

農業用廃プラスチックを利用した木質プラスチック複合材料の特性評価

大市貴志, 吉田昌充, 山岸 暢, 吉田光則

Characterization of wood plastic composites with agricultural waste plastics

Takashi OHICHI, Masamitsu YOSHIDA
Tohru YAMAGISHI, Mitsunori YOSHIDA

抄 録

農業用廃プラスチックを成形材料として再生利用することを目的に、肥料袋、フレキシブルコンテナおよびロールベールサイレージ用ストレッチフィルムを対象に選び、これらに建築廃棄物由来の木粉を最大で50%まで混合し加熱成形した木質プラスチック複合材料の特性について検討した。その結果、廃プラスチックをそれぞれ単体で使用するより、廃プラスチックの成分を考慮し所定量混合して木粉と複合化することにより、機械的特性や耐久性等の機能が向上することが分かった。また、これらの結果をもとに、農業用資材としての有効活用を検討した。

キーワード：農業用廃プラスチック，木質プラスチック複合材料，機械的特性，耐久性

Abstract

In this study, We examined the use of agricultural waste plastics as matrix resin for wood plastic composites. The following were chosen as agricultural waste plastics as an object of this research : polyethylene bag for fertilizer, polypropylene flexible container bag and roll baled silage wrapping film. Composite materials that mixed wood flour with these plastics up to 50% in the maximum were molded, and the characteristic of these composite material was examined. By using waste plastics which mixed considering the component properly, it was proven that the functionality of mechanical property and durability of composite material can be improved from respectively using the waste plastic in simple substance as matrix resin. On the basis of these results, we examined the efficient use of wood plastic composites made from agricultural waste plastic as a farm material.

KEYWORDS : agricultural waste plastics, wood plastic composites, mechanical property, durability

1. はじめに

近年の農業では、高品質・安定生産のために、様々なところで塩化ビニルやポリエチレンなどの農業用プラスチック製

品が使われ、それらの製品が使用済みとなった農業用廃プラスチックは、年々増加傾向にある。北海道においても農業用廃プラスチックは、年間約2万tが排出されている。このうち再生処理されているものは、平成13年度において23%で、その割合は年々増加しているものの、いまだに未利用のままの埋立処分や単純な焼却処分が多く行われている¹⁾。こうした中、環境への配慮や資源の有効活用に対する意識の高まり等から、廃棄物処理に関する規制が強化され、農業用廃プラ

事業名：一般試験研究

課題名：農業用廃プラスチックの有効利用に関する研究

スチックについてもリサイクルを基本とした適正処理の推進が重要な課題となっている。

一方、熱可塑性樹脂と木粉とを混合し加熱成形した木質プラスチック複合材料 (Wood Plastic Composites : WPC) が環境問題に対する関心の高まりから注目を浴びてきている^{2,3}。この木質プラスチック複合材料は、木材とプラスチックの性質を併せ持ち、エクステリアや景観材料として利用されている⁴。この素材の原料となる熱可塑性樹脂には、ポリプロピレン (PP) やポリエチレン (PE) などの汎用樹脂が広く用いられ、廃プラスチックの活用も行われている。

本研究では、農業用廃プラスチックを成形材料として再生利用することを目的に、種々の農業用廃プラスチックをマトリックス樹脂とした木質プラスチック複合材料の機械的特性や耐久性について評価を行い、農業用資材として有効活用することを検討した。

2. 実験方法

2.1 試料

農業用廃プラスチックとして肥料袋 (以下、重袋)、フレキシブルコンテナ (以下、フレコン) および牧草ロールをラッピングするのに用いるロールバールサイレーズ用ストレッチフィルム (以下、ラップ) を使用した。これらは、汚れや材質の劣化が比較的少なく、一定の種類がまとまって排出され、現時点で材料リサイクルが行われていないなどの理由により選定した⁵。ただし、供試材料には、材質等のバラツキを抑制するため未使用または使用履歴が明確な材料を使用した。また、フレコンについては、本体材料の織布のみを切り出して使用した。使用した農業用廃プラスチックの材質を表1に示した。

表1 使用した農業用廃プラスチック

種類	材質
肥料袋(重袋)	ポリエチレン樹脂(PE-LLD)
フレキシブルコンテナ(フレコン)	ポリプロピレン樹脂(PP)
サイレーズラップフィルム(ラップ)	ポリエチレン樹脂(PE-LLD), エチレン・酢酸ビニル樹脂(EVAC), 粘着剤(PIB)

使用した木粉を図1に示した。この木粉は、合板、ベニヤ板、ラワン材および塗料や薬品等が含まれる木材を除いた建設廃棄物由来の木材を家畜敷料用の木チップに粉砕する際に発生するチップダストである。この木粉は、粒度が16メッシュパス以下、含水率が約9%であった。その形状は、繊維状や粒状の木粉が混在していた。



図1 使用した木粉 (建設廃棄物由来)

2.2 供試体の作製

所定の配合割合となるように計量した各材料を、バッチ式の二軸混練機 (PLASTI-CORDER PL-2000 BRABENDER 製) を用いて、回転数 30 rpm にて約 10 分間熔融混練を行った。混練された材料を加熱したプレス上の平押し金型上に入れ、10 分間接触圧力を加えて予熱した後、2.5 MPa の圧力をかけ過剰な材料を押し出し、2, 4 および 10 mm の厚さの平板状に成形した。その後、金型を加熱プレスから冷却プレスへ速やかに移動し、急速冷却を行った。得られた平板状成形品から切削加工により試験片を作製した。この時の熔融混練および加熱プレスの温度は、マトリックス樹脂にフレコンを混合使用した場合は 190℃、それ以外は 160℃とした。

2.3 機械的特性の評価

機械的特性の評価として、曲げ試験、引張試験および衝撃試験を行った。曲げおよび引張試験には、万能材料試験機 (オートグラフ AG-250 kND (株) 島津製作所製) を使用し、曲げ試験は JIS K 7171 (標準試験片, 試験速度 2 mm/min)、引張試験は JIS K 7113 (1 号形試験片, 試験速度 1 および 5 mm/min) に準拠して試験を行った。衝撃試験は、アイゾット衝撃試験機 (U-F IMPACT TESTER (株) 上島製作所製) を使用し、JIS K 7110 に準拠して試験を行った。試験片はノッチタイプ A およびノッチなしの二タイプを用いた。

2.4 熱安定性試験

マトリックス樹脂の熱安定性の評価として、示差走査熱量計 (EXSTAR DSC 6200 セイコーインスツルツメンツ(株) 製) による酸化誘導時間の測定を JIS K 6761 に準拠して行った。試験片は、プレス成形された平板から切り出して用いた。

2.5 耐候性試験

木質プラスチック複合材料の屋外環境での使用による劣化を検討するために耐候性試験により外観、機械的特性の変化を調べた。試験は、サンシャインウェザーメーター (サンシャインロングライフウェザーメーター WEL-SUN-HC 形 スガ

試験機(株製)により JIS K 7350-4 に準拠して、水噴霧有りの条件で行った。試験片は、木粉の含有率 50 wt%、厚さ 10 mm の平板を用いた。耐候性試験の評価は、各暴露時間(0, 240, 480, 1020, 1960 時間)毎に試験片を取り出し、暴露面の色変化および曲げ特性の変化を測定した。色の測定には測色色差計(Z-1001 DP 日本電色工業(株)製)を使用した。曲げ特性の変化は、暴露面が引張り状態になるように曲げ試験を行い、暴露前の測定値との比較により保持率として算出した。

3. 結果および考察

3.1 機械的特性の検討

3.1.1 各農業用廃プラスチックと木粉との複合化

各農業用廃プラスチックと木粉とをそれぞれ混合した複合材料における木粉の充填率と曲げおよび引張特性の関係を図 2 に示した。

図 2-(a) より、重袋をマトリックス樹脂とした場合、木粉の充填率が增大するにつれて弾性率と曲げ強さは向上したが、引張強さは低下する傾向を示した。これは、重袋の材質が無極性樹脂の PE-LLD であるため、親水性である木粉との親和性に欠け、界面の接着力が低く、引張応力に対して木粉が強化材として作用しなかったためと考えられる。一方、弾性率は低いひずみで現れる特性であることから、界面接着性の影響が少なく、木粉の高い弾性率が反映されたものと推測される。

図 2-(b) より、ラップをマトリックス樹脂とした場合、重袋と同様に曲げ強さは向上し、引張強さは低下する傾向を示した。しかし、重袋と比較して木粉を混合したときの曲げ強さの向上率は高く、引張強さの低下率は低くなっていた。木粉と無極性樹脂との界面接着性を上げる方法として両者に親和性をもつ酸変成樹脂を相溶化剤として添加することが良く知られている。ラップの材質には、PE-LLD のほかに EVAC および PIB が含まれているため、これが相溶化剤として木粉との界面接着性の向上に寄与し、木粉を混合したときの物性が改良されたと推測される。ただし、ラップ自体の曲げおよび引張強さが重袋より低いため、重袋をマトリックス樹脂としたものよりも低い物性値であった。

図 2-(c) より、フレコンをマトリックス樹脂とした場合、木粉を混合することにより曲げ強さおよび引張強さも低下が著しかった。フレコンの材質も無極性樹脂の PP であるため、木粉との親和性に欠け界面の接着力が低く、木粉が強化材として作用するよりも欠陥としての影響が大きく現れ、強さが低下したと推測される。

3.1.2 農業用廃プラスチックの混合利用の検討

木質プラスチック複合材料のマトリックス樹脂にポリオレ

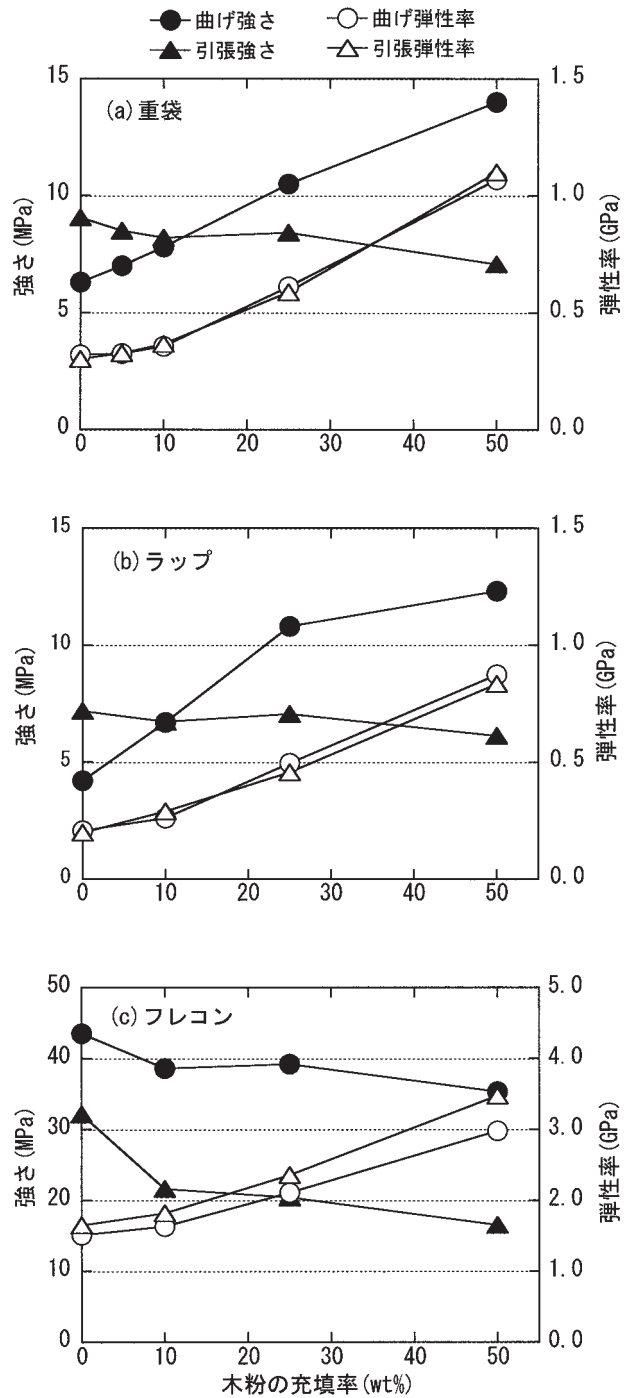


図 2 木粉の充填率と機械的特性の関係 (a)重袋, (b)ラップ, (c)フレコン

フィンを用いた場合、親水性である木粉との界面親和性に欠けるため、一般的には1つの分子内に親水性と親油性の構造を持つ酸変成樹脂などの相溶化剤を添加し、物性を向上させている。しかし、農業用廃プラスチックを対象として用いた場合、この相溶化剤は高価であると思われる。そこで、3.1.1項でラップと木粉との界面接着性が重袋やフレコンに比較して良好であったことから、それぞれにラップを混合して利用することを検討した。

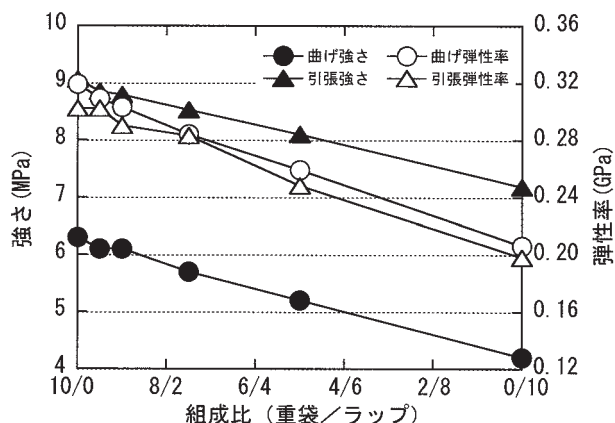


図3 ブレンド樹脂の組成比と機械的特性の関係 (重袋/ラップ系, 木粉の充填率: 0 wt%)

重袋とラップを混合したブレンド樹脂の組成比と曲げおよび引張特性の関係を図3に示した。重袋に比較しラップの各物性値は低いため、ブレンド樹脂の各物性値は、ラップの組成比が高くなる程低くなった。また、その物性値は混合前の個々の材料が持つ値から得られる加成値に近似し、樹脂同士の相溶性は良好であると思われる。

ブレンド樹脂に木粉を重量比で50%混合した木質プラスチック複合材料の曲げおよび引張特性を図4に、衝撃強さを図5に示した。

図4より、木粉を混合した複合材料の曲げおよび引張特性は、マトリックス樹脂が肥料袋とラップそれぞれ単独のときの値の加成値を上まわり、ラップの割合が10~25%のときに、強さ、弾性率ともに最大となることが認められた。同様に、図5より衝撃強さもラップの割合が10~25%のときに最大となることが認められた。

重袋とラップの配合比率が10/0および7.5/2.5の供試体をマイクロトームで切断し、切断面を走査電子顕微鏡により観察した写真を図6に示した。ラップを混合していない複合材

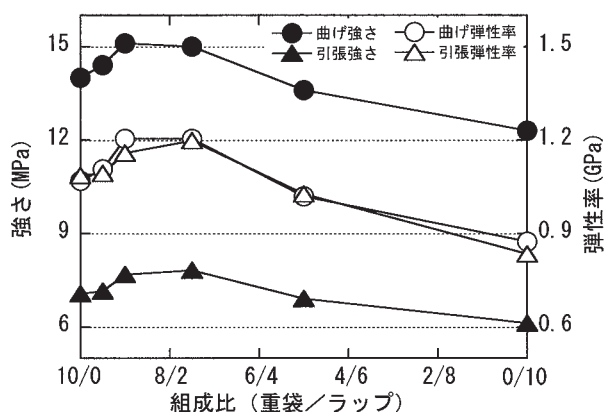


図4 マトリックス樹脂の組成比と機械的特性の関係 (重袋/ラップ系, 木粉の充填率: 50 wt%)

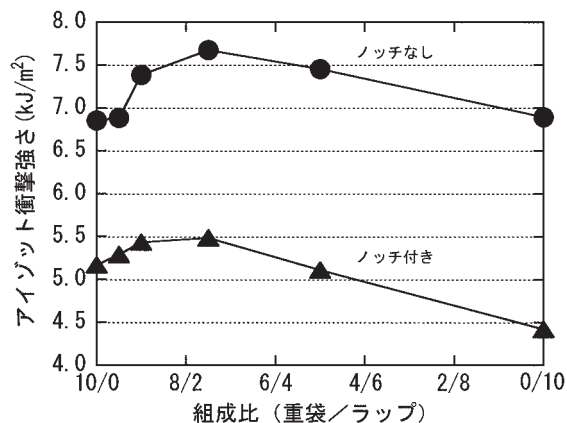


図5 マトリックス樹脂の組成比と衝撃強さの関係 (重袋/ラップ系, 木粉の充填率: 50 wt%)

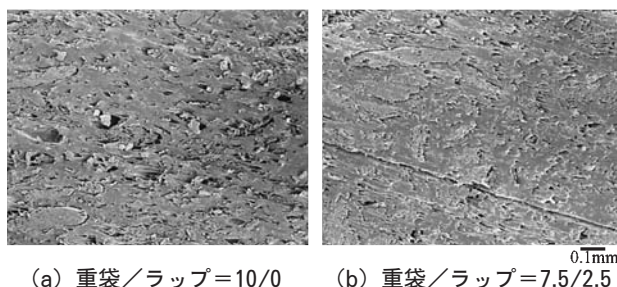


図6 木質プラスチック複合材料の断面 (木粉の充填率: 50 wt%)

料の切断面 (a) には、小さい木粉または木粉の凝集塊が脱落して形成されたとと思われる陥没が多く見られた。それに対し、ラップを配合した方の切断面 (b) は陥没が少なく、木粉との接着性や分散性が良好であることが確認された。これより、ラップに含まれている成分が木粉と樹脂との界面接着性やマトリックス樹脂中への木粉の分散性を向上させ、機械的特性が向上したと推測される。しかしながら、ラップの割合が高くなると機械的特性は低下した。これは、ラップ自体の機械的特性が低いため、その影響により物性が低下したと推測される。

次に、フレコンとラップを混合したブレンド樹脂の組成比と曲げおよび引張特性の関係を図7に示した。フレコンはラップに対し約十倍高い物性値を示していた。また、ブレンド樹脂は、各物性値はそれぞれの加成値より僅かに低くなっているものの、その混合状態は良好であった。

フレコンとラップのブレンド樹脂に木粉を重量比で50%混合した木質プラスチック複合材料の曲げおよび引張特性を図8に、衝撃強さを図9に示した。

曲げおよび引張特性は、ラップの組成比が高くなるに伴いほぼ直線的に低下した。これは、ラップ自体の曲げおよび引張の各物性値がフレコンに比較し非常に低いため、ラップ混

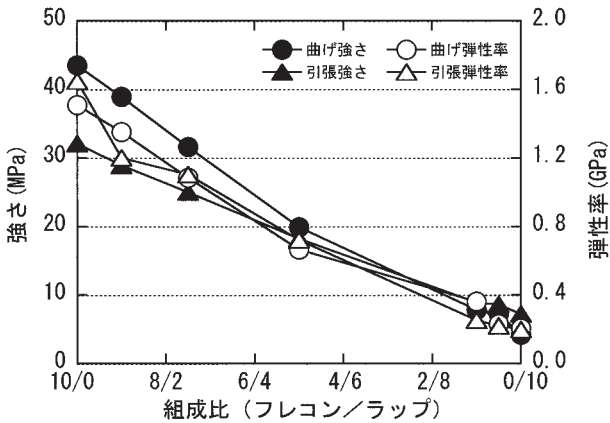


図7 ブレンド樹脂の組成比と機械的特性の関係 (フレコン/ラップ系、木粉の充填率：0 wt%)

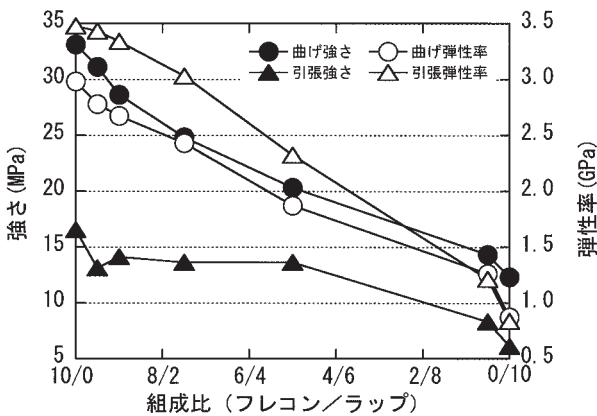


図8 マトリックス樹脂の組成比と機械的特性の関係 (フレコン/ラップ系、木粉の充填率：50 wt%)

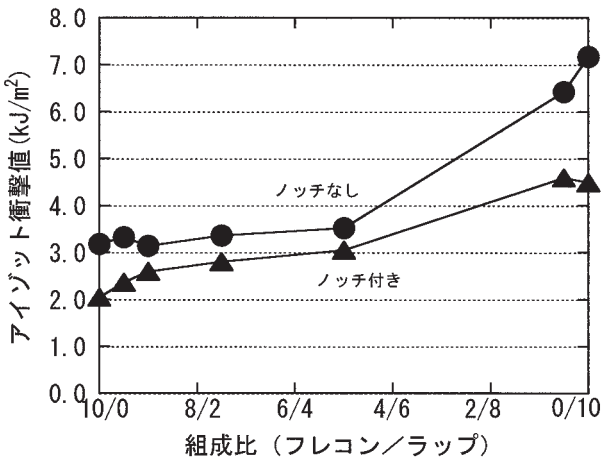


図9 マトリックス樹脂の組成比と衝撃強さの関係 (フレコン/ラップ系、木粉の充填率：50 wt%)

合によるマトリックス樹脂の物性値低下の影響が大きく、重袋のとき認められたラップの混合による木粉とマトリックス樹脂との界面接着性向上の効果がほとんど反映されなかったものと推測される。

衝撃強さは、ラップの組成比が高くなるほど大きくなる傾向を示し、ノッチ付きの試験片に対してはラップの組成比が10%以下でも衝撃強さが向上していた。これは、ラップの添加により木粉/マトリックス樹脂界面の接着性が向上することにより、ノッチからのクラックの進展が抑制され、ノッチ付き試験片の衝撃強さが向上したと推測される。

3.2 耐久性の評価

農業用廃プラスチックを再利用した木質プラスチック複合材料は、主として屋外で長期間にわたり使用されることが想定されるため、耐久性に関する検討を行った。

3.2.1 農業用廃プラスチックの熱安定性

マトリックス樹脂の酸化劣化の評価として、熱安定性試験を行った。熱安定性試験によって得られる酸化誘導時間は、樹脂中に含まれている酸化防止剤が酸化を抑制し続ける時間であることから、樹脂の酸化劣化のしやすさを表していると考えられる。重袋とラップの組成比と酸化誘導時間の関係を図10に示した。重袋にラップを混合することにより酸化誘導時間が長くなり、酸化劣化し難くなる傾向にあった。

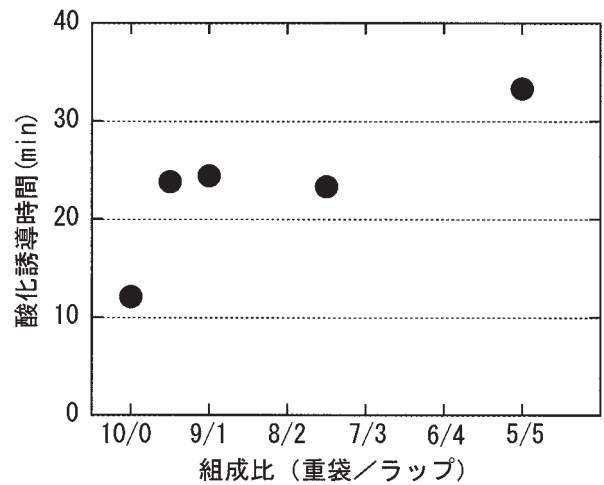


図10 ブレンド樹脂の組成比と酸化誘導時間の関係

3.2.2 木質プラスチック複合材料の促進耐候性

マトリックス樹脂の組成が耐候性に与える影響を明らかにするため、木質プラスチック複合材料の促進耐候性試験を行った。マトリックス樹脂の組成比は、重袋/ラップ混合系では10/0および8/2、フレコン/ラップ混合系では10/0および9/1とした。木粉の混合率は何れも重量比で50%とした。

促進暴露した木質プラスチック複合材料の色差測定の結果を表2に示した。促進暴露試験により木質プラスチック複合材料の表面は何れも白化し、明度(L*)が高くなったが、その差はラップを配合することにより重袋およびフレコンの何れの系においても低く抑えられた。同様に色差(ΔE*ab)

表2 促進暴露による色の变化
(木粉の充填率：50 wt%)

(a) 重袋/ラップ=10/0

暴露時間	L*	a*	b*	ΔE*ab
0 hr	42.1	0.61	5.76	
240 hr	57.9	-0.22	4.41	15.9
480 hr	69.1	-1.42	1.12	27.4
1020 hr	72.8	-2.20	3.96	30.9
1980 hr	73.7	-2.34	11.88	32.3

(b) 重袋/ラップ=8/2

暴露時間	L*	a*	b*	ΔE*ab
0 hr	24.1	-0.22	-0.96	
240 hr	32.9	-0.03	0.85	9.0
480 hr	37.6	-0.16	1.18	13.7
1020 hr	38.7	-0.43	2.18	14.9
1980 hr	38.7	-0.62	4.01	15.5

(c) フレコン/ラップ=10/0

暴露時間	L*	a*	b*	ΔE*ab
0 hr	25.4	-7.25	10.29	
240 hr	64.2	-12.72	5.60	39.4
480 hr	69.2	-12.78	3.01	44.7
1020 hr	71.6	-11.51	4.77	46.7
1980 hr	70.9	-11.68	9.24	45.7

(d) フレコン/ラップ=9/1

暴露時間	L*	a*	b*	ΔE*ab
0 hr	19.1	-2.44	3.01	
240 hr	45.3	-4.75	2.67	26.4
480 hr	49.9	-4.29	1.54	30.9
1020 hr	49.4	-4.03	2.20	30.4
1980 hr	48.2	-3.82	4.73	29.2

もラップを配合することにより低く抑えられた。

促進暴露前の曲げ強さおよび弾性率に対する各暴露時間における保持率を図11および12に示した。ラップを混合していない木質プラスチック複合材料の曲げ強さは、約2000時間の促進暴露後では約85%の保持率であったが、さらに、ラップを配合することにより、重袋およびフレコンの何れの系においても曲げ強さの保持率が95%以上となり、大幅に曲げ強さの低下が抑制されていた。また、曲げ弾性率についても曲げ強さと同様の傾向を示し、ラップを配合すると耐候性が向上した。

これらのことより、木質プラスチック複合材料は、表面層は促進暴露の影響を大きく受けているが、全体としては耐候性が高いものであった。さらに、ラップを混合することにより、より耐候性が向上することが認められた。これは、ラップは屋外での使用や長期保存を前提として製造されるため、耐候性を上げるための添加剤が多く含まれている。そのため、ラップ混合により耐候性が向上したものと推測される。

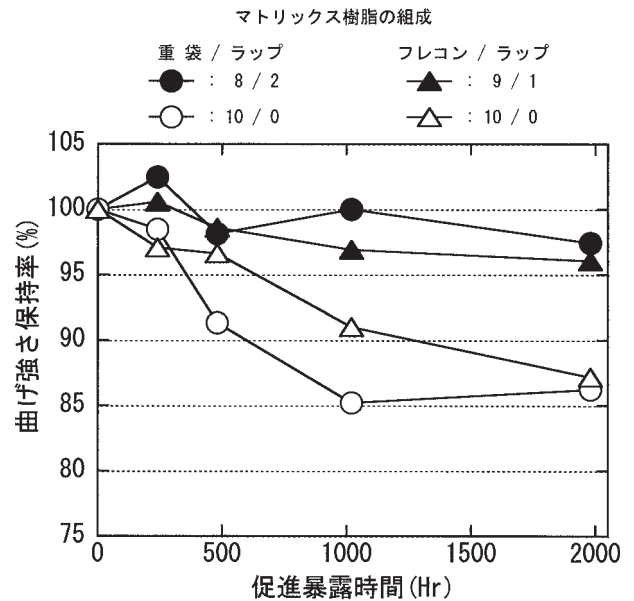


図11 促進暴露試験による曲げ強さの保持率
(木粉の充填率：50 wt%)

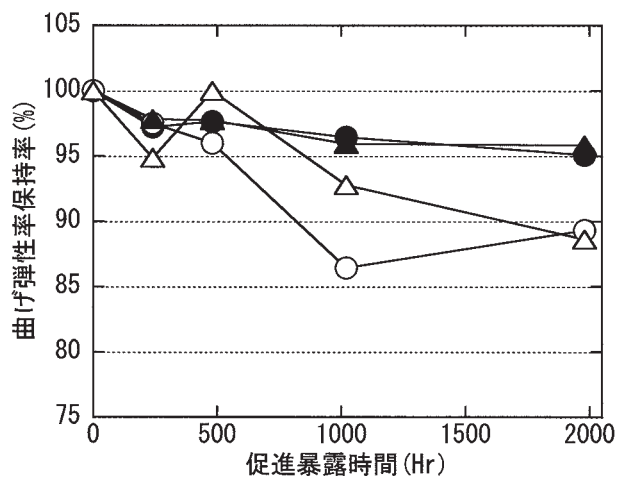


図12 促進暴露試験による曲げ弾性率の保持率
(木粉の充填率：50 wt%)

4. 農業用資材としての活用の検討

これまでの結果をもとに、重袋とラップを7.5/2.5の組成比で混合しマトリックス樹脂に用い、木粉の含有率を50 wt%とし、寸法が2×1 m、厚さ20 mmのパネルを試作した。このパネルの各種物性値を表3に示した。また、水中への浸せき時間を延長し測定した吸水率を図13に示した。

試作したパネルは、24時間吸水率で0.6%と木質材料に比較し非常に低く、約一年間の浸せき後でも13%程度と長期間にわたり優れた耐水性を有していた。そこで、湿潤な環境で利用される農業用の資材として活用することを検討した。

試作パネルを木工用加工機で二次加工し、木製合板を利用

して作る簡易な堆肥盤の代替材料として利用した。図14に試作した製品の使用状況を示した。床面と奥面に試作パネルを使用し、左面は比較とした合板、右面はシートで被覆された合板を用いた。試作したパネルは、従来の合板より優れた耐水性を有していることから堆肥による汚染、膨潤や変形なども見られず代替材料としての機能を十分有していることが確認された。

表3 試作パネルの物性

試験項目	試験方法	試験値
密度 (g/cm ³)	JIS A 5905	1.08
曲げ弾性率 (GPa)	JIS K 7171	1.2
曲げ強さ (MPa)	JIS K 7171	15
熱伝導率 (W/m・K)	JIS A 1412-2	0.2
線膨張率 (×10 ⁻⁵ /°C)	JIS K 7197	3.4
24時間吸水率 (%)	JIS A 5905	0.6
木ねじ保持力 (N)	JIS A 5905	725
くぎ引抜抵抗 (N/mm)	JIS Z 2101	27

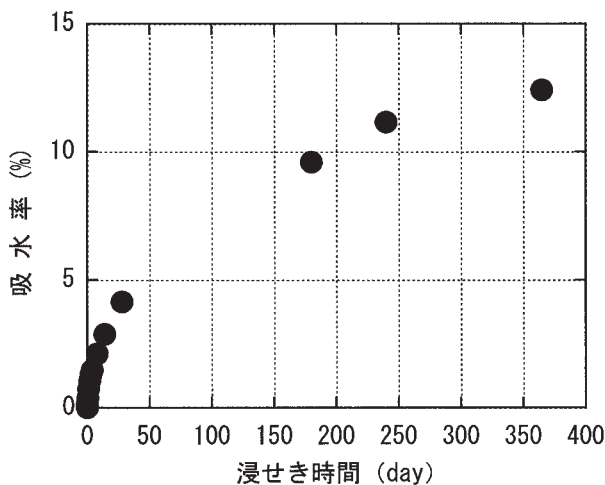


図13 水中浸せき時間と吸水率の関係



図14 パネルを利用した簡易堆肥盤

5. まとめ

農業用廃プラスチックを成形材料として再生利用することを目的に、肥料袋、フレキシブルコンテナおよびロールペールサイレージ用ストレッチフィルムについて、建築廃棄物由来の木粉を最大で50%まで混合し加熱成形した複合材料の機械的特性および耐久性について検討し、以下のような結果を得た。

- (1) 廃プラスチックの種類毎にそれぞれ木粉と混合すると、重袋では弾性率と曲げ強さは向上したが、引張強さは低下した。ラップと木粉は比較的界面の接着性が良好だが、ラップ自体の機械的特性が低かった。フレコンでは引張および曲げ強さとも低下した。
- (2) 木質プラスチック複合材料に使用するマトリックス樹脂の主成分を重袋またはフレコンとし、ラップを所定量混合して用いると、重袋を主成分とした系では、曲げ特性、引張特性および衝撃強さが向上することが認められた。フレコンを主成分とした系では、静的特性の向上には効果は無いものの、衝撃強さが向上した。また、重袋及びフレコンの何れの系においても耐候性が向上することが認められた。
- (3) 農業用廃プラスチックと木粉との複合材料は、木工用加工機で二次加工が可能であり、優れた耐水性を有し農業用資材として十分に有効利用できることが確認された。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、試料の提供を頂きました士幌鉄工(株)、ホクレン包材(株)、並びに北海道ケミカル(株)、また、実験に対する協力を頂きました北海道立林産試験場並びに北海道立畜産試験場に厚く謝意を表します。

引用文献

- 1) 北海道農政部：農林業廃プラスチック処理実態調査
- 2) 岡本忠：木材とプラスチックとの複合体開発の現状 木材学会誌 Vol.49, No.6, p.401-407 (2003)
- 3) 松本晃治：「合成木材」について 成形加工 Vol.14, No.6, p.331-335 (2002)
- 4) Mikell Knights: Plastic Lumber, *Plastics Technology*, No.8, p.34-39 (1996)
- 5) 吉田昌充, 大市貴志, 山岸 暢, 吉田光則：農業用廃プラスチックの有効利用に関する研究, 北海道立工業試験場報告, No.302, pp 139-142 (2003)