

プラスチックの劣化に及ぼす紫外線の影響

システム科学技術学部 機械工学科
1年 河村 晃汰
指導教員 システム科学技術学部 機械工学科
准教授 伊藤 一志

1. はじめに

プラスチックは、軽く耐久性に優れており、低コストで大量に生産できることから、食品容器や電子製品などに多く用いられており、日常生活に重要な材料となっている。その一方で海洋に流出したプラスチックごみが新聞やニュースで近年取り上げられている。それらのプラスチックごみは紫外線や温度の変化によって劣化および微細化して、マイクロプラスチックと呼ばれる5 mm以下の粒子になることが報告されている⁽¹⁾。マイクロプラスチックは生物へ影響を及ぼす可能性があるため、マイクロプラスチックが世界的な課題となっている⁽²⁾。

環境負荷の低いプラスチックとして、生分解性プラスチックが知られている。しかしながら、生分解性プラスチックは海洋において十分に生分解性を発揮できない種類もあるため、生分解性プラスチックもマイクロプラスチックになる可能性がある⁽³⁾。「プラスチックがどのように微細化していくのか。」その問いを考えることは、マイクロプラスチックの対策を考え、持続可能な社会の形成にも関わると考えた。そこで本研究では、生分解性プラスチックおよびそのグリーンコンポジットに紫外線を照射して、プラスチック表面の劣化を観察することを目的とした。

2. 実験材料および実験方法

プラスチック粒子を作製するため、ポリ乳酸 (PLA) (Nature Works LLC、Ingeo 3001D) およびグリーンコンポジットのJIS K 7162 1BA 型ダンベル試験片を用意した。グリーンコンポジットは、生分解性プラスチックに天然素材由来の繊維および粒子を加えたプラスチック複合材料の総称である。本研究では、植物由来繊維であるセルロースナノファイバ (CNF)、リグノセルロースナノファイバ (LCNF) を充填したPLA複合材料をグリーンコンポジットとした。

図1にプラスチック粒子の作製方法を示す。各ダンベル型試験片を液体窒素に5分間浸漬後、金槌でダンベル型試験片を破壊した。大きさの異なるプラスチック粒子を作製した後、ふるいを用いてプラスチック粒子を分級した。その後、各プラスチック粒子をバイオクリーンベンチ (パナソニック、MCV-B91F-PJ) 内に入れ、紫外線を照射した。紫外線の照射時間は、250および750時間とした。

プラスチック粒子の表面は、デジタルマイクロスコープおよび電界放射形走査電子顕微鏡 (日立ハイテク、S-4300) を用いて評価した。電子顕微鏡を用いた観察では、事前に試料表面に白金パラジウムを蒸着した。

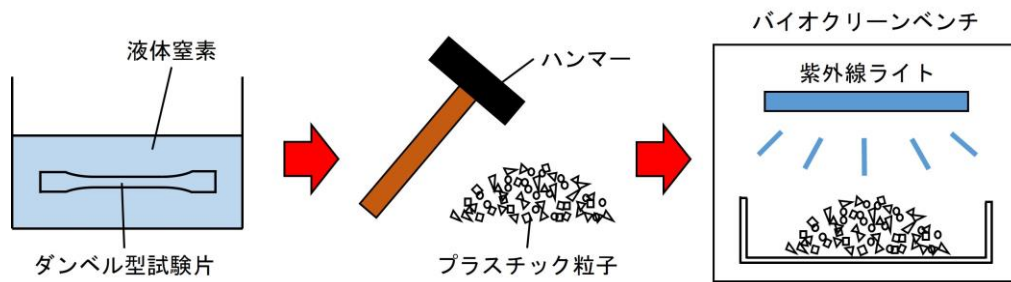


図1 プラスチック粒子の作製方法

3. 実験結果および考察

デジタルマイクロスクープを用いて観察したPLAならびにCNF/PLA、LCNF/PLAの粒子表面を図2に示す。紫外線を250時間照射したPLAの表面は、照射前と比較して大きな変化は見られなかった。その後もPLAに紫外線を照射し続けても同様であった。CNF/PLAおよびLCNF/PLAにおいても、250時間および750時間照射した表面に大きな変化は見られなかった。しかしながら、照射750時間のCNF/PLAおよびLCNF/PLAをピンセットで摘み、顕微鏡ステージに置いた際、粒子の表面が崩れたことから、紫外線の照射によって表面が劣化したことが分かった。

各粒子の表面を詳細に観察するため、電子顕微鏡を用いて観察したPLAならびにCNF/PLA、LCNF/PLAの粒子表面を図3に示す。PLAでは照射前に比べて、PLAでは照射後、き裂の端部における起伏が滑らかになっていた。CNF/PLAおよびLCNF/PLAの表面では、紫外線の照射前後でそれぞれ波打つような起伏が見られおり、照射時間750時間では、それらの起伏は細かくなっていた。

高倍率で観察したPLAならびにCNF/PLA、LCNF/PLAの粒子表面を図4に示す。紫外線を照射したPLAの表面は滑らかであったのに対して、CNF/PLAおよびLCNF/PLAの表面は起伏が顕著となった。さらに、CNF/PLAおよびLCNF/PLAの表面には繊維が見られ、これらはCNFおよびLCNFと考えられる。デジタルマイクロスクープの観察に比べて、高倍率で観察した表面の変化は明確であった。このことから、プラスチックの劣化は微小な現象であることが分かった。文献によると紫外線によるプラスチックの劣化は分子鎖の破壊に起因するとのことであった⁽⁴⁾。したがって、PLA表面では、表面の分子鎖が一様に分解を開始したため、デジタルマイクロスクープでは起伏の変化を捉えきれなかったと考えられる。一方、グリーンコンポジットでは、PLAの分解にともないナノ繊維が露出したため、起伏の変化を捉えることができたと考えられる。また、露出したナノ繊維が抜け落ちた場合、その領域は空洞化するため、グリーンコンポジットの微細化は促進すると考えられる。そのため、プラスチックの微細化過程は充填材の有無および種類によって異なると考えられる。すなわち、生分解性プラスチックと充填材が含まれるグリーンコンポジットのマイクロプラスチック化の過程は異なることが予想される。

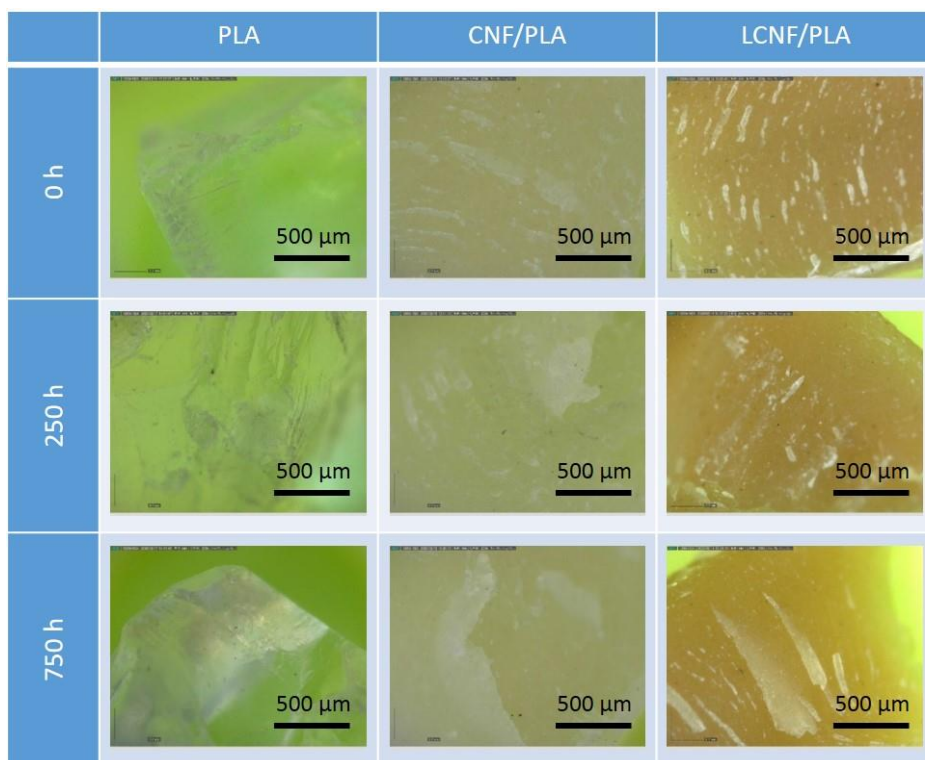


図2 PLAならびにCNF/PLA、LCNF/PLAの粒子表面

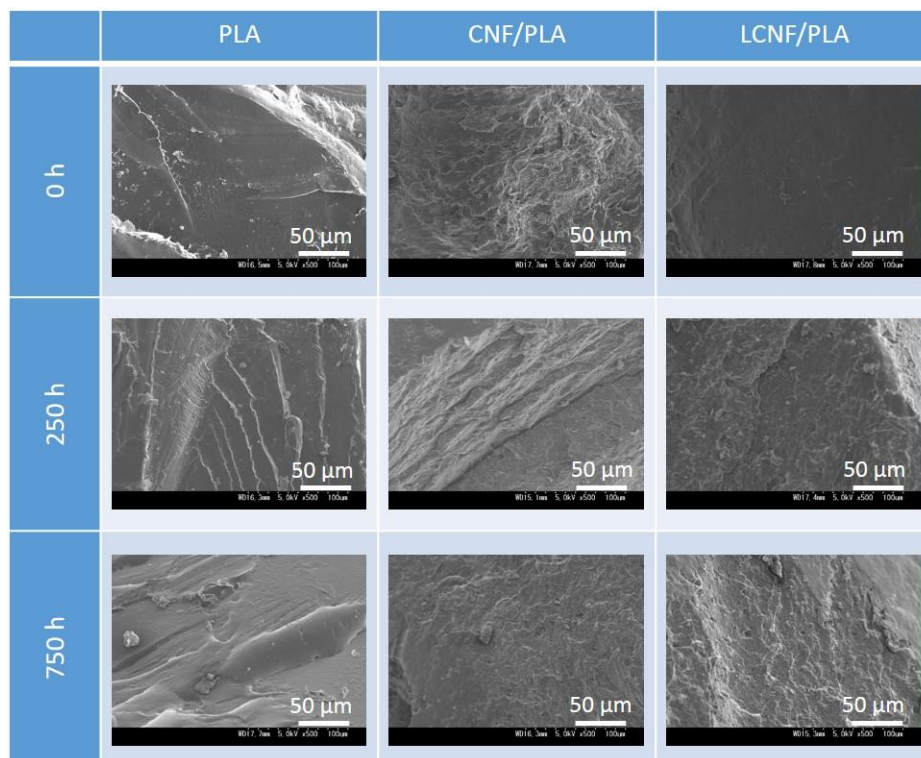


図3 電子顕微鏡を用いて観察したPLAならびにCNF/PLA、LCNF/PLAの粒子表面

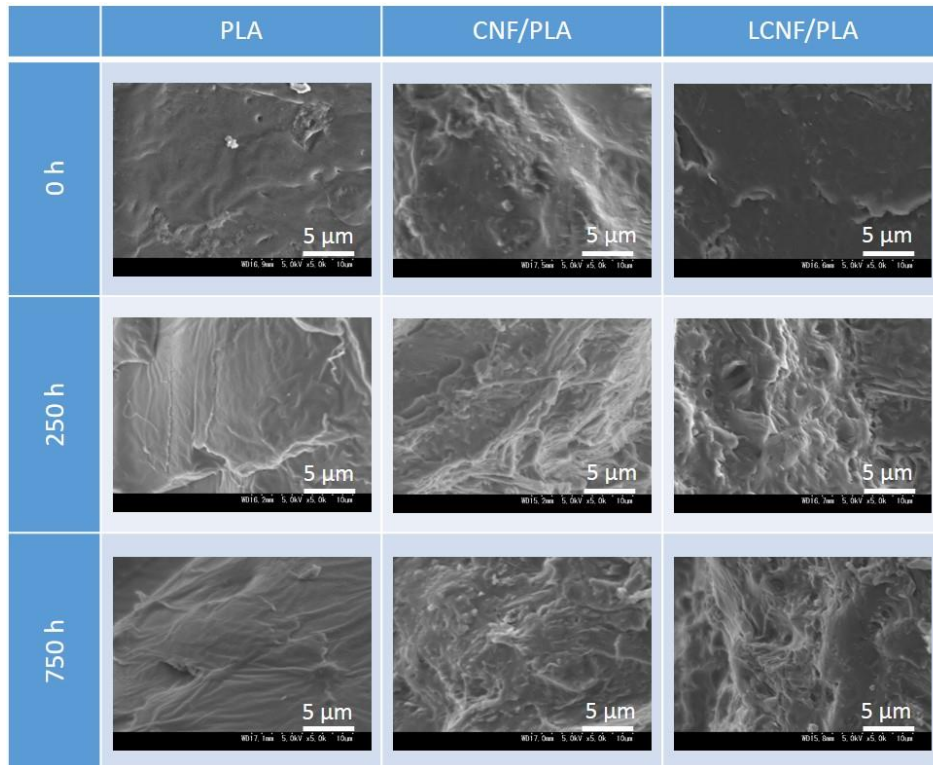


図4 PLAならびにCNF/PLA、LCNF/PLAの拡大画像

4. おわりに

本研究では、生分解性プラスチックであるPLAとCNFを充填したグリーンコンポジットに紫外線を照射後、それらの表面をデジタルマイクロスコプおよび電子顕微鏡を用いて観察した。プラスチックの劣化はプラスチック表面の微小な領域で生じるため、デジタルマイクロスコプでは明確な変化を観察できなかった。電子顕微鏡画像から、PLAに比べて、グリーンコンポジットの表面は起伏が顕著となり、ナノ繊維の露出が見られた。このことから、プラスチックの劣化過程は充填材の有無によって異なることが分かり、マイクロプラスチックの形成は多様な過程があることが示唆された。

参考文献

- (1) 工藤 功貴 他, 土木学会論文集B1 (水工学), Vol.73, No.4 (2017) pp.I_1225-I_1230.
- (2) 牛島 大志 他, 水環境学会誌, Vol.41, No.4 (2018) pp.107-113.
- (3) S. Agarwal et al., Global Challenges, Vol.1, No.4 (2017).
- (4) 筏 英之 他, 高分子論文集, Vol.49, No.6 (1992) pp.527-533.