



令和 5 年 1 0 月 5 日

科学技術振興機構（JST）  
Tel：03-5214-8404（広報課）

東京都立大学  
Tel：042-677-1806（企画広報課）

大阪産業技術研究所  
Tel：06-6963-8331（森之宮センター企画部）

## 植物由来でリサイクルや強度・伸びに優れたポリエステル開発 ～高性能触媒でポリマー合成、サステイナブル材料研究加速へ～

### ポイント

- 資源循環型社会（サーキュラーエコノミー）の実現に向け、石油資源に頼らない、分解・リサイクル可能な高機能バイオマスプラスチックの開発が急務である。
- 非可食の植物由来原料から、ポリエチレンなどの汎用プラスチックより優れた物性を示す、ケミカルリサイクル<sup>注1)</sup>可能な高機能バイオベースポリエステル<sup>注2)</sup>を開発した。
- 高性能触媒によるポリマー（高分子）<sup>注2)</sup>の合成技術開発が成功の鍵で、バイオマス資源から優れたサステイナブル材料の研究開発が加速すると期待される。

JST 戦略的創造研究推進事業（以下、CREST）において、東京都立大学大学院理学研究科の野村 琴広 教授らの研究グループは、大阪産業技術研究所 森之宮センター 物質・材料研究部の平野 寛 部長らの研究チームと共同で、非可食の植物資源から、分解・リサイクル可能で、汎用プラスチックより柔軟で強度に優れるバイオベースポリエステルを開発しました。

分解・リサイクル可能な高機能サステイナブルプラスチックの開発は、サーキュラーエコノミーの実現のための重要課題です。植物油<sup>注3)</sup>から誘導されるバイオベースポリエステルは、ポリエチレンなど石油由来の汎用オレフィン系ポリマーの有望な代替材料になると期待されていますが、引張強度<sup>注4)</sup>や破断伸び<sup>注4)</sup>といった要求される機械特性を超える高機能材料の開発例はほとんどありませんでした。

本研究グループは、非可食の植物油とグルコースなどから誘導されるポリエステルに注目し、今までの重縮合<sup>注5)</sup>法の懸案であった高分子量の（鎖長の長い）ポリマー合成法として、高性能なモリブデン触媒を用いたオレフィンメタセシス重合法<sup>注6)</sup>を開発しました。通常は分子量の増加と破断するまでの強度と伸びは二律背反関係にあります。今回得られたポリマーフィルムの機械特性は分子量の増加とともに向上し、汎用プラスチックより優れた特性を示すことを明らかにしました。

本成果は、分解・リサイクル可能で、汎用プラスチックより優れた引張強度や破断伸びを示すバイオベースポリエステルの材料開発に初めて成功したものです。セルロースナノファイバーを始めとする天然由来の繊維との複合化によるフィルム特性の改良や高強度化などが可能で、サーキュラーエコノミーを指向したプラスチック材料の研究開発における大きなブレークスルーになると期待されます。

本研究成果は、2023年10月4日（米国東部時間）に米国化学会誌「ACS Macro Letters」のオンライン版で公開されます。

本成果は、以下の事業・研究領域・研究課題によって得られました。

戦略的創造研究推進事業 チーム型研究（CREST）

研究領域：「分解・劣化・安定化の精密材料科学」（研究総括：高原 淳 九州大学 ネガティブエミッションテクノロジー研究センター 特任教授）

研究課題名：「機能集積型バイオベースポリマーの創製・分解・ケミカルリサイクル」

研究代表者：野村 琴広（東京都立大学大学院理学研究科 教授）

研究期間：令和3年10月～令和9年3月

JSTはこの領域で、外部刺激により材料を自在に分解する手法を開発するとともに、分解を自在に制御できる材料の開発、それら材料の階層構造制御による高機能化に関する研究、材料における環境に優しい劣化や安定化の制御法の開発を通じて、材料の分解・劣化・安定化の精密制御を達成し、究極の相反する物性である分解性と安定性の自在制御が可能なサステナブル材料開発のための精密材料科学の確立を目指しています。上記研究課題では、豊富な非可食植物資源からのバイオベースポリエステル・アミドの精密合成と高機能材料の開発、ポリマー分解によるモノマーや機能化学品の合成を可能とする高性能触媒の開発に取り組んでいます。

## ＜研究の背景と経緯＞

サーキュラーエコノミーの実現に向けたサステイナブル材料として、植物油などの長鎖脂肪酸エステルから誘導されるバイオベースポリエステルが注目されています。しかし、ポリエチレンやポリプロピレンに代表される汎用プラスチックと同程度の引張強度と破断時伸びといった機械特性を示す材料の報告例はあるものの、この材料の特徴を生かした高機能材料の開発事例は限られていました。このポリマーは、ジカルボン酸とジオールとの反応による重縮合法とオレフィンメタセシス重合法で得られ、特に後者の手法では広範な分子設計が可能になると期待されますが、従来法ではフィルム作製に必要な高分子量ポリマーの合成は極めて困難でした。

そこで本研究グループは、イオン性液体中で反応を行うことで、従来法よりも高分子量のポリマー合成を可能にしましたが、さらに簡便でより高分子量材料が得られる手法の開発に取り組んできました。

## ＜研究の内容＞

本研究グループでは、植物油とグルコースなどから誘導される対称型の繰り返し単位からなるバイオベースポリエステルの合成において、モリブデン触媒によるオレフィンメタセシス重合法で検討を重ねました。その結果、従来のルテニウム触媒による手法よりも高分子量ポリマー（分子量約5万）の合成が可能になりました。この種のポリマーで一般的に見られる傾向とは異なり、今回合成したポリマーは加熱・加圧法により調製したフィルムの引張強度と破断時伸びが分子量の増加とともに向上しました（図1）。その結果、汎用プラスチックより破断時までの伸びと強度に優れた材料開発が初めて可能になりました。

## ＜今後の展開＞

今回開発したバイオマスプラスチック（図2）は、分解・ケミカルリサイクル可能で、ポリマー鎖間の相互作用に有利な対称型の繰り返し単位からなります。従って、使用できる原料の適用範囲が広く、広範な分子設計が可能だけでなく、シンプルな反応であるため大量合成に向けた触媒のスケールアップ実績もあります。さらにセルロースナノファイバーを始めとする天然由来の繊維との複合化による高強度化なども可能になります。これはバイオ原料、特に、図2の中間（ジオール）部位の効果に注目した成果で、今後はサーキュラーエコノミーの実現に向けた材料開発が大きく進展することが期待されます。

<参考図>

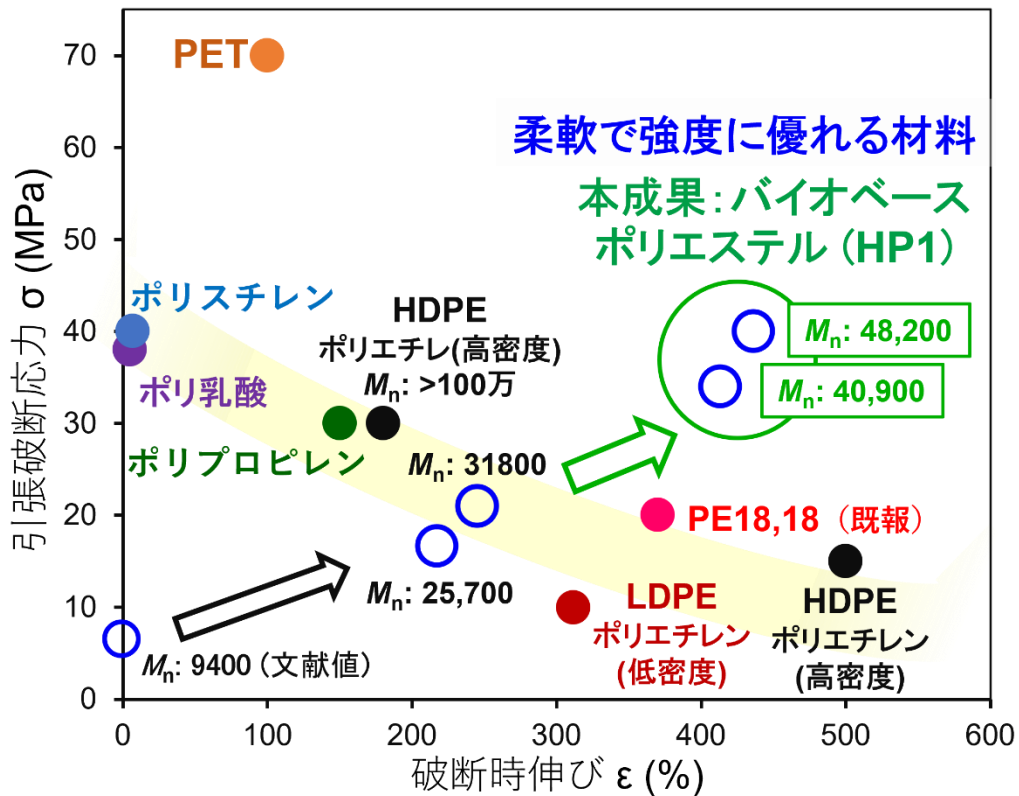


図1 今回開発したバイオベースポリエステルと汎用プラスチックとの機械特性（引張強度と破断時伸び）の比較。引張特性への分子量効果が顕著で（図中○が今回開発したポリエステル）、柔軟で強度に優れる物性を示す。Mnはポリマーの（数平均）分子量。一般的に破断するまでの強度と伸びは二律背反関係にある。

バイオベースポリマーの分子設計

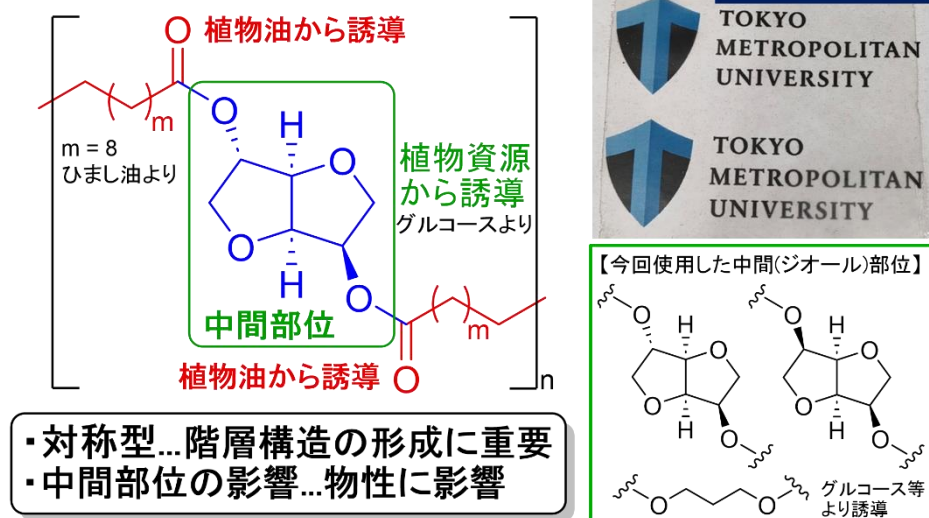


図2 バイオベースポリエステルの基本構造。右上は調製したフィルム。この種のポリマーは定量的なケミカルリサイクルが可能（アルコールとのトランスエステル化）。右下図は、今回開発した植物油とグルコースなどから誘導されるバイオベースポリエステルの基本構造。

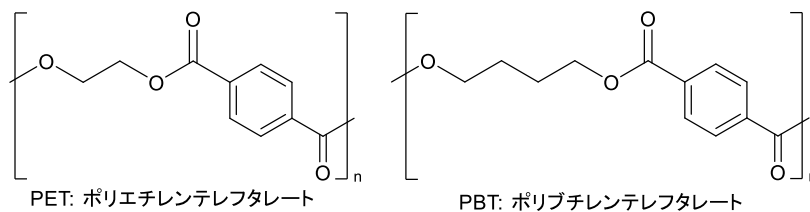
## <用語解説>

### 注1) ケミカルリサイクル

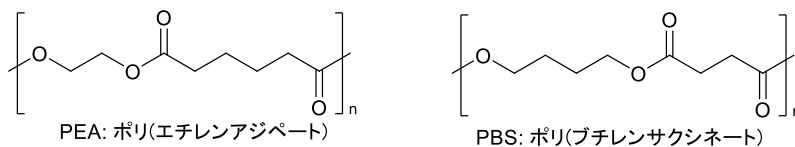
使用済み資源を化学的に処理し、他の化学物質に転換して再利用するリサイクル手法。ここでは、使用済みのプラスチックを製造（合成）前の原料に変換することを意味する。

### 注2) ポリエステル、ポリマー（高分子）

アルコールの水酸基（ROH）とカルボン酸のカルボキシ基（R' COOH）とが脱水することで生成するエステル結合（R' COOR）を繰り返し単位とする重合体（ポリマー）をポリエステルという。



#### 市販のポリエステル(例)



### 注3) 植物油

植物に含まれる脂質を抽出・精製することで得られる常温で液体状の油で、油脂の主要成分は、「グリセリン」という炭素原子が3つのアルコールに「長鎖脂肪酸」と総称される複数の炭素原子の鎖状構造を持つカルボン酸がエステル結合によりつながった構造（トリグリセリド）をとる。グリセリドの分解（アルコールとのエステル交換反応・トランスエステル化）により長鎖（飽和・不飽和）脂肪酸を得る。

### 注4) 引張強度、破断伸び

試料の機械的性質を測定するために、試験規格で定められたダンベル状に撃ち抜かれた試料の試験片（プラスチックフィルム）を破断するまで制御された張力をかけることで、試料の引張強度や伸びなどを測定する（引張試験）。引張強度は試験片を破断するまで引張った時の力で、破断伸びは試験片が破断した時の伸び率を示す。

### 注5) 重縮合

ポリエステルやナイロンの合成などで広く知られる合成法で、2つの官能基を持つ分子同士の反応により、水などの分子を副次的に生産してポリマーを合成する手法。

### 注6) オレフィンメタセシス重合法

「オレフィン」は炭素-炭素2重結合を1つ持つ炭化水素の総称で、「メタセシス」とは「置換」を意味する。従って、オレフィンの2重結合上の置換基の組み換え反応のことを

オレフィンメタセシス反応と呼ぶ。例えば、ルテニウムやモリブデンなどの触媒金属を使った反応により、オレフィン中の炭素と炭素の2重結合が触媒金属と炭素の2重結合（触媒活性種）に置き換わる反応などがある。この反応を使ったポリマーの合成法をオレフィンメタセシス重合法といい、今回の手法はエチレンを副次的に生産してポリマーを合成する重縮合（非環式ジエンメタセシス重合）。

#### <論文タイトル>

“Synthesis of High Molecular Weight Biobased Aliphatic Polyesters Exhibiting Tensile Properties Beyond Polyethylene”

（ポリエチレンを超える引張特性を示す高分子量バイオベースポリエステル合成）

DOI : 10.1021/acsmacrolett.3c00481

著者:Mika Kojima, Xiuxiu Wang, Lance O' Hari P. Go, Ryoji Makino, Yuichi Matsumoto, Daisuke Shimoyama, Mohamed Mehawed Abdellatif, Joji Kadota, Seiji Higashi, Hiroshi Hirano,\* and Kotohiro Nomura,\*

#### <お問い合わせ先>

##### <研究に関すること>

野村 琴広（ノムラ コトヒロ）

東京都立大学大学院 理学研究科 化学専攻 教授

〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1

Tel/Fax : 042-677-2547

E-mail : ktnomura[at]tmu.ac.jp

##### <JST事業に関すること>

安藤 裕輔（アンドウ ユウスケ）

科学技術振興機構 戦略研究推進部 グリーンイノベーション・グループ

〒102-0076 東京都千代田区五番町 7 K's 五番町

Tel : 03-3512-3531 Fax : 03-3222-2066

E-mail : crest[at]jst.go.jp

##### <報道担当>

科学技術振興機構 広報課

〒102-8666 東京都千代田区四番町 5 番地 3

Tel : 03-5214-8404 Fax : 03-5214-8432

E-mail : jstkoho[at]jst.go.jp

東京都立大学管理部 企画広報課 広報係

〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1

Tel : 042-677-1806

E-mail : info[at]jmj.tmu.ac.jp

大阪産業技術研究所 森之宮センター 企画部

〒536-8553 大阪府大阪市城東区森之宮 1-6-50

Tel : 06-6963-8331 Fax : 06-6963-8015

E-mail : tujitani[at]orist.jp