

生分解性プラスチックのコンポスト化装置中における分解試験について

宮崎博文・原野かほ子*
工業化学部・*マグ末広工業（株）

Degradation Test on Biodegradable Plastics Polymers into Composting

Hirofumi MIYAZAKI・Kaoruko HARANO*
Industrial Chemical Division・*Magu Suehiro Industry Co.,Ltd.

要旨

6 種類の生分解性プラスチックのフィルムについて、生ごみを投入したコンポスト化装置中における分解試験を行い、生分解の進行状況を重量保持率、目視による観察、赤外分光分析等の方法により確認した。また、生分解性プラスチックを用いて試作したごみ袋及び水切袋について、コンポスト化装置中における実用化試験を行った。

1 はじめに

循環型社会の構築を目指した取組の中で、家庭や事業所から排出される生ごみを有効利用しようとする試みが行われている。生ごみを高速堆肥化（コンポスト化）して、農業や園芸用の有機肥料としてリサイクルするものであり、最近、そのための堆肥化装置が商品化されている。

生ごみのコンポスト化に当たって、収集運搬はポリバケツや紙袋が用いられているが、ポリバケツからは悪臭の発生、紙袋使用においてはコンポストの品質低下の問題が生じている。これを生分解性のごみ袋に転換できれば、通常のごみ回収と同様に衛生的に取扱うことができ、また、コンポストの品質を損なうことなく、生ごみと共にコンポスト装置に投入できる。

本研究では、6 種類の生分解性プラスチックのフィルムについて、生ごみを投入したコンポスト化装置中における分解試験を行った他、生分解性プラスチックから試作したごみ袋及び水切袋に生ごみを詰め、コンポスト化装置中に投入し、コンポスト化の進行状況、ごみ袋等の分解性を確認し、実用化に当たっての検討を行った。

2 試験の方法

2.1 コンポスト化装置

本研究で用いたコンポスト化装置は Fig 1 に示すような市販の業務用生ごみ処理機で、処理能力 25kg / 日、攪拌羽根、通気・加温機能を有し、運転中は中心部の温度をおおむね 55℃ に、生ごみの含水率を 50～60% に保った。

また、生ごみは、飲食店、ホテル、スーパー等から排出されたものを、あらかじめ金属、プラスチック等の異物を取り除いて使用した。最初の投入時に、所定の種菌を生ごみと同量投入し、運転中は適宜生ごみを追加した。



Fig.1 コンポスト化装置

2.2 フィルム片の分解試験

試験に用いた生分解性プラスチックフィルムは、Table 1 に示す 6 種類のフィルムである。試験片は、あらかじめダンベル状または短冊状に裁断したものをを用い、投入前に一片ごとの厚み、幅、重量の計測を行った¹⁾。

これらの試験片は、ナイロンメッシュ生地（網目間隔 50 μ）を縫製した 6 ポケットの袋にそれぞれ挿入後、入口を縫合し装置に投入した。運転開始後、4 時間、8 時間、1 日、2 日、3 日、4 日、7 日、14 日経過したものを取り出し、試験片に付着した食用油等の汚れを中性洗剤を用いて洗い落とし、デシケーター中で 5 日間乾燥したものを試験に供した。

Table 1 試験に用いたフィルム

名 称	メーカー名	グレード	厚み (μm)
バイオグリーン	三菱ガス化学	PHB	100
マタービー	日本合成化学工業	ZF03U/A	20
レイシア	三井化学		25
ピオノーレ	昭和高分子	# 3001	20
セルグリーン	ダイセル化学工業	PHB02	20
ユーベック	三菱ガス化学		20

2.3 試作品の実用化試験

生分解性プラスチックの「バイオテック」(澱粉及び化学合成品の混合物)及び「セルグリーン」(ポリカプロラクトン)から試作したごみ袋(50×60cm, 厚さ 0.045 μm)及び水切袋(27×27cm, 厚さ 0.25 μm)に生ごみを詰めて(Fig.2)コンポスト化装置に投入し、コンポスト化の進行状況及び袋の分解状況を確認する試験を行った。6時間後, 24時間後, 2日目, 3日目, 5日目に袋の分解の経時変化を観察するために、装置から袋を取り出し、試験片に付着した食用油等の汚れを中性洗剤を用いて洗い落とし、デシケーター中で5日間乾燥したものを試験に供した。



Fig.2 試作品のごみ袋に生ごみを入れた状況

また、過剰量のごみ袋の投入が、コンポスト化の進行へ及ぼす影響を確認する目的で、生ごみの乾重量当たり無添加、混入率1%, 5%, 10%の割合で、あらかじめ短冊状に裁断した過剰量の水切袋を投入し、5日間コンポスト発酵させた。この間、6時間後, 24時間後, 2日目, 3日目, 5日目にコンポスト化の進行状況及び微生物の生物活性を把握するため、コンポストを採取し試験に供した。

2.4 生分解の進行状況の確認方法

2.4.1 フィルム片に関する測定

生分解の程度を把握するために、試験片の重量変化の測定を行った。同時に、試験片の形状や色の変化について、目視による外観の観察を行った。

2.4.2 微生物の培養試験

コンポスト試料について、標準寒天平板培地を用いたプレートカウント法により、常温菌(30℃)及び中等度好熱菌(60℃)に分けて生菌数を測定した。全菌数はAODC法によって計測するとともに、直接蛍光顕微鏡にて観察し、菌数を分裂細胞及び休止細胞に分けて測定した。

2.4.3 酸素要求量の測定

生分解の各段階で採取したコンポスト試料について、コンポスト化の進行状況を把握するため、インキュベーター中で、温度、含水率を調整し試料を再発酵させ、消費

された酸素量をワーブルグ検圧計で測定した。

2.4.4 赤外分光分析

試験片の一部を採取して、顕微透過法による赤外分光分析を行い、得られた測定スペクトルのデータをもとに化学結合の変化を推測し、生分解の経時変化を検討した。

3 試験の結果

3.1 フィルム片の分解試験結果

3.1.1 試験片の寸法変化

試験片の厚さを、投入前のものと所定の期間経過したものについてマイクロメータで測定した。バイオグリーンの厚さ保持率は、Table2に示すとおりである。厚さ保持率の減少は、約30%程あったが、他の種類の試験片については、10~20%であった。なお、いずれの試験片も幅方向の変形が著しく幅の測定は不可能で、マタービについては、厚さ、幅ともに測定は不可能であった。

Table 2 バイオグリーンの厚さ保持率(%)

経過	4H	8H	1D	2D	3D	4D	7D
厚さ	102	95.5	93.7	91.9	86.8	85.2	71.0

3.1.2 試験片の重量変化

重量変化を3.1.1と同様な方法で測定して保持率を求め、試験片の種類ごとに変化の様子を描いたのがFig.3である。

重量保持率の経時変化は、試験片の生分解の進行状況を良く現している。Fig.3からマタービが最も分解速度が速く、バイオグリーンがこれに次ぎ、他の4種類は、7日までに70~80%の保持率であった。いずれも14日目には完全分解に至った。

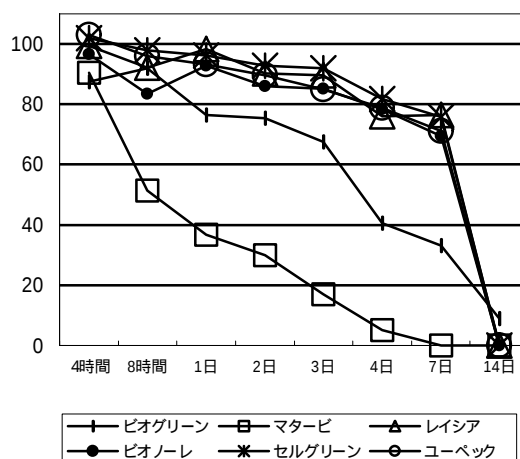


Fig.3 フィルムの種類ごとの重量保持率(%)

3.1.3 目視による観察

各試験片について経時変化の様子を写真撮影し、目視

により形状の変化及び色の変化を比較観察した。3.1.2において最も重量変化の速かったマタービは、形状変化が著しく、1日後には全く形状を保持しておらず、微小な断片にちぎれた状態であった。次いで分解の速かったピオグリーンについて、形状変化の様子をFig.4に示す。1日目以降微小な断片にちぎれ、次第に消滅して行く様子がわかる。他の4種類は、いずれも4日目までは形状を完全に保持し、7日目までは断片も消滅しなかった。

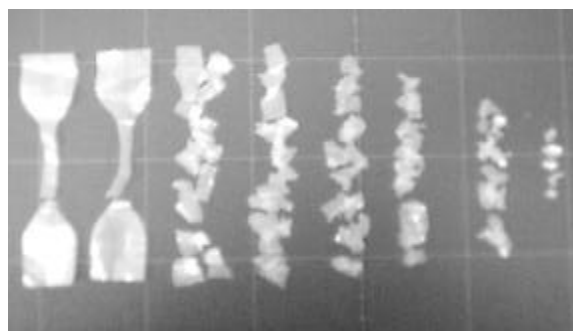


Fig.4 ピオグリーンの経時変化

3.1.4 赤外分光分析の結果

各試験片の経時変化を顕微透過法による赤外分光分析を行い、測定スペクトルのデータを得た。生分解によるスペクトル強度の変化を確認できたもののうちピオグリーン（ポリヒドロキシ酪酸）について、吸収スペクトルのチャートをFig.5に示した。

埋設前及び7日目のスペクトルチャートを比較すると、 2950cm^{-1} 付近ピーク強度を基準にして、 $1160\sim 1380\text{cm}^{-1}$ 、 1725cm^{-1} のスペクトル強度が経時変化とともに減少していることがわかった。この結果から、エステル結合の切断が徐々に進んでいるものと推察される²⁾。

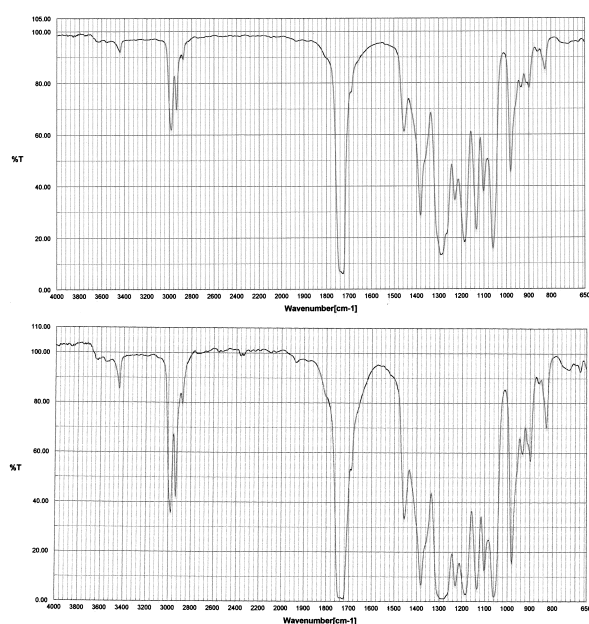


Fig.5 ピオグリーン投入前（上）、7日目（下）

この他、マタービ（澱粉 60%と変性ポリビニールアルコール 40%のポリマーアロイ）では4日目には $1050\sim 1200\text{cm}^{-1}$ の吸収スペクトル強度が減少し、澱粉の分解の様子がうかがえた。レイシア、ピオノーレ、セルグリーン、ユーベックについては、顕著なスペクトル強度の変化は見られなかった。

3.2 試作品の実用化試験の結果

3.2.1 ごみ袋の分解状況

試作した水切袋に生ごみを投入し、これらをさらにFig.2のようにごみ袋に重ねて入れ、5日間分解試験を行った。投入後6時間経過した時点でごみ袋及び水切袋は破れ、1日目にはFig.6のように、生分解による形状変化が進行し、5日目にはFig.7のように原形を留めないほどに分解が進行した。



Fig.6 投入1日目のごみ袋(左)と水切袋(右)



Fig.7 投入5日目のごみ袋(左)と水切袋(右)

3.2.2 微生物培養試験の結果

過剰量のごみ袋投入の影響を調べるため、2.3で得られたコンポスト試料について、2.4.2の試験を行った。

標準寒天平板培地を用いたプレートカウント法により、常温菌（30℃）及び中等度好熱菌（60℃）に分けて生菌数を測定した。また、全菌数はAODC法によって計測するとともに、直接蛍光顕微鏡にて観察し、菌数を分裂細胞及び休止細胞に分けて測定した。

それぞれの重量比でごみ袋を添加して得られた試料における培養可能生菌数の変化をTable 3及びTable 4に示した。

Table 3 常温菌数

時間	無添加	1 %	5 %	10%
6 時間	3.2×10^4	3.0×10^4	2.2×10^5	1.6×10^5
1 日	2.9×10^3	2.4×10^3	1.4×10^5	5.8×10^4
3 日	2.5×10^2	1.9×10^2	4.4×10^4	5.2×10^3
6 日	—	—	2.8×10^3	2.4×10^3

(注) 表中—は、検出限界 (1×10^1) 以下を示す。

Table 4 好熱菌数

時間	無添加	1 %	5 %	10%
6 時間	3.0×10^2	1.5×10^2	5.0×10^5	2.2×10^5
1 日	1.5×10^3	—	3.0×10^5	1.6×10^5
3 日	1.2×10^3	—	3.2×10^5	2.6×10^4
6 日	—	—	2.4×10^5	1.4×10^4

いずれの系においても添加 6 時間後のカウントが最も多く、その後、次第に減少した。過剰に添加した系においては、常温菌より好熱菌の菌数が多く、特に、5 % 添加の系では、6 日後においても 10^4 オーダーの生菌が検出され、常温菌の約 5 倍であった。

一方、AODC 法により計測される分裂細胞及び休止細胞の数を Table 6 及び Table 7 に示した。

Table 5 分裂細胞数

時間	無添加	1 %	5 %	10%
6 時間	9.8×10^8	3.2×10^8	5.2×10^8	3.2×10^8
1 日	1.1×10^9	3.2×10^8	3.9×10^8	1.9×10^8
3 日	1.0×10^9	1.3×10^7	3.2×10^8	3.9×10^8
6 日	9.8×10^8	3.2×10^8	1.3×10^8	3.2×10^8

Table 6 休止細胞数

時間	無添加	1 %	5 %	10%
6 時間	4.6×10^8	5.9×10^8	6.5×10^8	1.0×10^9
1 日	5.6×10^8	7.5×10^8	1.1×10^9	7.5×10^8
3 日	3.2×10^8	1.8×10^9	7.2×10^8	1.3×10^8
6 日	6.2×10^9	6.5×10^7	1.3×10^8	9.2×10^8

分裂細胞、休止細胞の数には、経時的変化やフィルム片の添加による顕著な差は見られなかった。

また、カウントされた全細胞数は、いずれの場合も 10^9 オーダーで、発酵期間を通じて若干減少する傾向があった。実際の蛍光像から観察される細胞形態などの菌相変化は、余り見受けられなかった。

3.2.2 酸素要求量の測定

過剰量のごみ袋投入の影響を調べるため、2.3 の試料について、2.4.3 の方法で酸素要求量を測定した。一般に、生分解の進行状況が遅い場合は、生分解対象となる基質が十分残っているため、インキュベーター中で再発酵が行われ酸素要求量が測定される。本試験においては、ごみ袋のいずれの混入率においても酸素要求量は測定されず、コンポスト化が十分進行していることがわかった。

4 考 察

生分解の進行状況を把握するには、重量保持率の測定が有効であり、目視による観察及び赤外分光分析のデータ解析によりその結果の確認を行えば良く、寸法保持率や色相変化の測定結果から判断するのは困難であった。

フィルムの種類により生分解の速度にかなり差があるが、本試験で用いたもののうちでは、微生物産生系のバイオグリーン及び天然物利用系のマタービが、他の 4 種類の化学合成系のものに比較して特に早いことがわかった。このことは、微生物の影響を受けやすいこれらのフィルムが、コンポスト化装置中の無数の好熱菌群に曝される結果であると考えられる。

本試験においては、生ごみに含まれる食用油が試験片に付着し、生分解の進行に影響を生じたり、各種測定に際して支障が生じるのを極力避ける必要がある。また、試験期間中、コンポストの状態が常に一定に保たれているかどうかについて、温度、含水率、生菌数、酸素要求量等の測定を頻繁に行い、装置の運転管理を綿密に行う必要がある。

ごみ袋の試作品は、投入後 1 日目から良好な分解性を示し、5 日目には細いひも状に、7 日目には一見した限りその存在を確認できないほどに分解したことから、十分実用に耐え得るものと思われる。

5 ま と め

生分解性プラスチックのコンポスト化装置中での分解性は、微生物産生系のバイオグリーン及び天然物利用系のマタービが、特に、優れていることがわかった。

天然物利用系の生分解性プラスチックを原材料に用いた試作品のごみ袋は、生分解性が高く、十分実用的であることがわかった。

生ごみ中に含まれる食用油が、コンポスト化及び生分解の進行に及ぼす影響を確認する必要がある。

過剰量のごみ袋の投入がコンポスト化の進行に及ぼす影響は、生菌数及び酸素要求量の測定からは認められなかった。

参考文献

- 1) 宮崎博文, 末光宣雄: 平成 11 年度大分県産業科学技術センター研究報告, P 164 - 167, 2000
- 2) 工業技術連絡会議物質工学連合部会高分子分科会平成 10 年度共同研究報告「FT-IR による高分子材料の分析」

謝 辞

本研究は、平成 11 ~ 12 年度大分県地域環境プロジェクト研究事業により行ったもので、共同研究者の大分大学工学部酒井謙二助教授に謝意を表します。