

# 生分解性樹脂ポリ乳酸の分解の進行に伴う強度変化に関する研究

[研究代表者] 山田 章 (工学部機械学科)

## 研究成果の概要

廃棄プラスチックの海洋環境への流出が大きな社会問題になっており、早急の対策が求められている。ポリ乳酸は、トウモロコシなどの植物から抽出した乳酸を重合することで作製した生分解性樹脂である。加水分解により分解が進行し、最終的には二酸化炭素と水にまで分解されることから、地球環境の負荷低減が期待される。しかしながら、実用に際して必要な、分解の進行に伴う強度特性の変化についてはよくわかっていない。本研究では、3D プリンタを用いて試験片を作製し、溶液中に浸漬させた後に引張試験を行うことで、強度特性の変化を評価した。また、浸漬に伴う試験片内部の水分率を測定し、その変化を合わせて評価した。試験片の内部構造は、実際に構造物を作製する際に使用されることの多い充填率の低い条件(80%)で作製した。ノズルの走査方向は、引張試験における荷重の方向に対して、平行、垂直、 $\pm 45^\circ$  の交互に積層の3つの条件を用いて作製した。浸漬期間の増加に伴って試験片の強度は徐々に低下した。一方、試験片の水分率は浸漬期間の増加に伴って上昇した。また、水分率の上昇及び強度の低下は、浸漬初期と強度低下の後期で大きく変化することがわかった。水分率の変化と強度の変化は、ノズル走査パターンによっても異なった。これらのことから、構造物の設計時には力の作用する方向に対するノズル走査方向に留意する必要があることがわかった。

研究分野：生体工学

キーワード：ポリ乳酸、強度特性、引張試験、水分率

## 1. 研究開始当初の背景

生分解性樹脂ポリ乳酸は、トウモロコシやサトウキビから抽出した乳酸を元に重合した植物由来の材料である。水の存在下で加水分解により分解が進行し、最終的には二酸化炭素と水にまで分解される。そのため、使用後に環境中に残留し続けることはなく、近年問題になっているマイクロプラスチックの生態系への悪影響を避けることが出来る。また、従来の石油資源に基づくプラスチックとは異なり、ポリ乳酸は資源循環型社会の実現に繋がる材料である。しかしながら、分解性材料のため、製品の使用中にも分解が進行し、強度が低下するという問題があり、強度低下の一般的傾向と、加工方法による強度低下の違いを把握する必要がある。

## 2. 研究の目的

本研究では、ポリ乳酸構造物の内部構造と水分率および強度低下速度の関係に着目した。内部の空隙の構造と

充填率を変えて試験片を準備するために、熱溶解積層造形方式の3Dプリンタにより、ノズル走査パターン3種類を低い内部充填率(80%)により内部に意図的に空隙を形成して試験片を作製した。

ポリ乳酸は通常数ヶ月～年程度で強度低下が進行すると言われている。本研究では、最長120日間の浸漬の後に水分率の測定と引張試験を実施し、浸漬期間の経過に伴う水分率の変化と機械的特性を評価した。水分率は浸漬期間に伴う量的変化および試験片作製時のノズル走査パターンとの関係性、強度特性は浸漬期間に伴う低下速度に着目する。また、水分率、強度変化速度、ノズル走査パターンの関係についても言及した。

## 3. 研究の方法

### (1) 試料の作製と浸漬

試験片は、熱溶解積層造形方式の3Dプリンタにより作製した。試験片作製時のノズル走査パターンは、引張

方向に対して平行(P), 垂直(V),  $\pm 45^\circ$  で交互に積層(C), とした。ノズル走査時の内部充填率は80%に設定した。

作製した試験片は、1容器に1試験片としてリン酸緩衝液(0.1 mol/l, pH7.0, 8 ml)に浸漬した。その後、37°Cに設定した恒温器内で所定の期間保管した。浸漬日数は、0日(浸漬なし)、14, 30, 45, 75, 90, 120日とした。

## (2) 水分率の測定

水分率は、加熱乾燥式水分計により測定した。水分率の導出には、以下の式(1)を用いた。

$$\Delta m = (m_0 - m) / m_0 \times 100 (\%) \quad (1)$$

ここで、 $m_0$  は乾燥前、 $m$  は乾燥後の試料質量(g)である。

## (3) 機械的特性の評価

機械的特性は、引張試験法により評価した。前述の水分率測定後に、平行部の寸法を測定した。引張試験により得られた力-変位の関係から応力-ひずみ線図を導出し、試験片毎に最大引張応力、縦弾性係数、破断エネルギーを導出した。各項目は作製時のノズル走査パターン、浸漬期間毎に平均値(N=5)と標準偏差を求めた。

## 4. 研究成果

図1に、浸漬日数の経過に伴う水分率の変化のノズル走査パターンによる相違を示す。浸漬から14日目に概ね1.5~2%程度まで上昇し、その後90日までに4%程度まで徐々に上昇した。90日以降は、VおよびCは120日まで同程度の水分率を維持したのに対して、Pの水分率は、120日に向けて9%まで急激に上昇した。この理由として、Pは内部充填率を80%に下げた造形したことにより、隣接する線間に隙間が形成され、周辺溶液との接触面積が増大したためと考えられる。

図2に浸漬日数の経過に伴う最大引張応力の変化を示す。未浸漬(0日)の試験片において最大引張応力が異なるのは、引張方向に対するノズル走査パターンの相違によるものである。何れの走査パターンで作製した試験片も、最大引張応力は浸漬日数の経過に伴って90日まで下降した。低下速度は浸漬初期の14日間及び75日から90日の間において顕著に大きかった。90日経過後の最大引張応力は、P; 5.8, V; 5.5, C; 3.8 (MPa)となり、未浸漬の場合の約10%の強度まで低下した。

図3に浸漬日数の経過に伴う水分率と最大引張応力の関係(V)を示す。水分率の上昇に伴って最大引張応力

が低下することがわかった。Vの場合、浸漬期間14~45日の間では、水分率、最大引張応力はほとんど変化しなかった。P, Vでも類似の傾向が見られた。

これらのことから、3Dプリンタで作製したポリ乳酸構造物は、初期の水分吸収及び強度低下と、その後の水分吸収の上昇及び強度の加速的低下の二段階で進行することがわかった。

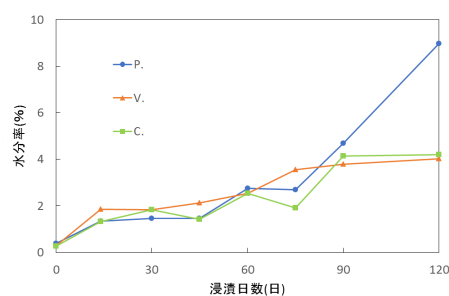


図1 浸漬日数に伴う水分率の変化のノズル走査パターンによる相違

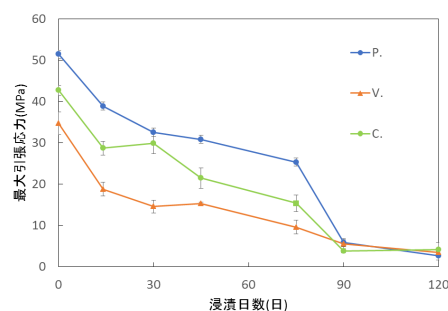


図2 浸漬日数に伴う最大引張応力の変化のノズル走査パターンによる相違

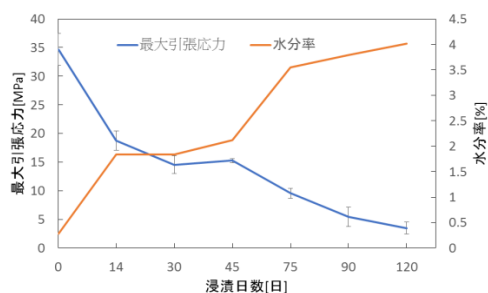


図3 浸漬日数に伴う最大引張応力と水分率の関係(V)

## 5. 本研究に関する発表

- (1) “生分解性樹脂の新機能の探索と展望”, 山田章, 第62回日本生体医工学会大会, p. 103 (2023)
- (2) 山田章, 建部貫太, “浸漬状態におけるポリ乳酸の強度低下への水分率の影響”, 第62回日本生体医工学会大会, p. 316 (2023)