

廃棄炊飯米由来の工業製品開発

システム科学技術学部 機械工学科
2年 杉浦 明宏
2年 白根 辰吉
指導教員 システム科学技術学部 機械工学科
准教授 境 英一
教授 邱 建輝

1. はじめに

世界では、多くの食糧が生産されているにもかかわらず、世界食糧の3分の1にあたる約13億トンもの食糧が廃棄されている。日本でも1年間に約612万トンの食糧が廃棄されている。当然ながら、米も家庭および事業所によって大量に廃棄されている。このように、大量の食糧が無駄になっているのは目に余る。秋田県で生産される良質な米も、日本や世界のどこかで廃棄されることを考えると、なんらかの形で再利用された方が有意義である。

プラスチックは廃棄後も安定してそのまま残ってしまう。一方、バイオプラスチックは地中に埋めると微生物により二酸化炭素と水に分解される。このためプラスチックの廃棄問題の解決につながる可能性を持つ。バイオプラスチックの代表としてポリ乳酸(PLA)がある。よって、ポリ乳酸と米を複合化し、3Dプリンタ用のフィラメントを作製する。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

本研究では市販の米（あきたこまち）と3Dプリンタフィラメント用のPLAを用いた。

2-2 実験方法

2-2-1 米とPLAの複合材料の作製

米はスーパーマスコロイダーミニで4分間粉碎することで米粉にし、PLAフィラメントをペレタイザーでペレット状にした。米粉とPLAを80°Cで12時間乾燥させた後、米とPLAを混練してPLA/rice複合材料にした。二軸押出機（テクノベル（株）製、KZW15TW-30MG-NH(-700)-AKTP）を使用し、スクリー回転数を100rpm、フィーダー回転数を30rpm、押出温度を150~180°Cとして熔融混練し、水冷した。次に、ペレタイザーで押出物を引取ロール30Hz、カッター30Hzでペレット状にした。米粉は10、20、30wt%添加した。

2-2-2 射出成形

得られたペレット状の複合材料を8時間以上乾燥させ、射出成形機（日精樹脂工業（株）製、NP7-1F）に投入し、ダンベル型試験片を作製した。成形条件は、射出温度150~170°C、金型温度40°Cとし、射出時間を5.0s、冷却時間を40.0sとした。

2-2-3 複合材料の特性評価

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 $17\pm 2^{\circ}\text{C}$, 引張速度 $10\text{mm}/\text{min}$ 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.

2-2-4 3Dプリンタフィラメントの作製

複合材料を3Dプリンタ用のフィラメントに使用可能な太さ約 1.75mm にした.

3. 実験結果と考察

3-1 試験片の外観

図1にPLA/rice複合材料の試験片外観を示す. PLA/rice複合材料の試験片には表面に射出成形によるフローマークが生じている. 熔融混練および射出成形時には, PLA/rice複合材料は香ばしい香りを放っていた. PLAに米を添加することで白色から褐色に変色した. また, 褐色化の度合いは米の添加量の増加に伴い, 大きくなっている. 米粉に含まれるたんぱく質と糖が熱によって褐色物質を生成し, 独特な匂いを放つ. これは, メイラード反応と呼ばれている⁽¹⁾. つまり, 熔融混練や射出成形の熱によりメイラード反応が起こったと考えられる.

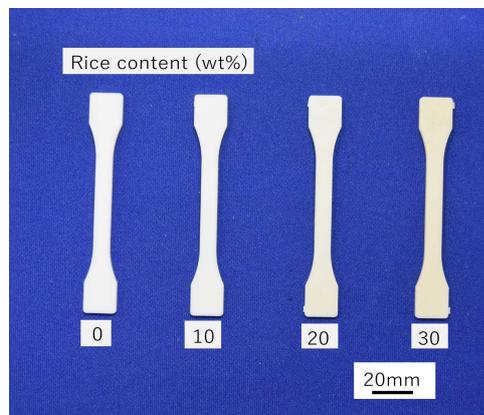


図1 PLA/rice 複合材料の外観

3-2 複合材料の力学特性

PLA/rice複合材料の試験片の引張試験結果を図2に示す. (a)が応力-ひずみ線図, (b)がヤング率, (c)が引張強さで, (d)が破断ひずみを示している. 米の添加量増加に伴い, PLA/rice複合材料が脆化する傾向が見られる. しかし, (b)のヤング率は大きく変化はしていない. (c)の引張強さは, 米の添加量増大に伴い低下しており, (d)の破断ひずみも大幅に低下している. このときの破断面を図3に示す. 図は米の添加量 $30\text{wt}\%$ の試験片の引張破断面である.

図3より, PLA/rice複合材料の破断面に米の粒子をはっきりと観察できる. 米粉の大きさが約 0.5mm あるものもある. これはつまり, 内部の大きな米粉により応力集中が発

生することで界面にはく離が生じ、き裂化して破壊が起きたことを示唆する。これによって強度および破断ひずみが大きく低下したと考えられる。この対策としては、米粉を可能な限り細かく粉砕することや、複合化する前に大きな米粉を分級して除去することなどが挙げられるが、一部で細かい米粉が凝集している様子も見られる。したがって、分散性の向上も課題の一つだろう。当初はこの問題の対策として、米粉の熱可塑化や相溶化剤の添加も検討する予定であったが、本研究ではそこまでには至れなかった。

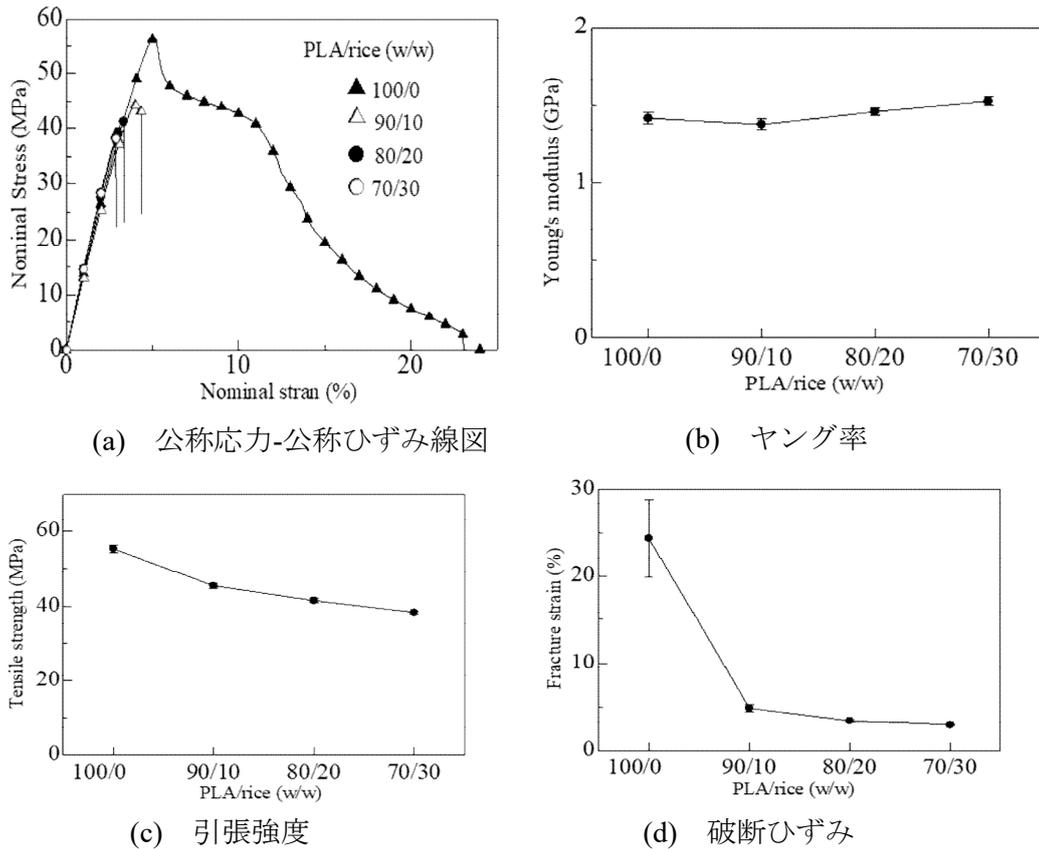


図2 PLA/rice 複合材料の引張特性

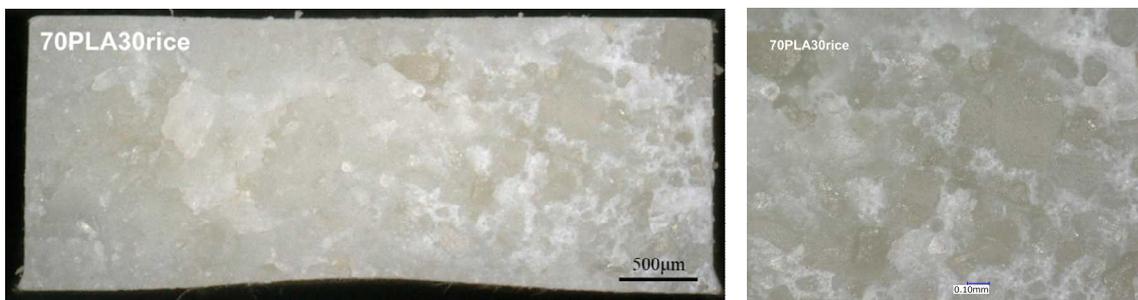


図3 70/30=PLA/rice の引張破断面

3-4 複合材料を用いた3Dプリンタフィラメントと工業製品の試作

作製した複合材料を用いて、3Dプリンタのフィラメントの成形を試みた。このときノズル温度は220°Cとした。図4に複合材料フィラメントを示す。図のように複合材料で3Dプリンタのフィラメントを作ることに成功した。

次に、3DCADにより工業製品を設計し、3Dプリンタにより試作を試みた。本研究では使い捨てになりやすいスプーンを試作することとし、加えて箸置きも作った。図5にPLA単体で作製した工業製品の外観を示す。しかし、複合材料のフィラメントでも試作を試みたが、ノズルに詰まり出てこなかった。詰まったフィラメントを観察するとノズル付近が焦げていた。米粉の粒がノズル直径より大きいこと、ノズル温度が高いことが詰まりの原因として挙げられる。本研究では、乾燥させた米をスーパーマスコロイダーミニで粉砕したが、別の方法を検討が必要になることが示唆された。

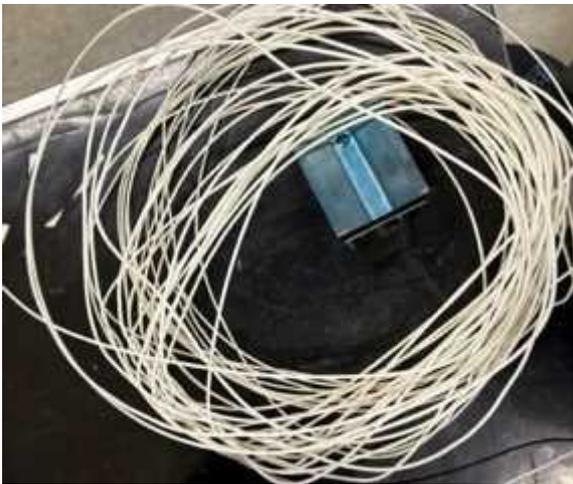


図4 複合材料のフィラメント



図5 箸置きとスプーン

4. まとめ

本研究では、米とPLAの複合材料を作製し、3Dプリンタのフィラメントへの応用を試みた。予め米を粉砕することで、二軸混練によりPLA/rice複合材料を作製できた。またその力学特性を明らかにできた。複合材料の力学特性は、米の凝集や粒度の不均一さによる応力集中により、PLA単体よりも低下する結果となった。加えて、3Dプリンタ用のフィラメントを成形することに成功した。その工業製品への応用が期待される一方で、試作時にノズル詰まりが発生しやすい結果となったため、改良は必要だろう。また、当初予定していた米の熱可塑化や炊飯後の米を用いるまでには時間の関係で至れなかった。今後の検討が待たれる。

5. 参考文献

- (1) 臼井照幸, 日本食生活学会誌 第26巻 第1号 7-10, 食品におけるメイラード反応 (2015)