

報道発表 Press Release



2023年11月28日

報道機関 各位

劣化のない資源循環を実現するプラスチックを‘再発見’

(研究成果のポイント)

- ▶ プラスチックごみによる海洋汚染や、化石資源の枯渇を背景に、プラスチックのリサイクルが求められています。
- ▶ 信州大学学術研究院繊維学系の高坂 泰弘 准教授(科学技術振興機構 さきがけ研究者)らは、1990年に山形大学で発明されたプラスチックから、高い回収率で原料分子を再生することに成功しました(図1)。
- ▶ このプラスチックは、製造が容易な反面、リサイクルが困難とされる「ビニルポリマー※1」に区分されます。今回の発見は、リサイクルを前提とした、新しいビニルポリマーの開発指針を提示しています。
- ▶ 研究成果は、2023年11月27日付で、アメリカ化学会発行のACS Macro Lettersに掲載されました。

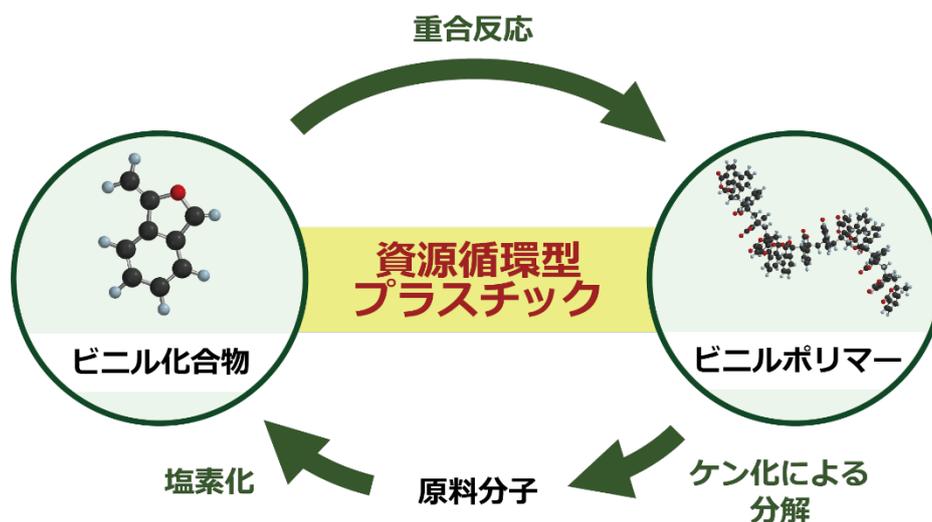


図1 研究成果の概略図

概要

(社会的背景)

プラスチックごみによる海洋汚染が深刻化しています。2015年の世界経済フォーラム(ダボス会議)では、特段の方策なく現在の経済活動を継続した場合、2050年には魚より海洋プラスチックごみの重量が多くなるという試算が披露されました。これを受け、廃プラスチックを回収し、リサイクルする技術開発に注目が集まっています。我が国では、文部科学省により「資源循環の実現に向けた結合・分解の精密制御」が戦略目標として設定されました。そのもとで発足した国立研究開発法人科学技術振興機構(JST)戦略的創造研究推進事業には、高坂が「さきがけ研究者」として参画しています。

ケミカルリサイクル^{※2}は、廃プラスチックを構成する高分子化合物^{※3}を化学反応で分解し、得られる原料物質から高分子化合物を再合成する技術です。分子レベルでリサイクルを実現するため、基本的には劣化がなく、新造品と同等の再生品を得ることができます。プラスチックの総生産量のうち、75%以上はビニルポリマーが占めています。プラスチックの資源循環を達成するためには、ビニルポリマーのケミカルリサイクルが必要になります。

ビニルポリマーは、炭素を主骨格とする高分子化合物で、ビニル化合物^{※4}の化学反応を利用して製造されます。ビニル化合物は不安定で高活性な物質で、少量の触媒や反応開始剤^{※5}を加えると、安定なビニルポリマーに変化します(図2左)。このため、ビニルポリマーのケミカルリサイクルを実現するためには、「安定なビニルポリマーから、不安定なビニル化合物を再生する」技術が必要になります。その実現は容易ではなく、アクリル樹脂など、ごく一部の例外を除いて未達成です。

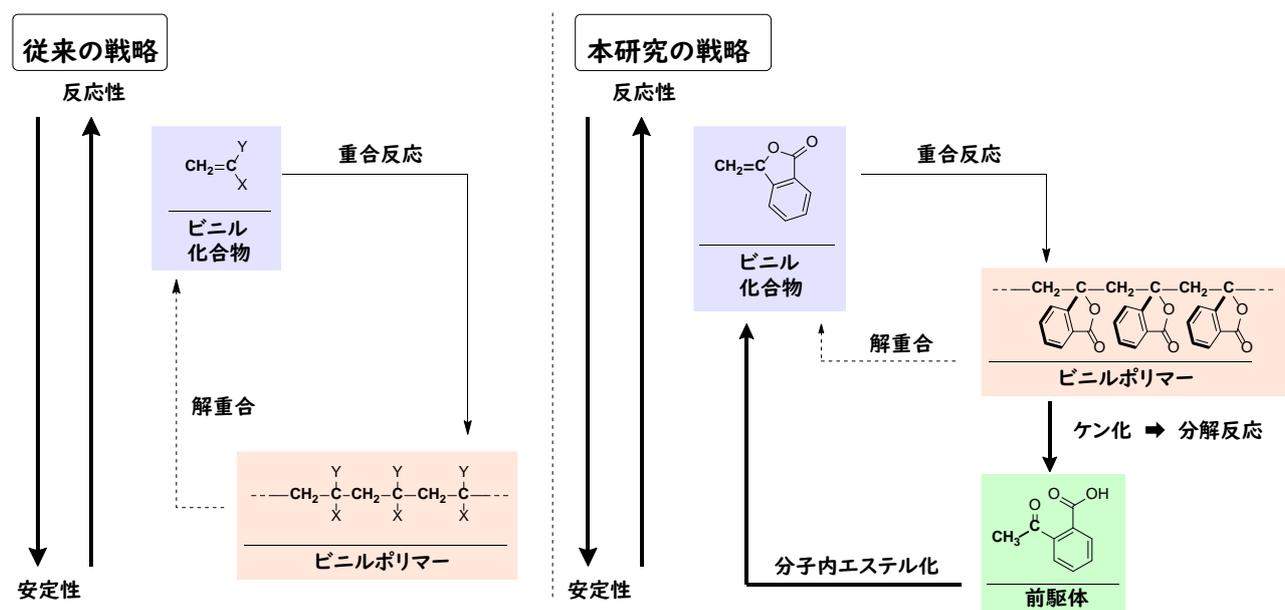


図2 ビニルポリマーのケミカルリサイクルに向けた反応設計。従来法(左)では、安定なビニルポリマーの解重合により、ビニル化合物を直接再生する。本研究が提案する戦略(右)では、ビニルポリマーを前駆体に分解した後、ビニル化合物を再生する2段階プロセスを採用した。これにより、確実な分解と資源循環を実現する。

(研究の手法と成果)

上述のように、「安定なビニルポリマーから、不安定なビニル化合物を‘直接’再生する」技術(図2左)は障壁が高いため、研究チームは別の作戦(図2右)を採用しました。

研究チームは、1990年に山形大学で開発されたビニルポリマーに注目しました。このビニルポリマーは

化学増幅型レジスト材料^{※6}として開発され、酸で処理することで解重合^{※7}し、ビニル化合物を再生すると予想されていました。しかしながら、実際には酸による分解や解重合は進行せず、化学増幅型レジストとしての機能が現れなかったことから、研究が中止されています。

本研究では、このビニルポリマーに、酸ではなく塩基を作用させることを考えました。ビニルポリマーに含まれるエステル結合に対して、水酸化ナトリウム水溶液で処理するケン化^{※8}を行うと、炭素骨格の分解反応が続いて、ビニル化合物の原料（前駆体）が生成しました。この前駆体からは、ビニル化合物を再生することができます。このように、2段階プロセスでビニル化合物を採用することで、ビニルポリマーのケミカルリサイクルが実現することがわかりました。

研究論文では、ケン化を発端に前駆体が再生するメカニズムについて、様々な角度から検証を行っています。そして、図2右の戦略に基づくケミカルリサイクルを実現するためには、どのような化学構造のビニルポリマーが適しているかを論じています。

（波及効果と今後の展開）

私たちの日常生活は、ポリ塩化ビニル（消しゴムなど）、ポリメタクリル酸メチル（アクリルガラスなど）、ポリスチレン（発泡スチロールなど）といった、多様なビニルポリマーが支えています。モノマーとなるビニル化合物を変更することで、耐熱温度や溶解性、機械特性が異なる多様な性能のビニルポリマーが製造できます。一方で、ビニルポリマーのケミカルリサイクルは、ポリメタクリル酸メチルなど一部の例外を除いて達成されていません。本論文は、ケミカルリサイクルを前提とした、新しいビニルポリマーを開発するためのヒントを与えています。根本となる考え方を、本論文の題材となったビニルポリマー（図2右）以外に応用すれば、ケミカルリサイクルが可能な多様なビニルポリマーを生み出すことができます。既存のプラスチックを、こうして生み出された新物質で代替することができれば、持続可能な循環型社会に近づくことができます。

用語解説

※1 ビニルポリマー：ビニル基（ $\text{CH}_2=\text{CH}$ ）およびビニリデン基（ $\text{CH}_2=\text{C}<$ ）をもつモノマー（※2参照）の化学反応により得られる高分子化合物の総称。合成が容易で大量生産しやすい。工芸で使用するUVレジンや瞬間接着剤もビニルポリマーの一種。

※2 ケミカルリサイクル：プラスチックなど高分子化合物（重合体；ポリマー）を化学分解し、得られた原料物質（単量体；モノマー）から高分子化合物を再合成する資源循環方法。モノマーの純度を十分に高めることができれば、分子レベルで高品質な高分子化合物を再生することができる。

※3 高分子化合物：数百～数万の原子が連結した、巨大分子のこと。プラスチックをはじめ、繊維、ゴム、接着剤など、私たちの日常生活を支える重要な材料となる。

※4 ビニル化合物：ビニル基（ $\text{CH}_2=\text{CH}$ ）およびビニリデン基（ $\text{CH}_2=\text{C}<$ ）をもつ化合物のこと。高分子化合物を合成する際の、モノマーとして機能する。

※5 触媒と反応開始剤：触媒は、反応を加速させる物質で、反応前後で自身は変化しない物質のこと。反応開始剤は、少量の添加で化学反応を引き起こす物質のことで、触媒と異なり自身も変化する。

※6 化学増幅型レジスト材料：半導体の微細加工に使用する高分子化合物。光照射により発生した触媒が、連鎖的に高分子化合物を分解し、溶解性に変化をもたらす。

※7 解重合：重合反応の逆反応で、高分子化合物（重合体；ポリマー）から単量体（モノマー）を生成する反応のこと。

※8 ケン化：漢字で書くと鹼化。エステルに水酸化ナトリウム水溶液などを作用させ、カルボン酸塩を誘導する反応。廃油や油脂（高級脂肪酸エステル）から石鹼（高級脂肪酸塩）を製造する反応は、ケン化の一種。

研究チーム

千葉 耀太

信州大学大学院総合医理工学研究科 1年
日本学術振興会 特別研究員(DC-1)

川谷 諒

信州大学繊維学部特任助教 (現所属先:徳島大学大学院社会産業理工学研究部 助教)

高坂 泰弘

信州大学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
科学技術振興機構(JST) さきがけ研究員

研究支援

本研究は日本学術振興会 科学研究費 基盤研究 B(22H02129), ならびに日本学術振興会 特別研究員奨励費(23KJ1042)の支援を受けて実施されました。

論文情報

掲載誌: ACS Macro Letters (アメリカ化学会発行)

論文題目: Chemically Recyclable Vinyl Polymers by Free Radical Polymerization of Cyclic Styrene Derivatives

著者: Yota Chiba, Ryo Kawatani, Yasuhiro Kohsaka

URL: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsmacrolett.3c00573>

DOI: 10.1021/acsmacrolett.3c00573

【問い合わせ先】

〈研究内容に関する問い合わせ先〉

信州大学繊維学部/先鋭領域融合研究群 先鋭材料研究所 准教授 高坂泰弘
Tel: 0268-21-5488

〈報道に関する問い合わせ先〉

国立大学法人信州大学 総務部総務課広報室
Tel: 0263-37-3056 e-mail: shinhp@shinshu-u.ac.jp