

プレスリリース

高坂泰弘 准教授ら

「分子レベルでの資源循環を実現するビニル系プラスチックの開発」

で高分子学会パブリシティ賞を受賞

資源循環型社会の実現に向けて、プラスチックのリサイクルが求められています。特に、プラスチックを化学分解して原料物質を再生するケミカルリサイクルは、品質劣化のない究極の資源循環法として期待されています。ビニル系プラスチックは製造が容易で、プラスチック総生産量の7割を占める素材です。今回、高坂泰弘 准教授（信州大学先鋭材料研究所／繊維学部）と千葉耀太 大学院生は、ケミカルリサイクルが容易な新しいビニル系プラスチックを開発しました。プラスチックをアルカリ処理すると、高い再生率で原料物質が回収されました。高坂准教授らは昨年にも同様のビニル系プラスチックを報告していますが、今回の研究ではリサイクルの鍵となる原理を解明し、室温、短時間で高速分解する新材料を開発しました。この研究は学術、産業の発展に大きく寄与するものと評価され、第71回高分子学会年次大会（2022年5月25～27日）での成果発表に際し「高分子学会パブリシティ賞」が授与されることになりました。

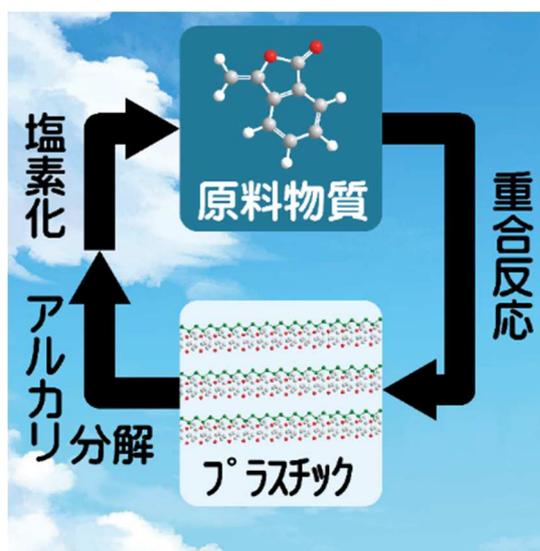


図1. ビニル系プラスチックを分子レベルで資源循環

1. 研究背景

**動機と社会的意義：** 石油資源の供給問題や、プラスチックごみによる環境汚染を背景に、プラスチック製品をリサイクル<sup>\*1</sup>して、省資源と廃棄物削減に努めることが求められています。そこで、素材を分子レベルで原料物質に分解し、再利用するケミカルリサイクルが期待されています。新品と同等の製品を再生することができることから、ケミカルリサイクルは究極のリサイクルと捉えることができます。

ところで、プラスチックの総生産量の7割はビニル系プラスチック<sup>\*2</sup>が占めています。ビニル系プラスチックは合成が容易で、用途に応じて様々な組成・性質の製品を生産できる利点があります。ビニル系プラスチックを高温で分解し、原料物質を含む化成品を得る技術（油化・ガス化）は事業化済みですが、ビニル系プラスチックを単一の原料物質に分解し、再びプラスチックに誘導するケミカルリサイクルは研究段階で、その実現が渴望されています。



図2. アスピリン由来の循環型ビニル系プラスチック

**研究の経緯：** 2019年、高坂准教授らは頭痛薬として知られるアスピリンを原料とする新しいビニル系プラスチックを開発し、この素材がケミカルリサイクルできることを発見しました (図2)。この成果は国内外で広く報道されたほか、文科省が定める令和3年度の戦略的創造研究推進事業の戦略目標に「日本の強み」として紹介されています。しかしながら、アスピリン由来のプラスチックは2種類の原料物質に分解されたため、プラスチックの再生に多段階の工程を必要とする課題がありました。

そこで、構造が類似のポリ(3-メチレンフタリド)と呼ばれるプラスチックに注目しました。このプラスチックは1992年に報告された物質です。2021年に高坂准教授らは、ポリ(3-メチレンフタリド) **1a** を80°Cで鹼化<sup>\*3</sup>すると、原料物質である2-アセチル安息香酸が高効率で回収できることを見出しました (図2A)。この成果を含む研究発表は3つの学会で優秀賞を受賞し、高い評価を受けています (図3)。

## 2. 本研究の成果

**1a** からの原料再生には、80°Cでのアルカリ処理(鹼化)が必要でした。本研究では分解機構を精査し、プラスチックの分子構造を再設計することで、**室温での原料再生が可能な新しい素材**を開発しました。

これまでの成果から、**1a** の分解には、解重合反応と逆アルドール反応という、2種類の化学反応が関与していることが示唆されていました。前者は高速で進行しますが、後者は遅く、80°Cでの加熱が必要になる原因と考えられます。実際、室温での分解を検討したところ、分解はちょうど半分の50%で頭打ちになり、予想した分解機構が正しいことを確認しました (図4)。さらに、**1a** と類似構造を持つ様々なビニル系プラスチック **1b**, **1c** を合成し (図2B)、その分解挙動を比較することで、分解速度に与える因子を調査しました。その結果、プラスチックの化学構造と分解速度の関係が明らかになり、高速分解を実現する分子を設計できるようになりました。こうして設計された新しいビニル系プラスチック **1d** を実際に合成したところ、室温での鹼化でも完全に分解できることがわかりました (図4)。この成果は、簡単にケミカルリサイクルが可能な、新しいプラスチック素材を提供するもので、循環型社会の実現に大きく寄与するものと期待されます。

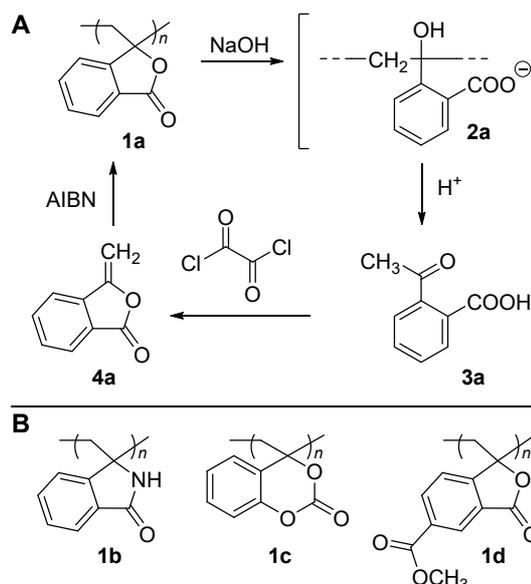


図3. A: ポリ(3-メチレンフタリド)の資源循環。 B: 本研究で検討したポリマー。



図3. 当該研究は昨年も3学会で優秀発表賞を受賞

実際、室温での分解を検討したところ、分

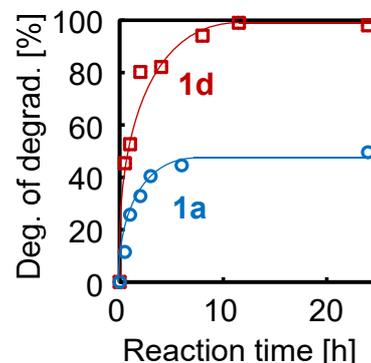


図4. **1a** および **1d** の時間ごとの分解率

### 3. 発表者

千葉 耀太 (ちば ようた, 大学院総合理工学研究科繊維学専攻 修士課程 2 年)

高坂 泰弘

(こうさか やすひろ, 先鋭領域融合研究群先鋭材料研究所／繊維学部化学・材料学科, 准教授)

### 4. 連絡先

先鋭領域融合研究群先鋭材料研究所／繊維学部化学・材料学科, 准教授

高坂 泰弘

[kohsaka@shinshu-u.ac.jp](mailto:kohsaka@shinshu-u.ac.jp)

0268-21-5488

### 4. 参考資料

#### ★ 先行研究：アスピリン由来の循環型ビニル系プラスチック

繊維学部プレスリリース

<https://www.shinshu-u.ac.jp/faculty/textiles//news/2019/05/130734.html>

高分子学会 「第 28 回ポリマー材料フォーラム」 プレスリリース

<https://main.spsj.or.jp/koho/28p.html>

毎日新聞 2019 年 8 月 25 日付記事

<https://mainichi.jp/articles/20190825/k00/00m/040/069000c>

Chem-Station 「アスピリンから生まれた循環型ビニルポリマー」

<https://www.chem-station.com/blog/2019/08/dehydroaspirin.html>

#### ★ 高坂研究室 HP

<http://fiber.shinshu-u.ac.jp/kohsaka/index.html>

### 用語説明

#### \*1 プラスチックのリサイクル

プラスチックのリサイクルには素材を再成形・再加工して使用するマテリアルリサイクルと、いちど分子レベルで原料に分解し、プラスチックを再合成するケミカルリサイクルがあります。アルミ缶は、汚れを除去し再成形するマテリアルリサイクルが可能ですが、PET などのプラスチックでは、同様のリサイクルが困難とされています。プラスチックには塗料や可塑剤といった添加物が含まれており、これらを完全の除去することが難しい上、分子レベルでは少なからず変質・劣化が生じているからです。つまり、廃プラスチックを回収、再成形しても、新品と同等の品質を確保することはできません。他方、ケミカルリサイクルにはリサイクルに伴う品質劣化は一切生じない利点があります。現在、PET のケミカルリサイクルが試験的に事業化されているほか、ポリエステル類を中心に様々な技術開発が研究されています。

#### \*2 ビニル系プラスチック

ビニル基 ( $\text{CH}_2=\text{CH}-$ ) をもつ無数の分子を、化学反応により連結して合成する巨大分子をビニルポリマーと呼びます。このうち、加熱により軟化し、成形加工が可能な素材がビニル系プラスチック (ビニ

ル樹脂) です。ポリエチレンや発泡スチロールは、ビニル系プラスチックの代表例です。また、家庭で合成するビニル系プラスチックに、アクセサリーの制作で使用する UV レジンや瞬間接着剤があります。

ビニルポリマーの基本骨格は炭素原子だけで構成されていますが、炭素-炭素の結合の切断は容易ではありません。これが、ビニルポリマーの分解が難しい理由です。熱や触媒等でビニルポリマーを分解する技術は実用化済みですが、特定の原料物質を再生することはできません。今回開発したビニルポリマーは、単一の原料物質を再生できることから、高効率なケミカルリサイクルが期待されます。

### \*3 鹼化

アルカリ水溶液でエステルを分解する反応で、廃油から石鹼を合成する際に使用するのでこの名前があります。石鹼の合成からわかるように、家庭でも実施できる簡単な化学反応です。