ARPA-E #DE-AR0000348)、ハーバード大学ジョン・A・ポールソン校工学・応用科学部、アメリカ国立科学財団 (NSF) の Extreme Science and Engineering Discovery Environment (OCI-1053575) および NSF の Graduate Research Fellowship が本研究の一部を支援している。

翻訳：NEDO (担当 技術戦略研究センター 山本 恭子)

出典：本資料は米国・ハーバード大学ジョン・A・ポールソン校工学・応用科学部 (Harvard John A Paulson School of engineering and applied sciences)の以下の記事を翻訳したものである。

“Green storage for green energy”

<http://www.seas.harvard.edu/news/2015/09/green-storage-for-green-energy>

(Used with Permission of Harvard John A Paulson School of engineering and applied sciences)