

NEDO 海外レポート

2021.9.3.

1131

1	【電子・情報通信分野】 光ファイバーが超伝導量子コンピューター性能を強化（米国）	2021/3/24 公表	1
2	【新エネルギー分野（太陽光発電）】 人間の毛髪由来のカーボンナノドットが太陽電池を強化（オーストラリア）	2021/4/8 公表	4
3	【バイオテクノロジー分野】 柑橘類由来成分による 100%再生可能な透明木材（スウェーデン）	2021/5/4 公表	8
4	【蓄電池・エネルギーシステム分野】 セメントベース蓄電池の世界初のコンセプト（スウェーデン）	2021/5/27 公表	11
5	【新エネルギー分野（太陽光発電）】 温暖化ガスの低減にも貢献する次世代太陽電池の革新的プロセス（米国）	2021/6/2 公表	14
6	【バイオテクノロジー分野】 サステナブルな使い捨てプラスチックを作る「ヴィーガン・スパイダーシルク」（英国）	2021/6/10 公表	17
7	【バイオテクノロジー分野】 環境に優しいバイオプラスチックを作る「プラグイン」手法（米国）	2021/6/28 公表	21

※ 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 : https://www.nedo.go.jp/library/kankobutsu_report_index.html

《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。

【電子・情報通信分野】

仮訳

光ファイバーが超伝導量子コンピューター性能を強化（米国）

2021年3月24日

巨大な処理能力の超伝導量子コンピューター構築の秘訣は、従来の通信技術、光ファイバーであるかもしれない。

米国立標準技術研究所（NIST）の物理学者たちは、金属配線の代わりに光ファイバーを利用して超伝導量子ビット（q ビット）を測定・制御し、わずか数千ではなく数百万 q ビットの量子コンピューター実現に道を開いた。本実証については、3月25日発行の「Nature」誌に掲載されている。

超伝導回路は、安全性が高く大量生産が容易なため、量子コンピューター開発における先導的技術だ。しかし、これらの回路は極低温での作動が必要なため、室温の電子機器へ配線するスキームは複雑であり、q ビットが過熱しがちである。あらゆる問題の解決が可能なユニバーサル量子コンピューターには、数百万 q ビットが必要となる。金属配線による従来の超低温希釈冷凍機のクライオスタットで扱えるのは、最大でも僅か数千 q ビットに留まる。

情報通信ネットワークを支える光ファイバーでは、熱伝導なく高容量の光信号を伝送する、ガラスやプラスチックのコアを備えている。しかし、超伝導量子コンピューターでは情報の記憶や処理に、マイクロ波パルスを利用する。そのため、光をマイクロ波に正確に変換する必要がある。

NIST の研究者らは、この課題の解決に、光ファイバーを他のいくつかの標準的なコンポーネントと組み合わせ、単一粒子、つまりフォトンのレベルで光を変換、伝達、測定し、



NIST の物理学者らは、図中のクライオスタット内部に示したような 14 の金属配線の代わりに、光ファイバー(図中白矢印)を利用して超伝導量子ビット(q ビット)を測定し、制御した。光ファイバーを利用することで、わずか数千ではなく、数百万 q ビットの量子コンピューター実現が見込まれる。クレジット: *F. Lecocq/NIST*

マイクロ波への容易な変換を可能にした。同システムは金属配線と同様に機能し、壊れやすい q ビットの量子状態を維持した。

「この進歩は、非常に重要な課題解決に、フォトニクスと超伝導量子ビットという二つの全く異なる技術を組み合わせているので、大きなインパクトがあると思います。」と、NIST の物理学者 John Teufel 氏は言う。「また、光ファイバーは、従来のケーブルよりはるかに少ない容量で、はるかに多くのデータを伝送できます。」

研究者は通常、室温下でマイクロ波パルスを生成し、同軸金属ケーブルを通じて極低温に維持された超伝導 q ビットに供給する。NIST の新しい設定では、金属の代わりに光ファイバーを通じて極低温光検出器に伝送した光信号を、マイクロ波に変換し、q ビットに供給する。実験的な比較目的で、マイクロ波をフォトニックリンクまたは従来の同軸ケーブルを通じて、q ビットに送ることができる。

光ファイバー実験で使用した「トランズモン」q ビットは、3D レザーバまたはキャビティに埋め込まれたジョセフソン接合と呼ばれるデバイスだ。この接合は絶縁体で隔てた 2 つの超伝導金属から構成される。電流は、特定の条件下で接合部を横断し、前後に振動することがある。特定のマイクロ波周波数を適用すると、q ビットを低エネルギー状態と励起状態(デジタルコンピューティングの 1 または 0)間で駆動できる。これらの状態は、接合を横切って「トンネル」した、束縛状態にある相反性の電子対であるクーパー対の数に基づいている。

NIST の研究チームは、フォトニックリンクを使用してマイクロ波パルスを生成し、q ビットの量子状態を測定または制御する、2 種類の実験を行った。この方法は、マイクロ波がキャビティ内で自由に前後に振動する共振周波数が、q ビットの状態に依存すること、また、q ビットが状態を切り替える頻度は、キャビティ内のフォトン数に依存すること、という 2 つの関連性に基づいている。

研究者たちはまず、マイクロ波発振器を使って実験を始めた。電気光学変調器と呼ばれる装置でマイクロ波をより高い光周波数に変換し、q ビットの量子状態を制御した。これらの光信号は、室温から 4 ケルビン(マイナス 269° C またはマイナス 452° F)を経て光ファイバーを移動し、さらに 20 ミリケルビン(1/1000 ケルビン)まで下がり、高速の半導体光検出器に到達、光信号はマイクロ波に再び変換され、量子回路に伝送された。

これらの実験では、望ましい量子状態にするために、固有振動周波数で q ビットに信号を送った。適切なレーザー出力があるとき、q ビットはその基底状態と励起状態の間で振動した。

研究者たちは、q ビットの量子状態の測定に、変調器、光ファイバー、光検出器を通じて、特定のエネルギーレベルで赤外線を放射し、キャビティの共振周波数を測定した。

研究者たちはまず、レーザー出力を抑えた q ビットの振動を起点とし、次にフォトニックリンクで微弱なマイクロ波パルスをキャビティに伝送した。キャビティの周波数は、従来の同軸ケーブルによるものと同等の忠実度 98%で q ビットの状態を正確に提示した。

研究者たちは、光ファイバー内の光が q ビットとの間で信号を伝送し、各ファイバーが q ビットとの間で数千の信号を伝送できる量子プロセッサを構想している。

翻訳：NEDO（担当 技術戦略研究センター）

出典：本資料は、米国国立標準技術研究所 (NIST)の以下の記事を翻訳したものである。
“Optical Fiber Could Boost Power of Superconducting Quantum Computers”
(<https://www.nist.gov/news-events/news/2021/03/optical-fiber-could-boost-power-superconducting-quantum-computers>)

【新エネルギー分野(太陽光発電)】

仮訳

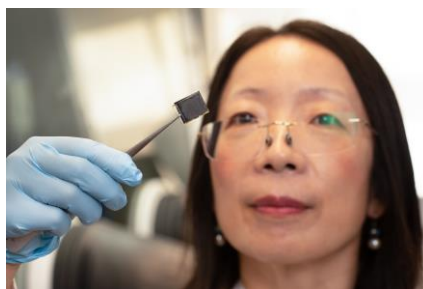
人間の毛髪由来のカーボンナノドットが太陽電池を強化

(オーストラリア)

2021年4月8日



クイーンズランド工科大学(QUT)の研究者たちは、ブリスベンの理髪店から入手した人間の毛髪の廃棄物から作製したカーボンナノドットを使用して、最先端のソーラー技術の性能を向上させる「よろい」のようなものを作製した。



Journal of Materials Chemistry A に発表された研究論文では、Hongxia Wang 教授が QUT 材料科学センターの Prashant Sonar 准教授と共に率いる共同研究で、ペロブスカイト太陽電池の性能向上に、カーボンナノドットが利用できることを示した。

比較的新しい太陽光発電技術であるペロブスカイト太陽電池は、今後数年内に、低コストで高効率な太陽光発電を提供する最良の太陽電池候補と見込まれている。従来の商用の単結晶シリコン太陽電池と同等のエネルギー変換効率が得られることが証明されてはいるが、この分野の研究者にとっての課題は、同技術をより安価で安定したものにする事だ。

ペロブスカイト太陽電池は、シリコン太陽電池とは異なり、製造が容易な化合物で作製しており、フレキシブルであるため、太陽光発電する衣服や、外出先でデバイスが充電できるバックパック、さらには独立した電源として機能するテントなど、様々な状況での使用が期待できる。

本研究は、人間の毛髪由来のカーボンナノドットを多機能材料として用いた研究の第2弾である。

昨年、Prashant Sonar 准教授は、QUT 材料科学センターのリサーチフェローである Amandeep Singh Pannu 氏らとの研究チームを率いて、毛髪を分解し、240℃で燃焼して、毛髪のスクラップをカーボンナノドットに変えた。研究者らはその研究で、カーボンナノドットは次世代スマートデバイス用のフレキシブルディスプレイに転換できることを実証した。

YouTube ビデオは[こちらから](#)

今回の研究では、Ngoc Duy Pham 博士と Pannu 氏を含む Wang 教授の研究チームは、Prashant Sonar 教授のグループと共同で、カーボンナノドットをペロブスカイト太陽電池に試しに使用してみた。Wang 教授の研究チームは以前、ナノ構造炭素材料が電池の性能向上に利用できることを発見していた。

Wang 教授のチームは、カーボンナノドットの溶液を、ペロブスカイト太陽電池製造プロセスに添加後、カーボンナノドットが、ペロブスカイト結晶を囲んで波型のペロブスカイト層を形成したことを発見した。

「カーボンナノドットは、よろいのような、一種の保護層を形成して、」と Wang 教授は言う。

「材料に損傷を与える可能性のある湿気や他の環境要因から、ペロブスカイト材料を保護します。」

研究では、カーボンナノドットで覆われたペロブスカイト太陽電池は、そうでないペロブスカイト太陽電池よりエネルギー変換効率が高く、安定性も高いことが分かった。

Wang 教授は、約 20 年間先進的な太陽電池の研究に携わっており、約 10 年前にペロブスカイト太陽電池が発明されて以来、世界のエネルギー問題を解決するために、コスト効率が良く安定した太陽電池材料とデバイスの開発を主な研究目的としてきた。

「私たちの最終的な目標は、太陽電気をより安価で、アクセスしやすく、長持ちさせ、また、従来の太陽電池が非常に重いため、PV デバイスを軽量化することです。」と、Wang 教授は言う。

YouTube ビデオは[こちらから](#)

「ペロブスカイト太陽電池分野での大きな課題は、20 年以上作動できるようデバイスの安定性の課題を解決し、大量生産に適した製造方法を開発することです。」

「現在、報告されている高性能ペロブスカイト太陽電池はすべて、極めて低い湿度と酸素レベルで制御した環境下で、極めて小面積のセルを製造しているので、商業化には不向きです。」

「この技術の商業利用の実現には、効率的で大面積、安定性、柔軟性のあるペロブスカイト太陽電池パネルを、低コストで製造するという課題を、克服する必要があります。」

「これを達成するには、大規模製造および産業標準の条件下における材料特性の深い理解が不可欠です。」



Wang 教授は、ペロブスカイト太陽電池が宇宙船の動力源として、将来的にどのように利用できるかについて、特に関心を寄せている。

国際宇宙ステーション(ISS)では、最大 120 kW を発電できる 4 枚の太陽光パネルがエネルギーを供給している。しかし、従来の宇宙空間での PV 技術の不利な点の 1 つは、ISS までのペイロードの重量だ。

ペロブスカイト太陽電池はかなり軽量になるだろうが、宇宙空間での極度の放射線や、マイナス 185℃から 150℃以上までの広範囲な温度変化に対処できるペロブスカイト太陽電池の開発が、課題の一つだ。

Wang 教授は、その解決は 10 年先になるかもしれないが、同分野ではさらに大きな洞察を継続的に得ている、と述べた。

現在、Wang 教授の研究チームは、QUT 材料科学センターの Dmitri Golberg 教授と協力して、電子ビームの強力な照射や極端な温度変化等の過酷な環境条件下でのペロブスカイト材料特性の研究を進めている。

「この技術が今までにどれだけ進歩したかを考えると、私はかなり楽観的な見通しを持っています。」と、Wang 教授は言う。

YouTube ビデオは[こちらから](#)

メディア連絡先：

Rod Chester, QUT Media, +61-7 3138 9449, rod.chester@qut.edu.au

After hours: Rose Trapnell, +61-407 585 901, media@qut.edu.au

翻訳：NEDO（担当 技術戦略研究センター）

出典：本資料は、クイーンズランド工科大学(QUT)の以下の記事を翻訳したものである。

“Carbon dots from human hair boost solar cells”

(<https://www.qut.edu.au/news?id=175051>)

(Reprinted with permission of Queensland University of Technology.)

【バイオテクノロジー分野】

仮訳

柑橘類由来成分による100%再生可能な透明木材（スウェーデン）

2021年5月4日



KTH で開発した透過性木材の最新バージョンは、より透明度が高く、再生可能なポリマーで作られている。

写真提供: Céline Montanari 発行: 2021年5月4日

スウェーデンの研究者たちは、透過性木質建材の発表から5年、今回次の段階の研究成果を発表した。柑橘類の果実から作製した透明なバイオプラスチックを木材に注入し、同複合材料を100%再生可能で透明度の高いものにする方法を発見したのだ。

透過性木材は2016年に初めて発表されて以来、最も革新的な建築用の新構造材料の一つとして、KTHの研究者らが開発してきた。自然光を通し、熱エネルギーを蓄えることもできる。

木材を透明な複合材料にするには、木材の主要な光吸収成分であるリグニンを取り除くことが鍵となる。しかし、リグニン除去後に残る空洞は、木材の強度を回復しつつ光を透過するもので充填する必要がある。

KTHのWallenberg Wood Science Centerの研究者たちは、同複合材料の開発初期段階では、その充填に化石燃料由来のポリマーを使用していた。今回、研究者たちは環境に優しい代替品であるリモネンから作製したモノマー、リモネンアクリレートを使用する試験に成功した。その成果は、「Advanced Science」誌に発表されている。

オレンジジュースから建材まで

「新しいリモネンアクリレートは、オレンジジュース産業から回収した皮くずなど、再生可能な柑橘類から作られています。」と、論文の筆頭著者で博士課程の学生である Céline Montanari 氏は言う。

新しい材料は、厚さ 1.2 mm で 90%の光透過性と 30%の極めて低いヘイズ（曇度）を示すと、研究者らは報告している。過去 5 年間に開発された他の透過性木材とは異なり、KTH で開発した材料は構造用途を想定しており、174 MPa (25.2 ksi) の強度と 17 GPa (約 2.5 Mpsi) の弾性の極めて丈夫な機械的性能をもつ。



KTH のファイバー・ポリマー技術部門 (Fibre and Polymer Technology) の長である Lars Berglund 教授は、サステナビリティは研究グループにとって、常に優先事項である、と言う。

リグニン除去後の木材の強度を回復させた、光透過性のポリマー作製には、オレンジジュース製品から抽出したエキスを使用する。写真提供: Céline Montanari

「サステナブルな透過性木材を作製する上で、化石燃料由来のポリマーの代替は、課題のひとつでした。」と、Berglund 氏は言う。

環境への配慮といわゆるグリーンケミストリーが、新技術全体に行き渡っている、と同氏は言う。材料は溶剤なしで作製されており、化学物質はすべてバイオベースの原材料を使用している。

ナノテクノロジーの可能性

この新たな進歩により、木材ナノテクノロジーなど、未開発領域でのアプリケーションが期待できる、と Berglund 氏は言う。可能性としては、スマートウィンドウ、蓄熱木材、照明機能内蔵木材、さらには木材レーザーなどがある。

「私たちは、光がどこへ向かい、セルロースに当たるとどうなるのかについて、観察してきました。」と、Berglund 氏は言う。「光の一部は木をまっすぐに通過し、材料を透明に

します。他の光は異なる角度で屈折・散乱するので、照明アプリケーションに快適な効果をもたらします。」

研究チームはまた、KTH の Sergei Popov 氏のフォトニクスグループと協力して、ナノテクノロジーの可能性をさらに探求している。

本研究には、欧州研究評議会(ERC) (Grant No. 742733)および Knut and Alice Wallenberg Foundation が資金を提供した。

記事執筆者：Peter Ardell

翻訳：NEDO（担当 技術戦略研究センター）

出典：本資料は、スウェーデン王国・王立工科大学(KTH)の以下の記事を翻訳したものである。

“Citrus derivative makes transparent wood 100 percent renewable”

<https://www.kth.se/en/aktuellt/nyheter/nasta-generations-transparenta-tra-ar-har-1.1071300>

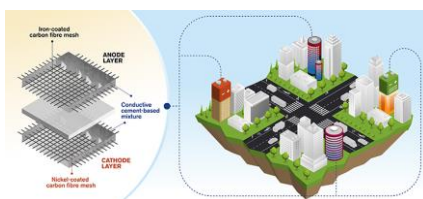
(Reprinted with permission of KTH Royal Institute of Technology.)

【蓄電池・エネルギーシステム分野】

仮訳

セメントベース蓄電池の世界初のコンセプト（スウェーデン）

2021年5月27日



機能性コンクリートとして活用されている充電式のセメントベース蓄電池。画像提供:Yen Strandqvist

巨大な蓄電池のようにエネルギーを貯蔵できる、20階建てのコンクリートの建物を想像してみたい。スウェーデンのチャルマース工科大学のユニークな研究が、そのようなビジョンをいつか実現させるかもしれない。この度、同校土木建築工学部の研究者たちが、セメントベース蓄電池の新しいコンセプトの概要に関する論文を発表した。

サステナブルな建築材料の必要性はますます増加しており、研究者には大きな課題が課されている。スウェーデンのチャルマース工科大学に以前在籍していた **Emma Zhang** 氏は、未来の建築材料研究のため、数年前から **Luping Tang** 教授の研究グループに加わっている。今回、セメントベース蓄電池の世界初となるコンセプトの開発に成功した。

このコンセプトでは、まず、セメントをベースとした混合物に少量の短い炭素繊維を加えて導電性と曲げ強さを付与する。次に、アノードには鉄、カソードにはニッケルの金属コーティング処理を施した炭素繊維メッシュを、その混合物に埋め込む。これが、多くの実験を経て、今回研究者らが発表したプロトタイプである。

「コンクリート蓄電池技術を調査した初期の研究結果では、極めて低い性能が示されたので、私たちは、既成概念にとらわれずに電極を作製する、別の方法を考えなければならぬことに気がつきました。今回開発した、充電もできるこのコンセプトは、今まで検討されたことはありませんでした。これで、実験室規模での概念実証ができました。」と、Emma Zhang 氏は言う。

Luping Tang 氏と Emma Zhang 氏の研究では、 $7\text{Wh/m}^2(0.8\text{Wh/l})$ の平均エネルギー密度のセメントベース蓄電池を作製した。蓄電池の容量を表すにはエネルギー密度が使用されており、新蓄電池の性能は、控えめに見積もっても、初期のコンクリート蓄電池の10倍超になる可能性がある。市販の蓄電池に比べ、エネルギー密度はまだ低いですが、新技術を建物全体で使用した場合に構成される電池は膨大な量なので、この制約にも対処できる。

エネルギー貯蔵問題解決への潜在的な鍵

最も重要な品質は、電池が充電可能であるということであり、そのコンセプトがさらに開発され商業化されるならば、利用の可能性は驚くべきものになるだろう。エネルギー貯蔵への活用は明白だが、さらにはモニタリングへの活用も考えられる。研究者たちは、LEDの電源、遠隔地域での4Gコネクションや、コンクリートインフラの腐食に対するカソード防食法など、さまざまなアプリケーションが想定されるとしている。

「また、例えば太陽光パネルと組み合わせて、高速道路や橋梁のモニタリングシステムに電力を供給し、コンクリート蓄電池作動のセンサーが、亀裂や腐食を検出することもできます。」と、Emma Zhang 氏は言う。

構造物や建物をこのような形で利用するというコンセプトは、電力の大容量貯蔵により、エネルギー危機への代替的な解決策を提供できるので、革新をもたらす可能性がある。セメントと他の材料を混合して作製するコンクリートは、世界で最も一般的に使用されている建築材料である。コンクリートは、サステナビリティの観点からは、理想には程遠いが、新機能を付与できるという潜在性は、新しい側面を提供する。Emma Zhang 氏は次のように言う。

「私たちには、この技術を将来的に、機能性コンクリート製の複数階建ての建築物全ての部分に適用できるようにしたい、というビジョンがあります。あらゆるコンクリートの表面にこの電極の層を埋め込められれば、それはもう膨大な量の機能性コンクリートになるのです。」

耐用年数の側面には課題が残る

本コンセプトは、まだごく初期段階にある。同技術が商業化に至るまでには、解決すべき技術的課題として、電池の長寿命化やリサイクル技術の開発などがある。

「コンクリートインフラは通常、50年から100年耐久できるように作られているので、電池もこれに準ずるように改良するか、電池寿命後の交換やリサイクルがしやすくなるようにする必要がありますでしょう。今のところ、これが主要な技術的課題です。」と、Emma Zhang氏は言う。

しかし、研究者たちは、このイノベーションがもたらすものは大きいと期待している。

「このコンセプトは、将来の建築材料に再生可能エネルギー源などの機能を付加する重要な役割を担うと、確信しています。」と、Luping Tang氏は言う。

本研究には、スウェーデンエネルギー庁(Energimyndigheten)が資金を提供した。

記事執筆者：Catharina Björk

本研究論文：[Rechargeable Concrete Battery in the scientific journal Buildings.](#)

共同研究者連絡先：

Luping Tang

Professor at the Department of Architecture and Civil Engineering, Chalmers University of Technology

tang.luping@chalmers.se +46 31 772 2305

Emma Qingnan Zhang

Doctor, formerly of the Department of Architecture and Civil Engineering, Chalmers University of Technology, now Senior Development Scientist at Delta of Sweden.

emma@deltaofsweden.com +46 768 80 35 33

翻訳：NEDO（担当 技術戦略研究センター）

出典：本資料は、スウェーデン・チャルマース工科大学の以下の記事を翻訳したものである。

“World first concept for rechargeable cement-based batteries”

(<https://www.chalmers.se/en/departments/ace/news/Pages/World-first-concept-for-rechargeable-cement-based-batteries.aspx>)

(Reprinted with permission of Chalmers University of Technology.)

【新エネルギー分野(太陽光発電)】

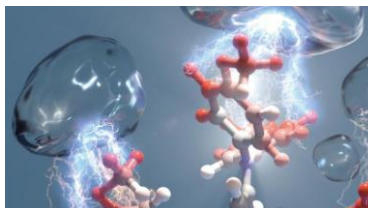
仮訳

温暖化ガスの低減にも貢献する次世代太陽電池の革新的プロセス

(米国)

2021年6月2日

ニューヨーク大学工学部タンドン校舎(NYU Tandon)の研究チームは、ペロブスカイト太陽電池の重要なドーピングプロセスの速度と効率を大幅に向上させ、CO₂も貯留する方法を開発した。



NYU Tandon の André D. Taylor 准教授が率いる研究チームは、CO₂に晒す過程を利用して、ペロブスカイト型太陽電池の中間層の高速で効率的な p 型ドーピングプロセスを考案した。

画像提供: Andre Taylor

2021年6月2日(水) 米国ニューヨーク州ブルックリン—ペロブスカイト太陽電池は近年、電力変換効率が2006年の3%から現在の25.5%へと飛躍的に向上し、シリコンベースの太陽電池との競争力を高めている。しかし、競争力のある商業用技術となるまでには多くの課題が残されている。

今回、ニューヨーク大学工学部タンドン校舎 (NYU Tandon)の研究チームは、課題の1つである太陽電池の有機正孔輸送材料の p 型ドーピングに関わる重要なステップでの障害を解決するプロセスを開発した。本研究「CO₂ doping of organic interlayers for perovskite solar cells」は、「Nature」誌に掲載されている。

正孔輸送層への酸素の注入・拡散による従来の p 型ドーピングプロセスは非常に時間がかかり(数時間から1日所要)、ペロブスカイト太陽電池の商業的な量産は非現実的だ。

NYU Tandon 准教授の André D. Taylor 氏が率いる研究チームには、同校化学・生物分子工学部より、ポスドク研究員の Jaemin Kong 氏とアシスタント・プロフェッサー

の Miguel Modestino 氏が参加しており、酸素の代わりに CO₂ を利用して、この重要なステップの速度を大幅に向上させる方法を発見した。

ペロブスカイト太陽電池では、通常、光活性のペロブスカイト層と電極との間の電荷抽出用の中間層として、ドーピングした有機半導体が必要だ。従来、これらの中間層をドーピングする方法として、ペロブスカイト太陽電池の正孔輸送材料として広く用いられる π 共役系の有機半導体、spiro-OMeTAD に、リチウム塩のリチウムビス(トリフルオロメタンスルホン)イミド (LiTFSI) を添加する。そして、この spiro-OMeTAD:LiTFSI ブレンドフィルムを空気や光に晒し、ドーピングプロセスを開始する。

この方法は長時間を要するのみならず、周囲環境の条件に大きく依存する。Taylor 氏と研究チームは、これとは対照的に、spiro-OMeTAD:LiTFSI 溶液に紫外線下で CO₂ をバブリングする、迅速で再現可能なドーピング方法を報告した。この手法では、中間層の導電率は、元のブレンドフィルムに比べて 100 倍、また酸素をバブリングした場合の約 10 倍まで急速に向上することがわかった。CO₂ 処理したフィルムは、後処理なしで、高効率で安定したペロブスカイト太陽電池を実現した。

「ペロブスカイト太陽電池にプレドーピングした spiro-OMeTAD を適用すると、デバイス製造や処理時間の短縮に加え、電池の安定性も向上します。」と、筆頭著者の Kong 氏は言う。「その一要因は、spiro-OMeTAD:LiTFSI 溶液中の有害なリチウムイオンの大部分が、CO₂ をバブリングする過程で、炭酸リチウムとして安定化することにあります。」

プレドーピングした溶液をペロブスカイト層にスピンキャストする際に、炭酸リチウムは最終的にろ過され、除去される、と同氏は言う。「このような方法で、効率的な正孔輸送層を作る、極めて純度の高いドーピングされた有機材料が得られます。」

研究チームには Samsung、イェール大学、韓国化学技術研究所(KRICT)、ニューヨーク市立大学大学院センター、韓国・圓光大学、光州科学技術院(GIST)からの研究者らも参加して、PTAA、MEH-PPV、P3HT や PBDB-T 等、他の π 共役ポリマーの p 型ドーピングにも CO₂ ドーピング法が使えることを発見した。Taylor 氏によると、研究者らは、太陽電池で一般的に使用される有機半導体の限界を押し上げることを目指しているという。

「多様な π 共役有機ポリマーへの CO₂ ドーピングの幅広い適用性は、有機太陽電池から有機発光ダイオード (OLED) や有機電界効果トランジスタ (OFET)、さらには熱電デバイスに至るまで、有機半導体のドーピング制御を必要とするあらゆるデバイスの研究を

促進しています。」と、Taylor 氏は言う。新プロセスでは極めて大量の CO₂ ガスを消費するため、将来的には CO₂ の回収・貯留の研究への適用も検討できるとのことだ。

「各国政府や、また企業も同様に、脱炭素化までではないにしろ、CO₂ 排出量の削減を目指す状況下において、本研究は、大量の CO₂ を炭酸リチウムに反応させて次世代の太陽電池を改善し、かつこの温室効果ガスを大気から除去する方法を提供しているのです。」と、同氏は言う。研究チームは、この新しいアプローチの着想を、電池研究の直感に反した洞察から得たとのことだ。

「リチウム酸素/空気電池を長い間研究してきた経験から、酸素電極が空気に晒されて形成される炭酸リチウムは、リチウムイオン電池を枯渇させて電池容量を損なわせるため、大きな課題であることはわかっていました。今回のスピロドーピング反応では、その炭酸リチウムの形成を活用しており、リチウムを結合させ、ペロブスカイト太陽電池の長期的な安定性を脅かす可動イオンの生成を回避しています。私たちは、この CO₂ ドーピング技術が、有機エレクトロニクス of 既存の課題克服や 今後の発展 の足掛かりとなることを期待しています。」

本研究は、米国科学財団(NSF)、韓国研究財団(NRF)、中国国家留学基金管理委員会(CSC)およびブルックヘブン国立研究所(BNL)の米国エネルギー省(DOE) Center for Functional Nanomaterials(CFN)が支援した。

本研究論文「CO₂ doping of organic interlayers for perovskite solar cells」は、<https://www.nature.com/articles/s41586-021-03518-y> に掲載されている。

翻訳：NEDO（担当 技術戦略研究センター）

出典：本資料は、米国・ニューヨーク大学(NYU)の以下の記事を翻訳したものである。

“World first concept for rechargeable cement-based batteries”

(<https://engineering.nyu.edu/news/innovative-process-removes-key-hurdle-next-generation-solar-cells-also-lockbox-greenhouse>)

(Reprinted with permission of New York University Tandon School of Engineering.)

【バイオテクノロジー分野】

仮訳

サステナブルな使い捨てプラスチックを作る

「ヴィーガン・スパイダーシルク」(英国)

2021年6月10日



画像提供: Xampla

研究者たちが、多くの消費者向け製品に使用される使い捨てプラスチックの代替えが期待できる、サステナブルでスケーラブルな植物由来の材料を開発した。

ケンブリッジ大学の研究者らは、最も強靱な天然素材の1つであるスパイダーシルクの特徴を模倣して、ポリマーフィルムを作製した。新材料は、現行の多くの一般的なプラスチックと同等の強度を提供し、多くの日用品に使用されているプラスチックの代替が期待できる。

同材料は、分子レベルでスパイダーシルクを模倣した材料になるよう、植物タンパク質を組み立てるといふ、新しい手法を用いて作られた。このサステナブルな原料を使用した高エネルギー効率な方法では、プラスチックに似た自立型フィルムを、産業規模で製造できる。ポリマーには退色しない「構造的な」色を加えることができ、防水塗料の作製にも利用できる。

他のタイプのバイオプラスチックの分解には、産業用コンポスト施設が必要だが、新材料では、家庭でのコンポスト処理が可能だ。さらに、ケンブリッジ大学が開発した同材料は、天然の構成要素に化学的な修飾が不要なため、ほとんどの自然環境下で安全に分解する。

この新製品は、ケンブリッジ大学のスピナウト企業で、使い捨てプラスチックやマイクロプラスチックの代替品を開発している **Xampla** 社により商品化される予定だ。同社では、食洗機用タブレット型洗剤や洗濯用洗剤カプセルなどの日用品に使用されるプラスチックを代替する、使い捨ての小袋やカプセルを、年内に販売する予定だ。本研究結果は、「Nature Communications」誌に掲載されている。

ケンブリッジ大学 Yusuf Hamied Department of Chemistry の **Tuomas Knowles** 教授は、長年に渡りタンパク質の挙動を研究してきた。その多くは、タンパク質がミスフォールドしたり、「誤作動」を起こしたりした場合に何が起こるか、そしてこのことが、主にアルツハイマー病といった人間の健康と病気とどのような関係があるのかについて、焦点を当ててきた。

「私たちは通常、機能性タンパク質のどのような相互作用により健康が維持できているのか、また、どのようなイレギュラーな相互作用がアルツハイマー病に関連しているかなどについて、研究しています。」と、本研究を主導する **Knowles** 氏は言う。「今回、私たちの研究が、プラスチック汚染というサステナビリティの大きな課題にも役立つと知り、驚きました。」

Knowles 氏とその研究グループは、タンパク質の一連の研究の中で、スパイダーシルクのような物質が、分子結合力はかなり弱いのに、極めて高い強度なのはなぜなのかについて、関心を持つようになった。「スパイダーシルクに強度を与える重要な特徴の一つとして、水素結合が空間で超高密度で規則的に配置されていることがあげられます。」と、**Knowles** 氏は言う。

Knowles 氏の研究グループのポスドク研究員で、現在は **Xampla** 社で研究開発責任者を務める、共著者の **Marc Rodriguez Garcia** 氏は、このような規則的な自己集合を他のタンパク質でも再現する方法を探った。タンパク質には分子の自己組織化と自己集合の傾向があり、特に植物タンパク質には豊富で、また食品産業の副産物としてサステナブルに供給できる。

「植物タンパク質の自己集合についてはあまりよく分かっていませんので、この知見のギャップを埋めて、使い捨てのプラスチックに代わるものを開発できるなんて、ワクワクします。」と、本研究論文の筆頭著者で、博士候補の **Ayaka Kamada** 氏は言う。

研究者たちは、タンパク質の組成が完全に異なる、大豆タンパク質分離物(SPI)を利用して、スパイダーシルク構造の再現に成功した。「すべてのタンパク質はポリペプチド鎖でできているので、適切な条件下において、植物タンパク質をスパイダーシルクと同じように自己集合させることができます。」と、ケンブリッジ大学セント・ジョンズ・カレッジのフェローでもある Knowles 氏は言う。「クモの場合、そのシルクタンパク質は水溶液に溶けていて、糸をつむぐ過程で極めて強靱な繊維に組成しますが、それにはほとんどエネルギーを必要としません。」

「多くの研究者たちは、プラスチックの代替として、シルク材料そのものを研究してきましたが、それらはまだ動物が作ったもののままです。」と、Rodriguez Garcia 氏は言う。「ある意味、私たちは、スパイダーシルクと同等の材料である、「ヴィーガン・スパイダーシルク」を、クモなしで作製したのです。」

プラスチックを代替するには、ポリマーが必要で、天然に豊富に存在するのは、ポリサッカロイドとポリペプチドの二つである。セルロースとナノセルロースはポリサッカロイドであり、多様なアプリケーションに使用されているが、強力な材料を作るには、しばしば何らかの架橋処理が必要だ。タンパク質は自己集合し、化学修飾無くシルクのような強力な材料を形成できるのだが、取り扱いがかなり難しい。

本研究では、大豆油生産の副産物としてすでに利用可能な SPI を、試験用の植物タンパク質として用いたが、SPI のような植物タンパク質は水に溶けにくく、規則的な構造へ自己集合するよう制御することは困難である。

新技術では、環境に優しい酢酸と水の混合溶媒を使用し、超音波処理および高温度を組み合わせ、SPI の水溶性を向上させた。この方法は、水素結合の形成により分子間の相互作用が強化されたタンパク質構造を作製する。次の段階で溶媒を除去すると、非水溶性のフィルムが得られる。

新材料は、低密度のポリエチレンなどの高機能なプラスチックと同等の性能を有する。その強度は、ポリペプチド鎖の規則的な配列によるものなので、バイオポリマーフィルムの性能や耐性の向上によく使用されるような、化学薬品による架橋は不要だ。最も一般的に使用されている架橋剤はサステナブルではなく、毒性を持つものもあるが、同大学が開発した技術では、毒性元素は必要ない。

「新技術は、私たちが 10 年間以上取り組んできた、どのようにして自然はタンパク質から材料を生み出すのかについて理解する研究の、頂点となるものです。」と、Knowles 氏は言う。「私たちはこの研究を、サステナビリティの課題を解決しようとして、始めたわけではありません。どうすれば弱い相互作用から強い材料を作れるだろうかという、好奇心から動機を得て始めたのです。」

「ここでの重要なブレークスルーは、自己集合を制御できるようになったことにより、高性能な材料を作れるようになったことです。」と、Rodriguez Garcia 氏は言う。「この探求の一部を担っていることは、とても嬉しいです。世界には、プラスチック汚染というとても大きな課題がありますが、私たちは幸運にもこの課題に対し、何かできる立場にいるのです。」

Xampla 社の新技術は、同大学の商用化部門である Cambridge Enterprise が特許を取得している。リードインベスターの Cambridge Enterprise と Amadeus Capital Partners は、Sky Ocean Ventures と Parkwalk が管理するケンブリッジ大学 Enterprise Fund VI と共同で、Xampla 社に 200 万英ポンドのシードファンディングを調達した。

参照:

A. Kamada et al. 'Self-assembly of plant proteins into high-performance multifunctional nanostructured films.' Nature Communications (2021). DOI: 10.1038/s41467-021-23813-6

翻訳：NEDO（担当 技術戦略研究センター）

出典：本資料は、英国・ケンブリッジ大学の以下の記事を翻訳したものである。
“Vegan spider silk’ provides sustainable alternative to single-use plastics”
(<https://www.cam.ac.uk/research/news/vegan-spider-silk-provides-sustainable-alternative-to-single-use-plastics>)
(Reprinted with permission of the University of Cambridge.)

【バイオテクノロジー分野】

仮訳

環境に優しいバイオプラスチックを作る「プラグイン」手法（米国）
農業副産物が環境に優しい生分解性プラスチック生産に役立つ

2021年6月28日

テキサス A&M 大学アグリライフ研究所の科学者が新たに発表した研究によると、石油由来ではなく生物学的物質由来の生分解性プラスチックであるバイオプラスチックは、トウモロコシの刈り株、草やメスキート（マメ科の低木）等、農産物の副産物から、環境に優しく経済的な方法で製造できるという。

この新アプローチには、バイオリファイナリー用のシンプルな調整、「プラグイン」プリコンディショニングプロセスが関与している、とアグリライフ研究所の科学者で、テキサス A&M 大学農業・生命科学学部植物病理学科の合成生物学・再生可能生成物部門長の、Joshua Yuan 教授は言う。このような「プラグイン」技術は、食品のパッケージングやその他の日用品で使用されるバイオプラスチックの主要な構成要素であり、サステナブルで費用対効果が高いリグニンの最適化を可能にする。



バイオエネルギーとなるソルガムを、カレッジステーション近くで収穫しているところ。

画像提供: Texas A&M AgriLife

240 万米ドルの本プロジェクトには、米国エネルギー省(DOE)のエネルギー効率・再生可能エネルギー局(EERE)バイオエネルギー技術室(BETO)が資金を提供した。本研究は、「Nature Communications」誌に最近掲載された。

Yuan 氏と共同研究者らは、次の研究フェーズへの追加的な資金を要請している。

適用可能なプロセス

リグニンの効率的な抽出と利用は、バイオリファイナリーにとって大きな課題であると、Yuan 氏は言う。

「私たちのプロセスでは、従来の 5 種類の前処理技術を改変し、バイオ燃料とバイオプラスチックを同時に低コストで生産します。」



Joshua Yuan 氏 (Ph.D.)

Yuan 氏の研究は、リグニンの高効率な抽出法を調査した過去の研究に基づいている。

画像提供: Texas A&M AgriLife

「リグニンのプラグイン・プリコンディショニングプロセス (plug-in preconditioning processes of lignin: PIPOL)」というこの新手法は、既存のバイオリファイナリーに直接導入でき、法外なコストはかからないと、Yuan 氏は言う。PIPOL は、リグニンの溶解、調整および発酵を統合してエネルギーに変換し、バイオリファイナリー設計に容易に適応できるように設計されている。

バイオエコノミーは「米国連邦政府の優先事項」

米国科学技術政策局(OSTP)は、バイオエコノミーのインフラ、イノベーション、製品、技術やデータを米国の経済成長の増進に示していることから、バイオエコノミーとバイオマニュファクチャリング部門は米国連邦政府の優先事項であると、Yuan 氏は言う。



バイオエコノミーは約 285,000 人の (米国) 雇用を支え、年間 480 億米ドルの収入を産出している。

「生分解性プラスチック使用の成長と普及には、イノベーションが鍵となります。リグノセルロース系バイオリファイナリーの商業化を妨げる要因は、バイオマスによる付加価値製品が限られていること、リグニンを使用した代替製品の不足や、一次産品としてのエタノールの全体的な低産出量にあります。」と、同氏は言う。「この最近の成果は、これらいくつかの課題の克服に、大きく貢献するでしょう。」

飼料作物とのハイブリッドで生成した新しいバイオエネルギーは、より経済的で環境に優しい方法でのバイオプラスチック製造の原料として使用できる。画像提供: Kay Ledbetter, Texas A&M AgriLife

Yuan 氏はまた、本研究が環境に優しい側面を持つことを強調した。

「現在、年間 3 億トン以上のプラスチックが生産されています。」と、同氏は言う。「これらを生分解性プラスチックに置き換えることは、重要です。本研究は、トウモロコシ、草や木材のような一般的な農業廃棄物から、バイオプラスチックを生産する道筋を提供するものです。」

「本研究は産業的にも極めて意義があり、バイオリファイナリーとポリマー産業が、より高効率で経済的な機会の獲得に必ず寄与すると、私たちは考えています。」

農業副産物の役割

同校のアグリライフ研究所と 農業・生命科学学部は、環境問題に科学を通じて解決策を模索する、というコミットメントを共有しており、過去の研究ではすでに、メスキートや高トン数のソルガム等のサステナブルな材料がバイオ燃料生産の原料として利用できることを発表している。

トウモロコシの刈り株や草などの農業副産物は、バイオ燃料プラントの代替原料になると、Yuan 氏は言う。これらは農家のみならず、収穫した原料や副産物の作物をリファイナリーの操業用に輸送する輸送部門にとっても、新たな収入源となり得る。

「リグノセルロース系バイオリファイナリー由来のバイオプラスチックは、経済的により有益であり、農業廃棄物を利用した生分解性プラスチックの生産に新しい道を開くということを、本研究で示しました。」と、Yuan 氏は言う。「この発見により、化石燃料や非分解性プラスチックを再生可能エネルギーや生分解性プラスチックに代替し、地球規模の気候変動を緩和させることが期待できるでしょう。」

翻訳：NEDO（担当 技術戦略研究センター）

出典：本資料は、米国・テキサスA&M大学の以下の記事を翻訳したものである。

“Plugging in’ to produce environmentally friendly bioplastics”

(<https://c/agrilifetoday.tamu.edu/2021/06/28/plugging-in-to-produce-environmentally-friendly-biofuels/>)

(Reprinted with permission of Texas A&M University.)