

廃棄プラスチックから肥料をつくる： カーボネート結合に基づく高分子循環システム

(千葉大学大学院工学院) ○青木大輔

[緒言] 日常生活に欠かせない高分子材料（プラスチック）は、そのほとんどが廃棄されており、材料のリサイクルは10%以下にとどまっている。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。この有機反応を、高分子系（ポリカーボネート）へと適用することで、ポリマー中のカーボネート結合を尿素へと変換できれば、分解生成物は尿素とモノマーの混合物となる。この時、モノマーに生分解性を有する植物由来の化合物を用いれば、分解生成物はそのまま肥料として利用できる^{1,2}。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とその将来展望について紹介する（Figure 1）。

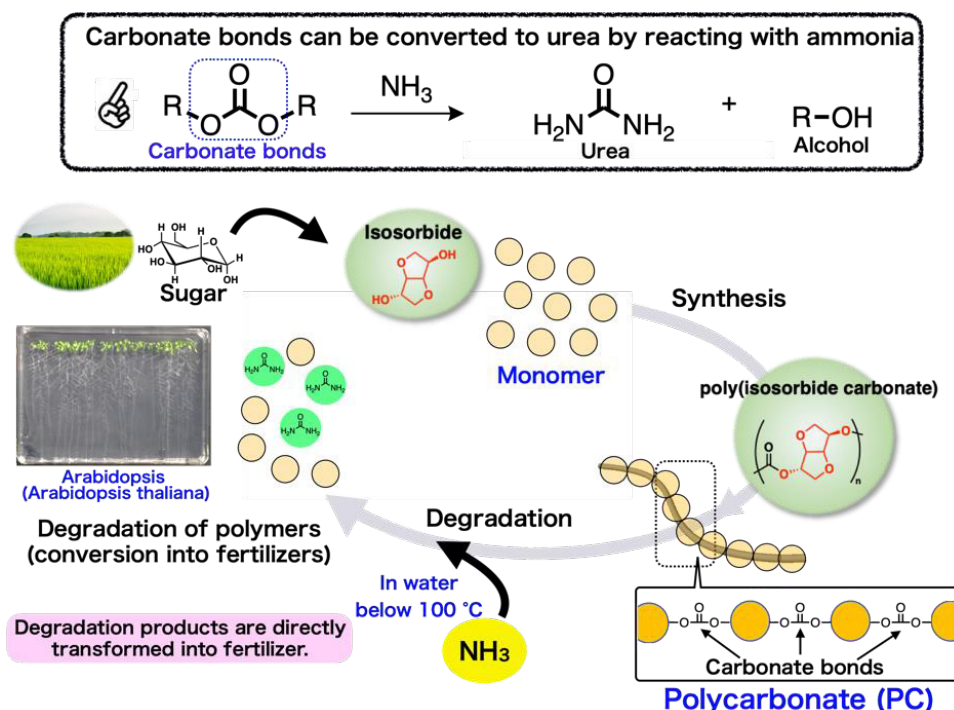
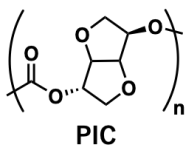
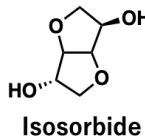
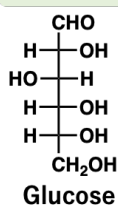


Figure 1. Graphical abstract, where a polycarbonate is used as a source of a fertilizer.

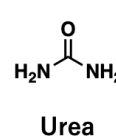
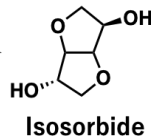
[実験・結果・考察]

Scheme 1. Synthesis and degradation of bio-based polycarbonates

1) Synthesize polycarbonate from biomass resources



2) Degrade polycarbonate with ammonia



3) Examine the effects of degraded products on plant growth

Making Fertilizer from Waste Plastic: Polymer Circulation System Based on Carbonate Linkage、
Daisuke AOKI, Department of Applied Chemistry and Biotechnology, Faculty of
Engineering, Chiba University, 1-33 Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba-shi, Chiba 263-8522, Japan, Tel:
043-290-3397, Fax: 043-290-3397, E-mail: daoki@chiba-u.jp

使用後のプラスチックを肥料として活用するリサイクルシステムを実証するために、グルコースから得られるイソソルビドを原料として³、高分子の主鎖骨格中（繰り返し単位中）にカーボネート結合を有するポリカーボネート（PIC）を合成した（Scheme 1）。

得られたPICをアンモニアで分解し、その反応溶液の経時変化について調査した。PICにアンモニア水を加えた反応溶液の外観は、はじめは不均一な白色の溶液であったが、徐々に均一な溶液へと変化し、24時間後には完全に均一な溶液になった。

次に、カーボネート結合の分解に伴って生成する尿素の生成量や分解生成物を多角的に評価した。その結果、反応時間が進むにつれてポリマー中のカーボネート結合の切断が起こり、分子量の低下が確認されるとともに、尿素の前駆体が安定な中間体として生成することがわかった。反応条件を最適化することで、PICを6時間以内にイソソルビドと尿素へと完全に分解することに成功した（Figure 2）。Figure 2a, bはカーボネート結合の残存割合（切断前を100としてどの程度残っているか）を時間に対してプロットした結果を示している。反応温度が高いほど、またアンモニア濃度が高いほど分解するのに要する時間は短くなった。反応温度を上げるだけで分解を促進することができ、高価な触媒も必要としない本反応は理想的な分解反応と言える。

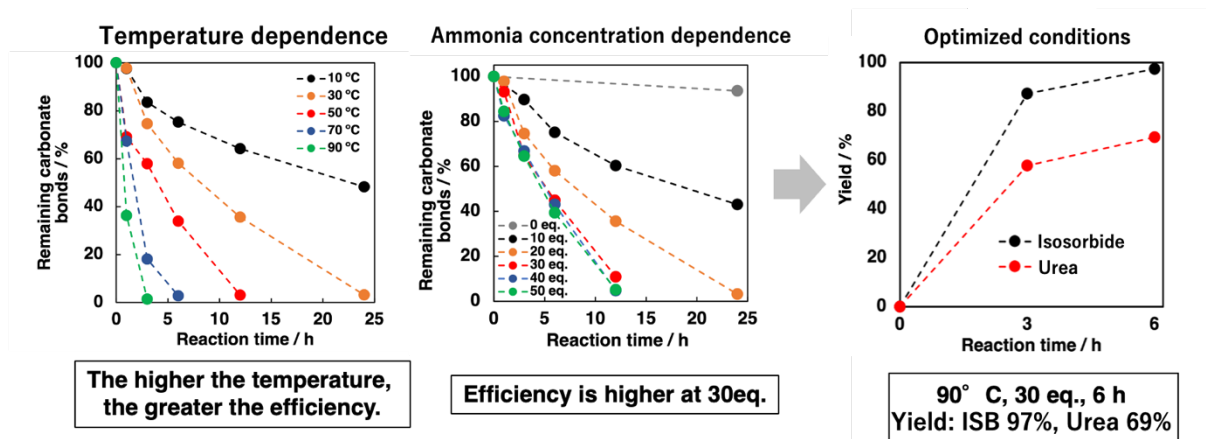


Figure 2. Carbonate bonds remaining and yield of ISB and Urea during ammonolysis.

PICを分解することで得られた分解生成物（尿素とイソソルビドの混合物）を用いて、シロイヌナズナの生育実験を行った（Figure 3）。その結果、PICの分解生成物をそのまま肥料として用いた場合、尿素単体に比べ、シロイヌナズナの成長を促進することが明らかとなった。

今回の結果から、イソソルビドと尿素が適切な比率で混合されていることで、シロイヌナズナがより効率よく窒素栄養を吸収している可能性も示唆された。

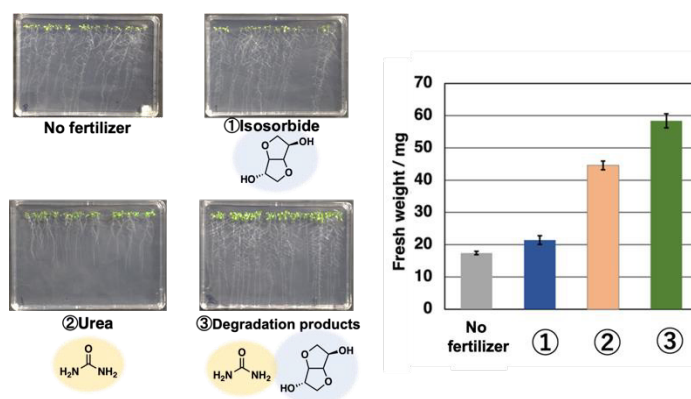


Figure 3. Fresh weight and photographs of Arabidopsis thaliana in each plant-growth test.

[参考文献]

- 1) T. Abe, R. Takashima, T. Kamiya, C. Foong, K. Numata, D. Aoki, H. Otsuka, *Green Chem.*, **23**, 9030 (2021).
- 2) T. Abe, T. Kamiya, H. Otsuka, D. Aoki, *Polym. Chem.*, **14**, 2469 (2023).
- 3) K. Okada, Y. Okada, K. Aoi, *J. Polym. Sci., Part A: Polym. Chem.*, **33**, 2813 (1995).