

シンポジウム | イノベーション共創プログラム (CIP) : 持続可能社会を創出する高分子科学

📅 2025年3月27日(木) 13:00 ~ 15:25 📍 [E]F402(第2学舎 4号館 [4階] F402)

[[E]F402-2pm] 持続可能社会を創出する高分子科学

座長、シンポジウム関係者：井狩 芳弘、原 賢二、辻 良太郎、粕谷 健一

石油化学は高分子科学工業を生み出し、我々の生活を豊かにしてきました。近年では温室効果ガス排出やプラスチックごみの環境拡散といった新たな問題を生み出しています。高分子科学におけるサーキュラーエコノミーは、これら諸問題に対する革新的解決策創出の重要な切り札と考えられます。CO₂やバイオマスなどから合成される新素材や、樹脂を再利用するための技術、生分解される材料等、様々な研究成果が生まれつつあり、高分子科学は大転換期を迎えようとしています。本セッションでは、持続可能社会を創出する高分子科学の研究前線を紹介すると共に、これからの高分子科学の在り方について議論します。

本セッションは**午前**、**午後**に実施されます。聴講後の[アンケート](#)へのご協力をお願いいたします。

📌 日本語 📌 依頼講演

13:00 ~ 13:30

[[E]F402-2pm-01]

PET分解細菌の代謝解明に基づく持続可能な社会実現への挑戦

○吉田 昭介¹ (1. 奈良先端大)

📌 日本語 📌 依頼講演

13:30 ~ 14:00

[[E]F402-2pm-02]

Plastics to Fertilizers: カーボネート結合を活用した高分子循環システム

○青木 大輔¹ (1. 千葉大学)

14:00 ~ 14:20

[2E_F40204-07-3add]

インキュベーションタイム

📌 日本語 📌 依頼講演

14:20 ~ 14:50

[[E]F402-2pm-03]

さまざまな高分子の設計を可能とする植物由来ビニルモノマーの精密重合

○佐藤 浩太郎¹ (1. 東京科学大学)

📌 日本語 📌 依頼講演

14:50 ~ 15:20

[[E]F402-2pm-04]

生分解性・海洋分解性を有するポリマーの用途展開

○山根 和行¹ (1. 株式会社クレハ)

15:20 ~ 15:25

閉会挨拶

PET 分解細菌の代謝解明に基づく持続可能な社会実現への挑戦

(奈良先端大バイオ¹) ○吉田 昭介¹

Understanding the metabolism of a PET-degrading bacterium to foster a sustainable society
(¹*Division of Biological Science, Nara Institute of Science and Technology*) ○Shosuke Yoshida,¹

Poly(ethylene terephthalate) (PET) is a non-biodegradable plastic widely used in various applications, including clothing and bottle containers. Its resistance to microbial degradation has made PET a major environmental challenge. *Ideonella sakaiensis* 201F-6 is a bacterium capable of utilizing PET as its primary energy and carbon source, providing a potential solution to this issue. To date, two key PET-hydrolyzing enzymes have been identified in this bacterium: PETase, an endo-type enzyme that hydrolyzes PET polymers, and MHETase, an enzyme that hydrolyzes MHET, the degradation product formed by PETase. These enzymes work in tandem to enable effective PET breakdown.

In this talk, I will discuss an updated PET metabolic model of *I. sakaiensis*, based on the functional/structural analysis of a novel PET oligomer-degrading enzyme that was discovered as a protein localized specifically on the PET surface. Furthermore, I will introduce applications such as the engineering of PET hydrolases and the production of polyhydroxyalkanoates (PHAs) using PET as a fermentation feedstock, leveraging the PHA synthesis capability of this bacterium.

Keywords : Poly(ethylene terephthalate) (PET); *Ideonella sakaiensis* 201F-6; PETase; Polyhydroxyalkanoate (PHA)

Poly(ethylene terephthalate) (PET)は、衣類やボトル容器など、さまざまな用途で広く使用される難分解性のプラスチックであり、その耐久性が環境問題の一因となっている。PETを主要なエネルギー源および炭素源として利用可能な細菌として分離された *Ideonella sakaiensis* 201F-6 株は、この問題に対する潜在的な解決策を提供する可能性を有している。これまでに、この細菌から2つの主要なPET加水分解酵素が同定されている。1つ目は、PETポリマーを加水分解するエンド型酵素 PETase であり、2つ目は、PETase によるPET加水分解産物であるMHETの加水分解酵素 MHETase である。これらの酵素は協調して作用することで、PETの効果的な分解を可能にしていると考えられる。

本講演では、PET表面に局在するタンパク質として発見された新規のPETオリゴマー分解酵素の機能および構造解析に基づき、*I. sakaiensis*の新しいPET代謝モデルについて議論する。また、PET加水分解酵素のエンジニアリングや、本菌が有する polyhydroxyalkanoate (PHA)合成能力を活用したPETを発酵原料とするPHA生産といった応用例についても紹介する。

Plastics to Fertilizers: カーボネート結合を活用した高分子循環システム

(千葉大院工¹) ○青木 大輔¹

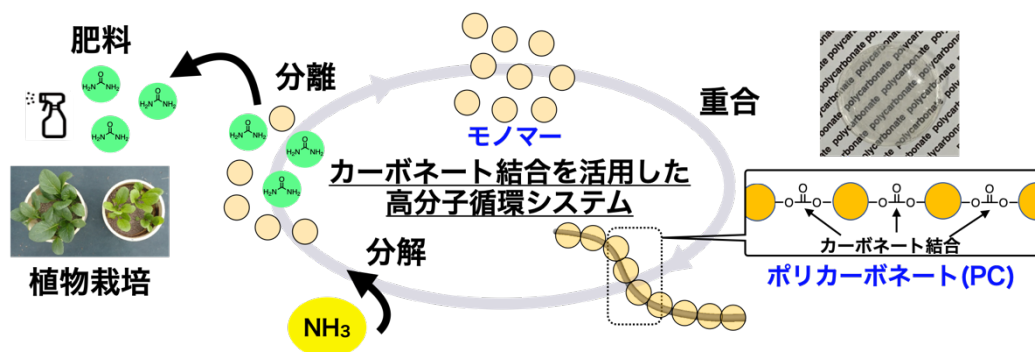
Plastics to fertilizers: polymer circulation system based on carbonate bonds (¹*Graduate School of Engineering, Chiba University*) ○Daisuke Aoki¹

Commodity polymer materials are now required to be environmentally friendly due to problems associated with resource depletion and low recycling rates, which has promoted the development of circular material systems. Herein, a novel concept is introduced, where a polymer is used as a source of a fertilizer. To demonstrate the viability of this concept, which could become a game changer in simultaneously solving the problems of plastic recycling and food production, we focused on the ammonolysis of polycarbonates (PCs). In the system the ammonolysis of PCs proceeds completely to afford monomers and urea as the products (Scheme). This recycling process does not require organic solvents and yields the monomeric diols and urea, both of which are expected to be reused, i.e., all the degradation products are circulated in this system.^{1,2}

Keywords : Polycarbonate; Ammonia; Catalyst-free; Fertilizers; Urea

プラスチックのリサイクルにおける技術的な課題として、「安定性」と「分解性」の両立が挙げられる。安定な高分子は材料として有用である一方、安定が故にその分解は難しくなる。また、分解性に優れた高分子はリサイクル可能である一方、強度が求められる材料として用いることは困難である。そのため安定性と分解性の相反する2つの特性を考慮した分子設計が循環型プラスチックの鍵となる。

このような背景のもと、筆者らは、結合としての安定性と利用後の分解性を考慮してカーボネート結合に注目した。カーボネート結合はそのままでは安定である一方、身近な塩基であるアンモニアと反応して肥料として働く尿素へと変換できる。本発表では、使用後のプラスチックを肥料として活用する新しいリサイクルシステムについて紹介する。^{1,2}



1) T. Abe, R. Takashima, T. Kamiya, C. P. Foong, K. Numata., D. Aoki, and H. Otsuka, *Green Chem.*, 2021, 23, 9030-9037. 2) T. Abe, T. Kamiya, H. Otsuka, and D. Aoki, *Polym. Chem.*, **2023**, 14, 2469-2477.

さまざまな高分子の設計を可能とする植物由来ビニルモノマーの精密重合

(東京科学大物質) ○佐藤 浩太郎

Precision Polymerization of Renewable Vinyl Monomers for Novel Functional Bio-Based Polymers (¹*Department of Chemical Science and Engineering, Institute of Science Tokyo*)
○Kotaro Satoh

Getting the starting materials not from fossil petrochemicals but from renewable bio-resources, the bio-based polymers have recently been attracting much attention reducing our reliance on fossil fuels. The specific or complicated structures originated from natural products are also definitely beneficial for developing high performance or functional bio-based polymeric materials. In this talk, I will present the controlled/living polymerization of a series of naturally-occurring and/or -derived vinyl monomer for creating novel bio-based polymers. In addition, we tried to synthesize novel degradable polymers that is composed of C-C bonds as the main chain but decomposes upon a specific stimulus by using the chemistry of controlled/living polymerization for efficient chemical recycling as well.

Keywords : Bio-Based; Polymers; Precision Polymerization; Renewable Monomers; Plant-Derived Compounds

高分子は、石油から誘導されるモノマーを重合することで得られており、構造の違いにより性質の異なる高分子が合成され、さまざまな用途に用いられる。また、リビング重合をはじめとしたいわゆる精密重合系が見出され、多様な機能性高分子材料の設計も可能としている。一方、近年、環境問題の見直しや循環型社会の形成が求められ、カーボンニュートラルもしくはリデュースの観点から低環境負荷であることが期待される再生可能な植物由来資源から高分子を得る研究が盛んに行われてきている。

我々は、従来の高分子合成において培った精密重合技術を利用し、再生可能な植物由来モノマー (図 1) の制御重合へと研究を展開した。とくに、産業的にも豊富に用いられているが、これまでに高分子原料としてほとんど注目されていなかった比較的安価な植物由来原料にも着目し、様々な制御重合系を開発することにより新規なバイオベースポリマーを創出することを目的とした¹。このような試みは、単に石油由来の原料を植物由来に置き換えるだけではなく、植物由来化合物の特有な骨格を活用することで、これまでの石油由来高分子にない優れた性能や機能をもった高分子が期待され、新しい材料開発にも繋がると考えられる。

本講演では、さまざまな植物由来ビニルモノマーについて、我々が行ってきた制御重合に関する研究成果について概説する²⁻¹⁰。

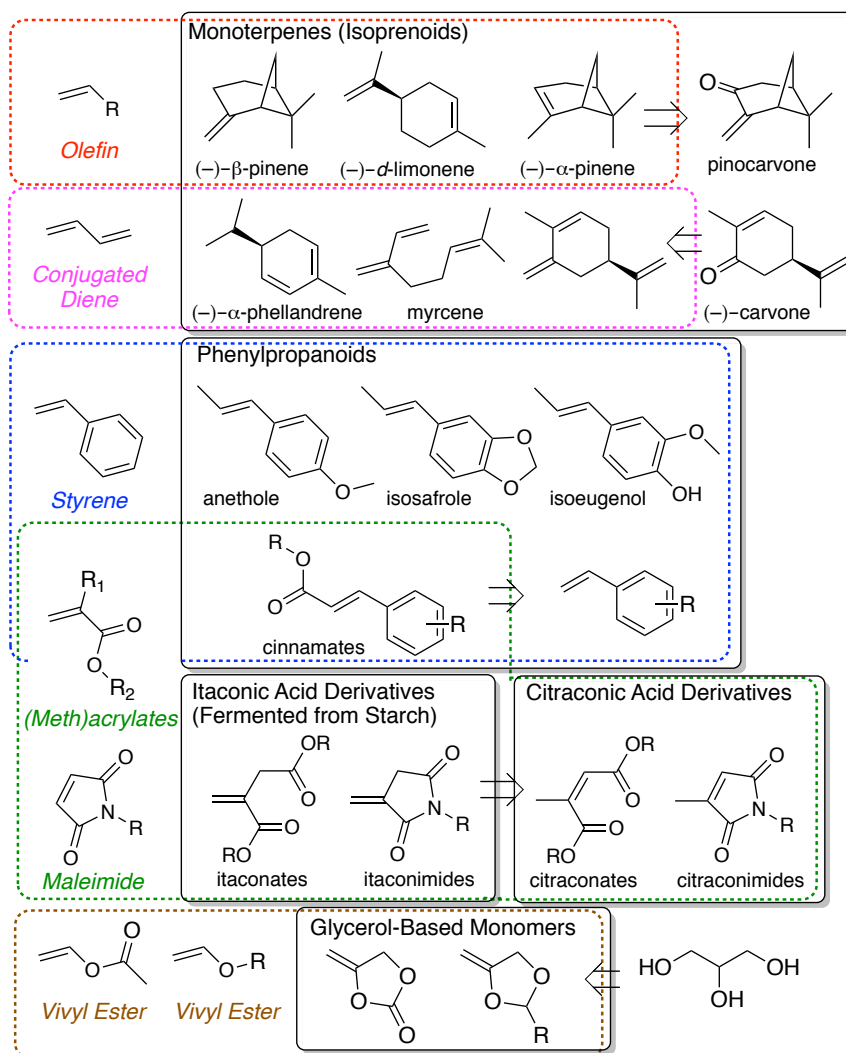


Figure 1. Various Renewable Plant-Derived Vinyl Monomers

- 1) Satoh, K. *Polym. J.* **2015**, 47, 527. 2) Satoh, K.; Sugiyama, H.; Kamigaito, M. et al. *Green Chem.* **2006**, 8, 878; *Polym. Chem.* **2014**, 5, 3222. 3) Satoh, K.; Matsuda, M.; Kamigaito, M. et al. *J. Am. Chem. Soc.* **2010**, 132, 10003; *Macromolecules* **2013**, 46, 5473; *J. Polym. Sci., Part A, Polym. Chem.* **2013**, 51, 1774; *Angew. Chem. Int. Ed.* **2017**, 56, 1789. 4) Satoh, K.; Lee, D.-H.; Nagai, K.; Kamigaito, M. *Macromol. Rapid Commun.*, **2014**, 35, 161. 5) Miyaji, H.; Satoh, K.; Kamigaito, M. *Angew. Chem. Int. Ed.*, **2016**, 55, 1372. 6) Satoh, K.; Saitoh, S.; Kamigaito, M. *J. Am. Chem. Soc.* **2007**, 129, 9586. 7) Nonoyama, Y.; Satoh, K.; Kamigaito, M. *Polym. Chem.* **2014**, 5, 3189. Takeshima, H.; Satoh, K.; Kamigaito, *Macromolecules* **2017**, 50, 4206; *ACS Sustain. Chem. Eng.* **2018**, 6, 13681; *Polym. Chem.* **2019**, 10, 1192; *J. Polym. Sci.* **2020**, 58, 91. 8) Tanizaki, S.; Kubo, T.; Satoh, K. *Macromol. Chem. Phys.* **2022**, 223, 2100378; *RSC Sustainability* **2025**, in press. 9) Chu, C.-W.; Zhang, Y.; Kubo, T.; Tanizaki, S.; Kojio, K.; Satoh, K.; Takahara, A. *ACS Applied Polymer Materials* **2022**, 4, 3687. 10) Kajita, A.; Satoh, K.; Kamigaito, M. *Polym. Prepr., Jpn.*, 2015, 64 (2), 2Pc019. 11) Okoshi, T.; Satoh, K.; Kamigaito, M. *Polym. Prepr., Jpn.*, 2016, 65 (2), 2B07. 12) Kashima, R.; Kajita, A.; Kubo, T.; Kamigaito, M.; Satoh, K. *Chem. Commun.* **2022**, 58, 8766. 13) Kamiki, R.; Kubo, T.; Satoh, K. *Macromol. Rapid Commun.*, **2023**, 202200537.

生分解性・海洋分解性を有するポリマーの用途展開

(株式会社クレハ) 山根 和行

Applications of Biodegradable and Marine-Degradable Polymers (KUREHA Corporation) Kazuyuki Yamane

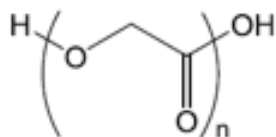
One of the solutions to the plastic waste problem is biodegradable resins. Kureha has been working on this since the 1990s and achieved the world's first industrial commercialization of polyglycolic acid (PGA) in 2011. PGA is a simple aliphatic polyester that exhibits high strength and hydrolyzability based on its backbone structure.

Currently, these properties are being utilized and evaluated as components in shale gas and oil drilling operations. Additionally, it has been found that PGA has the property of inhibiting the attachment of marine organisms in ocean environments.

PGA is hydrolyzable, and its degradation product, glycolic acid, is metabolized in nature. PGA is categorized as a biodegradable resins. It has been confirmed that PGA is biodegradable in compost and marine environments. Furthermore, it has been verified that PGA degrades even at ocean depths below 5000 meters, and further elucidation of its degradation mechanism and exploration of its applications are anticipated in the future.

Keywords : Poly glycolic acid; Biodegradable

プラスチックのごみ問題解決策の一つとして分解性樹脂があるが、クレハでは1990年代から本課題に取り組んできており、2011年には世界で初めてポリグリコール酸の工業的商業化¹⁾に成功し、Kuredux®の商標で事業化している。



ポリグリコール酸は単純な構造の脂肪族ポリエステルであり、その骨格に基づく特性として、高強度と加水分解性を示す。

現在はこの特性を活かし、シェールガス・オイルの掘削作業における部材として評価・使用されている。



表1 Kuredux®の射出成形品の性質		
項目	Kuredux®	
比重	(g/cm ³)	1.57
引張強さ	(MPa)	118
引張破断伸び	(%)	20
曲げ強さ	(MPa)	211
曲げ弾性率	(MPa)	7300
アイソット衝撃強度(ノッチ付)	(J/m)	32
ロックウェル硬度	M scale	125
線膨張係数	(/K)	5.4×10 ⁻⁵
ガラス転移点	(℃)	40
融点	(℃)	220
荷重たわみ温度(18.6kgf/cm ²)	(℃)	168

その他の特性として、海洋において海洋付着生物の付着を抑制する性質があることを見出している。生物の越境問題が国際的海洋関連会議で議論されており、今後の展開が注目される。



ポリグリコール酸は加水分解性を有するが、分解生成物であるグリコール酸は自然界で代謝されるため、生分解性樹脂のカテゴリーに入る。実際、コンポスト中や海洋環境でも生分解することを確認している。また、水深 5000m以下の海底でもポリグリコール酸が分解することを確認しており、今後さらに分解機構の解明や用途展開の検討が期待される。

- 1) Development of an industrial production technology for high-molecular-weight polyglycolic acid, K. Yamane, H. Sato, Y. Ichikawa, K. Sunagawa and Y. Shigaki, Polymer Journal 2014, 46(11), 769.