

◆ 総 説

生分解性プラスチックの技術と応用展開

— バイオリサイクル型生分解性プラスチックの開発を目指して —

増田 隆志* 曹 阿 民**

はじめに

プラスチックは、石油を主たる原料として安価に大量に生産され、多くの産業分野で利用されており、我々の日常生活に不可欠なものとなっている。2001年における世界のプラスチック生産量は1億8,100万tonであったと推定されている¹⁾。日本の汎用プラスチックの生産量は年間約1,500万ton(2000年)で、国民1人当たりの年間消費量は、表1に示すように約90kg²⁾である。欧米諸国では、国民1人当たりのプラスチック消費量は100kg/年を超える国が多い。また、中国のプラスチック製品の年間生産量は、後述のように2,000万ton(2001年)を超えている。中国のプラスチック製品の用途別需要見込み(2005年)によると、包装材料、農業分野、日用品・医療などの用途が多

い(表2)³⁾。2010年には世界で2億5,800万tonのプラスチックが消費されていると予測されている。また、世界の人口を約63億として、世界各国が、今の日本と同じレベルでプラスチックを消費(90kg/人)すると、プラスチック消費量は6億ton近くになる⁴⁾。

近年、経済社会活動の拡大、生活様式の変化に伴い、プラスチック生産量が上記のように増大し、また、その複合材料化やプラスチック製品の大規模化などが進むとともに、廃棄時に処理困難なプラスチック製品が著しく増加し、多量の廃棄プラスチックをどのように処理・処分するかが大きな社会問題となっている。また、回収ルートから外れ、海に流失する廃棄プラスチックによる海洋汚染は、地球環境問題の一つにもなっている。このようなプラスチック廃棄物問題の有力な解決方法として、プラスチックリサイクルシステムの構築と環境中の微生物により分

解可能なプラスチックの開発がある。

プラスチックリサイクルシステムの構築については、日本では、環境基本法、容器包装リサイクル法、家電リサイクル法、食品リサイクル法などが施行され、循環型経済社会システム構築へ向けた取組みが進められている。また、中国、欧米諸国においてもプラスチック類のリサイクルシステム構築へ向けて、様々な取組みがなされている^{5)~7)}。

一方、生分解性プラスチックは、環境中で炭酸ガスと水に分解され地球規模の炭素サイクルに組込まれる環境低負荷型のプラスチックとして注目されており、環境負荷が少なく、かつリサイクル可能な高分子材料「バイオリサイクル型生分解性プラスチック」の開発は、持続可能な社会の構築、都市ゴミ問題、地球温暖化防止対策などの視点から極めて重要な課題となっている。

プラスチックの主たる原料である石

◆ Key Words

バイオリサイクル型生分解性プラスチック

バイオマス、バイオマス誘導体などを原料として合成されるプラスチックで、環境中の微生物により炭酸ガスと水に分解され、地球規模の炭素サイクルに組込まれる生分解性プラスチック。

* Takashi Masuda
産業技術総合研究所 物質プロセス研究部門
Tel./Fax. 029-861-4589

** Amin Cao
中国科学院上海有機化学研究所 高分子材料研究室
Tel. +86-21-64163300

表1 欧米諸国の国民1人当たりのプラスチック消費量(2000年)

国名	1人当たりのプラスチック年間消費量(kg/年)
日本	91
アメリカ	152
カナダ	114
ドイツ	160
フランス	86
ベルギー	180
イタリア	120
イギリス	79
スペイン	102
フィンランド	91

表2 2005年における中国国内の用途別プラスチック需要見込み

用途	需要見込み量(単位:万ton)
農業用	470
包装材料用	550
建築用	400
工業部品	450
日用品・医療用途	472
合成皮革	78
その他	80
合計	2,300

表3 各社の生分解性プラスチック生産計画

企業 (商品名)	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015				
昭和高分子 (ビオノーレ)	3千ton		6千ton (数万ton規模の増設検討中) ポリ(ブチレンサクシネート), ポリ(ブチレンサクシネート/アジバート)																
三菱ガス化学 (ユーベック)	パイロット (400ton)		1万ton ポリ(ブチレンサクシネート/カーボネート)																
日本触媒 (ルナレSE)	100ton		4~5万ton ポリ(エチレンサクシネート)																
ダイセル化学 (セルグリーン)	1千ton		5千ton (数万ton規模の増設検討中) ポリカプロラクトン及びその共重合体																
Cargill-Dow (Nature Works)	8千ton		14万ton								45万ton							450万ton	
トヨタ (ポリ乳酸)	5万ton (乳酸, ポリ乳酸; インドネシアで生産)																		
大日本インキ化学工業 (ポリ乳酸改質材)	6千ton 乳酸骨格を有するポリエステル系改質材																		
三菱化学 (GS-Pla)	2~3千ton販売 (2003年4月から)				2~3万ton											30万ton			
	ポリ(ブチレンサクシネート)系																		

出典: 各種新聞発表 (文献14参照)

油は枯渇性の資源であり、今後は、環境保全、資源の有効利用、地球温暖化防止対策などの立場から、温室効果を有する炭酸ガスのニュートラル化が可能な資源(バイオマス、有機系都市ゴミ、バイオマス誘導体など)を利用して、次世代型生分解性プラスチック「バイオリサイクル型生分解性プラスチック」の開発に積極的に取り組む必要がある。

次世代型生分解性プラスチックの開発は、世界各国が協調して温室効果ガス排出抑制・削減のための総合的、かつ長期的な行動を進めることを目的とした「地球再生計画(The New Earth 21)」の中でも革新的な環境技術の開発課題(1990年~2010年)として取上げられている⁸⁾。また、生分解性プラスチックは、ライフサイクルアセスメント(LCA)評価において、環境への負荷が、ポリエチレンテレフタレートやポリスチレンと同等又はそれ以下であることが示されている⁹⁾。更に、ポリ乳酸やコハク酸系生分解性プラスチックの原料にバイオマスを利用する^{10)~12)}研究開発が進められている。これらの

バイオマス由来ポリエステル及びそのモノマー(乳酸、コハク酸、1,3-プロパンジオールなど)の合成技術の開発により、脂肪族ポリエステル系プラスチックの炭酸ガス発生抑制効果(環境負荷の低減効果)が一層改善され、生分解性プラスチックは、新しいプラスチック材料「バイオリサイクル型生分解性プラスチック」として、今後大いなる発展が期待される。

本稿では、バイオマス由来の生分解性プラスチックの研究開発動向を中心として、生分解性プラスチックの開発の現状と課題、応用展開を述べる。また、世界有数のバイオマス生産国である中国における生分解性プラスチックの研究開発の現状を紹介する。

1. 研究開発の現状

米国Cargill-Dow社は、2002年4月にポリ乳酸大型プラント(14万ton/年)を稼働させ、生分解性プラスチックの低コスト化を進めている。日本では、1990年代の初期から生分解性プラスチックが市場に登場し、2002年度の市場

規模は1万tonを超えると予想されている。しかしながら、生分解性プラスチックの市場規模は汎用プラスチックに比べ著しく小さい(汎用プラスチックの0.07%)。表3にCargill-Dow社を含めて日本各社の生分解性プラスチックの生産計画¹⁴⁾を示す。また、中国におけるバイオマス由来生分解性プラスチックの研究開発状況は、石油由来の生分解性プラスチックと合わせて後述の表5、6に示す。

生分解性プラスチックの市場を拡大するためには、バイオマス由来の生分解性プラスチックの開発と低コスト化及びプラスチック高性能化、高機能化など、今後取り組むべき課題は多い。

生分解性プラスチックを利用することの利点としては、埋立て処分場の延命効果、焼却炉の延命効果、農作業などにおける省力化、生ゴミ処理・処分における省力化、天然物由来のモノマーを利用することによる炭酸ガス発生量削減効果(炭酸ガスニュートラル効果)と資源の有効利用などが期待される。また、生分解性プラスチックは、回収ルートから外れ散乱ゴミとなった

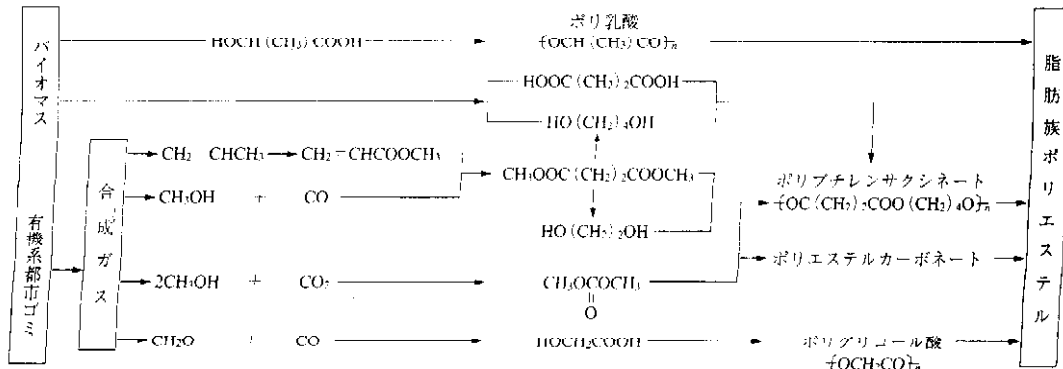


図1 バイオマス、有機系都市ゴミ（バイオマス+廃棄プラスチック）を利用する脂肪族生分解性プラスチックの合成

場合でも環境中で完全分解する環境低負荷型プラスチックである。これらの利点と長所を有する生分解性プラスチックは、2010年代後半には、汎用プラスチック市場の10%程度が生分解性プラスチックに置き換わるものと予測されている。

2. 市場動向

日本では、コハク酸系ポリエステル、ポリカプロラクトン、ポリエステルカーボネートなどの石油由来の生分解性プラスチック、セルロース・でんぷんなど天然物を利用した生分解性プラスチック、でんぷん由来のポリ乳酸などを中心に研究開発が進められてきた。その市場規模は、1990年代初期に約100 tonで始まり、2002年度には1万tonを超えると予想されている。また、世界的には生産量が2001年に5~6万tonを超え、日本では6千tonに達したと推定されている。更に、2003年と2005年の日本の市場規模は、それぞれ3万tonと万tonに達すると予測されている^{15), 16)}。

3. 期待される市場分野

・上記生分解性プラスチックの中で、コハク酸系生分解性プラスチックは、ポリエチレンやポリプロピレン並みの性があり、また、その成形加工に、

汎用プラスチックの成形加工に使用している既存の成形加工装置がそのまま利用できる利点も有し、更に後述のよつに、バイオマス由来のモノマー製造技術が開発されれば、軟質系生分解性プラスチックとして大きな市場が期待される。ポリ乳酸はポリスチレン並みの物性を有し、製品寿命の短い消費製品以外に繊維、電子機器筐体、自動車内装品などの用途開発が進んでいる。以下に期待される市場分野について述べる。

- ①農林水産土木資材分野（マルチフィルム、植生ネット、種子埋込みテープ、河川工事など養生シート、土嚢、釣り糸、疑似餌など）
- ②包装材料分野（コンポストバック、食品容器、ティーバッグ、水きりネット、緩衝材など）
使用後は、コンポスト化施設中で分解堆肥化され、堆肥として再利用される。包装材料分野の市場は約150万ton/年あると推定されている。今後、生分解性プラスチックの利用が大きく展開できる分野である。
- ③最近、パソコン筐体、衣服類、文房具、カード類、イベント用垂幕・看板、自動車用内装部品など、比較的耐久性が必要な分野への生分解性プラスチックの展開が進んでいる。これらの製品は、使用後、

再資源化が求められる分野である。

- ④医療・衛生品（使い捨てが原則の利用分野）、工業品（可塑剤、フレンド材など）の市場。

4. 技術開発課題

軟質系プラスチックであるコハク酸系生分解性プラスチックは、ポリエチレン、ポリプロピレンなどの汎用性プラスチックと類似の物性を有し、また、その優れた生分解性が注目され、表3に示すように各社プラント増設計画などが発表されている。しかし、現行の石油系原料を用いる製造方法は、コスト高である。今後、地球温暖化防止に向けたCO₂削減対策を進め、更に国際競争力をつけて市場を拡大していくためには、バイオマス由来コハク酸モノマーの製造技術の開発と低コスト化、及びポリエステル樹脂の高性能化と高機能化などが避けて通れない技術開発課題になっている。図1に、筆者の1人が所属する産業技術総合研究所物質プロセス研究部門におけるバイオマス由来モノマー及び脂肪族生分解性プラスチックの研究開発課題を示す。

図1で述べているバイオマス及び廃棄プラスチックのガス化技術は、現在、実用化されている。表4に商業化されている、又は研究開発段階にある代表的な都市ゴミ中の廃棄プラスチックガ

ス化技術の例を示す^{7), 17), 18)}。

産業技術総合研究所では図1に示すように、バイオマスから得られる、あるいは有機系都市ゴミなどに含まれる再生可能な資源である生ゴミなどのバイオマス及び廃棄プラスチックなどのガス化により得られる合成ガス及びその誘導体から、コハク酸ジメチル、コハク酸、1,4-ブタンジオール、グリコール酸、ジメチルカーボネートなどのモノマーを合成する方法及び脂肪族ポリエステル系プラスチックを直接合成する方法が検討されている^{19), 21)}。ポリブチレンサクシネート $[-CO(CH_2)_2COO(CH_2)_4O]_n$ (PBS) は汎用ポリエチレンに近い融点、機械的性質などを有し、微生物により分解されるため、実用性の高い生分解性プラスチックである。PBSの物性、機械的性質などは分子量に依存することから、PBSの高分子量化のための触媒の探索を行ったところ、少量のリン化合物を助触媒として用いるリン化合物/Ti系触媒が、高分子量化 (M_w は20万以上) に有効であることを見いだした¹⁹⁾。

5. 中国における生分解性プラスチックの開発と応用展開

5.1 背景²²⁾

中国では、ここ20年間の経済の持続的高度成長により、経済基盤・社会インフラなどの整備が進み、国民生活レベルが著しく向上した。しかしながら、これまでの経済の高速発展に伴い、人口が急増し、資源消費量も著しく拡大し、また、産業と人間活動による自然環境の破壊の問題も生じ、現在では、世界の国々と同様に、新たに人口・資源・環境問題などの重要な課題に直面している。

また、経済の発展に伴い、社会発展の物質基盤として、石油化学工業が大きく発展してきた。主たる合成高分子材料として、プラスチック、ゴム、繊維が知られているが、このうち、プラス

表4 廃プラスチックからの合成ガス製造

ガス化方式	開発機関名 (プラント建設場所)	生成ガス	用途
加圧二段ガス (EUPガス化プロセス) 商業運転: 2001年 20,000ton/年 30,000ton/年へ増設予定	・荏原製作所 ・宇部興産 (宇部市)	合成ガス $H_2/CO/CO_2$ 2,000kcal/Nm ³	化学原料 アンモニア合成, H_2 副生物の NH_4Cl は肥料として利用
加圧二段ガス化法 UPガス化プロセスを導入 商業運転: 2003年 175ton/日	・昭和電工 (川崎市)	合成ガス $H_2/CO/CO_2$ 2,000kcal/Nm ³	化学原料 アンモニア合成
一段ガス化法 5ton/日	・ダイセル化学工業 ・新日本製鐵 ・新日鐵研究所内	合成ガス $H_2/CO/CO_2$ 2,000kcal/Nm ³	化学原料 メタノール合成 副生物の HCl は塩酸として利用
基礎研究	・Kasteren ・Eindhoven大学	合成ガス	発酵技術により、合成ガスをエタノールや酢酸へ転換する

チック製品については、中国政府より公開された統計データによると、2001年の年間生産量は2,000万tonを超えている。また、中国におけるプラスチック製品の加工原料用合成樹脂は、中国国内の石油化学メーカーの生産品と外国からの輸入製品から構成され、その内訳は、それぞれ1,024万tonと1,400万tonであった。

上記プラスチック製品のうち、1回使い捨てのプラスチック製品の割合を5%と仮定すれば、その廃棄物の発生量は全国で年間100万tonを超えている。現在、中国では、産業系及び都市の有機廃棄物の処理・処分法については、関係法規がまだ完全に整備されていない状況であるが、現状は、一部の廃棄物は回収され、再利用されているが、多くの場合、埋立てにより、経済的に処理されている。このため、“白色汚染”と言われるプラスチック廃棄物による環境汚染問題が生じ、その解決は避けて通れない社会問題となっている。この問題解決の有効な方法として、生分解性プラスチックを含むいわゆる環境調和型の生体高分子材料(環境調和型エコ高分子材料)の製造技術

と応用技術の開発がある。

これらの技術開発は、中国の国立研究機関と産業界との協力により、約10年以前から進められている。また、2001年10月には、中国プラスチック協会(Chinese Society of Plastics and Plastics Processing)内に「降解塑料専門委員会(Special Committee of Degradable Plastics)」が発足し、同委員会に中国の大学、国立研究所、プラスチック材料の生産加工メーカー、プラスチック加工機械の生産業者、政府の政策担当者など100を超える関係機関の参加者が参加し、課題に取り組んでいる。それと同時に、生分解性プラスチックの生分解性評価や認証国家標準についても、中国プラスチック製品標準化技術委員会の中に生分解性材料専門委員会を北京に発足させ、ISOの標準を参考にしながら、中国版の生分解性プラスチックの認証国家標準を作成し、今年中には、認証国家標準の試行を開始する計画となっている。現在、中国においては、これらの環境調和型プラスチックを利用した農業用マルチフィルム、シート、発泡包装材料、1回使い捨ての食品包装容器、生活用品など様々な

表5 中国におけるでんぷん系の生分解性プラスチックの応用状況²³⁾

研究開発機関	主な成分	商品名	生産能力 (ton/年)	分類
西安交通大学 西安華源生態農業高科技株式会社 甘肅蘭州凱翔科技株式会社	でんぷん /PVA	— — 実達科	— 1,000 1,000	PVA
中国科学院北京化学研究所 中国科学院長春応用化学研究所 天津丹海株式会社 南京蘇石降解樹脂株式会社	改質 でんぷん	— — 生態利 蘇石	— — 30,000 10,000	でんぷん系

表6 中国における合成系の生分解性プラスチック研究開発と応用状況²⁴⁾

研究開発機関	主な成分	商品名	生産能力 (ton/年)	分類
精華大学 広東仙頭華逸生物工程株式会社 広東江門生物技術開発センター	PHA, PHBHHx	—	1,000	バイオ ポリエステル
中国科学院微生物研究所 中国科学院長春応用化学研究所 寧波天安生物材料株式会社	PHB PHBV	—	1,000	バイオ ポリエステル
国防科技大学 湖南益陽中玉環保株式会社	PCL でんぷん/PCL	—	—	脂肪族 ポリエステル
上海微生物研究所 上海化工株式会社	ポリ乳酸	—	拡大試験	脂肪族 ポリエステル
中国科学院長春応用化学研究所 蒙西高新材料株式会社	脂肪族ポリカ ーボネート	—	2,000	脂肪族 ポリカーボネート
北京工商大学	改質PVA	—	—	PVA

製品が加工、販売されている。特に、近年、中国国内では、幾つかの地方で法規の整備が進み、発泡スチロールから生産された食品包装容器の使用が厳しく禁止されている。この代替品の開発を目的として、環境調和型プラスチックの研究・開発が促進されている。

5.2 中国における生分解性プラスチックの研究開発と応用展開の現状^{23)~26)}

中国は、アメリカに次ぐ世界第二位のトウモロコシでんぷんの生産国として知られている。特に、中国東北地方では、トウモロコシが集中的に栽培されている。トウモロコシのでんぷんは安価で、再生容易な天然高分子であるため、改質でんぷん又は改質でんぷん

を中心としたポリマーブレンドが、市場における主たる生分解性プラスチック材料となっている。これらのでんぷん系生分解性プラスチックでは、でんぷん粒子を微細化する新技術の開発とその成形加工方法の開発が用途開発における重要課題となっている。

表5に、現在中国においてでんぷん系生分解性プラスチックの研究開発を行っている研究機関及び同プラスチックを生産販売しているメーカー名とその生産能力を示す。でんぷんを中心としたポリマーブレンド体は、安価である利点を有するが、厳密に言えば、これらのブレンド体の中に含まれるポリオレフィン類のような合成樹脂成分は、自然環境下では分解・再資源化が困難であり、また、その添加剤として使用

している光及び酸化分解促進剤には重金属が含まれているため、新たな汚染原因となる恐れもあり、用途開発に対し慎重な対応が必要と考える。現段階では、でんぷん系プラスチックは、主として農業用マルチフィルム、苗鉢、発泡緩動材料、シートなどとして実用化され、その市場規模は年間3~5万tonに達している。

上記のでんぷん系生分解性プラスチックのほかに、中国ではバイオポリエステルの研究開発も行われ、実用化が進んでいる。表6に示すように、中国で生産される安価な植物油などを栄養源として、特殊な微生物により発酵合成を行うことにより、新規バイオポリエステルであるポリ(3-ヒドロキシブチレート-co-3-ヒドロキシヘキサネート) PHBHHxの生産が行われている。この新規ポリエステルは、バイオメディカル材料として、新しい応用が期待されている。また、寧波天安生物材料株式会社は、本年度、中国科学院長春応用化学研究所及び北京微生物研究所と技術を連携し、中国国内の安価なでんぷん資源を主たる原料として用い、新規生産工程で年産1,000tonのポリ(3-ヒドロキシブチレート-co-3-ヒドロキシブチレート) PHBVの生産を開始している。このバイオポリエステルの用途と販売価額については、まだ発表していないようである。

化学合成による脂肪族生分解性プラスチックについては、中国科学院上海有機化学研究所、中国科学院成都有機化学研究所、中国科学院長春応用化学研究所などの研究機関及び表6に示すメーカーにより、研究開発が進められている。蒙西高新材料株式会社(内モンゴル地区)は、中国科学院長春応用化学研究所の特許を利用して、セメント生産工場の廃棄物である二酸化炭素を原料として用い、新規稀土金属触媒の存在下に、エチレンオキサイド又はプロピレンオキサイドとの共重合を行い、高分子量の脂肪族ポリカーボネー

トを合成することに成功し、現在、年産2,000ton規模のプラントが稼働していると発表している。

中国では、21世紀の最初の10年の大きな行事として、北京市で2008年のオリンピックを、また、上海市では、2010年の世界万博をそれぞれ開催する予定である。これらの大きな行事の中心テーマとして、“グリーン”と“環境保護”が決定されている。また、政策の面でも、生分解性プラスチックに関する国家標準が試行され、関連環境法規の整備が進むなかで、今後数年間に、中国では生分解性プラスチックの応用技術、用途開発が急速に進展するものと期待される。

上記の大きな行事や国家標準の整備などを契機として、今後、中国の研究者、産業界などと欧米、日本などの研究者、産業界との研究交流・研究協力が一段と進むことを期待したい。

おわりに

以上、持続可能な社会の構築、都市ゴミ問題、地球温暖化防止対策などを背景として、次世代生分解性プラスチック「バイオリサイクル型生分解性プラスチック」の開発の必要性と同プラスチックが普及していくための課題について述べた。プラスチックなどの高分子材料の主たる原料である石油は枯渇性の資源であり、また、環境保全、資源有効利用、地球温暖化防止対策(COP3)²⁷⁾などの立場から、生分解性プラスチック生産の石油依存度を低減し、炭酸ガスニュートラル化が可能な資源(バイオマス、バイオマス誘導体など)を利用して、次世代環境低負荷型生分解性プラスチック「バイオリサイクル型生分解性プラスチック」の開発に積極的に取り組む必要がある。このような研究開発には世界各国が協調して総合的、かつ長期的な研究交流、研究協力を進めることが不可欠である。最近、日欧米における生分解性プラスチック

の識別表示制度の統合化が進められている¹⁵⁾。また、「カッセル・プロジェクト、並びに欧州の生分解性及びバイオベース・ポリマーに関するワークショップ」が開催²⁸⁾されるなど、日欧米の国際研究交流が進んでいる。日中両国においても両国の長を生かした研究交流が今後一段と進むことを期待したい。

参考文献

- 1) 福島卓雄, “プラスチックの持続可能な発展を目指そう,” *プラスチック*, **54**, [1], 18 (2003).
- 2) 日本プラスチック工業連盟工業統計資料, *プラスチック*, **53**, [6], 18 (2001).
- 3) 伊澤橋 一, “3. 世界の生産工場へ向かう中国- 背景と現実,” *PLASTICS AGE ENCYCLOPEDIA* <進歩編> 2002, p.36 (プラスチックエージ社, 2001).
- 4) 元田欽也, “リサイクル技術,” *プラスチック*, **47**, No.3別冊, 35 (1996).
- 5) 斎藤 章, “ヨーロッパにおけるリターナブルボトルの現状- リサイクルよりリユースへ,” *プラスチック*, **53**, [10], 77 (2003).
- 6) 長谷川 正, “海外に見るプラスチックリサイクル事情,” *プラスチック*, **53**, [10], 84 (2003).
- 7) 加茂 徹, “第2回国際プラスチック化学リサイクルシンポジウムの概要,” *プラスチック*, **53**, [12], 73 (2003).
- 8) 経済産業省産業技術環境局監修, *環境総覧2001*, p.113 (通産資料調査会, 2001).
- 9) 柴宮昭義, ライフサイクルアセスメントからみた環境適合性(脱石油素材化に向けた生分解性プラスチックの高機能化とその応用), p.93 (エヌ・ティー・エス, 2003).
- 10) 化学工業日報, 2002年4月4日.
- 11) 日刊工業新聞, 2002年8月8日.
- 12) 湯川英明, “高分子素材有機酸の新規バイオプロセス,” *グリーンプラジャーナル*, [6], 12 (2002).
- 13) 日刊工業新聞, 2003年3月17日.
- 14) 日経産業新聞, 2003年3月4日; 日本経済新聞, 2000年11月11日; 化学工業日報, 2002年7月18日; 化学工業日報, 2002年11月21日; 化学工業日報, 2002年10月25日; 化学工業日報, 2000年10月30日; 日刊工業新聞, 2002年2月4日; 日刊工業新聞, 2003年3月13日.
- 15) 大崎 一史, “生分解性プラスチックの現状と実用化に向けた課題・展望,” *プラスチック*, **53**, [10], 17 (2003).
- 16) 大島一史, “生分解性プラスチック- グリーンプラジャーナルプラスチック,” **54**, [1], 108 (2004).
- 17) 草川紀久, “ISFR2002とわが国プラスチックリサイクルの現状 (3),” *プラスチック*, **54**, [2], 24 (2003); 小林昭夫, “塩ビリサイクル技術の最新動向,” *プラスチック*, **53**, [10], 64 (2003).
- 18) 化学工業日報, 2001年11月2日.
- 19) 増田隆志, “環境調和型プラスチック,” *PETROTECH*, **24**, [4], 283 (2001).
- 20) T. Sakakura, J.-C. Choi, Y. Saito, T. Masuda, T. Sako, T. Oriyama, “Metal-Catalyzed Dimethyl Carbonate Synthesis from Carbon Dioxide and Acetals,” *J. Org. Chem.*, **64**, 4506 (1999).
- 21) Amin Cao, Takashi Okamura, Chitko Ishiguro, Kazuo Nakayama, Yoshio Inoue, Takashi Masuda, “Studies on syntheses and physical characterization of biodegradable aliphatic poly(butylenes succinate-co-ε-caprolactone)s,” *Polymer*, **43**, p.671 (2002).
- 22) 曹恒武編, *中国石油と化学工業市場及びその発展報告2000-2001*, p.47 (北京科学技術出版社, 2001).
- 23) 唐賽珍, 陶しん, “生分解性プラスチックの応用最新展開,” *降解塑料通信 (Degradable Plastics Review)*, [5-6], 21 (2002).
- 24) “業界ニュース,” *降解塑料通信 (Degradable Plastics Review)*, [1], 7 (2003).
- 25) 唐賽珍, “脂肪族ポリカーボネート生分解性プラスチック国内外の研究開発状況及びその発展展望,” *降解塑料通信 (Degradable Plastics Review)*, [2], 11 (2003).
- 26) “業界ニュース,” *降解材料 (Degradable Materials)*, [11], 19 (2003).
- 27) 1997年12月, 日本の京都で気候変動枠組み条約第三回締約国会議 (COP3) が開催され, 地球温暖化防止のための新たな国際的枠組みを決定した「京都議定書」が採択された(文献8)のp.117参照).
- 28) 生分解性プラスチック研究会 “カッセル・プロジェクト、並びに欧州の生分解性及びバイオベース・ポリマーに関するワークショップ,” 2003年5月30日(東京, 三井化学ビル).