

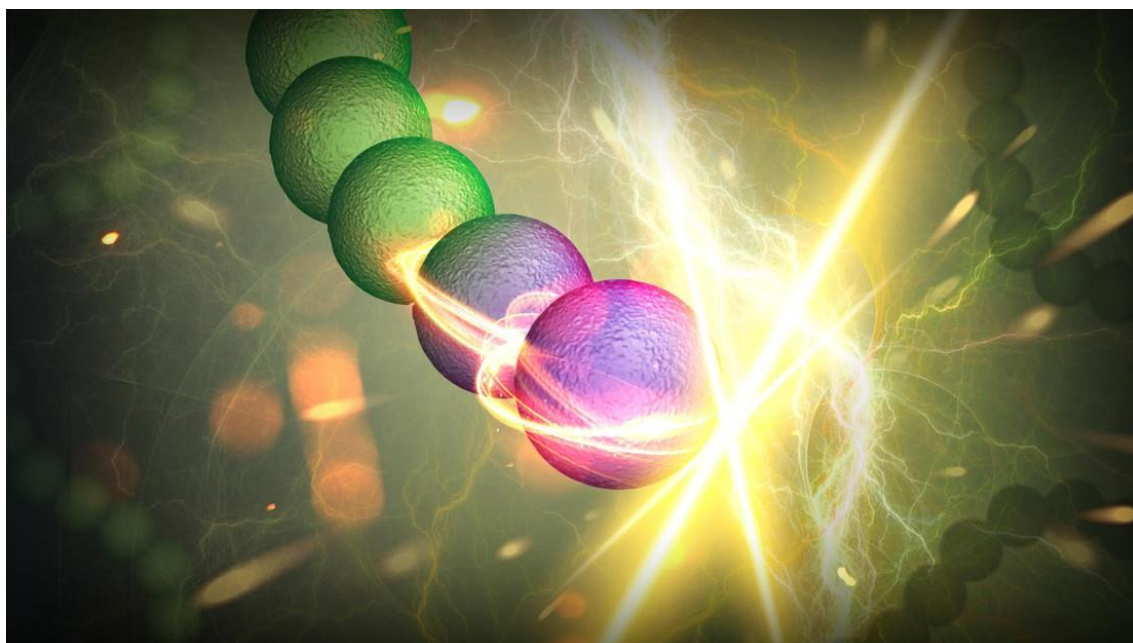
【バイオテクノロジー分野】

仮訳

ナノチューブが生きた太陽電池への道を照らす(スイス)

著者 Nikolaos Papageorgiou

2022年9月16日



EPFL の科学者らが、細菌に蛍光性カーボン・ナノチューブを自発的に取り込ませることに初めて成功した。この成果により、近赤外線を使った細菌の追跡や、集光性細菌を用いたエネルギー生成デバイスの「生きた太陽光発電」など、原核生物の新たなバイオテクノロジーへの応用が期待される（画像提供: EPFL）

「私たちは、バクテリア（細菌）にナノチューブを埋め込みました」と、スイス連邦工科大学ローザンヌ校 基礎科学の Ardemis Boghossian 教授は語る。「あまりすごいことのように聞こえませんが、実際は重大なことです。エンドサイトーシス（飲食作用）のようなメカニズムを利用する哺乳類細胞へのナノチューブの埋め込みの例はありますが、バクテリアはこうしたメカニズムを持たないため、その強靱な外膜を通してナノ粒子を挿入しなければならない特別な課題があります。わたしたちはこの課題に対処し、バクテリアにナノチューブを取り込ませることに成功しました。このことは、非常に興味深いアプリケーションの可能性を示唆しています」。

Boghossian 教授の研究では、生細胞などの生物学的な構造体と人工的なナノ材料との融合に注力している。このような「ナノバイオニック」な技術は、生物界と非生物界のそれぞれの強みを組み合わせるものだ。同教授の研究グループは、驚異的な機械的・光学的特性を有する筒状炭素原子の単層カーボン・ナノチューブ(SWCNTs)のナノ材料アプリケーションの開発に長年にわたり取り組んでいる。

SWCNTs のこれらの特性は、ナノバイオテクノロジー分野での様々な新規アプリケーションに最適なものとなっている。例えば、哺乳類の細胞に SWCNTs を挿入し、近赤外線撮像によりその代謝作用を観察することができる。哺乳類細胞への SWCNTs の挿入は細胞内の標的に治療薬を送達する新技術にもつながっており、植物細胞ではゲノム編集に利用されている。また、生体マウスで体内深部の生体組織を画像化する SWCNTs の機能も実証されている。

細菌中の蛍光性ナノチューブ: 初の試み

Nature Nanotechnology 誌に発表された本研究の論文では、Boghossian 教授の研究グループと国際共同研究者らは、正電荷を帯びたタンパク質で SWCNTs を「装飾」し、バクテリアの外膜の負電荷がそれを引き付け、SWCNTs を自発的に取り込むようにバクテリアを「説得」することに成功したと説明する。同研究で利用した 2 種類のバクテリアはシネコシスティス(*Synechocystis*)とネンジュモ(*Nostoc*)で、シアノバクテリア(藍色細菌)門(Cyanobacteria phylum)に属する膨大な細菌群であり、植物のように光合成を通じてエネルギーを得ている。また、これらは細胞壁の薄い「グラム陰性菌(Gram-negative)」であり、「グラム陽性菌(Gram-positive)」には無い追加的な外膜を持つ。

研究者らは、受動的、距離依存的で選択的なプロセスによってシアノバクテリアが SWCNTs を取り込むことを観察した。このプロセスは、単細胞のシネコシスティスと、長く蛇のような形状の多細胞のネンジュモの細胞壁に SWCNTs を自発的に貫通させた。

次に、この成功を踏まえ、哺乳類細胞の場合と同様に、ナノチューブを用いたシアノバクテリアの画像化を試みた。「バクテリア内部のナノチューブから得られる近赤外蛍光でバクテリアを撮像する、世界で唯一のカスタム機構を作りました」と Boghossian 教授は説明する。

Boghossian 教授の研究室の元博士課程学生 Alessandra Antonucci 氏は、「ナノチューブがバクテリアの内部にあると、バクテリアの自家発光に関わらずナノチューブが明

確に可視化できます。これは、ナノチューブの波長が近赤外光であるからです。ナノチューブからは、他のナノ粒子センサーでは得られない非常にクリアで安定した信号を受信できます。従来の粒子やタンパク質の利用では画像化が難しかった細胞内の様子がナノチューブを使って見られるようになるため、期待がふくらみます。ナノチューブは自然な生体には発することのできない波長の光を放出するため、細胞内でまさに異彩を放つ存在となります」と説明する。

「受け継がれたナノバイオニクス」

研究者らは、SWCNTs を挿入したバクテリアをリアルタイムに観察し、その細胞の成長と分裂を追跡することに成功した。その結果、分裂した微生物の娘細胞に SWCNTs が共有されていることが明らかとなった。「バクテリアが分裂する際には、娘細胞がナノチューブをその特性ごと受け継ぎます」と **Boghossian** 教授は説明する。「私たちはこれを『受け継がれたナノバイオニクス』と呼んでいます。これは、例えば、義肢を装着して元来の能力以上の力を発揮できるようになること、さらに、あなたの子供達が出生時にあなた自身の特性を受け継げるようになるようなことです。私たちがバクテリアに付与した人工的な特性が、その子孫にも受け継がれています。今回初めて、受け継がれたナノバイオニクスを実証したのです」。

生きた太陽電池

Boghossian 教授グループの博士課程学生 **Melania Reggente** 氏は、「さらに興味深い点は、ナノチューブをバクテリアに挿入すると、バクテリアが光を受けて生成する電気が著しく増大することです。そのため、私たちの研究室では、これらのナノバイオニックバクテリアを生きた太陽電池で利用するアイデアについて研究を進めています」と説明する。

「生きた」太陽電池は、光合成微生物を利用した生物学的なエネルギー生産デバイスである。開発の初期段階ではあるが、進行するエネルギー危機と気候変動への取り組みに対する真の解決策となる。

「太陽光発電業界には、ある黒い秘密があるのです」と **Boghossian** 教授は言う。「太陽光発電はグリーンエネルギーですが、カーボンフットプリントが非常に高く、最も一般的な太陽光発電装置を作るだけでも CO₂ を大量に排出します。光合成の利点は、太陽エネルギーを利用することだけではなく、ネガティブカーボンフットプリントであることです。CO₂ を排出せず吸収するため、太陽エネルギー変換と炭素隔離という

2 つの課題を同時に解決します。また、この太陽電池は生きています。バクテリアは自律的に CO₂ を取り込んで自己増殖するため、工場で個別に生産する必要がありません。これは、材料科学者の夢です」。

Boghossian 教授は、異質のナノ粒子を使用せずに発電を自動的に制御する、シアノバクテリアをベースとした生きた太陽光発電装置を構想する。「実用化における目下のボトルネックは、シアノバクテリアの内部にナノチューブを大規模埋め込むコストと環境への影響です」と話す。

Boghossian 教授とその研究チームは、大規模な実用化に向けて合成生物学に期待を寄せる。「私たちの研究室では、ナノ粒子を添加せずに発電できるシアノバクテリアを生物工学的に生産する研究を実施しています。合成生物学の進歩により、シアノバクテリアの細胞を再プログラムして完全に人工的な挙動をさせることが可能になっています。まさに発電の DNA を持つバクテリアに作り変えることができるのです」。

本研究の共同研究機関：

- ・ドイツ・アルベルト・ルートヴィヒ・フライブルク大学 (University of Freiburg)
- ・スイス電子工学マイクロナノテクノロジーセンター (Swiss Center for Electronics and Microtechnology)
- ・イタリア・サレント大学 (University of Salento)
- ・ローマ・ラ・サピエンツァ大学 (Sapienza University of Rome)

資金提供機関：

スイス国立科学財団(SNSF)

訳：NEDO（担当 技術戦略研究センター）

出典：本資料は、スイス連邦工科大学ローザンヌ校(EPFL)の以下の記事を翻訳したものである。

“Nanotubes illuminate the way to living photovoltaics”

(<https://actu.epfl.ch/news/nanotubes-illuminate-the-way-to-living-photovoltaic/>)

(Reprinted with permission of École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL))