

環境負荷低減に向けた ナノ複合化による高機能プラスチック材料の開発

岡田 英樹* 中川 昌幸* 林 成実* 永井 智裕* 河原 崇史* 遠藤 桂一郎*

Development of High-Performance Plastic Materials via Nanocompositing
for Environmental Load Reduction

OKADA Hideki*, NAKAGAWA Masayuki*, HAYASHI Narumi*, NAGAI Tomohiro*,
KAWAHARA Takashi* and ENDO Keiichiro*

抄 録

プラスチックはその優れた利便性により、我々の生活には欠かせないものとなっているが、カーボンニュートラル社会実現に向けて使用量削減につながる取組は重要な技術開発課題となっている。そこで、カーボンニュートラル性の高いバイオプラスチックの利用を促進するため、新潟県工業技術総合研究所の有するポリマーブレンド技術によって PLA の耐衝撃性や耐熱性を改善するためにブレンドする材料を選定し、加工条件の最適化を行った。その結果、耐衝撃性は PLA 単体に対して 2.8 倍となり、大幅に改善することができたが、耐熱性には変化が見られなかった。

1. 緒 言

プラスチック材料は幅広い物性や高い成形性により日用品から自動車、医療と幅広い分野で使用されており、我々の生活には欠かせないものとなっている。一方で、プラスチック材料はそのライフサイクルにおいて、化石資源由来であること、製造過程や廃棄過程でも CO₂ を排出することから、国が宣言している「2050 年カーボンニュートラル」の実現のためにプラスチック材料の使用量削減やリサイクルに関する様々な取組が進められている。しかしながら、プラスチック材料を全く使用しないといった社会の実現は難しく、使用量削減やリサイクルにつながる技術開発が重要となっている。プラスチック材料の使用量削減においてバイオプラスチックの採用が推進されているが、化石資源由来のプラスチック材料と比べると、物性・機能性が劣ることに加えてコストアップにつながることから、バイオプラスチックの普及は遅れている¹⁾。

バイオプラスチックの中でバイオマス由来の生分解性プラスチックであるポリ乳酸（以下 PLA）は優れたカーボンニュートラル性を有する材料である。しかし、耐衝撃性や柔軟性がないこと、耐熱性が低いことなどが障壁となり、国内で使用されているバイオプラスチック中の PLA の占める割合はおよそ 10%とあまり高くない²⁾。

そこで、本研究では、PLA と他のプラスチック材料のポリマーブレンドによって耐衝撃性や耐熱性の改善を目指した。ポリマーブレンドは、個々のプラスチック材料では実現できない物性の材料開発で用いられる一般的な手法であるが、混ざり合わない、もしくは混ざりにくい組合せが多く、相溶化剤を使用したり、化学的な結合を用いたりするケースがほとんどであった。一方、高せん断成形加工技術は、相溶化剤を使わずに相溶化しないプラスチック材料をブレンドする技術²⁾であり、複合化する材料はプラスチック材料以外の材料も強いせん断作用によって

* 技術統括センター

ブレンドすることが可能で、用途に合わせて特性を調整できる。

2. 実験方法

PLA はユニチカ (株) 製テラマック TE-2000 を用いた。ブレンドする材料には上野製薬 (株) 製液晶ポリマー (以下 LCP) UENO LCP AL-7000 を使用した。PLA に LCP を重量比で 1%, 2%, 5%, 10%ブレンドした後に真空乾燥機で 40℃, 4 h 以上乾燥させた。

高せん断加工は、高せん断成形加工装置 NHSS8-28 ((株)ニイガタマシンテクノ製) を使用した。加工条件として、高せん断スクリュの回転数を 1000 rpm, 1500 rpm, 2000 rpm, 高せん断を付与する時間を 10 s とした。LCP 濃度 1%の 2000 rpm の実験中に装置のモータ負荷が過大となり、途中で加工ができなくなったため、データが欠損している。

加工した材料について、シャルピー衝撃強さと動的粘弾性測定による貯蔵弾性率ならびにガラス転移点の測定を行った。PLA の耐熱性が低いとされる要因は、60℃と低いガラス転移点に由来することが多いため、耐熱性評価の指標としてガラス転移点を用いることとした。試験片として幅 10 mm, 厚み 3 mm, 長さ 80 mm の形状に射出成形し、標準雰囲気 (室温 23℃, 相対湿度 50%) 下に 48 時間以上静置したものを供試した。

シャルピー衝撃強さの測定はユニバーサルインパクトテスター ((株)東洋精機製作所製) を用い、ハンマーひょう量 7.5J, ノッチ加工はなしとした。試験を 5 回行い、その平均値をシャルピー衝撃強さとした。

動的粘弾性の測定は、動的粘弾性測定装置 DMA Q800 (ティ・エイ・インスツルメント・ジャパン (株) 製) を用い、室温から 170℃まで 3℃/min で昇温し、ひずみ 0.05%を周波数 1 Hz で付与して行った。貯蔵弾性率は 35℃の時の値を代表値とし、ガラス転移点は $\tan \delta$ のピークから算出した。

3. 実験結果

図 1 に各条件のシャルピー衝撃強さの測定結果を示す。PLA に LCP を添加することによってシャルピー衝撃強さは向上したが、LCP 濃度が 2%を最大として LCP 濃度の増加とともに低下した。高せん断加工の回転数の影響は、PLA 単体ではその影響はみられなかったが、LCP 濃度が 1%, 5%, 10%では 1500 rpm, LCP 濃度 2%では 2000 rpm で最大となった。高回転側のシャルピー衝撃強さが大きくなる傾向がみられることから、強いせん断作用によって LCP が微分散して、衝撃強さが大きくなったと推察されるため、シャルピー衝撃試験後の破断面の電子顕微鏡観察を行った。その結果を図 2 に示す。LCP 濃度が 10%, 回転数が (a) 1000 rpm, (b) 1500 rpm である。粒状に見えるものが添加した LCP であると考えられるが、電子顕微鏡観察ではそのサイズに大きな差は確認できなかった。

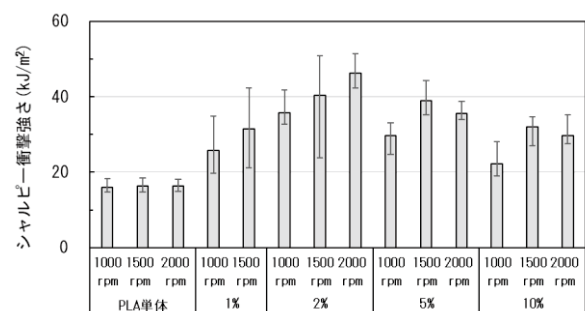
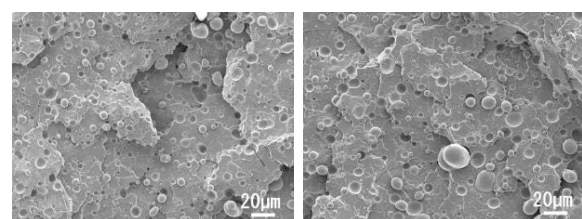


図 1 各条件のシャルピー衝撃強さ



(a) 1000 rpm (b) 1500 rpm

図 2 シャルピー衝撃試験後の破断面観察

図 3 に各条件の貯蔵弾性率の測定結果を示す。PLA 単体についてはシャルピー衝撃強さに差が見られなかったことから、1500 rpm のみ動的粘弾性の測定を行った。LCP 濃度が高くなると貯蔵弾性率が大きくなり、実験範囲では 10%が最大となった。高せん断加工の回転数の影響は LCP 濃度が 1%, 2%, 10%では 1500 rpm, 5%では 2000 rpm で最も大きくなった。

図 4 に各条件のガラス転移点の測定結果を示す。ガラス転移点は LCP 濃度や回転数の影響に傾向はみられず、変化の範囲が数℃と小さいため、LCP 添加による耐熱性改善の効果は実験範囲内では確認することができなかった。

以上、PLA の耐熱性や耐衝撃性を改善するため、高せん断成形加工技術による PLA/LCP 材の開発を行った。その結果、シャルピー衝撃強さは PLA 単体に対して最大で 2.8 倍、貯蔵弾性率は 1.1 倍となり、ガラス転移点はほとんど変化しなかった。

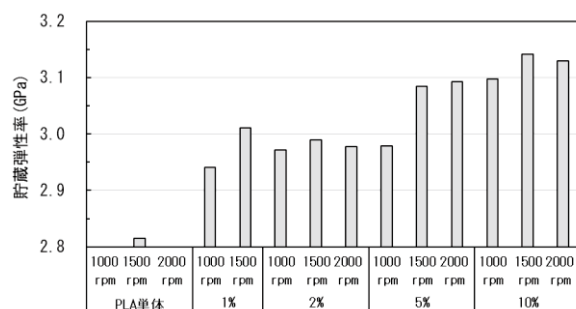


図 3 各条件の貯蔵弾性率

4. 結 言

- (1) バイオプラスチックの利用拡大のため、高せん断加工によるポリマーブレンドによって PLA の物性改善に取り組んだ。
- (2) PLA に LCP を添加した結果、シャルピー衝撃強さや貯蔵弾性率は大きくなり、ガラス転移点はほとんど変化しなかった。特にシャルピー衝撃強さは LCP 濃度が 2%で最大となり、PLA 単体に対しておよそ 3 倍の結果となった。

参考文献

- 1) 環境省他, “バイオプラスチック導入ロードマップ”, <https://www.env.go.jp/content/900534511.pdf>, (閲覧 2025-5-8).
- 2) 清水博, Yongjin LI, “高せん断成形加工技術により創製した新規ナノコンポジットの構造と物性”, 高分子論文集, Vol.71, No. 3, (2013), pp.69-88.

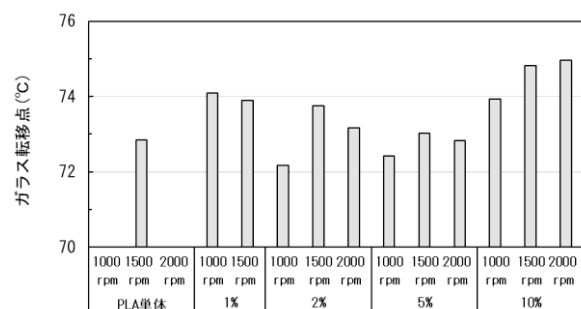


図 4 各条件のガラス転移点