

資材用生分解性繊維の開発と製品化技術

加工技術部 西村美郎、加藤和美、小林久行

1. はじめに

ロープ・漁網・ネットなどの産業資材用繊維製品は、主にポリエチレン、ポリプロピレン、ナイロンなどの合成繊維からできている。これらは、強く、軽く、安価、さらに腐らない特徴をいかし、さまざまな用途で使用されている。しかし、近年、環境問題の高まりとともに、製品の使用後の廃棄処分が大きな問題となってきた。この対応策として、使用中は従来の合成繊維と同様の機能を保ちながら、使用後は、微生物の働きにより水と二酸化炭素に分解する生分解性プラスチック¹⁾²⁾の繊維への応用が考えられている。生分解性繊維の開発やその利用などについては、多くの報告³⁾⁷⁾がある。

本研究では、生分解性繊維の産業資材用途への利用を図るため、各種の生分解性プラスチックを使用した資材用繊維の製造から製品開発までについて検討した。

2. 実験方法

2.1 生分解性樹脂

各メーカーから各種の熱可塑性生分解性樹脂が開発されており、大きく分けて微生物系、天然物系、化学合成系に分類⁸⁾される。ここでは、ポリ乳酸系(以下PLAと略す)、ポリブチレンサクシネート系(以下PBSと略す)の2種類の樹脂を使用した。

2.2 溶融紡糸試験

モノフィラメント及びマルチフィラメントの溶融紡糸は、中部化学機械製作所製のTN35を使用した。スクリーン径35mmの単軸押出機、2mの温水槽、3.5mの熱風槽からなっている。テープヤーンは、中部化学機械製作所製のTN30を使用して製造した。装置は、シリンダー径が30mmの押出機、2台の熱板式延伸機からなっている。

2.3 製品化

新しい素材は、製品への加工が実用機において可能かどうかポイントとなるため生分解性繊維の捻糸、編、織などの製品化工程での加工性を検討しながら、産地企業の協力を得て、ロープ、漁網、ネット、織物など各種の製品を試作した。

2.4 力学的特性

強伸度は、フィラメント、網、織物についてテンシロンRTC-1250A(株エー・アンド・ディ製)を用い、ロープについて島津製作所製HTH-100kNA形万能試験機を用い測定した。柔軟性は、純曲げ試験機(カトーテック製)を使用し、曲げ剛性値で評価した。

2.5 耐候性試験

耐候性は、サンシャインウエザーメーター(株スガ試験機製S80HB)を使用して所定時間照射した後、残存強伸度を測定し、評価した。

2.6 分解性試験

分解性評価として土壌埋設試験とコンポスト化(堆肥)試験を行った。土壌埋設試験は、当センターの土中深さ10cmにモノフィラメントを埋設後、強度保持率を測定した。コンポスト化試験は、愛知渥美町農業協同組合堆肥センターで行った。試験後、試料の分子量の測定と表面観察を行った。分子量の測定は、高速GPC装置(株東ソー製HCL-8020)を使用した。表面の観察は、電子顕微鏡(株日本電子製JSM5200)を使用した。

3. 結果及び考察

3.1 生分解性繊維の製造と物性

(1) 溶融紡糸

各種モノフィラメント、マルチフィラメント、テープヤーンの製造条件を表1に示す。延伸は、二段延伸で行った。テープヤーンは、延伸時に糸切れが起こったため、延伸倍率を低く設定した。

(2) ブレンド繊維

ポリ乳酸 (PLA) は生分解性繊維の中では融点や強度が高く、天然物原料であることなど多くの利点を有しているが、紡糸時に糸切れが発生しやすく、製品に柔軟性がないなど実用性に欠けるところがあった。そこで柔軟性に優れたポリブチレンサクシネート (PBS) とのブレンドを行った。単にブレンドしただけでは、均一に混ざり合わ

いため、相容化剤⁹⁾を用いてPLAとPBSをブレンドした。0.5%の相容化剤の添加により均一にブレンドすることができた。PLAを70%、PBSを30%ブレンドした繊維が最も良い性能を示した。このブレンド技術を用いることにより、紡糸安定性や柔軟性の改善が見られ、産業資材用繊維としての機能を発揮することができる。表2に生分解性繊維とポリエチレン繊維の性能を示す。

表1 各種生分解性繊維の製造条件

	PLA100% モノフィラメント	PLA100% マルチフィラメント	PLA/PBS ブレンド モノフィラメント	PLA/PBS ブレンド テープヤーン	PBS100% テープヤーン
紡糸温度 (°C)	190	185	190	180	180
冷却温度 (°C)	40	40	40	30	30
延伸温度 (°C)	90(温水) 100(熱風)	85(温水) 95(熱風)	90(温水) 100(熱風)	70(熱板) 70(熱板)	70(熱板) 70(熱板)
延伸倍率	7	7	7	3	4
繊度 (dtex)	440、650	600/5f	500	7,000	10,000

表2 生分解性繊維の性能

	PLA70/PBS30	PLA 100%	PBS 100%	ポリエチレン
融点 (°C)	122	161	113	130
強度 (cN/dtex)	3.6	3.6	3.4	5.7
伸度 (%)	36	36	47	24
紡糸性* ¹	優れている	やや劣る	優れている	優れている
柔軟性* ²	やや硬い (1.1)	硬い (1.8)	柔らかい (0.4)	柔らかい (0.7)
耐久性* ³	優れている (130日未切断)	劣っている (14日以内)	-	優れている (130日未切断)

*1 紡糸時の糸切れ回数による比較

*2 川端式純曲げ試験機による曲げ剛性で、単位は ($\times 10^{-6} \text{N cm/cm}^{-1} \cdot \text{dtex}$)

*3 繊維に強度の20%の荷重を掛けて吊るした時の切断日数(日)

(3) 耐候性

PLA及びPLA/PBSブレンドモノフィラメントのサンシャインウエザーメータで照射した後の残存強度を図1に示す。照射時間の増加にともないPLAモノフィラメントの強度は低下した。しかし、黒に着色したPLA/PBSブレンドモノフィラメントの強度の低下はほとんどなく、耐候性が良好であることが分かった。

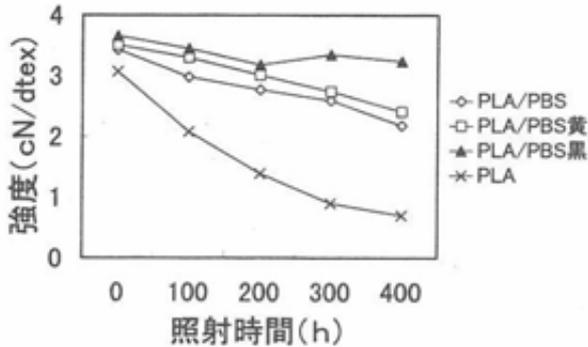


図1 生分解性モノフィラメントの耐候性

3.2 製品化

(1) ロープ

原糸として、PLA100%モノフィラメント、PLA100%マルチフィラメント、PLA/PBSブレンドモノフィラメントの3種類を使用し、ロープを試作した。写真1は、工事現場などで見られる標識ロープ（直径9mm、原糸はPLA/PBSブレンドモノフィラメント）を示す。

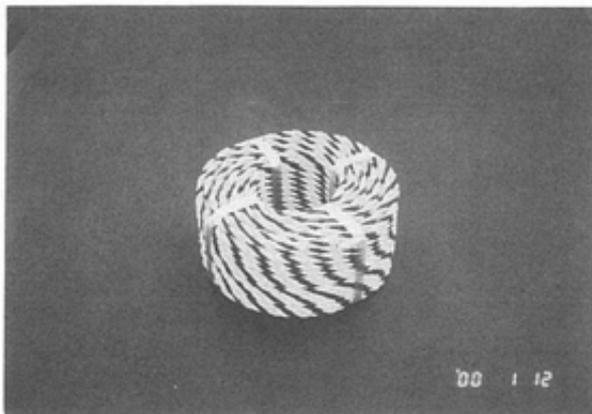


写真1 標識ロープ

試作した生分解性ロープと各種ロープ（直径9mm）のJIS規格¹⁰⁾による強度を図2に示す。PLA/PBSブレンドロープの強度はナイロン、PET製より劣るが、ビニロンやポリエチレン製の2級レベルまで到達した。

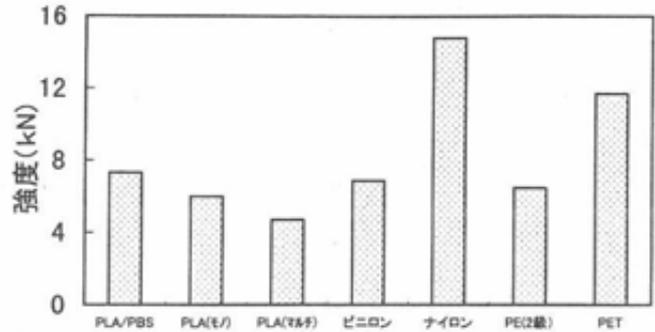


図2 生分解性ロープの強度

ロープは屋外で使用する機会が多いため、紫外線による劣化を測定した。図3は、各種の生分解性ロープをサンシャインウエザーメータで照射した後の残存強度を示している。PLA/PBSブレンドロープは、照射による強度の低下はほとんどなかった。耐候性評価の基準の一つとしてNK規格による耐候性試験後の残存強度率¹¹⁾があり、ポリエチレンロープについては200時間照射後残存強度率が80%以上としている。PLA/PBSブレンドロープは200時間照射後の残存強度率は96%となり、耐候性が良好であることが明らかとなった。

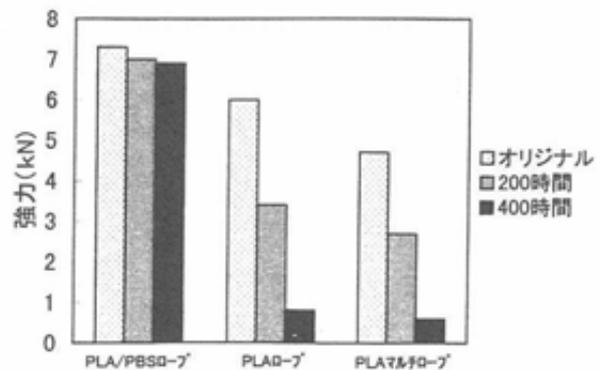


図3 生分解性ロープの耐候性

(2) 無結節網

PLA100%マルチフィラメントを使用し、目合い16~17節の無結節網を試作した(写真2)。編網時に高い張力をかけるため糸切れが多発し、製造が困難であった。製品の強度は138.3N、伸度45.8%であった。

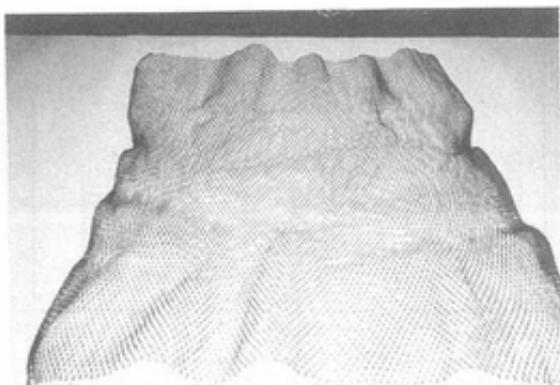


写真2 無結節網

(3) ラッセル網

PLA/PBSブレンドモノフィラメントを使用して、9Gのラッセルネットを試作した(写真3)。ブレンド繊維を使用することで、糸の柔軟性が向上し、製網可能となった。製品の強度は378N/5cm、伸度は37.9%であった。

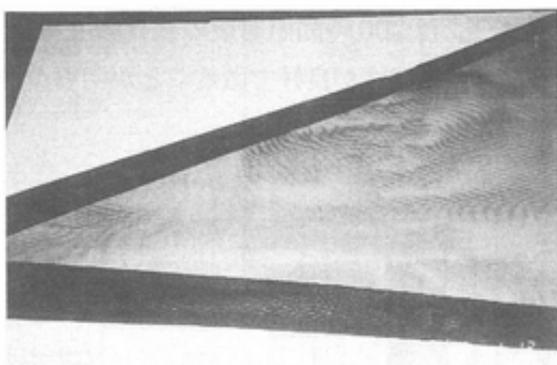


写真3 ラッセル網

(4) 結節網

PLA100%モノフィラメント(650dtex)を使用し、6節の結節網を試作した(写真4)。PLAは硬くて滑べりが悪いため、製造は困難であった。

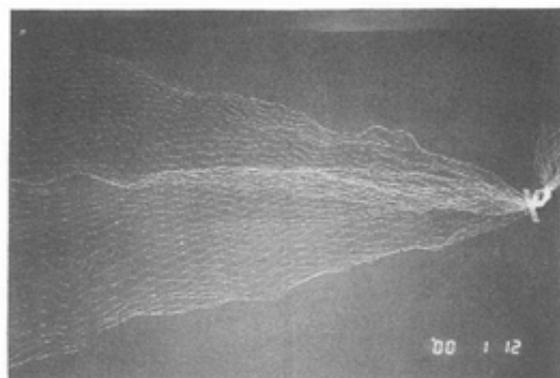


写真4 結節網

(5) テープヤーン

テープヤーンの強伸度は、PBSが、163N、81%、PLA/PBSブレンドが87N、24%であった。生分解性テープヤーンの用途の一つとして、ハウス栽培のトマトやメロンなどの作物の誘引紐(吊りひも)が考えられる¹²⁾。トマト栽培用誘引紐は、平成11年9月6日から平成12年2月16日まで、愛知県農業試験場豊橋農業技術センターで行った。トマトは、誘引紐を茎に巻き付け、栽培される(写真5)。約5ヵ月の間使用したが、特に問題なく良好な結果が得られた。現在、誘引紐は、ポリプロピレン製のテープヤーンを使用しているため、収穫後、茎や葉に絡まったひもを取り除く必要があり人手と時間がかかる。生分解性の紐を使用すれば、茎や葉に絡まったままそのまま分別せずにコンポスト処理することができる。



写真5 生分解性誘引ひもの実用テスト

(6) 織物

PLAモノフィラメント(440dtex)とPLA/PBSブレンドモノフィラメント(500dtex)を使用して織物を製造した。織物を溶着して袋状にし、落ち葉、雑草などを入れて木の周りに敷き、防草用に使用することができる(写真6)。この袋を敷くことにより、落ち葉の散乱を防ぎながら、雑草の繁殖を防ぐことができる。



写真6 防草袋の実用テスト

3.3 分解性

生分解性の評価¹³⁾については、酵素試験法、活性汚泥法、土壌埋設法、コンポスト化試験、河川海水試験などがあり、多くの報告²⁴⁾¹⁴⁾¹⁵⁾がある。しかし、方法や試料の形状によってデータは異なっている。ここでは、土壌埋設試験とコンポスト化(堆肥)試験を行った。

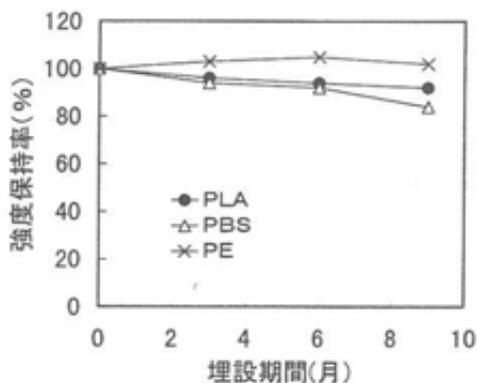


図4 土中埋設試験

土壌埋設試験では、土壌の質、温度、雨などの自然界の因子に左右される¹⁶⁾。図4は、当セン

ターの土中深さ10cmに各種の生分解性モノフィラメントを埋設した後の強度保持率を示す。PLA及びPBSの強度の低下は少なく、分解は、非常にゆっくり進むことがわかった。

コンポスト化試験は、愛知渥美町農業協同組合堆肥センターの大型のコンポスト施設で行った。直径が10mmのポリ乳酸ローブをコンポストに6日間投入した結果、ローブは、ほとんど分解し、なくなっており、残ったローブも触ると粉々になってしまうほど分解していた(写真7)。土壌埋設と比較すると、コンポストによる分解は非常に速いことが明らかになった。

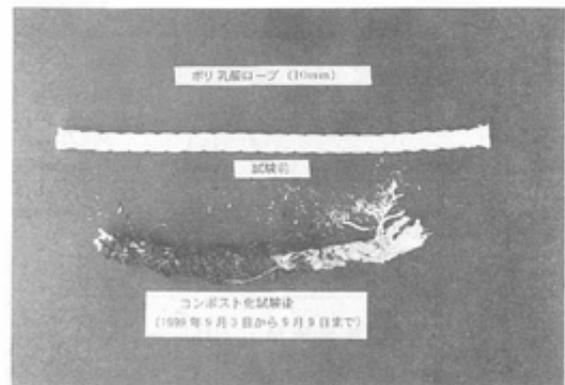


写真7 コンポストテスト

写真8は、電子顕微鏡によりローブを構成する繊維の表面を観察した結果である。繊維軸に直角の方向に亀裂が入っていることが確認された。このような亀裂は、ポリ乳酸繊維の加水分解による形態変化として報告されている¹⁷⁾。

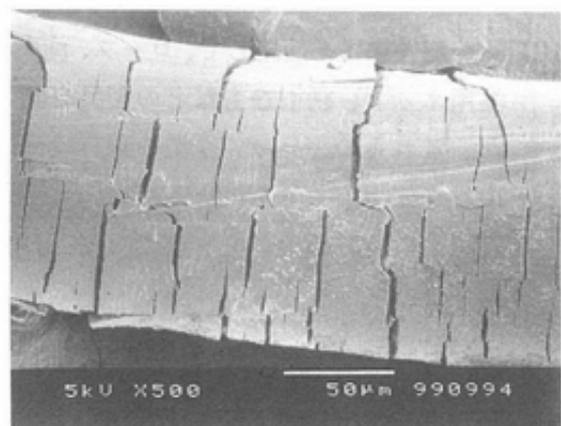


写真8 繊維の電子顕微鏡写真

また、この繊維の分子量は、GPC装置を使用して測定した。図5に溶出曲線を示すが、ピークが長時間側にシフトしており、コンポスト化による繊維の分子量の低下が確認された。このことは、ポリ乳酸繊維の生分解性に起因するものと思われる。

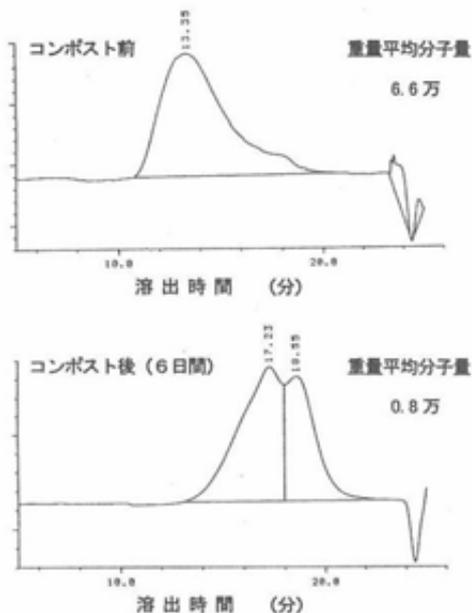


図5 ポリ乳酸ロープの分子量測定結果

4. まとめ

- (1) 生分解性プラスチックのブレンド紡糸技術に取り組んだ結果、ブレンドを可能にする相容化剤を見出し、紡糸性、強度、柔軟性に優れた産業資材用生分解性繊維を開発することができた。
- (2) 生分解性繊維を使用して、ロープ、漁網、農業用ネット、誘引ひもなどの製品を開発した。これらの製品は、企業の現有設備をそのまま使用して製造できるため、実用性が高いものである。

- (3) 農業用コンポスト施設において、生分解性を試験した結果、10mmのポリ乳酸ロープは、約1週間で分解した。
- (4) 農業用誘引紐は、トマトのハウス栽培において良好な結果を示した。この紐は、収穫後、茎や葉を分別することなくコンポスト化が可能である。

文 献

- 1) 土肥義治, 「生分解性高分子材料」工業調査会 (1990)
- 2) 望月政嗣, 「生分解性ポリマーのはなし」, 日刊工業新聞社 (1995)
- 3) B. Eling, S. Gogolewski, A. J. Pennings, *Polymer*, **23**, 1587 (1982)
- 4) T. Mochizuki, M. Hirano, Y. Kanmuri, K. Kudo, Y. Tokiwa, *J. Appl. Polym. Sci.*, **55**, 289 (1995)
- 5) 山本孝, 繊維学会誌, **56**, 90 (2000)
- 6) A. E. Salmawy, H. Yamane, M. Miyamoto, Y. Kimura, 繊維学会誌, **55**, 120 (1990)
- 7) 山下岩男, 繊維機械学会誌, **52**, 218 (1999)
- 8) 生分解性プラスチック研究会カタログ
- 9) 栗山直人, 岐阜大学卒業論文 (1999)
- 10) JIS L 2703~2707
- 11) 「船用材料・機器等の承認及び認定要領」, 日本海事協会, **36** (1998)
- 12) 望月政嗣, 産業資材研究会要旨集, 三河繊維技術センター, 1999年11月26日
- 13) 山下岩男, ポリマーダイジェスト, No. 3, 81 (1996)
- 14) 望月政嗣ら, 繊維学会誌, **53**, 348 (1997)
- 15) 望月政嗣, 繊維学会誌, **52**, 200 (1996)
- 16) 大武義人, プラスチックス, **49**, 35 (1998)
- 17) S. H. Hyon, 繊維学会誌, **54**, 527 (1998)