

2025 年 1 月 24 日

報道機関 各位

国立大学法人東北大学

木材由来のバイオマス資源から 優れた特性のポリマー合成に成功

高機能と分解性を兼ね備えた特性が様々な産業で活用されることに期待

【発表のポイント】

- 木材や廃紙から製造可能なバイオマス^(注1)化合物「レボグルコセノン (LGO)」を用いたバイオベースポリマー^(注2)を合成しました。
- 創薬科学の観点から得られた低分子化学の知見を高分子化学へ学際融合させ、モノマー^(注2)同士を精密に配列させることに成功しました。
- 耐熱性、旋光性^(注3)、耐水性といった機能面と、簡単な化学処理による水中での分解性というサステナビリティの両面を併せ持つ、次世代の石油代替樹脂としての応用が期待されます。

【概要】

低環境負荷の観点から、化石資源に依存しないバイオマス資源を用いた樹脂開発は、持続可能な社会の実現につながります。植物や木材から誘導される基礎化学原料は石油由来のものとは異なる分子構造を持ち、バイオマス由来特有の物性が期待されますが、この構造の複雑さゆえに、樹脂を合成する際の重合反応^(注2)におけるモノマーの配列は無秩序、またはその精密制御が難しいという課題が残されていました。

東北大学学際科学フロンティア研究所の田原淳士助教、同大学大学院薬学研究科の谷代省吾大学院生と土井隆行教授らの研究グループは、九州大学先導物質化学研究所の工藤真二准教授、星光 PMC 株式会社（東京・中央、菅正道社長）の外城稔雄氏らと共同で、木材や廃紙から製造可能なバイオマス化合物「レボグルコセノン (LGO)」をモノマーの一つとして用いる、分子鎖が精密に配列された新しいバイオベースポリマーの合成に成功しました。このポリマーは高耐熱性、旋光性、耐水性といった機能面と水中での分解性というサステナビリティを兼ね備えており、次世代の石油代替樹脂としての応用が期待されます。

本成果は 2025 年 1 月 22 日付で、英国王立化学会発行の学術誌 Polymer Chemistry に掲載されました。また学術誌の表紙 (Front Cover) への採択が予定されています。

※カテゴリは広報室に一任してください。

研究

【詳細な説明】

研究の背景

低環境負荷の観点から、化石資源に依存しない代替炭素資源の開発は無視することのできない課題の一つと言えます。近年、その試みの一つとして、バイオマス資源を用いた樹脂開発が、持続可能な社会の実現に向け精力的に研究されています。バイオマス資源を用いた樹脂開発には、バイオポリエチレン^(注4)のように、石油由来と同一の樹脂を合成し社会実装する試みがある一方で、ポリエチレンフラノエート^(注5)がPET樹脂を上回るガスバリア性を示すように、バイオマスならではの分子構造が石油由来樹脂を凌駕する物性を発現し得ることも知られています。

このような中で本研究チームはLGOに注目しています(図1)。LGOは木材や廃紙に含まれるセルロース^(注6)の熱分解で得られるバイオマス化合物で、その歴史は古く、1970年代の発見以降、主に天然物の全合成やがん治療薬といった、創薬科学の分野で研究されてきました。ごく最近、海外企業での工業化に伴い大量供給が実現したことから、樹脂としてのLGOの利用に広く注目が集まりつつあります。

LGOを用いたポリマー合成はここ数年でいくつか報告例がありますが、LGOが持つ分子構造の複雑さから、重合時に結合形成する位置や反応面の制御が困難で、無秩序に配列されたLGOポリマーに関する報告がほとんどでした。

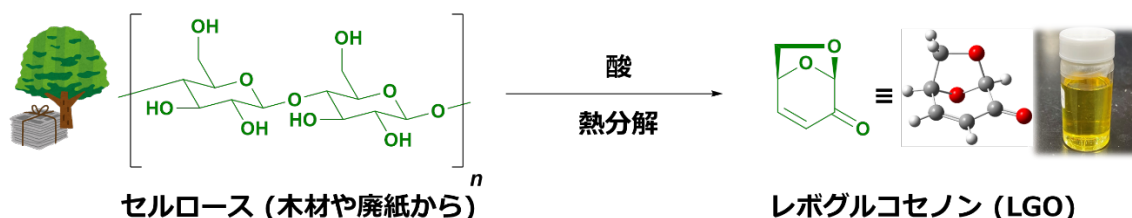


図 1. バイオマス化合物の一種・レボグルコセノン (LGO)。木材や廃紙といったセルロースの熱処理によって入手可能。

今回の取り組み

今回、本研究チームは、このバイオマス資源であるLGOを原料に用いて、モノマー同士が精密に配列されたポリマーの合成に成功しました(図2)。ポリマー鎖の構築にはLGOへの①硫黄試薬(図2内の青色試薬)の付加反応^(注7)および②ヒドラジド架橋剤(図2内の赤色試薬)との縮合反応^(注8)が採用されましたが、特に反応②について、結合の際の立体選択性は明らかにされていませんでした。そこで、ポリマー合成を開始する前に低分子モデル化合物を用いて反応②の立体化学について検証したところ、核磁気共鳴(NMR)^(注9)を用いた解析から、反応②は立体選択的に進行し、単一の生成物を与えることを明ら

かにしました。

モデル化合物から得られた知見をもとに、LGO を含む種々のポリマー鎖を合成することに成功しました。得られたポリマーについて NMR 解析を行った結果、いずれのポリマーに関しても LGO（緑）、硫黄試薬（青）、ヒドラジド架橋剤（赤）が精密に配列されていることが明らかとなりました。

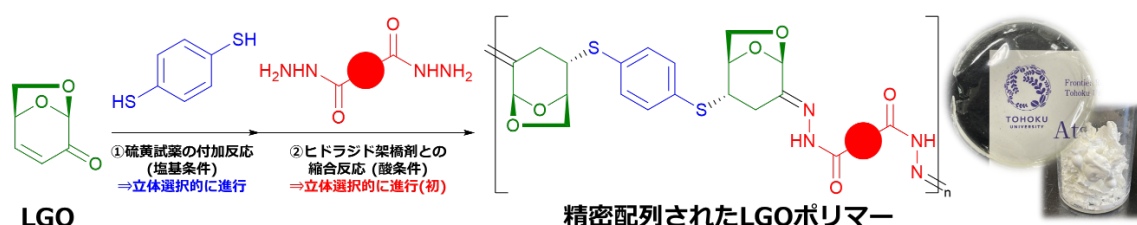


図 2. 本研究では LGO を用いた精密配列されたポリマーの合成に成功した。ポリマーは白色固体で、無色透明のフィルムへの加工も可能である。

合成したポリマーは高い熱安定性を示したほか、LGO が本来もつ光学特性が反映され、旋光性を示すポリマーとしての物性を有することが明らかとなりました。更に、合成したポリマーは水に不溶でありながら、簡便な化学処理によって、室温下、容易に水中で分解可能なことも明らかとなり、マイクロプラスチックによる海洋汚染問題にも貢献可能であることが示されました（図 3）。

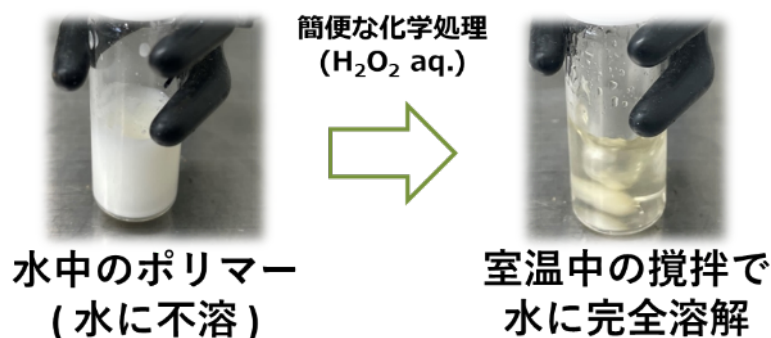


図 3. 合成した LGO の水分解試験の様子。ポリマーは水に不溶だが、簡便な化学処理によって直ちに水に溶解分解する。

今後の展開

本成果は機能性とサステナビリティの両面を兼ね備えた、全く新しいバイオベースポリマーの提案を可能にしており、石油に依存しない、次世代炭素材料としての応用が期待されます。本研究をリードした田原助教は「LGO を用いた今回のポリマー鎖の構築および分解反応は、いずれも創薬科学において見出された低分子反応に着想を得ており、低分子創薬科学と高分子化学の学際融合を

経て達成された成果と言えます」と強調します。今回の反応では一部に石油由来基礎化学原料を用いていますが、今後はその部位もバイオマス資源へと転換することで、更なる環境調和性に優れたバイオマスポリマーの社会実装へとつながるものと期待されます。

【謝辞】

本研究は、NEDO 委託事業「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発／カーボンリサイクル・次世代火力推進事業／カーボンリサイクル技術の共通基盤技術開発」（JPNP16002）、JSPS 科研費（JP22H02089, JP22H05554, JP24H01304）、JSPS 卓越研究員事業（JPMXS0320200558）、JST 次世代研究者挑戦的研究プログラム（JPMJSP2114）の支援を受けて行われました。

【用語説明】

注1. バイオマス資源

生物から生まれた資源のこと。森林の間伐材、家畜の排泄物、食品廃棄物など、さまざまなものが資源として活用されている。

注2. ポリマー

多数の繰り返し単位からなる高分子化合物のこと。ポリマーを構成する最小の単位をモノマーと呼び、モノマーからポリマーを合成するための化学反応を重合反応と呼ぶ。ポリマーのうち、バイオマス資源を原料とするポリマーをバイオベースポリマーと呼ぶ。

注3. 旋光性

ある種の物質（旋光性物質）が、その中を通過する直線偏光の偏光面を回転させる性質のこと。右手と左手のように互いに鏡写しの関係にある分子の過剰率や一方の異性体の純度をはかる指標となる。

注4. バイオポリエチレン

主にサトウキビなどの植物から製造されるエチレンを用いて合成される、植物由来の樹脂のこと。

注5. ポリエチレンフラノエート

バイオマスから誘導される 2,5-ジフランカルボン酸とエチレングリコールの重合体。テレフタル酸を用いて合成される PET 樹脂と類似した構造を有するが、PET 樹脂と比較して、酸素などのガスバリア性が高く、食品の劣化を抑えると期待される。

注6. セルロース

植物細胞の細胞壁や繊維の主成分であり、地球上で最も多く存在する炭水化物（多糖類）のこと。単糖であるグルコースが直鎖状に結合した天

然の高分子。

注7. 硫黄試薬の付加反応

炭素-炭素二重結合に対して硫黄試薬が炭素上に付加して、炭素-硫黄結合を形成する反応。LGO の場合、その分子構造から2通りの付加体が生成し得るが、立体的に空いている方から選択的に付加反応が進行することが過去の研究から明らかにされている。

注8. ヒドラジド架橋剤の縮合反応

炭素-酸素二重結合とヒドラジド基が反応し、水分子を脱離しながら炭素-窒素二重結合を形成する反応。LGO の場合、その分子構造から2通りの付加体が生成し得るが、その選択性については明らかにされていなかった。今回の成果で、単一の生成物を選択的に与えることを明らかにした。

注9. 核磁気共鳴 (NMR)

磁場を用いて、ある化学種の構成原子の置かれた環境を1つ1つ区別して調べることができ、原子同士のつながり方もわかる分析手法。

【論文情報】

タイトル : Stereoselective Polycondensation of Levoglucosenone leading to Water-Degradable Biopolymers

著 者 : Atsushi Tahara*, Shogo Yashiro, Toshio Hokajo, Shinji Kudo, Yuta Yoshizaki, Tomohiro Konno, Takayuki Doi

*責任著者 : 東北大学学際科学フロンティア研究所 助教 田原淳士

掲載誌 : Polymer Chemistry

DOI : 10.1039/D4PY01094A

URL : <https://doi.org/10.1039/D4PY01094A>

【問い合わせ先】

(研究に関すること)

東北大学 学際科学フロンティア研究所

助教 田原淳士 (たはら あつし)

TEL: 022-795-6868

Email: tahara.a.aa@tohoku.ac.jp

(報道に関すること)

東北大学 学際科学フロンティア研究所 企画部

特任准教授 藤原 英明 (ふじわら ひであき)

TEL: 022-795-5259

Email: hideaki@fris.tohoku.ac.jp