

難燃性を付与したバイオマス複合材料の開発 ～分析機器部品への適用を目指して～

材料・素材技術グループ 仙波 健、野口 広貴、伊藤 彰浩、横田 久幸
株式会社島津製作所 サステナビリティ素材普及委員会 安居 嘉秀、松葉 哲治

要旨

分析機器分野における二酸化炭素排出量削減とサーキュラーエコノミーに貢献するため、難燃性を有する高バイオ度樹脂複合材料の開発に取り組んだ。マトリックスにはサトウキビの搾りかす（廃棄物）に含まれる糖蜜を原料としたバイオポリエチレン（バイオ PE）を選定し、その力学的特性の不足を補うために、強化繊維として植物の光合成により大気中の二酸化炭素が固定化されたパルプを複合化した。開発材料の物性目標値は、分析機器部品に多用されている石油由来のポリプロピレン（PP）を念頭に置き、市販 PP の高弾性グレードの弾性率（2000MPa）、自動車部品用 PP の要求下限である耐衝撃性（Izod 衝撃強度 8kJ/m^2 ）、及び難燃性 UL94 規格の V-0 グレード（試験片厚さ 2mm）とした。セルロースナノファイバー強化樹脂の一貫製造プロセスである「京都プロセス」を複合化の基本技術として、難燃剤を配合することにより、目標値を超える高バイオ度樹脂複合材料の作製に成功した。

キーワード：セルロース強化、サーキュラーエコノミー、高バイオ度、力学的特性、難燃性

1. はじめに

プラスチックの環境問題がクローズアップされている近年、分析機器分野においてもバイオプラスチックや再生プラスチックの利用推進が重要な課題となっている。株式会社島津製作所（以下、島津製作所）では、2023 年に業界初のセルロース繊維により強化した PP 製部品を搭載した高速液体クロマトグラフ装置（HPLC）を上市した。本材料は、セルロース繊維強化による高剛性化を達成するとともに、難燃剤の配合を吟味することで難燃性 UL94 規格の V-0 グレードを達成している¹⁾。この先駆的な開発を契機として、環境経営の観点からもサーキュラーエコノミーへの移行に向けて、サステナブル素材の活用と、製品の長寿命化、リサイクルの推進は、分析機器メーカーにおいて重要な取り組みとなっている²⁾。そこで本研究では、分析機器部品へのサステナブル素材のさらなる活用を目指し、強化材にセルロース繊維を用い、マトリックス樹脂には従来の石油由来 PP ではなく、植物由来のバイオ PE を利用した高バイオ度素材の開発に取り組んだ。

セルロース繊維強化バイオ PE 材料の分析機器部品への適用を目指すにあたっては、これまでに使用している PP と同等以上の力学的特性、耐熱性、及び難燃性を達成することが必要となる。バイオ PE はサトウキビの搾

りかすに含まれる糖蜜を原料としているが、その諸物性は石油由来 PE と同様になる。一般的な PE（高密度）の弾性率は 1000 ～ 1300MPa 程度であり、それに対して PP は 1000 ～ 2000MPa 程度であり大きく性能が異なる。また分析計測機器の高温部分に使用される部品には、PP 並みの耐熱性と難燃性が必要となる。耐熱性は弾性率と相関があるため、弾性率の目標値は一般 PP の高弾性グレードの 2000MPa とした。難燃性については、特に分析計測機器や家電などにおいて達成が望ましい UL94 規格の V-0 グレード（試験片厚さ 2mm）を目標とした。難燃処方には、環境や人体に対して影響の小さい難燃剤を採用した。また耐衝撃性の目標値は、厳しい性能が要求される自動車分野の要求下限である Izod 衝撃強度 8kJ/m^2 とした。

2. 実験

2.1 材料

マトリックス樹脂にはバイオ PE（Braskem S.A. 製）、セルロース強化繊維には漂白パルプを用いた。難燃処方には環境及び人体への影響が小さい難燃剤を選定した。また緒特性を調整するため、数種類の改質剤を準備した。

2.2 複合化と試験片作製

バイオ PE とパルプの複合化には二軸溶融混練機（スクリュウ径 15mm、L/D=45）を用いた。混練設定温度は 150℃とした。得られたパルプ強化バイオ PE をインラインスクリュウ式射出成形機（型締力 7 トン）により短冊形試験片（幅 10mm、長さ 80mm、厚さ 4mm）に成形した。射出設定温度は 170℃とした。

2.3 評価

①光学顕微鏡観察：短冊形試験片より小片を切り出し、190℃にて熱プレスしたフィルムを作製し、偏光モードにて観察した。

②曲げ試験：万能試験機（ロードセル 1kN）を使用し、短冊形試験片の三点曲げ試験を実施した。試験条件は、曲げ速度 10mm/min、支点間距離 64mm とした。

③衝撃試験：Izod 衝撃試験機（ハンマー容量 2.75J）を使用し、短冊試験片の中央部に 2mm の切り欠きを挿入した試験片のエッジワイズにおける衝撃強度を測定した。

④難燃試験：短冊形試験片（厚さ 4mm）、及びこの短冊形試験片を 190℃にて熱プレスすることにより厚さを 2mm とした短冊型試験片を準備した。薄い試験片の方が燃焼し易いため、厚さ 2mm の方が 4mm よりも厳しい試験条件となる。これらの厚さの異なる短冊形試験片に対して、UL-94 規格に準拠し、垂直及び水平燃焼試験を実施した。垂直燃焼試験（最高グレードは V-0、続いて V-1、V-2）の方が水平燃焼試験（基準を満足した場合は HB グレード）よりも厳しい試験条件となる³⁾。

2.4 分析機器部品への成形試験

島津製作所の分析機器部品の金型を使用し、パルプ強化バイオ PE の射出成形試験を京都市内の同社協力メーカーにおいて実施した。生産用射出成形機では多くの材料が必要となるため、2.1～2.3 で使用したパルプ強化バイオ PE と同様の組成材料を、協力外部機関において作製した。

3. 実験結果と考察

3.1 外観及び光学顕微鏡観察

図 1 に射出成形により得た短冊形試験片の外観を示す。(a)バイオ PE 成形品はナチュラル色の乳白色であった。バイオ PE にセルロース繊維を添加した (b) では、黄色みを帯びた白色であった。(b) に難燃剤を添加したところ、熱劣化した黒色の試験片しか得ることができな

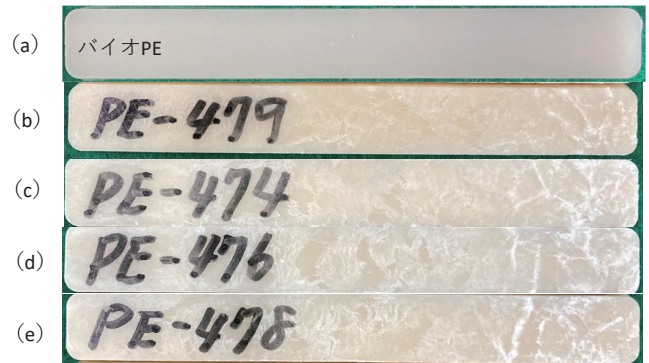


図 1 短冊形試験片（射出成形品）の外観写真

(a) バイオ PE、(b) バイオ PE/セルロース、
(c) バイオ PE/セルロース + 難燃剤少量、
(d) バイオ PE/セルロース + 難燃剤中量、
(e) バイオ PE/セルロース + 難燃剤多量

かったが、混練及び射出成形条件の工夫により、(c) 難燃剤少量、(d) 中量、及び (e) 多量のいずれにおいても、着色の少ない白色の試験片を得ることができた。

図 2 に射出成形により得た短冊形試験片の熱プレスフィルムの偏光顕微鏡観察写真を示す。いずれも太さ 10～30μm 程度、長さ数百 μm のセルロース繊維が分散していた。難燃剤の添加量による分散状態及び繊維の状態（太さ、長さなど）に変化は見られなかった。

3.2 曲げ試験及び衝撃試験

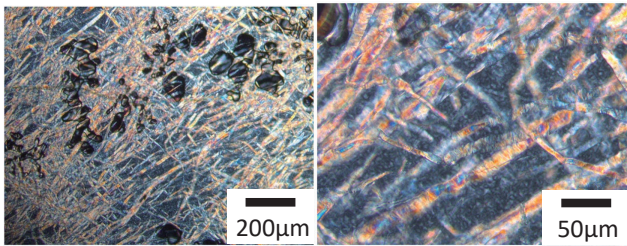
表 1 に曲げ試験及び衝撃試験の結果を示す。目標である曲げ弾性率 2000MPa、Izod 衝撃強度 8kJ/m² については、(b)～(e) のいずれも達成した。

3.3 難燃性

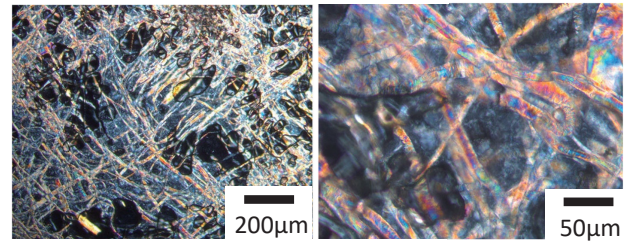
表 1 に難燃性評価結果を示す。厚さ 4mm の試験片では、(a) バイオ PE は、水平試験、垂直試験のいずれも不合格であった。バイオ PE にセルロース繊維を添加した (b) 及び少量の難燃剤を添加した (c) では HB に到達したが、垂直試験は不合格であった。難燃剤を中量添加した (d) は V-1、さらに多量の難燃剤を添加した (e) は V-0 に到達した。(e) は難燃性が高く、垂直燃焼試験における 2 回目の 10 秒間の接炎後、直ちに白煙を伴い自己消化した（図 3）。

厚さ 4mm よりも試験条件の厳しい厚さ 2mm の試験片では、V-1 が得られていた (d) 及び V-0 が得られていた (e) のいずれも水平試験は HB であったが、垂直試験は不合格となった。(e) の垂直燃焼試験では、1 回目の 10 秒間の接炎後は直ちに自己消化されたが、2 回

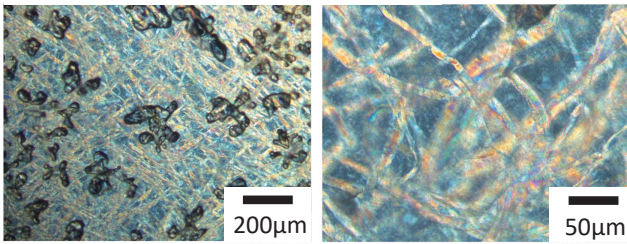
(b) バイオPE/セルロース



(d) バイオPE/セルロース+難燃剤中量



(c) バイオPE/セルロース+難燃剤少量



(e) バイオPE/セルロース+難燃剤多量

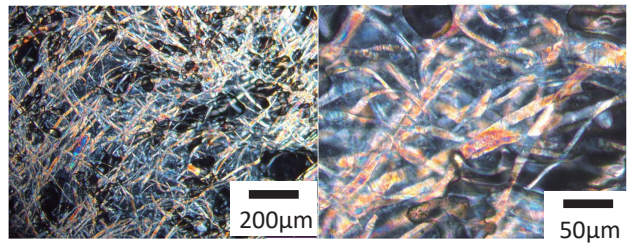


図2 偏光顕微鏡観察写真

表1 作製材料の組成の概要と物性

記号	組成の概要	曲げ試験		衝撃試験	難燃性	
		曲げ弾性率 (MPa)	曲げ強度 (MPa)	Izod衝撃強度 (kJ/m ²)	試験片 4mm厚	試験片 2mm厚
目標		2000	-	8	V-0	V-0
a	バイオPE	1260	23.5	15.5	不合格	不合格
b	バイオPE/セルロース	2000以上	40以上	8以上	HB	HB※
c	バイオPE/セルロース +難燃剤少量					HB
d	バイオPE/セルロース +難燃剤中量				V-1	
e	バイオPE/セルロース +難燃剤多量				V-0	

難燃性の高さ：V-0 > V1 > V2 > HB

※燃焼は進んだが規定内につき合格

目の接炎後に炎が大きくなり燃焼し続け（図4）、目標の厚さ2mmの試験片でのV-0は達成できなかった。

3.4 高バイオ度を有する分析機器部品の試作

(e)と同様の組成の複合材料をコンパウンドメーカーの実機を用いて生産した。吐出量が増すことにより熱による着色が発生したが、目標物性を達成できる範囲内における組成のマイナーチェンジにより解決した。

得られた複合樹脂ペレットを用いて、射出成形加工品メーカーにおいて、製品金型による分析機器部品の成形加工試験を実施した。図5及び図6に得られたHPLC用

部品であるトレイ（ラックフロント）及びカバー（ベントファン）を示す。HPLCにおいて、ラックフロントはオートサンプラ内の試料瓶設置用サンプルラックに取り付けられる冷却/加熱板の前面取付部品、ベントファンは、オートサンプラ内にある各種ファンによって発生する風を整流するダクト部品になる。いずれの射出成形加工においても、高温保持時間が長いために熱による着色が見られたが、問題なく製品形状に加工することができた。今後、詳細な検証は必要であるが、着色による力学的特性及び難燃性への影響は、大きくないと予想される。

試験片厚さ 4 mm
2回目の接炎中



2回目の接炎直後

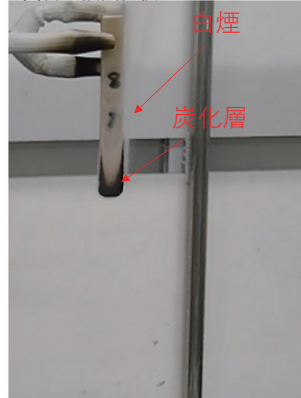
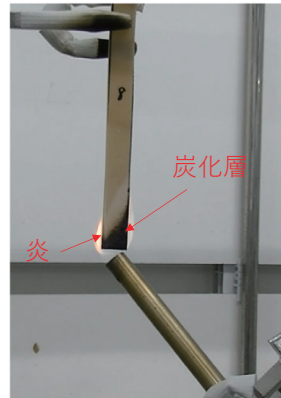


図3 厚さ 4mm(e) の短冊形射出成形品の UL94 垂直試験の様子

試験片厚さ 2mm
2回目の接炎中



2回目の接炎直後

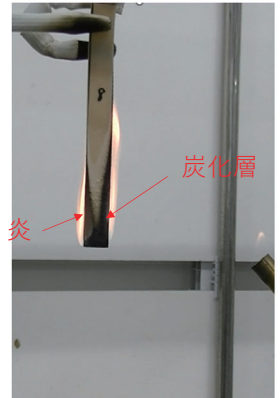


図4 厚さ 2mm(e) の試験片の UL94 垂直試験の様子

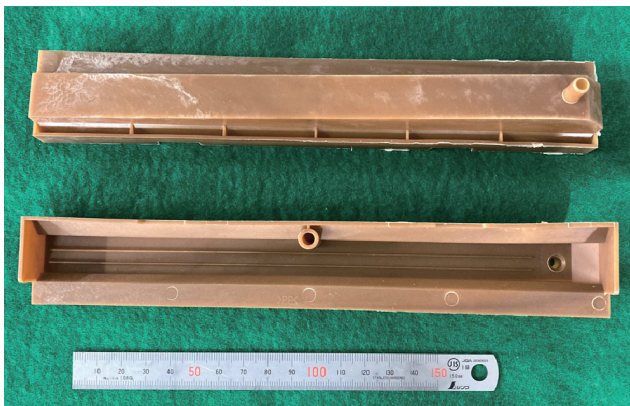


図5 HPLC 用部品 トレイ (ラックフロント)

4. おわりに

本報告では、分析機器分野における二酸化炭素排出量削減とサーキュラーエコノミーに貢献するため、強化材にセルロース繊維、マトリックス樹脂に植物由来のバイオPEを利用した難燃性高バイオ度素材の開発に取り組んだ。目標とした弾性率 2000MPa 以上、Izod 衝撃強度 8kJ/m² は達成したが、試験片厚さ 2mm における UL94 規格の V-0 グレードの難燃性は達成できなかった。今後、弾性率、Izod 衝撃強度を維持しながら、難燃性の改善を進めていく予定である。

謝辞

本報告は、環境省「令和6年度脱炭素革新素材セルロースナノファイバー普及のための課題解決支援事業委託業務」において、得られた成果である。関係各位に心から感謝申し上げます。



図6 HPLC 用部品 カバー (ベントファン)

参考文献

- 1) 島津製作所プレスリリース：“難燃性高めたセルロースファイバー複合樹脂を巴川製紙所、エフピー化成工業と開発「世界で初めて分析計測機器にセルロースファイバー配合部材を採用」”，島津製作所，2023-11-21. https://www.shimadzu.co.jp/news/2023/hj8k_96_g7utd-mg.html, (参照 2025-7-17).
- 2) 島津製作所：“2023 年度 -2025 年度 中期経営計画”，島津製作所，2023-11-21. <https://www.shimadzu.co.jp/sites/shimadzu.co.jp/files/ir/ztlg/b4l9i7v8637vxu8o.pdf>, (参照 2025-7-17).
- 3) 玉祖健一，他：ネットワークポリマー，36, (5), 232-238 (2015).