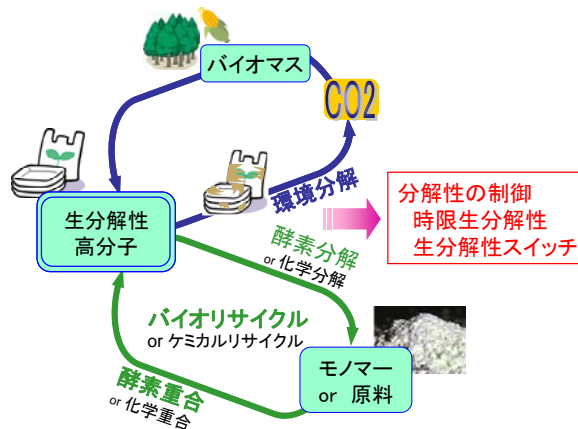


ディビジョン番号	13
ディビジョン名	高分子

大項目	4. 生体・環境関連高分子
中項目	4-2. 生分解性高分子
小項目	4-2-2. 生分解性高分子

概要（200字以内）

生分解性高分子研究分野では、分解の時期、環境、速度を材料や製品の製造段階で規定する時限生分解性や、外部刺激(pH、熱、光など)に应答して生分解が開始・停止されるスイッチ機能のような、分解の精密制御が実現性の高い課題として検討される段階を迎えている。また、更なる環境負荷の低減に向けて、生分解性に留まらずに、分子鎖の分解(化学的または酵素的)の易制御性を利用したリサイクル手法の開発も行われている。



現状と最前線

生分解性高分子(BioDegradable Polymer, BDP)は、天然高分子系(微生物による発酵合成系を含む)と化学合成系に分類することができる。天然高分子はバイオベース高分子でもある。従来、石油を原料としてきた化学合成系でも、最近では、発酵合成乳酸や発酵合成コハク酸などに原料を求めるバイオベース化が盛んである。BDP とバイオベース高分子は必ずしも同一群ではないが、生物の寄与を高分子材料への入口で求めるバイオベース化と、出口で求める生分解性付与は表裏一体の技術である。本稿では“生分解性制御”に焦点を絞って記述する。新規生分解性高分子の開発については、「バイオベース高分子」の項が参考になる。分子レベルでの“酵素分解”については、「高分子の分解-酵素分解性」の項を参照してほしい。また、BDP の応用と普及については「バイオベース/生分解性高分子の応用と普及」を参照してほしい。

BDP の環境分解には、化学的な加水分解と酵素分解の2つの機構が関与している。微生物生産ポリエステルやポリコハク酸ブチレンなど、多くの既存のBDPでは、環境中に豊富に存在する分解酵素の寄与が大きいため、微生物の活動が活発な環境では比較的速やかに分解する。一方、ポリ- $\alpha$ -オキシ酸であるポリ乳酸では分解菌が限られており、数平均分子量で数千程度までは化学的な加水分解が律速となることが多い。このため、ポリ乳酸は通常自然環境中では分解に数年を要するが、コンポストのような高温、高湿、高 pH 環境下では分解が速い。このような分解性の違いは、次に述べる時限生分解性材料の設計に利用できる。

BDP に対しては、使用期間は物性を維持しつつも不要になったら直ちに分解するという、相

反する要求が強い。この様な要求に対して、最近、時限生分解性という概念が検討されるようになってきた。高分子の環境分解速度は、分子鎖の化学構造の他、高次構造、コンポジット化、添加剤などによっても変化することが知られている。これらを系統的に組み合わせることにより、規定の環境下で規定時間後に分解するよう材料設計を行う取り組みである。さらに、外部刺激(pH、熱、光など)に応答して構造が変化して生分解が始まるスイッチ機能の搭載を目指す研究も展開されつつある。

また、活性の高い分解酵素の開発も進められている。三菱化学はコハク酸ベースのBDPと同時に、そのBDP用の迅速分解酵素の開発を行った。酒類総研の正木らは、ポリ乳酸も含む各種の脂肪族ポリエステルに対して極めて高い活性を持つ、非常にユニークなリパーゼを発見した。約20年に及ぶ高分子分解酵素の活発な探索を経ても、いまだに発見される有用性の高い酵素の存在は、環境中に潜在する新規酵素への期待を抱かせる。このような迅速分解酵素には、使用後のBDPに散布して分解を促進するというような用途も考えられるが、カプセル封入、活性化条件の制御などを通じて、時限生分解性やスイッチ機能へも進展可能であろう。

多くのBDPは主鎖に炭素-炭素結合のほかに炭素-ヘテロ元素結合を持つ。炭素-ヘテロ元素結合は結合エネルギーが炭素-炭素結合より低いため、低エネルギーで選択的に切断可能である。これは、BDPがモノマー還元型リサイクルに適していることを意味する。実際、各種のBDPのケミカルリサイクルが検討され、その有用性が実証され始めている。また、酵素分解と酵素重合を組み合わせたバイオリサイクルのための要素技術の検討も進められており、高分子を巡るグリーンサステナブル炭素循環プロセスの創製が期待されている。酵素分解については、従来の石油化学的な手法では得難い高活性有機化合物・モノマーが生成されるケースもあり、新たなバイオリソース提供の可能性を示している。今後、リサイクルのための社会システムを整えば、生分解性プラスチックはモノマー還元型リサイクル性プラスチックとしても再位置づけされることであろう。

#### 将来予測と方向性

- ・ 5年後までに解決・実現が望まれる課題

迅速分解酵素の開発

時限生分解性材料の創製

生分解性高分子リサイクル技術の確立

- ・ 10年後までに解決・実現が望まれる課題

生分解性スイッチ機能材料の創製

生分解性高分子とバイオベース高分子が一体となった炭素循環システムの確立

#### キーワード

環境分解性、時限生分解性、生分解性スイッチ、バイオリサイクル、ケミカルリサイクル

(執筆者：吉江 尚子)