

# “食べられる触媒”を利用した生分解性高分子の精密合成

～安全かつ実用的な高分子合成法の確立に期待～

## ポイント

- ・食品添加物を触媒として用いた生分解性ポリエステルの精密合成法の確立に成功。
- ・本手法により、多様な構造を有する高付加価値な生分解性高分子材料の合成が可能に。
- ・実用性と安全性を両立した高分子合成法として、社会実装が期待。

## 概要

北海道大学大学院工学研究院の佐藤敏文教授、磯野拓也准教授及び李 豊助教らの研究グループは、食品添加物として利用されている安全性の高い化合物を触媒として用い、ポリ乳酸やポリ- $\epsilon$ -イブシロン- $\epsilon$ -カプロラクトンなどの生分解性を有する脂肪族ポリエステル（APE）の精密合成法を確立しました。

APE は、生分解性・生体適合性・生体吸収性に優れていることから、環境に優しいプラスチック材料として、また吸収性縫合糸やインプラントなどの医用高分子材料としての応用が進められています。現在、APE の工業的合成には、スズなどの重金属を含む触媒を用いた重合反応<sup>\*1</sup>が一般的に採用されていますが、製品中に残存する金属成分が自然環境や生体に悪影響を及ぼす可能性が指摘されています。このため、重金属などの有害成分を含まない、安全な有機触媒<sup>\*2</sup>を用いた合成法の開発が強く求められていました。

本研究では、安全性の高い有機触媒として、クエン酸／クエン酸ナトリウム／クエン酸カリウム、並びにサッカリン／サッカリンナトリウムといった、食品添加物として広く利用されている有機酸及びそのアルカリ金属塩に着目しました。無溶媒条件<sup>\*3</sup>下において、これらを触媒として用いることで、高分子の構造及び分子量を精密に制御した高分子合成に成功しました。また、有機酸とアルカリ金属塩の選択により、多様なモノマーの重合が可能であることを示しました。さらに、異なる触媒を組み合わせ、更に高付加価値なランダム共重合体<sup>\*4</sup>やブロック共重合体などの合成にも応用できることを明らかにしました。

本研究成果は、安全性と機能性を両立した新たな生分解性高分子の合成技術として、材料科学及び環境分野への幅広い応用が期待されます。

なお、本研究成果は、2026 年 2 月 2 日（月）公開の *Green Chemistry* 誌に掲載されました。



## 【背景】

近年、環境問題への関心の高まりを背景に、環境に配慮した高分子材料の開発及び生産が強く求められており、その代表例として脂肪族ポリエステル（APE）が注目を集めています。APE は生分解性に加え、生体適合性及び生体吸収性にも優れていることから、環境分野にとどまらず、医用分野においても幅広く応用されています。一方で、APE の工業的合成にはスズなどの金属触媒を用いた手法が一般的に採用されており、製品中に残存する金属成分が環境や生体に悪影響を及ぼす可能性が指摘されています（図 1）。特に医用材料として利用する場合には、残存金属を低減する必要があるため、煩雑な精製・除去プロセスが必要となります。

このような課題を背景に、有害金属を含まない有機触媒を用いた合成手法の開発が進められてきました。有機触媒を用いた APE 合成に関する研究は古くから行われているものの、その多くは強い酸性または塩基性を示す触媒系であり、取り扱いの難しさやコストの高さといった点から、実用化には依然として課題が残されています。さらに、一部の有機触媒については生体毒性が報告されている例もあり、有機触媒であっても必ずしも安全であるとは限りません。このような背景から、実用性と安全性を両立した触媒系の開発が重要な課題となっています。

## 【研究手法及び研究成果】

これまでの研究により、有機酸やアルカリ金属カルボン酸塩が有機触媒として重合反応に有効であることが報告されています。これらの化合物は取り扱いが容易で、かつ低コストであることから、実用的な高分子合成への応用が期待されています。そこで本研究では、より高い安全性を有する触媒として、食品添加物として使用されている有機酸及びそのアルカリ金属塩に着目し、これらが APE 合成における安全な触媒として機能するのではないかと考えました。

検討の結果、人工甘味料として利用されているサッカリン／サッカリンナトリウムや、酸味料として使用されているクエン酸／クエン酸ナトリウム／クエン酸カリウムを触媒として用いることで、ポリ乳酸やポリ- $\epsilon$ -カプロラクトンなどの APE 合成に成功しました（図 2）。本重合系では、高分子の構造及び分子量を精密に制御することが可能であり、精密な高分子合成を実現しました。また、有機酸とアルカリ金属塩を使い分けることで、多様な化学構造を有する APE の合成も可能となりました。さらに、有機酸とアルカリ金属塩の組み合わせにより、ランダム共重合体やブロック共重合体など、一般に合成が困難とされる共重合体の合成にも応用できることを明らかにしました。これらの共重合体は、そのモノマー配列構造に応じて物性を自在に調整できるため、高付加価値な材料としての利用が期待されます。

## 【今後への期待】

本研究で確立した合成法により、実用性と高い安全性を兼ね備えた触媒を用いて、多様な物性を有する生分解性高分子を創製することが可能となります。したがって、本手法は持続可能な社会の構築に資する新たな材料合成技術として期待されます。

## 【謝辞】

本研究は、JSPS 科研費 JP24H00766、JP24K17719、本学化学反応創成研究拠点 List サステナブル DX 触媒連携研究プラットフォーム (WPI-ICReDD List-PF)、フロンティア化学教育研究センター、フォトエキサイトニクス研究拠点、創成特定研究事業、創成若手研究加速支援事業、異分野融合研究拠点、及び日本食品化学研究振興財団の支援のもとで行われました。

## 論文情報

論文名 Well-Controlled Synthesis of Biodegradable Polyesters using Edible Catalysts (食べられる触媒を用いた生分解性ポリエステルの精密合成)

著者名 三輪俊揮<sup>1</sup>、鈴木涼太<sup>2</sup>、高 添樂<sup>2</sup>、山本拓矢<sup>2</sup>、李 豊<sup>2\*</sup>、磯野拓也<sup>2</sup>、佐藤敏文<sup>2, 3, 4\*</sup>  
<sup>1</sup> 北海道大学大学院総合化学院、<sup>2</sup> 北海道大学大学院工学研究院、<sup>3</sup> 北海道大学総合イノベーション創発機構化学反応創成研究拠点 List サステナブル DX 触媒連携研究プラットフォーム (WPI-ICReDD List-PF)、<sup>4</sup> 国立中央大学化学・材料工学科 (台湾)) \* 責任著者

雑誌名 Green Chemistry (化学の総合誌)

DOI 10.1039/D5GC05933J

公表日 2026 年 2 月 2 日 (月) (オンライン公開)

## お問い合わせ先

北海道大学大学院工学研究院 教授 佐藤敏文 (さとうとしふみ)

T E L 011-706-6602 F A X 011-706-6602 メール satoh@eng.hokudai.ac.jp

北海道大学大学院工学研究院 助教 李 豊 (りほう)

T E L 011-706-6603 F A X 011-706-6603 メール feng.li@eng.hokudai.ac.jp

U R L <http://poly-ac.eng.hokudai.ac.jp/>

## 配信元

北海道大学社会共創部広報課 (〒060-0808 札幌市北区北 8 条西 5 丁目)

T E L 011-706-2610 F A X 011-706-2092 メール jp-press@general.hokudai.ac.jp

## 【参考図】

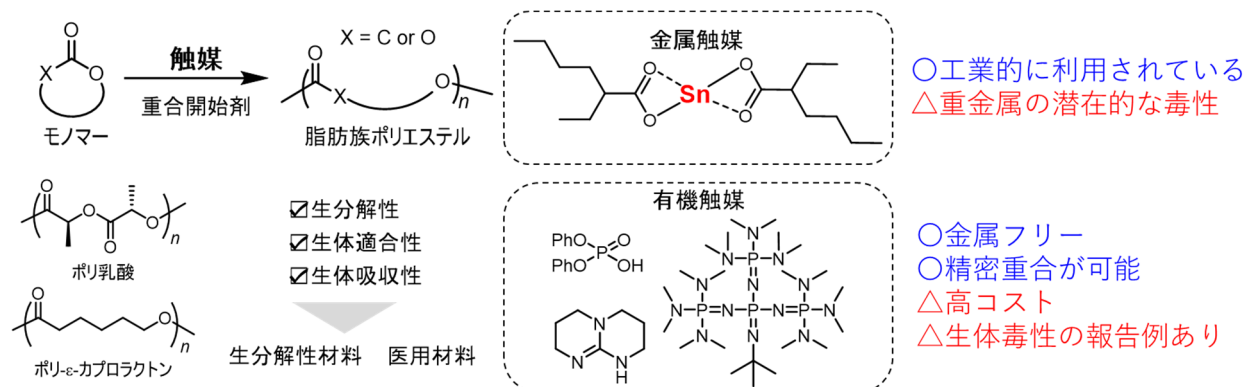


図 1. 脂肪族ポリエステルとその合成法。有機触媒を用いた合成法は古くから研究されてきたが、大規模合成への適用や安全性の面で課題が残っていた。

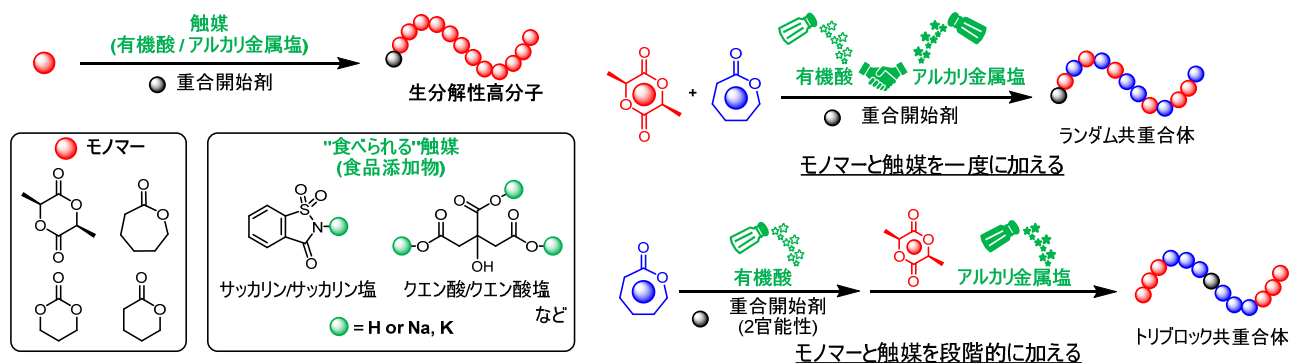


図 2. 食品添加物として利用される化合物を触媒に用いることで、生分解性高分子の精密合成が可能に。二種類の触媒を組み合わせることで共重合体の合成も可能であるため、高付加価値な材料の創出に繋がる。

### 【用語解説】

- \*1 重合反応 … 反応の基質であるモノマーをつなぎ合わせて高分子をつくる反応のこと。
- \*2 有機触媒 … 反応を促進するはたらきを持つ触媒のうち、有害金属を含まない触媒のこと。触媒残留による環境や生体に対する予期せぬ悪影響が少ないと考えられる。
- \*3 無溶媒条件 … 有機溶剤を使わない重合反応のこと。有機溶剤は一般的に毒性があることが知られている。そのため、有機溶剤を使わない「無溶媒」のプロセスは、生産上に求められている。
- \*4 共重合体 … 二種類以上 (A,B,…) のモノマーから構成される高分子のこと。ブロック共重合体 (AAAAAABBBBBB)、ランダム共重合体 (ABAABBABABAB) など様々な配列があり、それに伴い多様な性質を示す。

### 【WPI-ICReDD について】

ICReDD (Institute for Chemical Reaction Design and Discovery、アイクレッド) は、文部科学省国際研究拠点形成促進事業費補助金「世界トップレベル研究拠点プログラム(WPI)」に採択され、2018年10月に本学に設置されました。WPIの目的は、高度に国際化された研究環境と世界トップレベルの研究水準の研究を行う「目に見える研究拠点」の形成であり、ICReDDは国内にある18の研究拠点の一つです。

ICReDDでは、拠点長の下、計算科学、情報科学、実験科学の三つの学問分野を融合させることにより、人類が未来を生き抜く上で必要不可欠な「化学反応」を合理的に設計し制御を行います。さらに化学反応の合理的かつ効率的な開発を可能とする学問、「化学反応創成学」という新たな学問分野を確立し、新しい化学反応や材料の創出を目指しています。



### 【List プラットフォームについて】

List サステナブル DX 触媒連携研究プラットフォーム (List プラットフォーム) は、北海道大学の強みである有機化学、触媒化学の分野で、2021年にノーベル化学賞を受賞したベンジャミン・リスト特任教授を中心として、2023年4月に始動した共同研究プロジェクトです。このプラットフォームでは、計算科学やロボット・機械学習・人工知能などのDX技術との融合による環境負荷やSDGsに配慮した次世代有機触媒 (サステナブル DX 触媒) の開発を飛躍的に進展させるとともに、その関連分野における研究を連携研究として拡張、加速させることで、本学が次世代有機触媒開発の世界的研究拠点としての地位を確立させることを目指します。それにより、基礎研究から研究開発までのスピードアップを実現のうえ、本学の強みの分野で世界トップレベルの先端的融合研究成果を産出することにより世界的な頭脳循環を促進するほか、研究成果の社会実装により、イノベーションの創出や持続可能な社会の構築に貢献します。

