バイオベースポリマーとしての のポリ乳酸

川島 信之*

A Development of Polylactic Acid as Bio-based Polymers

Nobuyuki Kawashima*

There is a growing demand for the saving of fossil resources and the reduction of greenhouse gas emissions with the aim of promoting society that is capable of sustainable development. In the area of developing materials as well as in other areas of activities, various efforts are being made for that objective in the aspects of raw materials, manufacturing technology, and disposal of materials after use. Bio-based polymers are attracting attention because of its important role in switching the raw materials from exhaustible resources to annually renewable resources.

Polylactic acid has two characteristics. One is that the raw material lactic acid is produced by fermenting starch and saccharides that are derived from various biomass. The other is polylactic acid is biodegradable slowly in the environment and rapidly in compost.

This paper introduces polylactic acid as bio-based polymers from the perspective of its life cycle contributing to the saving of fossil resources and the reduction of greenhouse gas emissions. This paper also describes a polylactic acid manufacturing process which is typified by ring opening polymerization and direct polycondensation and discusses the issues to be addressed for the growth of the market for the material.

Key words: polylactic acid, bio-based polymers, greenhouse gas, sustainable development, lactic acid, renewable resources, biomass, biodegradable, direct polycondensation, LACEA®

1. 地球と我々を取り巻く問題とプラスチック

現代社会は豊かさと便利さを手に入れて発展してきた一方で、大量生産・消費・廃棄により、資源・エネルギーの不足、温暖化・酸性雨などの環境汚染、廃棄物の増加などの問題が深刻化している(図1)。

持続的に発展可能な社会(Sustainable Society)を実現するために、資源枯渇や温暖化ガスに対して国際的に様々な取り組みが行われている。我が国が目指す具体的な目標の1つは京都議定書で定められた6%の炭酸ガス削減(1990年を基準年として、2008年から2012年に達成)である。なお、現状では2000年においてすでに基準年比8%増となっており、実際の達成目標は14%削減である。材料開発においても、原料や生産・材料技術の観点から、行政や法規制の動向、消費者・市場の意識などと整合性をとることを求められる(図2)。

世界中で年間約1億6千万トン生産されているプラスチックはアルミ・鉄などの金属と同様、社会生活を営む

上でなくてはならない工業材料である。1870年ころセルロイドが商品化されて以来、1930年から1950年代にかけて、ポリ塩化ビニル、ポリエチレン、ポリプロピレン、ナイロン、ポリエステルなど様々なプラスチックが開発・商品化されてきた(図3)。これからのプラスチック材料には使用時の利便性だけでなく、原料において化石資源やリサイクル資源の効率的な利用とバイオマス資源への転換¹⁾、ならびに使用後の環境負荷極小化を目指すことが求められる。なお、本稿ではバイオマスを原料とするポリマーをバイオベースポリマーと呼ぶ。

2. バイオベースポリマーと石油系ポリマー

化石資源を代替・節約し、温暖化ガスの増加を抑制できる材料・技術として、バイオマス、特に植物を原料とする材料、酵素や微生物を利用するバイオプロセスが重要になっている。植物は太陽の光をエネルギーとして、水分と大気中の炭酸ガスを吸収することによって成長する。植物を原料とする材料の場合、化石資源を由来とする材料に比較して次の2つの観点から優位性があると考えられる(図4)。

化石資源由来の材料を焼却する場合、過去に地中に固定された炭素源を燃焼することになり、大気中の炭酸ガ

* 三井化学株式会社 機能樹脂事業部門 LACEA 事業室
()

* Mitsui Chemicals, Inc., Performance Polymers Group,
LACEA Division
()

スの増加につながる。一方、植物由来の材料を焼却する場合、燃焼される炭素源はいったん植物によって固定されたものであり、大気中の炭酸ガスを増やさないことになる。このような特性はカーボンニュートラルといわれる。また、太陽エネルギーを原料の製造エネルギーとして有効に利用していることから、化石エネルギーの使用量が少なくてすむことになる。これにより、かけがえのない化石資源の使用を節約できることになる。

3. バイオベースポリマーと生分解性ポリマー

植物を原料とする材料と生分解性を有する材料のいずれもが環境への負荷低減に寄与する材料であるため、両

者が混同されてきたように思われる。これらの材料は、生分解性の有無、ならびに原料の由来の観点から図5のようにまとめることができる。

生分解性ポリマー(生分解性プラスチック)は、使用中は通常のプラスチックと同じように使えて、使用後は自然界の微生物によって水と二酸化炭素に生分解され自然界に還る材料である。環境中やコンポスト中で生分解することから、マテリアルリサイクルや熱回収などと同様に環境への負荷の軽減に寄与する廃棄物処理法の1つとして期待される。一方バイオベースポリマー²⁾は、化石資源の節約ならびに温暖化ガス増加抑制に寄与する材料である。Sustainable Society 構築に向けて、資源から環

1. 化石資源の枯渇

石油資源 ⇒ 可採年数44年(2000年の報告) ⇒ 再生不能エネルギー
(出典: 1999/2000 資源エネルギー年鑑)

2. 温暖化ガスの増加

2100年は1900年に比べ、平均気温: 2.0-6.4℃上昇
海面水位: 19-108cm上昇

(出典: 全国地球温暖化防止活動推進センターHP)

図1 地球と我々を取り巻く問題 (例: 化石資源の枯渇と温暖化)

- a. Clean Development Mechanism … 先進国が開発途上国で温暖化ガス削減対策事業を行なうことにより、削減分を事業の投資国と事業が行なわれる国とで分け合う制度。京都メカニズムの一つ
- b. 愛・地球博 … 2005年3月から愛知県で開催される万博。自然の観智をテーマに、循環型、省エネルギー型社会システムやライフスタイルの提案、実証を行なう
- c. グリーン購入 … 環境負荷低減に寄与する製品を行政が率先調達する制度。2001年4月より施行
- d. ポリ衛協 … 食品の容器・包装・器具に使われるプラスチックの安全性、衛生性の自主基準を設け、適切な材料の普及に務める協会

図2 バイオベースポリマー産業拡大に影響を及ぼす要因

図3 プラスチックの歴史

図4 石油系ポリマーとバイオベースポリマーの比較 (エネルギーとCO₂)

境、廃棄物問題の解決のために、両者がそれぞれ重要な役割を果たすことが理解できる。

この中で、ポリ乳酸は、原料である乳酸がコーン、イモ類から得られるでんぷん、グルコースや、ビート、サトウキビなどから得られるスクロース(ショ糖)の醗酵によって得られることと、環境中で緩やかにコンポスト中で速やかに生分解するという両方の特性を備えている。

4. ライフサイクルの観点から見たポリ乳酸

ポリ乳酸を通して、バイオベースポリマーがどのように化石資源の節約ならびに温暖化ガスの増加抑制に寄与するか検証する。

原料の製造から廃棄までの環境負荷を定量的に表すライフサイクルアセスメント(LCA)の検討が進められている。米国のSRI社は、汎用樹脂の中で最もエネルギー効率が良い樹脂の1つであるポリプロピレンと比較した結果、原料-樹脂製造-加工製品-廃棄までのトータルの化石資源使用量が、ポリ乳酸は30%少ないと、2002年1月発表した。

また、米国カーギルダウ社もポリ乳酸のLCA解析を進めており、概要が発表されている^{3,4)}。それによると、ポリ乳酸樹脂(14万トンフル稼働時)と汎用樹脂をそれぞれの原料から製造する場合の原料と、プロセスエネルギーを総合した石油使用量は、ポリ乳酸樹脂がポリスチ

レンやセロファンに対して約40%、ポリプロピレンや非晶性PETに対して約30%少ないとしている(図6)。樹脂製造までの炭酸ガスの発生量は、様々な汎用樹脂に比べて、ポリ乳酸樹脂(14万トンフル稼働時)が少ないとしている(図7)。樹脂製造から加工製品、廃棄までのエネルギーと炭酸ガスについてもそれぞれ比較をしており、廃棄方法の違いによって差があるものの、ポリ乳酸は有利であると報告されている。コーン以外のバイオマスを使用する場合の化石資源使用量について欧州で発表されている⁵⁾(表1)。

一般にLCAは、使用するプロセスエネルギーや使用後の処理法の選択などによって数値に幅が生じることが指摘されている。ポリ乳酸についても、工程ごとのさら

なる検証が求められる。

化石資源をどれだけ節約できることになるかについて、原料に使われる化石資源と糖質の炭素量に基づいて計算すると次のようになる。糖質1トンからポリ乳酸680kgが得られる(図8)。世界のプラスチック生産量(1999年、1.57億トン)の10%、1,570万トンをポリ乳酸で置き換えるとする、計算上糖質が2,300万トン必要になる。糖質を生産できる主な植物資源は世界中で約39億トンあり、その中に含まれる糖質量は約14億トンと概算されるので(表2)、主な植物資源の約1.6%を利用するだけで世界のプラスチックの10%を置き換えられる、すなわち植物資源により化石資源を節約できることになる。

1) 微生物が生産するポリエステル (ポリヒドロキシアルカノエート)
2) 醗酵法で得られる1, 3プロパンジオールと化石資源由来のテレフタル酸のポリエステル
3) 大豆油由来のポリオールを原料とするポリウレタン

図5 バイオベースポリマーと生分解性ポリマー

図6 プラスチック製造時の化石資源使用量
(エネルギー換算, MJ/kg, 原料からベレットまで, カーギル・ダウ社発表^{3, 4)})

図7 プラスチック製造時のCO₂発生量
(CO₂, kg/ton, 原料からペレットまで, カーギル・ダウ社発表^{3,4)})

表1 ポリ乳酸のライフサイクルアセスメント

バイオマスから樹脂製造までの化石資源使用量 (エネルギー換算、MJ/kg)

実施した組織	Cargill Dow ^{3), 4)} (米国)	SRI (米国)	Fraunhofer ⁵⁾ (ドイツ)	Inventa Fischer ⁵⁾ (スイス)
乳酸原料の前提	コーン	コーン	ホエイ(乳清)	ライ麦
化石資源使用量	54.0	50.6	40.1	62.1

図8 再生可能資源(糖質)からポリ乳酸の収率

資源としてその埋蔵量に限りがあり、生産場所が偏在化する石油などの化石資源と異なり、毎年地球上のどこでも生産できる植物資源の役割は大きいことが理解できる。糖質は可食系植物資源以外にも、残渣と分類される茎や葉など(非可食部分)の中に含まれるセルロースや、ヘミセルロースの糖化によって得られることが知られており、その有効利用により、石油資源節約のための可食系植物資源への依存率はさらに低下できることになる。

表2 主な植物資源(可食系)と糖質換算量

(単位: 億トン/年, %)					
主な植物資源	主な生産国		世界収量 ^{a)}	糖質理論収率	糖質換算量
	No. 1	No. 2			
小麦	中国	インド	5.83	60 ^{b)}	3.50
トウモロコシ	米国	中国	6.00	60 ^{b)}	3.60
米	中国	インド	5.96	60 ^{b)}	3.57
バレイショ	中国	ロシア	2.94	15 ^{b)}	0.44
キャッサバ	ナイジェリア	ブラジル	1.68	20 ^{b)}	0.34
サツマイモ	中国	ウガンダ	1.35	25 ^{b)}	0.34
(小計)			(23.76)		(11.79) グルコース
サトウキビ	ブラジル	インド	12.74	15 ^{c)}	1.91
ビート	フランス	米国	2.63	15 ^{c)}	0.39
(小計)			(15.37)		(2.30) シュクロース
計			39.1		14.1

a) FAO Production Yearbook 1999, 地理統計要覧(2002/2003年版)より

b) でん粉収率とグルコース収率を積算

c) シュクロース収率より算出

5. セルロース資源への展開

コーンの場合、植物体全体の重量に対するコーンの穀物(可食)部分の比率が Harvest Index(HI)として求められている。米国のコーンの平均的な HI は 0.5 であり、重量比で穀物(可食)部分 50 に対して残渣が 50 生産されていることになる。また、日本の米の場合、1999 年の米の生産量は 1,147 万トン(FAO 調べ)、稲わらの生産量は 909 万トン(農水省調べ、<http://www.jaccnet.zennoh.or.jp>)であり、米が 56 に対して残渣(稲わら)が 44 生産されていることになる。なお、稲わらは約 35% がたい肥、飼料、敷料などに利用されているが、残りの 65% は鋤き込みあるいは焼却処理されている。

Aristidou らはバイオマスの主要構成成分比を報告している(表 3)⁶⁾。醗酵原料となるグルコースとキシロースの合計は、コーン残渣の場合 53.8%、稲わらの場合 55.8% となっており、コーンや米の非可食部分だけを考えても、可食部分からと同等に近い量の糖質が潜在的に存在していることになる(表 4)。図 8 の糖からポリ乳酸の収率を考慮すると、計算上は稲わら 100 万トンからポリ乳酸 37 万トンが得られることになる。

これは実験データを机上で積み上げたものであり、工業として実現するためにはいくつかの課題がある(表 5)。

この技術が実現できると、ポリ乳酸にとどまらず、安価な糖を原料とした醗酵法と化学合成法の組み合わせにより、エタノールを始めとする各種アルコール、有機酸、アミノ酸、など化学工業の基幹原料になる C2, C3, C4 ケミストリーが、石油を原料とせず製造できることになる。バイオマスを中心としたバイオコンビナート、あるいは生物化学産業が遠からず現実のものになると期待される。

6. ポリ乳酸の製造法

実用的強度を与えるに十分な高分子量のポリ乳酸を重合する方法としては⁷⁾、図 9 に示すように、 α -ヒドロキシ酸である L-乳酸から環状二量体であるラクタイドを

図 9 ポリ乳酸の重合技術

表 3 バイオマスの主要構成成分 (単位: %)

バイオマス	グルコース	キシロース	(小計)*	リグニン
Corn Stover(コーン残渣)	39.0	14.8	(53.8)	15.1
Wheat Straw(麦わら)	36.6	19.2	(55.8)	14.5
Rice Straw(稲わら)	41.0	14.8	(55.8)	9.9

* グルコースとキシロースの小計…醗酵原料になるもの

表 4 世界のコーンと米の生産量 (穀物部分と残渣)

	穀物部分(可食部分)		残渣(非可食部分)	
	生産量	糖質換算量	生産量	糖質換算量
コーン	6.0億ト(50)	6.0×60%=3.6億ト	6.0億ト(50)	6.0×53.8%=3.2億ト
米	5.9億ト(56)	5.9×60%=3.5億ト	4.7億ト(44)	4.7×55.8%=2.6億ト

表 5 バイオマス利活用の課題

課題	留意事項
1) バイオマス(例:稲わら、コーン残渣)の収集、貯蔵、処理システムの確立	バイオマスはただではない
2) セルロース、ヘミセルロースを糖化する最適方法の確立・選択	最適方法は未確立。酸処理、酸・酵素処理、酵素処理、超臨界などの研究が進められている
3) セルロース糖化酵素の効率向上	でんぷん糖化に比べ20~30分の一の効率、つまりコストが高い
4) バイオマスを農地に還す(鋤き込む)必要性の評価	農地に還さないと農地がやせるという報告がある
5) セルロース、ヘミセルロース以外のバイオマス成分の有効利用	リグニンを10%以上含有しており、焼却による熱回収技術やケミカル中間体・ポリマー原料の検討が進められている

合成し、これを開環重合する方法(開環重合法、あるいはラクタイド法)⁸⁾、と、L-乳酸を直接脱水重縮合する方法(直接重合法)^{9, 10)}、が代表的であり、ともに工業的規模での製造を目指した技術開発が進められてきている。ラクタイド法はカーギル・ダウ社によりすでに工業化され、2002年に14万トン/年という世界最大の商業プラントの稼動を開始している。直接重合法は三井化学がパイロットスケールで検討している。

6.1 開環重合法(Ring opening polymerization)

開環重合法によるポリ乳酸製造については古くから研究され、その製造プロセスの概要を図10に示す。L-乳酸を脱水縮合して一旦低分子量(分子量数百〜数千)のポリ乳酸オリゴマーを合成した後に、これを触媒の存在下でバックバイティング反応によりL-ラクタイドを合成する。L-ラクタイドは高分子量化に必要な純度まで精製された後に、触媒の存在下に熔融状態で開環重合され、容易に高分子量のポリ乳酸を得ることができる。

図10 開環重合法プロセス

合成されたL-ラクタイドは、水、乳酸、および乳酸オリゴマーを不純物として含むとともに、異性体であるD-ラクタイドとmeso-ラクタイドを含む粗製物である。開環重合法で所望の高分子量ならびに物性を有するポリ乳酸を得るには、この粗製物を精製し高純度のL-ラクタイドとすることが必要であり、有機溶媒中での再結晶法、溶媒抽出と晶析を組み合わせた方法、熔融晶析法など多くの方法が検討されてきた。また、高純度ラクタイドの開環重合には、一般に溶媒を使用しない熔融重合が適用され、重合速度は重合温度と触媒量により制御される。

カーギル・ダウ社は、有機溶媒を使用することなく高純度ラクタイドを得ることができるシンプルな連続蒸留精製技術とその熔融重合技術を工業的に確立している¹¹⁾

6.2 直接重合法(Direct polycondensation)

L-乳酸を脱水重縮合してポリ乳酸を合成する方法は、

Carothersら¹²⁾以来検討されてきたが、実用的強度を与える高分子量化は容易でなかった。三井化学は1994年にL-乳酸からの直接脱水重縮合による実用強度を有する高分子量ポリ乳酸の製造方法を開発した^{9, 10)}。図11に概要を示すこの方法は、高活性な触媒を用いるとともに、有機溶媒を使用した溶液重合法である。溶液中の重縮合反応で副生する水は溶媒の共沸効果により留去され、溶媒は乾燥後に反応溶液へ循環されて効率的な脱水を実現し、縮合反応平衡の束縛を解決している。分子量30万までの高分子量化が報告され、高純度のポリ乳酸が得られている。

図11 直接重合法プロセス

直接重合法により、ポリ乳酸のみならずポリ乳酸と他のポリエステル等との共重合化や架橋反応による新たな材料開発、脂肪族ポリエステルの重合も進められてきている^{13, 14)}。

しかしながら、直接重合法は汎用樹脂と同等の大規模生産へとスケールアップするためには、溶液重合のために反応器容積効率が低く比較的大きな反応器が必要なこと、溶媒の蒸発・回収操作が必要なことなどの、いくつかの短所を有している。これらを考慮して、重縮合触媒の開発や反応機構の検討^{15, 16)}が進められるとともに、樹脂の成形加工で用いられる二軸押し機を反応器として使用して、プロセスの簡素化を図る試みもなされている。

三井化学は最近、溶媒を用いることなく高分子量化を可能とするL-乳酸の直接重縮合による新しいポリ乳酸製造方法を開発した^{17, 18)}。この方法は図12に示すように、液相重縮合と固相重縮合から構成されている。触媒の存在下にL-乳酸から直接液相重縮合で合成した低分子量の乳酸オリゴマー(分子量数千〜数万)をペレット化し、得られたペレットに予め結晶化を施した後に、不活性ガスの流通下、常圧で固相重縮合を行い高分子量化する。液相重縮合での所要分子量が低いこと、溶媒を使用することなく高分子量化すること、また主成分の蒸発操作が不要であることから、溶液重合法よりもコンパクト

図 12 固相重縮合法プロセス

な反応器構成で対応でき、製造に要するエネルギー消費が小さいこと等の特徴がある。飲料ボトル用途の PET (ポリエチレンテレフタレート) で広く採用されている方法とよく似たシンプルな製法であり、汎用樹脂と同等レベルの大規模生産への途を拓くものである。

重合法の違いによる製品の基礎物性、機械物性、フィルム物性などの比較を行っている。直接重合法によっても、基本的にはラクタイド法で生産されるのと同様のポリ乳酸が得られることがわかっている。この固相重合法で製造されるポリ乳酸は、ポリマー融点以下の比較的低い温度の下、固体状態で重合が進行することに起因して、解重合反応やラセミ化が抑制され、高い光学純度と結晶化度を示し、これらの制御が可能である。

6.3 その他の重合法

室温に近い温度で高分子量ポリ乳酸を合成する方法が報告されている¹⁹⁾。この方法では、L-乳酸オリゴマーに、ハロイミニウム化合物を反応させて酸ハロゲン化物を合成し、これと塩基との反応により高分子量化するので、極めて高い反応速度を低い反応温度で実現するとされている。色相に優れたポリ乳酸が得られることが特

徴である。

7. 行政・法規制の動向

2002 年 12 月、BT 戦略会議大綱(図 13)とバイオマス・ニッポン総合戦略(図 14)が、相次いで閣議決定された。両者ともに、内閣ならびに経済産業省、農林水産省、環境省、国土交通省、文部科学省が中心となって策定したものである。バイオテクノロジーならびにバイオマスを利活用することによって実現される我が国のあるべき姿と、実現のための戦略を明らかにしている。これらの中で、バイオマスを原料とする材料、ならびに生分解性を有する材料の開発・普及の重要性が強調されている。バイオマスを原料として化学工業の基幹原料や誘導品を製造する拠点となるバイオコンビナートや、地域の特性を生かしながらバイオベース由来製品を利活用するバイオマスタウンなどのプロジェクトやモデル事業の検討が進められることになっている。

米国において、2002 年 10 月、バイオエネルギーとバイオベース製品の将来ビジョンが Biomass Technical Advisory Committee により発表された。この Committee は Biomass R&D Act 2000 に基づいて設立されている。この中で、汎用化学製品と材料に占めるバイオベース製品の割合が、2001 年の 4%(約 600 万トン)から増加し、2010 年に 12%、2020 年に 18%、2030 年に 25%になるという長期ゴールが示されている。また、2002 年に成立した Farm Bill 2002 において、バイオマス由来の製品を政府が優先的に調達することが明記されている。このような動きをエネルギー省や農務省が積極的に推進している。

ドイツにおいて、2000 年半ばから 2002 年末まで、生分解性プラスチック製の包装容器を実際の流通、小売で販売、使用するプロジェクトが実施された。使用後は消費者の協力により収集され、生ゴミと一緒にコンポスト処理するという、いわゆる資源循環型社会の実現を検証

図 13 BT 戦略会議大綱(2002 年 12 月 6 日閣議決定)の概要
—バイオベースポリマーとの関わり—

図 14 バイオマス・ニッポン戦略(2002年12月27日閣議決定)の概要
—バイオベースポリマーとの関わり—

する画期的なものであった。ドイツ農務省と参加企業が財政支援を行い、カッセル市で行われたのでカッセルプロジェクトと呼ばれている。現在、結果に関して総括が進められている。

アジア諸国においても、環境負荷を低減する廃棄物処理と資源節約の観点から、バイオベースポリマーや生分解性ポリマーの実用化を推進する行政の動きが始まっている。台湾ではレジ袋をはじめとして包装容器を生分解性のものに置きかえることが決定された。

8. ポリ乳酸の市場動向と課題

バイオベースポリマーの重要性について資源・環境の観点から述べてきた。バイオマスポリマーが産業として根付くためには、経済性についても Sustainable であること、つまり、原料・製品メーカー、ユーザー、消費者が経済的なメリットを得ることが求められる。

カーギル・ダウ社と三井化学は、ポリ乳酸の世界市場

の拡大を加速することを共通の目的として事業提携を行っている。カーギル・ダウ社の世界最大ポリ乳酸 14 万トンプラントが稼動したことで機を一にして、三井化学は 2002 年 4 月からポリ乳酸(商品名: LACEA®)の本格販売を開始している。まず市場の立上げ・拡大を図り、2-3 年後には 1 万トン以上の事業を目指している。将来的にはコストダウン、市場ニーズに対応するための材料・加工技術ならびに樹脂段階からの改良により、汎用樹脂の一部を置き換えていく考えである。

ポリ乳酸の用途は、フィルム・シート、バンド、射出成形品などの包装容器分野、植生土壌・ネットなどの農業土木資材分野、コンポスト袋、カードなどから、自動車、パソコン、家電の部品・筐体や繊維製品(アパレル、家庭用品、布団の詰め綿、カーペットなど)へ展開している。ポリ乳酸が化石資源の節約や CO₂ の発生抑制に寄与する材料であることの市場の認知が急速に広がってきている。

図 15 ポリ乳酸市場拡大のための課題

産油国でない日本において石油化学産業が成立した背景には、石油を利用、応用する技術と市場があったことに加えて、石油を安定、安価、長期的に調達できる仕組みが整備されたからであろう。生物化学産業、バイオベースポリマー産業においても、技術は確立され市場が形成されつつある一方、原料であるバイオマスを安定、安価、長期的に調達できる仕組み作りが重要になる。そのためには、国内だけではなく、広くアジアなどの諸外国に原料を求める視点が必要であると考ええる。

すでに長年の歴史の中で最適化されている他の汎用樹脂と比較して、ポリ乳酸はまだ生まれたばかりの樹脂である。市場拡大のための大きな課題(図15)を、乳酸、ポリ乳酸に関係している様々なメーカーやユーザー、学会、行政と連携しながら、1つ1つ解決する必要がある。

Then I say the earth belongs to each ... generation during its course, fully and in its own right, no generation can contract debts greater than may be paid during the course of its own existence.

—Thomas Jefferson, September 6, 1789—

有機合成とバイオテクノロジーの融合によって、Sustainable Societyの実現が加速されるはずである。自らの世代が担えるよりも大きな負債を残さないという固い決意をもって、ポリ乳酸を通して揺籃期にあるバイオベースポリマー産業の拡大に取り組みたい。

(2003年2月3日受理)

文 献

- 1) 横山伸也, (独)産業技術総合研究所, 「バイオエネルギー最前線」, 森北出版(2001)
- 2) 土肥義治, 長野麻子, 川島信之, 化学経済, 8, 42 (2002)
- 3) P. R. Gruber, "Implications for R&D in the Chemical Sciences and Technology", National Academic Press, New York, 2001, Chapter 11
- 4) E. Vink, K. Rabago, D. Glassner, P. Gruber, (発表準備中, Polymer Degradation and Stability)
- 5) M. Patel, Utrecht Univ., International Symposium on Biological Polyesters, a Slide in Presentation, Munster / Germany (2002)
- 6) A. Aristidou, M. Penttila, Current Opinion in *Biotechnology*, 11, 187 (2000)
- 7) N. Kawashima, S. Ogawa, S. Obuchi, M. Matsuo, T. Yagi, "Biopolymers" ed. by A. Steinbuechel, Y. Doi, WILEY-VCH, Vol. 4, Section 9, p 251 (2001)
- 8) K. Jamshidi, R. C. Eberhart, S. H. Hyon, Y. Ikeda, *Polymer. Prepr.*, 28, 236 (1987)
- 9) M. Ajioka, K. Enomoto, K. Suzuki, A. Yamaguchi, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, 68, 2125 (1995)
- 10) M. Ajioka, *Petrotech*, 18, 202 (1995)
- 11) P. R. Gruber, J. J. Kolstad, E. S. Hall, R. S. Eichen Conn, C. M. Ryan, US Patent 5539081 (1996)
- 12) W. H. Carothers, F. J. van Natta, *J. Am. Chem. Soc.*, 55, 4714 (1933)
- 13) M. Ajioka, T. Kameoka, T. Kashima, Y. Yamaguchi, ANTEC '95, 1834 (1995)
- 14) M. Ajioka, K. Enomoto, K. Suzuki, Y. Yamaguchi, *J. Environmental Polymer Degradation*, 3, 225 (1995)
- 15) 木村良晴, 第45回高分子研究発表会, 要旨集C2-3, 神戸(1999)
- 16) J. Otera, *Chem. Lett.*, 1996, 225
- 17) S. Ogawa, S. Hiraoka, S. Obuchi, M. Ajioka, N. Kawashima, "9th BEDPS Meeting", Abstract, Hawaii (1999)
- 18) 小川伸二, 小瀧泰, 大淵省二, 及川英明, 高分子学会予稿集, 50, 3845 (2001)
- 19) S. Tamai, Y. Mori, K. Goto, K. Watanabe, O. Kohgo, K. Shimizu, T. Kataoka, T. Kuroki, W. Yamashita, H. Mizuta, T. Nagata, US Patent 5719256

PROFILE

川島信之 三井化学株式会社 機能樹脂事業
部門 LACEA(レイシア)事業室・室長補佐
〔経歴〕1979年3月大阪大学理学研究科有機
化学専攻、修士課程修了。1979年4月三井
化学中央研究所入社 アミノ酸の製造研究、
1983年5月研究出向 米国 City of Hope
National Medical Center 遺伝子の化学合成
研究、1985年10月ニューヨーク事務所勤
務、1990年8月ライフサイエンス開発部勤
務 アミノ酸誘導体、生分解性材料の開発、
1996年 LACEA 開発室にてポリ乳酸の開発、
2002年4月より、LACEA 事業室と改称、現
在に至る。〔専門〕バイオ関連分野の新製品
開発。〔連絡先〕Tel. [REDACTED], e-mail:
[REDACTED]