

【環境・省資源分野】

仮訳

## プラスチックを作り直す：プラスチック完全リサイクルの打開策を 発見（米国）

ローレンスバークレー国立研究所の科学者たちが

様々な色彩や形状の新材料に何度でもリサイクル可能な次世代プラスチックを開発

2019年5月6日

プラスチックは、不要になるまでは軽くて丈夫な素晴らしい素材だが、色素やフィラー、難燃剤など様々な添加物を含むため、機能や美観を損なわずにリサイクル可能なものはほとんどない。リサイクルに最適な資源プラスチックである PET（ポリエチレンテレフタレート）でも、リサイクルされるのは 20-30%のみで、それ以外は大体が焼却か埋立て処理される。埋立てられたプラスチックの炭素豊富な物質が分解するには何百年もかかる。

米国エネルギー省(DOE)ローレンスバークレー国立研究所(LBNL)の研究チームは、レゴブロックのように、分子レベルで構成要素単位まで分解し、機能や品質を損なわずに様々な形状、手触り、色合いに何度でも再構築できる、リサイクル可能なプラスチックを開発した。この新材料、PDK(poly(diketoenamine))は、『Nature Chemistry』誌上で報告された。

「リサイクルできるように製造されているプラスチックは、ほとんどありません。」と、LBNL Molecular Foundry のポスドク研究員で、本研究論文筆頭著者である Peter Christensen 氏は言う。「私たちは、分子レベルの視点からリサイクルを考える、プラスチックの新しい組み立て方法を発見しました。」



左から: Peter Christensen 氏、Kathryn Loeffler 氏、Brett Helms 氏。(クレジット: Marilyn Chung/Berkeley Lab)

Christensen 氏は、LBNL Molecular Foundry の専任

研究員である **Brett Helms** 氏が率いる学際的な研究チームの一員であった。他の共著者は、当時カリフォルニア大学バークレー校学部生であった **Angelique Scheuermann** 氏と当時テキサス大学オースチン校学部生であった **Kathryn Loeffler** 氏だ。

飲用水用のペットボトルから自動車の部品に至るまで、すべてのプラスチックは、炭素を含んだより短い基本化合物であるモノマー（単量体）ユニットが繰り返し結合してできたポリマー（重合体）と呼ばれる大きな分子より構成されている。

研究者たちによると、多くのプラスチックの問題点は、プラスチックを強くするフィラーや、フレキシブルにする可塑剤など、プラスチックの品質を高めるために添加されている化学物質がモノマーに硬く結合しており、リサイクル工場で処理された後も、プラスチック中に残存することにあるという。

リサイクル工場での処理では、硬かったり、伸縮性があつたり、透明であつたり、鮮やかな色であつたりといった様々な化学組成のプラスチックは、混合され、粉碎される。その混合され粉碎されたプラスチックを溶解して新しい材料にする際に、処理前のプラスチックからどの特性が受け継がれるのか、予測するのは難しい。



このように予測できない特性が伝承されるため、元のモノマーを回収して長期間再利用したり、または、より高品質の新しい製品にアップサイクルしたりできる循環型材料の実現は困難であった。

従来のプラスチックとは異なり、PDK プラスチックのモノマーは、高濃度の酸溶液に浸すだけで、どのような合成添加剤からもモノマーを分離、回収できる。

(クレジット: Peter Christensen et al./Berkeley Lab)

例えばリサイクルプラスチックで作られた再利用可能なレジ袋が破れたり擦り切れて使い古されると、新しい製品を作るためにアップサイクルはおろか、リサイクルすることすらできない。そして、レジ袋の寿命がきたときには、熱や電力、燃料などにするために焼却するか、埋め立てるしかない、と Helms 氏は言う。

「循環型プラスチックの製造や、プラスチックのアップサイクルは、大きな課題です。」と、Helms 氏は言う。「プラスチックごみが水界生態系に浸出したことによる影響は周知のとおりですし、またこの傾向は、より多くのプラスチックが製造されることや、私たちの自治体のリサイクルインフラへのダウンストリームのプレッシャーにより、より悪化する見込みです。」

### 一個のモノマーから始めるプラスチックのリサイクル

この低速度撮影動画は、酸の中で PDK プラスチック片が、分子構築ブロックであるモノマーに分解される様子を映している。酸はモノマー間の結合を壊し、プラスチックの外観や質感を構成している化学添加剤をモノマーから分離する働きをする。

(クレジット : Peter Christensen/ Berkeley Lab)

動画は[こちら](#)から

研究者たちは、プラスチックの再生や再利用にインセンティブを与えることにより、プラスチックの埋め立てや海洋廃棄を回避したいと考えているが、PDK で構築されたポリマーであればそれらが可能となる。「PDK を使用すれば、従来の

プラスチックの変えられない結合は可逆的な結合に置き換えることができ、プラスチックをより効率的にリサイクルすることができます。」と、Helm 氏は言う。

PDK プラスチックは、従来のプラスチックとは異なり、高濃度の酸溶液に浸すだけで、どのような合成添加剤からもモノマーを分離、回収できる。酸がモノマー間の結合を壊し、プラスチックの外観や質感を構成している化学添加剤から分離させる働きをするのだ。

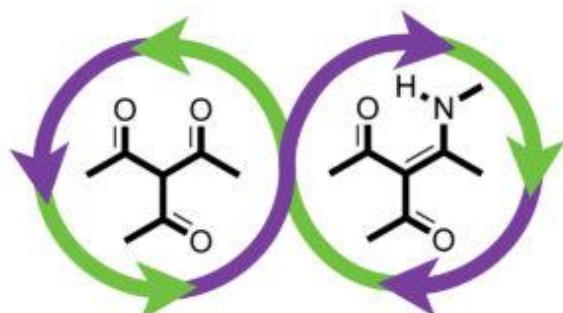
「私たちは、プラスチックのライフサイクルを直線型なものから循環型に変化させる化学技術に興味を持っています。」と、Helms 氏は言う。「リサイクルという選択肢が全くない状況を、改善するチャンスがあるのです。」それには、接着剤や電話ケース、腕時計バンド、靴、コンピューターケーブル、熱いプラスチック材料を成形して作製した熱硬化性樹脂なども含まれる。

Christensen 氏が PDK 接着剤の合成に使用するガラス製品で様々な酸を試験していたときに、研究者たちは PDK ベースのプラスチックの素晴らしい循環型特性を初めて見出し、接着剤の組成が変化することに気がついた。Christensen 氏はこの変化について興味をもち、NMR (核磁気共鳴) 分光装置を使用してサンプルの分子構造を分析した。「驚いたことに、それらはオリジナルのモノマーだったのです。」と、Helms 氏は言う。

研究者たちは、Molecular Foundry において様々な調合を試験したのち、酸は、PDK ポリマーをモノマーに分解するだけでなく、結合した添加剤からモノマーを分離することも実証した。

研究者たちは次に、回収した PDK モノマーは再びポリマーへ作製することができ、このようなリサイクルポリマーは、元材料の色合いや他の特徴を引き継がずに、新しいプラスチック材料となることを実証した。つまり、あなたが廃棄した腕時計の壊れた黒いリストバンドが、もし PDK プラスチックで作製されていたら、コンピューターキーボードに生まれ変わることができるかもしれない、ということだ。また、フレキシビリティ等の特性を付加することで、このプラスチック材料をアップサイクルすることも可能だ。

### 循環型プラスチック社会の未来へ



PDK プラスチックは、再利用のために元のモノマーが何度でも回収でき、またより新しく高品質な製品へ「アップサイクル」が可能で、「循環型」材料である。

(クレジット: Peter Christensen et al./Berkeley Lab)

効率的に回避することができます。循環型プラスチックを実現するために材料とリサイクル施設の両方をどのように設計するか、それを考え始めるには今はとても良い時期なのです。」と、Helms 氏は言う。

研究者たちは今後、テキスタイルや3Dプリンティング、発泡体など、幅広いアプリケーションに向けた、熱的、機械的特性を備えた PDK プラスチックの開発を予定している。さらには、植物をベースとした材料や他の持続可能な資源を統合して、プラスチックの調合を拡充させることも検討している。

Molecular Foundry は、ナノスケール科学を専門とする米国エネルギー省の Office of Science User Facility である。

研究者たちは、この新しいリサイクルプラスチックが、現在使用されている多くの非リサイクルプラスチックの優れた代替品になると考えている。

「将来の廃棄物分類・処理に向けたリサイクル施設の近代化に必要なインフラについて、今はまさに見直す時期にあります。」と、Helms 氏は言う。

「もし、これらの設備が PDK や同様なプラスチックのリサイクルやアップサイクル用に設計されていれば、プラスチックの埋立処理や海洋廃棄をより

NEDO 海外レポート NO.1125, 2019.6.21.

本研究は、米国エネルギー省 Laboratory Directed Research and Development (LDRD) program より支援を受けた。

本技術は、ライセンスングやコラボレーション可能。コンタクト先は、Berkeley Lab's Intellectual Property Office, [ipo@lbl.gov](mailto:ipo@lbl.gov)

翻訳：NEDO（担当 技術戦略研究センター 企画課）

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。

“Plastic Gets a Do-Over: Breakthrough Discovery Recycles Plastic From the Inside Out”

(<https://newscenter.lbl.gov/2019/05/06/recycling-plastic-from-the-inside-out/>)