

環境を救う複合材料の開発

システム科学技術学部 機械工学科

1年 柳瀬 真人

1年 水野 翔五

指導教員 システム科学技術学部 機械工学科

助教 境 英一

教授 邱 建輝

1. はじめに

2015年9月、国連サミットにて「持続可能な開発目標（SDGs）」が採択され、国際社会共通の17の目標が定められた。この中でも、近年の廃プラスチックやマイクロプラスチックによる海洋汚染の観点から「GOAL14:海の豊かさを守ろう」は特に話題である。そこで、本グループはまず、本学近くの砂浜海岸である本荘マリーナに漂着したマイクロプラスチックを調査することとした。さらに廃プラ問題の解決策として期待されている生分解性プラスチックにも着目した。生分解性プラスチックは、一般的なプラスチックと違い、自然環境内で分解される。しかし、土中に比べて水中での分解性が低い。そこで、本研究ではこの生分解性プラスチックに植物繊維を添加して新しい複合材料を開発する。水中で分解する植物を添加すれば、複合材料も水中で分解する可能性がある。本研究ではこの植物繊維を新聞紙などの古紙から得ることとした。紙は木を原料に精製されるものであり、パルプ化してサイズダウンさせていくとセルロースナノファイバー（CNF）と呼ばれる鉄鋼5倍の強度を持つナノ繊維になる。よって、古紙である新聞紙を粉砕することで繊維化し、生分解性プラスチックのバイオポリブチレンサクシネート（Bio PBS）との複合材料を作製する。以上より環境を救う複合材料の開発を目指す。

2. 使用材料と実験方法

2-1 使用材料

- ・新聞紙
- ・Bio PBSペレット（三菱ケミカル，FZ71PB）

2-2 実験方法

2-2-1 海浜に漂着したマイクロプラスチックの採取と分析

本荘マリーナでのマイクロプラスチック採取は池貝ら⁽¹⁾を参考に行った。マイクロプラスチックの漂着量は海浜によって大きく異なるがペレットは満潮線上に帯状に漂流することから、満潮線上を重点的に探し、目視でマイクロプラス



図1 本荘マリーナ満潮線上の漂着物

チックが多いと思われる場所を選定した。次に40cm四方の砂を表面から深さ約3cmを採取し、 $\Phi 4.75\text{mm}$ のふるいにかけて、通過した砂を自然乾燥させた。その後採取した砂を顕微フーリエ変換型赤外分光光度計 (FT-IR) ((株) サーモフィッシャーサイエンティフィック, Nicolet iN10MX) の透過マッピング測定に供し、砂中に含まれるマイクロプラスチックの同定を試みた。このとき、測定を阻害しないよう、対象はPTFE製のろ紙上に置いた。

2-2-2 複合材料および試験片の作製

新聞紙を手で粗く破いて25gをカッターミルに投入し、1分間粉碎することでパルプ化させた。その後、蒸留水750mLを加えて6分間静置させ、スーパーマスコロイダー α ((株) 増幸産業) により回転数1800rpm, クリアランス $0\mu\text{m}$ の条件で湿式ディスクミル粉碎した。次に、自転・公転式ミキサー (THINKY, AR-100) により、湿式ディスクミル粉碎した新聞紙とBio PBSを重量比30/70で1.5分攪拌し、その後80°Cで8h以上乾燥させることで予混合物を得た。

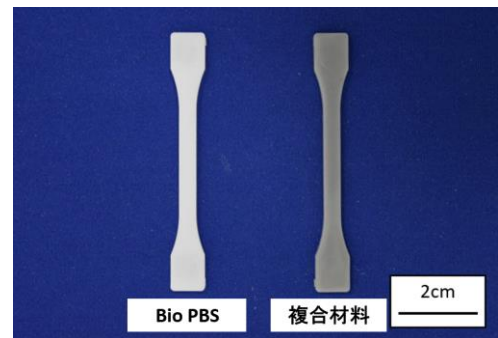


図2 作製した複合材料の外観

これを二軸押出機 ((株) テクノベル, KZW15TW-30MG-NH (-700) -AKTP) により押出温度140°C, スクリュー回転数100rpmの条件で熔融混練し、押出物をペレタイザにより切断することでコンパウンドペレットを作製した。このペレットを射出成形機 ((株) 日精樹脂工業, NP7-1F) により、射出温度125°C, 射出速度30s, 金型温度30°Cの条件で、JIS K 7161-2 1BA形ダンベル試験片に成形した (図2)。

2-2-3 複合材料の特性評価

湿式ディスクミル粉碎前後の新聞紙を走査型電子顕微鏡 (SEM) ((株) 日立ハイテクノロジーズ, S-4300) により観察して微細構造を評価した。

また、作製した複合材料の試験片を万能材料試験機 (INSTRON®, Series 3360) により、室温 $23\pm 2^\circ\text{C}$, 引張速度10mm/minで引張試験に供した。得られた荷重と変位から、試験前に測定した試験片の断面積および平行部の長さを用いて公称応力-公称ひずみ関係を求め、引張強さ、破断ひずみを算出した。

3. 実験結果と考察

3-1 海浜漂着物中のマイクロプラスチック

図3と表1に顕微FT-IRにより得られた海浜漂着物を分析した結果を示す。図3は測定物の顕微写真を示しており、これをスキャン範囲として、アパーチャサイズ $100\mu\text{m}$, ステップサイズ $150\mu\text{m}$ でマッピングした。表1は、図3において特にマイクロプラスチックと疑われた①-④のスペクトルを装置のライブラリ検索にかけた結果であり、一致率が高いプラスチックを1-3位まで示している。表より、海浜漂着物①-④はナイロン系、ポリエチレン系、ポリウレタン系などのプラスチックである可能性が分かる。ナイロン系は漁網、ポリエチレン系は食品用のフィルムやポリ容器などで最も用いられているプラス

チックである。これが海に流出し、マイクロプラスチック化したことが推測される

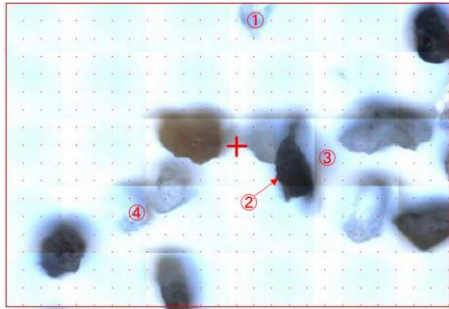


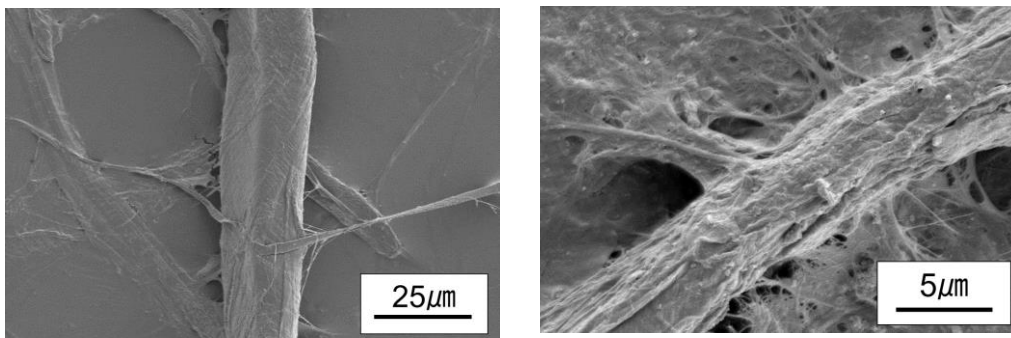
表1 海浜漂着物に含まれている確率の高いプラスチック類

番号	1位	2位	3位
1	ナイロン系	ポリエチレン系	—
2	ナイロン系	EVA系	ポリエチレン系
3	ナイロン系	エチレン系	ポリウレタン系
4	ポリウレタン系	ポリエチレン系	EVA系

図3 海浜漂着物の顕微写真

3-2 繊維化した古紙の微細構造

図4に粉碎した新聞紙をSEMにより観察した結果を示す。図の(a)はカッターミルでパルプ繊維化したもの、(b)はその後に湿式ディスクミル粉碎したものである。図より、カッターミル粉碎後の新聞紙の繊維径は約20 μm であり、滑らかな表面をしていることが分かる。一方、カッターミル後に湿式ディスクミル粉碎をすることで、繊維径は約5 μm 程度まで小さくなっている。したがって湿式ディスクミル粉碎の高いサイズダウン効果が分かる。また、表面には幅が1 μm 以下のセルロース繊維が露出しており、最少のサイズであるCNFに近づいていることが分かる。しかし、完全にCNFまでサイズダウンするにはさらに解繊する方法を検討する必要がある。



(a) カッターミル粉碎後の新聞紙 (b) カッターミルとディスクミル粉碎

図4 粉碎した新聞紙のSEM写真

3-3 複合材料の力学特性

図5にBio PBSに解繊した新聞紙を30wt%添加したBio PBS複合材料（以下、開発材料とする）の応力-ひずみ線図を示す。図より、開発材料は単体と比べて引張強さ、破断ひずみともに低下している。しかし、引張強さは約7MPa程度にとどまっておらず、破断ひずみは400%を超えていることから、添加しても引張強さと高い延性を保っているといえる。

図6に開発材料と汎用樹脂を比較した結果を示す。なお、比較として、最も使用され

ている汎用樹脂で日用品によく使われるポリエチレン (PE), ポリプロピレン (PP) を, さらに Bio PBS と同じく, 生分解性プラスチックであるポリ乳酸 (PLA) のデータを示す. それらのデータは文献⁽²⁾⁻⁽³⁾より引用した. 引張強さは, 開発材料で約 35MPa であり, PLA と比べ低いものの, PE や PP といった石油由来の汎用樹脂とほぼ同等の値となっている. 破断ひずみは, 開発材料で約 400% であり, PP とほぼ同等の値である. これより, 開発材料は PE や PP といった石油由来の汎用樹脂とほぼ同等の強度であり, 高い延性を持つことから, それらの代替となりえる.

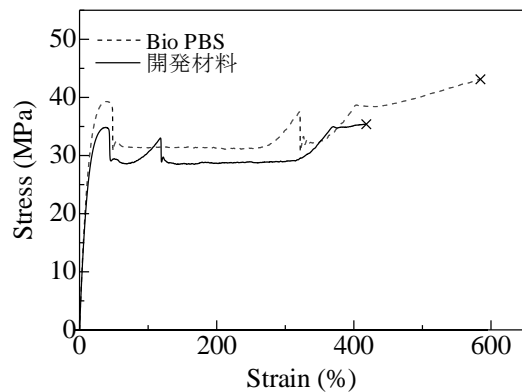


図5 応力—ひずみ線図

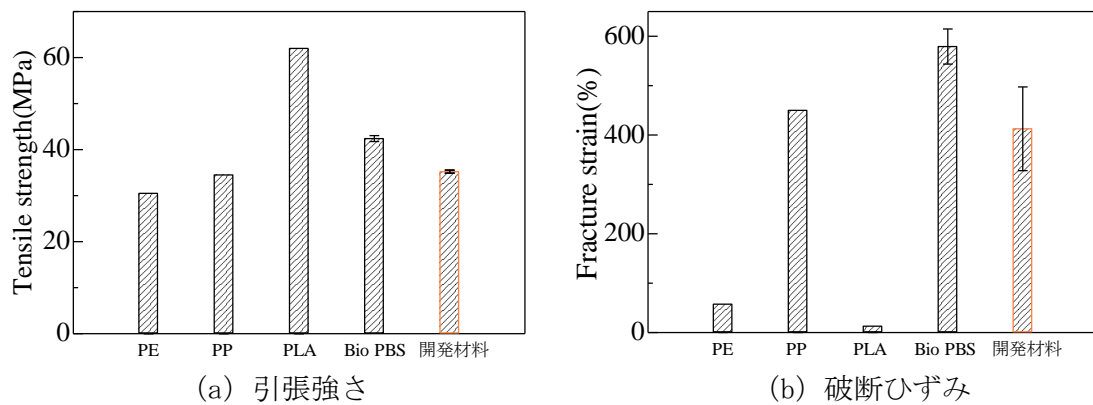


図6 開発材料と汎用樹脂と比較

4. まとめ

採取した海浜漂着物をFT-IRで分析した結果, 秋田県の海にもマイクロプラスチックが存在する可能性が示された. また, 新聞紙をカッターミルと湿式ディスクミルで粉碎することで, CNFに近い植物由来の繊維を得ることができた. これと生分解性プラスチックの複合材料は, この繊維を添加しても引張強さと高い延性を保つことができた. その力学特性は日用品によく使われるPEやPPとほぼ同等の値となり, 海洋での生分解性も期待できるため, 幅広い分野に応用すれば, 環境問題の解決につながる可能性がある.

5. 参考文献

- (1) 池貝隆宏・長谷部勇太・三島聡子・小林幸文 “海岸漂着物の評価のためのマイクロプラスチック採取方法”, 全国環境研会誌Vol. 42 No4(2017)
- (2) 華陽物産株式会社 “プラスチック物性一覧表 (熱可塑性)”
https://kayo-corp.co.jp/common/pdf/pla_propertylist01.pdf (2020-03-09)
- (3) 清水俊吾, 平成30年度修士論文 (秋田県立大学) (2019)