

【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>)