



ポリ乳酸とポリエチレンテレフタレート の分解性

東京理科大学 理学部第一部 化学科 教授

井上 正之
いのうえ まさゆき

前回（本誌 2023 年 4 月号）では、陽イオン界面活性剤である塩化ベンジルドデシルジメチルアンモニウム（以下 BDDMA-Cl）を相関移動触媒として用いるヤシ油のけん化（ヤシ油セッケンをつくる）実験を紹介した¹⁾。今回は、同様に BDDMA-Cl を触媒として用いるポリエステル系高分子の加水分解の実験を紹介する²⁾。扱うポリエステル系高分子は、ポリ乳酸（以下 PLA）とポリエチレンテレフタレート（以下 PET）である。PLA と PET の構造式を【図 1】に示す。

PLA は、よく知られた生分解性プラスチックであり、市販食品の容器などに利用されている。PLA の分解は通常の土壌中では遅い。しかしコンポスト中で高温（>60℃）、高湿度（>80%）、塩基性（pH>8）の環境では、表面から浸透した水によって分子内のエステル結合が加水分解され、平均分子量が 10000 程度の水溶性オリゴマーとなり、さらに微生物の酵素による分解と代謝を受ける³⁻⁶⁾。酵素によらないこの初期の加水分解が、PLA の分解の速さを決める律速段階である⁷⁾。同じくポリエステルに分類される PET と比べて PLA が分解されやすいのは、塩基性条件でのエステル結合の加水分解が迅速に進むためである。今回は PLA と PET の分解性を、塩基性水溶液中でのエステル結合の加水分解（以下、けん化）の速さにより比較する実験を紹介する。

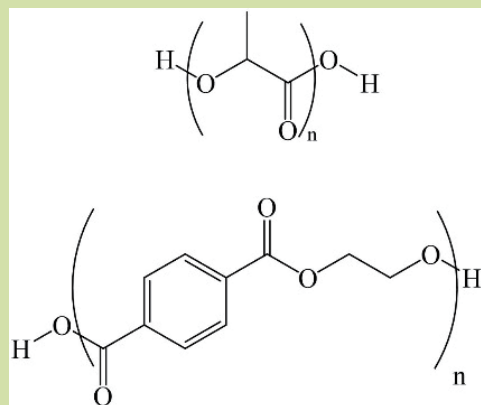


図 1 PLA（上）と PET（下）の構造式

1. 器具の準備

試験管（内径 15 mm）5 本、茶こし、ピンセット、300 mL ビーカー、金網、三脚、ガスバーナー、安全メガネ、保護手袋

2. 試薬の準備

反応試薬：0.1 mol/L 塩化ベンジルドデシルジメチルアンモニウム（以下 BDDMA-Cl）水溶液 60 mL と 1 mol/L 水酸化ナトリウム水溶液 120 mL を混合したもの；約 90 本分）、PLA 片（PLA 製の市販食品の容器を洗浄、乾燥した後、はさみで 1 cm 角に切断したもの）、PET 片（市販の PET ボトルを洗浄、乾燥した後、はさみで 1 cm 角に切断したもの）

3. 実験手順

内径 15 mm の試験管 2 本（A、B）に 1 cm 角に切断した PLA および PET 片を 1 枚ずつ入れる。各試験管に反応試薬を 2 mL ずつ加え、これらの試験管を 300 mL ビーカー中の沸騰水で 5 分間加熱する。試験管を流水で冷却した後、茶こしを用いて試験管からプラスチック片をろ別し、水でよく洗浄して形状を観察する。また触って強度を比較する。

4. 実験を行う際の注意

実験中は安全メガネと保護手袋を着用する。試験管を沸騰水で加熱する際に火傷のおそれがあるので、注意する。実験後の廃液は、所定の容器内に回収する。

5. 結果と理解すべき内容

5.1 実験の結果

【図 2】に反応前、加熱時間、3 分、5 分、10 分の PLA 片と PET 片の様子を示す。PLA 片と PET 片を比較すると、PLA 片の方が白色化し、薄くなって変形している。これは水酸化ナトリウムによるエステル結合の加水分解が、PET より PLA で迅速に進行したためである。実験後の PLA 片では明瞭な形状の変化が観察され、指先で引っ張ると容易に裂くことができる。一方 PET 片は白色化してやや変形するが、強度の変

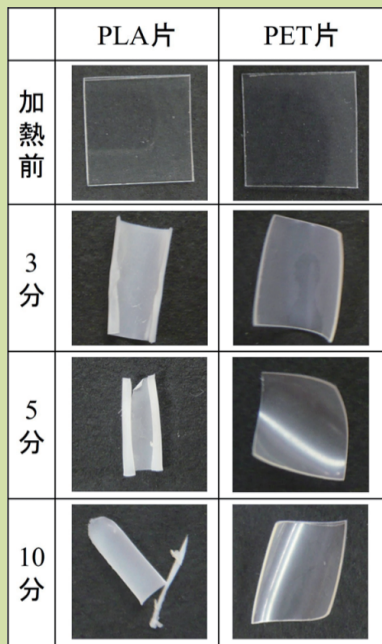


図2 プラスチック片の変化

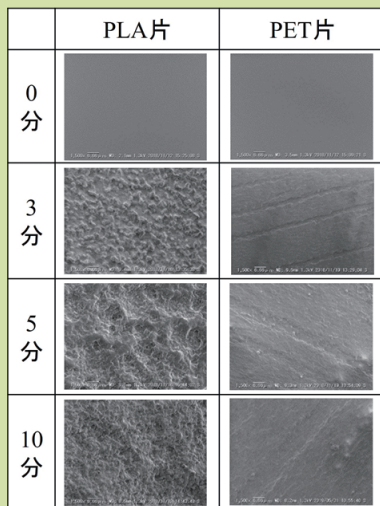


図3 プラスチック片表面の電子顕微鏡写真

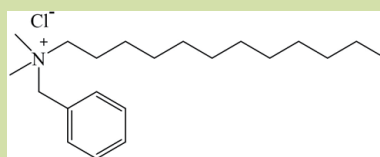


図4 BDDMA-Clの構造

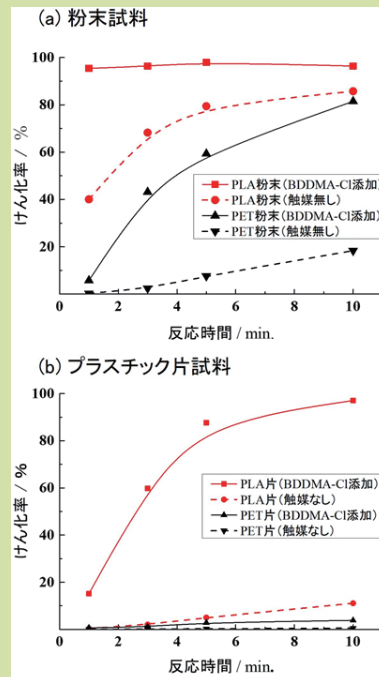


図5 BDDMA-Clの効果

化はほぼない。このように、水酸化ナトリウム水溶液中での加熱によって、PETよりPLAの方が分解しやすいことがわかる。

【図3】は加熱時間3分、5分、10分のPLA片とPET片表面の電子顕微鏡写真である（倍率1500倍）。PET片における画像を俯瞰すると、表面に泡がはじけたような変化が現れ、これが連なって直線的な凹みになり拡がっている。これに対してPLA片では、以下の①、②の過程で分解が進む。

- ① けん化による侵蝕で表面に多数の凹みができ、これが大きくなってつながり、突起状の構造が残る。
- ② さらに反応が進むと突起状の構造が削られて、PLA片の厚さと強度が失われる。

5.2 BDDMA-Clの役割

BDDMA-Cl【図4】は陽イオン界面活性剤であり、PLAとPETのけん化を加速する触媒として作用する。【図5】は粉末状にしたPLAとPETおよび1cm角に切断したPLAとPETを本実験と同じ条件で反応させ、けん化の進行率の時間変化を示したものである。比較のために、BDDMA-Clを添加しない場合のデータも加えた。粉末の場合でも1cm角に切断した場合でもBDDMA-Clを添加することでけん化が加速される。

またBDDMA-Clを添加してもしなくても、PLAのけん化はPETより迅速に進む。別に行った赤外吸収スペクトルの測定結果から、BDDMA-Clを添加することでPLAやPETの表面の親水性が大きくなっていることがわかった。

参考文献

- 1) 井上正之、理大科学フォーラム 2023、434、50.
- 2) 関根彩香、井上正之、化学と教育 2020、68、438.
- 3) 井上義夫、グリーンプラスチック技術、シーエムシー出版、2007、229.
- 4) R. L. Kronenthal, Z. Oser, E. Martin, Polymers in Medicine and Surgery, Plenum Press, New York 1975, pp. 119–137.
- 5) 木村俊範、井原 望、石田頼子、斎藤由香、清水直人、日本食品化学工学会誌 2002、49、598.
- 6) E. J. Rodriguez, B. Macros, M. A. Huneault, J. Appl. Polym. Sci. 2016, 133, 44152.
- 7) 小原仁美、化学と生物 1996、34、174.