

【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>)