

# NEDO 海外レポート

2021.5.14.

1130

1	【ロボット・AI技術分野】 学習するカメラ（英国）	2020/10/13 公表	1
2	【バイオテクノロジー分野】 バイオマニュファクチャリングの急展開を約束する微生物の「リワイヤリング」技術（米国）	2020/11/10 公表	4
3	【新エネルギー分野（バイオマス）】 安価で効率的なバイオ燃料製造の可能性を開く新しいメンブレン(英国)	2020/11/19 公表	7
4	【バイオテクノロジー分野】 リサイクル可能な植物ベースのプラスチックボトルを実現する柑橘類の皮が原料のVTTの新FDCA技術（フィンランド）	2020/12/8 公表	10
5	【バイオテクノロジー分野】 微生物の3Dプリントでバイオマテリアルを強化（米国）	2021/2/3 公表	12
6	【バイオテクノロジー分野】 バクテリアがより強靱な防具、車輛や航空機の原料に？（米国）	2021/2/19 公表	15
7	【蓄電池・エネルギーシステム分野】 リチウムイオン電池の新しい循環型未来像達成への道筋（米国）	2021/2/25 公表	19

※ 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](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](mailto: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。

【ロボット・AI 技術分野】

仮訳

## 学習するカメラ (英国)

2020 年 10 月 13 日

被写体をその場で学習して認識するカメラを開発した  
ブリストル大学とマンチェスター大学の共同研究は、  
インテリジェントなカメラを一步前進させるかもしれない。

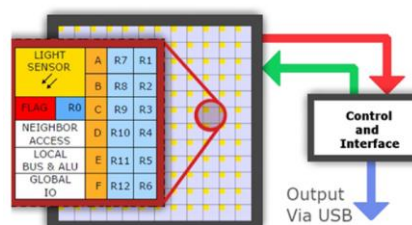
既存のシステムの感知・処理能力には課題があることは、ロボット工学・人工知能(AI)の研究者の間では周知されている。今でも視覚情報処理システムは、画像記録用に設計されたデジタルカメラのようなセンサーと、ビデオゲームの画像処理の高速化用に設計された画像処理装置(GPU)のようなコンピューティングデバイスを組み合わせているのだ。

つまり、センサーとプロセッサ間で視覚情報を記録・送信した後、AIシステムが被写体を認識する、ということだ。しかし、視界には、例えば自動運転車が走行する際の街路樹の葉の詳細など、タスクとは無関係なものも多く含まれることがよくある。現行では、これら全ての情報をセンサーが細部詳細まで捉え、タスクとは無関係なデータがシステムを詰まらせるので、エネルギーと処理時間を浪費する。インテリジェントな機械の効率性を実現するには、別のアプローチが必要だ。

ブリストル大学とマンチェスター大学は共同研究で2つの論文を発表し、センシングと学習を組み合わせたAIシステム用の新しいカメラの作製を提示した。

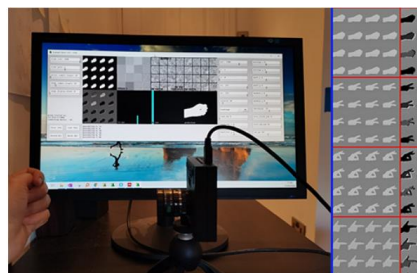


SCAMP-5d 視覚情報処理システム  
画像クレジット: *The University of Manchester, 2020.*



SCAMP-5d のハードウェアアーキテクチャ。  
256x256PPA 配列のピクセルプロセッサを  
内蔵。各ピクセルプロセッサには光センサ  
ー、ローカルメモリレジスタ、その他機能コン  
ポーネントが含まれる。画像クレジット: *The  
University of Manchester, 2020.*

「効率的な知覚システムを作製するためには、私たちがこれまで行ってきた方法を超え、限界を押し上げる必要があります。」と、ブリストル大学のロボット工学・コンピュータービジョン・モバイルシステム専門の教授で、研究室主宰者(PI)のWalterio Mayol-Cuevas氏は言う。



SCAMP-5D ビジョンシステム上の畳み込みニューラルネットワーク(CNN)。手のジェスチャーを 8,200 フレーム/秒で分類。

「自然のシステムが視界を処理する方法から、着想を得ることができます。私たちはすべてを認識しているわけではありません。眼と脳が協働して物体を認識しており、場合によっては無関係な物体を低減する脳の働きを、眼がサポートしているのです。」

このことは、画像を検出した時点で直接ハエのような物体を確定する、カエルの眼の検出機能が実証している。

ブリストル大学のDr Laurie Bose 氏が一方を、Yanan Liu 氏がもう一方を率いた両論文は、この目標に向け、2つの改良点を明らかにした。視覚認識を可能にするAIアルゴリズムの一つである畳み込みニューラルネットワーク(CNN)を、直接像平面で実行したのだ。研究チームが開発したCNNは、これらの画像の記録や、処理パイプラインへの送信が不要で、毎秒何千回のフレーム分類が可能だ。研究者たちは、手書きの数字、手のジェスチャーやプランクトンまでも分類する実証も検討した。

本研究は、カメラの目の前の物体の種類や、起こっている事象等の高レベルな情報をシステム全体に伝える視覚システムを有する、インテリジェントなAIカメラがある未来を提案する。新アプローチは画像記録が不要なため、システムははるかに効率的で安定する。

本研究は、マンチェスター大学で回路・システム・PIが専門の教授、Piotr Dudek氏と、彼の研究チームが開発したSCAMPアーキテクチャにより実現した。SCAMPとは、ピクセルプロセッサアレイ(PPA)と称する、カメラプロセッサチップだ。PPAは、超並列処理を実行するために、相互に通信するプロセッサが各ピクセルに埋め込まれている。これは、CNNと視覚アルゴリズムには理想的だ。

「センシング、プロセッシングとメモリをピクセルレベルで統合することで、高性能で低レイテンシのシステムのみならず、低電力で高効率のハードウェアの可能性が見込めます。」と、Dudek教授は言う。

「SCAMPデバイスは、既存のカメラセンサーと同様の実装面積で実行でき、画像を捉えたその場で汎用的な超並列処理を実行する性能を備えています。」

ブリストル大学の飛行力学上級講師で、本プロジェクトメンバーのTom Richardson博士は、SCAMPアーキテクチャを軽量のドローンと統合している。

「これらのカメラの素晴らしいところは、新しい機械学習能力のみならず、作動速度と軽量の構成です。」と、同氏は言う。

「これらは、文字通りその場で学習して飛行でき、高速で高機敏性の航空プラットフォームには最適です!」

本研究には、英国工学・物理科学研究会議(EPSRC)が資金を提供しており、AIシステム的设计時には、存在する様々な疑問を投げかけることが重要であることを示した。また、カメラのような、しばしば当たり前とされているものには、より効率的なインテリジェント・マシンの実現目標に向けた改善が可能で、また改善すべきである。

## 論文

'Fully embedding fast convolutional networks on pixel processor arrays' by Laurie Bose, Jianing Chen, Stephen J. Carey, Piotr Dudek and Walterio Mayol-Cuevas presented at the European Conference on Computer Vision (ECCV) 2020

'High-speed Light-weight CNN Inference via strided convolutions on a pixel processor array' by Yanan Liu, Laurie Bose, Jianing Chen, Stephen J. Carey, Piotr Dudek, Walterio Mayol-Cuevas presented at the British Machine Vision Conference (BMVC) 2020

翻訳：NEDO（担当 技術戦略研究センター）

出典：本資料は、ブリストル大学の以下の記事を翻訳したものである。

“Cameras that can learn”

(<https://www.bristol.ac.uk/news/2020/october/scamp.html>)

(Reprinted with permission of the University of Bristol.)

【バイオテクノロジー分野】

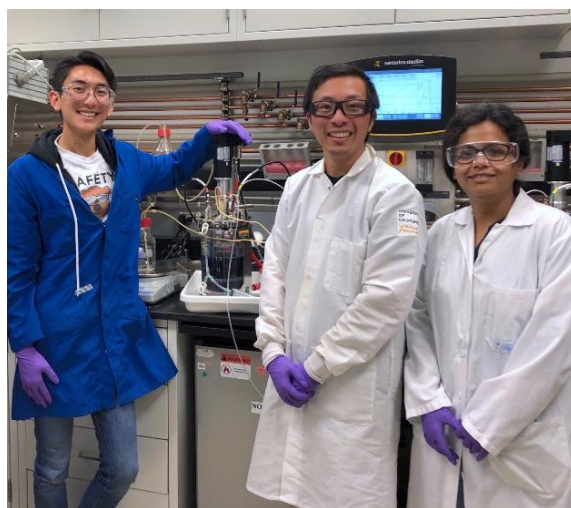
仮訳

バイオマニュファクチャリングの急展開を約束する微生物の

「リワイヤリング」技術（米国）

微生物の代謝プロセスを変化させる新アプローチが、  
革新的なバイオ燃料、材料、化学物質の生産を加速

2020年11月10日



本研究の著者(左から) Andrew K. Lau 氏、Thomas Eng 氏、Deepanwita Banerjee 氏。濃い青色の液体が生じるインジゴイジン生成する、*P. putida* 細胞を含んだ 2 リットルのバイオリアクターの前にて。2019 年 7 月に JBEI で撮影。クレジット: Berkeley Lab

ローレンスバークレー国立研究所(LBNL)の研究者らは、コンピューター・モデルと CRISPRベースのゲノム編集を利用し、微生物を改変して有用な化合物を効率的に生成するという、前例のない成功を成し遂げた。

このアプローチは、新規のバイオマニュファクチャリングプロセスのR&Dフェーズを飛躍的に加速させ、サステナブルな燃料やプラスチック代替品等の最先端のバイオベース製品のより迅速な商業化が期待できる。

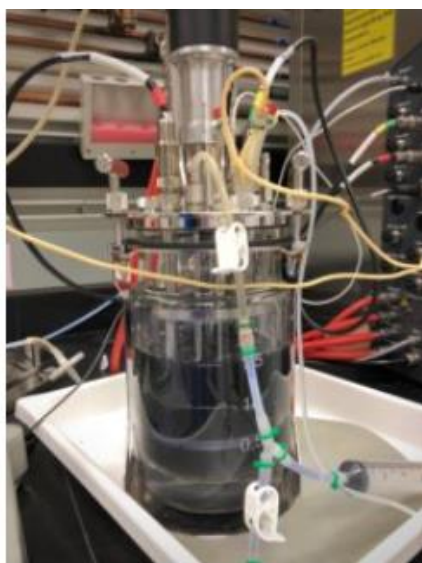
同プロセスでは、実際の実験データをベースにしたコンピューター・アルゴリズムを利用しており、「宿主」微生物中のどの遺伝子をオフすれば、その生物のエネルギーを、通

常の代謝経路ではなく、目的化合物の大量生産に向けることができるか特定する。

現在、この分野の多くの科学者は、遺伝子改変の改善の特定に、アドホックで試行錯誤的な実験に依存している。また、バイオマニュファクチャリングプロセスで非ネイティブの化合物（ホストゲノムに遺伝子を挿入して生成した化合物）の生成に利用する微生物の大半は、一定の成長段階に達した後のみ、大量の目的化合物を生成するので、微生物を培養している間にエネルギーを浪費するという緩慢なプロセスが生じる。

研究チームの最新式の代謝リワイヤリングプロセス、「product/substrate pairing」技術では、微生物の代謝全てが常に化合物の生成に関係している。

研究チームは、「product/substrate pairing」技術を試験するために、有望で新たなホスト微生物であるシュードモナス・プチダという土壌微生物に、青色色素のインジゴイジンを生成する遺伝子を持たせる実験を行った。科学者らは、63種類のリワイヤリングパターンについて評価し、好ましいホスト特性結果を体系的に評価するワークフローを利用して、そのうち実験上現実的なものは1種類しかないことを特定した。その後、コンピューターの予測に従い、CRISPR干渉(CRISPRi)で14個の遺伝子の発現をブロックした。



インジゴイジンを常に生成するために代謝リワイヤリングを行う、*P. putida* 培養物を含んだ2リットルのバイオリアクター。

「このように複数の遺伝子を同時にターゲットにしたところ、この株が非常に大量のインジゴイジンを生成したので、私たちは喜びました。」と、共著者で、LBNLが管理する [Joint BioEnergy Institute \(JBEI\)](#) のポストドク研究員である [Deepanwita Banerjee](#) 氏は言う。「現行の標準的な代謝リワイヤリングでは、一度に複数の遺伝子をターゲットにするのではなく、一度につき一個の遺伝子を入念に処理しています。」と、同氏は言い、本論文以前には、代謝工学の分野でノックダウンに六つの遺伝子をターゲットとした研究は一つしかなかったことに言及した。「私たちは、強力なCRISPRiベースのアプローチを利用して、同時改変の上限を大幅に引き上げました。これにより、多量の遺伝子改変を必要とする場合でも、真に変革的なアウトプットを導くことから、バイオマニュファクチャリング分野でのコンピューターによる最適化手法の利用の可能性が開かれました。」

『product/substrate pairing』技術により、合理的に設計したプロセスで商業規模のバ

イオマニュファクチャリングプロセスの開発に要する時間を大幅に短縮できると考えています。実験ノートの段階からパイロットプラントの段階まで約5~10年かかった、アルテミシニン(抗マラリア薬)や1,3-ブタンジオール(プラスチック作製に利用する化学物質)の開発に費やした研究年数やマンパワーのことを考えると、気が遠くなります。バイオエコノミーの未来を現実にするためには、研究開発の時間スケールを飛躍的に短縮することが必要です。」と、共同主執筆者でJBEIのリサーチ・サイエンティストのThomas Eng氏は言う。

LBNLで研究中の目的化合物の例としては、有望なバイオ燃料であるイソペンテノール、難燃材料の成分や、ナイロン前駆体のような産業で使用されている石油由来の出発分子の代替化合物などがある。バイオバイオマニュファクチャリングは、最先端の医薬品の製造にも広く利用されている。

研究室の主宰者(PI)のAindrila Mukhopadhyay氏は、研究チームの成功は学際的なアプローチによるものだと言う。「本研究には、綿密な計算モデリングと最先端の遺伝学が必要であっただけでなく、私たちのプロセスがより高い生産規模で望ましい特徴を保持することを実証するために、Advanced Biofuels and Bioproducts Process Development Unit (ABPDU) の共同研究者たちにも協力していただきました。」と、JBEIのバイオ燃料・バイオ製品部門の副社長兼ホストエンジニアリンググループのディレクターであるMukhopadhyay氏は言う。「また、米国エネルギー省 (DOE) のJoint Genome Institute(JGI)とも協力して、菌株の特性を明らかにしました。当然ながら、私たちは、本研究で得た進歩に関する経済的価値を検証し、この劇的なリワイヤリング技術の特徴をさらに探求すべく、将来的にも多くのこのような共同研究を期待しています。」

本研究は、DOEの科学局が支援した。DOEのJoint Genome Instituteは、LBNLにあるDOE科学局ユーザー施設である。

翻訳：NEDO（担当 技術戦略研究センター）

出典：本資料は、ローレンスバークレー国立研究所(LBNL)の以下の記事を翻訳したものである。

“Microbe “Rewiring” Technique Promises a Boom in Biomanufacturing”  
(<https://newscenter.lbl.gov/2020/11/10/microbe-rewiring-biomanufacturing/>)

【新エネルギー分野(バイオマス)】

仮訳

安価で効率的なバイオ燃料製造の可能性を開く新しいメンブレン (英国)

2020年11月19日



科学者たちは、輸送で化石燃料に代わるコスト効率の高いバイオ燃料抽出法を開発した。

再生可能な有機物から作るバイオ燃料は、航空・輸送産業で化石燃料に代わるグリーンな代替燃料として大きな可能性を有している。しかし、これまで輸送や発電で商業利用されてはいるが、石油系燃料の約2倍と高価格なため、現在大規模な利用には至っていない。

バイオ燃料は、バイオマスの発酵を通じた燃料グレードのバイオブタノールを抽出する従来の変換プロセスがエネルギー集約的で低収率なため、石油やディーゼル燃料より高価だ。

この度、インペリアル・カレッジ・ロンドンのLivingston 研究室は、バイオ燃料の製造方法を大改革する可能性のある新しい解決策を開発し、航空・輸送産業におけるバイオ燃料の広範な利用に道を開いた。

同研究室は、bp(The British Petroleum Company plc)と共同で、従来プロセスの25%を下回るエネルギー量で、99.5%以上の純度のバイオ燃料を従来の10倍多く製造する膜ベースの抽出システムを開発した。

本研究は「Energy & Environmental Science」誌に掲載されている。

「バイオ燃料は高価なため、通常は石油やディーゼル燃料と混合して『さらに進化』させます。私たちの新技術は、バイオ燃料のコスト削減に貢献し、最終的には航空・輸送産業で化石燃料を代替できる可能性があります。これは環境にとってさらに良いことであり、皆で取り組んでいます。」と、本論文主執筆者であるインペリアル・カレッジ・ロンドンの化学工学科教授のAndrew Livingston氏は言う。



## 超薄膜

一般的にバイオ燃料は、炭素排出量を削減し、気候変動への影響を緩和する上で、重要な役割を担うとされている。バイオ燃料は、生成時に使用するバイオマスの種類のため、バイオディーゼルに比べ、CO<sub>2</sub>と微粒子の正味排出量を最大80%削減でき、よりサステナブルだ。

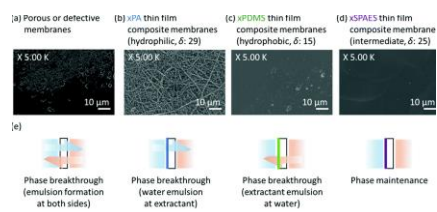
バイオ燃料は、バイオマスの廃棄物を発酵させ、抽出溶媒を使用して発酵液から燃料を回収して製造する。しかし、バイオ燃料も抽出溶媒も発酵液中に必須な微生物に対して有害なため、燃料製造が阻害され、エネルギー消費量が増加する。

インペリアル・カレッジ・ロンドンの同研究室では、数種類の薄膜複合メンブレンの性能を調査し、抽出溶媒と水の移動をブロックしてバイオ燃料のみを移動させるものを特定した。その結果、これが微生物を保護して燃料製造を継続させ、従来技術の10倍の生産性を達成させることが分かった。

研究者らは、最適な移動条件をさらに微調整するために、同メンブレンを3種類の抽出溶媒と組み合わせて試験した。そして、2-エチル-1-ヘキサノール抽出溶媒が5倍速い回収率を提示し、同プロセスのエネルギー使用量が従来の回収システムの1/4以下に低減することを見出した。

「この超薄膜と高効率の抽出溶媒を組み合わせることで、バイオ燃料の生産コストが大幅に削減でき、これはバイオ燃料全体のコスト低減への重要なステップです。」と、共著者で化学工学科リサーチ・アソシエートの Ji Hoon Kim 氏は言う。

## サステナブルな選択肢



バイオ燃料は、環境への影響がより少ないことに加え、電池のような他の再生可能エネルギー技術の航空や長距離輸送での利用に障壁となっているエネルギー容量や貯蔵の課題にも対処できる。

## 様々な種類のバイオ燃料メンブレン

低エタノール配合のバイオ燃料のもう1つの利点は、従来型の燃焼エンジンの大部分がこの種の燃料を使用できるようにすでに装備されていることである。しかし、商業用に大量導入するには、コスト面でより魅力的にしなければならないという課題も残る。

## 次のステップ

現在、Livingston研究室では、研究成果の予備研究もしくは大規模研究を実施して同技術を検証し、メンブレンの調整と固定化した微生物による連続回収により、同技術をさらに高度化させることを目指している。

本研究には、bp International Centre for Advanced Materials (bp ICAM)が資金を提供した。

Ji Hoon Kim氏、Marcus Cook氏、Ludmila Peeva氏、Jet Yeo氏、Leslie W. Bolton氏、Young Moo Lee氏、Andrew G. Livingston氏共著 “Low energy intensity production of fuel-grade bio-butanol enabled by membrane-based extraction” は、2020年10月24日発行の「Energy & Environmental Science」誌に掲載された。

メイン画像提供：Shutterstock

本文中画像提供：Livingston Group, Imperial College London

翻訳：NEDO（担当 技術戦略研究センター）

出典：本資料は、インペリアル・カレッジ・ロンドンの以下の記事を翻訳したものである。

“New membrane could pave way for cheap, efficiently made biofuels”

(<https://www.imperial.ac.uk/news/209053/new-membrane-could-pave-cheap-efficiently/>)

(Reprinted with permission of the Imperial College London.)

【バイオテクノロジー分野】

仮訳

## リサイクル可能な植物ベースのプラスチックボトルを実現する

### 柑橘類の皮が原料のVTTの新FDCA技術（フィンランド）

2020年12月8日



化石燃料由来のプラスチックから再生可能なバイオプラスチックへの転換には、新しい効率的な方法が必要だ。フィンランド技術研究センター(VTT)が開発した新技術により、柑橘類の果皮やテンサイのパルプ(ビートパルプ)等のペクチンを含有する農業廃棄物をバイオベースのPEF(ポリエチレンフラネート)の原料として利用し、化石燃料由来のPET(ポリエチレンテレフタレート)の代替が可能になった。プラスチックボトルの原料をPETからPEFポリマーに代替すれば、カーボンフットプリントは50%削減でき、食品の保存期間の延長も見込める。

「近い将来、オレンジの皮で作ったボトルに入ったオレンジジュースの購入が可能となるかもしれません。VTTの新技術は、温暖化ガスの排出を削減しながら、食品廃棄物群を高機能食品パッケージング材料に活用する循環型アプローチを提供します。」と、VTTの実務教授(Professor of Practice) Holger Pöhler氏は言う。

PET(ポリエチレンテレフタレート)やその他のポリエステルは、食品パッケージング、プラスチックボトルやテキスタイルなど、幅広く利用されている。PET製品の年間生産量は3千万トンと推定される。植物ベースのPEF(ポリエチレンフラネート)ポリマーで化石燃料由来のPETを代替すれば、それらの製品のカーボンフットプリントを50%削減できる。

さらに、PEFプラスチックのバリア性は、PETよりも優れるため、食品の保存期間もより長くなる。PEFは完全にリサイクルできる再生可能な高機能プラスチックだ。そのため、廃棄物の排出量低減と環境へのプラスの影響の可能性が開く。

VTTの技術は、バイオベースのPEFプラスチックの製造には大きな利点がある。本技術はPEFのモノマーの一つであるFDCA(2,5-フランジカルボン酸)の製造の安定した中間

体を利用し、高効率なプロセスを可能にする。加えて、ペクチンを含む廃棄物群の利用により、プラスチックの循環経済に新たな可能性が広がる。

本技術は、研究室からパイロットスケールへの VTT 独自のスケールアップインフラにより、ポリマー製造業がフルスケール生産へとスムーズに移行できる技術成熟度の確実な達成を可能にする。

VTT は本技術の特許を取得しており、本研究論文、「A unique pathway to platform chemicals: aldaric acids as stable intermediates for the synthesis of furandicarboxylic acid esters」は、2020 年 12 月 7 日発行の科学ジャーナル「Green Chemistry」誌に掲載された。



連絡先：

**Holger Pöhler**

Professor of Practice

+358 40 1374003

[holger.pohler@vtt.fi](mailto:holger.pohler@vtt.fi)

**Sari Rautiainen**

Senior Scientist

+358 40 1802972

[sari.rautiainen@vtt.fi](mailto:sari.rautiainen@vtt.fi)

翻訳：NEDO（担当 技術戦略研究センター）

出典：本資料は、フィンランド技術研究センター(VTT)の以下の記事を翻訳したものである。

“Plant-based and recyclable plastic bottles now enabled with VTT’s new FDCA technology using citrus peel as raw material”

<https://www.vttresearch.com/en/news-and-ideas/plant-based-and-recyclable-plastic-bottles-now-enabled-vtts-new-fdca-technology>

【バイオテクノロジー分野】

仮訳

## 微生物の3Dプリントでバイオマテリアルを強化（米国）

2021年2月3日



LLNL の研究者たちは、LLNL が開発した SLAM 3D プリンターの LED 光を使って、3D 構造体中に微生物を「捕獲」した。投影型光造形装置は、ヒトの細胞の直径の薄さに近い 18 ミクロンオーダーの高解像度でプリントできる。画像提供：Thomas Reason/LLNL によるイラスト。

ローレンス・リバモア国立研究所 (LLNL) の科学者たちが、制御されたパターンで生きた微生物を 3D プリントで作製する新しい方法を開発した。希土類金属の回収、排水の浄化やウラン鉱床の検出等に遺伝子組み換え微生物群を利用できる可能性が期待できる。

研究チームは、光と微生物を含んだ樹脂を使って 3D パターンの微生物を作製する新技術で、自然界に広く存在する微生物群集の薄層に類似した人工バイオフィルムの 3D プリントに成功した。微生物を感光性バイオレジンに懸濁させ、LLNL が開発した SLAM(Stereolithographic Apparatus for Microbial Bioprinting: 光造形法による微生物バイオプリンティング) 3D プリンターの LED 光を用いて、3D 構造体中に微生物を「捕獲」した。投影型光造形装置は、ヒトの細胞の直径の薄さに近い 18 ミクロンオーダーの高解像度でプリントできる。

『Nano Letters』誌にオンライン掲載された本論文中で、新技術が構造を明確化した微生物群集の設計で効果的に利用できることを証明した。ウランのバイオセンシングと希土類のバイオマイニングアプリケーションでの 3D プリントバイオフィルムの適用性を実証し、その構造が微生物の挙動にどのような影響を及ぼすかについて示した。

「私たちは 3D 微生物培養の先端技術を推進しようとしています。」と、研究室の主宰者 (PI) で LLNL のバイオエンジニアの William “Rick” Hynes 氏は言う。「この分野はまだ十分には検討されておらず、その重要性はまだあまり理解されていません。私たちは、複雑な形状でも高度に制御された条件下での微生物の挙動をより詳しく調査するための、ツ

ールと技術の開発に取り組んでいます。微生物集団の 3D 構造を十分に制御する応用アプローチにアクセスし、強化することで、微生物集団の相互作用に直接影響を与え、バイオ製造生産プロセスのシステム性能を改善することができるでしょう。」

微生物の挙動は、一見単純そうに見えるが、実は極めて複雑であり、微生物群集の構成員の形状構成など、その環境の時間的・空間的要因により挙動する、と Hynes 氏は言う。また、Hynes 氏によると、微生物の構造は、いつどのように増殖するか、何を食べるか、どのように協力するか、競合相手からどのように防御するか、どのような分子を生成するか、などといった挙動に、影響を与えるという。

バイオフィルムを実験室で製造する従来の方法では、フィルム内の微生物の構成を制御することがほとんどできなかつたため、自然界の微生物集団に見られる複雑な相互作用を完全に理解するには限界があった、と Hynes 氏は言う。LLNL の科学者たちは、微生物を 3D バイオプリントすることで、自然界における微生物の機能のより正確な観察や、「電子を食べる」細菌 (エレクトロトロフ) がオフピーク時に余剰電力を変換してバイオ燃料やバイオ化学物質を生成する、微生物電気合成といった技術を研究できるようになる。

現在は、電極(通常はワイヤまたは 2D 表面)と微生物間のインターフェースが非効率的であるため、微生物電気合成には限界がある、と Hynes 氏は言う。微生物を導電性材料と組み合わせたデバイスに 3D プリントすることで、大幅に拡張・強化された電極-微生物インターフェースを備えた高導電性のバイオマテリアルが得られるので、はるかに効率的な電気合成システムが実現する。

バイオフィルムは、炭化水素の修復、クリティカルメタルの回収、船舶に付着したフジツボの除去や様々な自然・人工化学物質のバイオセンサー等で使用されており、産業界での関心は高まっている。希土類金属を抽出してウラン堆積物を検出するために、バクテリア、カウロバクター・クレセンタス(*Caulobacter crescentus*)を遺伝子操作した LLNL の合成生物学の能力に基づき、LLNL の研究者は最新の論文で、微生物機能に関するバイオプリンティング形状の効果を調査した。

研究者らは、一連の実験で、バイオプリントした異なるパターンでの希土類金属の回収を比較し、3D グリッドでプリントした細胞が、従来のバルクハイドロゲルよりはるかに速く金属イオンを吸収できることを示した。研究チームはまた、生きたウランセンサーをプリントし、制御したプリントと比較した場合に、人為的に作製した細菌の蛍光が増加するのを観察した。

「微生物の機能と物質移動特性を強化した効果的なバイオマテリアルの開発は、多くのバイオアプリケーションに重要な意味を持ちます。」と、共著者で LLNL の微生物学者の Yongqin Jiao 氏は言う。「新しいバイオプリンティングプラットフォームは、最適化した形状でのシステム性能とスケーラビリティを改善するだけでなく、細胞の生存を維持し、長期保存を可能にします。」

LLNL の研究者らは、より複雑な 3D 格子構造と、より優れたプリンティングやバイオ機能を備えた新しいバイオレジンの開発に取り組んでいる。微生物の電気合成アプリケーションにおける生産効率を向上させるために、電子を輸送してエレクトロトロフに電子を与えるカーボンナノチューブやハイドロゲルのような導電性材料を検討している。また、栄養素や生成物のシステムへの大量輸送に向けたバイオプリント電極形状の最適化の方法も検討している。

「私たちは、微生物の挙動を支配する構造の仕組みを理解し始めたばかりです。この技術はその第一歩です。」と、LLNL のバイオエンジニアで共著者でもある Monica Moya 氏は言う。「より高度な機能に向けて微生物と物理化学的な環境の両方を操作することには、バイオ製造、修復、バイオセンシング/検出、さらには遺伝子組み換え生体物質（自律的にパターン化され、自己修復や環境を感知/応答できる材料）の開発を含む、幅広いアプリケーションがあります。」

本研究は、米国エネルギー省(DOE)の Laboratory Directed Research and Development (LDRD)プログラムが資金を提供した。

共著者には、LLNL の科学者でエンジニアの Karen Dubbin 氏、Ziye Dong 氏、Dan Park 氏、Javier Alvarado 氏、Jimmy Su 氏、Elisa Wasson 氏、Claire Robertson 氏、Julie Jackson 氏、そしてワシントン大学セントルイス校の Arpita Bose 氏がいる。

翻訳：NEDO（担当 技術戦略研究センター）

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

“Lab 3D-prints microbes to enhance biomaterials”

(<https://www.llnl.gov/news/lab-3d-prints-microbes-enhance-biomaterials>)

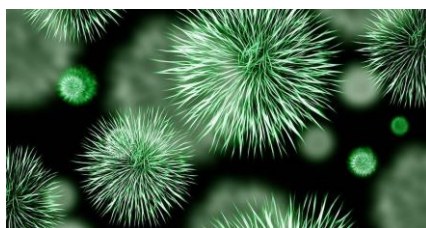
【バイオテクノロジー分野】

仮訳

細菌がより強靱な防具、車輻や航空機の原料に？（米国）

USCの研究者らが、生きた細胞を利用した、強靱、高耐性で弾力性のある素材を開発

2021年2月19日



細菌。画像提供：PIXABAY 今までは、生体系は生きた細胞を成長や再生に利用できるが、工学系にはそれができない、とされていた。

Qiming Wang氏と南カリフォルニア大学(USC) Viterbi School of Engineering の研究者らは、生きた細菌を利用して、強靱、高耐性で弾力性のある工業材料を作製した。本研究は、「Advanced Materials」誌に掲載されている。

「私たちが作製する材料は、生きており、自己成長しています。」と、同校土木環境工学の Stephen Schrank Early Career Chair で、Sonny Astani Department of Civil and Environmental Engineering (CEE) の土木環境工学アシスタント・プロフェッサーである Wang 氏は言う。「人類は何世紀もの間、特に微細な構造の観察用に顕微鏡が発明されて以来、天然材料の高度な微細構造に驚かされてきました。今、私たちは、生きた細胞をツールとして利用して、人工的合成が不可能な驚くべき構造を直接成長させるという、重要な一歩を踏み出しました。」

研究者らは、ウレアーゼと呼ばれる酵素を分泌することで知られる特定の細菌、*S.パステウリ*を利用した。ウレアーゼは、尿素とカルシウムイオンに晒されると、骨や歯を構成する基礎的で強靱な無機鉱物である炭酸カルシウムを生成する。「私たちの研究の主要なイノベーションは」と、Wang 氏は言う。「細菌に炭酸カルシウム鉱物を成長させて、自然の無機化複合材料に類似した規則的な微細構造を構築することです。」



さらに Wang 氏は言う。「細菌は、時間やエネルギーを節約して合成する方法を知っています。細菌には独自のインテリジェンスがあり、そのスマートさを活用して、完全な合成材料を超える、優れた特性を備えたハイブリッド材料を設計することができます。」

自然からインスピレーションを得ることは、工学分野では新しいことではない。自然界には、例えば真珠層や軟体動物の硬い殻など、強靱、耐破壊性、エネルギーの制動性を備えた複雑な無機化複合物質の素晴らしい例が存在する。

「細菌、真菌、ウイルスなどの微生物は、COVID-19 のような病気の原因として有害なこともあります。有益な場合もあります。私たちには微生物を生産工場として利用してきた長い歴史があります。例えば、ビールを造るには酵母を使います。しかし、工業材料の製造に微生物を利用する研究は少ないのです。」と、Wang 氏は言う。

この生きた新材料は、生きた細胞と合成材料を組み合わせることで、従来のどの天然・合成の両材料よりも優れた機械的特性を示す、と Wang 氏は言う。これは主に、無機物の多数の層が多様な角度で重なり合っ、ある種の「ねじれ」すなわち、らせん形状を形成する、この材料のブリーガンド構造によるものだ。この構造の人工的な合成は難しい。

Wang 氏は、USC Viterbi の研究者 An Xin 氏、Yipin Su 氏、Minliang Yan 氏、Kunhao Yu 氏、Zhangzhengrong Feng 氏、Kyung Hoon Lee 氏と共同研究を行った。カリフォルニア大学アーバイン校土木工学教授の Lizhi Sun 氏と、同教授の学生である Shengwei Feng 氏も、研究を支援した。

### 格子構造には何が入っているのか？

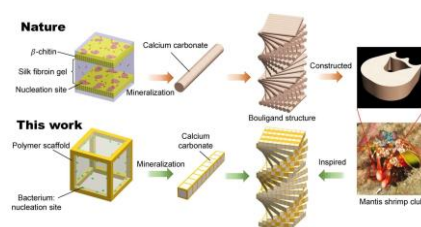


図 1: USC Viterbi の研究者が作製した生きた材料は、自然界に多く存在する強靱、高耐久性でエネルギーを減衰する材料に見られるブリーガンド構造を模倣している。画像提供: QIMING WANG

Wang 氏によると、無機化複合物質の主要な特性の一つは、異なる構造やパターンに従うように操作できることだという。研究者たちは以前、シャコが、「ハンマー」を使って筋

肉の殻を割る能力を発見した。クラブのような構造のシャコの手である「ハンマー」をさらに詳しく見ると、それがブーリガンド構造に配列していることがわかった(図 1 参照)。この構造は、材料の格子構造を各層で 90 度交互に配置するなど、均一な角度で配置したものよりも、優れた強度を有する。

「このような構造を合成することは、この分野では極めて難しいことです。」と、Wang 氏は言う。「そこで私たちは、代わりに細菌を使って同様の効果を得ることを提案しました。」

研究者たちは、新材料を作るために、格子構造や足場を 3D プリントした。この構造の中には四角形の空洞があり、格子層は多様な角度で配置され、らせん形状の足場を形成する。(下記 YouTube ビデオ参照)

次に、同構造に細菌を導入する。細菌は本質的に表面に付着することを好むので、足場に引き寄せられ、「脚」を使って材料をつかむ。そこで細菌は、炭酸カルシウム結晶を生成する酵素である、ウレアーゼを分泌する。これらは表面で成長し、最終的には 3D プリントされた格子構造の小さな正方形の全空間を満たす。Wang 氏によると、細菌は多孔質の表面を好むので、無機物を利用して多様なパターンを作製できるという。

YouTube ビデオは[こちらから](#)

## トライフェクタ

「私たちは、この構造物の強度が極めて高いことを示すため、機械的試験を行いました。また、亀裂伝播、すなわち破砕にも耐え、材料内のエネルギーを減衰または消散させることができました。」と、CEE の博士課程の学生である An Xin 氏は言う。

既存の材料は、並外れた強度、耐破壊性やエネルギー消散を有しているが、3つの要素すべての組み合わせが、Wang 氏と研究チームが作製した新材料ほどうまく機能することは実証されていない。

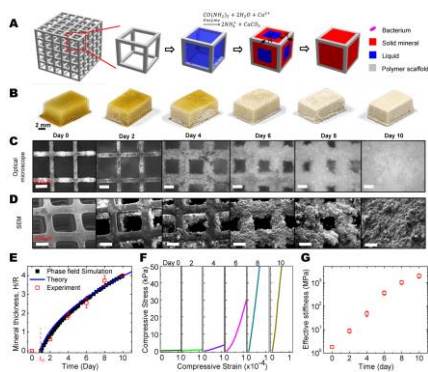


図 2: 細菌を 3D 印刷バルク材料に導入する。S. パステウリ細菌により分泌された酵素のウレアーゼの化学反応により、無機鉱物が生成され、時間とともに厚くなり、強靱、高耐久性で弾力性のある新しい生き材料を作製する。

画像提供: QIMING WANG

「興味深いことに、新材料はまだ自己成長する性質を保っています。」と、Wang は言う。「これらの材料に損傷があった場合、細菌を導入して材料を修復することができます。例えば、橋に使えば、必要に応じて損傷を修復することができるのです。」

本研究には、米国空軍研究所(AFOSR)および米国立科学財団(NSF)が資金を提供した。

記事執筆者: Avni Shah

翻訳: NEDO (担当 技術戦略研究センター)

出典: 本資料は、南カリフォルニア大学(USC)の以下の記事を翻訳したものである。

“Can Bacteria Make Stronger Armor, Cars and Airplanes?”

(<https://viterbischool.usc.edu/news/2021/02/can-bacteria-make-stronger-armor-cars-and-airplanes/>)

(Reprinted with permission of the University of Southern California Viterbi.)

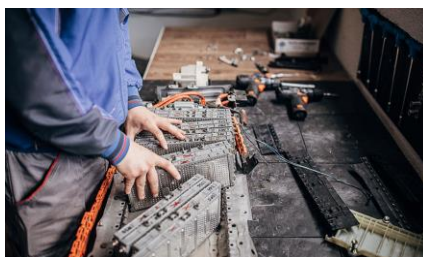
【蓄電池・エネルギーシステム分野】

仮訳

リチウムイオン電池の新しい循環型未来像達成への道筋（米国）

NRELが、リチウムイオン電池エネルギー貯蔵材料の循環型経済の実現に  
影響を及ぼす既存の政策や規制を分析

2021年2月25日



電気自動車から廃棄されるリチウムイオン電池は、2040年までに毎年合計400万トン、ボーイング747型機約22,000台分の重量の電子廃棄物となる可能性があり、この懸念が、再利用やリサイクルの選択肢へ関心を寄せている。画像提供:iStock

リチウムイオン電池は、エネルギー貯蔵や電気自動車(EV)での使用で需要が高まり、技術イノベーションや低コスト化により、さらなる増大が見込まれている。

米国の消費者製品の大部分と同様、リチウムイオン電池のライフサイクルは、再利用やリサイクルを含む製品寿命管理方策への考慮を欠いた電池の製造、利用、廃棄のリニアモデルに基づいている。ある推計によると、EVの廃棄リチウムイオン電池のみで、2040年までに年間400万トン、ボーイング747型機22,000機分に近い重量に上る可能性がある。

リチウムイオン電池の生産、利用、廃棄には、新しいビジョンが必要である。NRELの主要な研究目的の一つである循環型経済への可能な道筋を特定するため、NRELのアナリストらは、関連文献のレビューと二次電池電力貯蔵の専門家へのインタビューを通じて、EVや二次電池電力貯蔵で使用される大型のリチウムイオン電池の再利用とリサイクルの状況を評価した。

リチウムイオン電池の再利用とリサイクルは、米国の市場機会の創出や拡大、サプライチェーンの安定化、環境負荷の低減や、資源制約の緩和の可能性があると、アナリストらは見込んでいる。しかし、現在、米国内にはリチウムイオン電池のリサイクル施設は1カ所のみだ。完全な調査結果は、NRELのテクニカルレポートに掲載されている。

「二次電池電力貯蔵システムからは、循環型経済にとってより多くの価値を引き出せるでしょう。」と、本プロジェクトリーダーでNRELアナリストのTaylor Curtis氏は言う。「限られた資源を1回のライフサイクルで使い果たし、廃棄物を出すのではなく、複数回にわたり材料を再利用、リサイクル、修理調整します。」

### **リチウムイオン電池の循環型経済構築を推進する、あるいは妨げる要因は何か？**

リチウムイオン電池の循環型経済構築は、製造コストの低減、追加的な収入源の創出や税制優遇が期待できる。また、新市場や拡大市場開拓による、雇用の創出も期待できる。

循環型経済は、環境に配慮した操業を通じ、企業の評価と消費者の信頼を向上させることで、市場競争力を強化する。より幅広い環境上の利点には、廃棄物、エネルギー使用量、温室効果ガスの排出量削減と、原材料の保全が含まれる。

このような要因は、米国連邦・州政府、自治体による循環型経済への投資に加え、製品、サービス、材料の再利用と回収のプロセスイノベーションへの民間投資の促進が期待できる。

しかし、技術、インフラ、プロセスが現在障壁となっている。リチウムイオン電池の設計や構造が多様であるため、コストのかかる手動プロセスを要し、貴重な材料をコスト効果的に再利用・回収するための標準化されたプロセスを設計することは難しい。

さらに、使用済みのリチウムイオン電池の状況・容量や、再利用のコストに関する信頼性の高い公開情報は限られている。アナリストらは、知識の向上と民間投資の促進に、政府出資による研究、開発、分析、インセンティブや情報交換を推奨している。

### **リチウムイオン電池の再利用にはどのような規制が適用されるか？**

規制は、消費者製品の安全性、信頼性のある電力供給、およびリチウムイオン電池の安全な取り扱い、保管、処理、再利用、リサイクル、廃棄において、重要な役割を果たしてい

る。しかし、現在のリチウムイオン電池に関する規制、規約や標準は不明瞭・複雑であり、管轄により異なっている。

NREL のアナリストらは、この調査結果に基づき、二次活用したリチウムイオン電池の設置と系統連系に影響を与えうる既存の規制を提示している。

州政府や自治体の規制は、1) 二次電池電力貯蔵システムの配電網への接続方法、2) システムを収容・接続する建物や構造物のデザイン、材料、および品質、3) グリッド接続アプリケーション用のシステム電気コンポーネント、4) システムの安全性や信頼性を決定する業界の認証基準等を管理する。これらの規制は、リチウムイオン電池の二次活用にも影響を及ぼす可能性がある。

「カリフォルニア州やニューヨーク州など一部の州では、配電網への接続要件が、特に蓄電池電力貯蔵システムに確実に適用されるよう、規則を改正しています。」と、Curtis 氏は言う。「この種のシステムを念頭に置いて配線の規制が策定されていなかったことを考えると、これは大きな進展です。」

### **リチウムイオン電池のリサイクルにはどのような規制が適用されるか？**

現在、使用済みリチウムイオン電池が廃棄物としてどのように法的に定義づけられているかは不明である。2020年7月現在、米国連邦政府の政策には二次電池電力貯蔵システムの廃止、またはリチウムイオン電池の再利用・回収を、直接義務付けたり奨励したりするものはない。

使用済みリチウムイオン電池は、ほとんどの場合、独自の規制がある有害廃棄物または一般廃棄物と見なされる。規制は管轄区域によっても異なり、違反した場合は罰金が科される場合がある。

連邦政府の有害廃棄物法は最も厳格で、有害廃棄物の発生、取り扱い、保管、処理、国内・国際輸送、および処分について規定している。リサイクル前に蓄積、保管、または処理されたリチウムイオン電池は、有害廃棄物法の対象となる可能性がある。

一部の州では、有害廃棄物に関する法律や規制に違反した場合の罰則が、連邦政府の罰則よりも厳しい場合がある。例えば、カリフォルニア州の有害廃棄物に関する法律や規制

に、故意または過失により違反した場合、違反が続くたびに、違反 1 件ごとに日最高 7 万米ドルの罰金が科される。

米国の連邦・州政府、自治体による明確で一貫したリチウムイオン電池の廃棄材料の再利用・リサイクル規制は、規制の不確実性や法的責任の懸案事項、並びに投資リスク全般の軽減が期待できる。

米国環境保護庁(EPA)は、鉛蓄電池のような特定の材料の有害廃棄物の回収・リサイクル促進に、代替的な規制管理を設置した。リチウムイオン電池についても同様の指定をすれば、法的責任の懸案事項が減り、リサイクルの経済性向上につながる可能性がある。

## 詳細情報

エネルギー材料の循環型経済への移行には、消費者から製造業者まであらゆる利害関係者に便益をもたらす幅広い協力体制、新たな政策と企業運営、そしてシステムの変革が必要である。

NREL のエネルギー材料の循環型経済に関するビジョンの動画は[こちらから](#)。

翻訳：NEDO（担当 技術戦略研究センター）

出典：本資料は、米国国立再生可能エネルギー研究所(NREL)の以下の記事を翻訳したものである。

“Pathways To Achieve New Circular Vision for Lithium-Ion Batteries”

(<https://www.nrel.gov/news/program/2021/pathways-to-achieve-new-circular-vision-for-lithium-ion-batteries.html>)