解説

色材, 76〔2〕, 63-66 (2003)

最近の生分解性プラスチックとその動向

長濱正光*・川崎正幸*・板橋和子**・武林敬***

1. はじめに

プラスチックは、多くの優れた性能、機能を有しているので、衣食住のみならず様々な分野で使用されている。プラスチック生産量は、1998年に1400万t/年に達し現在も増え続けている。これにともなって廃棄プラスチックは、900万t/年を越えて排出されている^{1,2)}。プラスチックの多くは、自然界において分解されないため、廃棄となったプラスチックは、その処理問題をはじめとして大きな社会的環境問題を発生している³⁾。

このような状況下で、使用後の自然界への影響、環境への配慮などを念頭においた環境負荷低減素材として生分解性プラスチックが期待されるようになってきた。しかし、コストが高く、成形性が悪い、生産に大きなエネルギーを必要とするなどの欠点も認められ、本格的な普及にはいたっていないが、使われている元々わずかな領域が拡大してきたため生分解性プラスチックの今後の見通しが良好に成ってきた。これは、生分解性プラスチックの生産をここまで行ってきたプラントの効率が良くなってきたためと、生分解性プラスチックの物性値が従来からあるPS、PP樹脂と同等になり始めたからである。生分解性プラスチックの初期のものは、製造者責任訴訟や生分解が不十分であったため普及しなかった。ここで、現在の需要分野の普及状況を表-1に、原料メーカーの動向を表-2に、コンバーターの動向を表-3にまとめる。ここでいうコンバーターとは、商品開発メーカーを指す。

2. 生分解性プラスチック材料の開発動向

〈天然物からの生分解性プラスチック〉

- ・でんぷん系において、直接でんぷんと高分子ポリマーをアロイ化する手法がマスメディアで報道されているように確立されようとしている。

- 1) 大幅な工程の簡素化で、材料コストダウンができた。
- 2) でんぷんの配合率を自由に設定できる。同方向回転の二軸押出機を用い、でんぷんの配合率を、80から90%まで設

表-1 需要分野別の普及状況

需 要 分 野	普 及 状 況
1. 農業用マルチフィルム	市場規模3.5~4万tで、普及にはコストダウン不可欠。
2. コンポストバック	潜在需要4~5万t、インフラ拡充がまず先決。
3. バラ状・ブロック状緩衝材	生分解性バラ状緩衝材は、2,000t、物性面の制約で頭打ち状態。
4. 食品包装容器	ポリ乳酸、でんぷん系プラスチックで見切り発車。
5. 化粧品容器	ボトル、コンパクトケースは、原料物性に難あり、ポリマーアロイ対応への展開が必要。
6. 育苗ポット	物性面の問題解決の方向で、ホームセンター中心に普及の可能性。
7. 衣料用繊維	ポリ乳酸の強み生かした展開で、ユーザーの支持得られるか。
8. 農園芸・林業用資材	自動結束機用紐、誘引紐、ベタがけシート等で商品化進む。
9. メディカル素材	生体内吸収性機能を発揮、現在採算を見込める唯一の用途。

※ 2000年版「生分解性プラスチック市場の実態と展望」第二章「需要分野別の動向」より作成。

〔氏名〕 ながはま まさみつ
〔現職〕 茨城グリーンプラ研究会所属
〔趣味〕 サイクリング、書道
〔経歴〕 1976年べんてる(株)入社中央研究所勤務、PEEK樹脂のアロン化研究および異形押出成形の研究、1987年より、生分解性プラスチック材料の研究に着手し現在にいたる。

〔氏名〕 かわさき まさゆき
〔現職〕 茨城グリーンプラ研究会所属
〔趣味〕 登山、ジョギング
〔経歴〕 1997年べんてる(株)入社中央研究所勤務、微小圧力制御とインキ吐出機構設計研究、2002年より、グリーンプラの商品開発に着手し現在にいたる。

〔氏名〕 いたばし かずこ
〔現職〕 全国グリーンプラ研究会連絡協議会代表
東京グリーンプラ研究会会長
〔趣味〕 生分解性プラスチックの啓蒙活動
〔経歴〕 30年にわたる地球環境保護活動の中で生分解性プラスチックと出合い普及を目的に研究会を設立し研究開発、用途開発を推進した。

平成14.9.4受理

Recent Trend of the Biodegradable Plastics
Masamitsu NAGAHAMA, Masayuki KAWASAKI,
Kazuko ITABASHI and Kei TAKEBAYASHI

*いばらきグリーンプラ研究会

茨城県水戸市見和3-613-21 (〒310-0911)

**東京グリーンプラ研究会

東京都府中市府中町3-20-1 (〒183-0055)

***東京理科大学総合研究所

千葉県野田市山崎2641 (〒278-8510)

表-2 原料メーカーの動向

原料メーカー	動 向
1. 昭和高分子	マルチフィルムを軸に拡販，市場牽引役を果たせるか。
2. 三井化学	カーギル・ダウに対抗出来るコスト競争力と戦略が不可欠。
3. ダイセル化学工業	2グレード上市，シート・フィルム等多面展開を狙う。
4. チッソ	バラ状緩衝材好調，その他用途には慎重な姿勢。
5. 日本合成化学工業	国産化戦略を左右しかねない品質改良の行方。
6. 日本コーンスターチ	でんぷん関連製品拡販の観点から用途開拓を進める。
7. カーギル・ダウ・ポリマーズ	14万トン稼働，量産メリットに期待集まる。
8. 三菱ガス化学	微生物系の特徴生かした独自展開に注力。
9. 日本触媒	品質に万全を期し，市場拡大のタイミングを見計らう。

※ 2000年版「生分解性プラスチック市場の実態と展望」第三章、「原料メーカーの動向と展望」より作成。

表-3 コンバーターの動向

コンバーター	動 向
1. 三菱樹脂	生分解性プラスチックフィルムで最大手を目指す。
2. カネボウ合繊	環境保全型次世代繊維「ラクトロン」の事業化を推進。
3. 日本マタイ	企業理念にもとづき，生分解性プラ製品を積極展開。
4. 大倉工業	コンポストバッグとマルチフィルムで商品化。
5. 吉田工業	化粧品キャップ商品化，ボトル，コンパクトケースは難題抱える。
6. 大日本紙業	生鮮食品包装材に展開，サンプル出荷始める。
7. 日本バイリーン	植生ポットをテスト，不織布での展開に興味示す。
8. ユニチカ	農業・包装資材を軸に，多用途への展開図る。
9. 太洋興業	ニーズ拡大を見越し，農業用マルチフィルム拡販。
10. JSP	ブロック緩衝材軸に，各種発泡製品で商品化を進める。
11. クリーンアース	でんぷん系樹脂でユーザーニーズ獲得，量産体制へ。
12. 伊藤忠サンプラス	農業用延伸テープで商品化の道を探る。
13. 台和	でんぷん系樹脂に着目し，食器用途で展開始める。
14. 日本化工機材	味噌容器は樹脂メーカー側が断念し，不信心を残す。
15. エヌケー工業	育苗ポット市場に生分解性樹脂製品で新規参入。
16. 王子製紙	「エコフォーム」のコストダウンと用途拡大で活性化図る。
17. 和田工業	化粧品容器のニーズに対応し，携帯電話の外装に着目。
18. 東洋プラント	緩衝材にとどまらず，建材など機能品用途に展開。
19. 町田プラスチック	ボトルとキャップの一体成形でコスト削減めざす。
20. みかど化工	農家との信頼を最優先し，マルチフィルム商品化に慎重姿勢。
21. グンゼ	生体吸収機能を武器に，メディカル用途で開拓進む。

※ 2000年版「生分解性プラスチック市場の実態と展望」第四章，コンバーターの動向と展望より作成。

写真-1 生分解性ポリマー試作材料

定可能である（写真-1）。（今までは，60%までである。）

- 3) 生分解速度がいちじるしく速くなった。その分解は，土中で約4週間位から始まり，1年末満で分解が完了（最終30μmの分子単位までに分解）する。また，分解は，生分解性プラスチックが，土に触れることで始まるので通常の保管状態での分解・劣化はまったく起きず，長期保管が可能である。

・残された問題もある。

- 1) 材料コストが従来のPEが100円/kg台に対して600円/kg台以上と従来プラスチック並になっていない。
- 2) 需要分野での，環境に対する「汚染」と「浄化」の認識データが少ない。

＜化学合成からの生分解性プラスチック＞

- ・天然ポリマーは生分解されるが，化学合成によって作られたポリマーは生分解されないと見られてきたが，状況は変わりつつある。微生物が産出するものに生分解性が確認されたものもある。以下に解説する。

①脂肪族ポリエステル系

- ・ポリカプロラクトン（PCL）は，ダイセル化学工業の「セルグリーン」が知られている。
- ・ポリブチレンサクシネート（PBS）は，昭和高分子と昭和電工の「バイオノーレ」が知られている。それから，PBSの分解性を，3から5倍に加速させたアジバート共重合タイプ（PBSA）もある。
- ・ポリエチレンサクシネート（PES）は，日本触媒が，米国ブラネットポリマーより輸入し，「ルナーレ SE」として販売している。その特徴は，酸素バリア性と二軸延伸PET並の生

分解性異能を有することである。

- ・ポリ乳酸 (PLA) は、工業的に2種類の製造方法がある。第一の方法として、自己縮重合反応→解重合→開環重合をとる。米カーギル・ダウの「eco-PLA」と島津の「ラクテイ」である。第二の方法は、乳酸の直接脱水縮重合方法による。三井化学「レイシア」である。PLAは、ガラス転移点 60°C で結晶融点 180°C なので、熱的にPS樹脂に近い。よって、成形品は、加熱すると溶解せず形状が崩れてしまうのが、欠点である。しかし、食品370号に合格し、食品包装用に使用できるのが特長である。

②脂肪族・芳香族ポリエステル系

- ・ガス・水蒸気のバリア性や耐熱性を向上させることを目的として、芳香族が導入されている。この分子設計の仮説の下で、欧・米で開発され市場開拓にはいつている。以下に示す。

- a. Dupont「Biomax」
- b. Eastman chemical「EASTERBIO」
- c. BASF「Ecoflex」

日本では、東セロがDupontの「Biomax」で二軸延伸フィルムを作り上市している。

③ポリビニルアルコール系

- ・ポリビニルアルコール (PVA) は、ポリ酢酸ビニルを、加水分解して得られる。できた物は、水溶性ではあるが一般的に難分解性だとされる。しかし、分解菌は同定されており、集積培養的にPVA分解菌が活性化している汚泥を使用することで効率的に分解処理される。

④ポリウレタン系

- ・ポリウレタン (PU) は、イソシアネート基 (CNO) と水酸基 (OH) の反応でできる。そして、発泡成形されたものが、ウレタンフォームである。ポリウレタンは、昔から微が生えることが知られており、生物との相性が良いとされている。

⑤天然系生分解性プラスチックとのアロイ化

- ・でんぷんを基材とし、加工性や物性を向上させるために、PCL、セルロースとのアロイ化をする。たとえば、イタリアのNovamontが開発した「Mater Bi」が代表的で、日本でも上市されている。また、でんぷんを非分解性のオレフィン (PF, PP) とブレンドしたものが、「似て非なるもの」としてあるが、これは、「崩壊性」として生分解性とは区別される。
- ・微生物産の「Biopol」は、ICIが開発し、ゼネカが引き継ぎさらにMonsantoが買い取ったが、1998年開発を断念するにいたり撤退した。しかし、生分解性プラスチックの元祖であり、理想的で非常に優れたポリマーであった (ポリ-3-ヒドロキシブチレート)。そのほかに、三菱ガス化学が開発の「Biogreen」PHB (ポリベクターヒドロキシ酪酸=ブチレート) は、生分解性が完全に証明されている。

⑥その他のアロイ化

- ・脂肪族ポリエステルのカーボネート共重合化は、脂肪族ポリエステルの分子鎖骨格にカーボネート構造をランダムに導入

した共重合ポリマーである。機械物性は、PEとPPの間で結晶性を示し、結晶融点 106°C である。三菱ガス化学が、「YUPEC」として市場開拓中である。

- ・脂肪族ポリエステルとポリアミドの共重合化は、脂肪族ポリエステルの分子鎖骨格にポリアミドを導入し、アミド結合にもとづいた分子鎖間水素結合による耐熱性、機械強度の改善に効果がある。ドイツのBAYERが市場開拓中。

3. プラスチック処理技術と新しい生分解性プラスチックの展望

1) 代表的なプラスチック処理技術の現状

- ①焼却処理技術：ゴミ焼却の熱を使用した発電。(発電所の建設計画中)
- ②再生処理技術：単純再生利用と複合再生利用が推進されているが、限界も見えている。
- ③減容化処理技術：残された課題に対し、今後積極的な取り組みが期待される。
- ④熱処理技術：油化、ガス化技術が推進されているが、まだ、課題が多く今後積極的な取り組みが期待される。

成書については、以下のものがあるので、参照されたい。

大澤善治郎著：「高分子材料の長寿命化と環境対策」株式会社シーエムシー (1998)

さらに、深刻化している地球環境問題を考える場合、早急に進めたい処理技術として、③の減容化技術を提案し以下に説明する。

今までゴミとして埋め立て処分した場合に大変嵩張り埋め立て地も直ぐに一杯になる。その上、ただ埋め立てただけでは分解が非常に遅く、跡地の再利用に長い年月がかかり、環境に対しても負荷が大きい。そこで、処理装置を使って、たとえば数時間で分解・固化による減容ができれば、理想の処理に遠くおよばないが、地球全体の累積されたゴミを大幅に低減できるもっとも実際的で効果的な処理技術になる。トータルとして地球環境の負荷を低減できるきわめて即効性の高い処理技術といえよう。これから、新しいプラスチックを設計する時に、分解のメカニズムも考え同時に分解処理装置も設計することが重要となる。

2) 新しい生分解性プラスチックの展望

「バイオマスによる炭酸ガス・ゼロエミッションシステム」を基本とした、資源・エネルギー問題 (地球温暖化防止) 対策に関する方向性を以下に述べる。

- ①石油化学系原料の多くは、酸化反応によって狙いの分子に作りあげられるが、酸化反応は環境を汚すので、有機物質の原料として石油系は望ましくない。
- ②環境の保全を考える中から生まれたグリーンケミストリーによっても、有機合成化学の原料として、還元が進んだ石油よりも、酸化が進んだバイオマスの方が優れている。
- ③実際に、米、麦、トウモロコシ、ジャガイモ、大豆等のでんぷんや、サトウキビの絞りかす、木酢液などからプラスチックや繊維を作ることは可能である。
- ④バイオマスから作る生分解性プラスチックは、このように地球温暖化やエネルギー問題、廃棄物 (ゴミ) 問題、石油代替

問題など地球環境に負荷を与える諸問題を解決する切り札となることが期待されている。「バイオマスによる炭酸ガス・ゼロエミッション」を確立することがわれわれの使命である。

4. 最後に筆者の関係する環境に優しい印刷インキの展望について具体例を挙げる

- ・印刷インキの素原料は、色素（染料，顔料），ビヒクル（樹脂，油脂，溶剤），添加剤（可塑剤，ワックス等）から構成されている。
- ・課題としては，①揮発性の有機溶剤（VOC）の問題，②作業者の保護の問題，③オゾン層破壊や大気汚染等の環境汚染の防止の問題，④食品包装材用印刷インキ等に含まれる健康に有害な物質のネガティブリスト「NL」の自主規制の問題が挙げられる。
- ・環境に優しい印刷インキを構成する原材料としては，①色素：タール系色素 20 種が使える（天然物から作られる）。②バインダー：天然樹脂（ロジン，セラック，ギルソナイト）と，合成樹脂（ニトロセルロース）が，耐久性，密着性，耐摩耗性に優れ，可塑剤との相溶性が良好なため併用されている。③溶剤：脂肪族炭化水素（低価格で臭気と毒性が少ない）が使われているが，安全性の高い大豆油への置き換えが

試みられている。④可塑剤：アジピン酸，フタル酸，セバチン酸，クエン酸，ひまし油等が使われている。（不揮発で，耐熱，耐寒，耐光，耐水，耐菌等に優れ，化学的に安定で樹脂と良く相溶する。）^{4,5,6)}このように印刷インキに関しても，印刷物の廃棄の際の環境への配慮から積極的な取り組みがなされている。しかしながら，全てを天然由来の物で構成することはむずかしく限界があるので，今後の方向性として，生分解性を有する化学合成物の設計が重要となる。今までのように，耐久性とコストだけを考えた設計ではなく，さらに環境への配慮が付加された技術をこれからの地球環境を守る技術の柱とし大きく育ててなければならない。

文 献

- 1) 奥脇昭嗣：廃プラスチックリサイクルの方向性，化学技術戦略機構，**14**〔2〕，P. 8～9（2000）
- 2) 西山昌史：機能紙から生まれた生分解性プラスチック，機能紙研究会誌，**30**，P. 18～24（1991）
- 3) 福田和彦：生分解性プラスチックの研究・開発動向，工業材料，**39**，〔8〕，P. 18～23（1991）
- 4) 特開 2002-105371 号報
- 5) 特開平 7-195814 号報
- 6) 特開平 8-319445 号報