

【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。



この組み合わせさせた UD は、バイオマスの技術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るのです」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にある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透りである。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)