

調 査

第 56 号
(2003 年 9 月)

内 容

資源循環型社会で注目される生分解性プラスチック — “バイオマス由来”の特性で広がる用途展開 —

地球環境に配慮した資源循環型社会の素材として生分解性プラスチックへの期待が高まっている。最近では“バイオマス由来”の特性を活かし、日本発で急速に用途開発が進み、実証プロジェクトも実施されている。本稿では同素材の歴史、現状、課題、将来動向等につき概観する。

資源循環型社会で注目される生分解性プラスチック

“バイオマス由来”の特性で広がる用途展開

【要 旨】

1. 近年、国内プラスチック市場が停滞感を強めている。これまでプラスチックは、軽くて強く、耐久性があり、加工しやすい等の利点から市場を著しく拡大してきたが、最近では地球温暖化や廃棄物増加に繋がるなど問題点が多々指摘されている。そこで、地球環境に配慮した資源循環型社会への転換の担い手として、生分解性プラスチックへの期待が高まっている。これまでは技術的問題もさることながら、汎用プラスチックに比べて価格が高かったこと、用途が限られていたこと等から、市場の拡大は限定的であった。しかし、最近では、地中に埋めても最終的に水と炭酸ガスに分解されるため廃棄物発生を抑制できる、 燃烧させても通常のプラスチック等よりも発生熱量が低く、光合成で吸収した炭酸ガスを放出する点でカーボンニュートラルである、 バイオマス由来の原料を使用するものは石油資源節約に役立つ等の利点に注目が集まっており、「バイオマス・ニッポン総合戦略」などでも生分解性素材普及促進が明示された。
2. 生分解性プラスチックは大きく、天然物系、微生物系、化学合成系（石油由来）、化学合成系（天然物由来）等に分けられるが、これまでの主流はPBS（ポリブチレンサクシネート）など化学合成系（石油由来）であった。しかし、最近では「自然環境中で生分解」する点よりも「植物等バイオマス由来」である点が強調されており、トウモロコシをはじめ植物から製造されるPLA（ポリ乳酸）等の化学合成系（天然物由来）の注目度が高まっている。また、PBSに関しても、原料であるコハク酸製造を石油資源からバイオマス資源へ転換する技術などが開発されている。
3. 物性面では、PLAはポリスチレンのように硬質、PBSはポリエチレン・ポリプロピレン並みに軟質という特徴がある。分解性はPBSが優れており、透明性ではPLAが優っている。これらの特徴から用途のすみわけもある程度可能であるといわれる。なお、両者とも耐熱性等に問題があったが、日本メーカーによる技術開発の進歩が著しく、徐々にその欠点が克服されてきている。
4. 普及の最大の障害要因である価格は、現状400-600円/kg程度といわれており、汎用樹脂価格（150円/kg程度）と比較すると高い。政府は2010年までに価格を200円/kgまで低下させることを目標としており、今後の価格低下のためには、原料面でのコスト低減、設備の大型化等が鍵を握るであろう。なお、リサイクルコストまで含めて考えた場合、汎用プラスチックとの価格差は縮小するとみられ、こうした比較評価が広まれば一層の需要拡大が期待される。
5. 生分解機能が求められる用途は、自然環境中に放置されるもの、コンポスト化可能材料、環境負荷の低い材料分野等が考えられ、現状のプラスチック加工製品で代替できる分野としては、フィルム、シート、日用品・雑貨、容器、発泡製品等が挙げられる。現在、生分解性プラスチックの市場が比較的大きいのは農業用フィルム分野であり、年間18万トン弱の既存

プラ廃棄物の過半が焼却・埋立されることを考えると、今後さらに既存プラからの代替が進む可能性が大きい。また、一番の注目は食品包装分野である。これは夾雑物除去に手間がかかるため、バイオリサイクル内での処理が最も効果的な用途である。既に欧米では、PLA 製品は食品包装に関する法規制はクリアーしているが、日本国内ではまだポリオレフィン等衛生協議会にて審査中の段階である。これが承認されれば、年間 150 万トンといわれる食品包装市場への進出が本格化する見込みだ。また、PLA 繊維は発色性、殺菌効果、肌合いの優しさ等が優れていることから、繊維用途も拡大するとみられる。実際、大手合繊メーカーでは、PLA 事業で 2005 年には売上高 100 億円超を計画しているところもある。その他、注目されるのは、

ナノアロイ技術を利用した耐熱性・結晶性向上、生分解性インキ等による意匠面向上、といった技術開発の動きである。これらにより、自動車部品、電子機器筐体など射出成形用途が拡大することが期待される。特に自動車業界では環境対応という点から、一部車種で内装材に生分解性プラを採用し始め、今後適用車種が増加する可能性が大きい。これら新規用途の拡大などもあって、生分解性プラスチックの国内市場は、2002 年の 1 万トンから 2005 年に 5 万トン、2010 年に 20 万トンを突破し、2015 年には 150 万トンまで拡大する可能性がある。また、世界の生産能力は 2005 年の段階で 50 万トンを突破するとの見方もある。

6. 海外事例ではドイツのカッセルプロジェクトの結果が興味深い。これは生分解性素材製品の製造、販売、購入、回収、コンポスト化、肥料利用というサイクルを社会生活上にて実際に行うという試みである。ポイントは ゴミ管理面で問題がないか、出来た肥料の質に問題がないか、消費者の評判はどうか、といった点であった。結果をみると、は特に大きな問題はなく、では、生分解性素材が混入した肥料で育てた農産物の収穫量は既存肥料のものと遜色ないことがわかった。では、消費者は当プロジェクトの意義を理解しており、同時に大半の消費者は価格が多少高くても生分解性製品を購入すると答えている。期間中の生分解性製品の使用量は 31 トンと小規模であったが、消費者の認知を深めるという点でプロジェクトの果たした意義は大きいと思われる。
7. わが国でも生分解性素材普及に向けたプロジェクトが展開されつつある。農林水産省食堂や愛知万博では生分解性食器が実験的に導入される予定である。京都市は、発泡スチロール製魚箱を生分解性魚箱に置き換え、使用後はメタン発酵させエネルギー利用を図る実験を行う。廃棄物系資源の利用で注目されるのが北九州の生ゴミ精製乳酸化実証事業である。これは食品廃棄物から糖分を取り出し、精製乳酸を生産することで、食品廃棄物リサイクルを促進させるものである（食品廃棄物中のデンプン質比率が低く、乳酸の収率という点で問題があることから、木質資源プロジェクトと併用して運用される）。これらプロジェクトは後処理方法などの内容がバラエティに富んでおり、この実証結果は日本国内のみならず世界的にも貴重な情報を提供する可能性が大きい。
8. 今後日本において生分解性素材の普及を促進するためには、実証プロジェクトの積み重ねにより消費者を中心とした社会の認知を高めると同時に、バイオマス全体の有効利用を考えた持続的な循環型社会の姿を描くことが重要であろう。

[担当： 埴 ^{はなわ} 賢治 ^{けんじ} (email:kehanaw@dbj.go.jp)]

【目 次】

はじめに	5
第1章 生分解性素材をめぐる現状	6
1. 生分解性素材とは?	6
2. 生分解性プラスチックの歴史	8
3. 各国の取組み	9
4. 高まるバイオマス由来の注目度	10
5. 主要企業の取組状況とわが国の技術力	12
第2章 価格と用途をめぐる最近の動向	16
1. 価格低下に向けた取組み	16
2. 生分解性機能を活かした用途	18
3. 新たな用途展開～“バイオマス由来”に着目	22
4. 生分解性プラスチック市場の現状と予測	28
第3章 海外プロジェクト動向	30
1. ドイツ・カッセルプロジェクトとは?	30
2. ドイツ固有の事情	31
3. カッセルプロジェクトの結果	31
第4章 国内プロジェクト動向	35
1. 食品容器への使用実験	35
2. 京都モデル～生分解性プラスチック魚箱の使用・回収・エネルギー転換実験	36
3. 北九州エコタウン～廃棄物からの生分解性プラスチック原料製造	37
第5章 今後の普及に向けての課題	41
1. 循環型社会実現に向けてのビジョン明確化	41
2. 顧客ニーズへの対応	43
3. 制度面などの整備	43
4. 社会全体の認知度向上に向けて	44
おわりに	46
参考文献	47

はじめに

近年、わが国のプラスチック市場は停滞感を強めている。これまでプラスチックは、軽く強く、耐久性があり、加工しやすいなどの利点から市場を著しく拡大してきたが、最近では石油由来の素材で分解しにくいという性質により、地球温暖化や廃棄物増加に繋がるなど問題点が多々指摘されている。

そこで、地球環境に配慮した資源循環型社会への転換の担い手として、生分解性プラスチックへの期待が高まっている。これまでは技術的問題もさることながら、汎用樹脂に比べて価格が高かったこと、用途が限られていたことなどから、市場の拡大は限定的であった。しかし、最近では、

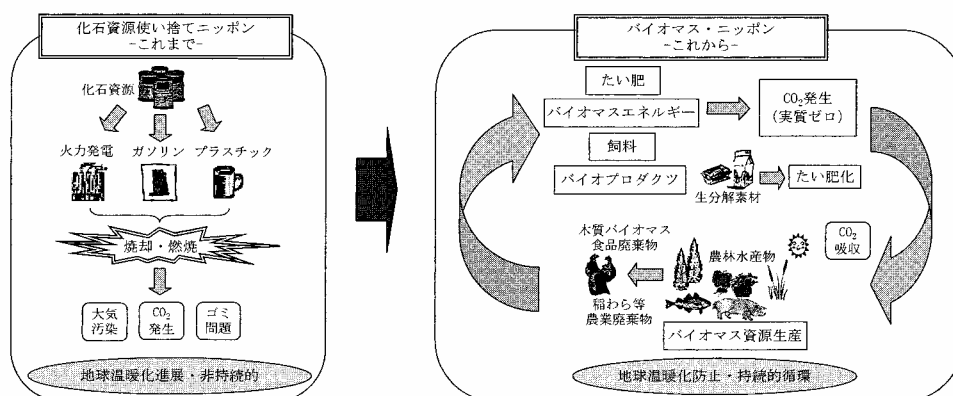
地中に埋めても最終的に水と炭酸ガスに分解されるため廃棄物発生を抑制できる、燃焼させても通常のプラスチックなどよりも発生熱量が低く、光合成で吸収した炭酸ガスを放出する点でカーボンニュートラルである、バイオマス由来の原料を使用するものは石油資源節約に役立つなどの利点に注目が集まっている。

欧米では既に生分解性プラスチックの普及に向けた環境が整備されている。ドイツでは 2001 年から循環型社会実証実験であるカッセルプロジェクトが実施され、また米国では 2002 年にカーギル・ダウがネブラスカ州に PLA（ポリ乳酸）大型プラントの稼動を開始した。

このように、欧米の方が生分解性プラスチックへの取組みは進んでいるが、その用途は欧州ではゴミ袋・農業フィルム、米国では緩衝材などまだ限定的である。逆に、わが国は市場展開が遅れていたが、用途開発などの技術面では世界的にみても進んでおり、今後日本においてこの新素材が急速に普及していく可能性は大きい。2002 年に策定された「バイオテクノロジー戦略大綱」や「バイオマス・ニッポン総合戦略」において、生分解性素材普及促進が明示されるなど、わが国政府もようやく本腰を入れてきた（図表 0 - 1）。

そこで、これらの状況を踏まえて、本稿では、生分解性素材をめぐる現状、価格と用途展開をめぐる最近の動向、海外プロジェクト動向、国内プロジェクト動向、今後の普及に向けての課題などを整理していくことにする。

図表 0 - 1 バイオマス・ニッポン概念図



(出所) 農林水産省「バイオマス・ニッポン総合戦略」

第1章 生分解性素材をめぐる現状

急速に注目度が高まっている生分解性素材とはどのようなものだろうか。そして、グローバルにみた場合、わが国はどの程度の位置にいるのだろうか。本章では、生分解性素材の定義、その歴史的発展、各国の取組み、わが国メーカーの現況などを中心にみる。

1. 生分解性素材とは？

最近、わが国では環境意識が急速に高まっている。特に地球温暖化や廃棄物問題への関心は非常に高く、これらの関連法制度などが急速に整備されつつある（図表1-1）。

地球温暖化関連では、1997年の「京都議定書」採択以降、法律面では「地球温暖化対策の推進に関する法律」が施行され、政策面では「地球温暖化対策推進大綱（＝新大綱）」が策定された。そしてわが国は2002年6月には「京都議定書」を正式に批准し、現在炭酸ガス排出削減目標に向けて様々な取組みを行っているところである。

また、様々な社会問題の発生などもあって、廃棄物問題への対応も進んできている。法律面では、基本法としての「循環型社会形成推進基本法」、廃棄物適正処理に関する「廃棄物処理法」、リサイクル推進としての「資源有効利用促進法」のほか、個別リサイクル法が整備されてきている。こうした中で、地球温暖化や廃棄物問題に資するといわれる生分解性プラスチックの注目度が高まってきている。

図表1-1 わが国の社会問題と環境法制度整備

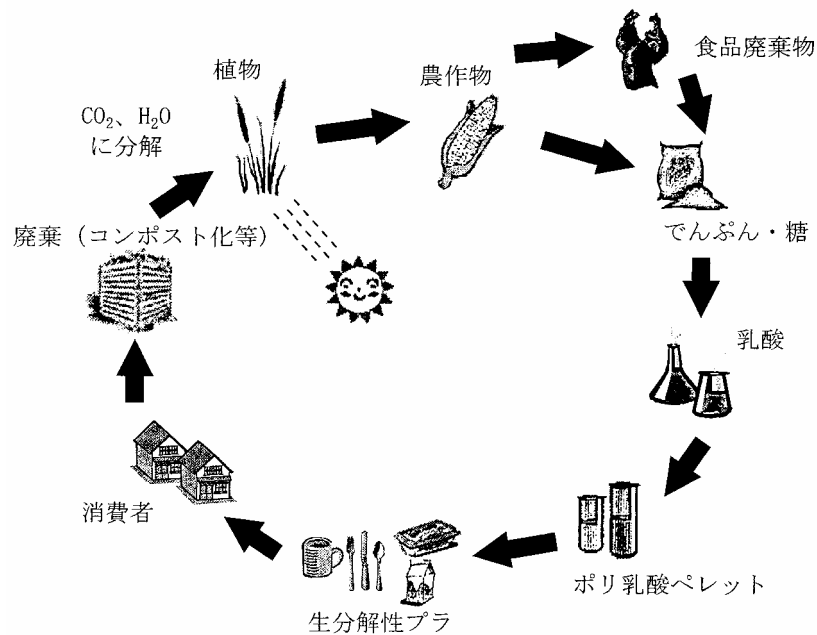
	環境法整備など	社会問題
1997年	「京都議定書」採択 (CO ₂ 等の排出量削減目標)	・環境ホルモン問題 (発泡スチロール容器)
1999年	「地球温暖化対策の推進に関する法律」施行	・ダイオキシン問題 (所沢産野菜テレビ報道事件)
2000年	「循環型社会形成推進基本法」施行 「容器包装リサイクル法」完全施行 「ダイオキシン類対策特別措置法」施行	
2001年	「資源有効利用促進法」施行 「食品リサイクル法」施行 「グリーン購入法」施行	
2002年	「地球温暖化対策推進大綱（＝新大綱）」策定 「京都議定書」日本批准	

(出所) 各種資料をもとに政策銀作成

使用済みの石油化学製品は、従来、廃棄もしくは焼却処分されてきたが、これを「捨てない」「燃やさない」に変えるとすれば、選択肢は二つである。すなわち、回収可能な製品は「リサイクル」し、ワンウェイにならざるを得ない製品は廃棄、燃焼せずに「土に返す」というものである。最近では、後者の部分に主眼を置いた生分解性プラスチックが注目され、世界中の名立たる化学メーカーが実用化に取り組んでいる。

生分解性プラスチック研究会（BPS）¹によると、生分解性プラスチックは、「通常のプラスチック製品と同じように使えて、しかも使用後は、自然界の微生物や分解酵素によって水と二酸化炭素に分解されていく、“自然に還る”プラスチックである。このため、廃棄物の処理に際しても、地中への埋め立てが可能で、燃焼させても発生熱量が低くダイオキシン等の有害物質が放出されることもない。」と定義されている（図表1-2）。

図表1-2 生分解性プラスチック（ポリ乳酸）の循環サイクル



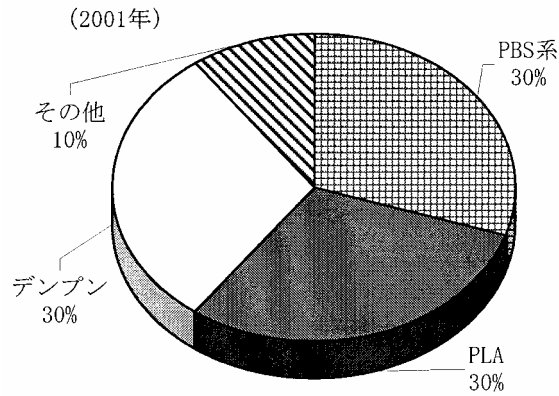
（出所）各社資料をもとに政策銀作成

生分解性プラスチックは、デンプンなどの動植物の基本組成を活用した天然物系、微生物が作り出すバイオポリエステルなどを使った微生物系、石油化学資源を原料として化学処理にてつくられる化学合成系（石油由来）、天然物を原料として化学処理にてつくられる化学合成系（天然物由来）などに大きく分けられる（図表1-3）。

なお、本稿では「生分解性素材」、「生分解性プラスチック」という言葉を用いているが、前者はプラスチック、繊維などを包含した広い意味で使用している。以下では、生分解性プラスチックの話を中心に進めていく。

¹ 資源循環型社会実現の鍵を握る素材として注目を集める生分解性プラスチック（Biodegradable Plastics）に関する技術・評価方法の確立と実用化の促進、社会的貢献の促進等を目的に調査・研究、開発、内外関係機関との交流、広報・提言などの事業を行なっている機関である。民間の任意団体として1989年10月に設立されたが、現在の会員は樹脂メーカー、成型機メーカー、加工メーカー、商社などである。発足以来、経済産業省・地方自治体や日本バイオインダストリー協会（JBA）等諸団体と協力のもと、生分解性プラスチックの定義・分析評価方法、用途開発のためのモデル事業などを進め、広く消費者の認知を得るため、公募により「グリーンプラ」（R）の愛称も制定している。

図表 1 - 3 代表的な生分解性プラスチック



PBS (ポリブチレンサクシネート)
→無水マレイン酸など石油原料から製造
PLA (ポリ乳酸)
→トウモロコシなど植物原料から製造

(出所) 生分解性プラスチック研究会

2. 生分解性プラスチックの歴史

ここでは生分解性プラスチックの代表例であるポリエステル、デンプンなどの天然物系を中心にみる(図表1-4)。

まず、ポリエステルを、微生物系(ポリ-3-ヒドロキシブチレートなど)と、化学合成系(ポリ乳酸、脂肪族ポリエステル、共重合ポリエステルなど)とに分けて考えると、歴史的には微生物系ポリエステルの開発が先行した。地球上では多くの微生物が何億年も前からその体内にポリエステルを生合成しているが、この微生物は、1925年にフランスのパスツール研究所で初めて発見された。これは結晶性が高すぎて実用化には至らなかったが、その後、1974年に米国のWallenらが活性汚泥中の微生物が共重合ポリエステルをつくることを発見した。1980年以降には、英国のICI社や日本の土肥義治らが、水素細菌に種々の炭素菌(菌の食べ物)を与える発酵法を開発し、共重合ポリエステルを生産することに成功した。

一方、化学合成系のポリエステル系は、ポリ乳酸のような医用高分子からスタートし、二量体であるラクチドを出発物質としていた。乳酸の直接重合は最初、分子量が上げられず、ドラッグデリバリー用しか用途がなかったが、プロセス改良により直接重合でも分子量を上げることができるようになり、用途展開が広がってきた。特に1995年に三井東圧化学(株)(当時)が乳酸の直接脱水縮合法による高分子量化製造法を開発したのが大きな技術的進歩となった。

また、デンプン系では、1970年代の初め、英国の紙袋メーカーのカラロール社が、親水性のデンプンを化学的に処理して疎水性にし、乾燥して水分含有量を下げ、溶解プラスチックに混練する技術を完成した(これによってプラスチックに紙のような風合いを与えられることがわかった)。さらに、研究を続けて、通常のプラスチックに添加して紙のような風合いと同時に生分解性を付与することのできる添加物を完成し、カラロール社は発明者Griffinの名で1977年に

英、米の特許を取得した。しかし、この場合デンプンは分解するが、併用する通常のプラスチックは生分解しないので、通常のプラスチックの塵が多く発生し、問題となった。その後他素材とのブレンドに関する研究が活発に行われ、完全生分解性のプラスチックとなった。

わが国では1989年に生分解性プラスチック研究会が発足し、1993年に昭和高分子(株)が脂肪族ポリエステル『ビオノーレ』を上市以降、化学メーカーの事業参加が続いた。

そして、2002年に米国でカーギル・ダウがPLA(ポリ乳酸)大型プラントを稼動し始めたことで、ようやく本格的普及に向けての体制が整ったといえる。

図表1-4 生分解性プラスチックの歴史

年代	国	主体	内容
1925	仏	パスツール研究所	微生物体内からバイオポリエステル発見
1974	米	L.L.Wallen	共重合脂肪族ポリエステル産生微生物発見
1977	英	カラロール社	デンプンを化学的に処理し、生分解プラスチックに混練する技術完成
1980	英	ICI社	水素細菌で共重合ポリエステル(3HB/4HV)工業生産開始
1987	日	土肥義治	水素細菌で共重合ポリエステル(3HB/3HV)合成に成功
1989	日	BPS	生分解性プラスチック研究会(BPS)発足
1990-	独	連邦政府	生分解性プラスチック奨励政策(90~99年資金 1900万ユーロ)
1993	日	昭和高分子(株)	脂肪族ポリエステル「ビオノーレ」上市
1994	米	カーギル社	ポリ乳酸製造プラント稼動(4,000t/年)
1995	日	三井東圧化学(株)	乳酸の直接脱水縮合法による高分子量化製造法開発
1999	米	連邦政府	「バイオ製品とバイオエネルギーの開発及び促進」に関する大統領令公布
2000	豪		シドニーオリンピック会場で生分解性プラスチック製食品容器使用
2001	独	カッセル市	「カッセルプロジェクト」開始(~02/12)
2002	米	カーギル・ダウ社	ポリ乳酸大型プラント稼動開始(140,000t/年)
2002	日	政府	「バイオマス・ニッポン総合戦略」策定

(出所) 特許庁資料などをもとに政策銀作成

3. 各国の取組み

ドイツにおいては、連邦政府が1990年初頭より生分解性プラスチックを奨励する政策を打ち出し、多額の資金も投入された。そして、2001年4月から2002年12月末にかけてカッセルプロジェクトが実施され、生分解性包装容器を活用した生ゴミのコンポスト化実証モデル事業が行われた(第3章参照)。

米国においては、1999年8月に「バイオ製品とバイオエネルギーの開発及び促進」に関する大統領令(Executive Order 13134)が公布された。その後、バイオエネルギーとバイオベース製品に関する将来ビジョンや活用目標値などが発表された。

また、台湾における動きも注目される。同国では都市ゴミに占める廃プラスチックの割合が極めて高いことから、2002年に廃棄物処理法改正で「環境に深刻な脅威を引き起こす可能性のある製品或いはそれらの包装材について、予め公告のうえ、その生産、輸入、販売及び使用を禁止或いは制限する」旨の条文が盛り込まれた。これにより、従来のプラスチック(ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリスチレン、塩化ビニル樹脂など)を使用したショッピングバッグ

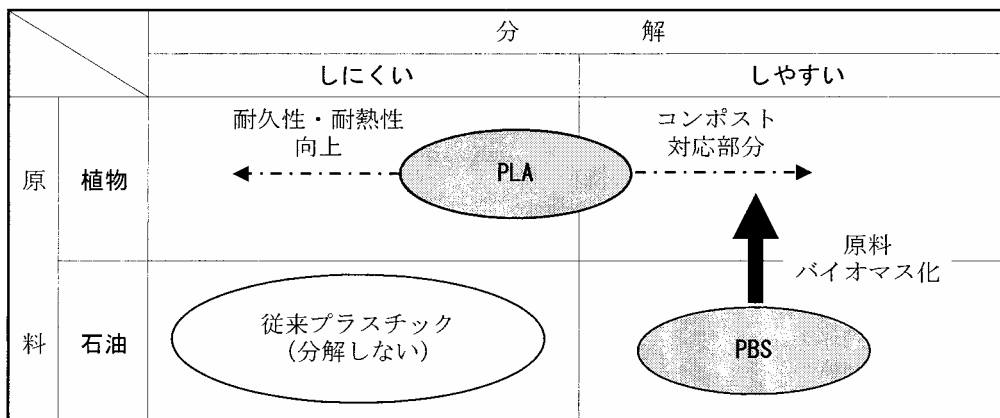
や使い捨てワンウェイ食器類の使用が規制されるようになり、並行して生分解性プラスチックの採用が検討されている模様である。

わが国政府の取組みは欧米諸国に遅れをとっていたが、2002年に「バイオテクノロジー戦略大綱」や「バイオマス・ニッポン総合戦略」で生分解性素材普及促進が明示され、普及に本腰を入れ始めた段階である。

4. 高まるバイオマス由来の注目度

生分解性プラスチックの主流はこれまでPBS（ポリブチレンサクシネート）など化学合成系（石油由来）であったが、最近では「自然環境中で生分解」する点よりも「植物などバイオマス²由来」である点が強調され始めており、トウモロコシをはじめ植物³から製造されるPLA（ポリ乳酸）などの化学合成（天然物由来）の注目度が急速に高まっている（図表1-5）。

図表1-5 生分解性プラスチックの概念図



（出所）各種報道をもとに政策銀作成

化学合成系（石油由来）の代表例であるPBSと、化学合成系（天然物由来）のPLAとで機能面の違いをみってみる（図表1-6）。物性としては、PLAはポリスチレンのような硬質系、PBSはポリエチレンのような軟質系という特徴がある。分解性に関しては、両者とも高温多湿の堆肥化条件下では大差がないものの、土壌や水中など自然界においては、PLAの分解速度が遅い。一方、透明性ではPLAが優っている（PBSはやや白く濁っている）。なお、両者とも耐熱性や耐衝撃性に弱点があったが、各メーカーによる技術開発の進歩が著しく、徐々にその欠点が克服されてきている。

² 農林水産省によると、バイオマスとは生物資源（量）を表す概念で「再生可能な、生物由来の有機性資源で化石資源を除いたもの」。具体的には、農林水産物、稲わら、もみがら、食品廃棄物、家畜排泄物、木くずなどで、エネルギーや新素材として利用できる。

³ トウモロコシ以外にも、デンプンを多量に含むサツマイモやジャガイモ、東南アジアでとれるタピオカなどからも作ることができる。また、将来的にはもっと安価な原料、例えば生ゴミや廃パルプ、汚泥などから乳酸を作る研究も行われている。

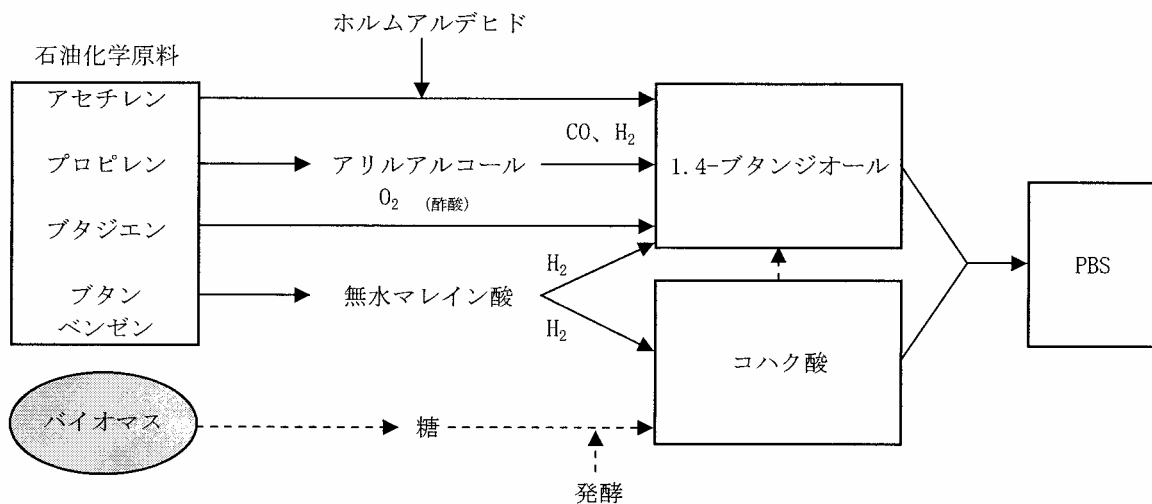
図表 1 - 6 PBSとPLAの機能比較

	PBS (石油系)	PLA (天然物系)
物性	<ul style="list-style-type: none"> ・ポリエチレンに近い ・軟らかく、強靱 ・やや白く濁っている ・ヒートシール性に優れる 	<ul style="list-style-type: none"> ・ポリスチレンに近い ・硬い、靱性に欠ける ・透明
生分解性	<ul style="list-style-type: none"> ・自然界での分解がはやい ・コンポストでの分解がはやい 	<ul style="list-style-type: none"> ・自然界での分解が極めて遅い ・コンポスト中ではよく分解する
現状用途	マルチフィルム、コンポストバッグ 包装資材 (以上で7割) 日用雑貨、土木資材など	繊維製品、CDパッケージ 封筒窓枠、弱電コンポジットなど
その他	接着性良好	

(注) 自然界とは土壌、淡水、海水中のこと。
(出所) 各種資料をもとに政策銀作成

最近では化学合成系（石油由来）である PBS⁴ に関しても、バイオマス資源からつくる技術が開発されている（図表 1 - 7）。地球環境産業技術研究機構（RITE）が開発したのは、酵素を使って古紙の繊維を分解し糖をつくり、次に遺伝子組換え微生物にこの糖を与えて、さらに糖に炭酸ガスを吹き込みながら嫌気発酵法によりコハク酸を生成するものであり、収率もほぼ 100% と画期的な技術である。研究パートナーである国内最大手メーカーの昭和高分子（株）と協力して、2007 年頃に実用化に踏み切る予定である。また、この技術では三菱化学（株）・味の素（株）連合の動きも注目される（次節参照）。

図表 1 - 7 PBSをバイオマスからつくる技術



上記技術の採用を見込む企業
昭和高分子(株) (RITEと共同)、味の素(株)・三菱化学(株)グループ

(出所) 昭和高分子(株)ヒアリングなどをもとに政策銀作成

⁴ PBS はコハク酸と 1,4 - ブタンジオールという石油化学原料からつくられる。

PBS と PLA とは、機能面での特徴が異なることから用途のすみわけもある程度可能であるといわれる。また、硬質の PLA を軟らかくするため、軟質の PBS が改質材として使用されることも多いため、生分解性プラスチック市場が化学合成系（天然物由来）の PLA 一辺倒になるということは考えにくい。今後とも PBS を始めとした化学合成系（石油由来）のものと共存していくことになるだろうが、バイオマス由来へのシフトはますます強まっていくだろう。

5. 主要企業の取組状況とわが国の技術力

生分解性プラスチックの生産は、現段階では 2002 年に 14 万トンの大型設備を立ち上げたカーギル・ダウをはじめ海外メーカーが大きく先行している。しかし、カーギル・ダウの設備はフル稼働していない模様であり、他企業が参入できる余地はまだ大きい。最近ではわが国においても化学企業だけでなく、異業種の企業も本事業に取組むことを発表しており、今後の動向が注目される（図表 1 - 8）。

既存メーカーでは、現在国内最大手の昭和高分子（株）が設備拡張を検討している。また、三井化学（株）はカーギル・ダウとの PLA の事業開発に関する契約もあって、当面は同社の日本での販売代理店のような形となるが、将来的には自社生産を拡張する予定もあるようだ。

新たに参入した化学企業では、三菱化学（株）⁵の動向が注目される。同社は、2003 年より石油原料由来の生分解性プラスチック『GS Pla』製造を開始したが、2006 年初めまでにこれを植物原料由来に切り替える予定である。具体的には、味の素（株）がイモ類など作物から抽出したデンプンを発酵技術で競争力ある原料に仕立て、三菱化学（株）が樹脂製造を行うという役割分担で行う。世界トップクラスである味の素（株）の発酵技術・三菱化学（株）の化学品製造技術により、安価かつ地球環境に配慮した製造方法の確立を目指す。最近わが国では PLA の注目度が高まっているが、同社は軟質系かつバイオマス由来の PBS で独自の道を開く。

トヨタ自動車（株）⁶は、プラスチックのユーザーという立場から生分解性プラスチックの供給メーカーとして事業活動の場を広げようとしている。同社は、「自動車に続く事業の育成」として環境関連事業に大きな期待を掛けており、バイオ・緑化事業部ではサツマイモ栽培飼料化・生分解性プラスチック（PLA）化事業をその中の大きな柱として定めている。2001 年には三井物産（株）と合併でトヨタバイオインドネシア（TBI）⁷を設立した。そして、生分解性プラスチック製造のための各工程の要素技術がほぼ確立したことをうけ、2004 年からは国内の実証プラント（年産 1,000 トン）で、サトウキビを原材料に、乳酸の発酵・精製からポリ乳酸の重合までを一貫して手掛ける予定である。国内で量産化に向けたコストや品質目標達成の検証を行い、将来的にはインドネシアなど海外においてバイオマス原料の生分解性プラスチックの大型プラントを立ち上げる計画を有している。このように同社は樹脂原料メーカーの大型プレーヤーとなるための事業基盤を固めつつあり、2020 年頃までに世界最大の供給量を誇るメーカーとなる

⁵ 国内販売計画としては 2006 年に 3 万トン、2013 年には 30 万トン規模を見込む。

⁶ 2002 年に（株）島津製作所からポリ乳酸事業の設備・技術資産を譲り受けた。

⁷ 今後インドネシアでサツマイモを収穫し、飼料用加工工場を立ち上げる予定とのことである。

ことを狙う。

現在はまだ実証段階であるが、廃棄物系バイオマスから生分解性プラスチックを製造する北九州グループの動向も注目される。当プロジェクトは、食品廃棄物や木質廃棄物の有効活用の道を開くものであるとともに、将来、生分解性プラスチックの市場が成長した場合には、その後処理方法としても大いに期待できるものである（詳細第4章参照）。

図表1-8 主要な生分解性プラスチック原料メーカー

メーカー	製品名	素材成分	現状生産能力 (t/年)	将来生産能力 (t/年)
①天然物利用 Novamont 日本コーンスターチ(株)	Mater-Bi コーンポール	デンプン変性 デンプン変性	20,000 パイロット	35,000
②微生物生産 三菱ガス化学(株)	ビオグリーン	PHB	10	1,000
③化学合成(石油由来)				
BASF	Ecoflex	PBTA	8,000	30,000
Eastman Chemicals	EastarBio	PBTA	15,000	
DuPont	Biomax	PET改質	100,000	
昭和高分子(株)	ビオノーレ	PBS/PBSA	3,000	6,000
三菱化学(株)《+味の素(株)》 (株)日本触媒	GS Pla ルナーレSE	PBS PES	新規参入 パイロット	30,000
ダイセル化学工業(株)	セルグリーン	PCL/PBS	1,000	5,000
④化学合成(天然物由来)				
Cargill-Dow	Nature Works	PLA	140,000	4,500,000
三井化学(株)	LACEA	PLA	500 (CDと提携)	自社生産増大
トヨタ自動車(株)	エコプラスチック	PLA	1,000 (2004年～)	50,000
北九州グループ		PLA	実証段階	30,000

(注) 将来生産能力は、現時点発表の将来生産能力の最大値を掲載している。

(出所) 各社資料・報道などをもとに政策銀作成

なお、技術面では日本メーカーが優っている部分が多い。例えば、用途展開は米国では緩衝材、欧州では生ゴミ袋などが中心であり、日本の方が用途開発技術の裾野が広いといわれる。カーギル・ダウが2000年以降相次いで日本陣営と提携したのも、こうした技術力⁸が背景にあるとみられる(図表1-9)。

まず同社は、2000年1月に日本のカネボウ合繊(株)、ユニチカ(株)、(株)クラレ、三菱樹脂(株)の4社とPLAに関して独占供給契約を締結し、開発を進めてきた。この契約によると、包装材料分野ではユニチカ(株)、三菱樹脂(株)の2社が、繊維分野ではカネボウ合繊(株)、(株)クラレ、ユニチカ(株)の3社が市場開発責任を担っているようである。

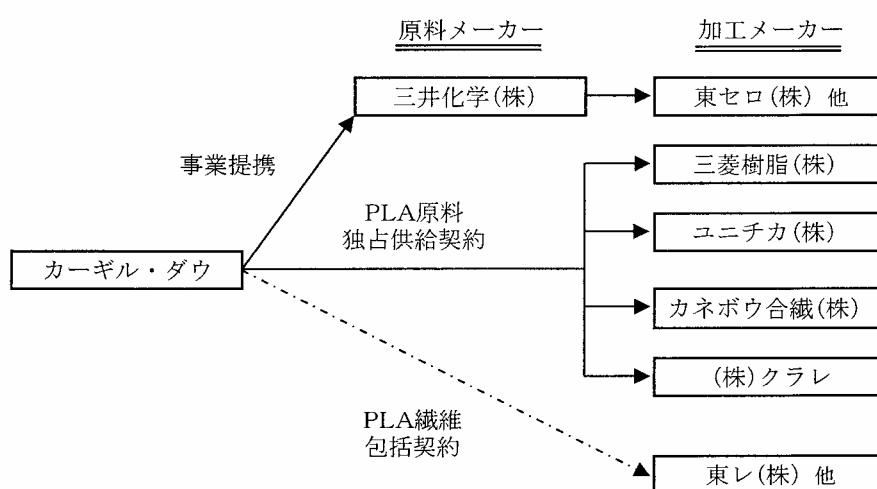
2001年9月には、カーギル・ダウは三井化学(株)とPLAの事業開発における契約を締結した。背景には、三井化学(株)が乳酸の直接脱水縮合法を始めとした製造技術、あるいは用途

⁸ 実際、カーギル・ダウのハワード社長は、2001年9月の三井化学(株)とのPLA事業での提携発表の際に、「日本は、世界の中でPLAの開発が最も進んでいる」とのコメントも残している。

開発面などで先進的であったことが大きい。これにより、両社は PLA の用途開発に関する特許及び技術情報を交換し、三井化学（株）はカーギル・ダウが生産する PLA の日本における開発及び販売を独占的に行うこととなった。

さらに、カーギル・ダウは、2003 年 4 月に東レ（株）との間で、PLA 繊維ブランド“ Ingeo ”を製造・販売する事業について、ブランド、技術ライセンス、PLA チップ供給などを含む包括的な契約を締結した。具体的には、東レ（株）がカーギル・ダウから PLA チップの供給と“ Ingeo ”ファイバーの製造に必要な技術のライセンスをうけ、PLA ファイバーの製造を日本、韓国、タイ、インドネシア、マレーシアなどで行うとともに、テキスタイルの製造についてはアジア及び欧州を含むグローバルな地域で行うこととなった。また、東レ（株）は、“ Ingeo ”ファイバー及びテキスタイルの販売についてグローバルに展開していく予定である。

図表 1 - 9 カーギル・ダウと日本陣営の提携



(出所) 各種資料をもとに政策銀作成

生分解性ポリエステルにかかる特許出願動向をみると、日本メーカーの技術面での進捗度合いがわかる（図表 1 - 10）。90 年代の特許出願件数をみると、製造メーカーでは PLA（ポリ乳酸系）の合成反応に関するものが目立つ。例えば、三井化学（株）が 95 年頃に乳酸の直接脱水重縮合法、99 年には固相重合法についてまとまった出願がみられた。また、（株）島津製作所⁹が 94～96 年にかけて中間体ラクチドからの二段重合法や連続重合法などに関する特許を多数出願していた（図表 1 - 11）。これらはいずれも、ポリマーを容易（短時間、高収率、安価）に製造することや製品品質の向上を可能にする技術である。

こうした製造関連技術の発展に伴って、加工メーカーでも特許出願が 90 年代の後半から急増した。個社別に目立つのは、ユニチカ（株）や東レ（株）の繊維・不織布、東洋紡績（株）や

⁹ 2002 年に生分解性プラスチック事業の研究・製造にかかる特許・関連ノウハウなどの知的財産権・機械設備をトヨタ自動車（株）へ譲渡した。

三菱樹脂（株）のフィルム・シート、凸版印刷（株）のカードの分野などへの出願である。その他には、カネボウ（株）カネボウ合繊（株）の発泡分野への出願も目立つ。

公的機関については、産業界との共同出願数が多いこと、また毎年平均して出願が行われていることが特徴的である。

図表 1-10 生分解性ポリエステル全体の主要出願人の特許出願状況

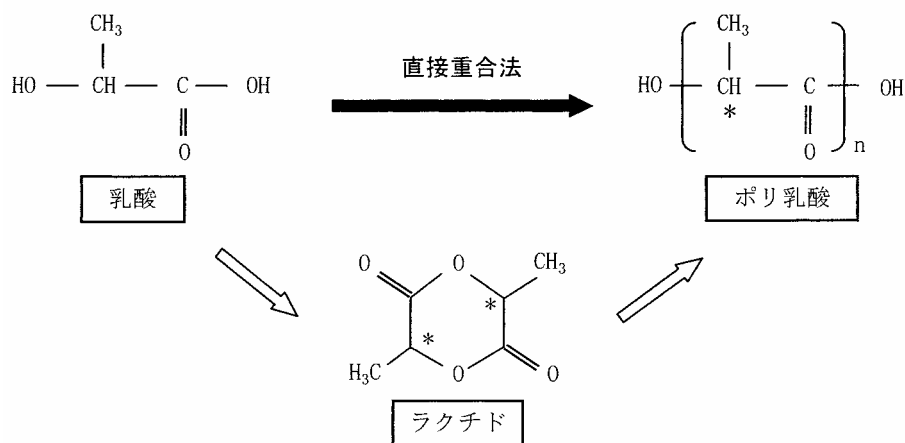
(件数)

出願人名称	年	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	計
①製造メーカー												
三井化学(株)		1	14	22	43	19	25	27	42	40	21	254
(株)島津製作所		6	2	2	3	25	56	44	19	18	10	185
昭和高分子(株)			5	34	14	17	8	1	4	3		86
ダイセル化学工業(株)				3	2	3	4	11	7	28	14	72
昭和電工(株)		1	1	27	2	5	6	3	4	5	3	57
大日本インキ化学工業(株)			2	1	5	8	15	6	10	2	7	56
三菱ガス化学(株)		1		2	9	8	3	3	2	13	8	49
三菱化学(株)		2	3	6	1	7	6	13	1	2	7	48
(株)日本触媒		1		3	8	5	10	2		1	3	33
②加工メーカー												
ユニチカ(株)			1	2	18	10	29	23	4	23	33	143
東洋紡績(株)			2	3	21	14	7	6	6	5	40	104
カネボウ(株)			1	1	1	12	20	17	9	12	14	87
凸版印刷(株)			6	4	5	15	21	11	7	2	5	76
三菱樹脂(株)						6	9	9	5	6	20	55
東レ(株)			1	1	1		2	1	1	4	27	38
③公的機関												
経済産業省産業技術総合研究所長		7	5	9	5	6	9	7	11	4	15	78
地球環境産業技術研究機構			2	3	1	4	10	3	3	8	4	38

(注) 1991年1月～2001年8月までに公開された出願件数

(出所) 独立行政法人工業所有権総合図書館「技術分野別特許マップー生分解ポリエステル」

図表 1-11 ポリ乳酸の製法

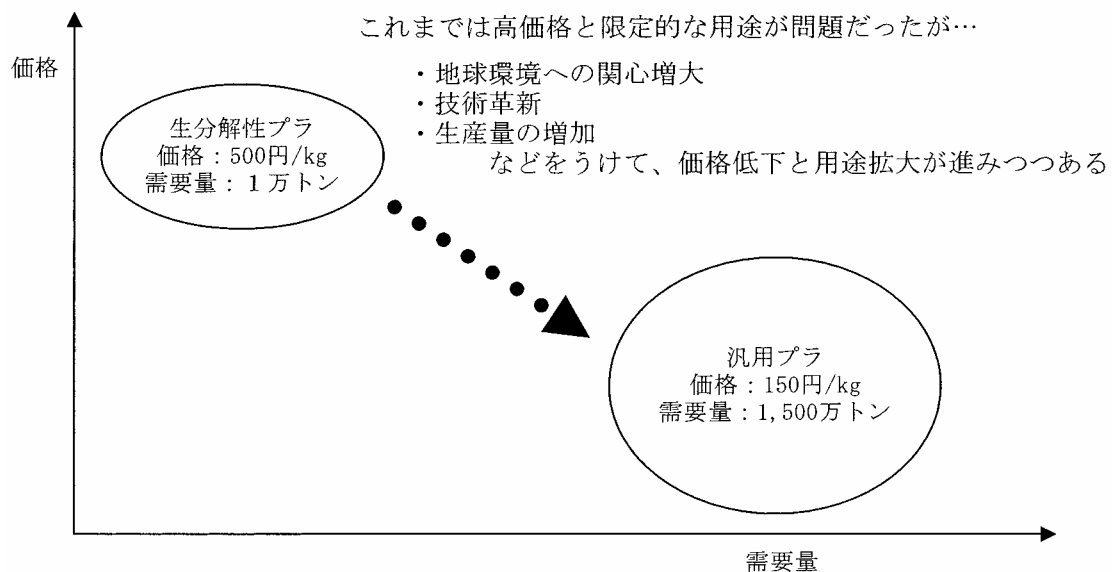


(出所) 湯川英明編著「バイオマス」より抜粋

第2章 価格と用途をめぐる最近の動向

これまで生分解性プラスチックは、汎用プラスチックに比べて価格が高かったこと、用途が限られていたことなどから、市場の拡大は限定的であった。しかし、最近では、地球環境への関心増大、技術革新、生産量の増加などをうけて、潮目が変わりつつある（図表2-1）。本章では、最近の価格低下と用途拡大の動向につき、詳しくみている。

図表2-1 生分解性プラスチックの価格と用途



(出所) 政策銀作成

1. 価格低下に向けた取組み

現状、生分解性プラスチックの原料価格は400-600円/kg程度といわれており、汎用樹脂価格（150円/kg程度）と比較すると高い。数年前には200円/kg程度の水準はすぐに実現可能といった樹脂メーカーもあったが、現状はまだそこまで下がっていない模様である。なお、政府は2010年頃を目途に200円/kgを目指すことを政策目標としており、また将来的には汎用樹脂価格と同程度の水準（150円/kg程度）を達成できるとするメーカーも一部にある。

こうした価格低下を実現するためには、原料費部分と固定費部分の両面からのコスト削減のアプローチが必要である。以下では、樹脂の製造を中心にとりあげる（図表2-2）。

原料面では、安価な原料を調達することが大きなポイントである。例えば、植物原料を使用するものでは、日本におけるトウモロコシ価格（輸入）は米国におけるトウモロコシに比べ相当割高であるため、日本メーカーが原料を輸入し日本国内で製造するのでは全く勝負にならない。これに太刀打ちするために、海外で安価な植物原料を入手し、現地で製造設備を立ち上げることを検討している企業が多い。生ゴミなどの廃棄物系バイオマス为原料とするものでは、

廃棄物を受け入れる入口部分で自治体から廃棄物処理委託料をもらうことで(逆有償) 原料コストを大幅に圧縮できる道が開ける。また、将来的には、現在廃棄されている植物の茎や葉、稲わら・麦わらなどの未利用バイオマスを有効利用することや、トウモロコシやイモ、米などを工業用資源作物として製造することなども検討されている。

一方、設備面からのアプローチとしては、これまでのところ既存設備を有効利用することでコストの抑制が図られてきたが、今後、市場開拓を通じて生産規模が拡大していけば、現状ではまだ低いといわれる設備稼働率の引き上げにより、労務費、償却費、管理費などの固定費の負担が軽減されていくことになる。

製造プロセス(糖化・発酵・精製・重合)を効率化することも重要である。発酵工程においては発酵コスト低減のためカビによる発酵、またエネルギーを大量に消費する糖化・発酵・精製工程を大幅に簡略化することが可能となる遺伝子組換え技術を利用した乳酸菌などが開発されている。また、発酵工程で必要となるエネルギーは通常の産業では廃熱になってしまう 120～130 程度の熱であるため、発電所の余熱利用や発電所の低圧蒸気などによってエネルギー費用を削減することなども考えられている。重合工程では、乳酸の直接脱水縮合法や固相重合法プロセスのようなポリマーを容易(短時間、高収率、安価)に製造する方法も開発されている。また、原料製造から重合工程まで全て一体化させることによって輸送費を削減¹⁰することもコスト削減効果は大きいといわれている。

図表 2-2 価格低下に向けた方策

原料費
①海外産の安価な原料使用(植物系)
②生ゴミ処理手数料受取(廃棄物系)
設備費
①既存設備の有効利用
②設備規模の拡大
その他
①エネルギー費～発電所余熱利用など
②輸送費～原料製造から重合工程まで一体化

(出所) 政策銀作成

また、既存の汎用プラスチックとの比較では、現状ではバージン樹脂間での価格差は大きい。ただし、リサイクル法制の整備などをうけて、今後、汎用プラスチックも使用後はリサイクルが求められるようになる。再商品化コストの負担が大きくなるため、汎用プラスチックのマテリアルリサイクルコストまで含めて考えた場合、両者の価格差は縮小してこよう(図表 2-3)。実際、ドイツではこうした観点からの比較が行われており、それに基づいて社会システムの設計が進められている。わが国においても、こうした比較研究を基礎として、生分解性プラスチックの市場拡大策(政策的な誘導策)の検討が必要であろう。

¹⁰ 例えばコハク酸は水分が多量なため、輸送効率性が悪いともいわれている。

図表 2 - 3 プラスチックマテリアルリサイクルコスト試算値

(単位：円/kg)

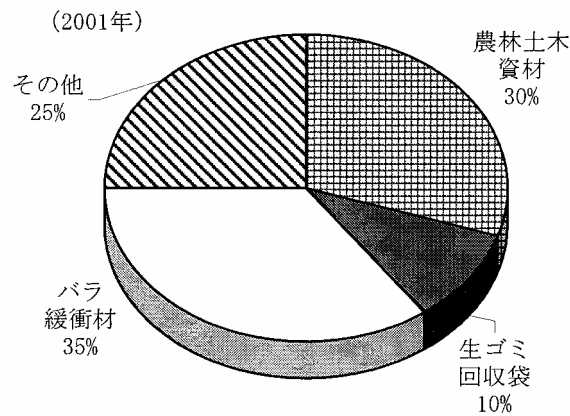
分別回収	再生処理コスト	回収コスト	合計	新品価格
発泡PSトレイ (1,000 t/y)	150	200~400	350~550	PS 150
PVC卵パック (1,000 t/y)	80	100~200	180~280	PVC 100
PETボトル (10,000 t/y)	120	200~500	320~620	PET 200

(注) 1999年11月時点の数字。カッコ内は生産規模。
(出所) 佐伯康治、プラスチック1999年11月号

2. 生分解性機能を活かした用途

生分解性素材の特性が活かされる用途は、自然環境中に放置されるもの、分別回収に手間がかかるもの、環境負荷の低い材料分野などが考えられる(図表2-4、2-5)。現状のプラスチック加工製品で、特に生分解性素材に代替できると期待される分野としては、フィルム、シート、日用品・雑貨、容器、発泡製品などが挙げられる。

図表 2 - 4 生分解性プラスチックの用途



(出所) 生分解性プラスチック研究会

図表 2 - 5 生分解性素材の主な用途と今後の成長性

①自然環境中に放置される可能性が高いもの		〈成長性〉
農林水産業用資材	マルチフィルム、ポット、魚網	◎
土木建築資材	土嚢、植生材料、養生シート	○
野外レジャー製品	釣り糸、登山	△
②分別収集に手間がかかるもの（コンポスト化可能材料）		
食品包装材	生鮮食品トレー、即席食品容器、弁当箱	◎
袋類	生ゴミ袋、レジ袋	◎
衛生用品	紙オムツ・生理用品	○
③環境負荷の低い材料としての利用分野		
繊維製品	衣服、カーペット	◎
日用雑貨	ペンケース、芯ケース、髭剃り	△
その他	電子機器筐体、自動車部品	◎

(注) 成長性は筆者判断ベース

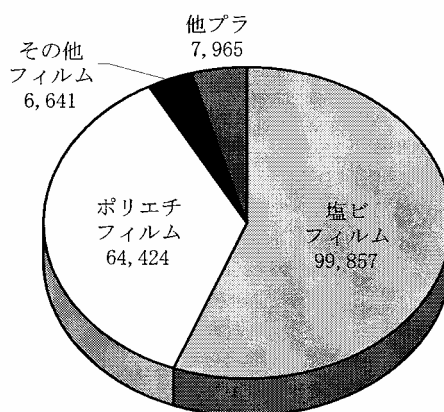
(出所) 各種ヒアリングなどをもとに政策銀作成

農業用マルチフィルム

現在、生分解性プラスチックの市場が比較的大きいのは農業用マルチフィルムである。

農業用使用済みプラスチックは年間 18 万トン程度処理されているが、その過半が焼却・埋立てされている（図表 2 - 6）。野焼き禁止や不法投棄の取締りは一段と強化され、農家の処理コストは上昇してきている。生分解性マルチフィルムを使用すれば、後処理が不要となり、収穫後の回収作業にかかる労力や経費などを低減しトータルコストを削減できるため、今後この分野では既存のポリエチレンフィルム（6 万トン程度）からの代替がさらに進む可能性は大きい（図表 2 - 7）。なお、当分野では引張り強度と生分解速度のバランスが重要であり、これが最もハイレベルでバランスしているのは昭和高分子（株）の『ピオノーレ』との見方が多い。

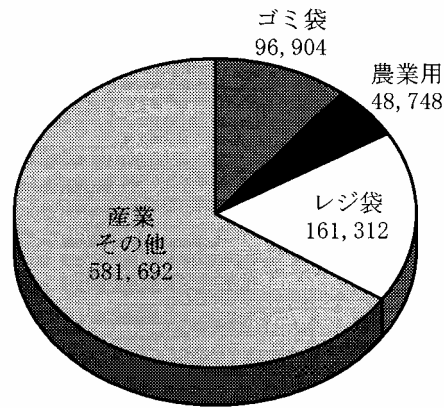
図表 2 - 6 農業用使用済みプラスチック処理量



(注) 数字は1999年暦年、単位はトンベース。

(出所) 農林水産省

図表 2 - 7 ポリエチレンフィルム出荷量



(注) 数字は2002年暦年、単位はトンベース。
 (出所) 日本ポリオレフィンフィルム工業組合

生ゴミ袋など袋類

生分解性プラスチックのコンポスト用生ゴミ袋としての需要は今まで足踏み状態にあったが、このところ北海道・東北地区を中心に飛躍的に伸びてきており、今後さらに全国的に普及していく兆しが認められる。背景には、ダイオキシン対策特別措置法で、2002年12月から既存焼却施設の排ガス規制が強化されたことが考えられる。

生ゴミは水分を多く含んでいるため焼却処理が難しく、また、ダイオキシンの発生や炉の寿命を短くすることや、炉の更新にはコスト面での負担が大きいなどの問題がある。そのためコンポストによる処理が検討されている地域が多く、今後、欧州と同様、生分解性プラスチックのコンポスト用生ゴミ袋の需要が急速に増えると目されている。

緩衝材など発泡製品

環境規制の高まりを背景に、家電を始めとする企業を中心に発泡ポリスチレン代替品として生分解性プラスチックを使用した緩衝材のニーズも高まっている。これまで発泡製品はバラ状緩衝材がほとんどであったが、最近では生分解性魚箱などブロック状発泡製品の市場も広がりつつある(第4章参照)。

食品包装材

一番の注目は年間150万トンといわれる食品包装材(フィルムや容器)である。例えば、コンビニなどでは弁当類の販売増とその容器によるゴミ問題が深刻化している。これらは夾雑物除去に労力や経費などがかかるため、バイオリサイクル内での処理が最も効果的である。

既に欧米では、PLA(ポリ乳酸)製品は食品包装に関する法規制はクリアしているが、日本国内ではまだポリオレフィン等衛生協議会(ポリ衛協)にて安全性などを審査中の段階である。これが承認されれば、現在ではPPフィルムやPSP容器が主力の食品包装市場への進出が本格化することが見込まれている(図表2-8、2-9)。

欧州ではモノマーが安全であれば、ポリマーは問題ないという立場をとっており、PLA はすでに安全な物質としてポジティブリスト（PL）に記載されている。米国では、FDA（食品医薬品局）の管理のもと、食品の容器包装材料として使用される物質は食品接触物質（Food Contact Substances）と分類され、許可登録が必要である。なお、2002年1月にカーギル・ダウのPLAが、FCN178（Food Contact Notification）として既に登録された。

わが国では「食品衛生法¹¹」に基づき、食品用プラスチックの安全性を確保するための具体的な規格として「食品添加物等の規格基準」（昭和34年厚生省告示第370号）が定められ、以後、逐次改正され、現在では樹脂毎に個別規格が定められている。PLAはこの厚生省告示などに適合しているが、実際に使用されるためには業界の自主基準であるポリオレフィン等衛生協議会（ポリ衛協）のポジティブリスト（PL）に登録されることが求められるため、これへの登録に向けて、2001年秋よりポリ衛協での評価・検討が続けられている。欧米での認可状況からみて、早晚ポジティブリストへ登録となるものと思われる。

既にフィルムでは高級野菜包装などで実用化¹²されている商品もある。消費者側の環境意識の高まりなどをうけて、ユーザー企業側でも「環境に優しい」というコンセプトを全面に打ち出した商品ラインアップを充実させようと努力している模様であり、市場の拡大余地は大きいとみられる。実際、フィルムメーカー大手の東セロ（株）は今後の需要拡大を見込んで、PLAを使用した生分解性フィルムの増産計画を打ち出しており、他メーカーもこれに追随する動きがみられる。

図表2-8 食品容器・包装使用時の法規制

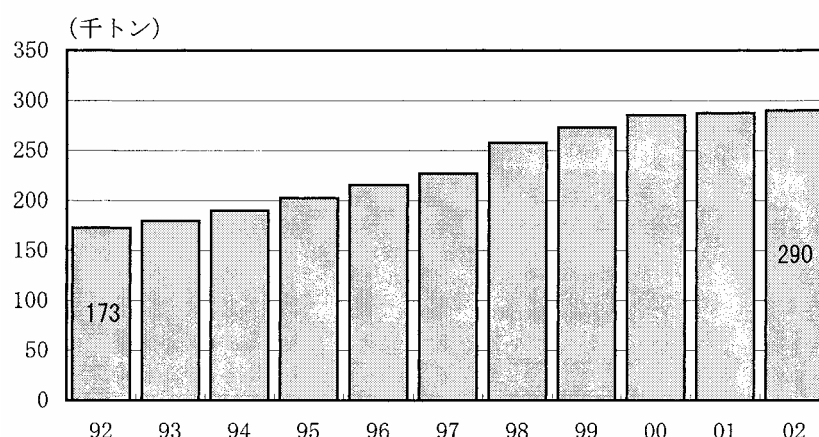
欧州	○ポジティブリストに記載済み モノマー安全ならばポリマー問題なしとの立場
米国	○ポジティブリストに記載済み FDAの許可登録必要 →02年1月PLAがFCN認証獲得
日本	○ポジティブリスト記載に向け審査中 ポリオレフィン等衛生協議会の許可登録 →01年秋から審査継続 →03年中にPLAが登録可能か？ →PLA審査終了後、PBSも審査開始

（出所）政策銀作成

¹¹ 食品用の容器・包装器具などは有害な物質を含んではならず、食品などに接触して人の健康を損なうおそれのある容器・包装器具などを販売したり使ったりしてはならないとされている。

¹² PL記載前でも、安全性に対する確かなデータを得ていれば、自己責任において商品化を進めることは可能である。

図表 2-9 PPフィルム（食品用途）出荷量



(注) OPP（二軸延伸）、CPP（未延伸）の合計値。
 (出所) 日本ポリプロピレンフィルム工業連合会

3. 新たな用途展開～“バイオマス由来”に着目

前節では生分解性プラスチックの“分解特性”に着目した用途をみてきたが、最近ではむしろバイオマス由来プラスチックである点が強調されており、用途はさらに広がりを見せている。

合繊業界

合繊業界は、PLA 繊維がバイオマス由来であり、さらに機能面でも従来素材よりも優れた点を有することから、企業イメージの向上を図るため、生分解性素材の活用（繊維用途中心）に力を入れ始めている。大手合繊メーカーでは、PLA 事業で2005年には売上高100億円超を計画しているところもある。PLA 繊維はポリエステルに近い性能を有し、さらにポリエステルよりも触感に優れ、シルクライクな光沢を有する。親水性にも優れ、水分をすみやかに吸収・揮散させる性質を持ち、火がついても燃え広がりにくい難燃性を有している（ただし、染色はポリエステルより低温で可能であるが、高温でのアイロンやタンブラー乾燥は耐熱性の面で若干問題があるため、注意が必要である）。以下では、カーギル・ダウと提携している企業を中心にみる（図表2-10）。

カネボウ合繊（株）は、新素材『ラクトロン』を使用した『カネボウ環境倶楽部』を展開している。用途にあわせて、一部コットンをミックスし、デリケートな肌向けのインナー、着心地を大切にしたTシャツやポロシャツ、タオルなどの商品を展開しており、同社が独自に最終製品の生産から販売までを手掛けている。また、非繊維用途分野では、同社が独自に開発したビーズ形状からの型内成形可能なポリ乳酸発泡体¹³があり、発泡ポリスチレン代替素材として梱包材業界から注目されている。

¹³ 同社は京都モデル（第4章参照）で使用されるポリ乳酸発泡ビーズ魚箱の製品提供を行う。

ユニチカ(株)は、フィルム、不織布、繊維のほかに、耐熱性や成形性をもつ樹脂を加えた総合素材展開により、独自ブランド『テラマック』の飛躍的拡大を狙っている。特に樹脂に関しては、PLAのポリマー改質技術・コンパウンド技術をベースに成形加工技術を組み合わせることで、結晶化速度向上に成功し、現行生産ライン速度にて高耐熱性¹⁴を有する容器を生産する技術を確認した。電子レンジでの使用も可能となるため、今後は弁当容器、ホット飲料カップ、カップ麺容器などの食品容器を中心に市場展開していく予定である。

(株)クラレは、PLA系の『プラスターチ』を製品展開しているが、PVA(ポリビニルアルコール)や酢ビ系水溶性樹脂『エクセパール』との複合化で付加価値を高め、ニッチ市場を開拓するという独自の方針を描いている模様である。

東レ(株)は、2003年度よりPLA繊維素材事業を本格展開することを発表した。カーギル・ダウとの包括契約に基づき、同社の繊維ブランド“Ingeo”とともに、東レ(株)独自の『エコディア』というサブブランドも育成していく計画である。当初は産業・生活資材の繊維製品の開発と販売を目指し、PLAの優れた特性が活かせるカーペット・寝装資材で展開し、順次、衣料・インテリアなど幅広い用途へ拡大していき、テキスタイルとして付加価値をつけた製品展開を図っていく。また、PLAに、ナノテクノロジーによる高分子構造制御技術を適用し、少量の高性能ポリマー数ナノメートルで微分散させたPLAナノアロイを開発し、結晶性、耐熱性、耐久性を大幅に向上させた。本件は既存設備で経済的に量産化が可能であることは確認されており、同社はこれを自動車部品など射出成形用途へ展開していく予定である。

図表2-10 合繊メーカーによる生分解性素材事業

	カネボウ合繊(株)	ユニチカ(株)	東レ(株)	(株)クラレ
商品名	ラクトロロン	テラマック	エコディア	エクセパール、 プラスターチ
原料	PLA	PLA	PLA	PLA・PVA・酢ビ
用途	繊維、発泡成形体	繊維、フィルム、 スパンボンド	繊維など	新規用途
将来売上 見込 (2005年度)	100億円	100億円	100億円 (4,000トン)	1,000トン
戦略	繊維分野や 発泡成形体	ナイロン・ ポリエステル に次ぐ第3の柱	テキスタイルなど 付加価値の高い分野	複合素材で市場開拓
その他	発泡成形体を 京都実験に提供	高耐熱性容器	フィルム、 樹脂分野への 進出も視野に	

(出所) 各社資料、報道などをもとに政策銀行作成

¹⁴ 従来のPLAはガラス転移点が57と低かったが、本技術により家庭用品品質表示法による耐熱温度を生分解性シート形成による容器として世界で初めて130をクリアすることに成功した。

自動車業界

自動車業界でも、燃料電池車やハイブリッド車など環境に配慮した自動車をはじめ、素材面でも環境負荷の少ない原料の開発・普及が進められており、内装材の一部に生分解性プラスチックを採用し始めている。自動車向けプラスチックは需要の規模も大きいうえに、その利用環境は温度、湿度、強度において厳しい性能を要求され、コスト要求も非常に厳しい。この分野で利用が進めば、生分解性プラスチックの市場は急拡大する可能性が大きい。

トヨタ自動車(株)は、2001年のモーターショー出展の試作品『ES³(イーエスキュービック)』のパネル部品などに生分解性プラスチックを実験的に採用し、2003年5月には、新車種『ラウム』のスペアタイヤカバー¹⁵とフロアマットに、新素材『トヨタエコプラスチック¹⁶』を正式に採用した。さらに9月には新型『プリウス』にも同フロアマットを採用した。

これだけでは重量比としてはまだ軽微なものだが、当技術はドアトリム、カーシート、天井材、ラインマットなど他の自動車内装部材の開発にも応用することが可能である。環境負荷の少ない部材開発が求められている自動車関連用途においては、今後さらにPLA製品のラインアップを拡充していく動きが予想される。

同社は、自動車リサイクル活動の促進を目指し、長期的な「トヨタリサイクルビジョン」を公表した(図表2-11)。これは4つのビジョンからなるが、その中で「再生可能資源・リサイクル材の活用」では、2015年までに樹脂部品の20%を、『トヨタエコプラスチック』などの再生可能素材とする使用技術の確立を目指すとしている(なお、(社)日本自動車工業会の統計によると、2001年度時点での普通・小型乗用車における合成樹脂使用比率(重量比)は8.2%であったが(図表2-12)、自動車の軽量化が強くとめられていることから同比率のさらなる上昇が見込まれる)。

このように地球温暖化やリサイクルなど環境問題への対応や車両軽量化の要請などもあり、今後、生分解性プラスチック採用の流れはトヨタ自動車(株)だけでなく、自動車業界全体に広がっていくものとみられる。

¹⁵ トヨタ自動車(株)は、当スペアタイヤカバーにつきLCA(資源採取から廃棄・リサイクルまでの各段階で、車が環境に与える要因を定量化し、総合評価する手法)を実施したところ、石油系プラスチックに比べてトータルで炭酸ガス排出量を大幅に低減していることが明らかになった。

¹⁶ トヨタ自動車(株)が開発・製造したPLAベースの生分解性プラスチックを、東レ(株)が繊維に加工し、アラコ(株)がこれにケナフ繊維を混合させ、成型したもので、素材の全てが植物資源からできている。

図表 2-11 トヨタリサイクルビジョンの内容

項目	目標	現状（日本）
日欧リサイクル実効率の着実な向上	日本）法規目標*1の早期達成 欧州）法規目標*2の着実な達成	リサイクル実効率81～83%
再生可能資源・リサイクル材の活用	2015年 樹脂部品の20%使用技術確立 (トヨタエコプラスチックとリサイクル材の合計)	2003年5月発売新型ラウムより、トヨタエコプラスチックの使用開始
中古部品の利用拡大	2010年 販売点数10倍（2002年比）	2002年実績2.3万点
環境負荷物質の削減	2003年 トヨタグローバル基準の制定	グローバル対応の基本方針策定
	2006年より4物質*3全廃車導入（日欧） (適用除外部品あり)	2002年 新型車平均鉛使用量を1996年比1/6以下に削減

*1 ASRリサイクル率2005年度30%（リサイクル実効率88%相当）、2010年度50%（同92%相当）、2015年度70%（同95%相当）の予定。

*2 リサイクル実効率2006年85%、2015年95%。

*3 鉛、水銀、カドミウム、6価クロム。ただし、日本の鉛は1996年比1/10以下（EU同等）。

(出所) トヨタ自動車(株)

図表 2-12 普通・小型乗用車における原材料構成比推移

(単位：%)

	1973	1977	1980	1983	1986	1989	1992	1997	2001
銑鉄	3.2	3.2	2.8	2.2	1.7	1.7	2.1	1.8	1.5
普通鉄鋼材	60.4	61.6	60.5	59.5	57.7	56.9	54.9	52.1	54.8
特殊鉄鋼材	17.5	16.1	14.7	14.3	15.0	15.1	15.3	16.9	16.7
非鉄金属	5.0	4.7	5.6	5.6	6.1	7.4	8.0	9.6	7.8
非金属（合成樹脂）	フェノール樹脂	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
	ポリウレタン樹脂	0.5	0.5	0.8	0.9	1.2	1.0	1.1	0.9
	塩化ビニル樹脂	0.9	1.1	1.4	1.7	1.7	1.6	1.1	1.1
	ポリエチレン樹脂	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.4	0.3	0.4
	ポリプロピレン樹脂	0.5	0.5	0.9	1.2	2.0	2.4	2.5	2.8
	ABS樹脂	0.4	0.7	0.5	0.5	0.7	0.8	0.7	0.6
	その他の合成樹脂	0.3	0.4	0.7	0.6	0.4	0.3	0.4	0.3
	(汎用樹脂小計)	2.9	3.5	4.7	5.5	6.6	6.6	6.2	6.2
	(高機能樹脂)	-	-	-	0.2	0.7	0.9	1.1	1.3
[合計樹脂計]	2.9	3.5	4.7	5.7	7.3	7.5	7.3	7.5	
非金属（その他）	11.0	10.9	11.7	12.7	12.2	11.4	12.4	12.1	
合計	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	
原単位総重量の推移	100.0	106.5	105.9	102.7	106.8	115.1	136.8	141.3	

(注) 本資料は、調査時における普通・小型乗用車の生産に投入された台当たり原材料の構成比を示したもの。各調査時の調査対象車種・範囲・車種構成は各々異なり、同一車種の推移を追ったものではない。

なお、自動車を作るための鋳造の比率を見る場合は、銑鉄の他にスクラップ材の使用量を含めるのが適当であり、その場合の鋳造比率は自動車全体の5%強となる。

(出典) (社)日本自動車工業会 「2001 日本の自動車工業」

電気機械業界

家電品やパソコンなどの電子機器の分野においても、近年、世界的に環境配慮が求められるようになってきている。これまでの生分解性素材では強度と耐熱性が足りず、電子機器筐体への採用は難しいとされていたが、下記の技術などにより射出成形に耐えうる性能向上が実現しつつある。

ソニー（株）は、自然環境の保全に関する取組みの一環として、植物を原料とするプラスチックを電子機器筐体に採用する技術を確立し、第一弾として2002年秋発売のウォークマン「WM-FX202」に採用した。使用した植物原料のプラスチックはPLAがベース¹⁷であり、三菱樹脂（株）及び三宝化成（株）とで共同で改良を加え、筐体にふさわしい耐久性と耐熱性、耐衝撃性、成形性を実現し、筐体の9割以上（重量比）に採用した。

富士通（株）と（株）富士通研究所は共同で、PLAをベースにした生分解性プラスチックをノートパソコンの筐体部品に採用する技術を開発した。これまで使用されていたPC/ABS樹脂並みの強度と収縮率を実現し、LCAでも環境負荷を大幅に低減することがわかった。この技術をもとに2002年にPC「FMV-BIBLO NB」の部品の一部に採用し、2004年秋にはノートパソコン筐体全体に適用を拡大する予定である。

日本電気（株）は、地球温暖化防止の高いケナフ¹⁸繊維を補強材としてPLAに充填することで、従来のPLAを素材としたものに比べ、耐熱性と強度（剛性）を大幅に改善したバイオプラスチックの開発に成功した。同社は今後とも豪州で植林事業を展開する（株）ネイチャートラストよりケナフの供給をうけて、本素材を今後2年以内に電子機器に実用化していく予定であり、さらに研究開発を強化している（図表2-13）。

インキ業界

生分解性素材が普及するためには、デザイン性を重視した印刷は不可欠である。しかし、仮に生分解性プラスチックが生分解性機能を有していても、表面に付着した印刷インキが分解しなければ、微生物との接触がなされないためプラスチックの分解は進行しない。このように生分解性プラスチックは、石油系プラスチックに比してコスト面だけでなく意匠面でも大きなハンデを背負っていたために、用途展開が限られていたという側面があったともいえる。

この問題を解決するために、大日精化工業（株）が、生分解性樹脂を使用したグラビアインキ及びコート剤の『バイオテックカラー』を世界で初めて開発した。通常、グラビアインキは、顔料、樹脂（バインダー）¹⁹、溶媒、添加剤などによって組成されており、これら全てを生分解性機能を有するものにするのが理想だが、これは現実的に難しい。したがって、こ

¹⁷ PLAがベースだが、改質材としてPBSなども使用されている。

¹⁸ ケナフは熱帯地方に多く生育する一年草である。成長が速く（通常植物の3～9倍）、二酸化炭素の吸収力も高いため（ケナフ1トンにつき空気中の二酸化炭素1.5トンを吸収）、地球環境保護に貢献する植物として注目を集めている。

¹⁹ デンプン変性物や脂肪族ポリエステルなどを使用する。

のうち樹脂、そして添加剤の一部を生分解性機能を有するものとし、残りは非分解性でも土壌、水に混入しても毒性の低いものとする。生分解性以外の物質の混入を最小限²⁰に抑えているのが特徴である。例えば、銅をはじめ重金属類は微量でも蓄積毒性があるため一切使用しないことにしたが、その代替品として、天然由来の構造を持つ無機顔料（酸化チタン、二酸化ケイ素など）だけでなく、土壌改良にも使用される紺青²¹を用いている。

同社は、インキのみならず生分解性複合フィルムに対応できる全システム構築をほぼ完成しつつある。既にトップコート剤・ヒートシール剤は完成済みであり、接着剤は近々の完成を目指している（図表2-13）。なお、同インキは、確実な需要が見込まれる水田マルチ（黒色『バイオテックカラー』を塗布した再生紙）で先に展開していき、市場が拡大してから生分解性プラスチック分野へ本格展開していく方針である。

このように、生分解性素材の大きな弱点であったデザイン面が向上すれば、その普及に弾みがつく可能性が大きい。実際、加工メーカー側からの引き合いも多いようで、今後生分解性素材が大きく市場拡大するには不可欠な技術であろう。

図表2-13 主要な新規用途開発取組み事例

	ユニチカ(株)	東レ(株)	日本電気(株)	大日精化(株)
開発	ポリ乳酸高耐熱性成形体	ポリ乳酸ナノアロイ	耐熱性・強度に優れたポリ乳酸	生分解性グラビアインキ「バイオテックカラー」
概要	サーモフォーミングによる高耐熱性容器の開発	ナノテクによる高分子構造制御技術	ケナフ繊維添加によりポリ乳酸特性強化	生分解性素材に使用するインキやコート剤にも生分解性付与
詳細	ポリマー改質技術をベースに、成形加工技術を併せることによって、高耐熱性容器開発に成功	ポリ乳酸中に異種ポリマーが数ナノメートルのオーダーで微分散化しネットワーク構造を形成	ポリ乳酸にケナフ繊維を約20%添加することで、耐熱性向上・強度向上	自然界に存在する化合物と同じ化学構造の合成着色料を選定
改善点	①すばやく結晶化（10秒弱） ②耐熱性向上（130℃） ③優れた耐衝撃性	①結晶性向上 ②耐熱性向上（100℃以上） ③耐久性向上 ④透明性、分散性向上	①耐熱性向上（120℃） ②強度向上（曲げ弾性率）（4.5GPa→7.6GPa）	①インキの樹脂部分を生分解性へ ②合成有機系顔料から重金属を含まない顔料へ
用途	食品包装への展開 ○食品用（弁当容器等） ○電子電気部品組立 ○工業用・事務用品	自動車部品への展開 ○自動車部品 ○電気電子部品 ○フィルム、繊維	電子機器への展開 ○電子機器等ハイエンド用途	デザイン面向上 ○農業、園芸材料 ○包装材
実用化	2003年度中（100トン販売）	1～2年後	2年以内	販売中
備考	2005年度販売目標1,000トン	ナノテクテクノロジーを応用した新素材で、既存設備で製造可能	ネイチャートラスト(株)よりケナフ安定供給に目途	生分解性複合フィルムに対応できる全システム（接着剤、トップコート剤等）がほぼ完成

（出所）各社資料などをもとに政策銀作成

²⁰ 実際、生分解性プラスチック研究会のポジティブリスト基準で、全体重量の1%未満であれば非生分解性の材料を使用してもよいことになっている。

²¹ 無機顔料だけでは色数や鮮明性に欠ける面があったため、紺青を使用したのが大きなポイントである。これによって、ブルーやグリーンなどの着色が可能になり、デザイン性の幅が広がった。

4. 生分解性プラスチック市場の現状と予測

では、生分解性プラスチック市場はどの程度まで拡大するだろうか。生分解性プラスチックは素材革命の一つと位置付けられるが、元々、環境負荷軽減を目的に開発が進められてきたものであり、全く新しい製品（最終財）を生み出すものではない。したがって、当面は現状の国内プラスチック 1,500 万トン市場をどれだけ代替するかという議論になる。現状のプラスチック加工製品で代替できる分野としては、フィルム、シート、日用品・雑貨、発泡製品などが挙げられ、これだけでも全プラスチック市場の 4 割強を占める。さらに機械器具部品や容器までも含めると、理論的には半分以上が潜在的市場となりうる（もちろんこれら全てが置き換わるわけではないという点には留意されたい）。以下では、生分解性プラスチック研究会の予測数値に基づいて、今後のシナリオを考えてみる（図表 2 - 14）。

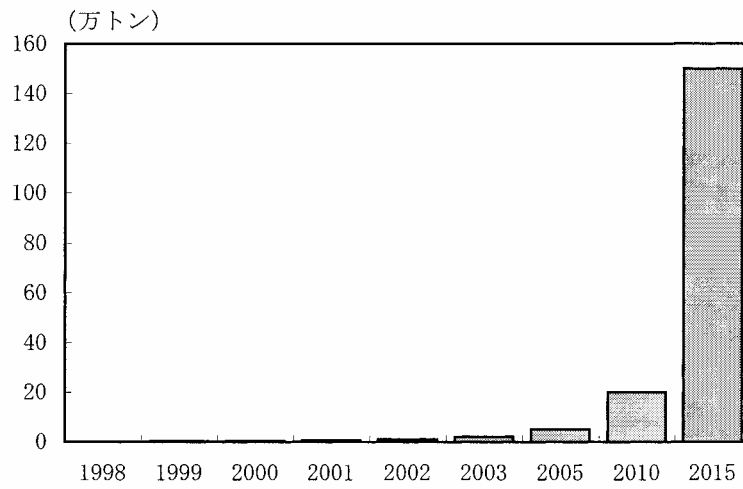
生分解性プラスチックの国内市場は 2002 年では 1 万トン程度²²といわれており、農業用フィルム、袋類、緩衝材などの用途が大半を占めている。これら従来用途の拡大に加え、前述のように食品包装材の全面解禁が実現されれば、2005 年には 5 万トン程度まで拡大するとみられる。また、耐久性や耐熱性などの技術進歩がさらに進み、価格も 200 円/kg 程度まで低下してくれば、機械器具や自動車部品をはじめとした新規用途が大きく拡大し、2010 年には 20 万トンにまで拡大する公算が大きい。さらに、新規用途の本格展開やプロジェクト成功に伴うインフラ整備などをうけ、消費者の認知度が向上していけば、市場は急速に拡大し、2015 年には全プラスチック消費量のうちの 10% 程度である 150 万トンにまで拡大する可能性もある。

なお、世界ベースの生産能力は、2005 年の段階で 50 万トンを突破するとの予測がある（図表 2 - 15）。さらに、現在最大手メーカーのカーギル・ダウが 2010 年を目途に自社設備を 2 基新設するとともに、他社へのライセンス展開を世界的に進め、2015 年には供給能力を全世界ベースで 450 万トンまで拡大する旨を表明している。同社は、原料に関しても、現状は可食性資源であるトウモロコシを使用しているが、これに代わるものとして、現在は廃棄されているトウモロコシの茎や葉、稲わら、廃材などの非可食性資源を有効活用する予定である。

また、三井化学（株）、三菱化学（株）、トヨタ自動車（株）を始め、優れた技術力を有するわが国メーカーも、これに迫る勢いで生産能力を拡大するとみられることから、今後の供給能力は加速度的に拡大する公算が大きい。

²² IBAW によると、欧州の市場は 2002 年で 3.0～3.5 万トン程度である。

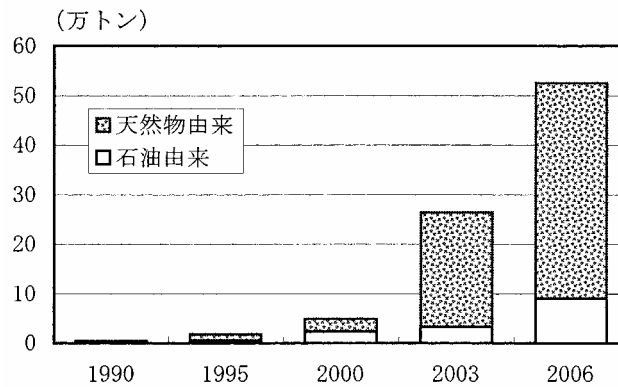
図表 2-14 生分解性プラスチック国内市場規模推移



(注) 2015年の国内全プラスチック市場を1,500万トンとし、そのうちの10%を生分解性プラスチック市場とした。

(出所) 生分解性プラスチック研究会

図表 2-15 全世界ベースの供給能力



(出所) IBAW

第3章 海外プロジェクト動向

生分解性包装材は2000年のシドニーオリンピック会場でもテスト使用され、使用後はコンポスト化された。生分解性プラスチックのような新規素材は、実世界にすぐに投入されるのではなく、徹底的な管理ができる環境において使用されテストされることで、信頼性を高めていくことが重要である。そこで、本章では、2001年5月から2002年12月にかけてドイツのカッセル市で実験的に行われたプロジェクトの内容・結果を概観してみたい。

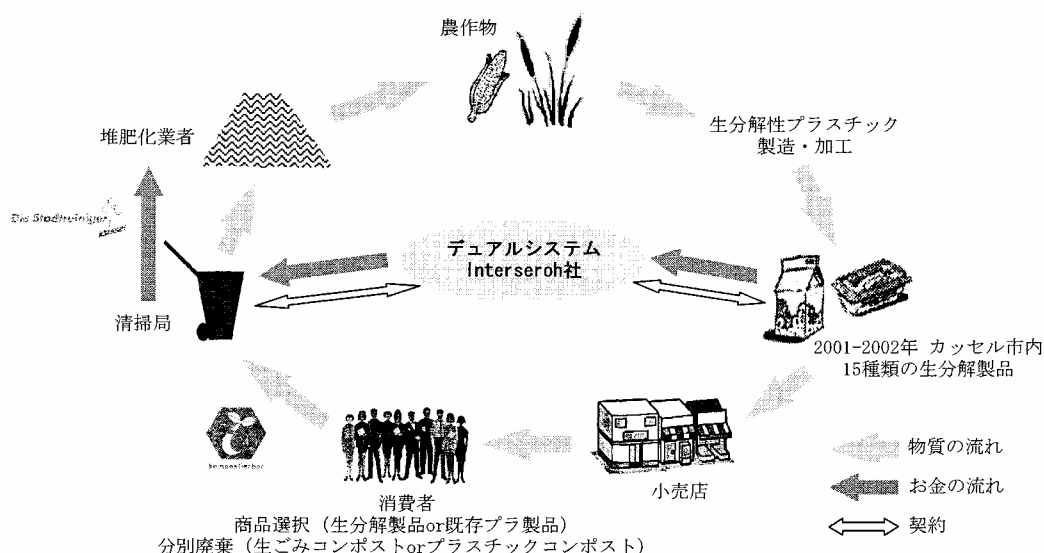
1. ドイツ・カッセルプロジェクトとは？

カッセルプロジェクトは、生分解性素材製品の製造、販売、購入、回収、コンポスト化（堆肥化）肥料利用というサイクルを社会生活上にて実際に行うという試みであった（図表3-1）。

ドイツ諸都市の中でカッセル市がモデル地区として選ばれた理由としては、人口統計学的な構造がドイツの平均的姿を表していること、多種多様な小売業者があること、食品廃棄物の排出量が多くコンポスト化が広く実施されていること、優れたメディアをもち革新的なことに意欲的な市であることなどが挙げられる。

市の人口はおよそ20万人で、当プロジェクトでは小売店舗80店にて、10を越える企業から生分解性素材製の食品容器包装資材やショッピングバッグ、各種包装材（果物・ビスケット・パスタ・乳製品、花やおむつなど）が15製品²³提供された。このプロジェクトには日本からも、東セロ（株）が唯一参加し、無延伸フィルム『パルシール』でラミネートした紙トレーが市内のカフェテリアでワンウェイ食器として使用された。

図表3-1 カッセルプロジェクトの仕組み



(出所) IBAW “Modellprojekt Kassel”

²³ 製品はドイツの認証機関である DIN CERTCO によって認証されることが必要である。

2. ドイツ固有の事情

ドイツでは91年7月に発効した包装材令以降、包装材の回収・再資源化を製造業者、流通業者の義務とし、これを自治体の処理体系から分離した。原則として企業は個別に回収と再資源化の義務を負うこととなった。ただし、販売用包装材は、排出源が分散しており製品毎に分別することが著しく困難であることから、デュアルシステムという共同の収集・再資源化システムが成立した。個別企業は、非営利企業であるDSD社へのライセンス料に支払うことで、分別排出された包装材を回収して再資源化する義務から解放されることになった。すなわち、ドイツでは包装材などのリサイクルコストが汎用プラスチック製品価格に転嫁されていることから、生分解性プラスチックと汎用プラスチック包装材の価格差が小さいとみられ、生分解性プラスチックが促進される土壌が元からあったといえる。

3. カッセルプロジェクトの結果

ポイントは、消費者の評判はどうであったか、廃棄物処理システムは機能したか、コンポスト化はうまくいったかといった点であった(図表3-2)。

図表3-2 カッセルプロジェクトの概要と結果

概 要	理念	生分解包装材料の完全再資源化モデル事業
	場所	ドイツ・カッセル市
	期間	2001/5~2002/12
	人口	20万人(10万世帯)
	資金	250万ユーロ (うち半分は政府補助)
	樹脂メーカー	Cargill-Dow、BASF、Eastman Chemicals Novamont、Naturaなど
	商品実例	加工食品・果物・野菜・肉、ケーキ等の包装資材 ショッピングバッグ、コンポストバッグ、食器具類
	その他	日本企業では東セロ(株)が唯一参加 (「パルシール」ラミネート紙トレイ)
結 果	流通量	期間中で31トンと比較的少なかった →ドイツ全体で換算すると年3万トン程度
	消費者	評判は上々であった →消費者の8割が品質に満足であると答えた
	ゴミ管理	家庭での分別率は高かった、ゴミ量に大きな変化はなかった →最大で重量比0.5%の生分解性製品が生ゴミ容器に投入された
	コンポスト利用	コンポストの質に問題はなかった →ヘクタール当たりの農作物収穫量はかわらず

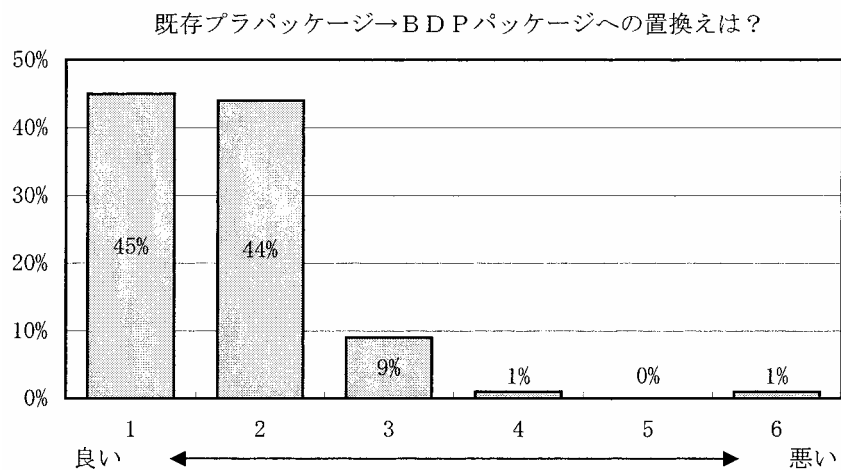
(出所) IBAW “Modellprojekt Kassel”

に関しては、消費者の理解・支持はかなり得ることができたといえる。市場調査でインタビューを受けた消費者のほぼ90%が既存プラスチック包装材を生分解性プラスチック包装材によって置き換えることを好ましいと答え(図表3-3)、8割が同包装材の品質に満足していた。また、75%は同包装材が既存品よりコスト高でも購入すると答えた(図表3-4)。消費者は、生分解性プラスチックがコンポスト化可能であることに加えて、そのほとんどが再生可能資源

からつくられることを正しく理解していた。さらに、消費者は、これらの素材を使用することによって、化石資源を節約し炭酸ガスの排出量を減少させて地球温暖化を抑制するというプラスの効果を認識していた。

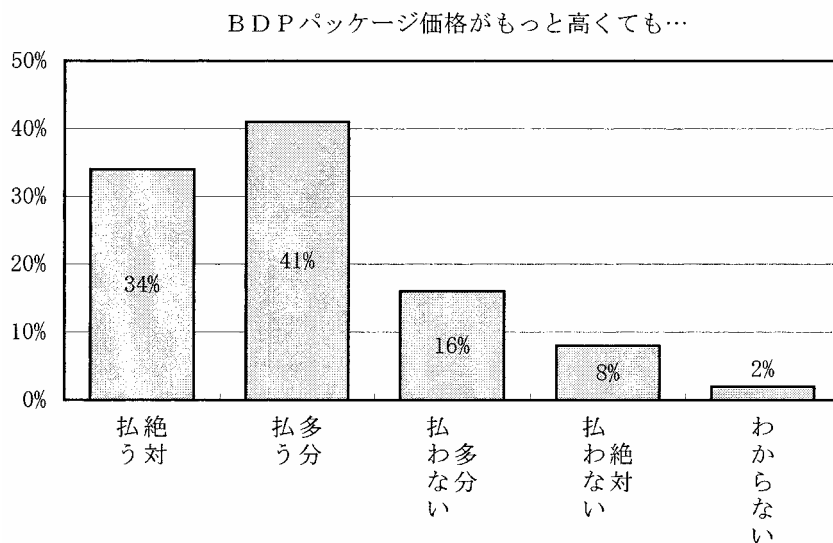
こうした生分解性素材に関するカッセル市民の意識の高さは、環境に対する関心の高いドイツ国民性の表れであるだけでなく、カッセルプロジェクトの遂行にあたって、市が生分解性素材について活発に広報・宣伝活動を行ってきた結果でもあり、こうした土壌づくりが環境対策の推進を一層容易にしたといえるであろう。

図表 3-3 消費者アンケート①



(注) BDPとは生分解性プラスチック (Biodegradable Polymers) のこと。
 (出所) IBAW “Modellprojekt Kassel”

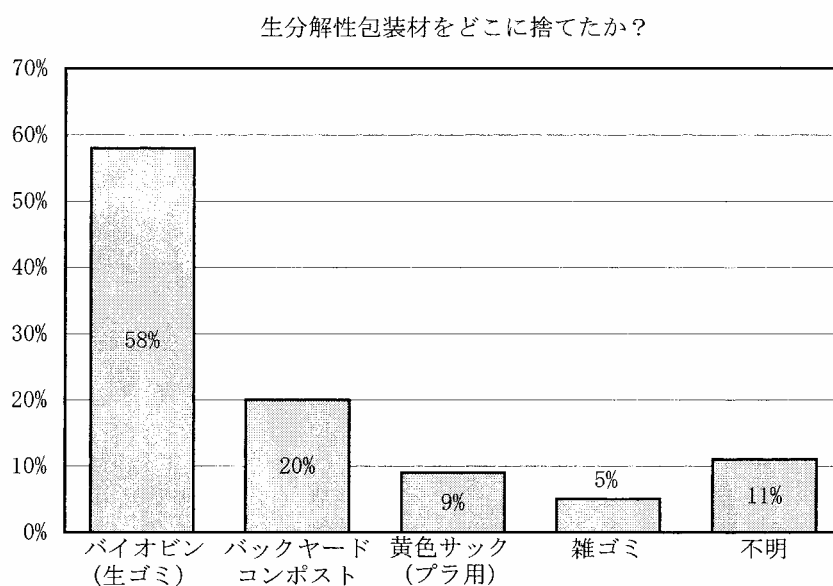
図表 3-4 消費者アンケート②



(注) BDPとは生分解性プラスチック (Biodegradable Polymers) のこと。
 (出所) IBAW “Modellprojekt Kassel”

に関しては、廃棄物処理システム²⁴もうまく機能したといえる（図表3 - 5）。ドイツでは家庭用生ゴミはバイオビン（生ゴミ専用のゴミ箱）に分別廃棄・回収されるが、今回のプロジェクト期間を通して市民の多くは、生分解性製品をバイオビンに分別排出していることが確認された（発生ゴミ量はプロジェクト実施前と大きな変化は無かった）。なお、最大で重量比0.5%の生分解性製品がバイオビンに投入されていた。

図表3 - 5 生分解性包装材の廃棄



（出所）IBAW “Modellprojekt Kassel”

に関しては、廃棄された生分解性包装材がコンポスト化工場で処理される際にも、コンポスト化過程に不都合を及ぼすことは無かったようである（ポリ乳酸と他の石油系生分解性プラスチックなど違う種類のものが混ざっても、コンポスト化過程で大きな問題は生じなかった）。得られた肥料も高品位の基準を満たしており、生分解性プラスチックが混入した肥料で育てた農産物の収穫量は既存肥料のものと遜色なく、安全性にも問題ないことがわかった（図表3 - 6）。

実験期間中のカッセル市における生分解性製品の使用量は31トンと小規模であったが、消費者の認知を深めるという点でプロジェクトの果たした意義は大きいと思われる。

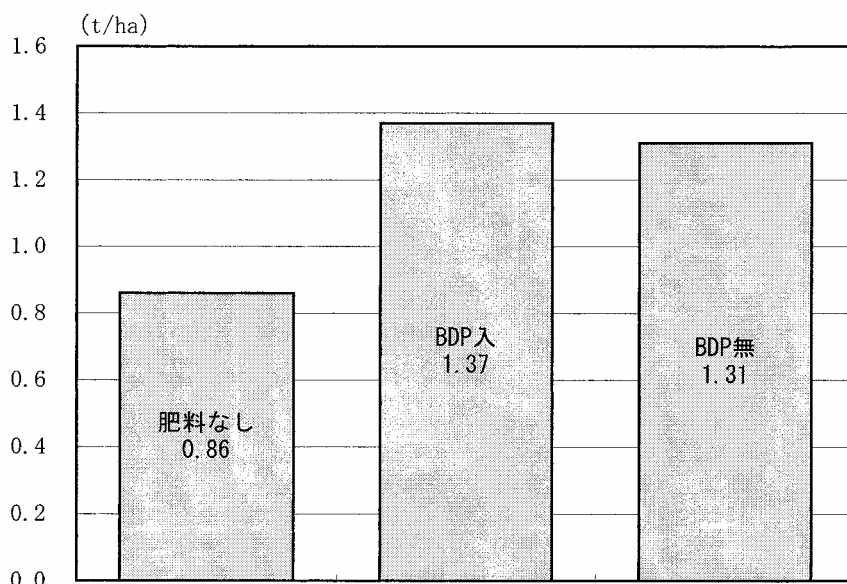
なお、前述のとおり、生分解性製品は、使用後コンポスト化が可能である、再生可能原料から製造される、という二つのメリットがある。に関してはカッセルにはコンポストインフラが備わっていたが、他地域ではまずこれを整備する必要がある。一方、に関してはインフラ整備などが不要であり、消費者へのアピール効果も大きい。そのためドイツでは、を前面に押し出し、はサブ的に述べるという「ワンプラス戦略」で消費者にアピールする方針であ

²⁴ カッセルプロジェクトにおいては廃棄物処理業者の INTERSEROH 社を中心にデュアルシステムが構築された。

る。

カッセルプロジェクトの成果をわが国にあてはめて考えてみると、コンポスト化によるリサイクルシステムの構築には、コンポストの安定的需要家の開拓（わが国では肥料の品質に対する農家の評価は厳しく、コンポストの十二分な品質検査が必要であろう） 栄養過多になっているともいわれるわが国土壌のバランス確保問題、などの課題も多く、「コンポスト化」をもって生分解性製品の普及を図っていくには自ずと限界があろう。むしろ、再生可能資源から製造され、埋立てても分解されたり、焼却してもカーボンニュートラルであるという点で温暖化対策としての側面から普及が期待されるのではなかろうか。

図表 3 - 6 農産物の収穫量



(注) BDPとは生分解性プラスチック (Biodegradable Polymers) のこと。

(出所) IBAW “Modellprojekt Kassel”

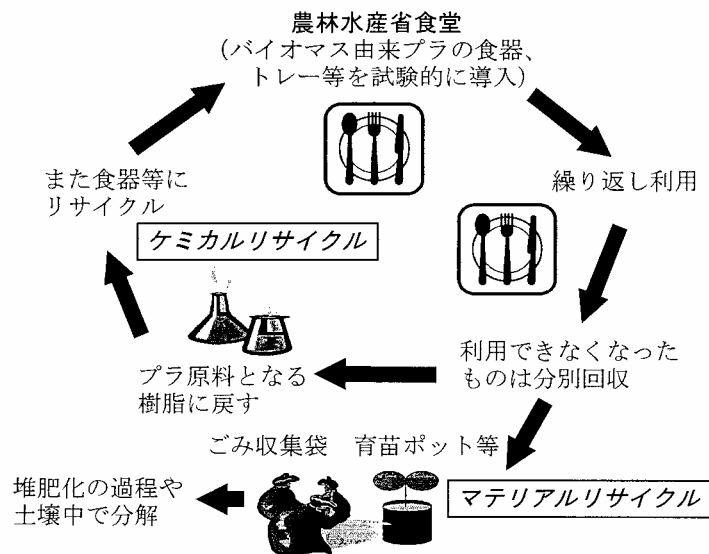
第4章 国内プロジェクト動向

前章でみたように、カッセルプロジェクトは市民を巻き込んだ壮大なプロジェクトであったが、生分解性素材製品の使用後処理はコンポスト化のみであった。逆に、日本国内の生分解性プラスチック関連のプロジェクトは使用後処理方法などの内容がバラエティに富んでおり、この実証結果は日本国内のみならず世界的にも貴重な情報を提供する可能性が大きい。

1. 食品容器への使用実験

農林水産省食堂では生分解性食器が実験的に導入される予定である（図表4-1）。茶碗、皿などの容器、トレーなどのプラスチック製品を生分解性プラスチック製品に転換、これを繰り返し利用し、利用できなくなったものを分別回収し、食器やゴミ収集袋などにリサイクルするという実験である。そして、食堂の利用者に対し、生分解性プラスチック製品の食器などのイメージ、使い勝手についてのアンケート調査を実施するほか、このプラスチック製品の耐久性などの品質、利便性、分別回収の実現可能性、リサイクルのコスト、環境負荷低減効果などを評価する予定である。

図表4-1 農林水産省食堂でのバイオマス由来プラ食器導入実験



（出所）農林水産省

また、2005年には愛知万博で生分解性素材を利用した循環モデルの実証展示が予定されている。現在検討されているのは、会場内のレストランの食器類や運営上必要な物品、記念品などに生分解性プラスチックを使用していくことである。特に、食器類を生ゴミと一緒に回収し、堆肥化やメタン発酵させることで、生分解機能がもつ環境性と利便性の高さを社会的に広める狙いもある。メーカー側も、愛知万博を生分解性プラスチックを普及させるための好機とみており、提供していく構えである。

2. 京都モデル～生分解性プラスチック魚箱の使用・回収・エネルギー転換実験

京都市は、生分解性プラスチック魚箱の使用・回収・エネルギー転換というサイクルを通じて、資源循環システムの確立を目指す全国初の実証実験を、期間2年間を目安に実施する（図表4-2）。地球温暖化防止京都会議の開催都市であり、京都議定書に名を冠する「環境共生型都市・京都」の中央卸売市場が率先して、魚箱を生分解性プラスチックに切り替えることにより、全国各地の卸売市場を中心とした産地への普及に弾みをつけるとともに、化石資源の使用削減及び二酸化炭素の発生抑制に寄与するものである。なお、本事業は、卸売業者、仲卸業者をはじめ、生分解性プラスチックを用いた魚箱の製造メーカー、バイオガスのプラントメーカーなど、多数の民間企業の協力を得て、行うこととしており、「京都バイオシティ構想」の具体化を図る重要な事業である。

具体的には、京都市中央卸売市場第一市場において卸売業者、仲卸業者が使用している鮮魚用の発泡スチロール製魚箱（年間800万箱）のうち、活魚の詰め替え用に使う薄箱・年間約7万箱（使用量の約0.9%にあたる）を生分解性プラスチック製（カネボウ合繊（株）がPLA発泡ビーズから製造）に変更し、魚箱の実用段階における耐用性検証及び魚箱使用に係るモニター調査を行う。魚箱として使用した後は、バイオガス化技術実証研究プラント²⁵において野菜くずなどと混合して発酵させ、メタンガスを取り出し、電力化・熱交換化を図る。

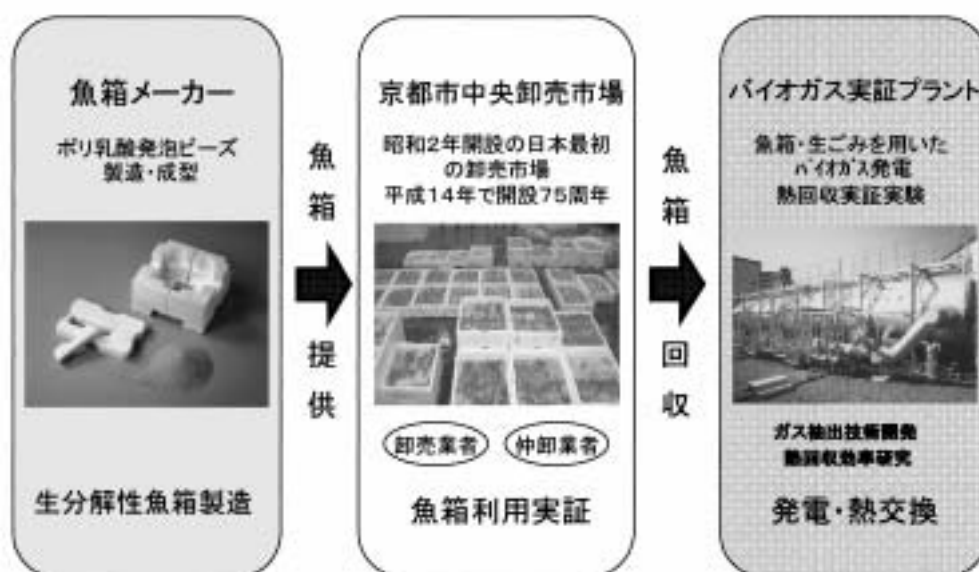
実験を準備する中で問題も生じてきた。まず従来魚箱との識別の問題が挙げられる。当初は生分解性プラスチック魚箱の色を他魚箱と変えることで対応しようとしたが、見映えの問題²⁶などもありこの案は不採用となった。代わりに、コストはかかるが魚箱の横側にマークを印刷することにした。次に、分別・回収に伴う市場関係者間の役割調整や受入プラント側との連絡体系の構築もあった。何も無いところからのスタートだったので、回収ルート確定、破砕方法など調整は困難を極めた。

このように京都市は、将来の生分解性魚箱の正式導入に向けて、様々な問題点を洗い出し、解決策を考えるなど、当実験を一步一步着実に進めている。当プロジェクトによって、生分解性魚箱の使用・廃棄にかかるコストや使い勝手などが明らかになれば、全国各地の卸売市場への普及に繋がる可能性もある。また、使用後処理が、カッセルプロジェクトのようなコンポスト化ではなく、バイオガス化を通じたエネルギー回収という点も新たな試みであり、今後の動向が注目されるプロジェクトである。

²⁵ 京都市が国や民間企業と連携して99年夏から生ゴミ利用によるバイオガス化実証研究を行っていたが、2002年12月末に実証実験を終えて操業停止していた。処理能力は3トン/日、発電出力は450kWhである。

²⁶ 魚市場の人によると白色が一番魚の新鮮さを引きだすとのことである。

図表4-2 京都モデル（生分解性プラスチック魚箱実証実験）概要



(出所) 京都市

3. 北九州エコタウン～廃棄物からの生分解性プラスチック原料製造

食品廃棄物や木質廃棄物の利用で注目されるのが、(株)荏原製作所など多くの企業が参加している北九州のバイオマスリサイクル施設である。廃棄物系バイオマスの有効活用という点では、現段階では利用の容易さや技術の完成度などからバイオガス発電などの「バイオマスエネルギー」利用が優先しているが、より付加価値の高い「バイオマス製品」である生分解性プラスチック原料製造は、今後さらなる拡大が期待できる手法である。

このバイオマスリサイクル施設は、二つのパイロットプラントから構成されている。一つが既に稼働を開始した食品廃棄物を原料とした生ゴミ精製乳酸化実証事業（農林水産省補助事業）であり、もう一つは2003年度中に稼働予定の木質系資源を原料とする木質資源循環利用技術開発事業（林野庁補助事業）である（図表4-3、4-4）。

生ゴミ精製乳酸化実証事業の仕組みは、食品廃棄物を破砕し、酵素を加えて糖化させる。

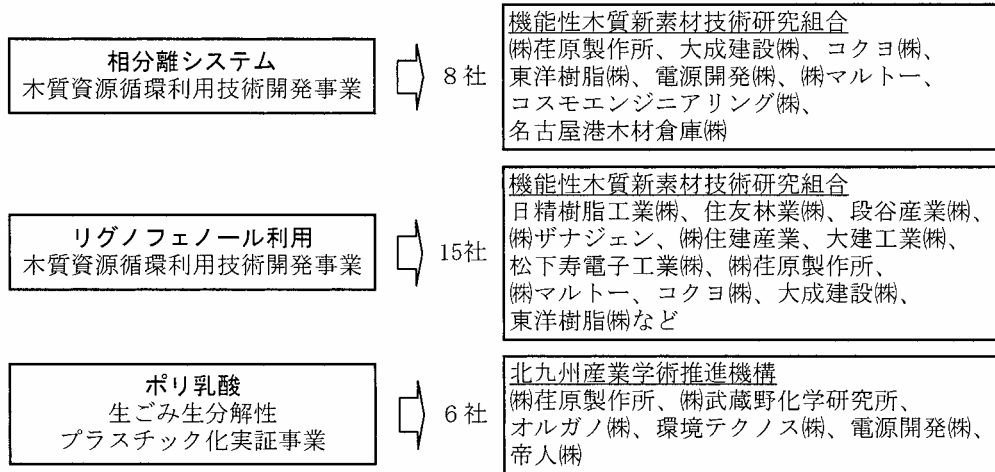
これを固液分離し、残さ（固体）は肥料²⁷とし、糖化液には乳酸菌を入れて発酵させる。発酵液は、濃縮、エステル化、蒸留、加水分解などの工程を経て精製乳酸²⁸を得る、というものである。大部分は既成の技術であるが、初期乳酸（収集段階で腐敗により生成する乳酸）を除去し、純度の高い乳酸を製造する点が特徴である。この生ゴミ乳酸化に関わる技術は九州工業大学の白井教授の特許だが、(株)荏原製作所が独占実施権を取得している。なお、施設建設費約7億円であったが、そのうち3.35億円を国庫補助によってまかかった。

²⁷ 通常、調理後の生ゴミは塩分や油分を多く含んでいるが、この技術を使えば残さに塩分、油分が残らないので、良質な肥料が得られる。

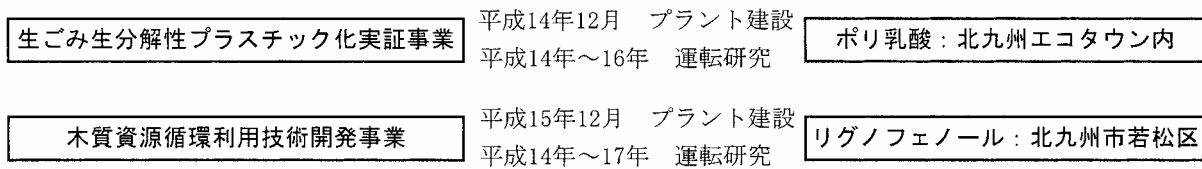
²⁸ 実証現場での最終製品は乳酸ブチルであり、ポリ乳酸への重合工程以降は外部委託している。

図表 4-3 現在のプロジェクト状況

■共同研究



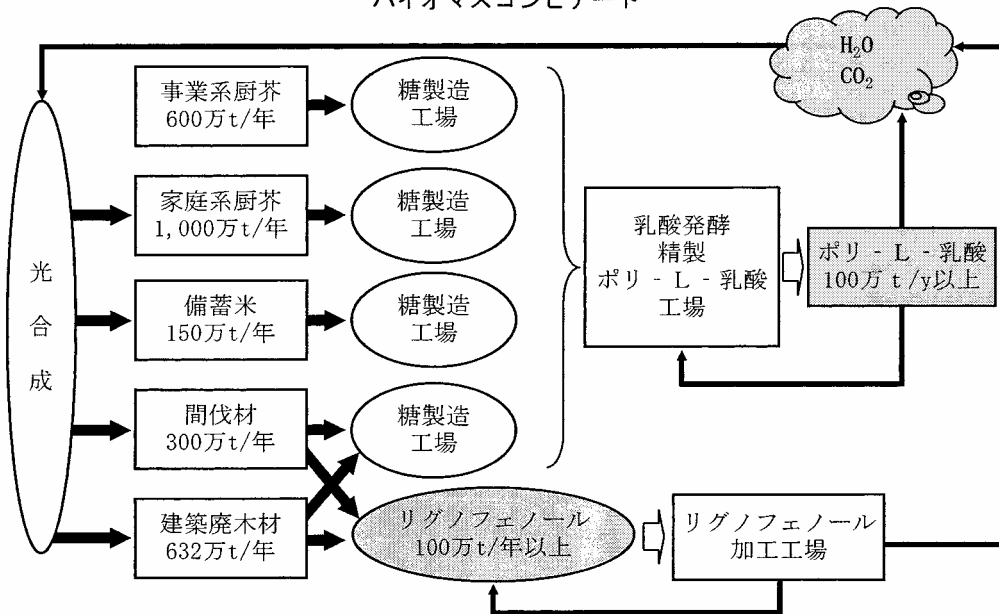
■進行状況



(出所) (株)荏原製作所

図表 4-4 北九州エコタウンの取組み

バイオマスを利用した代替プラスチック・生物系接着剤の製造
バイオマスコンビナート

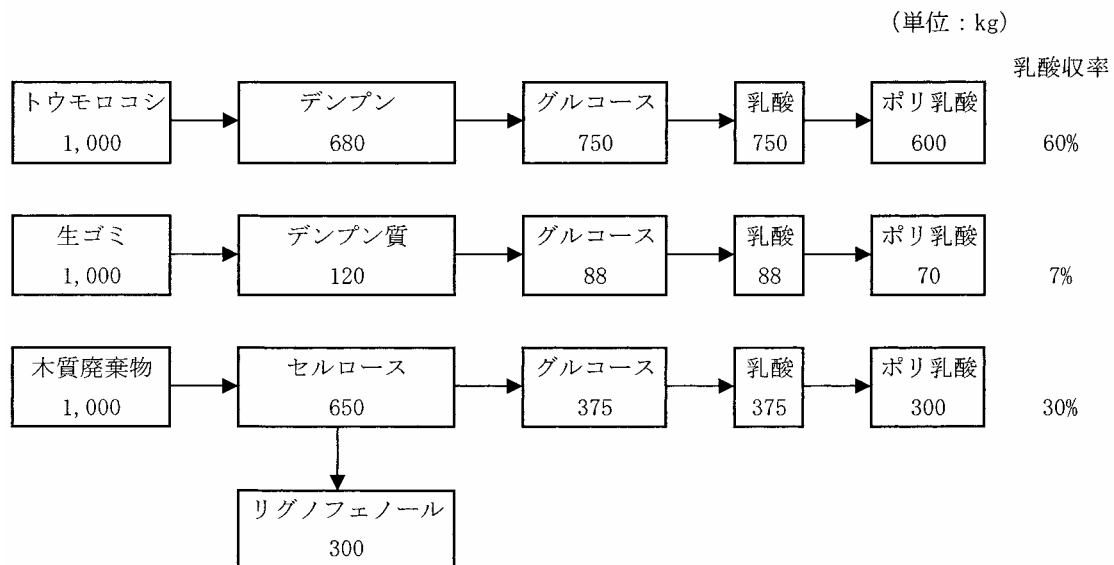


(出所) (株)荏原製作所

一方、木質資源循環利用技術開発事業とは、間伐材や建設廃材などの木質系廃棄物から自然に近い形でリグニンを分離するプロセスであり、分離されたリグニンに市場性があるうえ、分離後に残る7割を占めるセルロース分を糖化させて、生分解性プラスチックの原料に用いるというものである。これは破碎・脱脂した木粉にクレゾールを添加するという工程を設けることで、加水分解工程でリグニンが自然に近い形できれいに分離できる（相分離）点に独自性がある。なお、リグニンは洗浄後にリグノフェノールとして品質を揃え、ポリマー状にして古紙パルプなどへ染み込ませたウッドプラスチックなどに活用する。この相分離システム技術は、機能性木質新素材技術研究組合に参加している8社が担当する（図表4-3）。

食品廃棄物と木質廃棄物の両方を使用するのは、前者だけでは十分な糖分の確保が難しいためである。食品産業からの廃棄物に含まれるデンプン類は平均12~15%程度で、これだけを原料にすると100トンの廃棄物から得られるポリ乳酸は僅か6トンであり、事業性の一つの目安である3万トンのポリ乳酸を生産しようとする、50万トン/年の廃棄物が必要になってしまう。これだけの食品廃棄物を集めるのは事実上不可能であり、別途糖量の確保が必要になる。そこで目をつけたのがより収率の良い木質廃棄物ということである（図表4-5）。また、これ以外にも、古紙や備蓄米なども原料として考えられる（図表4-4）。

図表4-5 各種バイオマスからのポリ乳酸までの収量



(出所) (株)荏原製作所

今後わが国において生分解性プラスチックを普及させるためには、製造者側のコストダウンだけに頼るだけでなく、ドイツのように地域住民を巻き込んで環境対応評価面などから需要を喚起することが必要である。仮に、カッセルプロジェクトと同様の社会実験をわが国で実施するならば、上記の実証設備が集中している北九州地区は最適な候補地といえよう（ただし、その場合同地区に乳酸重合の実証設備も建設することが必要となる）。

そして、本実証実験の最大のポイントといっても過言ではないのが、生ゴミなどの廃棄物が

輸送しやすい糖化液²⁹になることである。この点が技術的・コスト的にクリアできれば、近い将来、全国各地に食品廃棄物（あるいは木質廃棄物）糖化施設をサテライト配置して、排出した地域において生ゴミから糖化液を生産し、これをタンクローリーや海上輸送して、スケールメリットを生かした発酵・精製・重合プラントに集めて、ポリ乳酸などを集中生産するというシステムも実現可能となる。その場合は、糖化・発酵・精製・重合の各工程をどの部分で切り離し、繋げるかを検討する必要がある。

また、将来的に一定程度の生分解性プラスチック（ポリ乳酸）の社会ストックが整ってきた場合には、使用済みのポリ乳酸プラスチックを分別収集し、それを再びポリ乳酸樹脂へ戻す（ケミカルリサイクル）という体制を実現することで、バイオマスから精製乳酸を製造するまでにかかる設備、用益費が大幅に削減できるし、また生分解性プラスチックの使用後処理方法の解決にも繋がってくるだろう。

このように本プロジェクトには、循環型社会の実現に向けて切り札になりそうなポイントが多くあるので、今後の動向が注目される。

図表4-6 カッセルプロジェクトとわが国プロジェクトの比較

	カッセルプロジェクト	愛知万博	京都モデル	北九州エコタウン
製品	包装材、 バッグ類、食器類	食器類、記念品	魚箱	-
製造	10以上の樹脂メーカー	未定	カネボウ合繊	-
使用	地域住民	来場者	京都市中央卸売市場の 卸売業者、仲卸業者	-
再利用	コンポスト化	一般ゴミ→コンポスト化 事業ゴミ→バイオガス化	バイオガス化	食品、木質廃棄物の 精製乳酸化
備考	プロジェクト終了	2005年開催	全国各地の卸売市場への 生分解性魚箱の普及に繋 がる可能性も	カッセル同様の地域住民 を巻き込んだ社会実験も 視野に

（出所）各種資料をもとに政策銀作成

²⁹ 糖の利用という点が最も重要であり、出口は必ずしもポリ乳酸製造である必要はない。例えば、PBSの原料であるコハク酸製造なども選択肢の一つである。

第5章 今後の普及に向けての課題

これまでは生分解性素材の可能性についてやや楽観的な見方を示してきたが、今後の普及に向けてはまだ課題は山積している。本章では、循環型社会実現に向けてのビジョン明確化、顧客ニーズへの対応、制度面などの整備、社会の認知度向上などに分けて、今後どのような取り組みが必要かを簡単に整理してみたい。

1. 循環型社会実現に向けてのビジョン明確化

LCA（ライフサイクルアセスメント）評価の発展

生分解性素材の環境負荷について、原材料採取、製品の製造、輸送、廃棄、リサイクルに至るまで、LCA 全体で捉えて評価する企業が増加している。さらなる発展に向けて、LCA 研究の結果や前提条件などの情報を公表し、精度を高めていくことが必要である。

特に化石エネルギー使用量や炭酸ガス発生量削減については、生分解性プラスチックで最もアピールできる効果であることから、様々な原料選択や、製品用途、処理・リサイクル方法などを想定し、効果を定量的に把握することが必要である。今般、経済産業省が1998年から5年計画で推進してきた「LCA プロジェクト」の成果として、世界最大の「LCA データベース」が構築され、開放されることとなった。このDBを有効利用し、LCA 評価を普及・発展させていくことが重要である。

使用後処理体制の多様化

第4章でもみたように、生分解性素材の使用後処理に関しては食品廃棄物などと一体化して考える必要があり、焼却、コンポスト化、バイオガス化、精製乳酸製造など様々な選択肢がある。どの方法も理論的には可能だが、現状ではまだどれも決め手に欠けるため、きっちりとしたビジョンが描きにくいというのが現状である。

焼却処分した場合、他の汎用樹脂と比較して燃焼カロリーが低い（図表5-1）、持続的に生育する限りは、炭酸ガスはいったん大気中に放出されても再度バイオマスとして固定されることからカーボンニュートラルとされることなど、石油系プラスチックに比べ優れた特性を有している。ただし、水分の多い生ゴミと一緒に捨てられることになると焼却処理が難しいため、全て焼却することは効率的であるとはいえない。

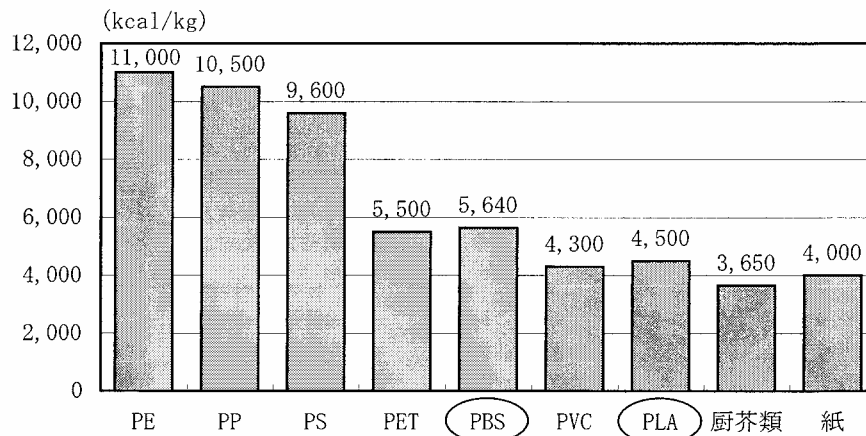
カッセルプロジェクトでは生分解性包装材はコンポスト化によって処理された。しかし、わが国では堆肥自体が供給過剰になっていること、一般ゴミを原料とする堆肥の品質面に対するユーザーの不安が大きいこと、臭気対策が必要であることなど課題が非常に多く、コンポスト化は普及していないのが実状である。しかし、コンポストバックが利用されている自治体は北海道・東北地区を中心に増加しており、これらの地域が堆肥の品質面や経済性の問題などを解決していけば、この方法を採用する地域も増加する可能性はある。ただし、わが国では焼却設備が充実しているためか、高速堆肥化処理施設数はまだ少なく、今後は長期的な観点からイン

フラ整備が求められる。

また、京都モデルのようなバイオガス化処理によるエネルギー回収、あるいは北九州エコタウンのような生ゴミ精製乳酸製造も、食品廃棄物の新たなリサイクルルートとして注目を集めているが、あくまでもまだ実証段階であり、今後その結果が注目されるところである。

現状の日本のインフラをみる限り、現段階においてはまずは焼却処理するのが現実的であろう。その後、コンポスト化、バイオガス化、精製乳酸製造などいずれに向かうかは各地域の自主的な判断に委ねられよう。

図表 5 - 1 焼却した場合の発生熱量



(出所) 生分解性プラスチック実用化検討委員会「新プラスチック時代の幕開け」

非可食性資源（バイオマス）の有効利用～「バイオマス・ニッポン総合戦略」より

現在、生分解性素材はトウモロコシやサツマイモなど可食性資源から製造されているが、長期的にみれば現在は利用されていないバイオマスを有効的に活かす方向に向かうはずである。バイオマスの定義は「再生可能な、生物由来の有機性資源で化石資源を除いたもの」であり、下記の3つに分類できる（図表 5 - 2）。

図表 5 - 2 バイオマスの範囲

①廃棄物系資源	
林産資源	（製材工場残材、建築廃材等）
畜産資源	（家畜排泄物等）
食品資源	（加工残さ、生ゴミ、下水汚泥等）
産業資源	（パルプ廃液、動植物性残さ）
②未利用資源	
林産資源	（林地残材）
農産資源	（稲わら、もみがら、麦わら）
③資源作物	
糖質資源	（さとうきび、てんさい）
澱粉資源	（米、いも類、とうもろこし等）
森林資源	（針葉樹、広葉樹）
油脂資源	（ナタネ、大豆、落花生等）

(出所) 農林水産省

廃棄物系資源は利活用にかかる費用面などの経済性を考えた場合、逆有償、すなわち、廃棄物処理費を付加して収集されることもあるため、当該費用を利活用のためのコストとして使用でき、利活用が比較的早く進むことが予想される。

未利用資源は2010年頃にはバイオマスの収集システム技術の発達などによって、低コストでの収集が可能となることにより、その利活用が進むことが期待される。

資源作物はエネルギーや製品への変換効率が大幅に向上し、バイオマスに対して原料代を支払ったとしても化石資源に由来するエネルギーや製品価格に対抗できることが期待される。この場合、未利用の農地にエネルギー源や製品原料とすることを目的とした資源作物が栽培されることが期待される。ただし、可食性資源を工業原料として使用することには社会的理解を得るのに時間がかかることが予想されるため、普及は2020年頃となる可能性が大きい。

2. 顧客ニーズへの対応

機能面の改善

これまでみてきたように生分解性プラスチックは、機能面で改善すべき点はまだ多い。耐衝撃性、耐熱性、耐久性、柔軟性、バリア性など改善は引き続き求められる。最近では、耐熱性の問題は、わが国企業が高い技術を有するナノテクノロジーの利用などによって、急速に改善しており、今後こうした技術面での融合がますます求められる。

価格低下への取組み

これまでみてきたように生分解性プラスチックは、汎用プラスチックに比べて高価格である。第2章でも述べたとおり、安い価格での供給を実現するためには、原料面、生産技術面、設備面などでの工夫が必要である。こうしたコスト低下への取組みにより、価格が200円/kg程度にまで達すれば、相当の競争力を持つ素材になるとする見方が多い。

用途開発の継続

技術改良により用途展開は広がってきたが、市場規模は既存プラスチックに比べるとまだ狭い。裾野が広がってきつつあるユーザーサイドの意向を汲んで、さらなる用途拡大に取り組むことが重要であろう。

3. 制度面などの整備

ポリオレフィン等衛生協議会のポジティブリストへの掲載

先にも述べたように、欧米では生分解性プラスチックを食品の容器・包装に使用する場合は法規制はほぼクリアーしている。しかし、日本では厚生省告示などはパスしているものの、業界の自主基準であるポリオレフィン等衛生協議会のポジティブリストへの登録はまだ審議中の段階にある。審議が早期に決着すれば食品包装材への本格展開が進み、生分解性プラスチック市場は大きく拡大するだろう。

グリーン購入品目への記載拡大

2001年4月から施行されたグリーン購入法（国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律）では、環境配慮製品の普及を促進するため、国などの機関に計画的なグリーン購入を義務づけるとともに、地方公共団体や事業者・国民にもグリーン購入に努めることを求めるものである。毎年、閣議でグリーン購入法の基本方針と特定調達物品が決定されるが、2003年2月の改訂においては生分解性プラスチックの関係では、窓付き封筒³⁰、生ゴミ回収袋、水切りネットが条件付きながらも新規追加された。この素材を使用した製品は、環境に配慮するという趣旨に適合するものであり、来年以降もさらなる品目追加が期待される。

リサイクルとの関係明確化

ドイツでは石油系プラスチック容器包装のリサイクルコストをより高く設定しているため、製造コストの高い生分解性プラスチックが競争できる条件が整備されている。一方、わが国では生分解性プラスチックは、容器包装リサイクル法において、「プラスチック製容器包装」として石油系プラスチックと同様の再商品化義務（負担金）が課せられている。生分解性プラスチックは石油系プラスチックに比べて高価格であるものの、後処理の際の環境負荷が小さい点を評価し、再商品化の負担軽減措置導入による石油系プラスチックとの競争環境整備の可能性などについて検討する必要もあろう。

4. 社会全体の認知度向上に向けて

各種プロジェクトの推進と評価

生分解性プラスチックの市場が拡大していくためには、消費者の認知度と理解度が向上していくことが不可欠である。そのためには、「地球温暖化の防止効果がある」、「食品リサイクルの円滑化に効果的である」などということをわかりやすく、マスメディアなどを通じて情報提供していくことが効果的である。

愛知万博のように一般消費者を対象としたイベントなどで生分解性プラスチックを利用する取組みを行うとともに、日本においてもカッセルプロジェクトのような大型の地域実験をすることなどが必要であろう。

識別表示制度の普及

消費者が生分解性製品を優先的に購入し、使用後に生ゴミなどの有機性資源とともに排出することを可能にするには、識別表示制度が不可欠である。現在わが国では、生分解性プラスチック研究会が自主的取組みとして「グリーンプラ」という名称で識別マークを導入している（製品数は現在400件近くに上がっている）。消費者が一目で生分解性製品を購入・排出できるよう

³⁰ 窓フィルムについては、再生プラスチックがプラスチック重量の40%以上使用されているか、植物を原材料とするプラスチックが使用されていること、との判断基準がある。

に、この制度を定着させることが必要であろう。

また、同研究会が運営する識別表示制度と欧米における同種制度との統合化を検討しており、これが実現すれば国際的にも障壁のない生分解性プラスチック市場が形成されることとなる。

図表 5-3 グリーンプラシンボルマーク



(出所) 生分解性プラスチック研究会

図表 5-4 今後の普及に向けて

循環型社会実現 に向けての ビジョン明確化	LCA評価発展	→	化石エネルギー使用量や炭酸ガス発生量削減効果把握
	後処理体制多様化	→	コンポスト化、バイオガス化のインフラ整備
	原料転換	→	可食性資源から非可食性資源への移行
顧客ニーズへの対応	機能面改善	→	耐衝撃性、耐熱性、意匠性面向上 (ナノアロイ技術利用など)
	価格低下	→	原料面でのコスト低下、生産能力拡大
	用途拡大	→	ユーザーサイドとの協調
法制度面の整備	食品包装材解禁	→	ポリ衛協のポジティブリストへ記載
	グリーン購入品目記載	→	記載品目の一層の拡大
	リサイクルとの関係明確化	→	容器包装リサイクル法適用除外など
社会の認知度向上	プロジェクトの推進・評価	→	消費者の認知度と理解度向上
	識別表示制度の普及	→	消費者による生分解性製品の判別

(出所) 各種資料をもとに政策銀作成

おわりに

これまでみてきたとおり、生分解性素材は、日本においては用途展開などで大きな進歩がみられ、独自の道を切り開こうとしている。ようやく揺籃期を脱しつつある生分解性素材を始めとするバイオマス化学産業だが、今後は石油化学産業が育つのに要した年月の数分の一の期間で取り組むスピード感が求められる。これまでの石油化学産業の発展過程で得たノウハウなどがそのまま応用できる部分は多いため、これらをうまく使えば急速に技術革新が進む可能性は大きい。しかし、これは既存の石油化学産業の全てを代替するものではない。生分解性素材はワンウェイ用途や環境対応が求められる用途を中心に市場開拓を行い、残りは既存プラスチックのリサイクル制度を整備することによって対応するのが自然な流れであろう。

そして、グローバルな課題である資源や環境を解決するためには、ローカルな対応策の積重ねが重要である。まずは、生分解性素材に対する社会の認知度を高めることが重要であり、そのためには消費者に実際に製品を使ってもらえるようなプロジェクトを地道に積重ねていくしかない。さらに、未利用バイオマスの有効活用や収集プロセス、使用后処理として焼却・コンポスト化・バイオガス化など、いずれのインフラを整備するかは、各地域に委ねられる問題である。今後は地域毎に循環型社会構築に向けたビジョンが必要となろう。

このようにバイオ生分解性素材の将来像を描く時には、従来の石油化学産業とのすみわけやバイオマス全体の有効利用を考えることが重要であり、これらをクリアーしてはじめて持続的な循環型社会の姿を描くことができるであろう。

参考文献

- 土肥義治監修（1990）『分解性プラスチック』シーエムシー
- シーエムシー（1992）『生分解性プラスチックの実際技術』シーエムシー
- 佐伯康治（1999）『循環型社会構築のための容器包装プラスチックリサイクルの成功への課題』
プラスチック 1999年11月号
- 白石信夫他（2000）『実用化進む生分解性プラスチック - 持続・循環型社会の実現に向けて』工
業調査会
- 湯川英明編著（2001）『バイオマス - 究極の代替エネルギー』化学工業日報社
- 独立行政法人工業所有権総合情報館（2001）『技術分野別特許マップ - 生分解ポリエステル』
- 農林水産省（2002）『バイオマス・ニッポン総合戦略』
- 経済産業省（2002）『バイオテクノロジー戦略大綱』
- バイオ生分解素材の開発・普及に関する研究会（2002）『バイオ生分解素材普及に向けた政策提
言』
- 原後雄太、泊みゆき（2002）『バイオマス産業社会 - 「生物資源（バイオマス）」利用の基礎知
識』築地書館
- 川島信之（2002）『バイオマスを原料とする生物化学産業の展開 - バイオベースポリマーとして
のポリ乳酸』化学経済 2002年8月号
- 竹ヶ原啓介（2002）『食品リサイクルとバイオマス』日本政策投資銀行「調査」48号
- 饗場崇夫（2003）『企業の温暖化対策推進に向けて - 先進的温暖化対策への取り組み事例から』
日本政策投資銀行「調査」53号
- 小林幹昌（2003）『素材型産業を核とした資源循環型クラスターの展開 - リサイクルビジネスの
高度化に向けて』日本政策投資銀行「調査」55号
- 宇沢弘文・薄井充裕・前田正尚編（2003）『都市のルネッサンスを求めて - 社会的共通資本とし
ての都市1 - 』東京大学出版会
- 大島一史（2003）『生分解性プラスチックの最新動向』JETI2003年6月号
- 日報アイ・ピー、生分解性プラスチック研究会（2003）『生分解性プラスチックプラスチックを
めぐる最近の動向 - 2大国家戦略とモデルプロジェクト』
- Hanswerner Mackwitz, Wolfgang Stadlbauer(2001)“ Vermeidung und Verminderung des Müllaufkommens
durch Schliessung des Kohlenstoffkreislaufs ”
- Harald Kaeb(2003)“ Biologisch Abbaubare Werkstoffe - Marktentwicklung in Deutschland und Europa ”
- IBAW (2003)“ Modellprojekt Kassel ”
- その他 関係各機関、企業のホームページ、環境報告書など

『調査』既刊目録

— 最近刊の索引 —

- 56 (2003. 9) 資源循環型社会で注目される生分解性プラスチック
- 55 (2003. 7) 素材型産業を核とした資源循環クラスターの展開
- 54 (2003. 6) ブロードバンド時代のデジタルコンテンツ・ビジネス
- 53 (2003. 5) 企業の温暖化対策促進に向けて
- 52 (2003. 4) 地方民鉄の現状
- 51 (2003. 3) 設備投資計画調査報告(2003年2月)
- 50 (2003. 1) 設備投資計画調査統計集(1990年度以降)
- 49 (2002.12) 最近の経済動向
- 48 (2002.12) 食品リサイクルとバイオマス
- 47 (2002.11) 中国の経済発展と外資系企業の役割
- 46 (2002.10) 将来不安と世代別消費行動
- 45 (2002.10) 設備投資計画調査報告(2002年8月)
- 44 (2002. 8) 日本企業の生産性と技術進歩
- 43 (2002. 8) 設備投資・雇用変動のミクロ的構造
- 42 (2002. 8) わが国電気機械産業の課題と展望
- 41 (2002. 8) 邦銀の投融资動向と経済への影響
- 40 (2002. 7) 社会的責任投資(SRI)の動向
- 39 (2002. 7) 少子高齢化時代の若年層の人材育成
- 38 (2002. 7) 最近の経済動向
- 37 (2002. 3) 設備投資計画調査報告(2002年2月)
- 36 (2002. 3) 使用済み自動車リサイクルを巡る展望と課題
- 35 (2002. 3) 近年の企業金融の動向について
- 34 (2002. 3) 労働分配率と賃金・雇用調整
- 33 (2002. 2) 都市再生と資源リサイクル
- 32 (2002. 1) 環境情報行政とITの活用
- 31 (2001.12) 最近の経済動向
- 30 (2001.12) ROAの長期低下傾向とそのミクロ的構造
- 29 (2001.11) 変貌するわが国貿易構造とその影響について
- 28 (2001.10) 設備投資計画調査報告(2001年8月)
- 27 (2001. 7) 最近の産業動向

— 分野別の索引 —

〔設備投資アンケート〕

◇設備投資計画調査

- 2002・03年度 (2003年2月) 51 (2003. 3)
- 設備投資計画調査統計集(1990年度以降) 50 (2003. 1)
- 2001・02・03年度 (2002年8月) 45 (2002.10)
- 2001・02年度 (2002年2月) 37 (2002. 3)
- 2000・01・02年度 (2001年8月) 28 (2001.10)
- 2000・01年度 (2001年2月) 21 (2001. 3)
- 1999・2000・01年度 (2000年8月) 15 (2000.10)
- 1999・2000年度 (2000年2月) 7 (2000. 3)
- 1998・99・2000年度 (1999年8月) 2 (1999.10)
- 1998・99年度 (1999年2月) 254 (1999. 3)
- 1997・98・99年度 (1998年8月) 251 (1998.10)

〔経済・経営〕

◇最近の経済動向

- 日本経済の持続可能性に向けた中期シナリオの検討 49 (2002.12)
- グローバル化と日本経済 38 (2002. 7)
- デフレ下の日本経済と変化への兆し 31 (2001.12)
- デフレ下の日本経済 26 (2001. 7)
- 今次景気回復の弱さとその背景 19 (2001. 3)
- ITから見た日本経済 12 (2000. 8)
- 90年代を振り返って 4 (2000. 1)
- 設備投資と資本ストックを中心に 258 (1999. 7)
- 長引くバランスシート調整 252 (1999. 1)
- 今回の景気調整局面の特徴 245 (1998. 8)

* 当行の Web ページ (<http://www.dbj.go.jp/report/>) では、『調査』発刊開始(1973年)以来の全目録を掲載しており、2001年4月発行の第26号以降については全文をご覧頂くことができます。
 * 『調査』入手のご希望については、調査部総務班 (Tel: 03-3244-1840 email: report@dbj.go.jp) までお問い合わせ下さい。

◇日本経済一般

- ・日本企業の生産性と技術進歩 44 (2002. 8)
- ・為替変動と産出・投入構造の変化 242 (1998. 6)

◇金融・財政

- ・邦銀の投融资動向と経済への影響 41 (2002. 8)
- ・社会的責任投資 (SRI) の動向 40 (2002. 7)
—新たな局面を迎える企業の社会的責任—
- ・近年の企業金融の動向について 35 (2002. 3)
—資金過不足と返済負担—

◇設備投資・企業経営

- ・設備投資・雇用変動のミクロ的構造 43 (2002. 8)
- ・ROA の長期低下傾向とそのミクロ的構造 30 (2001.12)
—企業間格差と経営戦略—
- ・日本企業の設備投資行動を振り返る 17 (2000.11)
—個別企業データにみる1980年代以降の特徴と変化—
- ・90年代の設備投資低迷の要因について 262 (1999. 9)
—期待の低下や債務負担など中長期的構造要因を中心に—

◇消費・貯蓄・雇用

- ・将来不安と世代別消費行動 46 (2002.10)
- ・労働分配率と賃金・雇用調整 34 (2002. 3)
- ・家計の資産運用の安全志向について 16 (2000.10)
- ・企業の雇用創出と雇用喪失 6 (2000. 3)
—企業データに基づく実証分析—
- ・消費の不安定化とバブル崩壊後の消費環境 1 (1999.10)
- ・人口・世帯構造変化が消費・貯蓄に与える影響 248 (1998. 8)
- ・資産価格の変動が家計・企業行動に与える影響の日米比較 244 (1998. 7)
- ・近年における失業構造の特徴とその背景 240 (1998. 4)
—労働力フローの分析を中心に—

◇貿易・直接投資

- ・変貌するわが国貿易構造とその影響について 29 (2001.11)
—情報技術関連(IT)財貿易を中心に—

◇海外経済

- ・中国の経済発展と外資系企業の役割 47 (2002.11)
- ・米国の景気拡大と貯蓄投資バランス 8 (2000. 4)
- ・米国経済の変貌 255 (1999. 5)
—設備投資を中心に—
- ・アジアの経済危機と日本経済 253 (1999. 3)
—貿易への影響を中心に—

〔産業・技術・環境〕

◇最近の産業動向

- ・主要産業の生産は、素材、資本財産業を中心に減少へ 27 (2001. 7)
- ・内需の回復続き、多くの業種で生産増加 13 (2000. 8)
- ・輸出はアジア向けで堅調、内需は回復に力強さがみられず 5 (2000. 1)
- ・全般的に緩やかな回復の兆し 260 (1999. 8)

◇技術開発・新規事業

- ・製造業における技能伝承問題に関する現状と課題 261 (1999. 9)
- ・最近のわが国企業の研究開発動向 247 (1998. 8)
—技術融合—
- ・わが国企業の新事業展開の課題 243 (1998. 7)
—技術資産の活用による経済活性化への提言—
- ・日本の技術開発と貿易構造 241 (1998. 6)

◇環境

- 素材型産業を核とした資源循環クラスターの展開 55 (2003. 7)
—リサイクルビジネスの高度化に向けて—
- 企業の温暖化対策促進に向けて 53 (2003. 5)
- 食品リサイクルとバイオマス 48 (2002.12)
- 使用済み自動車リサイクルを巡る展望と課題 36 (2002. 3)
- 都市再生と資源リサイクル 33 (2002. 2)
—資源循環型社会の形成に向けて—
- 環境情報行政と IT の活用 32 (2002. 1)
—環境行政のパラダイムシフトに向けて—
- 家電リサイクルシステム導入の影響と今後 20 (2001. 3)
—リサイクルインフラの活用に向けて—
- わが国環境修復産業の現状と課題 3 (1999.10)
—地下環境修復に係る技術と市場—
- 欧米における自然環境保全の取り組み 256 (1999. 5)
—ミティゲイションとビオトープ保全—
- 環境パートナーシップの実現に向けて 250 (1998.10)
—日独比較の観点からみたわが国
環境 NPO セクターの展望—

◇化学・バイオ

- 資源循環型社会で注目される生分解性プラスチック 56 (2003. 9)
—“バイオマス由来”の特性で広がる用途展開—
- わが国化学産業の現状と将来への課題 14 (2000. 9)
—企業戦略と研究開発の連繋—

◇自動車・電機・電子・機械

- わが国電気機械産業の課題と展望 42 (2002. 8)
—総合電気機械メーカーの事業再編
と将来展望—
- わが国半導体製造装置産業のさらなる発展
に向けた課題 23 (2001. 3)
—内外装置メーカーの競争力比較から—
- 労働安全対策を巡る環境変化と機械産業 10 (2000. 6)
- わが国自動車・部品産業をめぐる国際
的再編の動向 9 (2000. 4)
- わが国半導体産業における企業戦略 259 (1999. 8)
—アジア諸国の動向からの考察—
- わが国機械産業の更なる発展に向けて 257 (1999. 5)
—工作機械産業の技術シーズから
みた将来展望—

◇エネルギー・新エネルギー

- 分散型電源におけるマイクロガスタービン 24 (2001. 3)
—その現状と課題—

◇運輸・流通

- 地方民鉄の現状 52 (2003. 4)
—輸送密度の相関分析—
- 物流の新しい動きと今後の課題 25 (2001. 3)
—3PL(サードパーティ・ロジスティクス)からの示唆—
- 消費の需要動向と供給構造 18 (2000.12)
—小売業の供給行動を中心に—

◇情報・通信・ソフトウェア

- ブロードバンド時代のデジタルコンテンツ・ビジネス 54 (2003. 6)
—映像コンテンツ流通を中心に—
- ケーブルテレビの現状と課題 22 (2001. 3)
—ブロードバンド時代の位置づけについて—
- エレクトロニック・コマース (EC) の 246 (1998. 8)
産業へのインパクトと課題

◇医療・福祉・教育・労働

- 少子高齢化時代の若年層の人材育成 39 (2002. 7)
—企業外における職業教育機能の充
実に向けて—
- 労働市場における中高年活性化に向けて 11 (2000. 6)
—求められる再教育機能の充実—
- 高齢社会の介護サービス 249 (1998. 8)

本号の内容についてのお問い合わせは、執筆担当者までお願い致します。

なお、当行の Web ページ (<http://www.dbj.go.jp/report/>) では『調査』に関する読者アンケートのフォームを掲載しております。今後の『調査』刊行に際して参考とさせていただきたく、皆様のご感想やご意見などお聞かせ願えれば幸いです。

ISSN 1345 - 1308

2003 年 9 月 10 日

調 査 第 56 号

編 集 日 本 政 策 投 資 銀 行
調 査 部 長 荒 井 信 幸

発 行 日 本 政 策 投 資 銀 行
東 京 都 千 代 田 区 大 手 町 1 丁 目 9 番 1 号
電 話 (03) 3244 - 1840
(調 査 部 総 務 班 直 通 問 い 合 せ 先)
email : report@dbj.go.jp
ホ ー ム ペ ー ジ <http://www.dbj.go.jp>

(印 刷 O T P)