

# 生分解性プラスチックのフィールドテスト\*

黒木 泰至<sup>\*1</sup>・米山 敏夫<sup>\*2</sup>・鳥越 清<sup>\*3</sup>

The Field Test of Biodegradable Plastics

Hiroyuki KUROKI, Toshio YONEYAMA and Kiyoshi TORIGOE

最近注目を浴びている環境に優しい生分解性プラスチックが、本県の自然環境（土壌、気候等）の中でどのように分解されるのか、平成11年度から平成13年度にかけ、板状とフィルム状のプラスチック各6種類を県内2ヶ所にそれぞれ埋設しその分解挙動を比較したところ、傾向は同じだが分解速度に違いが認められた。また、フィルム型について、製品開発のため、溶解性のPH依存と耐光性を確認したところ、顕著ではないがPHによって溶解状況の異なるものがあった。また低密度ポリエチレンに比較して耐光性が同等以上のものが多かった。

キーワード：生分解性プラスチック

## 1 はじめに

生分解性プラスチックは、地球環境への負担を軽減できる素材として、いくつかの企業が開発、製品化を行っているが、自然環境での各素材の分解挙動の差を明らかにした例は少なく、また、本県ではない。市販されている代表的な生分解性プラスチックの本県自然環境下での分解挙動を明らかにし、生分解性プラスチックを使った製品開発や普及等に貢献することを目的として、平成11年度から物質工学連合部会高分子分科会の共同研究に参加し、板状（以下「ダンベル型」と言う。）とフィルム状（以下「フィルム型」と言う。）各6種類の生分解性プラスチックのフィールドテストを行った。また、製品化のためフィルム型の耐光試験及び水への溶解のPH依存性の確認試験を行った。

で、ダンベル型は長さ約170mm、厚さ約3mm、フィルム型は長さ100mm～119mm、厚さ約0.02～0.1mmで、バイオポールは日本モンサント、マタービーは日本合成化学、ラクティは島津製作所、ピオノーレは昭和高分子/昭和電工、セルグ

表1 ダンベル型試験片

プラスチック名	成分等
バイオポール	3-ヒドロキシ酪酸/3-ヒドロキシ吉草酸共重合
マタービー	デンブ/PCLポリマーアロイ
ラクティ	ポリ乳酸
ピオノーレ	脂肪族ポリエステル
セルグリーン	ポリ-ε-カプロラクトン
ユーベック	ポリエステルカーボネート

## 2 実験方法

### 2-1 試験に供したプラスチックの種類

今回、フィールドテスト等に供したプラスチック（以下「試験片」と言う。）は表1のとおり

表2 フィルム型試験片

プラスチック名	成分等
ピオグリーン	ポリ酪酸
マタービー	デンブ/PCLポリマーアロイ
レイシア	ポリ乳酸
ピオノーレ	脂肪族ポリエステル
セルグリーン	ポリ-ε-カプロラクトン
ユーベック	ポリエステルカーボネート

\* （第3報）

\*1 現 宮崎県衛生環境研究所

\*2 現 旭化成(株)

\*3 材料開発部

リーンはダイセル化学工業、ユーパック及びバイオグリーンは三菱ガス化学、レイシアは三井化学の製造である。

## 2 - 2 フィールドテスト

### 2 - 2 - 1 試験片の埋設場所

試験片は表3に示す埋設場所の土壌を10cm掘り起こし、小石や草を除き平均化した後、約半分量を埋め戻し平坦にした縦・横2mの土地に3枚を1組として埋設した。フィルム型は埋設後1週間、2週間、4週間、8週間、12週間、16週間及び20週間、ダンベル型は埋設後1ヶ月、2ヶ月、4ヶ月、8ヶ月、12ヶ月、16ヶ月及び20ヶ月のそれぞれ計7回回収し各試験に供した。

表3 試験片の埋設状況

形状	埋設場所	埋設期間
フィルム型	総合農業試験場本場	平成11年6月 ～11月
	総合農業試験場畑作園芸支場	平成12年6月 ～11月
ダンベル型	工業技術センター	平成11年6月 ～平成13年2月
	総合農業試験場茶業支場	平成12年6月 ～平成14年2月

### 2 - 2 - 2 試験片の評価方法

回収した試験片は、水洗して、ある程度土壌を落とした後、約5分間程度超音波洗浄して完全に土壌を落とし、温度約23℃、湿度約50%で48時間以上乾燥させ、外観、色の変化を観察した後、測定可能な試験片について次の項目を測定し、埋設前の値と比較した保持率を求め評価した。

#### • 寸法

試験片の中央部の厚さ及び幅をマイクロメーター等で計測した

#### • 重量

電子天秤で重量を測定した。

#### • 引張試験

JIS K7127に準じ下記条件及び算出方法で引張試験機（島津製作所製AG-10TD）により引張強さ（N/mm<sup>2</sup>）と破断伸び（mm）を測定した。

#### • チャック間距離

ダンベル：110mm

フィルム：50mm（セルグリーンのみ40mm）

#### • 引張速度

ダンベル：バイオポール、ラクティール 5mm/min

マタービー、バイオノーレ、セルグリーン、ユーパック 50mm/min

フィルム：バイオグリーン、レイシア 5mm/min

マタービー、バイオノーレ、セルグリーン、ユーパック 50mm/min

#### • 赤外分光分析

各試験片について赤外分光分析ATR法（赤外分光光度計：ニコレー社製Nexus670、ATR：Thunderdome）で分析を行い、化学的变化について確認した。

### 2 - 3 溶解性のPH依存性

6種類のフィルム型試験片をそれぞれ2枚PH4.01、PH6.86及びPH9.12の3種類の緩衝液に浸し、温度50℃の条件で10日間静置した後、温度約23℃、湿度約50%で48時間以上乾燥させ重量を測定し重量保持率の変化を評価した。

### 2 - 4 耐光試験

6種類のフィルム型試験片についてスガ試験機製のカーボンアーク式耐光試験機を使い耐光試験を行った。温度60℃の条件で試験時間は90時間、180時間及び270時間とし、回収した試験片について引張試験を行い評価した。

## 3 結果及び考察

### 3 - 1 フィールドテスト

#### 3 - 1 - 1 外観及び寸法

総合農業試験場本場（以下「農試本場」と言う。）と総合農業試験場畑作園芸支場（以下「畑作支場」と言う。）に埋設したフィルム型で最後まで原形を留めていたのはレイシアと農試本場のユーパックで、他は程度は様々だが破損されるか、畑作支場でのマタービーやバイオノーレのように完全に消滅するかであった。また、農試本場と畑作支場での分解状況を外観変化から比較すると、レイシアを除く全プラスチックで畑作支場の方が分解が進んでいた。レイシアは特に差はなかった。また、厚さは畑作支場で、セルグリーン、マタービー及びバイオノーレで各々25%、21%、15%と大きく減少していた。

工業技術センター（以下「工技センター」と言

う。)と総合農業試験場茶業支場(以下「茶業支場」と言う。)に埋設したダンベル型は消滅するものはなかったが、変色や一部破損等が確認された。いずれのプラスチックでも茶業支場で顕著で、変色はマタービー、ピオノーレ、バイオポール、セルグリーン、ユーベック、ラクティの順で速かった。また、茶業支場ではマタービーは表面が溶けたようになり、ピオノーレは表面に多くの凸凹が生じ折損し、バイオポールでは表面に多数の亀裂が生じる等の特徴を示した。幅の変化は顕著でないが、厚さは茶業支場の埋設20ヶ月目でマタービーが33%減少したのが最大で、次いでピオノーレとセルグリーンが9%程度バイオポールが5%程度減少した。ユーベックとラクティの減少は認められなかった。

3-1-2 重量

外観の変化からフィルム型は明らかに畑作支場での分解が速いのを確認できたが、重量保持率でも農試本場(図1)と畑作支場(図2)の比較から畑作支場での分解の速い状況が確認できた。畑作支場では図2のとおり保持率の減少が速いマタービー、セルグリーン及びピオノーレと、遅いレイシア及びユーベック、中間に位置するピオグリーンの3グループに分かれた。ダンベル型でも、外観の変化から茶業支場の方が分解が速いのを確認できたが、重量保持率(図3及び4)で明らかに差が生じているのが分かる。茶業支場で図4のとおり、マタービーの減少が最も大きく、次いでピオノーレ、バイオポール及びセルグリーンで、ユーベックとラクティはほとんど変化しなかった。

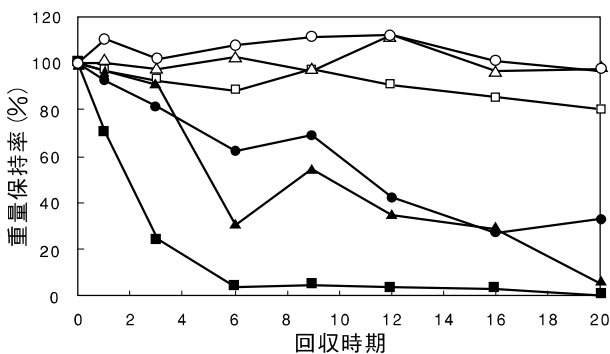


図1 フィルム型の重量保持率(農試本場)  
 ピオグリーン マタービー レイシア  
 ピオノーレ セルグリーン ユーベック

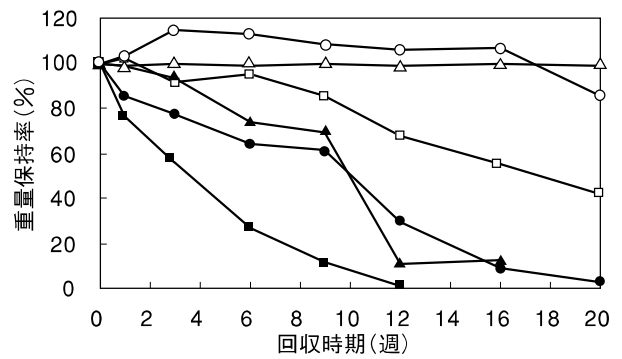


図2 フィルム型の重量保持率(畑作支場)  
 記号は図1に同じ

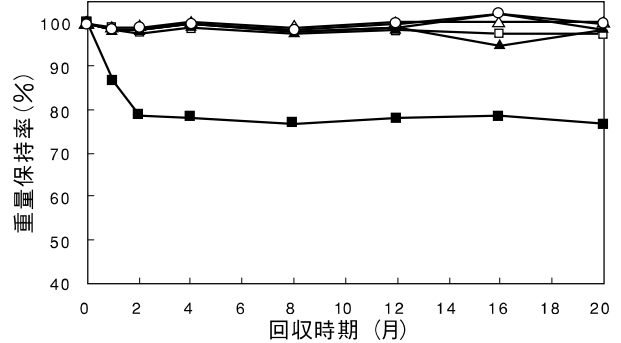


図3 ダンベル型の重量保持率(工技センター)  
 バイオポール マタービー ラクティ  
 ピオノーレ セルグリーン ユーベック

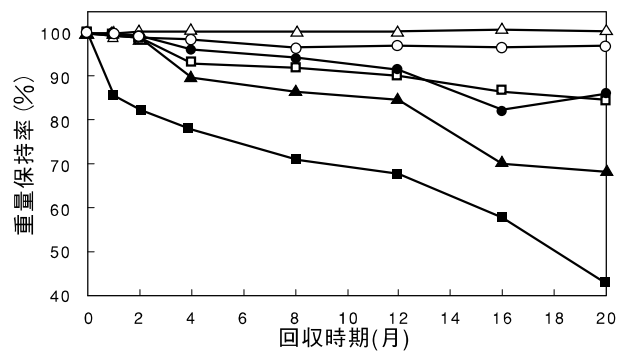


図4 ダンベル型の重量保持率(茶業支場)  
 記号は図3に同じ

3-1-3 引張試験

畑作支場でのフィルムの引張強さ保持率は図5のとおりで、20週目まで測定が可能だったのはレイシアのみで、マタービーとピオノーレは埋設後急激に減少、ユーベックは埋設後6週目まで減少したが、それ以降16週目まではあまり変動はなかった。ピオグリーンは逆に6週目までは大きな減少

はなかったが、それ以降急激に減少した。セルグリーンはマタービーとピオノーレに次いで測定不能となったのが速かったが、両者に比べ減少は緩やかであった。畑作支場でのフィルム型の破断伸び保持率は図6のとおりで、試験可能時期は破断強度と同様である。マタービーとピオノーレが埋設後1週目でほぼ0と急激に減少している。またセルグリーンとユーベックが3週目でほぼ0となった。なお、ユーベックはその後ほぼ0であったが、16週目まで測定可能であった。ピオグリーンは9週目までは57%以上の保持率を示したが、12週目以降急激に分解が進み測定不能となった。レイシアは1週目で33%まで保持率が低下した後、20週目(15%)まで緩やかに減少した。

茶業支場でのダンベル型の引張強さ保持率は図7のとおりで、マタービーは埋設前は破断せず、埋設後破断したため、埋設前の降伏点を破断点として保持率を求めている。バイオポール、マタービー及びラクティは引張破断強度で、ピオノーレ、セルグリーン及びユーベックは引張降伏強度で引張強さを評価した。マタービーは前述のとおり埋設前の降伏点を破断点として保持率を求めたため高い保持率が得られた。保持率の変動をみるとバイオポール、ピオノーレ及びユーベックに保持率の減少が認められ、特にピオノーレは折損し16ヶ月以降分析ができなかった。ラクティ及びユーベックはあまり変動しなかった。茶業支場でのダンベル型の破断伸び保持率は図8のとおりで、引張強さ同様、マタービーは埋設前の降伏点を破断点として保持率を求めている。バイオポール、マタービー及びラクティは引張破断伸びで、ピオノーレ、セルグリーン及びユーベックは引張降伏伸びで破断伸びを評価した。全プラスチックで保持率の減少が確認できた。その中で、セルグリーンの変動が小さかった。また、16ヶ月目と20ヶ月目を比較すると保持率の改善が確認されたが、原因として乾燥が充分でないことが予想されたので、表面の変化に伴い乾燥時間の検討が必要と思われる。

### 3-1-4 赤外分光分析

フィルム型及びダンベル型いずれでもマタービーでデンプンに由来すると思われる $3,396\text{cm}^{-1}$ 、 $1,027\text{cm}^{-1}$ 及び $1,080\text{cm}^{-1}$ の吸収の消滅(図9に

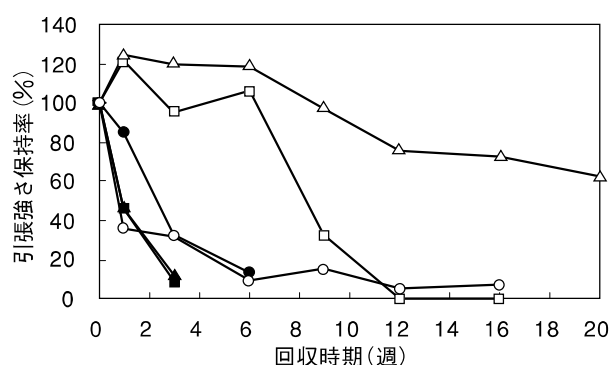


図5 フィルム型の引張強さ保持率(畑作支場)  
記号は図1に同じ

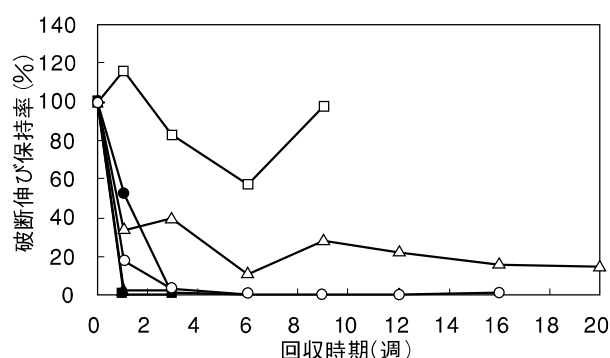


図6 フィルム型の破断伸び保持率(畑作支場)  
記号は図1に同じ

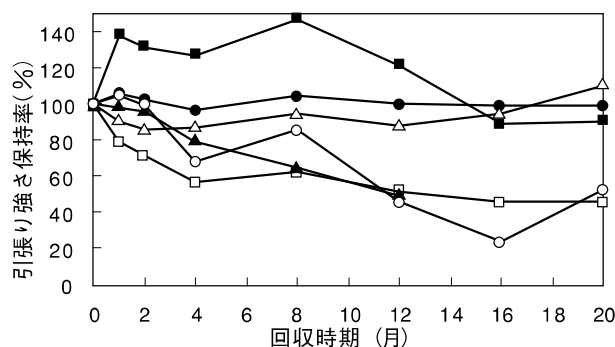


図7 ダンベル型の引張強さ保持率(茶業支場)  
記号は図3に同じ

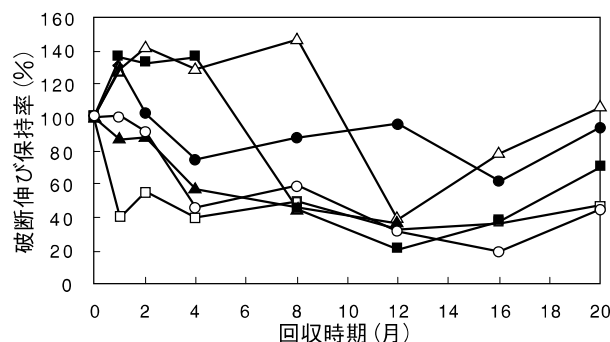


図8 ダンベル型の破断伸び保持率(茶業支場)  
記号は図3に同じ

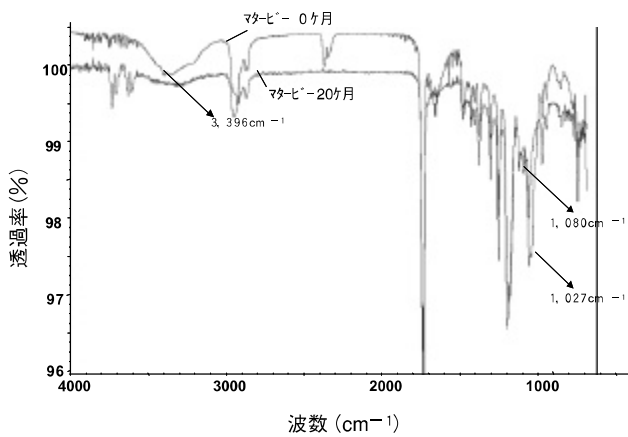


図9 マタービーの赤外吸収スペクトル

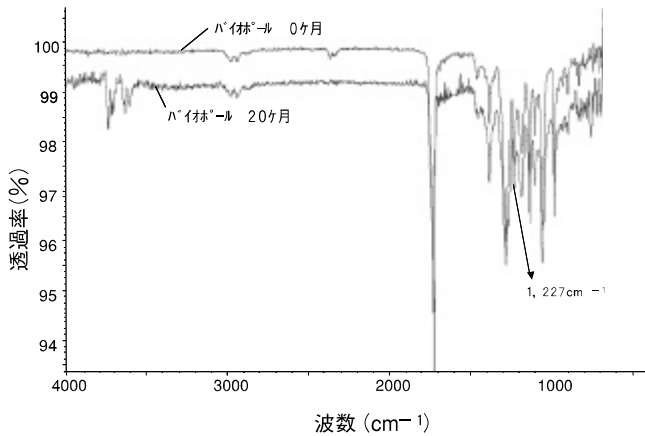


図10 バイオポールの赤外吸収スペクトル

ダンベル型の例を示す。)が確認され、デンブンの流出が考えられる。また、ダンベル型のバイオポールではポリヒドロキシ酪酸に由来すると思われる $1,227\text{cm}^{-1}$ の吸収の減少(図10)が確認され、ポリヒドロキシ酪酸の方がポリヒドロキシ吉草酸より分解が早いものと思われる。ほかのプラスチックには特に顕著な変化は認められなかった。

### 3 - 2 溶解性のPH依存性

バイオグリーンの溶解性がやや大きくマタービーとレイシアで溶解性が若干認められるのを除くと他はそれほど溶解性は大きいとは言えず、明確なPH依存性は確認できなかったが、強いて言えば、バイオグリーン、レイシア及びユーベックは中性で溶解しにくく酸性及びアルカリ性で溶解しやすい。(図11、図12、図13、図14)

マタービー、バイオノーレ及びセルグリーンはアルカリ性側で溶解しやすい傾向があった。

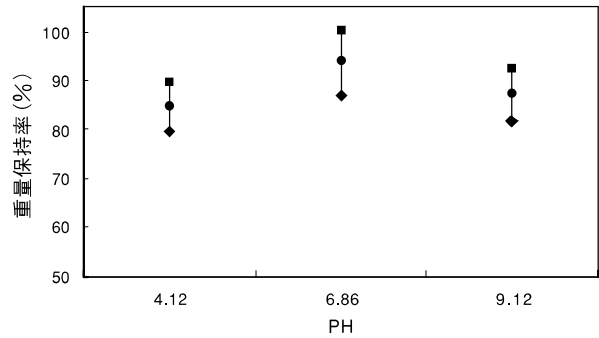


図11 バイオグリーン  
最大値 平均値 最小値

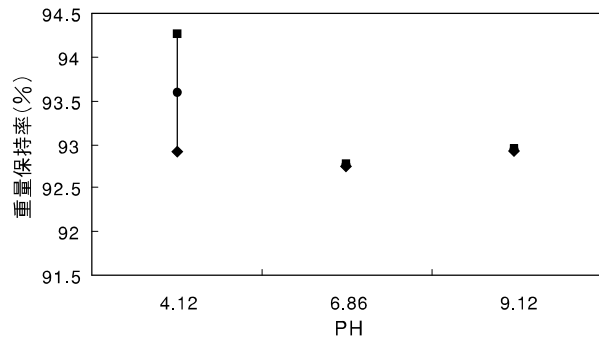


図12 マタービー  
記号は図11に同じ

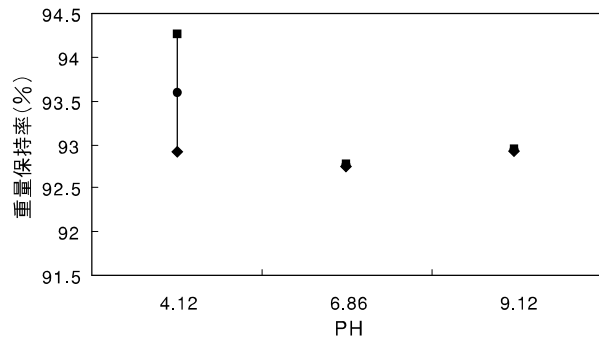


図13 レイシア  
記号は図11に同じ

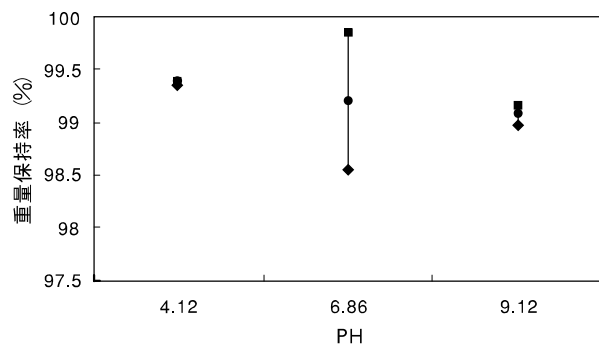


図14 バイオノーレ  
記号は図11に同じ

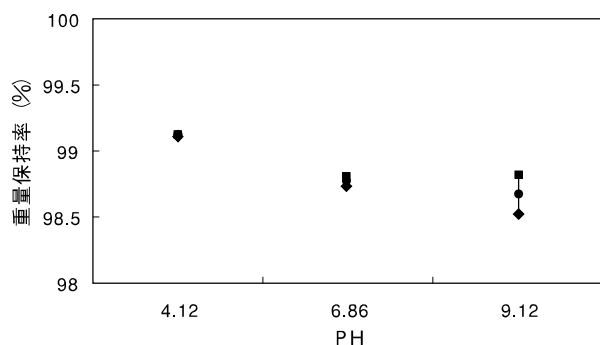


図15 セルグリーン  
記号は図11に同じ

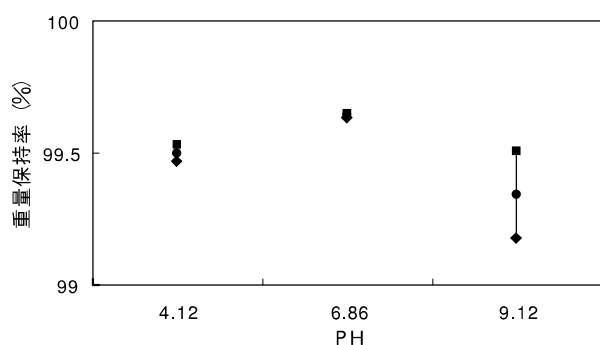


図16 ユーベック  
記号は図11に同じ

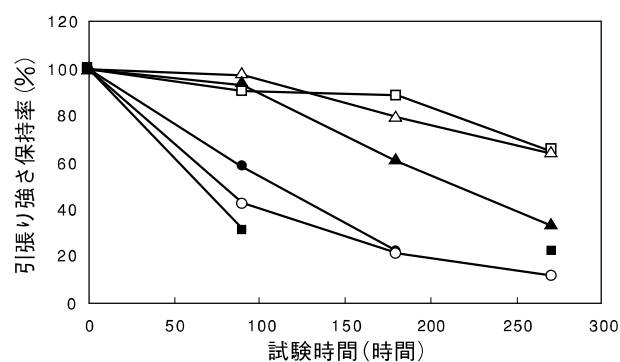


図17 耐光試験後の引張り強さ保持率  
 Bioグリーン    レイシア    Bioノーレ  
 セルグリーン    ユーベック  
 低密度ポリエチレン

### 3 - 3 耐光試験

セルグリーン及びマタービーは耐熱性が弱く60の条件では溶けて、評価はできなかった。

図15に示すように、対照とした低密度ポリエチレンに比べユーベックやセルグリーンはやや弱くBioノーレがやや強く、Bioグリーン及びレイシアはかなり強度を保持していた。

### 4 まとめ

フィルム型、ダンベル型いずれも県内2ヶ所でフィールドテストを行ったが、埋設場所により、分解速度に差が出来ることが確認できた。

また、外観、重量保持率等からフィルム型では、ユーベックとレイシアを除くと埋設後20週で、消滅（マタービー、セルグリーン）またはかなり分解が進むもの（Bioノーレ、Bioグリーン）があり、また、ダンベル型でも20ヶ月で完全に消滅するものはなかったが、マタービー、Bioノーレ及びバイオポール等かなり分解が進んでいるものがあるなど素材により分解状況がかなり異なることが確認できた。

溶解性のPH依存性は顕著ではないが、わずかにPHによって溶解状況の異なるものもあり、製品開発に伴い更なる調査研究が必要と思われる。

耐光試験では、多くの素材が低密度ポリエチレン程度もしくはそれ以上の耐光性能を持っていることとマタービーとセルグリーンが熱に弱いことが確認できた。