

1. バイオマスプラスチックの市場動向

リサイクルによるバイオマスプラスチックの低コスト化の可能性について検討するにあたり、現状のバイオマスプラスチックの市場流通状況、及び用途展開の状況を整理した。

1-1 バイオマスプラスチックの市場流通状況

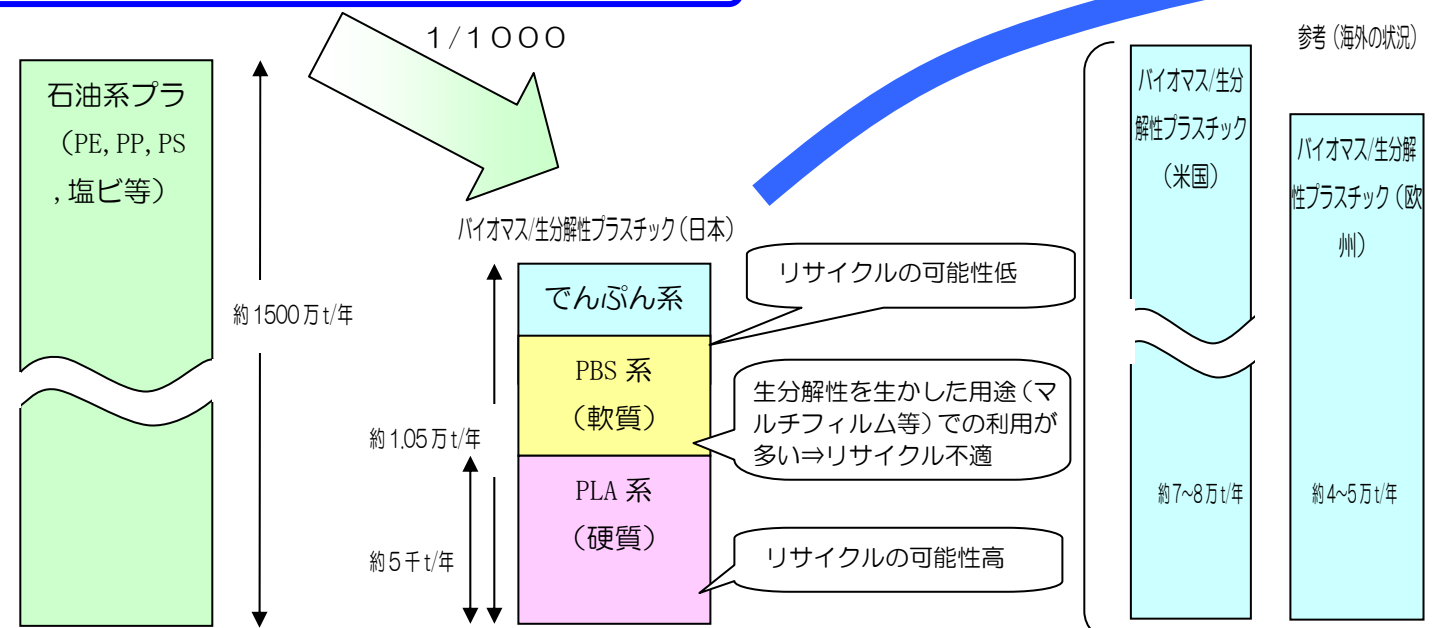
バイオマスプラスチックの市場流通状況を図 1-1 に整理した。わが国のバイオマス（うち、生分解性を有するもの）プラスチックの流通量は 2003 年度で 1 万 t 程度であり、石油系の汎用プラスチックの 1/1000 に満たず、現状では市場に浸透していないのが実態である。但し、2005 年までの 5 年間の市場規模推移を見ると、毎年確実に市場が拡大しており、今後の普及が期待される。

バイオマスプラスチックのメーカー別シェアでは、市場の 1/3 を米国カーギルダウ社が占めている。また、カーギルダウ製 PLA（ポリ乳酸）レジンを利用している三井化学を含めれば、バイオマスプラスチックレジンでは半量以上がカーギルダウで製造される PLA といえる。

なお、バイオマスプラスチックのうち、流通量が多いと見込まれるのは、軟質系の PBS（ポリブチレンサクシネート）系と、硬質系の PLA 系である。このうち、PBS 系はマルチフィルム等生分解機能を活かした用途での利用が多く、回収・リサイクルシステムの構築が困難なものが多いと予想される。

また、バイオマスプラスチックのうち、特に PLA についての市場流通の現状と、将来展望を、各種雑誌、新聞記事等から整理した結果を図 1-2 に示す。日本の PLA 樹脂市場では、カーギルダウ社のほか、三井化学、トヨタ車体が、PLA 樹脂の供給者となっている。

【我が国におけるバイオマスプラスチックの流通量（2003年）】



【その他バイオマスプラスチックの流通状況】

○セルロース誘導体

上記のほかに、古くから綿花や木材を原料とした酢酸セルロースが相当量流通していると考えられる。m（酢化度）＝2は包装用途（フィルム・シート）、射出成形用途（自動車ハンドルやサングラス枠等）及び繊維（タバコフィルター用等）や塗料、m＝3は不燃性写真用フィルム用途があり、国内ではダイセル化学工業株式会社が製造している（凡そ10万t/年、90%が繊維用途）。mが2.5程度迄の酢化度ではセルラーゼによる生分解性が大きく、半硬質タイプの生分解性プラスチックとして使用されている（発泡シート・施設園芸用品等射出成型品・食器具類）。

○複合樹脂

最近、間伐材由来木質チップや古々米を可塑化して樹脂と複合化したタイプが登場した。アグリフューチャー・じょうえつ株式会社が開発した銘柄は、変成したバイオマスが50%を超えるコンパウンドであり、新しいタイプの天然物系資材として注目される。既に木質系バイオマスプラスチック（樹脂はPPやPLA）は配膳トレイ、古々米系バイオマスプラスチック（樹脂はPE）は規格袋として実用化されている。PPやPE側がバイオマスプラスチックに置き換わったタイプでは全ての資材がバイオマス系となり、新しいコンセプトのコンパウンドとしての展開が期待される。また、東レ株式会社はナタネや大豆から抽出した植物油とポリエステル（PET）を化学反応させてPETとの親和性を上げ、次いでポリエステル（PET）とナノコンポジット化させて透明性・耐熱性に富む柔軟性フィルムを開発した（新聞報道、2006年2月10日）。植物油使用量の上限は60%で、耐熱温度は200℃と伝えられており、自動車のダッシュボードや家電製品の表面保護膜としての用途が考えられていると予想される。

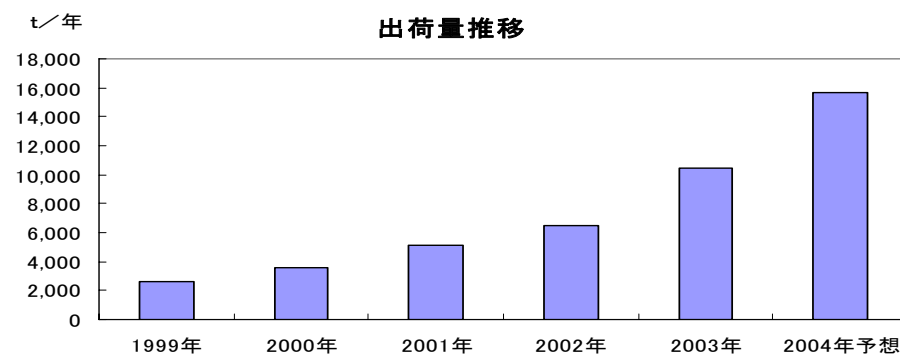
【我が国におけるバイオマスプラスチック・生分解性プラスチック市場規模推移】

市場規模(出荷量)推移

	1999年		2000年		2001年		2002年		2003年		2004年予	
	前回調査	今回調査	前回調査	今回調査	前回調査	今回調査	前回調査	今回調査	前回調査	今回調査	前回調査	今回調査
今回調査	2,570	3,600	140.1	5,100	141.7	6,500	127.5	10,500	161.5	15,700	149.5	
前回調査	2,570	3,600	140.1	5,100	141.7	6,600	129.4	11,200	169.7	21,850	195.1	

注) 前回調査は2002年初めの予想。2001年までが実績、それ以降は予想。

矢野経済研究所調査



矢野経済研究所調査

【バイオマスプラスチックのメーカー別国内出荷額】

メーカー別国内出荷量と生産体制

メーカー (商品名)	2003年出荷量 (国内)			2004年予想 (国内)	生産能力 (拠点)
	前年比	シェア	シェア		
カーギル・ダウ(米) (ネイチャーワークス)	3,500	230.0	33.3	5,000	140,000 (カーギル・ダウ)
三井化学 (レイシア)	2,100	140.0	20.0	3,000	3,000 (龍野工場)
昭和高分子 (ビオノーレ)	1,400	125.0	13.3	1,600	100,000 (オールドヒッコリー工場)
デュポン (バイオマックス)	1,000	100.0	9.5	1,300	ポリプロピレン系 1,000(大竹工場) 酢酸セルロース系 5,000(網干工場)
ダイセル化学工業 (セルグリーン)	500	200.0	4.8	800	ポリエステル設備活用 (四日市事業所)
三菱化学 (GS-Pla)	500	-	4.8	2,000	8,000 (本社工場)
BASF(独) (エコフレックス)	450	200.0	4.3	1,000	2,000t (五井製造所)
チッソ (ノボン)	250	100.0	2.4	250	20,000 (テルニ工場)
ノバモント(伊) (マタービー)	200	100.0	1.9	200	700~800 (衣浦事業所)
日本コーンスター (コーンボール)	200	140.0	1.9	250	既存プラント転用 (熊本工場)
日本合成化学工業 (エコマティAX)	65	100.0	0.6	100	パイロットプラント (鹿島工場)
三菱ガス化学 (ユーベック)	50	60.0	0.5	30	(新潟研究所)
(バイオグリーン)	(若干量)	-	-	(若干量)	パイロットプラント (高分子研究所)
日本触媒 (ルナーレSE)	若干量	-	-	50	15,000 (英国・ハートルプール工場)
イーストマンケミカル(米) (イースターハイ)	-	-	-	-	
その他	若干量	-	-	若干量	
合 計	10,500	160.0	100.0	15,700	

注) 一部推定

■ : PLA系 ■ : PBS系 ■ : でんぷん系

矢野経済研究所調査

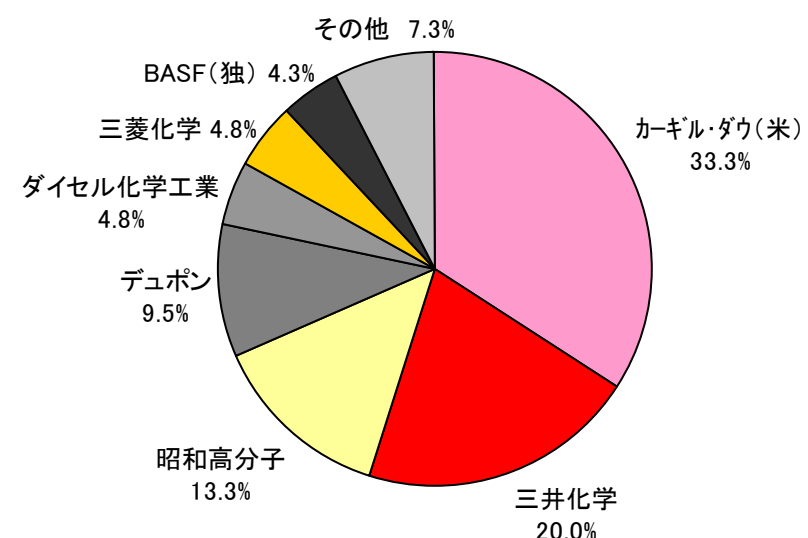


図 1-1 バイオマスプラスチックの市場流通の現状

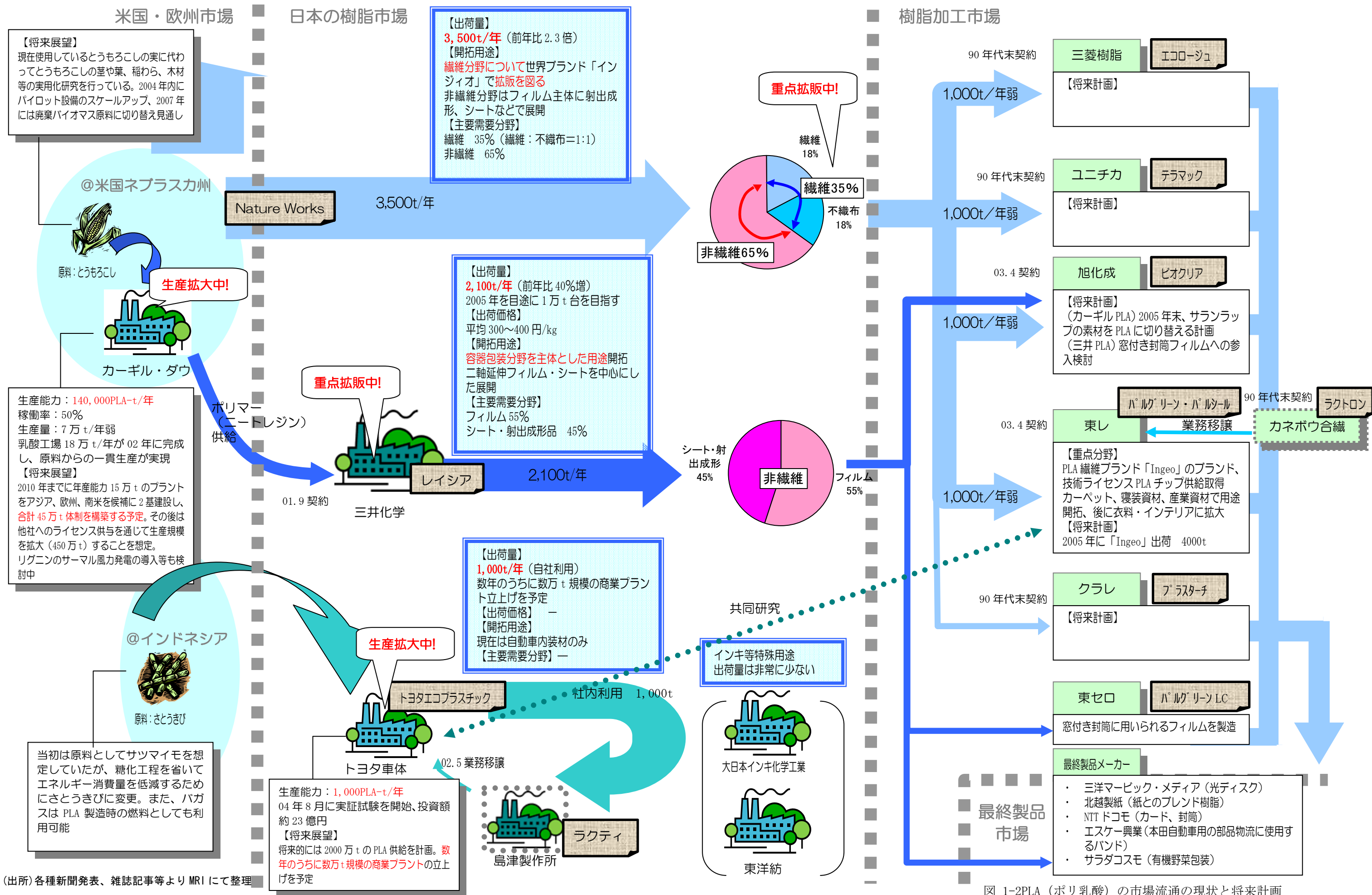
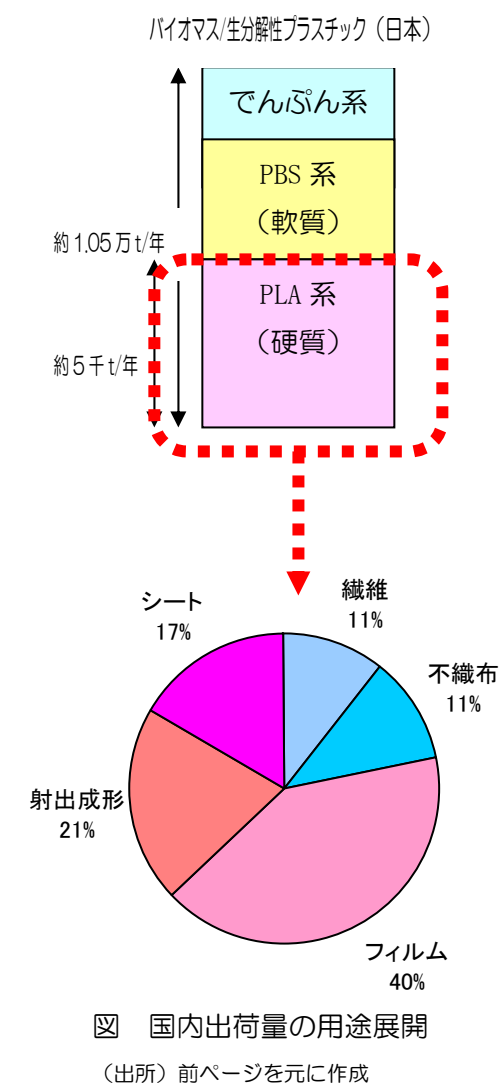


図 1-2PLA（ポリ乳酸）の市場流通の現状と将来計画

1-2 バイオマスプラスチックの用途展開の状況

バイオマスプラスチックのうち、PLA の用途展開状況を図 1-3 に整理した。様々な分野への展開が図られているが、中でもフィルムや射出成形品の市場が大きい。従来より、ゴミ袋や水切り袋、農業・園芸資材等の生分解性機能を利用する用途での利用が勧められてきたが、近年では、耐久製品部品や容器包装類など、より大きな市場が見込まれる用途での利用も活発になりつつある。

なお、本年度開催された愛・地球博では、500t 程度の PLA が使用され、市場に十分に浸透していない現状において、大きな需要先として市場にインパクトを与えた。愛・地球博で様々な分野での PLA の利用可能性を示したことで、一般市場への拡大が加速することが期待される。



【情報源】
『平成15年度バイオ生分解素材開発・利用評価事業 報告書』平成16年3月 （社）日本有機資源協会
『ポリ乳酸グリーンプラスチックの開発と応用』フロンティア出版 2005.6
『グリーンプラスチック材料技術と動向』シーエムシー出版 2005.4
『生分解性および植物原料由来プラスチックの市場展望①～⑧、くまとめ』ヤノ・レポート No.1155～No.1165 2004.2～7 等よりMRIにて整理

＝市場規模

＝PLAの普及規模

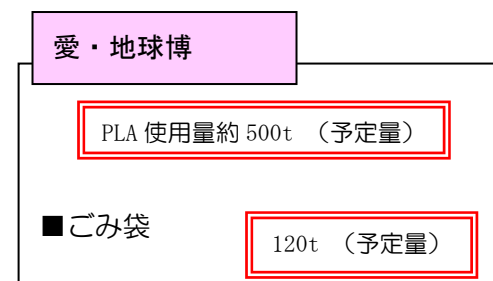
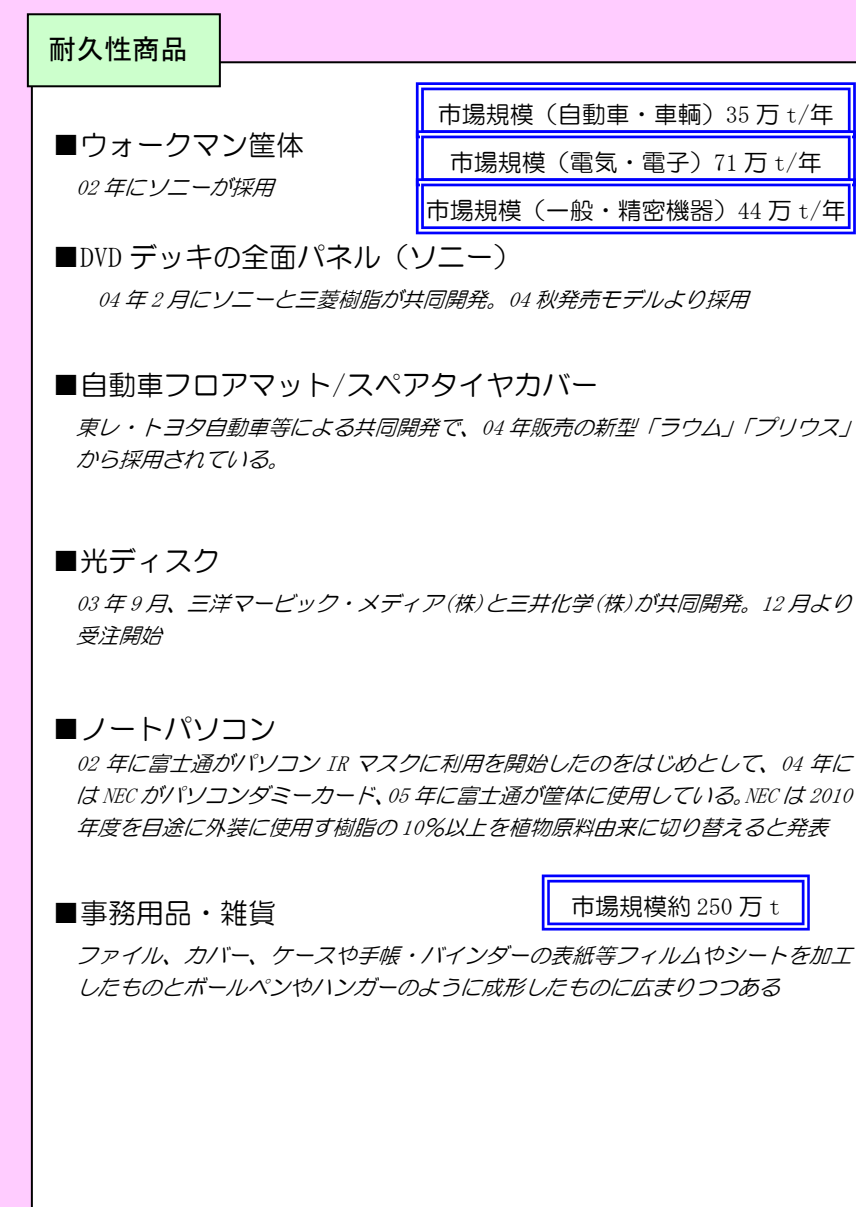
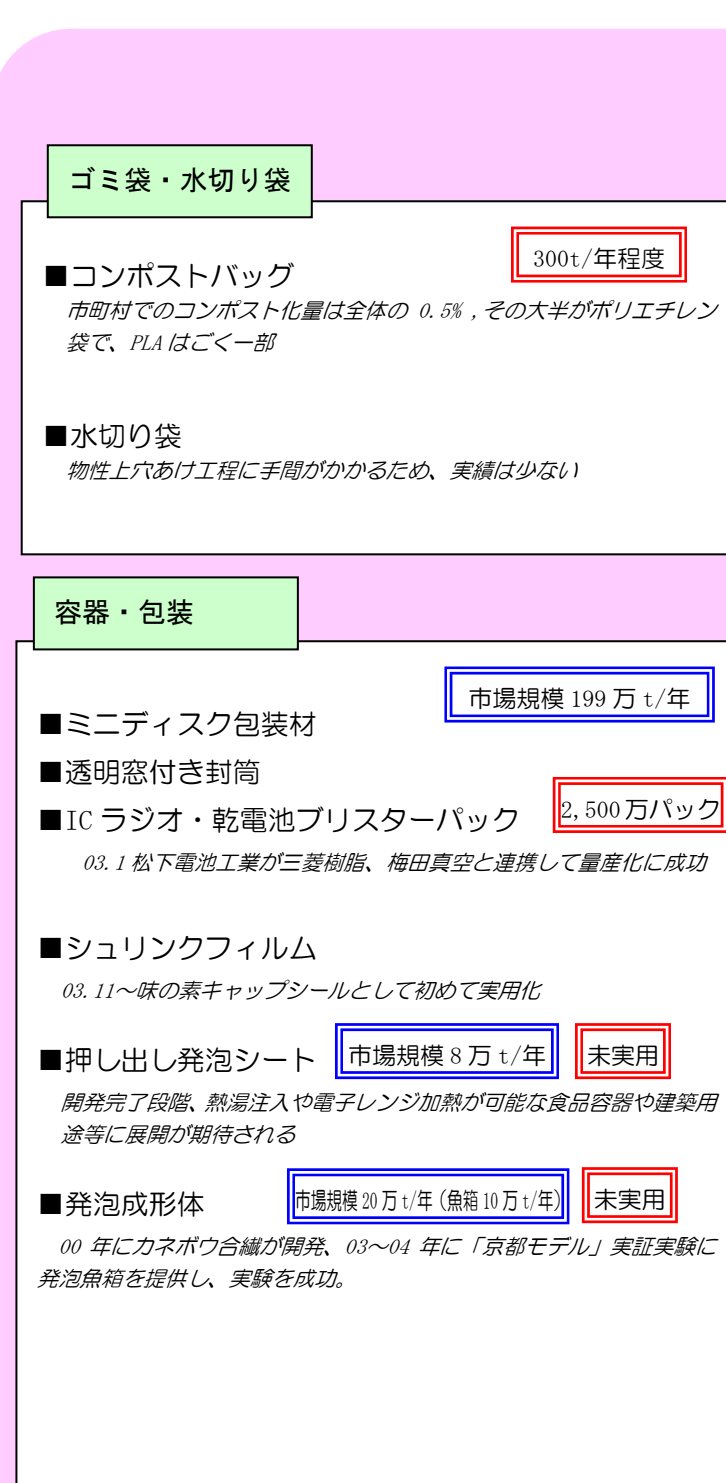
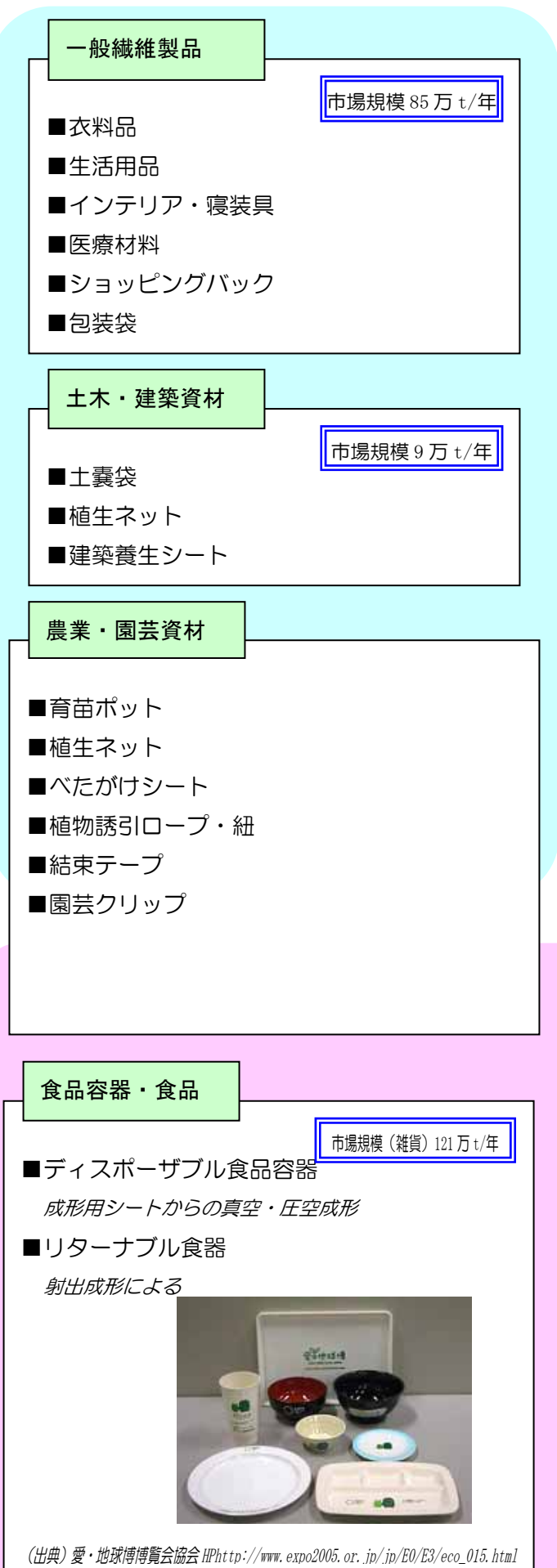


図 1-3 PLA の用途展開の状況

2. バイオマスプラスチックのリサイクルの考え方

2-1 目的

現時点において、バイオマスプラスチック製品の市場は未だ確立していないのが実態である。そのため、既に流通しているバイオマスプラスチック製品について付加的にリサイクルシステムを検討するのではなく、バイオマスプラスチック製品と同時にリサイクルシステムを提示することによって環境面での訴求力を高めるとともに原料の低コスト化を促進し、新規分野での普及を図りつつ、既存分野での普及を加速することを目指す。そのため、本検討では、バイオマスプラスチック製品の普及に資すると予想され、かつ技術的に可能と思われるバイオマスプラスチックリサイクルシステムを取り上げ、システムのあり方、システム実現にあたっての課題、及び対応策等を提案するものとした。

2-2 バイオマスプラスチックの用途と処理・リサイクルシステムのあり方

バイオマスプラスチックには様々な用途があり、用途の応じて最適な処理・リサイクルシステムは大きく異なる。バイオマスプラスチックの処理・リサイクルシステムの例を以下に示す。

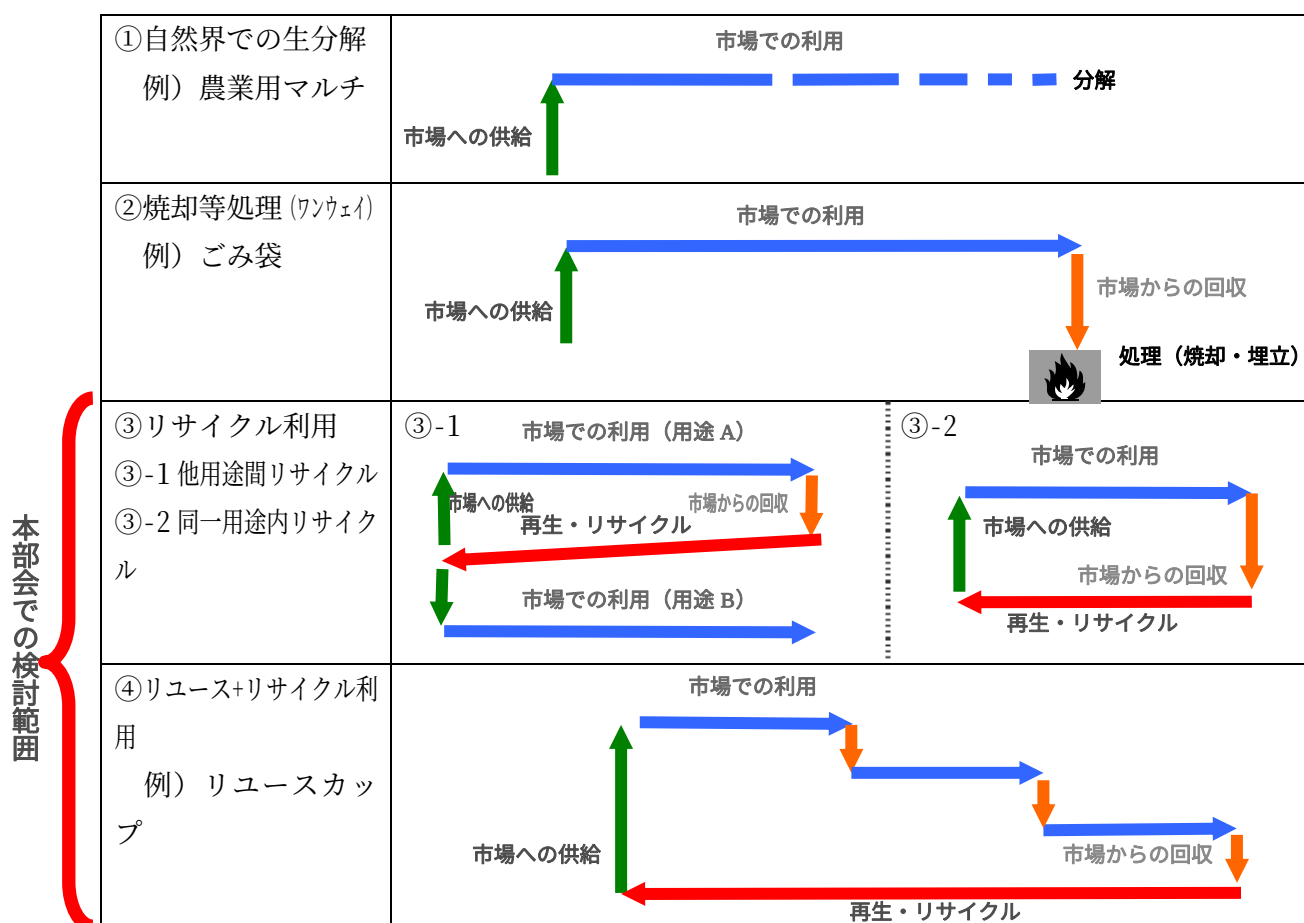


図 2-1 バイオマスプラスチックの用途と処理・リサイクルシステム

前記の通り、バイオマスプラスチックは用途に応じて、最適な処理・リサイクルシステムを検討する必要があるが、最適なシステムを選択する視点としては次のようなものが考えられる。

視点1 生分解性、焼却・埋立時の安全性等の機能を目的に導入された製品については、回収は不可能である。

バイオマスプラスチックの多くは生分解性を有しており、この生分解性を活用した用途での利用が先行して進んでいる。(①) また、バイオマスプラスチックは焼却や埋立処理時の安全性や環境特性を有することから、回収が難しく、処理が不可避な用途に用いられる例も多い。(②) このように元来リサイクルが不可能な分野に導入されたバイオマスプラスチックについては、無理な回収等は行うべきでない。

【リサイクルシステムが不要な分野】

✓ 自然界での生分解による処分が適しているもの

生分解性機能を必要とする用途で使われるバイオマスプラスチック類については、回収が不可能なことが多く、リサイクルよりも生分解による処分が適している。

農業用マルチフィルム、植生ネット、土嚢袋、合板接着剤等

✓ 焼却処分が適しているもの

衛生上、もしくは回収が不可能なことから焼却処理が適している用途。バイオマス由来のプラスチックを用いることで、焼却によるCO₂発生を抑制できるメリットが期待される分野である。

ごみ袋、水切りネット、紙おむつ等

なお、バイオマスプラスチックは、植物を原料としていることからカーボンニュートラルであり、石油系プラスチック類に比較すれば廃棄フェーズにおける環境負荷低減に寄与するものである。リサイクルを伴わない処理（①、②）でも十分に環境配慮型の素材といえる。

視点2 特に耐久性品については、長期間耐用性の付与や、リユース等により、使用期間を可能な限り伸ばすべきである。

バイオマスプラスチックのマテリアル・ケミカルリサイクルを検討する以前に、

特に耐久製品については、リユース等により、使用期間を可能な限り伸ばすべきである。

視点 3 視点 1 に挙げた用途以外のバイオマスプラスチック製品についてはマテリアル、もしくはケミカルリサイクルによる再生利用を想定する。

自然界での生分解、及び焼却等の処理が適した用途以外に使用されるバイオマスプラスチック製品については、何らかの方法で再生利用を検討すべきである。リサイクルの手法としては、マテリアルリサイクルとケミカルリサイクルがあるが、各リサイクル手法の特性を考慮の上、回収されたバイオマスプラスチックの品質に応じた手法を選択する。

リサイクルによって得られたバイオマスプラスチック再生ポリマーは、バージン材料に比べて比較的安価になると予想される。バージン材料と同等の性能は期待できないまでも、再生材料とバージン材料との混合などの工夫を施すことにより、高価なバージン材料では導入が難しい比較的 low 付加価値な幅広い用途での利用も可能と考えられる。

但し、複雑な組成の一部がバイオマスプラスチックである場合等、回収に多大なコストと労力を要する製品については、無理な再生利用は行わない。

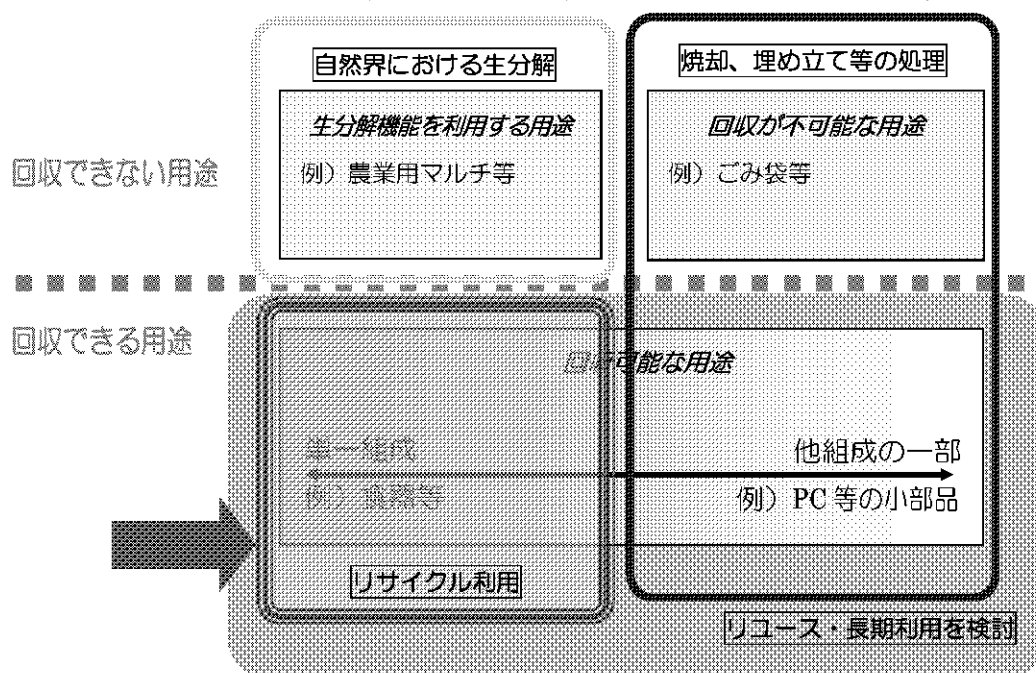


図 2-2 バイオマスプラスチック処理・リサイクルの考え方

2-3 バイオマスプラスチックリサイクルシステム構築の条件

2-2 に示したとおり、バイオマスプラスチック製品のうち、リサイクルシステムの構築が有効な用途は、(1)無理なく円滑に回収が可能で、かつ、(2)回収した製品に夾雑物が少ないこと、(3)技術的・経済的にリサイクル可能な一定量の回収、が条件となる。

(1) 無理のない円滑な回収方法とは

円滑な回収を実現している既存事例（バイオマスプラスチック製品以外を含む）を以下に挙げるとともに、当該既存事例と同様のモデルでの回収が可能と考えられるバイオマスプラスチックの適用可能用途を示す。

なお、円滑な回収が可能な用途としては、回収システムを伴った製品の普及が可能な用途と、既存の回収システムを活用できる用途とが考えられる。

① 回収システムを伴った製品事例

(a) レンズ付きフィルム モデル

特徴：一般消費者向けに拡散して使用されるが、その機能を発現・再生等をする工程として自動的に一箇所に集積される用途

回収メカニズム：回収しなければ機能を発現できない

事例：カメラ店に集積される『写るんです』等の使い捨てカメラ

使用後に洗浄のために回収される『ダスキンモップ』等の清掃用具

バイオマスプラ製品例：

(b) 引越用段ボール モデル

特徴：使用済み製品が一時期に大量に発生し、製品提供者によって収集が行われる用途

条件：処理しなければ邪魔になる

一般廃棄物としての処理が困難（集積所までの運搬が面倒等）

回収メカニズム：邪魔

事例：引越後、引越に用いた段ボールを引越業者が回収

バイオマスプラ製品例：緩衝材（家電製品等梱包用）等

(c)牛乳パック モデル

特徴：一般消費者向けに拡散して使用されるが、一部の環境意識の高い消費者により、特定の場所に集積される用途

条件：分別が容易（わかりやすい）である
収集拠点が身近にある

回収モチベーション：環境意識

事例：小売店店頭で回収される牛乳パック、発泡トレイ
電気店店頭ボックス等で回収されるトナー、電池等

バイオマスプラ製品例：レジ袋、食品容器包装等

(d)産業用・事業所向け モデル

特徴：事業所に一定量がリース形式で納入され、製品の機能を提供する用途

条件：事業所向けに一定量が納入されていること
事業所にある程度の頻度で出入りしており、製品の納入・回収が可能
事業所内に回収システムが確立している

回収モチベーション：処理費用の削減、環境配慮経営の実践

事例：使用後に回収される『キングジムファイル』等の事業所向け文具
使用後に再生のために回収される事業所玄関マット

バイオマスプラ製品例：カーペット（事業所向け）、衣料品（制服等）、文具（事業所向け）

(e)イベント・集客施設 モデル

特徴：イベントや映画館等の集客施設で一時的に利用され、イベント終了後や帰宅時に一時期に大量に使用済み製品が発生する場合

条件：イベント期間内などの一定期間に利用を完了し、参加者が持ち帰ることなくその場で回収可能であること

回収モチベーション：持ち帰りが面倒であること

事例：野球球場で販売しているリユースカップの飲み物等
コンサート設営や万博パビリオン設営資材の再利用等

バイオマスプラ製品例：カーペット（イベント向け）、衣料品（イベント制服）、食器（イベントで配布）、建材（イベント会場設営用）、食品容器包装（集客施設での食品販売に伴う）

② 既存リサイクルシステムとの連携による回収が可能なもの

自動車リサイクル法や家電リサイクル法など法規制によって既存のリサイクルシステムが確立している用途の一部にバイオマスプラスチックが素材として利用されている場合には、既存リサイクルシステムとの連携による回収・再生が考えられる。

バイオマスプラ製品例：自動車内装材（自動車リサイクル法）、パソコン・家電等筐体（パソコン・家電リサイクル法）、建材内装材（建築リサイクル法等）

また、一部産業においては、法整備まではなされていないもの、環境面の配慮から、業界団体等が資材の回収・処理を行っているケースがある。

バイオマスプラ製品例：農業用資材（JA が回収・処理）

(2) 回収品の夾雑物の少ない製品とは

バイオマスプラスチックのリサイクルにあたっては、バイオマスプラスチック以外の素材の混入が問題となる。マテリアルリサイクル・ケミカルリサイクルの両方について、許容される異素材の混入率は異なるが、いずれもバイオマスプラスチックによる単一組成に近い方が容易である。

異素材が混入している場合には、前処理で分別することが必要となるが、効率を向上させるためにも、なるべくバイオマスプラスチック成分割合の高いものの回収が望ましい。また、異素材と分別が困難な形態のバイオマスプラスチック類については、前処理がより困難になる。

(3) 技術的・経済的にリサイクル可能な一定量の回収

バイオマスプラスチックのリサイクル行うには、マテリアル、ケミカルともに施設整備のための初期投資を要する。そのため、施設の規模に応じて定常的に一定量の回収が見込める製品を対象にすべきである。また、リサイクル施設のスケールメリットを得るためにも、十分な量の回収が望ましい。バイオマスプラスチックの市場流通量の少ない当初の段階では、使用量が比較的多く、使用期間が比較的短い（回収期間が早い）品目を対象とすることも考えられる。

表 2-1 バイオマスプラスチックの適用が期待されている主な用途とリサイクルシステム構築の可能性

期待される用途※		リサイクルシステム対象外		(1)無理のない回収方法が可能※※		(2)回収品の夾雑物の少ない用途※※		(3)技術的・経済的にリサイクル可能な一定量の回収が可能な用途(現状の市場ではなく、潜在市場) ※※
		自然界での生分解が適	焼却等処理が適	①回収システムを伴った製品の普及が可能な用途 (a)写るんですモデル (b)引越し用段ボールモデル (c)牛乳パックモデル (d)産業用・事業所向け モデル (e)イベント・集客施設モデル	②既存リサイクルシステムとの連携による回収が可能な用途 (a)法規制による回収システム (b)業界団体による自主回収システム	バイオマスプラスチックの成分比率	異素材(添加剤を除く)との分離難易	
容器・包装	食品容器包装			(c)+一部(d)		○	○	○
	レジ袋			(c)		○	○	○
	緩衝材(発泡製品)			(b)		○	○	△
	物流容器・包装(ストレッチフィルム等)			(d)		○	?	○
	その他容器			一部(c)?		○	?	○
自動車・車輛	自動車内装材				(a)	△	?	△
電気・電子	筐体				(a)	△	△	△
	キャリアテープ				(a)	○	?	△
一般・精密機器					一部(a)	△	?	△
建築・土木	内装・屋内外表示			一部(e)	(a)	△	△	△
	セメント等養生シート				(b)?	○	○	△
	植生ネット	○						
	土嚢袋	○						
雑貨・その他	農業用マルチ	○						
	べたかけ・ハウス被覆材等 その他農業用資材				(b)	○	○	△
	寒冷紗・防虫ネット				(b)	○	○	△
	漁網							
	食器			一部(e)		○	○	○
	ごみ袋		○					
	水切りネット		○					
	文具			一部(d)		△	△	○
	玩具							
	釣り糸	○						
	紙おむつ		○					
塗料・接着剤・コーティング他	合板接着剤	○						
繊維類	衣料品			一部(d)+一部(e)		△	△	○
	カーペット			一部(d)+一部(e)		△	△	△

※平成15年度調査結果より

※※(1)～(3)の評価は現状での予測であり、今後、当該品目の現状の処理ルート、技術的要求品質や量等を明らかにした上で精度を高める必要がある。

3. バイオマスプラスチックリサイクルに係る技術開発動向

昨今のわが国におけるバイオマスプラスチックのリサイクル技術開発の研究事例を調査した。現在、バイオマスプラスチックは普及拡大を図る段階であるためか、バイオマスプラスチックの分解性能や機能向上に係る研究は見られるものの、バイオマスプラスチックのリサイクルに係る研究事例はあまり多くない。

3-1 バイオマスプラスチックのケミカルリサイクル技術

わが国における研究開発事例について、次ページ以降、概要を個票として整理した。なお、海外についても同様の研究開発事例の抽出を試みたが、欧州、米国でのバイオマスプラスチックリサイクル技術開発に係る研究事例は見られなかった。

以下の研究開発事例のうち、(1)①～③については参考資料 1 に詳細を示す。また、5 章において、バイオマスプラスチックのケミカルリサイクルを検討するにあたっては、汎用樹脂とのブレンド体のケミカルリサイクルを可能にする(1)①の技術を念頭におくこととした。

(1) PLA のケミカルリサイクル

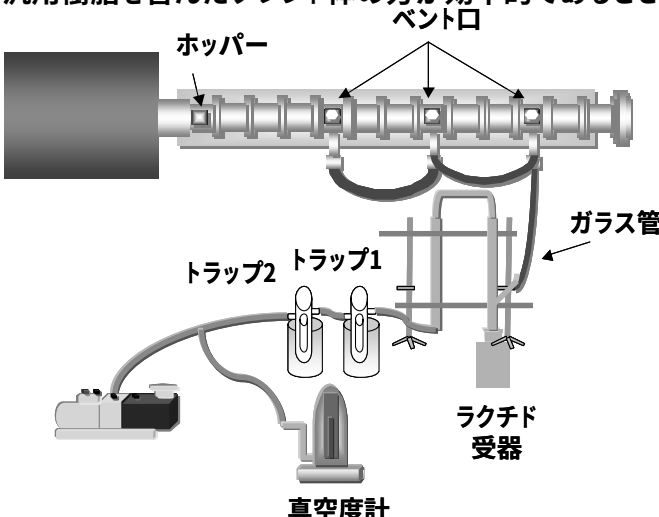
- ① 汎用樹脂とのブレンド体のケミカルリサイクル
- ② アルカリ土類金属種による PLLA のケミカルリサイクル性制御
- ③ 難燃性乳酸 (PLLA) /水酸化アルミニウム ($\text{Al}(\text{OH})_3$) 複合体の原料リサイクル
- ④ 水熱反応を利用した PLA のケミカルリサイクル
- ⑤ 酵素充填カラムによる PLA の連続ケミカルリサイクル
- ⑥ 固体酸触媒によるポリ-L-乳酸のケミカルリサイクル
- ⑦ プラスチック分解遺伝子の探索とモノマーリサイクル

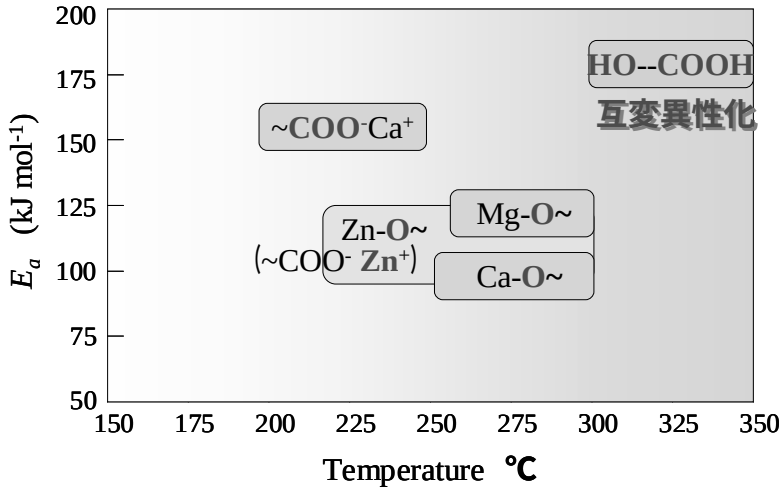
(2) PHA のケミカルリサイクル

- ① ポリヒドロキシアルカン酸 (PHA) の酵素触媒重合とケミカルリサイクル

(3) 参考 石油由来生分解性プラスチック PCL のケミカルリサイクル

- ① 溶剤の有無による PCL のケミカルリサイクル手法の開発
- ② 有機溶媒系における酵素触媒を用いたポリ (ε-カプロラクトン) (PCL) ケミカルリサイクル

タイトル
(1) ①汎用樹脂とのブレンド体からのケミカルリサイクル
研究者名
近畿大学 分子工学研究所 助教授 西田 治男
文献名
参考資料参照
扱っているリサイクル方法
汎用樹脂とポリ乳酸のブレンド体からのL,L-ラクチドへの回収
要点
ポリ乳酸は、用途に応じた耐熱性や柔軟性等の品質を確保するため、汎用樹脂類とのブレンド体として市場で利用されることが多いと予想される。そこで、ポリエチレンとポリ乳酸、ポリスチレンとポリ乳酸等、汎用樹脂とPLAのブレンド体のケミカルリサイクルを検討した。 アルカリ土類金属系の触媒や、温度を調整することにより、①ポリエチレンとポリ乳酸のブレンド体、②ポリスチレンとポリ乳酸のブレンド体、③PBSとポリ乳酸のブレンド体より、選択的にL,L-ラクチドを回収することができる。なお、①については触媒なしで温度調整のみ、②、③についてはMgO触媒を用いる。 あわせて、エクストルーダーを用い、ブレンド体からL,L-ラクチドを選択的に回収するための装置を開発した。PLLA-PE(20:80wt%) のブレンド体について、この装置を用いることで、90%以上のラクチド回収率を達成できることを示した。なお、このエクストルーダーを用いるラクチド回収については、PLLA100%の樹脂よりも、一定量の汎用樹脂を含んだブレンド体の方が効率的であることが示されている。

図 エクストルーダーによるラクチド回収装置

タイトル	
(1)②アルカリ土類金属種によるPLLAのケミカルリサイクル性制御	
研究者名	
近畿大学 分子工学研究所 助教授 西田 治男	
文献名	
参考資料参照	
扱っているリサイクル方法	
・ポリ乳酸のL,L-ラクチドへのケミカルリサイクル	
要点	
PLLAの熱分解は内包する重合触媒金属種に強く影響される。触媒残渣としてのPLLAへのSnの共存は、分解温度を著しく低下させ、光学活性モノマーであるL,L-ラクチドを選択的に生成する。但し、Snについては有機スズ等の環境ホルモン様作用が問題となっていることから、他のアルカリ土類金属触媒を添加することで同様の効果を得、PLLAのケミカルリサイクル性を制御する。 アルカリ土類金属の作用は、CaとMgで異なる挙動を示す。より塩基性の高いCaは230℃以下の低温で選択的にmeso-ラクチドを生成するが、Mgではこの温度範囲でmeso-ラクチドをほとんど生成しない。250℃前後では、Ca,Mgともに解重合反応によって選択的にL,L-ラクチドのみが生成する。300℃以上になると再度ラセミ化が顕在化してくる。 このように、アルカリ土類金属化合物を触媒として特定の温度範囲でケミカルリサイクルを行うことで、高収率でL,L-ラクチドの回収が可能である。特に、MgOの特有な分解温度特性は、実地的なケミカルリサイクルプロセスに有効と期待される。	
	
図 熱分解における金属種の効	

タイトル	
(1)③難燃性乳酸 (PLLA) /水酸化アルミニウム (Al (OH) ₃) 複合体の原料リサイクル	
研究者名	
近畿大学 分子工学研究所 助教授 西田 治男	
文献名	
Ind.Eng.Chem.Res. 2005, 44, 1433-1437	
扱っているリサイクル方法	
・ポリ乳酸の難燃化 ・ポリ乳酸のL,L-乳酸モノマーへの原料リサイクル	
要点	
高分子材料にとって多分野 (特に電気電子分野) での応用を実現するためには、難燃化技術が必要不可欠である。そこで、本研究では、生分解性ポリマー ポリ乳酸 (PLLA) と Al (OH)₃ との複合体を形成することで、PLLAの難燃化と光学活性を保持した (L体環状モノマー) ままの原料リサイクルを可能にすることを狙っている。しかし、Al (OH)₃ の混入により、生分解性は乏しくなる。 → PLLAの多分野での応用、ケミカルリサイクルによる全ライフサイクルの資源・エネルギーの消費量の抑制とそれに付随する二酸化炭素発生量を抑える効果が期待される	
図．PLLA/Al(OH)₃複合体の機能の全体像	
実験条件と実験結果	
試料 ・モノマー：L,L-乳酸 ・ポリマー：重合後PLLA (PLLA-ap) (分子量Mn:150000, Mw:373000) 精製後PLLA (PLLA-H) (分子量Mn:279000, Mw:530000) ・重合触媒：2-ヘキサン酸エチルスズ (Sn (2-ethylhexanoate) ₂) ・分解触媒、難燃化剤：水酸化アルミニウム (Al (OH) ₃)	
PLLA/Al (OH)₃複合体の作成 重合触媒でL,L-乳酸のPLLAへの重合、PLLAの精製後、Al (OH) ₃ とクロロホルムで混合し、ガラス上に塗り広げて作成。 → 難燃化PLLAの作成 ☆ PLLAとAl (OH) ₃ の混合比 PLLA-ap/Al(OH) ₃ = 100/10 ～ 100/30 PLLA-H/Al(OH) ₃ = 100/10 ～ 100/60	

分析

GPC: 分子量の測定、GC/MS、TG/DTA: 熱分解挙動の測定

① PLLA-apとPLLA-H複合体の組成比による熱分解挙動の違い: ポリ乳酸にAl(OH)₃を導入することで難燃性向上に効果があるか?

→ PLLA-ap/Al(OH)₃複合体の場合

複合体の分解温度は、PLLA-apのみの場合 (180~280°C) より、Al(OH)₃分率が多いほど上昇 (250~300°C)

→ PLLA-H/Al(OH)₃複合体の場合

複合体の分解温度は、PLLA-Hのみの場合 (300~375°C) より、Al(OH)₃分率が多いほど下降 (250~300°C)



難燃性向上に効果あり

② PLLA-H(-ap)/Al(OH)₃ 100/30の熱分解物測定 (GC/MS): L体以外が異化していないか? (分解温度の適正化)

→ 300°C以下ではL,L-乳酸が選択的に生成 (300°C以上ではメソ体及び、3量体以上環状オリゴマーが生成)



分解物の組成はL体が主 (300°C以下)

③ Al(OH)₃単体及び複合体でのAl(OH)₃のAl₂O₃への転換率: 複合体中のAl(OH)₃の熱安定性の変化は?

→ Al(OH)₃単体の場合

220~270°CでAl(OH)₃からAl₂O₃に78%が転換

→ PLLA/Al(OH)₃複合体の場合

250~300°CでAl(OH)₃からAl₂O₃へ転換



水酸化アルミニウムとの複合体の熱安定性が向上することが示された

④ PLLA/Al(OH)₃の熱分解における活性化エネルギー測定: PLLAのケミカルリサイクルの効率性は?

→ PLLA/Al(OH)₃ 120-135kJ/mol (<PLLA-H単体 180 kJ/mol)



水酸化アルミニウムとの複合体形成により、PLLAのケミカルリサイクル性の効率向上

タイトル
(1)④水熱反応を利用したPLAのケミカルリサイクル
研究者名
豊橋技術科学大学未来環境エコデザインリサーチセンター 大門 裕之 助教授
分析項目・扱っているリサイクル方法
・ポリ乳酸 (PLLA) のモノマー化
要点
ポリ乳酸は植物を原料とし、基本的に発酵→精製→重合というプロセスから製造され、精製に大量のエネルギーが必要である。現状の生産規模ではポリ乳酸の方が石油由来のプラスチックより、多くのエネルギーを必要とする。そのため、ポリ乳酸は焼却や環境中での分解ではなく、マテリアルリサイクル、ケミカルリサイクル、サーマルリサイクル、生物分解を適切に組み合わせる必要がある。ポリ乳酸のケミカルリサイクルにより、デンプンや糖から乳酸を生産するより、安価にポリ乳酸を再生することが可能であるが、ポリ乳酸のケミカルリサイクルにはラセミ化や工程の複雑さなど問題もある。 そこで本研究では優れた加水分解反応場である高温高压水を用いて、ポリ乳酸のモノマー化に関する検討を行っている。
<pre> graph TD Biomass[バイオマス (トウモロコシ、サトウキビなど)] --> Lactide[乳酸] Lactide -- 重合 --> Polylactide[ポリ乳酸] Polylactide -- 加工 --> Product[製品] Product -- 廃棄 --> Waste[廃棄物] Waste -- 微生物および焼却による処理 --> H2O[H2O] Waste -- 微生物および焼却による処理 --> CO2[CO2] H2O --> Lactide CO2 --> Biomass Lactide <--> 水熱反応 Polylactide </pre>
図 ポリ乳酸のケミカルリサイクル促進技術の開発

実験条件及び分析手法

試料

・ラクティTM 5000 (分子量 2.0×10^5 , L体98% D体2%)

① 反応温度、時間の乳酸回収率への影響

→ 最適反応条件は？

・160-200°Cの温度範囲で、180分間での乳酸回収量の推移

→ 160-200°C: 高温ほど短時間で回収できるが、どの温度でもほぼ100%回収可能

→ 200°C以上: ほぼ100%乳酸の回収が可能であるが、240°C以上ではD体乳酸の生成を確認



200°C以下で180分間が、乳酸回収率の観点から最適条件

② ポリ乳酸と石油由来プラスチック (PS) の混合状態における乳酸回収率への影響

：石油由来のプラスチックとの混合で、ケミカルリサイクル可能か？

・温度、時間によるPSの残存率と乳酸回収率

→ 石油由来プラスチック混合による乳酸回収率への影響がないことが明らかとなった



選択的にポリ乳酸のケミカルリサイクルが可能である

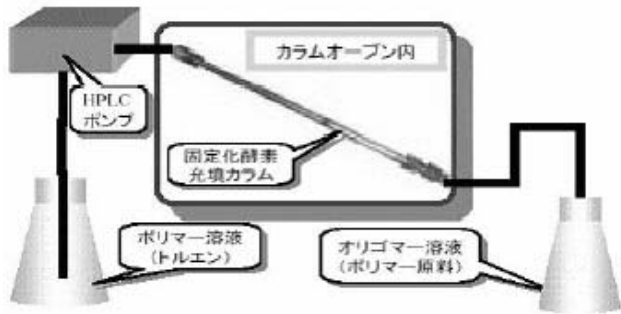
その他特記事項

○ポリ乳酸 (PLA) のケミカルリサイクル

熱分解によるラクチド化、酵素加水分解、熱分解によるラクチド化、アルカリ加水分解、アルコール分解などが検討されている

○水熱反応とは？

高温、高圧状態にある水を用いた反応であり、超臨界、亜臨界領域の水をあわせて高温高圧水と称している。優れた加水分解能力を有する。

タイトル
(1)⑤酵素充填カラムによるPLAの連続ケミカルリサイクル
研究者名
慶應義塾大学 理工学部 応用科学科 松村 秀一 教授
文献名
グリーンブラジャーナルVOL14, pp14-17, 2004 ケミカルエンジニアリング10月号, pp37-42(773-778), 2005 http://www.ipc.keio.ac.jp/exhibition/matsumura200409.pdf
分析項目・扱っているリサイクル方法
・ポリ乳酸、脂肪族ポリエステル酵素解重合法
要点
これまで、ポリ乳酸樹脂については生分解性のみが強調されてきたが、生産や製品へのプロセスにかかるエネルギーは無視できず、ケミカルリサイクルも重要である。従来のケミカルリサイクル法は末端水酸基の脱離による不飽和（クロトネート末端）結合が生成し、再重合にあたって問題となってきた。そこでポリ乳酸の解重合に酵素を用いることでクロトネート末端が生成することなく、ほぼ完全な環状オリゴマー化を達成できることを示した。 さらに本技術では、この酵素をカラムに充填し、ポリ乳酸を有機溶媒又は超臨界流体中、加水分解酵素の存在下解重合させ、再重合可能なオリゴマーを生成させるポリ乳酸の解重合法を確立した。超臨界流体を反応溶媒として用いた場合、反応後に系の圧力を元に戻すだけで、反応溶媒を系外に容易に放出することができ、特に超臨界流体として二酸化炭素を用いた場合には環境を汚染することは無く、完全循環型利用方法を確立することができる。
固定化酵素カラムを用いる連続オリゴマー化  図 固定化酵素カラムを用いる連続オリゴマー化

実験条件及び分析手法

固定化酵素充填カラムによる脂肪族ポリエステルオリゴマーへの変換

- ⇒ PCL, PBAやPHBなど脂肪族ポリエステルを連続的にカラムに通すことで、相当する環状オリゴマーへと変換
- 疎水性有機溶媒を単独で用いた場合に比べ、scCO₂を用いるとポリマーの分解性は向上し、40℃でも十分な分解活性を得られる。
- この操作条件で酵素充填カラムの寿命は少なくとも6ヶ月保持された



連続的に再重合可能なポリエステルオリゴマーの解重合法の確立

その他特記事項

- ※ 移動相として有機溶媒、超臨界二酸化炭素 (scCO₂) を用いており、混合比は送液ポンプの流速で決定
- ※ 系の圧力を元に戻すだけで、反応溶媒を系外へ容易に排出できる

タイトル
(1)⑥固体酸触媒によるポリ-L-乳酸のケミカルリサイクル
研究者名
慶應義塾大学 理工学部 応用化学科 松村 秀一 教授
文献名
グリーンプラジャーナルVOL14, pp14-17, 2004 ケミカルエンジニアリング10月号, pp37-42(773-778), 2005 Macromol. Biosci. 2005, 5, 813-820
分析項目・扱っているリサイクル方法
・ポリ-L-乳酸の分解及び重合 ・ポリ-L-乳酸のケミカルリサイクル
目的
固体酸を用いるケミカルリサイクル法は、多彩なグリーンポリエステルのオリゴマー化に適用可能である。加えて、従来の熱分解や酸塩基を用いる方法と比べて、より低温で進行し、かつ高選択性を有する環境低負荷型ケミカルリサイクル法といえる。本研究では固体酸として、環境親和性が高く、安価で大量入手可能なモンモリロナイトK10 (MK10) を用いて、ポリ乳酸のオリゴマー化を可能にし、オリゴマーをSnCl ₂ /p-TSA触媒で再重合することで、ポリ乳酸のケミカルリサイクルの実現を目指している。
バイオリサイクル ケミカルリサイクル
図 PLLAの固体酸触媒によるケミカルリサイクル

実験条件及び実験結果	
試料	ポリ-L-乳酸 (PLLA) 分子量 120 000 (分子量分布 1.5)
固体酸触媒反応条件	窒素雰囲気下、PLLAとMK10をトルエン中に溶解し、100℃で6時間反応させる
分析手法	分子ふるいクロマトグラフィー (SEC), 溶液 ¹ H NMR法, 溶液 ¹³ C NMR法, MALDI-TOF MS, FT-IR, HPLC
① MK10触媒によるPLLAの分解反応：MK10におけるPLLA分解反応条件の最適化とMK10触媒のリサイクル性 i) 上の条件で分解反応 → 収率 93%で、平均分子量 300のLAオリゴマーが得られた。 ii) PLLA分解反応における溶媒による違い → o-キシレン、クロロベンゼン、トルエンでは高い分解性を示したが、アセトニトリル、1,4-ジオキサン、DMFでは分解性が低下した iii) トルエンに溶解したPLLAより生成したLAオリゴマー分子量の反応温度依存性 (70-110℃) → LAオリゴマー分子量は100℃において最も低くなった。また触媒なしで同条件で行った場合は分解しない。 iv) 反応に使用したMK10を、ろ過→水で洗浄→1日室温減圧下で乾燥した後に再利用実験 → MK10の再利用の結果、少なくとも5回までは触媒活性はそのままであった。 ↓ オリゴマーの収率、分子量について高い性能を示し、反応溶媒及び温度についても最適化された。また、MK10触媒は少なくとも5回は再利用可能であった	
② 得られたLAオリゴマーの再重合反応：分解したオリゴマーの再重合性について ・分解により得られたLAオリゴマー (300mg) +0.9wt% SnCl₂/p-TSA(モル比1:1)、175℃、6時間、減圧条件(17mmHg)で塊状重合 → 分解により得られたLAオリゴマーを重合した結果、分子量 170000 (分子量分布 2.4)、収率65%で PLLAが得られた。しかし、重合過程において、少量のD体の混入 (約2%) が確認された。 ・市販のPLLA, 再重合したPLLA, L体を化学重合したPLLAの物性比較(分析 ¹³C NMR法, DSC) → リサイクルしたPLLAは元のPLLAに比べ、ほとんど物性は変化しなかった。 ↓ 得られたLAオリゴマーは再重合可能であり、オリゴマーを重合したPLLAは物性がほとんど変化しなかった	

③ MK10触媒によるPLLAの末端エチルエステルLAオリゴマー化反応：線状オリゴマーの重合反応性について

- ・ PLLA(5.0g)を含2.8mLエタノール 50mLトルエン溶液中で無水MK10 20gを加え、窒素雰囲気下、100℃、6時間で分解
 - 末端エチルエステル化した(5量体以下の) LAオリゴマーが得られた。
 - 環状オリゴマーは確認されなかった
- ・ 得られたLAオリゴマー3.0gを、1.0wt% SnCl₂/p-TSA(モル比1:1)存在下で、175℃、6時間、減圧条件(17mmHg)で塊状重合。その後さらに、105℃、2時間、3mmHg +150℃、20時間、3mmHg で続けて重合
 - 末端エチルエステル化したLAオリゴマーの重合物は、収率 81%、平均分子量12000と比較的低分子量のPLLAが得られた。
 - 重合を進めたPLLAは平均分子量 31000(分子量分布1.7)、収率 41%で得られた



エタノールを系に混合すると、オリゴマー末端がエチルエステル化された線状オリゴマーが生成する。このオリゴマーの重合は低収率であった。

その他特記事項

- 固体酸を用いたケミカルリサイクルの長所
 - ・ 従来の熱分解や酸・塩基を用いる方法と比べて、より低温、より選択性がある環境低負荷型ケミカルリサイクル法
 - ・ 固体酸は溶媒に不溶な酸触媒であり、可溶性酸と比較して以下のような優位性を有する
 - i) 刺激臭や腐食性がない
 - ii) 危険性が少ないため、取り扱いが容易
 - iii) ろ過により飯能駅から固体酸を分離可能
 - iv) 塩基によるエステルの加水分解のように生成物が塩を形成することなく、そのまま再重合可能な遊離カルボン酸が得られる
 - v) 回収された固体酸は再利用可能
 - vi) 酵素と比べて、高温条件での使用が可能
 - ・ 用いる固体酸 モンモリロナイトK10：スメクタイトの一種であり、環境親和型に加え、安価で大量入手が可能

タイトル
(1)⑦プラスチック分解遺伝子の探索とモノマーリサイクル
研究者名
筑波大学大学院 生命環境科学研究科 助教授 中島 敏明
文献名
SORST ジョイントシンポジウム (4) クロスオーバーする生命と化学 講演要旨集 , pp67-70, 2005. 11月 平成17年度11月 日本生物工学会大会 講演要旨集 発表番号1S2-PM1 ○中島 敏明 (筑波大院 生命環境)
分析項目・扱っているリサイクル方法
ポリブチレンサクシネート-co-アジペート(PBSA), ポリ(ε-カプロラクトン) (PCL), 固体のポリエステル系ポリウレタンの完全モノマー化
目的
現在流通している生分解性プラスチックのほとんどは、加水分解を受けやすいポリエステル構造を有しているため、モノマー化が比較的容易である。酵素を用いたリサイクルを確立するためには、強力なプラスチック分解酵素の存在が大前提となるが、生分解性プラスチックは自然界において微生物の分泌する酵素によって分解されることが明らかであるため、酵素の探索がしやすいというメリットもある。 そこで本研究では、新規プラスチック分解酵素の探索を目的とし、以下を行う。 ・ポリウレタン分解菌, 生分解性プラスチック分解菌の探索 ・固体状態での生分解性プラスチック分解菌探索におけるメタゲノムスクリーニング (下図参照) の可能性
メタゲノムスクリーニング 図 プラスチック分解遺伝子探索とモノマーリサイクル

実験条件及び分析手法・実験結果

① ポリウレタン分解菌と酵素：ポリウレタン分解酵素の探索

- ・ポリウレタン資化性菌 *Comamonas acidovorans* TB-35株の分離、酵素遺伝子クローニング、酵素の立体構造予測
→ 固体高分子に分解活性を持っている
(既存の分解酵素が固体分子を基質とできる分解酵素に創製できる可能性を示唆)
→ 真核生物にしか知られていなかった触媒部分のアミノ酸配列を持っている
- ・ウレタン結合切断菌 *Rhodococcus equi* TB-60株の取得、分解酵素、遺伝子のクローニング
→ ポリウレタン資化性菌のもつ酵素との共存によるポリウレタンの完全モノマー化の可能性が示唆された



ポリウレタンの完全モノマー化の実現可能性示された

② 酵素による生分解性プラスチックのモノマー化・生分解性ポリエステル分解酵素の探索

- ・ポリ乳酸分解菌 *Paenibacillus amylolyticus* TB-13株の取得、分解実験
→ 他の生分解性プラスチックを分解可能
→ 酵素の分子量が小さいため、今後のタンパク質工学を用いた酵素の改変による性能向上が期待できる
- ・PBSAを強力に分解する細菌 *Leptothrix* sp. 3A株の取得、分解実験
→ 他の栄養存在下でPBSAを48時間以内に完全分解
→ 各種生分解性プラスチックフィルムを1時間程度で分解、モノマー化
→ 選択的モノマーリサイクルに適している



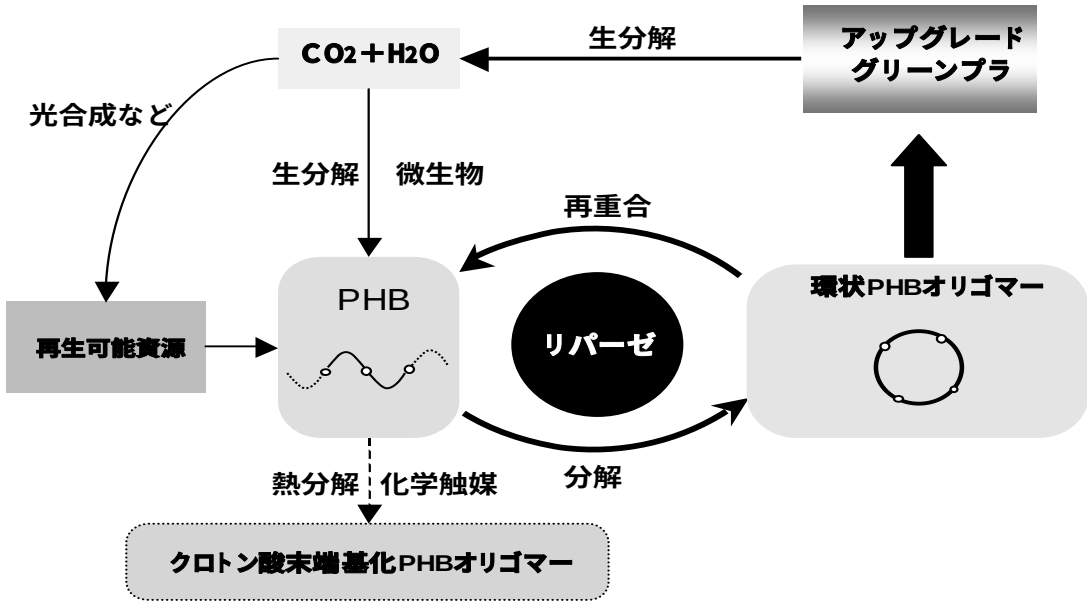
選択的モノマーリサイクル、生分解性ポリエステルのモノマー化が可能

③ メタゲノムライブラリーの構築、メタゲノムスクリーニング：新規分解酵素遺伝子の獲得

- ・土壌より直接DNAを抽出して、これ（メタゲノム）を大腸菌に組み込んで発現、大腸菌に対してスクリーニング
→ 培養困難な菌がプラスチックの分解に関わっていることを示唆



複数の新規分解酵素遺伝子の獲得

タイトル
(2)①ポリヒドロキシアルカン酸 (PHA) の酵素触媒重合とケミカルリサイクル
研究者名
慶應義塾大学 理工学部 応用化学科 松村 秀一 教授
文献名
グリーンプラジャーナルVOL14, pp14-17, 2004 バイオサイエンスとインダストリーVOL63, NO8, pp568-571, 2005 ケミカルエンジニアリング10月号, pp37-42(773-778), 2005 Macromol. Biosci. 2005, 5, 664-652
分析項目・扱っているリサイクル方法
・PHAの分解及び重合 ・PHAのケミカルリサイクル
目的
バイオポリエステル ポリヒドロキシアルカン酸 (PHA) は、一般の化学的手法 (熱分解、酸塩基触媒など) ではケミカルリサイクルが難しい。そこで本研究では、リパーゼのような酵素触媒を利用することで、PHAの分解によるオリゴマー生成及び再重合を可能にし、PHAのケミカルリサイクルの実現を目指している。また、ポリマーからオリゴマーへの変換 (解重合) により得られた環状オリゴマーはラクトン類と共重合させることで、元の微生物由来のバイオポリエステルでは得られない新たな物性を有する物質を設計することができると思われ、アップグレードリサイクルが期待される。  The diagram illustrates the degradation and recycling of PHB (poly(3-hydroxybutyrate)). It shows a central PHB polymer chain. 1. Biodegradation Cycle: PHB is broken down by '微生物' (microbes) into 'CO₂ + H₂O'. This can lead to 'アップグレードグリーンプラ' (upgraded green plastic) via '生分解' (biodegradation). Alternatively, 'CO₂ + H₂O' can be used for '光合成など' (photosynthesis, etc.) to create '再生可能資源' (renewable resources), which then feed back into PHB production. 2. Chemical/Thermal Degradation Cycle: PHB can undergo '熱分解' (thermal degradation) or '化学触媒' (chemical catalysis) to become 'クロトン酸末端基化PHBオリゴマー' (crotonic acid-terminated PHB oligomers). This is labeled as a '非酵素的ケミカルリサイクル: PHBへ再生不可' (non-enzymatic chemical recycling: PHB cannot be regenerated). These oligomers can be further processed into '環状PHBオリゴマー' (cyclic PHB oligomers), which can then be '再重合' (re-polymerized) back into PHB using 'リパーゼ' (lipase) as a catalyst. The cyclic oligomers can also be used for 'アップグレードグリーンプラ'.
図 バイオポリエステル (PHB) の酵素分解と化学分解・熱分解

実験条件及び分析手法と実験結果

試料

ポリマー試料

- ・P(3HB-co-12%3HHx) 分子量 260000 (分子量分布 1.2)
- ・P(3HB-co-12%3HV) 分子量 190000 (分子量分布 1.3)
- ・P(3HB) 分子量 230000 (分子量分布 1.7)

分解酵素

- ・分解酵素: Granulated *Candida antarctica*由来リパーゼGCA
- ・PHB分解酵素(PHBDP): *Alcaligenes faecalis* T1及び*Pseudomonas stutzeri* YM1006由来PHB分解酵素

① P(3HB-co-12%3HHx)の酵素触媒分解：P(3HB-co-12%3HHx)の最適解重合条件の決定

- ・窒素雰囲気下、酵素濃度2000 wt%に3.3 mg/mLポリマートルエン溶液を100℃、24時間反応
→ 分子量分布の狭く、3HBと3HHxを含む環状オリゴマー (分子量330) まで完全に分解された
- ・分解により得られたオリゴマーの分子量と収率を以下の条件で実験
 - i) 反応時間 0～40時間
→ 反応時間40時間で最大収率、低分子量オリゴマーの生成が確認
 - ii) 反応温度 60～100℃
→ 反応温度70℃で最大収率、低分子量オリゴマーの生成が確認、80-100℃では酵素が不活性化
 - iii) 酵素濃度 0～2000 wt%
→ 酵素濃度1000wt%で最大収率、低分子量オリゴマーの生成が確認され、それ以上の濃度ではほぼ変化しない



より低分子かつ高収率のオリゴマー生成を可能にする最適反応条件を得た

② P(3HB-co-12%3HHx)の線状オリゴマーへ酵素触媒分解

⇒ P(3HB-co-12%3HHx)の解重合において線状オリゴマーの生成は可能か？

- ・窒素雰囲気下、酵素濃度1000 wt%に含0.05wt%エタノール、6.6 mg/mLポリマートルエン溶液を70℃、24時間反応
→ 分解により得られたオリゴマー (分子量330) は、全て線状で得られた



低分子量の線状オリゴマーの生成条件を得た

③ P(3HB-co-12%3HV)の酵素触媒分解：ポリマー組成の異なるPHAの場合での最適解重合条件の決定

- ・窒素雰囲気下、酵素濃度2000 wt%に3.3 mg/mLポリマートルエン溶液を100℃、24時間反応
→ 生成オリゴマーの平均分子量は540であり、90～100℃では温度上昇に伴い平均分子量は低下 (100℃のとき極小値)



同じPHAでもポリマー組成により最適解重合条件が異なることが示された

④ オリゴマーのリパーゼを用いた再重合：解重合したオリゴマーは再生可能か？

- ・窒素雰囲気下、酵素濃度100 wt%に20 mg環状オリゴマー（平均分子量 460）100 μ L トルエン +40 mg分子ふるい3A溶液を70°C、24時間反応
→ PHAポリマーが平均分子量6800, 分子量分布2.8, 収率78%で得られた



リパーゼを用いたオリゴマー再重合では元のPHAポリマーより分子量が低い再生ポリマーが得られる

⑤ PHB分解酵素によるPHBの分解とリパーゼによる再重合：異なるPHB分解酵素で得られるオリゴマーの違い及び再重合によるリサイクルは可能か？

- ・分解反応：窒素雰囲気下、P(3HB)(5.0mg) + PHBDP(1.0 μ g/mL) + エーテル(0.4mL)混合溶液を、60°C、20及び50時間反応させる
→ i) *Alcaligenes faecalis* T1由来PHBDPでは、1-3量体のオリゴマーが得られた
(反応時間が長くなるほど、1量体が増加、2量体が減少、3量体は変化なし)
ii) *Pseudomonas stutzeri* YM1006由来PHBDPでは、主に2量体 that 得られた
→ 酵素の基質特異性の違いに由来

- ・再重合反応：窒素雰囲気下、*Candida antarctica*由来リパーゼCA(50mg) + 線状R-3HB 1量体及び2量体(50 mg) + 0.1M リン酸バッファー(pH 7.5)(1.0mL)混合溶液を、37°C、15時間反応させる
→ 60°Cで分子量が最も増加し、50°C以下及び70°C以上で分子量は減少する
→ 分子量は反応時間が長くなるほど増加するが、あまり高分子量のものとは得られない
(3日で平均分子量2000)



2種のPHB分解酵素では生成するオリゴマーが 異なり、再重合では完全にポリマーを再生できない

その他特記事項

○PHAのケミカルリサイクルの長所

- ・PHAは微生物による1段階合成が可能であるバイオベースポリマーである
- ・酵素触媒より得られる環状オリゴマーは光学活性であり、他の機能物質創製にも有用

○PHAのケミカルリサイクルの短所

- ・酵素で再重合生成したP(3HB)は、分子量が低すぎて、実際の応用が難しい
- ・PHAは完全にキラルな分子構造から、従来の化学的方法での循環型ケミカルリサイクルが困難

タイトル
(3)①溶剤の有無によるPCLのケミカルリサイクル手法の開発
研究者名
大阪大学大学院光学研究科 教授 宇山浩
文献名
大阪大学HP http://www.chem.eng.osaka-u.ac.jp/~uyamaken/TopPage-n3.htm
扱っているリサイクル方法
・PCLのオリゴマーへの分解と再重合
要点
近年、リパーゼ触媒を用いる脂肪族ポリエステル合成が生分解性高分子材料の新しい合成手法として確立しつつあるが、溶媒中のリパーゼの触媒作用を利用することで、脂肪酸ポリエステルPCLのケミカルリサイクルを行うこともできる。 脂肪酸ポリエステルは、通常、有機溶媒中でリパーゼ触媒能を受けた際にはポリエステルの合成が進行するが、反応条件を選ぶことで分解を起させることも可能である。そのような条件下で高分子量PCLをリパーゼ触媒により分解し、分子量数百のオリゴマーに変換した。次に、溶媒を減圧下で留去して残ったオリゴマーと酵素をそのまま加熱するとポリマーが再び合成された。同様の操作は繰り返し行うことができる。 以上のとおり、溶媒の有無という極めて簡単な条件設定により、重合・分解を制御するというPCLの新規ケミカルリサイクル手法を提案した。
<pre> graph LR A[ポリマー] -- "酵素/有機溶媒" --> B["モノマー
(オリゴマー)"] B -- "酵素/無溶媒" --> A </pre>

タイトル
(3)②有機溶媒系における酵素触媒を用いたポリ(ε-カプロラクトン) (PCL) ケミカルリサイクル
研究者名
慶應義塾大学 理工学部 応用化学科 松村 秀一 教授
分析項目・扱っているリサイクル方法
・PCLの分解及び重合 ・PCLのケミカルリサイクル
要点
石油由来の代表的な生分解性プラスチックの一つである、ポリ(ε-カプロラクトン) (PCL) は7員環のε-カプロラクトンの開環重合により工業的に得られる。PCLはリパーゼのような酵素触媒によって再重合可能な環化体を主成分とするオリゴマーまたは環状ダイマーである、ジカプロラクトン(DCL)への選択的変換がされ、またオリゴマーやDCLはリパーゼにより容易に再重合し、PCLが再生されるケミカルリサイクルが期待される。本研究では酵素触媒反応において、ポリマーを溶解する有機溶媒系におけるPCLのケミカルリサイクルを目指す。 図 PCLの酵素による循環型ケミカルリサイクル

実験条件及び分析手法

試料

- ・PCL: 分子量 110000 (分子量分布 1.6)
- ・酵素: *Candida antarctica* 由来リパーゼCA 7000PLU/g

酵素反応条件

- ・アルゴン雰囲気、減圧条件下、 ϵ -CL, ϵ -CLオリゴマー,PCLとリパーゼCA混合トルエン溶液に70°Cで反応

・トルエンを除いた同条件下において塊状重合

①PCLポリマーの重合: 有機溶媒の有無によるポリマー生成

- ・ ϵ -CL(100 mg)、1 wt%リパーゼCA存在下で24時間反応
 - PCL 分子量 25 000(分子量分布 1.6) 収率 99%以上
- ・トルエンを除いた同条件下において塊状重合
 - PCL 分子量 16 000(分子量分布 1.6) 収率 41%



有機溶媒の存在下の方がPCLは重合しやすい

②PCLのオリゴマーへの酵素分解: PCLの分解生成物について

- ・市販のPCL (2.0 g) +10 wt% リパーゼCA (20 mL トルエン+7.5 mL水 存在下) で6時間反応
 - 得られたPCLオリゴマーは、平均分子量 1100 (分子量分布 1.3)、大部分が環状オリゴマー
- ・重合したPCL (2.0 g) +10 wt% リパーゼCA (2 mL トルエン+0.75 mL水 存在下) で6時間反応
 - 得られたPCLオリゴマーは、平均分子量 1100 (分子量分布 1.3)
- ※ 酵素非存在条件下では分解は起こらなかった



市販、重合したPCLどちらにおいても、同程度の分子量のオリゴマーが生成した

③分解から得たCLオリゴマーの再重合: 水の有無によるPCLの分解性の違い

- ・水を除去した分子量 1100 ϵ -CL(2.0 mg)+10wt% リパーゼCAのトルエン溶液中で6時間反応
 - 高分子量PCL (分子量 79000 (分子量分布 1.6) 収率 75%) 生成
- ・分子量 2600 環状PCLオリゴマーのみ (20 mg) を5wt%リパーゼCAのトルエン溶液中で24時間反応
 - PCL (分子量 12000(分子量分布 1.8) 収率 99%以上) が生成
- ・同条件で酵素を入れていない系で反応
 - 反応しない



水存在下の方が高収率、低分子量のオリゴマーが得られた

④ 酵素のリサイクル：酵素の再利用性の確認

- ・重合に利用した酵素の回収し、分解反応に再利用
→ 酵素活性に変化なし



酵素は再利用可能

その他特記事項

- リパーゼを用いたその他のケミカルリサイクル事例
 - ポリウレタン (PUU) の酵素触媒を用いたケミカルリサイクル
 - ポリ (テトラエチレンカーボネート) (P(TMC)) の酵素触媒を用いたケミカルリサイクル
 - ポリブチレンサクシネート (PBS)、ポリブチレンアジペート (PBA) の酵素触媒を用いたケミカルリサイクル
- なお、有機溶媒の代わりに超臨界二酸化炭素を用いる実験も行っている

3-2 バイオマスプラスチックのマテリアルリサイクル技術

バイオマスプラスチックのマテリアルリサイクルについては、市場での流通量が少ないこともあり、これまで検討された事例はほとんどない。本年、バイオマスプラスチックが多量に利用された愛・地球博において、マテリアルリサイクルの実証試験が行われたのが数少ない事例の1つと言える。例えば、昭和興産では、愛・地球博で使用された食器類の端材等を原料として、本年秋に開催された岡山国体で使用するプランターを製造するなど、PLA のマテリアルリサイクルに係る実証実験を行っている。(詳細は参考資料 2 参照)

4. バイオマスプラスチックの適用が期待される用途の回収・リサイクル状況

ここでは、バイオマスプラスチックの適用が期待される用途について、現状のプラスチック利用状況や、回収・リサイクルシステムの整備状況を整理した。本章で調査対象としたのは、表 4-1 に示す 16 品目である。

表 4-1 調査対象とした 16 品目

対象分野	具体的品目
4-1 店舗資材	(1) ポリオレフィンフィルム（レジ袋、傘袋、クリーニング袋）
	(2) レジかご
	(3) ハンガー
	(4) マネキン等その他店舗備品
4-2 物流資材	(5) コンテナ
	(6) パレット
	(7) 搬送用ストレッチフィルム
	(8) 発泡スチロール
4-3 耐久製品	(9) 家電
	(10) パソコン
	(11) 複写機
	(12) 携帯電話
4-4 その他	(13) 飛行機チケット
	(14) ヘッドレストカバー
	(15) プラスチックカード類

4-1 店舗資材

(1) ポリオレフィンフィルム（レジ袋、傘袋、クリーニング袋等）

○市場参入状況

- ・ ポリオレフィンとはポリエチレンやポリプロピレンなどの合成樹脂の総称であり、ポリオレフィンフィルムとは、これらの合成樹脂を薄いフィルム状に成形したものを指す。なお、オレフィンとは、分子中に二重結合を1個持ち、 C_nH_{2n} で表わせる脂肪族不飽和炭化水素の総称であり、エチレンやプロピレンなどの合成樹脂向け原料を指している。
- ・ ポリオレフィンフィルムの主な用途としては、以下が挙げられる。

表 4-2 ポリオレフィンフィルムの主な用途

樹脂	主な用途
P P	パン、菓子、麺類、たばこ、クリーニング
H D P E	ごみ袋、農業用（マルチ等）、砂糖・塩、重袋（米、肥料）、食品用ラップ
L D P E	レジ袋、ごみ袋、規格袋、産業用

- ・ ポリオレフィンフィルムの国内出荷量は合計で約81万tであり、うちレジ袋は14.6万t、ごみ袋は8万t程度である。一方、輸入については、ポリエチレンフィルム製品の統計があり、袋・フィルム合計で51.6万t、うち袋が42万tと、輸入製品のシェアが高いことがわかる。

表 4-3 ポリオレフィンフィルムの国内出荷量

単位 数量：t 対前年比：

樹脂別用途 年 ・ 月		L D P E フィルム					H D P E フィルム					I P P フィルム	合 計
		産業用	ごみ袋	農業用	その他	計	レジ袋	ごみ袋	農業用	産業用・ その他	計		
2002年	数 量	295,241	62,016	48,258	171,383	576,898	161,312	34,888	490	115,068	311,758	31,230	919,886
2003年	数 量	301,829	57,909	49,715	172,218	581,671	155,398	34,624	424	118,035	308,481	29,136	919,288
	対前年比	102.2	93.4	103.0	100.5	100.8	96.3	99.2	86.5	102.6	98.9	93.3	99.9
2004 年	数 量	283,393	50,973	41,009	131,684	507,059	145,676	31,921	450	102,306	280,353	19,655	807,067
	対前年比	101.2	101.6	112.2	105.1	103.0	103.0	105.2	171.1	102.9	103.3	97.5	103.0

(出所) 日本ポリオレフィンフィルム工業組合

表 4-4 ポリエチレンフィルム製品の輸入量

単位：t/年

年・月	袋									フィルム	袋・フィルム
	韓 国	中 国	台 湾	タ イ	マレーシア	フィリピン	インドネシア	その他	計	計	合計
2001年	9,175	106,350	20,245	49,073	29,773	12,860	45,718	17,423	290,617	65,491	356,108
2002年	8,879	134,983	18,848	57,413	32,068	17,026	54,456	20,285	343,958	68,442	412,400
2003年	2,747	165,072	16,399	65,059	31,529	19,413	60,803	21,997	383,019	79,478	462,497
2004年	2,190	188,339	14,308	70,849	33,142	20,089	70,810	20,327	420,054	95,704	515,758

(出所) 日本ポリオレフィンフィルム工業組合

①レジ袋について

○市場参入状況

- ・ 国内の主要メーカーは、スーパーバッグ（株）、福助工業（株）、中川製袋化工（株）、大倉工業（株）、ザ・パック（株）などで、このうち、福助工業（株）では、PLAを原料としたコンポスト用袋（エコレックス）を製品化している。

○市場流通状況

- ・ レジ袋の国産出荷量は表 4-3 に示すように 14.6 万 t である。一方、輸入については詳細不明であるが、日本ポリオレフィンフィルム工業組合では、輸入量の 50%がレジ袋であるとみている。したがって、レジ袋の国内需要は約 35 万 t（＝14.6 万 t＋21 万 t）と推計される。
- ・ なお、ここでいうレジ袋には、スーパーなどで一般的に使用されている U 字型にカットしたいわゆるレジ袋の他、書店や衣料品の包装に使われるスクウェアの袋を楕円形にカットした袋なども含まれる。
- ・ レジ袋の主要ユーザー別の消費量及び輸入品比率を以下に示す。これによると、主要ユーザーのほとんどが輸入品を利用していることがわかる。なお、輸入品の中には、国内メーカーの海外工場からの輸入分も含む。

表 4-5 主要ユーザーのレジ袋消費量と輸入品比率（2002 年）

	消費量（t / 月）	輸入品比率（％）
セブンイレブン	7 0 0	ほぼ 1 0 0
ローソン	5 7 0	8 0
ファミリーマート	4 0 0	ほぼ 1 0 0
サンクス	2 4 0	ほぼ 1 0 0
デイリーヤマザキ	2 0 0	8 0
イトーヨーカ堂	3 0 0	7 5 ～ 8 0
ダイエー	2 5 0	7 0 ～ 7 5
ジャスコ	2 0 0	7 0 ～ 7 5
西友	1 5 0	9 0
高島屋	2 0	3 0

（出所）（株）日本経済総合研究センター『包装資材シェア事典 2002 年版』

○レジ袋の仕様

- ・ レジ袋は、流通し始めた 1977 年頃は 30～35 μm だったものが、1995 年頃（容器包装リサイクル法の施行以前）には 25 μm に、現在は 12～18 μm 程度となっている。
- ・ 利用用途や利用者によって使われ方が大きく変わることから、引っ張り強度、伸び強度などの高度な機能が求められる。
- ・ 容器包装リサイクル法の理念を踏まえ、店舗がレジ袋の有料化を行う場合、レジ袋に求められる仕様が大きく変わる可能性がある。繰り返し使える厚手のレジ袋に対するニーズが発生すること考えられ、PLA を導入する可能性は出てくることも考えられる。

○レジ袋のコスト構成

- ・ レジ袋は、海外メーカーでの生産、薄膜化等の工夫を凝らし、極限まで低コスト化を図っている商品である。そのため、商品に占める素材原価の占める割合が 70～90% と非常に高く、素材コスト上昇の影響が非常に大きい。

○レジ袋のリサイクルシステム

- ・ 消費者はごみ袋として利用していることが多く、回収は難しい可能性もある。

○レジ袋への PLA 利用の課題

- ・ ポリ乳酸を使った場合、強度面で課題があるほか、コスト上昇が課題となる。間接資材において、性能低下、高コスト化は許容しにくい。
- ・ 既存のレジ袋生産設備に対し、新たな投資が必要になることが懸念される。

②クリーニング袋について

- ・ クリーニング袋は、役務提供に付する容器包装であり、商品に付されているものではないため、容器包装リサイクル法の対象外となっている。
- ・ 正確な統計数値は把握されていないが、全国クリーニング生活衛生同業組合連合会によると、以下の試算が日本ポリオレフィンフィルム工業組合で行われており、総消費量は2万tと考えられる。

表 4-6 クリーニング袋の消費量推計（2004 年）

樹脂	消費量（千t/年）
合計	約20
うちPP	12～13
うちLLDPE	4～5
うちHDPE	1

（出所）全国クリーニング生活衛生同業組合連合会資料

- ・ 表 4-7 は、クリーニング需要の推移をみたものであるが、家庭用洗濯機の性能向上や衣料品の品質向上などにより、需要が低下してきているのがわかる。

表 4-7 クリーニング需要の推移

年	クリーニング 所数(1)	取次所数 (2)	計(1)+(2)	全国年間洗濯 代(億円)	世帯数
55	58,157	58,811	116,968	5,667	35,976,517
60	56,058	83,284	139,342	7,475	38,987,773
元	55,257	103,716	158,973	8,317	41,156,485
5	51,229	104,839	156,068	8,183	43,665,843
10	48,103	115,896	163,999	6,700	46,811,712
11	47,324	115,703	163,027	6,557	47,419,905
12	46,595	115,752	162,347	6,015	47,062,743
13	45,848	113,953	159,801	5,517	48,637,789
14	44,505	112,607	157,112	5,465	49,260,791
15	44,041	111,068	155,109	5,173	49,837,731

○世帯数…総務省・全国住民基本台帳

○一世帯当たりの年間洗濯代…総務省統計局・家計調査報告

○一般クリーニング所数、取次所数、クリーニング総施設数…厚生省生活衛生局指導課・環境衛生関係営業施設数調べ

（出所）全国クリーニング生活衛生同業組合連合会資料

- ・ 表 4-6、表 4-7 より、クリーニング店一箇所当たりの袋消費量は130kg/年程度となる。なお、クリーニング袋の重量は、およそ以下のとおりであり、平均を10gとすると、一店舗当たりの使用数は13,000枚程度となる。

表 4-8 クリーニング袋の重量

種類	重量（g/個）
小物・シャツ	3
セーター	7
スラックス	10
上着	17
コート	30

- ・ 全国クリーニング生活衛生同業組合連合会では、今年度より、クリーンライフ協会、日本クリーニング環境保全センターと連携して、ポリ包装資材等の自主回収システムの構築を検討している。

③傘袋について

- ・ 傘袋については、生産量や消費量の全国統計値がない。そこで、傘袋の主な使用主体である百貨店に問い合わせたところ、表 4-9 のような使用状況であった。百貨店 B によると、雨天時の一日当たり消費量は 4 千枚程度とのことである。

表 4-9 百貨店一店舗における傘袋の使用推計事例

	傘袋使用数 (万枚)	使用重量 推計	売場面積 (㎡)	売上高 (億円)
百貨店 A	24	2.4	86,758	1,387
百貨店 B	20	2	63,470	1,960

（出所）枚数はヒアリング事例、重量推計は 10g/枚として推計

- 表 4-10 の百貨店協会の売場面積の統計から、百貨店における傘袋の使用重量を推計すると、約 200 t（＝30 g /売場面積 m^2 ×689 万 m^2 ）となる。

表 4-10 全国百貨店の売場面積（2005 年 11 月末時点）

地 区	売場面積 (月末調) m^2	売場面積100 m^2 当たり売上高 千円	平均営業 日数 日	店舗数 店
全 国	6,888,975	10,051	29.9	282
6 大都市	2,666,743	14,434	30.0	71
東 京	955,460	18,079	30.0	27
大 阪	613,582	14,308	30.0	9
京 都	253,822	10,951	30.0	9
神 戸	169,840	10,672	30.0	6
名 古 屋	344,179	11,887	30.0	9
横 浜	329,860	11,382	30.0	11
6 大都市 以外の都市	4,222,232	7,282	29.8	211

（出所）日本百貨店協会資料

- スーパーについては、事業者へのヒアリングによると、総合スーパーで 6 万枚、大型食品スーパーで 2 万枚程度である。重量に換算すると、一店舗当たりの発生量は年間 1t 以下である。

表 4-11 スーパーにおける傘袋の使用事例

	平均発注枚数 (万枚/年)	平均重量推計 (t/年)	最小～最大
総合スーパー	5.6	0.56	5千枚～15万枚
大型食品スーパー	2	0.2	5千枚～3.5万枚

④食品容器包装材

1)卵パック

○リサイクルシステム

- ・ 既に一部地域では、地元業者や NPO 等による PET 製卵パックリサイクルシステムが構築されている。

○PLA の利用にかかる課題

- ・ 2005 年年末よりイオン株式会社において、PLA100%の卵パックの実用化がスタートし、従来の PE 製パックからの転換が進んでいる。
- ・ PLA 製卵パック製造にあたっては、従来品の PE 製のような開閉部分の構造的工夫が難しく、新規開閉方式（シール止め）を採用したため、卵パック製造工場への新規投資が必要になった。また、PLA 専用ラインではない製造ラインを使うため、PE から PLA に素材を変更する際に金型冷却時間が必要など、素材変更が製造工場に与える影響が大きい。

2)その他食品容器包装材

- ・ 卵パックのように形状で見分けることが難しい食品容器包装類については消費者に分別回収を求めることは困難である。

(2) レジかご（資料等調査、及び大手スーパー等ヒアリングによる）

○市場流通状況

- ・ レジかごの使用量については、統計値がないため、大手スーパーにヒアリングしたところ、経験的に以下のような使用量と推計された。

表 4-12 レジかごの店舗当たり使用量

店舗タイプ	使用個数
総合スーパー	4千～5千個
大型食品スーパー	1千個弱
ローカルの食品スーパー	5百個弱

- ・ 使用環境が大変厳しいため、頑丈に作られているが、ロス（盗難、紛失）が非常に多く、月間のロス率は5～10%くらいあると思われるため、年間では0.6～1.2回転している（1000個の在庫に対して新規に年間で600～1200個の追加需要がある）。

○レジかごの仕様

- ・ 大手スーパーへのヒアリングによると、耐用年数は平均5年程度である。
- ・ 使用者によって使い方が大きくことなるため、耐衝撃性、耐荷重等の強度に関しては高度な性能が求められる。

○レジかごへのPLA利用可能性

- ・ 軽量化、及び強度の向上について、工夫する必要がある。また、間接資材であるレジかごは低コスト化要求が高い分野であり、素材自体の低コスト化も必要となる。
- ・ 金型の作り直し等、既存生産設備に対する初期投資が大きい。

(3) ハンガー（資料等調査、及びハンガーメーカー等ヒアリングによる）

①アパレル業界におけるハンガー

○市場参入状況

- ・ ハンガーメーカーは日本に 20 社程度である。うち、リサイクルシステムを有する日本コパックのみがリース形式での納入、そのほかは全て販売形式で納入している。

○市場流通状況

- ・ アパレル業界で使用するハンガーには店頭用ハンガーと流通ハンガーとがある。
- ・ 店頭用ハンガーは、アパレル業者が新店舗オープン時に購入するもので、継続的に利用し、店舗が適宜廃棄している。展示用の高価なものが多い。
- ・ 流通ハンガーは、衣服を製造後、皺伸ばしを行うプレス工場（多くは海外に立地）で衣服を吊るすハンガーで、吊るした状態のまま小売店に納品している。従来、流通ハンガーは小売店到着後、展示用の店頭ハンガーに付け替えられ、全て産業廃棄物として廃棄されていた。
- ・ 流通ハンガーの使用量は年間 2 万 t 程度（5～8 億本）に上ると試算されている。なお、この産業廃棄物処理費用は年間 50 億円程度とされる

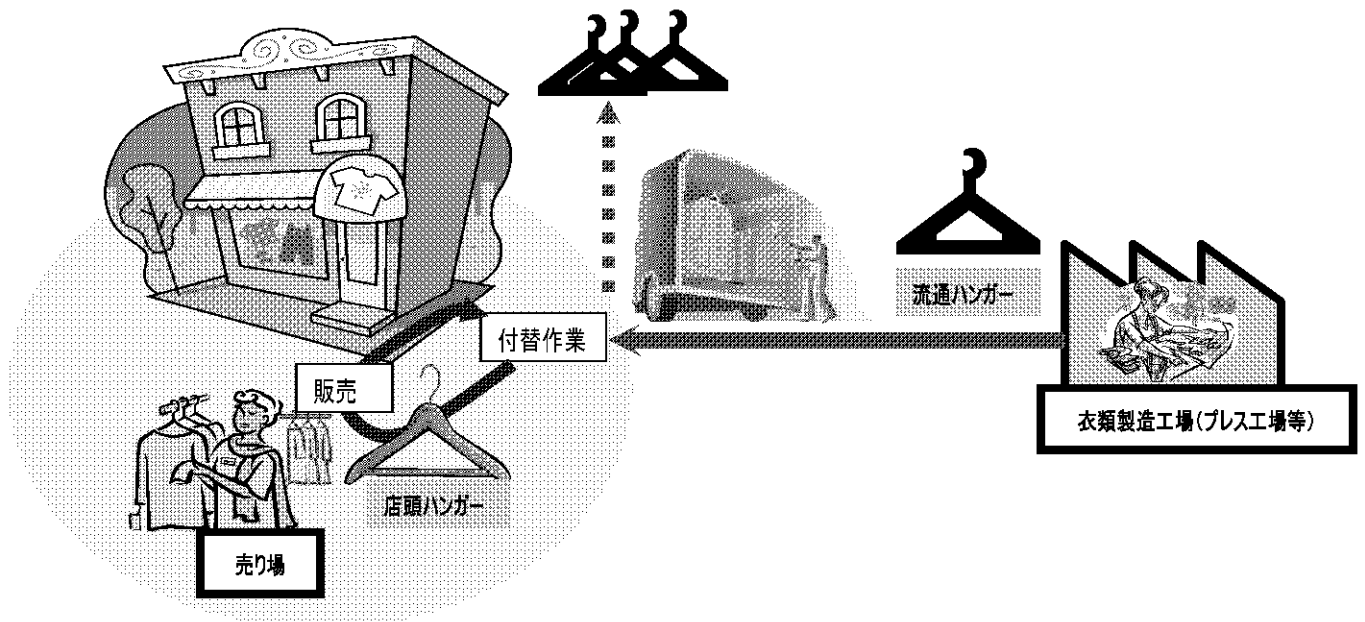


図 4-1 アパレル業界におけるプラスチックハンガー流通の概要

○環境に対する意識

- ・ 中国に立地するプレス業者等から中国産ハンガーに吊るされて日本に入ってくる衣服も多いが、ハンガーは市況に応じて最も安価なものを使っており、安全性に難

があるものが多い。鉛や臭素系難燃剤入り再生プラスチックが使われている懸念もある。

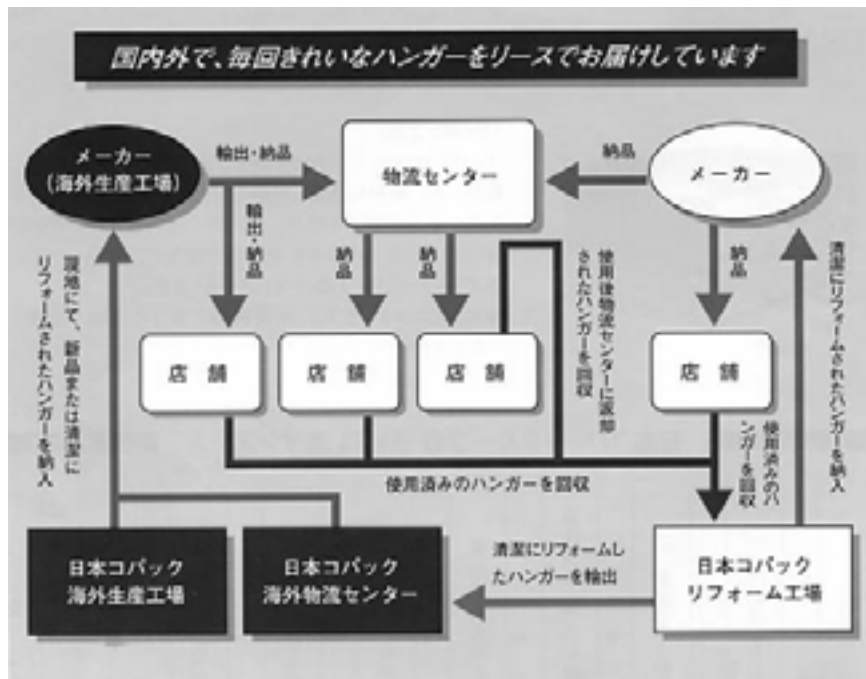
- ・ 中国産の安全性が不明なハンガーが大量に日本に持ち込まれ、日本で埋立処分等が行われていることは業界最大の懸念事項となっている。

○ハンガーに含まれるプラスチック類の量・質

- ・ 流通ハンガーの素材は一般的なものが柔らかいPP、ボトムハンガーは硬いPSが多い。
- ・ 流通ハンガーの機能性の最低条件は、①フェノール系の酸化防止剤による衣服の変色がないこと、②金属成分が含まれないこと、の2つである。
- ・ 衣服は必ず販売店に並ぶ前に必ず検針機を通るが、この際ハンガーに微量の金属が含まれると検針機が反応してしまう。リサイクルハンガーではPPM単位でも金属が含まれないように適切に管理する必要がある。
- ・ コンテナ船で海外から日本に輸送する際、コンテナ内の温度は最大で60℃以上になるため、最低70℃程度の耐熱性を要する。

○アパレル流通ハンガーのリサイクルシステム

- ・ 量販店では、一般のアパレル専門店と比べて衣服の取扱量が膨大であり、流通ハンガーから店頭ハンガーへの付け替え作業にかかる人件費、流通ハンガーの廃棄に係る費用が嵩むことから、流通ハンガーのリサイクルシステムが登場した。
- ・ リサイクルシステムを持つ大手ハンガーメーカーの日本コパック社では、プレス工場等で衣服を吊るす段階から、展示して遜色ない仕様のハンガーを用い、小売店到着後に付け替えることなくそのまま展示し、衣服が販売された後にハンガーを回収・リサイクルしている。
- ・ 回収したハンガーはリフォーム工場に運搬。リフォーム工場では洗浄・部品の付替え等を行い、海外のプレス工場等に納品（リユース）している。回収されたハンガーのうち、リユースできない品質のハンガーについては、マテリアルリサイクルを実施し、制度ハンガーに再生している。マテリアルリサイクルについては、リユース不適品が5～10t程度溜まってから破碎・選別を行い、素材をハンガー成形工場に持ち込んでいる。
- ・ 売り場でパート従業員に正確にリサイクルハンガーを分別してもらうことは難しく、回収量の半量程度、他メーカーのものが混入している。これらはリフォーム工場で分別しマテリアルリサイクルの上、持ち帰り用ハンガーとして使用している。
- ・ なお、リサイクルハンガーはリース形式で販売している。



(出所) 日本コパック HP <http://www.copack.co.jp/>

図 4-2 日本コパックにおけるハンガーリサイクルシステムの概要

- ・ 本リサイクルシステムは、量販店のほか、百貨店、一部大手アパレル専門店に導入されている。量販店と百貨店で使われているハンガーのうち、リサイクルハンガーは60%程度に上るのではないかと推定される。
- ・ なお、アパレル専門店については、1つの衣料品の製造に企画、縫製、流通、プレス等が完璧に分業され、市況に応じて各工程の体制が大きく変動しており、リサイクルシステムの継続的な運営が難しいことが多い。

○アパレルハンガーへの PLA 利用可能性

- ・ PLA は比重が 1.3 程度と重く、ハンガー重量が多少重くなる懸念がある。
- ・ 強度（耐荷重）については、PLA で大きな問題はないと考えられる。
- ・ PLA の耐熱性（56℃程度）は、70℃程度まで改善できればよい。

②クリーニング業界におけるハンガー

○市場参入状況

- ・ クリーニング業界とアパレル業界では、対応するハンガーメーカーも完璧に分かれている。
- ・ 町のクリーニング業者は器材商と呼ばれる、クリーニング専門商社からハンガーを含む備品を購入している。

○市場流通状況

- ・ クリーニング業界で使用されるハンガーは、アパレル業界の8～10倍程度ある。現在、その半数程度がプラスチック製、残りが針金製であるが、近年プラスチック製への転換が進んでいる。

○クリーニングハンガーのリサイクルシステム

- ・ 大手クリーニング業者は、自社内（店舗と工場の間）でハンガーをリサイクルしている可能性がある。
- ・ 容器包装リサイクル法への対応が難しいとして全国クリーニング生活衛生同業組合連合会から厚生労働省に申し入れを行い、厚生労働省はクリーニング用ハンガー等について自主的取組を求めている。
- ・ そこで、一部のクリーニング店舗では「○本返却すると5円」等のハンガー回収制度をはじめている。回収ハンガーはクリーニング店舗で保管し、次の機会に使っている。
- ・ クリーニング業界では衣替えのタイミングで大量にハンガー需要が発生するなど季節変動が著しく、リサイクルシステムの構築が難しい可能性が高い。また、業界団体の細分化、組織率の低さ等より、業界としての統一した取組は難しいと考えられる。

○ハンガーに含まれるプラスチック類の量・質

- ・ クリーニング業界では、アパレルに比べて単純な仕様の安価なハンガーを使っている。大半が中国等からの輸入品と予想される。

(4) マネキン等その他店舗備品（資料等調査、及び小売店・備品取扱業者等ヒアリングによる）

○市場参入状況

- ・ マネキン等の店舗備品については、マネキン専門メーカーというより、店舗什器設計全般を担っている業者が多い。

○市場流通状況

- ・ マネキン等一部の店舗備品については、リース会社よりリース形式で小売店に導入している。
- ・ 但し、市場規模は不明である。

○アパレルハンガーへの PLA 利用可能性

- ・ 従来、店舗備品や販売促進材については、素材の検討があまり活発に行われてこなかったと考えられる。今後、新たな取組としてポリ乳酸を検討する余地は期待される。

4-2 物流資材

(5) コンテナ（資料等調査、及び物流資材メーカーヒアリングによる）

○市場参入状況

- ・ コンテナメーカーは国内 7 社、うち、2 社（三甲、岐阜プラスチック）が大手でその他メーカーとの規模には開きがある。

○市場流通状況

- ・ 市場規模は 500～600 億円程度と考えられる。
- ・ コンテナ製造業界では、業界団体がなく、市場流通量等の統計的数値が不明である。
- ・ 納入形式は売り切り販売が大半である。納入先は農林水産業から機械部品メーカー、食品産業と非常に幅広い。
- ・ 一般的にコンテナメーカーは、代理店からオーダーを受けて製造しており、レディメイドのカタログ販売が多い。
- ・ コンテナの価格は 1000～5000 円/個程度である。

○コンテナ業界における環境意識

- ・ コンテナやパレットについては、価格が最も重視される。再生原料を使ったリサイクルパレットも、低コストが理由で選ばれていることが多く、コンテナユーザーの環境意識はあまり高くはない。
- ・ 但し、ISO14001 取得企業を中心に使い終わったものの産業廃棄物処理に配慮するケースが増えており、ゼロエミッションを実現するために回収・リサイクルルートを利用するユーザーが増えている。

○プラスチックコンテナの素材特性

- ・ PP100%、PE100%のいずれかである。現在は常温で使用するものは PP 製が多く、冷凍用では PE 製が多い。PP 製であれば使用後にマテリアルリサイクルの用途（物流資材、雑貨等）が多いため、一般用途には PP が使われるが、低温での衝撃強度に課題があることから、冷凍用では PE を使用している。
- ・ コンテナでは再生原料の使用はほとんどない。
- ・ 原料素材について、JIS 等の規定や認証は特にない。
- ・ 耐用年数は 10 年程度である。
- ・ 一般的なコンテナは 1 kg 程度の軽量である。

○プラスチックコンテナのリサイクルシステム

- ・ 全業界で見ると、ほとんどのコンテナ類は市場でロス（紛失）となり、回収されているのは 1/10 もないと予想される。

- ・ コンテナメーカーによると、納入先によっては使用後の回収を求められるケースがある。コンテナメーカーで回収したコンテナ類はプラスチック再生業者に処理を委託している。但し、回収が依頼されるものは、トラックで轢くなどして破損したもので少量である。また、突発的に廃業等に伴う大量の回収もある。
- ・ 引き取りにあたっては回収に係る運賃が問題になるが、石油価格高騰に伴い再生樹脂原料の需要が高まっているため、最近量はまとまればコンテナメーカーが回収するケースが多い。
- ・ 納入先からの依頼によるが、コンテナメーカーにおいて回収したコンテナは再生材とし、パレットとして再生することが多い。コンテナからコンテナへの再生については、顧客から依頼があれば行うが、異物の混入などがあると技術的に難しく、また、軽量なため、再生原料使用によるコスト低減のメリットが少ないため、レアケースである。

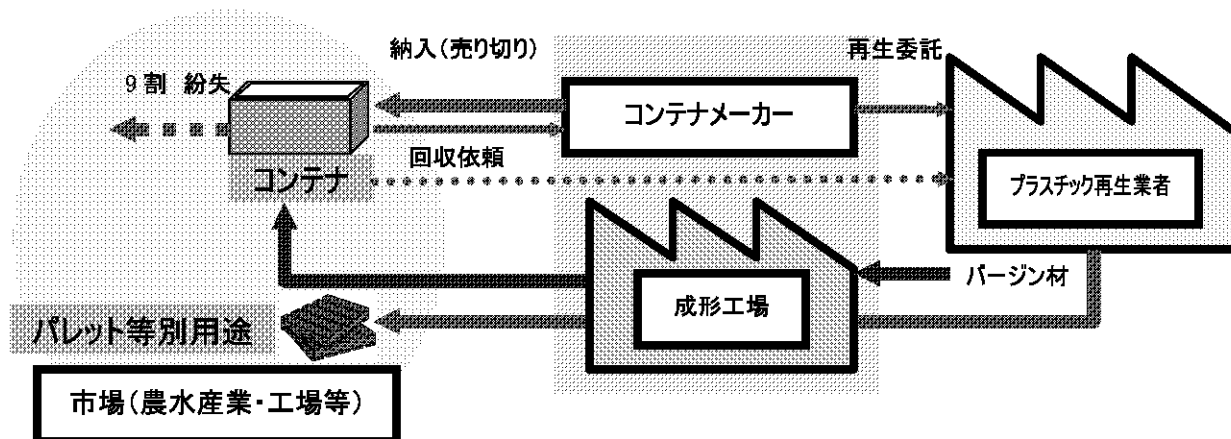
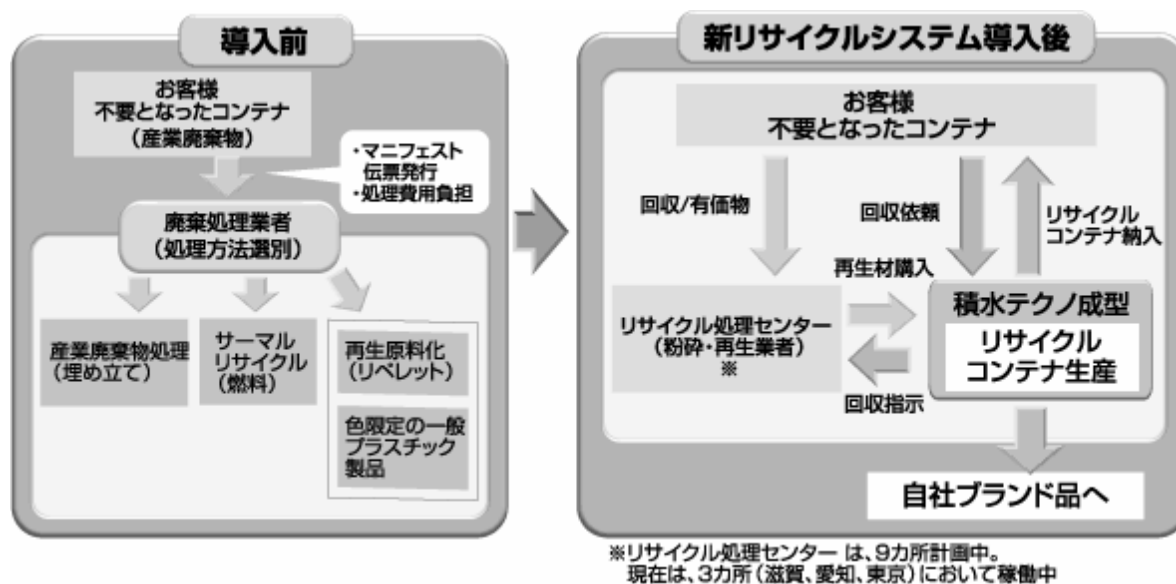


図 4-3 プラスチックパレットのリサイクルシステムの概要

- ・ 一部メーカーでは、プラスチックコンテナ→コンテナのリサイクルシステムを事業化している。



(出所) 積水テクノ成形 HP http://i-front.sekisui.co.jp/sangyou/html/recycle_con/recycle.html

図 4-4 積水テクノ成形によるコンテナリサイクルシステム

- ・ なお、PP 製と PE 製は目視でも簡単に分別できるほか、比重選別で分けられることから、他メーカー品も含めて混合することは大きな問題ではない。
- ・ コンテナメーカーでの回収のほか、コンテナ使用者から直接プラスチック再生業者に再生を委託しているケースもあるの予想される。

○プラスチックコンテナへの PLA の利用可能性

- ・ 課題は強度と重量であるが、特に、人が持つ可能性のあるコンテナでは、重量が重いのは大きな問題である。使い勝手は構造上の工夫で解決できるのではないかな。また用途によっては耐熱性が要求される。
- ・ 既存の PP 製や PE 製についてのマテリアルリサイクルルートに PLA 製が混入することによる影響が懸念されるが、現状でも PP と PE を比重選別しており、同方式で PLA も選別可能とも考えられる。
- ・ 近年、石油高騰に伴い、PP も 130～140 円程度にまで高騰しており、PLA の低コスト化が更に進めば利用可能性もある。

(6) パレット（資料等調査、及び物流資材メーカーヒアリングによる）

○市場参入状況

- ・ パレット製造はコンテナと同メーカーが扱うケースが多く、大手メーカーは3社（三井物産、岐阜プラ、大日本インキ化学工業）である。大日本インキ化学工業はコンテナは扱っていない。
- ・ パレット業界では5社程度のレンタル専門業者があり、1口1枚5～10円程度で2～5ヶ月等の短期間レンタルしている。パレット業界でのレンタルパレットは一定のシェアを持っている。

○市場流通規模

- ・ 市場規模はコンテナ（500～600億円程度）より僅かに少ない程度である。
- ・ パレット生産量、レンタルパレット保有数量を表4-13、表4-14に示す。2000年度における生産量は541万枚/年、15kg/枚と仮定すると8.1万t/年となる。また、レンタル用のパレットとしては212万枚程度が流通しており、約3.2万tにあたる。

表 4-13 プラスチック製パレット生産量

単位：数量・枚、出荷額・百万円
()内は構成比

年度	木製		金属製		プラスチック製		シート		紙製	
	生産数量	出荷額	生産数量	出荷額	生産数量	出荷額	生産数量	出荷額	生産数量	出荷額
1990	47,281,148 (88)	135,728 (63)	3,581,800 (7)	62,950 (29)	1,677,320 (3)	14,808 (7)	976,580 (2)	1,081 (1)	---	---
1991	51,384,840 (89)	149,063 (66)	3,027,020 (5)	57,648 (26)	2,065,550 (4)	16,888 (8)	1,215,800 (2)	1,389 (1)	---	---
1992	41,662,148 (86)	115,135 (68)	2,729,820 (6)	37,620 (22)	2,067,600 (4)	15,636 (9)	1,752,500 (4)	1,592 (1)		
1993	37,559,252 (85)	101,922 (63)	2,290,540 (5)	43,306 (27)	2,056,390 (5)	14,516 (9)	1,413,000 (3)	1,283 (1)	650,968 (2)	925 (1)
1994	43,832,400 (85)	112,642 (66)	2,363,182 (5)	36,498 (22)	2,693,604 (5)	17,440 (10)	1,738,900 (3)	1,485 (1)	1,071,325 (2)	1,656 (1)
1995	42,436,440 (83)	111,839 (65)	2,404,620 (5)	38,402 (22)	3,145,740 (6)	17,893 (10)	1,802,500 (4)	1,402 (1)	1,400,000 (3)	2,205 (1)
1996	41,507,400 (80)	112,796 (63)	2,541,948 (5)	369,640 (22)	3,983,886 (8)	21,897 (12)	2,106,800 (4)	1,503 (1)	1,551,867 (3)	2,026 (1)
1997	45,020,600 (79)	118,600 (64)	2,619,688 (5)	38,850 (21)	4,329,358 (8)	23,440 (13)	2,444,420 (4)	1,633 (1)	2,356,228 (4)	2,864 (2)
1998	40,567,400 (78)	98,434 (64)	2,091,066 (4)	30,464 (20)	4,441,264 (9)	21,997 (14)	2,362,020 (5)	1,262 (1)	2,271,672 (4)	2,738 (2)
1999	37,982,200 (77)	86,806 (62)	2,206,794 (5)	30,146 (22)	4,357,929 (9)	18,647 (13)	2,542,430 (5)	1,304 (1)	2,347,750 (5)	2,888 (2)
2000	41,226,573 (75)	91,787 (61)	2,788,480 (5)	33,720 (22)	5,405,658 (10)	21,870 (14)	2,633,400 (5)	1,187 (1)	2,647,750 (5)	3,153 (2)

(出所) 社団法人 日本パレット協会 資料 <http://www.nippo.co.jp/data14.htm>

表 4-14 日本のレンタルパレット保有数量

パレットの種類	大きさ	保 有 数 量				
		平成7年度	平成9年度	平成10年度	平成11年度	平成12年度
木製平パレット	小計	5,512,730	7,323,500	7,531,400	7,646,900	8,612,000
プラスチック製平パレット	1100×1100	222,210	377,000	855,100	973,000	1,655,600
	1100×900				280,000	280,000
	1200×1000				16,000	40,000
	1400×1100				60,000	105,600
	その他	20,603	26,500	334,100		38,600
	小計	242,813	403,500	1,189,200	1,329,000	2,119,800
ヨーロッパパレット		11,473	20,200	22,500	45,100	47,600
ボックスパレット		31,468	11,000	15,500	26,000	32,600
その他のパレット		1,450	98,400	288,700	330,100	186,800
合 計		5,799,934	7,856,600	9,047,300	9,377,100	10,998,800

(出所) 日本パレット協会 HP http://www.jpapallet.or.jp/pal_000f.html

○市場流通状況

- ・ 最近、リース・レンタル業者が市場に進出しつつあり、一定程度のシェアを有しているが、現状では売り切り販売の方が多い。なお、リースやレンタルの場合には、リース会社等がメーカーから購入し、運用している。
- ・ 近年、木製パレットから樹脂への転換が進んでおり、樹脂製が全パレットの15%程度を占めている。木製パレットの方が安価ではあるが、耐用年数や木くず発生等の課題があるほか、輸出用については害虫の懸念から燻蒸しないと受け入れないとする国が増えているためである。
- ・ また、近年は輸出用の軽量ワンウェイパレットの需要が伸びている。現状は市場流通量の1割程度である。
- ・ コンテナと同様、納入先は農林水産業から機械部品メーカー、食品産業と非常に幅広い。
- ・ コンテナと同様、代理店からオーダーを受けて製造しており、レディメイドのカタログ販売が多い。

○プラスチックパレット業界における環境意識

- ・ コンテナやパレットについては、価格が最も重視される。再生原料を使ったリサイ

クルパレットも、低コストが理由で選ばれていることが多く、コンテナユーザーの環境意識はあまり高くはない。

- ・ 但し、ISO14001 取得企業を中心に使い終わったものの産業廃棄物処理に配慮するケースが増えており、ゼロエミッションを実現するために回収・リサイクルルートを利用するユーザーが増えている。
- ・ また、CSR 報告書等で再生材使用割合等の数値を掲載している事業者ではリサイクルパレットへのニーズもある。

○プラスチックパレットの素材特性

- ・ コンテナと同様、PP100%、PE100%のいずれかである。常温で使用するものは PP 製が多く、冷凍用では PE 製が多い。
- ・ あるパレットメーカーでは、パレットでは原料の 1/3 程度が再生材としている。また、使用する再生原料の半量は自社で回収したパレットやコンテナ等より調達し、残りを再生プラスチック業者より購入している。
- ・ 再生原料を使用したパレット（2000 円程度）は、バージン原料を使用したパレット（2500 円程度）より 500 円程度安価である。再生樹脂原料は無償で入手でき、マテリアルリサイクルに 50 円/kg 程度を要するとしても優位性が残る。回収の運賃を負担するとなると状況は変わる。
- ・ 耐用年数は 10 年程度である。
- ・ 原料素材について、JIS 等の規定や認証は特にならない。
- ・ 通常のパレットは重量 15kg 程度、輸出用に使われているワンウェイの樹脂パレットは軽量な 10kg 程度、レンタル用パレットは通常のものより頑丈で 20kg 程度の重量である。
- ・ パレットは 1100×1100 が JIS 規定による最も一般的なサイズ。

○プラスチックパレットのリサイクルシステム

- ・ プラスチックコンテナと同様のリサイクルシステムが構築されている。
- ・ パレット類は 2 回程度の熱履歴（マテリアルリサイクル）には耐えられる。回収したのを見れば再生品かは判別でき、テストピースで試験を行った上、強度に問題があればバージン材料を加えるなどして性能を調整している。グレードの異なる再生原料同士を混合することもある。調整は各企業のノウハウとなる部分である。

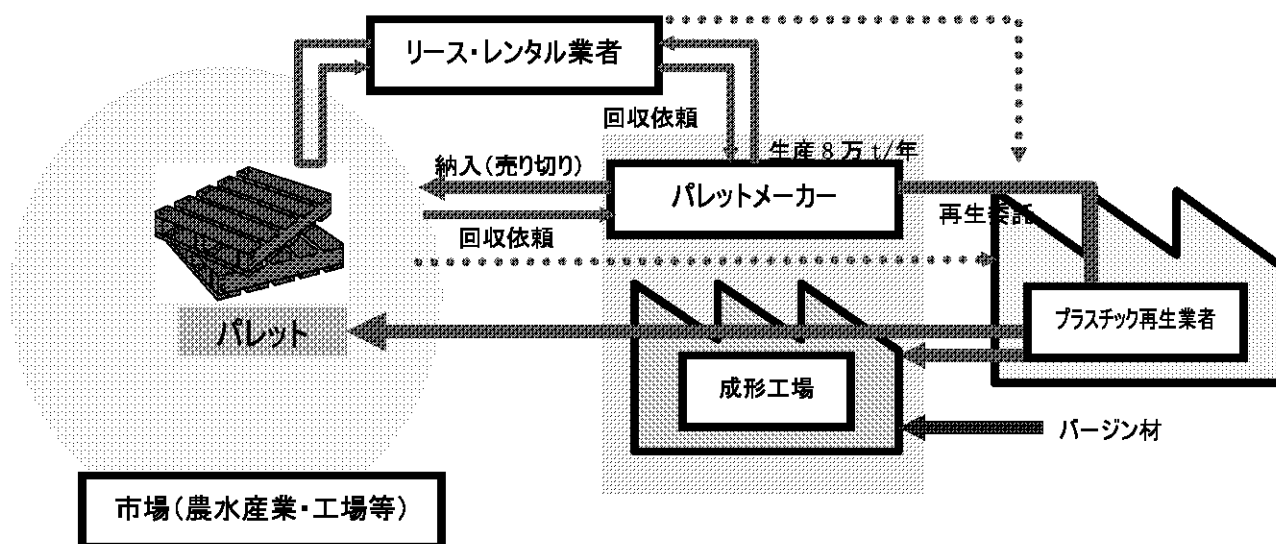


図 4-5 プラスチックパレットのリサイクルシステムの概要

○プラスチックパレットへのPLAの利用可能性

- ・ 強度、重量、耐熱性等、コンテナと同様の課題があるが、重量についてはコンテナよりも許容される。

(7) 搬送用ストレッチフィルム（資料等調査、及び関連事業者ヒアリング等より）

○市場流通状況

- ・ トラックターミナルにおいて、輸送対象品目（段ボール）を発送先地域別に束ねるのに使用される荷崩れ防止用フィルム。また、トラックターミナルまで発送元で荷物を束ねるのに使われていたフィルムもターミナルで廃棄される。
- ・ 流通規模等は不明

○梱包用ストレッチフィルムのリサイクルシステム

- ・ 現在では毎日 10t トラック 2 台分程度が産業廃棄物として処理されており、リサイクルシステムは構築されていない。産業廃棄物の処理費負担がトラックターミナル運営会社にとって大きな課題となっており、リサイクルシステムの構築が期待されている。
- ・ 使用・廃棄ともにトラックターミナル等の特定の場所で集中的に行われるため、回収は比較的容易である。
- ・ ターミナルに運送会社共同使用の圧縮機を導入し、ストレッチフィルムの共同回収事業をスタートさせる動きもある。また、名鉄運輸では 2004 年に葛西トラックターミナル内に独自で圧縮機を導入している。

○梱包用ストレッチフィルムの素材特性

- ・ 従来は PE100% 製
- ・ 1m 幅の 2000m 巻きのラップ形状で利用されている。

○梱包用ストレッチフィルムへの PLA の利用可能性

- ・ 昭和興産株式会社では、PLA と PE により、開発をスタートさせている。課題は伸ばした時の強度維持である。

(8) 発泡スチロール（資料等調査による）

○市場参入状況

発泡スチロールのシェアに関する情報はないが、発泡スチロール再資源化協会に加盟している会社は以下の5社のみである。

- ・ アキレス株式会社
- ・ 株式会社カネカ
- ・ 積水化成品工業株式会社（トップシェア）
- ・ 日立化成工業株式会社
- ・ 株式会社 JSP

○発泡スチロールの市場流通規模

2004 年における発泡スチロールの出荷量は 194 千 t/年で、その用途別内訳は以下の通りである。

（出所）発泡スチロール再資源化協会 HP <http://www.jepsra.gr.jp/index.html>

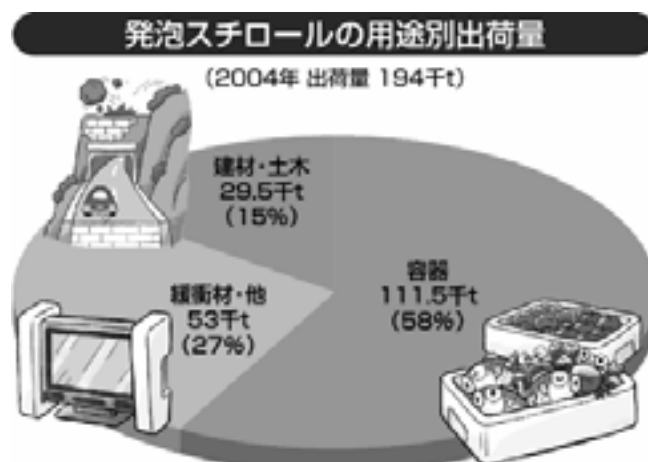


図 4-6 発泡スチロールの用途別出荷量

○発泡スチロールに含まれるプラスチック量・質

発泡スチロールは容積の 98%が空気、2%が原料から出来ている。原料はポリスチレンの単一素材で、これに「ブタン」などの発泡ガスを閉じこめた直径 1mm ほどの透明な真球状の「ビーズ」に蒸気をかけて発泡させている。

近年、ポリ乳酸の発泡体の実用化も始まっており、京都の中央卸売市場ではポリ乳酸発泡体製の魚箱リサイクルに係る実証実験が行われている（参考資料 4 参照）

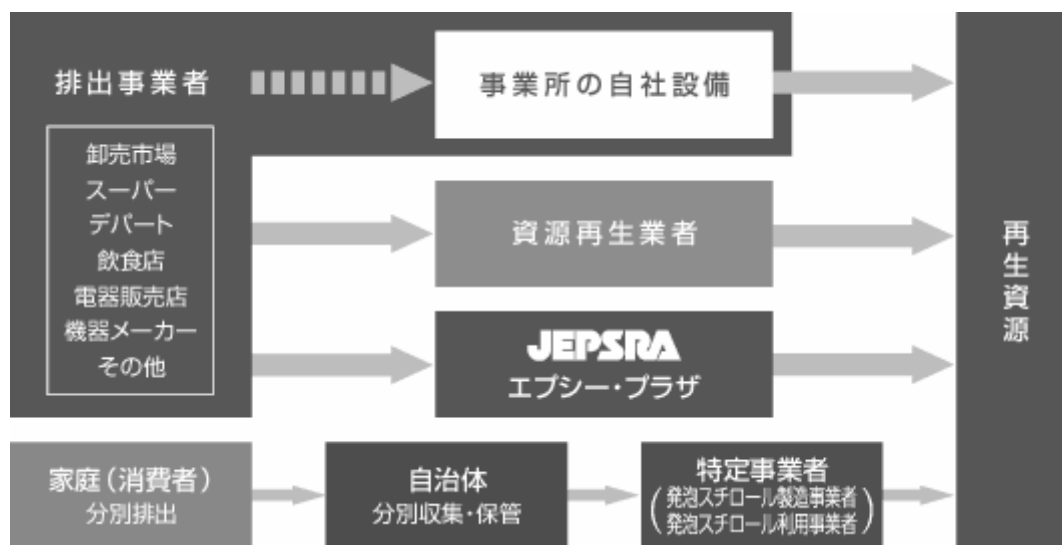
○発泡スチロールのリサイクルシステム

大部分の発泡スチロールは、卸売市場やスーパー・デパート、飲食店、電器製品などの販売店、機器メーカーの工場などで容器や緩衝材としての使命を終え、排出される。これらの排出事業者のリサイクルが円滑に進むよう、JEPSRA（発泡スチロール再資源化

協会）がシステム作りを担うとともに、施設を作ってリサイクルに取り組んでいる。リサイクルのフローを図 4-7 に示す。

特に、家電メーカーとは、家電販売店で回収した梱包材を JEPSRA 会員企業が運営するリサイクルプラザ（エプシー・プラザ）でリサイクルするという協力体制を構築している。現在、松下電器産業、三菱重工、三洋電機、ソニー、日立製作所、東芝、三菱電機の 7 社（締結順）と協力体制に係る覚書を交わしている。

エプシープラザは家電小売店など小口排出者のリサイクルを支援することを趣旨としたリサイクル拠点で現在全国に 138 ヵ所（2005 年 5 月 31 日現在）ある。

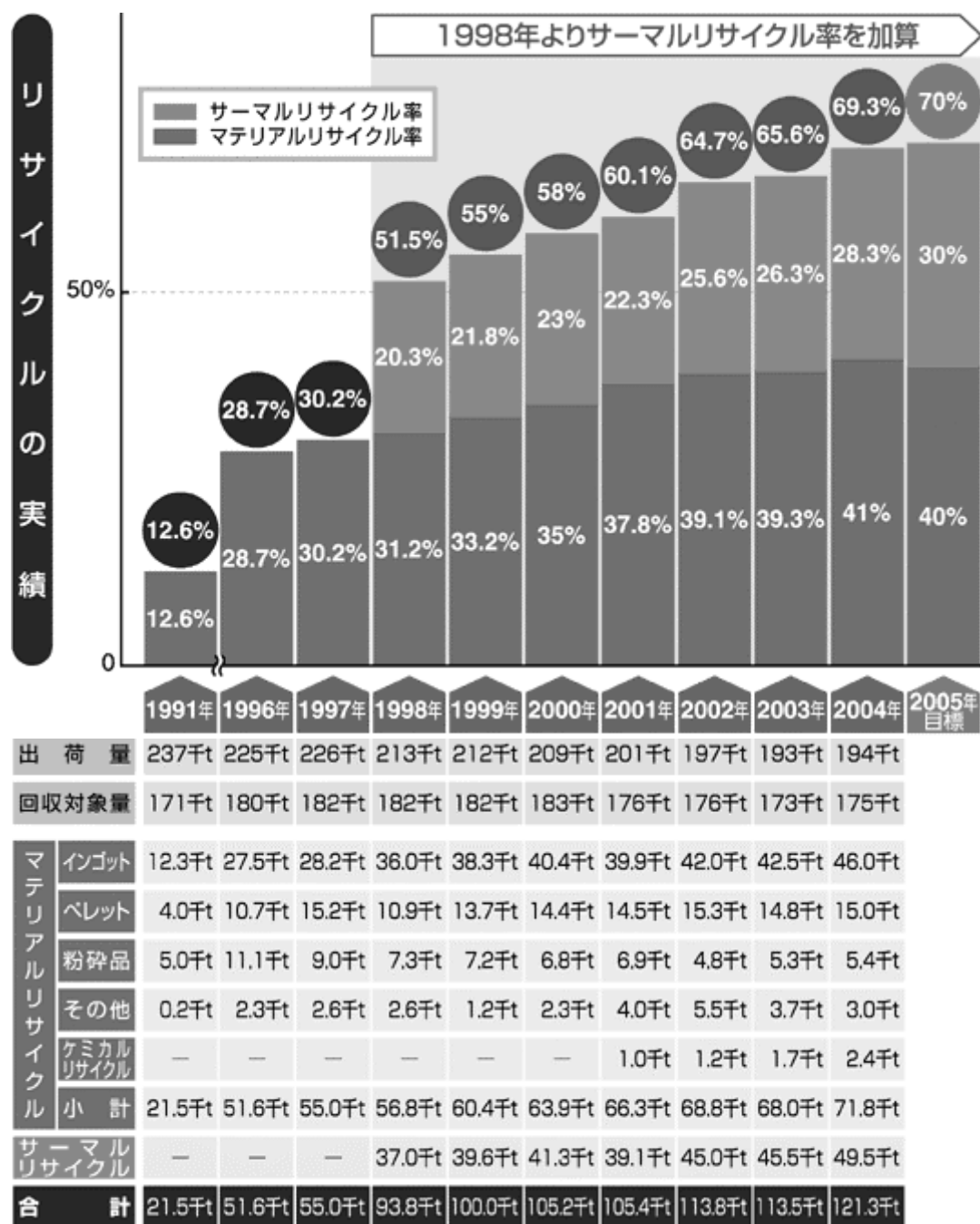


（出所）発泡スチロール再資源化協会 HP <http://www.jepsra.gr.jp/index.html>

図 4-7 発泡スチロールのリサイクルフロー

○リサイクル実績

マテリアルリサイクルは 2004 年に 41% を達成。サーマルリサイクルとしては 28.3% がリサイクルされ、マテリアルリサイクルと合わせると使用済み発泡スチロールの 69.3% が有効に利用されている。



(出所) 発泡スチロール再資源化協会 HP <http://www.jepsra.gr.jp/index.html>

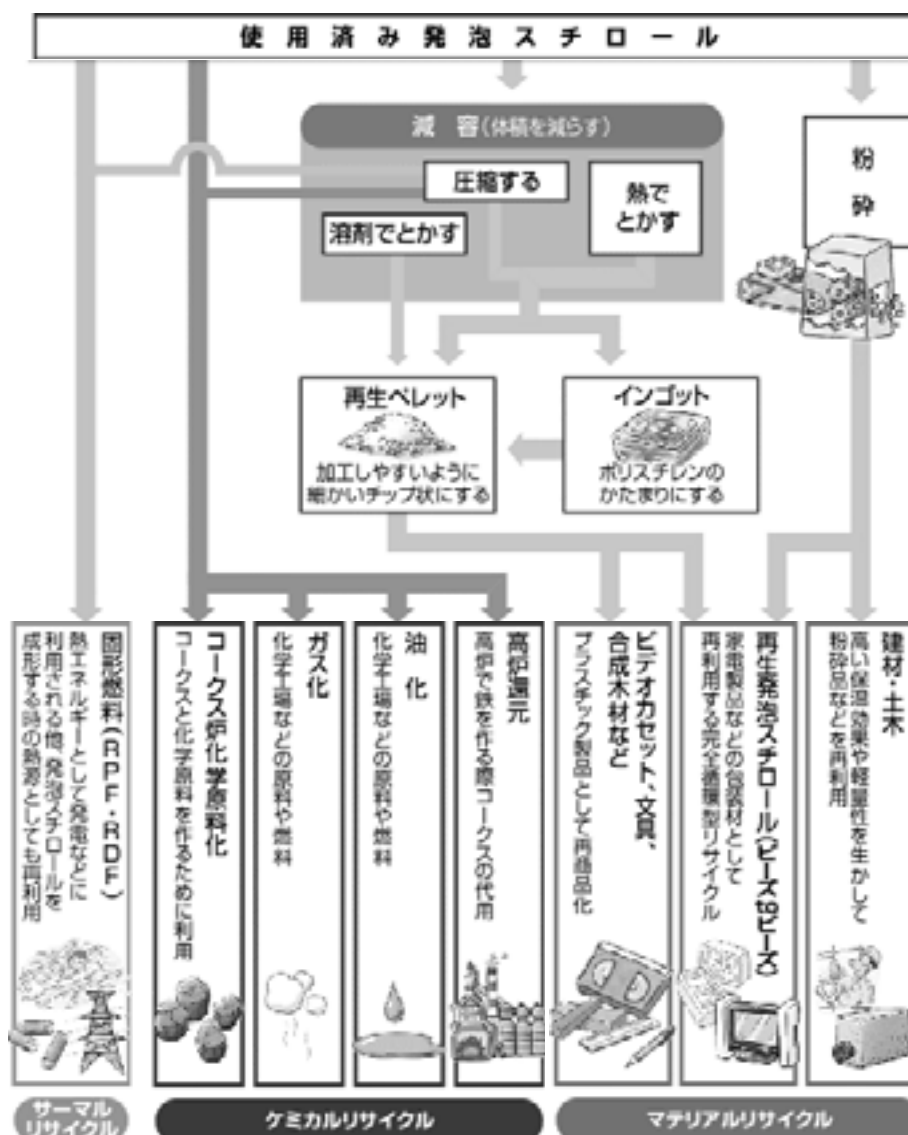
図 4-8 発泡スチロールのリサイクル実績

○発泡スチロールに含まれるプラスチック類のリサイクル

発泡スチロールはほとんどが単一素材であるため分別が容易で、熱や溶剤・圧縮により体積を減らす減容が可能であることから、図 4-9 に示す 3 つの手法でリサイクルが行われている。

なお、市場等や量販店等、発泡スチロールが大量に発生する排出源については、排出源の現場で減容化処理が行われ、再生事業者にはインゴットの状態で引き渡すケースも多い。

ソニーでは天然成分リモネンを用いた常温での発泡スチロールの溶解、リサイクル手法を開発し、三井造船、三井物産プラントと連携のもと、この手法による発泡スチロールリサイクル拠点を全国に展開している。なお、各拠点は、ソニーから排出された発泡スチロールのみならず、スーパーや市場からの発泡スチロールを受け入れており、ソニーはロイヤリティ収入を見込んでいる。2005年8月、愛知県一宮市の実験プラントを発泡スチロールを専門に回収する事業者に譲渡し、国内でのリモネンリサイクル事業者は2社となり、本格的なリモネンリサイクルが開始された。



(出所) 発泡スチロール再資源化協会 HP <http://www.jepsra.gr.jp/index.html>

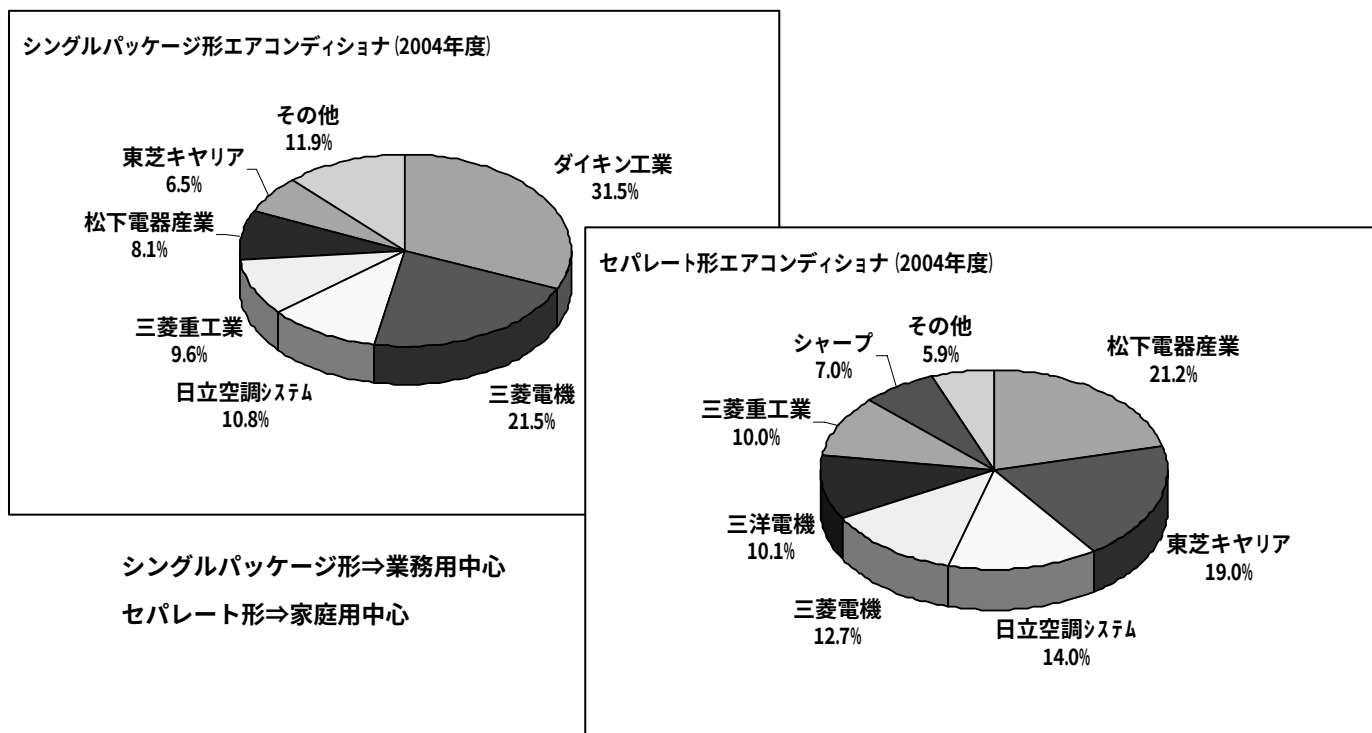
図 4-9 発泡スチロールのリサイクル手法

4-3 耐久製品

(9) 家電（資料等調査による）

○市場参入状況

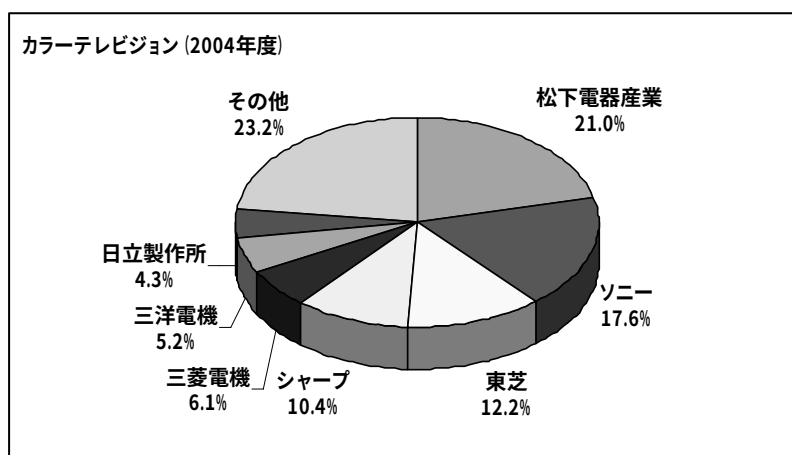
<エアコン>



(出所)『日本マーケットシェア事典 2005』矢野経済研究所

図 4-10 エアコンの 2004 年企業別推定シェア

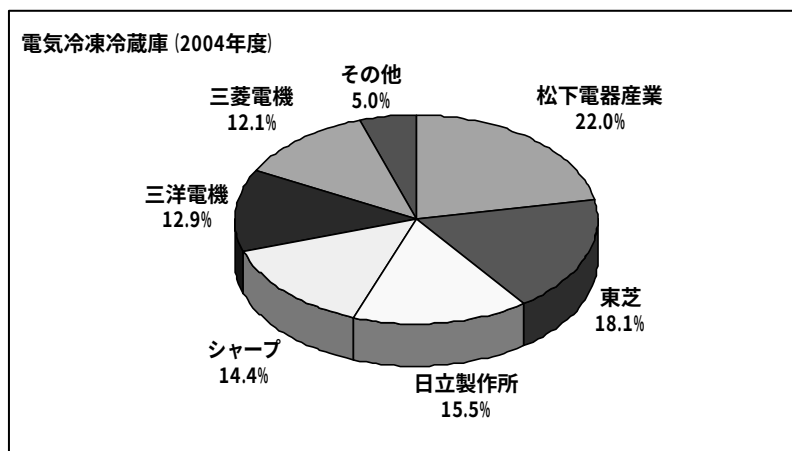
<テレビ>



(出所)『日本マーケットシェア事典 2005』矢野経済研究所

図 4-11 テレビの 2004 年企業別推定シェア

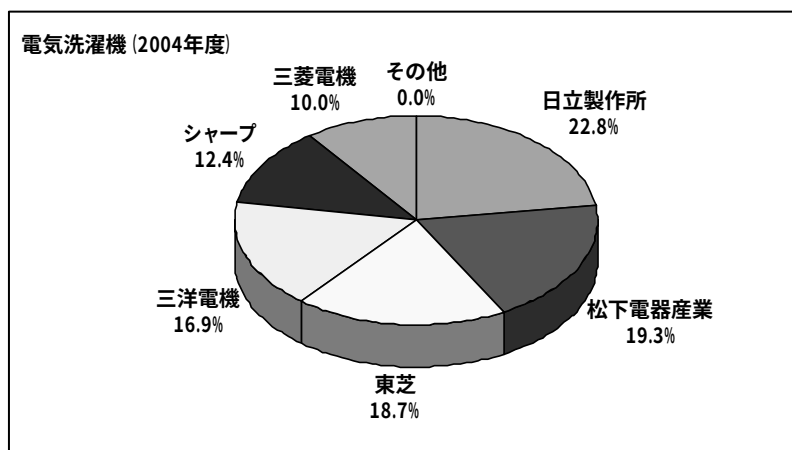
<冷蔵庫>



(出所)『日本マーケットシェア事典 2005』矢野経済研究所

図 4-12 冷蔵庫の 2004 年企業別推定シェア

<洗濯機>



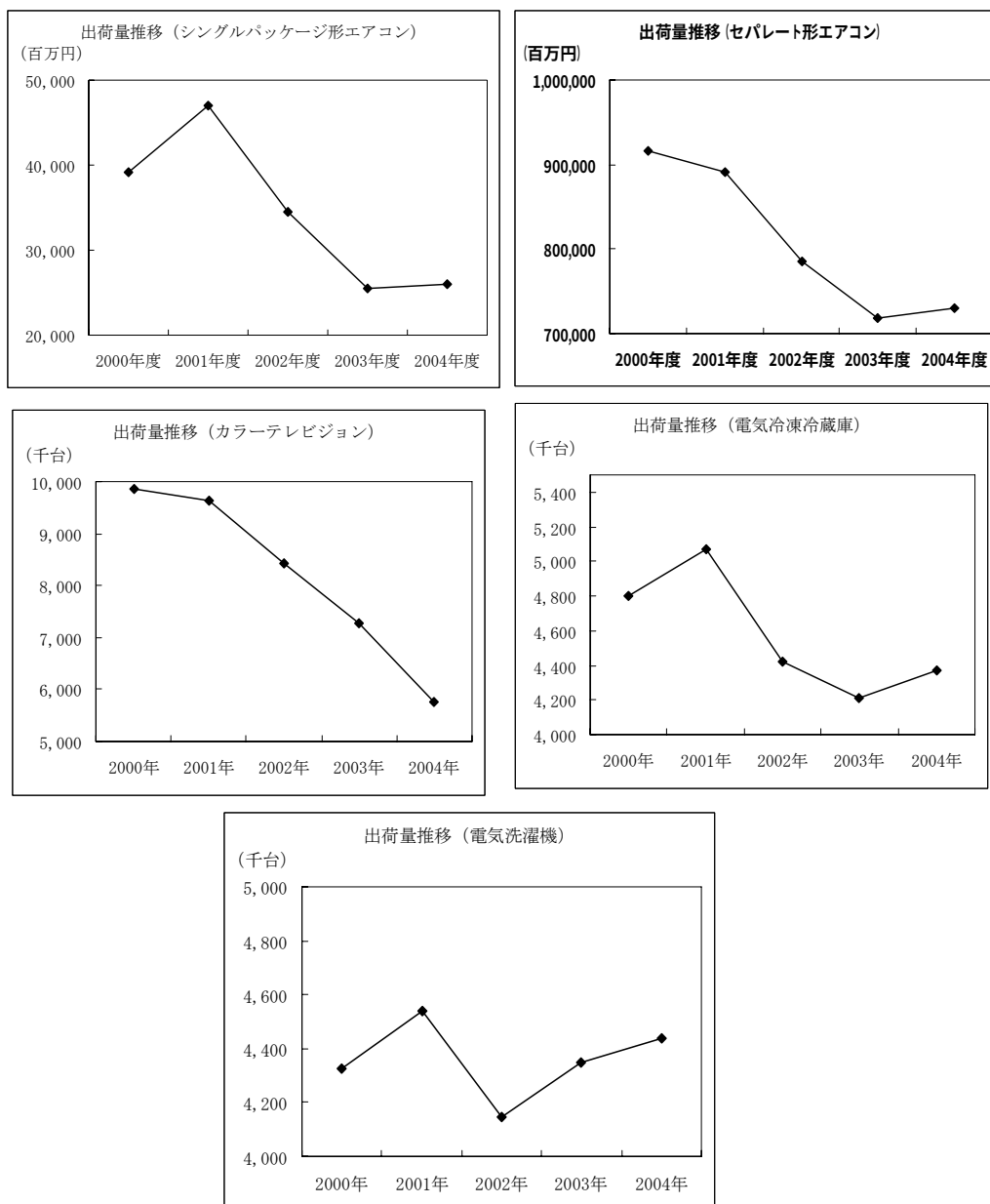
(出所)『日本マーケットシェア事典 2005』矢野経済研究所

図 4-13 洗濯機の 2004 年企業別推定シェア

○環境に対する考え方

家電業界における環境配慮の取組は大変進んでおり、商品差別化の1手段として積極的に環境配慮をPRしている。

○家電の市場流通規模



(出所)『日本マーケットシェア事典 2005』矢野経済研究所

図 4-14 家電製品の出荷量推移

○家電に含まれるプラスチック量・質

家電 4 品目の組成を以下に示す。一般に、冷蔵庫内の棚や野菜ケース、洗濯機槽等、高度な機能を必要としない部位については、単一組成のプラスチック類が使われていることが多いが、加熱される可能性のあるテレビ筐体等については難燃剤等が含まれる複雑組成のプラスチック類が多いという。

表 4-15 家電 4 品目の素材構成比

(単位：%)

品目	製造年	鉄	銅	アルミ	プラスチック	ガラス	木	塩水	その他
エアコン	1983 年製	53	19	9	14	—	—	—	4
	1993 年製	54	18	9	16	—	—	—	3
テレビ	1983 年製	9	2	1	10	46	23	—	10
	1993 年製	12	3	1	26	53	—	—	5
冷蔵庫	1983 年製	59	2	4	30	—	—	—	4
	1993 年製	49	4	1	43	—	—	—	3
二槽式洗濯機	1983 年製	52	3	2	37	—	—	—	6
	1993 年製	60	3	2	31	—	—	—	4
全自動洗濯機	1993 年製	52	2	4	33	—	—	6	3

* エアコンの 1993 年は、一般的な形より大型の機器を対象としており、取付器具等の重量も含んでいる。

* 数値は小数点以下で四捨五入しているため、合計 100 にならないことがある。

出所：「非鉄金属系素材リサイクル促進技術研究開発：基礎調査研究、要素技術研究」

平成 6 年度新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）委託研究

表 4-16 製品ごとのプラスチック種類別構成比

	テレビ	冷蔵庫	洗濯機	エアコン
ポリプロピレン	8.9%	24.7%	76.5%	21.2%
ポリスチレン	84.5%	26.3%	6.2%	31.9%
ABS	1.7%	16.3%	3.0%	10.8%
AS	—	—	—	1.7%
ASA	—	—	—	2.5%
塩化ビニル	3.2%	7.9%	5.7%	10.6%
発泡ポリウレタン	—	21.4%	—	—
ポリエステル	—	—	2.0%	3.7%
ポリアセタール	—	—	—	—
ポリエチレン	—	—	—	—
ガラス繊維入り複合プラスチック	—	—	—	8.4%
その他の複合プラスチック	—	—	—	—
その他	1.7%	3.4%	6.6%	9.2%
合計	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

注：ASは「Styrene Acrylonitrile Copolymer（SAN樹脂）」の一種、

ASAは「Acrylate Styrene Acrylonitrile Copolymer（ASA樹脂）」。

出所：（財）家電製品協会 1997年度調査資料

家電製品協会資料より、家電４品目の製品重量を仮定し、各品目に含まれるプラスチック重量を推計した結果を表４-17に示す。

表４-17 製品ごとのプラスチック含有量

	エアコン	テレビ	冷蔵庫	洗濯機
製品重量 (家電製品協会調べ)	51kg/台	25 kg/台	59 kg/台	25 kg/台
製品中プラスチック重量 (表４-15 93年製データをもとに推計)	8.2kg/台	6.5kg/台	25.4kg/台	8.3kg/台 ^{※1}
製品出荷量(04') (『日本マーケットシェア事典 2005』矢野経済研究所より)	6,720 千台 ^{※2} /年	5,753 千台/年	4,373 千台/年	4,437 千台/年
製品内プラスチック出荷量	55,104t/年	37,395t/年	111,074t/年	36,827t/年
(表４-16をもとに推計)	PP	11,682 t/年	3,328 t/年	27,435 t/年
	PS	17,578 t/年	31,599 t/年	29,212 t/年
	ABS	5,951 t/年	636 t/年	18,105 t/年
	塩化ビニル	5,841 t/年	1,197 t/年	8,775 t/年

※1 表４-15のうち、全自動洗濯機のプラスチック割合を利用

※2 エアコンについては、日本冷凍空調工業会資料より『ルームエアコン』出荷量

○家電のリサイクルシステム

<家電リサイクル法のスキーム>

家電リサイクル法施行にあたって、大手の製造業者等はA、Bの2グループに集約し全国で指定引取場所を各190箇所、合計380箇所設置した。また、再商品化施設も自ら設置又は既存業者活用によるシステム構築を行った。

Aグループ（ダイキン、東芝、松下等）は、既存業者（廃棄物処理業者等）が持つインフラの活用を主体としたシステム構築を行った。既存業者を主体とした指定引取場所を設置するとともに、再商品化施設は核となる施設を新設するとともに既存業者と組み合わせる全国展開を行っている。

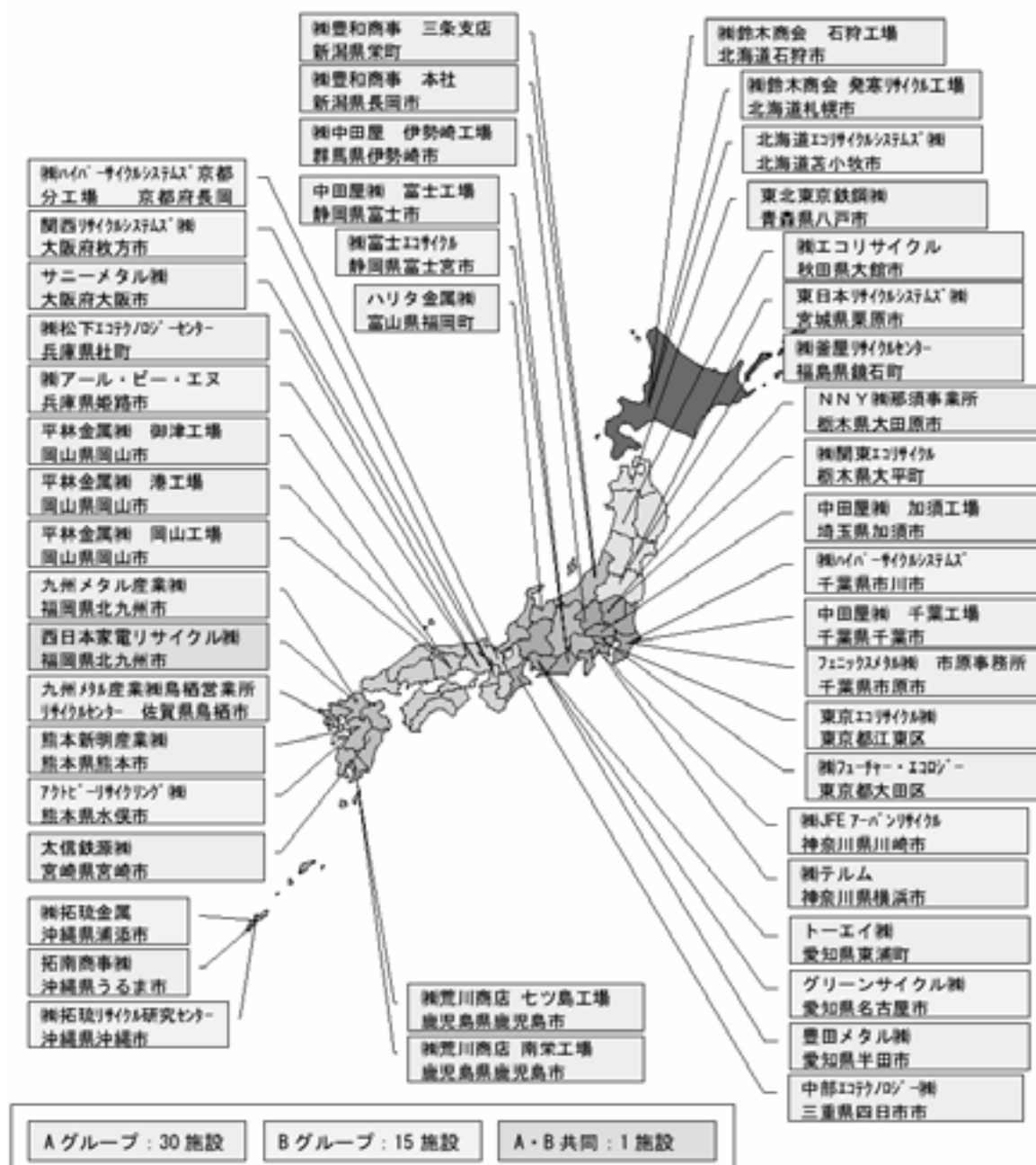
Bグループ（三洋、ソニー、日立、三菱等）では、家電リサイクル専用の新規施設設立と大手運送業者との提携によるシステム構築を行った。大手運送業者を主体とした指定引取場所を設置するとともに、鉄鋼業等と提携した家電リサイクル専用の施設を新設する方式で、全国展開を行っている。

なお、回収リサイクルに係る費用は、製造事業者等が独自に定めることになっているが、実質的には各社同額を提示している。

表 4-18 家電リサイクル法対象 4 品目のリサイクル費用

エアコン	テレビ	冷蔵庫・冷凍庫	洗濯機
3,675 円/台	2,835 円/台	4,830 円/台	2,520 円/台

(出所) 家電製品協会資料より作成 <http://www.aeha.or.jp/05/images/kadennenji.pdf>



(出所) 家電製品協会資料より作成 <http://www.aeha.or.jp/05/images/kadennenji.pdf>

図 4-15 再商品化施設一覧 (平成 17 年 4 月現在)

<エアコン>

エアコンは、室外機と室内機をそれぞれ別々の手解体工程で処理する。まず、室外機から冷媒フロンを回収し、引き続きコンプレッサー・熱交換器等を回収する。室内機からは熱交換器を回収する。次に破砕機で破砕し、金属をはじめとする再資源化物を回収する。

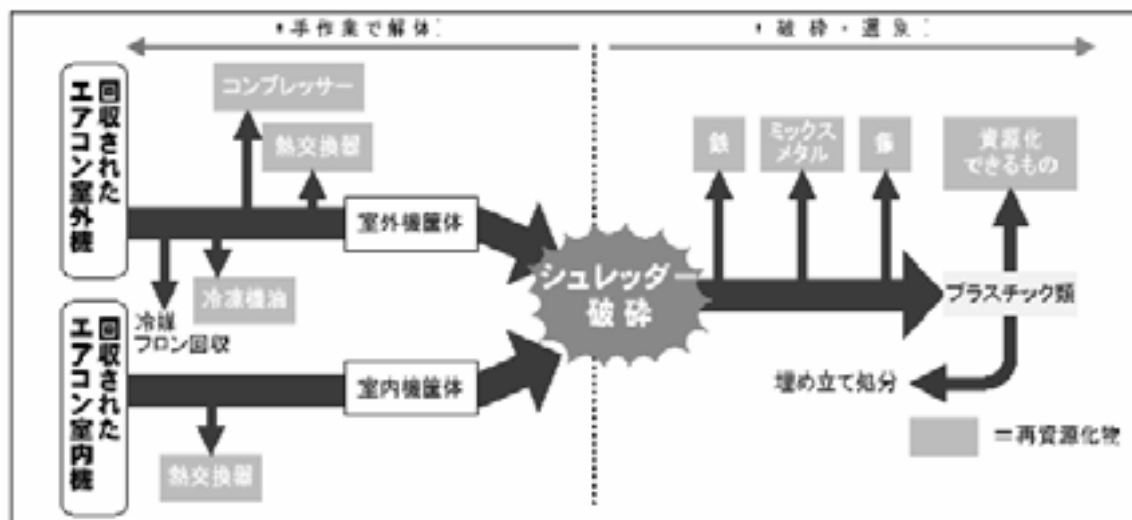


図 4-16 エアコンの再資源化工程

<テレビ>

テレビをブラウン管と前後の筐体に解体し、ブラウン管はパネル・ファンネル分割の後、ガラスを再資源化物として回収する。前後の筐体からはプリント基板・金属部品を回収した後、破砕機で破砕し、さらに金属をはじめとする再資源化物を回収する。

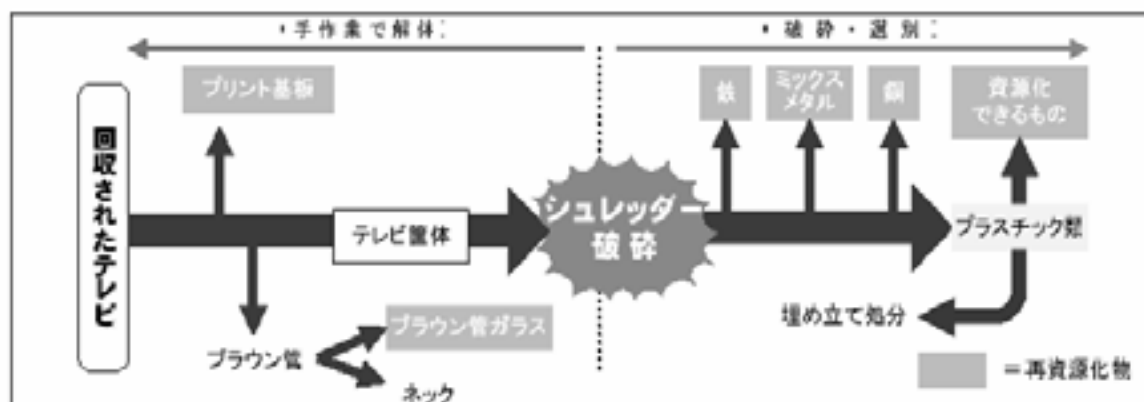


図 4-17 テレビの再資源化工程

<冷蔵庫・冷凍庫>

冷蔵庫・冷凍庫は、手解体工程で冷媒フロンを回収した後、庫内部品として使用され

ているプラスチックを回収する。断熱材フロン回収装置の設置された破砕機で破砕し、断熱材フロンを回収するとともに、金属をはじめとする再資源化物を回収する。

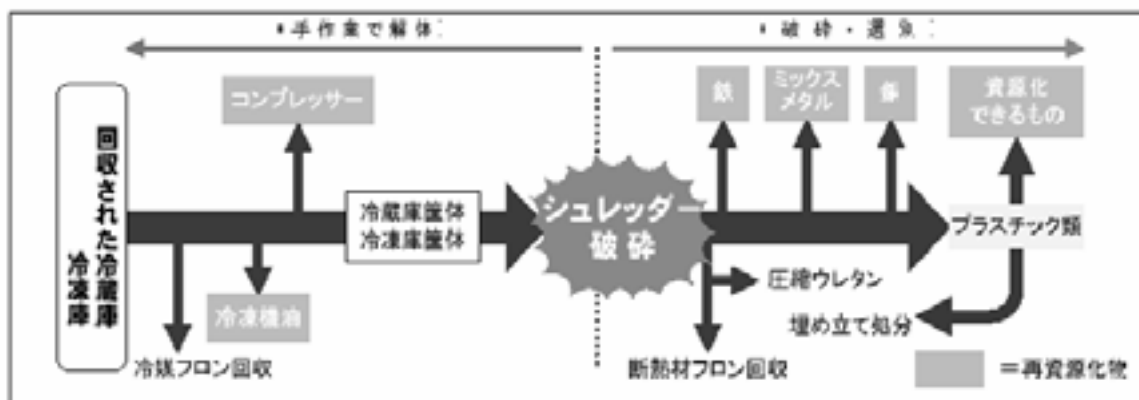


図 4-18 冷蔵庫の再資源化工程

<洗濯機>

洗濯機は、手解体工程で洗濯槽を取り外すとともにモーター等を回収する。筐体は破砕機で破砕し、金属をはじめとする再資源化物を回収する。

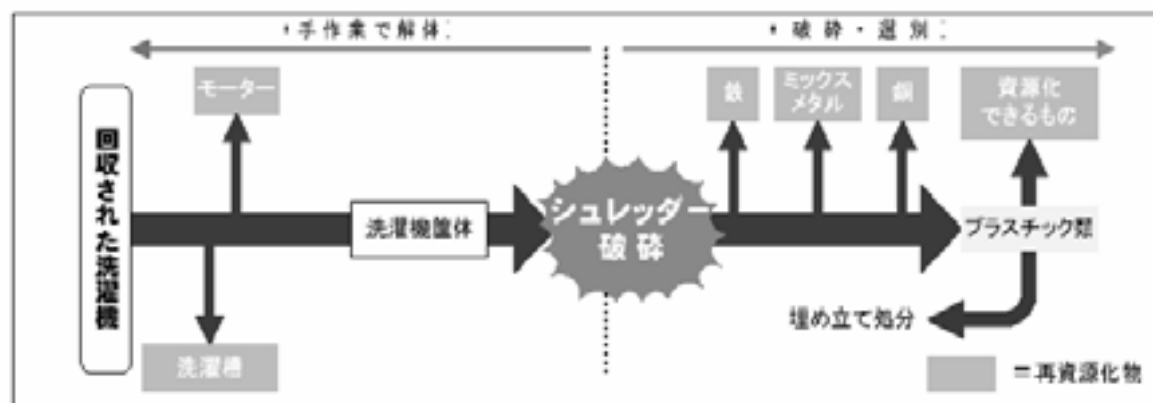
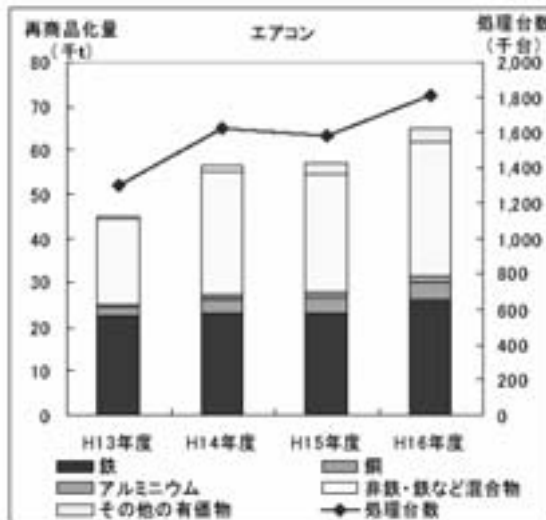


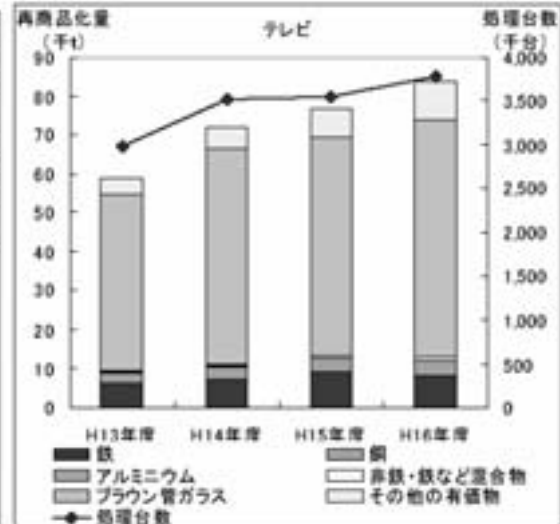
図 4-19 洗濯機の再資源化工程

○リサイクル実績

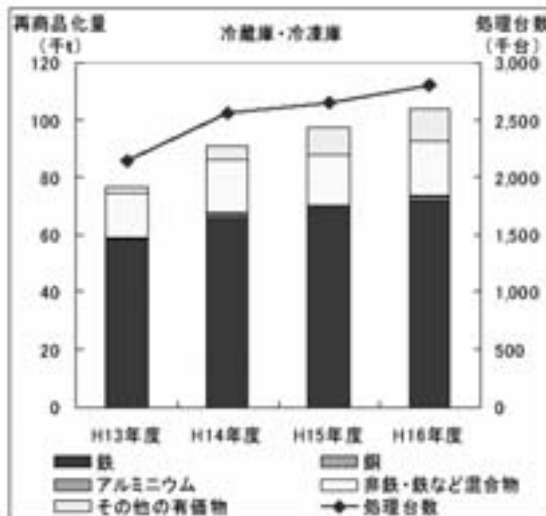
■エアコン



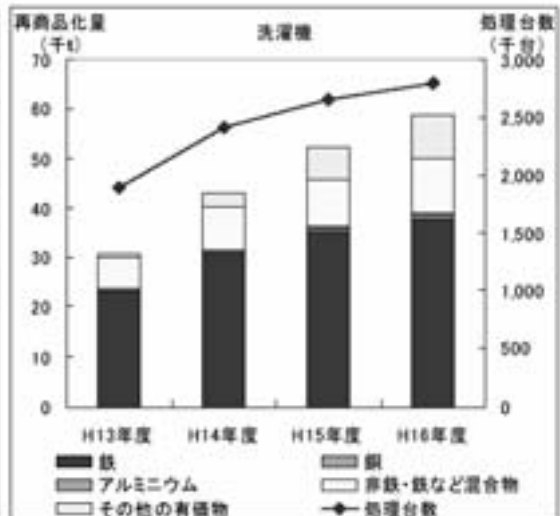
■テレビ



■冷蔵庫・冷凍庫*



■洗濯機



*H13年度～H15年度は、冷蔵庫のみの値

*「その他の有価物」とは、プラスチック等である

出所：（財）家電製品協会『家電4品目のリサイクル実施状況』（平成13年度～平成16年度）

図 4-20 品目別再商品化量と処理台数

○家電に含まれるプラスチック類のリサイクルシステム

現在、家電のリサイクルシステムは大変効率化しており、今後再商品化率を向上させるにはプラスチック類のリサイクルしか残されていない状況になっている。そのため、プラスチック類のリサイクルは、各リサイクルプラントの競争要素になっている。

そのうち、冷蔵庫の野菜カゴ等、単一成分のプラスチック類については既に多くのリサイクルプラントで再資源化が進んでいるものの、テレビの筐体等、難燃剤が多量に含まれるようなプラスチック類については、破碎の上、サーマルリサイクルしか行われていないのが現状である。

また、家電リサイクルに係る 2 つのグループでは、プラスチックリサイクルに対する取組方針が異なるといわれている。A グループでは、再生プラスチックを自社製品の一部として再利用することを目指し、『洗濯機 TO 洗濯機』等を実現すべく、手作業でのプラスチック類の細分別を徹底させる傾向がある。一方の B グループでは、売却できるレベルまで分類した後に、再生プラスチックを広く外販することを目指しており、手分別はさほど細かくはない。

品目別のプラスチック類リサイクル状況は概ね以下の通りである。

<エアコン>

大半は混合プラスチック（シュレッダーダスト）として処理処分されているが、PS 製の室内キャビネットについては、一部、再生プラスチック製品（家電以外、用途不明）の原料に用いている事例もある。

<テレビ>

PP、ABS、塩化ビニル等のプラスチック部位はほとんどが混合プラスチックとして処理処分されている。難燃処理した PS 製のバックキャビネットについては、一部工場では再びバックキャビネット原料として用いられているほか、その他の再生プラスチック製品の原料、高炉還元剤として活用されている。フロントキャビネットについては、現状では混合プラスチックとしての処理が一般的である。

<冷蔵庫>

ABS、塩化ビニル、発泡ポリウレタン等からなる筐体部分のプラスチックについては、混合プラスチックとしての処理処分が行われている。PS 製の棚板、扉トレイ、及び、野菜ボックスについては、再生プラスチック製品（文具、建材等）の原料、冷蔵庫部材原料、高炉還元剤等として再利用が図られているケースも見られる。

<洗濯機>

PS、ABS、塩化ビニル、ポリエステル等からなる筐体部分のプラスチックについては、混合プラスチックとしての処理処分が一般的である。PP 製洗濯槽・脱水槽については、洗濯機の部材原料、洗濯槽原料、その他再生プラスチック製品の原料、高炉還元剤等として再利用が図られている。

<家電プラスチックリサイクル 取組事例>

テレビ筐体プラスチックは難燃性を生かして鉄道用配線ボックスに再生、冷蔵庫の野菜箱やエアコンの前カバー等の選択的回収を行っている。また、材質が不明確なものは、近赤外反射式の材質判定機で測定し、専用プラスチック破砕機にて材質ごとに粉砕・粒径調整・脱塵を行い有価売却としている。さらに残ったミックスプラスチックは破砕後、焼却しその残渣をセメントキルンの副原料とし、他方、熔融させたものは路盤材として再生している。（R 社）

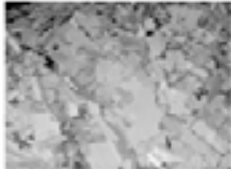
破砕後のミックスプラスチックは材質分別が困難なため、有価売却可能な部品は前処理工程で徹底して取り外している。また、セメント会社との協力による破砕ミックスプラスチック焼却残渣のセメント原料化、ガス化熔融炉による焼却等も行い、2004 年度の最終埋立量を 2002 年度比 11%に削減した。（C 社）

【冷蔵庫・冷凍庫 冷蔵庫の野菜容器等のクローズド・リサイクル取組事例】

冷蔵庫におけるプラスチック部品の中から次の観点で、クローズドリサイクル材の原料として「冷蔵庫：野菜容器等の庫内容器」を選定している。

冷蔵庫 野菜容器等の庫内容器 ① 回収が容易 ② 回収量が多い ③ 汚れが少ない ④ ポリプロピレン樹脂（ポリプロピレン樹脂と高衝撃ポリスチレン樹脂は比重選別（後工程）での分別が可能）	
---	---

再商品化施設にて冷蔵庫の庫内容器類（大部分がポリプロピレン樹脂製）を回収する。その後、粗破碎、粉碎、洗浄・比重分離、造粒の工程により、クローズドリサイクル材（ポリプロピレン樹脂）として生まれ変わり、家電製品の原材料として再利用されている。

再商品化施設	①使用済み冷蔵庫の回収 	②庫内容器の回収 	③粗破碎 
	使用済み冷蔵庫がコンテナに積まれ、再商品化施設に持ち込まれる。8～14年前に製造された冷蔵庫が多い。	野菜容器等の庫内容器を手分解で回収する。比較的汚れは少ないが、食品や調味料等により汚れているものもある。	回収した庫内容器を 10 cm角程度に粗破碎する。
協力工場	④粉碎 	⑤ゴミ・異物除去ポリプロピレン樹脂分別 	⑥造粒（ペレット化） 
	再商品化施設より搬入された粗破碎品を、破碎機にて粉碎する。	風力選別機や振動ふるい（乾式、湿式）によりゴミ・異物の除去を行う。その後、比重分離装置へ投入し、ポリプロピレン樹脂のみを取り出す。（写真は湿式振動ふるい）	ポリプロピレン樹脂粉碎品を押出加工機にて造粒する。

（出所）家電製品協会資料より作成 <http://www.aeha.or.jp/05/images/kadennenji.pdf>

【エアコン ルームエアコン室外機へのクローズド・リサイクル取組事例】

再商品化施設で解体された使用済み家電製品からプラスチック（ポリプロピレン）を回収し、ルームエアコンの室外機に再利用している。回収するのは、冷蔵庫の野菜箱と洗濯機の洗濯槽で、これらを破砕・洗浄し、添加剤を加えてペレット化し、再生プラスチックとして、ルームエアコン室外機の保護アミに採用している。

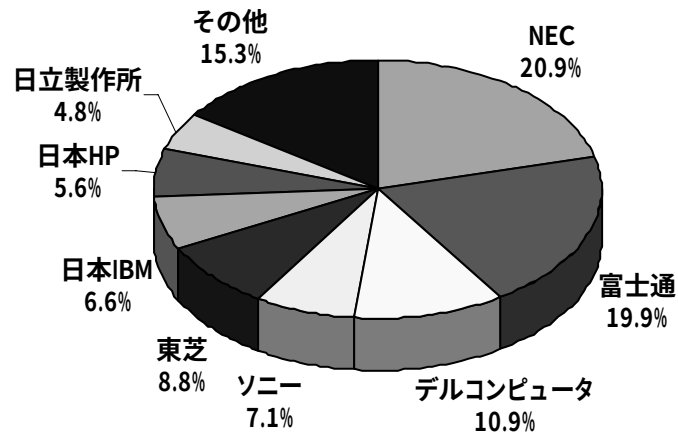
回収したプラスチック ⇒ 破砕後、洗浄しペレット化 ⇒ 成型・組み立て		
野菜箱 	 破砕物	 保護アミ
洗濯槽 		

（出所）家電製品協会資料より作成 <http://www.aeha.or.jp/05/images/kadennenji.pdf>

(10) パソコン（資料等調査による）

○市場参入状況

パソコン（2004年度）



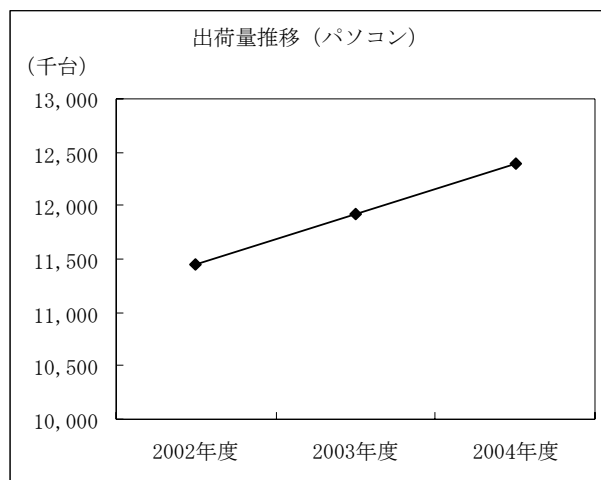
（出所）『日本マーケットシェア事典 2005』矢野経済研究所

図 4-21 パソコンの 2004 年企業別推定シェア

○環境に対する考え方

パソコン業界における環境配慮の取組は大変進んでおり、商品差別化の1手段として積極的に環境配慮をPRしている。なお、近年中古パソコン市場の拡大が著しく、メーカー各社の進出も相次いでいる。これにより、パソコンの使用年数は増加し、また、中古パソコン店での使用済みパソコン発生量が増大すると考えられる。

○パソコンの市場流通規模



(出所)『日本マーケットシェア事典 2005』矢野経済研究所

図 4-22 パソコンの出荷量推移

○パソコンに含まれるプラスチック量・質

パソコン使用されるプラスチック量を表 4-19 に示す。パソコンには ABS、PC、PS がほぼ同程度使用されており、その使用量は近年増加している。なお、パソコンは、比較的高温で使用されることが多く、UL 規格等による難燃性に関する自主規格を満足する必要がある。そのため、多くの場合、下記樹脂には難燃剤を添加して利用している。

表 4-19 パソコンにおける樹脂別使用量

(単位 t/年)

	1998	1999	2000 年(見込み)	2001年(見込み)	2002年(予測)
PS	2934	2974	3390	3990	4420
PC	3201	3245	3680	4220	4800
ABS	3335	3380	3800	4430	5057
PC-ABS	2401	2433	2690	2940	3240
PC-PS	1467	1487	1640	1810	1970
樹脂合計	13338	13519	15200	17300	19487
鉄、鉄合金	22202	20435	22000	22980	25680
アルミ、アルミ合金	5815	5403	5730	5920	6480
ガラス	5530	4929	5040	5000	5240
プリント基板	17718	17102	16030	19680	22060
総合計	64603	61388	64000	70880	78947

(出所)『2000年プラスチックリサイクル実態総調査』2000年 株式会社 富士経済

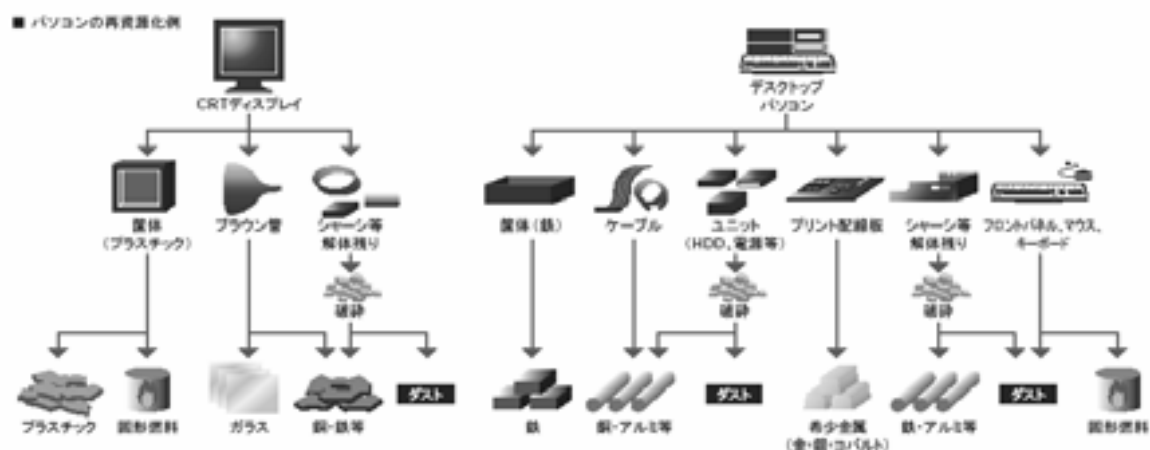
なお、富士通ではPLAとPCを1:1で混合した樹脂をノートパソコンの筐体に用いている。富士通、富士通研究所、東レの3社で開発したもので、耐熱性85℃、引っ張り強さが65Mpaと実用レベルまでバイオマスプラスチックの性能を向上させている。また、NECとユニチカも100%植物原料の樹脂素材の実用化に成功、2006年より筐体に採用する方針としている。

○パソコンのリサイクルシステム

パソコンは資源有効利用促進法により、メーカーによる回収・リサイクルが義務づけられている。使用済みパソコンは排出者により「事業系パソコン」と「家庭系パソコン」とに分けられ、事業系パソコンについては平成13年4月から、家庭系パソコンについては平成15年10月から法律に基づいた回収・リサイクルが行われている。

自主回収・再資源化を行う事業者は、製造業者および輸入販売業者で、家電リサイクル法とは異なり、販売店には引き取り義務はない。

使用済みパソコンの多くは、家電リサイクルプラントで処理・再生されており、その工程は家電と共通の部分も多い。



(出所) 経済産業省家電リサイクル法パンフレット

http://www.meti.go.jp/policy/kaden_recycle/case2/pdf/h17_kaden_pamphlet.pdf

図 4-23 パソコンの出荷量推移

○リサイクル実績

表 4-20 家庭系使用済みパソコン回収・リサイクル実績（平成 16 年度）

	プラント搬入質量 (t)	プラント搬入台数 (台)	再資源化処理量 (t)	資源再利用量 (t)	資源再利用率 (%)
デスクトップ型パソコン 本体	939	84,133	939	709,3	75,6
ノートブック型パソコン	57	19,096	57	30	52
CRT ディスプレイ装置	1,876	109,239	1,876	1,452	77
液晶ディスプレイ装置	50	8,379	50	33	66
計	2,921	220,847	2,921	2,223	

（出所）有限責任中間法人パソコン 3 R 推進センターHP http://www.pc3r.jp/r_data.html

表 4-21 事業系使用済みパソコン回収・リサイクル実績（平成 16 年度）

	プラント搬入質量 (t)	プラント搬入台数 (台)	再資源化処理量 (t)	資源再利用量 (t)	資源再利用率 (%)
デスクトップ型パソコン 本体	2,548	238,397	2,116	1,637	77
ノートブック型パソコン	416	131,093	289	164	57
CRT ディスプレイ装置	3,814	235,416	3,298	2,457	75
液晶ディスプレイ装置	282	44,171	202	132	65
計	7,060	649,077	5,905	4,390	

（出所）有限責任中間法人パソコン 3 R 推進センターHP http://www.pc3r.jp/r_data.html

○パソコンに含まれるプラスチック類のリサイクルシステム

家電とほぼ同様の状況にあり、プラスチック類のリサイクルは各メーカーにとって競争要素となっており、様々な取組が行われている。但し、家電に比べて難燃剤添加樹脂の割合が多く、単一組成樹脂が少ないため、よりマテリアルリサイクルが困難である。

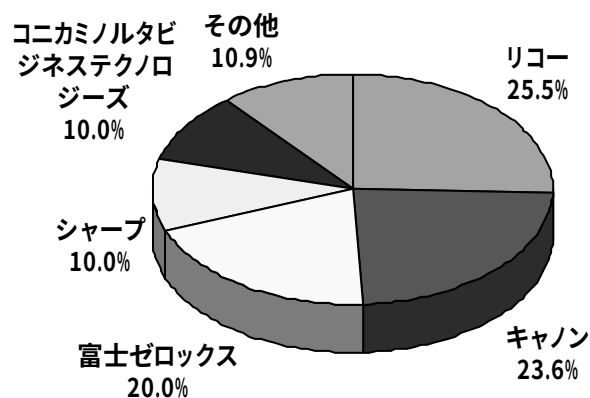
多くの場合、パソコンは手分解を行った後、樹脂素材別の分別、破碎を実施しているが、金具のついた部品等や素材が不明な部分は未分別のまま破碎処理されるケースが多い。破碎後のプラスチック類は一部がプラスチック再生事業者に引き渡されているが、大半は焼却、埋立処理である。一部高炉還元剤としても利用されている。

(11) 複写機（資料等調査による）

○市場参入状況

- ・ 2005 年 6 月よりエプソンが複写機市場に参入したが、それでも国内複写機メーカーは 10 社に限定されており、そのうち、3 社（リコー、キャノン、ゼロックス）でシェア 7 割、5 社（+シャープ、コニカミノルタ）を占める。なお、各社の競争は激しく、業界団体（社団法人 ビジネス機械・情報システム産業協会）での統一的な情報収集等は難しいと思われる。

キャノン、京セラミタ、コニカミノルタ、三洋、シャープ、東芝、パナソニック、富士ゼロックス、リコー、エプソン

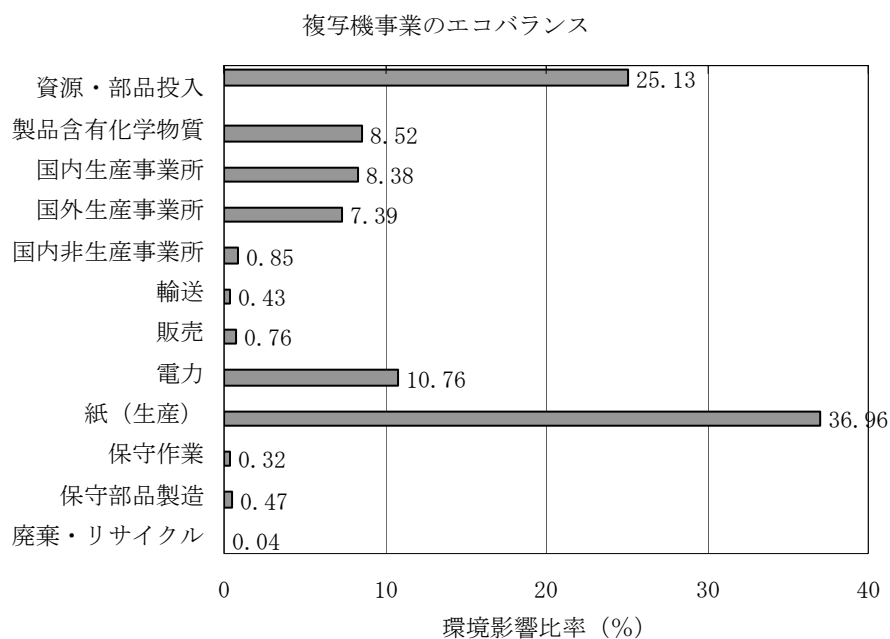


（出所）『マーケット・シェア事典 2004』矢野経済研究所

図 4-24 複写機（静電間接式）の 2004 年企業別推定シェア

○環境に対する考え方

複写機は回収・リサイクルシステムを古くから構築してきた分野であり、環境配慮に対する意識は高いと考えられる。近年は、徹底的な回収・リサイクルについて、資源の有効利用のほか、LCA（ライフサイクルアセスメント）評価による地球温暖化抑制効果等を強調する傾向も出ている。



（出所）『複写機およびその消耗品の循環システムの実態と今後』化学工学 Vol. 69, No. 6 2005

図 4-25 EPS 手法※による複写機事業のエコバランス

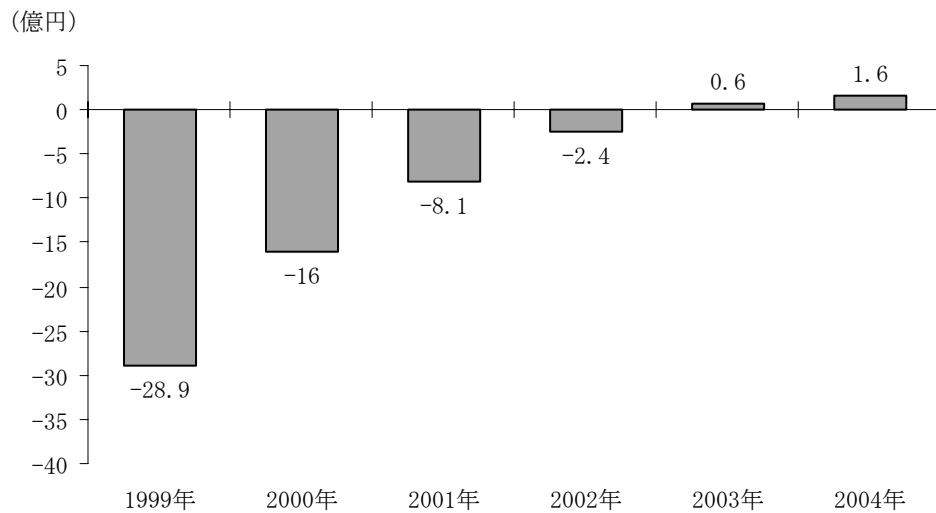
※ LCA の環境影響統合化手法としてスウェーデン環境研究所で開発された手法。環境負荷が人間の健康、生態系、非生物資源、生物多様性に与える被害量を金額換算して統合化する

○リサイクルに対する考え方

各社とも、部品リユースによって得られる新規購入部品の抑制金額をリサイクル事業の経済効果として評価し、一部企業では黒字化を達成、拡大している。

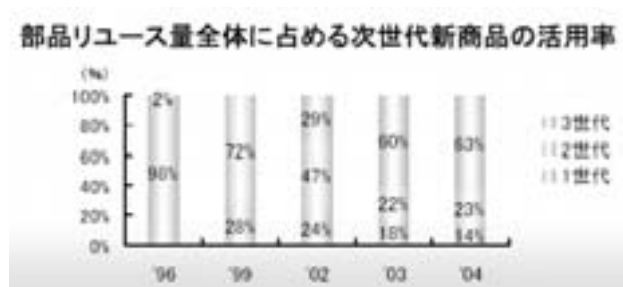
例：富士ゼロックス

1995 年から資源循環システムを開始し、2003 年度に黒字化を達成、以降、黒字化を拡大している。多世代に亘るリユースを前提とした商品設計の浸透によって、世代を超えたリユース部品の活用が増え、投入できる機種数が増えたことによるとしている。



(出所) 富士ゼロックス HP http://www.fujixerox.co.jp/arm/pdf/Progress_Report_2005.pdf

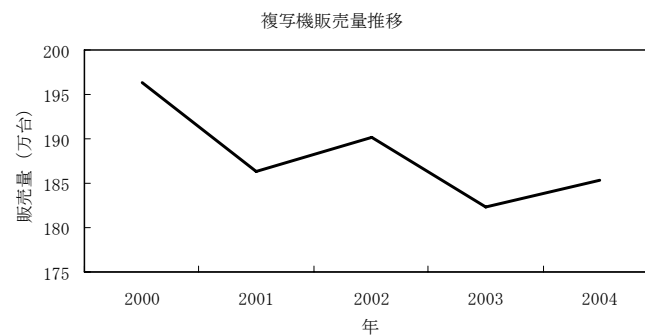
図 4-26 富士ゼロックスにおける商品リサイクル事業の採算性



(出所) 富士ゼロックス HP http://www.fujixerox.co.jp/arm/pdf/Progress_Report_2005.pdf

図 4-27 富士ゼロックスにおける次世代新商品へのリユース部品の活用拡大状況

○複写機の市場流通規模



(出所) 社団法人ビジネス機械・情報システム産業協会 HP

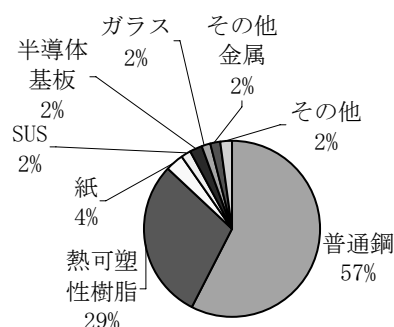
図 4-28 複写機販売量の推移

○複写機に含まれるプラスチック量・質

複写機の代表的な成分組成を図 4-29 に示す。複写機には様々なサイズ、組成の製品があるが、平均して複写機 1 台あたり 150kg、熱可塑性樹脂の成分割合 29%とすると、約 8 万 t/年の熱可塑性樹脂が複写機に使用されて販売されている。

単位：kg

	リコー						キャノン		ゼロックス		平均組成
	imagio Neo220	imagio Neo752	magio Neo 3 5 OR	Canon PC1280	Docu Centre707						
普通鋼	33.4	53%	145	60%	42.8	44%	10.6	34%	128	66%	57%
SUS	0.343	1%	4.95	2%	0.287	0%	0.0618	0%	4.41	2%	2%
アルミニウム	0.229	0%	4.62	2%	0.982	1%	0.24	1%	1.39	1%	1%
その他金属	0.177	0%	3.58	1%	3.77	4%	0.114	0%	3.45	2%	2%
熱可塑性樹脂	16.9	27%	75.1	31%	43.3	44%	12.2	39%	36.7	19%	29%
熱硬化性樹脂	0.00625	0%	0.129	0%	0	0%		0%	1.64	1%	0%
ガラス	1.389	2%	1.96	1%	2.78	3%	0.922	3%	2.66	1%	2%
ゴム	0.0922	0%	1.22	1%	0.589	1%		0%	0.889	0%	0%
木材	0	0%	0	0%	0	0%	0.901	3%		0%	0%
紙	7.35	12%	0.59	0%	0.03	0%	5.05	16%	10.6	5%	4%
半導体基板	1.93	3%	5.01	2%	3.2	3%	0.0786	0%	2.7	1%	2%
中型モーター	1.08	2%		0%	0	0%	0.729	2%		0%	0%
合計	62.9	100%	243	100%	97.8	100%	30.9	100%	193	100%	100%



(出所) 社団法人産業環境管理協会 HP エコリーフ

図 4-29 複写機の組成

また、リコーでは複写機の「使用説明書ホルダー」や配線キャップ等 6 部品に PLA の利用を開始。高速複合機 2 機種について、2005 年 12 月出荷分より全面的に採用していく。1 台あたり使用量は約 200g で、来年は約 3 万 t の利用を目指している。これから発売するモデルであり、現段階ではマテリアル・ケミカルリサイクル等について具体的なプランはなく、当面はサーマルリサイクルが中心になるとのこと。なお、今後、筐体への利用については、難燃性の問題 (5V 規格) を解決してから検討する段階とされる。(新聞発表、2005 エコプロダクト展におけるヒアリングより)

○複写機中プラスチックのリサイクルシステム

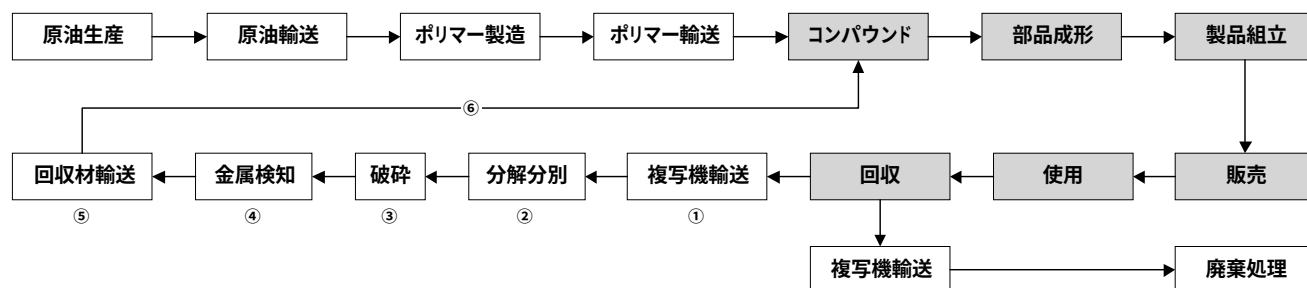
複写機の中でも、プラスチック部分の再利用は難しく、シュレッダーダストとしてサーマルリサイクルされているケースが多い。特に多量に採用されている ABS、変性 PPE 等の複雑なプラスチックは再生が難しい。これらのプラスチック類は難燃性、耐光性等

の仕様によって複数の樹脂や異なる種類や量の添加剤が混入されており、名称の同じプラスチック類を集めて再生しても同等のプラスチック特性を発現することは困難である。

複写機メーカーでは、プラスチック材料のグレードを統一して種類を少なくし（例えば、キャノンでは2003年度に103グレード→67グレードに削減）、再生対象材料として一定量を確保する取組を行っている。

<リコー>

リコーにおける複写機外装用樹脂のクローズドマテリアルリサイクルを図 4-30 に示す。



（出所）リコーHP『複写機外装用樹脂のマテリアルリサイクルにおけるLCA』

www.ricoh.co.jp/ecology/history/pdf/material.pdf

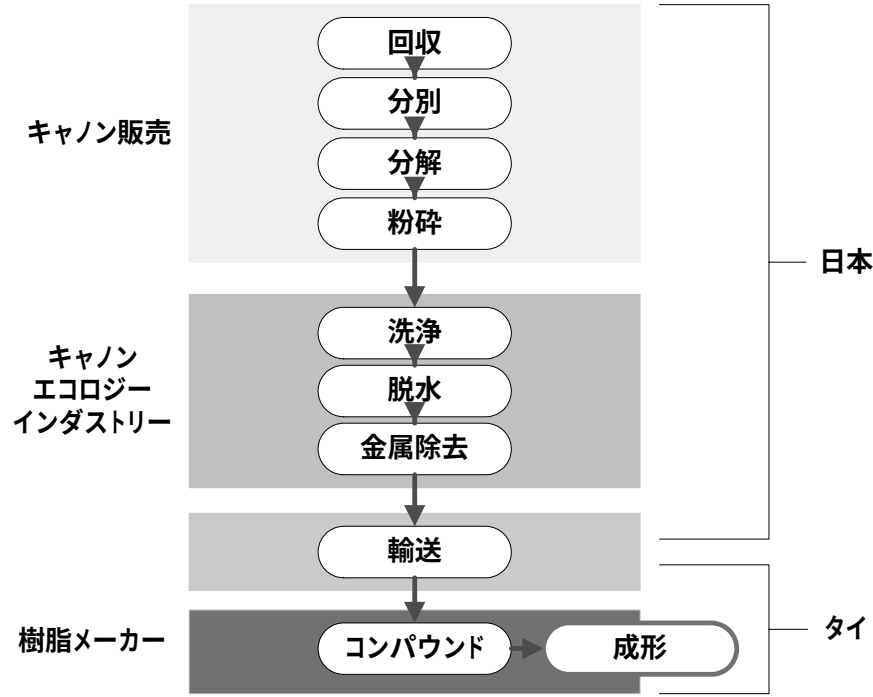
図 4-30 リコーにおける複写機外装用樹脂のクローズドマテリアルリサイクルフロー

- ① 使用済み複写機が回収拠点に集められ、リサイクルセンターに発送される
- ② リサイクルセンターでは複写機を分解し、同一素材毎に分別される。このうち、プラスチックカバーは材料表記に従い材質、グレード別に分類が行われる
- ③ プラスチックカバーに付属している異種材料部品を取り除き、更にカバーに付着した塵埃をエアブローで吹き飛ばした後、破碎機にかける
- ④ 破碎されたプラスチック片（5mm 以下）はその後ベルトコンベアで搬送され、金属探知機によってプラスチック片に含まれる金属片が除去される
- ⑤ これら回収材が一定量集まった段階で、再生材料メーカーに向けて発送される
- ⑥ 再生材料メーカーにおいてはバージン材料に対してある比率で回収材を混合し、再生材の生産を行い、再び部品メーカーに材料を供給する

<キャノン>

1999 年より外装部品を主体とした樹脂回収を東日本地域で開始。2002 年からは回収部品を複写機給紙カセットに拡大するとともに全国展開にも着手している。回収した給

紙カセット（HIPS 材）は洗浄・異物除去などの前処理を行った後、タイへ輸出。タイ国内の樹脂メーカーでリペレット化し、変性 PPE へリサイクルする。このリサイクル樹脂は電気安全基準である UL 認定を取得しており、バージン材と同等の品質を確保したうえで、インクジェットプリンタの電源ボックスのカバーに使用している。



（出所）キャノンサステイナビリティレポート 2004

図 4-31 キャノンにおけるプラスチック材料リサイクルシステム

2001 年よりレーザビームプリンタの基幹部品に 100%再生 PET 樹脂を使用した成形部品の採用を開始している。今後、複写機、ファクシミリ、複合機などの製品にも優先使用したいとしている。

表 4-22 キャノンにおける再生プラスチックの利用状況

年度	樹脂投入量	再生プラスチック投入量
2000	144,390	4,853 (3.36%)
2001	127,000	4,209 (3.31%)
2002	138,260	4,740 (3.43%)
2003	142,561	4,218 (2.96%)

（出所）キャノンサステイナビリティレポート 2004

○複写機用再生プラスチックに求められる品質

<リコー取組事例>

リコーによると、変性 PPE の再利用については、バージン材 80%+回収材 20%が外装

用樹脂としての社内基準をクリアできる限界であり、回収材の混合比率が 30%を超えるとメルトフロー及びコンタミの基準をクリアできないとしている。

表 4-23 再生プラスチックの品質特性（材料：PPE）

項目	単位	バージン材料	無洗浄			再生材料空気洗浄			洗剤洗浄		
			30%	50%	100%	30%	50%	100%	30%	50%	100%
比重	-	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09
引っ張り強度	MPa	42	40	41	44	40	39	44	40	40	44
引っ張り伸び	%	63	59	52	48	59	47	56	54	57	30
曲げ強度	MPa	64	68	70	70	68	68	72	68	70	71
曲げ弾性	MPa	N/A	2250	2290	2280	2310	2280	2310	2290	2300	2260
アイゾッド衝撃強度	J/m	206	182	159	88	184	161	118	168	162	68
荷重たわみ温度	℃	91	95	96	94	92	95	92	93	93	93
MF I	g/10min	29	29	33	36	28	30	32	32	38	46
コンタミサイズ	個/枚	152	117	352	79	92	121	101	123	120	152

★ 複写機に用いる樹脂素材が備えるべき要件

- ・ 筐体を利用するには、難燃性が課題

複写機の筐体として使用するには UL 規格で V-0※1 を達成する必要がある（ヒアリングより）。PLA では難燃性付与が難しく、現状ではキャノンのような使用説明書入れ等の付属部品に使用する程度が限界である。筐体の中でも熱のかからない部分のみに採用することも考えられるが、易リサイクル設計を目指してプラスチックグレードを削減しつつある流れに逆行する。

複写機筐体としてバイオマスプラスチックを実現するためには V-0 規格を実現すべく、低価格な難燃剤添加 PLA を提供する必要がある。（既にノート PC では富士通が V-0 を達成する PLA を開発・使用している例もある）

※1：V-0 基準：製品を UL 規格の中にある燃焼試験で判定する時の最も厳しい難燃性の基準。5 本の試験片を 1 本ずつバーナーの炎に 10 秒間あてて、バーナーから離し、炎が消えればすぐにまたバーナーの炎を 10 秒間あててバーナーから離す。バーナーから離した後 10 秒以上燃え続けない、また、試験片が溶けて下に置いた脱脂綿に落ちて脱脂綿を燃やしたりしないことが条件。5 本とも同じ作業を行ってその燃焼時間が合計で 50 秒以内でなければならない。

- ・ 地球温暖化抑制効果、化学物質削減効果を訴求ポイントに

複写機業界では、各社とも徹底的な回収・リサイクルシステムを構築し、資源の有効利用の面では改善の余地が無いほどに進んでおり、地球温暖化抑制効果等の他の環境面での訴求ポイントを求めている様子である。その面で、地球温暖化抑制効果、化学物質

利用削減効果のあるバイオマスプラスチックは優位であると思われる。

但し、各社とも環境報告書等に環境配慮効果を数値で詳細に示している点からも、バイオマスプラスチック採用による効果を定量的に示す必要がある。

★ 複写機に含まれるバイオマスプラスチックをリサイクルするために

- ・ 一定量以上のバイオマスプラスチックの採用
- ・ 現状の筐体樹脂リサイクルシステムの活用

複写機の筐体樹脂については、各社ともリサイクルシステムを整備している。バイオマスプラスチックを採用し、このリサイクルシステムを活用するためには、現在の再生プラスチックメーカー（キャノンではタイに拠点）でも対応できる容易なバイオマスプラスチックリサイクル技術の開発が必要である。

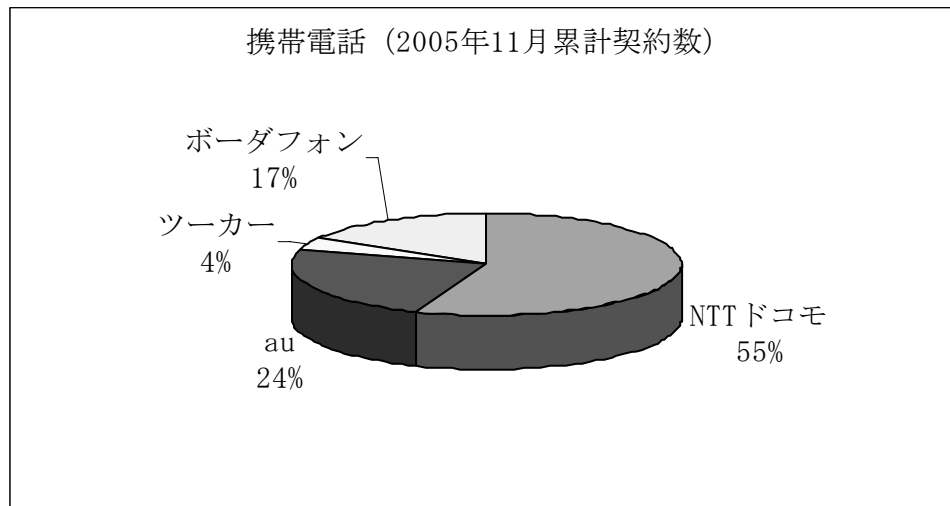
また、筐体樹脂リサイクルシステムは、各社経済性確保のため立地や再生手法に工夫を施しているところであり、バイオマスプラスチックリサイクルについても安価に行わなければならない。

- ・ 難燃剤混入 PLA のリサイクル技術開発

上述の通り、筐体として PLA を採用するためには、難燃剤の購入による高度な難燃化処理が必要である。難燃剤が多量に含まれる PLA を安価、高効率にリサイクルする技術が求められる。

(12) 携帯電話（資料等調査による）

○市場参入状況



（出所）（社）電気通信事業者協会 HP <http://www.tca.or.jp/japan/database/daisu/index.html>

図 4-32 携帯電話の 2005 年 11 月現在の企業別推定シェア

○携帯電話の市場流通規模

平成 17 年 11 月現在の携帯電話契約台数は、89,678,900 台。

○携帯電話に含まれるプラスチック量・質

現状携帯電話に使用されているプラスチックの大半は ABS 樹脂。

NTT ドコモでは、NEC とユニチカが開発したケナフ繊維添加 PLA を携帯電話の筐体に採用、本年度中の発売を目指すとしている。ケナフ繊維を添加した PLA では、難燃性や強度の課題は解決できたが、デザイン性が課題との指摘もある。（エコプロダクト展 ヒアリング）

○携帯電話のリサイクルシステム

社団法人電気通信事業者協会と情報通信ネットワーク産業協会は、2 年前より全国約 8,500 店（平成 15 年 3 月末現在）においてブランド名に関係なく、携帯電話・PHS を無償で回収するモバイル・リサイクル・ネットワークを構築。

携帯電話専売店では、ブランドに関係なく携帯電話等は無償で回収し、モバイル・リサイクル・ネットワークに協力して、自社で作ったりサイクルシステム（廃棄物処理業者、精錬業者等との連携）で処理を行っている。例えば、NTT ドコモでの処理システムの例を以下に示す。



(出所)NTT ドコモ HP より <http://www.nttdocomo.co.jp/corporate/eco/from/recycle.html>

図 4-33 NTT ドコモにおける携帯電話の処理システム

○リサイクル実績

近年、量販店での携帯電話購入が多くなり、携帯電話販売店への使用済み携帯電話持込量が低下している。平成 16 年度、電気通信事業者協会が携帯電話利用者にアンケート調査を行ったところ、解約・買替により不要になった携帯電話のうち、店舗への回収率は 24%程度に留まっている。(36%がゴミとして処分、残りは保有)

さらには、従来は、携帯電話のリチウムイオン電池の電極に含まれるコバルトが高価であることから、リサイクルによる経済的メリットが期待されたが、近年技術開発の結

果、安価なニッケル水素電池やマンガン系電池など、再生価値の低い電池への切り替えが進み、リサイクルの経済メリットが低下している。

表 4-24 携帯電話の回収・リサイクル実績

		平成 1 2 年度	平成 1 3 年度	平成 1 4 年度	平成 1 5 年度	平成 1 6 年度
本体	回収台数（千台）	13,615	13,107	11,369	11,717	8,528
	回収重量（t）	819	799	746	821	677
	再資源化量（t）	—	151	138	155	129
	再資源化率（%）	—	19	19	19	19
電池	回収台数（千台）	11,847	11,788	9,727	10,247	7,312
	回収重量（t）	304	264	193	187	159
	再資源化量（t）	—	139	102	103	84
	再資源化率（%）	—	53	53	55	53
充電器	回収台数（千台）	3,128	4,231	3,355	4,387	3,181
	回収重量（t）	328	361	251	319	288
	再資源化量（t）	—	83	57	75	52
	再資源化率（%）	—	23	23	24	23

（出所）モバイルリサイクルネットワーク HP <http://www.mobile-recycle.net/result/index.html>

○携帯電話に含まれるプラスチック類のリサイクルシステム

分別されたプラスチックは玩具や自動車部品等へのマテリアルリサイクル、のほか、再度携帯電話原料としても利用されている。

2003 年 5 月 NTT ドコモ報道発表資料

NTT ドコモは、お客様より回収させて頂いた商品を基に再生した ABS 樹脂を素材とする製品を、携帯電話事業者としては初めて採用します。尚、第 1 弾としては本日発売の D505i の卓上ホルダが該当製品となります。

これまでも、NTT ドコモでは環境保全活動として携帯電話機等の 100%リサイクル化を図ってまいりましたが、今回は更にこの取り組みを進める形でリサイクル素材を製品に取り入れることとしたものです。

今までのリサイクルの場合、携帯電話から再生された工業原料は自動車部品など、他の製品に転用していたのに対して、今回の取組みは同じ携帯電話の付属品として転用することで、効率的なリサイクルを実現することができました。

また、このことのお客様から回収させて頂いた商品を、再度商品としてリサイクルする形となり、流通経路の簡素化を図りました。加えて、コスト面でも分別作業を軽減できるように、ABS 樹脂と相溶性の高い部品を利用するなどのことにより、効率的なリサイクル体制が構築し、同一産業内での永続的なリサイクルの実現に至りました。

4-4 その他

(13) 飛行機チケット（資料等調査による）

○市場参入状況

国内では JAL（日本航空）、ANA（全日空）の寡占状況

○環境に対する考え方

航空各社の環境に対する意識は高く、特に、イメージ向上の観点からか、全廃棄物の 15%程度を占める機内ごみの処理・リサイクルについては様々な取組が行われている。

○搭乗チケットの市場流通規模

『平成 16 年度航空輸送統計調査』（国土交通省）より、航空機利用者数は以下の通りである。

国内定期航空輸送旅客数：9,374 万人

国際航空輸送旅客数：1,827 万人

合計：11,201 万人

チケット 1 枚あたり重量を 3 g（実測値：JAL4g ANA2g）とすると、年間チケット流通量は 340 t/年程度と推察される。うち、半券重量を 1 g/枚（実測値より）と仮定すると、空港で回収される量（半券以外）は 230 t/年となる。

但し、近年、搭乗券不要の IC カードや IC 機能付き携帯電話といった完全チケットレスでの搭乗も増えてきており、チケット流通量は今後低下することが予想される。

○搭乗チケットへのバイオマスプラスチック採用可能性

搭乗チケットはプラスチックコーティングの紙に磁気ラインを入れた構造である。バイオマスプラスチックを利用する場合、コーティング紙の代替としての利用が考えられ、その利用可能性はチケット市場流通規模と同様 230t/年程度と考えられる。

○搭乗チケットのリサイクルシステム

搭乗チケット回収・リサイクルは空港ではなく、各航空会社が担っている。成田空港等では、海外航空会社の航空機チケットも発生するが、これらの処理は各国本社の判断によると思われることから、ここでは上記 2 社における対応を確認する。

現在、回収された搭乗チケットは、個人情報保護等の観点から溶解等の方法をとった後、各航空会社で慎重にリサイクルされている。JAL、ANA とともにトイレットペーパーやティッシュペーパーへのリサイクルを行っているほか、ANA の一部空港ではうちわや看

板等へのリサイクルを行っている。

★ バイオマスプラスチックの搭乗チケットへの採用について

- ・ チケットでの需要はあまり大きくない。さらに電子チケットの導入により利用量が低減傾向にある。バイオマスプラスチックの採用用途としては規模が小さい。
- ・ JAL、ANA の両者のチケットがバイオマスプラスチック製になったとしても、リサイクルは困難な量か。（空港ごと、航空会社ごとに回収するとなると、数 kg/日レベルか）

(14) ヘッドレストカバー（資料等調査による）

○関連主体

<利用者>

航空機：国内では JAL（日本航空）、ANA（全日空）の寡占状況

鉄道（特急）：JR 東日本、東海、西日本等

バス（高速）

<供給者>

クラレ等の不織布製品メーカー

<企画・調達>

JAL であれば JALUX 等の航空機、車両用品納入業者が決定していることも考えられる。

<回収>

JAL であれば日本サービス株式会社（JSK）、ANA であれば ANA エアポートサービス株式会社、JR 東日本では鉄道整備株式会社など、各利用主体の機内・車両清掃を担う子会社が担当



○ヘッドレストカバーの市場流通規模

ヘッドレストカバーに特化した流通量データはない。また、ヘッドレストカバーには、布製・不織布製等様々な組成、及び大きさがあり、一概には試算できない。

以下の仮定を設けた場合の凡その試算を以下に示す。

- 以下の路線について乗客1人あたり1枚のヘッドレストカバーを使うものとする。
(1回ごとに交換)
- 対象とする路線：航空機全席（旅客数 11,201 万人/年）
- ヘッドレストカバーの重量：5g/枚

航空機旅客数 11,201 万人/年 × ヘッドレストカバー重量 5g/枚 = 560t/年

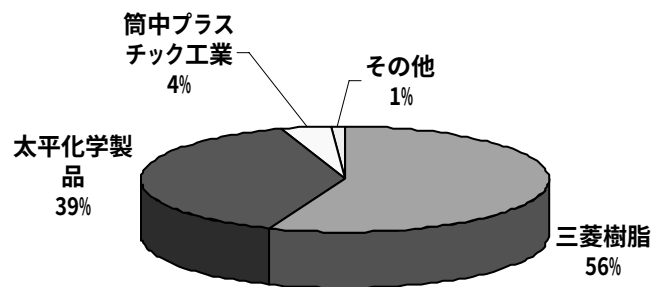
○ヘッドレストカバーのリサイクルシステム

ANA 問い合わせ中（現状では「不明」との回答）

(15) プラスチックカード類（資料等調査による）

○市場参入状況

一部のプラスチックカード（SUICA 等）の原料となる PET-G フィルム・シート（環境配慮型の PVC 代替素材として開発）の製造メーカーシェアを図 4-34 に示す。この素材を用いた、PET-G 製サーマルライトカード（交通定期券、ポイント機能等、情報の書き込みを行うカード）については、ソニーが 67%のシェアを持っている。



（出所）富士キメラ総研調査 HP <http://www.enplanet.com/Ja/Market/Data/y03001.html>

図 4-34 PET-G フィルム・シートの企業別推定シェア

○プラスチックカードの市場流通規模

キャッシュカード・クレジットカードやプリペイドカードは単なる識別性から、セキュリティ強化の必要性が高まってきている。これに対応して交通、金融、流通、ID 等の各需要分野では、記憶容量やセキュリティの面で優れている IC カードの導入が増加傾向である。一般的なプラスチックカードの種類を表 4-25 に示す。

表 4-25 一般的なプラスチックカードの種類

一般的な呼称	特徴	主な用途
一般カード（プラスチックカード）	硬質塩ビのシートを数枚熱圧着してカード型に抜いた物。	レンタルビデオ店、カラオケ店、スポーツクラブなどの会員証としての利用が多いカード。
磁気ストライプカード	一般カードに磁気テープを貼りつけたカード。磁気テープにはカラーバリエーションがある。記録文字数は72文字。	キャッシュカード、クレジットカード、印鑑登録証、診察券など、個人の認証が必要な場合に使われる。
ICカード	磁気のかわりにICチップを埋め込んだカードで、情報量とセキュリティが飛躍的に向上した。記録文字数は最大8,000字。	キャッシュカード、クレジットカード、テレホンカード、スイカ（JR）など使用用途は増えている。
隠蔽（磁気）カード	磁気テープを見えないようにしたカード。テープによるデザインの制約を受けにくい。	キャッシュカード、クレジットカード、診察券など。
抗菌カード	抗菌効果のある硬質塩ビを使用したカード。	診察券、飲食店のポイントカードなど清潔感を求める用途に向いているカード。
耐熱カード	高温でも変形しにくいカード。	ガソリンスタンドの給油カード、パーキングカードなど、高温になる場所での使用を前提とした場合に使用される事が多い。

（出所）日本カード製造株式会社HP <http://www.jcm.cc/shurui.htm>

カードの素材・デバイスの販売構成において、全面磁気カード原反の需要が極めて多く、国内需要量の75%を超えており、各種プリペイドカード、サーマルライトカード、ポイントカード等に使用されている。2002年では、上位3種類（全面磁気カード原反、磁気ストライプカード原反、ICチップ）の部品材料を合計すると94.5%となり、カード材料の大部分を占める。

表 4-26 プラスチックカード素材・デバイスの部材別販売構成比

カードの素材・デバイス	販売金額（百万円）	ウェイト（%）
全面磁気カード原反	71,000	77.2
磁気ストライプカード原反	8,400	9.1
ICチップ	7,500	8.2
PETフィルム・シート	2,600	2.8
PVCフィルム・シート	1,000	1.1
PET-Gフィルム・シート	400	0.4
ホログラム	390	0.4
磁性材（記録層）	380	0.4
磁気テープ	340	0.4
生分解性プラスチックフィルム・シート	7	△
合 計	92,017	100.0

（出所）富士キメラ総研調査 HP <http://www.enplanet.com/Ja/Market/Data/y03001.html>

富士キメラ総研によると、カード材料市場は 2005 年まで減少していくが、2006 年以降はプラス成長に転ずる見通しである。2002 年のカード材料市場において、全面磁気カード原反が最も大きなシェアを握っているが、同カード原反の需要分野であるプリペイドカード市場はパチンコカード、テレホンカードの用途で大幅な減少が進んでいる。もっとも成長が期待されているのは IC カードに関する分野である。

○プラスチックカードに含まれるプラスチック量・質

各種プラスチックカードに含まれる素材を表 4-27 に示す。

表 4-27 プラスチックカードの素材

材料・デバイス	素材・構成	応用製品（代表的なカード）	備考
PET フィルム・シート	PET	パチンコカード、パスネット、テレカ、サーマルリライトカード	薄手のプラスチックカードサーマルリライトカードは白濁型とロイコ型がある。
PVC フィルム・シート	PVC	キャッシュカード、クレジットカード、ID カード	厚手のプラスチックカード
PET-G フィルム・シート	PET-G	サーマルリライトカード（Suica、ICOCA）、ETC カード、住民基本台帳カード、	交通・公共分野で需要が上昇。
生分解性プラスチックフィルム・シート	ポリ乳酸	プリペイドカード	ドコモテレカ「モバイルーズチェック」
磁性材（記録層用）	磁性材	全面磁気カード	磁性材は、全面磁気カードの記録層に使用する。
磁気テープ	PET テープ＋磁性材	磁気ストライプカード	磁気テープは、磁気ストライプの磁気記録部に使用。
IC チップ	半導体 IC	IC カード	接触、非接触、デュアル I/F に分類される。
全面磁気カード原反	PET シート＋磁性材	プリペイドカード（パチンコカード、テレカ、パスネット、等）、ポイントカード サーマルリライトカード	全面磁気カード原反は、通常、印刷会社に供給される。
磁気ストライプカード原反	樹脂シート＋磁気テープ	磁気ストライプカードキャッシュカード、クレジットカード、ID カード	同カード原反の供給先は、金融系カードが約 6 割を占有。
ホログラム	銀塩材料	クレジットカード、プリペイドカード、ID カード	カードの一部又は全面にホログラムを搭載

（出所）富士キメラ総研調査 HP <http://www.enplanet.com/Ja/Market/Data/y03001.html>

PVC の見直しや、PET-G フィルム・シートなど環境対応型のカード基材として需要を伸ばしている。PET-G フィルム・シートは、PVC 樹脂の代替品として注目されており、厚手のカードに加工されている。PET-G 樹脂は、環境負荷問題で懸念されている PVC 樹脂の代替品として開発され、「Suica」や「ICOCA」、ETC カードの他、住民基本台帳カード等にも採用されている。使用頻度の高い交通系カードや高温状態が予測される車載機器用途に導入され、品質的にも優れている素材である。但し、PVC と比較して高価格であり、カード単価の高い IC カード等への導入に限定されている。金融系カードや IC 社員証等で一時 PET-G の導入が進んだが、ユーザーのよってはコスト削減策から PVC 系カードを導入する傾向もある。市場規模推移と予測を表 4-28 に示す。

表 4-28 プラスチックカード材料の市場規模（予測）

（単位：百万円 %）

カードの素材・デバイス	2002 年	2007 年 予測	伸長率 2007/02	主なカード製品
PET フィルム・シート	2,600	1,100	42.3	プリペイドカード
PVC フィルム・シート	1,000	1,250	125.0	キャッシュカード、クレジットカード
PET-G フィルム・シート	400	650	162.5	サーマルリライトカード
生分解性 プラスチックフィルム・シート	7	27	385.7	プリペイドカード
全面磁気カード原反	71,000	28,000	39.4	プリペイドカード
磁気ストライプカード原反	8,400	10,300	122.6	磁気ストライプカード
IC チップ	7,500	32,700	436.0	IC カード
ホログラム	390	600	153.8	クレジットカード
磁性材（記録層）	380	280	73.7	全面磁気カード
磁気テープ	340	360	105.9	磁気ストライプカード
合 計	92,017	75,267	81.8	

※ IC チップには RFID は含まず（出所）富士キメラ総研調査 HP
<http://www.enplanet.com/Ja/Market/Data/y03001.html>

また、プラスチックカードの一部では、生分解性プラスチックフィルム・シートが実用されている。2005 年末には三菱レイヨンがポリ乳酸の透明性を保ちながら耐熱性と耐衝撃性を付与する技術を開発し、PET-G に比べて耐衝撃性に優れることも実証されており、プラスチックカード分野で PET-G の代替として PLA が使える可能性があることを提案した。

2000年4月20日

JR東日本『VIEW VISAカード』向けに環境対応型カードの供給を開始

大日本印刷株式会社は、JR東日本の『VIEW VISAカード』向けとして、環境対応型カード『PET-Gカード』の供給を開始しました。

『PET-Gカード』は、米国イーストマンケミカル社が製造・供給する非結晶ポリエステル(※)であるPET-Gを基材として使用したカードです。一般のプラスチックカードの基材として使われている塩ビは、不適切な方法で燃焼させた場合、塩素系ガスを発生するおそれがあるため、焼却処理に留意する必要があります。PET-Gは塩ビと異なり、焼却方法の如何を問わず塩素系ガスを発生せず、完全燃焼させることにより水と二酸化炭素とに分解されます。

また、薄手のプリペイドカードやポイントカードに用いられる一般的なPET(ポリエチレンテレフタレート)基材と異なり、エンボス加工(カードナンバー等の凹凸加工)が容易なため、カード用の塩ビ代替材料として現在最も注目されている材料です。

『PET-Gカード』は、JISおよびISOの磁気プラスチックカード規格に準拠しているため、既存の処理機(磁気カードリーダ、ATM、CD等)を変更する必要がありません。また、既存のカード発行機(磁気スライプ部へのエンコードやエンボス加工等を行う処理機)によって、発行することができます。

JR東日本は、極めて環境にやさしい交通機関である鉄道の特性が最大限発揮できるよう、地球環境問題に対して具体的な目標を設定し継続的な改善に取り組んでいますが、今回の『PET-Gカード』もそのような基本理念に基づき採用されたものです。『VIEW VISAカード』は、今後全てが『PET-Gカード』に切り替わる予定です。

現在、環境問題への関心の高まりから、環境対応型カードに対するニーズが大きくなって来ています。当社は、このニーズに応えるため『PET-Gカード』を開発し、クレジットカード会社や金融機関等を中心に、累計で約40ユーザに1,000万枚以上の『PET-Gカード』を供給してきました。当社は今後も、『PET-Gカード』をさまざまなカードアプリケーションへ展開し、今後3年間で、約40億円の上を見込んでいます。



(出所) 大日本印刷株式会社 HP <http://www.dnp.co.jp/jis/news/2000/20000420.html>

5. バイオマスプラスチックの利用・リサイクルシステムの検討

以上の調査結果をもとに、バイオマスプラスチックの適用が期待されるいくつかの用途の品目について、利用・リサイクルシステム構築の可能性を検討した。検討対象とした用途、および検討の前提となる考え方を以下に示す。

○検討対象とした用途

店舗資材、物流資材、耐久製品、集客施設で利用される製品、の4つの利用分野において、現在の回収・リサイクル状況（4章）や、関連事業者のヒアリング結果等をもとに、いくつかの品目を抽出して検討対象とした。抽出の課程は5-1～5-4の各章に示す。

表 5-1 検討対象とする用途

検討対象分野	対象とした具体的品目
5-1 店舗資材	ハンガー、店舗備品、販促品、レジかご
5-2 物流資材	コンテナ、パレット、搬送用ストレッチフィルム
5-3 耐久製品	家電（冷蔵庫、洗濯機、エアコン、テレビ）、パソコン
5-4 集客施設で利用される製品	ワンウェイのカップ、簡易食器

○検討の前提

<バイオマスプラスチックの種類>

ここでは、バイオマスプラスチックの中で最も利用が進んでおり、また、リサイクル技術が確立しつつある（3章参照）PLA（ポリ乳酸）を対象として検討する。

<リサイクル手法の考え方>

バイオマスプラスチックのリサイクル手法には、2章に示した通り、リユース、マテリアルリサイクル、ケミカルリサイクル等があるが、ここでは、各手法の特徴を以下のように捉え、検討対象とする用途に適した手法を選択することとした。なお、バイオリサイクル（堆肥化）、サーマルリサイクルは検討対象としない。

表 5-2 バイオマスプラスチックにかかるリサイクルシステムの特徴

リサイクル手法	適用による劣化の有無	適用可能な規模	適用可能な質	再生品の質
リユース	洗浄等による劣化有り	品目による	洗浄等に対応可能な汚れのみ適用	従来品と同品への再生
マテリアルリサイクル	同一製品へのリサイクルは3回限度、あとはカスケード的	1施設 1t/年以上	汎用プラスチックや添加剤の混入が多い品目の取扱は困難（適用による劣化が大きい）	高度な細工を必要とする品目への再生は困難（フィルム、発泡体、シート等）
ケミカルリサイクル	なし（むしろ、従来品以上の品質への再生が可能）	1施設あたり 3000t/年以上	多少の夾雑物や混合物への対応は可能。ただし、種々雑多なものが含まれる場合には不適	制限なし

5-1 店舗資材

○検討の背景

以下に示す背景より、小売店等の店舗におけるバイオマスプラスチックの利用、及びリサイクルシステムの構築可能性を検討した。

- ・ 店舗には様々なプラスチック製品が使われており、一部には、PLA 等の物性・コストが許容される用途があると期待される。
- ・ 一般消費者を顧客とする小売店等においては、企業イメージや店舗の快適性を重視する傾向が強く、安全、安心とともに、環境配慮に対する意識が高いものと予想される。
- ・ 市民にとって身近な場である店舗でのバイオマスプラスチックの利用拡大は、エンドユーザーにおけるバイオマスプラスチック認知度を高める効果が期待される。

○バイオマスプラスチックの利用・リサイクルシステム構築が可能な用途について

文献調査、及び小売店に対するヒアリング調査をもとに、店舗で使われているプラスチック製品のうち、物性やコスト等の条件を勘案の上、バイオマスプラスチックの利用が可能で、かつ、リサイクルシステムの構築可能性のある品目を検討した。

品目ごとの検討結果を表 5-3 に示す。

表 5-3 の結果を踏まえ、物性やコスト面でバイオマスプラスチックの利用が可能な販促品や店舗備品を中心に検討を行うものとする。なお、これらの品目のうちハンガーやマネキン等のいくつかについては、既にリースやリユースのシステムが形成されており、これら既存のシステムを活用することで効率的な回収・リサイクルルートを構築することが考えられる。

また、現在間接資材として小売店単位で購入しているため、低コスト化圧力が高いレジかごについても、店舗備品としてリース方式での導入を図ることでバイオマスプラスチック製商品の導入促進、及び回収の容易化を図ることを検討する。

なお、商品やレジ袋等、消費者が家庭に持ち帰る品目についてはリース方式が適用できないため、別途システムの構築が必要となるが、ここでは検討対象としない。

表 5-3 店舗におけるプラスチック製品の特性整理

店舗で利用される製品		バイオプラスチック製品の利用可能性		回収・リサイクルの可能性	
商品	卵パック	○	○	・ イオン株式会社において既に採用済み。 【物性】 ・ 高い機能を要求されないため、利用は可能。 ・ PLAの耐熱性の弱さより、従来の卵パックと異なる構造(閉閉部分のシール止め)が必要となる、生産拠点への追加投資が必要に。 ・ その他、成形工程で、素材変更の際に金型冷却時間を要するなど製造側での問題も。	・ 各家庭で分散して発生するが、形状が特徴的であることから、店舗の回収ボックスで販売量の数%程度を回収することは可能か。 ・ 一部地域では地元業者や NPO がリサイクルシステムを構築しており、既存システムとの切り分けが必要。(PET と PLA 製が混合しない工夫)
	食品容器包装	△	△	【物性】 ・ 高い機能を要求される用途の容器包装類については、利用が難しい	・ 各家庭で分散して発生し、また、他素材の容器包装との区別が難しく、分別が困難。 ・ 一部自治体では容器包装リサイクル法に基づく仕組みを作っており、店頭での回収は困難である。
間接資材	レジ袋	△	△	・ 現状ではコスト・物性とも実用には不十分。 【物性】 ・ PLA を使った場合、強度面で課題があるほか、既存のレジ袋生産設備に影響を与える可能性がある。 ・ 海外工場に対して注意が必要な PLA 素材の使用をお願いすることは難しい。 【コスト】 ・ 現在のレジ袋は、海外工場で 12～18μm の薄さのものを製造しており、極限まで低コスト化を進めている。 ・ レジ袋等の資材では、商品に占める素材原価の占める割合が 70～90% と非常に高く、素材コストの上昇の影響が非常に大きい。	・ レジ袋はごみ袋として利用されており、回収は難しい。 ・ また、容器包装リサイクル法においてレジ袋は使用量削減の方向性を推進しており、リサイクルの促進はこれに逆行する可能性もある。
	レジかご	△	△	【今後の可能性】 ・ 容器包装リサイクル法の理念を踏まえ、店舗がレジ袋の有料化を行う場合、レジ袋に求められる仕様が大きく変わる可能性がある。繰り返し使える厚手のレジ袋に対するニーズが発生することもある。PLA を導入する可能性は出てくる。 現状ではコスト・物性とも実用には不十分か。 【物性】 ・ PLA 製では重量が重いことは大きな課題。 ・ 従来素材に比べて流動性が悪く、金型の作り直しなど生産設備側の変更が求められる懸念がある ・ 使い方の幅が広く、大きな重量負荷がかかった場合の耐性に不安がある。	・ 継続的に利用し、回収対象となる破損品の発生頻度は不定期である。 ・ 店舗内でのみ発生する。
販促材	ポップ等	○	○	・ 間接資材のように厳しい低コスト化要求や高度な機能要求は少ないものと予想される。	・ 継続的に利用し、回収対象となる破損品の発生頻度は不定期である。 ・ 店舗内でのみ発生する。
	これまで、リサイクル素材の利用はあまり検討されていない分野				
店舗備品	ハンガー		○	【物性】 ・ PLA 製では重量が重いことは大きな課題。 ・ 海外生産拠点（衣服プレス拠点等）から衣服をハンガー出るしで運搬することを想定すると、運搬コンテナ船内の昇温（最大 60℃程度）に耐えられる耐熱性が必要。 ・ 検針機をクリアでできるよう、金属成分が含まれないよう細心の管理が必要。また、臭素系難燃剤等の混入で衣服の変色を起こすこともある。	・ 日本コパック等による業界横断的な共同回収システムあり。(4 章参照) ・ ハンガーには 2 種類あり、1 つは買い取り、もう 1 つはリユースハンガーである。買い取りハンガーは店の備品としての継続的に使用する。リユースハンガーは全体の 8 割以上を占める。
	既にリース形式での導入が多く、リサイクルシステムの導入が比較的容易か	○	○	【コスト】 ・ 小売店では、ハンガーは電子入札によるオークションで納入業者を決めており、徹底的にコストダウンを図っている。 ・ リース形式での導入の場合、販売よりもコストダウンが可能。	
	マネキン	○	○		・ 現在、リース形式での導入であり、リース会社を經由するリサイクルシステムを構築できる可能性あり。

○リース方式での製品導入と回収・リサイクルシステムの構築

以上の条件を踏まえ、店舗におけるバイオマスプラスチックの利用・リサイクルシステムを検討した結果を図 5-1 に示す。

<対象品目の組成>

対象とする品目ごとの組成は以下の通りを想定する。

- ・ ハンガー：PLA70%+PP30% 程度
- ・ レジかご：PLA70%+PP20% 程度
- ・ マネキン：PLA100%
- ・ 販促用品：品目によるが、透明なもの（プライスレール等）は PLA100%、幟軸等は PLA と PP、PE 等の混合。いずれも PLA 割合が 50%以上のものを想定
- ・ 備品：品目によるが、いずれも PLA 割合が 50%以上のものを想定

<対象とする店舗の概要>

ある地域に立地する大型の総合スーパー（年間来店者数 1000 万人規模） 10 店舗を対象として想定する

<リサイクルシステム概要>

回収・リサイクルを容易にし、また、従来品より素材価格の高いバイオマスプラスチック製品を円滑に採用を進めるために、本システムで対象とする品目についてはリース方式での納入を想定する。

ハンガーについては、既存のリサイクルシステムと同様のシステムをバイオマスプラスチック製ハンガーについても行うことを考える。リース方式で衣服製造工程にハンガーを納入し、衣服に装着されて小売店店頭で展示する際に使用する。衣服が販売された後は、ハンガーを店舗から回収し、リフォーム工場にて、リユースが可能なものと、破損等によりリユースが困難なものとを分別する。リユースが可能なものについてはリフォーム工場にて洗浄、部品取替え等の処理をして次のリース依頼があるまでリース会社倉庫で保管する。リユース困難なものについては、PLA のマテリアルリサイクルを行い、依頼に応じてプレス工場等に納品する。

ハンガー以外の品目については、全て、店内でのみ使用する製品であることから、店舗に対してリース方式で納入し、不要、もしくは破損した段階で回収する。リフォーム工場に運搬後は、リユース可能なものと、困難なものとを分別の上、可能なものを洗浄等処理を行い、リース会社倉庫に保管する。リユース困難な品目についてはマテリアルリサイクルを行った後、品質に適した用途にカスケード的に再生する。マネキン→レジかご、レジか

ご→プランター等、リサイクル対象備品間での再生が望ましい。

なお、マテリアルリサイクルによる成形では、品質に応じて PLA バージン原料を混合することも考えられる。

<物量イメージ>

ハンガーについては、1店舗あたり年間 1t（2 万 4 千本）程度が入れ替わっている（衣服の納品、販売と連動）ことを想定する。10 店舗で合計 10 t /年がリフォーム工場に回収され、うち 1 割にあたる 1t/年程度がマテリアルリサイクルにまわされていると想定する。

レジかごについては、4 章より、1 店舗あたり 5t（5000 個）程度が使われ、年間 1.0 回転していることを想定すると、1 店舗あたり 5t/年の新規需要が発生している。5t/年の大半は紛失、盗難によってロスとなるが、1 割程度が破損による返却と想定し、店舗あたり 0.5/年、10 店舗で合計 5t がリフォーム工場に回収されていることとなる。

その他マネキン、販促用品等については推計可能な数値はないが、ヒアリング等により、合計で店舗あたり 0.5t/年程度が破損、不要等の理由でリフォーム工場に返却されていることを想定すると、10 店舗で合計 5t の回収が見込まれる。レジかごとあわせて 10t がリフォーム工場に運ばれ、うち、1 割にあたる 1t がマテリアルリサイクルに回っていると考ええる。

ハンガー及び、店内備品類の合計で、マテリアルリサイクルの規模は 2t/年の運用となる。

<システムの進め方イメージ>

バイオマスプラスチックの利活用に積極的な自治体と連携を視野に入れつつモデル地域を設定し、当該地域内の総合スーパー10 店舗程度を対象にモデル的にシステム運営を開始。検証を行った上で、全国への展開を考える。全国規模での展開により、マテリアルリサイクル工程の規模が拡大し、効率が向上する可能性もある。

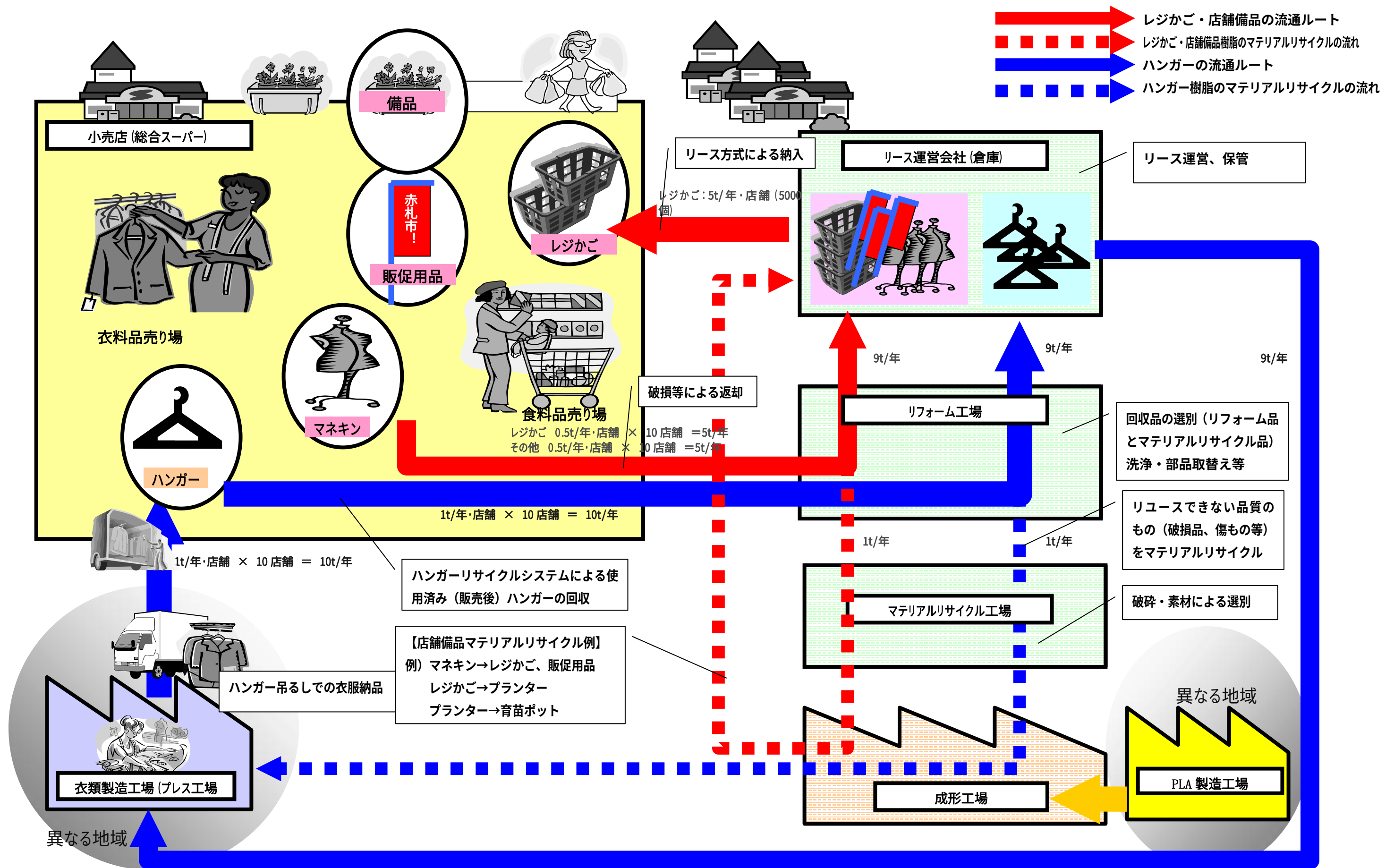


図 5-1 店舗におけるバイオマスプラスチックの利用・リサイクルシステム イメージ

○システム構築に向けた課題

- ・ バイオマスプラスチック利用に向けた性能向上

ハンガーには柔らかさ、軽重量、耐熱性等が求められ、レジかごには軽重量、耐衝撃性等、品目ごとに様々な機能が要求される。PLA 単体では達成が難しい要求性能も多く、添加剤の添加や、他樹脂との混合などによる性能向上に向けた技術開発が必要である。

- ・ 多成分樹脂のマテリアルリサイクル

ハンガーやレジかご等の製品については、求められる物性を満たすためには、汎用プラスチックとの混合組成が避けられない。PLA と汎用樹脂の組成混合製品についてのマテリアルリサイクル技術の確認が必要である。

- ・ マテリアルリサイクルコストの低減

本システムはリース方式での導入によってバイオマスプラスチック製品を低コストに提供することを目指しており、システムの一部であるマテリアルリサイクルに係る費用は低く抑える必要がある。

- ・ 継続的なマテリアルリサイクル対象品目の確保

ハンガーは、衣服の販売と同時に回収ニーズが発生するため、衣服（吊るしのもの）需要の季節変動に応じて回収量は変動する。また、その他の品目についても破損や不要になるタイミングでの回収であり、継続的な一定量確保は困難である。複数店舗を対象とすることで、システムを円滑に稼働させるための最低限の物量確保が必要となる。

- ・ マテリアルリサイクルの最終的なカスケード用途の確保

マテリアルリサイクルではリサイクルを繰り返すとある程度性能劣化が発生することは避けられない。そこで、カスケード的な用途にリサイクルを行うが、店舗備品へのリサイクルが困難な品質のものについては、別用途を確保しておく必要がある。

○店舗におけるバイオマスプラスチック製品の利用・リサイクルシステムに関する展開可能性

＜バイオマスプラスチック製レジ袋の利用・リサイクルシステムの可能性＞

容器包装リサイクル法の理念を踏まえ、レジ袋の有料化を行う店舗が増加した場合、レジ袋へのバイオマスプラスチック利用・リサイクルシステムの導入の可能性が拡大することも予想される。具体的には、使い捨てレジ袋に対して有料化が求められるなどした場合、これまでの使い捨てを前提とした薄膜で安価な袋から、厚手で何度でも使える袋へ、要求仕様に変化する可能性がある。この際、現状の仕様では物性を満足できないバイオマスプ

プラスチック製レジ袋に対する需要が生まれる可能性がある。

今後の容器包装リサイクル法改正に係る議論を確認する必要がある。

＜バイオマスプラスチック製商品の採用・リサイクルシステムの可能性＞

卵パックや、野菜の包装等、小売店で販売する商品へのバイオマスプラスチック利用はすでに拡大しつつある。これらは家庭に一度持ち帰られる品目であり、回収のためには、消費者に対し、分別・持参への協力をお願いする必要がある。

形状等の見た目で他の汎用樹脂製品との区別が難しい製品については、他のものとの分別が難しいが、卵パック等、形状や見た目に特徴のある品目については、回収・リサイクルルートを構築することが比較的容易と期待される。店頭回収箱を整備し、消費者に分別した品目を投入してもらい、一定量が集積された時点でマテリアルリサイクルを行うなどのシステムが考えられる。

なお、本システムの構築には、バイオマスプラスチックに対する認知向上、バイオマスプラスチックに対する正しい理解の浸透など、分別に対する消費者の理解を得るための取組のほか、商品へのバイオマスマークの適切な表示等、分別作業を容易にするための工夫が欠かせない。（Ⅰ．利用普及部会報告 参照）また、前述の店舗備品を対象とした利用・リサイクルシステムに比べ、販売商品は、消費者が実際に見て、触る機会が多い品目であり、認知度向上の面でも期待される分野でもある。

5-2 物流資材

○検討の前提

以下の前提のもと、物流資材に係るバイオマスプラスチックの利用、及びリサイクルシステムを検討するものとした。

- ・ 梱包用ストレッチフィルムはトラックターミナル等、コンテナ、パレットは大規模な工場内や、港湾倉庫や物流拠点で使用される。一定地域で大量に利用され、廃棄されるため、回収が比較的容易と予想される。
- ・ 一部の物流資材については、既にリサイクルシステムが構築されており、既存システムの利用による効率的なリサイクルが可能と期待される。
- ・ パレットやコンテナは、製造業・物流業を中心とする多岐にわたる業界で使われており、ユーザーの中には環境に対する意識が高く、バイオマスプラスチックの利用をブランドイメージ向上に繋げることを目指す企業もあると期待される。
- ・ 平成 16 年末に経済産業省、環境省、経団連、物流関連団体の協力で、CO₂ 排出抑制削減に向けた自主的取組を促進するグリーン物流パートナーシップ会議が発足するなど、近年、物流業界における環境配慮取組が活発化しつつある。
- ・ PLA では、コンテナやパレットについての要求性能を満たすことが可能と期待される。

○バイオマスプラスチックの利用・リサイクルシステム構築が可能な用途について

文献調査、及びプラスチック製物流資材メーカーに対するヒアリング調査をもとに、プラスチック製物流資材のうち、物性やコスト等の条件を勘案の上、バイオマスプラスチックの利用が可能で、かつ、リサイクルシステムの構築可能性のある品目を検討した。

品目ごとの検討結果を表 5-4 に示す。

プラスチック製物流資材のうち、パレットとコンテナについては、安価な PP 製が普及していることもあり、低コスト化圧力が非常に高いものと予想される。そのためバージン原料から製造する PLA ではコスト的に見合わない可能性が高いが、回収後リユース、もしくはマテリアルリサイクルルートを円滑に稼働させて複数回の循環利用を確立することで、許容できる程度の低コスト化を目指す。

また、バイオマスプラスチックの利用促進を図る企業が、自らの工場等でバイオマスプラスチック製の物流資材を用いることで、ブランドイメージの向上のほか、バイオマスプラスチック製品の対外的なアピール効果等、コストメリット以外のメリットを期待するものである。

搬送用ストレッチフィルムについては、求められる機能を達成するために技術的改良が必要にはなるが、拠点にて集中して発生すること、また、現状で廃棄物としての処理に苦慮していることから、検討対象とする。

表 5-4 物流資材にかかるプラスチック製品の特性整理

プラスチック製物流資材	バイオマスプラスチックの利用可能性		回収・リサイクルの可能性	
コンテナ	△	【物性】 - 耐衝撃性が必要 - 手で運搬することが多く、軽重量化が求められる。 【コスト】 - 現在の原料 PP の素材価格は 130～140 円/kg 程度 - 低コスト化圧力は非常に高い分野である。	○	既に一部で回収・マテリアルリサイクル（パレットへの再生）のシステムが稼動しており、既存システムの活用で回収・リサイクルが比較的容易。
パレット	△	- 現状で 1/3 程度が再生汎用樹脂原料を用いたものであり、新たにバイオマスプラスチック製パレットを投入する場合の位置付けを明確にする必要がある。 【物性】 - 耐衝撃性が必要。 - コンテナに比べると要求物性は低い。 【コスト】 - 現在の原料 PP の素材価格は 130～140 円/kg 程度 - 低コスト化圧力は非常に高い分野である。	○	パレット業界では、レンタル利用が一定の市場シェアを占めており、回収・リサイクルが比較的容易である。
搬送用ストレッチフィルム	△	- 既に昭和興産で試作の実績があり、物性向上の検討継続中。 【物性】 - PLA では引っ張り強度、伸び等の性能を実現することが難しく、添加剤や PE の混合等で物性を調整する必要がある。 【コスト】 - 現状、物流ターミナルでは産業廃棄物としての処理に多額の費用を要しており、1m あたり 4～5 円程度の高コスト化が許容される可能性がある。	△	- トラックターミナル等の物流拠点で集中して発生するため、回収・リサイクルは比較的容易である。 - 物性維持のために混合樹脂や添加剤が多く混入することが想定され、マテリアルリサイクルは困難。

○生産拠点、及び物流拠点を舞台とした回収・リサイクルシステムの構築

以上の条件を踏まえ、物流資材に係るバイオマスプラスチックの利用・リサイクルシステムを検討した結果を図 5-2 に示す。

<対象品目の組成>

対象とする品目ごとの組成は以下の通りを想定する。

- ・ コンテナ：PLA70%+PP30% 程度
- ・ パレット：PLA70%+PP20% 程度
- ・ 梱包用ストレッチフィルム：PLA30% PE70%

<対象とする拠点の概要>

- ・ コンテナとパレットについては大規模工場（バイオマスプラスチックの製造事業、バイオマスプラスチック利用製品の販売等に関心のある製造業を想定）10ヶ所程度を想定
- ・ ストレッチフィルムについては物流拠点での発生を想定
- ・ コンテナ・パレットと、ストレッチフィルムについては、組成、使用場所、廃棄形態が異なることから、別々に回収・リサイクルルートを検討することを想定

<リサイクルシステム概要>

○コンテナ・パレット

提供価格の低減を図るため、コンテナ・パレット類はリース形式で大規模工場に導入することを考える。工場で利用するうちに、破損や汚れ付着等によって使用不能となるコンテナ・パレット類は定期的に回収し、リフォーム工場へ持ち込む。リフォーム工場では、リユース可能なものと、破損等でリユースが難しいものとの選別し、前者については洗浄等を行った上で再度リース会社から客先に提供、後者についてはマテリアルリサイクル工場に持ち込む。マテリアルリサイクル工場では、破碎、素材選別を行い、最終的には成形工場で物流資材として再生される。

なお、ここではコンテナ・パレットともに PLA と PP の複合組成を想定していることから、マテリアルリサイクルによって多少の性能劣化が予想される。そこで、軽量や複雑形状など、より高い性能を求められるコンテナ類はバージン材料から製造し、回収コンテナ→パレットへの再生が現実的である。また、パレット類については3回程度のマテリアルリサイクル（パレット→パレット）を行った上で、最終的には建築資材等、カスケード的な利用を検討する。

○搬送用ストレッチフィルム

搬送用ストレッチフィルムは物流拠点で大量に使用され、短時間の使用のみですぐに廃

棄物となる。そのため、使用による品質劣化が少なく、一定品質のものを一定量、効率的に回収することが可能と期待される。そこで、ストレッチフィルムについては、ケミカルリサイクルの導入を検討する。

具体的には、PLA 製ストレッチフィルムをトラックターミナルに納入し、使用後は特定の場所を集積、ケミカルリサイクル施設への回収を行う。ケミカルリサイクル施設ではストレッチフィルムから PLA 原料を抽出し、PLA 製造工場へ原料として導入することを想定する。

<物量イメージ>

○コンテナ・パレット

コンテナについては、1 工場で 2000 個を用い、破損や汚れの付着等により、1 年間の回転率を 100%と仮定する。すなわち、年間で累計 2000 個が破損や汚れで使用不能になり、その度に累計 2000 個の新しいコンテナが納入されるイメージである。パレットは 1 工場あたり 500 枚を使用し、回転率はコンテナと同様 100%と仮定する。

4 章より、1 個あたりの重量はコンテナで 1kg/個、パレットでは 15kg/枚程度、また、10 工場を対象にリサイクルシステムを導入することを想定すると、重量ベースではコンテナ年間 75t/年、パレット年間 10t/年が回転していることになる。うち、9 割程度は洗浄等を施した後にリユースに回るものとし、1 割程度がマテリアルリサイクル工場に導入されることを想定すると、マテリアルリサイクル工場ではパレット 7.5 t/年、コンテナ 1t/年、合計 8.5t/年程度が取扱量となる。

○搬送用ストレッチフィルム

4 章に示したとおり、現在のストレッチフィルム廃棄量は 15t/月程度であり、フィルム素材をバイオマスプラスチックに代替しても利用量は変化がないとすると、180t/年程度が回収され、ケミカルリサイクル工場に導入されることとなる。

なお、表 5-2 に示したとおり、ケミカルリサイクル工場は、スケールメリットが大きく作用することから、採算性を確保するためには一定量以上の取扱いを必要とする。現状では、ケミカルリサイクルの採算性確保のための最低取扱量は 3000t 程度とされており、ストレッチフィルム（180t/年）のみの取扱ではリサイクルシステムは成り立たない。

そこで、5-3 に示す耐久製品に含まれる PLA を対象としたケミカルリサイクル施設にストレッチフィルムを定期的に持ち込むなど、他の品目と合わせてのケミカルリサイクルの実施が必要となる。

<システムの進め方イメージ>

コンテナ・パレットについては、既に回収・リサイクルシステムが一部で構築されており、また、特定の 10 工場を対象にすることから導入が比較的容易なものと考えられる。コンビナートなど、工場集積地域で本システムを実証し、将来的には全国的なシステムとし

て動かすことも考えられる。

一方、搬送用ストレッチフィルムについては、集積大規模発生であることから回収システムの構築は容易ではあるが、回収後のケミカルリサイクルの事業化については5年以上の時間を要する可能性も高い。

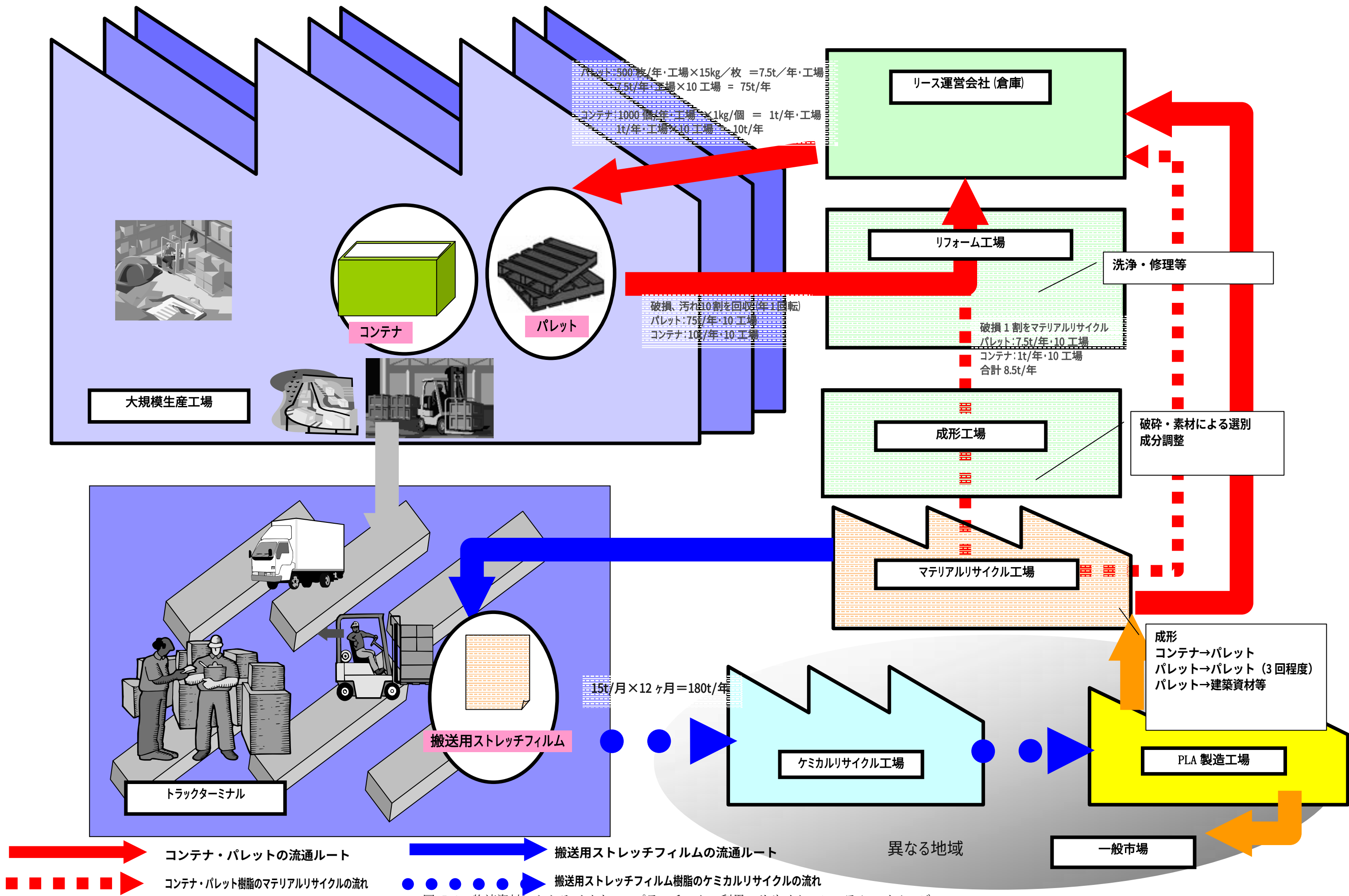


図 5-2 物流資材にかかるバイオマスプラスチックの利用・リサイクルシステム イメージ

○システム構築に向けた課題

- ・ 他素材製品との見分けのしやすい工夫

コンテナ・パレット類については、PLA 製では対応できない使用用途（高温のものに触れる場合等）もあることから、工場全体で一時に全量を PLA 製とすることは難しい。また、マテリアルリサイクルルートで PLA に他成分が混合することは品質管理上、望ましくない。そのため、従来の PS 製のものと、PLA 製のものが一目で見分けられるよう、色や形状での工夫を行う可能性がある。

- ・ バイオマスプラスチックの性能向上（特に衝撃強度、伸び強度等）

コンテナ・パレット等、荷物を載せる用途で使う物流資材については、高度な衝撃強度が求められる。元来、これら物流資材は過酷な取扱をされることも多く、PLA 製でも同様の扱いを受けるものとして強度を保持する必要がある。一方のストレッチフィルムについては、伸び強度や接着力など、従来の PE 製フィルムと同等の機能を付与すべく、PE の混合等による成分調整が必要となる。

- ・ ケミカルリサイクル施設の小型化

現在、採算確保のためにはケミカルリサイクル施設は 3000t/年規模を最低限としているが、ストレッチフィルムの発生量はその 1/20 程度である。そのため、ケミカルリサイクルを実施するためには耐久製品リサイクル工場等の近くに立地する大規模施設（5-30）まで運搬する必要が生じるが、比重が軽く、単価の安いプラスチック類の運搬は効率が悪い。設備の簡素化等により、数百 t 規模で採算が確保できるようケミカルリサイクル施設の小型化が進めば、安価に PLA 再生原料を確保できる。

- ・ 多成分樹脂のケミカルリサイクル

ストレッチフィルムでは伸び強度や接着性等の機能性を確保するために、PE 等の汎用樹脂を混合する必要があるが、PLA の成分比率は 30%程度となる。現在でも、PLA が 50%以上を占める多成分樹脂については PLA 成分を選択的に抽出するケミカルリサイクル技術が開発されているが（3 章、参考資料参照）、複雑な成分構成や PLA 含有割合の少ない樹脂からの効率的な PLA 抽出技術が期待される。

- ・ マテリアルリサイクルによる性能劣化の抑制

コンテナ・パレット類は単価の安い製品であり、リユースやマテリアルリサイクルの繰り返しで製品の長寿命化を図ることで高価なバージン原料由来製品の導入を最低限に抑えることが必要である。そのため、成分劣化を伴わずにマテリアルリサイクルを何度でも繰り返せるよう、カスケード幅を狭める工夫が望まれる。

5-3 耐久製品

○検討の前提

以下の前提のもと、耐久製品にかかるバイオマスプラスチックの利用、及びリサイクルシステムを検討するものとした。

- ・ 家電やパソコン等の耐久製品では大量の樹脂類が使われており、耐久製品へのバイオマスプラスチックの利用が進めばバイオマスプラスチックの普及は一気に加速する。
- ・ 実際、近年、パソコンや携帯電話等へのバイオマスプラスチック素材の採用が相次いでおり、さらなる品質改良によって適用範囲が拡大するものと期待されている。
- ・ 家電・パソコンメーカーの多くは、積極的な環境取組によるブランドイメージ向上を図っており、バイオマスプラスチックへの関心が高い。
- ・ 特にケミカルリサイクルについては、スケールメリットの影響が大きく、一定量の使用済みバイオマスプラスチックを確保する必要がある。耐久製品から回収されるバイオマスプラスチック類を対象とすることで、一定量の確保が可能になると期待される。
- ・ 家電については家電リサイクル法、パソコンは資源有効利用促進法に基づいて回収ルートが確立されており、既存ルートを用いたバイオマスプラスチックの回収が可能と予想される。

○バイオマスプラスチックの利用・リサイクルシステム構築が可能な用途について

4章に示した文献調査、及び耐久製品メーカー等に対するヒアリング調査をもとに、耐久製品、バイオマスプラスチックの利用が可能で、かつ、リサイクルシステムの構築可能性のある品目を検討した。

品目ごとの検討結果を表 5-5 に示す。

前提として、耐久製品にバイオマスプラスチックを一定量利用するためには、いずれの品目についても機能性発現のために汎用樹脂や複数種類のバイオマスプラスチックをブレンドする必要があると考えられる。ヒアリング調査等によると、家電筐体等の一般的な機能を求められる部位では、PLA30%程度の多成分樹脂の採用となる可能性が高い。(バイオマスプラスチックリッチな樹脂の採用は困難)

耐久製品のうち、複写機や携帯電話については、リサイクルシステム構築の可能性はあるが、複写機メーカーや携帯電話販売事業者等の個別事業者のリサイクルルートを活用することが想定されるため、ここでは検討対象としない。

家電リサイクル法等によって、全国でリサイクルシステムが確立されている家電４品目、及びパソコンを対象としてリサイクルシステムのイメージを検討することとした。

表 5-5 耐久製品プラスチックの特性整理

耐久製品		バイオマスプラスチックの利用可能性		回収・リサイクルの可能性			
冷蔵庫			【大規模利用の可能性】 - 現在、家電等耐久製品の生産工場は多くがアジア圏に移転しており、現地で安価な樹脂を調達している。 - 日本国内で再生・製造した樹脂をアジア圏に輸出してまで製品製造に利用することはコスト的に困難である。 - 耐久製品分野で PLA 等のバイオマスプラスチックを一定量使用するためには、一般的な成形工場での取扱が容易な物性（流動性、熱劣化の抑制等）が必要。現状では、一部の高度な技術を有する成形工場でデリケートな取扱をしている。	○	【物性】 - 野菜かごや棚板等、現状で PS が利用されている部分については PLA での代替が比較的容易と考えられる。 - 筐体に対する難燃性規格は比較的緩い。 【コスト】 - いわゆる白物家電に使われているプラスチック類は安価な素材が多い。(例えば PS は 100 円/kg 台となる) - PLA で代替するためには PLA のかなりの低コスト化、汎用樹脂の高騰が必要。	○	- 家電リサイクル法対象品口であり、既存回収ルートが確立。 - 回収品目の 1 割程度で PLA などのバイオマスプラスチックが利用されるようになれば、家電リサイクル工場での選別をせざるを得なくなる。 - 選別にあたっては材料表記を見ながらの選別が可能なのか、比重選別などの手法で対応が可能。
				○	【物性】 - 筐体に対する難燃性規格は比較的緩い。 - 内かご等を利用するためには衝撃強度が求められる。 【コスト】 - 冷蔵庫と同様、かなりの低コスト化が求められる。	○	
洗濯機			【大規模利用の可能性】 - 現在、家電等耐久製品の生産工場は多くがアジア圏に移転しており、現地で安価な樹脂を調達している。 - 日本国内で再生・製造した樹脂をアジア圏に輸出してまで製品製造に利用することはコスト的に困難である。 - 耐久製品分野で PLA 等のバイオマスプラスチックを一定量使用するためには、一般的な成形工場での取扱が容易な物性（流動性、熱劣化の抑制等）が必要。現状では、一部の高度な技術を有する成形工場でデリケートな取扱をしている。	○	【物性】 - 筐体に対する難燃性規格は比較的緩い。 【コスト】 - 冷蔵庫と同様、かなりの低コスト化が求められる。	○	- 家電リサイクル法対象品口であり、既存回収ルートが確立。 - 回収品目の 1 割程度で PLA などのバイオマスプラスチックが利用されるようになれば、家電リサイクル工場での選別をせざるを得なくなる。 - 選別にあたっては材料表記を見ながらの選別が可能なのか、比重選別などの手法で対応が可能。
テレビ				○	【物性】 - 筐体には非常に厳しい難燃性 (UL94-V0) が求められる。 【コスト】 - 現在は安価な PS (100 円/kg) が主として使われており、バイオマスプラスチックの低コスト化が必要 - 既にソニー、富士通や NEC 等でパソコンの一部部品や筐体に PLA を採用し始めている。 【物性】 - ノートパソコン (UL94-V1) に含まれる樹脂の方がデスクトップ (UL94-HB) に含まれる樹脂よりも求められる難燃性は高い。 - 筐体に使われる ABS はリサイクル性の悪さが課題となっており、PLA の導入でリサイクル性が向上することは 1 つの解決策である。 【コスト】 - 現在、筐体は PC (ポリカーボネート) と ABS のブレンドが主であり、比較的高価な樹脂 (300-400 円/kg) 原料を使っている。PLA の価格が許容される可能性は高い。 - リコーでは、複写機の説明書ホルダー等一部部品に PLA を採用。但し、筐体への採用はない。 【物性】 - 非常に高い難燃性 (UL94-V0) を求められる。 - 難燃性、対光性を確保するために ABS、変性 PPE 等様々な樹脂をブレンドしており、PLA を使うためにも機能達成のために複雑な樹脂混合が必要になる。 【コスト】 - 比較的高価な樹脂が原料として使われている。 - 既に NEC・ユニチカが共同開発したケナフ繊維で強化した PLA 樹脂が、NTT ドコモの携帯に採用され、2006 年 3 月に市場投入。	△	
携帯電話			○	△	△	- 家電やパソコンに比べて樹脂使用量が少ない。 - 既存のリサイクルシステムが確立されていないものについては回収が困難である。	
その他製品			—		△		

○家電リサイクル工場と連携した回収・リサイクルシステムの構築

以上の条件を踏まえ、耐久製品にかかるバイオマスプラスチックの利用・リサイクルシステムを検討した結果を図 5-3 に示す。

<対象品目の組成>

表 5-5 に示したとおり、難燃性をはじめとして家電やパソコンに求められる機能は高く、バイオマスプラスチックは機能性を付与する汎用樹脂等とのブレンドが必要となる。求められる機能に応じてブレンド比率等は大きく変わるが、ここでは簡単のため、全ての品目について、PLA30%、汎用樹脂 70%の組成を想定する。

<リサイクルシステムの概要>

家電・パソコン類は使用期間が長く、普及が始まってから、一定量の回収が可能になるまで 10 年前後の期間を想定する必要がある。耐久製品分野において、現状ではバイオマスプラスチックの使用が一部で開始された段階であり、本格的な普及は 5～10 年後、その使用期間を想定すると、本格的なリサイクルシステム稼働は 15～20 年後が予想される。

そこで、ここでは、2025 年程度を想定してリサイクルシステムを検討することとする。

回収は、現状の家電リサイクル法等による既存システムを活用する。家電・パソコンメーカーで筐体等の分野で PLA を採用し、製造された製品は電器店等を通じて家庭や事務所等に販売される。家庭で一定期間（使用年数は 5-6 参照）使用後、使用済となった家電は家電リサイクル法に則して販売店を経由して全国 46 ヶ所の家電リサイクル工場に回収される。パソコンについては資源有効利用促進法に則してメーカーが回収、家電と同じリサイクル工場に回収される。

家電リサイクル工場では、現在でも人手・比重・渦電流等で素材の選別が行われているが、新たに PLA の選別工程を導入することを想定する。選別した PLA を含む樹脂部分については、近隣に設置するケミカルリサイクル工場に投入し、PLA 素材を抽出する。

なお、一定量の PLA を含む樹脂を確保することを目的とし、比較的立地が集積している家電リサイクル工場 5 施設で 1 つのケミカルリサイクル工場を利用することを想定する。

<物量イメージ>

表 4-17、4-19 に示した家電やパソコンに含まれて出荷されている現状のプラスチック量をもとに、将来的な耐久製品への PLA 利用拡大を仮定し、20 年後に期待される PLA の回収量を推計した。結果を表 5-6 に示す。但し、表 5-6 において、将来的な家電・パソコン出荷台数の変化や樹脂利用量の変化等は勘案していない。

表 5-6 によると、20 年後の家電・パソコンからの PLA を含む樹脂の回収見込み量は 34

千 t/年であり、家電リサイクル 1 施設当たりの回収量は 739t/年となる。

家電リサイクル施設 5 箇所から PLA を含む樹脂を回収してケミカルリサイクル施設に投入することを想定すると、ケミカルリサイクル施設での樹脂取扱量は 3,695t/年、樹脂中の PLA 含有率 30% とすると、PLA 量では 1,109t/年となる。

回収率 90% と仮定するとケミカルリサイクル施設 1 箇所から 998t/年の再生 PLA 原料が確保できることとなる。

表 5-6 家電・パソコンからの PLA 樹脂回収見込み量推計

	平均使用年数 ^{※1} (年)	現在の樹脂使用量 ^{※2} (t/年)	5 年後		10 年後		20 年後 PLA 含有樹脂回収見込み量 (t/年)
			利用率 (仮定)	PLA 含有樹脂利用量 (t/年)	利用率 (仮定)	PLA 含有樹脂利用量 (t/年)	
冷蔵庫	10.1	111,074	10%	11,107	使用期間		11,107
洗濯機	9.0	36,827	10%	3,683			3,683
エアコン	10.9	55,104	10%	5,510			5,510
テレビ	9.8	37,395	10%	3,740			3,740
パソコン	4.3→5 年と仮定	19,487			50%	9,744	9,744
合計		259,887					合計 33,784

※ 1 内閣府平成 16 年度消費実態調査より

<http://www.esri.cao.go.jp/jp/stat/shouhi/0403shouhi9.xls>

※ 2 表 4-17、表 4-19

＜システム進め方イメージ＞

耐久製品を対象としたリサイクルシステムでは、まず早い段階でバイオマスプラスチックの採用が増えることが前提条件となる。PLA の機能向上、他樹脂とのブレンドによる新機能付与、製造コストの低減等、家電やパソコンが求めるスペックのバイオマスプラスチックを開発することが最も重要である。

リサイクルシステムは、回収した家電やパソコンの樹脂のうち、バイオマスプラスチック利用量が 1 割を超えてから開始されるものと考えられる。

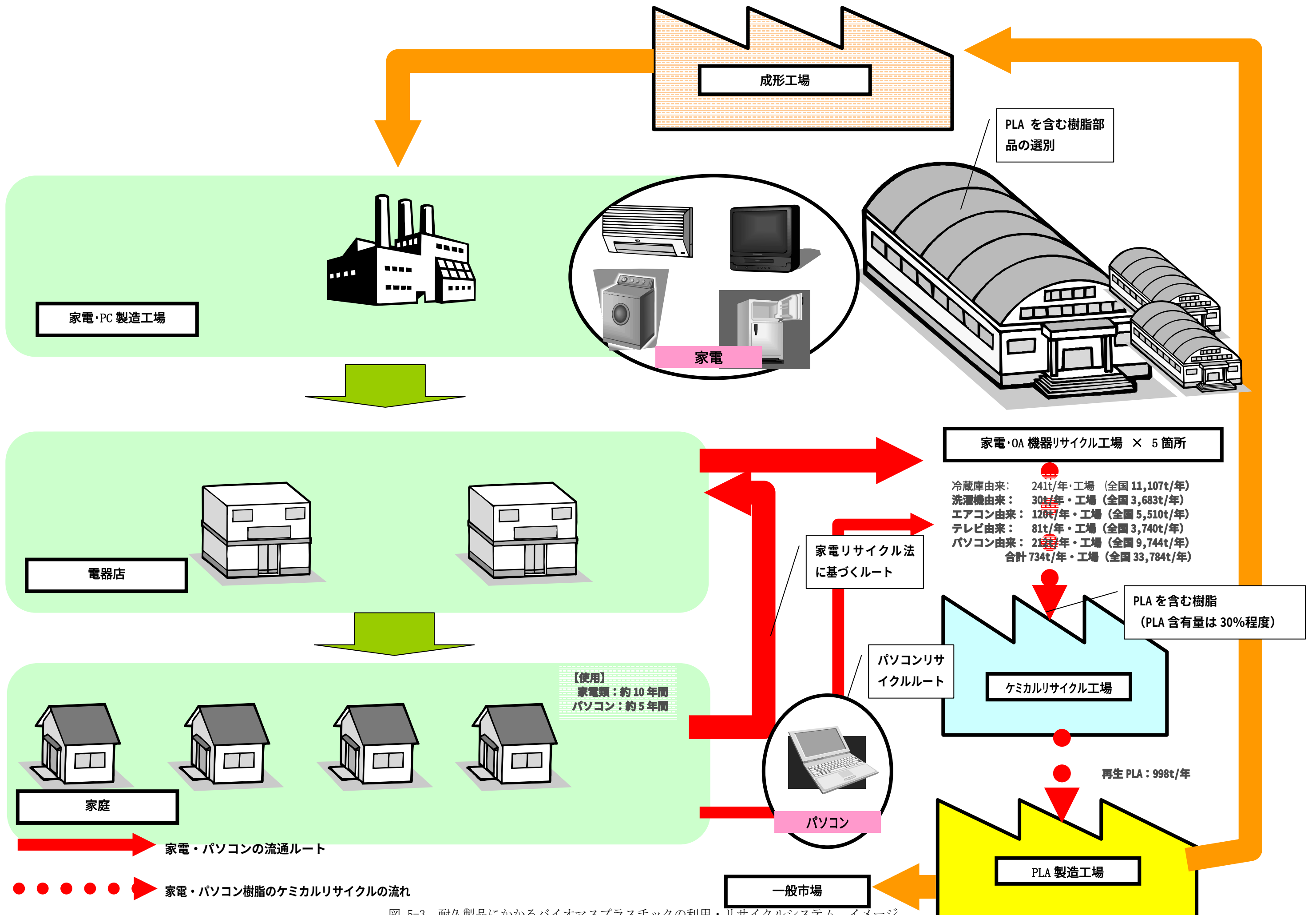


図 5-3 耐久製品にかかるバイオマスプラスチックの利用・リサイクルシステム イメージ

○システム構築に向けた課題

- ・ 耐久製品へのバイオマスプラスチック利用に向けた性能向上

耐久製品で使用する樹脂には、難燃性をはじめとして高い機能が求められる。また、耐久製品に一定量の使用を検討する場合には、流動性や、熱劣化など、バイオマスプラスチックが生産工程に与える影響も考慮する必要がある。作るときに扱いやすく、仕様を十分に満たすような性能向上のための技術開発が欠かせない。

- ・ 耐久製品へのバイオマスプラスチック利用に向けた低コスト化

リサイクルシステムは一定量の利用が始まってからでなければ稼動できない。ケミカルリサイクルによりバイオマスプラスチック原料価格を低減することは期待できるが、当初は、リサイクルを行わなくても製造コストを低減する必要がある。特に、白物家電で使われている樹脂は比較的安価なものが多いため、200 円/kg 以下での製造を実現する必要がある。

- ・ 製造工場での安価なバイオマスプラスチックを確保できるルートの確立

近年、家電やパソコン製造工場の多くが中国や東南アジアに移転しており、現地で安価な樹脂を調達している。家電やパソコン等分野においてバイオマスプラスチック利用量を拡大するためには、海外の生産拠点でバイオマスプラスチックを安価に確保する方法を検討する必要がある。そのためには、国内に限定せず、アジア圏内でのバイオマスプラスチック利用・リサイクルシステムを構築することも考えられる。

- ・ ブレンド樹脂のケミカルリサイクル技術

家電やパソコンに求められる機能を満たすためには、バイオマスプラスチックに様々な添加剤や汎用樹脂をブレンドすることとなる。そのため、ケミカルリサイクル施設に投入される樹脂は多成分のブレンド樹脂が混合していると予想される。複雑な成分組成の樹脂から選択的に PLA を安価に抽出できるようリサイクル技術が望まれる。

- ・ 小型ケミカルリサイクル設備の開発

家電やパソコンでは大量のバイオマスプラスチック利用が期待されるが、それでも1つの家電リサイクル工場で回収できるのは740t/年程度である。本システムでは、ケミカルリサイクル施設の採算性確保のため、5つの工場からバイオマスプラスチックを集めて3700t/年を確保しているが、プラスチック類の運搬は効率が悪く、安価で小型ケミカルリサイクル設備の開発により1施設1ケミカルリサイクル施設を設置することが望ましい。

5-4 集客施設で使用する製品

○検討の前提

以下の前提のもと、集客施設におけるバイオマスプラスチックの利用、及びリサイクルシステムを検討するものとした。

- ・ 多くの人が集まる映画館や野球場等では、ワンウェイのコップや簡易食器など、一定の場所で、一定の品質のものが多量に発生するため、回収リサイクルシステムの構築が容易であると考えられる。
- ・ 集客施設でバイオマスプラスチック製品を使うことになれば、多くの人にバイオマスプラスチックを見て、手に触れる機会を提供できる。そのため、認知度拡大に寄与するものと期待される。
- ・ 集客施設の多くでは、現在、ワンウェイの食器等について、費用を支払って廃棄物処理を行っており、リサイクルシステムの構築によって処理費が不要になれば大きなメリットになる。
- ・ また、デポジット方式での回収とすれば、来客者によるポイ捨てなどが減り、清掃に係る費用の低減にも繋がると期待される。

○バイオマスプラスチックの利用・リサイクルシステム構築が可能な用途について

ここでは、映画館や野球場等の集客施設の売店で利用されるワンウェイのコップ、簡易食器類を対象として考える。

○集客施設からの使い捨て食器回収・リサイクルシステムの構築

以上の条件を踏まえ、集客施設におけるバイオマスプラスチックの利用・リサイクルシステムを検討した結果を図 5-4 に示す。

<対象品目の組成>

本年開催された愛・地球博においては、PLA100%のコップが採用され、大きな問題なく使用された。そのため、ここではPLA100%のコップや簡易食器類を想定する。

<対象とする集客施設の概要>

ここでは集客施設として、大規模映画館（シネマコンプレックス）、野球場（東京ドーム規模）を想定する。

<リサイクルシステムの概要>

対象とする集客施設の売店等にPLA100%のコップや簡易食器を導入する。使用済のコッ

プや簡易食器類は施設内の決まった場所に回収する。この際、5 円/個程度のデポジット方式を採用して回収率を向上させる工夫も考えられる。

一定箇所に集積された使用済みのコップや簡易食器は、集客施設従業員が、適宜、集客施設裏等に設置するラクチド回収装置（エクストルーダー）にかけ、ラクチドを回収し、貯留する。コップや簡易食器等の回収量や、集客施設の人員、装置設置が設置できるスペース等に応じて、集客施設内では、減容化装置のみを導入し、インゴット化した樹脂を貯留することも考えられる。なお、ラクチドは PLA より安定性に乏しく、集客施設での貯留や輸送には安定剤の混合が必要になると考えられる。一方、減容化後のインゴット回収では安定性は高が、PLA 含有量が少ない樹脂では運搬効率が悪化する可能性がある。また、必要に応じて、ラクチド回収装置や減容化装置の前段に洗浄設備等の前処理工程を付加することが考えられる。

各施設で貯留されているラクチドやインゴットは、定期的にタンクローリーやトラック等で回収し（有償で購入）、PLA 製造設備に投入、原料として利用する。

<物量イメージ>

使用するコップと簡易食器の重量を各々10g/個、50g/個と仮定し、以下の通り推計を行った。1 施設あたりに期待されるラクチド回収量は 20～30t/年程度である。タンクローリーの積載量は 10t 程度であることから、さらに複数の集客施設を対象とし、月 1 回程度の巡回回収を可能にする必要があると考えられる。

表 5-7 集客施設でのバイオマスプラスチック回収見込み量推計

集客施設	座席数 (想定)	日平均来場者 (想定)	カップ利用量	簡易食器利用量	合計 PLA 利用量	ラクチド回収量
映画館	3,000 席	6,000 人/ 日	3 人に 1 人利用と 仮定 2000 個/日×10g/ 個=20kg/日	5 人に 1 人利用と 仮定 1200 個/日×50g/ 個=60g/日	365 日営業と仮定 29.2t/年	収率 90%と仮定 26.3t/年
野球場	50,000 席	25,000 人/ 日	5 人に 1 人利用と 仮定 5000 個/日×10g/ 個=50kg/日	10 人に 1 人利用と 仮定 2500 個/日×50g/ 個=125kg/日	年間試合日数 120 日と仮定 21t/年	収率 90%と仮定 18.9t/年

<システム進め方イメージ>

特定の地域内に立地する数ヶ所の集客施設を対象にシステムを開始し、徐々に対象施設を拡大していくことが考えられる。

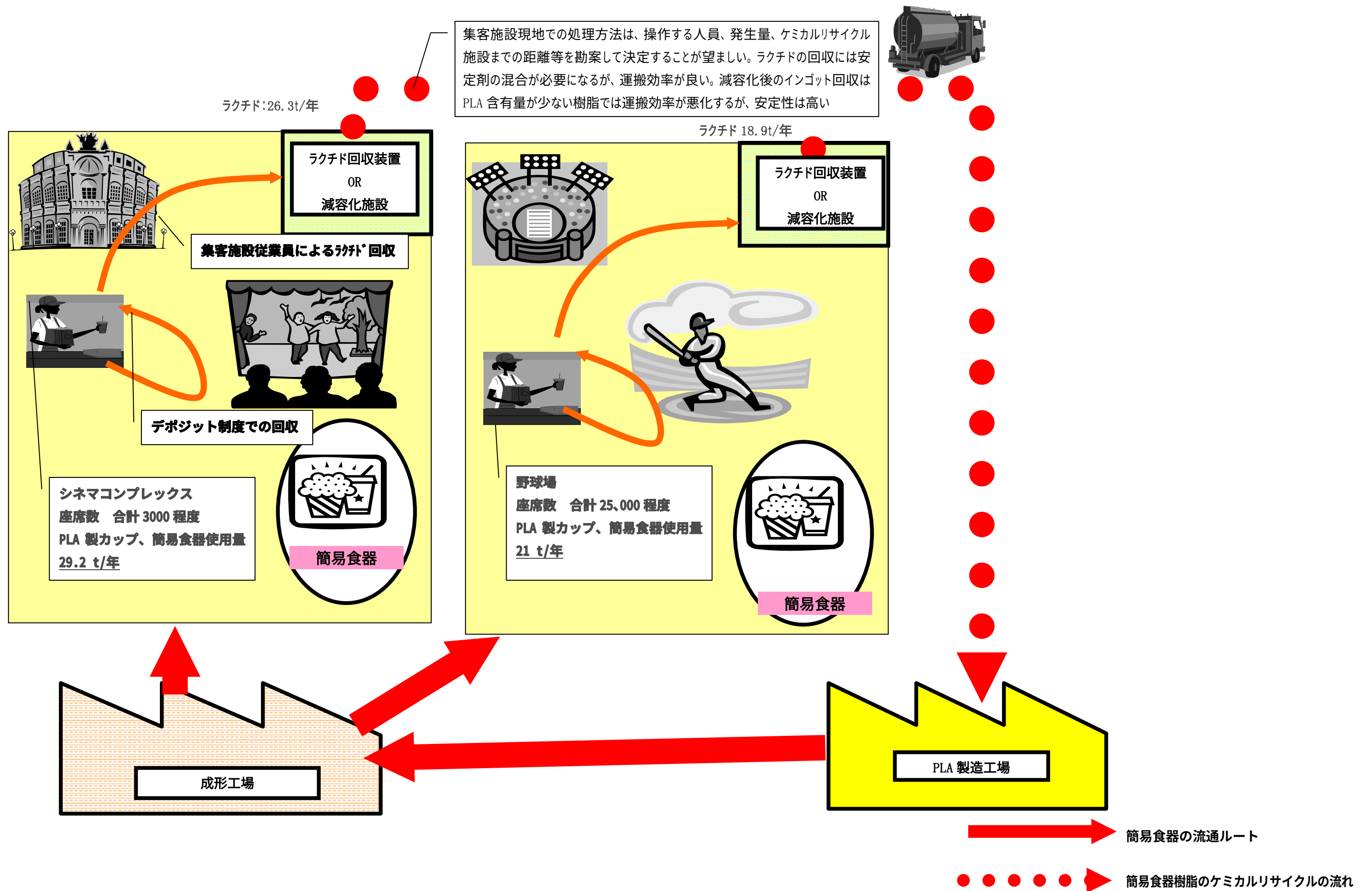


図 5-4 集客施設におけるバイオマスプラスチックの利用・リサイクルシステム イメージ

○ システム構築に向けた課題

・ 回収率確保のための工夫

集客施設で販売する飲食物のカップや簡易食器を、来客者が積極的に回収する仕組みを作ることが必要である。デポジット制度のほか、ポイント制（一定ポイントで特典付与）等も考えられる。

・ カップ、簡易食器の低コスト化

集客施設で現在使用されているワンウェイのカップや簡易食器は PLA 製品に比べて非常に安価である。本システムが拡大するほど、安定的に一定量のラクチドが確保できることから、PLA 製カップや簡易食器の低コスト化が達成できると期待されるが、当初の導入にあたっては、国や自治体の支援制度を活用することも視野に入れる必要があると考えられる。

・ ラクチド回収装置の小型化・低コスト化

本システムでは、対象とする集客施設ごとにラクチド回収装置を設置し、集客施設にてラクチドまで再生することを想定している。そのため、集客施設での設置が可能なサイズ、かつ、コストのラクチド回収装置が必要となる。なお、導入にあたっては、ラクチド回収装置は無償でレンタルするなどの工夫も考えられる。

また、集客施設の従業員がラクチド回収装置を操作するためには、簡単な操作、メンテナンスフリー等の性能も求められる。

・ ラクチド回収装置の対応範囲の拡大

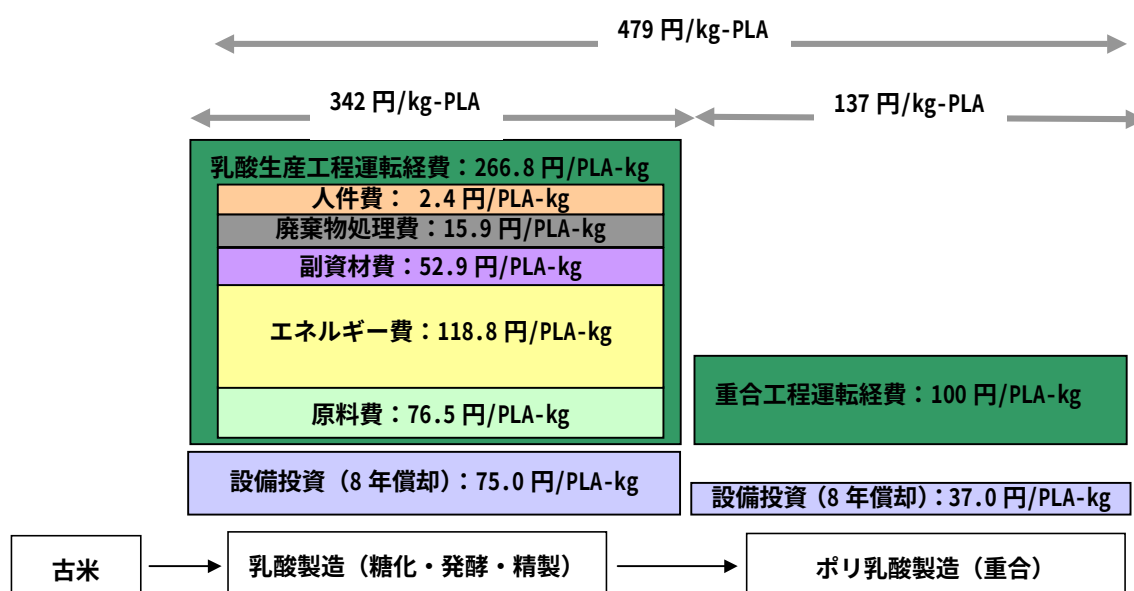
集客施設で使用する PLA 製品は、施設内で販売しているカップや簡易食器に限定されるため、一定の品質が確保できるものの、飲み残しや食べ残しの付着等は避けられない。集客施設において、これらをすべて洗浄することは難しく、ある程度の異物混入を許容できる装置の設置が望ましい。また、前処理装置を付加する場合には、前処理部分の小型化、低コスト化が必要になる。

5-5 バイオマスプラスチックの利用・リサイクルシステムによる低コスト化効果

5-4 までに示した、幾つかの用途におけるバイオマスプラスチックの利用・リサイクルシステムを導入することによって期待される低コスト化に係る効果を以下にまとめる。

(1) ケミカルリサイクルによるバイオマスプラスチック製造コストの低減

昨年度までの調査結果より、バイオマスプラスチックのうち、ポリ乳酸製造にあたっては、乳酸製造に係る費用が大きく、全体の 70%以上を占めることが示されている。ケミカルリサイクルを行うことで、使用済み PLA より乳酸を抽出でき、費用の嵩む乳酸製造工程を経由せずにポリ乳酸を製造できることが期待される。平成 15 年度調査結果より、ポリ乳酸製造コスト（PLA37 千 t 製造規模）の内訳を図 5-5 に示す。



(出所)平成 15 年度バイオ生分解素材開発・利用評価事業報告書

図 5-5 PLA コスト分析結果のまとめ

① ケミカルリサイクルに係る FS

近畿大学西田教授の開発した技術（3 章参照）を用いて 3000t/年のバイオマスプラスチック廃棄物（PLA50%、PE50%）をケミカルリサイクルする場合の費用を、荏原製作所の協力のもと、試算した。結果を以下に示す。

[FS の概要]

図 5-6 に記載の通り PE50%、PLA50%で出来たバイオマスプラの廃棄物 10t/日 (3,000t/年) の処理量でケミカルリサイクル処理すると 1,395t/年の乳酸二量体 (ラクチド) が回収される。ラクチドを重合してポリ乳酸を製造すると約 80%の量のポリ乳酸 1,116t/年が回収されることとなる。

表 5-8 に記載の通り 3,000t/年の廃棄物を処理費ゼロでケミカルリサイクルすると設備の減価償却費を含まず、ポリ乳酸が製造コストベース 225 円/kg で得られる。表 5-8 では約 50%の経費を加え 330 円/kg で販売するスタディーである。

仮に、処理費 5,000 円/t が可能であれば、回収ポリ乳酸の製造コストは 209 円/kg となり、50%の経費を加えても販売価格 310 円/kg のポリ乳酸が製造可能となる。

ここで、触媒費用として、27 円/kg を算入している。これは触媒 (MgO) 量を廃棄物全量に対し 5 wt% を仮定した費用であり、触媒量の低減に向けた検討が進んでおり、現状では、3~10 円/kg の費用で可能である。

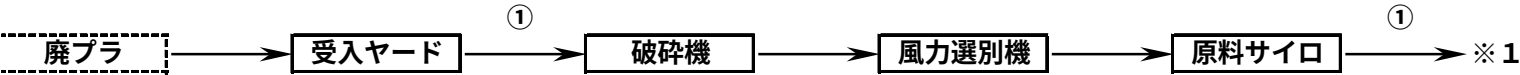
なお、木質バイオマス及び古米からポリ乳酸製造量 1,000t/年の規模でポリ乳酸を製造すると、販売価格は 1,000~1,200 円/kg となる。

したがって、ケミカルリサイクルはコスト低減策の一つの選択肢と言えるであろう。

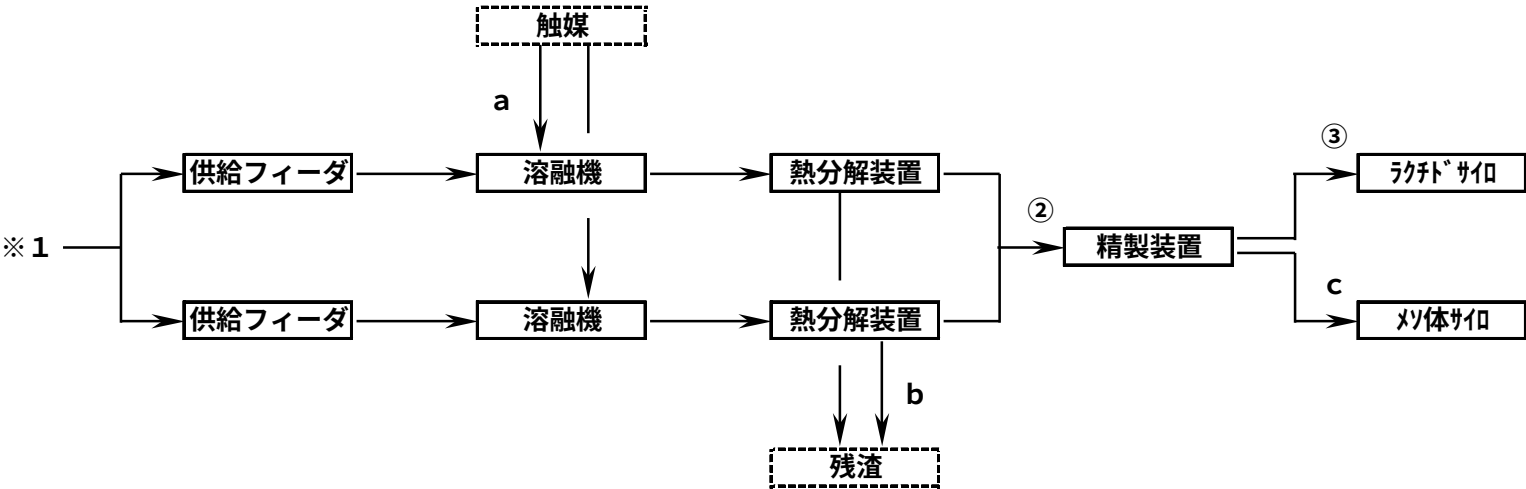
ポリ乳酸ケミカルリサイクルシステム 処理フロー及び物質収支

処理量10t／d （PE：PLA=50：50）

前処理設備



分離設備



	①	②	③
原料	3000.0 t/y	1500.0 t/y	1395.0 t/y

	a	b	c
物質名	触媒	残渣	メソラクト
重量	150.0 t/y	1650.0 t/y	105.0 t/y

図 5-6 PLA ケミカルリサイクルシステム処理フロー

機 名	ポリ乳酸ケミカルリサイクル
図面名	処理フロー 及び 物質収支

表 5-8 ケミカルリサイクルシステムによる PLA 製造 FS 結果

PLA回収量 1116.0 ton/y	原料使用量 (ton/y)	電力使用量 (kwh/y)	5 K 蒸気 使用量 (ton/y)	水使用量 (ton/y)	廃棄物量 (ton/y)	運転人員 (人)	消耗品費 (千円)
前処理設備	3,000	529,397	0	0.0	0.0	1	1,600
分離設備	3,000	1,320,000	0	3,600.0	1,650.0	6	5,200
精製設備	1,500	67,680	0	0.0	0.0		1,200
重合設備		6,896,880	0	280.0	0.0		5,000
ユーティリティ設備							
合 計		8,813,957	0	3,880.0	1,650.0	7	13,000

PLA含有廃棄物3000t/y処理	単価	年間費用	kg P L A 当り
受入費	0 円/kg	0 千円/y	0 円/kgLA
電気	13 円/kwh	114,581 千円/y	103 円/kgLA
蒸気	2,923 円/ton	0 千円/y	0 円/kgLA
水	500 円/ton	1,940 千円/y	2 円/kgLA
触媒	200 円/kg	30,000 千円/y	27 円/kgLA
廃棄物処理	10,000 円/ton	16,500 千円/y	15 円/kgLA
消耗品費		13,000 千円/y	12 円/kgLA
運転人員	6,000,000 円/人	42,000 千円/y	38 円/kgLA
その他経費	15 %	32,703	29 円/kgLA
小計		250,725 千円/y	225 円/kgLA
収入 PLA1116t/y 販売	330 円/kg	294,624 千円/y	
収益		43,899 千円/y	

表 5-9 ケミカルリサイクルシステムによる PLA 設備費

機 器 名 称 No.	基数	仕 様	電動機容量 (kW)			1 日の電力使用量			設備費
			1 基当りの モータ数	モ-タ1台 の動力	常用運転 設備動力	負荷率	時間当 り電力	電力量	
前処理設備									
受入コンベヤ	1	エプロンコンベヤ 10 t / d	1	3.70	3.70	0.6	2.22	17.76	12,000
破碎機	1	一軸式+スクリーン 10 t / 8 h	1	250.00	250.00	0.6	150.00	1200.00	57,000
			1	18.50	18.50	0.6	11.10	88.80	
			1	0.52	0.52	0.6	0.31	2.50	
			1	5.50	5.50	0.6	3.30	26.40	
拔出しファン	1	100m3/min程度	1	55.00	55.00	0.8	44.00	352.00	
サイクロン	1	排出口-タリーバルブ付	1	1.50	1.50	0.6	0.90	7.20	
バグフィルタ	1		1	1.50	1.50	0.6	0.90	7.20	
			1	0.75	0.75	0.6	0.45	3.60	
破碎物搬送コンベヤ	1	ベルトコンベヤ	1	3.70	3.70	0.6	2.22	17.76	5,000
比重差選別機	1	風力選別、送風機、サイクロン	1	3.70	3.70	0.8	2.96	23.68	6,000
破碎物サイロ	1	切出し装置付き	1	3.70	3.70	0.6	2.22	17.76	4,000
								1764.66	84,000

②バージン原料とケミカルリサイクルによる PLA 製造コスト比較

平成 15 年度調査におけるバージン原料（古米）からの PLA 製造コストと、①に示したケミカルリサイクルによる PLA 製造コストを比較する。

但し、平成 15 年度調査では 37 千 t、①のケミカルリサイクルでは 1.1 千 t と、PLA 製造規模が異なることに留意が必要である。

バージン原料とケミカルリサイクルによる PLA 製造コスト比較を図 5-7 に示す。なお、図 5-7 において、ケミカルリサイクルに係る設備費については、表 5-9 の設備費を 8 年の単純償却をするものとして加算した。また、ケミカルリサイクルの場合、重合設備については既存設備として設備投資対象に含まれていない。

規模等の条件が異なるため、一概に比較は難しいが、図 5-7 によると、ケミカルリサイクルによる PLA 製造コストはバージン原料由来の約半分程度となっている。ケミカルリサイクルでは、費用の嵩む乳酸製造工程を省くことができる効果が大きいものと考えられる。また、ケミカルリサイクルでは、無償で使用済み PLA を回収することを想定しているが、排出事業者から処理費用を回収できるとすると、純コスト（運転経費-処理費用）がさらに安価になる。例えば、10 円/kg の処理費用を想定した場合、純コストは 194 円/PLA-kg まで低減される。

以上のことより、PLA はケミカルリサイクルの導入により、製造コストを大幅に低減できることが期待される。

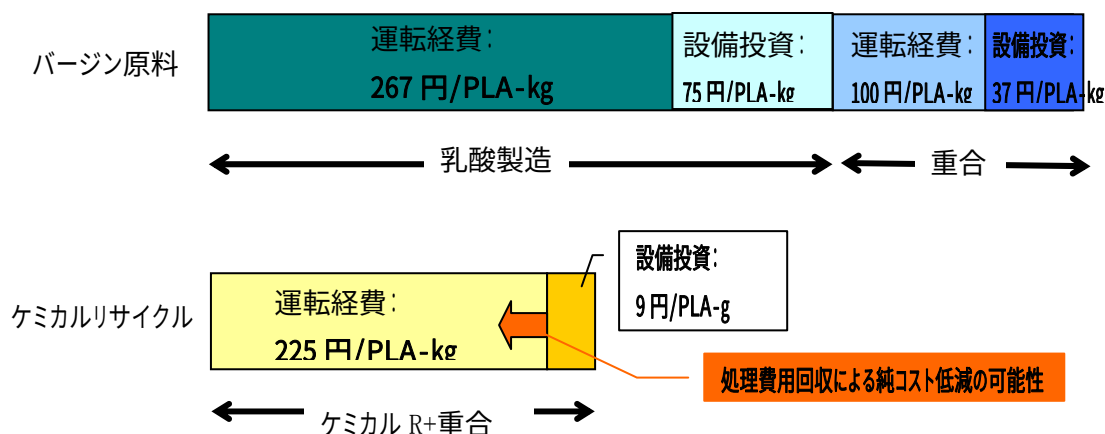


図 5-7 バージン原料とケミカルリサイクルによる PLA 製造コスト（原価）比較

③汎用樹脂コストとケミカルリサイクルによる PLA 製造コスト比較

平成 18 年 3 月現在の主な汎用樹脂 市場価格を表 5-10 に示す。①に示したとおり、ケミカルリサイクルで製造される PLA は、50%程度の販売経費や利益を見込むと、330 円/PLA-kg

程度の販売価格が予想される。そのため、ケミカルリサイクルによる PLA は、PC(ポリカーボネート)よりは安価になるが、その他の汎用樹脂に比べると 2～3 倍の高価な樹脂となっている。

表 5-10 汎用樹脂の市場価格

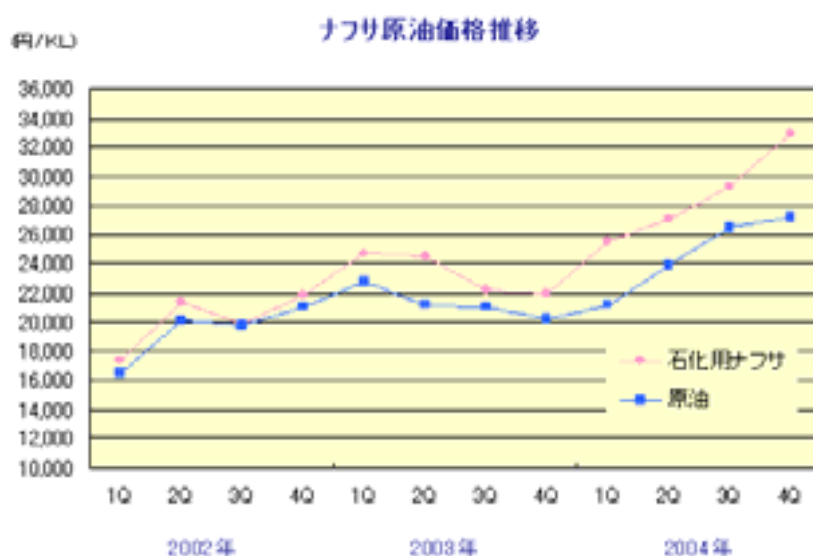
樹脂種類※1	市況価格	
	米ドル/t	円/kg※2
PVC	810	94.7
LDPE	1120	131.0
HDPE	1100	128.7
PP-HOMO	1110	129.9
GPPS	1055	123.4
HIPS	1110	129.9
ABS	1385	158.9
PC	3100	362.7

(出所) E-Plastics サイト http://www.e-plastics.gr.jp/jp_MA0120.asp

※1 全て運賃込み、東アジア地区での市況

※2 117 円/米ドル(平成 18 年 3 月 15 日現在)で換算

但し、ナフサを原料とする汎用樹脂については、今後、石油資源の枯渇を背景として高騰することも予想される。近年のナフサ原料価格の推移を図 5-8 に、また、今後の石油価格予測を図 5-9 に示す。石油価格の高騰による、汎用樹脂の価格が上がれば、相対的に PLA に対するニーズが増大するものと予想される。



(出所) 石油化学工業会 HP http://www.jpca.or.jp/04_4_f.htm

図 5-8 ナフサ原油価格推移



(出所)「2050 年までの世界エネルギー供給展望 -アジアのエネルギー供給、世界石油資源動向」日本国際経済学会第 63 回講演論文集

図 5-9 石油価格の推移予測

(2) リサイクルを伴うことによるバイオマスプラスチック利用・回収システムの低コスト化

現在、汎用樹脂の処理、リサイクルには多大な労力と費用を要している。例えば、容器包装リサイクル法上の「プラスチック製容器包装」として再資源化するためには、再商品化を担う事業者に対し 89.1 円/kg の処理委託単価が設定されている。このことは、既存の汎用プラスチックが、回収・リサイクルシステムの検討以前から普及しており、リサイクル容易性等の観点から導入されてこなかったことが原因とも考えられる。

一方、現段階では普及していないバイオマスプラスチックでは、最適なりサイクルシステムを伴って普及することができれば、処理、リサイクル部分に係る費用は抑えることができると期待される。導入コストは他の汎用樹脂より、ある程度高価であっても、処理費用が安価、もしくは無償であれば、購入～廃棄までの全段階を合計すればより安価に導入できることとなる。

また、バイオマスプラスチックのリサイクルでは、リサイクルの過程、及び、カスケードリサイクルの最終局面に至っても、処理費用を要するような不要物や適正処理困難物等を発生しないことが大きな特長でもある。ケミカルリサイクルで副生成物として発生する PLA ラセミ体は、半導体溶剤や環境配慮型インキ原料としてニーズがあり、また、PLA ラクチド以外の樹脂はマテリアルリサイクルが可能である。一方マテリアルリサイクルは、カスケード的なりサイクルであるが、数回の循環利用の後は、生分解性を活用した土に還る用途での製品化を行うことで、環境に負荷をかけずに処理することができる。このように、PLA のリサイクルシステムでは、その途中に処理費用を要する工程が無く、一定量の樹脂が廃棄されるまでの間に得られる収入が他の汎用樹脂に比べて高い。そのため、販売価格のみならず、

廃棄段階に要する処理費用等のことまで考慮すれば、PLA の優位性が高まることとなる。

既存汎用プラスチック処理システムに比べてより安価に廃棄樹脂を回収することができる。

このことを図 5-10 に示す。

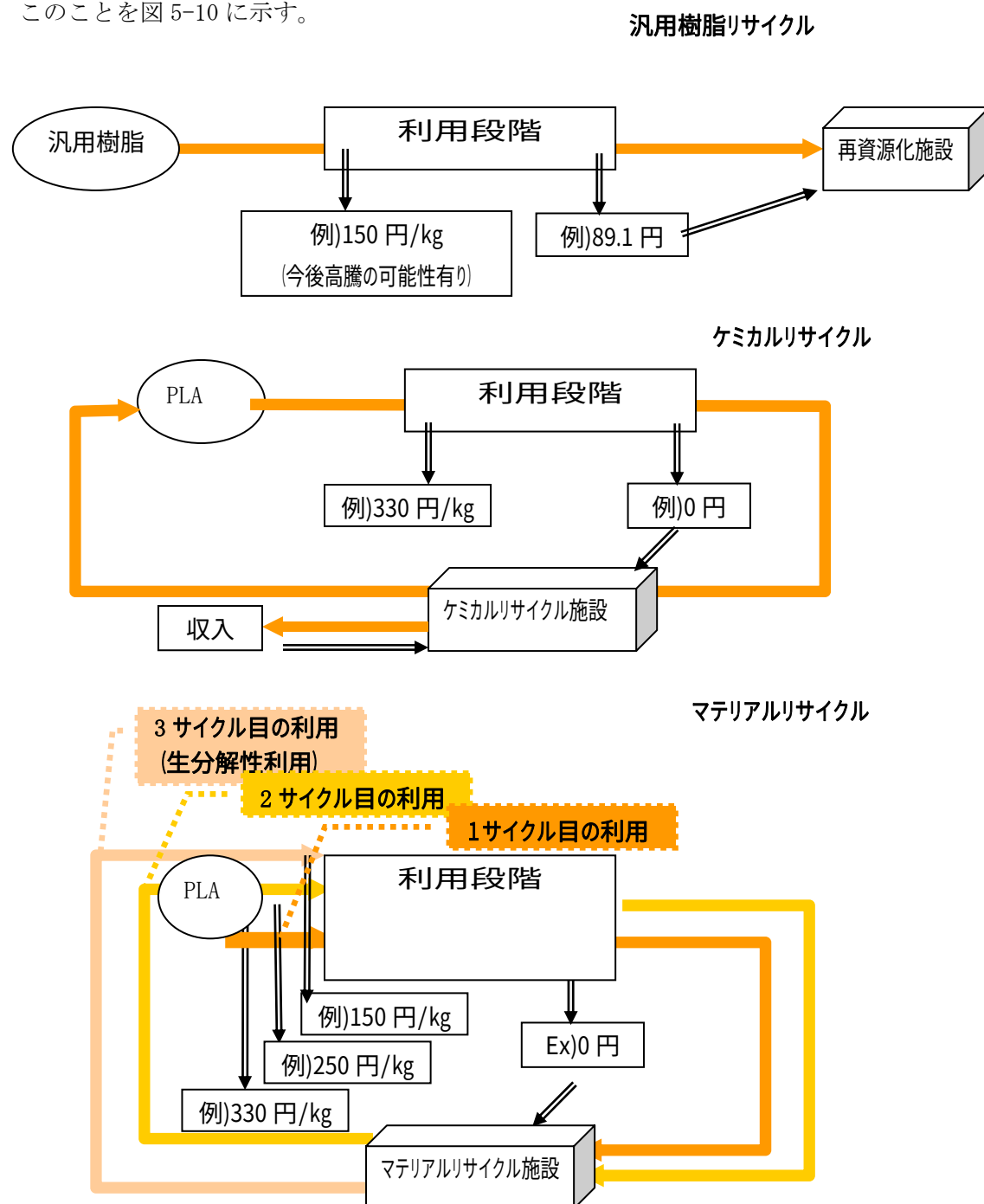


図 5-10 リサイクルシステムを伴うことによるバイオマスプラスチック導入コスト低減

5-6 バイオマスプラスチックの利用・リサイクルシステムの確立に向けて

4種類の資材についてバイオマスプラスチックの利用・リサイクルシステムの構築可能性を検討したが、これらシステムを確立するにあたっては対象品目によらない共通的な課題も多い。バイオマスプラスチックの利用・リサイクルシステムの確立に向けて配慮すべき事項を以下にまとめる。

(1) 導入が円滑に進むような価格設定

バイオマスプラスチックのリサイクルシステムが確立すれば、再生原料の調達が容易となりバイオマスプラスチックの低コスト化が期待される。しかし、リサイクルシステム確立の前段階として、リサイクルシステム構築に十分な回収量が見込めるよう、まずはバイオマスプラスチックの導入を促進する必要がある。そのため、当初、再生原料が市場に流通していない段階においても、バージン原料由来のバイオマスプラスチックの低コスト化を進め、導入を促進する必要がある。

特にケミカルリサイクルシステムの確立には一定の回収量が必要であり、一定の回収量を確保するためには、5-3に示した家電筐体など、現状で汎用樹脂が大量に使われている用途を代替することが必要となる。これら用途で使われている汎用樹脂は安価なものが多く、バイオマスプラスチックへの代替を進めるためには、バイオマスプラスチックを現状価格の半程度程度の安価で販売しなければならない。

バージン原料からのバイオマスプラスチック製造にかかるコストを低減するための技術開発が必要なほか、初期導入の促進にあたっては国や自治体等の支援も有用と考えられる。

(2) 生産工程への影響にも配慮したバイオマスプラスチックの性能向上

バイオマスプラスチックのリサイクルシステムを確立する前段階として、バイオマスプラスチックの初期導入を促進しなければならない。そのためには、(1)のコストのほか、性能面においても、対象用途のニーズを満たすような技術開発が求められる。

具体的には、耐久製品用途はもちろん、ハンガー等海上輸送される可能性のある品目等、多くの用途で難燃・耐熱性能が求められるほか、用途に応じて衝撃強度・伸び強度等の強度が必要となる。

また、リサイクルシステムを確立するのに十分な量を普及させるためには、バイオマスプラスチック原料による大量生産を想定しなければならない。現状では、流動性の悪さや熱劣化の問題から、効率的な大量生産（主に成型）が困難とされているが、バイオマスプラスチックの性能向上とともに、バイオマスプラスチックに適した製造設備（金型等）の開発も重要になる。

(3) バイオマスプラスチックを選択的に回収する手法の確立

現在、店舗用ハンガー、物流資材、家電等の各用途において、汎用樹脂のリサイクルシス

テムが確立している。新たにバイオマスプラスチックのリサイクルシステムを構築するにあたっては、既存システムの活用が効率的ではあるが、汎用樹脂類との混合は避けなければならない。バイオマスプラスチックのリサイクルにあたって回収効率を向上させ、リサイクルによる性能劣化（成分の混合）を防ぐためには、なるべく夾雑物の少ないバイオマスプラスチックを確保する必要があるほか、汎用樹脂のリサイクルシステムにバイオマスプラスチックが混入することで影響を及ぼす可能性も指摘されている。

バイオマスプラスチックを利用する用途を限定する、色や構造、表示等で汎用樹脂との区別を容易にするなど、バイオマスプラスチックを選択的に回収する手法を確立しなければならない。

また、今後、様々な種類のバイオマスプラスチックが市場に浸透していくことを考えると、バイオマスプラスチック同士の混合が効率的なリサイクルを阻害する懸念もある。表示等において、バイオマスプラスチックの種類まで特定できるような表現が求められる。

(4) 汎用性の高いリサイクル技術の開発

リサイクルシステムを構築するためには、対象とする用途で一定量のバイオマスプラスチックを普及させる必要がある。そのためには、用途の求める性能・コストを達成するためにバイオマスプラスチックと汎用樹脂やその他添加剤とのブレンドを避けられず、回収されるバイオマスプラスチック類は様々なブレンドを施されたものと想定される。

そのため、バイオマスプラスチック 100%に近い組成ばかりではなく、様々な質のバイオマスプラスチックに対して適用できるマテリアルリサイクル、ケミカルリサイクル技術の開発が望まれる。

(5) 小規模回収量に対応できるリサイクル技術の開発

特に、ケミカルリサイクルでは、採算性を確保するために 3000t/年以上という大量のバイオマスプラスチックの確保が必要とされているが、当初より大量のバイオマスプラスチックを回収することは困難が予想される。

対象と想定する用途において、気軽にバイオマスプラスチックを採用し、リサイクルできるよう、小規模回収量に対応できるリサイクル技術の開発が望まれる。

バイオマスプラスチックの利用・リサイクルシステムを構築するためには、以上のような課題の解決が求められる。しかし、システムを実現するにあたっては、上記に示した技術的、経済的課題等以外にも、現状では予想もつかない幅広い内容の課題が発生すると考えられる。これまで、バイオマスプラスチックの利用・リサイクルシステムを構築した事例が無いことから、まずは、本章で示したような幾つかのシナリオについて、特定の地域や施設等においてモデル的に実証する機会が望まれる。モデル実証により、様々な課題を洗い出すことができ、システムの高度化による更なる低コスト化に資するものと期待される。さらに、限定

的であるとはいえ、現状では市場に浸透していないバイオマスプラスチックの使用機会を作り出すことは、認知度の向上、利用普及の拡大にも寄与するものと考えられる。