

NEDO 海外レポート

2022.4.28.

1133

1	【電子・情報通信分野】 高精度で不可視を可視化する新しいホログラフィックカメラ (米国)	2021/11/7 公表	1
2	【バイオテクノロジー分野】 新抗菌パッケージで食品の鮮度を維持 (シンガポール)	2021/12/28 公表	6
3	【バイオテクノロジー分野】 廃棄物で価値ある物質を作る(米国)	2022/ 1/19 公表	9
4	【新エネルギー分野 (燃料電池・水素)】 優れた効果をもたらすショートサーキット(米国)	2022/ 2/ 3 公表	16
5	【バイオテクノロジー分野】 排気ガスを有用な化学物質に変えるカーボンネガティブなプラットフォーム (米国)	2022/ 2/ 21 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。

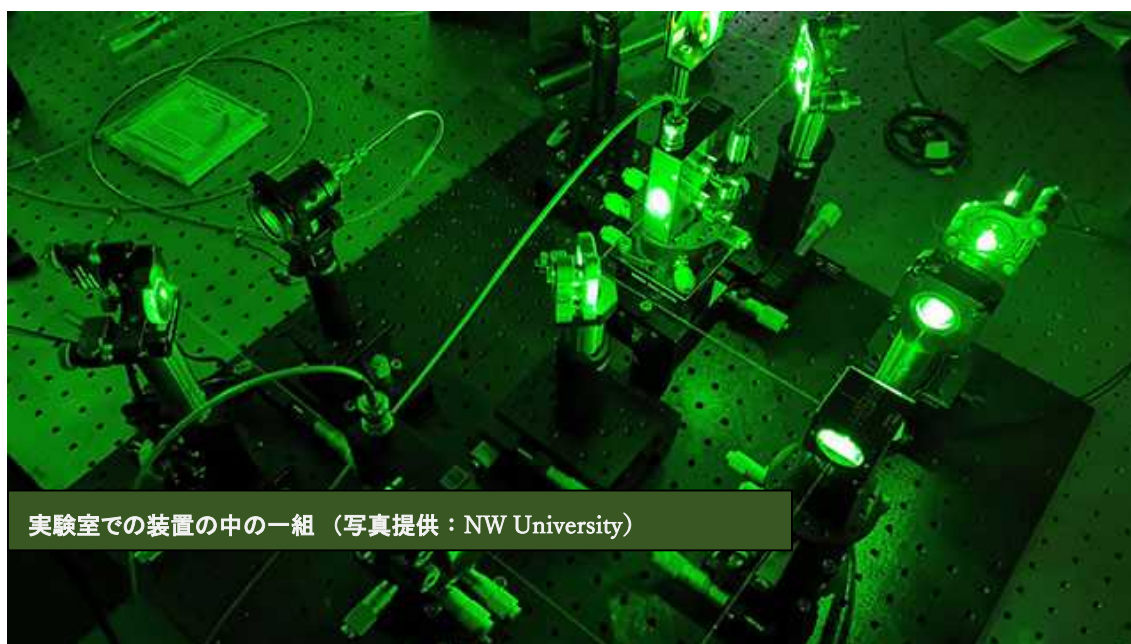
【電子・情報通信分野】

仮訳

高精度で不可視を可視化する新型ホログラフィックカメラ(米国)

このデバイスで曲がり角の先や濃霧、人体組織などの散乱媒体を通して
見えないものが見られるように

2021年11月17日/Amanda Morris 著



ノースウェスタン大学の研究者たちが、曲がり角の先や皮膚、濃霧、さらには人間の頭蓋骨のような散乱媒体を通して、見えないものを見られるようにする新型のホログラフィックカメラを開発した。

この新たな技術は合成波長ホログラフィー(Synthetic Wavelength Holography: SWH)と呼ばれ、隠れたオブジェクトに間接的にコヒーレント光を散乱させ、反射した散乱光をカメラが捉え、その光の信号をアルゴリズムが再構築してオブジェクトを復元するという仕組みだ。この技術は時間分解能が高いことから、胸部で聞こえる心臓の鼓動や街角を爆走する自動車など、高速で移動する物体の画像を撮影できる可能性もある。

本日（2021年11月17日）、学術誌『Nature Communications』に[本研究成果が掲載された](#)。

オクルージョン（閉塞物）や散乱媒体の背後にある物体を画像化する研究分野は比較的新しく、NLoS(non-line-of-sight)イメージングと呼ばれているが、同技術に比べ、ノースウェスト大学開発の SWH 技術はサブミリメートルの解像度で大きな面積の全体画像を迅速に捉えることができる。このレベルの解像度があれば、計算機カメラが皮膚を透過し、極細の毛細血管が機能している様子の画像化さえ可能となる。

また同技術は、非侵襲性の医療用イメージングや自動車用早期警戒ナビゲーションシステム、さらには密閉空間での工業検査などの分野における利用も期待できることは明らかだが、同研究者らはその応用範囲は無量大だと考えている。

本研究の筆頭著者であるノースウェスタン大学の [Florian Willomitzer](#) 氏は、「私たちの技術は、画像処理能力の新しい波を切り開きます」としたうえで、「私たちが現在試作しているセンサーは可視光や赤外線を利用していますが、原理は普遍的ですから、他の波長への拡張が可能で、例えば、同じ技法を宇宙探査用電波や水面下での音響画像処理に適用できます。応用できる分野は多いのですが、私たちが扱っているのはほんのわずかにしか過ぎません」との見解を示した。



Florian Willomitzer 氏
(画像提供：NW University)

Willomitzer 氏は、ノースウェスタン大学マコーミック工学院([McCormick School of Engineering](#))の研究準教授だ。同大学の共著者には、他にコンピュータサイエンスおよび電気・コンピュータ工学の准教授である Oliver Cossairt 氏と、博士課程の元学生である Fengqiang Li 氏がいる。ノースウェスタン大学の研究者たちは、全員が南メソジスト大学の研究員である Prasanna Rangarajan, Muralidhar Balaji, Marc Christensen 各氏と緊密に共同研究を行った。

散乱光を遮断

Willomitzer 氏によると、角を曲がったところを見るのと人体内の臓器を撮影するのは、まったく違った問題のように思えるかもしれないが、実はこの2つは密接に関係しているという。つまり、光が物体に当たって散乱し、その物体のダイレクトな像が見え

なくなるという散乱媒体を扱っているのだ。

同氏は、「懐中電灯を手当ててみたことがある人であれば、この現象を経験しています。手のひらの反対側に明るい部分が見えますが、理論的には骨によって影ができ、骨の構造が見えるはずですが、しかしその代わりに、骨を通過した光は、組織内で四方八方に散乱し、完全に影の映像をぼかしてしまうのです」と説明する。

これに対する目標は、散乱した光を遮断し、その移動時間に関する固有の情報を再構築して隠れた物体を明らかにすることになるが、これ自体にも課題がある。

「光の速度を超える速さのものはないので、光の移動時間を高精度で測定しようとする、非常に高速の検出器が必要になりますが、そのような検出器は、法外な値段になってしまうおそれがあるのです」と同氏は指摘する。

オーダーメイドの光波

Willomitzer 氏らは、高速の検出器を使用しなくて済むように、2種類のレーザーで光波を合成し、さまざまな散乱シナリオでのホログラフィックイメージングに特化してオーダーメイドできる合成光波を発生させた。

「物体の全ライトフィールドをホログラムで捉えることができれば、物体の3次元形状を完全に再現することができます」としたうえで、「私たちは角を曲がったり、散乱体を通過させたりしてこのホログラフィックイメージングを行います、その際に通常の光波の代わりに合成波を使うのです」と同氏。

長年にわたり、隠れた物体の画像を再現する NLoS イメージングへの取り組みは数多く行われてきた。しかし、これらの方法では常に一つ、あるいはそれ以上の問題が存在していた。すなわち解像度が低い、視野角が極端に小さい、時間のかかるラスタースキャンが必要、散乱光信号を測定するために広いプロービング領域が必要、などだ。

しかし、この新たな SWH 技術は、これらの問題を克服し、高空間分解能や高時間分解能、さらには小型のプロービング領域と広い視覚野を組み合わせることで、コーナー周辺や散乱媒体を通過するイメージングを行う初めての方法となっている。つまりこれにより、対象物が動いているときでさえも、カメラでは狭い密閉空間にある極小の物体の特徴や、広い場所にある隠れた対象物を高解像度で撮影することができるのだ。

「壁を鏡に」

光は直線コースしか通過しないため、この新装置で角の周辺を見通すためには、不透明な遮蔽物（壁や低木、自動車など）の存在が不可欠だ。光は（車の上部に取り付け可能な）センサーユニットから照射され、遮蔽物に当たって反射する。光はその後、遮蔽物へ跳ね返され、最終的にセンサーユニットの検出器に戻る。

「それはまるで、私たちが遠隔物のあらゆる表面にバーチャルな計算機カメラを埋め込み、その表面の視点から世界を見ることができるようなものです」と Willomitzer 氏は言う。

峠の曲がりくねった道路や閑散とした森林の蛇行した道路を運転する人々は、この方法を使えば、カーブの向こうに他の車両や鹿がいることがわかり事故防止になるかもしれない。同氏によると、「この技術は壁を鏡に変えるものです。この技術は、夜間や濃い霧のかかった天候で使えば、より効果的です」とされる。



「それはまるで、私たちが遠隔物のあらゆる表面にバーチャルな計算機カメラを埋め込み、その表面の視点から世界を見ることができるようなものです」

Florian Willomitzer

電気・コンピュータエンジニア

このように、高解像度技術は、医療用や産業用の画像処理に用いられる内視鏡の代替（または補完）にもなり得る。例えば大腸内視鏡検査では、コーナーや狭い空間を曲がって通るフレキシブルなカメラが必要だが、合成波長ホログラフィーは、光を使って腸の中の多数のひだを観察することができる。

同様に、現在の内視鏡では不可能な稼働中の産業機器の内部を撮影することも可能だ。

Willomitzer 氏は、「タービンが作動していて、その内部の不具合を検査する場合、通常は内視鏡を使うでしょう」と述べたが、「しかし、欠陥の中には、装置が作動ときにしかわからないものもあります。内視鏡を使って、作動中のタービンの内部を正面から見ることはできません。しかし私たちのセンサーでは、作動中のタービンの内部を見て、1 ミリ以下の構造体を検出することができます」との見解を示した。

目下、本技術はプロトタイプだが、Willomitzer 氏は、いずれはドライバーの事故回避に役立つ技術になると考えている。同氏は、「この種のイメージャが自動車に搭載されたり医療用途として承認されたりするのは、まだずっと先のことです。10 年、あるいはそれ以上かかるかもしれませんが、いずれは実現します」としている。

本研究について

本研究は、米国国防高等研究計画局(DARPA)、米国立科学財団(NSF)および米国海軍研究所(ONR)が支援した。

翻訳：NEDO（担当 技術戦略研究センター）

出典：本資料はノースウェスタン大学の以下の記事を翻訳したものである。

New holographic camera sees the unseen with high precision

(<https://news.northwestern.edu/stories/2021/11/new-holographic-camera-sees-the-unseen-with-high-precision/>)

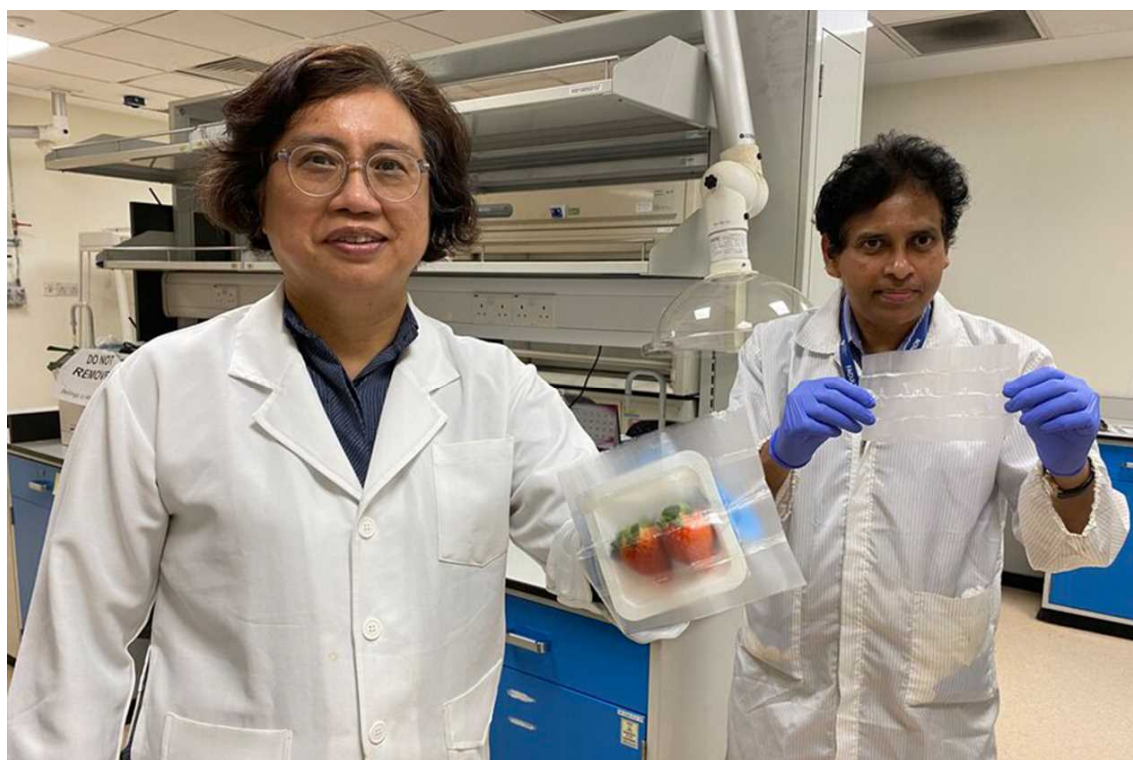
(Reprinted with permission of Northwestern University)

【バイオテクノロジー分野】

仮訳

新抗菌パッケージで食品の鮮度を維持（シンガポール）

2021年12月28日



NTU 抗菌バイオエンジニアリングセンターMary Chan 教授と同大学化学・バイオメディカル工学部主席研究員 Suresh Kumar Raman Pillai 博士（画像提供:NTU Singapore）

シンガポール南洋理工大学（NTU）と米国ハーバード大学 T.H.Chan 公衆衛生大学院の研究者チームが、生分解性と持続可能性に優れ、かつ人体に有害な微生物を殺菌する「スマート」な食品パッケージ資材の開発に成功した。同資材を使用すれば、生鮮果物の賞味期限を2, 3日延長することも可能とされる。

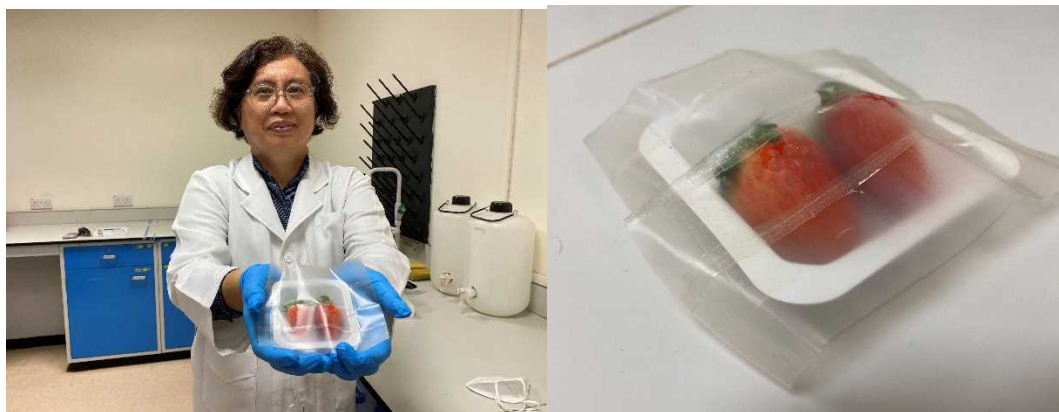
この天然由来の食品パッケージは、ゼインと呼ばれるトウモロコシのタンパク質の一種やデンプン、さらに天然のバイオポリマーなどが原料で、複数の天然抗菌化合物の混合物が注入されている（[ビデオ参照](#)）。これら混合物の成分は、料理でおなじみのハ

ープの一種であるタイムの抽出オイルや、一般に柑橘類に含まれているクエン酸などだ。

研究室内実験では、パッケージの繊維が湿度の上昇や有害なバクテリアの酵素にさらされると天然の抗菌化合物を放出し、大腸菌(E.Coli)やリステリア(Listeria)、さらには真菌類など、食品汚染を引き起こし、一般に危険とされるバクテリアを死滅させることが確認された。

同パッケージは、一定以上の湿度やバクテリアの存在のみに反応し、必要とされる微量の抗菌化合物を放出するように設計されている。このため、同パッケージは複数回の大気接触が可能で、数カ月間の耐久性を有している。

また、同化合物は食品そのものだけでなく、包装資材の表面に繁殖したバクテリアすべてに効果があるため、調理済み食品や生肉、野菜や果物などさまざまな製品に応用できる可能性がある。



(画像提供: Joseph Gun, NTU University)

ある実験では、同パッケージで包装されたイチゴは 7 日間にわたって鮮度を保ち、その間カビの発生は認められなかった。一方、一般に流通しているプラスチック製の果物用容器に入れたイチゴの鮮度の保持期間は 4 日だった。

本発明は、NTU-Harvard SusNano Initiative for Sustainable Nanotechnology (NTU-Harvard SusNano) における科学者らによる共同研究の成果である。本イニシアティブでは、両校の研究者らが協同し、毒性がなく環境に安全なナノ材料の開発に重点を置き、農業・食品分野における最先端の応用研究に取り組んだ。

この高度な食品パッケージ素材の開発は、NTU 2025 戦略計画に沿った持続可能な食品技術ソリューションの推進における取り組みの一環。同計画では、いくつかの人類喫緊の大課題に対処する持続可能なソリューションの開発を目指している。

翻訳：NEDO（担当 技術戦略研究センター）

出典：本資料は NTU Singapore の以下の記事を翻訳したものである。

Keep food fresh with this bacteria-killing packaging

(<https://www.ntu.edu.sg/news/detail/bacteria-killing-food-packaging-that-keeps-food-fresh>)

(Reprinted with permission of NTU Singapore)

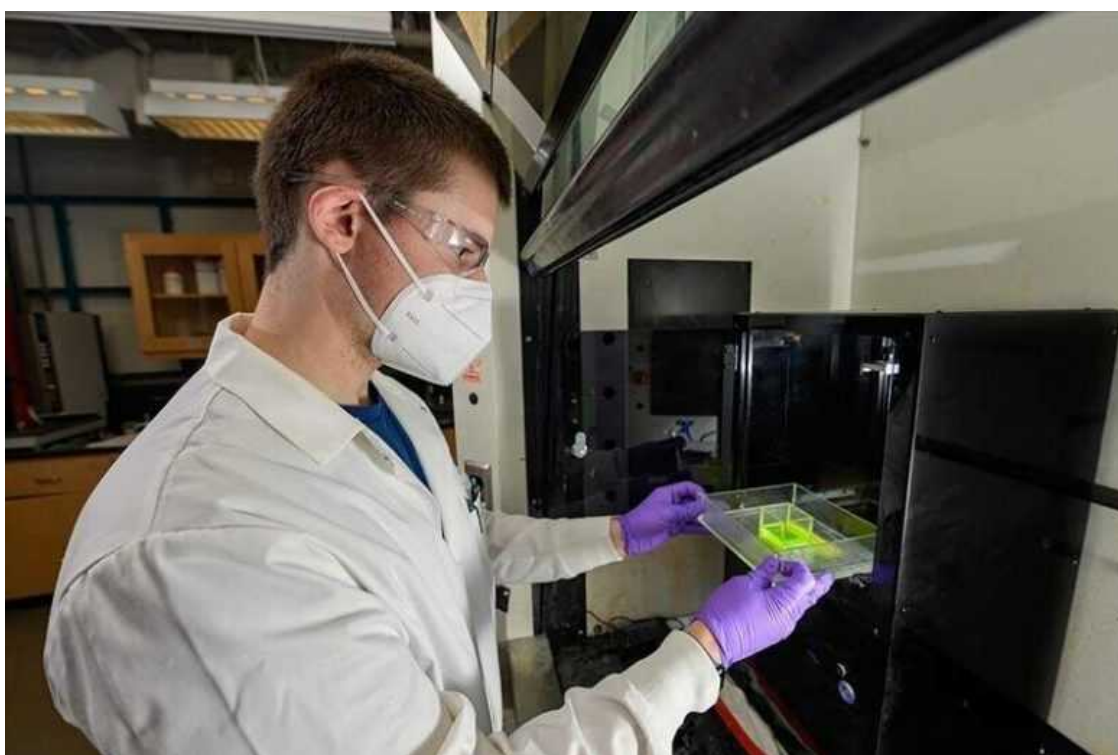
【バイオテクノロジー分野】

仮訳

廃棄物で価値ある物質を作る(米国)

UD 研究者らが報告の低圧法、工業処理済バイオマスをプラスチック・化学品に変換

2022年1月19日号



Robert O'Dea 氏は Thomas Epps 教授の研究室に所属する化学工学博士課程の学生。樹木や草などのバイオマスの中で最もリサイクルが難しいリグニンの再利用法を考察した新論文の共同執筆者でもある (提供: University of Delaware)

地球を救いたければ、より持続可能な材料が必要であることは周知の事実だ。バイオ由来の材料は可能性のある選択肢のひとつだが、誰かがそれを利用する場合には経済的でなければならない。

例えば、バイオ由来で一段と良質のミルクピッチャーがあれば素晴らしいことだ。だがしかし、仮にその価格が1ドル(約115円)から17ドル(約1960円)に値上がりし、

そのために牛乳 1 ガロン (約 3.76 リットル) あたり 20 ドル (約 2300 円) で販売されるとすれば、誰もそのピッチャーを買おうとはしないだろう。



Thomas・H・Epps, III 教授
(提供 : University of Delaware)

デラウェア大学 (UD) の Thomas・H・Epps, III 教授率いる研究チームと CanmetENERGY の共同研究者たちは、まさにこのような経済学を念頭に置きつつ、バイオマスを新製品にアップサイクルする方法を模索している。例えばリグニン。これは植物や樹木に含まれる成分で、植物相に大自然の猛威に耐えるための強度と剛性を与えている。

しかし、紙パルプ業界では、リグニンは紙製品の生産時に出る廃棄物だ。これは工業リグニンと呼ばれ、暖気を得るために燃焼する、あるいはタイヤの充填材にするなど以外にはおそらく用途のない、最も汚れたものと考えられている。

世界中のパルプ工場や製紙工場では、年間約 1 億トンの工業リグニン廃棄物が発生しているが、UD の研究者たちによると、用途の広い同資源ははるかに価値のあるものになり得るといふ。

同チームは、工業的に処理されたリグニンを効率的にバイオ由来の 3D プリント用樹脂などの高性能プラスチックや貴重な化学物質に転換できることを実証してきた。また、経済性およびライフサイクル分析により、同アプローチは石油由来の類似製品に対しても競争力を持つことが明らかとなっている。

この新たな手法を説明した論文は、1 月 19 日 (水) に『Science Advances』誌に掲載された。同研究は、主に全米科学財団の Growing Convergence Research (NSF GCR) プログラムによる資金援助を受けて実施されたが、同プログラムは多角的・学際的な連携による問題解決を目指している。



UDの研究者や同僚が調査している最終製品のひとつが3Dプリント用バイオ樹脂の作品だ（提供:University of Delaware）

Epps 教授は、「工業リグニンのようなものを分解して有用な製品に変換するだけでなく、石油材料よりも低コストと環境負荷でそれを行う能力は、これまで誰も実際に証明できなかったことです」と述べた。同教授はUDでNSF GCRの取り組みを主導し、[化学・生体分子工学](#)のAllan and Myra Ferguson Distinguished Professorを務め、さらに材料科学工学科の教授も兼任している。

日常の食材で高圧利用の障壁を克服

リグニンのアップグレードにおける主な欠点のひとつに、それを遂行するための大半のプロセスが非常に高圧で作動し、かつ高価で計測が困難なことがある。現在の工業技術の主な難点は、プロセスで使用される従来の溶媒、温度、圧力に関連する安全性の懸念、資本コスト、エネルギー消費だ。そこで同チームはこれらの課題を克服するため、リグニン分解にこれまで使用されてきた溶媒のメタノールをグリセリンに置き換え、通常の（環境）大気圧でプロセスを遂行できるようにした。

グリセリンは保湿効果があることから、液体化粧品や石鹸、シャンプー、ローションなどに利用されている安価な成分である。しかしここでは、グリセリンはリグニンを化学

的構成要素に分解する一助となっている。分解された同要素は、3D プリント用樹脂から始まり、各種プラスチックや香料、酸化防止剤、その他いろいろまで多岐に渡るさまざまなバイオ由来の製品製造に使用可能とされる。



この組み合わせた UD は、バイオマスの工業リグニンを原料とした 3D プリント用樹脂で製作された。こすると香る写真ではないが、かすかにバーベキューの匂いがする。なぜか？UD 開発の工程から生じる芳香族化合物は、燻煙液に含まれるものと似ているのだ（提供：University of Delaware）

グリセリンを使用した場合、メタノールと同一の化学機能性を持ちながらも蒸気圧はかなり低下するため、密閉システムが不要となる。この変更により、反応と分離の各ステップの同時遂行が可能となり、より費用対効果の高いシステムが実現した。

大気圧での創業はより安全だ。同様に重要なことは、少量生産から連続生産へとスケールアップし、より少ない労力でより多くの材料を、より安価かつ迅速なプロセスで生産するためのシンプルで実践的な方法をも提供することである。

再現性と一貫性を持たせるために、同プロセスの開発には約 1 年を要し、論文の共同筆頭執筆者で 2021 年度の UD 優等卒業生である Paula Pranda 氏を含む学部生が参加した。

現在、コロラド大学ボルダー校の博士課程に在籍する Pranda 氏は、同プロセスの最適化を支援。研究チームがどのような製品を製作できるかについての入手可能なデータセットも調査し、それら材料の物理的特性を評価した。これを受けて、[Marianthi](#)

[Ierapetritou 教授](#)率いるグループ所属で化学工学博士課程の学生兼共著者である Yuqing Luo 氏は、同システムが経済面で実現可能性か否かを知るためのモデル化に成功した。

同氏の研究によると、UD チームの低圧法は高圧法と比較した場合、針葉樹クラフトリグニンからバイオ由来の感圧接着剤を製造するコストが最大 60%削減できることが判明した。コスト優位性は、同研究で使用した他種の工業リグニンではそれほど顕著ではなかったが、針葉樹クラフトリグニンは、紙・パルプ産業で発生する工業リグニンにおいて最も豊富な種類にはいる。



Paula Pranda 氏
(提供 : University of Delaware)

実験者である Pranda 氏にとって、自分の専門外の分野である化学プロセスのモデリングによるコスト把握に取り組む Luo 氏のような学生との共同作業は啓発的だった。

「これまで共同研究に参加したことがなかったので、化学工学の他の分野がどのように機能しているのかについて見識を深めることができました」と Pranda 氏は言う。

Epps 研究室の博士課程学生で、本論文の主執筆者である Robert O'Dea 氏によると、Luo 氏の経済モデリングの貢献が、この種の分野の研究を進めるか否かを

決めるカギになった。

同氏は、「私たちには物理的には実現できることは分かっていたのですが、化学工場での規模でそれを実現することが、実際に経済的に意味があるのかどうかを知る必要がありました。そして Yuqing 氏の分析から、それが可能であることがわかりました」との見解を示した。

プロジェクトの共同研究者であるカナダの CanmetENERGY から入手した多種多様なパルプ化プロセスから排出されるリグニン廃棄物の技術的評価を行うことで、Luo 氏は、原料価格やイールドなどの上流コストが、プロセスのさらに下流でどのように経済に影響するかを検討することができた。

同分析により、イールドが工場の経済性に主要な役割を果たすことが明らかになったが、

新低圧プロセスの操業コストは、全事例において、資本コストの削減と貴重な副産物の生成によって従来のプロセスより大幅に低下した。同プロセスの開発に携わった Epps グループと、UD での同僚の Dionisios Vlachos 教授の研究グループの研究者たちは現在、常圧プロセスに関する特許を申請中だ。

さらに Luo 氏は、材料生産に伴う温室効果ガス（例：二酸化炭素など）の排出量を把握するため、ライフサイクルアセスメントを実施。各プロセスのコストを上手く扱うことで、研究者はプロセスや材料サプライチェーンのインフラを最適化する方法を検討することが可能となる。

「私たちは、プロセスのコストだけでなく、事業全体における環境への影響も含めて、より大きな視点で捉えようとしたのです」と Luo 氏は述べた。

学生たちによるこの共同研究は、NSF GCR プログラムのもと、UD で材料のライフサイクル管理に携わる教授陣と学生間の会議から発展したものだ。

Epps 教授は、「NSF GCR プログラムは、材料科学と環境への影響などの側面に同時に取り組むことが奨励されているため、自然と影響力の強い作業が創造されます。つまり、学際的な共同作業を通じて、複数のボトルネックやハードルを同時に克服しています」と指摘する。

また、UD 開発の方法が、廃棄物を価値ある製品に変換する可能性についてはどうだろうか？

Branda 氏は、「それは様々な種類のプラスチックを製造するために、再生可能な資源を利用する可能性が多いことを示しています。化石燃料を使う必要はありません。再生可能な資源から作られるプラスチックは、経済的見地からも実現可能なのです」との見方を示した。

Epps、O'Dea、Pranda、Luo 各氏の他の本論文の共著者は以下の通りである。本学卒業生の Alice Amitrano および Elvis Ebikade 両氏、博士研究員の Eric Gottlieb 氏、カナダ天然資源省、CanmetENERGY の Olumoye Ajao および Marzouk Benali 両氏、UD の Unidel Dan Rich Chair in Energy Professor of chemical and biomolecular engineering, Catalysis Center for energy Innovation 所長および Catalysis Center for Energy Innovation 所長を兼任する Dionisios Vlachos 氏、Bob and Jane Gore Centennial Chair of Chemical and Biomolecular Engineering の Marianthi

Ierapetritou 氏。

翻訳：NEDO（担当 技術戦略研究センター）

出典：本資料は、米デラウェア大学の以下の記事を翻訳したものである。

“Creating Value from Waste”

(<https://www.udel.edu/udaily/2022/january/biomass-lignin-to-plastics-chemicals-can-be-economical/>)

(Reprinted with permission of University of Delaware)

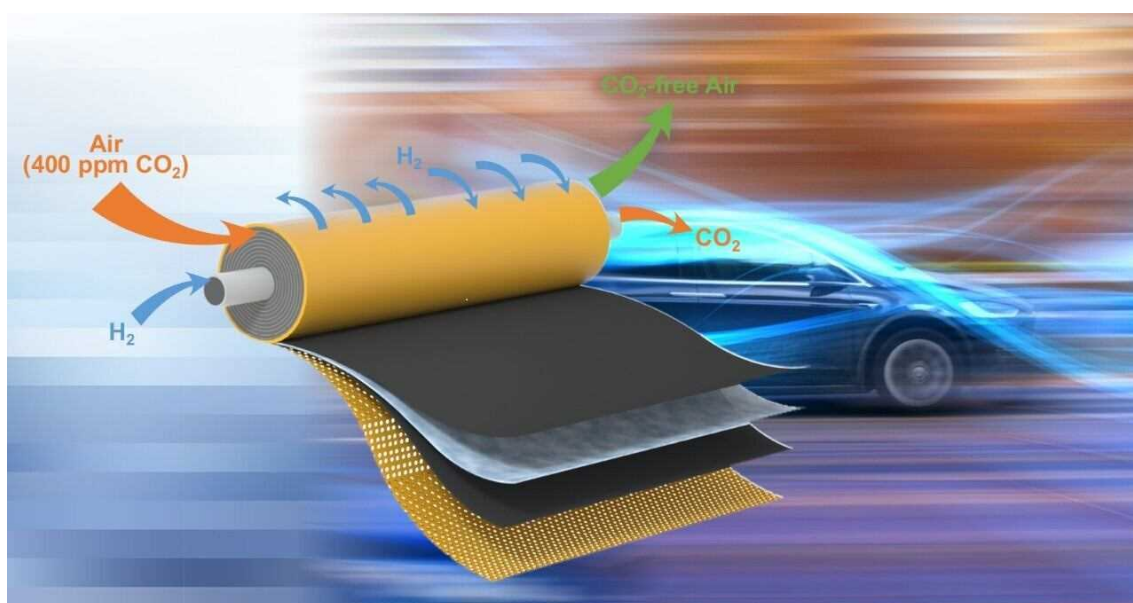
【新エネルギー分野(燃料電池・水素)】

仮訳

優れた効果をもたらすショートサーキット (米国)

UD 研究者ら 空気中の二酸化炭素を除去する超高効率的な方法を報告

2022 年 2 月 3 日



UD の研究者らは、より環境に優しい燃料電池の商業化に近づくための新境地を開拓した (イラスト画: Jeffrey C. Chase / University of Delaware 提供)

米デラウェア大学 (UD) の技術者らが、水素を動力源とする新たな電気化学システムを利用して大気中の二酸化炭素の 99% を効果的に捕獲する方法を実証した。

これは、二酸化炭素の回収における重要な進歩であり、より環境に優しい燃料電池を市場に近づける可能性がある。

UD の Yushan Yan 教授率いる研究チームは、2 月 3 日木曜日に[同方法](#)を Nature Energy 誌に報告。

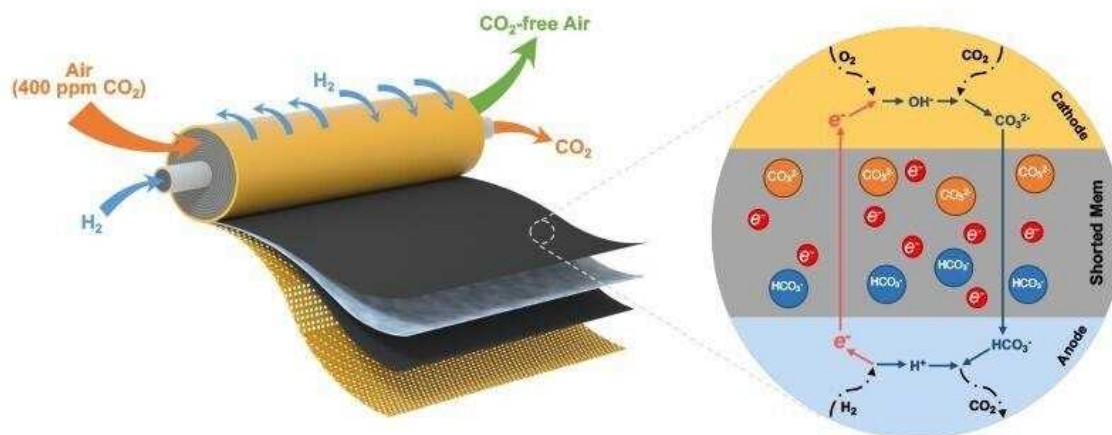
燃料電池の効率を高める画期的な技術

燃料電池は、燃料の化学エネルギーを直接電気に変換することで作動し、ハイブリッド車やゼロ・エミッション車などの輸送に利用可能だ。

化学・生物分子工学の Henry Belin du Pont Chair である Yan 氏は、現行の従来の酸ベースの燃料電池に代わって、経済的で環境に優しい水酸化物交換膜（HEM）燃料電池の改良に長年取り組んでいる。

しかし、HEM 燃料電池には、大気中の二酸化炭素に対して非常に脆弱という欠点があるため、これまで実用化されてこなかった。本質的に、二酸化炭素は HEM 燃料電池を呼吸困難に陥らせるのだ。

この欠陥により、燃料電池の性能と効率は最大 20%低下し、ガソリンエンジンと変わらなくなってしまう。Yan 氏の研究グループは、この二酸化炭素の問題の回避策を 15 年以上にわたって探求してきた。



スパイラル模式図: UD 研究チームのスパイラル巻きモジュールは 2 つの別々の入口から水素と空気を取り込み (左図)、大面積の触媒でコーティングされた 2 枚の短絡膜を通過させた後、二酸化炭素、および二酸化炭素を含まない空気(右図)を排出する。右の挿入図は、短絡膜内で分子がどのように移動するかを一部示している (イラスト画: Jeffrey C. Chase / University of Delaware 提供)

数年前、研究者たちは、この欠陥が実は二酸化炭素除去のための解決策になるかもしれないことに気づいた。

化学・生体分子工学の研究助教授で論文の共著者である **Brian Setzler** 准教授は、「このメカニズムを解明したところ、燃料電池は入ってきた二酸化炭素をほぼすべて捕獲し、それを反対側に実にうまく分離することがわかりました」と説明する。

これは燃料電池にとっては良くないものの、研究チームは、この「セルフパージ」プロセスを燃料電池スタックの上流にある別の装置で活用することができれば、二酸化炭素の分離装置に変身させることができることを知っていた。

Yan 氏は、「私たちのアプローチは非常に効果的であることが明らかとなりました。私たちに適切な設計と構成があれば、大気中の二酸化炭素の 99%を 1 回で捕捉することができます」と指摘する。

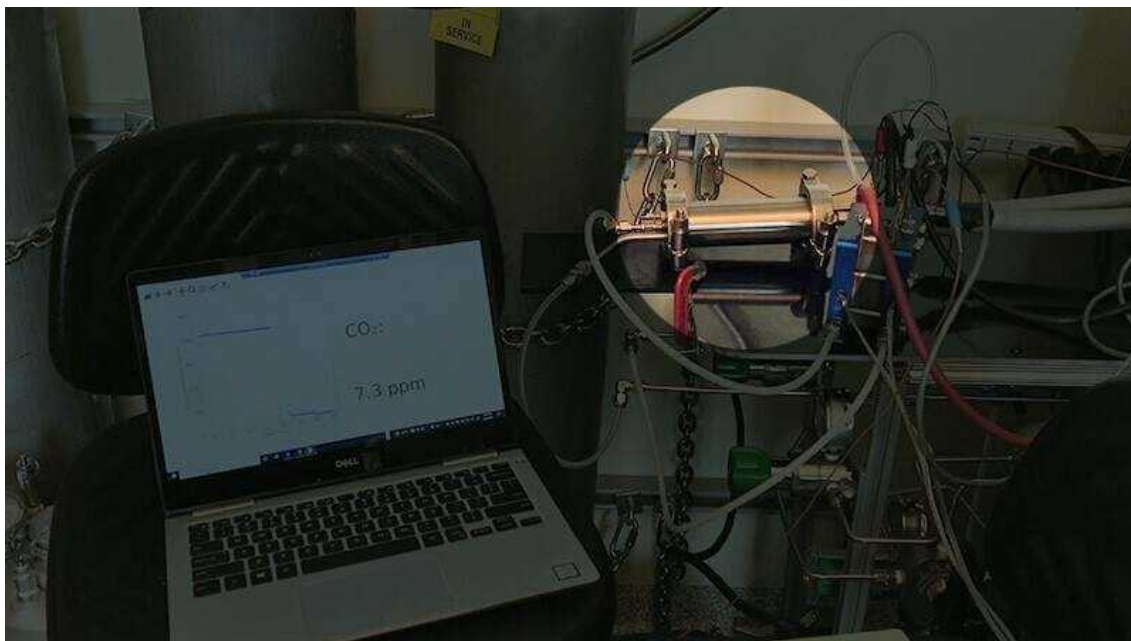
では、どのようにそれを実現したのだろうか？

研究者たちは、電気化学技術の電源を分離膜の中に埋め込む方法を発見したが、それは、デバイスを内部で短絡させるというものだった。

Yan 研究グループの博士課程学生で論文の主執筆者でもある **Lin Shi** 氏は、「リスクはありますが、私たちは水素を使って、この短絡した燃料電池をどうにか制御しました。この内部短絡膜を使うことで、燃料電池スタックに通常見られるバイポーラプレートや集電体、電気配線などのかさばる部品を取り除くことができました」と言う。

現在、研究チームはガスを分離するために作られた通常のろ過膜のように見える電気化学デバイスを手に入れたが、より複雑な電気化学システムのように、大気中から絶えず微量な二酸化炭素を取り込む能力も備えている。

実際に、膜の内側にデバイスのワイヤーを埋め込むことにより、二酸化炭素の粒子が一方から他方に移動しやすくなる近道ができあがった。これにより研究チームは、小さな体積で大きな表面積を持つ、コンパクトなスパイラル型モジュールを作ることができた。つまり、同チームは今や、一度により大量の空気をろ過することができる小型のパッケージを所有しているのだ。また一方で、部品点数が少ないためにコストも抑えられ、さらに重要なことは、市場に向けて簡単にスケールアップする方法が提供されたのだ。



写真は、Yan 研究グループが開発した電気化学システム。ハイライトされた円筒形の金属製筐体の内部に、同チームが開発した新スパイラルwindモジュールが入っている。同装置に水素を供給することで、二酸化炭素の除去が行われる。ノートパソコン上のコンピューターソフトは、モジュールを通過した後の大気中の二酸化炭素濃度を表示する(写真提供: 同研究グループ / University of Delaware)

研究チームの結果では、2 インチ (約 5 センチ) × 2 インチ (約 5 センチ) のサイズの電気化学セルにより、1 分間に約 2 リットルの速度で流れる大気中に含まれる二酸化炭素の約 99% を連続的に除去できることが明らかとなった。また、研究者らによると、12 オンス (約 340 グラム) のソーダ缶ほどの大きさの初期の試作スパイラル装置では、毎分 10 リットルの大気をろ過し、98% の二酸化炭素を除去することができる。

自動車用に当てはめた場合、本装置はおおよそ 1 ガロン (約 4 リットル) の牛乳サイズになる。さらに、他の場所でも二酸化炭素の除去用に使用できるだろう。例えば、UD が特許取得した技術により、宇宙船や潜水艦など、継続的なろ過が不可欠な場所において、より軽量で効率の良い二酸化炭素除去装置を実現できるかもしれない。

Setzler 氏は、「私たちには、長期的なロードマップのためのアイデアがいくつかあります」と現状を語った。

Shi 氏によると、この電気化学システムは水素を動力源としているため、水素経済が発展すれば、省エネ対策として大気の再循環が望まれる航空機や建物にも利用できる可能性があるという。同氏は今月末の学位論文の発表後、Yan 氏が設立した UD のス

ピンオフ企業である Versogen 社に入社し、[持続可能なグリーン水素の研究の推進](#)を続ける予定だ。

Yan 研究室の論文の共著者には、デバイス検査に不可欠な実験作業を行った共同筆頭著者である Yun Zhao 研究員、スパイラルモジュールの設計と製造に貢献した博士課程学生の Stephanie Matz 氏、UD の化学・生体分子工学の [Shimshon Gottesfeld 非常勤教授](#)が含まれる。Gottesfeld 氏は、今回の発見につながった Advanced Research Projects Agency-Energy (ARPA-E) から資金提供を受けた 2019 年のプロジェクトの主任研究員である。

翻訳：NEDO（担当 技術戦略研究センター）

出典：本資料は、米デラウェア大学の以下の記事を翻訳したものである。

“Short Circuit for Big Impact”

(<https://www.udel.edu/udaily/2022/february/yushan-yan-capturing-carbon-dioxide-from-air-fuel-cells/>)

(Reprinted with permission of University of Delaware)

【バイオテクノロジー分野】

仮訳

排気ガスを有用な化学物質に変える
カーボンネガティブなプラットフォーム（米国）

2022年2月21日



ランザテック社、ノースウェスタン大学、オークリッジ国立研究所の研究者たちは、水色で示した微生物を操作して、二酸化炭素や一酸化炭素などの産業廃棄物ガスの分子をアセトンに変換した。同じ微生物でイソプロパノールも作ることができる(写真クレジット: Andy Sproles/ORNL,DOE)

ランザテック社とノースウェスタン大学、さらに米エネルギー省（DOE）傘下のオークリッジ国立研究所（ORNL）の科学者チームが、IPA として知られるアセトンとイソプロパノールを生成する工業プロセスからの排出物を使用した二酸化炭素回収貯留技術を開発した。これら化学物質は広範囲に渡って使用されており、燃料や溶剤からアクリルガラスや繊維に至るまで、何千もの製品の基礎としての役目を果たしている。

カーボンネガティブプラットフォームは、微生物を小型ながら強力な工場として使用し、農業・産業・社会的廃棄物ストリームから排出される炭素を有用な化学物質に変換する。同プロセスでは、気候変動を加速させる温室効果ガスとして排出されるはずの炭素がリサイクルされるのだ。ネット・ゼロの実現に向けたレースにおいて、同技術は、化石資源から生産された製品に代わる循環型炭素経済への一歩となる。

研究者らは、ランザテック社の技術を基に、*Clostridium autoethanogenum*、あるいは C auto と呼ばれる人工細菌を使用して、重工業からの排出ガスやバイオマスから発生する合成ガスなどの廃棄ガスをアセトンまたは IPA に変換する効率的な新プロセスを開発。試作規模の実証実験や経済性を示すライフサイクル分析を含んだ彼らの手法は『Nature Biotechnology』誌に[掲載](#)されている。

ランザテック社の Jennifer Holmgren 最高経営責任者（CEO）は、「このバイオプロセスは、これら重要な化学物質の昨今の生産経路に取って代わる持続可能な代替手段を提供します。現時点では、生産は新鮮な化石原料に依存しており、結局、大量の有毒廃棄物が排出されてしまっています」としたうえで、「当社では、温室効果ガスを 160%以上削減、カーボンネガティブな生産を実現し、大気中に放出されるはずだった炭素を固定化することができるのです」との見解を示した。

ランザテック社は現在、同技術をスケールアップしているが、それを同社の既存のシステムに組み入れ、世界中での使用のための展開も可能とされる。

ORNL の Stan Wullschleger 副研究所長は、「合成生物学は、脱炭素化を推進して気候変動に対処するための強力なツールとなり得ます。当研究所の科学者たちは世界レベルの能力を活用しており、産業界と緊密に連携し、生物系を利用した国家バイオ経済の繁栄を支える貴重な燃料や化学物質を製造しています」と説明する。

同研究はランザテック社で始まったもので、そこでは科学者たちがかつて、炭素排出物から一般的なバイオ燃料であるエタノールを生産できる C. auto 株を使ったあるプロセスを商業化したことがある。アセトンと IPA の生成に最適な酵素を特定し、炭素から化学物質への変換を効率的かつ高収率に実現するための微生物株の遺伝子操作は複雑な科学的課題だった。

そこで研究者たちは、経路スクリーニング、菌株の最適化、プロセス開発という 3 つの革新的なアプローチを採用。第一段階として、ランザテック社がアセトンと IPA の製造経路に有用な酵素を持つ 300 近くの菌株をスクリーニングした。その後、有用な

菌株を特定し、コンビナトリアルDNAライブラリを構築したが、これはこの類の微生物としては過去最大のもので、アセトン生産を最適化する酵素の変異体を発見するためのものだった。

さらなる最適化は、ノースウェスタン大学での無細胞プロトタイピングやランザテック社での高度なモデリング、ORNLでの分子解析など、最先端の合成生物学ツールによるものだ。

ランザテック社の Michael Kopke 合成バイオ担当副部長は、「オークリッジは、DNAシーケンスやシステムバイオロジー、さまざまなメタボロミクスやプロテオミクスに関して非常に独自の能力を有しています」と述べ、「同研究所の専門知識は、プロセスのトラブルシューティングに役立ち、どの段階が限界に達しているかを突き止めることができました」と指摘する。

タンパク質の研究であるプロテオミクスと、メタボライト（代謝産物）と呼ばれる低分子の研究であるメタボロミクスでは、微生物がどの特定の化学物質を使って生産されているかを分子レベルで知ることができる。他生物と同様、微生物が生存に必要な物質を消費したり代謝したりすると副産物が発生する。特定の物質を生成するように微生物を操作する科学者たちにとって、これらの副産物は障害となる。

ORNLのバイオデザイン・システム生物学部門の責任者 Tim Tschaplinski氏は、「タンパク質と代謝物のプロフィールは、*C. auto* 細胞内での生成において障害が発生している場所を示しています」としたうえで、「私たちには、生成品に、より多くの炭素を流入させるためには、経路の中で次に何を修正すべきかが分かるのです」との見方を示した。

C. auto の場合、ORNLの科学者たちは、これが3-ヒドロキシブチレートという化合物 一下流での処理が必要であるため、処理コストが増大するとされている一を大量に生産していることを究明した。同化合物は、重要な代謝経路の中央に位置しており、炭素をさまざまな方向に移動することができる。

Tschaplinski氏は、「当研究所が酵素経路を調査し、『ここに障害がありますが、元のコレクションの中にもっと良い働きをする酵素がたくさんあるかもしれません』と言います。するとノースウェスタン大学のパートナーたちが、これらの酵素を無細胞系で発現させてくれます。そして私たちが蓄積物は何かを調査し、それをランザテック社が高度な計算モデルにかけるのです」と言う。

同氏によると、この最適化プロセスは、ORNL の総体的なシステムバイオロジーアプローチによって可能となったが、同アプローチは、科学者に対して細胞内で何が起きているのか、それをどのように改善すればよいのかを、さらに包括的に示すもので、「当研究所では、ひとつのオーミックを使って別のオーミックを確認します。個々のデータストリームではなく、システム全体を俯瞰することで、目的の生成物の生産を促進するための様々な方法を探ることができるのです」と言う。

続けて同氏は、「ある酵素は特に、生産量を増やすと著しく増加することが分かりました。オークリッジが行った数多くのシステムバイオロジーとプロテオミクス分析によって、それが明らかになったのです」と指摘した。

今回の共同作業は ORNL とランザテック社の長期的パートナーシップにおける最新のもの。2015 年、ORNL と同社の科学者チームは、*C. auto* の全ゲノム配列を解析し、現在の研究のための基礎を構築した。

アセトンの酵素変異体やプロセス開発、さらにはゲノムスケールモデリング、ライフサイクル分析、初期パイロットランは、ランザテック社と 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) が支援した。フリーセル・プロトタイピングとオミクス解析は、DOE の科学部門にある **Biological and Environmental Research** プログラムから資金提供された。DNA 配列の解析は、DOE 科学局のユーザー施設である Joint Genome Institute から支援された。

翻訳：NEDO（担当 技術戦略研究センター）

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

“Carbon-negative platform turns waste gases into valuable chemicals”

(<https://www.ornl.gov/news/carbon-negative-platform-turns-waste-gases-valuable-chemicals>)