

生分解性樹脂ポリ乳酸の強度向上に関する基礎的研究

[研究代表者] 山田 章 (工学部機械学科)

研究成果の概要

持続可能な社会の実現の視点から、石油由来のプラスチックに代わって、バイオマス由来の循環型プラスチックに期待が集まっている。また、使用後のプラスチックの海洋放出による生態系への悪影響を防止するために、生分解性プラスチックへの移行がますます現実味を帯びてきている。本研究では、生分解性樹脂ポリ乳酸に関する基礎的研究として、3Dプリンタによって作製した構造物を浸漬した場合の含水率の変化と強度低下の関係に着目してその関係性を知ることを目的とした。ポリ乳酸は加水分解によって分解が進行するため、構造物の分解速度並びに強度低下は内部の水分量に大きく影響される。超純水に浸漬した試験片を所定の期間放置し、その後に含水率を測定し、曲げ試験を用いて機械的特性を評価した。含水率の測定には加熱乾燥式水分計を用いた。含水率は、浸漬開始から2日後に約1%に到達し、その後は日数の増加とともに僅かに上昇した。最大曲げ応力は、150日間の浸漬により浸漬前の50%程度に低下した。

研究分野：生体工学

キーワード：ポリ乳酸、強度特性、分解特性

1. 研究開始当初の背景

ポリ乳酸は、ポリラクチド系の生分解性樹脂の代表的な材料である。トウモロコシやサトウキビなどの天然物から抽出したラクチドを重合して得られるため、地球の環境に配慮した材料である。この特長を活かして、役割を果たした後の消滅を期待した用途として、梱包材や試作品を作製する際の構造材などに活用されている。

ポリ乳酸の分解は加水分解によって進行するため、構造物に含まれる水分は分解速度に大きな影響を与える。構造物を水溶液に浸漬すると、構造物の含水率は徐々に上昇し、あるところで飽和する。構造物の含水率やその上昇速度は、材料の濡れ性などの物性、内部の空隙率などの構造、材料の分解の形態などに影響される。

実用に際しては、使用期間は十分な強度を保ち続ける必要がある。そのため、分解および強度低下の程度や進行速度を知ることが重要である。また、加水分解の進行に対して水分がどのように影響しているかを知ることが重要になる。

2. 研究の目的

ポリ乳酸を任意の3次元形状に加工する手法として、熱溶解積層方式の3Dプリンタが普及している。造形時には、ノズルの走査パターンを選んで構造物を作製するが、使用した走査パターンによって構造物内部への水の浸透速度や含水量が異なる可能性がある。これに伴って、一定期間浸漬後の強度低下にも違いが出ると考えられる。本研究では、ノズルの走査パターンを変えて試験片を作製し、一定期間浸漬後に含水率を測定する。また、4点曲げ試験を行い、浸漬に伴う強度低下と作製時のノズル走査パターンの関係性を明らかにする。これらの課題を設定して研究を推進することで、機械的特性を向上したポリ乳酸を作製し、ポリ乳酸の応用範囲の拡大を目指す。

3. 研究の方法

(1) ポリ乳酸製試験片の作製

試験片は3×3×35 mmの直方体形状として設計データを作成し、熱溶解積層方式の3Dプリンタ(Lepton2,

MagnaRecta 社製)によって直接造形した。ポリ乳酸材料は、線径 $\phi 1.75$ mm のフィラメント材(白色, キョーラク株式会社製)を用いた。作製時のノズル走査方向は、試験片の長手方向に対して直交(V.), 平行(P.), 45° で交互に積層(C.)の3通りとした。

作製した試験片は、小型スチロールケースに満たした 8 ml の超純水に浸漬した。浸漬後は恒温器内(37°C)で保管した。浸漬期間は、短期間(1, 2, 3, 4 日)および長期間(14, 30, 45, 75, 90, 120, 150 日)とした。未浸漬の試験片は、浸漬期間 0 日として扱った。浸漬後は浸漬溶液から取出し、含水率及び機械的特性を測定した。

(2) 含水率の測定

含水率の測定には、加熱乾燥式水分計(MS-70, エー・アンド・デイ株式会社製)を用いた。浸漬液から取り出した後に、試料の加熱温度は、試験開始から 90 分後に 160°C に上昇し、その後 90 分間温度を維持した後の重量を元に含水率を算出した。

(3) 機械的特性の評価

強度特性の評価には、4 点曲げ試験法を用いた。曲げ試験機(テンシロン万能試験機、株式会社エー・アンド・デイ社製)のヘッド移動速度は、 1.2 mm/min. とした。カー変位のデータから応力-変位の関係を導出し、その後最大曲げ応力、曲げ弾性率、破断エネルギー等を導出して評価した。曲げ試験は、常温(22 - 25°C)で実施した。

4. 研究成果

浸漬に伴う含水率の変化を Fig. 1 および 2 に示す。また、浸漬に伴う最大曲げ応力の変化を Fig. 3 に示す。Fig. 2 より、浸漬開始から 2 日後に含水率は約 1% に到達したことが解った。また、Fig. 2 から時間の経過とともに含水率は上昇するものの、長期間経過後も含水率は最大 2% 程度に留まることが解った。Fig. 3 から試験片の最大曲げ応力は浸漬期間の増加に伴って低下し、150 日間浸漬前の 50% 程度になった。

試験結果から、ポリ乳酸の分解の進行は、浸漬初期の吸水と、その後の分解の進行に伴う含水率の上昇によってさらに加速していくことが解った。

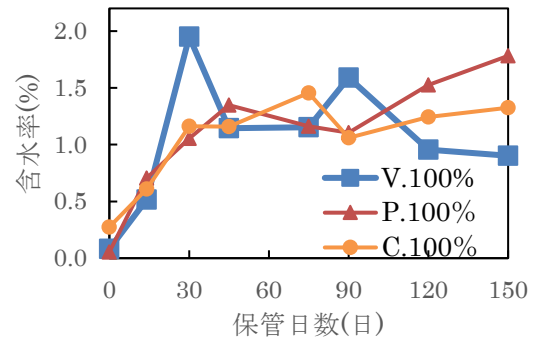


Fig. 1. 長期間浸漬による含水率の変化

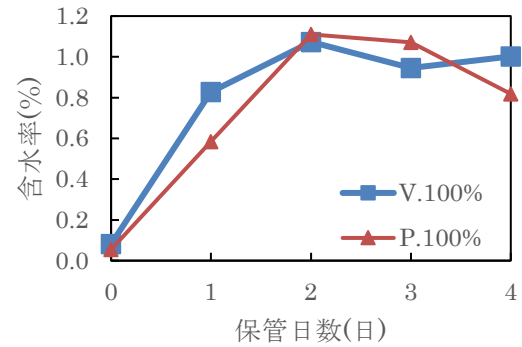


Fig. 2. 短期間浸漬による含水率の変化

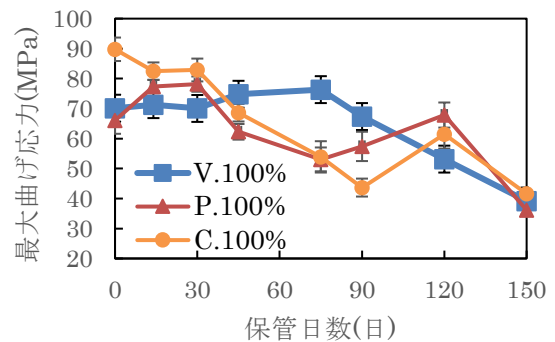


Fig. 3. 浸漬による最大曲げ応力の変化

5. 本研究に関する発表

- (1) Akira Yamada, Asahi Yonezawa, "Adjusting the deterioration rates of PLA structures using plasma irradiation," 2021 IEEE International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science (MHS), MP1_2_4 (2021)
- (2) 山田章, 米澤旭, 小川 雅人, 岩田 瑠輝, "ポリ乳酸の機械的強度低下への含水率の影響," 第 30 回日本コンピュータ外科学会大会, J JSCAS 23(4), p. 239 (2021)