



## 多機能な生分解性プラスチックの効率的製造法を開発

山下舞さん（大学院総合理工学研究科 修士課程 1 年），高坂泰弘 准教授（先鋭材料研究所／化学・材料学科）らは，多様な機能をもつ生分解性プラスチックを効率的に製造する方法を開発しました．類似のプラスチックは中国の研究グループにより報告されていましたが，原料が不安定である上に入手し難く，実用化への課題となっていました（図 1 上段）．今回，高坂准教授らは同等のプラスチックの新しい合成経路を開発し，簡便かつ安価な製造を可能にしました（図 1 下段）．また，このプラスチックが特定の化学物質と反応し，分解する性質も明らかにしています．これらの成果は，プラスチックごみ問題の解決に繋がると期待されます．研究論文は 2019 年 8 月 25 日付で European Polymer Journal 誌（Elsevier; スイス）電子版に招待論文としてされました．

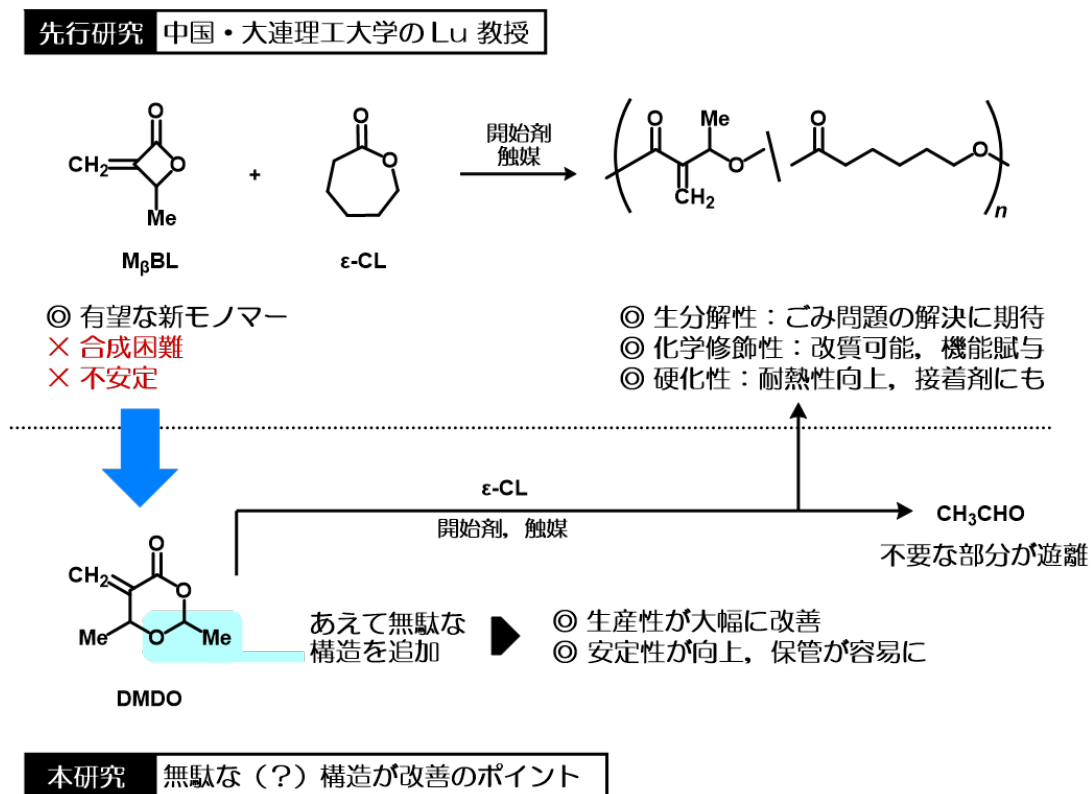


図 1 本研究の概略図：無駄な（？）構造を追加して生産効率を改善！

### 研究背景

生分解性プラスチックは微生物により無害な物質に分解されるプラスチックで，プラスチックごみ問題の解決策として期待されています．また，人体内で分解可能な生分解性プラスチックは，抜糸が不要な縫合糸などの医療材料としても利用されています．その一方で，生分解する以外に特筆すべき機能がないことから，材料

として活躍できる場面は限られていました。

このような背景から、生分解性プラスチックに、耐熱性や撥水性、形状記憶性などの機能を付加する研究が展開されています。2016年に、中国・大連理工大学の呂小兵 教授 (Xiao-Bing Lu) らは、従来のモノマー (□1) に加えて、新たに開発したモノマー (学名:  $\alpha$ -メチレン- $\beta$ -ブチロラクトン, 略称:  $M_{\beta}BL$ ) を併用することで、生分解性プラスチックにアクリルと呼ばれる化学構造を導入することに成功しました (図 1 上段)。このプラスチックはさらなる化学反応により改質や機能の賦与が可能であるほか、接着剤のように硬化・架橋 (□2) させることもできます。これらの性質から、呂教授の新しい生分解性プラスチックへの注目が高まっていますが、 $M_{\beta}BL$  の合成は容易ではなく、不安定で長期保管が困難という課題がありました。

## 本研究の手法と成果および波及効果

- [1] 高坂准教授らは、2,6-ジメチル-5-メチレン-1,3-ジオキササン-4-オン (略称: DMDO) と呼ばれる物質から新しいアクリル樹脂を合成し、2016年に学術論文として発表しました。この論文で、DMDO が生分解性プラスチックの原料としても有望なことを指摘していました。
- [2] 重合反応 (□3) は反応開始剤であるアルコールを DMDO に加え、触媒であるジフェニルリン酸を添加して実施しました。定説では DMDO はそのままポリマー骨格に組み込まれるはずですが、実際には DMDO から一部が欠損した構造がポリマー骨格に組み込まれることがわかりました (図 1 下段)。原料こそ DMDO ですが、生成物は  $M_{\beta}BL$  が重合したポリマーと同等の化学構造です。DMDO はポリマーには組み込まれない無駄な化学構造を含んでいますが、これにより、既存の基礎化学薬品から常温・常圧で合成することが可能で、安定に保存できるようになります。つまり、 $M_{\beta}BL$  と比べて生産性・保存性が圧倒的に優れています。このため、 $M_{\beta}BL$  の代替原料として期待されます。
- [3] 一般的な生分解性プラスチックの原料である  $\epsilon$ -カプロラクトン ( $\epsilon$ -CL) と DMDO を併用すると、アクリル骨格を含む生分解性プラスチックが得られました。呂小兵 教授が報告しているように、このプラスチックは改質や硬化が可能で、多機能性プラスチックとして注目されています。
- [4] 高坂准教授らは過去の研究で、ある種のアクリル骨格がアンモニアやチオールといった天然の化学物質により、容易に分解することを報告していました。 $\epsilon$ -CL と DMDO から合成した生分解性プラスチックに同様の化学反応を行うと、DMDO 由来のアクリル骨格だけが選択的に分解することがわかりました。従来の生分解性プラスチックは分解速度が遅いことが課題でしたが、このような化学分解を生分解に併用することで、より迅速な分解・浄化が期待されます。
- [5] 実用化への課題として、DMDO の反応性が乏しいことが挙げられます。今回の研究では標準的な条件で DMDO を重合することを目指しましたが、実用化に十分な重合度 (※4) のポリマーは得られていません。今後は DMDO の重合に有効な触媒の開発や反応条件の最適化が求められます。

## 用語解説

- ※1 モノマー: プラスチックや繊維はポリマー (重合体, 高分子) という巨大分子を主成分としています。ポリマーは、無数のモノマー (単量体) が互いに連結する化学反応 (重合反応) により合成されます。1 種類のモノマーからポリマーを合成することもできますが、DMDO と  $\epsilon$ -CL のように、複数のモノマーを併用することも可能です。
- ※2 硬化・架橋: ポリマーが互いに連結し、糸状・針金状から網状に変化する化学反応。一旦架橋すると、加熱しても流動性が現れなくなり、成形加工は困難になる。一方で、耐熱性や靱性は向上する。硬化反

応は接着剤が接着する際にしばしば用いられる。

※3 重合： □1モノマーの項を参照。

※4 重合度： 重合反応で、1つのポリマーを構成するモノマーの連結数。

#### 研究者紹介： 高坂泰弘 准教授（先鋭材料研究所／繊維学部化学・材料学科）

高分子化学を専門とし、新しい分子設計に基づく重合反応・機能高分子材料の開発を追求している。信州大学には2015年に弱冠30歳で着任し、独自に研究室を主宰。2019年に高分子研究奨励賞（高分子学会）、繊維学会奨励賞をダブル受賞。2018年にはPolymer Chemistry誌（Royal Society of Chemistry, UK）が特集するEmerging Investigator（新進気鋭の研究者）世界33傑に選出。

#### 論文情報

掲載誌：European Polymer Journal (Elsevier, スイス; Impact factor 3.621)

論文題目：Synthesis of Poly(Conjugated Ester)s by Ring-Opening Polymerization of Cyclic Hemiacetal Ester Bearing Acryl Skeleton

（アクリル骨格を有する環状ヘミアセタールエステルの開環重合によるポリ共役エステルの合成）

本論文は招待論文として寄稿され、査読を経て2019年8月11日に受理されました。

#### お問い合わせ先

信州大学先鋭材料研究所／繊維学部化学・材料学科機能高分子学コース

准教授 高坂 泰弘（こうさか やすひろ）

〒386-8567 長野県上田市常田 3-15-1 信州大学上田キャンパス G507 号室

TEL: 0268-21-5488 e-mail: kohsaka@shinshu-u.ac.jp