

平成 21 年度

**バイオマス資源の活用とバイオマスマテリアルの  
開発状況に関する実態調査**

報 告 書

平成 22 年 2 月

独立行政法人 産業技術総合研究所  
株式会社 テクノリサーチ研究所



## 目 次

1. 内外のバイオマス資源の種類、賦存量、国別分布	1
1.1 バイオマス資源の種類	1
1.1.1 『バイオマスハンドブック』におけるバイオマス資源の種類	1
(1) 基本説明	1
(2) 詳細説明	3
1.1.2 その他の分類例	6
1.2 バイオマス資源の賦存量・国別分布	7
1.2.1 世界の賦存量	7
(1) 木質系バイオマス	7
(2) 草本系バイオマス	7
(3) デンプン・糖生産型植物	9
(4) 油生産型植物	10
(5) 水生バイオマス	11
(6) 海産バイオマス	12
(7) 廃棄物—農業残さ、バガス	14
(8) 廃棄物—木質廃棄物	15
(9) 廃棄物—畜産廃棄物	15
(10) 廃棄物—汚泥（下水・し尿・産業廃棄物汚泥）	16
(11) 廃棄物—都市ごみ	16
(12) 廃棄物—黒液	17
1.2.2 国内の賦存量	18
(1) 木質系バイオマス	18
(2) 草本系バイオマス	20
(3) デンプン・糖生産型植物	21
(4) 廃棄物—木質廃棄物	23
(5) 廃棄物—畜産廃棄物	27
(6) 廃棄物—汚泥（下水・し尿・産業廃棄物汚泥）	28
(7) 廃棄物—都市ごみ	29
1.2.3 エネルギーポテンシャル	30
(1) 『バイオマスハンドブック』における資源量の推算	30
(2) その他の試算事例	36
2. バイオマス調達の際の環境影響と対応策	37
2.1 環境影響の内容	37
2.1.1 栽培型と副産物を含む廃棄物系の環境影響	37
2.1.2 エネルギー変換における環境安全性	37
2.2 バイオエネルギーの生産・植栽における環境安全性	37
2.2.1 プランテーション型バイオマス	38
(1) オイルパーム・プランテーションとインドネシア森林破壊	38
(2) ユーカリ植林と環境問題—ブラジル	39
2.2.2 栽培型バイオマス（草本系）	40
2.2.3 廃棄物系バイオマス	40
2.2.4 その他のバイオマス	40
2.3 グローバルな視点から見たバイオマス生産と環境	41
2.3.1 バイオマス生産と自然環境	41
(1) バイオマスの生産と降雨	41
(2) 温暖化によるバイオマス生産地の変動	42
2.3.2 バイオマス生産と窒素肥料	42
(1) 窒素肥料と環境	43

(2) 窒素肥料とエネルギー需要	44
2.4 エネルギー変換における環境安全性	44
2.4.1 残さの環境安全性	44
2.4.2 大気汚染に関わる環境安全性	46
2.4.3 二次エネルギーの環境安全性評価	48
2.4.4 環境負荷影響評価	48
2.5 食料生産との競合	49
2.6 森林生態系保全との調和	51
2.6.1 森林破壊の事例	51
2.6.2 生物多様性	51
2.6.3 社会的問題	52
(1) 土地をめぐる対立	52
(2) 労働問題	52
2.6.4 現地の住民の利益との共存	52
2.6.5 認証制度	53
2.7 バイオマス持続可能性認証制度	53
2.7.1 バイオ燃料持続可能性に係る背景	53
2.7.2 バイオ燃料持続可能性の検討状況	53
2.7.3 我が国の状況	55
3. バイオ燃料の市場・技術開発動向	57
3.1 バイオ燃料の概要	57
3.2 バイオエタノール	58
3.2.1 製造法	58
3.2.2 世界主要国・地域におけるバイオエタノール普及・導入状況	59
3.2.3 生産量と輸出入状況	59
3.2.4 原料種毎のエタノール収量	60
3.2.5 コスト	60
3.2.6 米国の状況	60
(1) 経緯	60
(2) 米国のバイオエタノール助成措置	61
(3) 連邦政府の政策	61
3.2.7 ブラジルの状況	62
(1) 今後の政策の展開方向	62
3.2.8 技術開発	62
3.3 BDF	62
3.3.1 BDF とは	62
3.3.2 世界主要国・地域におけるバイオディーゼル普及・導入状況	63
3.3.3 BDF 製造法	63
3.4 DME	64
3.4.1 DME とは	64
3.4.2 DME の燃料物性と利用	64
3.4.3 DME 合成技術	65
3.4.4 プロセスフロー	66
3.5 バイオガス	67
3.5.1 バイオガスとは	67
3.5.2 バイオガスの精製技術	68
3.5.3 バイオガスの用途	68
3.5.4 メタン発酵プロセス	69
3.5.5 欧州の状況	69
3.6 BTL	69
3.6.1 FT 合成反応	70

3.6.2 FT 合成反応における生成物分布	70
3.6.3 FT 合成プロセス	71
3.6.4 生成物の性状	72
3.6.5 ガソリンの直接合成	72
3.6.6 MTG プロセス	73
3.6.7 合成燃料油の経済性	73
3.6.8 バイオマスの利用	73
3.7 木質固形燃料	73
3.7.1 欧州での普及状況	73
3.7.2 木質ペレット	74
3.7.3 EU の発電量	74
3.7.4 熱の販売量	74
3.7.5 ドイツの状況	75
3.7.6 フランスの状況	75
3.7.7 フィンランドの状況	76
3.7.8 バイオマス熱産業	77
3.7.9 短期生育木の将来の可能性	78
4. 化学合成用原料	79
4.1 化学合成用原料の概要	79
4.1.1 バイオベースポリマーへのアプローチ	79
4.1.2 石油からバイオマスへの転換	81
4.1.3 エタノールとバイオプラスチック	82
4.1.4 バイオリファイナリーでのプラスチックの生産	82
4.2 基礎技術・素材	83
4.2.1 フェノール類からのポリマー	83
4.2.2 ポリ乳酸（ラクチド重合法）	84
4.2.3 重縮合型ポリ乳酸	89
4.2.4 酵素合成アミロース	93
4.2.5 パラミロン	95
4.2.6 セルロース系ナノコンポジット	97
4.2.7 コハク酸	99
4.2.8 キチン、キトサン	101
4.2.9 発酵乳酸	104
4.2.10 バイオプラスチックと自動車部品用	105
4.3 高機能化技術	106
4.3.1 ポリ乳酸—脂肪酸ポリエステル的一次構造と性能・機能の発現—	106
4.3.2 機能性エコマテリアルとしての多糖類のモダン活用	108
4.3.3 環境低負荷型触媒による合成とリサイクル技術	112
4.3.4 高性能ポリマーの創製	117
4.3.5 易リサイクル性高分子	121
4.3.6 高活性リパーゼによるポリ乳酸分解	124
4.4 応用分野	128
4.4.1 医療用バイオベースマテリアル	128
4.4.2 バイオマス繊維	133
4.4.3 自動車部品	137
4.4.4 光, 電子材料	139
4.4.5 塗料・インキ・接着バインダー（バイロエコール）	142
4.4.6 家電, 携帯電話	145
4.4.7 エレクトロニクス機器への応用	148
4.4.8 農業資材	150
4.5 海外の開発戦略	153

4.5.1 米国の開発戦略	153
(1) 植物・穀物由来の再生可能資源の技術ロードマップ 2020 (1998)	153
(2) 工業バイオ製品の現在と未来 (2003)	162
(3) バイオマス由来の最高付加価値化学品 (2004 年)	181
(4) バイオマスプログラム	209
(5) ゲノミクス GTL プログラム	211
(6) セルロース性エタノールの利用に向けての障壁の解決	214
4.5.2 EU の開発戦略	215
(1) 第 7 次研究開発フレームワーク計画 (FP7)	215
(2) 主な政策とバイオ戦略	215
5. バイオマス関連プロジェクトの概要	219
5.1 バイオマス関連プロジェクトの俯瞰	219
5.2 バイオマス関連研究テーマの概要	239
5.3 バイオマス関連プロジェクト予算の概要	263

# 1. 内外のバイオマス資源の種類、賦存量、国別分布

## 1.1 バイオマス資源の種類

バイオマス資源の種類について、ここでは先ず、網羅的かつ最新の認識が記述されていると思われる平成 21 年 12 月 25 日発行の『バイオマスハンドブック（第 2 版）』<sup>1</sup>から引用する。次に、その他の観点などから示されている分類例を挙げる。

### 1.1.1 『バイオマスハンドブック』におけるバイオマス資源の種類

#### (1) 基本説明

「バイオマス」の厳密な定義は確立しておらず、専門分野によっても異なる。一般的には、ある一定量集積した動植物を起源とする有機性資源を指すことが多く、多種多様なものが含まれる。分類についても確定したものはなく、植生などの生物学的観点から分類する方法、発生源や含水率など利用・用途の観点から分類する方法がある。

#### 【バイオマスとは】

「バイオマス：biomass=[bio]+[mass]」<sup>2</sup>は、元来は生態学の分野で生物量、もしくは生物現存量を表す用語である<sup>3</sup>。生態学の用語の範囲を超え、「エネルギー源としての生物資源」の意味をも含むようになったのは、石油ショック以後、代替エネルギーの推進が強く提唱されてからといわれる。バイオマスの定義については、「太陽エネルギーを蓄えた種々な生物体の総称」<sup>4</sup>や、「重量またはエネルギー量で示す生物体の量、あるいはエネルギーや工業原料などの資源として見た生物体」<sup>5</sup>などがあり、厳密な定義はされていない。エネルギー資源の観点からは、「ある一定量集積した動植物資源とこれを起源とする廃棄物の総称（ただし、化石資源を除く）」とすることが多い。したがって、農作物、木材、海藻などの従来型の農林水産資源のみならず、パルプスラッジ、黒液、アルコール発酵残さ（残渣）などの有機性産業廃棄物、ちゅうかい（厨芥）や紙くずなどの一般都市ごみ、下水汚泥など、多種多様にわたっている。ただし、国によっては都市廃棄物をバイオマスに分類したりしなかったりする場合があるので、統計データなどの読取りには注意が必要である<sup>6</sup>。

我が国において、平成 14 年 1 月 25 日付で「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法（通称：新エネ法）施行令」の一部が改正され、「バイオマス」が初めて新エネルギーとして認知された。改正政令において、バイオマスは「動植物に由来する有機物であってエネルギー源として利用することができるもの（原油、石油ガス、可燃性天然ガスおよび石炭ならびにこれらから製造される製品を除く）」とされている。図 1.1.1 に新エネ法におけるバイオマスの位置づけを示す。これまで再生資源の一部としてくくられていたバイオマスは独立した新エネルギー源となった。ただし、古紙、食品廃棄物や建築廃材、黒液のように再生資源ともバイオマスとも位置づけられるものがあり、厳密な境界線は引かれていない。以後、バイオマスエネルギーを導入する動きが精力的に進められ、各種政策があいついで発表、策定されている<sup>7</sup>。

<sup>1</sup> 日本エネルギー学会：『バイオマスハンドブック（第 2 版）』、オーム社（平成 21 年 12 月 25 日（第 1 版は平成 14 年 9 月 20 日））

<sup>2</sup> 沼田真編：『生態学辞典』、築地書店（1974）

<sup>3</sup> "biomass"という学術用語が初めて現れたのは、1934 年、Bogorov（ロシア）が海洋生物協会誌にプランクトンの季節ごとの変化の調査結果を報告した論文といわれている（横山伸也：『バイオエネルギー最前線—持続社会へむけて』、森北出版（2001）。オリジナルの論文は、B.G.Bogorov, J.Marine: Biological Association, Vol.XIX, p.585（1934）。プランクトンの量を"biomass"としている。

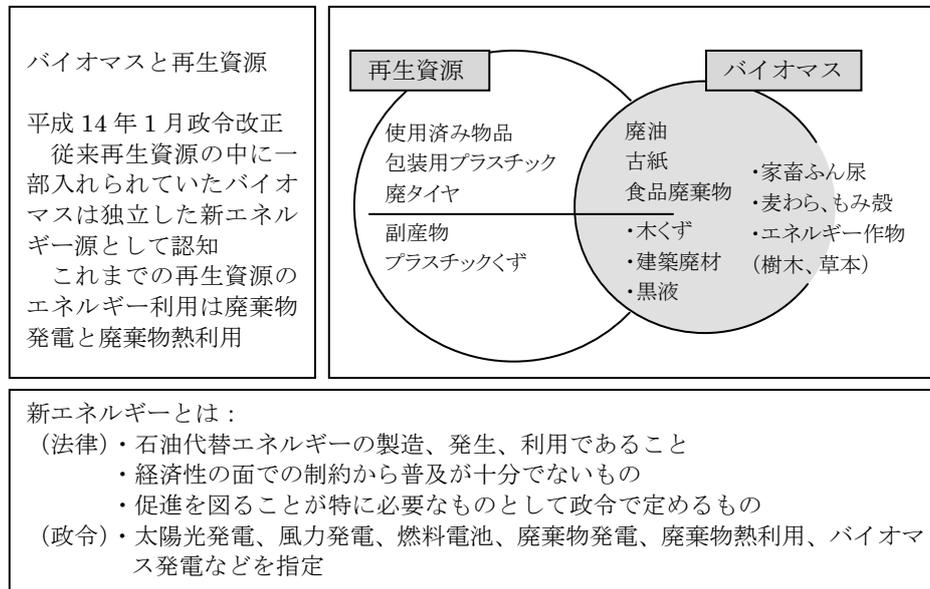
<sup>4</sup> 本多淳裕：『バイオマスエネルギー：生物系資源・廃棄物の有効利用』、省エネルギーセンター（1986）

<sup>5</sup> 山地憲治ほか：『バイオエネルギー』、ミオシン出版（2000）

<sup>6</sup> バイオマスを「生物に由来する」有機物とするなら、プラスチックを含む都市ごみをバイオマスに入れるかどうか、議論の分かれるところである。最近の EU の産業委員会では、バイオマスの定義をより厳密にし「微生物による生物分解可能な物質片を原料とするもの」と修正したとの報告がある。

<sup>7</sup> バイオマスハンドブックの付録 10 関連年表（p.507）。

バイオマスの種類は多岐にわたり、賦存量は膨大である。とはいえ、「恒常的に一定量供給できる」エネルギー資源として候補になるのは、「有機性廃棄物」と「エネルギー作物」である（「エネルギー作物」とはエネルギー製造を主目的に栽培される植物で、樹木などの木質系バイオマスや、サトウキビ、トウモロコシ、アブラナ、ミスキャンサスなどの草本系バイオマスを指す）。当面現実的なのは都市ごみ、農林廃棄物などの有機性廃棄物であろうが、将来的には「エネルギー作物」が大きな役割を果たすと考えられる。



(資料提供：経済産業省 資源エネルギー庁 新エネルギー対策課)

図 1.1.1 新エネ法におけるバイオマスの位置づけ

**【バイオエネルギーとは】**

バイオマスから得られたエネルギーについては、バイオエネルギー、バイオマスエネルギーなどの用語が、同じ意味で混在して使われていることが多い。国連食糧農業機関 (FAO) は「バイオマスエネルギー」に代わり「バイオエネルギー」を用語として用いている。世界的な潮流としては「バイオエネルギー」が用いられる傾向にある。

**【バイオエネルギーの特徴】**

19 世紀まではしん炭 (薪炭) としてエネルギーの主流であったものの、20 世紀には石炭、石油にとって代わられたバイオマスが、21 世紀になってエネルギー・環境問題軽減に貢献できると見直されるようになったのは、バイオマスの有する以下の特性による。

- 再生可能である (renewable) :  
光と水により再生される唯一の有機性資源。ただし、再生量 (成長量・固定量) を超えて利用すれば資源枯渇の問題が生じるため、利用した分は植林などで補填するのが前提である。
- 貯蔵性・代替性がある (storable and substitutive) :  
有機性資源であるので、原料として、あるいは生産物である液体・気体燃料として貯蔵が可能。液体・気体燃料は石油石炭を動力源とする既存のシステムに投入可能である。
- 莫大な賦存量を有する (abundant) :  
森林樹木の年間の成長量は膨大で、世界の一次エネルギーの 7~8 倍に相当するといわれる。実際の利用可能量はこのうちの 10%前後と推定されるが、エネルギー供給に貢献できる量である。バイオマスではストック量よりフロー量が意味をもつ。
- カーボンニュートラルである (carbon neutral) :  
バイオマス燃焼により放出される CO<sub>2</sub> は再生時に固定・吸収されるので、地球規模での CO<sub>2</sub> バランスを崩さない。近年の気候変動に関する政府間パネル (IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change)、気候変動に関する国際連合枠組条約締約国

会議（FCCC-COP : Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change）が提唱する温暖化軽減対策としてのバイオマスの大量導入は、これを根拠としている。

### 【バイオマスの分類】

分野により定義の異なるバイオマスに確立した分類法はなく、目的、用途に応じて分類法は変わってくる。自然界の存在状態から分類する生物学的分類と、資源としての利用、用途の観点から行う分類とに大別できよう。エネルギー（資源）として有効利用を図る場合は、後者の概念が大きな意味をもつ。

## （２）詳細説明

### （a）生物学的観点からの分類<sup>8</sup>

#### （1）生態学上の分類

図 1.1.2 に生態学でのバイオマスの分類を示す。ここでのバイオマスは生物そのものに限定され、地球生態系での循環サイクルにおける生息存在状況で分類されている。一般には生産者＝植物、大型消費者（摂食栄養者）＝動物、微細消費者（腐生栄養者）＝微生物と捉えることができる。エネルギー用途などの利用の観点は範疇にない。

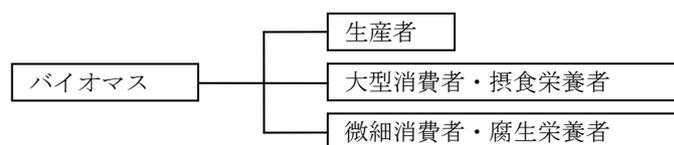


図 1.1.2 バイオマス資源の分類①

#### （2）植生による分類

生態学の分野では、動物、植物、微生物のいずれもバイオマスとして同等にみなされるが、資源有効利用の観点からは、植物（と微生物）に重点が置かれることが多い。これらバイオマスを植生や生物種により分類した例を、図 1.1.3 に示す。

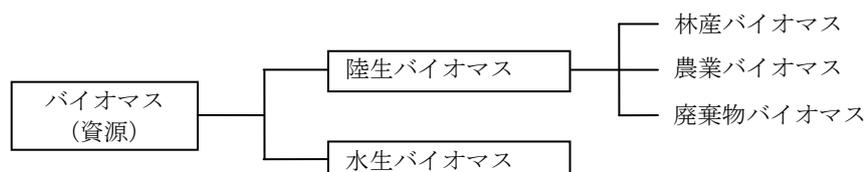


図 1.1.3 バイオマス資源の分類②

### （b）利用、用途による分類

#### （1）生態学上の分類

バイオマスを生産系と未利用資源に大きく分け、生産系については一部植生の観点に立って細かく分類したものを、図 1.1.4 に掲げる。同図の分類は、農林水産資源の従来型の利用とそこから排出される廃棄物に限定されているが、将来のエネルギー生産を主目的としたプランテーションバイオマスも範疇に入れた分類法を図 1.1.5 に掲げる。発生源による分類は、コストなどに影響するため、バイオマス利用システム構築に重要となる。図 1.1.5 において、エネルギープラン

<sup>8</sup> 平成 10 年度調査報告書「バイオマス資源を原料とするエネルギー変換技術に関する調査」（1999、NEDO-GET-9815）：オリジナルは下記。

- ・E.P.Odem 著、三島次郎訳：生態学の基礎第 3 版（上）
- ・山澤新吾編：バイオマスエネルギー（1982）
- ・新エネルギー財団：三菱総研報告書

テーションなどでバイオマスを目的として生産する場合は、生産にかかった費用をバイオマスの利用によって回収できなければ経済的に自立したプロセスを構築できない。このため、製品バイオマスのコストは高くなる傾向にある。一方で、副産物や廃棄物として得られるバイオマスは、すでに経済的に成立しているプロセスの中で発生するので、安価に、場合によっては逆に処理料金を得て（ネガティブコスト＝逆有償で）入手することができる。

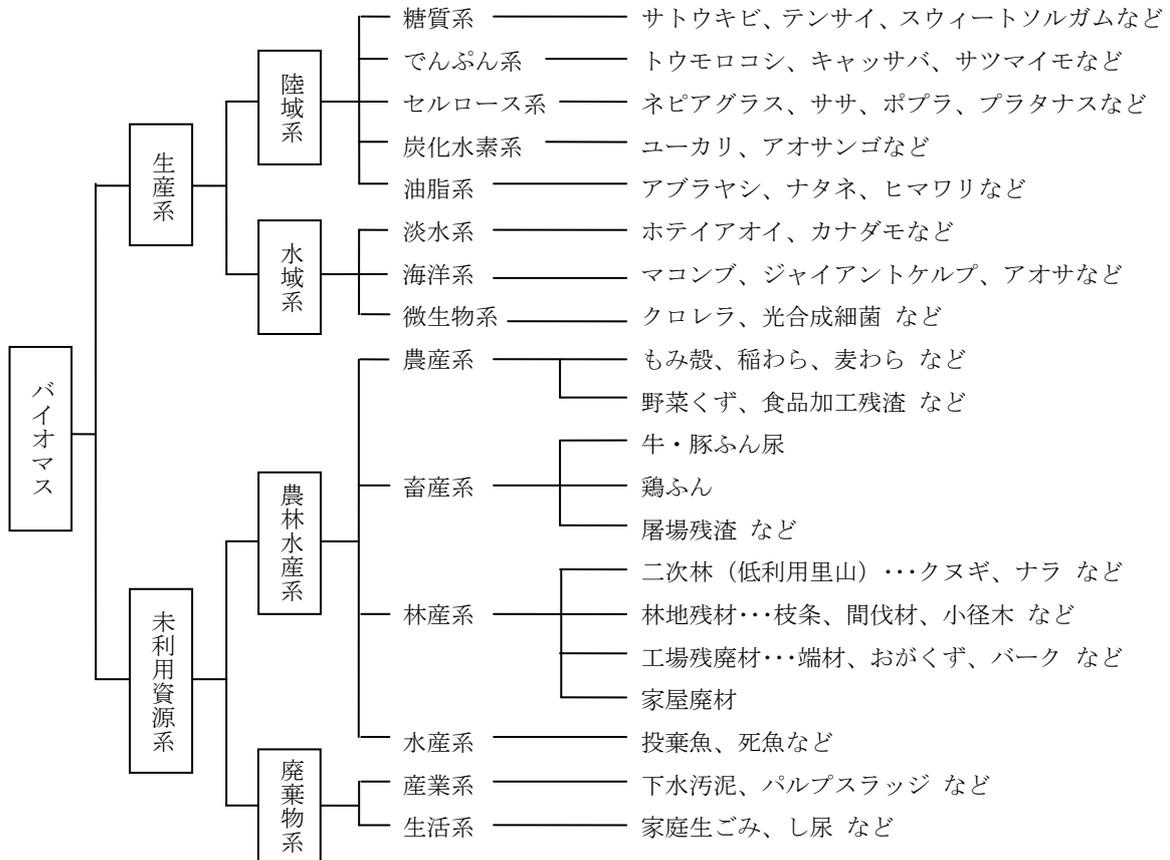


図 1.1.4 バイオマス資源の分類③

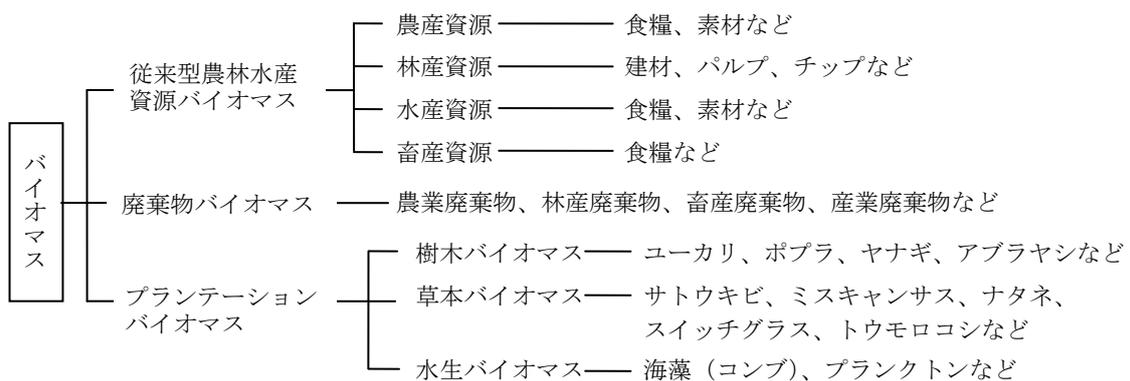


図 1.1.5 バイオマス資源の分類④

## (2) 含水率による分類

バイオマスの利用、特にエネルギーへの利用については、含水率は大きな因子となる。

### 【含水率の定義】

含水率は分野によって定義が異なることがあるので、含水率の表示には注意を要する。エネルギー分野では含水率は以下のように定義されることが多い。

$$\text{含水率} = \frac{\text{水分重量}}{\text{総重量}} \quad [\text{kg-H}_2\text{O/kg-wet}]$$

$$\text{総重量} = \text{バイオマス重量} + \text{水分重量}$$

この場合は含水率は定義上、100%を超えることはない。

一方、森林、生態分野では含水率を以下のように定義することが多い。

$$\text{含水率} = \frac{\text{水分量}}{\text{乾燥重量}} \quad [\text{kg-H}_2\text{O/ kg-dry}]$$

バイオマスはセルロース、リグニン、タンパク質などからなる高分子有機化合物であるが、生物に由来するというその特性から含水率が高いものが多い。図 1.1.6 に各種バイオマスの含水率と有効発熱量の関係を示す<sup>10</sup>。乾木や古紙のように含水率が 20%前後のものから、微細藻類、発酵残さ、生汚泥のように含水率が 95%を超えるものまで多様である。エネルギー変換する場合は、含水状態に応じたプロセスを選択する必要がある<sup>11</sup>。

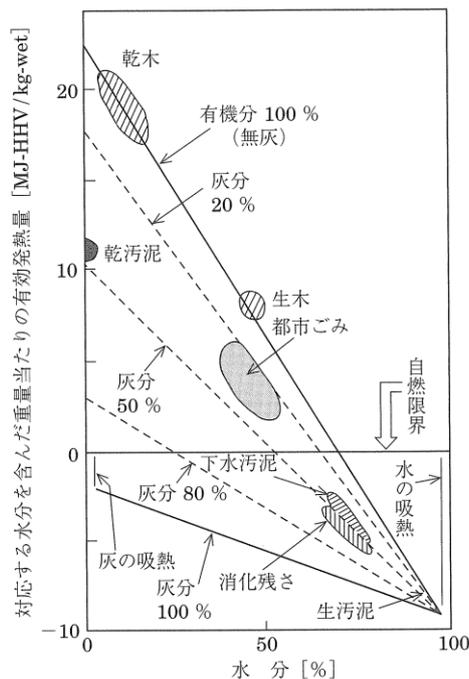


図 1.1.6 バイオマスの有効発熱量の水分・灰分依存性

<sup>9</sup> 本ハンドブックにおいては、原則として、総重量に占める水分量を含水率としたものを用いている。

<sup>10</sup> エネルギー・資源学会編：エネルギー・資源ハンドブック、オーム社（1997）。オリジナルは、佐野寛：高水分燃料の燃焼、RC-67 連続燃焼装置の高効率低公害設計研究分科会報告書（II）、機械学会（1986）。

<sup>11</sup> 有効発熱量を含めた含水率とエネルギー利用との関係については、本ハンドブックの 4 章（p.17）参照。

### 1.1.2 その他の分類例

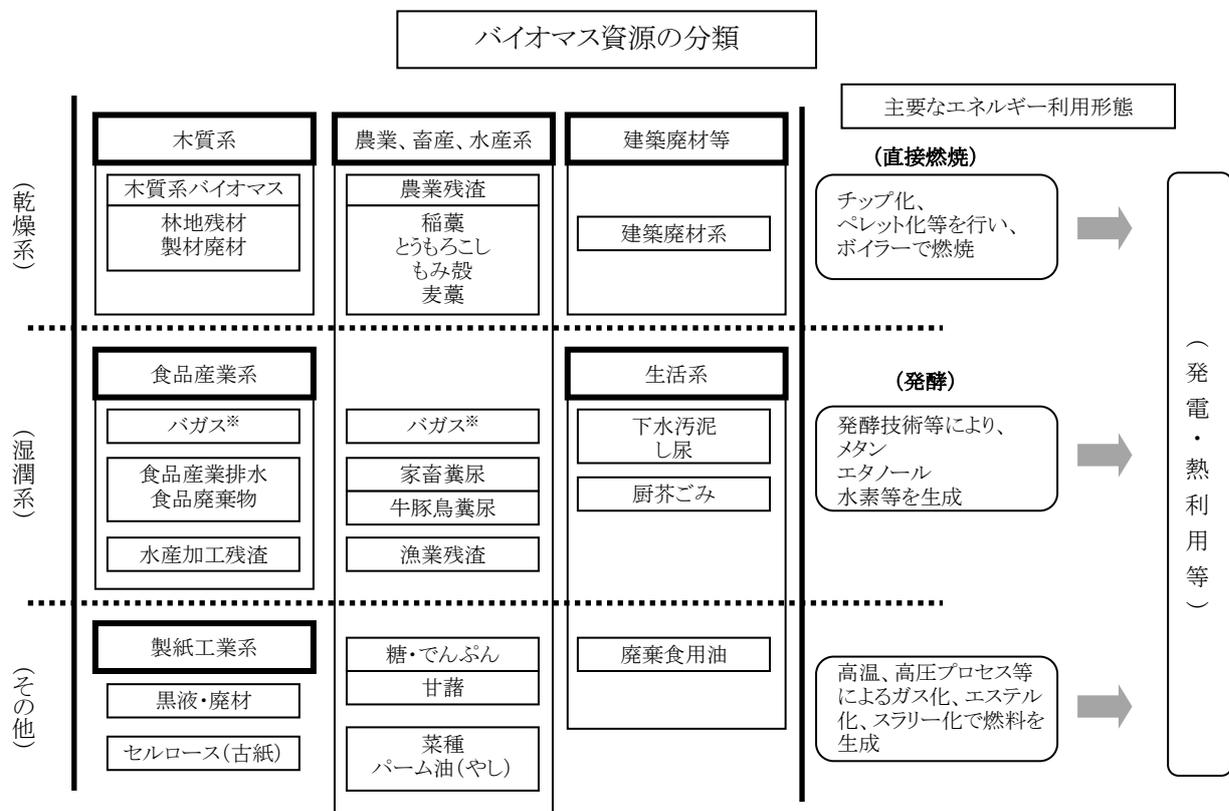
資源エネルギー庁が『エネルギー白書 2007 年版』において示しているバイオマス資源の分類を図 1.1.7 に示す<sup>12</sup>。白書では同図に関し、

「バイオマスエネルギー資源は、原料面から廃棄物系と植物（栽培作物）系とに分類され、利用方法には、大きく分けて直接燃焼、CH<sub>4</sub>（メタン）発酵などの生物化学的変換、ガス化や炭化などの熱化学的変換による燃料化などがある。」

と説明している。また、同図を引用している国立環境研究所の環境研究技術ポータルサイト（環境技術解説「バイオマス発電」のページ）では、

「バイオマス資源はその形態により、乾燥（ドライ）系バイオマス、湿潤（ウェット）系バイオマス、及びその他に分類される。乾燥系バイオマスは、水分をあまり含まず、乾燥しているバイオマスであり、林地残材や製材廃材等の木質系バイオマス、及び、稲わらやとうもろこし等の農業系バイオマスが含まれる。湿潤系バイオマスは、水分を多く含んでいるバイオマスであり、畜産からのし尿系バイオマスや水産系の残さ（魚肉等）、食品産業排水、食品廃棄物等の食品産業系バイオマス、下水汚泥、し尿や厨芥ごみ等の生活系バイオマスなどが含まれる。その他に、黒液・廃材等の製紙工場系バイオマスや、廃食用油等がある。」

としている。



注) バガス：サトウキビから砂糖を抽出した後に残る絞りかす

図 1.1.7 バイオマス資源の分類及び主要なエネルギー利用形態

<sup>12</sup> 経済産業省 資源エネルギー庁「エネルギー白書 2007 年版」、  
<http://www.enecho.meti.go.jp/topics/hakusho/2007energyhtml/html/2-1-3-5.html>  
 国立環境研究所 HP、<http://ecotech.nies.go.jp/library/description/detail.php?id=2>  
 (環境研究技術ポータルサイト/環境技術ライブラリ/地球環境/環境技術解説/バイオマス発電)

また、平成 18 年 3 月 31 日に閣議決定された『バイオマス・ニッポン総合戦略』<sup>13</sup>では、以上までの種類に加えて「新作物」として海洋植物や遺伝子組換え植物を挙げ、

「現時点から半世紀後、すなわち 2050 年頃には、海洋植物や遺伝子組換え植物といった新作物による効率的なバイオマスの生産の可能性を含め、飛躍的に生産量が増大していることが期待される。」

としている。

他に、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）がインターネット上で試験的に提供している各種バイオマスの資源量等に関するデータ（NEDO-GIS データベース）<sup>14</sup>では、バイオマスを表 1.1.1 のように分類している。

表 1.1.1 NEDO-GIS データベースでのバイオマスの分類

項目	種別		
木質	林地残材	製材所廃材	果樹剪定枝
	公園剪定枝	建築解体廃材	新・増築廃材
農業	稲わら	籾殻	麦わら
畜産	乳用牛	肉用牛	養豚
	採卵鶏	ブロイラー鶏	
食品	生活系厨芥類	事業系厨芥類	動植物性残渣
汚泥	下水汚泥		

## 1.2 バイオマス資源の賦存量・国別分布

### 1.2.1 世界の賦存量

#### （1）木質系バイオマス

森林から生産されるバイオマス原料には、除伐材や林地残材のように木材生産をする際の副生産物として得られるものと、未利用の低質広葉樹林やササのようにバイオマス原料そのものを主産物とするものがある。

FAO の 2005 年の森林統計<sup>15</sup>によると、世界の森林面積は 3,950 万 km<sup>2</sup>、一人当たりの森林面積は 6,000m<sup>2</sup> である。熱帯地域では毎年 12 万 9,000km<sup>2</sup> ずつ減少しているものの温帯地域では人工林の拡大により森林面積が増加しつつあり、世界全体で見れば森林の減少面積は 7 万 3,000km<sup>2</sup> である。これとは別に、劣化したり乾燥地帯で疎林状態になったりした林地が 2005 年時点では 1,370 万 km<sup>2</sup> あり、これらの劣化した林を何らかの形で森林に回復させることは、地球環境保全上の重要課題になっている。幹材積に限った木質系バイオマス量は 434km<sup>3</sup> あり、その 30% は南米に存在している。世界平均では幹だけで、1 万 1,000m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup> のバイオマス量が存在している。毎年の植林面積は世界全体では 4 万 5,000km<sup>2</sup> であり、1990 年の統計数値 3 万 km<sup>2</sup> に比べ植林の速度は着実に増加し、世界の人工林面積総計は 187 万 km<sup>2</sup> である<sup>16</sup>。このうち、早生樹種であるユーカリは 10% (17 万 8,600km<sup>2</sup>)、アカシアは 5% (8 万 3,200km<sup>2</sup>) を占めている。主な早生樹種の幹材積成長量は *Eucalyptus grandis* で 15~50m<sup>3</sup>/年、*Acacia mearnsii* が 14~25m<sup>3</sup>/年、*Pinus radiata* が 12~35m<sup>3</sup>/年、*Pinus caribaea* が 20~50m<sup>3</sup>/年と日本の人工林の 3~10 倍近く成長が速い。

#### （2）草本系バイオマス

「草本系」とは、林地に生育する樹木を指す「木質系」に対応することばで、草地に生育するイネ科、マメ科植物などを指す。この中で飼料価値の高いイネ科やマメ科植物は牧草として利用されているが、未利用の野草も多い。また稲、麦、トウモロコシ、ソルガムなどの作物もイネ科

<sup>13</sup> 農林水産省：バイオマス・ニッポン、<http://www.maff.go.jp/j/biomass/index.html>

『バイオマス・ニッポン総合戦略』（[http://www.maff.go.jp/j/biomass/pdf/h18\\_senryaku.pdf](http://www.maff.go.jp/j/biomass/pdf/h18_senryaku.pdf)）

<sup>14</sup> NEDO：バイオマス賦存量・利用可能量の推計 GIS データベース、<http://www.nedo.go.jp/library/shiryoku.html>

<sup>15</sup> FAO: Global Forest Resources Assessment 2005, FAO: Forestry paper, No.147 (2006)

<sup>16</sup> FAO: Forest Resources Assessment 1990, No.7 (1995)

植物であり、広義にはこれを草本系バイオマスを含む。稲わらなどの作物残さ（残渣）は、成分的にもバイオマス燃料生産の特長から見ても草本系バイオマスといえる。

草本性のイネ科やマメ科植物が生育する全面積を推定することは難しい。その理由は、草地、林地あるいは砂漠などの生態型が占める面積は推定できても、樹林にも下草が存在し、砂漠にも降雨時のみに草本が生育するためである。また、草本は、都市部でも道路際などのあらゆる場所に雑草として存在する。このことを前提としたうえで、古典的な論文ではあるが今日でもよく引用される Whittaker and Likens (1975) が記述した各エコシステム（生態型）の面積、純一次生産量（年間乾物収量）および現存バイオマス量<sup>17</sup>を表 1.2.1 に示す。湿潤な草地も存在するが、一般に、草地は林地よりも乾燥した地域に成立する。この表で草本はサバンナ、温帯草地、ツンドラ・高緯度草地および砂漠・半砂漠低木林に生育し、これを合計すると 5,000 万 km<sup>2</sup> となり、森林を合計した 5,700 万 km<sup>2</sup> に近い値となる。しかし、草地面積はツンドラや高山を除いた陸地面積の約 4 分の 1、すなわち、3,750 万 km<sup>2</sup> というのが通説である。

これらのエコシステムに存在する現存バイオマス量は全地球で 1 兆 8,410 億 t と推定され、大陸がこの 99.8% の 1 兆 8,370 億 t、森林全体が大陸全体の 92.5% であり、現存バイオマスのほとんどは森林資源である。また、草地全体の現存バイオマス量はそれほど大きくなく、1,000 億 t 以下である。

また、表 1.2.1 の年間純一次生産量（乾燥量）を見ると、熱帯多雨林の平均が 2.2kg/m<sup>2</sup> とエコシステムの中で最も高く、サバンナは 0.9kg/m<sup>2</sup> と熱帯雨林の半分以下となっている。しかし、植物内部の炭水化物の転流や地下部のバイオマスを考慮した新しいバイオマス調査手法によって、熱帯草地の純バイオマス生産量は熱帯雨林と匹敵するほど高いことが明らかにされた。すなわち、熱帯林が固定する二酸化炭素量は全地球の 19% であるが、熱帯草地は約 26% にのぼると試算されている<sup>18</sup>。このことは、大気中二酸化炭素濃度の低減に関して、熱帯草地は熱帯林に勝るとも劣らない重要な役割を果たしていることを示唆している。

表 1.2.1 エコシステム別の年間バイオマス乾物生産量

エコシステム型	面積 [10 <sup>6</sup> km <sup>2</sup> ]	純一次生産量		現存バイオマス	
		平均 [kg/(m <sup>2</sup> ・年)]	地球全体 [10 <sup>9</sup> t/年]	平均 [kg/m <sup>2</sup> ]	地球全体 [10 <sup>9</sup> t]
熱帯多雨林	17.0	2.20	37.4	45	765
熱帯季節林	7.5	1.60	12.0	35	260
温帯常緑林	5.0	1.30	6.5	35	175
温帯落葉樹林	7.0	1.20	8.4	30	210
亜寒帯林	12.0	0.80	9.6	20	240
疎林・低木林	8.5	0.70	6.0	6	50
森林小計	57.0		79.9		1,700
サバンナ	15.0	0.90	13.5	4	60
温帯草地	9.0	0.60	5.4	1.6	14
ツンドラ・高緯度草地	8.0	0.14	1.1	0.6	5
砂漠・半砂漠低木林	18.0	0.09	1.6	0.7	13
極砂漠(岩・砂・氷)	24.0	0.003	0.07	0.02	0.5
耕地	14.0	0.65	9.1	1	14
沼地・沼沢地	2.0	3.00	6.0	15	30
湖沼・河川	2.0	0.40	0.8	0.02	0.05
大陸合計	149	0.782	117.5	12.2	1,837
海洋合計	361	0.155	55.0	0.001	3.9
全地球	510	0.336	172.5	3.6	1,841

(Whittaker and Linkens<sup>19</sup>より抜粋)

<sup>17</sup> 勝場善之助ほか：スーダン型ソルガムの花粉親スーダングラス系統'2098-2-4-4'の特性について、広島農技セ研報、Vol.66、pp.15-23 (1998)

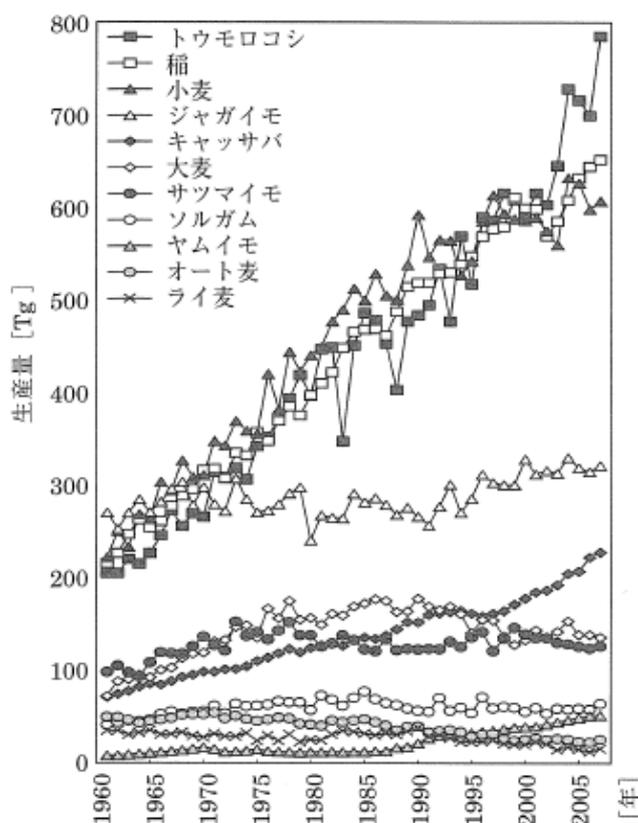
<sup>18</sup> W.W.Hanna, et al.: Yield, quality, and breeding behavior of pearl millet x napiergrass inter-specific hybrids. Agron.J., Vol.72, PP.358-360 (1980)

<sup>19</sup> R.H.Whittaker, et al.: The biosphere and man, H.Lieth et al. (eds.): Primary productivity of the biosphere, pp.305-328, Springer-Verlag, NewYork (1975)

### (3) デンプン・糖生産型植物

デンプン・糖を生産する植物は多種あるが、バイオマス資源として活用するためには、デンプンやショ糖などを発酵原料としてエタノールなどに変換する必要がある。一方、デンプンやショ糖の絞りかすなどの廃棄物には、セルロース、ヘミセルロースなどの繊維性の糖質が含まれている。しかし、繊維性糖質の加水分解は難しく、酸加水分解により生成するグルコースをエタノール発酵させて利用する以外は、直接燃焼またはメタノール変換する場合が多い。

FAOの統計からとった、デンプン生産型バイオマスとして重要な作目の生産量を図 1.2.1 に示す<sup>20</sup>。品種改良、栽培技術進歩による単位収量の増加により、トウモロコシ、小麦、稲の生産量は年々増加している。2000年当初、これら生産の技術的進歩はほぼ限界に近づき、生産量は増えないとの見方が強かったが、いずれも徐々に増加し、特にトウモロコシの生産量増加は顕著である。また、キャッサバの生産量が着実に増大している点も注目される。今後、バイオマス利用を推進するにあたり、これら植物の生産量をさらに増加させるためには、遺伝子組換え技術等により耐寒性、耐乾性、耐塩性などを植物に付与し、栽培面積を拡大する必要があると見られる。

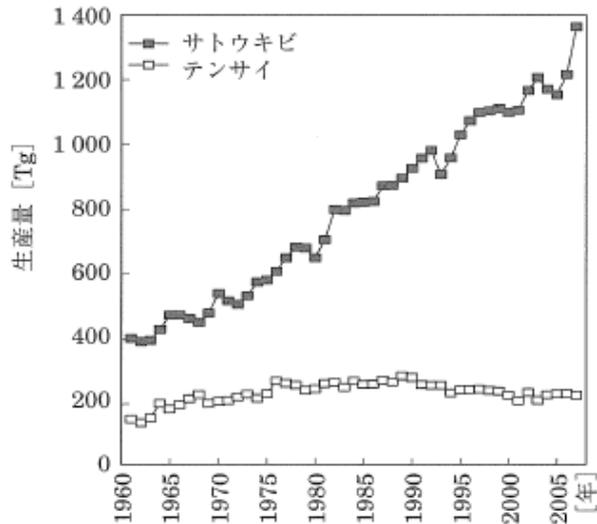


(穀類生産量は穀粒当たり重量、1Tg=0.01億t)

図 1.2.1 世界のデンプン生産型植物生産量

世界における砂糖生産型植物の生産量 (FAO 統計) を図 1.2.2 に示す。テンサイの生産量は約 2 億 t でほぼ一定であるが、砂糖生産型植物の主流であるサトウキビの生産量は年々増加傾向にあり、16 億 t に達している。

<sup>20</sup> FAO 統計、<http://www.fao.org> (2009)



(収穫物重量、1Tg=100万t)

図 1.2.2 世界の砂糖生産型植物生産量

デンプン・砂糖生産型植物の生産量（2008年）の総計は、約48億t（図1.2.1中の穀粒およびイモ総重量：約30億t、図1.2.2の収穫物総重量：約18億t）で、世界人口は約68億人（2009年）に達している。一方、世界の平均栄養摂取量は11.75kJ/(人・日)（2,808kcal/(人・日)）（2003）であるが、先進国（13.94kJ/(人・日)）と発展途上国（11.17kJ/(人・日)）とで大きな差があり、事実、世界ではアジア、アフリカにおける人口爆発地域を中心に、8億人以上が飢餓に苦しんでいる。よって今後さらなる世界の人口増加に鑑みると、食用植物を安易に資源作物に転用することはできない。近年も、バイオマスエタノール生産が注目されたため、食糧用の穀物価格が高騰する問題があった。したがって、技術開発により単位収量、栽培面積を増大させ、食料資源を確保しつつ、これとは別に、デンプン・砂糖生産型植物のバイオマス資源としての栽培を推進し、抽出残さ廃棄物等の変換技術を開発することが重要である。

#### (4) 油生産型植物

アブラヤシ（その果実からパーム油がさく油（搾油）される）、アブラナ（その種子が菜種で、菜種油がさく油される）などの油生産型植物から採取される油脂は揚げ油、マーガリン、ビスケットなどの食品分野で主に使用されているが、オレオケミカルなどの工業原料としても使用されている。また近年では、石油、石炭などの化石燃料の燃焼による大気中のCO<sub>2</sub>濃度上昇がもたらす地球温暖化を防止する観点から、バイオディーゼル（軽油代替燃料）原料としての油脂の需要が欧州を中心に急増している。

世界の主な油生産型植物の油糧種子・果実収量と油脂収量を表1.2.2にまとめた<sup>21</sup>。

表 1.2.2 主な油生産型植物の生産性

植物名(油脂名)	種子・果実収量[kg/m <sup>2</sup> ]	平均油分[%]	油脂収量[kg/m <sup>2</sup> ]
大豆(大豆油)	0.18~0.23	17	0.03~0.04
アブラヤシ(パーム油)	2 (マレーシア平均値)	20	0.4
アブラナ(菜種油)	0.14~0.25	35	0.05~0.09
ひまわり(ひまわり油)	0.14~0.23	35	0.05~0.08

1kg/m<sup>2</sup> = 10t/ha

世界の四大油生産型植物は油脂生産量から見てアブラヤシ、アブラナ、大豆、ヒマワリであるが、なかでもアブラヤシは単位面積当たりの生産性が油生産型植物の中では最も高く、マレーシ

<sup>21</sup> ・今井貴士、八木隆：新・油脂の特性と応用-ヒマワリ油（その1）、油脂、Vol.53、NO.4、p.40（2000）  
 ・伊吹昌久：新・油脂の特性と応用-パーム油（その1）、油脂、Vol.52、NO.2、p.57（1999）  
 ・山下道大、小山文裕：新・油脂の特性と応用-大豆油（その3）、油脂、Vol.50、NO.5、p.41（1997）

ア、インドネシアを中心に近年、栽培量が急速に増加し、将来のバイオマス資源として有望視されている。

油生産型植物の生産量は、収穫される油糧種子や果実の量、および油脂の生産量で見ることができる<sup>22</sup>。

#### ○油糧種子および果実の生産量

世界の油糧種子の生産量（2005/06 作物年度）は種としての湿重量で菜種 4,800 万 t、大豆 2 億 2,000 万 t、ヒマワリ 3,000 万 t、綿実 4,300 万 t である。また、アブラヤシ果実の生産量はパーム油の生産量とアブラヤシ果実中の油含有量から計算すると、およそ 1 億 8,000 万 t と推定される。2001～2006 年の 5 年間について見ると、油糧種子のうち菜種、大豆、ヒマワリ、綿実の生産量の伸びは 25～29% であるが、パーム果実の生産量は 48% と大きく伸びている。

#### ○油脂の生産量

表 1.2.3 に世界の油脂生産量の推移を示す。世界の油脂総生産量は 2005/06 作物年度で約 1 億 2,000 万 t であり、内訳は大豆油が 3,500 万 t (28.2%)、パーム油 3,600 万 t (29.1%)、菜種油 1,800 万 t (14.7%)、ヒマワリ油 1,100 万 t (8.9%) となっている。過去 5 年間での油脂生産量全体の伸びは約 30% である。また、品種別に見るとパーム油が 52% と大きく伸びており、菜種油が 30%、大豆油が 29%、ヒマワリ油が 27% の伸びとなっている。

表 1.2.3 世界の油脂生産量

[単位：100 万 t]

作物年度	2000/01	2001/02	2002/03	2003/04	2004/05	2005/06	増減対 2000/01
大豆油	27.09	29.43	30.97	30.86	32.66	34.92	+29%
パーム油	23.77	25.02	27.75	29.88	33.33	36.02	+52%
菜種油	14.03	13.47	12.42	14.38	15.73	18.18	+30%
ひまわり油	8.66	7.41	8.66	9.60	9.40	10.99	+27%
落花生油	4.94	5.33	4.47	4.84	4.48	4.25	-14%
綿実油	3.92	4.29	3.98	4.19	5.00	4.88	+24%
その他	13.01	12.89	13.05	13.73	14.41	14.73	+13%
世界合計	95.42	97.84	101.30	107.47	115.01	123.97	+30%

油生産型植物の現在の資源量は、種子・果実を含め概略、年間 3 億 7,000 万 t (湿重量)、これにアブラヤシの木の伐採から生じる幹、枝の量 (乾重量としておよそ 1 億 8,000 万 t) を加えると、総計 5 億 5,000 万 t と推定される。また、上記の種子や果実から生産される油脂の量は約 1 億 2,000 万 t である。

### (5) 水生バイオマス

水生バイオマスは、湖沼、河川、ダムなどの淡水・汽水域で水生生物が生産する有機物のうち、人が利用対象と考えるもので、天然のものと人工養殖・栽培のものがある。

陸上のバイオマスは種子植物がほとんどであるが、水生バイオマスは種子植物 (水生植物) に加えて単細胞や多細胞の藻類が含まれている。水生植物は古くから食用を始めとして人間生活のさまざまな部分で利用されてきた。多細胞藻類 (ノリなど) は食用として古くから利用され、一方、単細胞藻類の多くは肉眼では見えない微小な大きさのために、利用されるようになったのは比較的最近で、藻体全部を乾燥して健康食品としたり、藻体から色素類やビタミン類などを抽出して利用している。エネルギーなど、その他の利用はこれからである。注目される水生バイオマスは、水生植物の抽水植物や浮遊植物 (水草) で、前者にはヨシ、イネ、イグサ、ジュンサイ、ハスなど、後者にはホテイアオイやウキクサなどが含まれる。藻類では、多細胞のノリ、単細胞のスピリルナ、ドナリエラ、クロレラなどがある。

ホテイアオイやウキクサの世界の資源量ははっきりしていない<sup>23</sup>。ホテイアオイは水域の富栄養化の進行にともなって低緯度域を中心に各地で大繁殖を遂げ、特にアフリカでは大河をせき止

<sup>22</sup> 「植物油の生産から消費まで」 社団法人日本植物油協会ホームページ、  
[http://www.oil.or.jp/seisan/seisan01\\_00.html](http://www.oil.or.jp/seisan/seisan01_00.html)

めたりしていて対策に苦慮しているが、まだ収穫・処理・保存・供給などの仕組みがなく、バイオマスの本格的な利用には至っていない。バイオマスの有効利用が急がれる。稲わらやヨシなどがバイオエタノールの原料として使えるようになれば、それらに大きな資源価値が生まれるであろう。また、微細藻類は今後も利用の中心はタンクやチャンネルなどの人工環境下での培養と考えられる。したがって、資源量は必要量によって決まる。

## (6) 海産バイオマス

海産バイオマスは、海洋で水生生物が生産する有機物のうち、人が利用対象と考えるもので、大部分が天然産でごく一部が人工養殖である。

陸上のバイオマスは種子植物がほとんどであるが、海産バイオマスは種子植物（海草類）に加えて海藻類や微細藻類が含まれている。海草類のバイオマスの直接利用は極めて限られている。海藻類は食用や肥料として古くから利用されているが、20世紀には海藻類特有の多糖類などが抽出利用されている。一方、微細藻類は健康食品や色素類・ビタミン類などが抽出利用されたり、海産魚の稚魚の餌になるワムシの飼育用の餌として利用されている。エネルギーなど、その他の利用はこれからである。注目される海産バイオマスは、海草類のアマモ、海藻類のジャイアントケルプ、コンブ、ワカメ、ノリ、マクサ、アオサ、ホンダワラ、微細藻類では海産順化したスピルリナやドナリエラ、あるいは海産クロレラや珪藻類などである。

天然のアマモ場の現存量は季節変動が大きいが、これまでの報告を見ると世界的には乾燥量で0.1~0.5kg/m<sup>2</sup>程度が多い<sup>24</sup>。密生地ではしばしば2kg/m<sup>2</sup>に達する。しかし、日本列島では浅海域が埋め立てによって広範囲にわたって消失し、それにもなつてアマモの生育場所である浅海泥・砂域も失われた。また、以前はアマモが自生していた浅海域からアマモが消失してしまった所も日本各地に見られる。1978~91年までの13年間で日本列島周辺のアマモ場の20.77km<sup>2</sup>が消滅し、残りは494.64km<sup>2</sup>となった。平均密度を0.3kg/m<sup>2</sup>とすると日本周辺のアマモの量は約15万tとなり、含水量を90%と仮定すると、約150万tになる。世界全体では、数千万t以上に上ると予想される。アマモ場は稚仔魚の生育場所になっているために、その消滅は水産生物資源の確保ならびに健全な生態系の維持などの観点から、アマモ場の復活が全国各地で努力されている。しかし、アマモの消滅の原因が特定できていないために、アマモ場の復活は容易ではない。

一方、海藻バイオマスの方は世界中ですでにかなり広く事業利用されている。1971~73年のFAOによる世界の海藻生産量をまとめたのが表1.2.4である<sup>25</sup>。有用海藻類の年収穫量は世界全体で褐藻類が約130万t、紅藻類が約81万tである。ほとんどが天然産であるが、その後、人工養殖が増え、特に中国のコンブ養殖量は1998年で年間約400万tになっている<sup>26</sup>。

褐藻類ではジャイアントケルプ、コンブ、ヒバマタなどが主に利用され、その用途は乾燥飼料、アルギン酸・寒天・カラゲナン・ヨードなどの抽出、食用、肥料、土壌改良剤としての利用などである。食用にしているのは日本などアジアの一部の国々で、その他の国では飼料や抽出物の利用が多い。最近では欧米でも一部の紅藻類や緑藻類などをそのまま海藻サラダとして食用にするようになってきた。

<sup>23</sup> K.H.Mann: Ecology of coastal waters: A systems approach, pp.322, Univ.Calif.Press (1982)

<sup>24</sup> 鈴木敏監修：海洋生物と炭素循環、東京大学出版会、p.193 (1997)

<sup>25</sup> M.Indergaard: The aquatic resource. In Biomass utilization (ed.W.A.Cote) Plenum Press, New York, pp.137-168 (1982)

<sup>26</sup> 境一郎：コンブ海中林造成等による水産資源倍増提言 (1)、漁村、Vol.67(4)、pp.62-71 (2001)

表 1.2.4 世界の有用海藻類の収穫量と潜在生産力

[1,000t]

区域	紅藻類		褐藻類	
	1971~73年の 年間収穫量	年間潜在生産力	1971~73年の 年間収穫量	年間潜在生産力
18 北極海	—	—	—	—
21 北西大西洋	35	100	6	500
27 北東大西洋	72	150	208	2,000
31 西武中央大西洋	—	(10)	1	1,000
34 東部中央大西洋	10	50	1	150
37 地中海・黒海	50	1,000	1	50
41 南西大西洋	23	100	75	2,000
47 南東大西洋	7	100	13	100
51 西部インド洋	4	120	5	150
57 東部インド洋	3	100	10	500
61 北西太平洋	545	650	825	1,500
67 北東太平洋	—	10	—	1,500
71 西部中央太平洋	20	50	1	50
77 東部中央太平洋	7	50	153	3,500
81 南西太平洋	1	20	1	100
87 南東太平洋	30	100	1	1,500
合計	807	2,610	1,301	14,600

区域の番号は FAO の海域区分番号

(Michanek, 1975 を Indergaard, 1982 から引用)

天然産の紅藻類と褐藻類の年間推定潜在生産力は、紅藻類で 261 万 t、褐藻類で 1,460 万 t である。現在、利用されている海藻類は大部分が天然産であるが、一部で人工養殖が行われている。海藻類は、生活環が高等植物に比べて複雑なために、人工的に栽培することは難しく、細かな配慮が必要である。特に、種取りが煩雑である。ノリ、ワカメ、ジャイアントケルプなどで天然の胞子を採取して、それを養殖する方法や、栄養株を移植して繁殖させることなどが各地で試みられ、一部は成功している。人工養殖は今後の発展が期待される。Jensen (1978) の天然産の資源量をもとにした推定によれば<sup>27</sup>、アルギン酸は年間 5 万 t の需要が期待され、そのために必要な海藻の量は 130 万 t。同じく、カラゲナン、寒天、ノリ、ワカメ、コンブはそれぞれ 3 万 t、2 万 t、3.5 万 t、3 万 t、25 万 t の需要が期待され、それに必要な海藻の量は、40 万 t、50 万 t、40 万 t、20 万 t、200 万 t と推定されている。1970 年代後半の生産量の 1.1~3 倍である。この他に、海藻粉末飼料、化学工業、エネルギー用にそれぞれ数百万 t と、高純粋化学用に数千 t の海藻の量が必要となると推定されている。

海藻類は微生物が分解しやすいために効率良いメタン発酵が可能であるが、ジャイアントケルプで米国の全消費エネルギーをまかなうためには 390 万 km<sup>2</sup> の養殖面積が必要で、これは世界の海域のうち浅瀬から水深 10m ほどまでの範囲が全て覆われてしまうような面積に匹敵する膨大な広さである。したがって、将来、海藻バイオマスをエネルギーとして積極的に利用していくためには、天然産の海藻だけでは間に合わない。そのために、浅海域に海藻が生育しやすくなるような人為的工夫をすることはもとより、洋上での海藻養殖が必要になる。そのための先行研究が 1970~80 年代に米国で行われた。ジャイアントケルプをロープにつけて、洋上で養殖するものである、必要な肥料は下層の深層水を波動ポンプで汲み上げて利用することが計画された<sup>28</sup>。実験中に荒天に見舞われ、装置が壊れ研究は中断されたが、将来の可能性につながる貴重なデータが取得された。海藻類は利用法と同時に、今後、大量人工養殖法が工夫されていくと考えられる。微細藻類は今後も利用の中心はタンクやチャンネルなどの人工環境下での培養と考えられる。したがって、資源量は必要量によって決まる。深層水を陸上に汲み上げ、微細藻類を培養し、それ

<sup>27</sup> Jensen, A.: Industrial utilization of seaweeds in the past, present and future. Proc.Int.Seaweed Symp. 9, pp.17-34 (1978)

<sup>28</sup> 日本海洋開発産業協会：昭和 53 年度海藻によるエネルギー回収システム研究開発調査報告書、p.293 (1978)

でアサリやカキを養殖して事業的に成立することが実験的に示されており<sup>29</sup>、こうした利用まで広がれば、利用可能な資源量は大きくなる。

### (7) 廃棄物—農業残さ、バガス

農業残さ（残渣）とは、農作物の収穫時に田畑などで発生する残余物のことを指す。農業残さを資源として考える場合、利用可能な残さとして穀物残さや根茎作物残さ、サトウキビ残さなどがあげられる。野菜類の残さも非常に多種・大量に発生するが、量的にまとまった資源として得ることが困難なため、資源として計上されることは少ない。また、田畑などから生じる残さ以外に、製糖の初期工程で大量に発生するバガス（繊維質の残さ）がサトウキビ由来の農業残さとして扱われている。

農業残さの発生量の仕方や量は生産地により異なるが、収穫量に対する残さ発生率として、湿重量で米 140%、麦 130%、トウモロコシ 100%、根茎作物 40%という報告がある<sup>30</sup>。また、同報告では、サトウキビ由来の残さ発生率は、収穫時の畑地で発生する茎・葉などは収穫量に対し湿重量で 28%、製糖工場が発生するバガスは収穫量に対し 15%としている。また、日本国内で発生する米残さに関し、稲わらともみ殻の発生比率はそれぞれ湿重量で 82.5%、17.5%という報告がある<sup>31</sup>。

FAO 統計<sup>32</sup>より各種農作物およびサトウキビの生産量（2007）を求め、上述の残さ発生率を用いて推算した農業残さ・バガスの年間発生量を図 1.2.3 に示す。

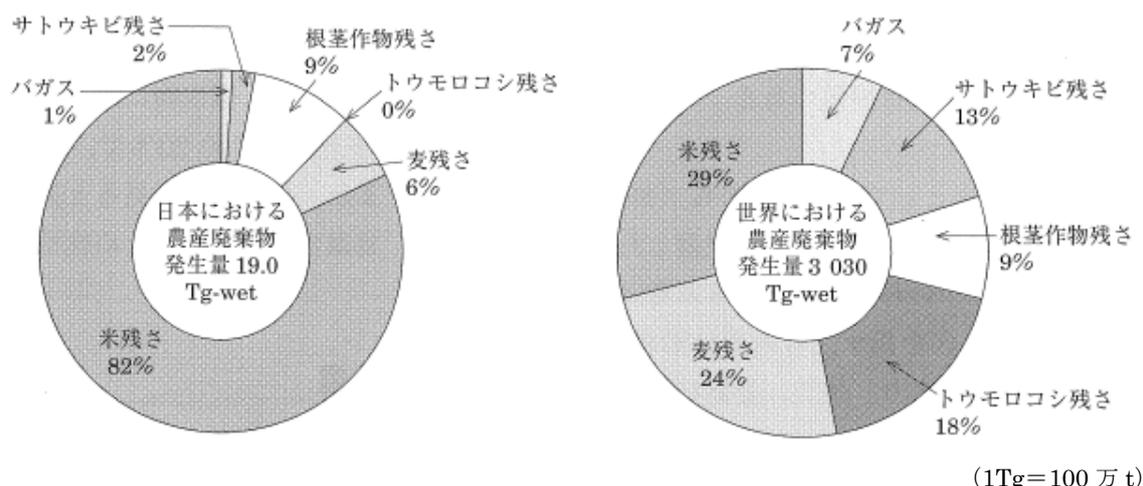


図 1.2.3 農業残さおよびバガスの発生量

我が国における発生量は合計約 1,900 万 t となり、米の残さが最も多く約 1,540 万 t、うち、稲わらが 1,270 万 t、もみ殻が 270 万 t となる。その他の残さは、根茎作物残さが約 160 万 t、麦残さが約 110 万 t、トウモロコシ残さ、サトウキビ残さ、バガスはいずれも 50 万 t 以下である。

世界全体では合計約 30 億 t が発生し、米残さが 8 億 3,600 万 t と最も多い。また、根茎作物残さが 2 億 9,900 万 t、日本ではほとんど発生しない麦残さ、トウモロコシ残さはそれぞれ 7 億 5,400 万 t、5 億 9,100 万 t が発生する。

<sup>29</sup> 高橋正征：海洋深層水による植物プランクトン・二枚貝・海藻類の多段生産—ローウエルらの実験、月刊海洋/号外、22、pp.85-90 (2000)

<sup>30</sup> D.O.Hall, et al.: Biomass for Energy: Supply Prospects, T.B.Johansson (ed.) , Renewable Energy, p.594, Washington, Island Press (1993)

<sup>31</sup> 生物系廃棄物リサイクル研究会：生物系廃棄物のリサイクルの現状と課題 (1999)

<sup>32</sup> FAO 統計、<http://www.fao.org/>

## (8) 廃棄物—木質廃棄物

木質廃棄物は、素材（丸太など）から各種木質一次製品を製造する木材加工部門から排出されるものと、一次製品を利用して建築物などの二次製品の製造と利用後の廃棄に伴って排出される木材利用部門からのものがある。

木材は含水率によって大きく重量が変化するため、量の評価としては体積[m<sup>3</sup>]を用いることが多い。例えば炭素量を計算するには、含水率 0%時の木材密度を 400kg/m<sup>3</sup>程度とすると、炭素比率は約 50%であるので、1m<sup>3</sup>の木材には約 0.2t-C の炭素が含まれることになる。

FAO の統計値によると、2007 年の丸太生産量は 36 億 m<sup>3</sup> で、そのうち 17 億 m<sup>3</sup> が工業用途である。現在および将来的に年間この程度の量が製造時および廃棄時の木質系残廃材として発生する可能性がある。世界における木質残廃材の発生・再資源化の状況については明らかではない。しかし、「気候変動枠組条約」に関連して、木材の耐久的利用による炭素ストック変動について締約国が数値を公表するという動きがあり、それに付随した形で木質残廃材の実態が明らかになる可能性がある。

## (9) 廃棄物—畜産廃棄物

畜産廃棄物の主たるものは、家畜ふん尿（糞尿）である。家畜ふん尿は畜種や飼養形態などによってさまざまな性状を呈し、それぞれの特性に応じた貯留・搬出および処理方法がなされている。

また、牛や豚を解体処理すると畜場（屠畜場）とブロイラーを主体に解体処理する食鶏処理場より発生する枝肉以外の産物を畜産副産物という。畜産副産物から、さらに内臓肉を除いた畜産加工残さなどと呼ばれる不可食残さ（残渣）（不可食内臓、骨、脂肪、血液、皮および羽毛）が発生する。

なお、家畜の畜体保護の目的で、畜舎の床に敷かれる資材を敷料と呼び、保温や物理的にクッションとなるようなわら類やもみ殻などが用いられる。また、家畜排せつ（排泄）物の場合は、ふんと尿が混合しあった、固形分率が数～10%程度の粘性の強い液状のものをスラリーと呼ぶ。家畜ふん尿の主要な用途のひとつは、堆肥等の形で土壤に還元することである。土壤に対して有機物を投入することにより、土壤の物理的な構造を植物の栄養塩類や水分を適度に保持し、その生長に適した状態に改善することができ、これを物理性改善効果という。

家畜ふん尿の資源としての価値を算定するには、まず、①作物への栄養塩（窒素、リンなど）としての価値、②作物生育へのプラス効果をもたらす有機物の供給源、③エネルギー源としての価値などが考えられる。しかし、②については施用土壤に対する物理性改善効果などは定説となりつつあるものの、病原性微生物の抑制や作物自体の品質向上に関しては、いまだ未解明の部分が多い。また、③については、鶏ふんボイラやメタン発酵などが実際にも稼働しているが、臭気や後処理の問題もあり、限定的な使用に止まっている<sup>33</sup>。このため、「資源」として評価が定着しているのは①作物への栄養塩（窒素、リン酸など）としての価値と考えられる。先の表 14.4 に示したように、1 年間に日本で発生する家畜ふん尿に含まれる窒素は 67 万 t、リンは 11 万 t と推定される。この量は、年間に消費される化学肥料の窒素が 48 万 t、リンが 25 万 t であることを考えると、きわめて膨大な量である。この家畜ふん尿由来の有機性肥料が、適正な使用量の範囲で我が国の農耕地に施用が可能であるかどうかは専門家の間でも論が分かれるところである<sup>34</sup>。

全世界での牛飼養頭数は 14 億頭、豚が約 10 億頭、鶏は 169 億羽であり<sup>35</sup>、世界の全家畜のふん尿中に含有される窒素やリンについては、飼養形態の違いなどから正確な算定は困難であるが、上記の FAO の家畜頭羽数の統計値をもとに粗く換算すると、日本のふん尿中の窒素、リン量の約 140～150 倍程度と想定される。

なお、畜産副産物の利用に関しては、平成 13 年 9 月に牛海綿状脳症（BSE）が我が国で初めて発生したことに伴い、肉骨粉など動物性タンパク質の飼料としての利用が法的に禁止されてい

<sup>33</sup> 畜産環境整備機構：家畜ふん尿処理・利用の手引き、pp.53-56（岡田光弘、羽賀清典）、pp.57-73（原田靖生、山本克己、田中孝一）（1998）

<sup>34</sup> 生物系廃棄物リサイクル研究会：生物系廃棄物のリサイクルの現状と課題・循環型経済社会へのナビゲーターとして、p.35、生物系リサイクル研究会（1999）

<sup>35</sup> FAO 統計、<http://www.fao.org/>（2001）

る。また、肉骨粉ほかの肥料などとしての利用に関しても一部制限されている。これらに関する最新の情報は、農林水産省ホームページ内の関連情報等を参照されたい<sup>36 37</sup>。

### (10) 廃棄物—汚泥（下水・し尿・産業廃棄物汚泥）

「汚泥」とは、事業系から排出された産業廃棄物に分類され、工場廃水などの処理後に残る泥状のものおよび各種製造業の製造工程において生じる泥状のものであり、有機性、無機性、およびその混合物のすべての泥を指す。

世界の汚泥発生量に関しては、汚泥の定義が国ごとに異なることから、一概に把握することは困難である。

### (11) 廃棄物—都市ごみ

ごみは発生源が多様で、種類も多い。このうち都市ごみとは、家庭を含む通常の都市活動から発生するごみであり、一次、二次産業から発生する特殊なごみを除いたものを指すと考えてよい。

都市ごみを英語にすると Municipal Solid Waste (MSW と略される) となる。欧米では MSW を発生源によって定義するのが一般的で、表 1.2.5 に示す米国の例<sup>38</sup>では農業と工業の廃棄物を除いた (1) ~ (6) を MSW としている。「都市活動から発生する廃棄物」として捉えられているといえる。しかし、(4) を MSW から除く国もあり、定義が一定していない。

一方、我が国の廃棄物処理法では事業活動に伴って発生する廃棄物（事業系ごみ）のうち 20 種類をまず産業廃棄物と指定し、それ以外の事業系ごみと家庭から排出されるごみ（家庭系ごみ）を一般廃棄物としている。一般廃棄物を都市ごみと呼ぶことが多いが、産業廃棄物の指定が一部の業種指定を除いて組成によるため、表 1.2.5 のように米国とは異なった内容となっている。例えば、商業から発生するごみは大部分が一般廃棄物だが、一部が産業廃棄物になる。発生量、組成を比較する際には、こうした定義の違いが背景にあることを理解しておく必要がある。

表 1.2.5 都市ごみの定義

米国の分類		我が国の分類との対応	
発生源の分類	内容	一般廃棄物	産業廃棄物
(1)住居 (residential)		◎(すべて)	なし
(2)商業 (commercial)	店舗、食堂、ホテル	○	プラスチック、金属くず、ガラスくず
(3)公共施設 (institutional)	学校、病院	○	
(4)建設・解体 (construction and demolition)		○	
(5)都市サービス (municipal services)	道路清掃、造園など	○	
(6)処理プラント (treatment plant sites)	浄水、下水、ごみ焼却炉	特定業種以外の紙くず、木くず	○(汚泥)
(7)工業 (industrial)	建設、製造など		○
(8)農業 (agricultural)		右記以外	○畜産ふん尿、動物の死体

[注] (1)~(6)が Municipal Solid Waste (都市ごみ)、○大部分が該当 (Tchobanoglous(1993)の表をもとに作成)

OECD 諸国の代表的な国における、都市ごみ量、処理方法を図 1.2.4 に示す。ごみ量を見るとポーランド、米国がそれぞれ最小、最大であり、両者には約 2 倍の差がある。しかし米国と日本の家庭系ごみ発生量には、庭ごみを除けば大きな差はなく<sup>39</sup>、生活形態の違いよりも事業系ごみ量、さらには都市ごみの定義の違いによるところが大きいと思われる。また、資源物を含めるかどうかで都市ごみ量は大きく異なる。我が国の統計には、自治体収集前の資源回収量は含まれていない。

<sup>36</sup> 畜産副産物協会：平成 19 年度畜産副産物需給安定体制整備事業副産物需給調査、pp.118-122 (2008)

<sup>37</sup> 農林水産省：飼料の安全性確保、2009 年 4 月、農林水産省 HP、[http://www.maff.go.jp/j/chikusan/jukyuu/lin/l\\_siryu/siryu\\_mondai/h170208/pdf/data05.pdf](http://www.maff.go.jp/j/chikusan/jukyuu/lin/l_siryu/siryu_mondai/h170208/pdf/data05.pdf)

<sup>38</sup> G. Tchobanoglous, et al.: Integrated Solid Waste Management, p.41, McGraw-Hill (1993)

<sup>39</sup> 松藤敏彦、R.K.Ham：一戸建て住宅地における家庭ごみ組成別原単位の日米比較、廃棄物学会誌、Vol.2、No.2、pp.149-157 (1991)

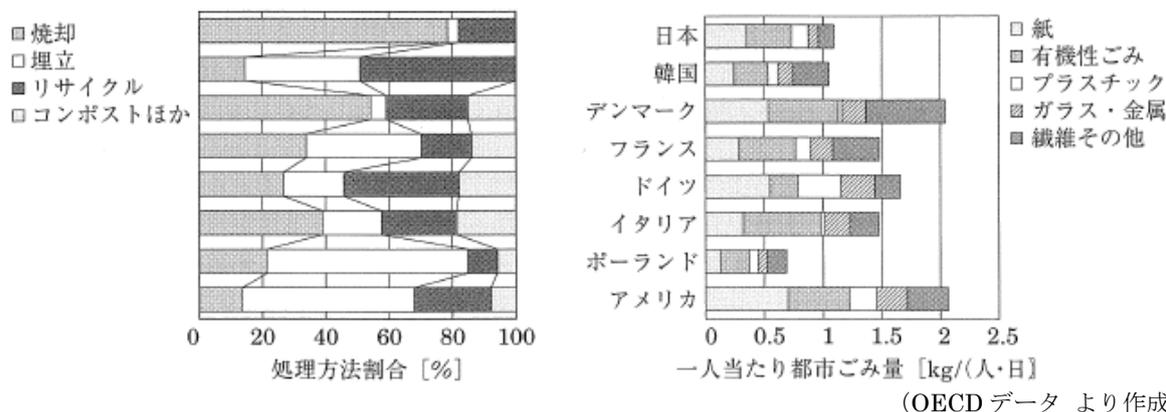


図 1.2.4 世界の都市ごみ組成と処理方法

都市ごみの処理方法は世界的に見れば埋立が中心である。欧州ではデンマーク、スイスなどのように焼却率の高い国もあるが、例外的であり、日本の焼却率の高さは世界でも群を抜いている。またコンポスト処理は、日本では都市ごみ量のわずか0.1%であるのに対し、欧州ではデンマークを初めとして広く行われており、ドイツでは500以上の施設がある<sup>40</sup>。

都市ごみの発生量は収集されて初めて把握できるため、途上国のごみ量、組成のデータは多くない。途上国では第一に収集率を上げ、次に衛生的な処理を行うことが課題とされている。

### (12) 廃棄物—黒液

木材を原料として、紙の原料であるクラフトパルプを製造するときに、黒液という有機性廃液が発生する。

紙の原料となる木材は、木材繊維を構成するセルロースとヘミセルロース、そして、繊維どうしを固める接着剤としての役割を果たすリグニンから成り立っている。これらの構成比率はおおよそ55:20:25である<sup>41</sup>。クラフトパルプ法は、現在主流となっているパルプの製造方法で、硫化ナトリウム ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) と水酸化ナトリウム ( $\text{NaOH}$ ) を用いて、高温高圧下でリグニンを分解・可溶化し、木材繊維 (パルプ) だけを取り出す方法である。黒液はこのとき発生する有機性廃液で、分解・可溶化されたリグニンとヘミセルロースを含み、Na と S を含んでいる。発生時の黒液濃度は通常15~20%である。これは濃縮後、回収ボイラという専用のボイラで燃焼される。広葉樹の場合、パルプ製造1t当たり固形分重量で約1.5tの黒液が発生する。黒液の高位発熱量は一般的に乾燥固形分重量1kg当たり12.6MJである。

広葉樹の場合パルプ1t当たり固形分重量で1.5t、針葉樹の場合2.0tが副生物として発生する。そして、その全量がバイオエネルギーとして利用される。我が国におけるクラフトパルプ生産量は年間約900万tであり、黒液発生量は約1,400万t (固形分重量) である。これは日本の新エネルギーの中できわめて大きな位置を占める。1995年の日本における供給サイドの新エネルギーのうち、73%が黒液である (統計上廃材も含む) <sup>42</sup>。

世界全体では2008年における化学パルプ生産量が、1億3,870万tであり、約2億3,000万t (固形分重量) の黒液が発生していると推定される (表 1.2.6) <sup>43</sup>。クラフトパルプ製造時に発生する黒液は全量使用されているので、発生量と使用量は等しい。

<sup>40</sup> 河村清史：有機性廃棄物の資源化技術、廃棄物学会誌、Vol.11、No.5、pp.344-354 (2000)

<sup>41</sup> 土谷慶一、岩崎誠ほか：紙パルプ製造技術全書、第2巻『クラフトパルプ』、pp.11-20、pp.185-223、紙パルプ技術協会 (1996)

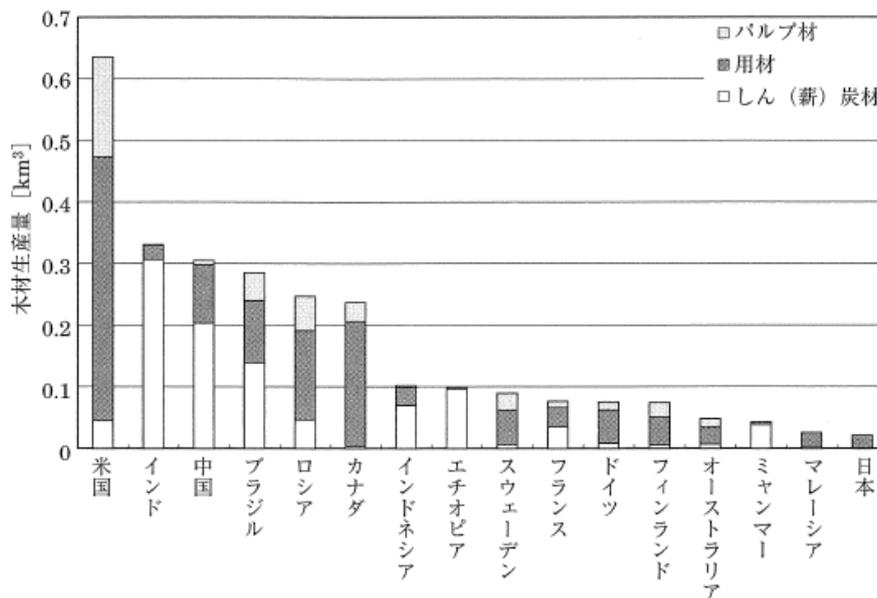
<sup>42</sup> 資源エネルギー庁：エネルギー白書 2008

<sup>43</sup> RISI「Annual Review」

表 1.2.6 世界の化学パルプ生産量

年	[100 万 t]		
	1990	2000	2008
北米	62.349	66.318	57.897
中南米	5.712	10.320	18.754
欧州	29.995	30.610	34.149
アジア	18.963	15.071	24.358
大洋州	1.225	1.289	1.691
アフリカ	1.356	2.348	1.894
世界合計	119.600	125.956	138.743

世界の年間木材生産量は 35 億 4,000 万 m<sup>3</sup> (2006 年) である。このうち、パルプ用の木材生産量は 5 万 2,000m<sup>3</sup> である。生産国別にみると、パルプ材の生産は森林蓄積量の増加している先進国が中心である。また、途上国からのパルプ材も、ブラジルの例に示されるように大半が植林木である (図 1.2.5)<sup>44</sup>。アカシアやユーカリなどの早生広葉樹種がパルプ用に植林されている。このように、持続可能な森林経営を基本とするパルプ用木材資源の育成が積極的に行われている。



(しん炭材には統計上焼畑も含む)

図 1.2.5 主要国の木材生産量内訳 (2006 年)

## 1.2.2 国内の賦存量

### (1) 木質系バイオマス

#### (a) 人工林

戦後の森林資源政策は、商品価値の低い天然林を伐採し人工林に変える資源整備の歴史であった。これにより我が国には 10 万 km<sup>2</sup> の人工林が出現し、その蓄積は 36 億 m<sup>3</sup> あり、年成長量は 6,500 万 m<sup>3</sup>、全乾重量にすると 3,500 万 t ずつ増加している。図 1.2.6 に示す人工林林齢分布のうち林齢 (齢級) が高い部分にスギが多く、ヒノキは蓄積の少ない若齢林に多い。スギの伐採適期は九州で 40 年生以上、本州で 45 年生以上であり、九州で戦後早くに造林されたスギは主伐時期にさしかかっている。一方、ヒノキの伐採適期は 60 年生以上であり、ヒノキの主伐材が市場に出回るには、これから 10 数年を要する。ただし、スギ・ヒノキともに健全な森林に育成するためには 20~30 年生あたりで保育間伐をする必要があり、林野庁は補助金などを用いて積極的に保育間伐を推進している。このため、主伐期に到達していない森林からも、市場には多くの間伐材

<sup>44</sup> FAO: Yearbook of Forest Products 2006

が供給されている。保育間伐では毎年約 200 万～250 万 m<sup>3</sup>の素材が供給され、より高い林齢でも造林経費をコスト的に負担できない場合は、主伐を避けて間伐が採用されている場合も多い。しかし、近年の山林労働者の賃金上昇と素材価格の低迷から、間伐材用に伐採されても市場に搬出されず、林内に放置したままの間伐材が 200 万 m<sup>3</sup>以上ある。主間伐材は 1998 年に 2,537 万 m<sup>3</sup>あったことから、利用可能な林地残材は放置された間伐材も合わせると全乾重量で 400 万 t 近くが毎年発生すると推定される。

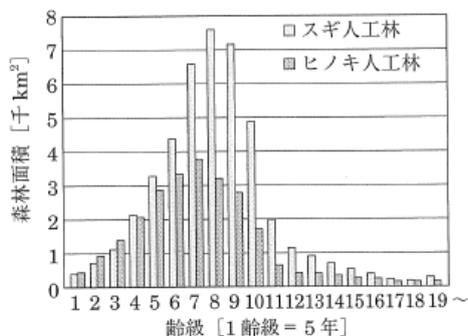


図 1.2.6 人工林の樹種別・齢級別面積

### (b) 天然林

次に天然林の資源構造を見ると、図 1.2.7 に示すように林齢配置には二つのピークがある。10 齢級のピークは、しん炭材生産を行ってきた里山広葉樹林が 1960 年代の燃料革命により放置され、現在に至った森林である。もう一つのピークは、最高齢級である 95 年生およびそれ以上の林齢に属する森林である。46%が北海道に存在し、エゾ・トドの天然林が相当数含まれる。また、北海道、東北を合わせると 95 年生以上の天然林の 70%がこの地域に集中している。その他の地域で多いのは新潟、長野の両県である。多くは奥地山岳林に位置してアクセスが悪いが、国立公園などの法規制があつて開発を免れた天然林である。現在、高林齢の天然林の多くは何らかの規制がかかっている木材生産に供することができないので、実際に利用できるのは 10 齢級をピークとする里山林で、面積は 6 万 5,000km<sup>2</sup>である。バイオマスの全乾重量で見ると、里山広葉樹林から年当たり 1,000 万 t 程度が生産可能と推定される。里山に位置する低質広葉樹林の多くは、搬出道路に近いところに存在している。

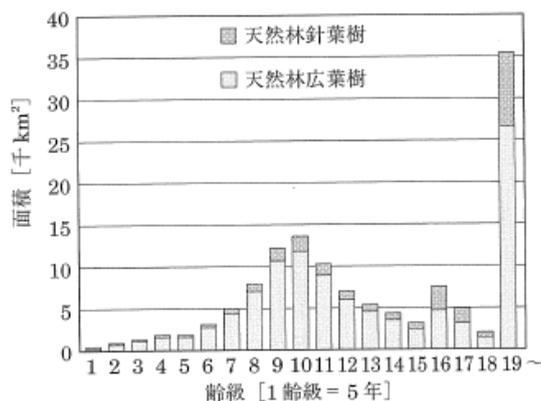


図 1.2.7 天然林の樹種別・齢級別面積

### (c) ササ・タケ

ササについては北海道以外ではまとまった資源量は期待できない。森林総合研究所の研究例によれば、北海道におけるササの年収穫可能量は 1,702 万 t に達する。ただし、すべてのササが利用できるわけではなく、林道から 500m 以内に存在するものに限れば、年当たりの収穫可能量は 600 万 t 前後と見られる。全乾比重をタケと同じ 0.8 とすれば、北海道では 480 万 t のササをバ

バイオマス資源として供給することが可能である。タケについては竹林面積が 140km<sup>2</sup>あり、未利用資源として 30 万 t 程度はバイオマス資源として利用可能と推定されている<sup>45</sup>。

## (2) 草本系バイオマス

我が国の耕地面積を表 1.2.7 に示す。2008 年時点で日本全体の耕地面積合計 4 万 6,300km<sup>2</sup>のうち、地目が牧草地の面積は 6,200km<sup>2</sup>であり、北海道がその約 8 割を占めている。しかし、実際に牧草あるいは飼料作物が栽培されている面積は、水田転換畑のように他の地目からの転用も含めて約 1 万 km<sup>2</sup>である。この場所で一年間に生産される飼料作物の量は生草収量で約 4,000 万 t、乾物量換算で 1,000 万 t と推定される。当然のことながら、これは飼料として利用されており、二酸化炭素削減のための面積としては重要であるが、バイオマス原料生産の場からは除かなければならない。

表 1.2.7 平成 20 年田畑別耕地面積と畑の種類別面積

	合計	田	畑				水田率 <sup>46</sup>	耕地率 <sup>47</sup>
			合計	普通畑	樹園地	牧草地		
全国	462.8	251.6	211.2	117.1	31.97	62.13	0.544	0.124

(農林水産省統計情報部、2009<sup>48</sup>より抜粋、合成)

水田転換畑は全水田の 30%に達しており、主に大豆や飼料作物の栽培が奨励されている。また、水田機能を備えたまま放置している水田も少なくない。一方、中山間地や離島では放棄水田や放棄畑面積も増大しており、環境保全の面からもこれらの地域に新たな農業システムを構築することは重要であり、バイオマス原料生産の場として注目されている。

表 1.2.8 にイネ科作物や牧草類を栽培することが可能な面積を示す。水田や畑地では水稻あるいは麦類などの穀類栽培が行われているが、収穫時に生じる残さすなわち稲わらや麦わら(麦稈)、もみがらなどは、今後重要なバイオマス資源であるためバイオマス生産の場に加えた。ゴルフ場は全国で 2,300 以上存在し、各ゴルフ場が 1km<sup>2</sup>占有すると仮定した場合、その総面積は 2,300km<sup>2</sup>となる。現在、各ゴルフ場には乾物量で年間 500t 以上の刈り取ったシバなどのバイオマスが存在すると推定される。その他、現在十分には利用されていない高速道路路面や河川敷飛行場などで今後イネ科牧草を栽培し、バイオマス資源とすることも可能である。全国の河川敷の正確な面積を出すことは難しいが、2005 年時点での利根川の河川法河川延長が 6,799.6km で河川面積約 141.37km<sup>2</sup>、堤防 15.49km<sup>2</sup>、河川敷(高水敷) 80.05km<sup>2</sup>、未利用河川敷が(自然地) 65.18km<sup>2</sup>であり、これを全一級、二級、準用河川の河川延長に当てはめると、日本全国で河川面積約 4,540km<sup>2</sup>のうち、堤防 500km<sup>2</sup>、河川敷 2,570km<sup>2</sup>、未利用河川敷 2,100km<sup>2</sup>となる。また、湖の周囲も未利用な場所が多く、主要な湖の総周囲長合計は 2,006km にもなる。よって、草本系バイオマス生産の場は 4 万 9,500km<sup>2</sup>以上になる。また、推定困難だが、一般道路や鉄道線路周囲の未利用地も膨大である。このような土地には草本系バイオマス生産が最も適する。

<sup>45</sup> 原田寿郎：森林・木材由来の未利用資源の現状、木材工業、Vol.54、No.8、pp.356-360 (1999)

<sup>46</sup> 耕地面積(計)を 1 としたときの田が占める割合

<sup>47</sup> 総土地面積を 1 としたときの耕地面積(計)が占める割合。この総土地面積は、国土地理院「平成 20 年耕地面積(7 月 15 日現在)」による。

<sup>48</sup> 農林水産省統計情報部：平成 20 年耕地および作付面積統計、

<http://www.maff.go.jp/toukei/sokuhou/data/kouti2008/kouti2008.pdf>

表 1.2.8 イネ科植物を用いたバイオマスエネルギー生産可能な場所

地目	面積 [100km <sup>2</sup> ]
水田	251.60
畑地(除牧草地)	117.10
牧草地	62.13
放棄地	12.47
調整水田	7.90(2005)
ゴルフ場	23.07(2005)
未利用河川敷	20.94(2005)
高速道路法面	1.26(2008)
合計	496.47

我が国に存在する草本系バイオマス生産可能量、すなわちイネ科作物の残さあるいは未利用地にイネ科牧草を栽培して得られるバイオマス生産可能量を表 1.2.9 に示す。

表 1.2.9 利用可能なイネ科植物のバイオマス賦存量

資源	賦存量[万 t]
農業残さ	
稲	1,370.4
麦類	180.4
サトウキビ(バガス)	4.1(41 万 t の 10%)
フィルタケーキ	8.3
しょう(鞘)頭部などの残さ	47.5(年間)
その他	
ゴルフ場 <sup>1)</sup>	23.1
高速道路法面 <sup>2)</sup>	25.2
放棄地 <sup>3)</sup>	498.8
転換畑のうち調整水田面積 <sup>3)</sup>	316
未利用河川敷 <sup>2)</sup>	418.7
合計	2,892.5

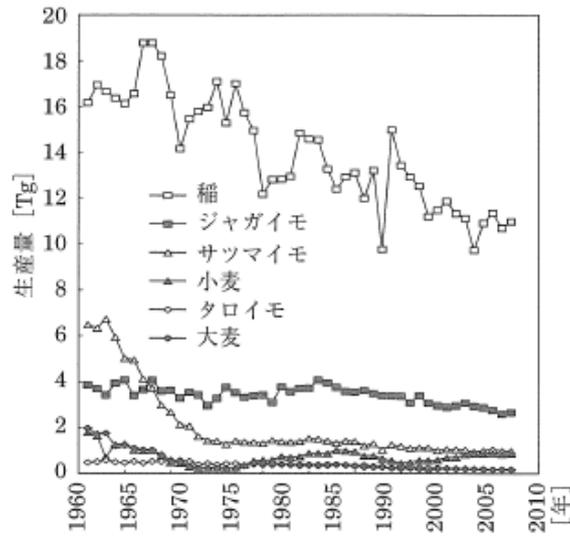
[注] 1)乾物収量を 0.5kg/m<sup>2</sup>として面積を乗じた  
 2)乾物収量を 2kg/m<sup>2</sup>として面積を乗じた  
 3)乾物収量を 4kg/m<sup>2</sup>として面積を乗じた

食料生産と競合しない農業残さ利用として、稲作から稲わらともみがらが年間約 1,370 万 t 生じていると推定される。同様に大麦や小麦栽培から 180 万 t の残さが生じる。沖縄や鹿児島で栽培されるサトウキビからは、燃料用のバガスを除き、収穫前に刈り払われるしょう頭(鞘頭)部を加えて約 60 万 t の残さが生じていると推定される。また、中山間地や離島の放棄地 1,200km<sup>2</sup>、栽培放棄されている調整水田 790km<sup>2</sup>に年間 4kg/m<sup>2</sup>の牧草を栽培したとする量を加えると、上記すべてから生じる草本系のバイオマス量は 2,892 万 t となる。一般道路、鉄道沿い、海岸や湖周辺の未利用地が活用できればその数値はもっと大きくなる。

### (3) デンプン・糖生産型植物

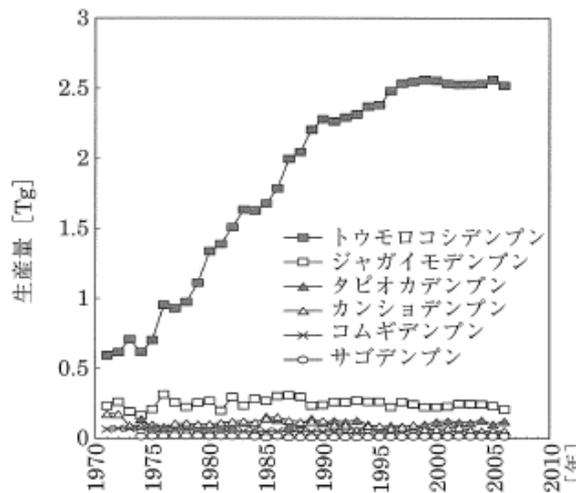
日本国内においての各植物の生産量(図 1.2.8)<sup>49)</sup>は、各単位収量が増加しているにもかかわらず、微減もしくは横ばい傾向にある。これには、日本人の食生活の欧米化ならびに栽培面積の減少が大きく影響している。デンプンについての国内統計(農林水産省)を図 1.2.9 に示す。1970 年以降、トウモロコシデンプンの生産量が飛躍的に増加しているが、これは、デンプンを酵素分解したブドウ糖を異性化酵素で果糖に変換して得る異性化糖の生産が 1971 年に本格化したことが主要因と考えられる。

<sup>49)</sup> FAO 統計、<http://www.fao.org> (2009)



(穀類生産量は穀粒当たり重量、1Tg=100万t)

図 1.2.8 国内のデンプン生産型植物生産量



(1Tg=100万t)

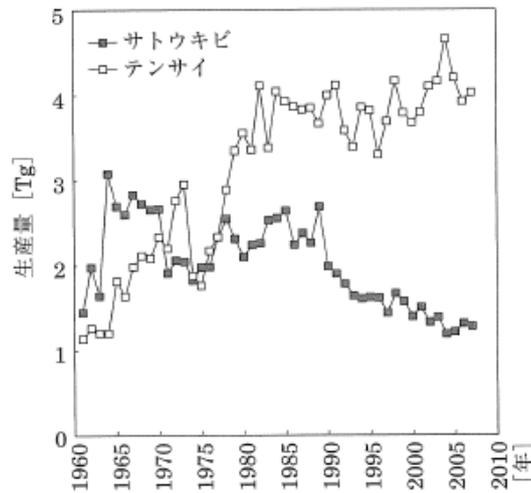
図 1.2.9 デンプンの種類別国内需要量<sup>50 51</sup>

日本国内においての砂糖生産型植物生産量(図 1.2.10)は近年ほぼ横ばい状態であるが、世界の生産量の1~2%と低い。

また、図 1.2.11に示すように国内の砂糖生産量は1970年代に大きく減少して以降、その生産量は、異性化糖と拮抗してほぼ一定であった。近年は、低カロリー・ノンカロリー甘味料の出現およびダイエットブームにより、砂糖・異性化糖の生産量は微減傾向にある。

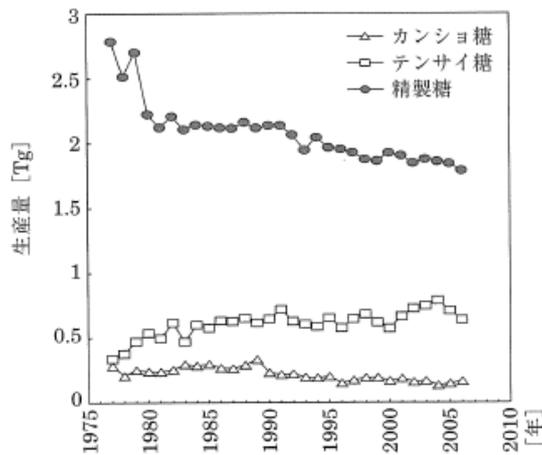
<sup>50</sup> 農林水産省：ポケット農林水産統計

<sup>51</sup> 農林水産省生産局生産流通振興課：でん粉需給表



(収穫物重量、1Tg=100万t)

図 1.2.10 国内の砂糖生産型植物生産量<sup>52</sup>



(精製糖は輸入砂糖(分みつ糖)分を含む、1Tg=100万t)

図 1.2.11 砂糖の国内生産量<sup>53</sup>

デンプン生産型植物(図 1.2.8)、砂糖生産型植物(図 1.2.10)の生産量総計はそれぞれ 1,600 万 t、500 万 t に過ぎない。2008 年現在の日本の食糧自給率が、カロリーベースで約 40% と極めて低いことから、食糧用に優先してエネルギー資源としてのデンプン・糖生産型植物を栽培する余裕はないと見られる。しかしながら、デンプン、砂糖等の抽出残さは食用と拮抗せず、その有効利用が課題となる。例えば、もみ殻は約 126 万 t、稲わらは約 920 万 t が賦存し、畜舎敷料や堆肥等に利用されているが、これらのエネルギー利用技術の開発が重要となる。

#### (4) 廃棄物—木質廃棄物

我が国の木材需要は 1998 年に落ち込み、木質一次製品用として丸太換算で 9,000 万 m<sup>3</sup> 程度となっている。ただし、木材フローのうち最大のものはパルプ製紙用であり、ここで取り上げる部門としては各年の投入量として 4,000 万 m<sup>3</sup> 程度と考えられる。各年の木質残廃材の発生量は約 3,500 万 m<sup>3</sup>、炭素量にして 700 万 t-C 程度と見積もられている。

<sup>52</sup> FAO 統計、<http://www.fao.org> (2009)

<sup>53</sup> 農林水産省：ポケット農林水産統計

木材加工部門からの残廃材発生量は約 1,000 万 m<sup>3</sup> 程度と見積もられているが、その大部分はパルプ用チップや燃料として利用されており、廃棄物として焼棄却されているのは 5%程度とされている。

一方、建築などの木材利用部門からの木質残廃材の発生は約 2,500 万 m<sup>3</sup> と推定されている。そのうち建設発生木材については、2005 年には「建設リサイクル法」の完全施行によりリサイクル率は上昇し、縮減を除く再資源化率は 68.2%とされ、増加分のほとんどはエネルギー利用と考えられる。

#### (a) 木材加工部門における残廃材

木材一次製品を生産する我が国の木材加工業では、主として丸太などの素材からのものとして製材業・合板工業・集成材工業・LVL<sup>54</sup>工業・フローリング工業がある。製材品から住宅用半加工柱材などを生産するプレカット製材業も含まれる。木材残廃材の発生は主としてこれらから行われる。

またチップからの生産としてパーティクルボード、ファイバボード工業がある。これらからもボード端材やサンディングダストの発生があるが、生産初期過程に戻されたり、乾燥熱源として利用されており、むしろ建築解体廃材などのマテリアルリサイクルの受入先としての役割が重要である。これら国内生産に加えて木材一次製品。半製品の輸出入があり、上記各工業以外が直接加工するものも含めて木材利用部門への投入がなされている（図 1.2.12）<sup>55</sup>。

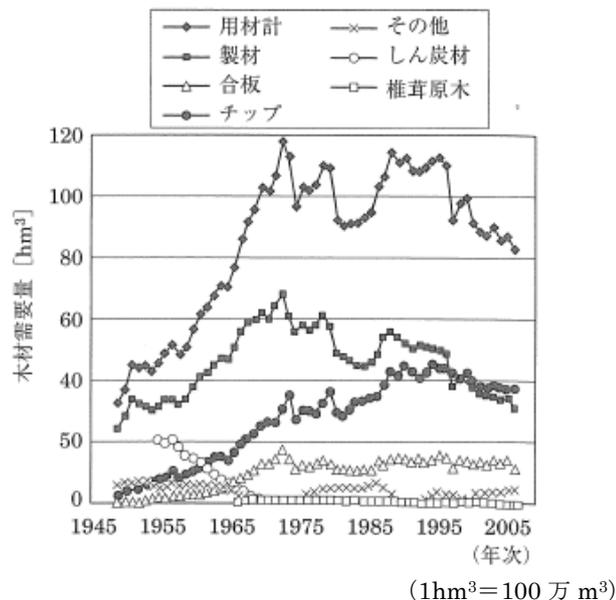


図 1.2.12 木材需給量の推移

これらのうち、素材使用量・残廃材発生量とも最大のものが、製材業であるが、2007 年で 7,905 工場あるとされ、その把握は困難である。残廃材発生量と利用実態の推計にはサンプリングによるアンケート調査により各種残廃材の発生原単位や利用率を求め、素材使用量の全体値と掛け合わせて行われている。発生する残廃材の種類としては背板・端材（背板は丸太から角材・板材を切り出した残部、端材は長さが余った部分）、のこくず、樹皮、プレーナくず（機械）かんなくずなどがあるが、調査年度により発生原単位が異なる。これは素材丸太の小径化や製品需要動向の変化によるものとされ、定量化の誤差要因となっている。

製材業からの我が国の残廃材発生量は 2005 年で約 800 万 m<sup>3</sup> 程度とされる。合板工業からは単板くず、むき芯（丸太から単板をかつらむきしてとった残部）、端材、樹皮などが同年で約 170 万 m<sup>3</sup> 発生しているとされるが、誤差要因など同様のことがいえる。

<sup>54</sup> Laminated Veneer Lumber：木材単板（veneer）を繊維方向に接着積層した軸材料

<sup>55</sup> 日本住宅・木材技術センター：木材需給と木材工業の現況（各年版）

その他（製材・合板以外）の木材加工業からの残廃材発生量は合わせて約 90 万 m<sup>3</sup>程度と推定される。残廃材の用途としては背板・端材のほとんどはパルプ製紙用などのチップ、のこくずは家畜敷料・堆肥などが多く、その他のものも燃料用などに有効利用されている。焼棄却されている量は 60 万 m<sup>3</sup>程度であるが、製材工場からの樹皮の割合が多い（表 1.2.10）<sup>56</sup>。

木材加工業から発生する残廃材は後述の木材利用部門からのものと異なり、金属・塗料などの不純物を含まず、例えばパルプ製紙用チップとしてもヴァージン原料と同等のものである。またこれら工業は加工機械用電力・乾燥用蒸気などを利用することから、大規模な工場では発電・熱利用のコージェネレーションシステムも可能である。しかし小規模工場ではこのシステムも困難であり、木材残廃材はかさ比重が小さく価格と相対的な輸送コストの大きさから、近隣に需要先がない場合、廃棄物とされ焼棄却処理されてしまう現状がある。小規模分散型で地域完結の利用システムの開発が待たれる。

表 1.2.10 工場残廃材の利用・処理方法別数量割合

[1,000m<sup>3</sup>]

業種 利用・ 処理方法	製材工場			合板工場*			プレカット工場		集成材工場	
	樹皮	端材等	おがく ず等	樹皮	端材等	おがく ず等	端材等	おがく ず等	端材等	おがく ず等
木材チップ	51	3,821	143	—	191	1	150	3	38	11
エネルギー利用	282	261	289	320	678	234	41	27	43	157
堆肥・土壌改良材	426	5	108	28	—	—	3	9	—	4
畜産敷料	292	55	1,619	—	1	7	1	162	1	118
木質ボード製造	7	13	42	—	145	1	33	3	7	8
その他	24	44	218	—	47	—	17	6	1	4
廃棄	223	131	126	—	20	2	23	47	6	7
合計	1,305	4,331	2,544	348	1,083	244	269	255	95	308

\*合板工場の数量は、単板工場、普通合板工場、特殊合板工場の数量の合計

#### (b) 木材利用部門における残廃材

約 3,500 万 m<sup>3</sup>の木材一次製品が国内の木材利用部門に投入されている（表 1.2.11）。建築用途が約 70%を占め、家具・建具、パレット・こん包（梱包）、土木用途を加えると約 92%となるが、その他の用途に分類されたものでも、例えばパレット用に使われているものもあるなど、詳細は明らかではない。家具・建具およびパレット・梱包材については輸出入により、国内流通量が変わり得る。

各用途部門において、製造に伴って排出される木材残廃材はほぼ投入時の木材一次製品からのものである。しかしそれぞれ寿命の長短はあっても耐久的に利用される製品を製造しており、必要性に対応したストック量変化と新規製品の投入量の差、あるいは耐用年数の経過による廃棄確率など複雑な要因によって廃棄量が決まり、推計は困難である。

建設を例にとると、戦災の復興や人口増の要素はあったにせよ、欧米諸国の 2 倍近い対 GDP 投資が行われ、また住宅の代替わり周期は欧米の 1/3~1/5 という短さである。今後はフロー型からストック型への転換が建設に求められている。人ロー人当たりの建築床面積は戦後単調に増加しているが無制限に増加できるわけではなく、今後人口はピークを迎え減少に転じている。今後の経済状況によって新規着工量も変化し得るし、それに対応した量の廃棄が行われるという仮定が今後は現実的であろう。

<sup>56</sup> 伊神裕司：我が国の木質残廃材の発生と利用の現状、日本エネルギー学会誌、Vol.87 (6)、pp.412-417 (2008)

表 1.2.11 木質一次製品の用途別出荷量(2005年)

[1,000m<sup>3</sup>]

	建築	家具・ 建具	土木	パレット・ 梱包材	家電	楽器	自動車	その他	計
製材	17,086	334	824	2,508				468	21,220
合板	4,393	2,000	33	134	192	318		1,297	8,367
パーティクルボード	574	942			46	3		6	1,571
集成材	2,090	145						110	2,345
LVL	390	114							504
繊維 板	ハードボード	23	6	27	0		18	4	78
	MDF	540	215		113			25	893
	インシュレーションボード	87	236					59	381
計	25,182	3,991	858	2,669	352	321	18	1,969	35,360

建築部門の解体による木質残廃材の発生量を推計するには、各年次の建替えなどで除却された建築物と災害建築物を合わせた滅失建築物の床面積および木造・非木造の各構造の床面積当たりの木材使用量原単位[m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>]<sup>57</sup>を掛け合わせて得られる。しかしながら、この滅失統計に現れない無届の除却が相当量あることが指摘されており、信頼性は低い。固定資産統計<sup>58</sup>からある時点での建築物の総量が示された数値と比較的信頼できる着工量統計<sup>59</sup>から滅失されたであろう建築物量を推計した。これから試算すると2005年の滅失建築物からの木質廃材は1,000万m<sup>3</sup>となる。また、建築では投入された木材のうち、新築現場で端材などとして廃棄される材料が1割程度あり、その発生割合から試算すると約300万m<sup>3</sup>となる。以上より、合計約1,300万m<sup>3</sup>の木質廃材が建築部門から年間排出されていると思われる。量的に最大であり、近年はエネルギー利用の需要が急激に高まっている。

家具・建具部門には2005年で約400万m<sup>3</sup>の木材一次製品が投入されている。製造時および使用後の廃棄時における残廃材の発生量については、木製家具の製造量統計を元に製造歩留まりと寿命解析手法により推計した。なお輸入家具についても考慮した。製造時に発生する残廃材については、大規模工場ではチップ化などリサイクルされているが、中小工場では焼却されているものが多いと思われる。使用後の廃棄について家具は一般廃棄物、建具については建築物の除却時のものは産業廃棄物であろうが、メンテナンス時では一般廃棄物として発生する可能性がある。

家具・建具とも塗料・接着剤、他材料と複合されたものが多く、再資源化のための技術開発が求められる。

パレット・梱包材部門ではともに輸出入の問題が大きい。木製パレットは2006年に約6,000万枚国内生産されており、標準的なタイプの木材使用量を掛けると量的には約360万m<sup>3</sup>となる。梱包材については少し古い調査であるが、2003年に約150万m<sup>3</sup>の廃材が発生したと推計されている<sup>60</sup>。この部門から発生する残廃材は複合物がくぎ程度であるので収集システムさえ構築できれば再資源化は容易である。

土木部門への木材投入量は2005年に約90万m<sup>3</sup>で、産業規模に対して木材使用量は非常に少ない。また公共工事が主体であるためリサイクルあるいは廃棄は適正に行われているとされ、発生量は約500万m<sup>3</sup>とされる。ただし、土木発生木くずの中には工事伐採樹木も含まれている。

他部門およびその他に分類された木材一次製品からの残廃材発生および処理実態については明らかではない。現在は主として建築物中の木材ストック量は増加の状態にあるため、木材投入量に対して残廃材発生量は少ない。しかし今後ストック量が一定あるいは減少状態になった場合は、当然のことながら投入量に匹敵する残廃材が発生する。

木材利用部門からの残廃材の再資源化の実態は、2005年における推計で材料リサイクルとして木質ボード生産に約160万m<sup>3</sup>、紙パルプ部門に約80万m<sup>3</sup>、残りはエネルギー利用が進みつつある。

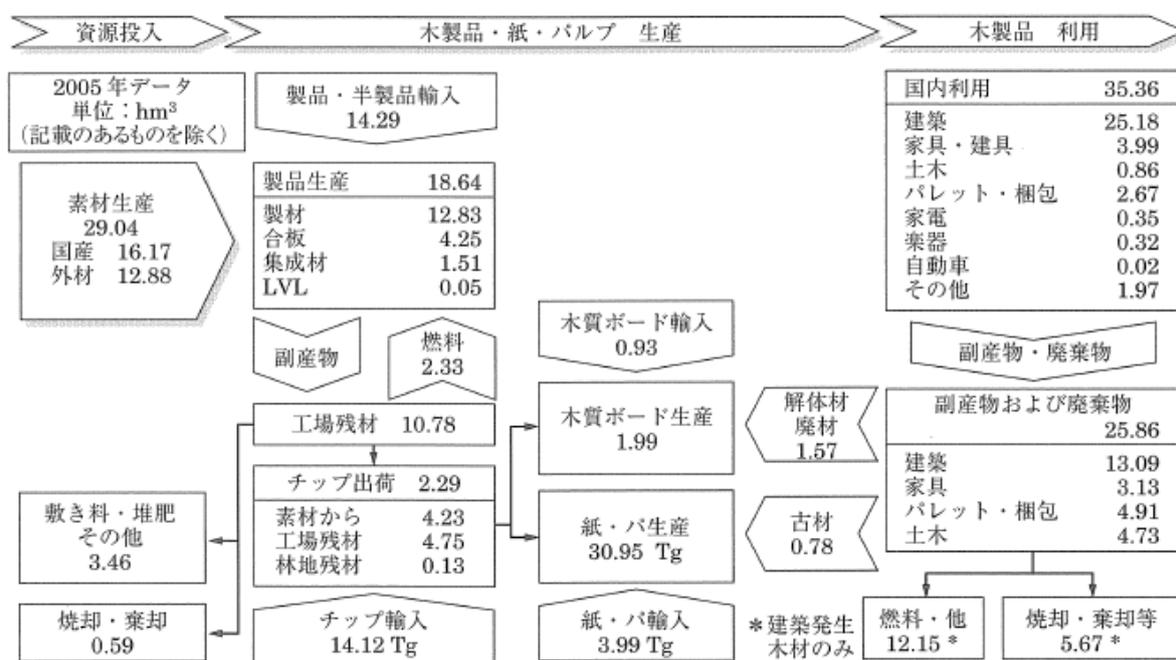
<sup>57</sup> 外崎真理雄、恒次祐子：「建設資材・労働力需要実態調査」による建築木材投入量原単位、木材工業、Vol.59(8)、pp.360-362(2004)

<sup>58</sup> 総務省：固定資産の価格等の概要調書(家屋分)(各年版)

<sup>59</sup> 建設物価調査会：建築統計年報(各年版)

<sup>60</sup> 西村勝美：木質系残廃材の発生状況とその処理・利用の現況、住宅と木材、Vol.05-4、pp.13-18(2005)

以上を図 1.2.13 にまとめて示す。



(2009/04/05 版、1hm<sup>3</sup>=100 万 m<sup>3</sup>、1Tg=100 万 t)

図 1.2.13 日本の木材フロー

### (5) 廃棄物—畜産廃棄物

畜産廃棄物の中で、その総量のほとんどを占めるのが家畜ふん尿である。原田<sup>61</sup>の推計方法をもとに 2008 年 2 月の飼養頭羽数から算定すると、我が国で 1 年間に発生する家畜ふん尿の量はふんが 5,934 万 t、尿が 2,729 万 t で、合計 8,663 万 t に達する (表 1.2.12)。この量は国内有機性廃棄物の中で最大である。推定値算出は、前にも述べたが、家畜ふん尿が質的にも量的にも変動が大きいことから実測に基づく推計が難しい。このため標準的な家畜飼料の種類と摂取量<sup>62</sup>から排せつされるふん尿量 (表 1.2.13) を畜種や畜体重量別に排せつ原単位として算定<sup>63</sup>し、これに各畜種の国内飼養頭羽数<sup>64</sup>を積算して算出している。

表 1.2.12 家畜排せつ物量と含有有機物、窒素およびリンの年間発生量 (2008)

畜種	飼養頭羽数 ×千頭羽	排せつ物量[100 万 t]			有機物・窒素・リン排せつ量[100 万 t]		
		ふん	尿	合計	有機物 (O.M)	窒素 (N)	リン (P)
乳用牛	1,533	19.316	5.703	25.019	3.1190	0.1229	0.0171
肉用牛	2,845	19.261	6.970	26.231	3.5018	0.1328	0.0161
豚	9,745	7.874	14.618	22.491	1.6479	0.1518	0.0324
採卵鶏	181,664	8.011		8.011	1.2017	0.1602	0.0304
ブロイラー	102,987	4.882		4.882	0.7322	0.0976	0.0112
合計		59.343	27.291	86.634	10.2026	0.6654	0.1072

\*O.M : Organic Matter, N : Nitrogen, P : Phosphorus

<sup>61</sup> 原田靖生：家畜排泄物の循環利用の現状と課題、農業を軸とした有機性資源の循環利用の展望、農業環境研究叢書、第 13 号、pp.34-52 (2000)

<sup>62</sup> 農林水産省農林水産技術会議事務局：日本標準飼料成分表 (1995)

<sup>63</sup> 築城幹典、原田靖生：家畜の排泄物推定プログラム、システム農学、Vol.13.No.1、pp.17-23 (1997)

<sup>64</sup> 農林水産省統計情報部：畜産統計、農林統計協会 (1999)

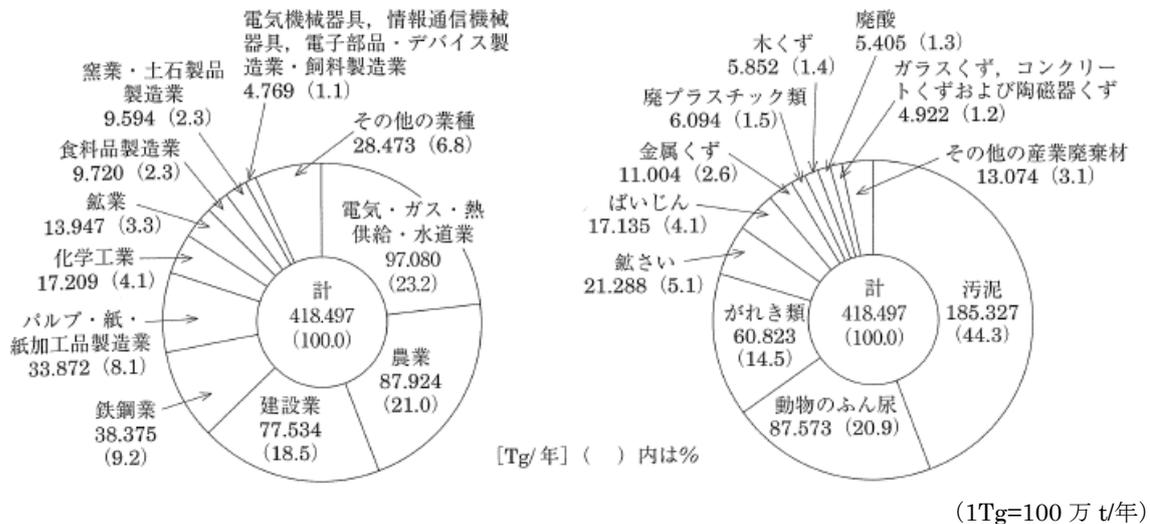
表 1.2.13 家畜排せつ物、窒素およびリン排せつ量の原単位<sup>65</sup>

畜種	排せつ物量 [kg/(頭・日)]			窒素量 [g-N/(頭・日)]			リン量 [g-P/(頭・日)]			
	ふん	尿	合計	ふん	尿	合計	ふん	尿	合計	
乳牛	さく乳牛	45.5	13.4	58.9	152.8	152.7	305.5	42.9	1.3	44.2
	乾・未経産	29.7	6.1	35.8	38.5	57.8	96.3	16.0	3.8	19.8
	育成牛	17.9	6.7	24.6	85.3	73.3	158.6	14.7	1.4	16.1
肉牛	2歳未満	17.8	6.5	24.3	67.8	62.0	129.8	14.3	0.7	15.0
	2歳以上	20.0	6.7	26.7	62.7	83.3	146.0	15.8	0.7	16.5
	乳用種	18.0	7.2	25.2	64.7	76.4	141.1	13.5	0.7	14.2
豚	肥育豚	2.1	3.8	5.9	8.3	25.9	34.2	6.5	2.2	8.7
	繁殖豚	3.3	7.0	10.3	11.0	40.0	51.0	9.9	5.7	15.6
採卵鶏	ひな	0.059	—	0.059	1.54	—	1.54	0.21	—	0.21
	成鶏	0.136	—	0.136	3.28	—	3.28	0.58	—	0.58
ブロイラー	0.130	—	0.130	2.62	—	2.62	0.29	—	0.29	

畜産加工残さについては、全体量を把握するために各処理業者（レンダラー）から生産実績を収集・整理した統計が存在しない。各地域のと畜場と食鶏処理場で処分されると畜頭羽数からの推定値であるが、年間 150 万 t<sup>66</sup>あるいは 167 万 t<sup>67</sup>の発生量が提示されている。この量は畜産廃棄物総発生量の 2%に満たない。

#### (6) 廃棄物—汚泥（下水・し尿・産業廃棄物汚泥）

我が国で排出される廃棄物のうち、産業廃棄物は平成 18 年度（2006 年度）実績で約 4 億 1,800 万 t であり、横ばい状態が続いている。図 1.2.14 に同年度の産業廃棄物の業種別排出量と種類別排出量を示す。全産業廃棄物に占める汚泥の発生量は、全体の約 44%（1 億 8,500 万 t）あり、量的に最も大きな割合を示している。



我が国で発生する汚泥発生総量は年間約 2 億 t にも達する。その発生汚泥の業種別発生量を表 1.2.14 に示す。最も多いのは下水から発生する汚泥であり、汚泥減量化とともに下水流入量の削減がなされつつある。

<sup>65</sup> 築城幹典、原田靖生：家畜の排泄物推定プログラム、システム農学、Vol.13.No.1、pp.17-23（1997）  
<sup>66</sup> 有機質資源化推進会議：畜産加工残さ、有機廃棄物資源化大辞典、pp.228-234（牛久保明邦）、農産漁村文化協会（1997）  
<sup>67</sup> 生物系廃棄物リサイクル研究会：生物系廃棄物のリサイクルの現状と課題・循環型経済社会へのナビゲーターとして、p.35、生物系リサイクル研究会（1999）  
<sup>68</sup> 環境省：産業廃棄物の排出・処理状況について、平成 21 年 3 月（2009）

表 1.2.14 業種別汚泥の排出量(平成 17 年度)<sup>69</sup>

[100 万 t/年]

業種	排出量
下水道業	48.773
パルプ・紙・紙加工品製造業	33.871
飲食店, 宿泊業	15.339
化学工業	12.382
建設業	9.542
食料品製造業	6.969
窯業・土石製品製造業	6.320
上水道業	5.679
その他	34.501
合計	173.376

### (7) 廃棄物—都市ごみ

我が国では一般廃棄物の処理責任は自治体にあり、全自治体を対象とした一般廃棄物処理実態調査が国によって毎年実施されている。この統計をもとに一人 1 日当たりごみ量を人口規模別に集計すると、図 1.2.15 となる。人口規模の大きい自治体ほど、事業活動が活発であるため事業系ごみは多くなる。家庭系ごみ(生活系ごみとも呼ぶ)も人口規模と相関があるように見えるが、事業所からの排出による見かけ上の増加であり、排出量は人口、地域によらないと考えられる。ただし、農村部においては家庭における処理(自家処理)割合が大きく、都市部では事業系ごみの混入の程度にも差がある。また建設廃材などの産業廃棄物を含む場合もあり、自治体間で一人当たりごみ量の差は大きい。日本のごみ処理は、20 世紀初頭から焼却を中心としてきた。19 世紀末に伝染病が発生し、その対策としたのがはじまりであるが、現在では埋立地をできるだけ長く使うための減容化が主な目的となっている。焼却を容易とするため、家庭系ごみは可燃ごみ、不燃ごみ、粗大ごみに分別するのが一般的であり、粗大ごみは破碎し、可燃残さを焼却する自治体が多い。事業系ごみは組成によって、焼却か埋立てかに分かれる。一般廃棄物全体の焼却率は 78%、13 大都市の平均は 82% (2006 年) であり、現在我が国では都市ごみ中バイオマスの大部分が焼却されていると考えてよい。

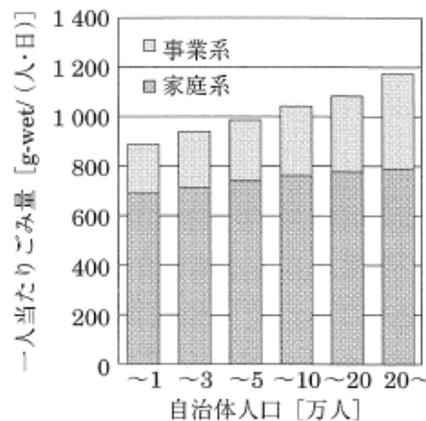


図 1.2.15 人口規模別一人当たり都市ごみ量(2006 年)<sup>70</sup>

表 1.2.15 に、大都市における焼却ごみの組成および特性の例を示す。焼却炉のごみピット(貯留槽)から採取された試料の分析値であり、各自治体には複数の焼却施設があるため、それらの平均をとった。事業系ごみの割合や資源物回収状況によって違いが生じるが、生ごみが約 30%、プラスチックが 10~15%である。紙と繊維類は一つの項目にまとめられているが、紙類のみでは 35~45%程度と思われる。生ごみを含むため、水分は 40~45%と高い。

<sup>69</sup> 環境省：産業廃棄物排出・処理状況報告書、平成 20 年 3 月 (2008)

<sup>70</sup> 環境省大臣官房・リサイクル対策部廃棄物対策課：日本の廃棄物処理(平成 18 年度版)

1990年代後半に循環型社会が社会の共通目標となり、それに伴って資源物回収が自治体を中心に活発に進められるようになった。その結果、ガラスびん、スチール缶・アルミ缶の回収が進み、可燃ごみ中の不燃物量が減少した。容器包装プラスチックのリサイクル、あるいはプラスチックの不燃ごみとしての収集は可燃ごみの発熱量を低下させるが、処理量400t/日の焼却施設における低位発熱量の平均（2006年度）は9.5MJ/kgに達している（環境省HPデータ<sup>71</sup>より計算）。

表 1.2.15 大都市における焼却ごみ組成・特性の例(湿重量基準)

		[kg/kg]				
		札幌	東京	横浜	名古屋	福岡
組成	紙・繊維	0.46	0.50	0.56	0.46	0.51
	プラスチック	0.13	0.13	0.15	0.06	0.07
	木類	0.07	0.03	0.04	0.10	0.11
	ちゅうかい	0.31	0.35	0.29	0.34	0.28
	不燃物+その他	0.04	0.04	0.05	0.02	0.03
三成分	水分	0.47	0.46	0.42	0.43	0.40
	可燃物	0.47	0.48	0.51	0.52	0.55
	灰分	0.07	0.07	0.07	0.05	0.08

(注) 各都市における焼却施設搬入ごみ組成の平均

(環境省ホームページ「一般廃棄物処理実態調査結果」のデータより作成、2006)

### 1.2.3 エネルギーポテンシャル

#### (1) 『バイオマスハンドブック』における資源量の推算

エネルギーポテンシャルに関しては、前述の『バイオマスハンドブック（第2版）』において、先ずは総合的な見地から廃棄物系バイオマスとエネルギープランテーションとに大別して次のように推算している。

##### (a) 基本説明

地球上には膨大な量のバイオマスがストックとして存在し、光合成によって常に新たなバイオマスがフローとして生産されている。光合成により生産されたバイオマスは、人間をはじめさまざまな生物にとっての食料として、あるいは人間が営む社会活動において、すでにさまざまな形で利用されている。エネルギー源としてのバイオマスの資源量を評価する場合、その対象は例えば大きく二つに分けられる。一つは現時点においてすでに生産されながらも十分に利用されていない廃棄物系バイオマス、もう一つが現時点では十分な生産を行っていない未利用地・低利用地をエネルギーのために使用し生産するエネルギープランテーションである。

##### ○廃棄物系バイオマス

廃棄物系バイオマスは、農業や林業、畜産業などの生産に伴い発生するもので、人間生活の営みが維持され続ける限り、相当量が定常的に発生（現存）する。しかしながら、現存量の一部はすでに他の用途に使用されており、使用されていない場合においても、その全量を効率的に回収し、エネルギー源として利用することは困難と考えられる。したがって、現存量のうち、実際にエネルギー源としての利用が可能と考えられる量を、廃棄物系バイオマスのエネルギーポテンシャルとして定義することができる。

##### ○エネルギープランテーション

作物を食料用などとしてではなく、エネルギー利用を主目的として計画的に栽培することをエネルギープランテーションと呼ぶ。エネルギープランテーションとして一般に提案されているのは「木質系あるいは草本系のなかでも成長が早いバイオマスを栽培し、成長が鈍る前に5～10年の短いサイクルで伐採する」もので、ユーカリ、ハイブリッドポプラ、ヤナギなどの木質系、サトウキビ、ミスキャンサス、ソルガム、スイッチグラスなどの草本系、その他、ジャトロファなどの油生産型作物などが有望視されている。

<sup>71</sup> 環境省HP、一般廃棄物処理実態調査データ（平成18年度）

(b) 詳細説明

現在、地球上には、森林や海洋をはじめとする広範な地域にわたって膨大な量のバイオマスがストックとして存在し、世界の陸上の総バイオマス量は乾重量で約 1.8 兆 t、海洋中に約 40 億 t、土壌中にも陸上バイオマスに匹敵する量のバイオマスが賦存している。陸上の総バイオマス量をエネルギー換算すると 3 万 3,000EJ となり、世界の年間エネルギー消費量の 80 倍以上に相当する。また、地球上では光合成によって常に新たなバイオマスがフローとして生産されている。その年間の純一次生産量は陸上で約 1,150 億 t、海洋で約 550 億 t であり、エネルギー換算すると世界の年間エネルギー消費量の 10 倍近くになる。しかしながら、この中には人間を始めさまざまな生物の食料として利用されているもの、また人間が社会生活を営むうえで食料以外の用途としても利用されているものなどが含まれるため、バイオマスをエネルギー源として検討するうえで転換可能なバイオマスの資源量を推算することは重要である。

(1) 廃棄物系バイオマスの資源量の推算

① 廃棄物系バイオマスの現存量

廃棄物系バイオマスの現存量を推定するためには、その発生量を把握する必要があるが、世界各国・各地域における発生量を個々に把握することは困難であるため、バイオマス資源の生産量に対する廃棄物発生率などを仮定することにより、その発生量を推定することが多い。表 1.2.16 に廃棄物系バイオマスの現存量推定時のパラメータ例を示す。ただし、このパラメータは世界全体を対象にして一般化されたものであり、特定地域の検討を行う際には、その地域に沿ったパラメータを設定することが望ましい。

表 1.2.16 廃棄物系バイオマス現存量推定時のパラメータ例<sup>72</sup>

バイオマス種	廃棄物発生率 (乾重量) [t/t]	エネルギー換算係数 (乾重量) [GJ-HHV/t]
米	1.4	16.3
麦	1.3	17.5
トウモロコシ	1.0	17.7
根茎作物	0.4	6.0
サトウキビ (収穫時残余)	0.28	17.33
サトウキビ (バガス)	0.15	17.33
牛	1.10 [t/(年・頭)]	15.0
豚	0.22 [t/(年・頭)]	17.0
鶏	0.037 [t/(年・頭)]	13.5
馬	0.55 [t/(年・頭)]	14.9
水牛、ラクダ	1.46 [t/(年・頭)]	14.9
ヒツジ、ヤギ	0.18 [t/(年・頭)]	17.8
産業用丸太	1.17	16.0
燃料丸太	0.67	16.0
用材くず	0.784	16.0

1t/t = 1kg-廃棄物/kg-生産量、1GJ-HHV/t = 1MJ-HHV/kg

図 1.2.16 に、これらのパラメータを用い、以下の手順により推定した廃棄物系バイオマスの現存量 (年間値) を示す。

- ・農産および林産廃棄物の発生量は、農産物 (2007 年)、林産物 (2007 年) の生産量を FAO の統計<sup>73</sup>を用いて整備し、廃棄物発生率を用いて推定。
- ・畜産廃棄物の発生量は、FAO 統計より家畜頭羽数 (2007 年) を求め、1 頭当たりのふん尿量 (糞尿量) を用いて推定。
- ・算出した廃棄物発生量にエネルギー換算係数を積算し、エネルギー量として現存量を推定。

<sup>72</sup> D. O. Hall, et al. : Biomass for Energy: Supply Prospects, T. B. Johansson (ed.), Renewable Energy, p.594, Washington, Island Press (1993)

<sup>73</sup> FAO 統計、<http://www.fao.org/>

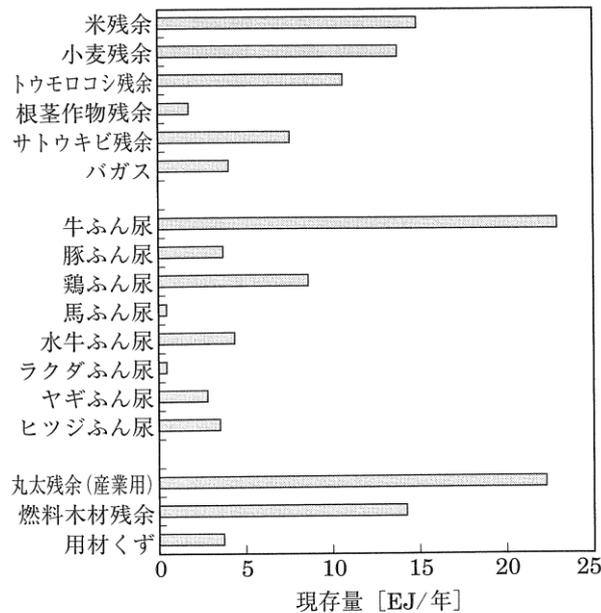


図 1.2.16 廃棄物系バイオマスの現存量の推算結果(バイオマス種別)

廃棄物系バイオマスの現存量は年間で、農産バイオマスが約 51EJ、畜産バイオマスが約 47EJ、林産バイオマスが約 40EJ となり、合計すると約 138EJ 程度となる。内訳として、最も大きいのは約 23EJ となる牛ふん尿であり、次に約 22EJ となる丸太残余が続く。

これらのバイオマス資源量を地域別に整理した結果を図 1.2.17 に示す。アジアが約 61EJ と最も高く、ついで北中米が約 24EJ となる。

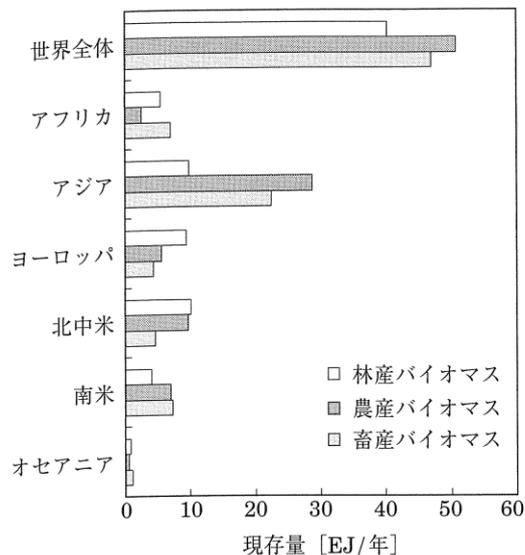


図 1.2.17 廃棄物系バイオマスの現存量の推算結果(地域種別)

## ②廃棄物系バイオマスのエネルギーポテンシャル

廃棄物系バイオマスの現存量の一部はすでに他の用途に使用されており、使用されていない場合においても、その全量を効率的に回収し、エネルギー源として利用することは困難と考えられる。例えば、わら類の一部は現在、家畜の敷料や飼料、農地へのすき込み用として利用されている。また、牛ふん尿においては、放し飼いの場合、ふん尿を収集するのはほぼ不可能と考えられ、つなぎ飼いの場合においても発生した廃棄物すべてが収集できるわけではない。利用可能と考えられるバイオマス資源量を推定する際には利用可能性を考慮する必要があり、廃棄物系バイオマスのエネルギーポテンシャルは、現存量のうちエネルギー源として実際に利用可能と考えられる

資源量となる。図 1.2.18 に、(1)項に示した現存量に対し、表 1.2.17 に示す利用可能率を乗じることにより推算した廃棄物系バイオマスのエネルギーポテンシャルを示す。

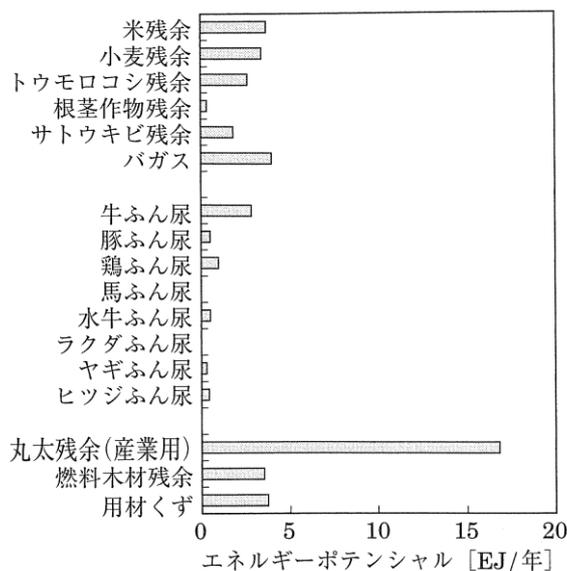


図 1.2.18 廃棄物系バイオマスのエネルギーポテンシャル(バイオマス種別)

表 1.2.17 バイオマス種とエネルギー利用可能率

	バイオマス種	利用可能率 [%]
農産廃棄物	稲、麦、トウモロコシ、根茎作物、サトウキビ (収穫時残余)	25
	サトウキビ (バガス)	100
畜産廃棄物	牛、豚、馬、鶏、ヒツジ、ヤギ、水牛、ラクダ	12.5
林産廃棄物	産業用丸太	75
	燃料丸太	25
	用材くず	100

廃棄物系バイオマスのエネルギーポテンシャルは世界全体で年間 45EJ となる。種類別では林産廃棄物系バイオマスが最も多く約 24EJ、中でも丸太残余は約 3分の2に相当する約 17EJ を占め、全体の約 39%に達する。農産廃棄物系バイオマスはおのおの 1.9~4.0EJ で、合計で約 16EJ 存在する。畜産廃棄物系バイオマスは、合計で約 5.9EJ であり、最も多いのは牛ふん尿で約 2.9EJ である。

図 1.2.19 には、地域別に見た廃棄物系バイオマスのエネルギーポテンシャルを示す。アジアが最も多く約 16EJ であり、その中で農産バイオマスが約 8.5EJ を占める。次いで北中米で約 11EJ となり、約 7EJ が林産バイオマスである。アジア、オセアニア、南米では農産バイオマス、北中米、アフリカ、ヨーロッパでは林産バイオマスの占める割合が最も大きい。

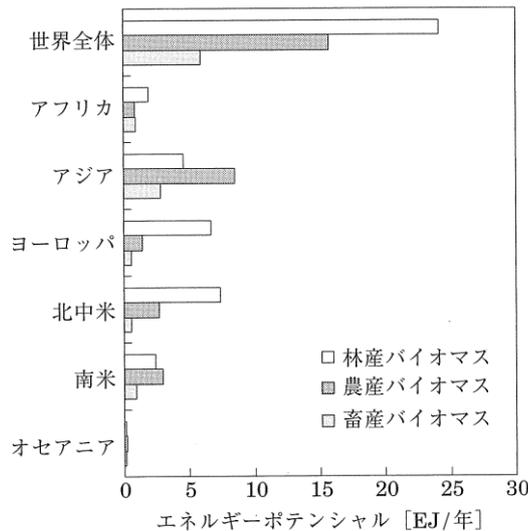


図 1.2.19 廃棄物系バイオマスのエネルギーポテンシャル(地域種別)

(2) エネルギープランテーションの資源量の推算

エネルギープランテーション構想とは、「従来の食糧や建材、素材を生産することを主目的に置くのではなく、エネルギー用途を主目的として成長の速い木質系あるいは草本系のバイオマスを栽培し、5~10年の短いサイクルで伐採して、これによりエネルギーを製造する」ものである。エネルギー目的用の候補となるバイオマスの条件は、生産性が高いことが第一である。バイオマスの生産量は地球上の地域によって大きく異なり、その土地に適したバイオマス種を選定することが必要である。表 1.2.18 に地球上のエコシステム別の平均的なバイオマスの生産量を示す(Whittaker and Likens<sup>74</sup>より抜粋)。熱帯多雨林地域での生産性がきわめて高い。これらのエコシステムに存在するバイオマス量(乾重量)は全地球で1兆8,410億tと推計され、大陸が1兆8,370億tと99.8%を占め、森林が1兆7,000億tと92.3%を占めており、現存バイオマスのほとんどは森林資源である。また、草地(サバンナ、温帯草地、ツンドラ・高緯度草地、砂漠・半砂漠低木林)に生息する草本は合計して920億tで、全体の5%程度である。

表 1.2.18 エコシステムタイプ別平均的バイオマス成長量[t/(ha・年)]

熱帯多雨林	22.0	温帯草地	6.0
熱帯季節林	16.0	高緯度草地ツンドラ	1.4
熱帯常緑林	13.0	砂漠・半砂漠低木林	0.9
温帯落葉樹林	12.0	極砂漠	0.03
亜寒帯林	8.0	耕地	6.5
疎林・低木林	7.0	沼地・沼沢地	30.0
サバンナ	9.0	湖沼・河川	4.0

$$1t/(ha \cdot 年) = 0.1kg/(m^2 \cdot 年) = 3.2mg/(m^2 \cdot s)$$

バイオマスエネルギープランテーション構想は、石油ショック以後、1970年代の後半に提案された新しい構想で、現在、スウェーデン、カナダ、米国、オーストラリアなどで大型化、実用化のための実証実験が進められている。バイオマス種としては、表 1.2.19 に示すものが候補としてあげられる。その他、油生産型作物などが有望視されている。また、草本系バイオマスの成長量チャンピオンデータとしては、イネ科ネピアグラスの8kg/(m<sup>2</sup>・年)(80t/(ha・年))が挙げられている。

<sup>74</sup> R. H. Whittaker, et al.: The bio-sphere and man, H. Lirith, et al. (eds.), Primary productivity of the biosphere, pp. 305-328, Springer-Verlag, New York (1975)

表 1.2.19 エネルギープランテーションの候補となるバイオマス種

バイオマス種	成長量 [t/(ha・年)]
ユーカリ	20
ハイブリッドポプラ	10~15
ヤナギ	8~10
サトウキビ	~30
ミスキャンサス	~10
ソルガム	~15
スイッチグラス	~9

$$1\text{t}/(\text{ha} \cdot \text{年}) = 0.1\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{年}) = 3.2\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$$

エネルギープランテーションの資源量（エネルギーポテンシャル）は、プランテーション作物の栽培が可能と想定される用地面積[m<sup>2</sup>]に、作物の単位面積当たりの平均的生産性（成長量[kg/(m<sup>2</sup>・年)]）を仮定し積算することにより推定することが多い。プランテーション用地は、耕作地を想定すると作物との競合が生じ、さらに単栽培による地力の低下など弊害が生じることが予想されるが、既存の森林や農地の代替利用ではなく未利用・低利用の土地に限定して転用するならば、プランテーション化に伴う土壌改良やインフラストラクチャ整備などの波及効果も期待でき、負の影響を最小限にとどめることができると思われる。エネルギープランテーションの資源量に関し、ブラジルのユーカリ林プランテーションの経験に基づく年間降水量と単収の相関から各国における単収を仮定した推算例<sup>75</sup>があり、アフリカ、ラテンアメリカ、アジアを対象としたエネルギープランテーションの資源量（ポテンシャル）を約 70EJ/年と報告している。この推定値は商業プランテーションとしての良好な条件を前提としている点に注意が必要であるが、この例を参照することにより、プランテーション用地として FAO のデータから得られる未利用地面積の 10%相当を想定し、15kg/(m<sup>2</sup>・年) の速度で成長するプランテーション作物の栽培を仮定すると、その資源量は世界全体で約 125EJ/年となる。これは廃棄物系バイオマスの現存量に匹敵する。

<sup>75</sup> Larson : CO<sub>2</sub> Mitigation Potential of Biomass Energy Plantation in Developing Regions (1995)

## (2) その他の試算事例

その他のエネルギーポテンシャル資産事例の概略を表 1.2.20 に示す。

表 1.2.20 世界のバイオマスエネルギー供給量の試算例<sup>76</sup>

研究者等 (年)	結 果
RIGES <sup>1)</sup> (Johansson ら)	2025 年：145EJ (145EJ の 55%はプランテーションから供給) 2050 年：206EJ
Larson <sup>2)</sup>	2025 年の途上国におけるエネルギープランテーションによる供給可能量はアジア：31.2EJ、アフリカ：18.4EJ、ラテンアメリカ：22.3EJ。
土手ら <sup>3)</sup>	2100 年のプランテーションによる供給可能量はシナリオに応じて 0～844 (EJ) の幅で変動。
杉山ら <sup>4)</sup>	2010 年～2020 年にはプランテーションにより 33.5EJ のバイオマスエネルギーを供給。2100 年における供給可能量は、シナリオに応じて 0～353 (EJ) の幅で変動。
山本ら <sup>5)</sup>	2050 年にはエネルギー作物により 80EJ、バイオマス残余により 82EJ を供給。2100 年にはそれぞれ 154EJ 及び 113EJ を供給。
WEC <sup>6)</sup>	バイオマスエネルギー供給量を 1990 年の 47EJ から 2020 年には 70EJ に増進。うち、新型 (商業用) バイオマスエネルギーを現在の 5EJ から 25EJ に。
Dessus et al. <sup>6)</sup>	バイオマスエネルギー供給量を 2020 年には 135EJ とする。うち 51% は商業用森林から、17% は非商業用森林から (以上木材)、20% は廃棄物から、12% はプランテーションのエネルギー作物から供給。
EPA <sup>6)</sup>	バイオマスエネルギー供給量を 2025 年には 136EJ、2050 年には 215EJ に。

### 【出典】

- 1) “Renewable Energy” (T.B.Johansson et al.,1993)
- 2) “CO<sub>2</sub> Mitigation Potential of Biomass Energy Plantation in Developing Regions (平成 6 年度「地球再生計画」に関する調査報告書参考資料集)” (Larson,1995)
- 3) “森林系バイオマス・エネルギーの供給量予測” (土手、小木、資源と環境、Vol.6、No.6、1997)
- 4) 杉山大志、齋木 博、渡部良朋、中園 聡、藤野純一、電力中央研究所報告、Y95006(1995)
- 5) 山本、山地、電力中央研究所報告 “世界土地利用モデルによるバイオマスエネルギーポテンシャルの評価”、Y96002(1996)
- 6) “エネルギー・資源ハンドブック” (エネルギー資源学会編、P232、1997) より引用

<sup>76</sup> NEDO：新エネルギー海外情報、2000 年 2 月号、  
<http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/foreigninfo/html002/index.html>、  
 太陽・風力・バイオマスエネルギーの導入条件調査 (世界各国) (第 4 章)  
<http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/foreigninfo/html002/002-3-4.pdf>

## 2. バイオマス調達の際の環境影響と対応策

### 2.1 環境影響の内容

#### 2.1.1 栽培型と副産物を含む廃棄物系の環境影響

バイオマスの生産は、エネルギー作物といわれる栽培型のものと副産物を含む廃棄物系に二分される。

それぞれについて表 2.1.1 にその環境影響の内容を取りまとめる。

表 2.1.1 栽培型と副産物を含む廃棄物系の環境影響の内容

分類	環境影響の内容
栽培型	<ul style="list-style-type: none"><li>生産過程の焼畑による煙害や森林消滅、既存生態系の破壊、耕土流失、山火事、病虫害、農薬残留汚染、耕地の酸性化など</li><li>肥料投入量、特に窒素肥料の投入には、硝酸性窒素汚染や湖沼の富栄養化を招き、施肥窒素肥料から温暖化ガスである亜酸化窒素の発生も想定</li><li>食糧生産との競合調整</li></ul>
副産物を含む廃棄物系	<ul style="list-style-type: none"><li>排出時点から収集、分別、破碎、濃縮、貯蔵、加工などの過程を要し、その際、投棄、拡散、腐敗、悪臭、爆発火災、地下水汚染、有害物汚染など</li></ul>

#### 2.1.2 エネルギー変換における環境安全性

バイオマスのエネルギー変換には、直接燃焼、熱分解、ガス化などの熱化学的変換と、嫌気性発酵やエタノール発酵などの生物化学的変換があり、それぞれ変換プロセスにおいて大気汚染、水質汚染、悪臭拡散、土壌汚染など地球圏、生活圏の環境保全に関わる影響要因を有する。

しかし、一般的に廃棄物系由来のバイオマスを除き石炭・石油系エネルギーに比して含有する有害成分が少なく、排ガス、排水、残さ（残渣）による環境影響負荷は小さく、バイオマスエネルギーの優れた特性といわれている。

直接燃焼変換プロセスでは、バイオマスの硫黄、塩素、重金属類などの含有が少なく、排ガス中の硫黄酸化物、塩化水素、窒素酸化物の排出濃度は低い。残さも有害成分性は少なく、肥料や無機材料として再資源化が可能である。

メタン発酵などの生物化学的変換プロセスでは、分離廃液や残さが生じる。廃液は液肥利用や処理が必要であるが、変換プロセス内で閉鎖型のプロセス化を図るか外部で適正処理が講じられれば汚染の危険はない。残さも土壌改良材や堆肥として再利用できる。

バイオマス由来の二次エネルギーとしてメタノール、エタノール、バイオディーゼル油などがある。いずれも生体毒性、火災爆発性を有しており、作業環境の管理、維持管理の規制が必要とされるが、一般的に廃棄物系バイオマスのエネルギー変換は、無害化処理・減容化・再資源化と廃棄物に関わる循環型社会にかなう環境安全性の高いものといえる。

## 2.2 バイオエネルギーの生産・植栽における環境安全性

バイオエネルギーの長所は、再生可能と環境への負荷が小さいことといわれている。

一方、バイオマスの特性上、化石系エネルギーと異なる環境影響も考えられる。持続的で商用規模のエネルギー利用を目的とするとき、バイオマスの生産やエネルギー変換過程における環境安全性は、持続的エネルギー源の必須条件であり、安定性や持続性に多大な影響を及ぼすため多面的な評価が不可欠である。エネルギー利用の対象とされるバイオマスは、栽培型作物や林産資源さらに広義にはバイオマス由来の食品ちゅうかい、産業廃棄物、有機汚泥など多様で、おのおの固有の生産過程が存在し、これに対応するエネルギー変換プロセスも多くの方式が適用される。環境安全性評価は、循環再生が可能な植栽管理や食糧生産などに付随する生産排出に関わる環境影響とエネルギー変換過程において排出される廃棄物や残さなどによる環境安全性の両面について、安全性や持続可能性の検討が重要である。

バイオエネルギーは、その特性として、エネルギー密度が小さく、生産速度や収量が外的要因である土壌や気象条件などに大きく依存する。商用に資する持続的なエネルギー収量を得るため

には、化石系エネルギーに比して広大な森林、耕地、牧草地などを必要とし、生産植栽環境、収集環境に付随する次項のような環境安全性の評価が必要である。

### 2.2.1 プランテーション型バイオマス

油パーム、サトウキビ、ユーカリ、ジャトロファ、イピルイピルのようなプランテーションバイオマスは多年性で広域に及ぶ農園で単一生態系を形成する環境で殖産される。農園単位が100km<sup>2</sup>以上に及ぶ大規模な殖産のため、農園管理は集荷過程公害、生息する生物相への影響、水利、山火事や病虫害の防止、廃葉木に対する配慮が必要である。

開発時における負の環境影響として、熱帯雨林の消滅、自然林の皆採、先住民の生活圏の破壊、生態系の分断などが指摘されている。1998～1999年のアセアン諸国での山火事の高発は、オイルパーム・プランテーションの再植を行うための焼畑農法に起因した。特に熱帯雨林帯における乾季の火事は消火が困難で被害が大きい。火事による煙害は農園を取り巻く広い地域で日照量が低下し、既存作物の喪失や生産性低下に加え、農園に生息する小動物の生態系も破壊し、気象異常や航路障害を起こし大きな被害を与えている。

プランテーション型バイオマスは、開墾（焼畑）・育苗・植付・生育・伐採集荷・再生が計画的に制御されており、エネルギー変換利用は一般的に生産地で行われる。プランテーション型バイオマスは公的資金で行われているエネルギー林などを除き、投下資本が大きく回収が長期のため倒産による農園放棄も多く、地域環境の劣化も生じている。植栽規模が広大となるため、環境安全性の観点で表 2.2.1 にあげる評価項目を適切に管理することがエネルギー利用の持続性に欠かせない。

表 2.2.1 プランテーション型バイオマスの生産・集荷時の環境安全性評価項目

変移期	環境安全性評価項目
開発期(植付期)	耕土流失、土壌浸食、地下水の蒸散、枯渇、腐葉土層の減少、先住民保護
収穫期	火事、病虫害、アンダクropp生育、廃葉木の腐敗、農薬残留汚染、塩類など有害成分の濃縮
閉鎖・再生期	火事、生育動物の絶滅、腐葉土の喪失、保水力の減少、腐生連鎖の破壊

#### (1) オイルパーム・プランテーションとインドネシア森林破壊<sup>77</sup>

<現状>

ジャカルタ・ポスト紙によると、インドネシア・フォレスト・ウォッチ (FWI) の新たな研究が、インドネシアの世界最速の森林破壊（1時間に300のサッカー場の面積—ギネスブック）の主要な原因が大量の森林のオイルパーム・プランテーションへの転換、木材と移住地造成の需要の増加であると報告している。

中央カリマンタン州、リアウ州、パプア州で行われたこのフィールド研究によると、大企業による森林のオイルパーム・プランテーションへの転換が森林破壊の最大の元凶である。パームオイル企業は、刈り払われた森林の樹木から追加利益を得るために、遊休地よりも刈り払った森林を使ってプランテーションを拡大している。

プランテーションへの最速の転換は中央カリマンタン州で見られる。1年間にオイルパーム・プランテーションに転換される森林の面積は、1991年には11.63km<sup>2</sup>にすぎなかったが、2007年には4,619.92 km<sup>2</sup>と、17年間で400倍にも増えた(中央カリマンタン州政府のデータによる)。

2006年には約8,160km<sup>2</sup>がオイルパーム・プランテーションのために刈り払われたことが判明している。州の3万 km<sup>2</sup>の泥炭地の14%がオイルパーム・プランテーションに転換されたことになる。

リアウ州では、地方政府が全森林面積の38.5%をプランテーションへの転換に割り当てた。2006年時点で、1万5,000km<sup>2</sup>のオイルパーム・プランテーションを含む2万7,000km<sup>2</sup>のプランテーションが存在している。

<sup>77</sup> Worldwide Agricultural Policy Information Center(WAPIC)

パプア州でプランテーションのために切り倒された 5,500 km<sup>2</sup>の森林のうち、4,800 km<sup>2</sup>がオイルパーム栽培に割り当てられている。

インドネシア林業省によると、オイルパーム・プランテーションは、1990年の1万1,000km<sup>2</sup>から2006年には6万1,000km<sup>2</sup>に増えた。87年-97年には1万8,000km<sup>2</sup>だった年平均森林破壊面積は、主に森林火災のために2000年までに2万8,000km<sup>2</sup>に跳ね上がったが、2000~2006年には1万800km<sup>2</sup>に減った。しかし、FWIによると、1989~2003年の年平均森林破壊面積は1万9,000km<sup>2</sup>になる。

森林破壊を加速しているもう一つの要因は、国の紙・パルプ企業に割り当てられた産業用森林からの原料供給が需要に追いつかないことから来る木材需要の増大という。

紙産業の能力は1987年の100万tから2007年の1,100万tに増えた。パルプ産業の能力も、この間に50万tから650万tに増えた。

ところが、これら産業は必要な原料の50%しか供給できない。従って、割り当て区域外の森林から木材を調達しているに違いないという。

さらに、前政府の移住計画も森林破壊に寄与している。リアウ州では7,733.31 km<sup>2</sup>が移住地域に転換され、パプア州では再定住区域を作るために約77.3 km<sup>2</sup>の森林が刈り払われた。

#### <インドネシア政府の対応策>

2009年時点で、インドネシア農業省が、何万 km<sup>2</sup>もの泥炭地をオイルパーム・プランテーション造成のために掘り返すことを認める省令を準備している。農業省研究開発部長は国家気候変動委員会が組織した農業の気候変動への適応をめぐる会合において、次のように語っている。

「わが国はなおオイルパーム・プランテーション用地を必要としている。我々は率直でなければならない。この部門は人々の経済の主要ドライバーとなってきた」、「我々は、泥炭地の転換は安全だと確信させるために、強硬派活動家も含む関係者と省令を議論してきた」、「我々は、海外のバイヤーや国際社会からの非難をかわすために、環境に優しい管理を促進すると約束する」、「泥炭地は土地を開くときに温室効果ガスを排出するだけで、新たなオイルパーム（アブラヤシ）が植えられたあとは、これを再吸収する」。

#### <国際社会の反応>

上記のような省令の実施となれば、森林保全を口実とする援助は途絶える可能性が高い。EUは“2008年1月に泥炭地であった土地から得られた原料を使って作られた”バイオ燃料は認めないと決定しており（EU再生可能エネルギー利用促進指令のバイオ燃料持続可能性基準、2008.12.26）、新たに開発されるオイルパーム・プランテーションは世界最大のバイオディーゼル市場、あるいはバイオディーゼル原料市場からも締め出されることになる。

しかし、パームオイルの最大の用途は食用油であり、日本も含む海外の消費者は、健康によいなどと大量のパームオイルを買い続けている。

## （2）ユーカリ植林と環境問題—ブラジル

#### <ユーカリの長所>

ユーカリの長所をあげると以下のようになる。

- ①著しく生長が早い。
- ②種類が多く植林地の気温や降雨量、土壌などの条件に合った樹種を選択可能。
- ③適応力が強く、造林適地がきわめて広い。
- ④樹種の選定、植栽法、管理法により、単一斉林とした場合でも病虫害の発生が少なく、山火事にも比較的耐える力がある。
- ⑤種子の採取、保存と挿し木苗の養成が容易で、大量に苗木を生産可能。
- ⑥切り株から芽が出て再成長し、再植の手間が省ける。
- ⑦利用材積が大きく、単位面積あたりの林分材積は成長量の早いこととあわせ高い。
- ⑧紙パルプ原料、薪炭材、電柱、鉄道枕木、坑木、合板、建築材等、用途は多岐。

### <ユーカリの環境負荷>

一方、環境負荷には以下のようなものがある。

- ① 土壌の養分の消費量が大きく、短期間の伐採により、土壌の劣化を招く。
- ② 土壌水分を多く吸収し蒸散させ、水を大量に消費し、水源機能を低下させる。
- ③ 外来樹種の一斉造林は、動植物の生育環境、生態系の多様性に問題を生じる。
- ④ ある種のユーカリ葉の出す化学物資が、他の生物に悪影響を与える。

### <ブラジルでの対応>

ユーカリは、その植林が環境保護に注意を払いながら行われる限り、木材の必要に応ずるための非常によい樹種である。

ブラジルでは植林地で連続的にローテーションを行い、その間、生産力を持続的に維持するためには、ローテーションの更新時の施業・管理だけではなく、長期に渡り、土地の生産力を低下させないためのモニタリングと管理を実施している。

## 2.2.2 栽培型バイオマス（草本系）

栽培型バイオマスは、稲、トウモロコシ、大豆、コーリヤン、麦、キャッサバ、テンサイ、ヒマワリ、イモ類などの単年作物とミカン、バナナなどの果実類などがあるが、いずれも食糧や飼料生産に関わるものが多く、バイオエネルギー源の対象として、安定的な供給には、食糧、飼料資源としての既存需要との競合リスクの問題がある。

環境安全面においては、再生産の障害となる連輪作障害による収率の低下、農薬残留、塩類濃度の増加、病虫害、耕地の肥沃度の維持、異常気象があげられる。

栽培型バイオマスの不安定要因は、環境安全性より、むしろ穀物市場の影響を受けて作付量の変動が回避できないことや、耕土の酸性化抑制や干ばつ対策などのほ場整備を必要とするうえ、穀物を原料とするアルコール化などを除きカスケード型の廃材利用が主となるため、材の均質性や集荷の利便性に直接影響されるエネルギーコストの変動が大きいことが指摘される。

## 2.2.3 廃棄物系バイオマス

エネルギー利用が可能な廃棄物系バイオマスは、食品残さ、畜産排せつ（排泄）物、木皮、廃木材、有機性汚泥など多様な廃棄物がある。循環型社会形成に向けて、これらの無害化、減容化、再利用を目的とする適正処理と相まってエネルギー利用の促進が強調されている。排出過程における環境安全性因子には、拡散、腐敗、悪臭、有害物汚染、不法投棄などがあり、生産、流通、消費に至るおのおのの活動において、法的規制を受け、エネルギー利用、処理処分を問わず、量的移動、収集貯蔵、処理における生活環境への影響を低減する行政処置がとられている。

施設面では、屋内外に大量に貯蔵・堆積されることが多い木くずや RDF などの有機系可燃性廃棄物では、低温酸化、微生物発酵、水分吸着、金属の化学反応などに起因すると見られる自然発火による爆発・火災事故が多数発生している<sup>78</sup>。エネルギー源としての観点から、排出過程における環境安全性と持続可能性を評価する場合、生活系廃棄物では、対象地域の人口動態、流通形態、交通、産業動向、資源化率などの現状の背景把握と将来予測が肝要である。

産業廃棄物では、排出点における対象廃棄物の性状・量的変動が評価項目である。環境影響負荷が高く、エネルギー価値の貧位な廃棄物は、事前選別の実施や生産工程の改善により、環境安全性やエネルギー価値を向上させることが可能である。

## 2.2.4 その他のバイオマス

流木、間伐材、せん定枝、菌床材、草木などの農林産系バイオマスも、ローカルエネルギーとして利用されている。環境安全性評価では、間伐材は森林保全効果を生み、流木やせん定枝などの利用は廃棄物の適正処理として評価できる。これらのバイオマスは集荷に季節性があり、収量に関しては持続性や経済性の検討が必要となる。また堆肥化との競合などもエネルギー源持続性の不安定要因である。

<sup>78</sup> 角田芳忠ら：廃棄物貯留時の水分吸着による自然発火に関する研究、廃棄物資源循環学会論文誌、Vol.20. No.1. p.39 (2009)

## 2.3 グローバルな視点から見たバイオマス生産と環境

本節では、バイオマス生産と環境の関係を考えるが、これには二面性がある。一つは環境がバイオマス生産に及ぼす影響である。バイオマスを大量に生産しなければならない時期が21世紀の後半であるとする、そのとき進行しているであろう地球温暖化がバイオマス生産にどのような影響を与えるかが問題になる。

また、一面では大量にバイオマスを栽培することが、環境にどのような影響を与えるかについても問題になる。21世紀に必要とされるバイオマスを、石油換算40億tと考えたとする。石油換算40億tは、バイオマス量として約120億tに相当する。現在生産されている穀物が約20億t、木材が約30億tであることを考えると、いかに膨大な量であるかがわかる。ここでは、膨大なバイオマスを温暖化が進行するなかで生産することが可能か、また大量生産が環境に悪影響を及ぼす可能性がないのかについて検討する。

### 2.3.1 バイオマス生産と自然環境

#### (1) バイオマスの生産と降雨

砂漠や氷河ではバイオマスを生産することはできない。生物生産を行うことができる土地は地球上の一部に限られる。それでは、どこでどのくらいバイオマス生産が可能なのであろうか。バイオマスの生産が本格化する21世紀後半にはCO<sub>2</sub>濃度を550ppmに押さえることができたとしても地球温暖化が進行していると考えられる。バイオマスの生産では、当然そのことを考慮しなければならない。

植物の成長を制限する要素として温度と降水量があげられるが、ここでは、バイオマス生産と降雨量の関係を考える。温暖化が進行するということは、植物の生産に対してそれほど悪影響はない。一部で高温障害などが生じようが、温暖化シナリオでは低緯度地帯の温度上昇はさほど顕著ではなく、高緯度の温度上昇が大きいとされている。これは地球上の植物の成長に対してむしろ好影響である。

これに対し温暖化に伴う降雨量の変動はバイオマスの生産に大きな影響を及ぼす。ここでは、現状における降雨量と穀物反収の関係を考察し、これより温暖化に伴う降雨量変動がバイオマス生産に与える影響を考察する。農業統計を利用すれば、現状における世界規模での比較的信頼性の高いバイオマス生産量分布を推定することができる。バイオマスの生産量の指標としては広く世界で栽培されている穀物を用いた。統計はFAOによった。

図2.3.1に、アフリカ諸国と西ヨーロッパ諸国について、降雨量と反収の関係を示す。

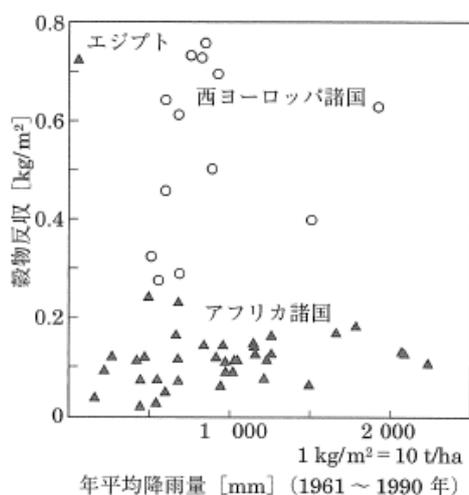


図 2.3.1 降雨量と穀物反収の関係

ここで、降雨量は各国の農耕地に降った平均年間降雨量を示す。年間降雨量は気候研究ユニット（CRU：Climate Research Unit）が集計した1961年から1990年までの平均年間降雨量の分布図と米国地質調査所（USGS）が作成した1kmメッシュの世界土地利用図を用い、各国ごとに耕作地のみでの降雨量を求めた。穀物反収は米、小麦、トウモロコシ、大麦、ライ麦などの収穫量の総計を収穫総面積で除すことにより求めている。

図より降雨量と反収の間にはあまり関係がないことがわかる。常識的には、降雨量が多いほど農耕に適しているとも考えがちであるが、高い反収を得ている西ヨーロッパ諸国の年間降雨量は500～1,000mm付近である。アフリカの反収が低いことは、降雨が少なく乾燥しているからと理解しがちであるが、この図を見る限り、そのような事実はない。しかし、降雨量が500mm以下の国々において反収は確実に低下しているように見える。500mm以下の降雨量でも高い反収を記録している国が1国あるが、これはエジプトである。エジプトでは耕地には降雨がほとんどないが、ナイル上流域の降雨を利用することにより高い反収が得られている。以上の検討より、温暖化により年間降雨量が500mm以下となる地域はバイオマスの生産に適さなくなると考えた。

## （2）温暖化によるバイオマス生産地の変動

それでは、地球温暖化に伴い、現在の農耕地で降雨量が500mmを割る国や地域はどの程度生じるのであろうか。東京大学気候システム研究センター（CCSR）の全球気候モデル（GCM）による気候変動予測結果を利用し、各国の耕地における降雨量がどのように変化するか調べた。

表 2.3.1 には、現在より降雨量が減少し、かつ降雨量が500mmを下回る国々を示すが、地中海沿岸域では乾燥化が進み現在の農耕地は耕作に不適となる可能性がある。エジプトのような例があり、流域ごとの水収支の検討が必要であるため、確実な結論を出すには検討が不足していることは否めないが、温暖化シナリオを見る限り、21世紀中にバイオマスの生産が温暖化により致命的な影響を受けることはなさそうである。

表 2.3.1 21世紀後半における耕地の年平均降雨量が500mmを下回り、かつ現在より降雨量が減少する国

国名	過去の平均値 1961～90[mm]	東大気候センター予測 2090年代[mm]	面積 [1,000km <sup>2</sup> ]
モリジブ	498	450	11.26
ブルガリア	559	447	29.42
ギリシャ	579	416	13.10
トルコ	534	402	226.39
スペイン	509	377	112.04
アルジェリア	545	372	27.95
チュニジア	461	369	20.96
イラク	354	328	40.58
モロッコ	443	322	38.36
アゼルバイジャン	391	305	31.65
イラン	329	296	79.81
シリア	345	260	34.28
エジプト	54	37	27.44

## 2.3.2 バイオマス生産と窒素肥料

現在、穀物反収と窒素肥料投入量の間には良い相関がある。図 2.3.2 の (a)、(b) に窒素肥料投入量と穀物反収の関係を示す。同図 (a) は緑の革命初期の1970年を、また、同図 (b) には1998年における関係を示す。この図はFAOデータを用いて作成した。これより窒素肥料投入量が穀物の反収に大きな影響を与えていることがわかる。西ヨーロッパにおいては1970～98年の間に反収が大きく増加している。これは窒素肥料の投入量が増加したこともあるが、窒素肥料投入量以上に反収増加傾向が見える。これはエジプトを含め西ヨーロッパにおいては農業技術の改善が著しいことを示している。

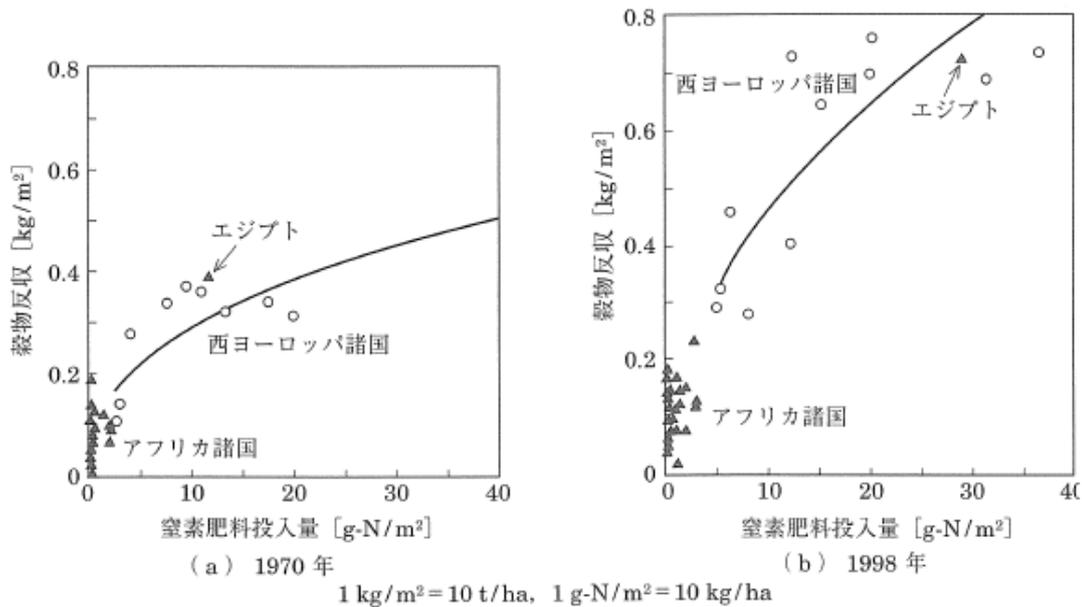


図 2.3.2 窒素肥料投入量(窒素量換算)と穀物反収

2050年の人口を90億人とし、一人当たり穀物消費量を400kg/年とすれば、食糧として36億tの穀物が必要となる(現在の世界平均一人当たりの穀物消費量は約320kg/年)。これを達成するためには、穀物作付面積が現状の700万km<sup>2</sup>から変化しないと仮定すると、反収0.51kg/m<sup>2</sup>を実現すればよい。これは現在の先進諸国における穀物反収を考えると十分達成可能であろう。

反収0.51kg/m<sup>2</sup>を上げるときに必要な窒素肥料の量を窒素量として10g-N/m<sup>2</sup>とすると、食糧とする穀物を生産するために世界全体で7,000万t-Nの肥料が必要となる。また、現在世界には野菜や果物などを作付けている面積が700万km<sup>2</sup>ほどあるが、ここにおいても10g-N/m<sup>2</sup>の施肥を行うとすると、穀物生産に使用する窒素と併せて計1億4,000万t-Nの肥料が食糧生産のために必要となる。

### (1) 窒素肥料と環境

食糧の生産のほかに、現在の森林4,500万km<sup>2</sup>のうち600万km<sup>2</sup>をバイオマス生産のために利用し、エネルギー作物を反収1kg/m<sup>2</sup>で生産することを考えよう。これにより約60億tのバイオマスを生産できるが、図2.3.2(b)の傾向を考えると、反収1kg/m<sup>2</sup>程度を収穫しようと考えれば、栽培技術の進歩を見込んでも20g-N/m<sup>2</sup>程度の窒素肥料の投入が必要となろう。このためには、新たに1億2,000万t-N程度の窒素肥料が必要となる。21世紀後半において食糧とバイオマスエネルギーを人類全体に十分に供給するためには、約2億6,000万t-Nの窒素肥料が必要となる。

陸上生態系で固定される窒素量は約1億4,000万t-Nと考えられているから、自然が固定する量の約2倍の窒素を人類は農耕地に散布することになる。これは、浅層地下水の硝酸性窒素による汚染、溶脱下窒素による湖沼・内湾の富栄養化などを招き、また、温暖化ガスである亜酸化窒素の発生量も増大させることになる。農耕地に散布された窒素のうち、どの程度が亜酸化窒素となるかについては、その環境条件により大きく違うことが知られている。

しかし、散布された1~2%程度は亜酸化窒素になると考えるのは妥当であろう。もし、バイオマス生産のために1億2,000万t-Nの窒素肥料が農耕地に散布された場合には、窒素として120万~240万t-N程度の亜酸化窒素が発生することが想定される。現在、陸上生態系より発生する亜酸化窒素は800万t-N程度であることを考えると、これは無視できない量である。バイオマスを生産するための農業生産は、新たな温暖化ガスを発生させる。地球環境問題解決のためにバイオマス生産を行う場合には、窒素肥料の吸収効率の良い作付体系の確立が欠かせない。

## (2) 窒素肥料とエネルギー需要

窒素肥料を製造するのに必要なエネルギーについて簡単に触れる。空中窒素を固定しアンモニアを合成する際には、アンモニア 1,000kg に対して、石炭 1,500kg またはナフサ 0.775m<sup>3</sup>程度が使用されている。60 億 t のバイオマスエネルギーを生産するためには 1 億 4,000 万 t の窒素肥料が必要とすると、この窒素肥料生産のために約 2 億 1,000 万 t 程度の石炭が必要となる。

石炭に代えてバイオマスをエネルギーとして使うとすれば、バイオマスと石炭の発熱量の違いを約 1:2 として、生産されたバイオマスのうち約 4 億 t は肥料を生産するために必要となる。バイオマスエネルギーを大量に生産しようとした場合、肥料生産に伴うロスをも 1 割弱程度は見込む必要がある。

## 2.4 エネルギー変換における環境安全性

エネルギー変換において変換プロセスから系外に固液残さ、ガスなどが排出されるが、これらの環境安全性は、大気汚染、水質汚濁、悪臭、振動・騒音、土壌汚染に関わるすべての汚染度が環境保全上、地域で規定された環境基準値以下に維持され、生態系環境を保全できるものでなければならない。バイオマスは、エネルギー利用した後の固液残さにも有効利用可能なものもあり、循環型社会に適合するクローズドシステムの形成しやすいエネルギー源として評価できる。

### 2.4.1 残さの環境安全性

排出される固液残さは、エネルギー変換プロセスにより、性状、形態が異なるが、一般的にバイオマスのエネルギー変換は、系外排出時に既存の浄化技術で環境負荷の低減を容易に図ることができ、カスケードの有効利用が可能なものが多い。残さ類は、直接燃焼やガス化プロセスでは、焼却灰、チャー、飛灰として、熱分解では、スラグや飛灰として、メタン発酵などの生物化学的転換プロセスでは、発酵廃液や汚泥として排出される。生活系や産業系廃棄物では、排出形態上、鉛、亜鉛、水銀などの重金属類の含有や塩化物が混在することが回避できないため、これらは排ガスや残さ中に含有されて排出される。

プランテーション型バイオマスや農林系バイオマスでは、直接燃焼灰は無機材料や肥料として再利用できる。表 2.4.1 に、合板工場の南洋廃木材チップ 100%を燃料とするストーカ型直接燃焼による発電ボイラにおける焼却灰の環境安全特性を、表 2.4.2 に製糖工場より排出されるバガス 100%の直接燃焼における環境安全特性を示すが、いずれも有害性がなく日本国内の埋立基準値を満たすものである。農林系バイオマスの燃焼灰は、表 2.4.3 に示すように一般的にシリカ質が多く、カリウム分などを含み気孔性に富むことから農地に還元したり、貴重な育苗用などの肥料として利用されている。シリカ質の多い製紙工場の廃水汚泥灰やもみがら灰は、セラミック原料や断熱材などにも有効利用されている<sup>79</sup>。一般的に生活系や産業廃棄物から生成する灰には、燃焼、ガス化、炭化とも重金属類などの有害物質が含有する恐れがある。法的規制に準じてさらに無害化のための熔融処理などを行い再利用や処分すべきである。

表 2.4.1 廃木材の直接燃焼による焼却灰の環境安全特性  
(バイオマス：南洋材チップ 100%、ボイラ：ストーカ型発電ボイラ)

項目	溶出基準値(日本)	分析値
アルキル Hg	不検出	不検出
Hg [mg/L]	<0.005	不検出(<0.0005)
Cd [mg/L]	<0.3	不検出(<0.001)
Pb [mg/L]	<0.3	不検出(<0.01)
Cr (VI) [mg/L]	<1.5	0.12
As [mg/L]	<0.3	不検出(<0.001)
CN [mg/L]	<0.3	0.002

【出典】タクマ資料

Cr(VI)：六価クロム

<sup>79</sup> 藤井ら：製紙汚泥を燃料とする熱併給自家発電設備と副生灰、火力原子力発電、Vol.43 No.8 (1992)

表 2.4.2 バガスの直接燃焼による焼却灰の環境安全特性  
(バイオマス：バガス 100%、ボイラ：ストーカ型発電ボイラ)

項目	溶出基準値(日本)	分析値
アルキル Hg	不検出	不検出
Hg [mg/L]	<0.005	不検出(<0.0005)
Cd [mg/L]	<0.3	不検出(<0.001)
Pb [mg/L]	<0.3	不検出(<0.01)
Cr (VI) [mg/L]	1.5	0.40
As [mg/L]	<0.3	不検出(<0.001)
CN [mg/L]	<0.3	0.001

【出典】タクマ資料

Cr(VI)：六価クロム

表 2.4.3 バイオマスの焼却灰組成

項目	トウモロコシ穂軸	バガス	もみがら	パーム E.B.
CaO [%]	33.7	5.3	0.24	9.3
Na <sub>2</sub> O [%]	0.2	0.89	0.35	0.5
K <sub>2</sub> O [%]	5.5	9.26	0.84	65.0
MgO [%]	1.4	3.27	0.10	7.2
SiO <sub>2</sub> [%]	—	70.92	94.0	12.0

【出典】タクマ資料

メタン発酵などの生物的転換技術では、分離廃液や残さが生じる。発酵廃液は高 BOD で可溶化が困難なセルロースなどを多く含み、高濃度の窒素・リンを含有するため、液肥として利用するか、プロセス内で放流地域の排水基準に適合するよう処理する必要がある。

また、草本系や畜産系、選別された生活系廃棄物バイオマスの残さは、重金属の混入がなく、熟成させ堆肥や土壌改良材としての用途がある。なお肥料として利用する場合は肥料取締法の規制を受ける。バイオマスの水分、組成、発酵条件などにより廃液や残さの性状が大きく異なるのがメタン発酵の特徴であるため、資源化や処理システムの選定には予め実証試験を必要とする。表 2.4.4 にホテルちゅうかい（厨芥）、新聞紙のメタン発酵による残さの有害物質を、同じく表 2.4.5 にメタン発酵液を脱水した脱離液の一般的な水質を示す。

表 2.4.4 メタン発酵残さ中の有害物質<sup>80</sup>

項目	DS	T-Hg	Cd	As	CN	Pb
単位	%	mg/kg-dry				
濃度	31.9	0.03	0.02	<0.1	0.3	2.3

表 2.4.5 メタン発酵液の脱水脱離液の一般的な水質<sup>81</sup>

分析項目	単位	水質
pH	—	6~8
BOD	g/m <sup>3</sup>	2,000~5,000
TS	g/m <sup>3</sup>	40,000~80,000
T-N	g/m <sup>3</sup>	2,000~8,000
T-P	g/m <sup>3</sup>	400~800

1g/m<sup>3</sup> = 1mg/L

TS：全固形物、T-N：全窒素、T-P：全リン

<sup>80</sup> 斎賀ほか：SOx-NOx Reduction Tech.of CFB Boiler, 7th APEC Coal Flow Seminar (2000)

<sup>81</sup> 日本有機資源協会：バイオガス化マニュアル、p.85 (2004)

## 2.4.2 大気汚染に関わる環境安全性

バイオマスのエネルギー変換プロセスから放出される、大気汚染に関わるばいじん（煤塵）、硫黄酸化物、窒素酸化物、塩化水素、ダイオキシン類などの汚染物質濃度は、バイオマスや変換プロセスにより異なるが、すべて当該地域の排出基準値以下にして排出する必要があるため、集じん、中和、吸着などの処理を必要とする。

組成が一定でない一般廃棄物や産業廃棄物系のバイオマスを除き、石炭・石油系エネルギーに比して、灰分・硫黄・塩素・重金属類の含有量が少なく、窒素分は多い。したがって、直接燃焼、ガス化、炭化によるエネルギー変換時における有害物質の排出が少なく、除去処理も容易で、一般的に環境安全性は高い。直接燃焼や炭化における廃木材、木皮、バガス、パーム、もみガラ、麦わら、コーンコブなどの専焼のエネルギー変換プロセスでは、排ガス中の硫黄酸化物や塩化水素濃度は一般的に排出基準より低く除去装置は不要の施設が多い。しかし、離島や沿岸帯に植栽されるココナツやサトウキビなどでは収穫期により塩分含有量が高い場合があるため注意がいる。日本国内の一般廃棄物は、ちゅう房類（食塩、調味料）、プラスチック類（塩化ビニル）、化学繊維、紙（漂白剤、インキ）が含まれ塩素分を4~10g/kg含有しており、燃焼排ガス中の塩化水素の量は250~1,300ppm程度である。塩化水素は、排出基準に適合するようアルカリ剤による炉内脱塩や中和回収、活性炭などによる吸着。反応除去を必要とする。表 2.4.6 に都市ごみ焼却炉の塩化水素濃度を示す。

表 2.4.6 都市ごみ焼却炉の塩化水素濃度<sup>82</sup>

分別の有無	排ガス冷却方式	塩化水素濃度 [pmm]
あり	水 噴 射	110~340 (平均 205)
	廃 熱 ボ イ ラ	190~730 (400)
なし	水 噴 射	380~570 (平均 500)
	廃 熱 ボ イ ラ	460~830 (620)

ばいじんは、燃焼方式やガス冷却方式、ガス処理方式、灰分量により大きく異なる。ストーカ燃焼炉出口で1~3g/m<sup>3</sup>-N、流動層燃焼炉出口で2~5g/m<sup>3</sup>-Nあり、規模や地域により排出基準は異なるが大気排出口で、0.04~0.15g/m<sup>3</sup>-Nまで集じん処理しなければならない。集じん法は湿式洗浄、電気集じん機やろ過集じん機で容易に集じんできる性状のものが多い。窒素酸化物は、有機系窒素分として植栽系で2~17.8g/kg、都市ごみで10~15g/kg含有されるため、直接燃焼ではフューエル (Fuel) NO<sub>x</sub>、ガス化ではアンモニアの生成がある。特にガス化では方式によりアンモニアへの転換率が異なるので注意を要する。生活系や産業廃棄物の直接燃焼では、Hg、Pb、Cuなど重金属類や塩素の含有に起因するダイオキシン類の生成があるため、燃焼炉構造、燃焼温度、熱分解時間、吸着除去、ガス冷却温度など、生成抑制技術の条件を具備した変換プロセスが必要である。都市ごみの燃焼では、未燃物として有機系炭化水素類 (PAH) の排出も微量検出されている。規制対象物質であるベンゼンの排出量は5~20mg/m<sup>3</sup>-Nでありトルエン、ジクロロメタン、ピレンはいずれも0.005~0.5mg/m<sup>3</sup>-N程度と低く問題となっていない。バイオマスと石炭、バイオガスと石油系燃料の混焼も有力な温暖化ガス排出抑制方策として利用されているが、この場合の排出ガスの環境影響特性は混焼比率により変化する。各燃料の組成、負荷率、空気比などの影響を試験<sup>83</sup>などにより確認することが不可欠である。

メタン発酵では、ガス中にアンモニア、硫化水素、シロキサン類などを含有する。硫化水素は、毒性・腐食性があり発電などの燃料としては脱硫が必要である。脱硫後のバイオガスは燃料としてバーナ燃焼や燃料電池、ガスタービン・ガスエンジンなどに利用される。大気汚染源としてこの燃焼排ガスや悪臭の拡散が該当する。表 2.4.7 と表 2.4.8 に廃木材および鶏糞を気泡流動層で燃焼した大気汚染関連値を、表 2.4.9 にバガスのストーカ燃焼による発電ボイラの排ガスの大気汚染関連排出値を示す。また、表 2.4.10 にメタン発酵におけるガスエンジンの排ガス有害物質の排出値を示す。

<sup>82</sup> 全国都市清掃会議：ごみ処理施設整備の計画・設計要領、p.167、2006改訂版（2006）

<sup>83</sup> 試験的に燃焼試験を行うこと

表 2.4.7 廃木材の燃焼による大気汚染関連排出値<sup>84</sup>

項目	単位	排出濃度
排ガス量(乾)	m <sup>3</sup> -N/h	29,000
排ガス温度	℃	185
ばいじん濃度	g/m <sup>3</sup> -N	0.001 (O <sub>2</sub> = 6%)
SO <sub>x</sub> 濃度	ppm	7.5 (O <sub>2</sub> = 6%)
NO <sub>x</sub> 濃度	ppm	140 (O <sub>2</sub> = 6%)
HCl 濃度	ppm	22 (O <sub>2</sub> = 6%)
ダイオキシン類	ng-TEQ/m <sup>3</sup> -N	0.00

[注] 廃木材：形状チップ（園芸剪定枝，木皮，掘根材等）

元素分析値 [kg/kg] 炭素 0.462，水素 0.056，  
酸素 0.375，硫黄 0.0005，  
窒素 0.0063，灰分 0.0995

低位発熱量 8.37MJ/kg

ボイラ要目燃焼形式：流動層

蒸発量：25.5t/h (25.5t/h)

表 2.4.8 鶏ふん燃焼の大気汚染関連排出値<sup>85</sup>

項目	単位	測定値
ばいじん	g/m <sup>3</sup> -N	0.005*
SO <sub>x</sub>	ppm (wet)	2
HCl	mg/m <sup>3</sup> -N	5
ダイオキシン類	ng-TEQ/m <sup>3</sup> -N	0.000062
CO	ppm (dry)	7
NO <sub>x</sub>	ppm (dry)	100*
O <sub>2</sub>	%vol	6.4

(\*O<sub>2</sub> = 6%，他値は 12%換算)

表 2.4.9 バガスの燃焼による大気汚染関連排出値<sup>86</sup>

項目	単位	排出濃度	基準値
乾き排ガス量	m <sup>3</sup> -N/h	58,900	
排ガス温度	℃	170	
ばいじん濃度	g/m <sup>3</sup> -N	0.08 (O <sub>2</sub> = 6%)	0.1
SO <sub>x</sub> 濃度	ppm	51 (O <sub>2</sub> = 6%)	62
NO <sub>x</sub> 濃度	ppm	93 (O <sub>2</sub> = 6%)	220

ボイラ要目：移床ストーカ式，2 胴自然循環水管型，発電用

蒸発量 38t/h，圧力 2.06MPa，蒸発温度 355℃

表 2.4.10 メタン発酵のバイオガスによるガスエンジン排ガスの有害物質

ダイオキシン類 [ng-TEQ/m <sup>3</sup> -N]	C-PCB [ng-TEQ/m <sup>3</sup> -N]	HCl [ppm]
0.000013	0	<0.6

【出典】タクマ資料

C-PCB：コブラナーPCB

<sup>84</sup> 畑木貴之ら：バイオパワー勝田運転報告、タクマ技報 Vol.14.No.1 (2006)

<sup>85</sup> 向井圭司、山下雅英：鶏糞燃料流動層ボイラ発電プラント、産業機械、p.20、JSIM (2002)

<sup>86</sup> 藤井重雄ら：南西糖業 1,500kW バガス自家発電設備、火力原子力発電、Vol.41、No.4 (1990)

### 2.4.3 二次エネルギーの環境安全性評価

バイオマスの二次エネルギー製品として、炭化物、メタノール、エタノール、ジメチルエーテル (DME)、バイオディーゼル油などがあるが、炭化物を除き生体毒性、火災爆発性などを有しており作業環境や取扱上制約がある。メタノールの脱水反応により製造される DME は、低毒性で SO<sub>x</sub> やばいじんの排出がない環境負荷の小さい燃料として、民生用燃料、都市ガス代替としての普及が期待されている。爆発限界も 3.4~17vol% で、貯蔵取扱いは LPG と同様に類別され、高圧ガス保安法 (一般高圧ガス) が適応される。高圧での取扱いとなるため、高圧ガス保安規制や消防法に準拠した対策を要する。また、眼などへの有害性や凍傷の危険があり労働環境濃度などの設定も必要である。エネルギー製品として代表的なメタノール、エタノール、DME の環境安全性を示す特性を表 2.4.11 に示す。

表 2.4.11 メタノール、エタノール、DME の環境安全特性

項目	メタノール	エタノール	DME
火災爆発性			
発火点 [°C]	470	390~430	350
引火点 [°C] (開放)	16	16	~41.1
[°C] (密閉)	12	14	
爆発限界：下限 vol%	6.0	4.3	3.4
上限 vol%	36.5	19.0	17.0
毒性			
LD <sub>50</sub> (ラット経口) [mg/kg]	5,628	10,813	337g/ (m <sup>3</sup> ・4h)
許容濃度 [ppm]	200	1,000	
関連法規	毒物劇物取締法, 消防法, 労働安全衛生法, 高圧ガス保安法 (DME)		

### 2.4.4 環境負荷影響評価

バイオエネルギーと既存のエネルギー源の発電コストについて、2010 年における比較をベルギー政府の委託により International Peer-Review Group が試算しているが、その中で表 2.4.12 に示す環境負荷の評価を行っている。試算は住居暖房を熱負荷としたガス燃料に限定したコージェネレーションであるが、わら、干草、ススキ、木材のガス化発電はディーゼル発電、燃料電池、ガスエンジンより環境負荷が小さい。本事例は大気汚染評価の一例であるが、エネルギー変換に付随する残さ処理などの転換システム全体の環境リスクが評価の対象となる。バイオエネルギーの環境安全性評価には、リサイクルやバイオマス特有の材料・食糧・飼料などカスケード型の利用形態、社会風土までを考慮した長期にわたる広範な便益情報を必要とする。図 2.4.1 はバイオマスエネルギーの環境安全性と影響因子を示す。

表 2.4.12 環境負荷の比較<sup>87</sup>

	[g/kWh-e]						
	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub> -eq
ガスエンジン (650kW)	0.00	0.38	0.00	585	0.03	0.88	614
ディーゼルエンジン (1MWe)	0.87	11.85	0.06	675	0.11	0.08	711
バイオガス・ガス化 (わら,干草,ススキ)	0.00	0.59	0.01	108	0.00	0.00	108
バイオガス・ガス化 (木材)	0.00	0.51	0.01	99	0.00	0.00	99
燃料電池 (H <sub>2</sub> )	0.00	2.03	0.00	495	0.00	0.74	511
燃料電池 (天然ガス)	0.00	2.07	0.00	505	0.03	0.76	529

[注] e は電気換算を示す。

1kWh-e = 3.6MJ-e

<sup>87</sup> IPRG: Assessment of the AMPERE Commission Report, S1 (2001.4)

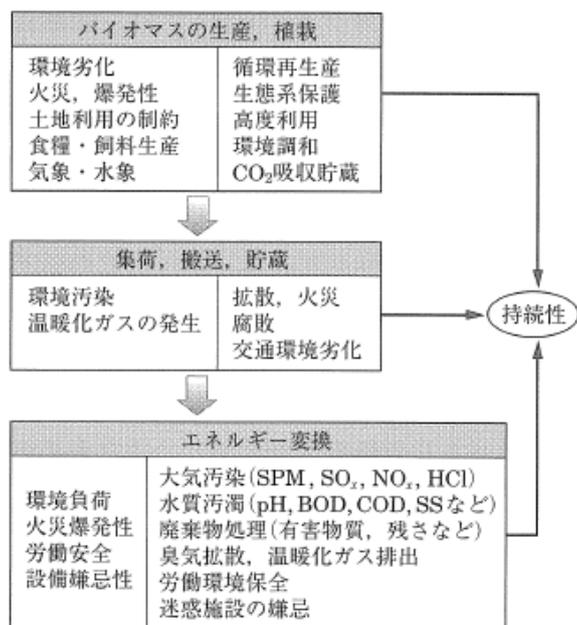


図 2.4.1 バイオエネルギーの環境安全性と影響因子

## 2.5 食料生産との競合

世界の穀物生産量は 23.4 億 t (2007 年) であるが、同年の世界人口は 67 億人であるので一人当たりになると約 350kg であり、これは人が生きていくために十分な量である。ただし、米国などは家畜飼料にする関係で 1,000kg 以上の穀物を消費している。その一方で、サハラ以南アフリカには 200kg に満たない国があるなど、一人当たり消費量には大きな格差がある。このことが、バイオマスエネルギーと食料の競合問題を考えることを難しくしている。食料価格の少々の高騰は先進国では大した問題にならないが、もともと消費量が少ない開発途上国では、そのことが生死に関わる問題になってしまうからである。

2000 年の穀物生産量は 20.6 億 t であったから、21 世紀に入ってからの 7 年間で穀物の生産量は 2.8 億 t ほど増えたことになる。その中でトウモロコシの生産量の伸びが 1.9 億 t と最も多い。この増加は家畜飼料の需要が増加したこともあるが、エタノールの生産に用いられるようになったことも大きい。

ただし、これまでのところ、ここで示したようにトウモロコシの生産が増えたことによる米や麦の生産量が減る傾向は見られず、バイオマスエネルギーの生産が他の穀物生産に影響を与えているとは言えない。ここ数年続いたバイオマスエネルギーブームの中でも、食用の穀物の生産量は確実に増えており、その意味で「バイオ燃料でパンが消える」とする議論は当たっていない。そもそも、エタノールの原料となるトウモロコシとパンの原料となる小麦では生育に適する土地が異なるため、小麦を栽培していた土地でエタノール用のトウモロコシが栽培されることはない。

現在、穀物からエタノールを最も多く生産しているのは米国である。農畜産振興機構が報じた 2008 年 2 月 22 日における米国農務省発表では、エタノールの原料として使用されるトウモロコシは 2005/6 年度には 4,070 万 t であったが、2008/9 年には 1 億 4,000 万 t に増加すると予想されている。しかし、そのようなエタノール需要の急増にも関わらず、米国からの穀物の輸出量はほとんど変化していない。

ただし、バイオマスをこれまで以上にエネルギーとして利用しようとする、膨大な穀物が必要になる。現在、米国は年間に 4,000 万 m<sup>3</sup> ほどのバイオエタノールを生産しているが、その米国は 99.6EJ (石油換算で 23 億 8,000 万 t) (2006 年) ものエネルギーを消費している。バイオマスから生産されるエネルギー量は、米国の全エネルギー消費量の 1% を占めるに過ぎない。2006 年にブッシュ大統領は一般教書演説で、バイオエタノールの生産量を 1 億 3,300 万 m<sup>3</sup> に引き上

げるとしたが、もしそれが実現されたとしてもバイオエタノールは米国のエネルギー消費量の3%を占めるものにしかない。

穀物 1t から 0.46m<sup>3</sup>のエタノールが生産できるとすると、2007年に世界で生産した穀物から100万m<sup>3</sup>のエタノールを生産することができる。これは21EJに相当するが、世界は492EJ(2006年)のエネルギーを消費しているから、生産された穀物を全て燃料製造に用いても必要エネルギーの約4%しか供給できないことになる。つまり、現在使われているエネルギーを代替するほどの量を穀物バイオマスから生産しようとする、バイオマスはいくらあっても足りない。

本気で穀物バイオマスから全エネルギーを生産しようとする、その生産は確実に食料生産と競合する。しかし、実際にはそのようなことは起こらない。それはバイオマスエネルギーが高価であるためである。

バイオマスエネルギーの原料となる穀物の価格を石油と比べてみよう。図 2.5.1 は、石油 1,000t と同じ熱量を有するバイオエタノールを生産するために必要なトウモロコシの価格を示したものである。図中には比較のために原油の価格も示した。ここでは、乾式ミルによりトウモロコシ 2,170t から 1m<sup>3</sup>の無水エタノールが製造できると考えた。エタノールの高位発熱量を 22.8MJ/kg、比重を 0.796、また原油の高位発熱量を 44.0MJ/kg、比重を 0.85 とすると、同じ容積のエタノールは原油の 48%の発熱量を有することになる。このことを考慮に入れて、原油 1 バレル (≒159 l) と同様の熱量を有するエタノールを製造するのに必要なトウモロコシ量を算定しその価格を求めた。

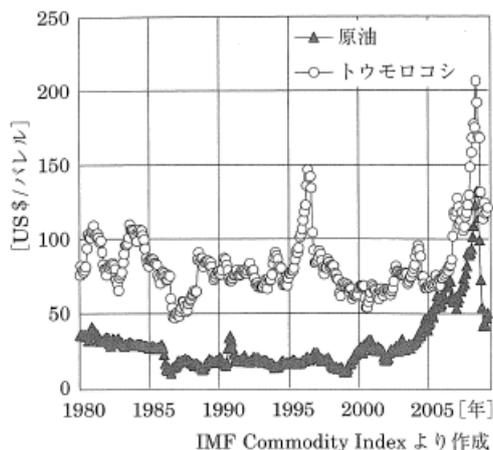


図 2.5.1 原油価格と原料となるトウモロコシ価格の対比

1980年から1999年頃までは原油価格は低迷を続けており、1980年代には1バレルの値が20ドルを割り込む時期もあった。この時期、トウモロコシからのエタノール製造が現実味を帯びることはなかった。しかし、2005年頃から原油が高騰し始め1バレル100ドルを超える水準になると、トウモロコシからつくったエタノール製造がにわかに現実味を帯びてきた。だが、皮肉なことに原油価格が高騰した時代には、トウモロコシの価格も高騰している。このため2005年から2008年にかけて原油価格が高騰した時期においても、トウモロコシから製造したエタノールが原油に対して価格競争力を有することはなかった。なお、原油価格が下落した局面ではトウモロコシ価格も下落している。

実際には、エタノール製造のための費用も必要になるから、石油からできるエネルギーとの価格差は図 2.5.1 に示したものの以上になろう。バイオマスエネルギーが1970年代の石油ショック時に注目されながら実用化されなかった理由が理解されよう。なお、同様の手法を用いてブラジルにおいてサトウキビより生産されるエタノールの原料価格を計算すると、サトウキビ価格が高騰した局面でも1バレル65ドル程度に留まり、原油に対して価格競争力を有している。ブラジルにはセラードと呼ばれるサトウキビの栽培に適する灌木林が多く残されていることから、ブラジルにおけるサトウキビ生産量は増大していくだろう。ただし、それは食料を生産している場所とは異なる土地であり、食料生産と競合するとは言えない。

米国におけるトウモロコシからのエタノールの生産は農業保護の面が強いが、米国の財政事情を考えると、そのような目的で今後も大增産が続くとは思えない。米国におけるトウモロコシからのエタノールの生産は、ある一定の水準で推移すると考えるほうが妥当である。そう考えれば、これも食料の生産とは競合しない。

バイオマスエネルギーの原料価格は石油に比べてかなり高価であり、実用化されるものは一部に留まる。1970年代のオイルショックに伴うバイオマスエネルギーブームは石油価格が下落した局面で沈静化した。今回のバイオマスエネルギーに対する関心も、2008年後半以降に石油価格が急落すると急速に薄れている。今後、バイオマスエネルギーと食料の競合が議論されることはないと考えられる。

## 2.6 森林生態系保全との調和

### 2.6.1 森林破壊の事例

バイオマス利用に関わる森林破壊の代表的な事例としては、①木材調達目的による自然林伐採、②木炭など薪炭材目的による植林、③アブラヤシ農園など資源作物開発に伴う森林破壊があげられる。

木材などの森林資源は持続的な利用が可能な資源であるが、2005年に日本に輸入された違法伐採材は輸入木材全体の10～15%にあたと推定されている<sup>88</sup>ように、法規制すら満たしていない木材は少なくない。

②の植林は一見生態系を回復させる行為のように見えるが、ユーカリやアカシア・マンギウムなどの大規模植林は、セラード林や熱帯の二次林などを整地（すなわち破壊）して行なわれることがある。パルプ材調達などを目的とする植林が、生物多様性や現地社会に悪影響を及ぼす例が多数見られるが、バイオマス目的の植林の場合も注意深い配慮が行われなければ、同様の問題が生じ得る。

### 2.6.2 生物多様性

バイオマス利用に関して最も緊急かつ深刻な生物多様性への脅威の一つは、マレーシア、インドネシアにおけるパームオイル（アブラヤシ油）生産に関わるものである。世界のパームオイル生産量の約85%が、マレーシア、インドネシア両国で占められている。マレーシアでは1960年代に大規模農園が急激に造成され始め、インドネシアでは1980年代から最大の生産国になるという政府の方針で、大規模な開発・生産が行われるようになった。1990年から2002年にかけて、アブラヤシ農園面積は、マレーシアで約2倍、インドネシアで3倍以上に増加している。

アブラヤシ農園の開発には、搾油工場の操業上の理由から広大な土地が必要とされ（東南アジアの典型的な農園は100～250km<sup>2</sup>規模）、造成にあたり森林破壊が生じることも多い。1985年から2000年までのマレーシアにおける森林減少の約87%はアブラヤシ農園開発によるものとされ、インドネシアでもアブラヤシ農園の少なくとも7割は森林を開発したものだという指摘もある。さらに、国立公園などのバッファゾーンや生態学的に価値の高い地域においてアブラヤシ農園の拡大が生じている。

アブラヤシの栽培地は、地球上で最も生物多様性が高いと言われる低地熱帯雨林の分布地と重なっており、主要栽培地は「地球規模での生物多様性が高いにも関わらず、破壊の危機に瀕している地域」であるホットスポットに位置している。同地域は、オラウータン、スマトラトラ、ボルネオゾウ、サイ、マレーバクなど絶滅に瀕している大型哺乳動物の残り少ない生息域でもあり、アブラヤシ農園開発は、東南アジアの希少となった熱帯雨林への最大の脅威となっている。アブラヤシ農園は、しばしば熱帯林を皆伐して開発されるが、その場合、8～10割のは哺乳動物、爬虫類、鳥類が消失するとされている。マレーシアの異なる植生における自動撮影装置を用いた野生動物の撮影頻度調査によれば、自然林あるいは二次林では400以上の野生動物が見られたが、皆伐されアブラヤシ一種のみ植栽された農園開発後には、30以下まで減っている（図 2.6.1 参照）。

<sup>88</sup> 地球・人間環境フォーラム他「フェアウッド」、日本林業調査会（2008）

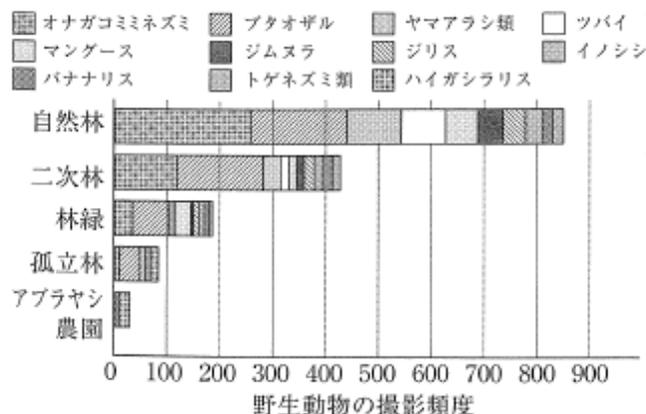


図 2.6.1 自動撮影装置を用いた野生動物の撮影頻度の比較(マレーシア)<sup>89</sup>

## 2.6.3 社会的問題

### (1) 土地をめぐる対立

バイオマス利用目的の森林伐採、植林、資源作物プランテーション開発において頻繁に生じているのが、先住民など地域住民との土地をめぐる対立である。特に発展途上国においては、土地利用の権利が整備されていないことが多く、また先住民などが慣習法や法律による土地に対する権利を充分理解していないことがある。地方政府が地域住民に諮らずに一方向的に企業などに開発許可を出し、地域住民と深刻なトラブルになるケースが多数生じている。例えば、インドネシアでアブラヤシ農園開発に関わる活動を行っている NGO、サウイット・ウォッチによると、インドネシアにおけるアブラヤシ農園開発に関わる対立 (conflict) は 2008 年 12 月時点で 530 件に上っている<sup>90</sup>。住民による道路封鎖や開発側による建物取り壊しなど実力行使に至った事例も生じている。

### (2) 労働問題

アブラヤシ農園やサトウキビ農園などにおいて、児童労働、不法労働、低賃金労働過酷なノルマ、危険な農薬による暴露などの労働問題の存在がしばしば指摘されている。改善が見られる国もあるが、もともと発展途上国の特に農業分野の労働条件には、問題があることが多い。例えばブラジルのサトウキビ収穫は、手刈で行われることも多いが、2006 年にはサンパウロのバルルにおいて、労働省の調査で 430 人の手刈り労働者が危険な状況で労働に従事していることが判明したほか、2007 年には、労働省が 3,000 人の労働者が強制労働に近い状況下にあるとしたことが報道されている。ラテンアメリカにおけるバイオ燃料生産の労働条件は非常に劣悪で、現代の奴隷制と言ってもよいほどであり、一部の国では児童労働も常態となっているという報告もある<sup>91</sup>。

## 2.6.4 現地の住民の利益との共存

土地をめぐる対立や労働問題に加えて、他の農林業や加工業と同様、バイオマス生産においても、土壌、水、大気汚染の問題も生じうる。農薬や化学肥料の過剰投入による土壌や水の汚染、不適切な農業方法による土壌流出、火入れによる大気汚染などである。上水道が十分整備されていない発展途上国の農村においては、川や地下水の汚染が、住民の健康問題に直結しやすい。プランテーション造成による土壌流出が川を濁らせ、川の生態系を損ない、漁獲高が減少した事例もある<sup>92</sup>。

これらの問題に対処するには、環境・社会影響評価およびその公開が適切に実施され、そのプロセスに地元住民をはじめとする利害関係者が参加すること、このプロセスを通して出された意見が事業の意思決定に反映されることが重要である。さらに開発にあたっては、地域住民の権利

<sup>89</sup> 未発表資料より著者の許可を得て作成した図を地球・人間環境フォーラム「発展途上地域における原材料調達グリーン化支援事業サプライチェーンを遡ってみれば」(2006)より引用。

<sup>90</sup> サウイット・ウォッチへのヒアリングによる (2009年)。

<sup>91</sup> FoE International: fuelling destruction in latin America (2008)

<sup>92</sup> インドネシア西カリマンタン州におけるヒアリングによる (2008年11月)

を尊重し、十分に情報を提供した上での自由意志に基づく事前の合意を取得していること、利害関係者の紛争を生じないことが、近年、国際的な開発における原則として確立しつつあるが、バイオマス生産においても、この原則の周知徹底が求められよう。

## 2.6.5 認証制度

ライフサイクルでの温室効果ガス収支や環境影響に加え、これらの社会的問題に対応するため、バイオ燃料などの開発における持続可能性基準構築の必要性が認識されるようになり、国および国際的レベルでの作業が進められている（2.7 節参照）。

## 2.7 バイオマス持続可能性認証制度

### 2.7.1 バイオ燃料持続可能性に係る背景

エネルギー政策や環境政策に加え、農業政策産業政策などさまざまな政策側面からバイオ燃料導入が推進されている。先進国に加え、近年、モータリゼーション進展が著しい途上国においても、将来目標の設定、税制優遇や補助金等のインセンティブ施策の実施を通じ、自国でのバイオ燃料開発・利用を進めている。

このように世界的にバイオ燃料開発が進むにつれ、それが引き起こす問題点も明らかになってきた。ライフサイクルで評価した場合の温室効果ガス排出量評価に加えて、正味のエネルギー収支、生態系・生物多様性への影響、水・土壌・大気等の環境への影響、さらには食料競合や途上国開発、労働問題といった社会問題までもが指摘対象になっている。

こうしたことから、政策的に推進すべき”良いバイオ燃料”（持続可能なバイオ燃料）の選別に係る基準策定が急務である。

### 2.7.2 バイオ燃料持続可能性の検討状況

バイオ燃料に係る持続可能性に関する制度化の動きは、EU や EU 内諸国（英国、ドイツ、オランダ等）で先行している。また、国際的にも FAO 内の Global Bioenergy Partnership (GBEP)<sup>93</sup>において国際的な議論が進められ、基準作りが進められている。

EU においては、2008 年 12 月に「再生可能エネルギー指令」が採択され、2020 年までの EU のバイオ燃料導入目標（輸送用燃料の 10%相当）と、目標に計上できるバイオ燃料の持続可能性基準が定められた<sup>94</sup>。具体的な規定内容を表 2.7.1 に示す。

<sup>93</sup> <http://www.globalbioenergy.org/>

<sup>94</sup> EU 指令案：Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN UNION PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on the promotion of the use of energy for renewable resource

表 2.7.1 EU 指令におけるバイオ燃料持続可能性に関する規定内容

	規定内容	該当条文	備考	
環境	GHG 削減基準	<ul style="list-style-type: none"> <li>・温室効果ガス削減率 35%以上</li> <li>・2017 年から 50%以上 (2017 年以降の新規プラントは 60%以上)</li> </ul>	17.2 条 付属書 V.C.1・17	
		・直接的土地利用変化に伴う GHG 排出を 20 年に均等配分.	付属書 V.C.7 ~10	具体的な算定方法は、2009 年末までに欧州委員会が IPCC ガイドラインを参考に策定予定.
	土地利用変化(生物多様性・炭素貯留)	<p>「生物多様性の高い土地」で原料生産していないこと。当該土地とは以下のように定義。</p> <p>a) 人的活動がなく自然生態系への人為的影響が無い原生林・未開発森林</p> <p>b) (i) 法規制により保護地域に指定された地域 (ii) 国際協定や国際自然保護連合等の国際機関による指定を受けた地域 (i),(ii)とも、原料調達が自然保護の目的に抵触しない場合、同土地での生産は認可。</p> <p>c) (i)生物多様性の高い自然草地(ii)生物多様性の高い非自然草地。多様な生物種が生息し、人為的介入がなければ草地が消滅する土地を指す。原料調達が草地の維持に不可欠と立証された場合、同土地での生産は認可</p>	17.3 条～ 17.5 条	2008 年 1 月以後に、上記の条件を満たしている場合対象となる.c)に該当する草地の決定について、欧州委員会は指標や地理的範囲を指定する予定.
	<p>炭素貯留の高い土地で原料生産していないこと。炭素貯留の高い土地とは以下のように定義。</p> <p>a) 土地が永続的又は一年の大半の間、水に覆われている湿地</p> <p>b) 生育密度が高く(樹高 5m 以上、林冠 30%以上)、1ha 以上連続した森林</p> <p>c) 樹高 5m 以上、林冠 10～30%で 1ha 以上連続した森林。ただし、GHG 算定において土地利用変化による排出を考慮する場合は、同土地での生産は認可。</p> <p>泥炭地で原料生産していないこと。(原料調達が土壌流出に繋がらないと立証されれば場合、同土地での生産は認可)</p>		2008 年 1 月時点と比べ、土地の状況が変化している場合にのみ対象となる。	
その他	<p>食料競合/労働/土地・水等に係る権利</p> <p>欧州委員会は、2 年毎に欧州議会および連合理事会に対し、以下の事項に係る社会的影響を報告。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・食料価格</li> <li>・土地利用の権利</li> <li>・ILO(国際労働機関)条約の遵守状況</li> <li>・生物多様性の関連条約等の批准・導入状況</li> </ul>	17.7 条	最初の報告は 2012 年までに行う 強制労働、児童労働等 カルタヘナ議定書、ワシントン条約	

GHG : 温室効果ガス

EU で定められた基準として、個別のバイオ燃料開発プロジェクトにて担保されるべきものとして、温室効果ガス排出量(直接的土地利用変化による排出を含む)、生物多様性や炭素貯留効果の高い土地での原料栽培を認めない事などが盛り込まれている。

特に、温室効果ガス排出については、図 2.7.1 に示すようなデフォルト値が指令において定められており、これに基づく温室効果ガス排出削減基準である「35%削減率以上」が達成できない形態も幾つか示されている。

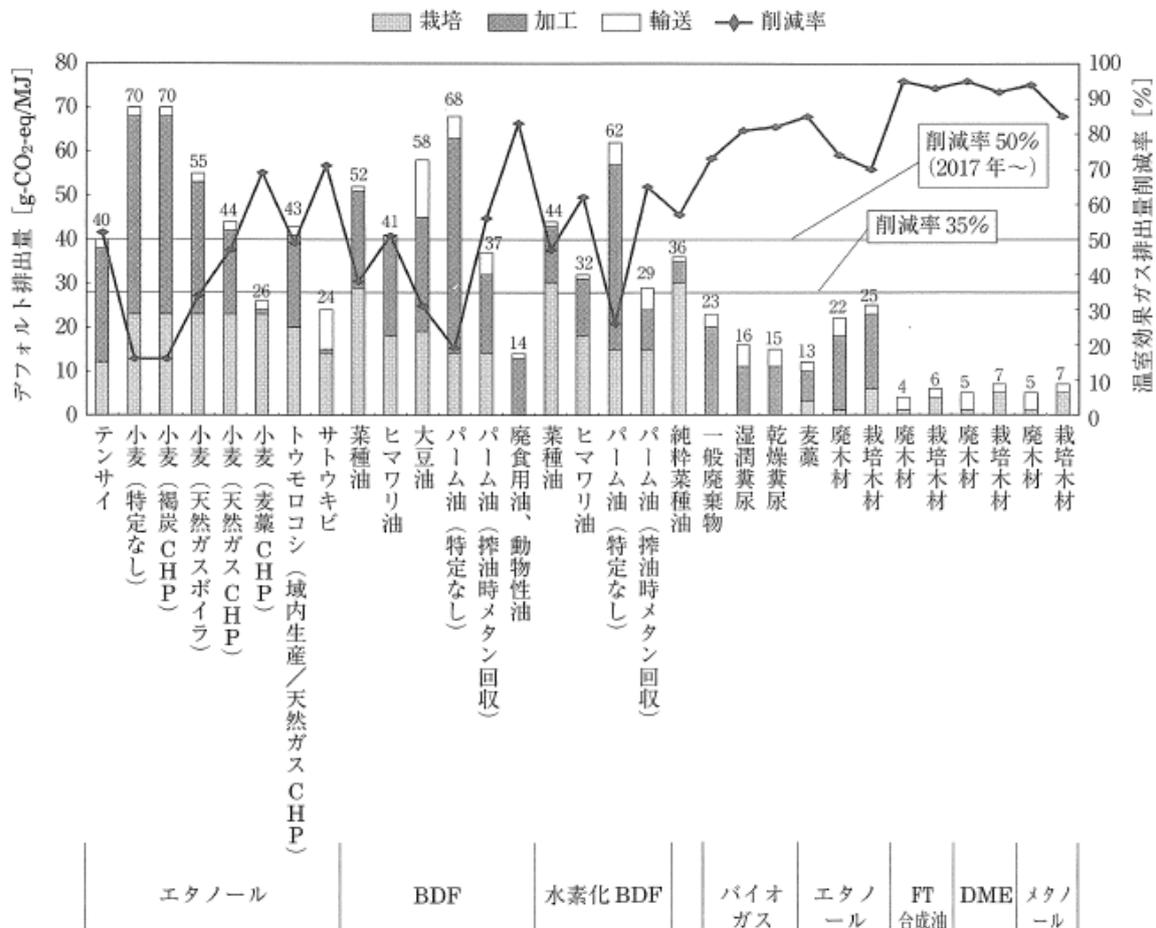


図 2.7.1 EU 指令における温室効果ガス排出量のデフォルト値

また、食料競合や労働問題等への社会影響については、個別のバイオ燃料プロジェクトとの因果関係の問題もあり、EU 委員会により監視され、その結果、問題が生じた際には「適切な措置を講ずる」こととされている。

今後の動きとして、2009年6月にEU指令が成立、発令した後、1年以内にEU加盟各国にて国内法化され、具体的な制度として確立されることになる。加えて、欧州標準化委員会（CEN：Comité Européen de Normalisation）において、認証制度構築が取り組まれており、制度運用に係るEUレベルでのルールづくりも進められている。

### 2.7.3 我が国の状況

我が国に目を向けると、2009年4月に資源エネルギー庁から「日本版バイオ燃料持続可能性基準の策定に向けて」という報告書<sup>95</sup>が公表され、我が国でのバイオ燃料持続可能性基準の検討の方向性が示された。具体的な基準づくり、運用ルールの検討は緒に就いたばかりの状況であるが、国産バイオ燃料と輸入バイオ燃料を適切な組み合わせにて導入普及させるという特徴を有した我が国の状況に照らし、独自の視点を取り入れた基準づくりが求められる。

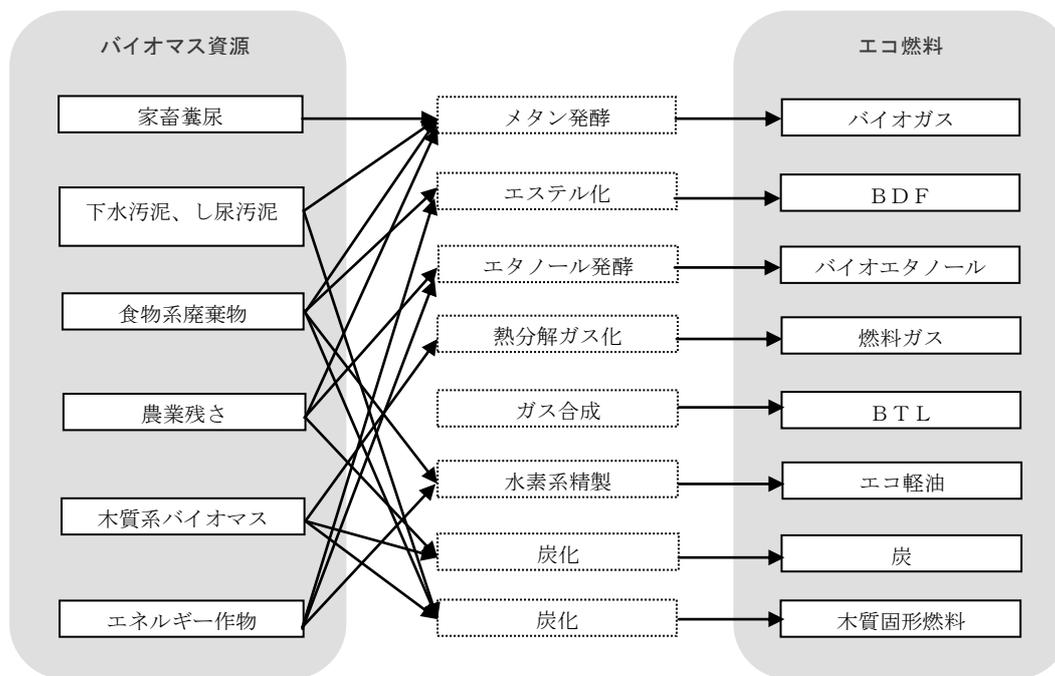
<sup>95</sup> バイオ燃料持続可能性策定研究会（資源エネルギー庁）：日本版バイオ燃料持続可能性基準の策定に向けて、2009年4月



### 3. バイオ燃料の市場・技術開発動向

#### 3.1 バイオ燃料の概要

バイオ燃料と生産方法および原料を図 3.1.1 に示す。右側の「エコ燃料」に相当するものを基本的に調査対象とする。



【出典】環境省

図 3.1.1 バイオ燃料と生産方法および原料

表 3.1.1 では、バイオ燃料の燃料分類・転換技術・原料の関係を示す。

表 3.1.1 バイオ燃料の燃料分類・転換技術・原料

分類	転換技術	原料						(ガス合成)
		家畜糞尿	下水/し尿汚泥	食物系廃棄物	農業残渣	木質系バイオマス	エネルギー作物	
バイオガス	メタン発酵	○	○	○	○			
BDF	エステル化			○			○	
バイオエタノール	エタノール発酵				○	○	○	
燃料ガス	熱分解ガス化					○		
BTL	ガス合成							○
エコ軽油	水素系精製			○			○	
炭	炭化				○	○		
木質固形燃料	固形燃料化		○	○		○		
その他								

〔例〕バイオエタノール

- 原料：糖質原料（サトウキビ、テンサイ等）、デンプン質原料、セルロース系原料（木質原料：スイッチグラス、バガス、廃材等）
- 転換技術：糖化法（酸糖化法、酵素糖化法）、発酵法（回分発酵法、添掛け発酵法）、その他
- 用途・利用状況：直接混合方式、ETBE方式、工業用燃料
- 課題：不純物の除去、他の用途との競合、原料収集の効率化、・・・
- 技術開発状況：Melle-Boinot 反連続発酵法、Biostil 法、・・・

【出典】各種資料より TRI 作成

また、発酵の種類とその特徴との比較を表 3.1.2 に示す。

表 3.1.2 発酵の特徴比較

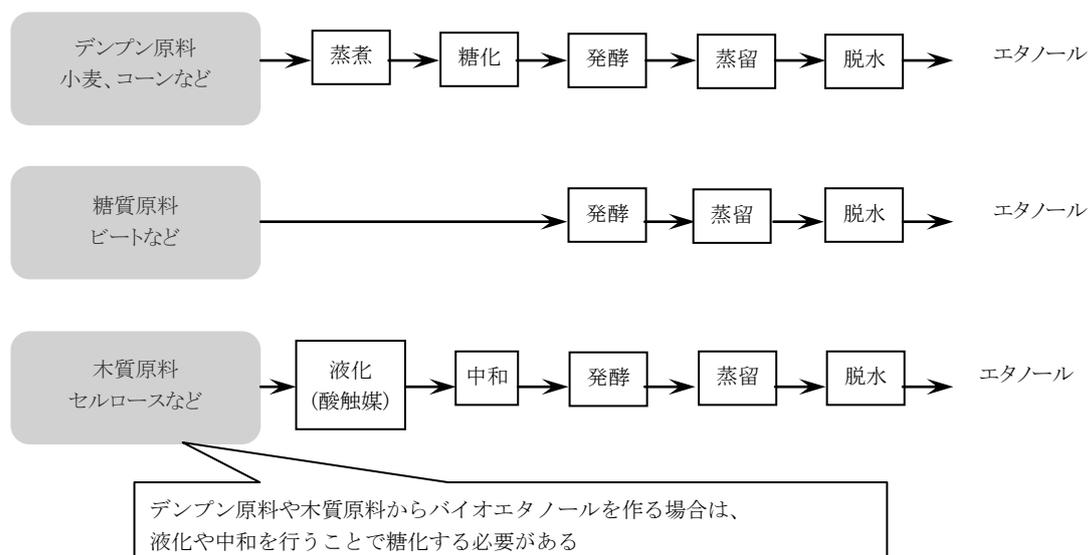
	嫌気発酵 (湿式中温)	嫌気発酵 (湿式高温)	嫌気発酵 (乾式)	好気発酵 (例：堆肥化)
水分濃度 (%)	90	75	55～60	60～65
発酵温度 (°C)	35～38	55	56～80	70 (発熱)
密閉状態	密閉：悪臭無し	密閉：悪臭無し	密閉：悪臭無し	解放：悪臭有り
ガス発生量	標準	多い	多い	無し
発酵日数 (日)	20～40	15～30	13～15	6～8 ヶ月
消化液	多い	多い	少ない	無し

【出典】 バイオガスプラントメーカーホームページ等より日本総合研究所作成

## 3.2 バイオエタノール

### 3.2.1 製造法

バイオエタノールの製造法を図 3.2.1 に示す。バイオエタノールとはさとうきびやとうもろこし等といった植物資源を発酵させ、蒸留して製造される燃料のことである。



【出典】エタノール工業、発酵工業協会編(1986)

図 3.2.1 バイオエタノールの作り方

### 3.2.2 世界主要国・地域におけるバイオエタノール普及・導入状況

世界の主要国・地域におけるバイオエタノール普及・導入状況を表 3.2.1 に示す。

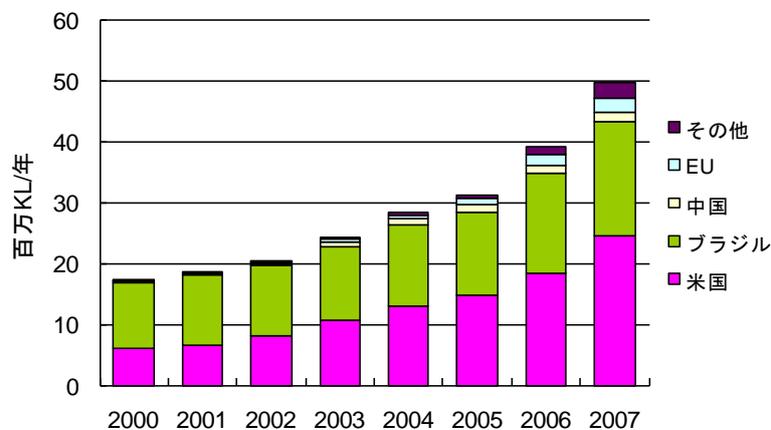
表 3.2.1 世界主要国・地域におけるバイオエタノール普及・導入状況

国名	燃料種（原料）
米国	E10、E85 普及（とうもろこし）
ブラジル	E25、E100 普及（さとうきび）
日本	E3 導入（糖蜜、規格外小麦、廃木材等）
カナダ	E10（とうもろこし、小麦）
フランス	ETBE 普及、E85 導入（てんさい、小麦等）
スウェーデン	E5 導入（小麦、木材）
中国	E10 導入（とうもろこし、小麦等）
豪州	一部 E10 導入（砂糖）
タイ	E10 導入（キャッサバ、糖蜜）
インド	一部で E5 導入（糖蜜）
コロンビア	E10 導入（さとうきび）

バイオエタノールのガソリンへの混合は環境問題、エネルギー問題等への対応からブラジル、米国を中心に世界中に普及している。

### 3.2.3 生産量と輸出入状況

米国とブラジルのバイオエタノール生産量は世界の生産量の7割を占める。また、ブラジルは世界最大のバイオエタノール輸出国で、2006年の輸出量は343万klで、輸入量の大きい国としては、米国254万kl、日本50.2万kl等となっている。バイオエタノールの生産量の推移を図 3.2.2 に示す。世界の生産量は近年増加傾向を示している。



【出典】資源エネルギー庁（F.O. Licht, World Ethanol and Biofuels Report, May 8, 2007）

図 3.2.2 バイオエタノールの生産量の推移

欧州ではフランス、ドイツ、スペインが3大生産国である。表 3.2.2 に欧州の主要なバイオエタノールメーカーを示す。

表 3.2.2 欧州の主要バイオエタノールメーカー（例）

企業名	国名
Tereos	フランス
Cristanol	フランス
CropEnergies AG	ドイツ
Verbio AG	ドイツ
Prokon	ドイツ
Agroetanol	スウェーデン
IMA Srl	イタリア
Abengoa Bioenergia	スペイン
AlcoBioFuel	ベルギー

【出典】各種資料より TRI 作成

### 3.2.4 原料種毎のエタノール収量

原料種毎のエタノール収量は表 3.2.3 のようになっている。

表 3.2.3 原料種毎のエタノール収量

原料	重量当たりのエタノール収量 (l/t)	耕地面積当たりのエタノール収量 (l/ha)
とうもろこし	336.9	2,133
さとうきび	56.8	5,191
大麦	333.1	861
グレインソルガム	325.5	1,263
小麦	302.8	692
米	302.8	1,637
ライ麦	299	505

【出典】U.S. Department of Agriculture(2002), “USDA’s 1998 Ethanol Cost-of-Production Survey”, Agricultural Economic Report, No.808.

### 3.2.5 コスト

各国のバイオエタノールの生産コストを比較すると表 3.2.4 のようになる。コスト的にはブラジルが優位に立っており、EU はブラジルや米国の 2 倍以上となっている。

表 3.2.4 各国のバイオエタノール生産コスト比較

国名	セント/l
ブラジル	20
米国	25
EU	55

【出典】Macedo, Sugar Cane’s Energy, 2005

### 3.2.6 米国の状況

#### (1) 経緯

2001年に約17億ガロンであった燃料用バイオエタノールの生産量は2008年には約90億ガロンと、わずか7年間で5.3倍になるという急成長を遂げた。2007年1月には、100の工場でバイオエタノールを生産している。また、76の新規工場が建設中で、既存の製造施設の拡張も行われている<sup>96</sup>。

一方、バイオエタノールの急増は、原料となる作物（米国産のトウモロコシやブラジル産のサトウキビなど）価格の高騰をもたらし、「燃料か食糧か」との論評も現れるようになった。

<sup>96</sup> 米国再生可能燃料協会（RFA : Renewable Fuels Association）HP、<http://www.ethanolrfa.org/>

現在までの経緯を以下に示す。

- ・MTBE<sup>97</sup>による地下水汚染問題（1999年、カリフォルニア州）
- ・カリフォルニア州令（1999年）：MTBEの使用を2002年までに禁止を表明。2002年以降のバイオエタノール需要量はMTBEの使用禁止により急激に増加。
- ・環境保護庁（EPA）によるMTBE使用削減勧告（1999年）
- ・カリフォルニア州をはじめ25州がMTBEの使用を禁止（2006年）

## （2）米国のバイオエタノール助成措置

### ①連邦政府

- ・連邦ガソリン税の優遇措置（13セント/1）
- ・小規模バイオエタノール生産者（22.7万kl未満）への所得税控除（5,678klを上限として2.6セント/1）
- ・E85用のガソリンスタンドのインフラ整備（30%の所得税控除か3万ドルを上限とする補助）
- ・商品金融公社（CCC）から事業者に対する補助（2005年度：前年度からの生産量増加分に応じて基金から3.2セント/1の配分）。

### ②州政府

- ・イリノイ州ではバイオエタノール10%混合したガソリン売上税を2%減免する措置。このほか、アラスカ、ハワイ、アイダホ、アイオワ、メイン、ミネソタ、ノースダコタ、オクラホマ、サウスダコタ州が同様の措置。
- ・バイオエタノール製造業者に対して、ミネソタ州が最大で5.3セント/1の補助を行っている。このほか、ハワイ、インディアナ、アイオワ、カンザス、メイン、メリーランド、ミシシッピ、ミズーリ、モンタナ、ノースダコタ、オクラホマ、ペンシルバニア、サウスダコタ、テキサス、ウィスコンシン、ワイオミング州でも同様の措置。

## （3）連邦政府の政策

- ・「2005年エネルギー政策法（Energy Policy Act of 2005）」が2005年8月8日に成立。
- ・同法により、バイオエタノールを主とする再生可能燃料の使用量を義務付ける「再生可能燃料基準（RFS）」が決定。
- ・RFSではバイオ燃料の使用量を2006年の40億ガロン（1,514万kl）から2012年までに75億ガロン（約2,840万kl）まで拡大することを義務化した。  
（実際には2008年に90億ガロン達成）
- ・2007年12月：新RFSとして2022年までに360億ガロンまで拡大  
90億ガロン（2008年）→360億ガロン（2022年）  
うちとうもろこし由来分：90億ガロン（2008年）→150億ガロン（2015年～2022年）
- ・国家バイオ燃料計画（2008年10月7日）

### （参考1）米国大統領一般教書演説

- ・ブッシュ大統領は、2006年1月31日、1年間の内政・外交全般にわたる施策指針を上院に表明する一般教書演説を行った。
- ・この中で、同大統領は石油依存率を下げる重要性を示し、2012年までにバイオエタノールに関する技術開発を重点項目として示した。
- ・木材チップ、わら、干し草、とうもろこしの葉・茎等セルロースからのバイオエタノール製造開発を強化し、2007年度会計予算として1億5,000万ドルを計上した。
- ・2007年の一般教書演説では、2017年までの義務目標を年間350億ガロン（約1億3,200万kl）に設定する必要性について言及。

<sup>97</sup> Methyl Tertiary Butyl Ether（メチルターシャリーブチルエーテル）

(参考2) 各州におけるバイオエタノール最低使用基準導入の動向

- ・最近では、環境問題への対応、農村地域経済の活性化、ガソリン価格の高騰等から連邦政府とは別に州独自のバイオエタノール最低使用基準を導入する動きがみられる。
- ・ミネソタ州では2005年からE10のバイオエタノール最低使用基準を導入(2013年からE20導入。)
- ・モンタナ州では2005年からE10のバイオエタノール最低使用基準を導入。
- ・ハワイ州では2006年からE10のバイオエタノール最低使用基準を導入。
- ・ミズーリ州では2008年からE10のバイオエタノール最低使用基準を導入。
- ・ワシントン州では2008年からE2のバイオエタノール最低使用基準を導入。

### 3.2.7 ブラジルの状況

ブラジルでは全体の8割(252工場)を占める工場が砂糖・エタノール両方を製造している。また、さとうきびからエタノール・砂糖への配分は両者の相対価格で決定する仕組になっており、さとうきびの半分以上が砂糖ではなく、バイオエタノールに仕向けられている。したがって、エタノールと砂糖は競合関係にある。

#### (1) 今後の政策の展開方向

- ・「国家アグリエネルギー計画」(2005年9月)
- ・バイオエネルギーに関する連邦政府としての国家計画
- ・バイオエネルギーの利活用の促進、技術の向上を目的
- ・エタノールの輸出拡大策が明記
- ・ブラジルは、官民をあげて日本、中国、韓国、中南米諸国に対しても売り込みを積極的に展開。
- ・ペトロbras社は最大のエタノール輸出港であるサントス港に輸出専用ターミナルやパイプライン等のインフラ整備に3,500万~4,000万ドルもの投資を行っている。
- ・今後、ブラジルはエタノール・砂糖双方の増産を行う。
- ・農務省とサトウキビ産業協会(UNICA)によると今後、39のエタノール・砂糖工場を新設し、2010年までにはエタノールは120億l、砂糖は1,200万tの生産が可能。
- ・ブラジル農牧供給省によると、現在のさとうきび作付面積は約7万km<sup>2</sup>に対して、牧草地を含めた農耕作可能面積は、90万km<sup>2</sup>存在し、今後の生産拡大は可能としている。

### 3.2.8 技術開発

最も重要な技術開発課題は、セルロース系エタノールの製造技術である。以下にその開発課題を示す。

- ・現在は前処理として硫酸加水分解が主流だが腐食対策、設備コストなどに課題
- ・リグニン現状は燃料としてしか利用できないが、より付加価値の高い利用法が必要
- ・C5糖の利用効率の高い微生物が存在しない

## 3.3 BDF

### 3.3.1 BDF とは

バイオディーゼルとは、バイオディーゼルフューエルの略で、生物由来油から作られるディーゼルエンジン用燃料の総称であり、バイオマスエネルギーの一つである。諸外国においてバイオディーゼルとして規格化がなされているのは脂肪酸メチルエステルのみであるが、厳密に化学的な定義はない。原料となる油脂からグリセリンをエステル交換により取り除き粘度を下げる等の化学処理を施し、ディーゼルエンジンに使用できるようにしている。Bio Diesel Fuelの頭文字をとってBDFと略される。

植物油はそのままだと粘度が大きいことと引火点が高いことによりディーゼル燃料としては使えない。そこでメタノールを加え、アルカリ触媒によりメチルエステル化させて粘度を小さくし、

引火点を低くし、軽油に近い性状のバイオディーゼル燃料とする。なお、精製の際には副産物としてグリセリンができる。

欧米ではバイオ由来の燃料に対する鉱物油税の免除措置があるため、菜種油や大豆などのエネルギー作物由来のバイオディーゼル燃料が作られている。一方、日本は大半が廃食用油から作られている。

### 3.3.2 世界主要国・地域におけるバイオディーゼル普及・導入状況

表 3.3.1 のように、北米では米国、南米ではブラジル、欧州ではドイツ、アジアでは日本とフィリピンで普及が進んでいる。生産量ではドイツが他を大きく引き離して世界一である。

表 3.3.1 世界主要国・地域におけるバイオディーゼル普及・導入状況

国名	燃料種(原料)
米国	B2 一部導入(大豆油)
ブラジル	B2 導入(植物油)
日本	バイオディーゼルとして廃食油使用
ドイツ	B5 等導入(菜種油)
フィリピン	B1 導入(ココナッツ油)

表 3.3.2 に欧州の主要なバイオディーゼルメーカーを示す。圧倒的にドイツに偏在している。

表 3.3.2 欧州の主要バイオディーゼルメーカー(例)

企業名	国名
Diester Industrie	フランス
ADM Biodiesel	ドイツ
Verbio	ドイツ
Cargill	ドイツ
Gate	ドイツ
Natural Energy West	ドイツ
Biopetrol Industries	スイス
Ital Greenoil	イタリア
Novaol Srl	イタリア
Acciona Energía	スペイン
Bioenergetica Extremena	スペイン
Biofuels Corporation	英国

【出典】各種資料より TRI 作成

### 3.3.3 BDF 製造法

製造法は表 3.3.3 のように、大きく触媒法と無触媒法がある。アルカリ触媒法は広く普及し、実用化されている。

表 3.3.3 BDF 製造法の比較

	触媒法			無触媒法	
	アルカリ触媒法	固体触媒法	酸素法	超臨界法	亜臨界法
温度	中程度 (50~60℃)	高温 (60~300℃)	常温	高温 (239℃~)	高温 (250℃)
圧力	常圧	常圧	常圧	高压	常圧
時間	1 時間程度	数時間	数日	数分	数時間
メリット	・広く普及 ・触媒が安価	・触媒分離が容易 ・大規模生産に向く	・条件が穏やか	・効率が高い ・精製が容易	・簡単な装置で可
デメリット	・精製が煩雑	・高温が必要 ・触媒が高価	・時間がかかる ・高温が必要	・装置が大がかり	・高温が必要

【出典】各種資料より TRI 作成

### 3.4 DME

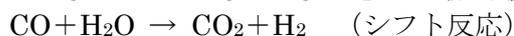
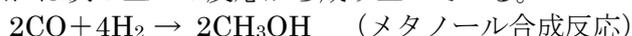
#### 3.4.1 DME とは

バイオマスを部分酸化すると、水素と一酸化炭素を主成分とする合成ガスができる。合成ガスからジメチルエーテル (DME : Dimethyl Ether、 $\text{CH}_3\text{OCH}_3$ ) を合成し燃料として利用する<sup>98</sup>。

DME は最も簡単な構造のエーテルである。炭素どうしの結合をもたない含酸素物質であるため燃焼時の PM (すす (煤)) 発生が少なく、加えてスプレー缶の噴霧剤に使われていることからわかるように、きわめて安全性の高い物質であることから、最近クリーン燃料として注目されている。ここでいう DME 直接合成反応とは、次式により合成ガスから直接 DME を生成する反応をいう。



実際には次の三つの反応から成り立っている。



#### 3.4.2 DME の燃料物性と利用

DME の燃料物性は表 3.4.1 に示すようであり、これまで次世代クリーン燃料の代表とされてきたメタノールと比較して同等もしくはそれ以上の適性を有すると評価されてきている。

燃料としての適性評価は、使用する対象、輸送、貯蔵などの条件により変わるが、DME は常温・常圧条件下では気体であるが、常温 (25℃) では 0.6MPa、大気圧では -25℃ というマイルドな条件で液状になる。これは、液化石油ガス (LPG) より沸点が高いため LPG 利用システムがそのまま適用可能である。

したがって、この点は DME の普及に関して大きな利点であると思われる。また、DME はセタン価が高く、ディーゼルエンジン燃料として使用することが内外で研究されている。

表 3.4.1 DME の燃料物性比較

燃料	DME	プロパン	メタン	メタノール	ディーゼル油
化学式	$\text{CH}_3\text{OCH}_3$	$\text{C}_3\text{H}_8$	$\text{CH}_4$	$\text{CH}_3\text{OH}$	
沸点 [℃]	-25.1	-42.0	-161.5	64.6	180~370
液密度 [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ] (20℃)	670	490	420*	790	840
液粘度 [ $\text{mPa} \cdot \text{s}$ ] (25℃)	0.12~0.15	0.2	—	—	2~4
対空気ガス比重	1.59	1.52	0.55	—	—
蒸気圧 [MPa] (20℃)	0.61	0.93	—	0.04	—
爆発限界 [%]	3.4~17	2.1~9.4	5~15	5.5~36	0.6~6.5
セタン価	55~60	5	0	5	40~55
正味発熱量 [ $\text{MJ}/\text{m}^3\text{-N}$ ]	59.5	91.3	36.0	—	—
正味発熱量 [ $\text{MJ}/\text{kg}$ ]	28.9	46.5	50.2	20.1	41.9

\*メタンの液密度は -161.5℃ の値。

<sup>98</sup> ・Air Product and Chemicals, Inc. : Synthesis of Dimethyl Ether and Alternative Fuels in the Liquid from Coal-Derived Synthesis Gas, DOE/ PC/89865-T8 (1993)  
 ・M.R.Gogate, et al. : Single Stage, Liquid Phase Dimethyl Ether Synthesis IV. Thermodynamic Analysis of the LPDME Process System, Fuel Sci. Technol., Vol.10, No.3, pp.281-331 (1992)  
 ・J.B.Hansen, et al. : Large Scale Manufacture of Dimethyl Ether New Alternative Diesel Fuel from Natural Gas, SAE International Congress, 950063 (1995)  
 ・Y.Ohno, et al. : New Alternative Fuel Technology for Clean Environmental and Sustainable Development in the Asia Pacific Region, Gas and Liquid : Clean Fuels Strategy Conference (London) (1998)  
 ・Y.Ohno, et al. : Development of Dimethyl Ether Synthesis Technology and its Diesel Engine Test, ASME Meeting San Antonio USA (2000)  
 ・大野陽太郎 : 低品位炭の転換技術—新クリーン燃料ジメチルエーテル合成—, 季報エネルギー総合工学, Vol.20, No.1, pp.45-54 (1997)  
 ・生澤勝美ほか : 小型トラック用 DME 直噴ディーゼルエンジンの燃焼特性、自動車技術会学術講演会前刷集, No.86-98, pp.13-16 (1998)

DME をディーゼルエンジンに使用すると、燃料のもつクリーンな特性と、ディーゼルエンジンのもつ高効率という特性の相乗効果を得ることができる。JFE エンジニアリング社の市販車改造による試験によれば、燃料消費率は軽油と同等で、PM がどのような運転条件でも全く発生せず、NO<sub>x</sub> の発生も 25%低下したと報告されている。

DME の国内年間生産量は最近まで 1 万 t 程度であったが、2008 年に普及促進を目的とする年産 8 万 t のプラントが新潟で竣工し、燃料利用を広げる試みが始まった。中国では、すでに生産設備は 300 万 t/年に達し、100 万 t/年以上の LPG 代替利用が始まっている。

DME 合成の原料としては、石炭ガス化、天然ガス改質、炭層メタンなどの化石燃料から得られる CO/H<sub>2</sub> 混合ガス（合成ガス）が想定されているが、バイオマスのガス化で得られる合成ガスを原料とすればより一層の省エネルギーおよび CO<sub>2</sub> 削減効果が得られるので、バイオマスのガス化と DME 直接合成プロセスを組み合わせたシステムの開発は重要度が高いといえる。

日本でも産業技術総合研究所と岩谷産業の共同研究、山口県産業技術センターなどで小規模な試験が行われている。また、スウェーデンではボルボ社を中心に製紙工場の黒液から DME を製造する研究開発が行われている。プラント建設は 2008 年に始まり、2010 年の初めには 4~5t/d のバイオ DME 製造が計画されている。

### 3.4.3 DME 合成技術

合成ガスからの DME 直接合成の研究は 1980 年頃から始まり、メタノール合成触媒と脱水触媒を混合した触媒を用いた固定床システムの研究が中心であった。しかしながら、高温領域での触媒劣化が指摘され、触媒開発を含む新たなシステムの開発が必要と評価された。

昨今クリーン燃料としての DME への期待が高まってきたことから、現在では合成ガスからの DME 合成プロセスは表 3.4.2 に示す 3 プロセスが開発中である。この表から明らかのように、各プロセス間の相違は原料合成ガス組成によるところが大きい。プロセス A では生産物は DME のみであるが、プロセス B およびプロセス C は DME とメタノールの併産型である。

表 3.4.2 DME 直接合成開発プロセスの比較

プロセス	A	B	C
開発者	JFE (日本)	Air Products and Chem. (USA)	Haldor Topsoe (デンマーク)
原料ガス (H <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> ) 比	1	0.7	2
反応器型式	スラリー床反応器	スラリー床反応器	固定床反応器
反応条件			
温度 [°C]	250~280	250~280	210~290
圧力 [MPa]	3~7	5~10	7~8
反応式	反応式(1)	反応式(2)	反応式(2)
合成ガス転化率 [%]	55~60 (one pass)	33 (one pass)	18 (one pass) 85 (トータル)
製品	DME 収率=95~99%	DME/メタノール併産 (DME 収率= 30~80%)	DME/メタノール併産 (DME 収率 = 60~70%)
開発経緯	1989 年 1kg/d ビーカスケール 1995 年 50kg/d ベンチスケール 1997 年 5t/d パイロットスケール	1986 年 ビーカスケール 1991 年 4t/d パイロットスケール	1993 年 50kg/d ビーカスケール

[注] 反応式(1) :  $3\text{CO} + 3\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{OCH}_3 + \text{CO}_2$ 、反応式(2) :  $2\text{CO} + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{OCH}_3 + \text{H}_2\text{O}$

図 3.4.1 に示すように、合成ガスの平衡転化率は H<sub>2</sub>/CO=1 付近で DME 合成した場合に最も高くなる。プロセス A はこの点に着目して目標物である DME を合成ガスから直接生産しようとするものである。

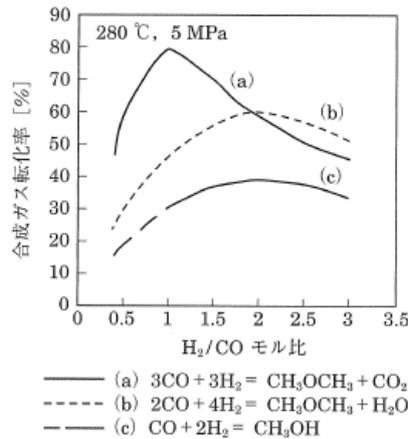


図 3.4.1 合成ガス平衡転化率

バイオマスガス化からの合成ガス組成はある程度調節可能であるが、(H<sub>2</sub>/CO) 比を 1 に近い値で運転するのが効率的である。したがって、DME 収率が他と比べて非常に高いことも考え合わせると、プロセス A がバイオマスガス化との組合せにおいて最も適していると評価できる。

### 3.4.4 プロセスフロー

図 3.4.2 に JFE プロセスのプロセスフローを示す。原料ガスは循環ガスと合流後、DME 反応器からの高温合成ガスと熱交換して予熱されたのち DME 反応器塔底に供給される。

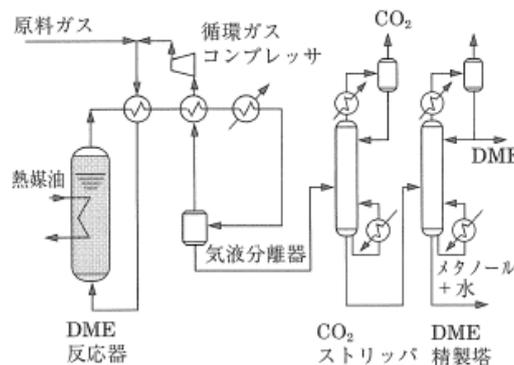


図 3.4.2 DME 直接合成プロセスフロー(JFE プロセス)

DME 合成反応は大きな発熱を伴う反応であり、この反応熱を効率良く除去して反応温度を安定化させることが一つのポイントである。JFE プロセスを採用した 100t/d 実証プラントでは図 3.4.3 に示したようなスラリー型バブリング反応器を採用し、スチームを発生させることによって反応温度をコントロールしている。

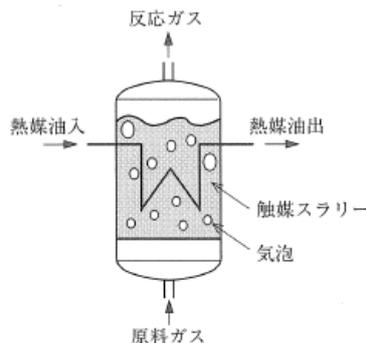


図 3.4.3 スラリー床 DME 反応器概念図

反応条件は 260℃、5MPa 程度であり、他のプロセスよりマイルドな条件となっている。DME 反応器を出たガスは熱交換器、冷却器を経て気液分離される。未反応ガス、CO<sub>2</sub> などからなる気体成分は循環ガスコンプレッサで反応圧力にまで昇圧されて DME 反応器に循環される。

一方、DME を主成分とする液体成分は CO<sub>2</sub> ストリップに供給され、そこで溶存 CO<sub>2</sub> を除去した後さらに DME 精製塔に送られてそこで蒸留操作により精製 DME を得る。精製塔下部から抜き出されるメタノールと水分はさらに蒸留され、純度の高いメタノールが得られる。このメタノールは DME 反応器にリサイクルすることも可能である。

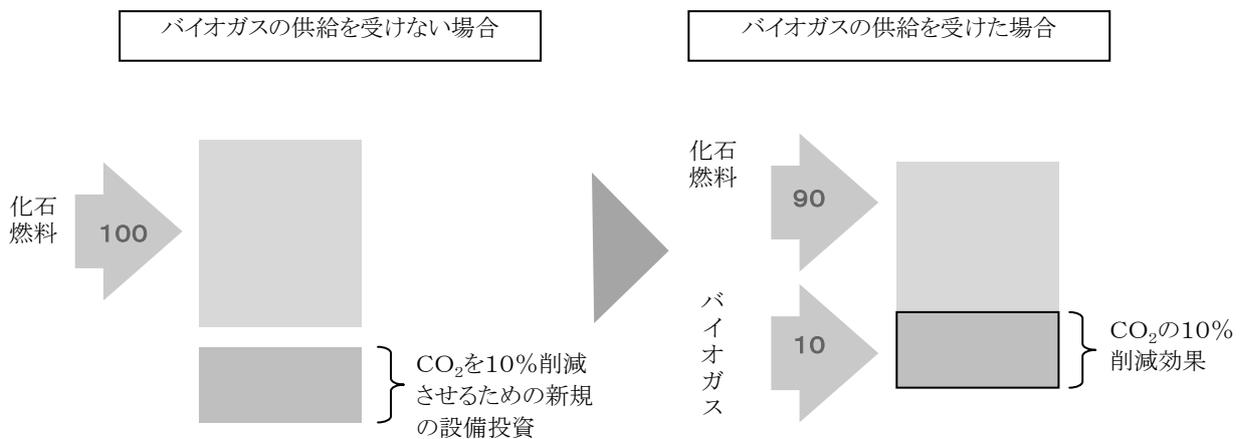
実証プラントは、2003 年 12 月から 2006 年 5 月にかけて、約 5 か月間の連続安定運転を含む試験運転を行い、累計約 2 万 t の DME を生産した。

### 3.5 バイオガス

#### 3.5.1 バイオガスとは

バイオガス (Biogas) は、バイオ燃料の一種で、生物の排泄物、有機質肥料、生分解性物質、汚水、ゴミ、エネルギー作物などの発酵、嫌気性消化により発生するガスである。例えば、サトウキビや下水処理場の活性汚泥などを利用して、気密性の高い発酵層で生産される。メタン、二酸化炭素が主成分である。発生したメタンをそのまま利用したり、燃焼させて電力などのエネルギーを得たりする。バイオガスは非枯渇性の再生可能資源であり、下水処理場などから発生する未利用ガス等も利用が期待されている。

日本ガス協会もバイオガス利用促進センターを設置し、バイオガス利用促進の取り組みを行っている。国や自治体が化石燃料や都市ガス電力に炭素税を課税する議論があるが、バイオガスは、化石燃料とは異なりカーボンニュートラルであるため非課税になる可能性がある。バイオガスによる二酸化炭素削減モデルを図 3.5.1 に示す。



【出典】各種資料より TRI 作成

図 3.5.1 CO<sub>2</sub>削減モデル

### 3.5.2 バイオガスの精製技術

表 3.5.1 にバイオガスの精製技術の比較を示す。

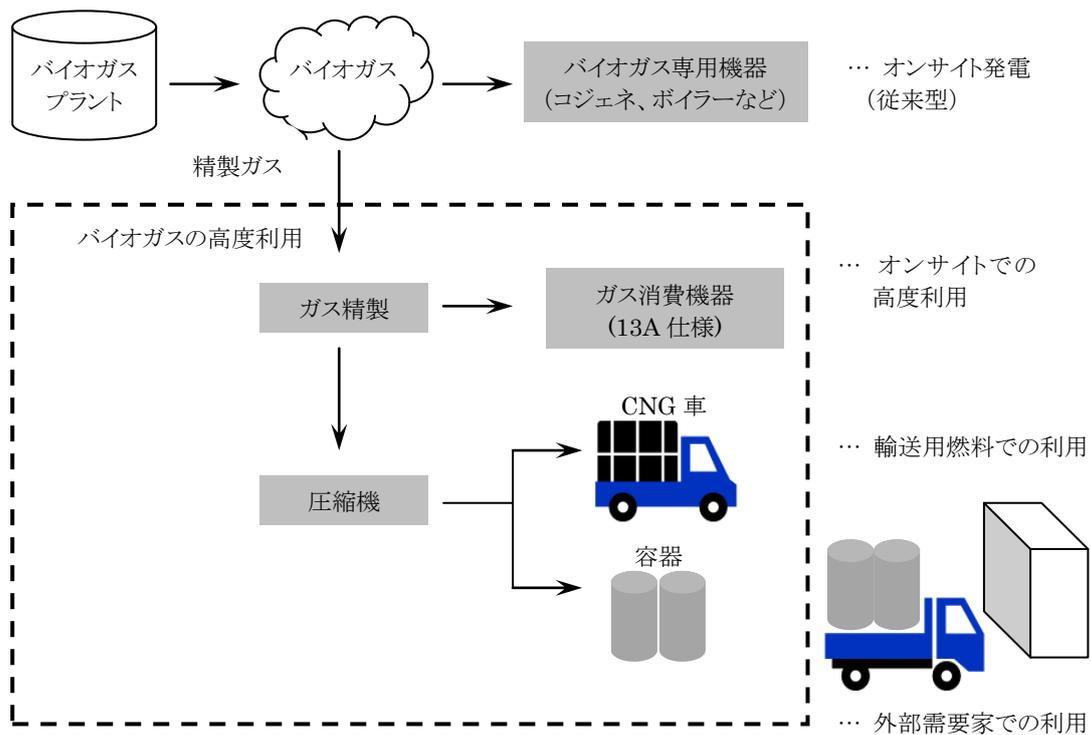
表 3.5.1 バイオガスの精製技術の比較

	吸着法	吸収法	膜分離法
概要	物質の吸着特性を生かした二酸化炭素の除去技術	水溶液（水など）などへの物質の吸収特性を生かした二酸化炭素の除去技術	物質の透過膜を用いた二酸化炭素の除去技術
対象技術	畜産農家～下水処理場	下水処理場	畜産農家～下水処理場
技術的成熟度	技術的成熟度は高いが、導入実績は少ない	同左	同左
消費電力量	低い	低い	高い
その他	材の交換が必要	大量の水溶液（水など）が必要	膜の交換が必要

【出典】各種資料より TRI 作成

### 3.5.3 バイオガスの用途

図 3.5.2 にバイオガスの用途を示す。

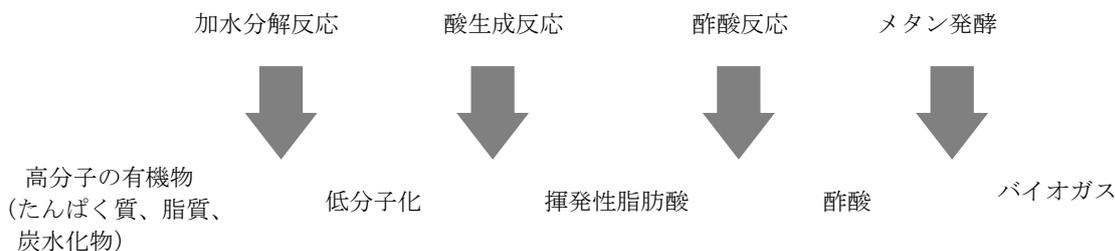


【出典】各種資料より TRI 作成

図 3.5.2 バイオガスの用途

### 3.5.4 メタン発酵プロセス

図 3.5.3 にメタン発酵プロセスを示す。



- \* 高分子 多くの原子が共有結合してできる巨大分子を意味する。例えば、水素原子 (H) が2つ結合した水素 (H<sub>2</sub>) が低分子であることに対し、コレステロール (C<sub>27</sub>H<sub>46</sub>O) は高分子である。
- \* 加水分解 ある物質Aに水を加えた際に、水の中の水素原子 (H) と酸素原子 (O) が分離し、物質Aと結びついて新しい物質B及びCを作り出す反応を意味する。
- \* 酸生成 水に溶けた際に酸はH<sub>+</sub>を与える物質であり、塩基はH<sub>+</sub>を受け取る物質であると考えられる。新しい酸を作り出す反応を酸生成反応という。例えば、プリン体がキサンチン参加酵素と結合して尿酸を作る反応も酸生成反応である。
- \* 酢酸反応 酢酸を作る反応を酢酸反応という。米から作ったお酒に乳酸菌を加え (もろみ)、乳酸菌がアルコールを原料に酢を作る反応は酢酸反応の例である。

【出典】各種資料より TRI 作成

図 3.5.3 メタン発酵プロセス

### 3.5.5 欧州の状況

バイオガスは欧州で普及が進んでいる。特にドイツではバイオガスメーカーが多く存在する。欧州の主要バイオガスメーカーを表 3.5.2 に示す。

表 3.5.2 欧州の主要バイオガスメーカー (例)

企業名	国名
Strabag Umweltanlagen GmbH	ドイツ
Schmack Biogas AG	ドイツ
Biotechnische Abfallverwertung	ドイツ
BTA International GmbH	ドイツ
EnviTec Biogas	ドイツ
Schmack Biogas AG	ドイツ
Kompogas AG	スイス
OWS	ベルギー

【出典】各種資料より TRI 作成

### 3.6 BTL

バイオマスはガス化することにより、一酸化炭素と水素の混合ガスである合成ガスに変換することが可能である。この合成ガスは適当な触媒反応を用いることによって、ガソリンやディーゼルなどのクリーンな合成燃料に転換され、石油代替のエネルギー資源となり得る。

フィッシャー・トロプシュ (Fischer-Tropsch) 合成は合成ガスから直鎖の炭化水素を製造する反応である。さらに水素化分解反応により炭化水素の炭素数や骨格構造の調整を行う<sup>99</sup>。

<sup>99</sup> 触媒学会：工業触媒反応 II、p.84、p.96、講談社サイエンティフィック (1985)

### 3.6.1 FT 合成反応

フィッシャー・トロプシュ (FT) 合成反応は、1923 年にフィッシャーとトロプシュらにより報告され、第二次世界大戦中に日本も含めて数か国で工業化された。特に石油資源をもたない国で、高く評価された。戦後では、南アフリカ共和国やマレーシアにおいて大規模なプラントが運転されてきている。これらはいずれも石炭のガス化や天然ガスの改質によって得られた合成ガスを原料として用いている。

FT 合成の反応式は以下のとおりであり、本反応は一般的に大きな発熱反応である。反応温度 500K における反応熱を表 3.6.1 に示す。



表 3.6.1 FT 合成反応の反応熱

生成物	$\Delta H$ [kJ/mol-CO]
CH <sub>4</sub>	-215
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	-181
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	-111
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	-172
C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	-130
C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	-165

[注] 水を副生する。温度 500K  
負号は発熱を表す

炭化水素生成物としては、直鎖状の  $\alpha$ -オレフィンおよび、それらが水素化された直鎖状パラフィンである。また、これらと同時に、以下の反応により、二酸化炭素も副生する。



### 3.6.2 FT 合成反応における生成物分布

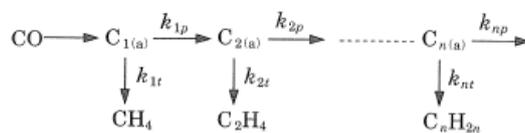
FT 合成反応における炭素-炭素結合が生成する反応経路は図 3.6.1 のように考えることができる<sup>100</sup>。ここで、連鎖成長確率  $\alpha_n = k_{np} / (k_{np} + k_{nt})$  で表され、これが炭素数  $n$  に依存しないと近似できる。これに基づいて、生成した炭化水素の炭素数  $n$  の全生成炭素に占めるモル分率  $\phi_n$ 、重量分率  $W_n$  は以下のように表すことができる。

$$\phi_n = \phi_1 \alpha^{n-1} \quad \cdots \textcircled{4}$$

$$W_n = n \phi_n / (\sum n \phi_n) \quad \cdots \textcircled{5}$$

さらに、これらはシュルツ・フローリー (Schulz-Flory) 式 (⑥) に近似できる。これらが実験的に求められた炭化水素の炭化水素分布とよく一致することが確かめられている。

$$W_n = n \alpha^{n-1} (1 - \alpha)^2 \quad \cdots \textcircled{6}$$



$C_{n(a)}$  : 炭素数  $n$  の活性種  
 $k_{np}$  : 炭素数  $n$  の活性種から炭素数  $n+1$  の活性種が生成する速度定数  
 $k_{nt}$  : 炭素数  $n$  の活性種が水素されオレフィンとして気相へ脱離する速度定数

図 3.6.1 FT 合成反応における炭素-炭素結合の成長過程

連鎖成長確率と各留分選択率の関係を図 3.6.2 に示す。C<sub>2</sub>-C<sub>4</sub> の低級炭化水素を目的生成物とする場合、連鎖成長確率  $\alpha$  を 0.45 程度にすればよいことになる。また、C<sub>5</sub>-C<sub>11</sub> のガソリン沸点留分

<sup>100</sup> 触媒学会：工業触媒反応 II、p.84、p.88、p.96、講談社サイエンティフィック (1985)

の場合 0.76、 $C_{12}$ - $C_{22}$  の灯軽油留分の場合 0.88 とすれば、比較的高い選択率を得ることができる。しかし、一方である特定の目的生成物を高選択的につくることは困難であり、生成物は  $C_1$ ~ $C_{100}$  の混合物として得られる。

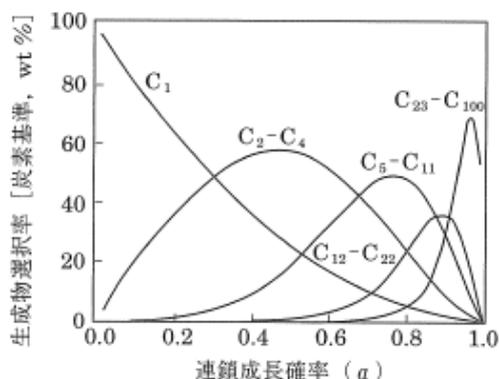


図 3.6.2 連鎖成長確率と各留分選択率

### 3.6.3 FT 合成プロセス

ドイツの CHOREN 社はごみおよびバイオマスから、炭化工程とガス化工程を経由して窒素を含まない合成ガスをつくり、さらに Shell 社のスラリー相 FT 合成プロセスとコバルト系触媒を導入し、BTL 合成軽油をつくっている。しかし天然ガスからの GTL と比べると、BTL 用の FT プラントはかなり小型である。

図 3.6.3 に FT 合成における反応条件活性金属の種類、主生成物の相関について示す。

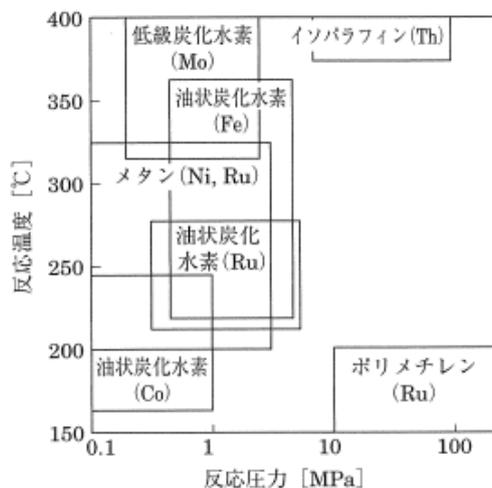


図 3.6.3 FT 合成における反応条件、活性金属の種類、および主生成物

工業用触媒としては経済性も考慮に入れて、主に Co と Fe が用いられている。反応器としては、固定床、流動床、スラリー床反応器が開発されている。固定床反応器の場合、反応に伴う発熱を逃がすために、多管熱交換型反応器にすることが多い。これに対してスラリー床反応器は、伝熱速度が大きいため、温度コントロールが容易である。現在、基礎研究の段階であるが、超臨界反応器も提案されている。

図 3.6.4 に Shell 社の SMDS (Shell Middle Distillate Synthesis) のプロセスフローを示す。マレーシアの天然ガスを原料とするプロセスであり、FT 合成触媒として  $Co-ZrO_2/SiO_2$  系が用いられている。現在、反応器は固定床を用いているが、スラリー床反応器の開発も行われている。

FT 合成の主生成物は炭素数のかなり大きなワックス (C<sub>20+</sub>) であり、水素化分解により中間留分に転換している<sup>101</sup>。

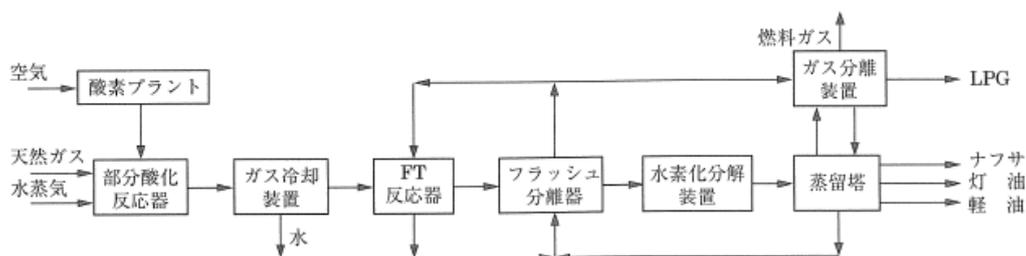


図 3.6.4 SMDS(Shell Middle Distillate Synthesis)プロセス

水素化分解反応は、水素化能と固体酸性をもった二元機能型触媒上で進行する。固体酸性をもつものとして、シリカ-アルミナ、シリカ-マグネシア、シリカ-ジルコニア、シリカ-チタニア、また各種ゼオライトが用いられている。水素化能は、Co-Mo、Ni-Mo、Ni-W、Pd、Pt などを固体酸に担持することによって付加されている。FT 生成物の水素化分解は、固体酸点、特にブレンステッド酸が炭化水素と相互作用することによってカルベニウムイオンが生成し、これに伴ってβ位の炭素-炭素結合が開裂することによって、軽質化が進行する。

FT 合成生成物をガソリンエンジン用の燃料として用いる場合には、水素化分解からさらに、オクタン価を向上させる接触改質反応を行う必要がある。接触改質反応には Re や Sn で表面修飾したアルミナ担持 Pt 触媒が用いられている。この触媒は脱水素化-水素化能と固体酸性をもつ二元機能型触媒である。これらの触媒によりパラフィンの骨格異性化反応や、環化脱水素反応による芳香族炭化水素への転換が進行する<sup>102</sup>。

ここでは、シェルのプロセスについて紹介したが、サソール<sup>103</sup>、エクソン、シントロリウム、レンテックなども FT 合成反応をベースにした液体燃料製造の技術開発を熱心に行っている。

### 3.6.4 生成物の性状

FT 合成触媒は、硫黄などの不純物に対して耐性が低いため、合成ガス中からそれらを除去する必要がある。合成ガスを天然ガスから製造する場合、天然ガス中の硫黄などの不純物を除去した後合成ガスへ変換する。

一方、石炭やバイオマスなど、あらかじめ硫黄を除去するのが困難なものについては、合成ガスに転換した後に被毒物質を除去する。このように、硫黄などの不純物をガスの段階で除去しているため、製造された FT 生成物は、硫黄や重金属を全く含まず、クリーン燃料であることがわかる<sup>104</sup>。

さらに、FT 合成の直接生成物、および SMDS プロセスで合成されたワックスを水素化分解して得られた生成物の骨格構造が直鎖状に近いこと、セタン価が高く、優れた燃焼特性をもっており、環境負荷の小さな優れた軽油として注目を集めている。同時に、芳香族を含まないため、パーティキュレートも従来のものと比較して顕著に低減されることが示されている。これらの性状は、従来の石油精製で到達が困難な性状であり、合成燃料が注目される大きな理由になっている。

### 3.6.5 ガソリンの直接合成

FT 合成は基本的に直鎖炭化水素しか合成できず、合成軽油として使えるが、イソ体パラフィンである合成ガソリン (アルキレート、alkylate) として使えない。FT 合成触媒とゼオライト触媒を物理混合してハイブリッド触媒とし、同じ反応器あるいは二段連結反応器に置くことによって、

<sup>101</sup> M.M.G.Senden, et al.: M.F.M.Post and Andorge, J.Post: Chemical Reactor Technology for Environmentally Safe Reactors, p.227, NATO ASI Ser., Ser. E (1992)

<sup>102</sup> 石油学会編：石油精製プロセス、p.157、p.101、講談社サイエンティフィック (1998)

<sup>103</sup> M. E. Dry : Practical and theoretical aspects of the catalytic Fischer-Tropsch process, Appl. Catal. A : General, Vol.138, p.319 (1996)

<sup>104</sup> 市川 勝：天然ガスの高度利用技術-開発研究の最前線-、p.452、NTS (2001)

生成した直鎖 FT 炭化水素をその場でゼオライト触媒上において水素化分解および異性化反応させ、アルキレートに相当するイソパラフィンを選択的に合成することが検討された<sup>105</sup>。超臨界流体を用いる例もあり、迅速な変換と除去によって平衡をずらし、副生する水を除去することによって選択率の向上が確認されている。また、数 mm～数 cm の FT 触媒ペレット上にゼオライト膜を製膜する「カプセル型触媒」の開発も進められている<sup>106</sup>。

### 3.6.6 MTG プロセス

1986年ニュージーランドにおいて天然ガスを原料とし、メタノールを経由してガソリンを製造する工業プラントが稼動した。天然ガスから合成ガスを経由してメタノールを合成し、それをさらに MTG (Methanol TO Gasoline) プロセスによりガソリンへ転換する。具体的には、触媒として ZSM-5 と称される固体酸性をもったゼオライトを用いる。メタノールは脱水し、ジメチルエーテルとなり、さらに脱水するとエチレンが生成し、それらが重合・分解すると、C<sub>2</sub>～C<sub>5</sub>程度の分子量の小さなオレフィンとなる。さらにこれらが反応し、芳香族化合物とイソパラフィンなども生成する。これらの生成物はオクタン価が非常に高く、そのままレギュラーガソリンとして使うことも可能である。しかし、この MTG プラントは、その後の石油価格の下落により現在閉鎖されている。

### 3.6.7 合成燃料油の経済性<sup>107</sup>

硫黄に対する規制が厳しくなるに従って、石油精製コストが上昇し、燃料の価格が上昇する可能性が高い。そのため、FT 合成燃料油と石油精製燃料との価格差がつまっていくことが予想される。合成燃料製造については、フロート（船上）式生産設備による小規模天然ガス田の液体燃料生産システム、電力併産システム、空気を直接酸化剤とする方式など、より低コストの生産方法が検討されている。

さらに、最近燃料電池自動車の水素供給源としてガソリンの可能性が出てきている。自動車用燃料電池として用いられる固体高分子型燃料電池の電極として用いられている Pt は低濃度の硫黄でも被毒されてしまうため、燃料中の硫黄をほぼゼロにすることが要求されている。合成されたナフサ留分を燃料電池自動車用燃料とすることも検討されている。

### 3.6.8 バイオマスの利用

現在まで、FT 合成反応による液体燃料製造技術は、いずれも石炭や天然ガスを原料とし、しかも、非常に大きなスケールでメリットを生かして効率を上げてきた。一方、バイオマスを原料として利用する場合、石炭や天然ガスと比較してスケールが小さくなることは避けられない。そのため、小さなスケールでも十分高い効率で製造できるより高い技術開発が必要となっている。特に、FT 合成反応においては、より高活性な触媒の開発が必要とされている。

## 3.7 木質固形燃料

### 3.7.1 欧州での普及状況

木質固形燃料は圧倒的に欧州が中心である。

2008年に欧州連合 (EU : European Union) 加盟国における固形バイオマス由来の一次エネルギー生産量は 2007年に比較して 2.3%増加した。これは、2007年対比で 150 万 toe (石油換算トン) の増加に匹敵する。この成長は特に発電に現れており、2007年対比で 10.8% (5.6TWh) の増加であった。

<sup>105</sup> Y. Yoneyama, et al.: Catal. Today, Vol.104, p.37 (2005)

<sup>106</sup> Y. Yoneyama, et al.: Energy and Fuels, Vol.22, p.2873 (2008)

・J. He, Z. Liu, et al.: Chem. Eur. J., Vol.12, p.8296 (2006)

・J. Bao, J. He, et al.: Angew. Chem. Int. Ed., Vol.47, p.353 (2008)

<sup>107</sup> 川田襄：合成燃料油の経済性と今後の展望、ペトロテック、Vol.24, p.62 (2001)

EUにおける固形バイオマス由来一次エネルギー生産量（2008年）を国別にみると、ドイツが998万1,000toe、フランスが788万7,000toe、スウェーデンが505万7,000toeとトップ3を形成している。固形バイオマス部門の投入量は1995年以来、EUの27加盟国で2,200万toe以上増加した。

木質固形燃料には、枝チップ、木材の削りくず、おがくず、ペレット、製材時の廃棄物、産業廃棄物および家具業界の廃棄物などがある。

### 3.7.2 木質ペレット<sup>108</sup>

2～3年前から、薪燃焼型暖房の普及が木質ペレットのブームに火をつけた。スウェーデン、デンマーク、オランダ、ベルギー、ドイツ、オーストリア、イタリアなど多数の欧州諸国は、すでに多くの木質ペレットを生産しており、また、フランスなど他のEUの国々でも人気を博している。

欧州バイオマス協会（AEBIOM）は、欧州における木質ペレット製造工場の数を440、2008年の全工場からの生産量を約750万tと見積もっている。ペレットは数多くのバイオマス原料から製造することができるため（木質廃棄物、枝チップ、短期生育木など）、この数字は2020年までに10倍の7,500万tになるとみられる。

欧州の木質ペレットメーカーは、現在3つの分野で発展している。ベルギーとオランダでは、ペレットは主に発電所で使用されている。例えば、Electrabel（ベルギーの電力会社）はAwirs発電所（80MWe）を転換し、現在では木質ペレットのみで運転している。その使用量は、年間40万tである。スウェーデンとデンマークでは、ペレットは主として大容量、中容量のコージェネ工場で使用されている。他の国では、住宅および商業用ビルの暖房に利用されている。

イタリアの消費の成長は特に興味深い数値を示している。イタリア農業森林エネルギー協会（AIEL）によれば、同国にはおよそ80万のペレット燃焼型屋内用暖房機器が設置されており、木質ペレットの消費も2001年の15万tから2008年の80万tに増加した（15万tの輸入を含む）。イタリアでは暖房を使用する期間が短いため（年間平均120日未満）、セントラルヒーティングシステムが普及しなかったことが、消費が拡大した理由である。

ドイツでは、ペレット燃焼型暖房も急増し始めている。ドイツ再生可能エネルギー協会（BEE）によれば、同国には40の製造工場があり、2008年の生産能力は全工場あわせて230万tであった。ペレットの生産量は2007年の112万6,196tから2008年の146万8,335tに増加し、2009年には160万tを超えるとみられる。同協会は、2008年のペレット燃焼型暖房機器の設置数を2007年より2万台多い10万5,000台とみている。

フランスの市場規模も同様である。ペレット燃焼型暖房機器の販売は、2007年の1万5,820台（ストーブ：1万3,787台、自動ボイラ：2,033台）から2008年の2万1,270台（ストーブ：1万7,100台、自動ボイラ：4,170台）へと増加し、フランスのペレット燃焼型暖房機器総設置数は6万4,570台となった。

### 3.7.3 EUの発電量

EUの固形バイオマスからの発電の成長は2008年も維持され（10.8%）、EU全域の発電量は2007年から5.6TWh増加し57.8TWhになった。多数のEU加盟国に活動的な固形バイオマス電力部門があるが、発電量の半分以上がドイツ、スウェーデン、フィンランドに集中している（2008年は51.2%）。

固形バイオマスエネルギーを熱と電気の双方に転換するコージェネ工場は、欧州の生産の62.6%を占めており、近年の固形バイオマスからの発電増加に寄与したのは主にコージェネ工場の開発であった。その結果、EUの発電量はわずか20.3TWhだった2001年以降、約3倍になった。

### 3.7.4 熱の販売量

スウェーデン、フィンランド、デンマークの3カ国で、2008年のEU加盟国の熱の販売量の2/3以上（67.4%）を占めている。暖冬の影響で暖房需要が減少した結果、2007年の生産量は落

<sup>108</sup> NEDO：海外レポート、No.1059（2010.2.10）

<http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/report/1059/index.html>

ち込んだが、2008年には熱の販売量の増加は発電と歩調を合わせ、2007年対比で10.8%（50万toe）の増加となった。販売された熱の全量の2/3以上が、コージェネ工場から供給された（2008年に67.4%）。

### 3.7.5 ドイツの状況

ドイツは、固形バイオマス由来一次エネルギー生産量で、節目の数字である1,000万toeを超えた初めてのEU加盟国である。ドイツの実績には目を見張るものがある。というのも、2002年の470万toeから2008年にはその2倍以上の1,030万toeに生産量が増加したからである。

同国は、2002年以降に大幅かつ持続的に固形バイオマス由来一次エネルギーの生産増加を続けてきたのである。

固形バイオマス発電所に対して集中的に投資したことが、このような結果をもたらした一因となっている。ドイツの（固形バイオマス由来の）電力生産量は、2002年の543GWhから2008年の1万447GWhへと19倍に増加した。この成長により、同国は2007年に固形バイオマス由来の発電量で首位になったのである。ドイツバイオマス研究センター（DBFZ）によれば、ドイツにはバイオマス発電所が2008年には220カ所あり、約1,200MWeの発電能力がある。現在、52の発電所が計画中もしくは建設段階にあり、2020年までに能力を3,200MWeに引き上げる予定である。この容量の95%がEEG（再生可能エネルギー源法）の対象になる。同法は2008年に再度修正され、固定価格買取制度が2009年1月1日から改訂された。150kW未満の容量のバイオマス発電所は11.67€/kWh（セントユーロ）/kWh、150～500kWの場合は9.18€/kWh、500kW～5MWの場合は8.25€/kWhを取得する。5～20MWの容量のバイオマス発電所からの買取価格は7.79€/kWhである。

革新的な生産過程を用いた発電所（燃料電池生産、スターリングモーター、ガスタービン、Rankine Cycle使用など）は、2€/kWhが追加される可能性がある。また、使用する燃料の種類（例えば、森林木質廃棄物、樹皮、短期生育木、エネルギー穀物）に応じて買取価格も引き上げられる（500kW未満の場合は最大6€/kWh、5MW未満の場合は4€/kWh）。もしこれらの発電設備が熱生産も行う場合には、最大3€/kWh増額される（コージェネボーナス）。この新たな買取価格は、毎年1%ずつ減額される。

再生可能エネルギーからの熱生産を推進するための改正法（修正EEG（EEWärmeG））は、2009年1月1日に発効した。同法は、新築建物の所有者に対して熱需要の一部を再生可能エネルギーで賄うよう義務づけている。例えば、バイオマス燃料（薪、ペレット、木質チップなど）を使用する暖房機器の場合は50%である。こうした燃料は、ドイツの大気質法の基準を満たす高性能ボイラでのみ使用することができる。

2009年4月29日に、ドイツ政府はバイオマスのための国家行動計画（Nationaler Biomassaktionsplan für Deutschland）を発表した。これは、さまざまなバイオエネルギーを効率的かつ持続的に開発するための戦略と、この目的を達するのに必要な行動を緻密に計画したものである。この計画は、ドイツの一次エネルギー需要におけるバイオエネルギーの比率を大幅に高めること（全ての機器、熱、電気、およびバイオ燃料）を目的にしており、2020年の消費を1,309PJ（3,130万toe）にするという目標を設定した。

### 3.7.6 フランスの状況

フランスは、エネルギー経済研究調査センター（CEREN : Centre d'études et de recherches économiques sur l'énergie）による国内部門における木質エネルギー消費に関する新調査の結果、固形バイオマス由来一次エネルギー生産量の数字を下方修正した。

最新のDGEC（direction générale de l'énergie et du climat : エネルギーおよび気候総局）の最新の公式統計によれば、2008年の一次エネルギー消費は約900万toeであった（フランス海外県の12万2,000toeを含む）。これは、2007年対比で4.9%の増加で、この生産のほとんどは住宅暖房部門の増加によるものである（2008年は640万toe）。

他の主要な固形バイオマス生産国と比べると、フランスの発電は十分に開発されているとはいえない（2008年は1.7TWhで、EUで13番目）。これは、2002年に設定された固定価格買取制度が比較的魅力度に欠けることが主な原因である（4.9€/kWhプラス0～1.2€/kWhのエネルギー効率プレミアム）。これまでに、政府は提案募集により複数年の投資プログラムの目標を達成する

ことを選択した。2003年に初めて行われた提案募集の結果、設置容量216MWeにのぼる14のバイオマスプロジェクト（および16MWeのバイオガス工場）が選ばれた。2006年末に行われた第2回目の提案募集の結果、設置容量314.4MWeにのぼる22のバイオマスプロジェクトが選ばれた（平均固定買取価格は12.8€/kWh）。第3回目の提案募集は、現在進行中である。対象となるのは、総電力容量が250MWeになる2つのプロジェクトである。応札締切日（2009年7月15日）の時点で、総電力容量が936MWeになる106の応札があった。

2009年5月にサルコジ大統領がより魅力的な固定買取価格制度の導入を発表したため（現行の価格の2～3倍）、間もなく提案募集システムは必要なくなるとみられる。政府は、環境グルネルの討議結果を踏まえ、集合住宅、サービス部門および産業における木材や他の再生可能エネルギー分野を開発するため、再生可能エネルギー熱基金を創設し、バイオマス熱問題にも取り組んでいる。2020年までに熱消費量を2006年対比で620万toe増加させることを目標にしている（集合住宅/サービス部門：180万toe、産業部門：200万toe、コージェネ：240万toeで、この結果合計熱消費量は1,500万toeとなる）。熱基金には、2009～2011年期の予算として10億ユーロが拠出された。2011年末までに工業施設、農業施設用にバイオマスから10万toeを生産する施設の運転を始めるという目標を達成するために、環境・エネルギー管理庁（Ademe）は2008年末に第1回目の提案募集を行った。10月19日に公表された提案募集結果によれば、目標を上回る31プロジェクト（総生産量14万5,000toe）が選ばれた。

同庁は、この提案募集を支援する目的で6,060万ユーロを助成する予定である。これは、計画されている投資費用1億4,820万ユーロの41%に相当する。こうした助成は、少なくとも3年間は毎年行われる計画である。

フランス市場の薪燃焼型屋内暖房機器部門は、2008年に49万3,100ユニットを販売し（バーナー、ボイラ、密閉燃焼、インサート<sup>109</sup>、調理器具）、税還付方式が非常に有効であったことが証明された。43万4,856ユニットを販売した2007年に比べて13%の増加である。

2008年に50%であった税還付は、2009年に40%に引き下げられた。再生可能な熱の開発を推進するとみられるフランス政府の別の政策は、炭素税の導入である。炭素税は2010年1月1日に発効し、化石エネルギーごとにCO<sub>2</sub>の含有量に応じて適用される。当初は、CO<sub>2</sub>量1tにつき17ユーロが設定される予定である。

### 3.7.7 フィンランドの状況

スカンジナビアにおける問題は、その他の地域の問題とは異なる。なぜなら、スカンジナビア諸国は、固形バイオマスの潜在能力をエネルギーに転換するための多数の政策をすでに実施しているからである。

フィンランドの1人当たりの生産量は1.348toeで、フランスの0.140toe/人、ドイツの0.125toe/人と比べて、固形バイオマスの使用という点で他の国をはるかに凌駕している。バイオマスは、同国のエネルギー消費の約30%、発電量の20%を占めている。

フィンランドは、すでに最先端のバイオマス変換技術を持っている（森林資源の管理のための技術および大規模コージェネ工場建設技術の双方）。

同国では、使用される各種バイオマス燃料に対する非常に正確な分類システムを適用している。黒液は、固形バイオマス由来一次エネルギー生産のほぼ半分を占めている（2008年の総生産710万toeのうち340万toeが黒液）。木材および類似の廃棄物は190万toeと見積もられており、180万toeの薪より若干多い。他の動植物からの排泄物は、フィンランドではごくわずかで、2万toe（正確には1万8,773toe）となっている。一次エネルギー生産における若干の減少（1.3%）は、パルプ製造活動の停滞によるもので、2007年～2008年にかけて黒液の生産量が22万2,000toe減少した。しかしこの縮小は発電量には影響せず、2008年の発電量は10.2TWh（2007年対比で5.9%増）であった。コージェネ工場が、このうちの84.1%を生み出した。

フィンランドは、化石燃料税を導入することにより、1990年以来バイオマスエネルギーの開発を推進してきた。この税は2008年に大幅に引き上げられ（13%）、CO<sub>2</sub>量1tにつき20.41ユ

<sup>109</sup> コンクリート打設時に埋め込んで天井吊りボルトなどを後から取り付けられるようにする金物のこと（出典：建築用語.net、[http://www.architectijiten.net/ag04/ag04\\_049.html](http://www.architectijiten.net/ag04/ag04_049.html)）。

一口が課された（炭素 1t につき 75 ユーロに匹敵）。2009 年もこの水準で維持された。1996 年以降、発電のために使用される化石燃料はこの税の対象外である。

ただし、全ての電力生産源（再生可能エネルギー源を含む）に課される電力特定税に衣替えになった。この課税は、電力供給者に課せられ最終消費者に転嫁される。産業に対する課税額（0.25 €/kWh）は、最終消費者に対する課税額より少ない（0.87€/kWh）。再生可能エネルギー源からの電力供給者は、使用したエネルギー源（風力、水力、リサイクルされた燃料、バイオガス、木質チップ）に応じて税金の払い戻しを受ける。2007 年以降、木材と黒液は税金の払い戻しの対象外であるが、木質チップ由来の電力だけが 2009 年も払い戻しの対象になっている（払い戻しの額は 0.69€/kWh と不変）。この額は、風力と同じである。フィンランド政府は、2008 年 11 月に「気候およびエネルギーに関する長期戦略」を承認した。これは、EU の再生可能エネルギー指令で設定された目標（最終総エネルギー消費に対する再生可能エネルギーの比率を 38%にする）の実現を可能にする一連の政策を計画している。この計画によれば、木製チップの生産量を現行の 2 倍または 3 倍にすることにより、バイオマスエネルギーの使用が大幅に増加するとみられる。

### 3.7.8 バイオマス熱産業

欧州のバイオ熱産業は、住宅サービス市場、商業用建物市場、および産業向け市場など高度に多様化している。従って、ボイラーメーカーは数 kW から数十 MW まで非常に広範な容量のサービスを提供している。木材産業あるいは製紙産業むけのコージェネ工場を建設する際には、それ以上の容量になることもある。

欧州には多数の屋内用暖房機器メーカー（木材バーナー、密閉燃焼、インサート、ボイラなど）が存在する。市場はかなり成熟しており、極めて構造化が進んでいる。また、ほとんどの EU 加盟国で個人住宅での木材燃焼型暖房が普及している。過去数年、同部門は中央政府や地方政府が導入した多数の奨励制度から恩恵を受けている。これらの政府部門は、家庭が木材燃焼型暖房に切り替えるだけでなく、消費者を誘導して既存の暖房機器をエネルギー効率のより高い暖房機器に買い換えさせることを目的としている。奨励制度により、より革新的なメーカー（木材バーナーやペレット燃焼型ボイラのメーカーを含む）は事業を拡大できるようになり、こうしたメーカー（主にオーストリアやドイツのメーカー）の成功によって、この種の暖房機器を販売する他国（イタリア、スウェーデン、フランス、チェコ共和国）のブランドも広がった。

ペレット暖房機器に特化した企業には、オーストリアのメーカー Ökofen Pelletsheizungen 社が含まれる。同社は、2~224kW までの製品を 13 カ国で販売しており、1997 年以来 2 万 7,000 ユニットの販売実績がある。また、フランス、イタリア、ドイツに子会社を持ち、製品の約 80% を輸出している。Ökofen 社にとって 2008 年は非常に良い年で、7,000 ユニット以上（3,900 万ユーロに相当）以上を売上げた。同社は、海外での事業拡大のため暖房機器設置業者のトレーニングに力を入れている。これは、木質ペレットについて説明し、設置業者を激励し、高品質設備部門を開発し、マスコミからの悪評を回避するための投資なのである。他の多くの企業も、家庭向けあるいは中小企業向けのボイラ製造（数 kW から数百 kW）に特化しつつあり、2008 年に売上げを増加させた。一例として、ETA Heiztechnik 社が挙げられる。同社の 2008 年の売上げは、2007 年の 2,300 万ユーロからほぼ 3 倍の 6,500 万ユーロになった。ほかには KWB 社があるが、2009 年の売上げを 2008 年対比で 1,000 万ユーロ増の 6,500 万ユーロと見込んでいる。

バイオマスのコージェネ市場および集合住宅用、産業用ボイラ設備部門の開発も、中容量および高容量のバイオマスボイラー部門の成長を促進している。

バイオマスのコージェネは、主として森林産業および木材処理産業（製材所、紙パルプ産業、パーティクルボードカー）に依存している。コージェネにより、こうした産業は木質廃棄物を有効利用することができるようになる。奨励制度（固定買取価格制度、入札、グリーン証書、設置補助）を通じて再生可能電力の生産を促進するという中央政府や地方政府の意欲は、顧客基盤を他部門にも多様化させた。特に特殊なタイプのバイオ廃棄物（わら、穀類産業の残渣、各種食品処理副産物および残渣など）の転換を図っている農業食品（agrifood）および農業部門がそうした分野である。

もう一つの消費者開拓方法としては、地方自治体ネットワークおよびエネルギーサービス企業といった形態がある。後者は、スカンジナビア諸国の行動を見習ったもので、地域暖房ネットワークへの燃料供給用にバイオマスコジェネボイラー工場に対する投資を次第に増やしている。

独自のバイオマス資源をもたない純粋な暖房設備企業が、市場に流入してきている。こうした企業の目的は、単に熱の生産コストの価格優位性を利用することであり、また、CO<sub>2</sub> 割り当てや炭素税の対象になった際に経済的理由および環境上の理由から CO<sub>2</sub> の排出を削減することである。中容量および高容量のボイラ市場の発展は、フランスで特に顕著である。同国では、フランス企業の Weiss 社および Compte R 社が、コジェネを開発するために Ademe やフランスエネルギー規制委員会 (CRE) が実施した熱基金の入札を活用した。これらの企業はまた、消費者に対する付加価値税の税率を 19.6%から 5.5%へ削減することで暖房ネットワークにバイオマス施設を導入しようという地域当局の要請を利用した。

2008年に Weiss France 社は 20 のターンキーボイラー工場 (総容量 81.3MWth) を引き渡した。このうちの 80%は暖房ネットワークに接続され、残りの 20%は企業から直接注文されたものであった。Weiss 社の 2008 年の売上は 1,500 万ユーロ (2007 年対比 23%増) で、2010 年には節目の数字である 2,000 万ユーロを超えるとみられる。

Compte R 社も、2008年に 70 の設備を設置し、際だった活動を展開した。同社の 2008 年の売上は、2007年の 1,700 万ユーロから 2,230 万ユーロへと 30%増加した。2009年の売上は 2,600 万ユーロへさらに増加すると見込んでいる。同社によれば、ボイラの高容量化が市場のトレンドになっているとのことである。

スカンジナビアの企業は、バイオマスコジェネ市場で良い位置につけている。フィンランドのメーカー、Wärtsilä 社と Metso 社の参入はトップ記事になった。両社は 2008年9月に、Metso 社の熱電部門と Wärtsilä 社のバイオパワー事業を合併した MW Power Oy 社の設立を発表した。今やこのジョイントベンチャーは、中小バイオマスコジェネ設備市場、および中容量バイオマスボイラー設備市場における欧州最大の企業の一つである。MW Power Oy 社は、2008年に 200 名を雇用し、およそ 1 億 3,000 万ユーロを売り上げた。

### 3.7.9 短期生育木の将来の可能性

2009年初めに採択された欧州再生可能エネルギー新指令 (2009/28/EC) は、バイオマスの投入量を欧州全域で確実に 1 億 toe 以上追加的に増やすよう要請した。森林資源 (木材および樹木の副産物)、農業および食品加工産業からの廃棄物の利用は、現在目標値を達成していない。バイオ燃料の生産はすでに農業に依存しているが、農業は熱および電気の生産にも参加するよう義務づけられる予定である。このためには、エネルギーに富んだある種の植物の栽培が欧州中で普及しなければならない。こうした植物の例としては、短期生育木 (ヤナギ、ポプラなど) やミスカンザスのような植物がある。こうした植物は、食料用でもある通常のエネルギー穀物 (菜種、ビートの根、穀草類など) より単位面積当たりのエネルギー生産量がずっと多い。実際には、短期生育木の作付けは珍しく、いくつかの先駆的な国での栽培に限られている。例えば、スウェーデンでは 2010年に栽培面積を 300km<sup>2</sup>に拡大する計画があり、イタリアではすでに 60km<sup>2</sup>、ドイツでは 20km<sup>2</sup>、オーストリアでは 10km<sup>2</sup>で栽培されている。農民は自己の農地でこうした植物を栽培して最初の収穫まで少なくとも 4 年待たなければならないため、短期生育木の開発を促進するという政治的決断が直ちに下される必要がある。今日そのような決定が下されても、バイオマスエネルギーの成長に寄与するのは 5 年先のことになる。

## 4. 化学合成用原料

### 4.1 化学合成用原料の概要

#### 4.1.1 バイオベースポリマーへのアプローチ

発酵乳酸や発酵コハク酸をモノマー原料にしたポリ乳酸やポリコハク酸ブチレンがバイオベースポリマー (Bio-based polymers) として注目され、その開発が活発に行われている<sup>110</sup>。

これらのポリマーはもともと生体や自然界の作用で分解して、炭酸ガスや水などの環境物質に無機化 (Assimilation) される生分解性ポリマー (Biodegradable polymers) として開発されてきたものである。

生分解性ポリマーは、最初、生体吸収性の医用材料として研究開発され、溶ける手術糸や骨折固定材などの用途に展開されていた。このポリマーを生分解性プラスチックとして利用しようという動きが出たのは、1980年代の終わりごろであり、それ以後、環境に適合した理想的な材料として開発されるようになった。

ポリマーの生分解は、①主鎖の分解によるオリゴマー化もしくはモノマー化の過程 (分解過程) と②分解で生じたオリゴマー・モノマー生成物が無機化される過程 (代謝過程) という二つの反応過程を経て進行する。前者の分解過程では必ずしも生体の作用を受ける必要はなく、自然加水分解で主鎖が切断される機構もあるが、後者の代謝過程は生物の働きに依存した機構で進行する。従って、分解過程で生成するオリゴマー・モノマーは生体の利用しやすい代謝生成物であることが望ましく、この要件を考慮して分子設計を行うと「代謝生成物を分解可能な結合でつなぎ合わせた高分子材料」が生分解性ポリマーとなる。

この分子設計のコンセプトは、再生可能な生物資源を利用する「グリーン・サステナブル・ケミストリー (GSC : Green Sustainable Chemistry)」の手法と軌を一にしている。すなわち、生分解性ポリマーは、再生可能 (Renewable) で持続性 (Sustainable) を有する生物由来資源を原料にして得られる素材であり、自然の物質循環サイクルに適合して最終処分の段階で環境中の二酸化炭素を増やさないカーボンニュートラルという性格を有することになる。

このように再生可能な天然のバイオマス資源から合成される高分子素材をバイオベースポリマーと定義する。従って、生分解性ポリマーは、このバイオベースという第三の性格をも有することとなり、現在の開発研究は主として、この考え方に基づいて行われている。このようにして生分解性ポリマーが歴史的にもつことになった性格と機能・特性は表 4.1.1 のようにまとめることができるが、いずれの側面も依然として重要であり、開発のコンセプトとしてすたれることはないと思われる。

表 4.1.1 生分解性ポリマーの適用範囲と動向

	第一段階 生体吸収性ポリマー	第二段階 生分解性プラスチック	第三段階 バイオベースポリマー
目的	生体内吸収性	生分解による環境適合	植物由来によるカーボンニュートラル、再生可能資源の利用
目標	生体の一時修復材料	汎用プラスチックの代替	構造材料の代替
用途	医用材料、DDS 手術糸、骨折固定材等	比較的短命な用途 ゴミ袋、日用品	長期に使用する用途 電気製品・自動車部品等
代表例	ポリ- $\alpha$ -オキシ酸	脂肪族ポリエステル	ポリエステル等
	PGA、 PLLA、 Peptide、 etc.	PLLA (Nature Works®) PHB、 PBS (GS Pla®) PBSA (Ecoflex®) PEAT (Maxon ®)、 etc.	sc-PLA、 PTT、 PMBL、 etc.
社会認知	再生医療	法的インフラの支援	環境ブランド戦略
企業化	1980 年から	2000～2004 年	2005～2007 年

<sup>110</sup> 木村良晴、小原仁実監修：バイオベースマテリアルの新展開、CMC 出版 (2007 年)

カーボンニュートラルという地球環境保全目標を突きつめていくと、地球上で再生産されるバイオマス資源の有効利用が将来のエネルギー・資源問題にも関連した究極の方策として浮上してきた素材開発においても、バイオマスを原料にして目的物に効率的に誘導していくことが求められる。この変換過程でエネルギーを節約しながら副生物による環境汚染を防ぐには、これまでの化学的変換だけでなく生物を利用したバイオ変換を活用する必要がある。

このアプローチは基本的に上述の GSC のアプローチと一致するが、バイオプロセスを軸にして従来の化学プロセスを組み合わせた合成法は、「ケモ-バイオプロセス(Chemo-biological process)」とも呼ばれる。従って、バイオベースポリマーとは、バイオマス資源からケモ-バイオプロセスにより変換・合成されてくる高分子素材である。

図 4.1.1 に、各種のバイオマス資源からバイオベースポリマーに至る変換過程を図示した。デンプンに対しては、グルコースなどの糖に容易に変換できる酵素が安価に入手できるため次の発酵工程を介して種々のモノマーやポリマーを合成するケモ-バイオプロセスが展開できる。それに対して地球上で最も多く産生するセルロースに対しては糖にブレークダウンすることが容易でないため、効率的なバイオ変換法が模索されている段階である。セルロースバイオ変換によりいくつかのプラットフォームケミカル(基礎化学物質)が得られることが予測されており、これらを利用した新しいモノマーやポリマーの開発が期待されている。

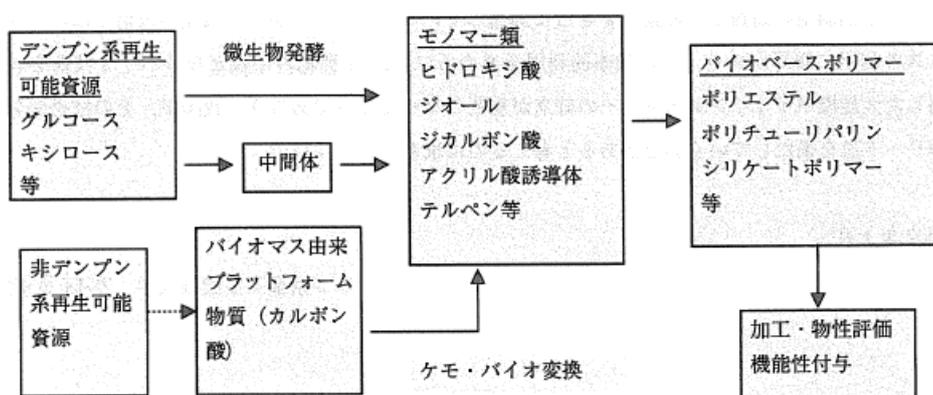


図 4.1.1 ケモ-バイオ変化に基づくバイオベースマテリアルの創生

現在開発が行われているバイオベースポリマーを表 4.1.2 にまとめて示す。

表 4.1.2 新しいバイオベースポリマー素材

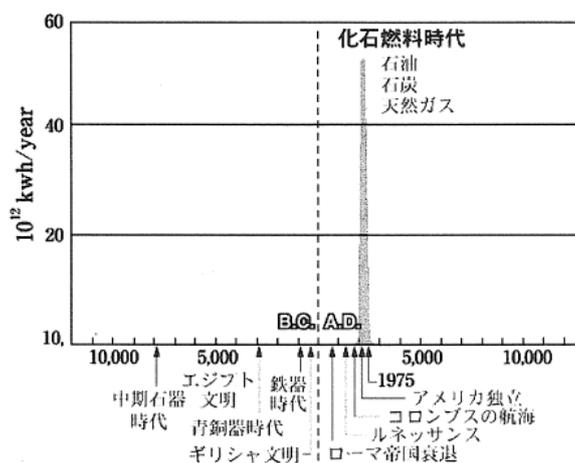
バイオベースポリマー素材	用途
ポリ乳酸	プラスチック
ポリヒドロキシ酪酸	プラスチック
PTT	繊維
バイオコハク酸ポリマー	PBS
チーリバリン	PMMA 代替
リモネンを用いたシリコーン樹脂	コーティング
脂肪酸二量体 (Dimerized fatty acids)	コーティング
ビルビン酸を用いたアクリルポリマー	コーティング
マンデル酸ポリマー	プラスチック
フェニル乳酸ポリマー	プラスチック
リグノフェノール (lignophenol)	樹脂
バイオマスリファイニングによるプラットフォーム化合物	光学活性ヒドロキシカルボン酸等
その他	重合性モノマー 微生物由来ポリマー

いずれのポリマーにおいても開発は緒についたばかりであるが、現在最も注目されているのがポリ乳酸である。ポリ乳酸は、そのモノマーとなる乳酸がデンプンの加水分解により得られるグルコースの発酵によって合成され、続いて化学的な重合によりポリマー化できる。この一連のプロセスにケモ-バイオプロセスの具現化を見ることができる。ポリ乳酸は長い開発試行期間を経て

ようやく大規模な工業生産と大量消費が実現されようとしているが、その特性は必ずしもユーザーを満足させるものとはなっておらず、さらなる物性の改善が求められている。また、目下のところバイオベースポリマーとしてはポリ乳酸しか入手できないが、今後、石油ベースのポリマー素材のように、用途に応じた特性を有する他のバイオベースポリマーの開発が続くことも望まれている。21世紀の材料造りでは、化石資源ではなくバイオマス資源に基づく新しいマテリアルが中心となることは確かであり、あらゆる分野においてそれへの対応が求められる。

#### 4.1.2 石油からバイオマスへの転換

最近、石油が限りある資源であることを強く感じさせる報道が多い。例えば 2001 年末に 1 バレル=20 ドル以下だった原油価格は、昨今では相当の値上がりを見せ続けている。これは中東の政情不安と言うよりは、慢性的な原油供給不安が背後にあるとの見方が強い。その裏付けとして、北海油田がすでに生産量のピークを迎えている。また、世界最大のガワール油田は、既に圧力が低下し自噴しないので、多量の海水を注入している。そして、OPEC の主要メンバーのインドネシアですら石油の純輸入国となっている。さらに、近年大きな油田の発見はなく、莫大な設備投資をすれば原油の生産量が増えるなどというのは過去の話となってきた。原油産出のために投入するエネルギー量よりも、産出した原油から得られるエネルギー量が多くなければ、いくら設備投資しても意味がないことになる。人類は地球の有限性に直面しており、石油を湯水のごとく利用できる時代は終わりを迎えようとしている<sup>111</sup>。図 4.1.2 に示すように、少し長期的に見れば、人類史上で石油をふんだんに使用できるのは一瞬であるともいえる。



【出典】オレゴン州政府、1975年

図 4.1.2 一瞬でしかない現代の化石燃料時代

また、こうした石油枯渇の問題は置くとしても、大気中の CO<sub>2</sub> がこのまま増加すると、2100 年には 1990 年に比べて気温が 1.4~5.8℃上昇し、9~88cm 海面が上昇すると予測されている<sup>112</sup>。

石油に代わりバイオマスが注目される理由は、エネルギーとしてカーボンニュートラルだということが挙げられる。また、太陽から地球に届くエネルギー量が膨大であり、バイオマスがそのエネルギーを蓄積しているということも重要である。1 時間あたりに太陽から地球に届くエネルギーは 620EJ である。一方、世界で 1 年間に消費されるエネルギーは約 430EJ である。太陽エネルギーの約 0.02% が光合成に使用され 1 年間に 2,750 億 t の CO<sub>2</sub> が固定化される。そのバイオマス量をエネルギーに換算すると、世界の 1 次エネルギーの約 10 倍程度と推定されている。このように、地球が受け取る太陽光のエネルギーは膨大であり、そのエネルギーを蓄積するバイオマスを如何に有効に利用するかが人類の存亡を左右するといえる。

<sup>111</sup> The Party's Over, New Society Publishers, Richard Heinberg (2003)

<sup>112</sup> Intergovernmental Panel on Climate Change, <http://www.ipcc.ch/> (2001)

### 4.1.3 エタノールとバイオプラスチック

わが国では年間 2.6 億 t の石油が消費されており、4 割が工場や家庭などの熱源として、4 割が自動車や船舶・飛行機などの動力源として、残りの 2 割が洗剤・プラスチックなどの化学製品の原料として使われている<sup>113</sup>。資源エネルギー庁は新・国家エネルギー戦略を平成 18 年 5 月に公表したが<sup>114</sup>、それによると、現在およそ 50%である石油依存度を 2030 年までに 40%を下回る水準とするとしている。本戦略はエネルギーに関するものであり、プラスチックの脱石油化に関しては言及していない。

ブラジルでは 1930 年代からエタノール自動車走っていた。経済事情から石油をふんだんに輸入できなかったため、自国で栽培しているサトウキビから燃料用エタノールを生産したのである。そして、1970 年代の第一次、第二次石油ショックでその動きはさらに推進され、1975 年にはエタノールを自動車用燃料として使用するという国策を制定した。

いまや世界のエネルギー政策の流れは完全にエタノールである。エタノールのことばかり言及したが、バイオプラスチックはその延長上にあるとの見方がされている。それは、同じようにバイオマスを原料にしており、石油化学工業に見られるように産業として発展していく段階で密接に関わっていくと考えられるからである。

### 4.1.4 バイオリファイナリーでのプラスチックの生産

米国においては、クリントン政権時代の 1999 年 8 月に大統領令 (13134 号)「バイオ製品・バイオエネルギーの開発促進」が発令された。ブッシュ政権も基本的にはこの政策を踏襲し、2006 年 1 月の一般教書演説ではコーンはもとより、非可食性木質系バイオマスからエタノールの製造を 6 年以内に実現し、その他のエネルギー政策と合わせて、2025 年までに中東からの石油輸入を 75%削減することを目標とすることを発表している。

それを、具体化するのが石油ベースのオイルリファイナリーからバイオリファイナリーへの転換である。バイオリファイナリーとは、バイオマスから燃料および化成品を生産するためのバイオマス転換プロセスを統合する技術コンセプトである。

特に化成品においては、エチレンを主体とする従来の石油化学製品とは異なった製品の創出が期待されている。米国ではこのようなバイオリファイナリーを 10 カ所作る計画であり、図 4.1.3 に示すように 2020 年には燃料用石油の 10%、2030 年には 20%をバイオリファイナリーで製造されたバイオ燃料で代替する計画である。さらに、エチレングリコール、乳酸、プロパンジオール、コハク酸などプラスチックの原料を生産し、トウモロコシ起源のバイオプラスチック市場を 2010 年までに 12 兆円という市場に持っていかうとしている<sup>115</sup>。

	2010	2020	2030
<b>BioPower</b> Biomass share of electricity & heat demand in utilities & industry.	4% (3.3 quads)	5% (4.0 quads)	5% (5.0 quads)
<b>BioFuels</b> Biomass share of demand for transportation fuels.	4% (1.3 quads)	10% (4.0 quads)	20% (9.5 quads)
<b>BioProducts</b> Share of target chemicals that are biobased.	12%	18%	25%

図 4.1.3 米国におけるバイオエネルギー、バイオマテリアルの生産目標

<sup>113</sup> 石油連盟、[http://oil-info.ieej.or.jp/whats\\_sekiyu/1-10.html](http://oil-info.ieej.or.jp/whats_sekiyu/1-10.html)

<sup>114</sup> 経済産業省、<http://www.meti.go.jp/press/20060531004/20060531004.html>

<sup>115</sup> NEDO：平成 16 年度成果報告書「米国・欧州のバイオリファイナリーの動向」

米国民間企業も 1980 年代からライフサイエンス志向を強めており、デュポン社、ダイバーサ社、ディーア社がミシガン政府とバイオリファイナリーのプロジェクトを推進し、バイオポリエステル原料である 1,3-プロパンジオールの発酵生産の開発を行っている。また、穀物商社のカーギル社と総合化学企業のダウ社の折半出資で 1997 年に設立されたカーギル・ダウ社が 2001 年に年産 14 万 t のプラントを立ち上げたことは良く知られている。

一方、ヨーロッパでは欧州化学工業協会 (Cefic) と欧州バイオ工業協会 (EuropaBio) とが共同で、「持続可能な化学 (SusChem : Sustainable Chemistry)」のための欧州テクノロジー・プラットフォーム (ETP) を発足させ、ホワイト・バイオテクノロジーの推進を図ることとした。ホワイト・バイオテクノロジーとは工業用バイオテクノロジーを指し、化学物質や原料、燃料を維持的に処理し生産するためのバイオテクノロジーである。彼らはバイオベースポリマーを大きく二つに分け、バイオメディカルとポリマーバイオマテリアルとしている。バイオマテリアルをさらに 3 つの主要部門に分け、再生可能な原料をベースにしたバイオベースプラスチック、より複雑で多くの機能を備えた最先端ポリマー、生物系が製品の製造にインスピレーションを与えるバイオインスパイアード材料としている。「バイオベースマテリアル」は、これらの材料を包含するものである。

## 4.2 基礎技術・素材

### 4.2.1 フェノール類からのポリマー

自然界には生命現象維持に預かる多数のフェノール類化合物が存在する。必須アミノ酸の一つチロシンはフェノール誘導体であり、又ポリフェノールと総称される化合物に属するフラボノイド類 (カテキン類はその一種) はカテコール骨格をもつ物質群である (ここでいうポリフェノールとは、フェノールはフェノール性水酸基を同一芳香環上に二つ以上もつ化合物のことを意味し、フェノールを重合してえられるポリマーを意味するポリフェノールと区別する)。図 4.2.1 に緑茶カテキン主成分の構造を示す。

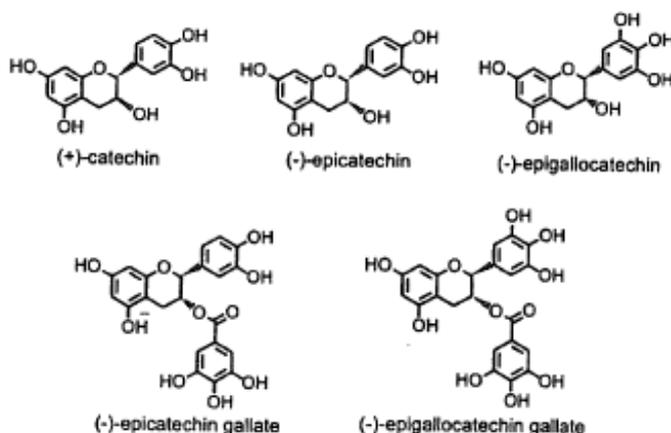


図 4.2.1 緑茶カテキン主成分の構造

最近、緑茶や赤ワインを常に飲んでいる人はガンになり難いとの報告が話題になったが、その理由はそれらに含まれるカテキン類の抗酸化作用によると説明された<sup>116</sup>。

これらポリフェノール類は通常抗菌性、抗炎症性を示す。生細胞中では守株の酸化還元酵素 (ペリオキシダーゼ、ラッカーゼ、ビリルビンオキシダーゼ等) が代謝を司り各種フェノール化合物の酸化重合触媒として作用することが知られる。例えば、チロシンは、チロシナーゼ酵素により酸化されドーパミンとなり、酸化重合して最終的にはシミの原因物質であるメラニンを生成する (図 4.2.2)。

<sup>116</sup> ・J. Jankun et al.: Nature, Vol.387, p.561 (1997)

・A. Bordoni et al.: J. Nutr. Biochem., Vol.13, p.103 (2002)

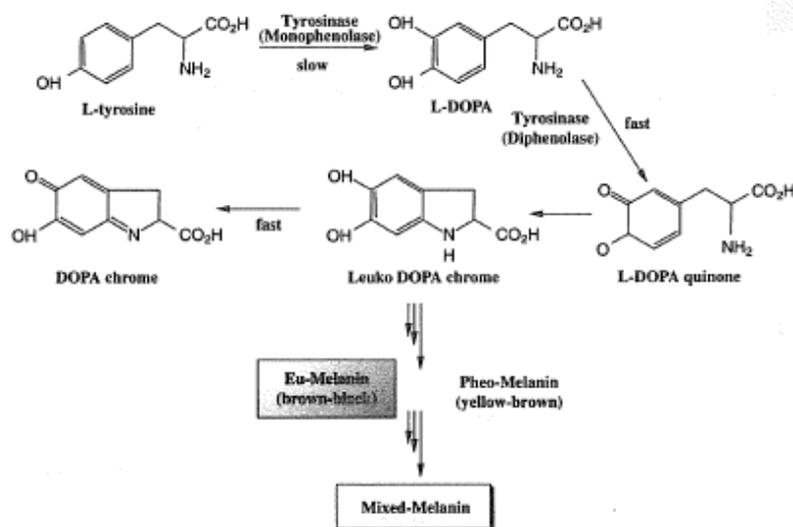


図 4.2.2 チロシンの酸化重合機構<sup>117</sup>

フェノール系ポリマーは現在産業上重要な位置を占めるが、バイオベースフェノール系ポリマーの研究は緒についたばかりである。フェノール類を出発モノマーとしてみた場合、構造が複雑なので重合反応制御が容易ではない。しかし、従来の化学合成では困難であった反応制御が、酵素並びにそのモデル錯体を触媒とすることにより構造制御された素性の良いポリマーを与えることが相当程度可能になってきている。

カシューナッツ殻液 (CNSL : Cashew Nut Shell Liquid) が人工漆として実用化されれば、バイオベース高分子マテリアルとして、ポリエステル (ポリ乳酸を主とし発酵法ポリヒドロキシアルカン酸を含む) に続く例となる。天然フェノール類は抗酸化性が優れ、そのポリマーは更に増殖されることが明らかになったので、自然に優しい抗酸化剤として各種工業抗酸化剤、食品添加剤、医薬方面への応用が期待される。

#### 4.2.2 ポリ乳酸 (ラクチド重合法)

ポリ乳酸 (PLA : poly (lactic acid) / polylactide) は環境中の水分により加水分解を受け低分子化され、微生物などにより最終的には二酸化炭素と水にまで分解される。こうした性質を持つ生分解性プラスチックの中でも、ポリ乳酸は最も研究・実用化が進んでいる高分子である。ポリ乳酸の生成と分解反応を図 4.2.3 に示す。

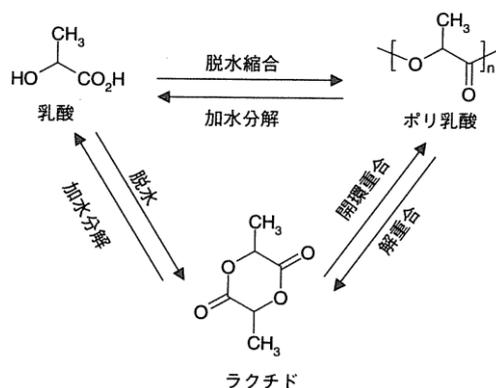


図 4.2.3 ポリ乳酸の生成及び分解反応<sup>118</sup>

<sup>117</sup> N. Kitajima et al.: J. Am. Chem. Soc., Vol.114, p.1277 (1992)

<sup>118</sup> A.Steinbuechel et al.: Polyesters III Applications and Commercial Products, Biopolymers, Vol.4, p.136, Wiley, Weinheim (2002)

土中や水中では数年は安定だが、堆肥の中では、約 1 週間で分解される。農業用に、マルチシートやハウス用のフィルムとして、ホビー分野では屋外用 BB 弾(通称バイオ弾)として実用化されているほか、繊維製品、光ディスク、包装用フィルム、レジ袋などに応用研究・試験が進んでいる。

ただし、ポリ乳酸が通常環境で直ちに生分解を始めるわけではない。上述のように堆肥の中等の特に微生物が豊富な環境でなければ、一般の合成樹脂と同様にほぼ安定である。従って、家電の外装の素材(ラジオ・携帯電話ほか)としても利用実績がある。

ポリ乳酸の製品は徐々に増えつつあるが、「廃棄時」においてポリ乳酸の特性を生かした処理法(堆肥の中に入れて生分解させる)がなされている例はほとんどなく、一般の合成樹脂同様に焼却処理されるのが通例である。このようにマテリアルフローが従前のままであれば「生分解性」自体が、製品への環境配慮の付与になっているかは自明であるとはいいがたい状況にある。

乳酸を加熱脱水重合すると低分子量のポリ乳酸が得られるが、これは分子が短すぎるためプラスチックとしては役に立たない。このオリゴマーをさらに減圧下加熱分解することにより、乳酸の環状二量体であるラクチドが得られる。乳酸とラクチドの光学異性体を図 4.2.4 に示す。ラクチドは金属塩の触媒存在下で容易に重合し、ポリ乳酸を与える。触媒としては、毒性の低いオクタン酸スズがよく用いられる。この他アルミニウムやランタノイドのイソプロポキシド、亜鉛の塩なども重合活性がある。

直接重合法としては、ジフェニルエーテルなどの溶媒中で乳酸を減圧下加熱し、水を取り除きながら重合させることによって直接ポリ乳酸が得られる。この他熔融法などによる合成法も研究されている。

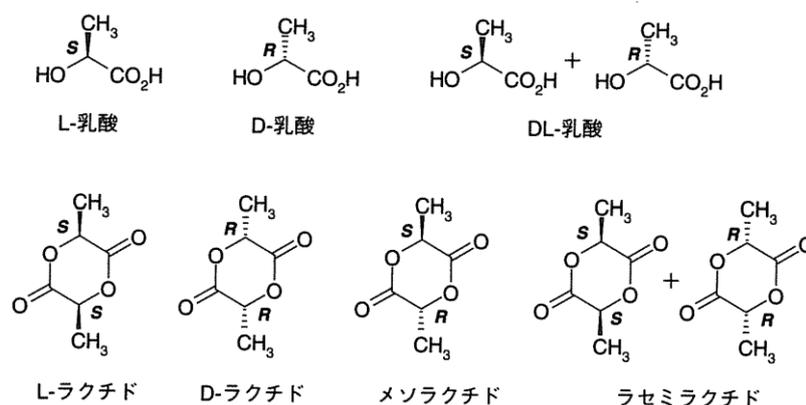


図 4.2.4 乳酸及びラクチドの光学異性体

ポリ乳酸は生体内で加水分解を受けてその構成単位である乳酸にまで分解されて完全に代謝されるため、生体吸収性材料として開発され手術用縫合糸や骨接合材などに利用されてきた<sup>119)</sup>。

また、PLA は他の脂肪族ポリエステルと同様にコンポスト中で容易に生分解されるため、生分解性プラスチックとしても開発が進められてきた。最近では PLA のモノマーである乳酸がトウモロコシなどの再生可能資源から生成されるポリマーであることが注目されるようになった。つまり乳酸はデンプンをブレイクダウンして得られるグルコースなどの糖を発酵させて合成されるため<sup>120)</sup>、その乳酸を重合して得られる PLA では、使用後の焼却処理により新たな大気中への二酸化炭素の負荷が生じないということになる。すなわちカーボンニュートラルが実現されることを意味しており、PLA がバイオベースと言われる所以である。

PLA の利用を拡大するにはそのコスト低減に加えて触媒の安全性や環境への負荷についても考慮されるべきである。現在もこの面から世界中で研究が行われている。

<sup>119)</sup> 筏義人：医療への吸収性材料の応用、高分子刊行会、p.165(1994)

<sup>120)</sup> K. Fukushima et al.: Macromol. Biosci., Vol.4, p.1021(2004)

D. P. Mobley: Plastics from Microbes, p.94, Hanser Gardner, Cincinnati(1994)

現段階では  $\text{Sn}(\text{Oct})_2/\text{ROH}$  系触媒によるラクチド重合が最も簡便である。ポリ-L-乳酸 (PLLA)<sup>121</sup>の熱特性を見る場合、残存触媒やモノマーによる影響を考慮しなければならない。一方、実験室で PLA を合成する場合は Al-OR 系錯体や有機触媒を使用すれば単分散ポリマーが得られる。このように触媒や重合条件によって生成する PLA の性質は微妙に異なってくる (参考: 図 4.2.5 ~ 図 4.2.9)。

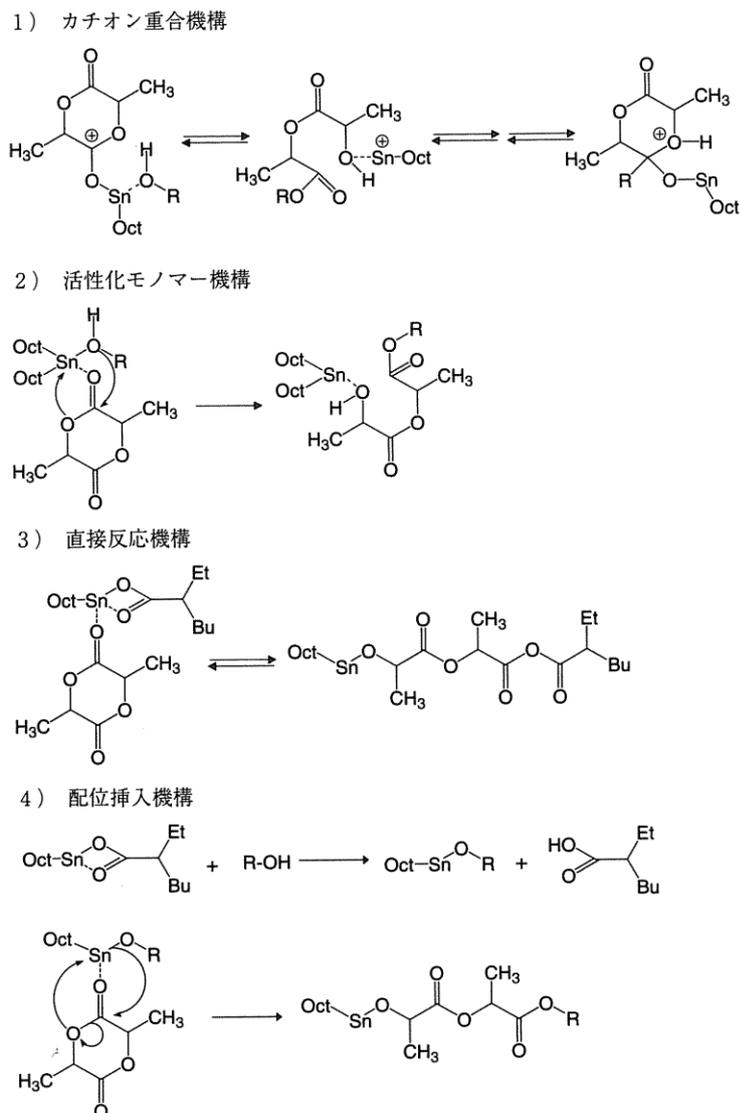


図 4.2.5 これまで提案されてきた  $\text{Sn}(\text{Oct})_2$  によるラクチドの重合機構<sup>122</sup>

<sup>121</sup> 乳酸は1つの不斉炭素を持ち、L体とD体の2種が存在する。L体のみを重合させたものはポリ-L-乳酸 (poly-L-lactic acid, PLLA)、D体のみを重合させたものはポリ-D-乳酸 (poly-D-lactic acid, PDLA) と呼ばれる。

<sup>122</sup> ・A. J. Nijenhuis, et al. : *Macromolecules*, Vol.25, p.6419 (1992)  
 ・G. Schwach, et al. : *J. Polym. Chem., Part A: Polym. Chem.*, Vol.35, p.3431(1997)  
 ・H. R. Kricheldorf, et al. : *Polymer*, Vol.36, p.1253 (1995)  
 ・F. E. Kohn, et al. : *J. Appl. Polym. Sci.*, Vol.29, p.4265 (1984)  
 ・M. B. Bassi, et al. : *Polym. Bull.*, Vol.24, p.227 (1990)  
 ・M. Stolt, et al. : *Macromolecules*, Vol.32, p.6412 (1999)  
 ・A. Kowalski, et al. : *Macromolecules*, Vol.33, p.7359 (2000)  
 ・X. Zhang, et al. : *Polym. Bull.*, Vol.32, p.2965 (1994)  
 ・H. R. Kricheldorf, et al. : *Macromolecules*, Vol.33, p.702 (2000)

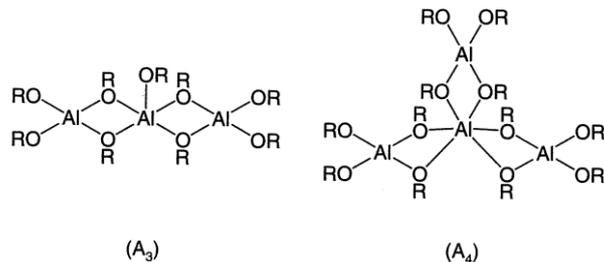


図 4.2.6 Al(O-*i*Pr)<sub>3</sub> の 3 量体 (A<sub>3</sub>) 及び 4 量体 (A<sub>4</sub>) の構造<sup>123</sup>

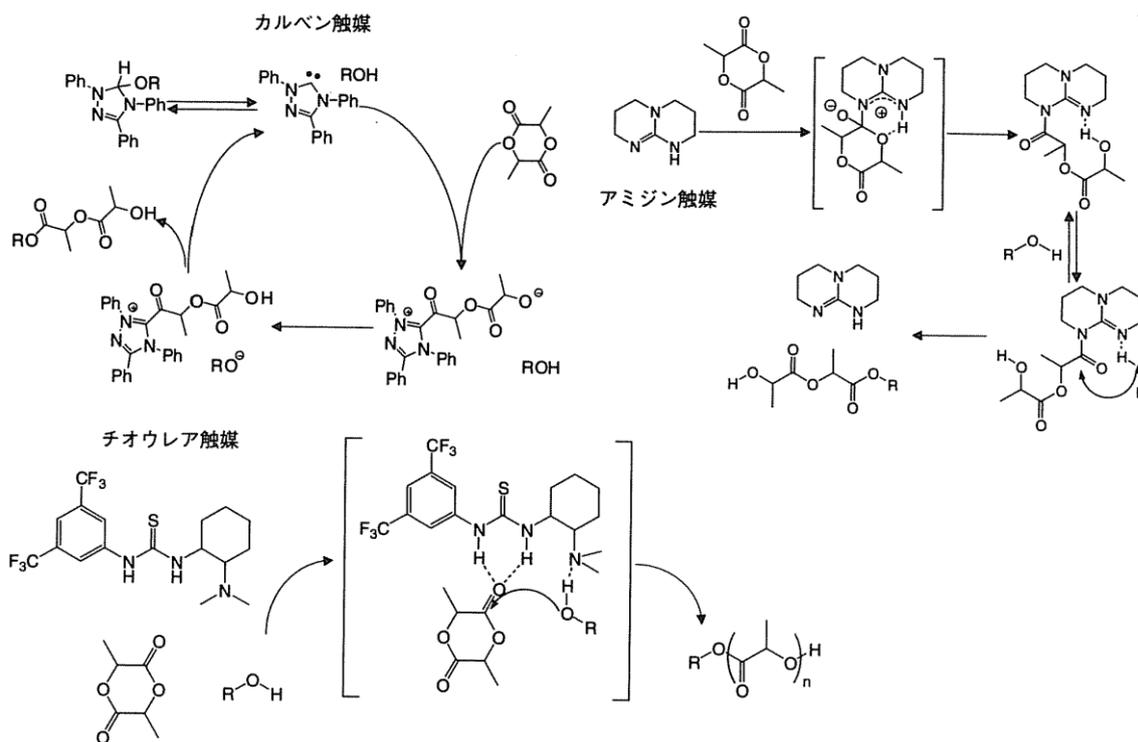


図 4.2.7 種々の有機触媒とそのラクチド重合反応<sup>124</sup>

<sup>123</sup> A.Kowaiski, et al. : Macromolecules, Vol.31, p.2114 (1998)

<sup>124</sup> ·O. Coulembier, et al. : Macromolecules, Vol.39, p.5617 (2006)

·A. P. Dove, et al. : J. Am. Chem. Soc., Vol.127, p.13798 (2005)

·R. C. Pratt, et al. : J. Am. Chem. Soc., Vol.128, p.4556 (2006)

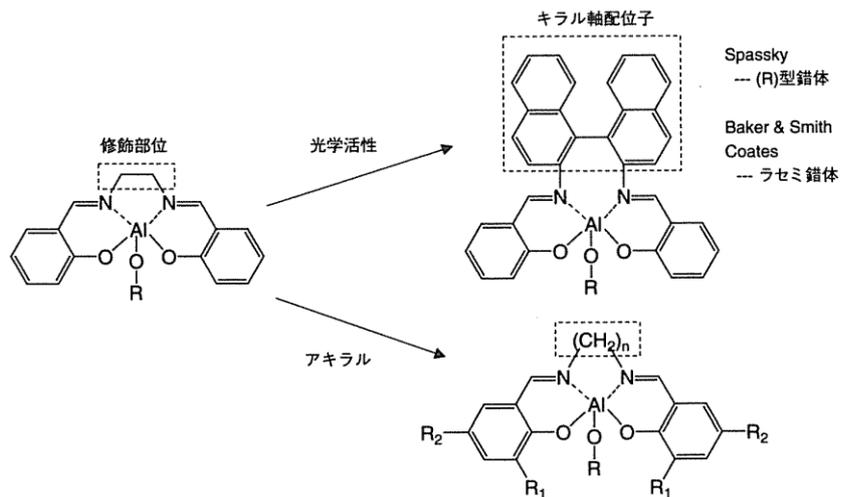


図 4.2.8 ラクチドの立体選択重合に提案される種々の Al-サレン錯体<sup>125</sup>

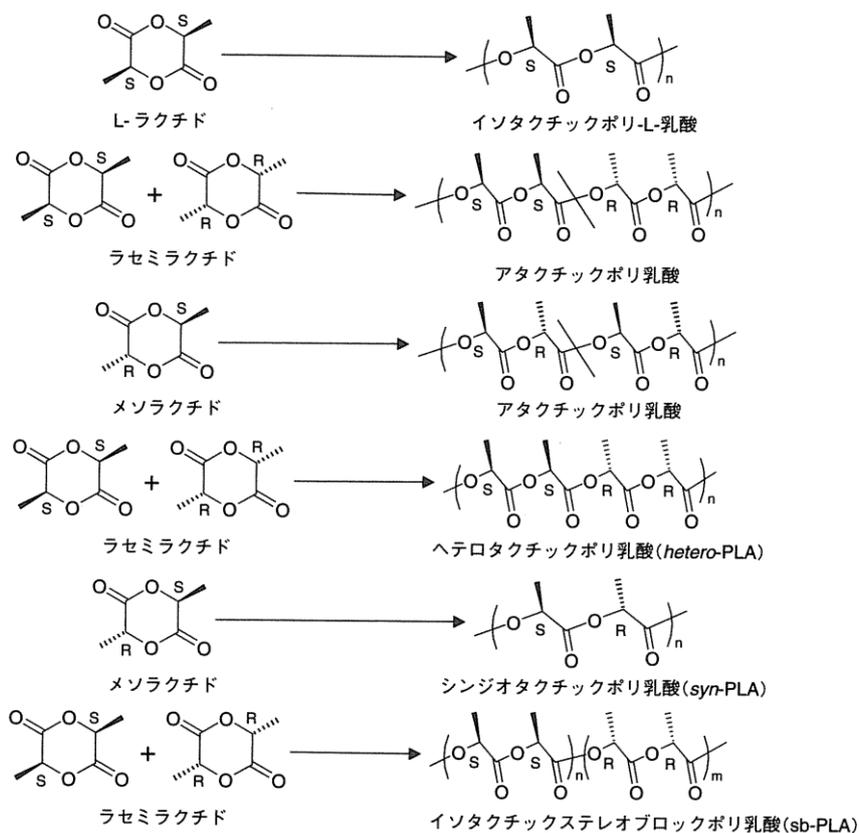


図 4.2.9 ラクチドの立体異性とポリ乳酸のマイクロ構造<sup>126</sup>

- <sup>125</sup> ·N.Spasky, et al. : Macromol. Chem. Phys., Vol.197, p.2627 (1996)  
 ·C.P. Radano, et al. : J. Am. Chem. Soc., Vol.122, p.1552 (2000)  
 ·T. M. Ovitt, et al. : J. Polym. Sci, PartA: Polym. Chem., Vo.38, p.4686 (2000)  
 ·T. M. Ovitt, et at. : J. Am. Chem. Soc., Vol.124, p.1316 (2002)  
 ·N. Nomura, et al. : J. Am. Chem. Soc., Vol.124, p.5938 (2002)  
 ·P. Hormnirun, et al. : J. Am. Chem. Soc., Vol.126, p.2688 (2004)  
 ·Z. Tang, et al. : Biomacromolecules, Vol.5, p.965 (2004)
- <sup>126</sup> T. M. Ovitt, et at.: J. Am. Chem. Soc., Vol.124, p.1316 (2002)

### 4.2.3 重縮合型ポリ乳酸

バイオベースポリマーの中で、最も開発が進んでいるのがポリ乳酸である。ポリ乳酸がバイオベースであると強調されるのは、そのモノマーとなる乳酸が再生可能なバイオマスであるデンプンから誘導されるからであり、このモノマーとポリマーの生産にはバイオと化学が密接に関係したケモバイオプロセスが有効に用いられている。

図 4.2.10 に、トウモロコシからポリ乳酸を製造する全プロセスを各段階における生産収率とともに示す<sup>127</sup>。すなわち、でんぷんを糖化後、発酵して乳酸を得た後、続いて化学的な重合によりポリ乳酸が得られてくる。乳酸の合成プロセスは既に技術的に確立されており、安価に乳酸を得ることができるのに対して、その工業的規模での重合が実現するようになったのは比較的最近のことである。これらの技術開発により、コーンからのポリ乳酸収率は重量ベースで約 40%となる。従って、10 万 t のポリ乳酸を製造するには、その 2.5 倍量のコーンを確保する必要がある。

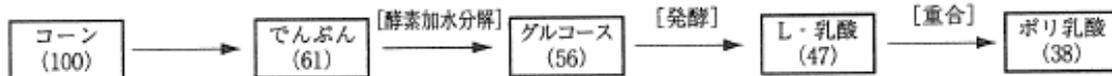


図 4.2.10 コーンを原料とするポリ乳酸の合成(カッコ内は収率:重量%)

乳酸の重合法、すなわちポリ乳酸の合成法にはラクチド法と直接重縮合法の 2 つの方法が知られている<sup>128</sup>。前者では、一旦乳酸を脱水縮合によりオリゴマー化した後、その解重合によりラクチドを合成して、続いてその開環重合によりポリマー化する。この二段階プロセスでは、ラクチドの精製が必要であり、生成ポリマーの価格を押し上げる一因と考えられる。それに対して後者は、乳酸の直接重縮合による一段階プロセスであり、より簡易な工程でポリマー化できるためポリ乳酸の低価格化の切り札の一つとして期待される。ところが、後者のプロセスは長い間不可能と考えられ、研究されてこなかった。最近、我が国において、乳酸の直接脱水重縮合による高分子量ポリ乳酸の合成が確立され、工業的にも応用されるようになった(参考:図 4.2.11~図 4.2.19、表 4.2.1~表 4.2.2)。

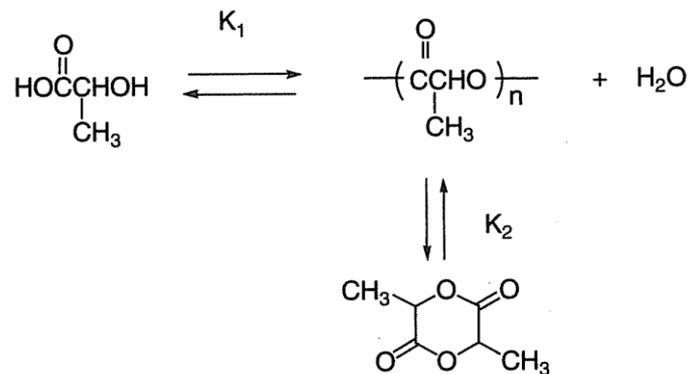


図 4.2.11 乳酸の脱水縮合における 2 つの平衡反応

<sup>127</sup> 川島信之：包装技術、Vol.34(7)、p.654-664(1996)

<sup>128</sup> 後義人編著：生分解性高分子の基礎と応用、アイピーシー(1999)

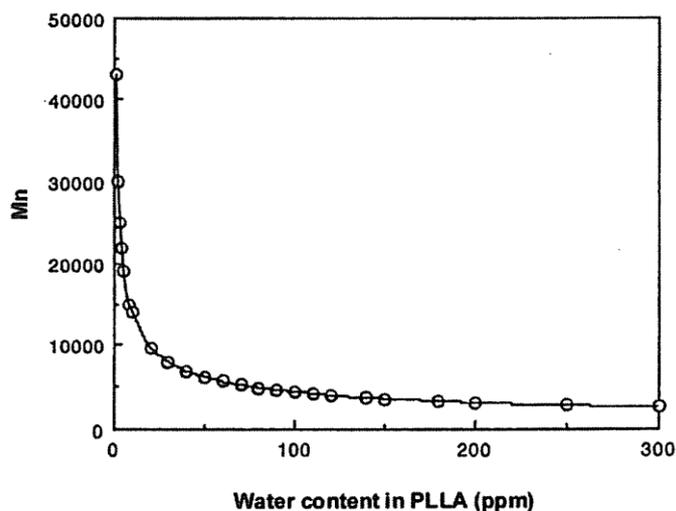


図 4.2.12 縮合重合系における PLLA の分子量と水分率との関係

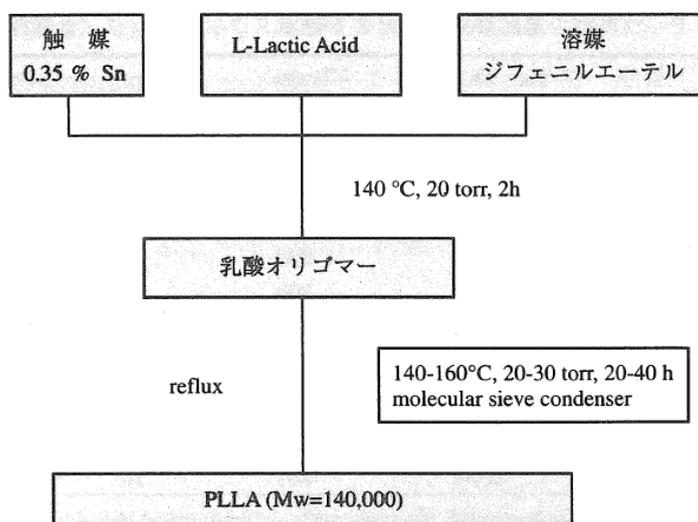


図 4.2.13 PLLA の溶液重縮合

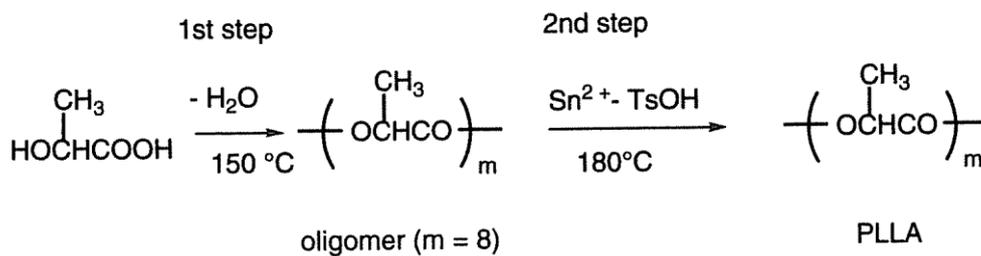


図 4.2.14 直接熔融重合法による PLLA の合成経路

表 4.2.1 オリゴ乳酸の溶液重縮合に対する触媒スクリーニング(金属酸化物)

Run No.	Catalyst	Cat/OLLA Wt%	Temp. (°C)	Time (h)	Pressure (torr)	Mw <sup>a)</sup> Da
1	GeO <sub>2</sub>	0.8	18	20	10	28,000
2	Sb <sub>3</sub> O <sub>3</sub>	0.1	200	30	20	20,000
3	ZnO	0.1	200	30	20	36,000
4	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.1	200	8	1	20,000
5	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.5	200	30	20	27,000
6	SiO <sub>2</sub>	0.8	180	20	10	11,000
7	TiO <sub>2</sub>	0.8	180	20	10	11,000
8	SnO	0.2	180	20	10	50,000
9	SnCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O	0.4	180	20	10	41,000
10	TSA <sup>b)</sup>	0.34	180	10	10	17,000

a) Determined by GPC relative to polystyrene standard with chloroform as the eluent.

b) P-Toluenesulfonic acid

表 4.2.2 オリゴ乳酸の溶液重縮合に対する触媒スクリーニング(金属アルコキシド)

Run No.	Catalyst system	Polymer yield (%)	Mw (10 <sup>4</sup> Da)	Mw/Mn	Appearance
1	Al(O <i>i</i> Pr) <sub>3</sub>	65	0.5	1.5	White
2	Ti(O <i>i</i> Pr) <sub>3</sub>	66	1.1	1.5	Black wax
3	Y(O <i>i</i> Pr) <sub>3</sub>	67	0.7	1.5	White
4	Ge(OEt) <sub>4</sub>	73	5.0	1.7	White
5	Si(OEt) <sub>4</sub>	77	0.7	1.9	White
6	SnCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O	37	4.1	1.6	Black wax
7	SnCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O+Al(O <i>i</i> Pr) <sub>3</sub>	13	3.2	1.2	Pale brown
8	SnCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O+Ti(O <i>i</i> Pr) <sub>3</sub>	38	8.0	1.4	Brown
9	SnCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O+Ti(O <i>i</i> Pr) <sub>3</sub>	37	1.4	1.3	Pale brown
10	SnCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O+Y(O <i>i</i> Pr) <sub>3</sub>	65	6.3	1.7	White
11	SnCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O+Ge(OEt) <sub>4</sub>	78	3.8	1.7	Brown was
12	SnCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O+ <i>p</i> -TSA	41	10.0	1.7	Pale brown

a) 10g of OLLA was reacted at 180°C and 10 torr for 10h.

b) Determined by GPC relative to polystyrene standard with chloroform as the eluent (35°C)

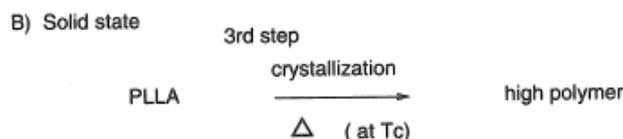


図 4.2.15 固相重合法による PLLA の合成経路

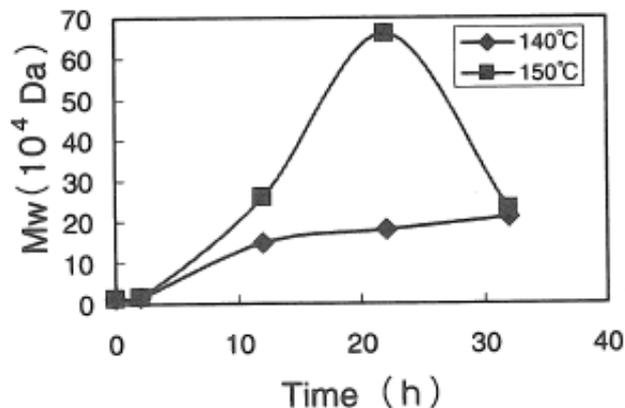


図 4.2.16 固相重合における PLLA の分子量増加

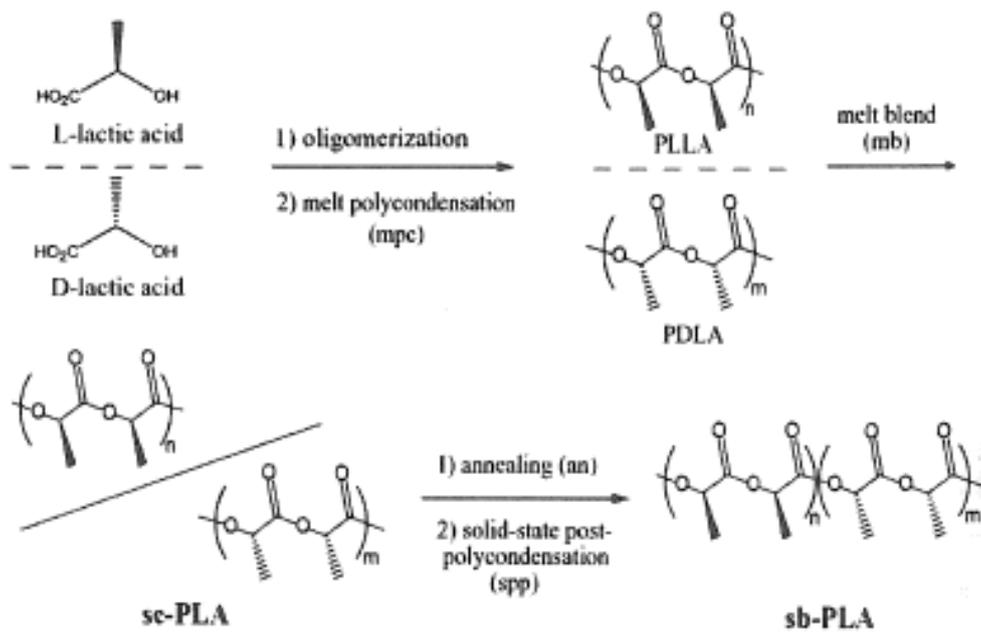


図 4.2.17 sb-PLA の合成経路

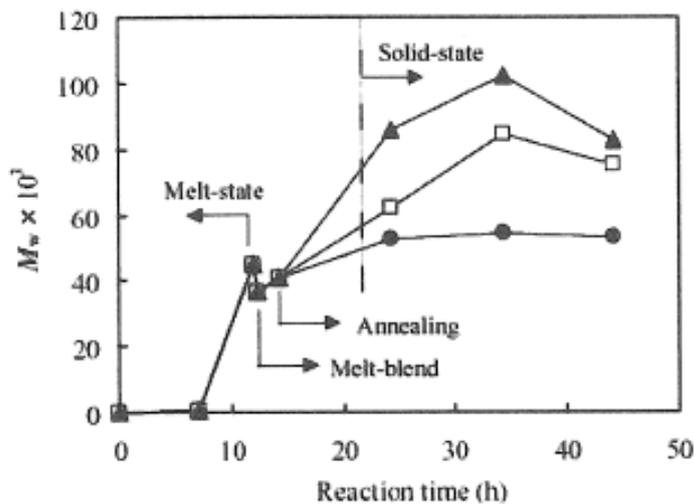


図 4.2.18 固相重合における sb-PLA の分子量増加

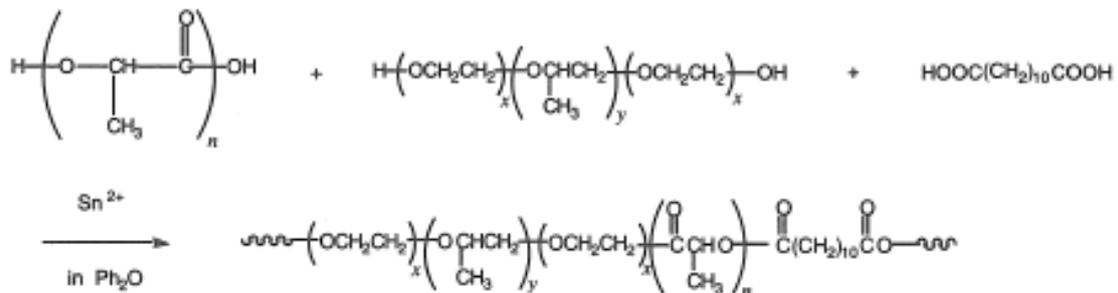


図 4.2.19 PLA/Pluronic マルチブロックポリマーの合成

各種脂肪族ポリエステルの中で、ポリスチレンに似た透明なプラスチックを形成するのは PLLA のみである。ただ、PLLA のガラス転移点 (Tg) は 60°C 程度であるため、通常の条件で射出成形されたガラス状の透明な成形体は熱安定性に乏しく、加熱によって結晶化を生じて失透するだけでなく大きな収縮をも生ずる。

従って、安定な成形体とするためにアニーリングや延伸による結晶化、さらには核剤の添加による結晶化促進、クレーとのナノコンポジット化が検討されている。また、耐衝撃性の改善を目的に他の生分解性ポリマーとのポリマーブレンドも行われている。

このような努力にもかかわらず、ポリ乳酸のコストは依然として高く、その普及の妨げになっている、ポリ乳酸の低コスト化には、いろいろの方策が講じられているが、乳酸の直接重縮合法の採用が有力であるとされている。

しかしながら、固相重合の最適化、触媒量の低減と重合後の脱触媒もしくは不活性化など、工業化へのハードルはまだ高い。今後、精力的な検討が加えられ、実用化レベルにまで高められることが期待されている。また、この直接重縮合法が乳酸共重合体や sb-PLA の製造にも応用展開されると見られている。

#### 4.2.4 酵素合成アミロース

天然アミロースは、デンプンから熱水抽出により、あるいはブタノールなどのゲスト分子との包接複合体として単離されるわずかに分岐を含む直鎖状の(1→4)- $\alpha$ -sc-グルカンである。

その分子量、分子量分布、分岐度はデンプンの種類により異なる。酵素合成アミロースは、天然のアミロースと異なり、分子量分布が狭く分岐を持たない。また、反応を制御することにより分子量の異なるアミロースを製造することが可能である(参考: 図 4.2.20~図 4.2.26、表 4.2.3)。

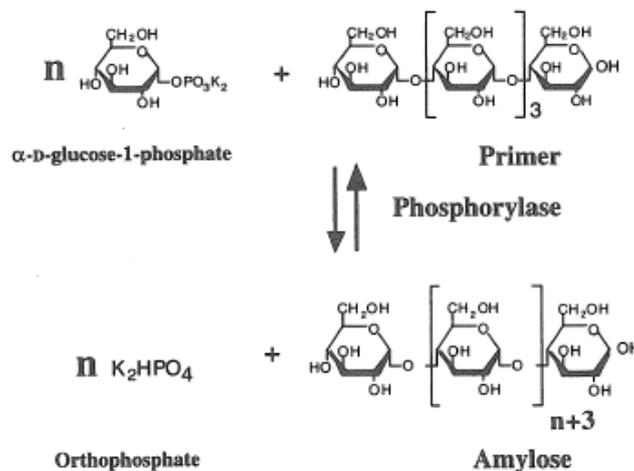


図 4.2.20 ホスホリラーゼが触媒する反応

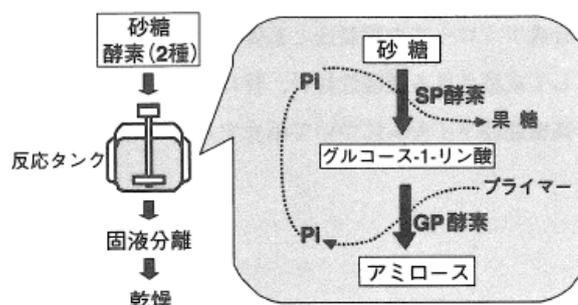


図 4.2.21 酵素合成アミロースの製造法<sup>129</sup>

<sup>129</sup> 鷹羽武史ら：ブレインテクノニュース、Vol.111、p.27(2005)

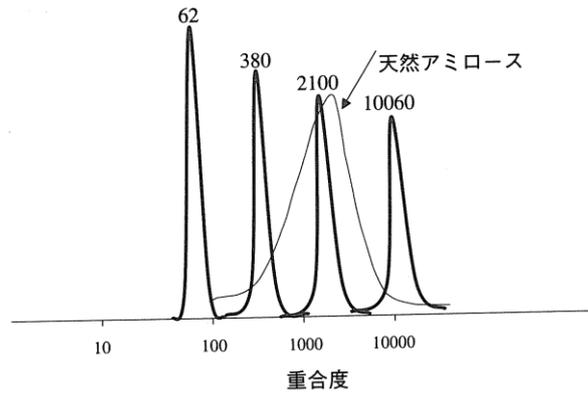


図 4.2.22 酵素合成アミロースと天然アミロースの重合度分布

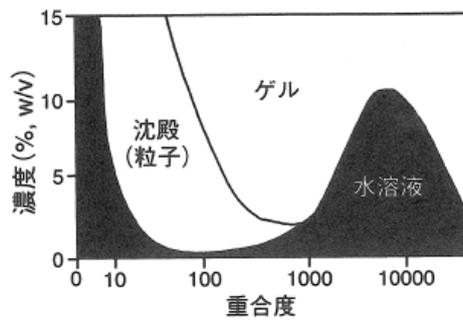


図 4.2.23 アミロースの重合度と性質

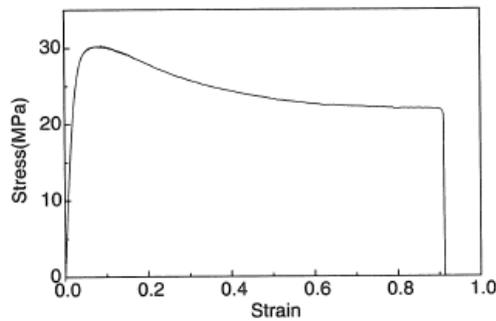
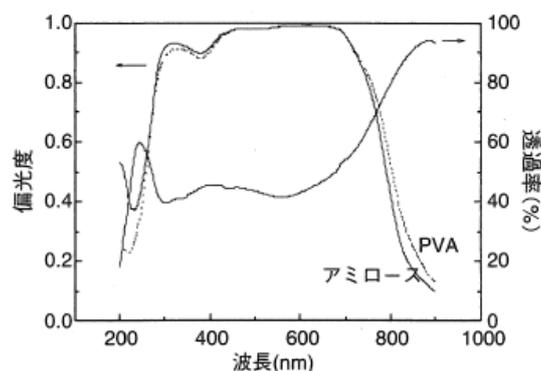


図 4.2.24 アミロース(分子量約 100 万)

表 4.2.3 各種ポリマーフィルムの気体透過係数

試料フィルム	気体透過係数			
	$P \times 10^{12} \text{ (cm}^3 \cdot \text{cm/cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{cmHg)}$			
	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>
酵素合成アミロース	0.061	0.13	0.37	0.011
ブルラン	0.041	—	—	—
セロハン	0.092	0.105	0.12	—
キトサン	0.48	0.59	0.57	—
ポリエチレンテレフタレート	6.8	—	—	—
ポイイミド (カプトン)	15	30	—	—
ポリ乳酸	36	170	5.3	—
低密度ポリエチレン	293	1260	—	97



(破線はポリビニルアルコールより調整した偏光フィルムの特徴)

図 4.2.25 ヨウ素を包接したアミロースフィルムの光学特性

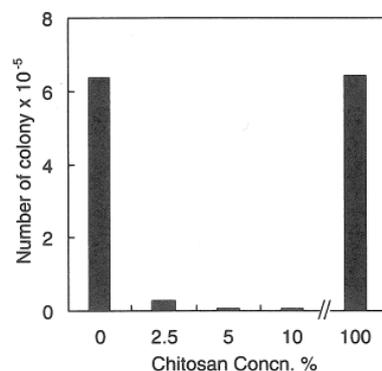


図 4.2.26 アミロース-キトサン混合フィルム表面で増殖した大腸菌コロニー数のキトサン濃度依存性<sup>130</sup>

#### 4.2.5 パラミロン

パラミロンはユーグレナ (ミドリムシ) が光合成によって生産・貯蔵する多糖であり、特異な構造を有している。まず、パラミロンを生産するユーグレナ (図 4.2.27) について簡単に説明する。ユーグレナは動物学と植物学の双方の分類表に記載されている属であり、現在 120 余種が確認されている。ユーグレナは湖沼 (淡水) に広く生息しており、それほど水質に影響されることなく飼育が可能であるため、実験生物としても多用されている。



図 4.2.27 スプレー乾燥したユーグレナの外觀

動物学では原生動物門 (Protozoa) の鞭毛虫綱 (Mastigophrea)、植物鞭毛虫亜綱 (Phytomastigophorea) に属する目の中にミドリムシ目 (Euglenidia) があり、これは三つの亜目、Euglenoidina、Peranemoidiana、Petalomonadoidina よりなり、Euglenoidina には属としてユーグレナ (Euglena) が含まれている。また、植物学ではミドリムシ植物門 (Euglenophyta)

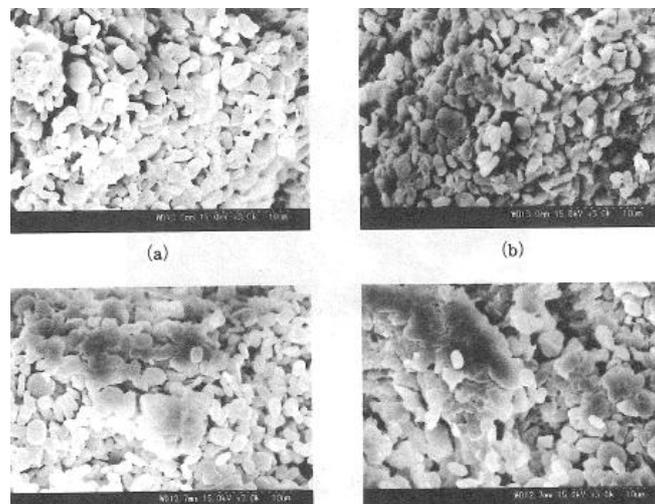
<sup>130</sup> S.Suzuki, et al.: Biomacromolecules, Vol.6, p.3238 (2005)

の下にミドリムシ藻類綱 (Euglenophyceae)、ミドリムシ目 (Euglenales) があり、その目に含まれる属として動物学での分類と同じくユーグレナが記載されている。

*Euglena* の中で生理学、生化学的研究には専ら *Euglena gracilis* が広く用いられている。ユーグレナの種の多くは紡錘形であるが、球形のものや球状に近いものもある。共通していることは、細胞全体に前端から後端にかけて螺旋状の多数の条構を持つことである。

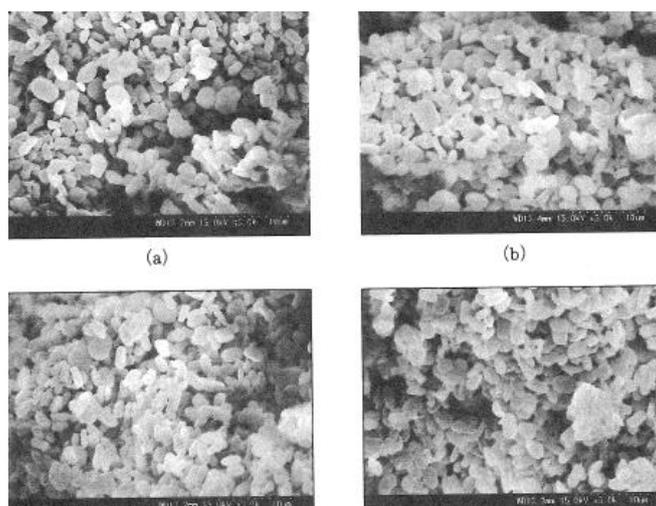
細胞の形は生育時期や環境によって変わり、また概日リズムに従い一日二回球形と長形の変形を繰り返す。*Euglena gracilis* では細胞の大きさは長さ約  $50\ \mu\text{m}$ 、幅約  $10\ \mu\text{m}$  の小さなものから約  $500\ \mu\text{m}$  の大きなものに渡り様々である。細胞の大きさは生育時期、環境によっても変化する。

ユーグレナはパラミロン (parmylon) と呼ばれる (1→3) - $\beta$ -グルカンを原形質に澱粉粒のような状態で蓄積する<sup>131</sup>。このパラミロンについては過去に多くの研究がなされている。パラミロンはヨード反応を全く示さないが、アミロースの異性体であることから、par(等しい)と amylo (デンプン) からパラミロンと命名された。パラミロンはすべての種、変種のユーグレナ細胞内に顆粒として存在し、その個数、形状、そして粒子の均一性は種によって特徴がある (図 4.2.28 ~ 図 4.2.30)。



(分離時間(h) : a:24, b:48, c:72, d:96)

図 4.2.28 0.1N 水酸化ナトリウム水溶液を用いて分離したパラミロン顆粒



(分離時間(h) : a:24, b:48, c:72, d:96)

図 4.2.29 0.25N 水酸化ナトリウム水溶液を用いて分離したパラミロン顆粒

<sup>131</sup> D.R.Kreger, et al.: Biochim. Acta., Vol.9, p.699(1952)



図 4.2.30 パラミロン/PVA(3070)ブレンド繊維の外観

また、パラミロンはグルコースのみから成り、メチル化分析と赤外吸収スペクトルから、パラミロンが(1→3)-β-結合のみからなることが証明されている。ユーグレナのパラミロンは、X線回折によれば、パン酵母の細胞壁を塩酸中で約2時間煮沸したものと回折がほぼ一致することや、3本の直鎖状(1→3)-β-グルカンが右巻きの縄のようにねじれあつた緩やかな螺旋構造をとるといことが分かっている<sup>132</sup>。

この様なグルカンがいくつか集まってパラミロンとなる。パラミロン顆粒の結晶化度は約90%であり、多糖類の中で最も結晶化度の高い化合物である。

ところで、ユーグレナには乾燥重量当たり50%程度のタンパク質が含まれるため、将来予測される食糧危機に備える目的で食飼化の研究が盛んに行われた。例えば中野ら<sup>133</sup>の報告によれば、ユーグレナに含まれるタンパク質は栄養価が高くアミノ酸価で88という値を示し、これは他の藻類のクロレラよりも高く、良質であることが確認されている。

ラットを用いた飼育試験ではカゼインと同程度の成長効果が認められ、通常飼料に比べてラットの生存日数が明らかに長くなり食糧資源としての可能性が期待された。しかし、ニジマスの養殖では生残率は改善されるものの成長効果はカゼインに比べて劣った。これは、ユーグレナに貯蔵される結晶性のパラミロンが影響したのではないかと推測される。ユーグレナを食糧資源化システムとして利用していくためにも未利用のパラミロンの用途開発が必要である。

最近、パラミロンを構成する(1→3)-β-グルカンのオリゴ糖については植物に病害抵抗反応を引き起こすエリシターとして作用することが報告され、注目され始めている<sup>134</sup>。しかしながら、パラミロンを工業原料として利用する報告は見当たらない。

良質なタンパク質を生産するミドリムシは食糧問題とCO<sub>2</sub>の固定の観点から注目されたが、同時に多量に体内に貯蔵されるパラミロンについては開発が遅れていた。そこで、パラミロンについて基礎的な成形加工特性が検討され、新たな生物由来材料としての利用の可能性が見出されている。今後、可塑剤について検討することで、将来、新たな環境素材としての提案が期待されている。

#### 4.2.6 セルロース系ナノコンポジット

セルロース系ナノファイバーおよびナノコンポジットに関する研究開発は世界中で激化している。ヨーロッパや米国ではセルロースナノファイバー(図4.2.31、図4.2.32)と呼び、次世代グリーンコンポジットの補強繊維として関連コミュニティで大きく取り上げ、新たな研究プロジェクトが数多くスタートしている。

<sup>132</sup> R.H. Marchessault, et al.: Carbohydr. Res., Vol.75, p.231(1979)

<sup>133</sup> 中野長久ら: Celss Journal, Vol.10, No.2, p.13(1998).

<sup>134</sup> H.Miyagawa, et al.: J.Pestic. Sci., Vol.23, p.49(1998)

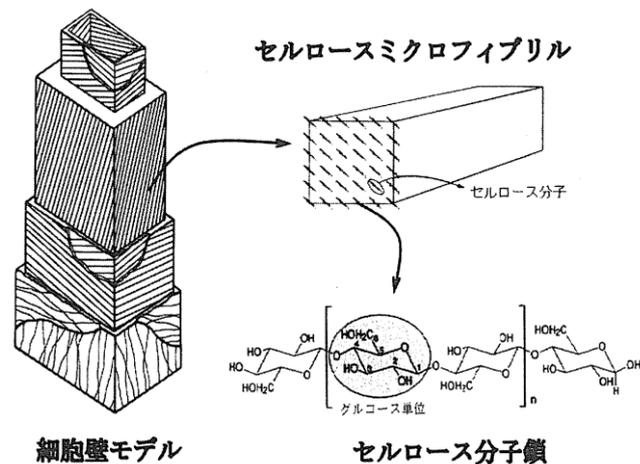
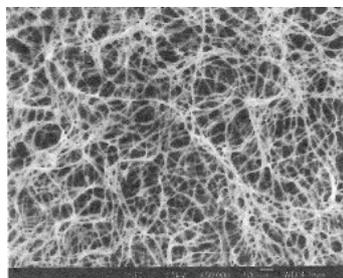


図 4.2.31 木材の細胞構造とセルロースナノファイバー



(京都大学 栗野博士提供)

図 4.2.32 木材細胞中のセルロースナノファイバー

例えば、スウェーデンとフィンランドが共同で行っているプログラム (Wood Material Science Research Program、5年間、30億円) において、STFI-PACKFORSK の Lindstrom 教授がリーダーとなった Nanostructured cellulose products のプロジェクトが 2004 年より走っている<sup>135</sup>。High Performance Nanocomposites、Modified Surface and their Characterisation、Functional Materials、Superhydrophobic Materials などのサブプロジェクトにより、安価なナノファイバーの製造技術、ポリマーとのブレンドが容易な乾燥セルロースナノファイバー製造技術、ポリマーとの親和性向上を目的とした化学修飾技術の開発などが進められている。

欧州ではセルロースナノウィスカー (BNF をさらに切断した針状結晶物質) によるナノコンポジット研究も盛んである<sup>136</sup>。この背景には、豊田中央研究所が開発したナノクレコンポジットの影響があるように考えられている。

1995 年頃からフランス、CERMAV の研究者グループが、セルロースナノウィスカーとラテックスとの複合によるナノコンポジットシートの研究を始め、その後も多くの関連研究が様々なナノファイバー原料を用いて行われている。

2000 年に入ってから、Oksman 教授 (最近ノルウェーからスウェーデンに移った) が、ガスバリア性に優れた廃棄容易な容器の開発を目指して、ポリ乳酸とナノウィスカーとの複合について開発研究を進めている。また、欧州では植物資源利用に対する自動車産業の意識は高く、現在は、麻・ジュートなど植物繊維とポリマーの複合材料開発が中心であるが、今後は、より高性能のセルロースナノコンポジットに関心が集まる可能性がある。

一方、北米では、製紙産業が主導して、急激に BNF 研究体制を整えつつある (シンポジウム開催や大型プロジェクト立ち上げに向けたプラットフォーム形成)。BNF 研究の多くは、植物織

<sup>135</sup> <http://www.woodwisdom.fi/?docId=12331>

<sup>136</sup> L.A.Berglund, (Ed.: M.A.D.Mohanty), CRC Press LLC (2004)  
M.A.S.A.Samir, et al.: Biomacromolecules, Vol.6, p.612-626 (2005)

維や木材粉末をポリプロピレンなどの熱可塑性樹脂と熔融混練する複合材料研究の発展として行われており、極性材料であるセルロースと非極性の樹脂との界面制御技術には多くの蓄積がある。

自動車産業との関係が深いトロント大学の Sain 教授は、植物繊維補強材料の延長としてセルロースナノコンポジットの開発研究を精力的に進めている。また、最近、新聞で、米国の環境保護省のナノテクノロジー関連プログラムとして、シラキユース大学の Winter 博士が「セルロースナノ粒子で補強したエコ複合材料」の開発を行っていることが報じられていた。環境保護省という、人の健康にとりわけ敏感な部署が、セルロースのナノ粒子に関する材料開発を認めたということは注目に値する。

このような欧米の状況に対して、我が国では、木質材料科学やセルロース科学で培われた技術に基づき、バイオナノファイバーの優れた強度を生かした構造用途や透明材料に特化した研究が進められている。BNF の基本構成要素であるセルロースの結晶構造、化学反応性等に関する研究において世界をリードしている研究者と共同で材料開発を進められている点が、今後のバイオナノマテリアル材料開発における強みであるとされている。

バイオマス資源のエネルギー・化学原料利用の特許戦略で欧米諸国に大きく水をあけられている我が国にとって、「セルロースナノファイバー、ナノコンポジット」は、優位を保ち得る数少ない分野の一つともされている (図 4.2.33)。

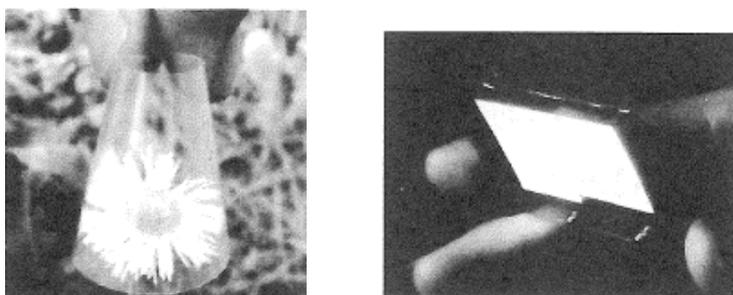


図 4.2.33 セルロースナノファイバー補強透明材料(左)とセルロースナノコンポジットを透明基板に用いた EL 発光素子(右)

#### 4.2.7 コハク酸

コハク酸 (図 4.2.34、図 4.2.35) は自然界に存在する有機酸の一種で貝の旨味成分としても知られている化合物である。世界で年間 1 万 5,000t 以上生産されており、その大半がブタンより無水マレイン酸を経て生産される石油化学製品である。

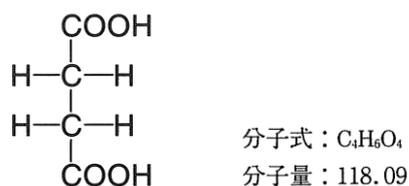


図 4.2.34 コハク酸の構造

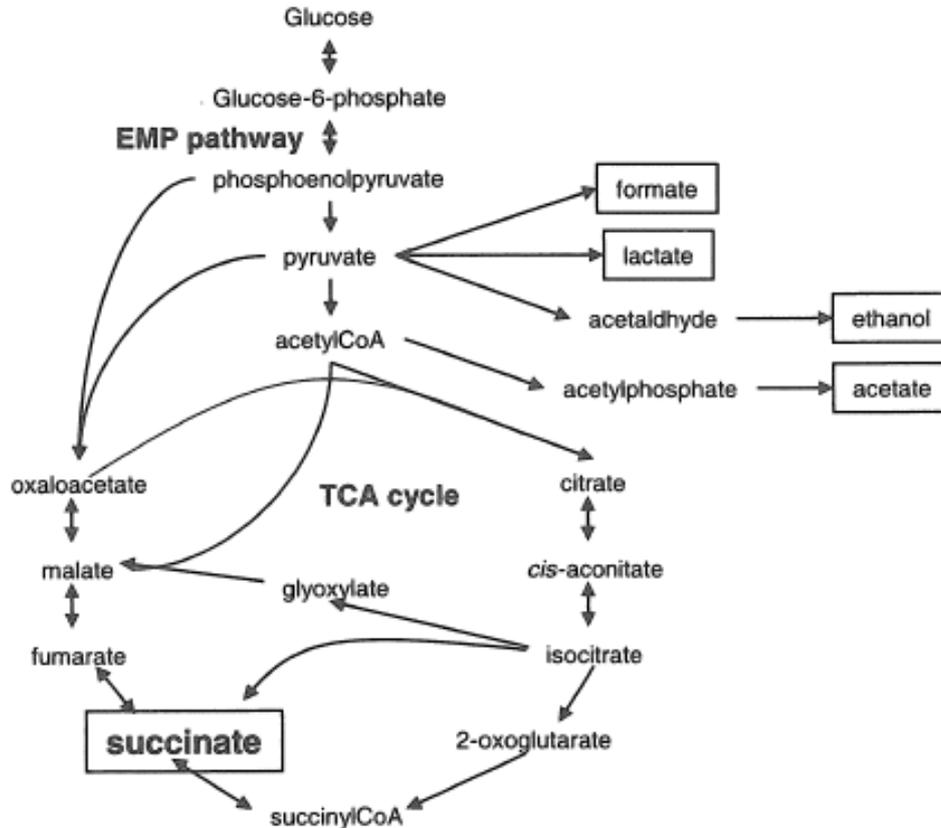


図 4.2.35 コハク酸の生成経路(推定)

既存市場としては、界面活性剤、イオンキレート剤、酸味料、pH調整剤等の食品添加物、医薬関連などであるが、より汎用的な化学品中間体としてコハク酸は大きく注目されている。

コハク酸をベースとして生産する汎用化学品としては、methylenechloride の代替溶媒となる N-methylpyrrolidone、樹脂等の原料となる 1,4-butanediol、化学品原料の  $\gamma$ -butyrolactone、ナイロン 6,6 の原料となるアジピン酸、溶媒のテトロヒドロフランなどがあり、27 万 5,000t/y 以上の市場規模があるという報告もある<sup>137</sup>。さらに、生分解性プラスチックのポリブチレンサクシネート (PBS : PolyButylene Succinate) の原料としても注目されている。

最近、直接発酵法で高濃度に糖質から嫌気微生物 *Actinobacillus succinogenes* で生成できるプロセスも提案されている。

生分解性プラスチックのモノマー合成出発原料としてのコハク酸への期待は大きい。この分野でのコハク酸は、マレイン酸やフマル酸を生物変換技術で工業化がすすむ。石油由来の化学成分の利用技術にも陰りがみえ、発酵法実現が近い<sup>138</sup>。

発酵微生物の遺伝子工学的な発酵能効率化への努力も進んでいる。

生分解性プラスチックのモノマー素材として乳酸が中心に開発は行われているが、物性的な限界をコハク酸、1,4-ブタンジオールを重合する三菱化学が *Corynebacterium* 型細菌を使う方法に期待がかかっている。その成否は使用済み「ポリブチレンサクシネート」の分解、回収、リサイクルの工程を円滑に循環させる課題をクリアしなければならない。

発酵法によるコハク酸はバイオマス由来の汎用化学品として注目され、多くの研究機関で研究がなされている。特に生産菌の開発においては代謝工学のモデルとしても注目されている。近い将来、発酵法によるコハク酸が石油化学品より安価に製造できるようになることを目指している。

<sup>137</sup> Zeikus, J.G., et al.: Appl. Microbiol. Biotechnol., Vol.51, p.545-552.

<sup>138</sup> M.V.Guettler, et al.: Method for making succinic acid, bacterial variants for use in the process, and method for obtaining variants, US. Pat., No.5, 573, 931 (1996)

### ＜コハク酸系ポリエステル樹脂＞

コハク酸は、代表的な生分解性樹脂の1つであるPBSの原料として利用されている。三菱化学ではPBS系樹脂「GS Pla®」の原料であるコハク酸を石油資源原料からバイオマス資源に切り替える目的で、バイオマスからの発酵によるコハク酸製造研究を味の素㈱と共同で進め<sup>139</sup>、環境負荷が少なく安価に提供できる発酵法コハク酸の世界で初めての本格的な商業生産を目指している。また発酵コハク酸を原料とした世界初のバイオマス由来ポリブチレンサクシネート(図4.2.36)の実用化を目標としている。

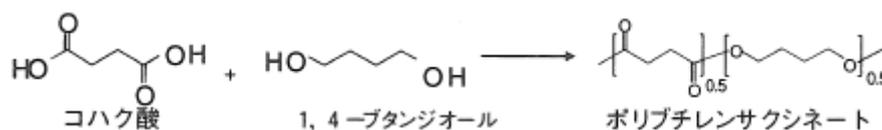


図 4.2.36 ポリブチレンサクシネートの合成

三菱化学ではPBS系樹脂「GS Pla®」(表4.2.4)の原料のひとつであるコハク酸を石油資源からバイオマス資源に転換する計画としている。しかし、原料価格が現行品より高くなればいかにバイオマスといえども市場の拡大は困難と考えられることから、バイオマス資源を使うことによって現行品のコストよりも高くないという前提で開発が進められている。

表 4.2.4 GS Pla の主要物性

物性	単位	GS Pla		HDPE	LDPE	PLA	PS
		AZ91T	AD92W				
密度	g/cm <sup>3</sup>	1.26	1.24	0.95	0.92	1.26	1.05
Tg	℃	-32	-45	-120	<-70	59	100
Tm	℃	110	86	132	108	179	—
引張強度	MPa	50	45	70	18	55	40
引張破断伸度	%	400	750	800	700	2	2
引張弾性率	MPa	700	200	1,000	150	2,800	3,000
曲げ弾性率	MPa	530	300	900	150	3,500	3,150
Izod 衝撃強度 (ノッチ無し)	kJ/m <sup>2</sup>	N.B.	N.B.	N.B.	N.B.	23	15

### 4.2.8 キチン、キトサン

バイオベースマテリアルは、汎用プラスチックの代替になりうる材料から、特殊な機能を有するファインケミカルまで幅が広い。ここで取り上げるキチン、キトサン(図4.2.37)は地球上での生物生産量がセルロースに匹敵するほど多量に存在するが、セルロースと比較すると収集の困難さから大量生産と消費が行われているものではない。そのため機能性を有するバイオベースマテリアルとしての研究開発が進展している。1980年代から研究が活発になり、キチン、キトサンが各種の生物活性(生体内消化性、抗菌性、創傷治癒効果など)を有すること、またキチン、キトサンの化学修飾によって機能変換が可能であることなどから機能性材料(図4.2.38)として期待されるようになり、着実に研究開発は進歩してきている<sup>140</sup>。

<sup>139</sup> 化学工業日報、2003年3月13日

<sup>140</sup> ・キチン、キトサン研究会:「最後のバイオマスーキチン、キトサン」(1988)、「キチン、キトサンの応用」(1990)、「キチン、キトサン実験マニュアル」(1991)、「キチン、キトサンハンドブック」(1995)、技報堂  
・平野茂博監修:キチン・キトサンの開発と応用、CMC出版(2004)  
・T.Uragami, et al., ed: Material Science of Chitin and Chitosan, Kodansha-Springer, Tokyo(2006)

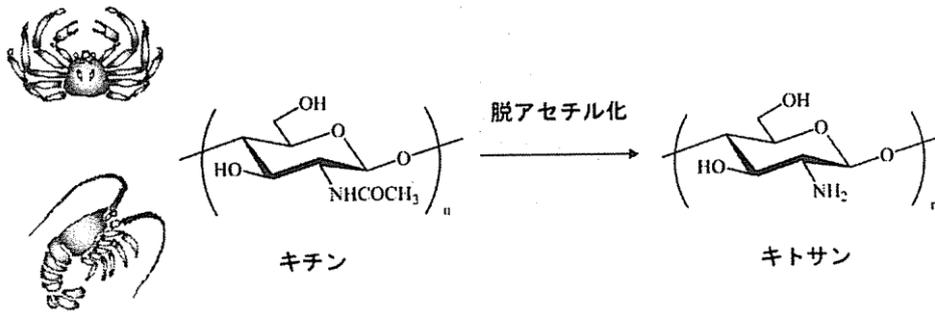


図 4.2.37 キチン、キトサンの化学構造

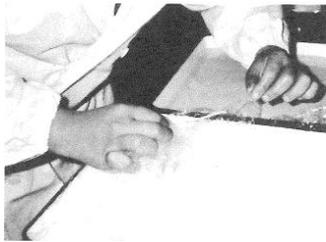


図 4.2.38 キチンフィルム

この 10 年ほどの間でキトサンの生理機能が解明されるにつれて、健康食品としてキトサンということばが一般的に世の中で見かけられるようになってきた<sup>141</sup>。

さらにキチンから誘導される N-アセチルグルコサミン<sup>142</sup>、グルコサミン<sup>143</sup> (図 4.2.39～図 4.2.41、表 4.2.5) も健康食品として注目されるようになってきた。

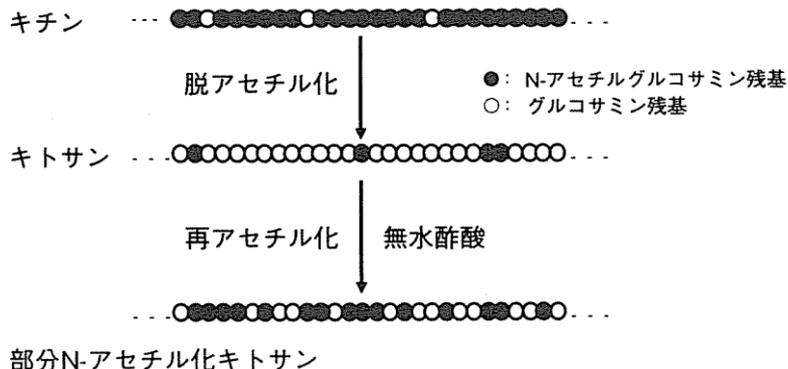


図 4.2.39 キチン、キトサン、部分 N-アセチル化キトサンの化学構造

<sup>141</sup> 卜蔵浩和：キチン・キトサン研究、Vol.10、p.8(2004)

<sup>142</sup> ・相羽誠一：キチン・キトサンの開発と応用、p.70、CMC 出版(2004)

・H.Sashiwa, et al. : Chem. Lett., p.308(2001)

・H.Sashiwa, et al. : Carbohydr. Res., Vol.337, p.761(2002)

・又平芳春ほか：キチン・キトサン研究、Vol.12, p.92(2006)

<sup>143</sup> ・中村 洋ほか：キチン・キトサン研究、Vol.12, p.94(2006)

・S.Minami : Material Science of Chitin and Chitosan, p.191, Kodansha-Springer,Tokyo(2006)

表 4.2.5 部分 N-アセチル化キトサンのアセチル化度とアルカリ添加による溶液の状態変化の関係

アセチル化度 (%)	溶解に用いた酢酸に対する添加 NaOH の当量	溶液の状態
6	0.78	沈澱、pH6.2
32	0.95	沈澱、pH7.2
44	1.0	沈澱
49	1.0	均一溶液→6 時間後にゲル化
49	1.0	均一溶液→1 時間後にゲル化
52	1.2	均一溶液(長期間安定)、pH12.3
64	1.2	均一溶液(長期間安定)

キトサンの 0.5% 溶液

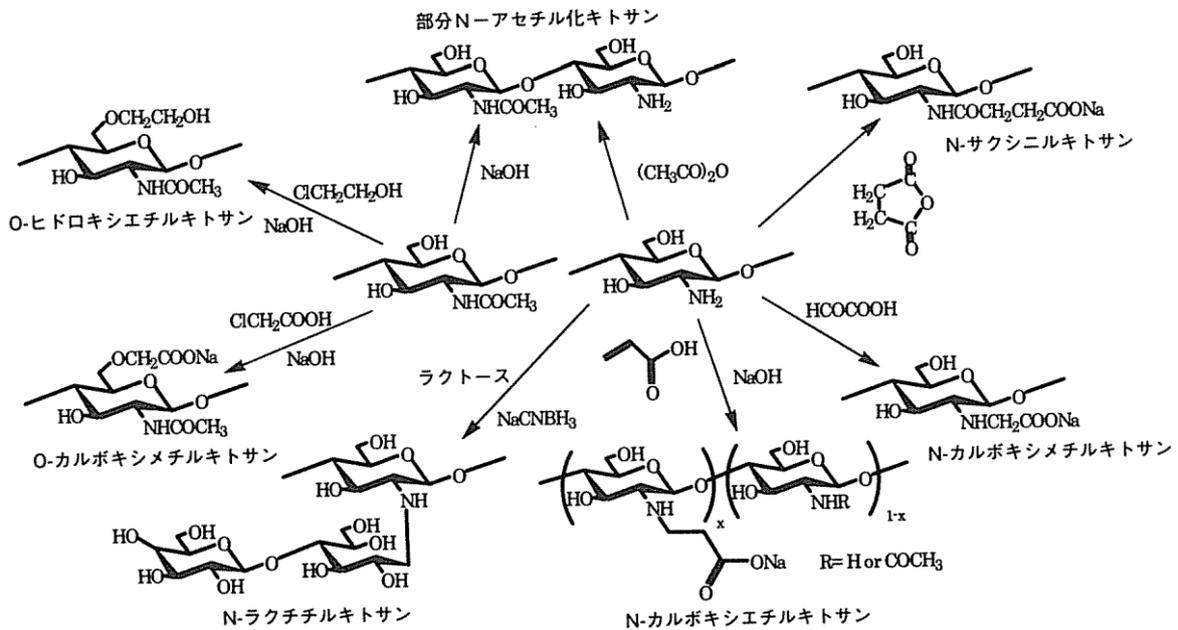


図 4.2.40 水溶性誘導体の合成経路

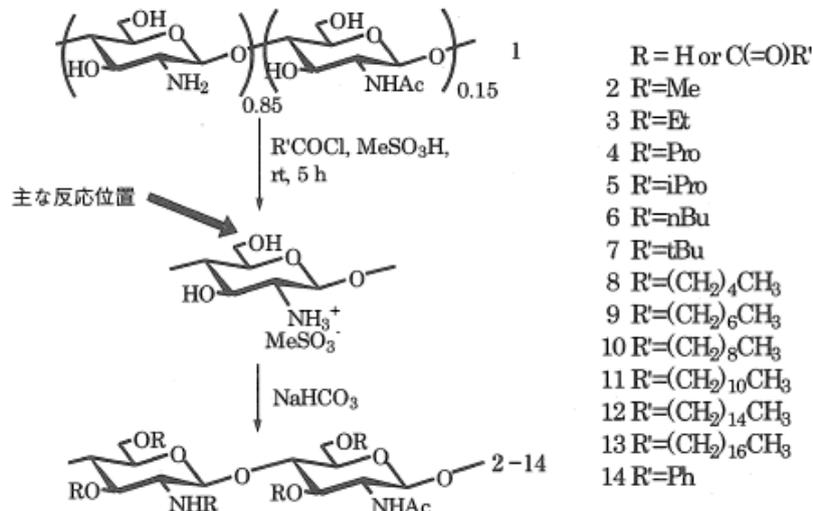


図 4.2.41 有機溶媒可溶型キトサン誘導体の合成

キチン、キトサンの機能が明らかになるにつれて、研究が活発に行われるようになり、国内では毎年シンポジウムが開催されている。また国際会議も行われている。

キチン、キトサンの研究領域は広範であるため、学会では様々な分野の研究者との交流が活発であり、新規用途の発見へと発展する可能性がある。キチン、キトサンの開発では研究段階ですばらしい性質があるからといって、すぐに実用化できるものではない。原料の供給、製造過程の品質管理、従来品との競合など、まだまだ問題は山積みしている。

#### 4.2.9 発酵乳酸

人類は、長年にわたって日々の生活の中で発酵乳酸を食してきた（表 4.2.6、図 4.2.42）。特に味噌、醤油、漬物、清酒、鮭、乳製品などの自然発酵食品の豊かな日本においては顕著である。更に、消費者の天然嗜好、安全に対する関心から、発酵乳酸の需要はここ数年にわたって 2 桁の成長を続けている。また、発酵乳酸の需要は食品用途に留まらず、メッキ、電子材料、洗浄剤、プラスチック、ポリ乳酸の原料等々と工業用途にも拡大している。

表 4.2.6 天然食品中の L(+)-乳酸濃度

L(+) 乳酸を含有する食品例	L(+) 乳酸(%)
牛肉	0.9
豚肉	0.9
鶏肉	0.9
赤身魚	0.6~1.3
チーズ	1.3
ヨーグルト	1.0
ワイン	0.2
日本酒（純米酒）	0.1
醤油（本醸造）	0.1
味噌（豆味噌）	0.5

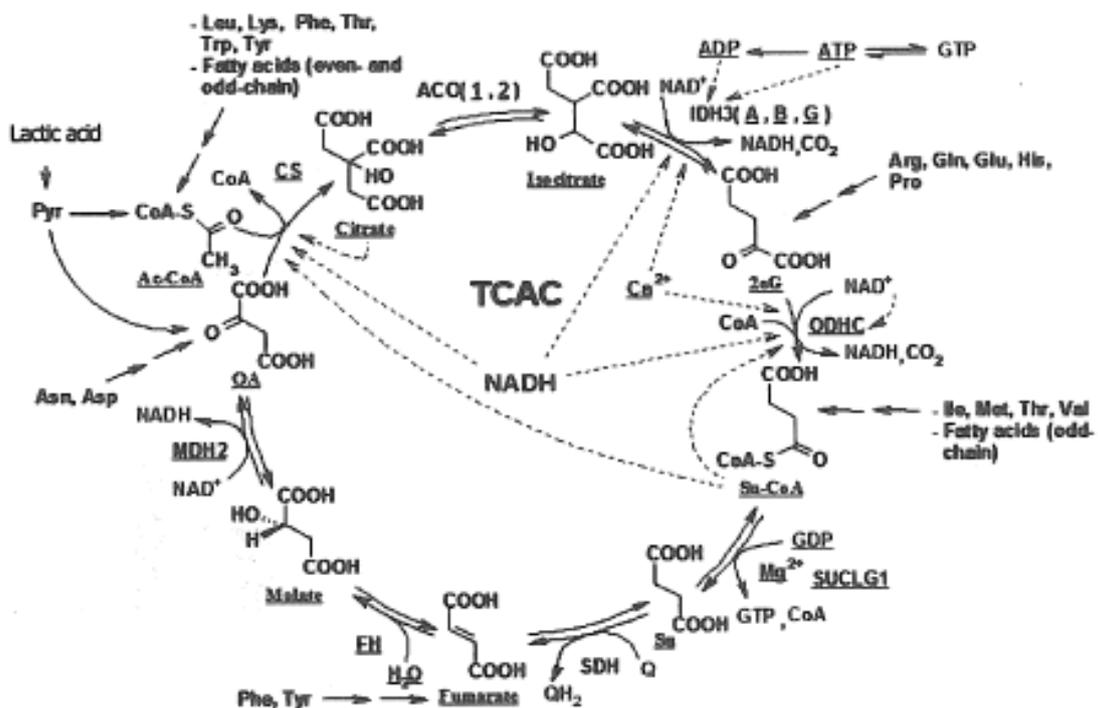


図 4.2.42 TCA 回路(乳酸の体内での代謝サイクル)

ピューラック社では、2008 年年初に年間 10 万 t の生産能力を持つタイ工場が稼動し、既存の欧州の 2 工場、北米と南米の 2 工場と合わせると、欧州、米州、亜州の 3 大需要地で発酵 L-乳酸の生産が行われることになる。

#### 4.2.10 バイオプラスチックと自動車部品用

植物の生産するバイオマスは、植物が二酸化炭素を吸収し、光エネルギーを利用して生産するため、使用後に焼却しても大気中の二酸化炭素濃度を上昇させることにはならない。この観点から、植物由来のバイオマスの使用には、「カーボンニュートラル」(Carbon-neutral) という言葉が使われている<sup>144</sup> (図 4.2.43)。

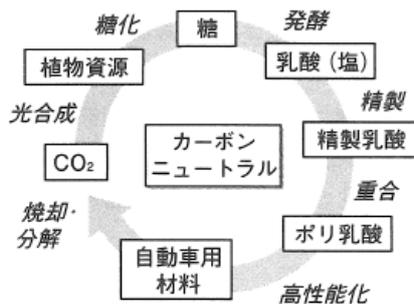
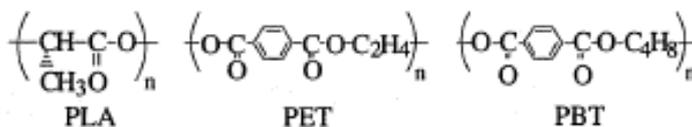


図 4.2.43 自動車用ポリ乳酸におけるカーボンニュートラルの概念図

PLA は、植物由来のバイオマスから製造可能なポリエステル系樹脂であり、その分子構造は、図 4.2.44 に示したように、石油由来の樹脂であるポリエチレンテレフタレート (PET) やポリブチレンテレフタレート (PBT) と同様にエステル結合によって結合された高分子である。



(PLA : ポリ乳酸、PET : ポリエチレンテレフタレート、  
PBT : ポリブチレンテレフタレート)

図 4.2.44 ポリエステルの分子構造

PLA は PET や PBT と同様に石油からも合成できるが、植物由来の PLA は主鎖骨格に不斉中心を持っており、その光学異性体としては L 体である。これまで PLA は、生体吸収性や生分解性の利点から医療用縫合糸、農業用マルチシートなどに使用されてきた。しかし、PLA の生分解性は、それほど高くなく、土壌に埋めても、すぐには分解せず、分解するためには、コンポスト処理する必要がある。また、未反応モノマー濃度の低減、末端カルボン酸の封止などのエステル結合の加水分解を抑制することにより、石油由来の樹脂と同様に耐久性のある材料として使用可能となってきている (図 4.2.45)。

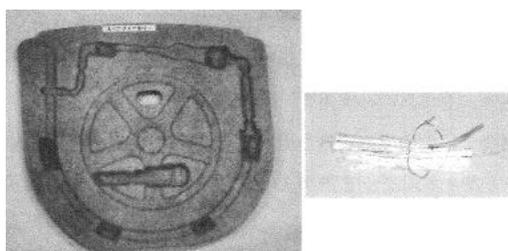


図 4.2.45 スペアタイヤカバー(左:ケナフ繊維と PLA の複合材)とケナフ繊維(右)

<sup>144</sup> 築島幸三郎 : グリーンプラジャーナル、Vol.11, p.5(2003)

最近の原油高を背景に、PLA の使用には追い風が吹きつつある。現在使われている、コスト/パフォーマンスに優れる石油由来の自動車用樹脂材料を、植物由来高分子材料に置き換えることは容易でないが、人類の持続的な繁栄に必要な循環型社会実現のためには、避けては通れない技術分野であると考えられている。

例えばトヨタ自動車でも、循環型社会実現に貢献するため、2003年にトヨタリサイクルビジョンを策定している。その中で再生可能資源・リサイクル材の活用の項目を設け、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)という目標を掲げている。

## 4.3 高機能化技術

### 4.3.1 ポリ乳酸—脂肪族ポリエステル的一次構造と性能・機能の発現—

ポリ乳酸は従来の石油を原料とするプラスチックや合成繊維に比し、原料の採取から製造に至る工程で使用されるエネルギー（石油換算）使用量や二酸化炭素発生量は最低レベルであり、現在唯一の実用レベルにある環境低負荷の次世代プラスチックとして注目されている。

代表的なバイオプラスチック（近い将来、石油系から植物系に転換されるものも含む）には、生分解性プラスチックでもある4つの代表的なポリマー、すなわちPLA系、ポリヒドロキシブタン酸（PHB）系、PBS系並びにでんぷん系（Starch-based）がある。

植物系プラスチックの中で、既存の石油系プラスチックと品質、性能、機能面でほぼ対抗し得るのは、現在のところPLAが唯一である。PLAの成形加工性や性能・機能の向上は実用化レベルに達しつつあるが、透明性を維持しながらの耐熱性の向上やガスバリア性の付与など、今後更なる技術的改良が求められる（参考：図4.3.1～図4.3.7、表4.3.1～表4.3.3）。

表 4.3.1 生分解性プラスチックの成形加工性

・熱可塑性プラスチック成形加工プロセス：加熱熔融温度から室温までの冷却過程における結晶化又はガラス化による固化

製品	成形方法/時間 (sec)	冷却速度 (°C/min)	1次加工		2次加工	
			製品形状	延伸	賦形	型内結晶化
繊維、フィルム	押出/0.01~10	10 <sup>4</sup> ~10 <sup>5</sup>	原系、原反	→あり	なし	なし
射出成形品	射出/30~60	10 <sup>3</sup>	成形品	なし	なし	(あり)
真空・圧空成形品	型押/10~20	10 <sup>4</sup>	原反	→(なし)	→あり	→(あり)

素材	略称	熱的性質			成形加工性 (製糸性)
		Tm(°C)	Tc(°C)	Tg(°C)	
Poly-L-lactic acid	PLLA	178	103	57	Good
Poly-β-hydroxybutyrate	PHB	175	60	4	Poor
Poly-ε-caprolactone	PCL	60	22	-60	Fair
Poly butylenes succinate	PBS	116	77	-32	Fairly good
Poly ethylene terephtharate	PET	256	170	69	Excellent

表 4.3.2 生分解性プラスチックの分解機構の分類と特徴—初期から中期過程—

	酵素分解型	非酵素分解型
素材	PHB、PCL、PBS	PLA
表面形状	凹凸	平滑
重量減少	あり	なし
分子量低下	なし	あり
分解サイト	表面	表面～内部
分解様式	表面分解 (surface erosion)	塊状分解 (bulk degradation)

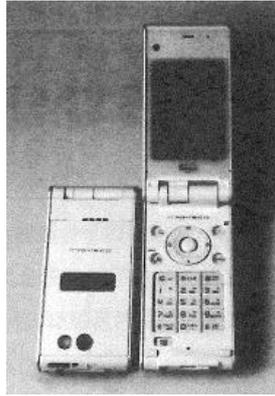


図 4.3.1 NTTドコモとNECが製品化した携帯電話(FOMA-N701iECO)

表 4.3.3 プラスチックの溶融成形法と高分子鎖、レオロジー特性

成形法	押出成形法	発泡成形 フロー成形
高分離鎖 分子量分布	直鎖 狭い	長鎖分岐、架橋 広い
流動状態 歪硬化性	1 軸伸張流動 なし	2 軸伸張流動 あり

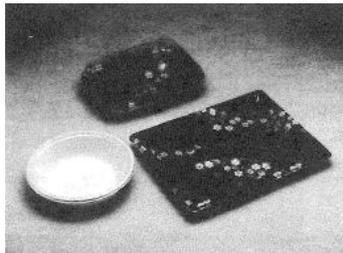


図 4.3.2 耐熱性簡易食器類(発泡タイプ)(シーピー化成)



図 4.3.3 窓付き封筒(NTTドコモ)、青果物包装(大洋興業)

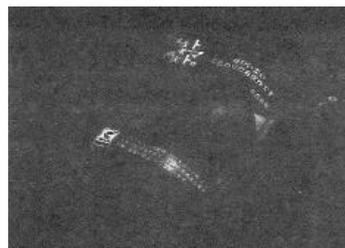


図 4.3.4 青果物容器・包装(カゴメ)、耐熱性簡易食器具(ソリッドタイプ)(中央化学)

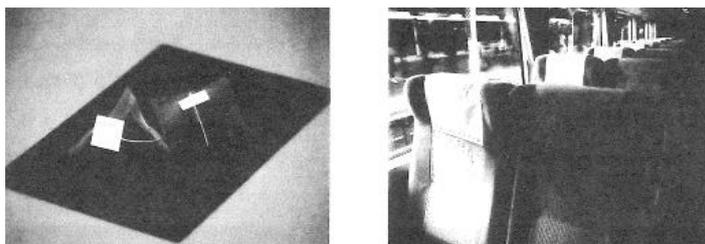


図 4.3.5 ティバッグ(山中産業)、ヘッドレストカバー(JR)



図 4.3.6 サイン基布(GK 設計)

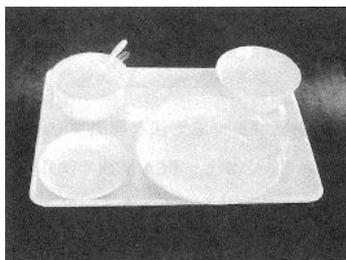


図 4.3.7 リターナブル食器・配膳トレイ(クニムネ、北村化学産業、レーム化学)

### 4.3.2 機能性エコマテリアルとしての多糖類のモダン活用

材料ならびにその製造・使用プロセスのグリーン化がさげられる昨今、再生可能な生物資源から導かれるバイオベースポリマーの応用展開に一層の期待が寄せられている。諸資源の代表として繊維質セルロースに限っても、年間新たに自然発生する量は 2,000 億 t にも達し<sup>145</sup>、この量は世界の年間繊維需要量 6,900 万 t<sup>146</sup>と比べて約 3,000 倍に、主要合成ポリマーの生産量 1.7 億 t/年に対して約 1,200 倍にもなる。

生態循環と環境保全に配慮して高々数%/年が許容採取としても、余りある発生量である。有限化石資源の漸減そして枯渇を意識する場合、特にセルロースおよび関連多糖類の広範利用とそれらを由来とする新たな材料の開発が、今後ますます重要になっていくと見られている<sup>147</sup>。

バイオマス系の多糖類は、量的に豊富でリニューアブルなエコ素材であるという生来の利点に加えて、側鎖反応性(被修飾能)、水素結合能、キラリティー、半剛直性などの分子特性と、ゲル・錯形成、マイクロフィブリル(ナノクリスタル)形成、液晶形成などの分子集合体特性を有しており、機能化用の分子素材としても魅力に富む<sup>148</sup>。ただし、これらをベースとした新規高機能材料を創製するためには、石油系合成ポリマーに比較して構造設計上の任意性・多様性が概して乏しい点や溶解性・成形加工性にも劣るというハンデを克服していく必要が言われている。

セルロース系多糖類(ポリグルカン)は、環境・生体適合性の高い異種素材との微視的な複合化手法を適宜利用しつつ、モダンな制御分解型材料、高選択物質分離材料、液晶光学材料、磁性材料などへの高機能化をはかった研究が行われている(参考:図 4.3.8~図 4.3.15)。

<sup>145</sup> セルロース学会:「セルロースの事典」、朝倉書店、第1章(2000)

<sup>146</sup> 日本化学繊維協会:「繊維ハンドブック 2006」、日本化学繊維協会資料頒布会、p.179(2005)

<sup>147</sup> 西尾嘉之:繊維学会誌(繊維と工業)、Vol.62、p.232(2006)

<sup>148</sup> Y.Nishio: Adv.Polym.Sci., Online First(2006), DOI:10.1007/12\_095

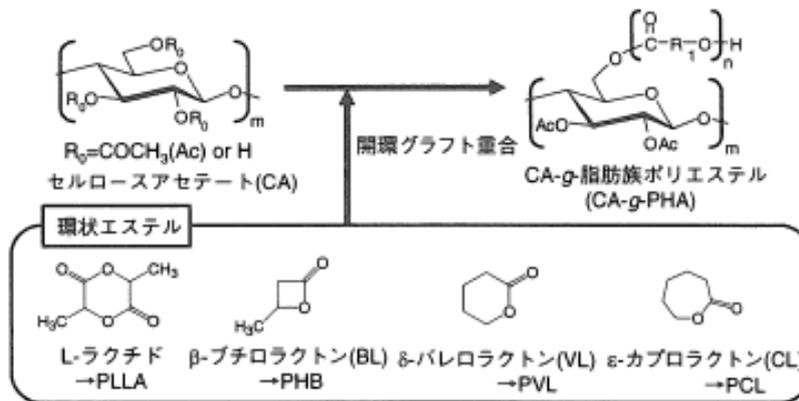


図 4.3.8 残存水酸基を開始点としたエステルモノマーの開環重合によるセルロースアセテート(CA)-graft-脂肪酸ポリエステル(ポリヒドロキシアルカノエート、PHA)の合成

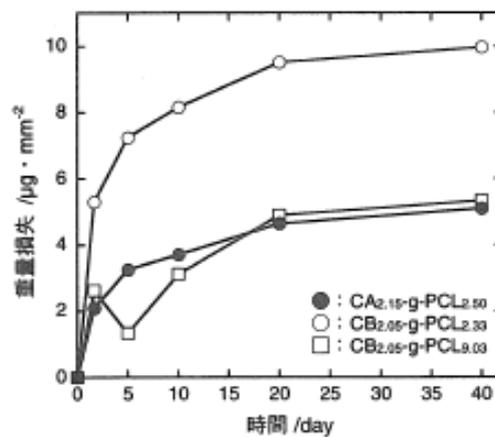


図 4.3.9 CA-g-PCL および CB-g-PCL フィルムの Lipase/リン酸緩衝液中における重量損失の経時変化

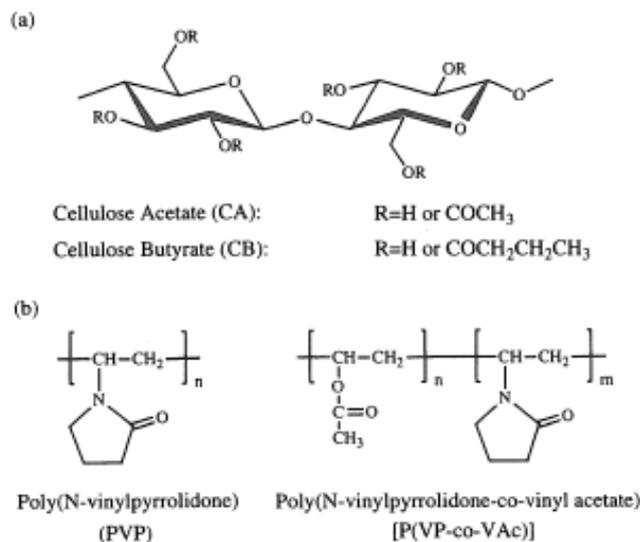


図 4.3.10 (a)セルロースアルキルエステル誘導体、および(b)ブレンド対成分として用いたビニルピロリドン(VP)含有ポリマーの構造式

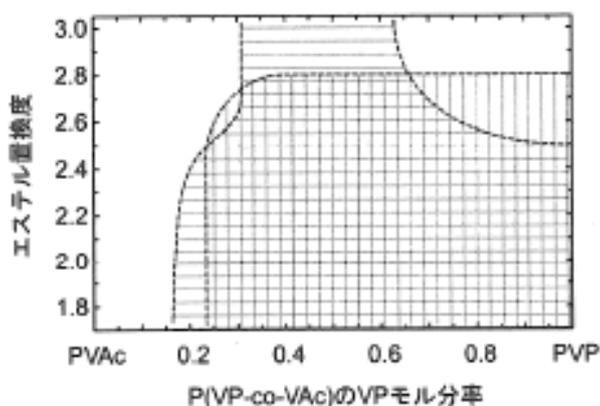
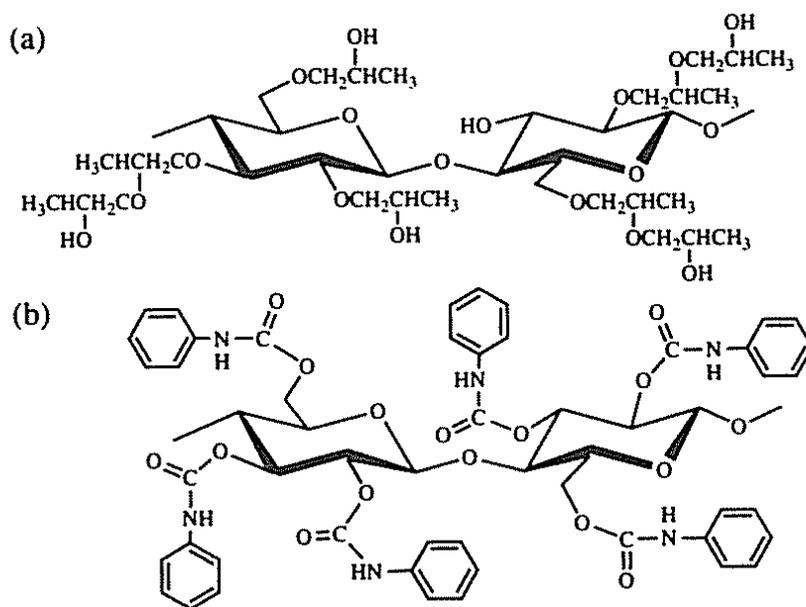


図 4.3.11 CA/P(VP-co-VAc)および CB/P(VP-co-VAc)ブレンド系に対する相溶マップ



(a) ヒドロキシプロピルセルロース (HPC) ;

(b) セルローストリフェニルカルバメート

もとのピラノース骨格における第2炭素の水素基がアセチルアミノ基またはアミノ基であるキチン・キトサンを出発として得られるヒドロキシプロピル誘導体およびフェニルカルバメート誘導体も液晶性を示す。

図 4.3.12 コレステリック液晶を形成する多糖誘導体の例

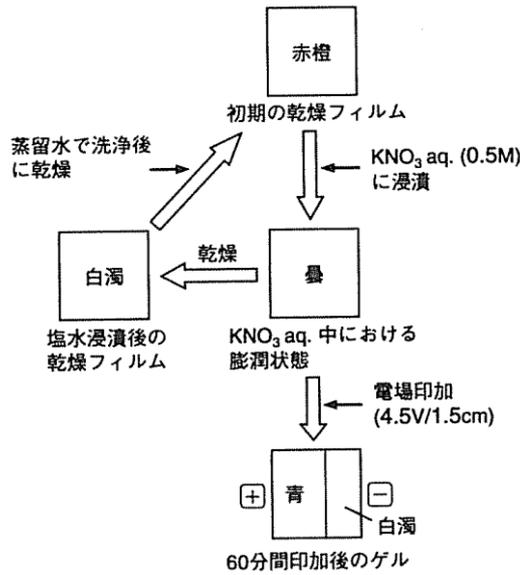


図 4.3.13 HPC/PDEGMEM 系コレステリックネットワークの塩水浸漬効果と電場による光学機能制御

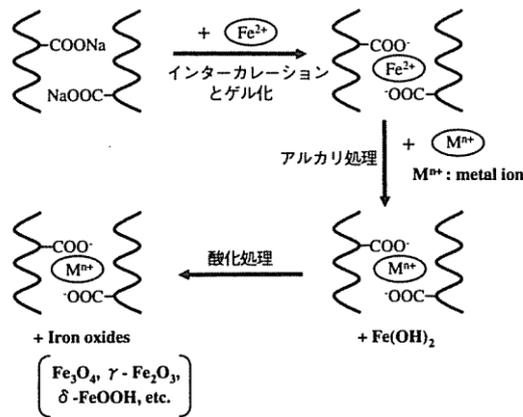
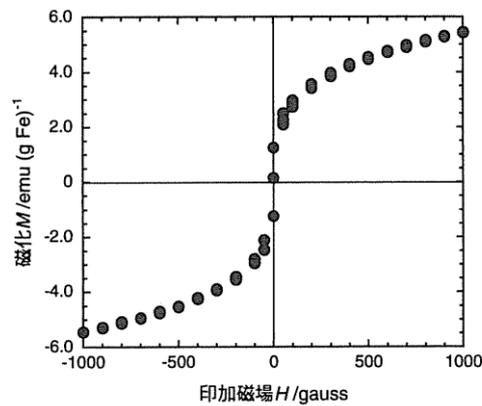


図 4.3.14 電解質多糖／酸化鉄ナノハイブリッドの調整ルート（ゲルマトリックス中での in situ 合成法）



外部磁場 H に対する応答磁化 M の曲線は超常磁性の挙動を示している。  
 図 4.3.15 アルギン酸をベースとした磁性複合体の磁化特性解析の一例

### 4.3.3 環境低負荷型触媒による合成とリサイクル技術

1980年代プラスチック散乱ゴミ問題から始まった生分解性プラスチックの開発研究は90年代後半から地球温暖化ガス削減問題、さらにはプラスチックの主要原料である石油資源の枯渇が現実的な問題となるに至り、これらの問題を統合したグリーンケミストリーの創成が地球規模で追求されるようになった。これにより、持続可能な地球環境と人間社会に変えてゆこうとするものである。グリーンプラスチックの具備すべき要素を図4.3.16に示す。

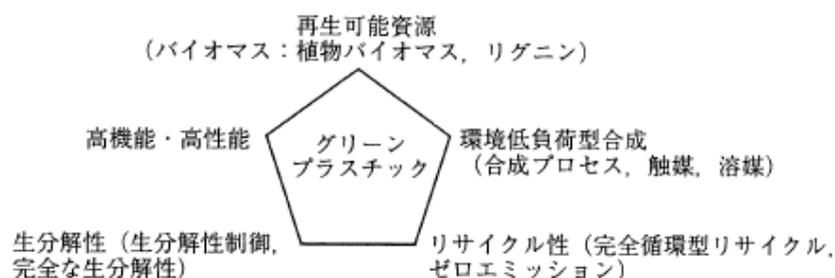


図 4.3.16 グリーンプラスチックの具備すべき要素

グリーンプラスチックでは、原料をこれまでの石油など化石資源から再生可能資源に変換すると共に、環境低負荷型製造プロセスとリサイクル技術の開発、さらには環境への負荷をできるだけ低減する生分解性プラスチックの開発が求められている。特に近年の石油製品の価格上昇から、プラスチック原料にも再生可能原料であるバイオマス、特に植物バイオマスを用いてゆこうとする機運が見られる。

新しいバイオマス原料に対応できるプラスチックの生産においても環境低負荷型合成法の開発が重要な柱になりつつある。「バイオマスにはバイオプロセスで」の考え方もあり得る。プラスチック製造プロセスでは、環境低負荷な触媒プロセスが求められ、脱ハロゲンや脱縮合プロセスの開発が望まれる。発酵法及び酵素触媒重合法などバイオプロセスは将来一つの柱をなすようになるものと思われる。さらに、環境低負荷な製造プロセスとして、無溶媒、超臨界二酸化炭素、イオン性液体の利用などといった脱有機溶媒プロセスの開発も進められている。

リサイクルはグリーンポリマーケミストリーの機軸となるものであり、高機能・高性能化と並んで、省エネルギーによる循環型リサイクルが確立できれば、その効果は非常に大きいと考えられている<sup>149</sup>。

特にバイオマス由来のプラスチックでは、循環型リサイクルにより新規に製造された分がプラスチック資源としてわれわれの手中に蓄積される利点がある。中でも、循環型社会に対応した技術として効率的なケミカルリサイクル技術に対する期待は大きい。ケミカルリサイクルは化学反応によりプラスチックを有用な低分子成分に変換して利用する方法であり、通常プラスチック原料としてのモノマー・オリゴマーへの変換を意味する。また、ケミカルリサイクルは生分解性プラスチックやバイオベースプラスチックなどグリーンプラスチックの処理方法としても有効である。これは、グリーンプラスチックの多くが加水分解を受けやすいエステル結合やアミド結合でつながっているため、解重合が容易であり、それゆえに原料化リサイクルが容易であることによる。重要なことは、人間の活動圏で発生させたものは、その中で処理すべきであり、地球環境にはなるべく影響を与えない様にするのである。さらに、回収・リサイクルが困難な使用形態では、廃プラスチックによる環境への影響を最小とするために、自然環境中で優れた生分解性を有することも重要な要素である(参考: 図4.3.17~図4.3.24、表4.3.4)。

149

・三田文雄: ケミカル・エンジニアリング、Vol.49、p.742(2004)  
・西田治男: ケミカル・エンジニアリング、Vol.49、p.753(2004)  
・奥彬: 月刊エコインダストリー、Vol.7、No.11、p.24(2006)  
・奥彬: バイオマス、日本評論社(2005)

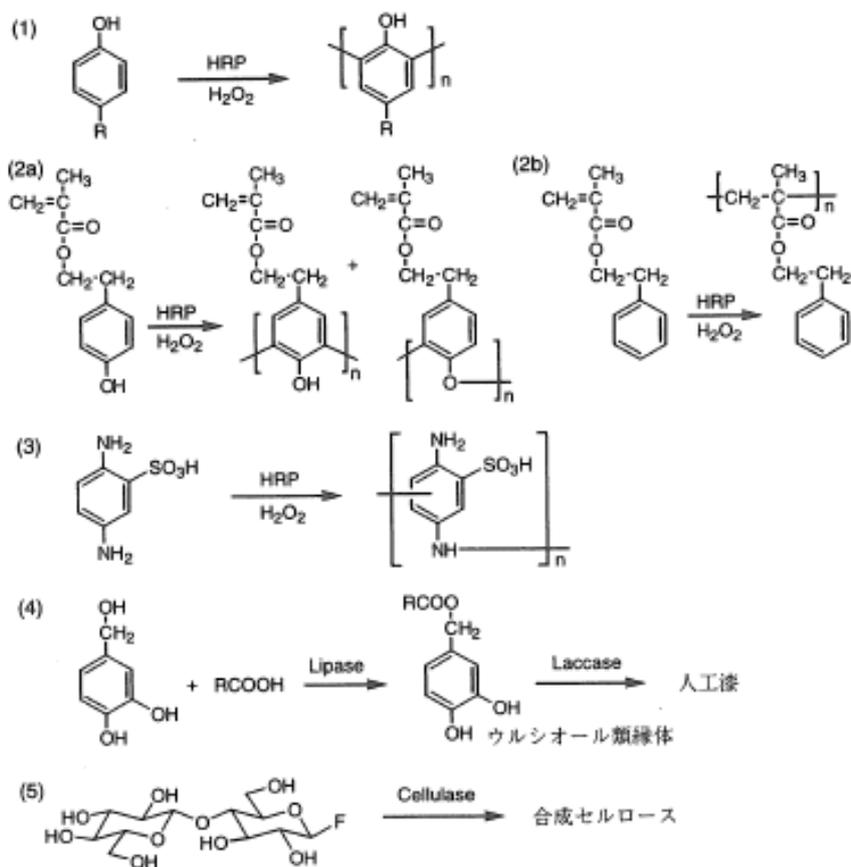


図 4.3.17 代表的な酵素触媒重合例

表 4.3.4 代表的な酵素と重合のタイプ

酵素分類	酵素例	ポリマー	式番号
酸化還元酵素	ペルオキシターゼ	フェノール系ポリマー	(1)
			(2)
	ラッカーゼ	ポリアニリン	(3)
		ビニル系ポリマー	(4)
加水分解酵素	リパーゼ・エステラーゼ	ポリエステル	
		ポリカーボネート	
		ポリチオエステル	
	プロテアーゼ	ポリアミノ酸	
	グリコシダーゼ	多糖類	
	セルラーゼ キシラーゼ キチナーゼ		(5)
転移酵素	グリコシルトランスフェラーゼ	多糖類	

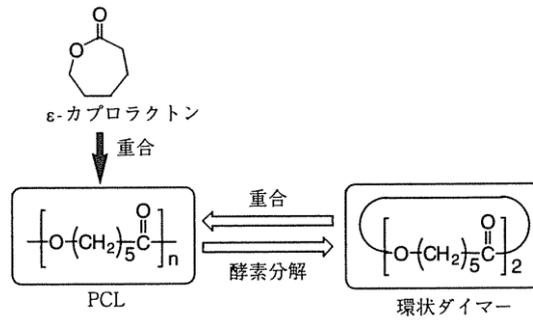


図 4.3.18 PCL の合成とケミカルリサイクル

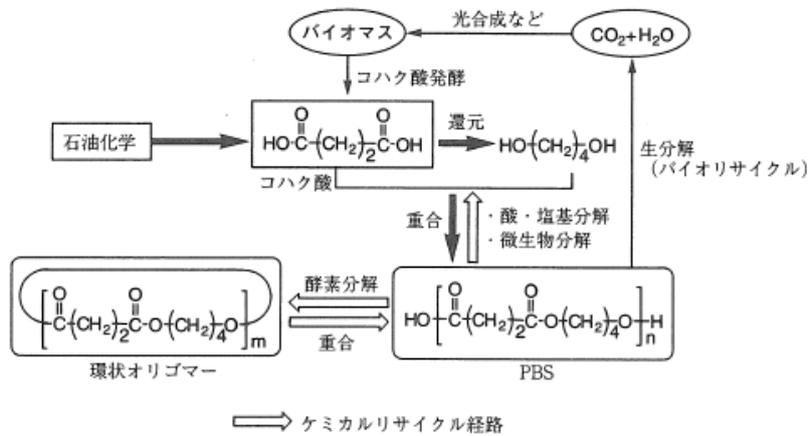


図 4.3.19 PBS の合成とケミカル及びバイオリサイクル

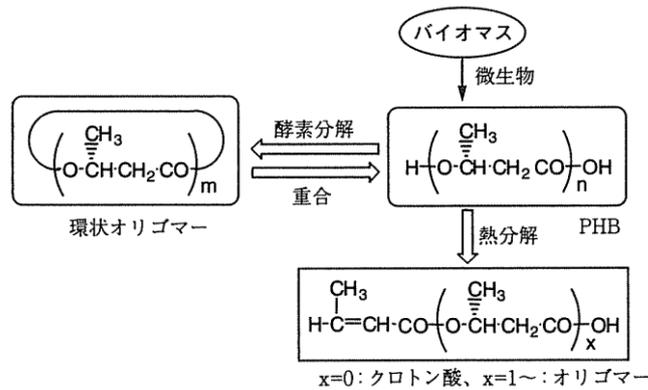


図 4.3.20 PHB の合成とケミカルリサイクル

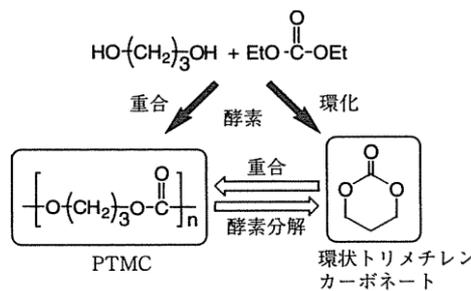


図 4.3.21 PTMC の合成とケミカルリサイクル

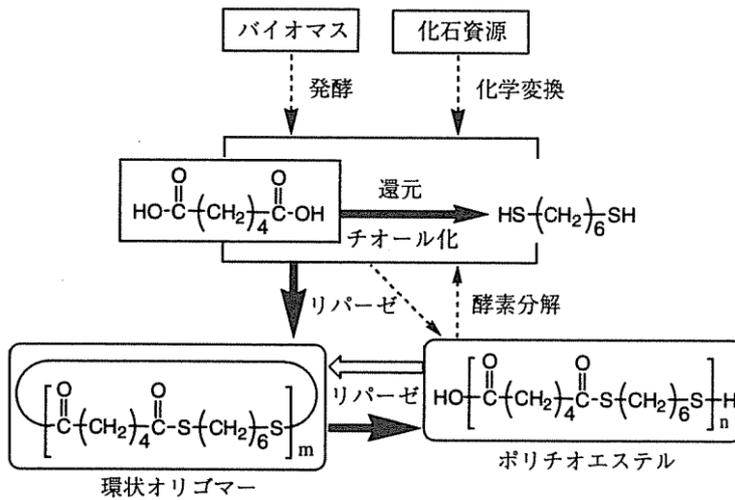


図 4.3.22 ポリチオエステルの合成

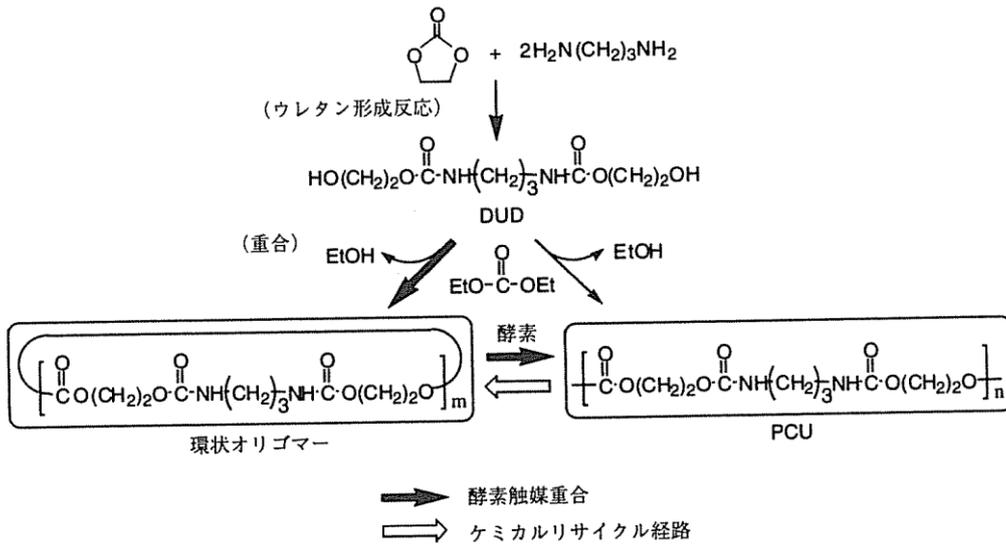


図 4.3.23 ポリカーボネートウレタンの合成とケミカルリサイクル

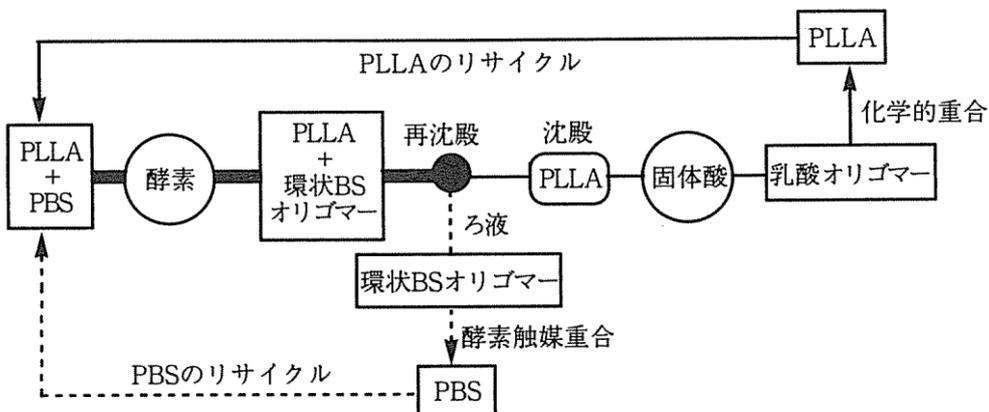


図 4.3.24 PBS/PLLA 系ポリマーブレンドの分別的ケミカルリサイクル

生体触媒（リパーゼ）を用いる重合反応に限ってみれば、今後の研究動向はその特徴を生かした機能性物質の創成と環境低負荷な合成法の開発へ向かうのではないかと見られている。例えば、 $\omega$ -ペンタデカノラク톤をベースとするコポリマーを酵素触媒重合により合成し、マイクロファイアを形成後このものに薬剤を付し、生分解性 DDS としての利用が検討されている。大員環ラク톤のリパーゼによる優れた重合性を利用し、新しい素材につなげた例である<sup>150</sup>。

同様なものに、リパーゼ触媒重合による 6(S)-methyl-morpholine-2,5-dione の重合<sup>151</sup>や高分子量 poly (1,5-dioxepan-2-one) の合成<sup>152</sup>が報告されている。

また、 $\epsilon$ -カプロラクトンと $\gamma$ -ブチロラクトンとの共重合体を酵素触媒重合により合成し、得られたフィルムのバイオマテリアル分野への利用が検討されている<sup>153</sup>。

バイオベースポリマーとして多価アルコールとリシノール酸の酵素触媒重合により星型ポリマーが得られている。環境親和型潤滑剤への使用を示唆している<sup>154</sup>。

酵素触媒重合と ATRP (atom transfer radical polymerization) 重合法の組み合わせによるブロックコポリマーの合成と利用が近年活発に検討されている。 $\epsilon$ -カプロラクTONの酵素触媒重合とスチレンやメタクリル酸グリシジルなどビニル系モノマーの ATRP 重合により、AB 型ジブロック共重合体が合成されている<sup>155</sup>。

同様に、部分フッ素化ジブロックコポリマーが、 $\epsilon$ -カプロラクTONのリパーゼによる重合と続く部分フッ素化メタクリレートとの ATRP 共重合により得られている<sup>156</sup>。

環境低負荷型溶媒として超臨界二酸化炭素を使用し、 $\epsilon$ -カプロラクTONのリパーゼによる開環重合が行われており、140°Cでは Novozym435 は失活しないことを報告している<sup>157</sup>。また、イオン性液体を $\epsilon$ -カプロラクTONの酵素触媒重合で使用する試みもなされている<sup>158</sup>。

その他、比較的類例の少ないポリマー構造を有するものも酵素触媒重合により得られている。例えば、環状リン酸エステルの開環重合によるポリリン酸エステルの合成が中国の研究グループによって続けられている<sup>159</sup>。また、ポリ(エステルヒドラジド)がリパーゼ触媒重合により合成されており、このものは37°Cでリパーゼにより生分解されることが報告されている<sup>160</sup>。

その他、プロセスに関するものでは、酵素重合法における重合温度をガラスビーズに PPL を固定化することで180°C、240時間使用後も活性が低下することなくリサイクルが可能であることが報告されている。酵素の耐熱性とリサイクル性を高めることが実用化に向けて避けて通れない問題と思われる<sup>161</sup>。最近のリパーゼ触媒重合の類例からもわかるように、今後はオキシエステル結合以外でも酵素触媒重合は大きな展開が見られるものと期待されている。

循環型社会をめざして、枯渇性化石資源から再生可能資源を活用する化学工業体系を構築することが求められている。このために酵素及び固体酸など環境低負荷型触媒によるグリーンプラスチック合成とケミカルリサイクル技術の開発がこれらの課題に寄与できるものと考えられている。

<sup>150</sup> C.J.Thompson, et al. : J. Microencapsulation, Vol.23, p.213 (2006)

<sup>151</sup> Y.K.Feng et al. : J. Polym. Sci. Part A-Polym. Chem., Vol.43, p.3030 (2005)

<sup>152</sup> R.K.Srivastava et al. : J. Polym. Sci. Part A-Polym. Chem., Vol.43, p.4206 (2005)

<sup>153</sup> F.He, S.M.Li, et al. : Polymer, Vol.46, p.12682 (2005)

<sup>154</sup> A.R.Kelly, et al. : J. Appl. Polym. Sci., Vol.101, p.1646 (2006)

<sup>155</sup> J.W.Peeters, et al. : Macromol. Rapid. Commun., Vol.26, p.684 (2005)

•K.Sha, et al. : Polym. Bull., Vol.54, p.1(2005)

•K. Sha, et al. : Polym. Bull., Vol.55(5), p.349 (2005)

•S.Ke, et al. : Chem. J.Chinese Univ.-Chinese, Vol.27, p.985 (2006)

•K. Sha, et al. : J. Polym. Sci. Part A-Polym. Chem., Vol.44, p.3393 (2006)

<sup>156</sup> S.Villarroya, et al. : Macromolecules, Vol.39(2), p.633 (2006)

<sup>157</sup> T.Nakaoki, et al. : Polymer Biocatalysis and Biomaterials, ACS Symposium Ser., Vol.900, p.393 (2005)

<sup>158</sup> R.Marcilla, et al. : Europ. Polym. J., Vol.42, p.1215 (2006)

<sup>159</sup> J.Feng, et al. : Chem. J.Chinese Univ.-Chinese, Vol.27, p.567 (2006)

<sup>160</sup> G.Metral, et al. : Macromol. Rapid. Commun., Vol.26, p.1330 (2005)

<sup>161</sup> X.Y.Wang, et al. : Chem. J. Chinese Univ.-Chinese, Vol.27, p.982 (2006)

#### 4.3.4 高性能ポリマーの創製

石油化学工業の発展にともない、数多くの優れた性能と機能を持つ合成高分子が生まれ出されてきた。現在、石油、天然ガスを原料として合成高分子は、全世界で約1.5億tが生産されている。これら合成高分子は様々な分野で使用され、現代社会の中で欠くことのできないものとなっている。

資源の有効利用を考えるうえで、再生可能な生物有機資源（バイオマス）を原料としたバイオベースポリマー生産システムの構築が強く望まれている。コハク酸やアジピン酸などの脂肪族ジカルボン酸や乳酸などの脂肪族ヒドロキシカルボン酸およびアラニンなどのアミノ酸は生物の炭素循環サイクルにおける中間代謝物として合成されることから、これら生物有機酸を原料としたバイオベースポリマーを創製することは極めて重要な課題と考えられる。

既に、乳酸を原料として合成されたポリ乳酸や原料の一部としてコハク酸を用いたポリエステルなどの脂肪族ポリエステルがバイオベースポリマー材料として開発されてきている。しかしながら、これら脂肪族ポリエステルの大半は融点が低いという耐熱性や熔融粘度が低いという加熱成形性など実用化に向けて克服すべき問題点を残している。また、上述の通り高分子材料は様々な分野で使用され、その要求性能も多岐にわたっている。そのため、合目的な性能を充分に発揮できる高性能な新規バイオベースポリマーの創製が望まれている。

天然高分子および合成高分子のいずれにおいても、分子鎖中に二種類以上のモノマーを構成単位とする共重合体がつくられている。共重合体は、その組成や連鎖構造によって多様な性質を示し、用途に応じた性能・機能をコントロールできるという点において有用である。天然高分子の構造と機能の相関に着目すると、ある規則的な分子配列を形成することによって、特徴的な性能・機能が発現されていることが知られている。すなわち、精密に規則正しく配列された分子の連鎖構造により、材料のナノ構造が制御されていると判断できる。

しかしながら、合成高分子における共重合体は、ランダムあるいは統計的にある配列で連鎖したものがほとんどである。天然高分子における規則正しい連鎖構造による材料のナノ構造制御をモデルとして、規則的な周期連鎖構造を合成高分子に導入し、より高性能・高機能な新規高分子材料が創製することは非常に重要な研究課題である。

生物有機酸を原料とし、規則的な周期連鎖構造を導入した新規バイオベースポリマーの合成について、以下にポイントとなる図表を示す（図 4.3.25～図 4.3.31）。

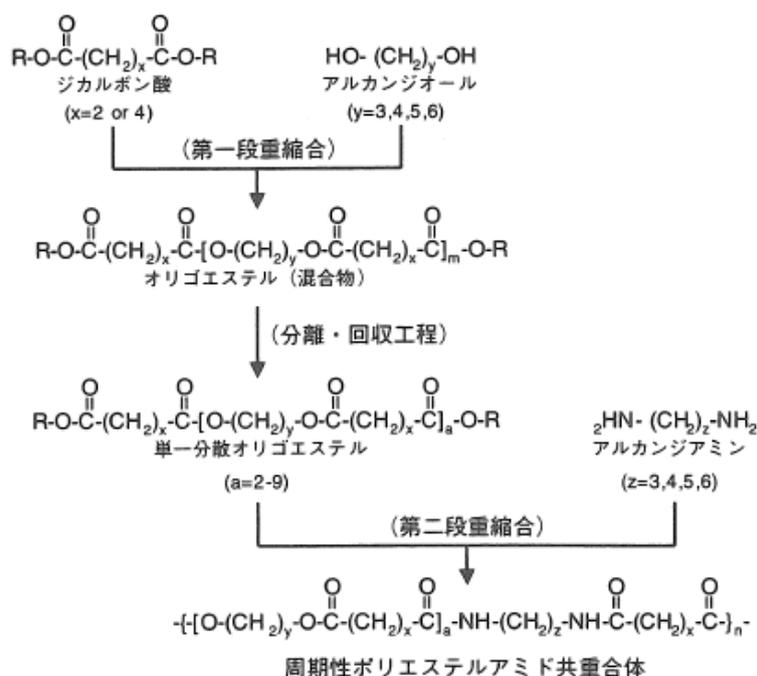
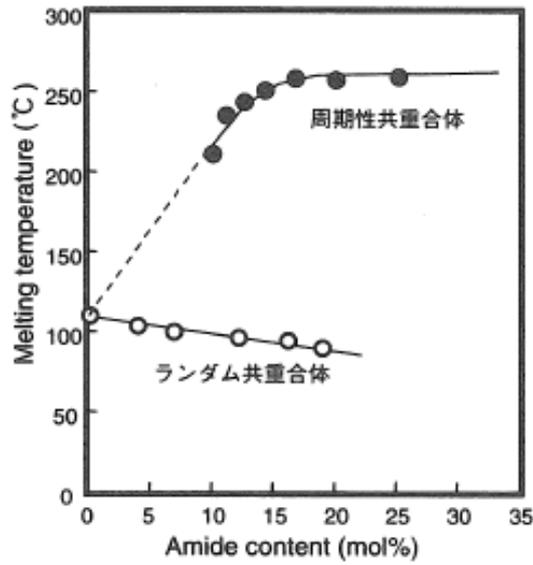
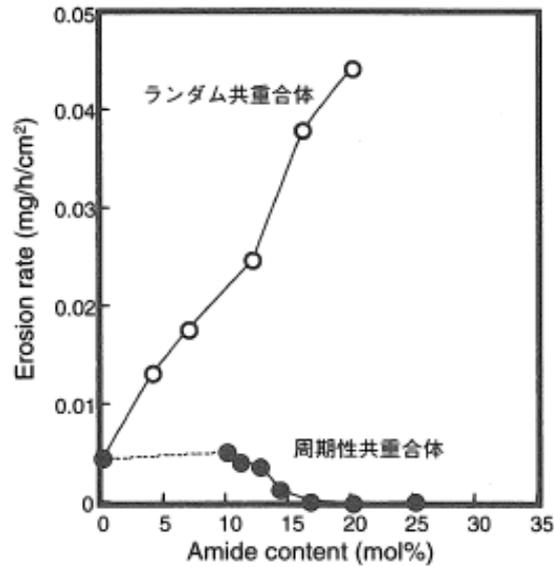


図 4.3.25 脂肪族ジカルボン酸／ジオール／ジアミンからの周期性ポリエステルアミド共重合体の合成



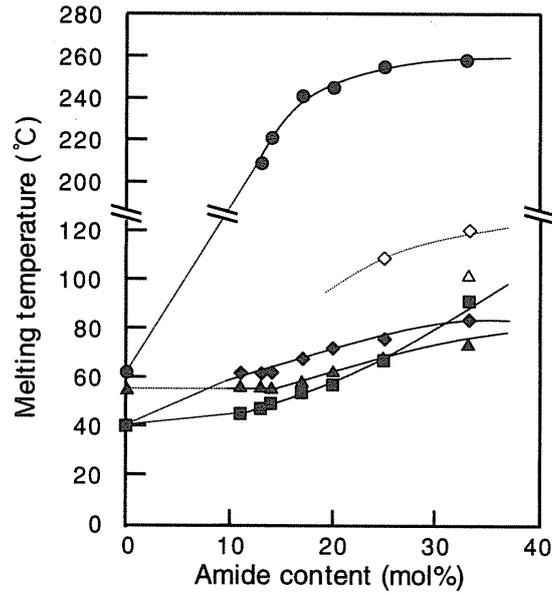
(●) 周期性共重合体, (○) ランダム共重合体

図 4.3.26 コハク酸/1,4-ブタンジオール/1,4-ブタンジアミンからなる  
ポリエステルアミド共重合体の融解温度



(●) 周期性共重合体, (○) ランダム共重合体

図 4.3.27 コハク酸/1,4-ブタンジオール/1,4-ブタンジアミンからなる  
ポリエステルアミド共重合体のリパーゼによる酵素分解速度  
(37°C、pH7.4、*Chromobacterium viscosum* リパーゼ)



ジオール成分：(◆) 1,3-プロパンジオール, (●) 1,4-ブタンジオール,  
 (▲) 1,5-ペンタンジオール, (■) 1,6-ヘキサンジオール。

図 4.3.28 アジピン酸/ジオール/1,4-ブタンジアミンからなる  
 周期性ポリエステルアミド共重合体の融解温度

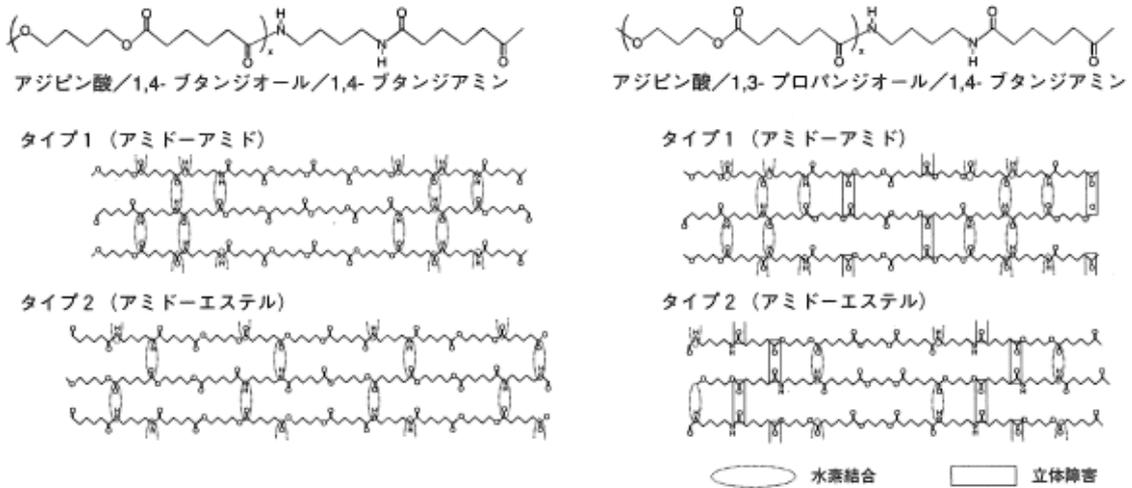


図 4.3.29 ジピン酸/ジオール/1,4-ブタンジアミンからなる  
 周期性ポリエステルアミド共重合体の分子鎖相互作用形成モデル

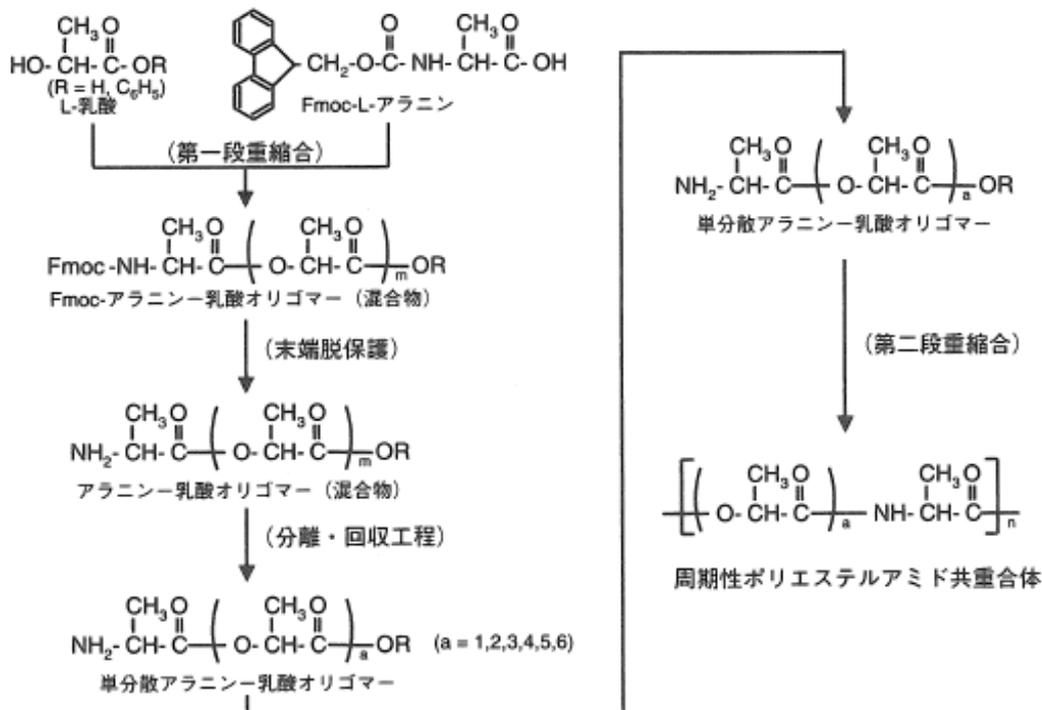


図 4.3.30 脂肪族ヒドロキシカルボン酸／アミノ酸からの周期性ポリエステルアミド共重合体の合成

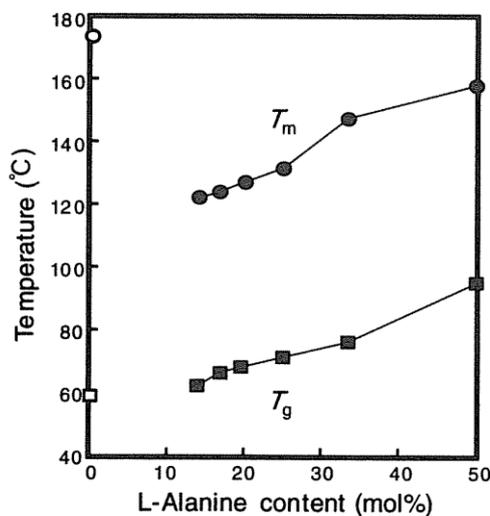


図 4.3.31 L-乳酸／L-アラニンからなる周期性ポリエステルアミド共重合体の融解温度(T<sub>m</sub>)とガラス転移温度(T<sub>g</sub>)

原料を枯渇性である化石資源から、再生可能な生物有機資源に求め、その効率的利用を計ることは、持続可能な高分子材料生産システムの構築の上で重要である。多岐多様にわたる高分子材料の利用分野においてバイオベースポリマーが利用されるためには、合目的な性能を発揮できる高性能なバイオベースポリマーの創製が今後とも益々必要とされる。共重合体の分子連鎖構造を秩序的に精密に制御する分子設計法が、高性能あるいは高機能な新規バイオベースポリマーの創製に向けた新たな技術革新につながることを期待されている。

### 4.3.5 易リサイクル性高分子

バイオベース材料は、植物により固定化された二酸化炭素に由来するため、廃棄後に焼却しても生分解処理しても循環の環がつながる生来の循環材料である。しかし、この場合も新品の製造には相応のエネルギーが必要であり、環境負荷も生じる。新品製造よりも環境負荷の小さいリサイクル方法があるならば、積極的にリサイクルすべきである。

現在、プラスチックのリサイクル手法としては多種多様なプロセスが採用されている<sup>162</sup>。プラスチックは化学的に非常に安定で、添加剤や多種類の樹脂の混合物として使用されていることが多いため、その再生は容易ではない。しかも、新品が石油から低コストかつ低環境負荷なプロセスで製造されているため、環境負荷の面からも経済性からもプラスチックを再生するメリットを見出しにくい。そこで、高分子量を保ったままの再生（マテリアルリサイクル）やモノマー化（ケミカルリサイクル）など、プラスチックを再生するプロセスのほか、焼却熱の利用（エネルギー回収＝サーマルリサイクル）や樹脂用途以外の化学原料化（ケミカルリサイクル）など、物質循環の環は閉じていないが省化石資源効果の見込める有効利用もリサイクル手法として位置づけ<sup>163</sup>、プラスチックの再生にこだわらずに、経済性や環境効率を総合的に判断して最も有効な利用法を選択することが行われている。とはいえ、低環境負荷プロセスを開発し、廃棄プラスチックはプラスチックへと再生して繰り返し利用して、エネルギー回収はカスケード利用の終着点とすることが望ましいとされる。

これまで、プラスチックリサイクルの研究開発は既存プラスチックの再利用法の検討を中心に行われてきた。既存のプラスチックは使用中の有用性や信頼性を最優先に材料設計されており、リサイクル性や循環型材料の観点からは最適化されていないため、リサイクルには上述のような困難をとまなう。そこで、リサイクル性を優先した分子設計を行い、可逆反応性部位を持つマクロモノマーを利用した易リサイクル性高分子に関する研究が進められている<sup>164</sup>（参考：図 4.3.32～図 4.3.36、表 4.3.5）。

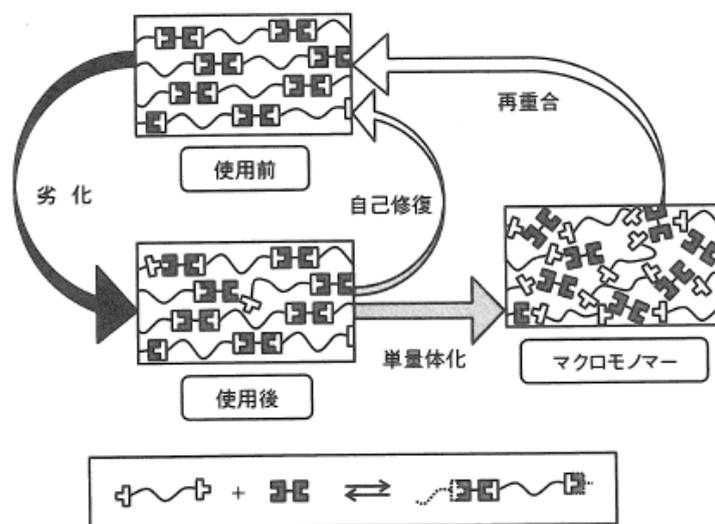


図 4.3.32 易リサイクル性高分子のリサイクルの模式図

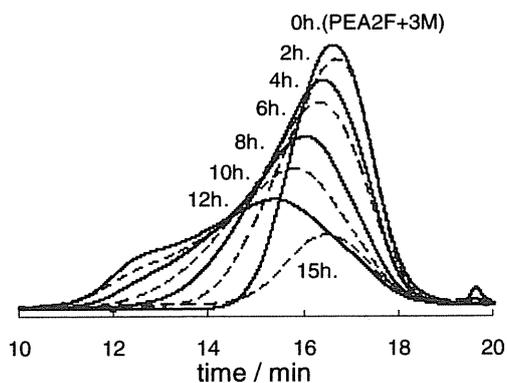
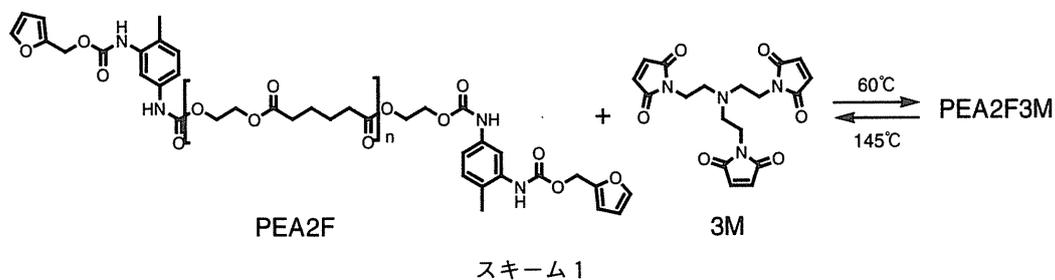
<sup>162</sup> プラスチック処理促進協会 HP、<http://www.pwmi.or.jp/>

<sup>163</sup> 容器包装リサイクル法で再商品化(リサイクル手法)として認められているのは、サーマルリサイクルのうち、油化、ガス化のみで、単純な焼却熱発電や固形燃料は含まれない。一方、家電リサイクル法と自動車リサイクル法では、担焼却熱発電等、エネルギー回収が広く再商品化として認められている。

<sup>164</sup> M.Watanabe, et al. : Polymer, Vol.47, p.4946-4952(2006)

表 4.3.5 フルフリルアセテートとN-エチルマレイミドの DA 反応生成物

反応温度/°C	反応時間/hour	Endo 体/%	Exo 体/%	解離体/%
室温	5	51	16	33
室温	48	73	22	5
60	5	64	31	5
145	0.33	12	44	44



10-15 時間のデータは生成物のうち溶媒可溶分のものを示す。

図 4.3.33 PEA2F3M の GPC トレースの DA 反応時間依存性

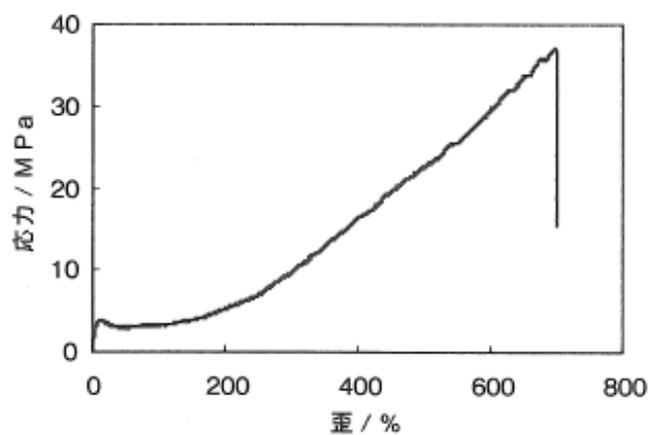
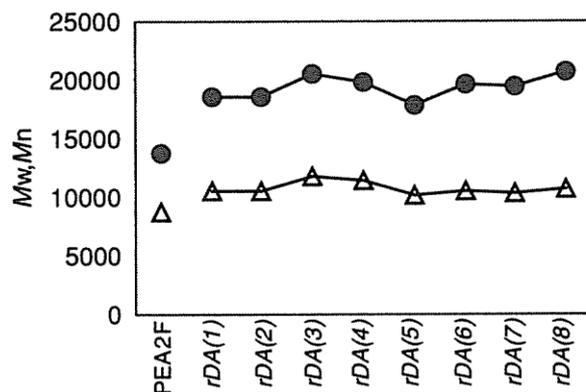


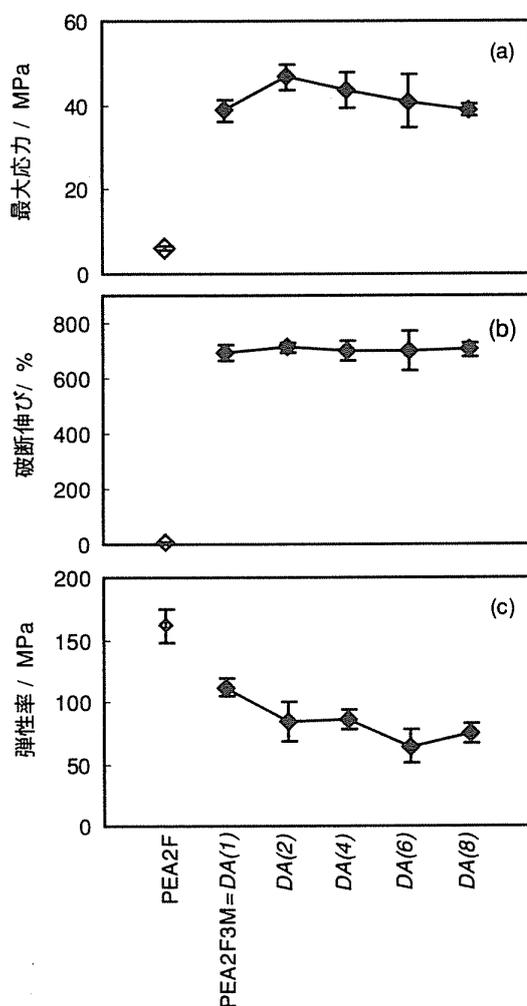
図 4.3.34 PEA2F3M の応力-歪曲線



60°C、15 時間の DA 反応と 145°C、20 分の rDA 反応を 1 サイクルとし、8 サイクルまでのデータを表示した。

(●) 重量平均分子量、(△) 数平均分子量

図 4.3.35 繰り返しの熱サイクル後の解重合生成物(PEA2F と 3M)の分子量変化



原料からの初期重合物を DA(1)とし、145°C、20 分の rDA 反応と 60°C、15 時間の DA 反応の熱サイクルを繰り返した。

(a) 破断強度、(b) 破断伸び、(c) 弾性率

図 4.3.36 繰り返しの熱サイクル後の重合生成物(PEA2F3M)の機械的性質

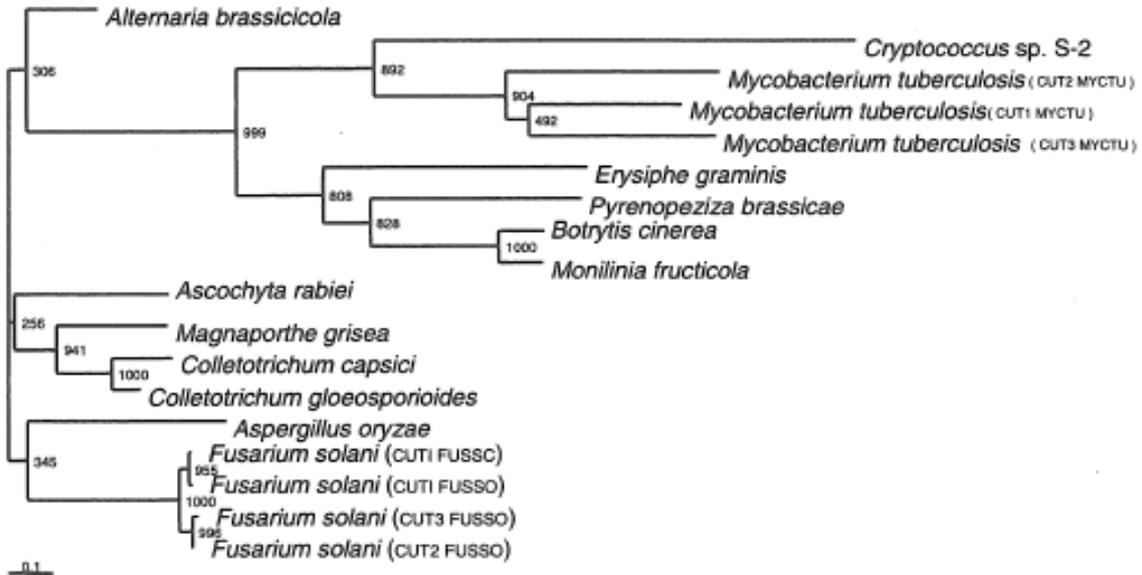
#### 4.3.6 高活性リパーゼによるポリ乳酸分解

生分解性プラスチックは、使用時は従来のプラスチックと同様な性質を示し、使用後は環境中に存在する微生物（それらが生産する酵素）によって分解されることを特徴とする環境循環型のプラスチックである。日本国内では 2000 年 6 月より生分解性プラスチック研究会がグリーンプラスチック識別表示制度を制定し、安全性と生分解性を確認した材料からなるプラスチックをグリーンプラスチック製品と認定し、その普及を図っている。

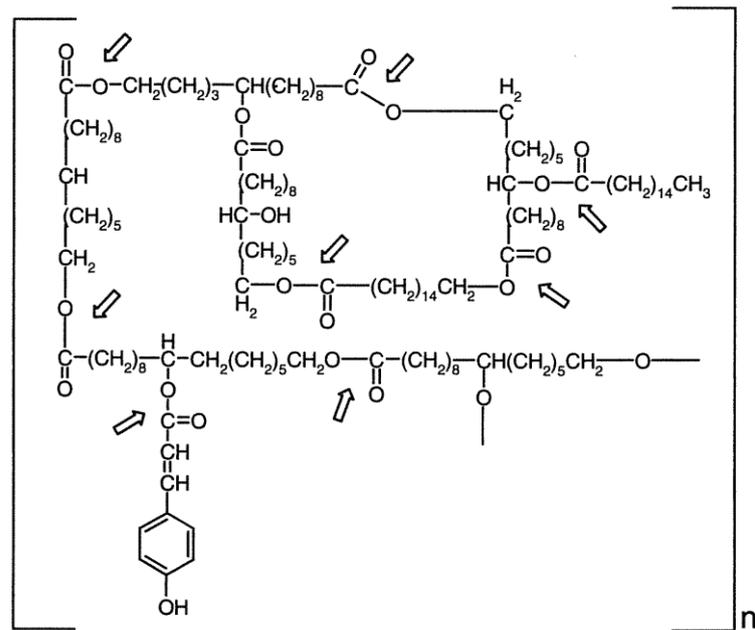
プラスチックの生分解性は、国際標準化機構（ISO）により発効された試験法を受けて JIS 化された試験法（JIS K 6950、6951、6953）での分解試験により評価されている。それら試験法では、例えばコンポスト状態のような高温多湿な条件であることによる非生物的な作用が高分子の分解を促進しているケースもあり、必ずしもそのような分解試験で確認された分解性が一般の土壌などへ埋没させた場合と一致しない場合もある。一般的な“生分解性”という言葉の認識としては、自然界に存在している微生物などが生産する酵素によりプラスチックが分解され低分子化され、最終的には分解産物は生物によって取り込まれ、自然界の循環に組み込まれているという環境循環がイメージされる。標準化された分解試験で分解性が確認されている場合は、従来のプラスチック製品とは異なり確かにそのような分解過程を経る可能性があることを示している。しかし、生分解性であることはすなわちいつでもどこでも分解されやすいということではなく、これまで人間が耐久財として使っていたセルロースなどからなる木材のように、生分解性であるが耐久性もある素材としての生分解性プラスチックという認識が重要である。分解して欲しいときに分解すること、しかもそれが生分解性であることが特徴とされる。

また、最近では生分解性の有無にかかわらずバイオマス由来であることを特徴としたバイオマスプラスチックが二酸化炭素削減に向けてのカーボンニュートラルな素材として注目されている。バイオマスプラスチックは、その材料がバイオマス由来であることを特徴とし、生分解性プラスチックとはその定義が異なるものの、元来バイオマス由来という性質を持つことから、その多くは微生物や酵素によって分解されると考えられている。ポリマー合成の材料については、バイオマスをそのまま加工するものだけでなく再生可能な原材料から醗酵など微生物機能を利用してモノマー成分を生産し、それらを用いて高分子化しているものなどもある。環境循環型プラスチックとしての究極的な形としては、原料はバイオマス由来であり、使用時には分解せず、廃棄もしくはリサイクル等を行う場合のみに分解反応が促進し、分解産物を再度ポリマー原料として回収するか、または環境中を循環する形にしてしまうことができることが望ましい。たとえ生分解性だとしても、使用後環境中に放出するだけで、自然界を循環するといったことは、現代社会にふさわしい形とは言えず、その点においては何か積極的な処理システムを確立させる必要がある。現在のところ使用後の処理については回収システムや処理施設の整備などまだまだ整備不足の段階にある。カーボンニュートラルな素材であれば焼却させてサーマルリサイクルという考え方もものの、生分解性の特長を利用した微生物によるコンポスト化やまたはそれらが生産する酵素を用いたりリサイクルなどバイオプロセスによる解重合技術による廃棄後の循環プロセスについて、今後大いに議論され、循環型社会にふさわしいシステムを確立していくことが期待されている。

現在では天然に存在する高分子を利用したプラスチックのみならず、生分解性や原料に注目した環境循環型のプラスチックが開発されている。それらプラスチックは古代から地球上に存在していたものではなく、近年の技術の発展とともに発案開発されたもので、どの微生物が生産するどの酵素がそれぞれのポリマーの分解に最適なのか分かっていない。バイオ技術によるプラスチックの解重合は、環境にやさしい技術としてプラスチックの開発と同時に開発していく必要がある。しかし、それぞれのポリマーに対して思い通りの分解活性を持つ酵素を探し出すことは簡単ではなく、まして自然界から望みどおりのスペックをもった酵素が存在するかわからない中で、探し当てることは極めて困難となっている。したがって、今のところポリマーを分解する酵素の共通した性質や個々に特異な点などのデータを蓄積し、今後の探求の指標とすることは、現在できる限りにおいては最良の策でもあり、それら蓄積したデータをもとに、使用後の処理までを考えたポリマーのデザインができることが期待されている（参考：図 4.3.37～図 4.3.42、表 4.3.6）。



それぞれの酵素（クチナーゼ）はその由来微生物名で記述している。  
 図 4.3.37 リパーゼ CS2 と既知のクチナーゼ (cutinase) との  
 アミノ酸配列相同性に基づく分子系統樹



矢印はクチナーゼが分解すると思われるエステル結合を示す。

図 4.3.38 クチン分子構造図

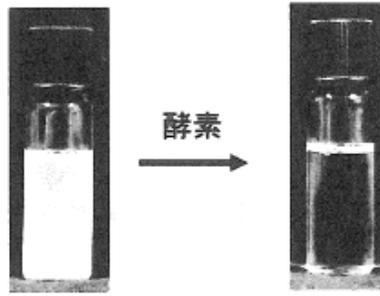


図 4.3.39 プラスチックエマルジョンの分解写真

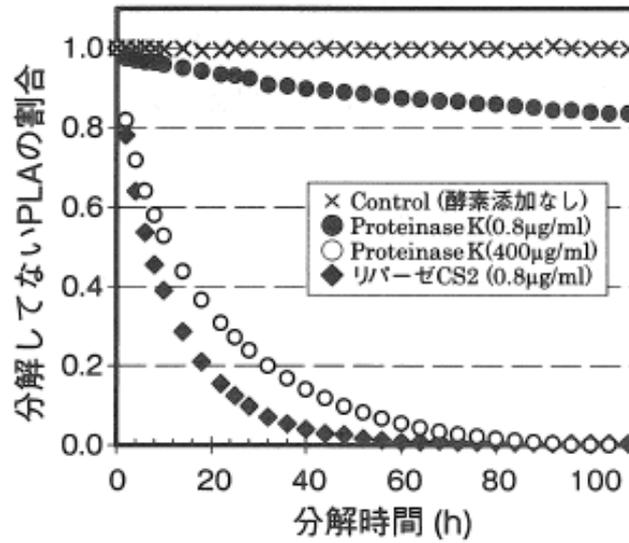
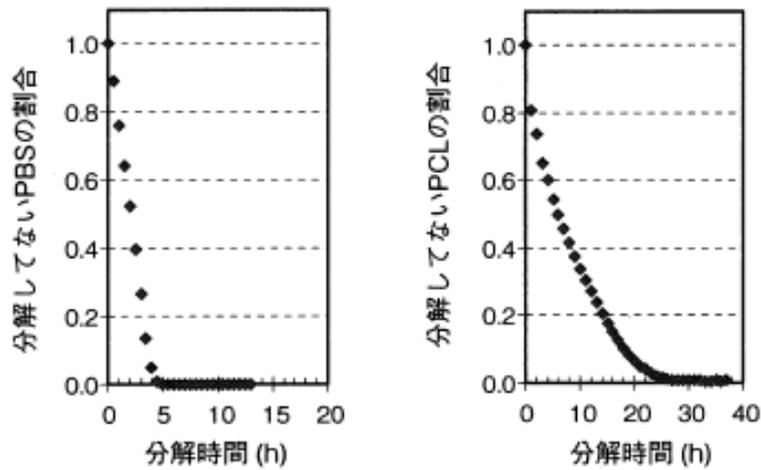


図 4.3.40 PLA エマルジョンの酵素分解



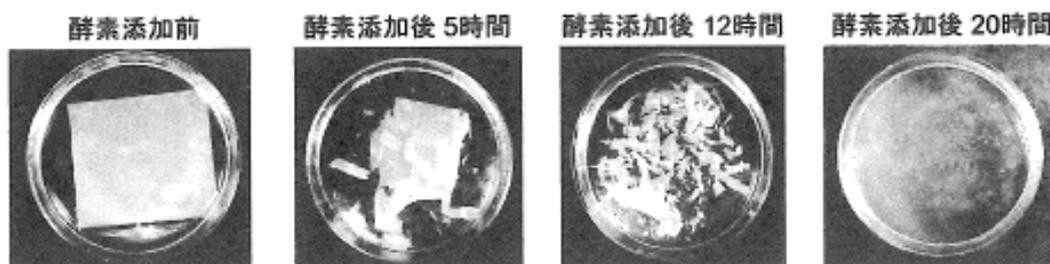
(左) PBS 分解；(右) PCL 分解。酵素濃度は 8ng/ml で使用した。

図 4.3.41 リパーゼ CS2 による PBS、PCL エマルジョンの分解

表 4.3.6 リパーゼ、プロテアーゼによる生分解性プラスチック分解の比較

	酵素濃度 ( $\mu$ g/ml)	PLA	PBS	PCL
<i>Cryptococcus sp.S-2</i> リパーゼ CS2	0.8	○	○	○
<i>Tritirachium album</i> セリンプロテアーゼ Proteinase K リパーゼ (リパーゼ剤)	400	○	×	×
<i>Burkholderia sp.</i>	100	×	×	○
<i>Rhizopus oryzae</i>	100	×	×	○
<i>Candida Antarctica</i>	100	×	×	×
<i>Candida rygosa</i>	100	×	×	×
<i>Mucor javanicus</i>	100	×	×	×
<i>Penicillium roqueforti</i>	100	×	×	×
<i>Aspergillus niger</i>	100	×	×	×

○分解活性あり、×分解活性なし



使用した PBS シートは 10cm×10cm、重量約 0.3 g、厚さ 16 $\mu$  m、分解反応温度 30℃。  
酵素添加 20 時間後にはプラスチックが全て分解され、溶けてしまう。

図 4.3.42 リパーゼ CS2 による PBS シートの分解

ポリ乳酸分解能を有する酵素は、そのアミノ酸配列解析からは、これまでに知られているどの酵素とも高い配列類似性は示さなかった。X 線結晶構造解析の結果からは、局所的なアミノ酸配列の比較結果と同様にクチナーゼやアセチルキシランエステラーゼと近い立体構造を示す。しかしながら、脂肪酸鎖長の異なる *p*-ニトロフェノールエステルに対する基質特異性を調べると、既知のクチナーゼは短鎖脂肪酸エステルに特異的であるのに対し、リパーゼ CS2 は短鎖から中長鎖脂肪酸エステルまで広い基質特異性を示す<sup>165</sup>。

この酵素は当初リパーゼとして見出されたが、ポリ乳酸など代表的な生分解性プラスチックに対する分解触媒活性を持つことが明らかになった。この酵素はそもそもそれらプラスチックを基質としたスクリーニングによって得られた微生物由来ではない。現在、人工的に作られたポリエステルを分解することができる酵素がいくつか見つかっている。それぞれの酵素的特徴を十分理解することで酵素基質としてのプラスチックと酵素の関係が明らかになっていくことが期待される。さまざまなプラスチックをバイオ技術で自由に解重合することができるようになれば環境低負荷型ポリマーとしての価値も大きくなる。

<sup>165</sup> 正木和夫、家藤治幸：バイオサイエンスとインダストリー、Vol. 64、p.330(2006)

## 4.4 応用分野

### 4.4.1 医療用バイオベースマテリアル

ここで取り扱うバイオベースマテリアルの医療用途では、環境調和やゼロエミッションを気にすることはなく、あらゆるエネルギーを惜しみなく注ぎ込んで、最高の性能（治癒効果）と安全性を確保することが目的である。

20年以上ものあいだ、ポリ乳酸（PLA）の応用分野として外科用縫合糸が際だっていた。性能と安全性が達成されれば、高額であっても十分な付加価値としては、認められるからである。

医療分野で用いる場合に"バイオベース"であることは、生体由来だから安心、あるいは、自然環境に存在しているから安心とは限らず、様々な毒素や、ウイルス、プリオンなど、生命を奪う危険性は自然界に多くある。そのような環境の中で、人類は安全なバイオベースマテリアルを選択して医療に利用してきた。

紀元前 5 世紀頃にはエジプトに歯科医がいたようで、このころの義歯らしきものが実際に出土している。我が国においても、江戸時代には実用に耐える木製義歯が存在していた。また、外科用縫合糸として絹糸が利用されたのは 11 世紀のことである。羊腸や牛腸が縫合糸として利用された歴史は古く 1800 年代に優れた滅菌法が開発されて、カットガットと呼ばれる羊や牛の腸の漿膜に撚りをかけた生体吸収性縫合糸が実用されるに至った。まさに、医療用バイオベースマテリアルである。

近年、さまざまなバイオベースの材料を組織再生の足場（スキャホールド）として利用する再生医療が注目を集めている。再生医療で主要な働きをするスキャホールド材料として検討されている生体吸収性材料には、PLA などの化学合成材料や、動物組織そのものを用いる生体スキャホールドがある（参考：図 4.4.1～図 4.4.12、表 4.4.1）。

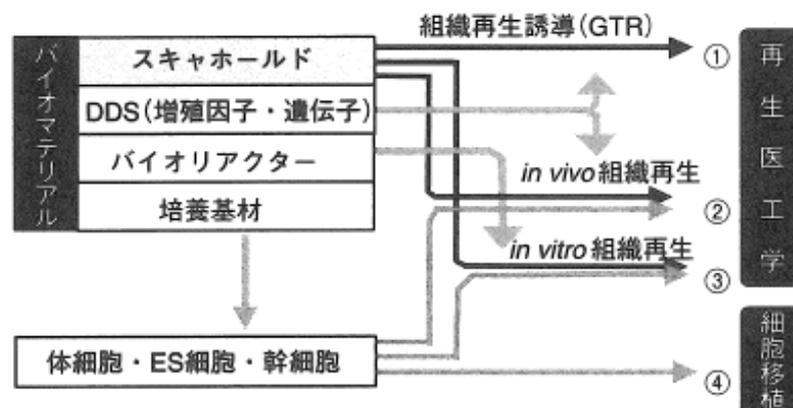


図 4.4.1 再生医療の戦略

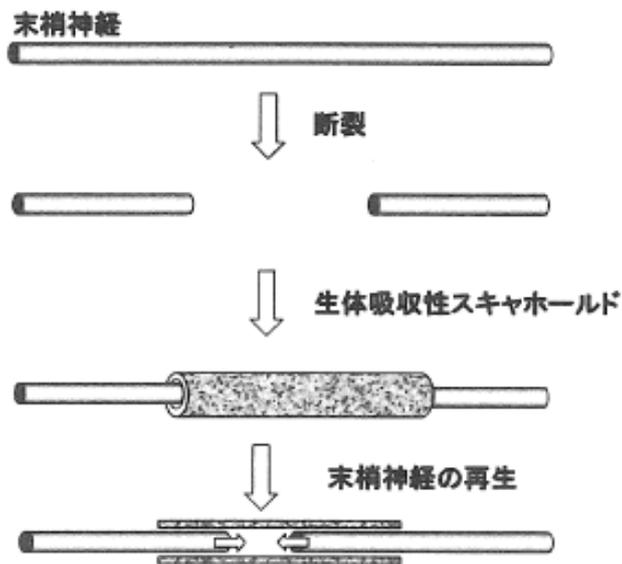


図 4.4.2 GTR による組織再生

表 4.4.1 種々の生分解性高分子

天然高分子	1. 植物産生	1.1 多糖	デンプン・アルギン酸
	2. 動物産生	2.1 多糖	キチン・キトサン・ヒアルロン酸
	3. 微生物産生	2.2. タンパク質	コラーゲン・血漿アルブミン
合成高分子		3.1 ポリエステル	ポリ(3-ヒドロキシアルカノエート)
		3.2 多糖	ヒアルロン酸
	1. 脂肪族ポリエステル	1.1 重縮合系	ポリブチレンサクシネート
		1.2 ポリラクトド類	ポリグリコール酸・ポリ乳酸
		1.3 ポリラクトン類	ポリ(ε-カプロラクトン)
		1.4 その他	ポリブチレンテレフタレート・アジペート
	2. ポリオール		ポリビニルアルコール (低分子量体)
3. ポリカーボネート		ポリエステルカーボネート	
4. その他		ポリ酸無水物・ポリシアノアクリレート	
		ポリオルソエステル・ポリフォスファゼン	

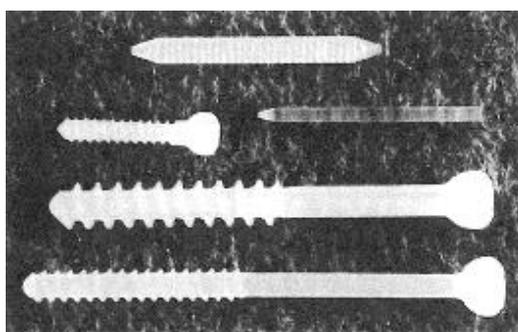


図 4.4.3 ポリ乳酸製骨固定ピン

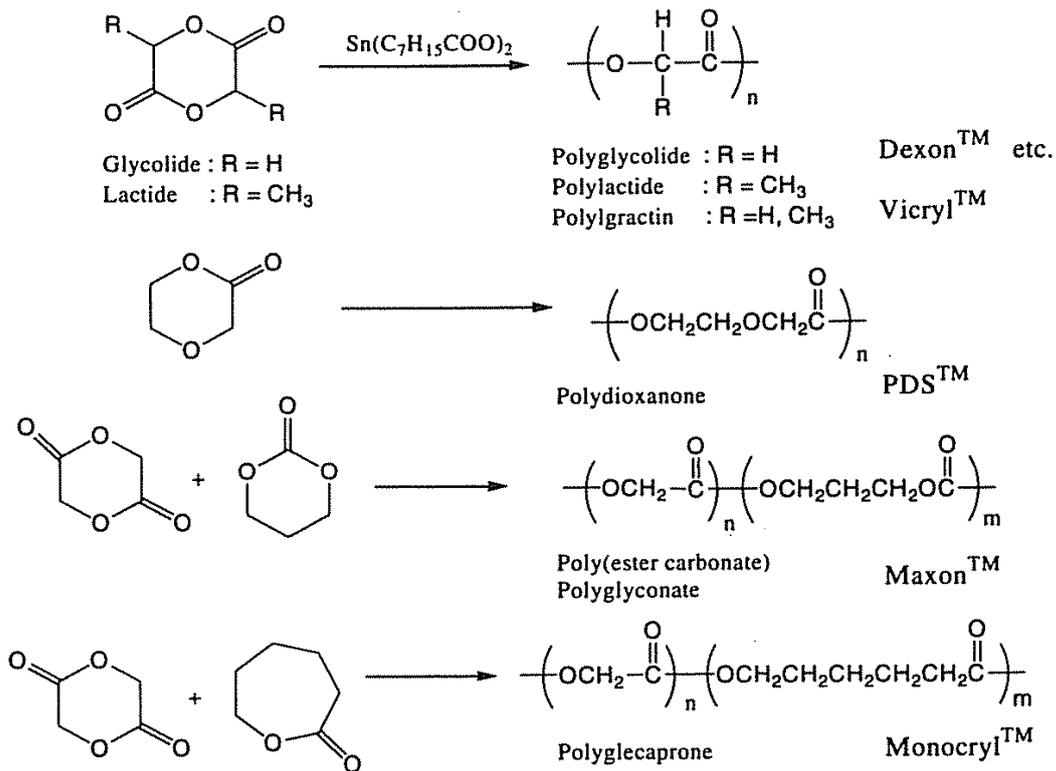
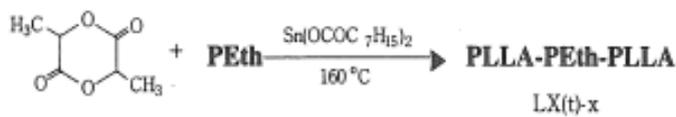
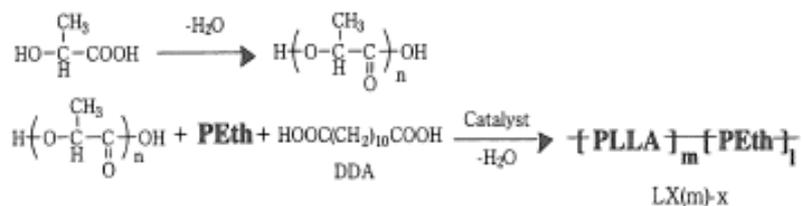


図 4.4.4 様々な外科用縫合糸の構造

Synthesis of Triblock Copolymers



Synthesis of Multiblock Copolymers



<b>PEth :</b>	<b>PEG</b>	$\text{HO}-\left( \text{CH}_2\text{CH}_2\text{O} \right)_x-\text{H}$
	<b>PPG</b>	$\text{HO}-\left( \underset{\text{CH}_3}{\text{CH}_2-\text{CH}-\text{O}} \right)_y-\text{H}$
	<b>Pluronic F68</b>	$\text{HO}-\left( \text{CH}_2\text{CH}_2\text{O} \right)_x \left( \underset{\text{CH}_3}{\text{CH}_2-\text{CH}-\text{O}} \right)_y \left( \text{CH}_2\text{CH}_2\text{O} \right)_x-\text{H}$

図 4.4.5 従来のトリブロック共重合体(上)とマルチブロック共重合体(下)の合成スキーム

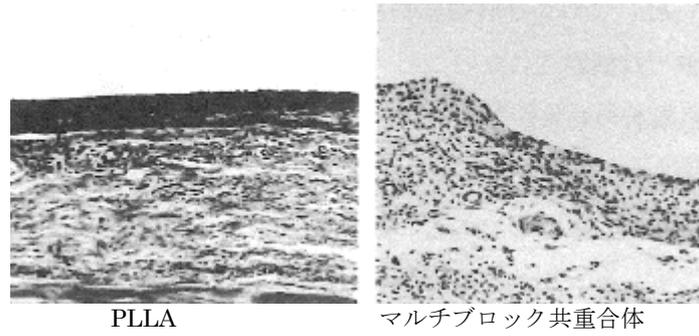


図 4.4.6 ラット皮下 2 週間埋入後の組織反応

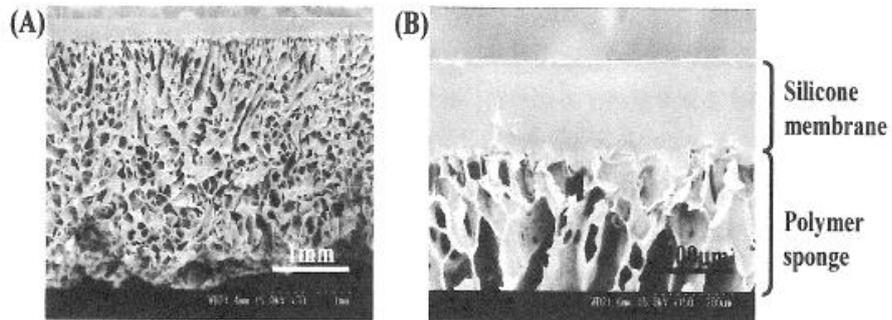
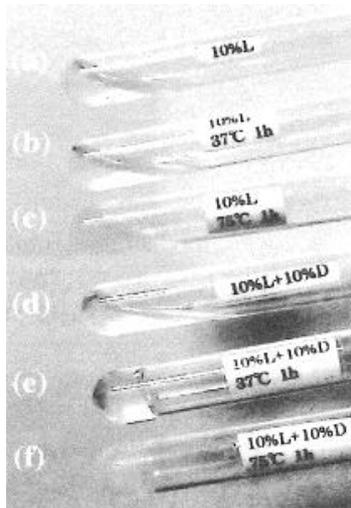


図 4.4.7 マルチブロック共重合体スポンジとシリコン薄膜からなる、完全成型人工皮膚の SEM 写真



L 体ミセル懸濁液(a)は 37 度ではゲル化しない(b)が、L 体・D 体混合ミセル溶液(d)は、ステレオコンプレックス形成に基づいて、37 度でゲル化する(e)

図 4.4.8 L 体ミセル懸濁液と L 体・D 体混合ミセル溶液のゲル化

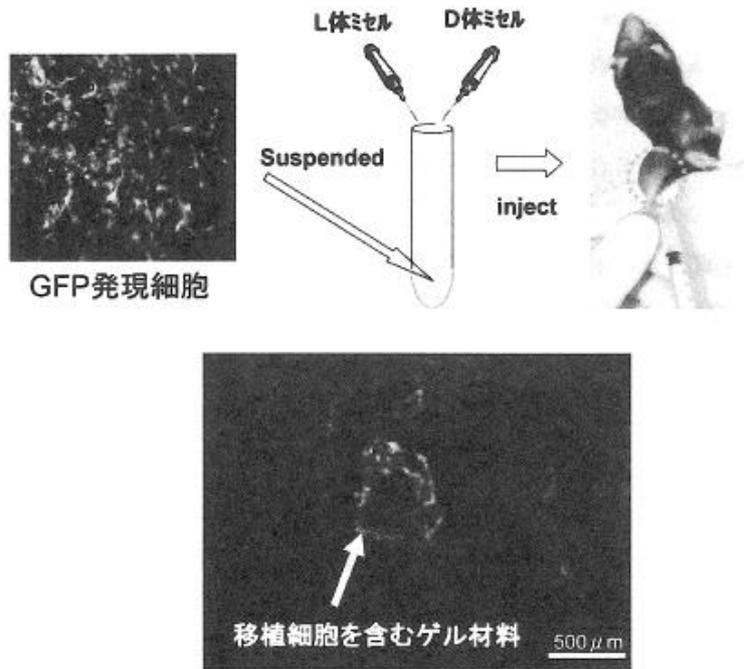


図 4.4.9 緑色蛍光タンパクを発現する細胞の移植実験



図 4.4.10 テーラーメイド型組織移植

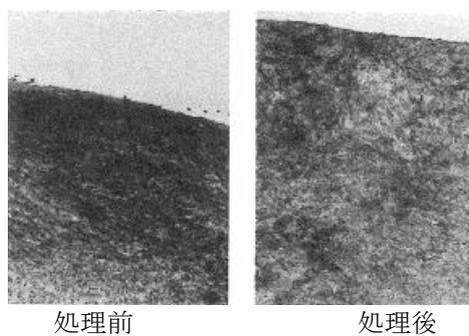


図 4.4.11 ガンマ線照射(10kGy)及び洗浄処理によって脱細胞化したブタ心臓弁組織

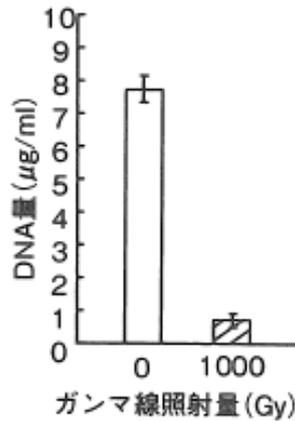


図 4.4.12 ガンマ線照射及び洗浄処理によって細胞を除去したブタ血管組織の残存 DNA 量

生体由来の物質の高い機能性は、これまでに生分解性と分解生成物の安全性が確認されてきた PLA や PGA のみならず、大きな可能性を有している。今後も、様々な合成手技や化学修飾法を開発することで、その機能性はさらに向上すると期待される。生物学的に優れた細胞外マトリックスの働きを少しでも再現できる機能性マトリックスにより、今後の組織再生医工学は新たなステージを迎えることとなる。

#### 4.4.2 バイオマス繊維

天然に存在し、再生産可能なバイオマスから得られる繊維材料は次表に示すように大きく 3 種類に分けることができる (図 4.4.13)。

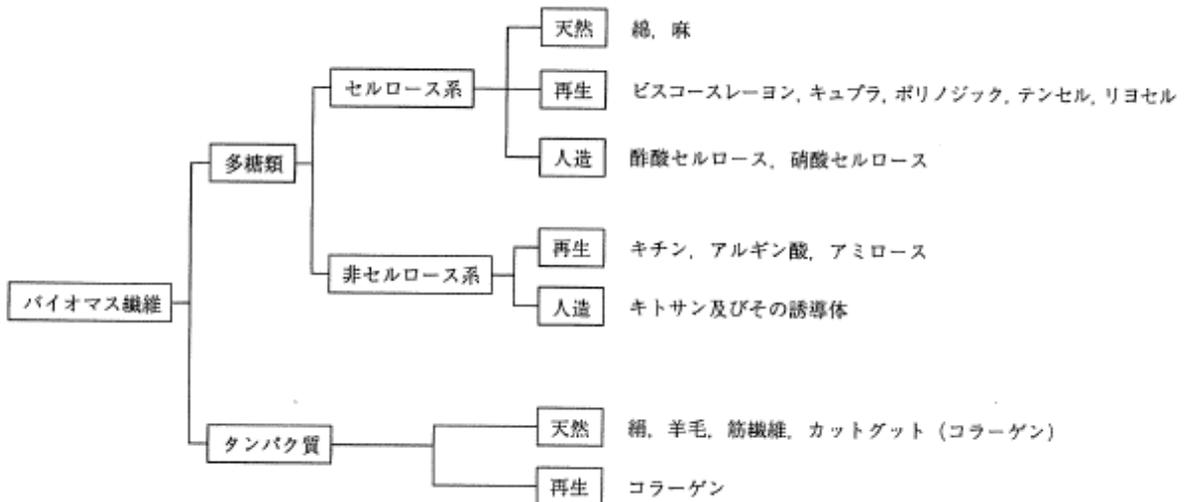


図 4.4.13 バイオマス繊維の分類

第 1 のカテゴリーは天然に繊維状の物質として存在するバイオマスであり、そのままあるいは加工後に天然繊維として用いられる。綿、麻、羊毛、絹は 4 大天然繊維として太古より現在に至るまで使用されている。第 2 のカテゴリーは、バイオマスを構成する高分子を液化した後、紡糸することにより得られる再生繊維である。第 3 のカテゴリーは、バイオマスを成形が容易な構造に化学修飾し、これを繊維化したいわゆる人造繊維である。第 2 カテゴリーに属するビスコースレーヨン、キュプラ、第 3 カテゴリーに属するアセテート繊維、硝酸セルロース繊維はすでに 19 世紀後半に開発されている。以下では、第 2、第 3 カテゴリーに属するバイオマス繊維のうち、キチン・キトサン繊維、アルギン酸繊維、デンプン (アミロース) 繊維についてのポイントを示す (参考: 図 4.4.14~図 4.4.21、表 4.4.2~表 4.4.4)。

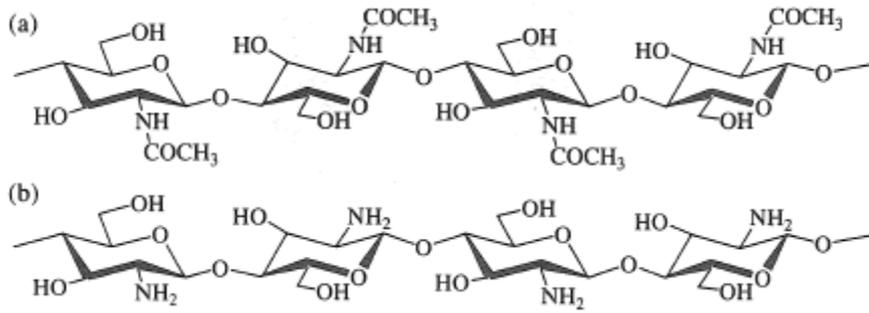


図 4.4.14 キチン(a)とキトサン(b)の化学構造

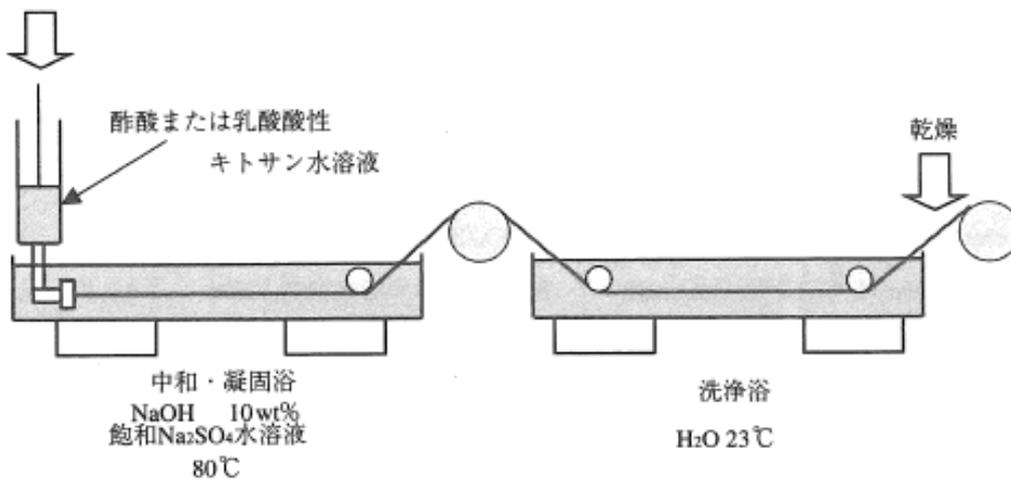


図 4.4.15 キチンとキトサン

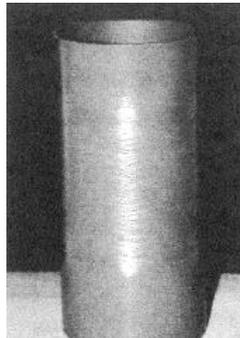
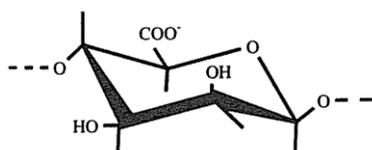


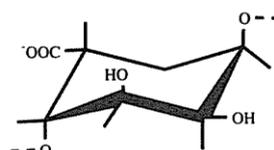
図 4.4.16 湿式紡糸されたキトサン繊維

表 4.4.2 湿式紡糸により得られたキチン、キトサン及びその誘導体繊維

試料	溶媒	凝固浴	繊維度	引張強度	伸び
			d	g/d	%
Chitosan	2% acetic acid	10% NaOH/30% Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	33	1.14	11.6
Chitosan (deacetylation 57%)	2% acetic acid	10% NaOH/30% Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	116	0.74	11.2
Chitin	14% NaOH	10% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /32% Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /1.3% ZnSO <sub>4</sub>	3.75	1.25	8.4
Topocollagen/chitosan (1/1)	2% acetic acid	5% NH <sub>3</sub> /40~43%(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	17.7	1.15	10.9
Silk fibroin/chitin (6/94)	14% NaOH	10% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /40~43%(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	3.24	1.05	8.4
Hyaluronic acid/chitin(32/68)	14% NaOH	10% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /40~43%(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	9.9	0.69	8.6
Heparin/chitin(32/68)	14% NaOH	10% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /40~43%(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4.87	0.48	6.7
Cellulose/chitin(3/97)	14% NaOH	10% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /32% Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /1.3% ZnSO <sub>4</sub>	3.2	1.2	29.8



β-(1,4)-D-マンヌロン酸



α-(1,4)-L-グルロン酸

図 4.4.17 アルギン酸の構成成分

表 4.4.3 アルギン酸各種金属塩繊維の諸物性

	アルギン酸	アルギン酸 カルシウム	アルギン酸 アルミニウム	アルギン酸 クロム	アルギン酸 ベリリウム
金属成分(%)	灰分 0.1	Ca10.38	Al3.30、 Ca5.50	Cr1.53、 Ca8.29	Be2.98、 Ca4.91
比重	1.627	1.779	1.773	1.780	1.735
引張強度 (g/d)	湿度				
	0	2.00	2.18	2.00	2.80
	65	0.50	1.14	0.99	1.56
	100	きわめて弱い	0.29	0.68	1.08
伸度(%)	0	9.7	10.1	5.6	3.9
	65	4.3	14.3	4.2	5.2
	100		25.7	4.5	3.2
吸湿率(%)	63.8		20.4	28.5	29.5
	100		51.9	54.5	61.8
可燃性	難燃性	同左	同左	同左	同左
耐アルカリ性 0.2%Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 30min, 25~40℃	溶解	溶解	1hr で溶解	難溶性	同左

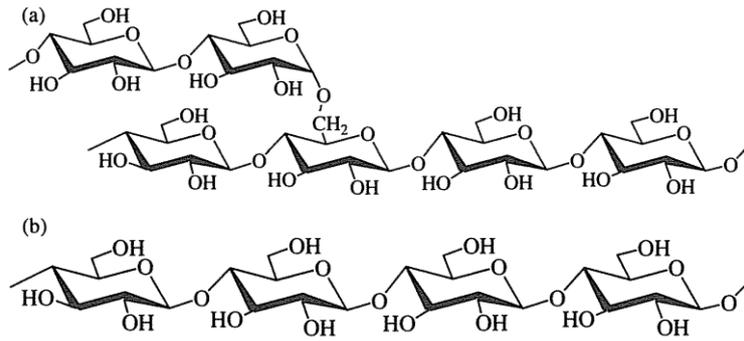


図 4.4.18 アミロペクチン(a)とアミロース(b)の化学構造

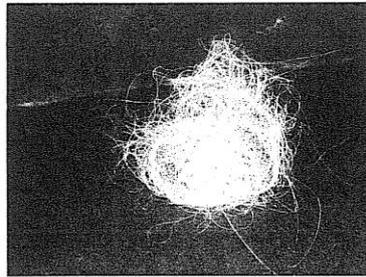


図 4.4.19 高分子 ESA の湿式紡糸繊維

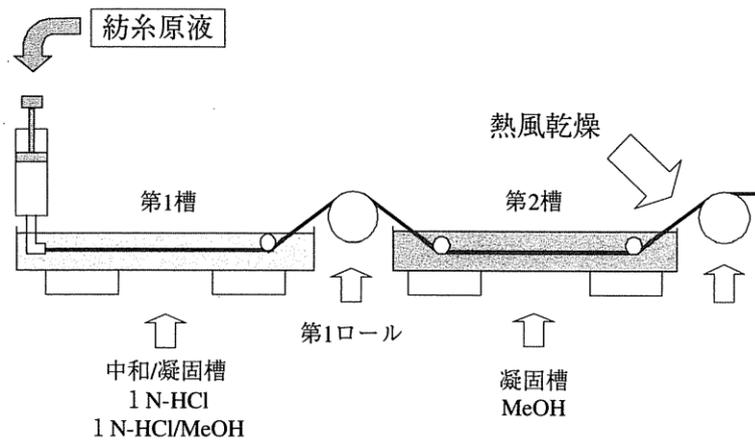


図 4.4.20 中/低分子量 ESA ブレンドの湿式紡糸

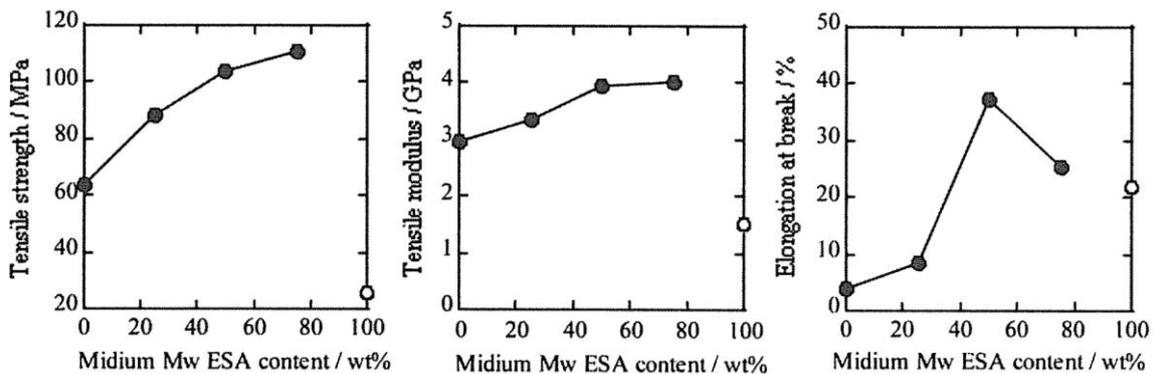


図 4.4.21 中/低分子量 ESA ブレンド湿式紡糸繊維の力学的性質

表 4.4.4 低分子量 ESA ブレンド濃厚溶液の湿式紡糸の結果

Low Mw/Medium Mw	①	②	③
100/0	×	×	○
Max. take up speed	—	—	2.8m/min
75/25	○	○	×
Max. take up speed	8.5m/min	5.7m/min	—
50/50	○	○	×
Max. take up speed	7.5m/min	5.7m/min	—
25/75	○	○	×
Max. take up speed	6.4m/min	2.8m/min	—
0/100	○	×	×
Max. take up speed	5.7m/min	—	—

○ : Spinnable、× : Unspinnable

Solvent	Neutralization/ Solidification bath	Solidification bath
① 1N-NaOH	1N-HCl/	MeOH
② 1N-NaOH	1N-Hcl/MeOH (25%)	MeOH
③ 1N-NaOH	1N-Hcl/MeOH (75%)	MeOH

#### 4.4.3 自動車部品

20 世紀は、大量生産、大量消費型社会であったため、現在、化石資源が大量に消費され CO<sub>2</sub> 排出量が急激に増加し、地球温暖化を引き起こしていることが問題視されている。その反省のため 21 世紀では、化石資源の一方的排出型社会から、持続的発展のための循環型社会への転換が必須である。自動車産業も、大量生産の恩恵を受けて発達してきており、今後も中国東欧市場の拡大により増加が予測されている。

そのため、近年では、燃料電池、ハイブリット車の研究開発やバイオマス由来燃料（エタノール、バイオディーゼル）の利用といった地球環境に優しい技術の開発が活発である。自動車に使用されているプラスチック材料についても上記観点より、植物を中心とする再生可能資源からなるバイオベースの材料による製品開発が活発化しつつある（参考：図 4.4.22～図 4.4.28、表 4.4.5）。

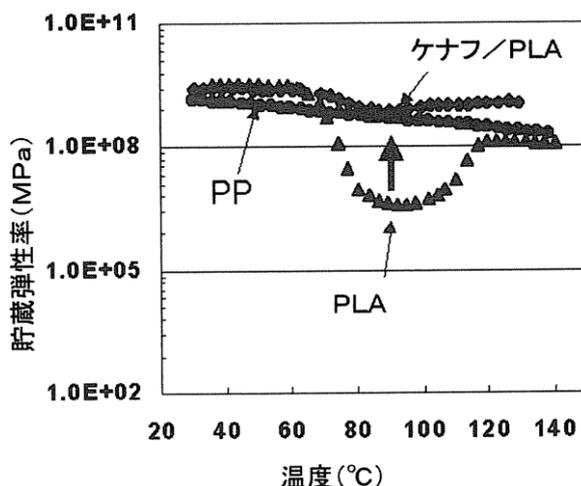


図 4.4.22 ケナフ/PLA 複合材の耐熱性

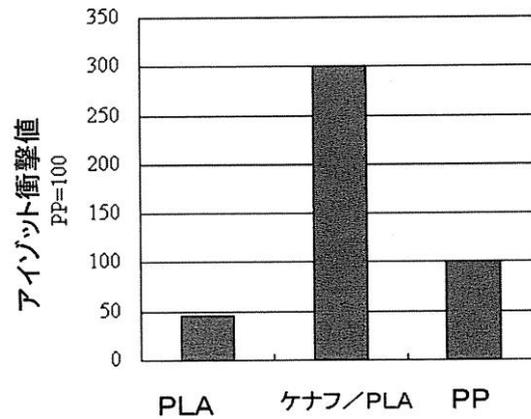


図 4.4.23 ケナフ/PLA 複合材の耐衝撃性

表 4.4.5 ケナフ/PLA 複合材の軽量化効果

	ケナフ/PLA	PLA	PP
比重	75	134	100
曲げ弾性率	290	350	100
軽量化効果 (等剛性比較)	51	—	100

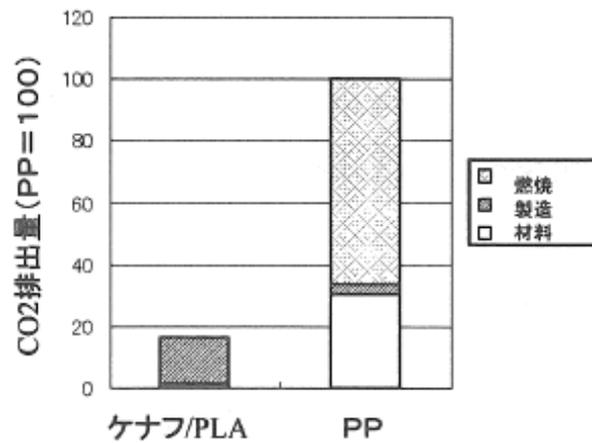


図 4.4.24 ケナフ/PLA 複合材の CO<sub>2</sub> 削減効果

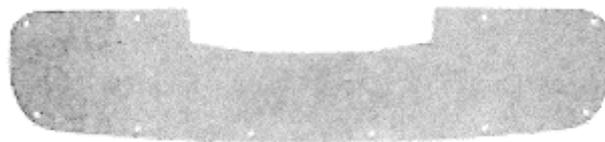


図 4.4.25 PBS/竹繊維複合内装部材



図 4.4.26 オール植物由来材料コンセプトカー

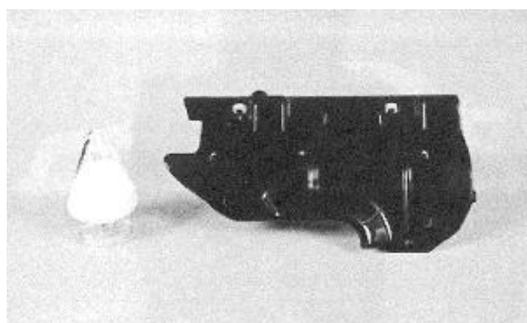


図 4.4.27 射出成形内装部品



図 4.4.28 フロアマット(左)とシート表皮(右)

地球温暖化や石油資源の枯渇の問題、原油価格の高騰などの観点から、植物を用いたバイオプラスチックは、よりいっそう重要になってきている。自動車部品への搭載は、性能、コスト面で非常に高いハードルであるが、循環型社会の実現へ向けた、企業の環境への取り組み意識の向上などから、実用化に向けた開発が着実に進んできている。今後は、今以上に原材料メーカー、部品メーカー、完成車メーカーが一体となり、自動車産業はもとより全産業が協力し、現在の推進スピードをさらに加速し、循環型社会実現を推し進めていくことが求められている。

#### 4.4.4 光、電子材料

高分子の多くは、炭素原子を中心とする一分子を単位として、それが共有結合であたかも一本の糸のように長くつらなった構造体（高分子鎖とか分子鎖）を示す<sup>166</sup>。この一本の分子鎖が他の分子鎖との共同効果の結果、秩序を持つ構造（結晶）を構成する。もしくは、乱れた構造（非晶）を作る。結晶性が高いとされる高分子は結晶性高分子と特別に呼ばれるが、それでも結晶化度（結晶の体積分率）は通常 50%前後である。

<sup>166</sup> H.Nalwa ed. : Ferroelectric Polymers, Marcel Dekker Inc., New York (1995).

高分子の物性研究、特に高分子フィルム（膜）の物性研究では、結晶性高分子であっても、フィルムは結晶領域と非晶領域が複雑に絡み合った高次構造体を形成している。そのために、高分子結晶の性質とマクロな膜に現れる物理量には一対一の対応が存在しないことがいつも念頭に置かれる<sup>167</sup>。

特に光学特性の研究の場合、非晶領域が複雑に混在する為にマクロな測定量から、高分子結晶の定量的な光学特性を解析することは殆ど不可能である。しかし、最近では、ナノ領域の制御法や解析法の進歩により、ナノ領域のみの物性測定が可能になり、高分子結晶の多彩な物性が見出され始めている。

バイオベースマテリアルとしては従来から、PLLA（図 4.4.29）が注目されてきた。現在ではら旋高分子としてよりは、"環境に優しい高分子"、"トウモロコシからできたプラスチック"、"生分解性高分子"などとして良く知られている<sup>168</sup>。一方で、PLLA は、キラル炭素を含む分子が高分子鎖を形成する。この種類の高分子は、所謂キラル高分子と呼ばれ、その高分子鎖がらせんを描く高分子（らせん高分子、ヘリカルキラルリティを持つ高分子）が示す特異な物性が注目されている（図 4.4.30～図 4.4.33、表 4.4.6～表 4.4.7）。

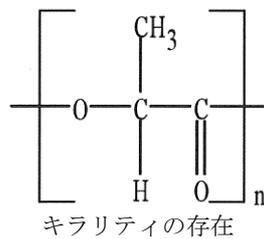


図 4.4.29 PLLA の分子式

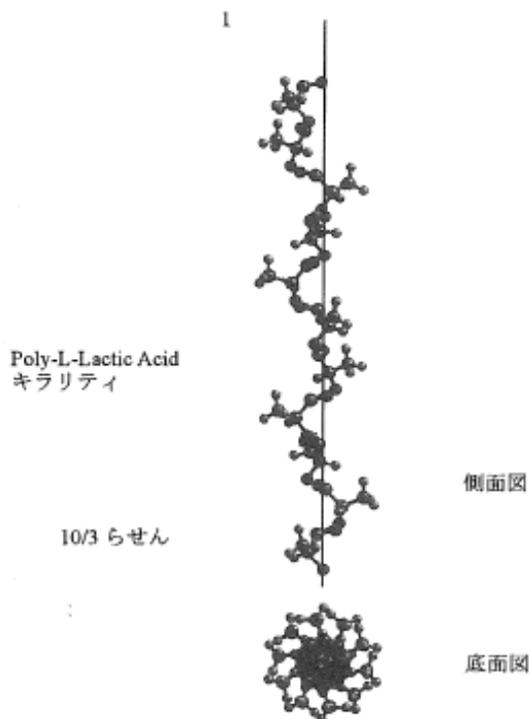


図 4.4.30 PLLA の高分子鎖

<sup>167</sup> E.Fukada : Biorheology , Vol.32, p.593 (1995)

E.Fukada, IEEE Transactions of Ultrasonic, Ferroelectrics, and Frequency Control, Vol.47, p.1277 (2000)

<sup>168</sup> 日本材料学会：地球環境と材料、裳華房(1999)

復義人編：生分解性高分子、高分子刊行会(1994)

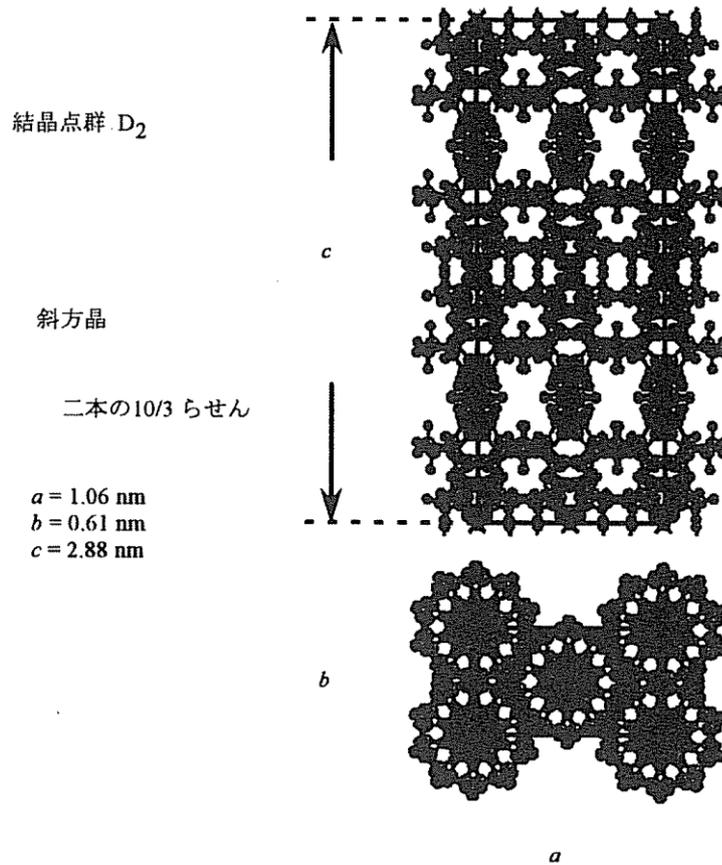


図 4.4.31 PLLA の結晶構造(110)、(001)面への投影図

表 4.4.6 様々な物質の旋光能

(波長 : 632.8nm)

物質	旋光能(° /mm)
PLLA 試料	7200
PDLA 試料	7120
$\alpha$ -水晶 ( $\alpha$ -SiO <sub>2</sub> )	25
AgGaS <sub>2</sub>	720
$\alpha$ -HgS	-300

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & d_{14} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & d_{25} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & d_{36} \end{pmatrix}$$

PLLA 結晶の圧電テンソル

図 4.4.32 PLLA の圧電行列

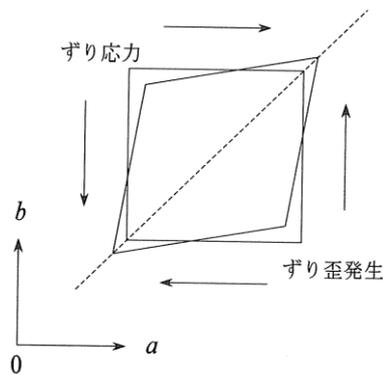


図 4.4.33 ずり応力、ずり歪

表 4.4.7 高分子の圧電性と無機圧電体

物質		圧電率(pC/N)	
ヘリカルキラリティを持つ高分子	ポリ L 乳酸(PLLA)	10~18	
	ポリ γ メチル L グルタメート	3	
	ポリ γ ベンジル L グルタメート	4	
	ポリ γ ベンジル L グルタメート	20	
	酢酸セルロース	0.1	
	ポリ D プロピレンオキシド	0.02	
	骨	0.2	
	腱	2	
	ポーリング型高分子	ナイロン 11	0.26
		ポリフッ化ビニル	1
ポリ塩化ビニル		3.4	
ビニリデンシアナイド酢酸ビニル共重合体		6	
ポリ尿素		5	
強誘電性高分子	ポリフッ化ビニリデン (β 型)	25	
	フッ化ビニリデン-トリフルオロエチレン共重合体(75/25)	40	
無機圧電体	BaTiO <sub>3</sub>	78	
	水晶	2.5	
	PZT	110	
	ZnO	52	
	三硫酸グリジン	50	

PLLA を用いることで、巨大な旋光性など古くから、らせん高分子に予見されてきた特異な物性を具現化できる可能性が示されており、全く新しい高分子機能素子の出現が期待される。PLLA 高分子のらせん構造に基づく巨大な旋光性は素子の小型薄膜化を可能にする。このような応用先として考えられているのは、モバイル型の光情報機器や、圧電性をも加味した小型光アクチュエータなどである。

#### 4.4.5 塗料・インキ・接着バインダー（バイロエコール）

塗料、インキ、接着バインダー樹脂として有用な、機能性ポリ乳酸樹脂（バイロエコール）が開発されている。バイロエコールは、一般的な PLLA に比べ、D-乳酸濃度の高い非晶性ポリ乳酸樹脂を主成分とする共重合系のポリ乳酸樹脂であり、酢酸エチル、メチルエチルケトン、トルエン等の汎用溶剤に対する溶解性が高く、塗料、インキ、接着バインダー樹脂として有用である（表 4.4.8～表 4.4.13、図 4.4.34～図 4.4.38）。

表 4.4.8 ポリ乳酸における D-乳酸濃度と溶剤溶解の関係

D-乳酸濃度	5 モル%未満	5~10 モル%	10 モル%以上
溶剤溶解性	クロロホルム可溶	THF、ジオキサン等に可溶	酢酸エチル、MEK、トルエン等に可溶

(但し、溶解性は、分子量の影響も受ける。本データは分子量 2 万程度のポリ乳酸である。)

表 4.4.9 バイロエコールにおける銘柄と特性

銘柄	分子量 ( $\times 10^3$ )	Tg ( $^{\circ}\text{C}$ )	水酸基 KOHmg/g	特徴、用途
BE-400	43	50	3	基本銘柄。各種コーティング材
BE-410	25	50	5	イオン性基含有。顔料分散性
BE-420	25	50	5	Ca イオン鎖延長
BE-450	25	30	11	蒸着アンカー、易接着コート
BE-910	25	-10	11	ドライラミ接着剤

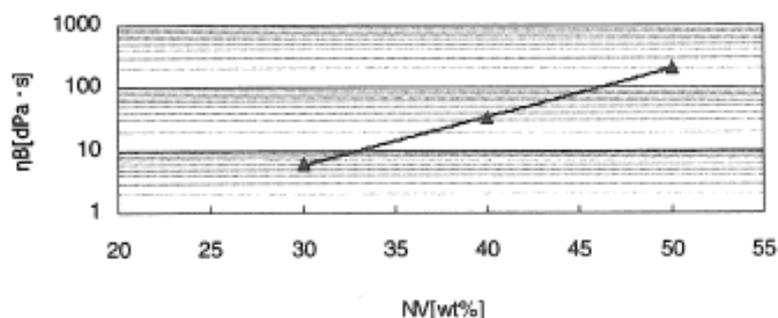


図 4.4.34 BE-400 酢酸エチル溶解品の溶液粘度と固形分濃度の関係

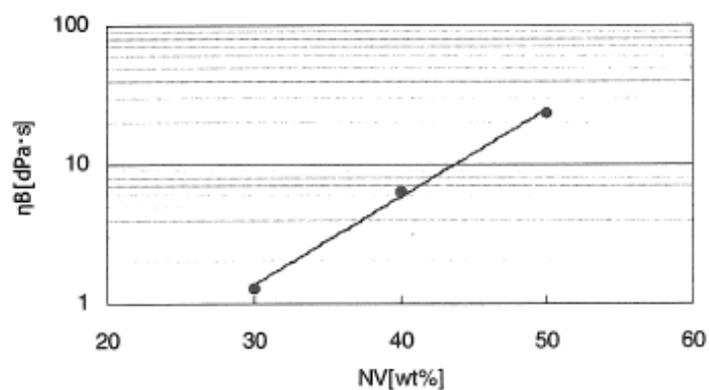


図 4.4.35 BE-450 酢酸エチル溶解品の溶液粘度と固形分濃度の関係

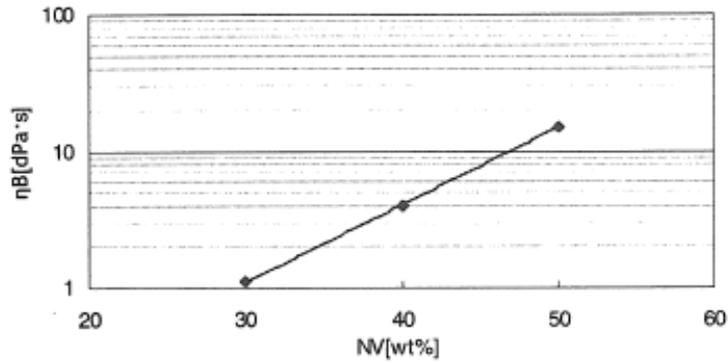


図 4.4.36 BE-910 酢酸エチル溶解品の溶液粘度と固形分解度の関係

表 4.4.10 ポリ乳酸エマルジョンの特性

銘柄	固形分濃度 (wt%)	粒径 ( $\mu\text{m}$ )	pH	溶液粘度 (mPa·s)
BE-400	40	1	2.7	150
BE-450	40	1	2.7	150
BE-910	40	1	2.7	150

表 4.4.11 接着剤としての評価

ヒートシール性評価 (PLA フィルム/接着剤/PLA フィルム)

使用樹脂	膜厚	シール強度 (gf/cm)		
		80°C	100°C	120°C
BE-400	3 $\mu\text{m}$	210	233	200
BE-450	3 $\mu\text{m}$	230	200	170

表 4.4.12 インキとしての評価

ラミネート強度評価 (PLA フィルム/接着剤/PLA フィルム)

使用樹脂	膜厚	硬化剤	接着強度	備考
BE-910	10 $\mu\text{m}$	なし	300gf/cm	
BE-910	10 $\mu\text{m}$	あり	400gf/cm	エージング実施

表 4.4.13 各種材料の接着性評価

使用樹脂	膜厚、塗布量	構成	接着強度
BE-910	10 $\mu\text{m}$	コート紙/接着剤/ PLA フィルム	9N/15mm*
BE-910	10 $\mu\text{m}$		7N/15mm**
BE-910	50g/m <sup>2</sup>	PLA 不織布/接着剤 /PCL フィルム	4.6N/cm*
BE-910	50g/m <sup>2</sup>		10N/cm**

\*硬化剤なし \*\*硬化剤あり



図 4.4.37 接着剤採用事例

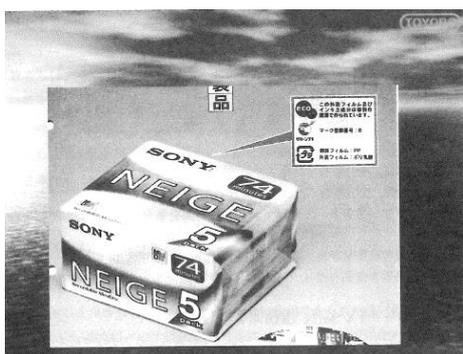


図 4.4.38 グラビアインキ採用事例

バイオエコールは、エマルジョン化も可能であり、水系のバイオマス由来の塗料、インキ、接着剤を提供することもできる。また、熔融粘度が低く顔料分散性が良いという特徴を活かして、ポリL乳酸成型品用途に好適なマスターバッチ用樹脂としての利用も可能である。

バイオマス由来樹脂の中でも特に注目を集めているのが PLLA であり、熱可塑性の結晶性樹脂であることから、PET と同様に繊維化やフィルム化が可能である。

包装材料分野においては、PLLA フィルムが PET、ナイロン、オレフィン系フィルムと並び主要なフィルム材料となる可能性があるが、高性能な包装材料を完成させるには、ポリ乳酸フィルムに適したインキ、接着剤等の副資材も必須の材料となる。特に、食品廃棄物と同時にコンポスト処理を実施する生分解性包装材料の場合は、生分解性を有する副資材を採用しなければ、フィルムが持つ生分解性を十分に発揮できない場合が多く、生分解性があり、かつ、ポリ乳酸フィルムに対して好適なインキ、接着剤の登場が待ち望まれていた。こうした要望に応える副資材として、非晶性のポリ乳酸系樹脂（バイオエコール）が開発されている。

ポリ乳酸フィルム用副資材に加え、成型品用途での各種開発も実施されている。バイオエコールを使用したスクリーンインキは、タンポ印刷により成型品の曲面への印刷も可能である。また、今後普及する可能性がある携帯電話筐体や自動車樹脂部品への適用が可能なポリ乳酸系プラスチック塗料の開発も可能である。

ポリ乳酸系成型品への着色や機能性付与には、着色・機能性マスターバッチが重要であり、バイオエコールは非晶性、低熔融粘度であることから、良好な評価結果が得られている。

今後は、有力なコーティング材メーカーとの共同作業を密接に進めながら、バイオマス由来接着剤、エマルジョン系コーティング材の開発にも取り組まれる。

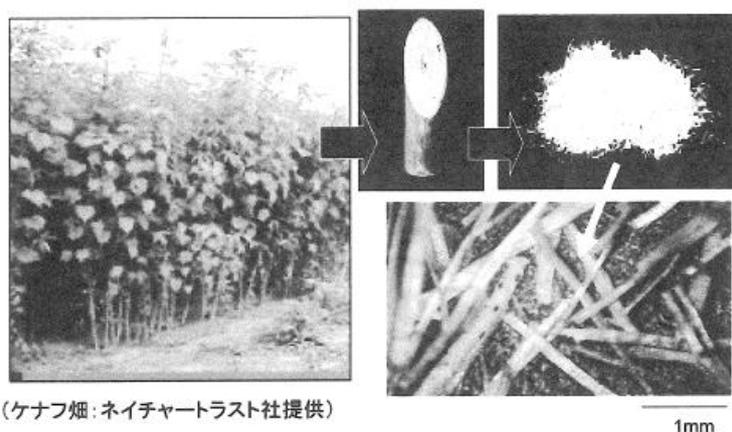
#### 4.4.6 家電、携帯電話

現在、電子機器の環境対策は一層重要となっており、中でもユーザーが直接手を触れる家電・携帯型機器では、外装材の環境訴求性が製品のひとつのアピールポイントになりつつある。このため、これらの機器の外装には、石油資源枯渇対策や温暖化防止対策の解決に寄与できる新しい環境調和素材であるバイオプラスチックの利用が開始されている。

電子機器に使用されるバイオプラスチックとしては、量産が開始され、耐熱性も比較的高いポリ乳酸が、現在最有力である。しかし、電子機器に利用するためには、ポリ乳酸の耐熱性（熱変形温度）、強度（衝撃強度、破断伸び）、さらに成形性（結晶化速度）等の実用性を大幅に改良する必要があった。

ポリ乳酸の特性改良のための従来の処方は、石油原料系のプラスチックや改質剤の大量に添加する技術が主流であり、パソコン等の電子機器用ポリ乳酸で既に実用化されている。しかし、これらの処方ではポリ乳酸本来の植物性（植物成分率）の確保が課題となっていた。

そこで、高い植物性（植物成分率 90%）と安全性を確保しながら、ポリ乳酸を高機能化して携帯電話や家電の外装に使用することを目標に、温暖化防止効果の高いケナフの繊維などの植物成分の添加剤を利用して、耐熱性、強度、成形性などの実用性を改良したケナフ添加ポリ乳酸を開発し、携帯電話用に実用化された。さらに適用範囲を拡大するため、ハロゲンやリンを使用しない難燃性ポリ乳酸も開発された（図 4.4.39～図 4.4.42、表 4.4.14～表 4.4.16）。



(ケナフ畑: ネイチャートラスト社提供)

図 4.4.39 ケナフとケナフ繊維

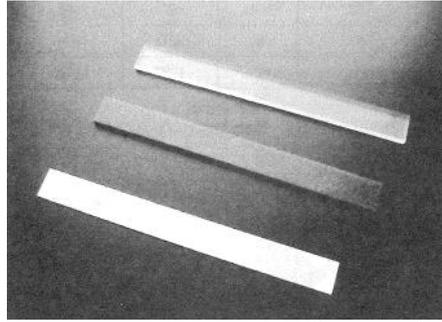
表 4.4.14 ケナフ繊維添加ポリ乳酸の特性

	ポリ*2 乳酸 (PLA)	ポリ乳酸+ ケナフ繊維 (5mm 長以下 に粉砕)	ポリ乳酸+ ケナフ繊維 (5mm 長に切断 =短繊維なし)	ポリ乳酸+ ケナフ繊維 (左記)+柔軟剤*3	ABS	ABS +ガラス繊維 (20wt%)
ケナフ繊維 (wt%)	0	20	20	20		
柔軟剤 (wt%)	0	0	0	20		
アイゾット衝撃強度 (kJ/m <sup>2</sup> )	4.4	3.1	5.5	7.8	19	4.8
熱変形温度 (°C)*1	66	120	109	104	86	100
曲げ弾性率 (GPa)	4.5	7.6	7.1	6.8	2.1	7.3
曲げ強度 (MPa)	132	93	115	72	70	110

\*1 高荷重(1.8MPa)

\*2 分子量(Mw) : 210000

\*3 ポリ乳酸とポリエステル共重合体



ケナフ繊維強化ポリ乳酸

(上：無添加、中：ケナフ繊維添加品、下：着色対策ケナフ繊維＋白色顔料添加品)

図 4.4.40 ポリ乳酸、およびポリ乳酸複合体の成形体

表 4.4.15 携帯電話用ケナフ繊維添加ポリ乳酸複合体の特性

	ISO 試験法	単位	ポリ乳酸*3	携帯電話用 ケナフ添加ポリ 乳酸複合体	従来の石油系 プラスチック (ポ リカーボネート +GF)
ケナフ含有量	—	%	0	>10	0
植物成分率*1	—	%	100	90	0
成形時間*2		Sec	—	50-60	~30
荷重たわみ温度 (荷重 0.45MPa)	75	°C	58	151	150
アイゾット衝撃強度	179	kJ/m <sup>2</sup>	2.7	9.6	10.5
曲げ弾性率	178	GPa	3.4	4.9	3.1
曲げ強度	178	MPa	108	86	93
引張強度	527	MPa	67	49	60
破断伸び	527	%	4.0	6.4	22
比重	1183	g/cm <sup>3</sup>	1.27	1.30	1.27

\*1：無機成分を除いた樹脂成分中の植物性分率

\*2：携帯電話用ポリ乳酸複合体は、型温 105°C (結晶化まで完了=アニールレス)、石油系は 80°C を利用

\*3：ユニチカ製テラマック TE4000

(成形は型温 40°C 約 30 秒 (未結晶状態) で行い、その後 100°C で 4 時間アニールして結晶化してから物性測定)

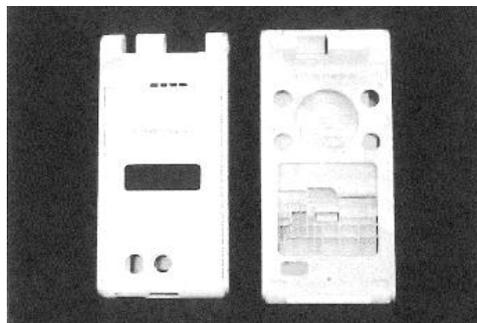


図 4.4.41 ケナフ繊維添加ポリ乳酸複合体の携帯電話

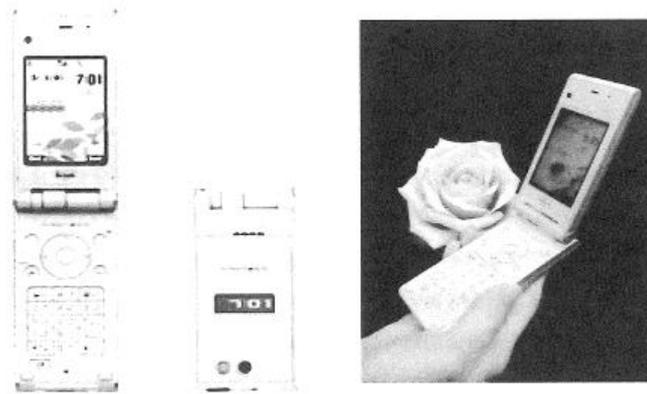


図 4.4.42 ケナフ繊維添加ポリ乳酸複合材の携帯電話

表 4.4.16 難燃性ポリ乳酸の特性

	ポリ乳酸*1 (PLA)	本開発の難燃性ポリ乳酸		ガラス繊維強化 難燃性ポリカー ボネート
		PLA 金属水酸化物 補強用フィラー 炭化剤 結晶核剤	左記 +柔軟剤 +ケナフ繊維 (10%)	
難燃性*2 (UL94/1.6mm)	NOTV-2	5V,V-0	5V,V-0	5V,V-0
アイゾット衝撃強度 (kJ/m <sup>2</sup> )	3.2	4.2	10	5.0
熱変形温度 (°C)*3	65	110	100	137
スパイラルフロー (mm/1mm)	195	120	129	120
曲げ弾性率 (GPa)	4.2	10	11	3.9
曲げ強度 (MPa)	81	81	80	101

\*1 分子量 (Mw) : 148000

\*2 難燃性の良好な順 : 5V>V-0>V-1>V-2>NOTV-2

\*3 高荷重 (1.8MPa)

ポリ乳酸を家電や携帯機器に適用するため、高植物性と安全性に保持しながら特性が改良され、高耐熱・高強度のケナフ繊維添加ポリ乳酸を実用化し、エコ携帯電話の外装に搭載されている。本材料は、植物成分率 90%を保持しながら、携帯電話に必要な耐熱性や衝撃性が実現されている。さらにパソコンなどの家電製品にも適用を拡大するため、土壌成分の一種である安全な金属水酸化物を主として用いた難燃性ポリ乳酸も開発され、従来の環境負荷の高い難燃剤を一切使用せずに難燃性や他の主要特性が実現された。今後は、これらのポリ乳酸複合体の特性をさらに改良して、利用できる電子機器の拡大が図られる見通しである。

#### 4.4.7 エレクトロニクス機器への応用

バイオマス材料は、太陽と人間の力で再生産が可能な資源であり、かつ古来より人間が利用してきた身近な資源である。中でも近年はバイオマスを主原料とするプラスチックの製品応用に取り組み、「植物原料プラスチック」として製品への採用が進められている。植物原料プラスチックは、環境面では石油資源の節約が可能な上、ライフサイクルでの炭酸ガスの排出量が既存のプラスチックより少なく、地球温暖化の抑制に貢献できる。使用後の処理も材料リサイクル、ケミカル・リサイクル、焼却処理と多様な処理が可能であり、様々な環境側面で優れたプラスチックである (図 4.4.43~図 4.4.44、表 4.4.17)。



図 4.4.43 植物原料プラスチックの製品筐体としての商品化例

表 4.4.17 エレクトロニクス機器に要求される難燃性能

難燃性	難燃グレード (UL94 規格)	製品カテゴリ
高 ↑ ↓ 低	V-0	テレビ、パーソナルコンピュータ
	V-2	ホームビデオ、ホームオーディオ、ゲーム機器、ビデオカメラ
	HB	ポータブルオーディオ、「AIBO」、アクセサリ類
	不要	メディア類、包装材

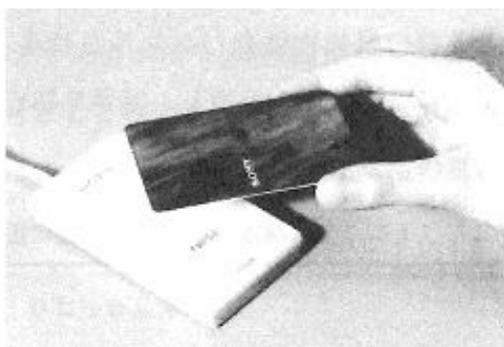


図 4.4.44 非接触 IC カードへの適用(試作品)

植物原料プラスチックは様々な環境側面で優れた理想的なプラスチック材料であり、これを積極的に採用していくことは、社会的に重要な環境活動と考えられている。また、筐体という顧客の目に見え、手に触れる箇所にこのプラスチックを使うことにより、企業の環境活動をわかりやすく伝えることができる。材料の物性改善や成形性の改善等、まだ技術的課題は多いが、これらをひとつずつ解決し、最終的にはすべてのエレクトロニクス機器に使用できるようにすることが目指されている。



表 4.4.18 国内で実用展開されているグリーンプラスチック

(2006年8月時点) \*1

分類	高分子名称	商品名	製造企業	規模 (t/年)	土壌中での生分解速度		
					速い	中	遅い
微生物 産生系	ポリヒドロキシブチレート	ビオグリーン	三菱ガス化学	パイロット	○		
化学合成 系	ポリ乳酸	Nature Works	ネイチャーワークス	140,000			○
	〃	レイシア	三井化学	(Nature Works と提携)			○
	ポリ乳酸系ブロック共重合体	プラメート	大日本インキ化学工業	パイロット		○	
	ポリグリコール酸	—	呉羽化学	パイロットプラント			○
	ポリカプロラクトン	TONE	Dow	4,500	○		
	〃	セルグリーンPH	ダイセル化学工業	1,000(→5千t計画)	○		
	ポリ(カプロラクトン/ブチレンサクシネート)	セルグリーンCBS	ダイセル化学工業		○		
	ポリブチレンサクシネート	GSPla	三菱化学	3,000(→3万t計画)		○	
	〃	ビオノーレ	昭和高分子	4,000(→6千t計画)		○	
	ポリブチレンサクシネート/アジペート	ビオノーレ	昭和高分子		○		
	〃	GSPla	三菱化学		○		
	〃	Enpol	Ire Chemical	8,000	○		
	ポリエチレンサクシネート	ルナーレ SE	日本触媒	パイロット		○	
	ポリ(エチレンテレフタレート/サクシネート)	Biomax	DuPont	100,000*2(PET併産)			○
	ポリ(ブチレンテレフタレート/アジペート)	Ecoflex	BASF	8,000(→3万t計画)			○
	〃	Eastar Bio	Eastman Chemicals	ノバモントへ事業売却			○
〃	Enpol	Ire Chemical	8,000(→5万t計画)			○	
ポリビニルアルコール	ポバール	クラレ	} 既存プラント転用 200,000*3			○	
〃	エコマティ AX	日本合成化学工業				○	
天然物系	エステル化澱粉	コーンポール	日本コーンスターチ	パイロットプラント			○
	酢酸セルロース	セルグリーンPCA	ダイセル化学工業	5,000		○	
	キトサン/セルロース/澱粉	ドロン CC	アイセロ化学	パイロットプラント	○		
	澱粉/化学合成系グリーンプラスチック	Mater-Bi	Novamont → ケミテック	20,000(+1.5万トン計画)	○		

\*1 出典：D.Rigge, BioCycle, March. P.64(1998)；下里純一郎、環境機器紙、8月号、p.98(1999)に BPS 調査結果を加えた

→：過去1年以内に公表された増設計画

\*2 汎用 PET を含めた併産能力

\*3 ビニロン原料、経糸糊、紙コーティング、乳化剤、包装フィルム用途などを含めたトータル値

現在、農業資材の中では、生分解性マルチフィルムの普及が最も進んでいる。マルチフィルム用途には柔らかい性能を有する石油由来の樹脂原料を使用した製品が主流となっており、その原料モノマーをバイオマス由来にする研究開発が進められている。一方、生分解性プラスチック研究会では、バイオマス由来のプラスチック製品の普及促進を図ることにより、地球温暖化防止、化石燃料資源の節約および自然環境の保全に資する目的で、「バイオマス識別表示制度」を 2006 年 7 月 1 日より発足させている。この制度に適合した、生分解性マルチフィルムを含めた農業資材のさらなる開発と普及が期待されている。

## 4.5 海外の開発戦略

### 4.5.1 米国の開発戦略

以下に、米国において1990年代後半から実施されてきたバイオリファイナリー関連のロードマップについてその概要を記載する。

#### (1) 植物・穀物由来の再生可能資源の技術ロードマップ 2020 (1998)

本ロードマップ<sup>169</sup>の概要を図 4.5.1 に示す。

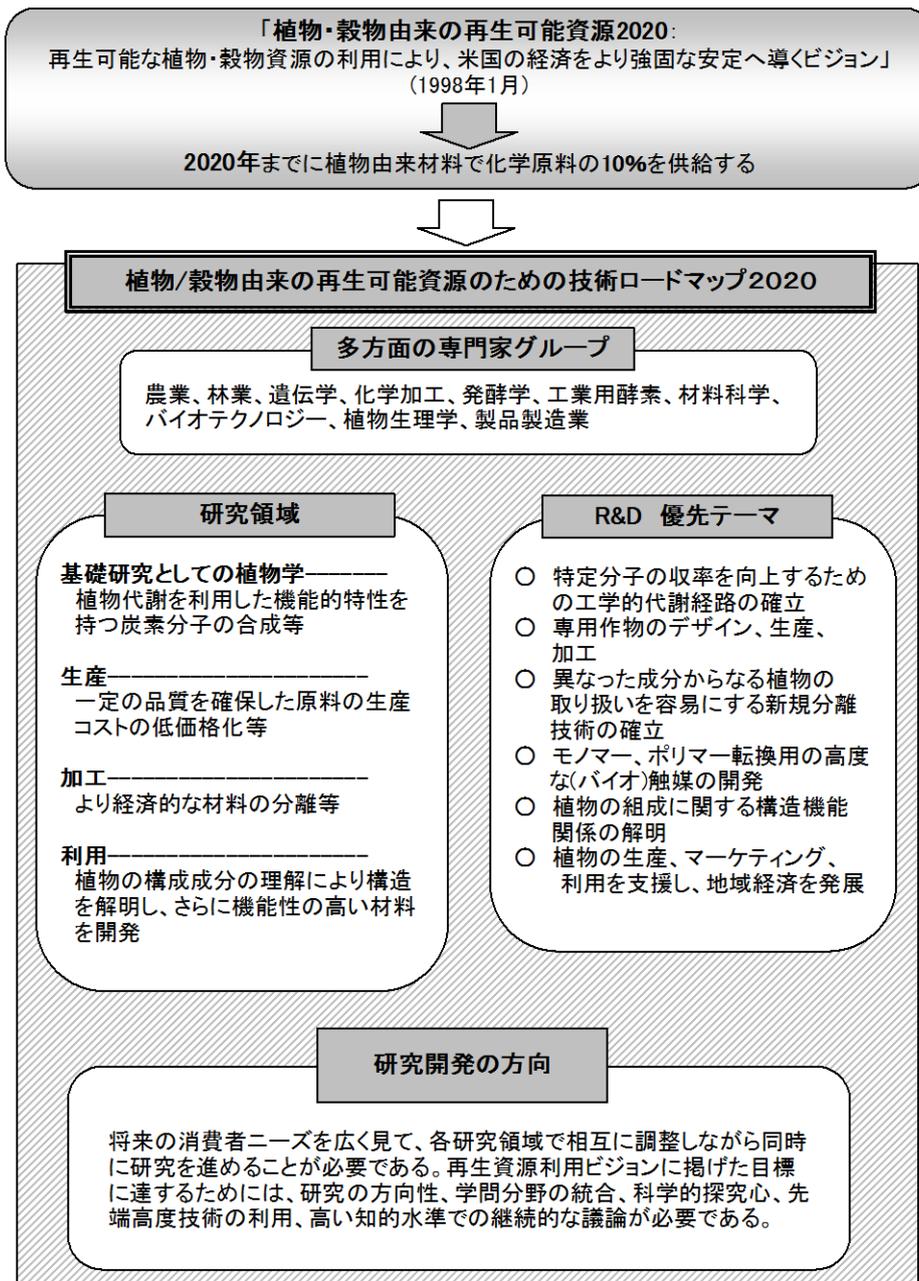


図 4.5.1 技術ロードマップの概要

<sup>169</sup> Technology Roadmap for Plant/Crop-Based Renewable Resources 2020  
[http://www1.eere.energy.gov/biomass/pdfs/technology\\_roadmap.pdf](http://www1.eere.energy.gov/biomass/pdfs/technology_roadmap.pdf)

## (a) 概論

1998年1月、「植物・穀物由来の再生可能資源 2020:再生可能な植物・穀物資源の利用により、米国の経済をより強固な安定へ導くビジョン」が発表され、その中で2020年までに化学原料の10%を、植物由来材料で供給すること、つまり現在の供給量の5倍に増加することを目標として設定した。

このビジョンに基づき、多方面の専門家グループが集められ、目標を達成する本ロードマップが作成された。このロードマップは、穀物生産に関わる農業をはじめ、林業、遺伝学、化学加工、発酵学、工業用酵素、材料科学、バイオテクノロジー、植物生理学および製品生産を含む広範囲の分野の専門家を巻き込み、取り組むべき課題、研究の目標、関係分野の相互作用について検討し、2020年までの研究開発優先事項が設定された。

現在既に利用されている木材製品、パルプ・紙用木材、衣料用綿花等を除外すると、再生可能資源はほとんど利用されていない。再生可能資源の利用を増加させるためには、以下の4分野の研究が必要である。

- ・ 基礎研究としての植物学：植物代謝を利用した機能的特性を持つ炭素分子の合成等
- ・ 生産：一定の品質を確保した原料の生産コストの低価格化等
- ・ 加工：より経済的な材料の分離等
- ・ 利用：植物の構成成分の理解により構造を解明し、さらに機能性の高い材料を開発

その中で最優先の研究領域は以下の通り。

- ・ 特定分子の収率を向上するための工学的代謝経路の確立
- ・ 専用作物のデザイン、生産、加工
- ・ 異なった成分からなる植物の取り扱いを容易にする新規分離技術の確立
- ・ モノマー、ポリマー転換用の高度な(バイオ)触媒の開発
- ・ 植物の組成に関する構造機能関係の解明
- ・ 植物の生産、マーケティング、利用を支援し、地域経済を発展

製造原価の削減は重要な課題ではあるが、製造コストと化学原料の代替品としての価値のバランスを考慮することが大切である。つまり、バイオ由来製品の持つ高い価値を市場が明確に認識することである。また現在、特定の利用法のために設計された高性能材料と比較した場合、植物由来材料は劣勢であり、今後の性能の改善が必要である。

しかし一方で、植物由来の化成品はユニークな特長も持っている。傷ができた時にまわりに集まるフィブリノーゲンと類似した組織接着剤を、ある種の組み換えのタンパク質として植物の中で設計、生産することができる。このような新規技術は、植物の代謝経路を利用できる可能性を提示し、再生資源から高価値化成品を生産するという新しい道を示している。

## (b) 関連産業の現状

### (1) 農業・林業

#### ① 穀物

トウモロコシ、小麦、大豆等の穀物は、アメリカ国内において161.87万km<sup>2</sup>以上で効率よく生産されており、これら農業製品の加工、販売等には2,200万人が就労している。また約1兆ドルの経済効果を生み出しており、これはGDPの15%以上に相当する。農業従事者の数は200万人に満たないが、新技術の導入や効率化のため、作物生産の量および質は常に改善されている。

#### ② 牧場・牧草地

牧場と牧草地は約323.75万km<sup>2</sup>で、牛、羊等の牧草栽培用に利用されている。多くの地域では年間降水量が低く、生産量が限定されている。しかし近年、条件のあまりよくない環境でも高い収率を得られる品種が、遺伝子改良により開発されている。

#### ③ 森林

林業はアメリカ国内で263.05万km<sup>2</sup>以上の森林を占めており、140万人が従事し、年間2,000億ドルの生産量を生み出している。材木は家具や建築資材等広く用いられているが、

さらに紙、板紙、パルプの原料として、年間約 1 億 t 利用されている。また木材や紙製品は年間約 4,000 万 t 以上がリサイクルされている。

## (2) 石油化学工業

石油化学工業は資本が集約され、社会基盤（設備）はこれまでに十分整備されている。アメリカ国内では炭化水素が様々なタイプの燃料用に 1 日当たりおよそ 221 万 kl 使用されており、石油に換算すると約 41 万 kl/日が、化成品および産業用基幹ブロックの生産に利用されている。

工業化成品、プラスチックの生産は、年々増加の一途をたどっており、プラスチック産業だけで 120 万人の雇用を抱えている。これまでプラスチックの研究開発に、数十億ドルが投入されてきた。しかし石油資源の今後の見通しは不安定である。これまで石油を原料として生産されてきた製品を、今後もこれまでのような価格で供給するためには、再生可能資源から生産される基幹ブロックを利用することが必要になると考えられる。

## (c) 本ロードマップの掲げる目標

1998 年、「植物・穀物由来の再生可能資源 2020 のビジョン」において、①継続的な経済発展、②健全なる生活、③国家安全の確保、を実現するため、植物・穀物からの再生可能資源を開発すると発表した。

しかし今後 20-30 年のタイムスパンで考えると、

- ①現状では再生可能資源は石油資源と競争する力がないため、再生可能資源を石油資源の代替とする戦略はとることはできない。
- ②20 年後に必要なであろう需要を満たすためには、再生可能資源と石油資源の両方が必要である（図 4.5.2）。

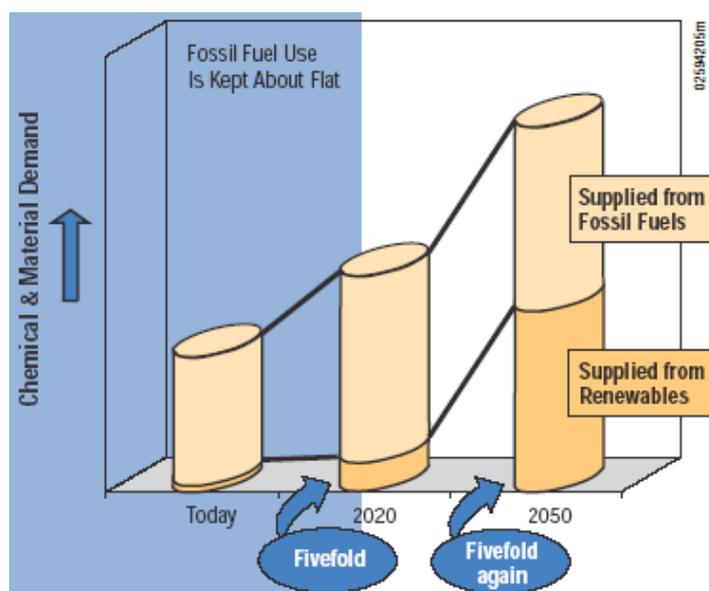


図 4.5.2 2050 年までのケミカル・材料の需要予想

これらのことを考慮し、以下のような目標が掲げられた。

- 力強い経済力を維持するために社会基盤（設備）を整備し、原料の調達、製造、供給を統合したシステムを確立する。
- 機能的ゲノミクスの研究により植物のメタボリズムの理解を深め、特定の付加価値を持つプロセスの設計、利用の最適化を図る。さらに新しいポリマーを開発する。
- 廃棄物排出の問題を解決するため、プロセスの過程で発生する副産物すべてを再使用するようし、生産効率 95%以上の新しいプロセスを開発する。また、新しいプラットフォームは環境にもやさしい条件を満たしたものにする。
- それぞれの目標、研究課題が、再生可能な燃料/エネルギー需要の目標と一致していることを確認する。

- 年間生産ベースを考えたとき、価格/容量、品質、地理的条件などを考慮しても、生産、供給も含め、一定の原料を確保できる開発であること。
- 地域経済を発展させ、垂直的統合を改善するためにさらに協力的パートナーシップを構築する。

(d) 技術的課題、市場の問題

再生資源から消費財を生産する過程における課題を克服するため、「植物学」、「生産」、「加工」、「利用」の4分野に分類して検討している(図 4.5.3、表 4.5.1)。「利用」のグループは、「技術/材料」に関する課題と、「市場/需要」に関する課題に分けて検討している。

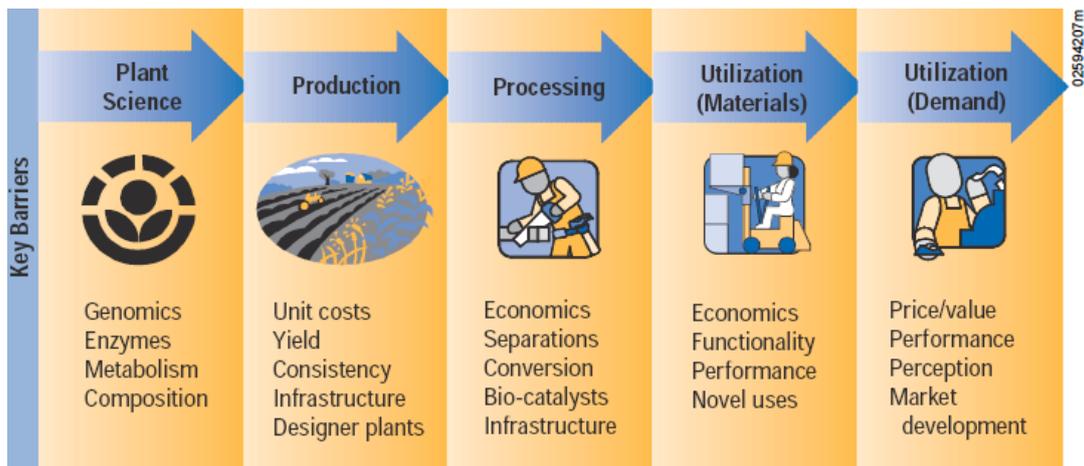


図 4.5.3 再生資源から消費財を生産する過程における課題

表 4.5.1 再生資源から消費財を生産する過程における課題(上図和訳)

植物学	生産	加工	利用 (材料)	利用 (需要)
ゲノミクス 酵素 代謝 成分	単位コスト 収量 生産の一貫性 社会基盤 (設備) 植物の設計	経済性 分離 転換 バイオ触媒 社会基盤 (設備)	経済性 機能性 性能 新しい利用法	価格と価値 性能 啓蒙 市場開発

各分野における主たる問題について以下に記す。

<生産：植物の設計>

遺伝子組み換え植物の開発が進み、遺伝子操作により特定の物質を生産することが可能になった。しかし、これらの開発には解決すべき課題がまだ多く残されている。第一に、植物の持つ本来の代謝の理解がまだ不十分なことである。最近開発の進んでいる機能性ゲノミクスの研究においては、材料をデザインする研究が進められているが、医学分野における開発に比べると研究支援が少ないのが現状である。もう一つの問題点は、植物の形質転換、ゲノミクス、バイオインフォマティクス等、広範囲の研究が進められながら、これらの技術を利用した再生資源開発の研究が行われていないことである。問題解決にはある程度まで専門的な科学的知識を深める必要があるが、今現実にある課題を克服するためには、各分野から適切な知恵を出し合うことが必要である。

<生産：収量、生産の一貫性、社会基盤 (設備) >

原料の調達と供給の問題は、植物材料が現在、材木やパルプ産業以外で使用されていないため、将来的に考慮されなくてはならない課題と推測される。

供給の一貫性に関しては、質・量の点で全く未知の領域である。植物材料を、単純な炭素分子として利用する場合には問題はないが、ポリマー等の特定な成分を対象として、それらを直

接抽出するような場合には、質と量の問題は重要なポイントとなる。また供給の一貫性は、リスク管理の問題でもある。植物材料は地域の天候が不確定要素となり、また少数製品を生産するための専用植物では、市場の動向が不確定要素になる。

穀物の利用は、「食糧か工業利用か」という議論も生んでいる。どちらの需要も高まっている現在、再生可能な食物の工業利用の促進は、同時に食糧の増産にもつながる。そのためにもバイオテクノロジー等を利用した新技術の開発が必要である。

#### <加工：分離>

分離技術が十分に開発されていないことは、植物の工業利用を目的とする場合、非常に大きな問題である。リグノセルロースのような強度を持つ優良な材料を、利用可能な分子として取り出すことは難しい。また種子の形で収穫されるものには、炭水化物、タンパク質、油をはじめ、何百もの成分が含まれているが、油を絞ったり、糖を抽出したりするところまでで、その先のタンパクを分離・抽出することは困難である。

遺伝子導入により新しい成分が加えられても、その材料を回収する分離技術が必要である。現在、生体高分子の開発は、クリーンで経済的な分離方法が見つからないため中断されている。

#### <加工：転換>

植物に存在する様々な成分を取り扱う方法の一つとして、これらの混合材料をより単純な分子に変換して利用する方法がある。また植物材料を使用する場合、多様なプロセスに、多機能生体触媒や不均一系触媒のような再利用が可能な高機能プロセスが必要になると考えられる。また同種の植物においても成分や特性に違いがあり、その対策が未解決である。

炭化水素に基づいた、化成品生産のために必要な、酸化に関する化学は十分に開発されているが、植物由来システムに必要な還元に関する化学についての知識と、還元のための生体触媒のためのコファクター・システムの知識が十分に開発されていない。

また植物由来材料のプロセス開発について、専門教育やトレーニングがなされていないことも課題となっている。

#### <加工：社会基盤（設備）>

石油化学工業は、製造、供給の社会基盤（設備）を長年にわたり整備してきたが、その立地は輸入原油を利用するためほとんどの設備は海岸近くに設置されている（図 4.5.4）。しかし植物資源の場合、内陸部、北西部に集中しており、既存の施設を利用するにはその立地が適切ではない。植物由来材料へより多くシフトしていくためには、供給、加工、製造について一層の統合が必要となるであろう。再生可能資源の利用を増加するためには、地域の開発が必要であり、そのための戦略が構築されなくてはならない。

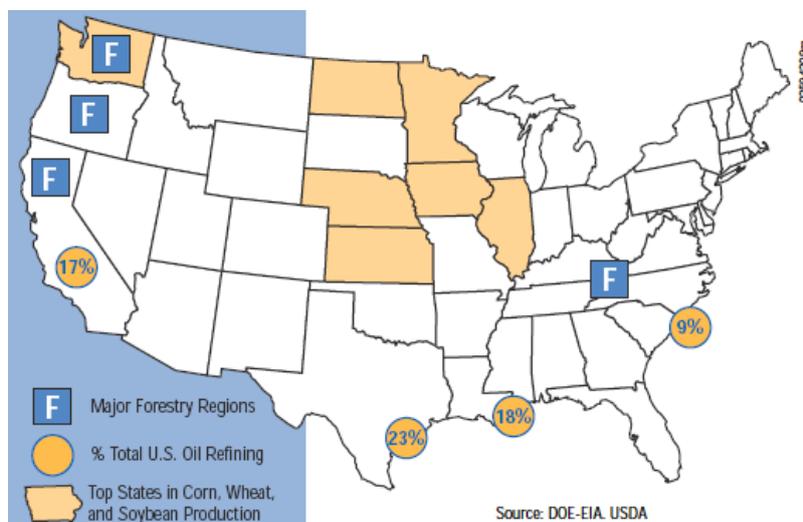


図 4.5.4 石油精製社会基盤（設備）と穀物・森林資源の所在の分布

#### <利用（材料）：経済性、単位コスト>

現在の植物材料の問題は高いコストであり、これには製品の価値、材料のコスト、生産能力、必要な加工の程度、基幹ブロックの性能等様々な要因が含まれている。製品の価格は、製品の利用価値、性能、消費者の嗜好、需要により決定され、製造コストは、原料コスト、供給一貫性、必要なプロセス、廃棄物処理費用、設備投資で決定される。開発蓄積のある石油産業に現状のコスト面だけから競争するのは困難であるが、将来を見据えた開発は不可欠である。石油製品の代替としてだけでなく、新たに必要な機能性を持たせた植物を、遺伝子組み換え技術により開発することも必要である。

#### <利用（材料）：機能性>

石油化学製品では単分子に分解してから、ポリマーなどの複合分子に合成するのに対して、植物材料に含まれる成分は、それ自身の持つ機能性を利用できる点が有利である。例えば、木材パルプからのセルロース・ファイバ、じゃがいもとトウモロコシからとれる澱粉は、多くの工業プロセスで使用されている。しかしこれらは例外で、ほとんどのものが利用されていないのが現実で、その原因は植物材料の持つ機能性が十分に理解されないことと、コストの折り合いが付かないことである。

#### <利用（需要）：市場開発のコスト>

たとえユニークな植物由来新製品が開発されたとしても、その普及を妨げる大きな要因となるのは市場開発にかかるコストである。一般的に見ても商用化の成功率は低く、有望な製品でもその規模が大きくない場合は失敗することが多い。再生資源を利用した製品を市場に導入するためには、再生資源を利用した製品の開発、メカニズムの支援、市場開発が重要である。

#### <利用（需要）：啓蒙>

「石油化学の時代」に生活している我々は、植物由来製品に対してマイナスのイメージを抱きがちである。環境問題に対する懸念が広がっているにもかかわらず、それだけでは消費者が植物由来製品を購入する動機として十分ではない。従って、再生可能資源の利用には、技術の後押しが必要である。特に石油製品が確立しているような市場の場合、市場導引力を増大させることが、企業に対して植物由来基幹ブロックに投資する強力なインセンティブとなる。

### (e) 研究開発

以下に4つのテーマ別（植物科学・生産・加工・利用）のR&D目標を示す。

#### (1) 植物科学（図 4.5.5）

##### 【主要 R&D】

- ・ 遺伝子調節、植物代謝経路の制御の理解を深める
- ・ 遺伝子操作を改善するため、機能的ゲノミクスの理解を深める
- ・ 目的とする合成物の分析的なツール、機能性のスクリーニングシステムの開発
- ・ 遺伝子のスタッキング、細胞器官の変換、分子進化のバイオテクノロジーの開発
- ・ 分子レベルで炭素フローの理解を深める
- ・ 遺伝子スイッチングの新しいメカニズムの研究
- ・ 広範なバイオインフォマティクスの開発
- ・ 構造のゲノミクスを開発（マーカー、シーケンス）

##### 【長期目標の最優先事項】

- ・ 有用な炭素骨格を供給する代謝経路のデザインの変更
- ・ 潜在的な原料となりうる100種類を、先端技術を利用して抽出
- ・ 適切な機能性を持つ新規分子の開発、既存の合成物の改良

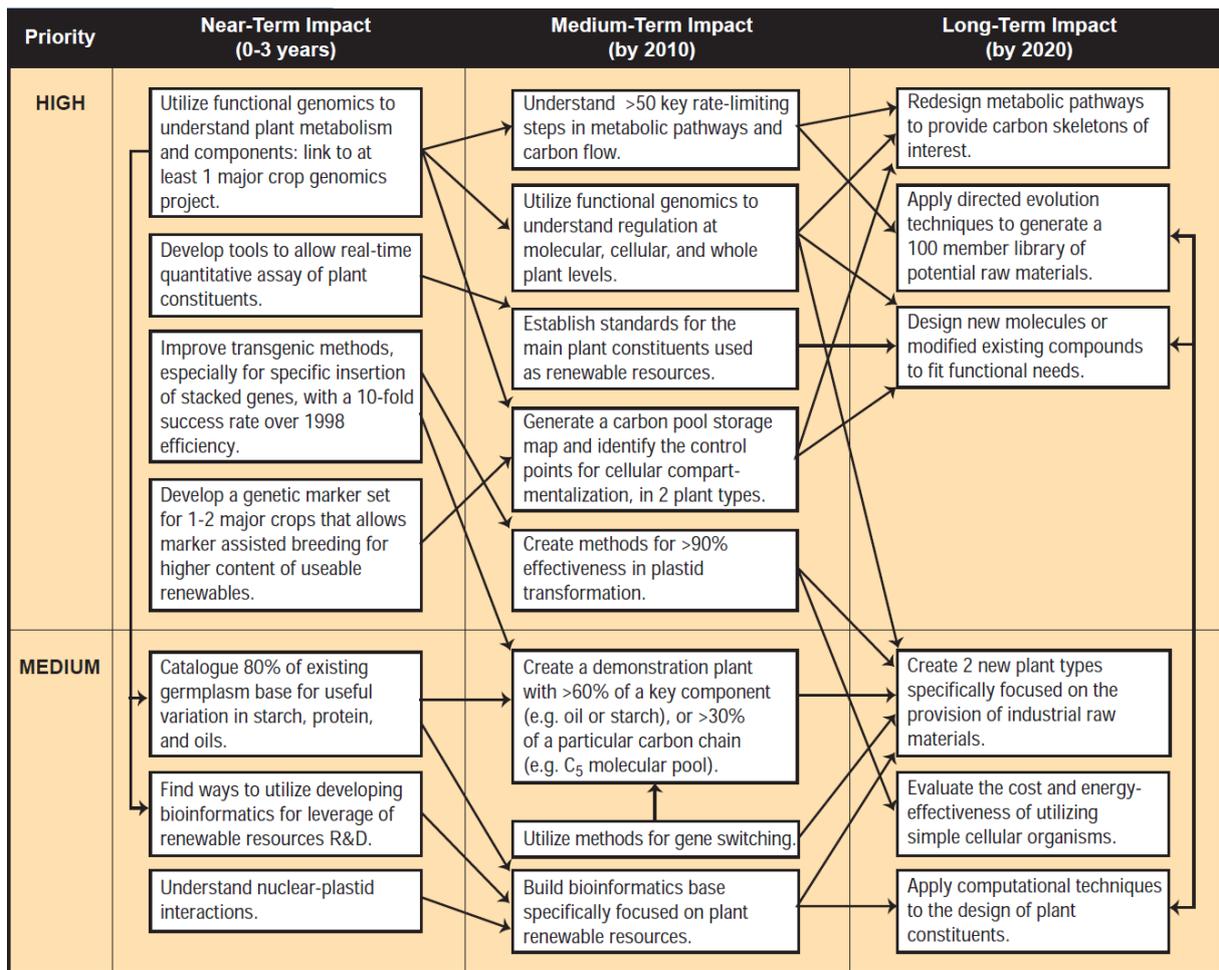


図 4.5.5 植物科学に関する研究目標

(2) 生産 (図 4.5.6)

【主要 R&D】

- ・ ヘテロジニアスな種子ではなく、目的とする成分を生産する植物に改良
- ・ 植物の生産力、収穫する部分を改善して、収量を改善
- ・ 目的とする材料の収穫を最適化する耕種学を識別
- ・ 実行可能な同一性を確保し、マーケティングシステムを構築
- ・ 作物生産性向上のためのロードマップを作成
- ・ 植物成分の一貫性を左右する要因を研究
- ・ バイオマス収集用の収穫機械の改善
- ・ 耕作地の限界流域を改善

【長期目標の最優先事項】

- ・ 化石燃料利用により発生する過剰な CO<sub>2</sub> の固定
- ・ 既存のプラントや穀物生産から発生する炭素材料廃棄物をゼロに
- ・ 原料利用割合と回収を 95%以上に最適化する、新規穀物/植物の開発、生育システム設計

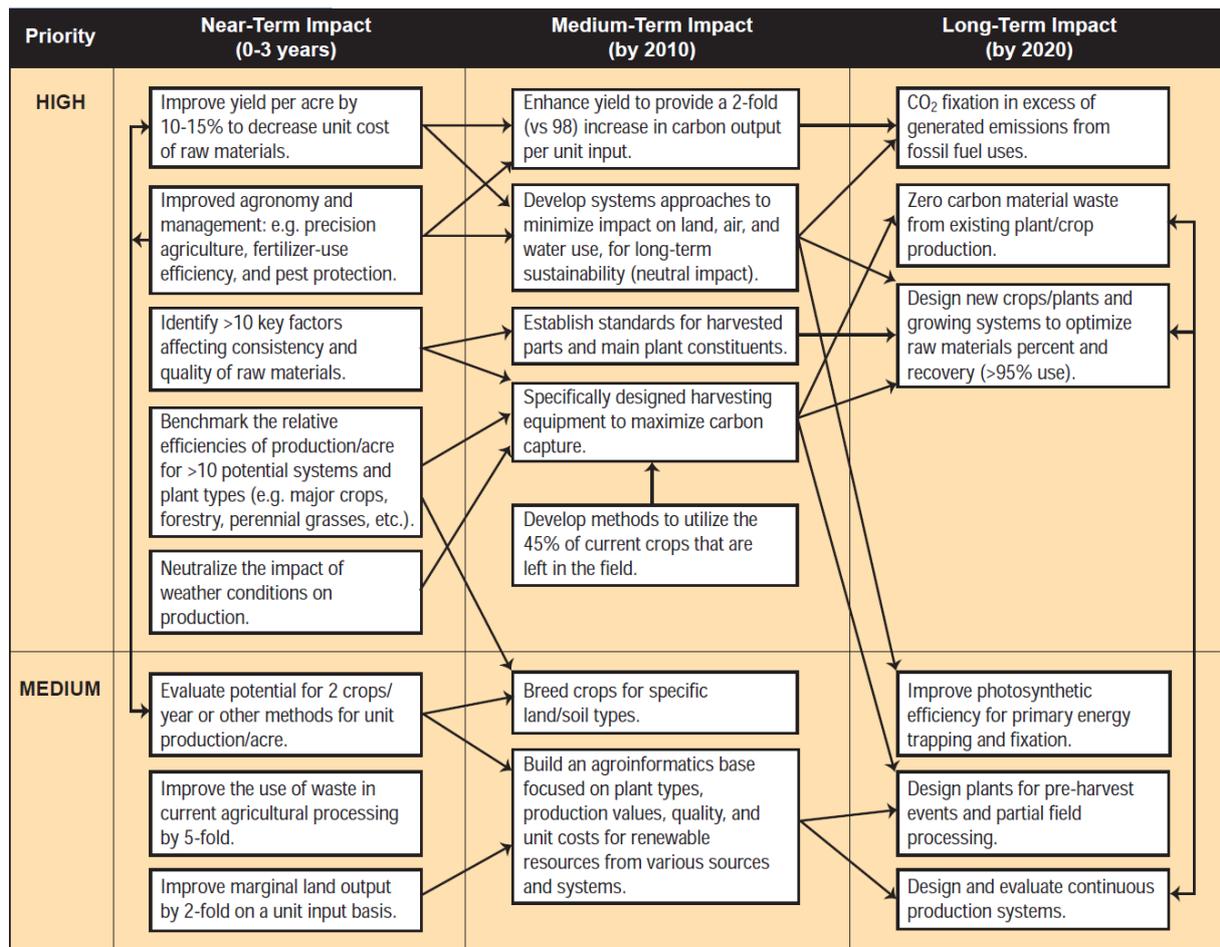


図 4.5.6 生産に関する研究目標

### (3) 加工 (図 4.5.7)

#### 【主要 R&D】

- ・ 新しい分離方法の開発：薄膜、蒸留等
- ・ 植物成分の変換方法の改善：化学触媒、生体触媒
- ・ 新規資源、新規プロセスからの新規/最適酵素の発見、開発
- ・ 炭素骨格の変換方法の改善
- ・ ハイブリッド(バイオと化学)システムの改善
- ・ 新しい発酵法、反応タイプの研究
- ・ 植物の持つ反応酵素の研究
- ・ 現地での収穫、加工の開発

#### 【長期目標の最優先事項】

- ・ 多種の製品を製造するプラントにおいて、継続的にプロセス廃棄物をゼロに
- ・ 植物およびその成分を加工するための新規設備の設計
- ・ 3つ以上の斬新な製品(植物に酵素を組み込み、収穫時に活性化させる等)のために設計された斬新なメカニズムの開発

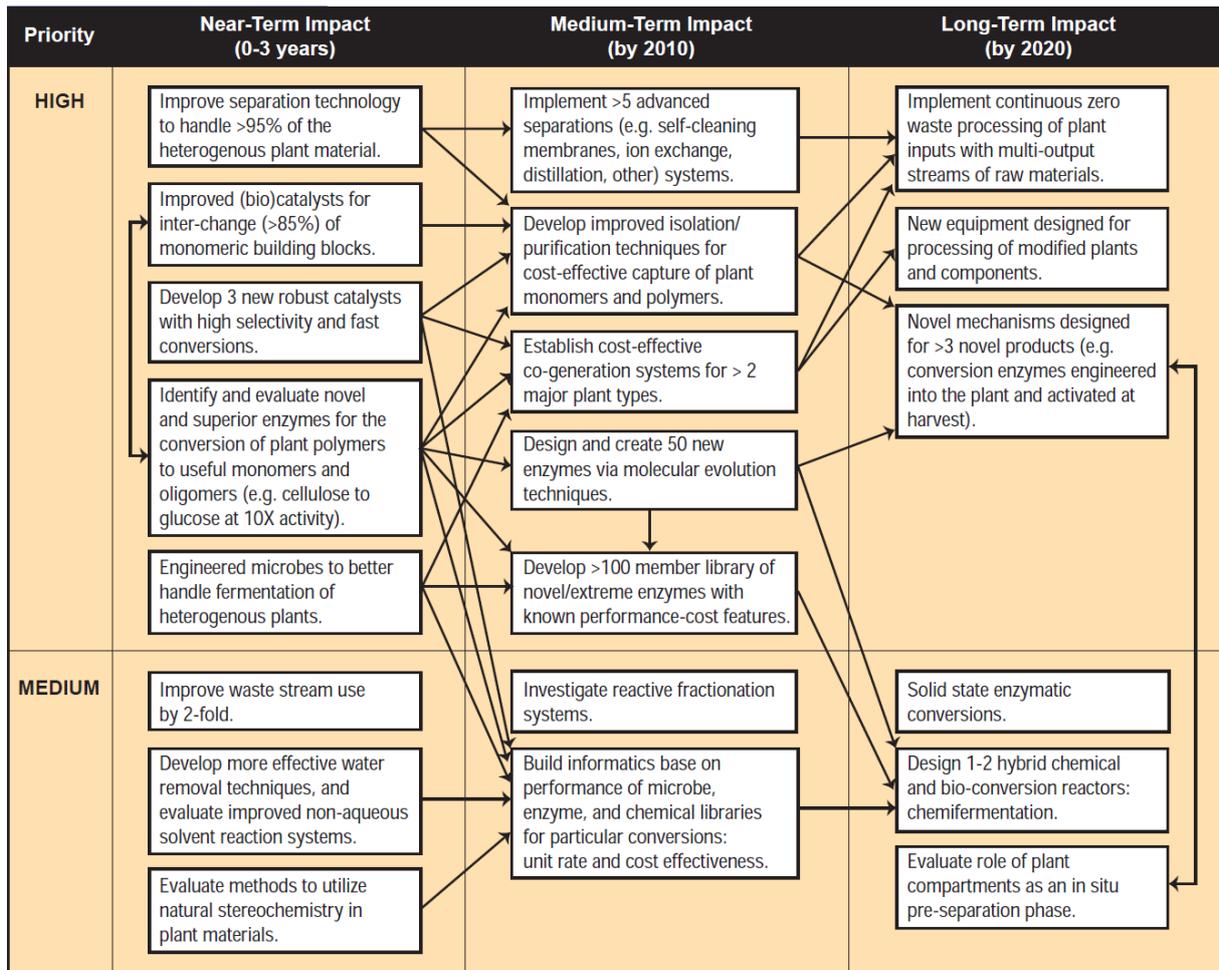


図 4.5.7 加工に関する研究目標

(4) 利用 (図 4.5.8)

【主要 R&D】

- ・ 植物の成分(タンパク質、澱粉等)の構造と機能の関係を深める
- ・ 必要性から新規材料を設計し、それを植物に統合する
- ・ 農村経済への影響を最適化するため、社会基盤(設備)と流通システムを研究
- ・ 製品品質を確保するため、材料標準と分析手法を開発
- ・ 植物成分の価値のマトリックスを構築し、政策決定により支援する

【長期目標の最優先事項】

- ・ 要求される機能性を示すよう特定の分子構造を持つ植物構成物を 10 以上設計
- ・ 植物生産に対応した地理条件を満たす生産利用センターを 5 件以上設置：農村開発
- ・ 新しい属性、利点を備えた新規材料を 3 つ以上開発
- ・ 再生資源の利用に必要な教育：多くの専門分野を横断する知識

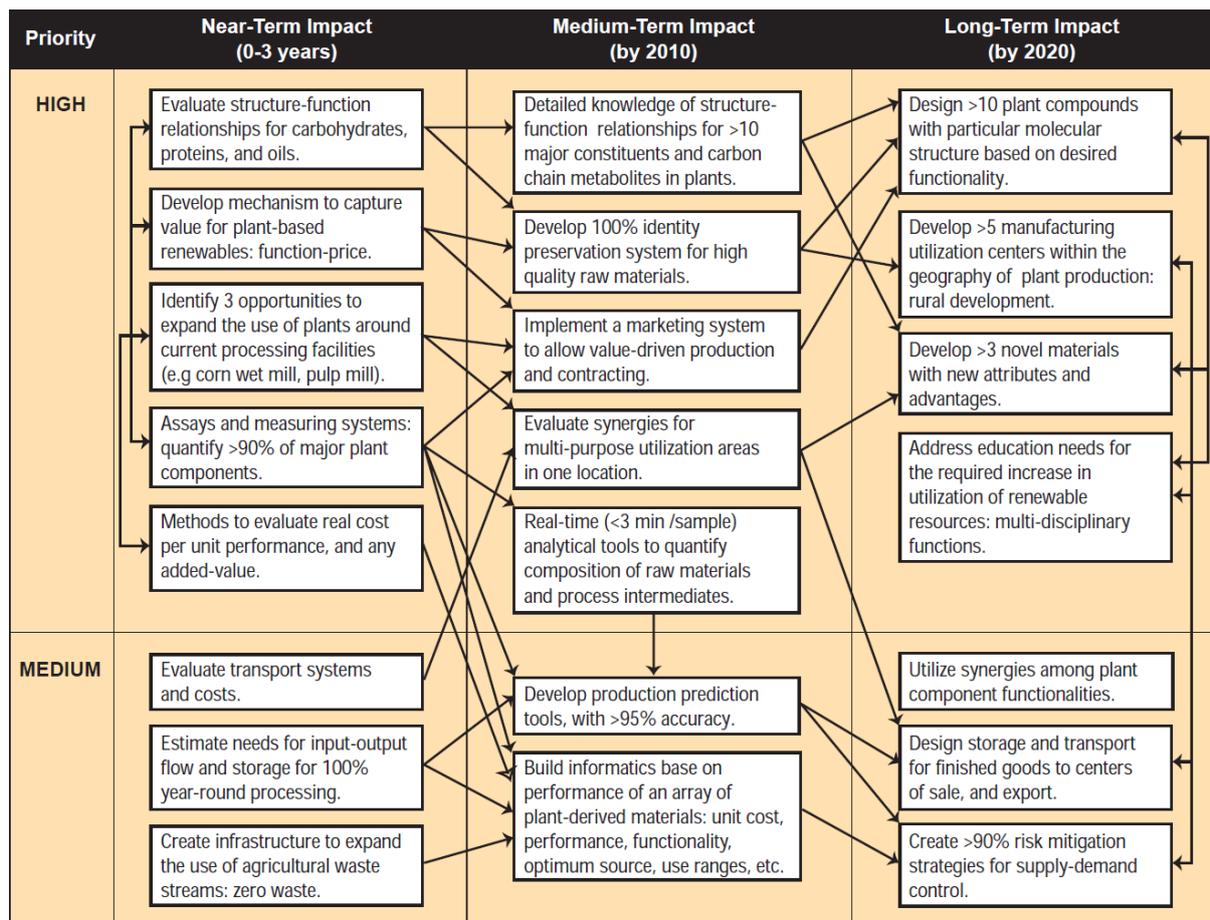


図 4.5.8 利用に関する研究目標

#### (f) 統合アプローチ

再生可能資源を今後利用していくためには、学際領域の開発と産業横断的なアプローチが必要である。これには多くの研究機関の協力が必要であることは明白である。最適なアプローチは、研究成果を重点目標に反映できるよう並行して研究を進めることであり、このようなアプローチにより、民間の協力も促進することが可能である。

### (2) 工業バイオ製品の現在と未来 (2003)

以下に同資料<sup>170</sup>の概要を示す。

#### (a) 工業バイオ製品の概要

##### (1) 工業バイオ製品の特徴

バイオ製品は産業向け、一般消費者向けに再生可能なバイオマスから一部あるいは全体を生産した製品である。今日の工業バイオ製品は非常に多様で、溶剤やペンキ、調合薬、石鹼、化粧品、建築資材まで拡大している。現在、工業バイオ製品は私たちの生活に不可欠で、バイオマス製品の恩恵を受けていない産業セクターはほとんどないと言っても過言ではない。

トウモロコシ、木材、大豆、植物油は、産業・消費財の主要な資源である。バイオマス成分は、石油化学製品や鉱物といった他の材料と組み合わせて製造されるため、製品の一部分がバイオマスに由来しない場合もある。絵の具、化粧用品、溶剤、インクおよび調合薬などは、大豆油と他

<sup>170</sup> Industrial Bioproducts: Today and Tomorrow

<http://www.brdisolutions.com/pdfs/BioProductsOpportunitiesReportFinal.pdf>

委託先: Energetics 社、コロンビア、メリーランド州

委託元: 米 DOE エネルギー効率・再生可能エネルギー局バイオマスプログラム部、ワシントン D.C. 2003 年 7 月

の成分を混ぜ合わせている。一方、澱粉接着剤のような製品では、すべてがバイオマスに由来している。

トウモロコシは食物や飼料の重要な資源であるだけでなく、エタノールやソルビトール、産業用澱粉や甘味料、クエン酸や乳酸糖の原料として利用されている。以下に示した6つの材料について、主なバイオマス原料からつくられる製品とその誘導体を示す（図 4.5.9～図 4.5.14）。

- ・ トウモロコシからのバイオ製品
- ・ 大豆からのバイオ製品
- ・ トールオイル、木材由来化成品からのバイオ製品
- ・ セルロースからのバイオ製品
- ・ キャスターオイルからのバイオ製品
- ・ アマニとアマニ油からのバイオ製品

Figure A-1 Bioproducts From Corn [Ashford 2001, CRA 2002]

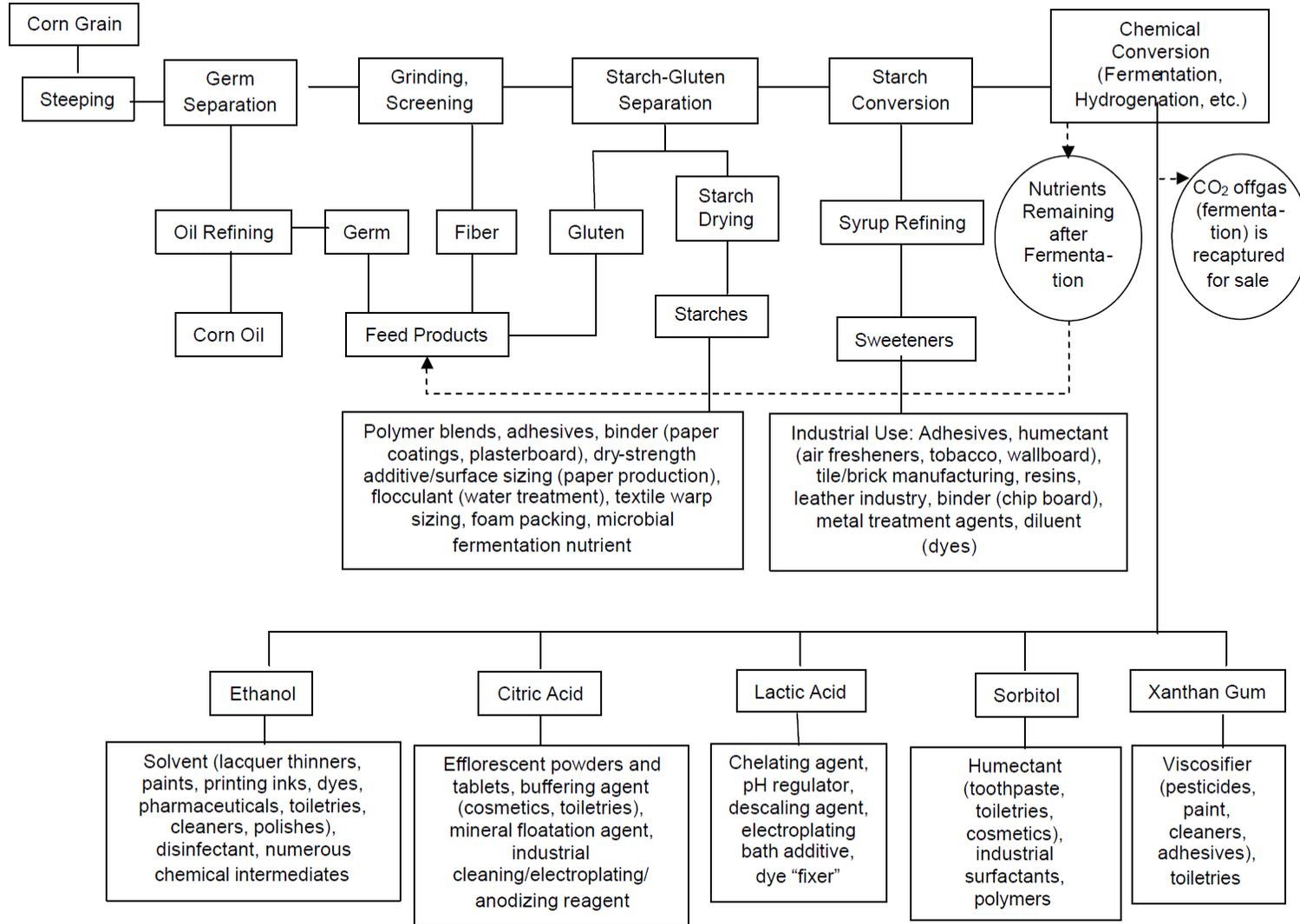


図 4.5.9 トウモロコシからのバイオ製品

Figure A-2 Bioproducts From Soybeans [Ashford 2001]

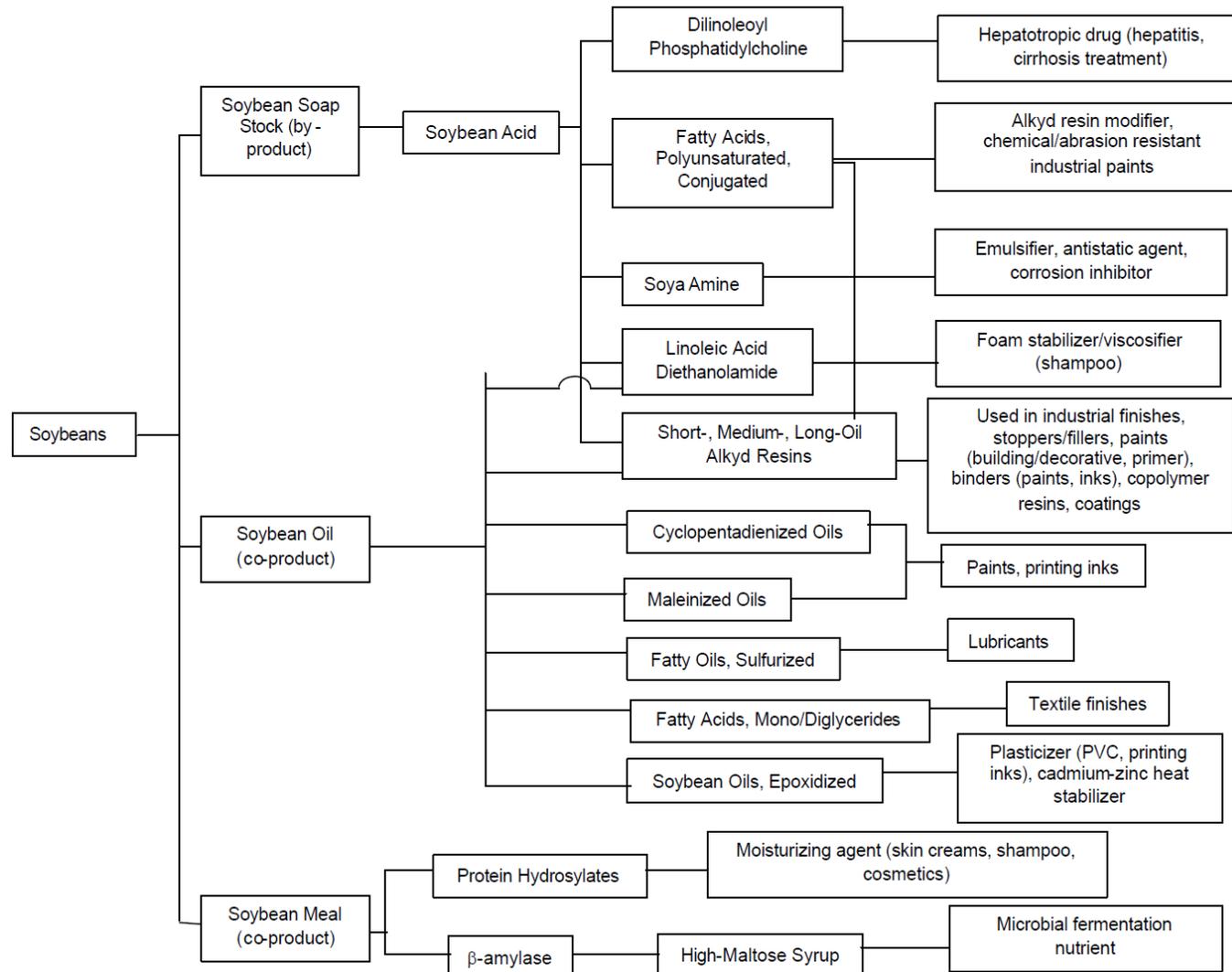


図 4.5.10 大豆からのバイオ製品

Figure A-3 Bioproducts From Tall Oil, A Wood-Derived Chemical [Ashford 2001]

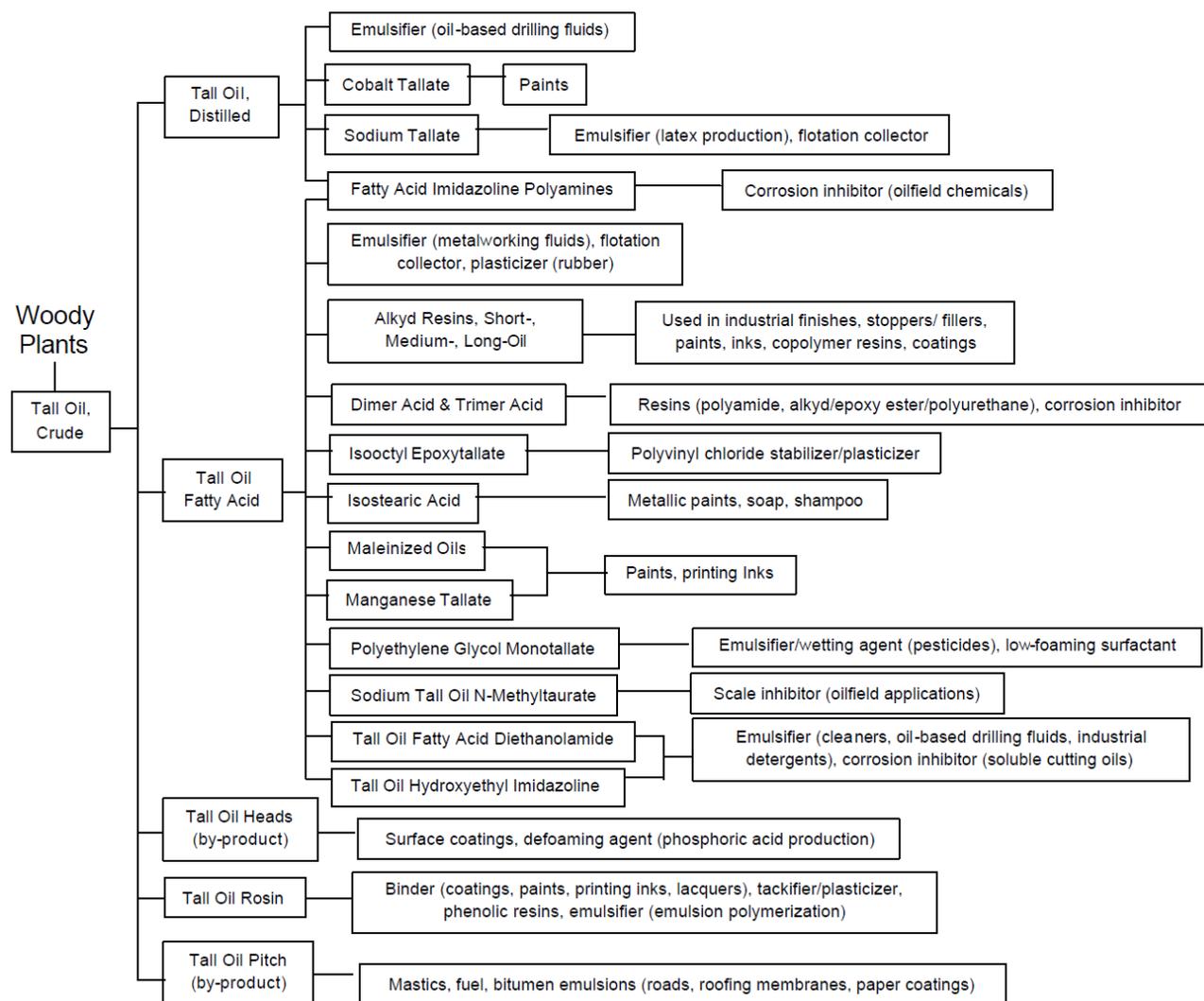


図 4.5.11 トールオイル、木材由来化成品からのバイオ製品

Figure A-4 Bioproducts From Cellulose [Ashford 2001]

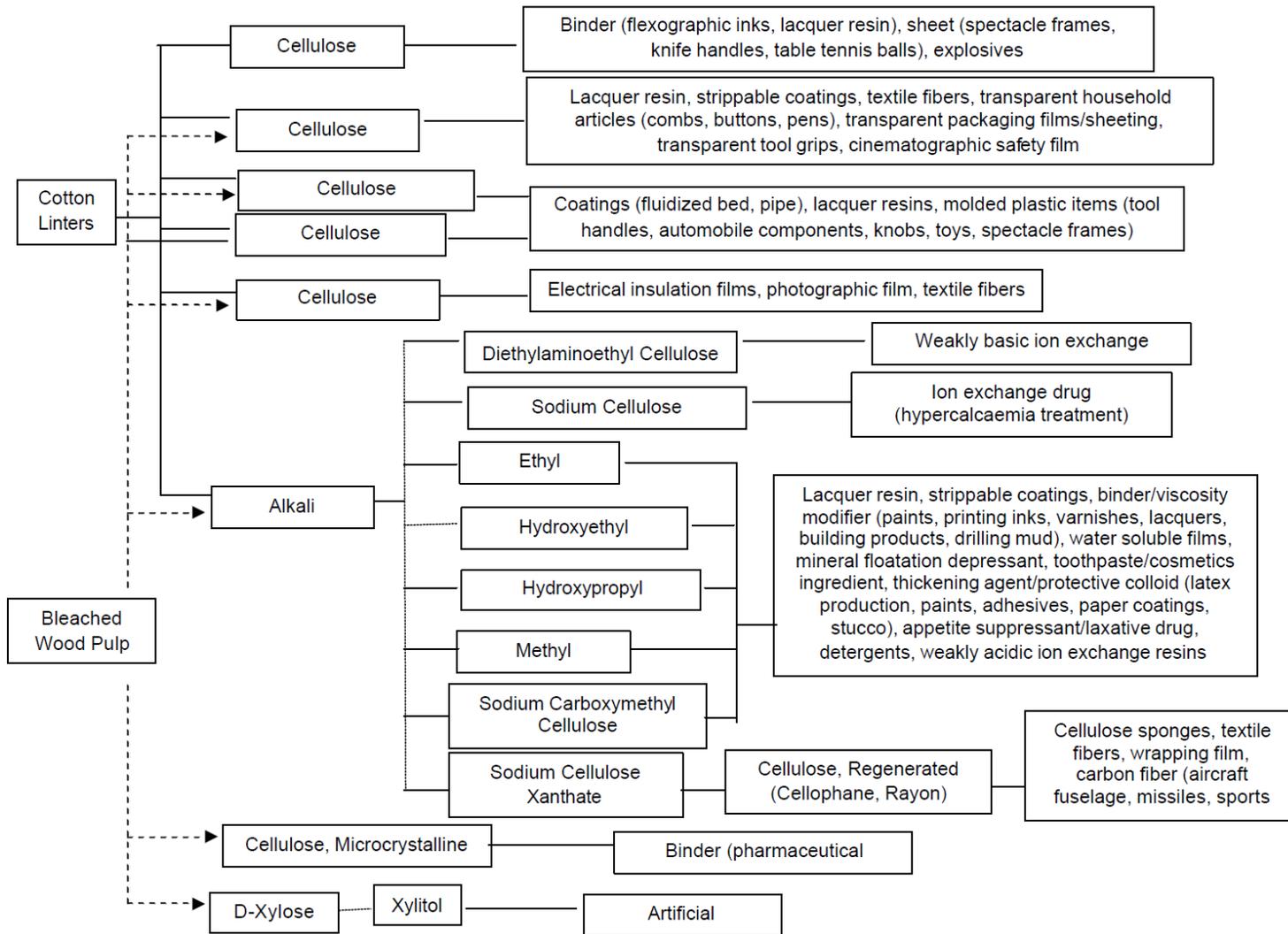


図 4.5.12 セルロースからのバイオ製品

Figure A-5 Bioproducts From Castor Oil [Ashford 2001]

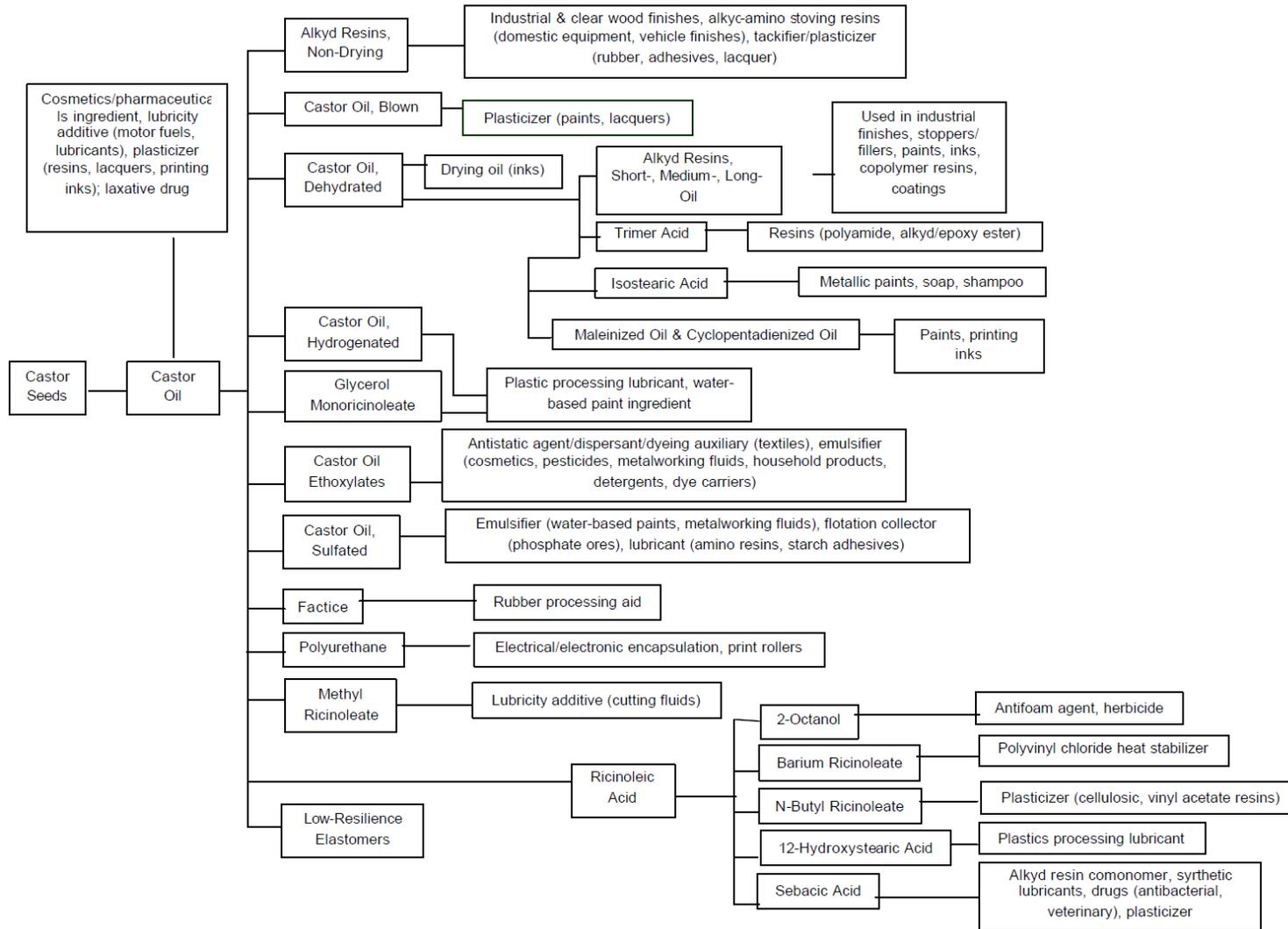


図 4.5.13 キャスターオイルからのバイオ製品

Figure A-6 Bioproducts From Linseed and Flaxseed Oils [Ashford 2001]

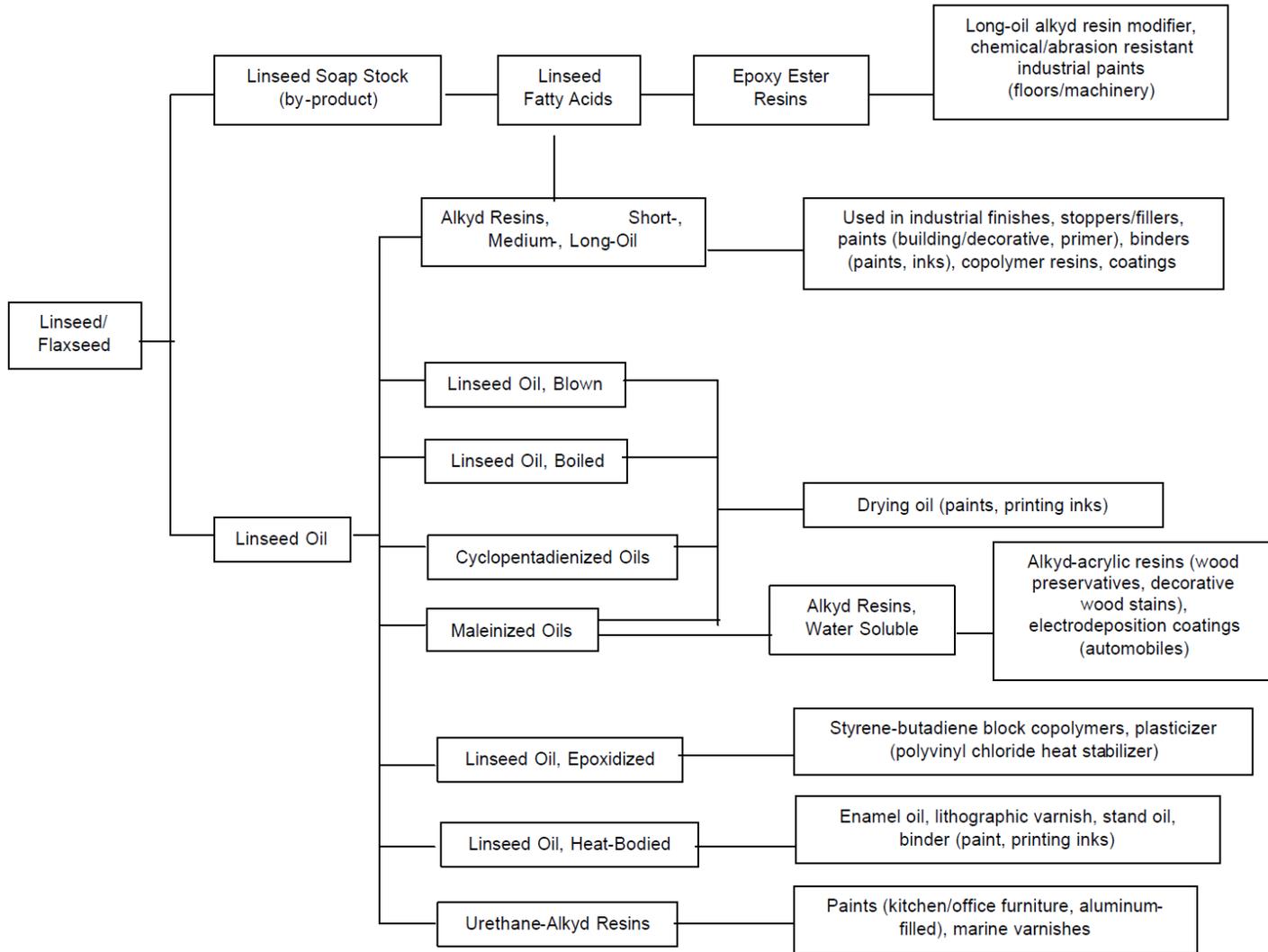


図 4.5.14 アマニとアマニ油からのバイオ製品

炭水化物で構成されるバイオマスは、通常石油と天然ガスから製造される製品の一部や、炭化水素を生産するために使用されており、一部は市場にはすでに参入している。

<バイオ製品の分類>

バイオ製品の分類を表 4.5.2 に示す。

表 4.5.2 バイオ製品の分類

発酵および熱化学プロセスに由来する糖と澱粉のバイオ製品
アルコール、酸、澱粉、xanthum ゴム、バイオマス糖に由来するその他の製品 一次原料は、サトウキビ、サトウダイコン、トウモロコシ、小麦、米、じゃがいも、大麦、モロコシ穀物、木材
油脂由来のバイオ製品
脂肪酸、油、アルキド樹脂、グリセリン、大豆、菜種糖の種々の植物油
ゴムと木材の化成品
トールオイル、アルキド樹脂、ロジン、ピッチ、脂肪酸、テレピン油、木材に由来するその他の化成品
セルロースの誘導体、ファイバー、プラスチック
酢酸セルロース(セロハン)とトリアセテート、硝酸セルロース、アルカリセルロース、再生セルロース等のセルロースに由来する製品 一次原料は、漂白された木材パルプと綿のリンター
工業用酵素
工業用酵素は、澱粉と糖、アルコール、油の生産において生化学的反應のための生体触媒として使用される。 また洗濯用洗剤、皮のなめし、織物の糊付けにも使用される。

<現在の製品の概要>

米国では現在、年間 544 万 t のバイオマス製品が生産されていると試算されている。米国商務省による試算では、バイオ製品の生産量とその経済的価値は表 4.5.3 に示すとおりである。

表 4.5.3 バイオ製品の生産量と経済的価値

製品/中間生成物	年間生産量年間 100 万 lbs (万 t)	経済的試算価値 (100 万ドル)
木材・ゴム化成品*	3,268 (148.2)	890
セルロース・ファイバ	360 (16.3)	760
セルロース誘導体**	2,140 (97.1)	1,400
工業用トウモロコシ澱粉とトウモロコシ化成品	6,500 (294.8)	2,200
グリセリン	400 (18.1)	320
工業用エタノール	408 (18.5)	115
油および樹脂***	1,214 (55.1)	550
活性炭素	254 (11.5)	220

\* ロジン、トール油、クラフトターペンチン

\*\*再生セルロース、セルロース・エーテル、エチルセルロース

\*\*\*大豆油、ペパーミント、スペアミント、その他の植物油

【出典】CMR、DOC-ASM 1999 年、トウモロコシ年鑑、Chem 博覧会 2002(EI 2001)2001 2002

これら澱粉や糖からのバイオ製品や木材化成品の生産に携わるのは、大手化学企業、食品加工業者、パルプ・製紙会社であり、またオイル製品の生産に携わるのは、食品加工業者が大半で、少数派として食品、薬、化成品、バイオテクノロジー関連の複合企業が参入している。表 4.5.4 に主な企業名を記す。

表 4.5.4 バイオ製品の主な生産者

分類	企業名
澱粉、糖	ADM (ethanol, citric acid, sorbitol) Arkenol (ethanol) Cargill (citric acid, sorbitol) Cargill Dow (ethyl lactate, PLA) Cargill Corn Milling (sugar) Minnesota Corn Processors (ethanol) Midwest Grain Products (ethanol) DuPont (1,3-propanediol) Grain Processing Company (ethanol) Tate & Lyle Citric Acid (citric acid) Tate & Lyle - A.E. Staley (starch, ethanol) Williams Bio-Energy (ethanol)
セルロース	Dow Chemical (cellulose derivatives) Celanese (cellulose derivatives)
木材化成品	Westvaco (activated carbon, wood chemicals) Hercules (activated carbon, wood chemicals) Norit America (activated carbon) Arizona Chemical (wood chemicals) Georgia Pacific (wood chemicals) Akzo Nobel Resins (gum rosin)
オイル、脂質	Cambrex (caster oil derivatives) Vertec Biosolvents, Inc. (soy products) AG Environmental Products LLC (soy solvents, lubricants) West Central Soy (soy solvents, cleaners, lubricants) Lonza (glycerin, fatty acids)

## (2) 動向と推進者

### <技術と製品開発における進歩>

最近の技術進歩により、バイオマスから工業製品や燃料を生産するコストの削減が現実のものとなり、バイオ製品の石油製品に対する競争力が向上している。熱分解、超遠心分離、膜、生物工場における酵素や微生物の利用により、植物からの成分抽出の低コスト化が進んでいる。その結果市場が拡大し、バイオ製品への投資が企業の間でも増加している。以下に企業の取り組み例を示す。

- ◆ カーギルとダウ・ケミカルの合弁事業として、ネブラスカ州でトウモロコシ由来のプラスチックポリマーが年間 13.6 万 t 生産されている。【フォーブズ 2001】
- ◆ デュポンの Sorona®、ポリマー・プレカーサ、1,3-propanediol のような現在は高価な石油化学製品やプラスチックを、廉価なバイオマス・プロセスを使用して生産できる方法を検討している。【フォーブズ 2001】
- ◆ ダウ・ケミカルは Universal Textile と共同で、現在では標準仕様として使用されているポリウレタン・カーペットの裏張り部分の BIOBALANCE™ ポリマー・ライン（大豆由来製品）の開発に参加。この製品の開発は米国の大豆委員会から資金提供を受けており、今後自動車の内装等での使用が期待されている。
- ◆ プロクター・アンド・ギャンブル社(P&G、家庭用製品で使用するグリセリン等のバイオ製品の主要メーカー)は、アーチャー・ダニエルズ・ミッドランド社(ADM)と「技術会議」を設立し、P&G のマーケティング力と ADM のバイオ由来の原料を利用した新しい天然由来製品の開発をしている。さらに P&G 社は、高価な輸入熱帯油からではなく、国内でとれる cuphea から lauric oil を生産するプロセスを開発するために、USDA と共同で取り組んでいる。【C&EN 2002a】
- ◆ Vertec BioSolvents 社は、トウモロコシと大豆から環境にやさしい溶剤を開発し、比較的小規模であるが出荷まで行っている。Vertec 社は、規定圧で作用する溶剤をターゲットとし、新販路を拡大していく予定。【CMR 2002】

### <バイオリファイナリー概念>

バイオリファイナリーでは理論上、多様なバイオマスを利用して、燃料、電力、熱、化成品、材料等を生産することができる（図 4.5.15）。

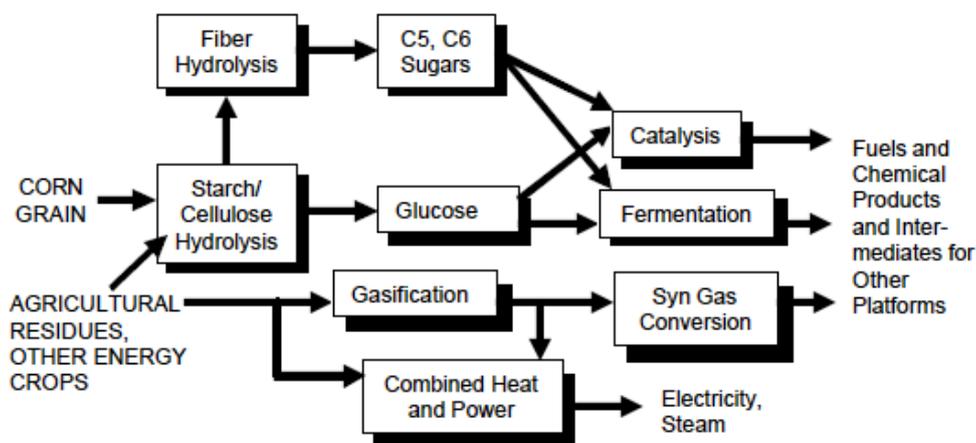


図 4.5.15 バイオリファイナリー

バイオリファイナリーの概念は、米国においてすでに農業、林業分野で成功を収めており、現在それらのプラントにおいて、熱や電力をはじめとして食物、餌、ファイバー、化成品の生産が始められている。以下に企業の取り組み例を示す。

- イリノイ州の Decatur のアーチャー・ダニエルズ・ミッドランド複合企業は、バイオリファイナリーの典型的な例で、ウェットなトウモロコシ粉を原料として、工業用の酵素、乳酸、クエン酸、アミノ酸、エタノールを生産している。酵素は澱粉を maltodextrins とシロップに変換するのに、乳酸、クエン酸、アミノ酸などの化成品は食糧、洗剤、プラスチックに、エタノールは溶剤や輸送燃料に使用している。また現地でのコ・ジェネレーション・システムは、これら転換プロセスに使用する電力と蒸気を供給している。
- Arkenol 社は、様々なバイオ由来の化成品、輸送燃料を生産することができる酸性の加水分解バイオリファイナリー技術を開発している。Arkenol 社は、いくつかのバイオリファイナリー施設を世界に所有しており、カリフォルニア州サクラメントの設備では、年間 400 万ガロンの燃料エタノール、4.1 万 t のクエン酸を生産している。[Arkenol 2002]
- カーギル・ダウ社は、トウモロコシの葉茎、麦わら等のリグノセルロース・バイオマスを利用して、乳酸、PLA、エタノール等を生産する技術を開発している。利用できないバイオマス残渣は、発電用燃料として使用している。

バイオリファイナリーは、バイオエネルギー産業の実現に最も近いところにある技術であるが、経済性の側面から考慮するとその特性であるフレキシビリティが課題となる。理想としては、現在の石油リファイナリーのように、オン・デマンドに基づいて原料供給やプロセス変更ができるようになることが望ましい。

高付加価値生産物では生産コストは 20% であり、つまり利益が 80% に達する。柔軟で収益性の高い製品生産をすれば、バイオリファイナリーにより無尽蔵にあるバイオマスから最大の価値を得ることができる。

### <政策と制度>

政府のバイオマスに関する政策は、1970 年代の初めに始まっており、数十年の間に様々な方法でバイオマス使用の促進を行っている。以下にその主なものを記す。（詳細略）

- 1992 年 エネルギー政策法 (Energy Policy Act of 1992 (EPAAct))
- 2000 年 バイオマス R&D 法 (Biomass R&D Act of 2000)
- 2001 年 米国エネルギー政策 (National Energy Policy (NEP))
- 2002 年 農場法 (2002 Farm Bill)

(b) バイオ製品の可能性

(1) 工業バイオ製品の潜在的可能性の概要

工業用バイオ製品の展望を表 4.5.5 に示す。

表 4.5.5 工業用バイオ製品の展望

プラットフォーム	ケミカル	現状の米国市場 100 万 lb (万 t)	2020 年における バイオ製品市場規模 100 万 lb (万 t)
糖発酵	乳酸 (現在バイオ由来)	<5 (0.2) (工業利用)	GDP に応じた成長を期待
	ポリアクチド (現在バイオ由来)	パッケージング：21,289 (965.7) 繊維／繊維詰め物：2,769 (125.6)	8,000 (362.9)
	エチル乳酸塩 (現在バイオ由来)	8,000-10,000 (362.9-453.6)	>1,000 (45.4)
	1,3-Propanediol	小さい	500 (22.7)
	コハク酸	米国：小さい 世界：33 (1.5)	GDP に応じた成長を期待
	コハク酸誘導体	1,395 (63.3)	>90 (4.1)
	Bionolle 4、4 ポリエステル	25,000-60,000 (1134.0-2721.6)	>4,000 (181.4)
	3-Hydroxypropioni c 酸と誘導体	5,336 (242.0)	技術開発中
	N-ブタノール	1,850 (83.9)	大規模になる見込み
イタコン酸	1,808 (82.0)	技術が開発されれば大きい	
糖発酵と熱化学	プロピレン グリコール	1,100 (49.9)	>500 (22.7)
糖熱化学	Isosorbide (現在バイオ由来)	小さい	技術開発が成功すれば、 100-300 (4.5-13.6)
	レブリン酸と誘導体	酸素化：30,800 (1397) 他：2,845 (129.0)	酸素化：未計画 他：300-500
脂質	潤滑剤と 水力学的流体	20,000 (907.2)	有力
	溶剤	8,000-10,000 (362.9-453.6)	有力
	ポリマー	5,327 (241.6)	有力
	プロテイン	不詳	不詳
バイオマスガス化	Fischer-Tropsch と Gas-to-Liquids 製品	非常に大規模な市場	さらに有力
バイオマス熱分解	フェノール・ホルム アルデヒド樹脂	3,900 (176.9)	有力
Biocomposites	Biocomposites	不詳	不詳
植物工場 Plants as Factories	ゴムノキ	2,184 (99.1)	未計画
	Polyhydroxyalkano ates(PHAs)	30,000 (1360.8)	技術開発が成功すれば、> 4,000 (181.4)
光合成、嫌気性消化	リグニン、メタン、 二酸化炭素、その他	不詳	不詳

(2) 新規・開発中の工業バイオ製品

今日、米国では従来のバイオ製品である材木パルプや紙以外に、544 万 t 以上の工業バイオ製品が生産されている (表 4.5.6)。

表 4.5.6 国内バイオマスから生産される工業バイオ製品の現状

分類	主要技術	供給材料	ケミカル	バイオ製品年間生産量、 100 万 lb (万 t)
澱粉と糖	生化学	トウモロコシ、サトウモロコシ由来のバイオマス糖	乳酸、クエン酸、エタノール、澱粉、ソルビトール、レブリン酸、イタコン酸	5,413 (245.5)
油と脂質	熱化学	大豆、ナタネ由来の油/脂質	グリセロール/グリセリン、アルキド樹脂、高エルカ酸菜種、ポリウレタン、エポキシド大豆油、factice、硫化脂肪油、脂肪酸、cyclopentadienized oil、レシチン、maleinized oil	1,589 (72.1)
専用作物	熱化学	スペアミント、ペパーミント、スイートアーモンド	スペアミント油、ハッカ油、スイートアーモンド油	9 (0.4)
森林由来	熱化学	松、黒液、軟材	テレピン油、ロジン、トール油、セルロース誘導体(エステル、酢酸塩など)	5,326 (241.6)
計				12,337 (559.6)

<バイオマス変換技術プラットフォーム>

バイオマス成分を付加価値製品、燃料、電力に変換するプロセスは、生化学プロセスと熱化学プロセスに分類できる。

生化学プロセス

生化学技術では、酵素や微生物を利用して、原料を目的の製品に変換する。または製品が抽出物やファイバーといったかたちで、植物体の中で生産される。

熱化学プロセス

熱化学技術では、触媒(酸、金属、その組み合わせ)、高圧、温度を利用して、原料を目的の製品に変換する。ガス化や熱分解のような熱化学プロセスは、研究は進められているが、まだ商用段階ではない。

①C6 糖の発酵によるバイオ製品

<乳酸発酵プラットフォーム>

乳酸は現在、糖の発酵により製造され、米国内で年間 3.3 万 t が主として食糧・飲料分野で消費されている。発酵・分離技術の進歩により製造コストは急激に下がっており、現在では 1kg 当たり 1.1 ドルで、さらに近い将来 0.55 ドルまで削減することができると期待されている。

エネルギー省 (DOE) からの資金協力を受け、現在、C5 糖と C6 糖の両方を利用することを目指した微生物の研究が行われている。これまでトウモロコシ穀物に依存してきた C6 糖に対して、低コストの原料であるリグノセルロース残留物や他のエネルギー作物(トウモロコシ茎葉、麦わら、稲わら、スイッチグラス)の利用を検討している。表 4.5.7 に乳酸誘導体の利用分野、市場規模等を示す。

表 4.5.7 乳酸誘導體

ケミカル	現状の米国市場 100万 lb (万 t)	市場価格 \$/lb (\$/kg)	2020年における バイオ製品市場規模 100万 lb (万 t)
乳酸	<5 (0.2) (工業利用)	0.70-0.85 (1.5-1.9)	GDPに応じた成長を 期待
Poly lactide	パッケージング：21,289 (965.7) 繊維、繊維詰め物：2,769 (125.6)	0.30-1.50 (0.66-3.31)	8,000 (362.9)
エチル乳酸塩	8,000-10,000	0.30-1.80 (0.66-3.97)	>1,000(45.4)
アクリル酸	2,000	0.48(1.06)	技術的突破口が必要
プロピレンエチレン グリコール	1,100	0.39-0.48 (0.86-1.06)	従来石油由来製品との 競争
ピルビン酸	小さい	高い	未計画
1-アミノ-2-プロパ ノール	不詳	不詳	不詳
ラクトニトリル	不詳	不詳	不詳
乳酸アミド	不詳	不詳	不詳
ラクチド	不詳	不詳	不詳
2,5-ジメチル-1,4ジ オキサン	不詳	不詳	不詳

<コハク酸発酵プラットフォーム>

工業用コハク酸はブタンから生産され、食物用コハク酸は旧来の発酵・分離技術によって生産されている。しかしどちらの方法も高価で、そのためコハク酸の利用は特別な領域に限られており、世界市場でも年間1.5万tと小さなレベルである(表4.5.8)。

DOEによる資金協力を受け、バイオ由来コハク酸の開発のため微生物の改善、分離技術の開発に力が注がれた。生産性が著しくよい大腸菌株AFP111が開発され、商用規模で大きな成功を収めた。

表 4.5.8 コハク酸誘導體

ケミカル	現状の米国市場 100万 lb (万 t)	市場価格 \$/lb (\$/kg)	2020年における バイオ製品市場規模 100万 lb (万 t)
コハク酸	小さい (世界：33(1.5))	2.70-4.00(5.95-8.82)	GDPに応じた成長を 期待
テトラヒドロフラン (THF)	255(11.6)	1.55(3.42)	>50?(2.3?)
1,4-Butanediol(BDO)	680(30.8)	0.65-0.90(1.43-1.98)	>30?(1.4?)
γ-Butyrolactone(GBL)	105(4.8)		
n-Methyl pyrrolidone (NMP)	80(3.6)	1.34(2.95) (再生) 1.85(4.08)(新規)	エチル乳酸塩により 置き換わる
2-Pyrrolidone	>65(2.9)	不詳	
コハク酸塩類	防氷	ロード：200(9.1) 空港：10(0.5)	ロード：0.02(0.04) 空港：0.46-0.88(1.01-1.94)
	除草剤	小さい	不詳
Bionolle 4,4 ポリエステル	25,000-60,000 (1134-2722)	0.30-1.50(0.66-3.31)	>4,000?(181.4?)
アジピン酸	1,960(88.9)	0.625-0.775 (1.38-1.71)	技術的突破口が必要
Succinamide	不詳	不詳	不詳
1,4-ジアミノブタン	小さい	不詳	
Ethylenediamine-disuccinate	175(7.9)	0.40(0.88)(~40%液体) 1.40(3.09)(結晶)	
DL-リンゴ酸	20(0.9)	0.81-0.84(1.79-1.85)	
無水マレイン酸	546(24.8)	0.32-0.45(0.71-0.99)	小さい
フマル酸	35(1.6)	0.82-0.85(1.81-1.87)	
二塩基エステル	50(2.3)	不詳	

### <3-Hydroxypropionic 酸>

3-Hydroxypropionic 酸(3HP)へのグルコースの発酵は、現在カーギル社により研究が進められている。その誘導体と市場規模は表 4.5.9 の通り。

表 4.5.9 3-Hydroxypropionic 酸の誘導体

ケミカル	現状の米国市場 100 万 lb (万 t)	市場価格 \$/lb (\$/kg)	2020 年における バイオ製品市場規模 100 万 lb (万 t)
アクリル酸	2,000(90.7)	0.48(1.06)	現在技術開発中
アクリロニトリル	3,130(142.0)	0.31-0.37(0.68-0.82)	現在技術開発中
アクリルアミド	206(9.3)	1.76-1.86(3.88-4.10)	現在技術開発中
1,3-Propanediol	小さい	0.30-0.50(0.66-1.10)	現在技術開発中
マロン酸	<1(0.04)	高い	現在技術開発中

### <1,3-Propanediol>

1,3-Propanediol は、テレフタル酸と共に、ポリトリメチルテレフタル酸塩(PTT)を生産する。PTTは「ストレッチ」特性を備えたポリマーで、柔軟性、ストレッチ性、可染性、手入が簡単ななどの理由により、服、室内装飾品、専門樹脂等に利用される。シェル・ケミカルでは、CORTERRA ポリマー、デュポンでは Sorona® 3GT として製造されている。

### <ブタノール発酵と誘導体>

DOE の中小企業革新研究 (SBIR) プログラムでは、石油からのブタノールに対して価格的に競争力を持てるようバイオからのブタノール生産を改良している。研究者は、バクテリア菌種の改良、高度なリアクター技術の開発、有機酸生産と有機酸からアルコール生産を別の容器で行うことにより収量増加を試みている。材料とエネルギー・バランスから、トウモロコシ 1 ブッシュェル(bushel)から 2.5 ガロンのブタノールが生産できると予測している (表 4.5.10)。

表 4.5.10 ブタノールの誘導体

ケミカル	現状の米国市場 100 万 lb (万 t)	市場価格 \$/lb (\$/kg)	2020 年における バイオ製品市場規模 100 万 lb (万 t)
n-ブタノール	1,850(83.9)	0.55(1.21)	拡大する可能性あり

### <発酵による PHA ポリマー>

PHA は、炭素やエネルギーを貯蔵するため、バクテリアによって生産された天然高分子ファミリーで、その性能は PLA をしのぐものがある。PHA が競争力を持つ価格で生産できるようになれば、プラスチック市場の大きなシェアを占めると考えられる。

### <発酵由来の L-リジン>

L-リジンは、現在そのほとんどが中国から輸入されており、国内産リジンでまかなうためには、プロセスを改善して中国産に対する競争力を高める必要がある。

### ②C5 糖の発酵によるバイオ製品

キシロースのような五炭糖はこれまで未開発の資源であった。ペントースとグルコースの両方を利用することができる微生物が開発されたのをきっかけに、五炭糖の利用が検討され始めた。バイオマスの五炭糖を加水分解するのははるかに容易で、安価である。五炭糖のみ、またはグルコースと共に利用する微生物の開発により、経済性が大幅に改善し、バイオマスの利用増を可能にした。

<イタコン酸>

イタコン酸の使用はその高い生産原価により制限されていたが、低コストでの生産が可能になり利用が拡大している。これまでより廉価な生産工程をもつため、感圧性の接着剤(PSA)市場をはじめ、メタクリル酸メチル(MMA)、その他のアクリル酸塩とも競合が可能となった。アクリル酸塩と MMA の市場は 81.6 万 t で、年間成長率は 2-3%と予測されている。[ACC 2000、CNI 2002]。

<フラン>

フルフラール、フルフリル・アルコールおよび 2-hydroxymethyl テトラヒドロフランのようなフランは、キシロースから発酵することができる。米国におけるフランの生産は、低価格の中国製品の輸入によりほとんど行われていなかった。前処理用技術の開発と、五炭糖利用微生物の改善により、国内における生産コストを引き下げることが可能である (表 4.5.11)。

表 4.5.11 キシロースの誘導体

ケミカル		現状の米国市場 100 万 lb (万 t)	市場価格 \$/lb (\$/kg)	2020 年における バイオ製品市場規模 100 万 lb (万 t)
イタコン酸	現状	~7.5(0.3)	0.48(1.06)	技術が開発されれば大きい
	可能性 (MMA)	1,500(68.0)	0.48-0.56(1.06-1.23)	
	可能性 (アクリル PSA)	300(13.6)	2.00-4.00(4.41-8.82)	
フルフラール		68(3.1)	0.79(1.74)	未計画
フルフリル・アルコール		19(0.9)	0.38-0.44(0.84-0.97)	未計画
2-ヒドロキシメチルテトラヒドロフラン		不詳	不詳	不詳

③糖の熱化学変換によるバイオ製品

近年新しく改善された触媒の開発により、付加価値のあるバイオマスからの糖による製品の生産が急速に進んでいる。

<ソルビトール誘導体>

ソルビトールは、年間 27.9 万 t 以上が国内生産されている。ソルビトールの市場はすでに成熟しており、今後の成長はあまり期待できない。しかし、ソルビトールをエチレングリコールへの転換する新しい触媒と技術は、バイオ製品に大きなチャンスとなっている (表 4.5.12)。

表 4.5.12 ソルビトールの誘導体

ケミカル	現状の米国市場 100 万 lb (万 t)	市場価格 \$/lb (\$/kg)	2020 年における バイオ製品市場規模 100 万 lb (万 t)
エチレングリコール	5,950(269.9)	ポリエステル : 0.20-0.22(0.44-0.49) 不凍剤 : 0.16-0.19(0.35-0.42) 工業利用 : 0.25-0.275(0.55-0.61)	小さい
プロピレングリコール	1,100(49.9)	0.68-0.71(1.50-1.57)	>500(22.7)
グリセロール	428(19.4)	0.90-1.10(1.98-2.43)	小さい
Isosorbide	小さい	不詳	技術開発が成功すれば、 100-300(4.5-13.6)

<D-グルコン酸>

省略

<熱化学キシロース誘導体>

5 炭糖における熱化学は 6 炭糖と同じで、キシロースは水素化処理によりキシトール(ソルビトールの 5 炭糖相当)を産出する。ソルビトールからはグリコール (エチレングリコール、プロピレングリコール、グリセリン) を製造できる。

#### ④油脂由来のバイオ製品

現在植物油の工業製品としての利用が認められつつある。表 4.5.13 は、脂肪種子(oilseed)の現在と未来における潜在的用途、および工業作物として開発中のものを掲げた。

表 4.5.13 植物油の利用の比較

	潤滑油 と水圧 流体剤	溶 剤	印刷 インク	塗料、ニス、 ワックス、 ペンキ	ポリマー、 樹脂と 可塑剤	接 着 剤	脂肪酸/ 界面活性	ニ ッ チ
大豆	○	○	○	○	○	○	○	○
ひまわり	○				○			
紅花	○				○			○
菜種	○				○			
ハマナ	○				○			
Castor	○			○	○			○
Cuphea							○	
Lesquerella	○			○	○			○
あまに			○	○				○
ホホバ	○		○	○	○		○	○
Meadowfoam	○			○	○		○	○

#### <潤滑剤と水圧流体>

植物油を原料とする潤滑剤は、石油を原料とする潤滑剤に比べ、表 4.5.14 に示すような長所・短所がある。しかし、これらの問題点は、添加剤の添加、または植物油の改良によって克服できる。

表 4.5.14 植物油を原料とする潤滑剤の長所と短所

長所	短所
低コスト、高い粘度指数、低い蒸発ロス、 生物分解が容易で環境にやさしい	熱安定性、酸化・加水分解の安定性が低い

#### <植物油由来の溶剤>

大豆メチル (Methyl soyate) は優れたバイオ溶剤であるが、2001年現在、大豆油の溶剤としての利用は 454t に留まっている。大豆メチルは優れた溶解力を示し、容易に生物分解される。また他の多くの化学薬品と比較して毒性が低く、フラッシュや沸点が低いため、従来の溶剤より貯蔵・取り扱いが安全である。ただ一つの欠点は水中での蒸発が遅く、不溶であることであるが、エチル乳酸塩のような界面活性剤や共同溶剤(co-solvent)の混合により克服できると考えられている。

#### <油由来のポリマー、樹脂、可塑剤>

植物油から高分子材料を作成するために、①エステル交換 (transesterification)、②エポキシ化 (epoxidation)、③ヒドロホルミル化 (hydroformylation)、④メタセシス (metathesis) といった反応が使われる (図 4.5.16~図 4.5.18)。植物油から作成できる高分子材料は無限で、研究はまだ始まったばかりである。

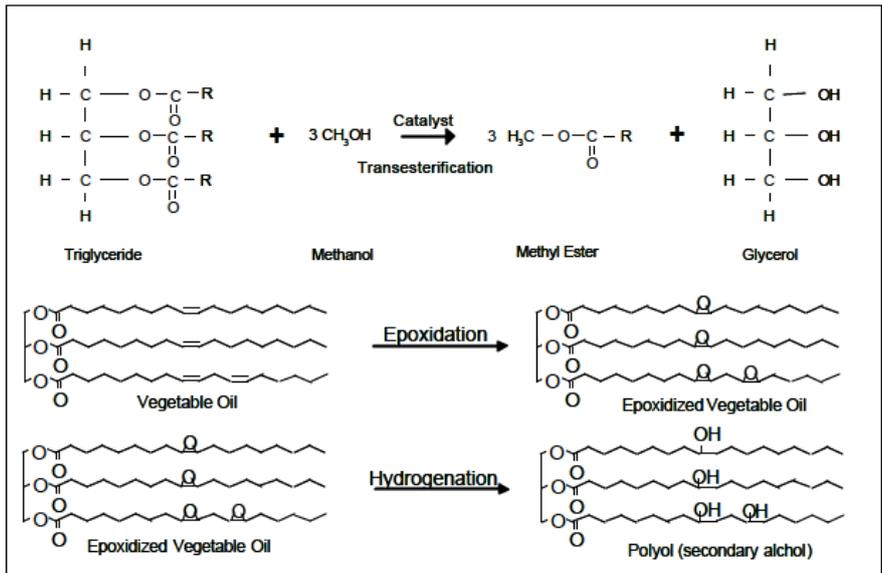


図 4.5.16 エステル交換とエポキシ化

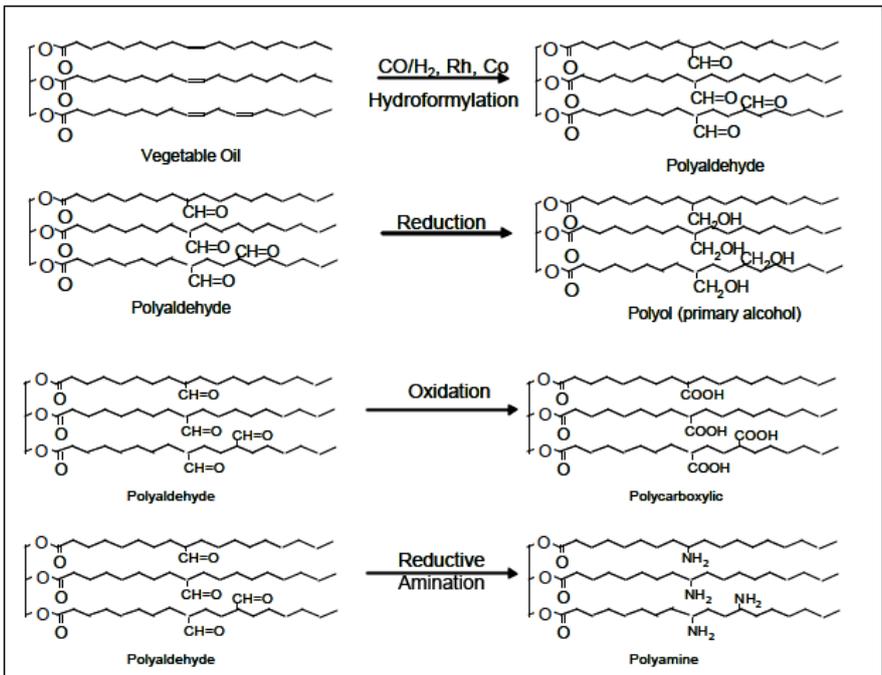


図 4.5.17 ヒドロホルミル化と後続ケミストリー

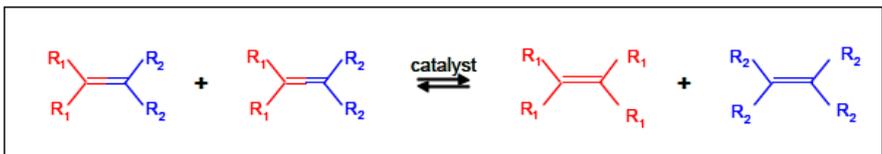


図 4.5.18 メタセシス

### <植物油接着剤>

石油の高価格化により、低コストを実現する可能性を有する植物油が注目されている。植物油は任意の表面に極性をつくり、有能な官能基をつくることができる。極性を持った官能基は様々な粘着性を可能にする。反応基の追加は、不飽和脂肪酸の中の二重結合によるものである。圧にセンシティブな接着剤(PSA)が、バイオ由来の接着剤としてまずは有用であると考えられている。

### <界面活性剤>

今日、新しい化学、作物、技術の開発により、国内作物から界面活性剤を生産することが可能になりつつある。メチルエステルスルホン酸塩(MES)は、植物油から界面活性剤をつくる。

### <油脂のニッチ市場>

環境に対する意識の向上と、アンチエイジング製品の需要も後押しとなり、消費者は成分が化学工業により生産された化学薬品ではなく、「天然の」製品を求めるようになってきた。このことによりこれまで小さな市場でしかなかった国内の化粧品市場は、271億ドルにまで成長した。

### ⑤プロテイン由来のバイオ製品

これまで産業のバイオ製品として、タンパク質はあまり調査されてこなかったが、タンパク質の持つ可能性は大きいと考えられている。植物性タンパク質は現在、ポリマー、コーティング、合成物、インク、化粧品、パーソナルケア等のいくつかの市場で利用されているが、新しい特性を生かしたタンパク質利用はまだ開発途上で、市場規模は小さいものに留まっている。

### ⑥ガス化によるバイオ製品

ガス化は、高温と酸素を利用して固体の炭素に富む材料をガスと少量の液体に変換するもので、燃料、化学原料、電力として利用される。技術は1800年代初めから開発されてきたが、現在バイオマスのガス化システムの商用化が課題となっている。

合成ガスから有用な化成品を作り出す反応に Fischer-Tropsch 法があり、表 4.5.15 のような製品が生産できる。

表 4.5.15 合成ガスから Fischer-Tropsch 法により生産できる化成品

製品	現状の米国市場 100万 lb (万 t)	市場価格 \$/lb (\$/kg)
メタン (SNG)	$7 \times 10^{10} (3 \times 10^9)$	0.11-0.19(0.24-0.42)
プロパン	397(18.0)	0.06-0.12(0.13-0.26)
ブタン	15,654*(710.1)	0.15(0.33)
メタノール	12,180(552.5)	0.08-0.11(0.18-0.24)
エタノール	11,682(529.9)	0.12-0.18(0.26-0.40)
イソブタノール	116(5.3)	0.30-0.50(0.66-1.10)
ジメチルエーテル	10-80(0.5-3.6)	1.00-25.00(2.20-55.11)
メチルアセテート	645(29.3)	0.60(1.32) >
ジメチルカーボネート	95(4.3) >	>0.74(1.63)
ガソリン	804,043(36,471)	0.10-0.19*2(0.22-0.42)
ディーゼル	393,634(17855)	0.09-0.14*2(0.20-0.31)
パラフィン・ワックス	666(30.2)	0.23-0.25(0.51-0.55)

\*1: 天然ガスプラントの製品と石油製品の精製製品を含む

\*2: 税を含まず

### ⑦熱分解によるバイオ製品

Pyrolysis(熱分解)とは、バイオマス中の有機成分を酸素がない状態で行う直接熱分解で、液体や固体の誘導体、燃料ガスのような多くの有用な製品に変換される。今最も商用化に近い技術は、リグニンを多く含んでいるリグノセルロースの熱分解で、フェノールホルムアルデヒド樹脂のフェノールに置換できる(表 4.5.16)。

表 4.5.16 リグニン誘導体

ケミカル	現状の米国市場 100万 lb (万 t)	市場価格 \$/lb (\$/kg)	2020年における バイオ製品市場規模 100万 lb (万 t)
フェノールホルムアルデヒド	3,900(176.9)	0.30(0.66)	大きい

⑧バイオ合成物

合成物とは弱い材料に加え強度を補強するもので、古くはコンクリートの中の鉄筋やワイヤー入りのタイヤ等、最近では、補強用の繊維ガラス、炭素繊維、ケブラーや、バインダーとしてのポリマーの樹脂等がある。最も優れたバインダーとして、加熱可塑性物(ポリエステル、ポリアミド)が入った熱硬化性のポリマー(エポキシ樹脂)がある。今後もバイオテクノロジーや材料科学等の進歩により、バイオ合成物の可能性は飛躍的に拡大すると考えられる。

⑨植物工場

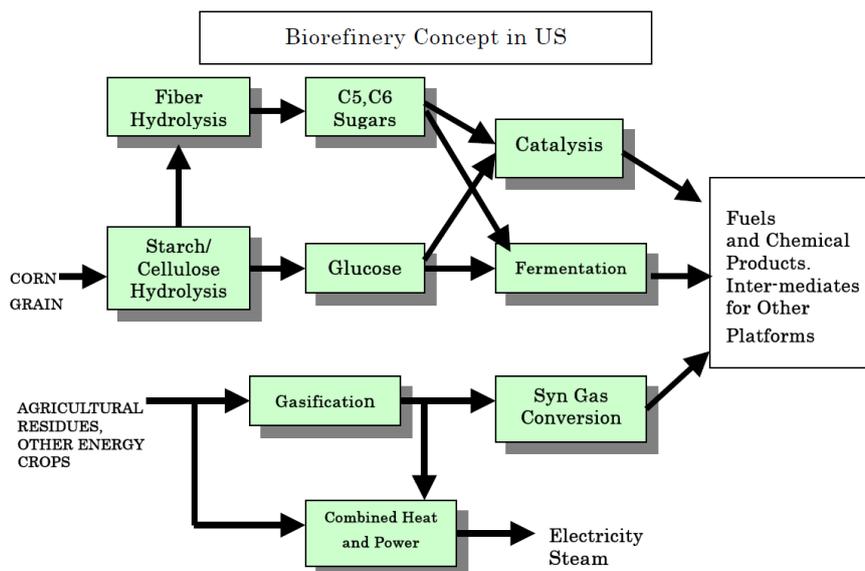
工業製品生産のために、糖や他の成分に変換する方法に加えて、植物体自身の中で直接バイオ製品を生産することも考えられる。例えば、ビタミン E やトコフェロールのような酸化防止剤は、植物によって生産され、ヘルスケア製品として使用するため抽出、浄化が可能である。現在検討されている例は表 4.5.17 の通り。

表 4.5.17 植物工場

ケミカル		現状の米国市場 100万 lb (万 t)	市場価格 \$/lb (\$/kg)	2020年における バイオ製品市場規模 100万 lb (万 t)
トコフェロールステロール		7(0.3) (ビタミン E)	1.00-2.00(2.20-4.41)	未計画
グアールゴムノキ		2,184(99.1)	0.25-0.59(0.55-1.30)	未計画
PHAs		30,000(1360.8)		技術開発が成功すれば、 >4,000(181.4)
Milkweed (乳液を分泌する植物)	詰め物用	2,769(125.6)	0.56(1.23)	未計画
	臭化メチル代替	55(2.49)	4.00-5.00(8.82-11.02)	未計画

(3) バイオマス由来の最高付加価値化学品 (2004年)

米国のバイオリファイナリー概念を図 4.5.19 に示す。



【出典】 DOE

図 4.5.19 バイオリファイナリーの概念

本レポート<sup>171</sup>に記載されている潜在的基幹ブロックのスクリーニングを総括すると図 4.5.20 のようになる。

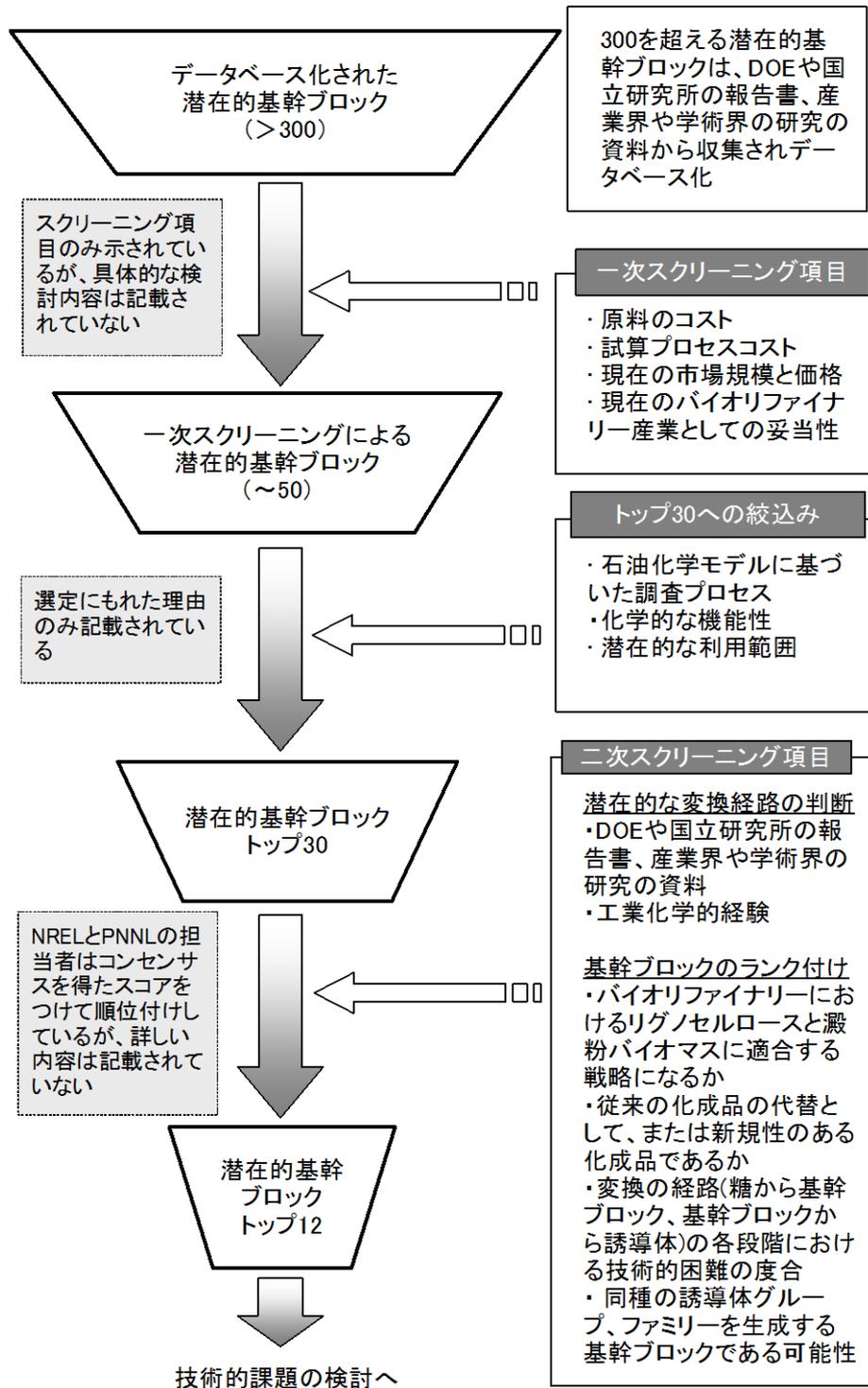


図 4.5.20 糖と合成ガスからつくる潜在的基幹ブロックのスクリーニング

<sup>171</sup> DOE : Top Value Added Chemicals from Biomass (2004)  
<http://www1.eere.energy.gov/biomass/pdfs/35523.pdf>

(a) 概要

本報告書では、糖から生物学的変換または化学的変換により生成でき、高付加価値のバイオ化成品や材料として利用可能性のある12の基幹ブロックを選定した（表 4.5.18）。

表 4.5.18 基幹ブロックのトップ 12

	Building Blocks	基幹ブロック
1	1,4-succinic, fumaric and malic acids	1,4-コハク酸、フマル酸、リンゴ酸
2	2,5-furan dicarboxylic acid	2,5-フランジカルボン酸
3	3-hydroxy propionic acid	3-ヒドロキシプロピオン酸
4	aspartic acid	アスパラギン酸
5	glucaric acid	グルカル酸
5	glutamic acid	グルタミン酸
7	itaconic acid	イタコン酸
8	levulinic acid	レブリン酸
9	3-hydroxybutyrolactone	3-ヒドロキシブチロラクトン
10	glycerol	グリセロール
11	sorbitol	ソルビトール
12	xylitol/arabinitol	キシリトール/アラビニトール

基幹ブロックとその誘導体は2段階で合成される。第1段階は糖から基幹ブロックへの変換、第2段階は、基幹ブロックから誘導体への変換である。生物変換は植物の原料から基幹ブロックを作成する多くの過程で利用され、化学変換は基幹ブロックから誘導体を作成する過程で主に利用される。

12の基幹ブロックの選択は300を越える候補リストから始まった。これらのリストから、①基幹ブロックの石油化学モデルに基づいた調査プロセス、②化学データ、③既知の市場データ、④特性、⑤潜在的な候補のパフォーマンス、⑥PNNLとNRELのチームのこれまでの産業における経験を参考にして、30の潜在的な候補に絞られた。最終的に30候補の中から、①基幹ブロックとその誘導体の潜在的な市場と②合成方法の技術的可能性を考慮して12の基幹ブロックが選定された。

第二位基幹ブロック(second-tier group of building blocks)も実行可能な候補であることを確認している（表 4.5.19）。

表 4.5.19 第二位基幹ブロック

	second-tier group of Building Blocks	第二位基幹ブロック
1	gluconic acid/citric	グルコン酸
2	lactic acid	乳酸
3	malonic acid	マロン酸
4	propionic acid	プロピオン酸
5	the triacids, citric and aconitic	xylic acid : キシロン酸 acetoin : アセトイン furfural : フルフラール levoglucosan : レボグルコサン lysine : リジン serine : セリン threonine : トレオニン

更なる推奨研究として、以下の項目を掲げている。

- ・ 芳香族、多糖、油といったバイオマス・コンポーネントから、高付加価値生産物を作成することを検討
- ・ 化学変換・生物学変換に関するさらに詳細な研究開発
- ・ 候補となった化成品生成のため適切な潜在的反応の開拓

## (b) 背景

DOEのエネルギー効率・再生可能エネルギー局(EERE: Energy Efficiency and Renewable Energy Office)におけるバイオマスプログラムは、大統領国家エネルギー政策、2000年のバイオマスR&D法、2002年の農業保障と地域投資法 (Farm Security and Rural Investment Act of 2002) を基礎とするもので、これら政策の目標を達成するため、バイオマスから炭水化物、油、リグニン等を抽出し、燃料や高付加価値化成品等の製品や材料に変換するバイオリファイナリーの統合を支援している。

本報告書はすべてのバイオマス・コンポーネントから生成可能な付加価値製品を調査した最初の報告書であり、バイオリファイナリー産業として経済的にも成り立つバイオマス由来の糖からの化成品および材料を選定するものである。

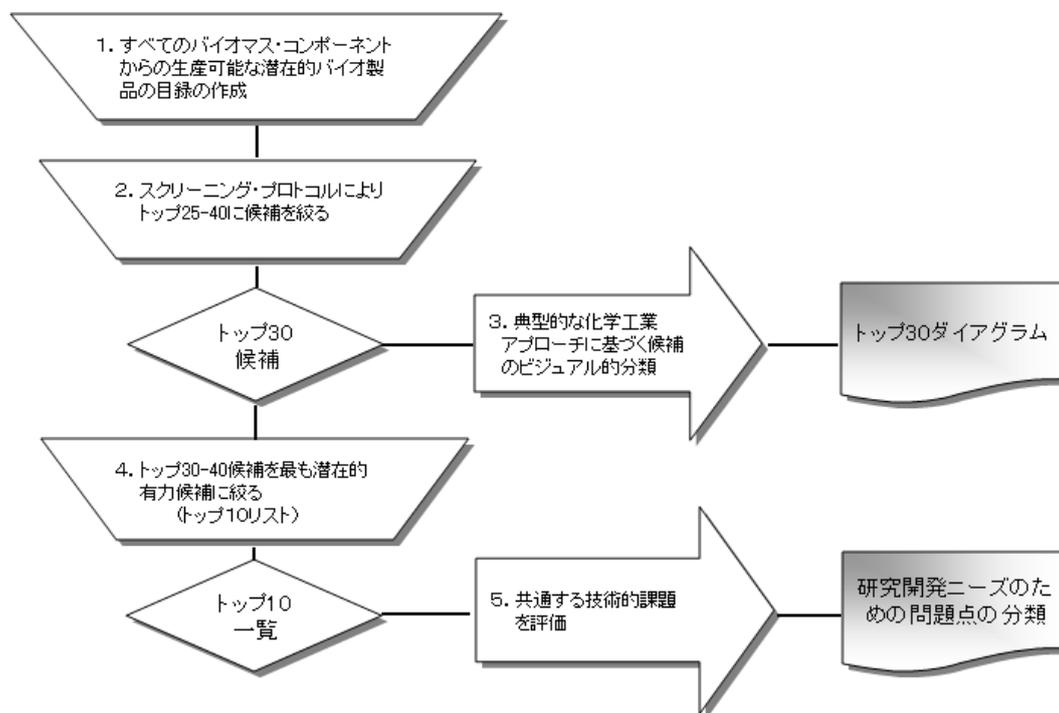
## (c) 目的

2002年に統合されたバイオマスプログラムの目的は、燃料、電力をはじめ、高付加価値化成品の生産等、バイオリファイナリー産業の促進である。

バイオマス・プログラム・オフィスの依頼を受け、国立再生可能エネルギー研究所(NREL)、北西太平洋国立研究所(PNNL)では、①バイオマスリファイナリーにより生産できる経済的、技術的に優れた燃料や電力等、高付加価値化成品のトップ10を選定すること、②またそれら生産技術における共通の問題点、課題を抽出することを検討した。本報告書は複数年プログラム計画、複数年技術計画、分析計画、コミュニケーション計画、年間業務計画等、バイオマス・オフィスにおける進行中プログラム計画における手引きの研究である。

## (d) アプローチの全体像

戦略の全体像を図 4.5.21に示す。



【出典】 <http://www.eere.energy.gov/biomass/pdfs/35523.pdf>より TRI編集

図 4.5.21 戦略の全体像

300を超える潜在的基幹ブロックは、DOEや国立研究所の報告書、産業界や学術界の研究の資料から収集されデータベース化された。以下にデータベースに使用した資料、データベースの項目、第一次スクリーニング項目を列挙する。

<潜在的バイオ製品目録作成に使用した資料>

- Aggressive Growth in the Use of Bio-derived Energy and Products in the United States by 2010. Final Report and Data Volume, Arthur D. Little, October, 2001.
- Alternative Feedstocks Program Technical and Economic Assessment: Thermal/Chemical and Bioprocessing Components. Prepared for DOE's Office of Industrial Technologies, J.Bozell and R. Landucci, Editors, NREL 1993.
- Biobased Products. Prepared for the Fifth Biomass Conference of the Americas by M.Paster and T. Carole. September, 2001 (personal communication).
- Chemical Economics Handbook, Stanford Research Institute International, Palo Alto, CA, 2002
- Industrial Bioprocessing Alert. An electronic newsletter published regularly by Technical Insights Alert. Copyright 2003, Frost & Sullivan, San Antonio, TX 78229. ISSN 1056-7194.
- Industrial Utilization of Renewable Resources: An Introduction. H.J. Szmant. Technomic Publishing Company, Inc., Lancaster, Pennsylvania, 1986.
- Process Economics Program Yearbook, 2002, Volume 3E. SRI Consulting, Menlo Park, California (contains process economics for 934 routes to produce 534 chemicals in the United States, Germany and Japan).
- Production of Organic Chemicals via Bioconversion: A Review of the Potential. Prepared for the US DOE's Idaho Operations Office. S. A. Leeper, T.E. Ward, and G. F Andrews. EGG-2645, July 1991.
- The Bioproducts Industry: Today and Tomorrow. Prepared for DOE's Office of the Biomass Program by Energetics, Incorporated. M. Paster, J. Pellegrino and T. Carole. July, 2003<sup>172</sup>

<化学的・生物学的反応を判断するために使用した資料>

- Ashford's Dictionary of Industrial Chemicals. 2nd Edition. Wavelength Publications, Ltd., London, England. 2001 (8,360 entries with 7,970 structured diagrams).
- Chemical Economics Handbook, Stanford Research Institute International, Palo Alto, CA, 2002
- Industrial Organic Chemistry. Klaus Weissermel and Hans-Jurgen Arpe, 3rd Edition, VCH Publishers, NY (Wiley company) 1997.
- The Merck Index: An Encyclopedia of Chemicals and Drugs. Merck & Co., Inc. Rahway, NJ.
- Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology (online). Copyright · 2003 by John Wiley & Sons, Inc.
- Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry (online). Copyright · 2003 by Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA.
- New Biocatalysts: Essential Tools for a Sustainable 21st Century Chemical Industry. W. Scouten and G. Petersen.

<データベース項目>

- 化学名
- 構造
- バイオマス原料用資源
- 現状の生産プロセスと潜在的生産プロセス
- 商品名
- 特性
- ポリマーあるいは食物/農業化成品
- 特記事項

---

<sup>172</sup> <http://www.bioproducts-bioenergy.gov/default.asp>

< 第一次スクリーニング項目 >

- 原料のコスト
- 試算プロセスコスト
- 現在の市場の大きさと価格
- 現在のバイオリファイナリー産業としての妥当性

(e) 第一次スクリーニングからトップ30の選定

スクリーニングは300に及ぶリストの中から、表 4.5.20の基準に見合ったものをリストアップすることから始まった。

表 4.5.20 バイオリファイナリー戦略に基づく基準

	生産物の直接的代替	新規生産物	基幹ブロック 中間生成物
特色	石油由来の既存の製品、化成品と直接競争	既存の機能性を改良した特性、または全く新規の特性を所有	単一の中間物からの種々の製品のポートフォリオを提供
例	プロピレン、または乳酸から生産されるアクリル酸	ポリ乳酸(乳酸からグルコースを生産する唯一の資源)	コハク酸、レブリン酸、グルタミン酸、グリセリン、合成ガス
有利な条件	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 市場は既に存在</li> <li>• コストの構造と潜在的な成長力の理解</li> <li>• 市場リスクの本質的な縮小</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 新規特性を備えておりコスト問題は重要でない</li> <li>• 石油化学との競争がない</li> <li>• 必要な性能をもつことによる差別化</li> <li>• 新しい市場のチャンス</li> <li>• バイオマスが本来持つ特性を最も有効に利用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 製品の転用戦略は市場リスクを減らすことが可能</li> <li>• 潜在的な市場の拡大</li> <li>• 資本投資効果の拡大</li> <li>• 代替製品と新規製品両方の利点を具体化できる</li> </ul>
不利な条件	<ul style="list-style-type: none"> <li>• コスト面での厳しい競争</li> <li>• 市場価値を低下させる資本投入との競争</li> <li>• 「市場差別」：バイオ資源 vs 石油化学資源</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 市場が明確に定義されていない</li> <li>• キャピタルリスクが高い</li> <li>• 商業化への時間は長と予測される</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 集中すべき研究開発を選定する必要性</li> </ul>

この第一次スクリーニングにより約50の候補を選定し、炭素化合物の炭素数によりC1からC6に分類した。次いで、①化合物の機能性と②潜在的な利用について検討した。化合物の機能性は、化学変換・生物変換で合成できる潜在的誘導体の数で判断した。さらに各候補分子は現状の有用性により、①従来の化学プロセスにより発生する中間生成物、②炭化水素に機能性を加えるための試薬分子、③石油化学合成からの副産物に分類し、商品化する化成品として最適であると考えられる候補を検討した。バイオマスは資源としては有用であるものの、大きな資本投資、低い市場価格競争といった経済的なハードルを克服することが大きな課題となっている。表 4.5.21は第一次スクリーニングの結果を炭素数で分類したものである。

表 4.5.21 第一次スクリーニング結果

炭素数	名称	計画または既知の使用法 (基幹ブロック、試薬、 中間生成物)	トップ 30	選定されなかった根拠
1	Formic Acid	化学品	×	非常に限定的基幹ブロックC1を加えるだけの使用が大部分
1	Methanol	限定基幹ブロック	×	合成ガスからの十分な商用化
1	Carbon Monoxide (+ H <sub>2</sub> gives syngas)	基幹ブロック	○	
1	Carbon dioxide	試薬	×	熱力学的な問題点
2	Acetaldehyde	中間生成物	×	非常に限定的基幹ブロック
2	Acetic acid & anhydride	試薬	×	限定的基幹ブロック 合成ガスの商品規模が大きい C2添加用

炭素数	名称	計画または既知の使用法 (基幹ブロック、試薬、 中間生成物)	トップ 30	選定されなかった根拠
2	Ethanol	燃料	×	主たる利用は燃料 限定的基幹ブロック 大規模な商用化が予測される
2	Glycine	試薬	×	非常に限定的基幹ブロック 利用法があまりない
2	Oxalic acid	試薬	×	主にキレート化剤と試薬 として使用
2	Ethylene glycol	基幹ブロック 製品	×	十分な商用化
2	Ethylene oxide	基幹ブロック 試薬	×	十分な商用化
3	Alanine	中間生成物	×	非常に限定的基幹ブロック 利用法があまりない
3	Glycerol	基幹ブロック	○	
3	3-Hydroxypropionic acid	基幹ブロック	○	
3	Lactic acid	基幹ブロック	○	
3	Malonic acid	基幹ブロック 試薬	○	
3	Serine	基幹ブロック	○	
3	Propionic acid	基幹ブロック 試薬	○	
3	Acetone	中間生成物	×	十分な商用化 クメンからフェノール合成における 副産物
4	Acetoin	基幹ブロック	○	
4	Aspartic acid	基幹ブロック	○	
4	Butanol	中間生成物	×	大規模な化学製品の商用化 基幹ブロックとしてよくない 中間生成物として大規模な市場 バイオマスの競争上優位がない
4	Fumaric acid	基幹ブロック	○	
4	3-Hydroxybutyrolactone	基幹ブロック	○	
4	Malic acid	基幹ブロック	○	
4	Succinic acid	基幹ブロック	○	
4	Threonine	基幹ブロック	○	
5	Arabinitol	基幹ブロック	○	
5	Furfural	基幹ブロック	○	
5	Glutamic acid	基幹ブロック	○	
5	Glutaric acid	基幹ブロック	×	非常に限定された市場 誘導体が不確定
5	Itaconic acid	基幹ブロック	○	
5	Levulinic acid	基幹ブロック	○	
5	Proline	基幹ブロック	×	限定された市場 誘導体が不確定
5	Xylitol	基幹ブロック	○	
5	Xylonic acid	基幹ブロック	○	
6	Aconitic acid	基幹ブロック	○	
6	Adipic acid	中間生成物	×	十分な商用化 DOE/産業により以前検討され成功 の可能性が低いと判断
6	Ascorbic acid	基幹ブロック	×	限定された市場 誘導体が不確定 NISTのATPテーマで成功

炭素数	名 称	計画または既知の使用法 (基幹ブロック、試薬、 中間生成物)	ト ッ プ 30	選定されなかった根拠
6	Citric acid	基幹ブロック	○	
6	Fructose	基幹ブロック	×	Fructose以外に簡単な誘導体生成手段がある
6	2,5-Furan dicarboxylic acid	基幹ブロック	○	
6	Glucaric acid	基幹ブロック	○	
6	Gluconic acid	基幹ブロック	○	
6	Kojic & Comeric acid	基幹ブロック	×	限定された市場誘導体が不確定
6	Lysine	基幹ブロック	○	
6	Sorbitol	基幹ブロック	○	

前述のスクリーニング項目に加えて、従来石油産業で使用されてきたフローチャート（図 4.5.22）の概念に基づいた考察が加えられた。このフローチャートは、①化学的生産データと市場生産データ、②潜在的な製品候補の特性と材料の評価、③75年にわたる研究チームの産業界における経験の蓄積、により見直されてきた。図 4.5.23、表 4.5.22はトップ30について、このフローチャートの手法にならない記載した例である。

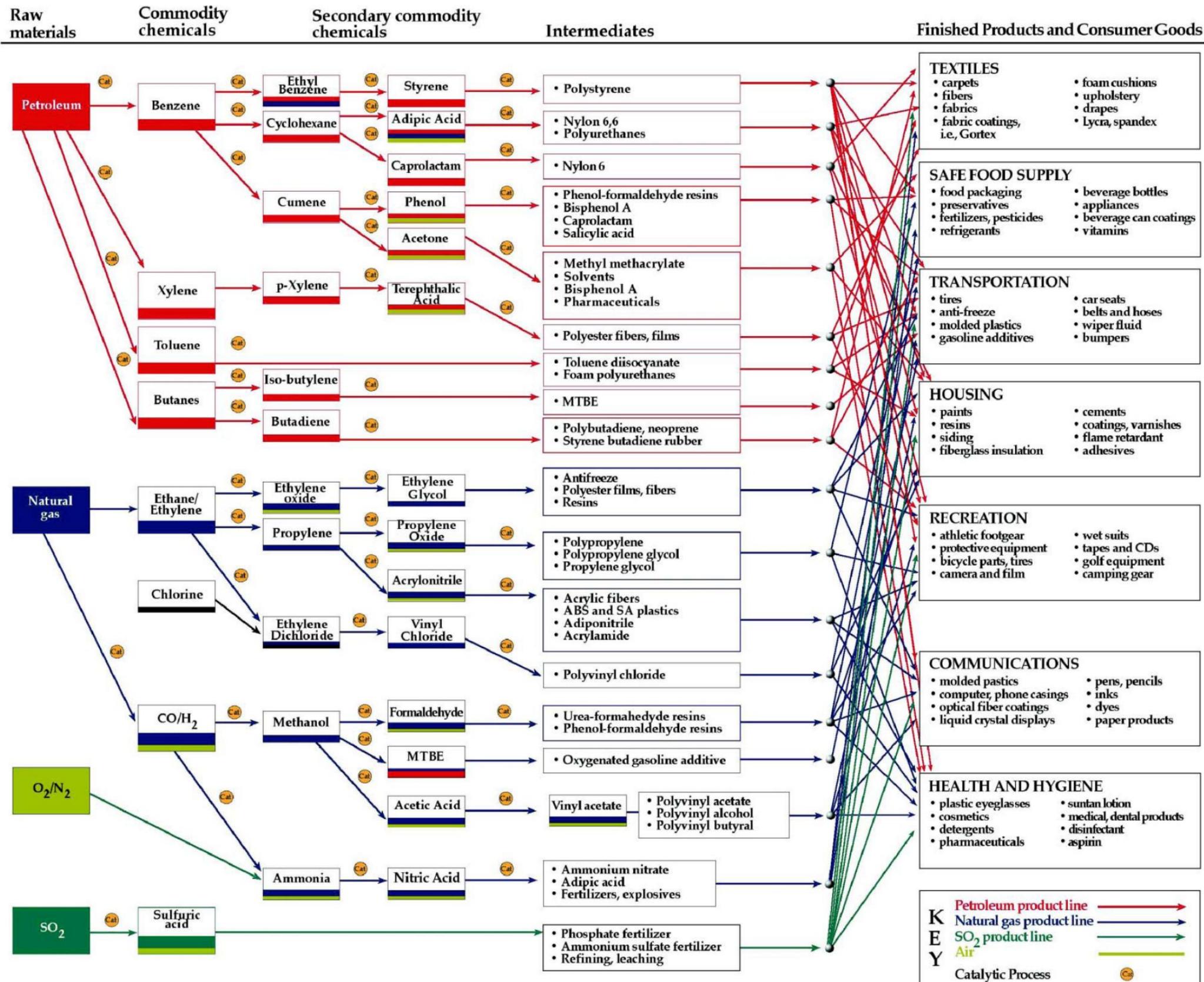


図 4.5.22 石油産業のフローチャート例

## Biomass Feedstocks

## Intermediate Platforms

## Building Blocks

## Secondary Chemicals

## Intermediates

## Products/Uses

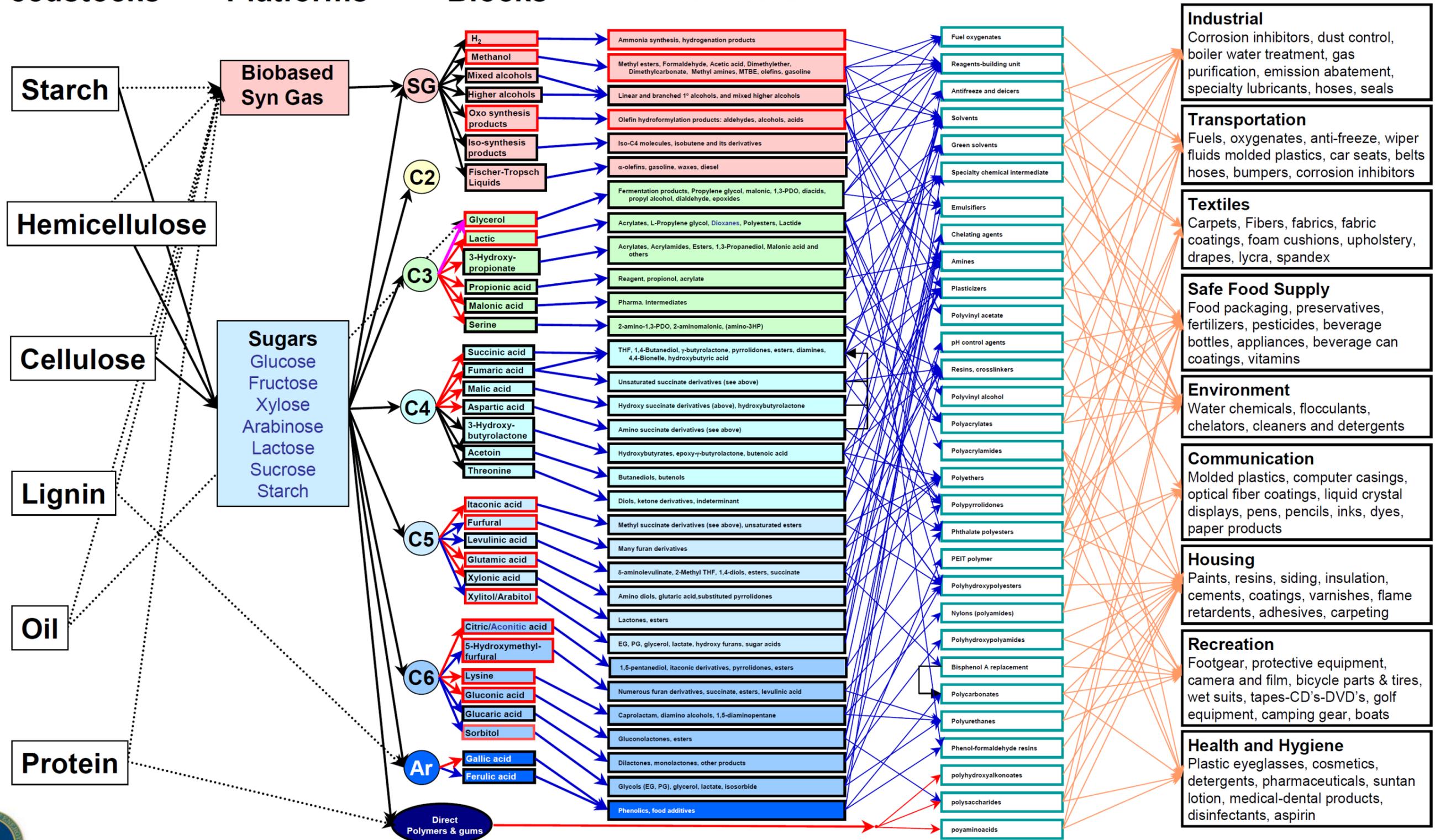


図 4.5.23 バイオ由来製品のフローチャート例

表 4.5.22 リファイナリーを形成する C<sub>2</sub>~C<sub>6</sub>key 中間体

	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>
ヒドロキシ化合物	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH (エタノール)		CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH (n-ブタノール)		
		HOCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH (1,3-プロパンジオール)	CH <sub>3</sub> CH(OH)CH(OH)CH <sub>3</sub> (2,3-ブタンジオール)		
		HOCH <sub>2</sub> CH(OH)CH <sub>2</sub> OH (グリセリン)	CH <sub>2</sub> OHCH(OH)CH(OH)CH <sub>2</sub> OH (エリスリトール)		
カルボキシ化合物	CH <sub>3</sub> COOH (酢酸)	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> COOH (プロピオン酸)	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> COOH (酪酸)		CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> COOH (カプロン酸)
			HOOCCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> COOH (コハク酸)		
			HOOCCH=CHCOOH (フマル酸)	CH <sub>2</sub> =C(COOH)CH <sub>2</sub> COOH (イタコン酸)	
		CH <sub>3</sub> CH(OH)COOH (乳酸)	HOOCCH <sub>2</sub> CH(OH)COOH (リンゴ酸)		HOOCCH <sub>2</sub> CH(COOH)CH(OH)COOH (クエン酸)
			HOOCCH(OH)CH(OH)COOH (酒石酸)		
		CH <sub>2</sub> (OH)CH <sub>2</sub> COOH (3-ヒドロキシプロピオン酸)	CH <sub>2</sub> (OH)CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> COOH (4-ヒドロキシ酪酸)	CH <sub>3</sub> CH(OH)CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> COOH (4-ヒドロキシ吉草酸)	CH <sub>3</sub> CH(OH)CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> COOH (5-ヒドロキシヘキサン酸)
			CH <sub>3</sub> CH(OH)CH <sub>2</sub> COOH (3-ヒドロキシ酪酸)	CH <sub>2</sub> (OH)CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> COOH (5-ヒドロキシ吉草酸)	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH(OH)CH <sub>2</sub> COOH (3-ヒドロキシヘキサン酸)
	CH <sub>3</sub> COCOOH (ピルビン酸)		HOOCCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> COCOOH (ケトグルタル酸)		
カルボニル化合物		CH <sub>3</sub> COCH <sub>3</sub> (アセトン)	CH <sub>3</sub> CH(OH)COCH <sub>3</sub> (アセトイン)		
		CH <sub>2</sub> (OH)CHNH <sub>2</sub> COOH (セリン)	CH <sub>2</sub> CH(OH)CH(NH <sub>2</sub> )COOH (スレオニン)	HOOCCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH(NH <sub>2</sub> )COOH (グルタミン酸)	H <sub>2</sub> NCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH(NH <sub>2</sub> )COOH (リジン)
			HOOCCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> (NH <sub>2</sub> )COOH (アスパラギン酸)		

このような検討により得られたトップ30 (表 4.5.23) は、以下に示す項目を満たしている。

- ① 誘導体、分子ファミリーとしてさらに変換する際に適した機能性が多数ある
- ② リグノセルロースと澱粉の両方から生産が可能である
- ③ C1-C6モノマーである
- ④ リグニンに由来する芳香族でない
- ⑤ すでに商用化が非常に進んでいる化成品でない

表 4.5.23 トップ 30

炭素数	名 称
1	一酸化炭素と水素(合成ガス)
2	なし
3	グリセリン、3-ヒドロキシプロピオン酸、乳酸、マロン酸、プロピオン酸、セリン
4	アセトイン、アスパラギン酸、フマル酸、3-ヒドロキシブチロラクトン、リンゴ酸、コハク酸、トレオニン
5	アラビニトール、フルフラール、グルタミン酸、イタコン酸、レブリン酸、プロリン、キシリトール、キシロン酸
6	アコニット酸、クエン酸、2,5-フランジカルボン酸、グルカル酸、リジン、レボグルコサン、ソルビトール

トップ30に選択されなかったもののいくつかについて参考までに解説すると、酢酸と無水酢酸のようなC2化合物は潜在的可能性が低いと考えられ、またアセトンのようなC3化合物は既に石油化学の副産物として合成されるため選択されなかった。また、水素、アンモニア、メタノール、アルコールおよびアルデヒド(オキシ合成)、Fischer-Tropsch製品の合成ガスの商業規模への変換は、既存のものがあるため選択されていない。

(f) 第二次スクリーニングによるトップ12の選定

第二次スクリーニングによるトップ12を表 4.5.24に示す。

表 4.5.24 第二次スクリーニングによるトップ12

	Building Blocks	基幹ブロック
1	1,4-succinic, fumaric and malic acids	1,4-コハク酸、フマル酸、リンゴ酸
2	2,5-furan dicarboxylic acid	2,5-フランジカルボン酸
3	3-hydroxy propionic acid	3-ヒドロキシプロピオン酸
4	aspartic acid	アスパラギン酸
5	glucaric acid	グルカル酸
6	glutamic acid	グルタミン酸
7	itaconic acid	イタコン酸
8	levulinic acid	レブリン酸
9	3-hydroxybutyrolactone	3-ヒドロキシブチロラクトン
10	Glycerol	グリセロール
11	Sorbitol	ソルビトール
12	xylitol/arabinitol	キシリトール/アラビニトール

(再掲)

注) ①「1,4-コハク酸、フマル酸、リンゴ酸」、⑫「キシリトール/アラビニトール」において、それらの構造に関連して潜在的な相乗効果を持つため、複数の基幹ブロックを同一グループとして分類した。つまり、①異性体である、②同一分子の供給により相互変換されたものである、③本質的に同種の生成品になる誘導体の経路である、ものである。

スクリーニング基準の一つとして、潜在的な変換経路を抽出するために、参考資料 (D項に記載したリスト) および工業化学的経験を使用した。基幹ブロックのランク付けのために、以下の4つの基準が使用された。

- ① バイオリファイナリーにおけるリグノセルロースと澱粉バイオマスに適合する戦略になるか
- ② 従来の化成品の代替として、または新規性のある化成品であるか
- ③ 変換の経路(糖から基幹ブロック、基幹ブロックから誘導体)の各段階における技術的困難の度合い
- ④ 同種の誘導体グループ、ファミリーを生成する基幹ブロックである可能性

これらの項目によりスコアがつけられ、その内の12候補が高いスコアを獲得し、これらをトップ12として選定した。

(g) 経路

共通の技術的課題を分類する前に、糖から基幹ブロックを生成する実行可能な生物学・化学の変換経路を抽出した。糖から基幹ブロックを形成する多数の経路は、菌類、酵母、バクテリアを使用する好気性発酵であるが、化学・酵素変換も重要な選択肢である。しかし課題の多い経路は商用化が困難であり、現在商用化されているものは表 4.5.25である。

表 4.5.25 基幹ブロックから糖への経路

C#	名称	トップ30	トップ12	好気性発酵		嫌気性発酵		化学酵素変換	
				イースト菌類	バクテリア	イースト菌類	バクテリア	化学&触媒プロセス	バイオ変換
1	Formic Acid	×	×						
	Methanol	×	×						
	Carbon Monoxide(+ H2 gives syngas)	○	×						
	Carbon dioxide	×	×						
2	Acetaldehyde	×	×						
	Acetic acid & anhydride	×	×						
	Ethanol	×	×						
	Glycine	×	×						
	Oxalic acid	×	×						
	Ethylene glycol	×	×						
	Ethylene oxide	×	×						
3	Alanine	×	×						
	Glycerol	○	○	○	○	○	○	◎	
	3-Hydroxypropionic acid	○	○	○	○				
	Lactic acid	○	×	○		○	◎		
	Malonic acid	○	×	○				○	
	Serine	○	×	○	◎				◎
	Propionic acid	○	×				○		
4	Acetone	×	×						
	Acetoin	○	×	○	○		○		
	Aspartic acid	○	○	○	○				○
	Butanol	×	×						
	Fumaric acid	○	○	○	○			○	
	3-Hydroxybutyrolactone	○	○					○	
	Malic acid	○	○	○	○				
Succinic acid	○	○	○	○		○		○	
5	Threonine	○	×	○	◎				
	Arabinitol	○	○	○		○		◎	○
	Furfural	○	×					◎	
	Glutamic acid	○	○	○	◎				
	Glutaric acid	×	×						
	Itaconic acid	○	○	◎					
	Levulinic acid	○	○					○	
	Proline	×	×						
Xylitol	○	○	○		○	○		◎	
6	Xylonic acid	○	×						
	Aconitic acid	○	×	○					
	Adipic acid	×	×						
	Ascorbic acid	×	×						
	Citric acid	○	×	◎					
	Fructose	×	×						
	2,5 Furan dicarboxylic acid	○	○					○	
	Glucaric acid	○	○	○	○			○	
	Gluconic acid	○	×	◎	○				○
	Kojic & Comeric acid	×	×						
Lysine	○	×	○	◎					
Sorbitol	○	○	○	○			◎	○	

注) ◎は商用化されている製品のあるもの。

それぞれの変換には長所・短所があり、生物学的変換では特定の分子構造を合成することができるが、生産性は相対的に低くなる。一方化学変換は高い生産性を生み出すことはできるが、特異性のある生成物の生産には向いていない。各変換で今後検討が必要であると考えられるものは表 4.5.26 の通り。

表 4.5.26 各変換の課題

化学変換	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ より穏やかな酸化</li> <li>・ 選択的な還元と脱水</li> <li>・ 結合の分裂の制御</li> <li>・ および多機能のモノマーのダイレクトな重合の改良</li> </ul>
生物学的変換	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 商用に使用できるホストの工学的反応経路の改良</li> <li>・ 代謝の経路と生物学のより深い理解</li> <li>・ 下流の回収可能コストの削減</li> <li>・ 混合した糖の流れの有用性の改善</li> <li>・ 分子の熱的安定性の改善</li> <li>・ 酵素の機能性についての深い理解</li> </ul>

(h) トップ 12 の概要

本項においては、各基幹ブロックについての詳細を2つの異なるフォーマットで示している。1つは各基幹ブロックとその誘導体の特性を記載した表で、基幹ブロックとその誘導体について、①名称、②技術的課題、③利用法を記載している。

2つめは視覚的に星型ダイアグラムで示したもので、基幹ブロックから誘導体、あるいは第2位の化成品に変換する経路を図示したものである。楕円で囲まれた誘導体はすでに商用規模での生産が行われていることを示している。

(1) 1,4-コハク酸、フマル酸、リンゴ酸

— Four Carbon 1,4-Diacids (Succinic, Fumaric, and Malic)—

表 4.5.27 糖からの基幹ブロックへの経路

経路の種類	技術的課題	基幹ブロックの直接利用
化学変換 — なし		
生物変換 — クレブス回路からC4 diacidsを過剰生産する発酵	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ①酢酸副産物の削減、②収量、生産性の増加のための微生物の生体触媒の改善</li> <li>・ 不要な塩類を削減する回収プロセスのより低コスト化</li> <li>・ スケールアップとシステム統合</li> </ul>	

表 4.5.28 誘導体への主たる経路—還元

誘導体 誘導体ファミリー	技術的課題	誘導体の潜在的利用
THF, BDO, GBLファミリー	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 選択的還元:アルコール、ラクトン、フランへの酸の還元のコントロール</li> <li>・ 穏やかな条件(圧力、温度等)でのオペレーション</li> <li>・ 抑制物質、触媒の寿命に対する触媒の耐性</li> </ul>	lycraのような溶剤、ファイバー

表 4.5.29 誘導体への主たる経路—還元的アミノ化(Reductive Aminations)】

誘導体 誘導体ファミリー	技術的課題	誘導体の潜在的利用
ピロリジノンファミリー (Pyrrolidinone Family)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 酸性塩の選択的還元</li> <li>・ 穏やかな条件(圧力、温度等)でのオペレーション</li> <li>・ 継続プロセスにおける抑制物質、触媒の寿命に対する触媒の耐性</li> </ul>	グリーン溶剤 可溶性ポリマー(水処理)

表 4.5.30 誘導体への主たる経路—直接重合(Direct Polymerization)】

誘導体 誘導体ファミリー	技術的課題	誘導体の潜在的利用
直鎖ポリマー	商用のポリマー・プロセス	ファイバー (lycra他)
枝分れポリマー (Branched polymers)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 分岐をコントロールする選択的なエステル化</li> <li>・ 分子量と特性のコントロール</li> </ul>	TBD

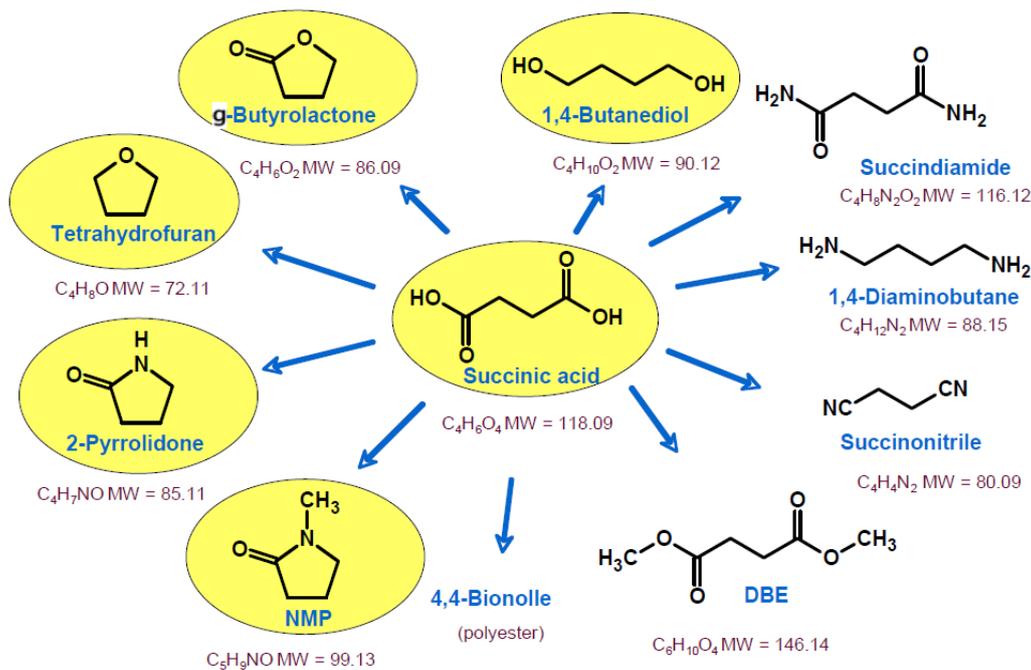


図 4.5.24 コハク酸の誘導体

【考察】

市場導入への課題は、発酵の全面的なコスト削減である。石油化学製品に対して競争力を持つためには、発酵コストを1kg当たり0.55ドル以下にする必要がある。総合的に考えると、2塩基酸ファミリーは高いボリュームを確保している化学市場に参入できる可能性を有していると判断される。

(2) 2,5-フランジカルボン酸 – 2,5-Furan dicarboxylic acid (FDCA) –

表 4.5.31 糖からの基幹ブロックへの経路

経路の種類	技術的課題	基幹ブロックの直接利用
化学変換 – C6糖の酸化脱水 (Oxidative dehydration of C6 sugars)	<p>&lt;脱水&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>副反応のない選択的な脱水</li> <li>無水物またはラクトンへの脱水ステップ</li> <li>液体の触媒を交換する新しい不均一系触媒システム(固体酸性触媒)</li> </ul> <p>&lt;酸化&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>アルコール(ROH)から酸(RCOOH)へ</li> <li>空気、酸素、希過酸化水素のために新種のアキシダントを回避する</li> <li>バイオマス処理における抑制物質に対する耐性</li> <li>アルデヒドから酸へ、アルコールからアルデヒドへの酸化</li> </ul>	潜在的に新しい特性を備えたPET類似製品 (ボトル、フィルム、コンテナ)
生物変換 – 酵素変換の可能性	不明	

表 4.5.32 誘導体への主たる経路—還元

誘導体 誘導体ファミリー	技術的課題	誘導体の潜在的利用
ジオールとアミノ化 (Diols and Aminations)	<ul style="list-style-type: none"> <li>アルケン存在下での酸の選択的還元</li> <li>カルボン酸からアルコールへの直接還元</li> <li>ポリマー誘導体の特性についての知識</li> </ul>	ファイバーに応用できる適切な新規特性を備えた、新しいポリエステルおよびナイロン
レブリン酸、コハク酸 (Levulinic and Succinic Acids)	<ul style="list-style-type: none"> <li>選択的な触媒ツール</li> </ul>	レブリン酸、コハク酸利用のすべて

表 4.5.33 誘導体への主たる経路—直接重合

誘導体 誘導体ファミリー	技術的課題	誘導体の潜在的利用
ポリエチレンテレフタレート類似体 (Polyethylene terephthalate analogs)	<ul style="list-style-type: none"> <li>モノマーの反応性</li> <li>速度のコントロール</li> <li>分岐をコントロールする選択的なエステル化</li> <li>分子量と特性のコントロール</li> </ul>	ボトル、コンテナ、フィルム用のフラン酸ポリエステル
フラン酸ポリアミン (Furanoic Polyamines)	<ul style="list-style-type: none"> <li>モノマーの反応性</li> <li>速度のコントロール</li> <li>分岐をコントロールする選択的なエステル化</li> <li>分子量と特性のコントロール</li> </ul>	新しいナイロン利用によるポリアミド市場

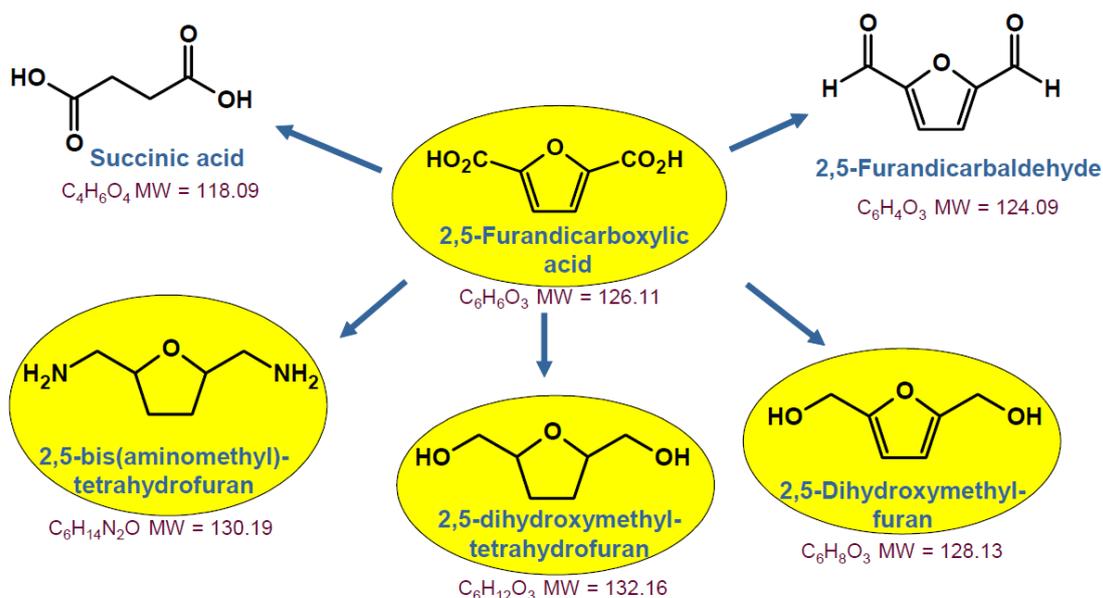


図 4.5.25 2,5-フランジカルボン酸の誘導体

【考察】

PET/PBT類似体としてのFDCAの有用性は、大規模な高価値の化学市場に参入する可能性を提示している。市場参入を達成するために、選択的酸化と脱水の開発が必要である。

(3) 3-ヒドロキシプロピオン酸 – 3-Hydroxypropionic acid (3-HPA) –

表 4.5.34 糖からの基幹ブロックへの経路

経路の種類	技術的課題	基幹ブロックの直接利用
化学変換 – 不明、またはコストのかかるプロセスによる多段階ステップ		
生物変換 – 発酵	<ul style="list-style-type: none"> <li>産業界で進行中</li> <li>発酵経路が不明</li> <li>発酵に関して全般的に開発が必要</li> <li>1)他の酸性副産物の削減、2)収量と生産力の増加のため、微生物の生体触媒の改善が必要</li> <li>不要な塩類を削減する回遊プロセス低コスト化</li> <li>スケールアップとシステム統合の問題</li> </ul>	なし

表 4.5.35 誘導体への主たる経路－還元

誘導体 誘導体ファミリー	技術的課題	誘導体の潜在的利用
1,3-プロパンジオール (1,3-propane diol)	<ul style="list-style-type: none"> <li>カルボン酸の選択的な直接還元</li> <li>穏やかな条件（大気圧、低温）での還元</li> <li>バイオマス由来の原料の触媒及び触媒寿命の阻害成分に対する耐性</li> </ul>	ソロナ・ファイバー (Sorona fiber)

表 4.5.36 誘導体への主たる経路－脱水

誘導体 誘導体ファミリー	技術的課題	誘導体の潜在的利用
アクリル酸ファミリー (Acrylate family)	<ul style="list-style-type: none"> <li>副反応のない選択的脱水（バイオマス用にハイレベルが必要）</li> <li>液体触媒にかえ、既存の触媒のシステムを改善するために、新しい不均一系触媒(固体酸性触媒)</li> </ul>	コンタクトレンズ、おむつ(最高の吸収性のポリマーSAP)

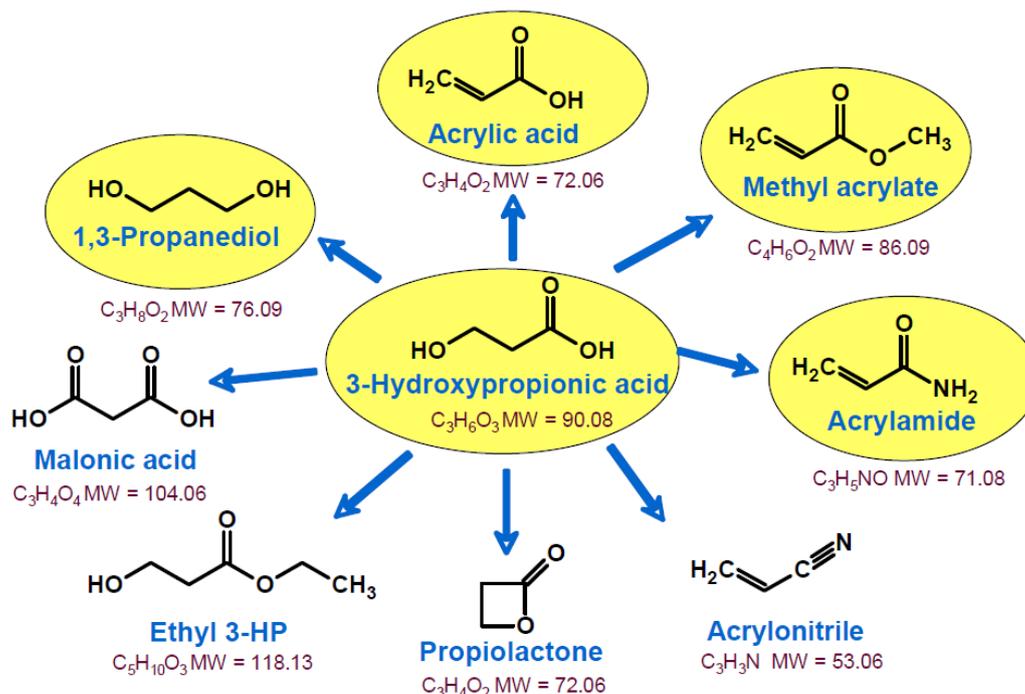


図 4.5.26 3-ヒドロキシプロピオン酸の誘導体

【考察】

C3基幹ブロック3-HPAからのバイオ製品の開発の市場がある。克服すべき課題としては、低コスト発酵の開発と触媒の開発である。アクリル酸塩で石油化学製品との競争力を持つためには、発酵と触媒の両方において高い収率を確保する必要がある。

(4) アスパラギン酸 –Aspartic acid–

表 4.5.37 糖からの基幹ブロックへの経路

経路の種類	技術的課題	基幹ブロックの直接利用
化学変換 – フマル酸とアンモニアのアミノ化	非対称のアミノ化	キレート剤の塩類 甘味料
生物変換 – クレブズ回路のオキサロ酢酸塩の転換は、発酵または酵素の転換により、アスパラギン酸を生産することができる	<ul style="list-style-type: none"> <li>組織の生存能力を侵さずに、オキサロ酢酸塩を過剰生産するための生体触媒組織の経路のエンジニアリング</li> <li>操作環境の管理</li> <li>オキサロ酢酸塩の酵素の酸化</li> <li>低コスト回収の必要性</li> <li>低コスト糖</li> </ul>	

表 4.5.38 誘導体への主たる経路–還元

誘導体 誘導体ファミリー	技術的課題	誘導体の潜在的利用
アミン・ブタンジオール、アミン・テトラヒドロフラン、アミン (butyrolactone)	コハク酸、フマル酸、リンゴ酸の変換と類似している <ul style="list-style-type: none"> <li>選択的還元</li> <li>穏やかな条件(大気圧、低温等)でのオペレーション</li> <li>抑制物質、触媒の寿命に対する触媒の耐性</li> </ul>	C4、1,4 ジカルボン酸のアミノの類似物質

表 4.5.39 誘導体への主たる経路–脱水

誘導体 誘導体ファミリー	技術的課題	誘導体の潜在的利用
アスパラギン酸無水物	<ul style="list-style-type: none"> <li>副反応のない選択的脱水</li> <li>液体触媒にかえ、新しい不均一系触媒(固体酸性触媒)</li> </ul>	新規領域

表 4.5.40 誘導体への主たる経路–直接重合

誘導体 誘導体ファミリー	技術的課題	誘導体の潜在的利用
ポリアスパラギン酸 (Polyaspartic)	<ul style="list-style-type: none"> <li>分岐をコントロールする選択的なエステル化</li> <li>分子量と特性のコントロール</li> </ul>	新規分野

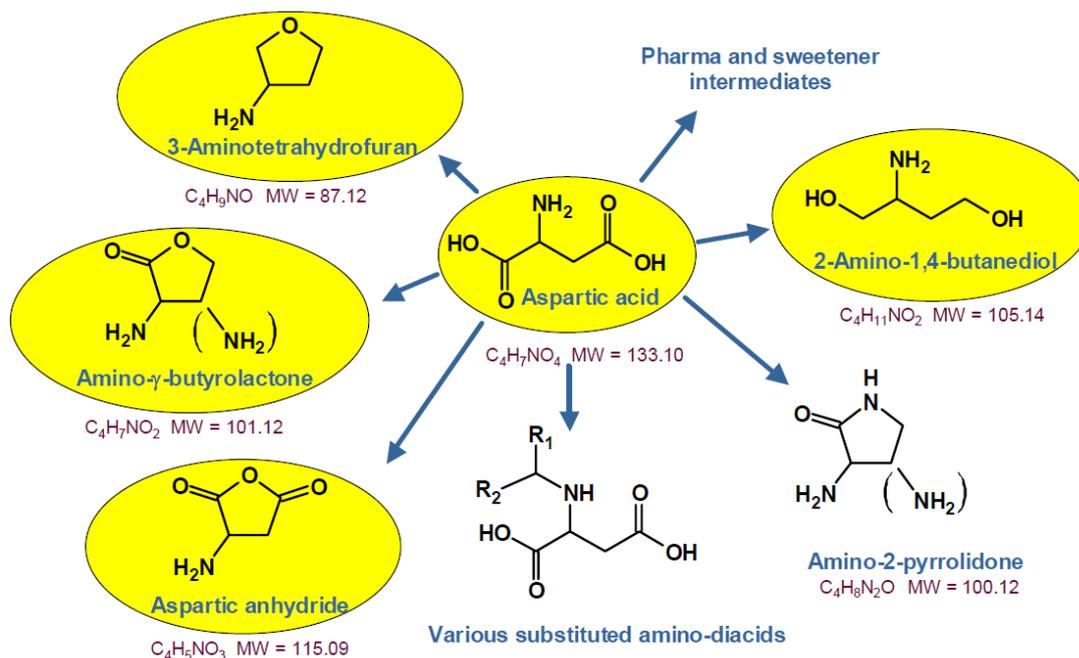


図 4.5.27 アスパラギン酸の誘導体

【考察】

アスパラギン酸の直接生産のための発酵の改良、フマル酸のコスト削減のための発酵の改良は、遺伝子工学および従来の菌株改良技術の両者を利用することが必要である。

L-アスパラギン酸市場は今後、世界的に毎年2-3%成長すると予想される。新しい生分解性専用ポリマー(ポリアスパラギン酸、ポリアスパルテート)は、ポリアクリル酸とポリカルボキシレートとの代替品として新しい市場の可能性を提示している。その応用範囲は洗剤、水処理システム、腐食防止、超吸収性ポリマーなどである。

(5) グルカル酸 –Glucaric acid–

表 4.5.41 糖からの基幹ブロックへの経路

経路の種類	技術的課題	基幹ブロックの直接利用
化学変換 – ・ 澱粉の硝酸酸化 ・ 漂白剤(塩基性)を添加した澱粉の触媒酸化	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ アルコール(ROH)から酸(RCOOH)への選択的酸化</li> <li>・ 空気、酸素、希過酸化水素のために新種のオキシダントを回避する</li> <li>・ オキシダントの濃縮の低下</li> <li>・ 不均一系触媒システムの開発</li> <li>・ バイオマス・原料の阻害因子に対する耐性</li> </ul>	
生物変換 – 不明		

表 4.5.42 誘導体への主たる経路–脱水

誘導体 誘導体ファミリー	技術的課題	誘導体の潜在的利用
ラクトン (Lactones)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 副反応のない選択的脱水</li> <li>・ 無水物またはラクトンに脱水</li> <li>・ 液体触媒にかえ、既存の触媒のシステムを改善するために、新しい不均一系触媒(固体酸性触媒)</li> </ul>	溶剤

表 4.5.43 誘導体への主たる経路—アミノ化と直接重合

誘導体 誘導体ファミリー	技術的課題	誘導体の潜在的利用
ポリグルカル酸エステル、アミド (Polyglucaric esters and amides)	<ul style="list-style-type: none"> <li>速度管理</li> <li>分岐をコントロールする選択的なエステル化</li> <li>分子量と特性のコントロール</li> </ul>	ナイロン、別の特性(ケブラーやカーペット・ファイバー)

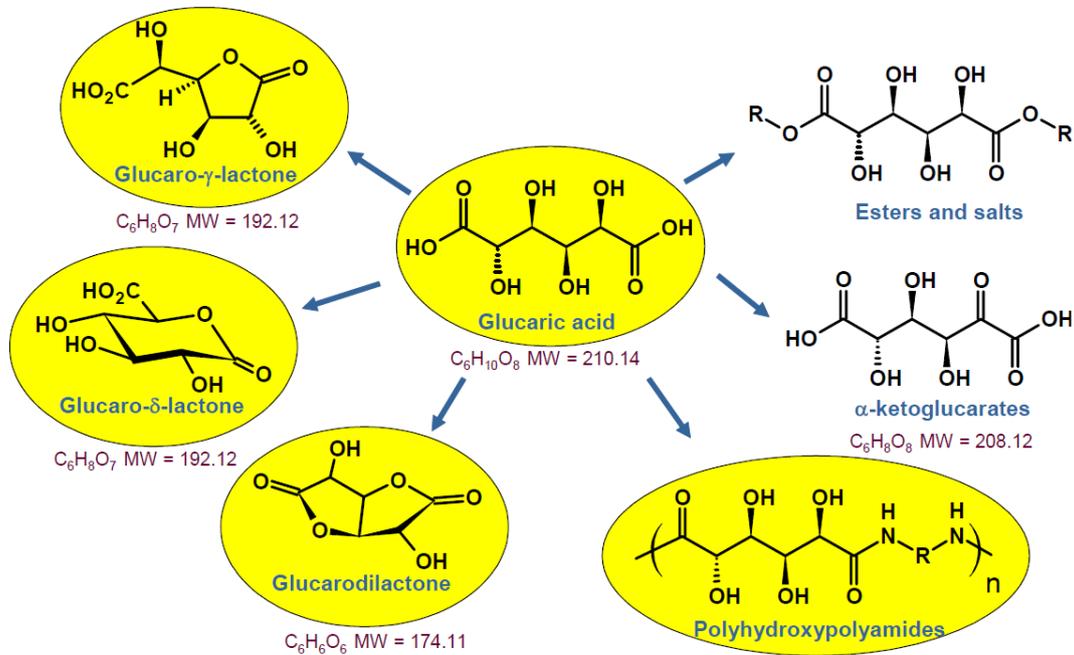


図 4.5.28 グルカル酸の誘導体

【考察】

安価な糖から単一の化合物へ選択的に酸化することは、複雑な石油化学複合体から単純な基幹ブロックに変換することと類似している。グルカル酸製品とその誘導体の開発を成功させるためには、糖プラットフォームを広く利用し、大規模で高価値の市場に参入することである。グルカル酸に特有の技術は、キシラル酸やアラビナル酸の生産に適用できる。

(6) グルタミン酸 —Glutamic acid—

表 4.5.44 糖からの基幹ブロックへの経路

経路の種類	技術的課題	基幹ブロックの直接利用
化学変換 —なし		
生物変換 — 発酵製品	<ul style="list-style-type: none"> <li>1)他の酸性副産物の削減、2)収量と生産力の増加のため、微生物の生体触媒の改善が必要</li> <li>操業環境のよりよいコントロール</li> <li>不要な塩類を削減する回収プロセス低コスト化</li> <li>スケールアップとシステム統合の問題</li> </ul>	

表 4.5.45 誘導体への主たる経路—還元

誘導体 誘導体ファミリー	技術的課題	誘導体の潜在的利用
ジオール Diols (1,5-propanediol), 二塩基酸 diacids (1,5-propanediacid), アミノジオール aminodiols (5-amino, 1-butanol)	<ul style="list-style-type: none"> <li>選択的な脱アミノ化、還元、還元的脱アミノ化</li> <li>穏やかな条件 (大気圧、低温) での還元</li> <li>酸性塩の管理</li> <li>バイオマス由来の原料の触媒の阻害成分に対する耐性</li> </ul>	ポリエステルとポリアミド用モノマー

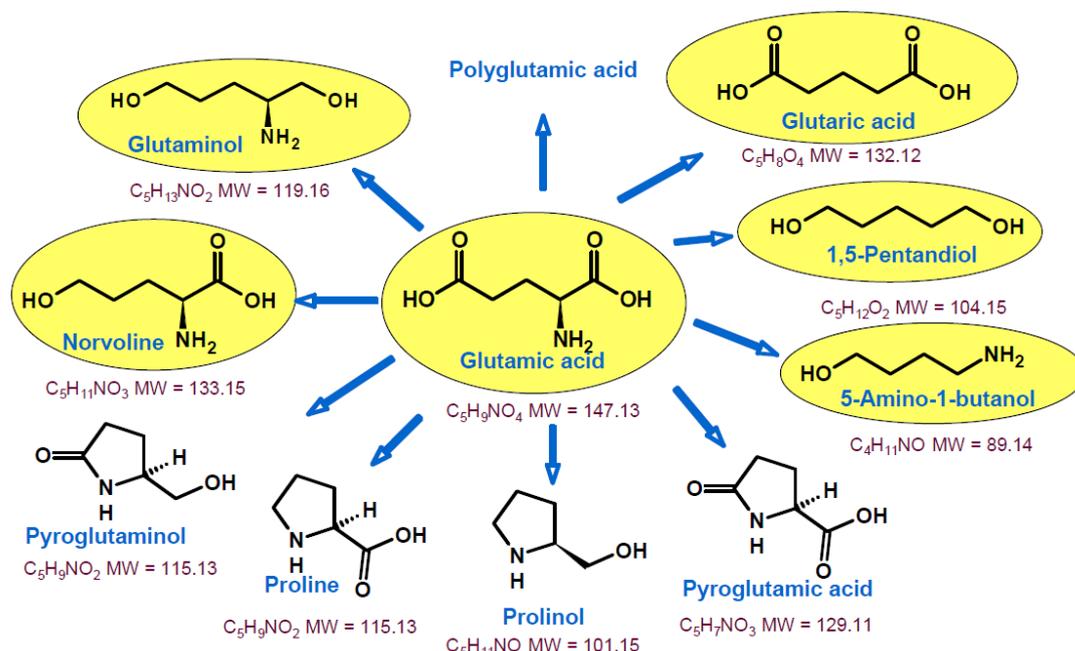


図 4.5.29 グルタミン酸の誘導体

【考察】

主な課題は発酵の全面的なコストの削減である。石油化学製品との競争力を確保するためには、発酵コストは、1kg当たり0.55ドル以下であることが必要である。これは重要な技術的課題であるが、これまでの経験から中期的に実現の可能性が見込まれる。

(7) イタコン酸 –Itaconic acid–

表 4.5.46 糖からの基幹ブロックへの経路

経路の種類	技術的課題	基幹ブロックの直接利用
化学変換 – 多段階、選択肢としては不向き	<ul style="list-style-type: none"> <li>コストのかかる合成</li> <li>ステップ数の削減</li> </ul>	ブタジエン・スチレンとの共重合体ポリマー
生物変換 – 発酵製品、好気性細菌による発酵	<ul style="list-style-type: none"> <li>1)他の酸性副産物の削減、2)収量と生産力の増加のため、微生物の生体触媒の改善が必要</li> <li>操業環境のよりよいコントロール</li> <li>回収プロセスの低コスト化</li> <li>スケールアップとシステム統合の問題</li> </ul>	スチレン・ブタジエン・ポリマーにおける共重合体(ファイバーに染料感受性を付加)ニトリル・ラテックス

表 4.5.47 誘導体への主たる経路—還元

誘導体 誘導体ファミリー	技術的課題	誘導体の潜在的利用
メチルブタンジオール、ブチロラクトン、テトラヒドロフラン・ファミリー (Methyl butanediol, butyrolactone, tetrahydrofuran family)	<ul style="list-style-type: none"> <li>選択的な特異的な機能性の還元</li> <li>穏やかな条件(大気圧、低温)での還元</li> <li>バイオマス由来の原料の触媒の阻害成分に対する耐性</li> </ul>	BDO、GBL、THFファミリーの新規有用ポリマーの特性を検討
ピロリジノン (Pyrrolidinones)	<ul style="list-style-type: none"> <li>アミノ化に関する前述の問題点と同じ</li> </ul>	溶剤とポリマー・プレカーサー

表 4.5.48 誘導体への主たる経路—直接重合

誘導体 誘導体ファミリー	技術的課題	誘導体の潜在的利用
ポリイタコン酸 (Polyitaconic)	<ul style="list-style-type: none"> <li>速度管理</li> <li>分岐をコントロールする選択的なエステル化</li> <li>分子量と特性のコントロール</li> </ul>	新しいポリマー

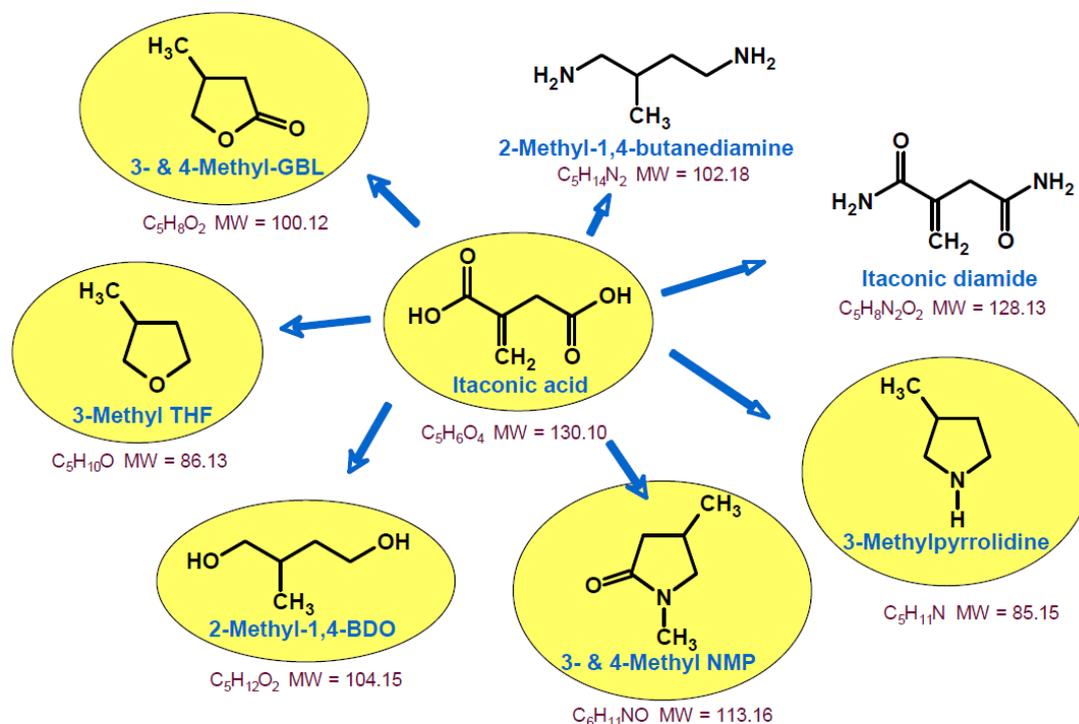


図 4.5.30 イタコン酸の誘導体

【考察】

主な課題は、発酵の全面的なコストの削減である。石油化学製品との競争力を高めるためには、発酵コストは1kg当たり0.55ドル以下抑える必要があり、長期的な展望に立ち改善されなくてはならない。

(8) レブリン酸 — Levulinic acid —

表 4.5.49 糖からの基幹ブロックへの経路

経路の種類	技術的課題	基幹ブロックの直接利用
化学変換 — 酸性触媒によるセルロースと糖の脱水と分解	<ul style="list-style-type: none"> <li>副反応のない選択的脱水 (バイオマス用にハイレベルが必要)</li> <li>液体触媒にかえ、既存の触媒のシステムを改善するために、新しい不均一系触媒(固体酸性触媒)</li> </ul>	
生物変換 — なし		

表 4.5.50 誘導体への主たる経路—還元

誘導体 誘導体ファミリー	技術的課題	誘導体の潜在的利用
メチル・テトラヒドロフラン(γ-butyrolactone) この技術のいくつかは既に特許が取られている	<ul style="list-style-type: none"> <li>アルコール、ラクトン、フランへの二酸の選択的還元</li> <li>穏やかな条件(圧力、低温等)でのオペレーション</li> <li>バイオマス由来の原料(糖)の触媒の阻害成分に対する耐性</li> </ul>	燃料 oxygenates 溶剤

表 4.5.51 誘導体への主たる経路—酸化

誘導体 誘導体ファミリー	技術的課題	誘導体の潜在的利用
アセチル・アクリル酸塩 Acetic-acrylic succinic acids	<ul style="list-style-type: none"> <li>アルコール(ROH)から酸(RCOOH)への選択的酸化</li> <li>空気、酸素、希過酸化水素のために新種のアキシダントを回避する</li> <li>アキシダントの濃縮の低下(安全性)</li> <li>バイオマス・原料(糖)の阻害因子に対する耐性</li> <li>アルデヒドから酸へ、アルコールからアルデヒドへの容易な選択的変換</li> <li>酵素による酸化には共同因子が必要</li> </ul>	特性を強化するため他のモノマーとの共重合

表 4.5.52 誘導体への主たる経路—縮合

誘導体 誘導体ファミリー	技術的課題	誘導体の潜在的利用
ジフェノール酸	<ul style="list-style-type: none"> <li>速度管理</li> <li>分子量と特性のコントロール</li> <li>重合プロセスのコントロール</li> </ul>	ポリカーボネート合成における使用されるビスフェノールAの置換

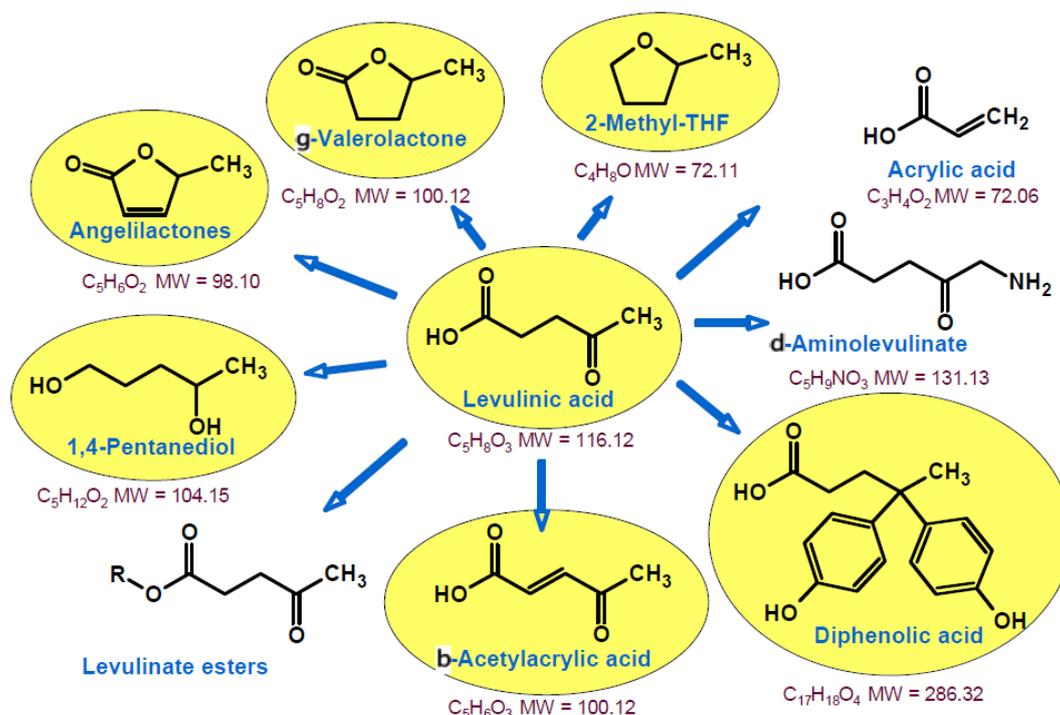


図 4.5.31 レブリン酸の誘導体

【考察】

レブリン酸は、トップ10に選定された合成物中の潜在的な産業誘導体が大きなファミリーを形成しているものの一つである。5-,6-炭素の糖の両方から低コスト、高い有効性は、バイオリファイナリー産業における柱となりうる基幹ブロックである事を示唆している。多くの潜在的な誘導体からどれが産業に結びつくかを見極めることが、R&Dに望まれることである。

(9) 3-ヒドロキシブチロラクトン –3-Hydroxybutyrolactone–

表 4.5.53 糖からの基幹ブロックへの経路

経路の種類	技術的課題	基幹ブロックの直接利用
化学変換 – 澱粉の酸化分解(過酸化水素)	<ul style="list-style-type: none"> <li>空気、酸素、希過酸化水素のために新種のオキシダントを回避する</li> <li>オキシダントの濃縮の低下(安全性)</li> <li>バイオマス・原料の阻害因子に対する耐性</li> <li>リグノセルロースをより広い範囲で合成に使用できる可能性の検討</li> </ul>	高価値のファルマ合成物の中間体
生物変換 – ないと推測		

表 4.5.54 誘導体への主たる経路–還元

誘導体 誘導体ファミリー	技術的課題	誘導体の潜在的利用
フラン ピロリドンの類似体	<ul style="list-style-type: none"> <li>特異的な機能性の選択的還元 (C=C存在下の水酸基)</li> <li>穏やかな条件 (大気圧、低温) での還元</li> <li>アルコール(ROH)存在下でのアルデヒド(RCHO)の選択的還元</li> <li>酸性塩の管理</li> <li>バイオマス由来の原料 (糖) の触媒の阻害成分に対する耐性</li> </ul>	溶剤

表 4.5.55 誘導体への主たる経路–直接重合

誘導体 誘導体ファミリー	技術的課題	誘導体の潜在的利用
テトラヒドロフランのアミノ類似体	<ul style="list-style-type: none"> <li>速度管理</li> <li>分岐をコントロールする選択的なエステル化</li> <li>分子量と特性のコントロール</li> </ul>	lycra ファイバーのアミノ類似体

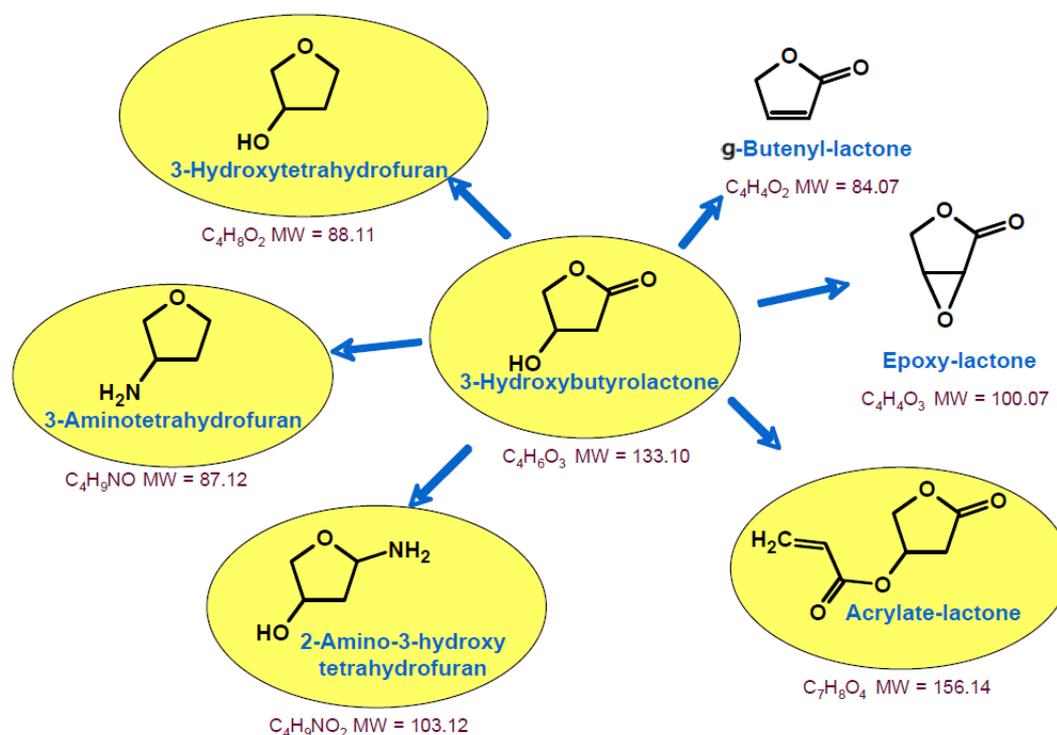


図 4.5.32 3-ヒドロキシブチロラクトンの誘導体

【考察】

3-ヒドロキシブチロラクトは、新しい誘導体合成物の開発に可能性がある。高価値特性の化成品として生産するため、商用の中間体や開発に付随する問題には無関心であった。コスト効率のよい生産のために、必要なメトリクスを定義する工学的分析が必要である。

(10) グリセロール –Glycerol–

表 4.5.56 表 糖からの基幹ブロックへの経路

経路の種類	技術的課題	基幹ブロックの直接利用
化学変換 – オイルの Transesterification	ほとんどない	パーソナルケア製品やオーラルケア製品、薬や調合薬、食糧や飲料、また polyether polyols (ポリウレタン用)
生物変換 – 酵素による Transesterification	・新しい酵素は、化学のエステル化に匹敵するコストで、メタノール/水溶液において活発	同様

表 4.5.57 誘導体への主たる経路–酸化

誘導体 誘導体ファミリー	技術的課題	誘導体の潜在的利用
PLA類似体 グリセリン酸	<ul style="list-style-type: none"> <li>・アルコール(ROH)から酸(RCOOH)へ</li> <li>・空気、酸素、希過酸化水素のために新種のオキシダントを回避する</li> <li>・バイオマス加工における阻害因子に対する耐性</li> <li>・アルデヒドから酸へ、アルコールからアルデヒドへの酸化</li> </ul>	よりよい重合体の特性を備えたPLA 新しい特性を備えたポリエステル繊維

表 4.5.58 誘導体への主たる経路–結合凝離(水素化分解)

誘導体 誘導体ファミリー	技術的課題	誘導体の潜在的利用
プロピレングリコール	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ C-CとC-O結合の特異性</li> <li>・ 速度の上昇</li> <li>・ 触媒の毒性(バイオマスの糖)に対する耐性</li> </ul>	不凍剤、湿潤剤など
1,3-プロパンジオール (1,3-propanediol)	上記と同様	Sorona ファイバー

表 4.5.59 誘導体への主たる経路–直接重合

誘導体 誘導体ファミリー	技術的課題	誘導体の潜在的利用
枝分れポリエステル、多価アルコール	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 速度管理</li> <li>・ 分岐をコントロールする選択的なエステル化</li> <li>・ 分子量と特性のコントロール</li> </ul>	絶縁で使用される不飽和ポリウレタン樹脂

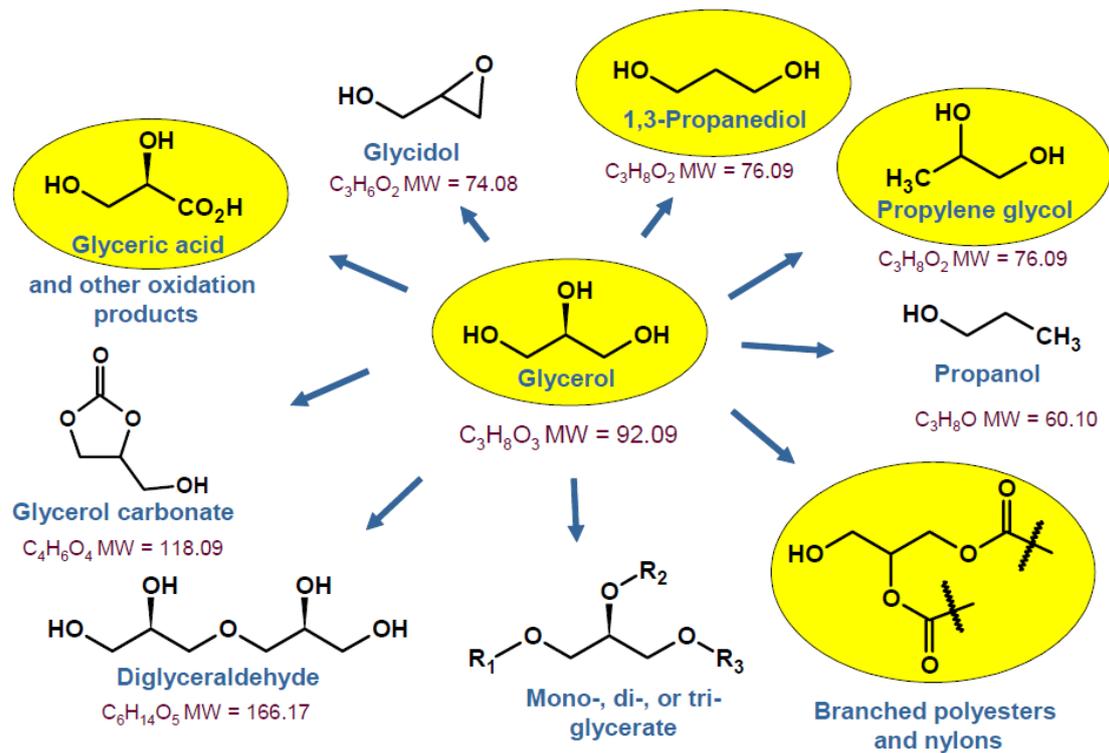


図 4.5.33 グリセロールの誘導体

【考察】

グリセリンは化成品として利用が広く期待され、コスト削減でバイオリファイナリー産業における重要な基幹ブロックの1つになった。グリセリンの持つ可能性から、予備的な経済スクリーニングでは、油プラットフォームにおいて評価されている。

(11) ソルビトール (グルコースのアルコール糖) – Sorbitol (Alcohol Sugar of Glucose) –

表 4.5.60 糖からの基幹ブロックへの経路

経路の種類	技術的課題	基幹ブロックの直接利用
化学変換 – グルコースの水素化処理	・ 99.7%の収率、技術的な問題はほとんどない	
生物変換 – なし		

表 4.5.61 誘導体への主たる経路－脱水

誘導体 誘導体ファミリー	技術的課題	誘導体の潜在的利用
イソソルビド、アンヒドロスガルス (Isosorbide, anhydrosugars)	<ul style="list-style-type: none"> <li>副反応のない選択的脱水</li> <li>無水物またはラクトンに脱水</li> <li>液体触媒にかえ、新しい不均一系触媒(固体酸性触媒)</li> </ul>	ポリエチレン・イソソルビド・テレフタル酸塩のようなポリマー様PET(熱使用でのボトル)

表 4.5.62 誘導体への主たる経路－結合凝離(水素化分解)

誘導体 誘導体ファミリー	技術的課題	誘導体の潜在的利用
プロピレングリコール、乳酸	<ul style="list-style-type: none"> <li>C-CとC-O結合の特異性</li> <li>速度の上昇</li> <li>触媒の毒性(バイオマスの糖)に対する耐性</li> </ul>	不凍剤、PLA

表 4.5.63 誘導体への主たる経路—直接重合

誘導体 誘導体ファミリー	技術的課題	誘導体の潜在的利用
枝分れポリサッカロイド	<ul style="list-style-type: none"> <li>分岐をコントロールする選択的なエステル化</li> <li>分子量と特性のコントロール</li> </ul>	水溶性ポリマー(水処理など)、新しいポリマーの応用

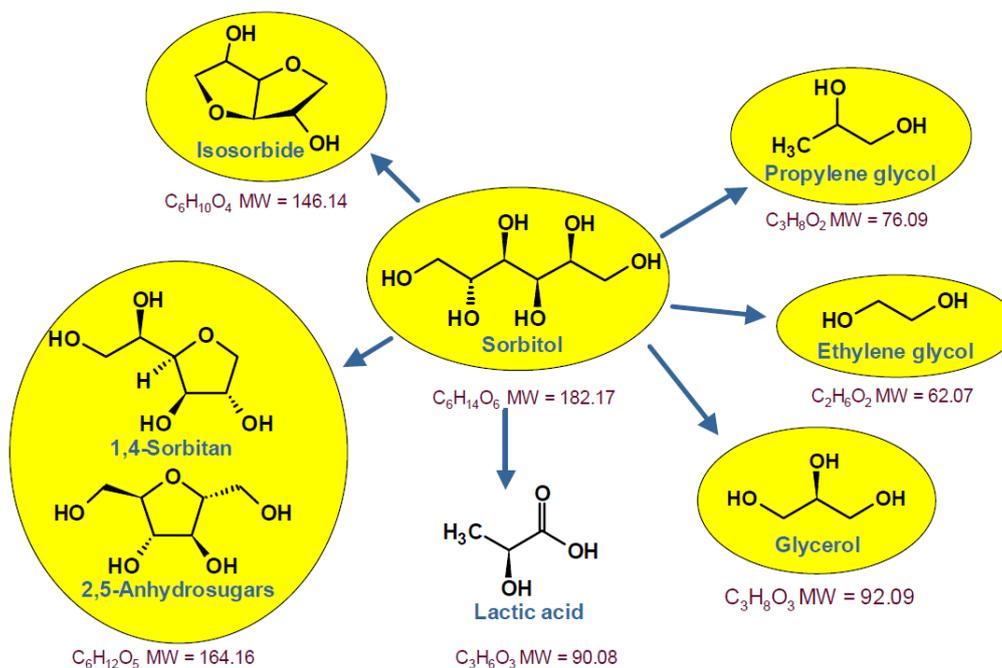


図 4.5.34 ソルビトールの誘導体

【考察】

ソルビトールは、商用化成品として優れた基幹ブロックである。ソルビトールのイソソルビドへの変換は、商用での利用が期待されるいくつかの高価値モノマーの中間体を提供する。ソルビトールのエチレングリコールへの変換は、大規模な商用化成品生産のための再生資源を利用する機会を提供する。

(12) キシリトール/アラビニトール(キシロースとアラビノースからの糖アルコール)  
—Xylitol/arabinitol (Sugar alcohols from xylose and arabinose)—

表 4.5.64 糖からの基幹ブロックへの経路

経路の種類	技術的課題	基幹ブロックの直接利用
化学変換 — バイオマス前処理プロセスからの抽出、糖の水素化処理	<ul style="list-style-type: none"> <li>ほとんどない</li> <li>商用プロセス</li> </ul>	カロリーフリーな甘味料、アンヒドロ糖、不飽和ポリエステル樹脂(UPR)
生物変換 — リグノセルロース加工のための前処理	<ul style="list-style-type: none"> <li>他の糖からの分離</li> </ul>	

表 4.5.65 誘導体への主たる経路—酸化

誘導体 誘導体ファミリー	技術的課題	誘導体の潜在的利用
キシラル酸とキシロン酸 アラボン酸とアラビン酸 (Xylaric and Xylonic acids Arabonic acid and Arabinoic acid)	<ul style="list-style-type: none"> <li>アルコール(ROH)から酸(RCOOH)への選択的酸化</li> <li>空気、酸素、希過酸化水素のために新種のアキシダントを回避する</li> <li>アキシダントの濃縮の低下(安全性)</li> <li>バイオマス・原料(糖)の阻害因子に対する耐性</li> <li>アルデヒドから酸へ、アルコールからアルデヒドへの容易な選択的変換</li> <li>酵素による酸化には共同因子が必要</li> </ul>	新規利用

表 4.5.66 誘導体への主たる経路—結合凝離(水素化分解)

誘導体 誘導体ファミリー	技術的課題	誘導体の潜在的利用
多価アルコール(プロピレンとエチレングリコール)、乳酸	<ul style="list-style-type: none"> <li>C-CとC-O結合の特異性</li> <li>速度の上昇</li> <li>触媒の毒性に対する耐性(バイオマス加工)</li> </ul>	不凍剤、UPR

表 4.5.67 誘導体への主たる経路—直接重合

誘導体 誘導体ファミリー	技術的課題	誘導体の潜在的利用
キシリトール、キシラル酸、キシリオン酸ポリエステル、ナイロン アラビニトールにおいても同じ配列	<ul style="list-style-type: none"> <li>速度管理</li> <li>分岐をコントロールする選択的なエステル化</li> <li>分子量と特性のコントロール</li> </ul>	新規ポリマー

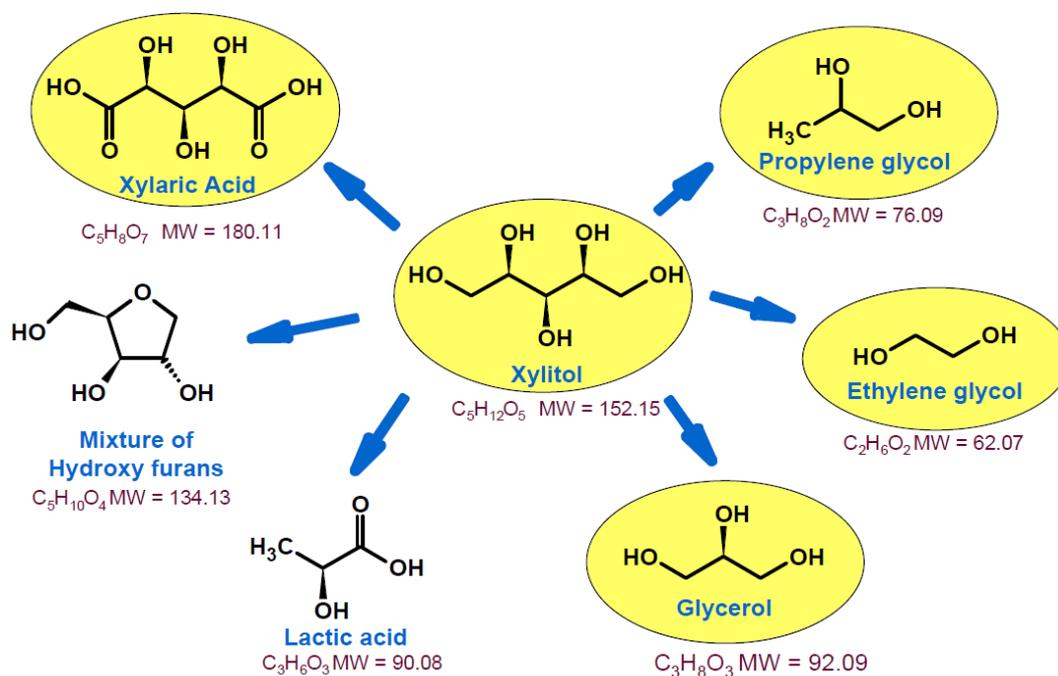


図 4.5.35 キシリトール/アラビニトールの誘導体

【考察】

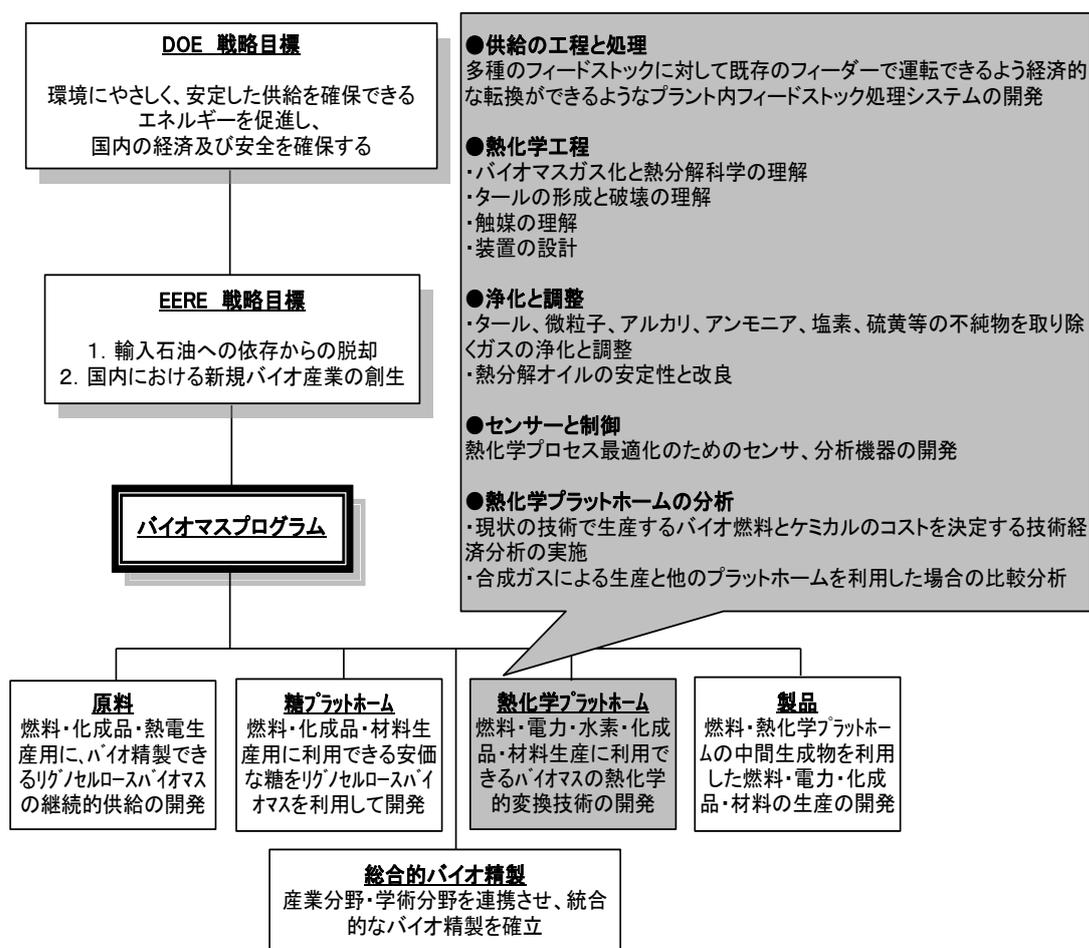
キシロースとアラビノースのようなC5糖は、商用化成品としての優れた基幹ブロックである。課題の1つに、糖のクリーンな材料流れをつくることがある。糖から糖アルコール、さらにグリコールへと変換することは実証されており、プロピレングリコールとエチレングリコール生産の第一世代プロセスとなった。

#### (4) バイオマスプログラム

バイオマスプログラムは、1978年に開始されたバイオ燃料プログラム（Biofuels Program(BFP)）、1991年に開始されたバイオ発電プログラム（Biopower Program(BPP)）、工業技術局（OIT）が実施してきたバイオマス関連研究の3つを統合し、DOEと農務省（USDA）の連携のもと、2003年3月から開始された。

バイオマスプログラムは、生化学的転換、熱化学的転換のそれぞれの開発も目標としているが、それらが組み合わせられてはじめて可能となる、その先のバイオリファイナリーによるバイオ燃料や、化学製品、エネルギーの生産が最終的な目標である（図 4.5.36）。

また、バイオマスは液体輸送燃料の代替エネルギーとして利用できると同時に、地域経済の発展、石油輸入依存の軽減、MTBEやその他毒性の強い添加物の削減を実現し、大気汚染、水質汚染、温室効果ガスの放出を削減することも期待されている。



【出典】 <http://www1.eere.energy.gov/biomass/>

図 4.5.36 バイオマスプログラムの目標

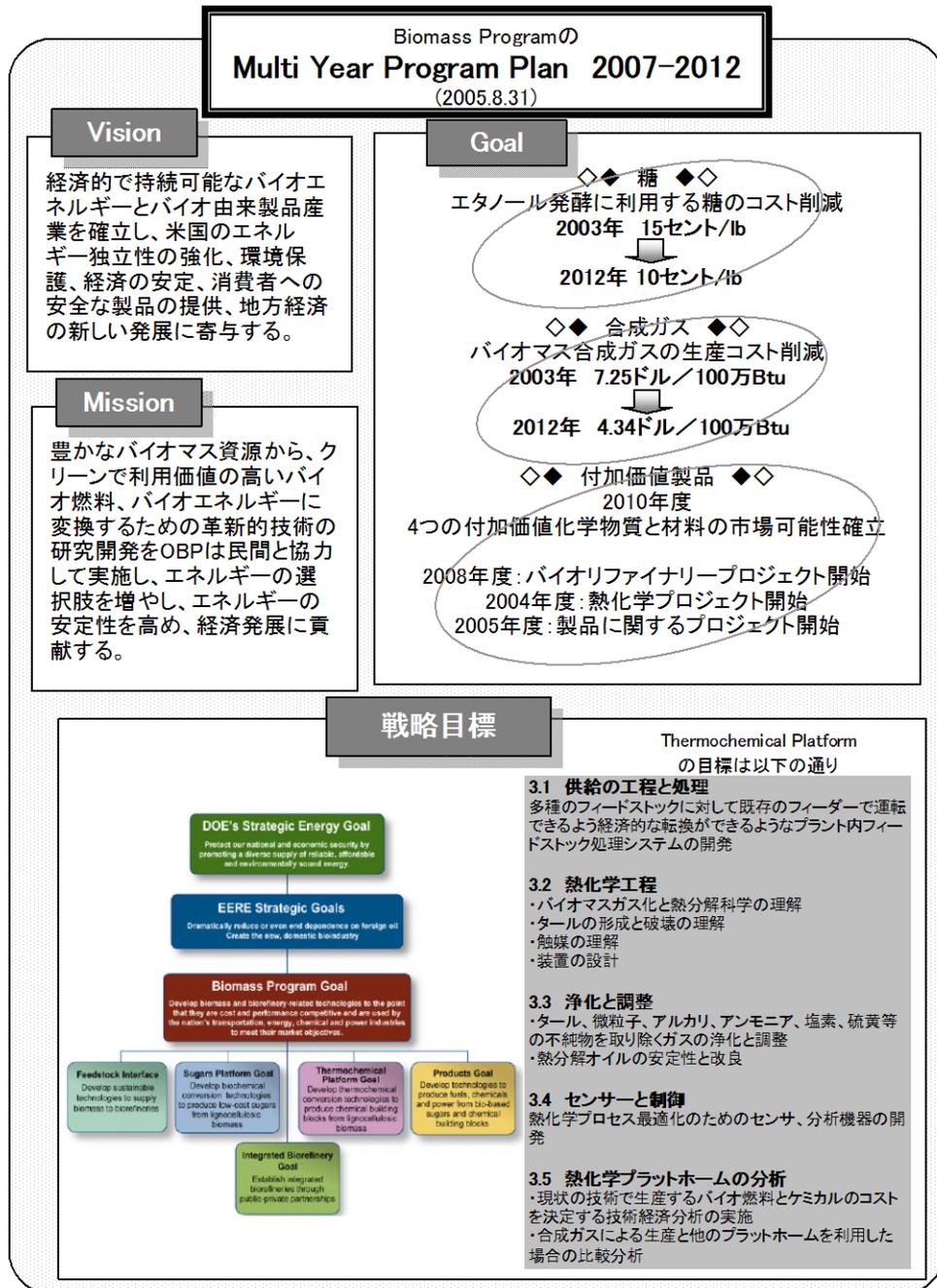
#### <2007-2012年の計画>

バイオマスプログラムでは、2005年8月に、2007年から2012年までの複数年計画を発表した（図 4.5.37）。この計画の発表に際してこれまでのプログラムの進捗状況を振り返り、国立再生可能エネルギー研究所と民間の製造業者の連携により、セルロース酵素の大幅なコストダウンが実現したこと、また近い将来バイオマス由来の製品が商用化される段階にある事を報告している。デュポン社が「統合化されたトウモロコシベースのバイオリファイナリー」をNRELと共同で研究開発し、トウモロコシからグルコースを生産する技術開発と実用化研究を行っている例<sup>173</sup>

<sup>173</sup> NEDO：海外レポート、No.965（2005.10.19）  
<http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/report/965/index.html>

などがある。このように米国では、技術指向のベンチャー企業、関連産業における主要既存プレーヤーと政府が協力して、この分野の展開を図っていることが特徴である。

また本計画には達成目標の数値も細かく記載されている。糖の生産コストを2003年の15セント/lbから2012年に10セント/lbとすること、バイオマス合成ガスの生産コストを2003年の7.25ドル/100万Btuから2012年に4.34ドル/100万Btuにすることを掲げている。具体的に1年刻みでどこまでコストを削減し、そのためにはどのような技術を確認するのかの目標も掲げられている。



【出典】 下記資料より TRI 作成

<http://www1.eere.energy.gov/biomass/>

<http://www1.eere.energy.gov/biomass/pdfs/mypp.pdf>

図 4.5.37 バイオマスプログラムの2007-2012年計画

### <最新のプログラム内容>

DOEのEERE局は2008年3月、バイオマスに関する複数年プログラム計画(MYPP: Multi-Year Program Plan)を公開した<sup>174</sup>。

このバイオマスプログラムはEEREの戦略計画の4つの重要事項を支援している。

- ・ 輸入石油への依存を大幅に減らす
- ・ 国内の様々な持続可能なエネルギー資源の使用を促進する
- ・ エネルギーの生産と消費により排出される二酸化炭素を削減する
- ・ 国内のバイオ産業を確立する

米国原産のバイオマス資源を利用して、車に燃料を供給し、全米に新しい経済機会を提供することが可能である。

大統領の目標を達成するための米国の取組みには、バイオマス生産からバイオ燃料消費に至るまで(農家の農場から消費者の車両まで)のサプライチェーン全体が含まれる(図 4.5.38)。EEREの複数年プログラム計画には、EEREのエネルギーの優先事案を支援するために策定されたサプライチェーンについての、戦略目標、達成目標、取組対象、活動、およびマイルストーン(節目)が詳述されている。

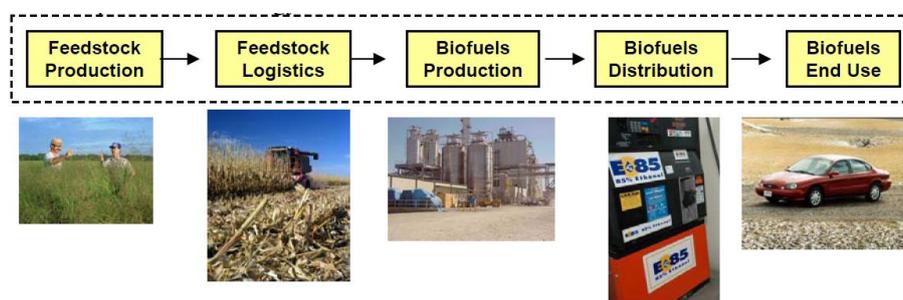


図 4.5.38 バイオマスの生産からバイオ燃料の消費までのサプライチェーン

バイオマスプログラムで策定された包括的な達成目標は、大統領の目標を達成する一番の近道であるセルロース系エタノールに重点を置いた現行の戦略を反映しており、コスト競争力のあるセルロース系エタノールの生産を可能にするのに必要な技術的進歩と、石油燃料の置換え目標の達成に必要なバイオ燃料の生産増加に取り組む。

バイオマスプログラムの作業構造は、以下の3つの大カテゴリーに分かれている。

- ① バイオマスの原料と変換技術のコアの研究開発
- ② 統合バイオリファイナリーの産業規模での実証・評価
- ③ セルロース系技術の市場普及を加速させるための分野横断的な市場転換の取組み

### (5) ゲノミクス GTL プログラム

ゲノミクス GTL プログラムは、微生物を利用して国内のエネルギー需要に画期的な解決法の開発を目指すプログラムである。本プログラムの科学的目標は、微生物および分子システムにおける構造的、機能的設計の根本原理を理解することと、エタノールや水素などのバイオ燃料の生産に最も適した微生物や酵素をモデル化、予測、設計することである。

現在の課題は、自然界における数千のセルロース分解プロセスの解析、エタノールやその他の液体燃料の発酵による生産、生物光分解性水素生産である。

2005年12月、DOEの科学局生物科学研究部(OBER)とEEREが共同で、「バイオマスからのバイオ燃料生産ワークショップ(Biomass to Biofuels Workshop)」を開催した。このワークショップの目的は、セルロース性エタノール製造の急速な発展を妨げる障壁や問題を明らかにすることと、共同研究課題の一環として生物学の最新ツールを共同で利用し、それらの問題の解決方法を見出すことで、「セルロース性エタノールの利用に向けての障壁の解決」と題したバイオ燃料研究の報告書として2006年7月に発表された。

<sup>174</sup> [http://www1.eere.energy.gov/biomass/pdfs/mypp\\_december2009.pdf](http://www1.eere.energy.gov/biomass/pdfs/mypp_december2009.pdf)  
<http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/report/1026/1026-07.pdf>

今後 5 年間に研究期間とし、高効率で経済的に収穫、分解、エタノールへの変換を行う持続可能な方法を開発するため、既存の原料に関する理解を深める。セルロース性バイオマスの酵素分解では、熱化学プロセスと生物学プロセスを組み合わせ、5、6 炭素糖、リグニンに分解してから、糖を共発酵させることでエタノールなどの最終生成物を作成する。

次の 5 年間は技術開発段階とし、持続可能性、収穫量、および組成の強化された次世代エネルギー作物の開発、新しい生物学体系を介したバイオマスの同時糖化・糖の共発酵プロセスの開発を行う。

その先の 5 年間はシステム統合段階とし、並行的に開発された 2 つの成果(エネルギー作物と、特定の農業生態系向けのバイオリファイナリー)を統合する。この統合システムでは、新規酵素、改良酵素を用いてバイオマスを糖化し、複数の安定した発酵プロセスを組み合わせ、植物や微生物に適用し、燃料エタノール生産全工程を簡素化し、加速する。

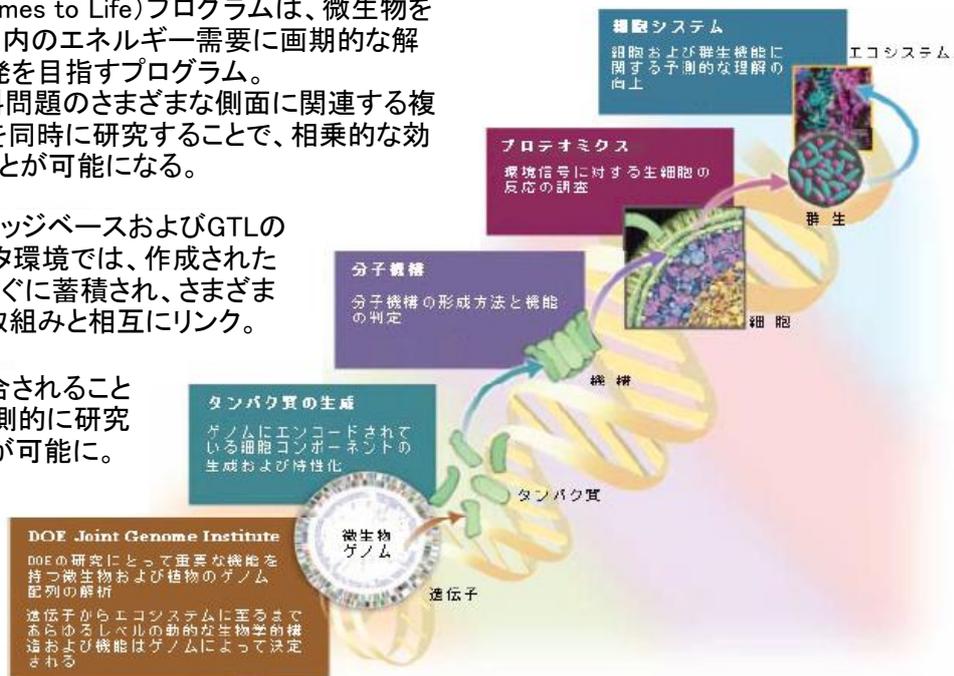
図 4.5.39 に、ゲノミクス GTL プログラム、「セルロース性エタノールの利用に向けての障壁の解決」の概要を示す。

# genomics : GTL Program

GTL (Genomes to Life) プログラムは、微生物を利用して国内のエネルギー需要に画期的な解決法の開発を目指すプログラム。バイオ燃料問題のさまざまな側面に関連する複数の体系を同時に研究することで、相乗的な効果を得ることが可能になる。

GTLのナレッジベースおよびGTLのコンピュータ環境では、作成されたデータはすぐに蓄積され、さまざまな研究の取組みと相互にリンク。

情報が統合されることにより、予測的に研究を行うことが可能に。



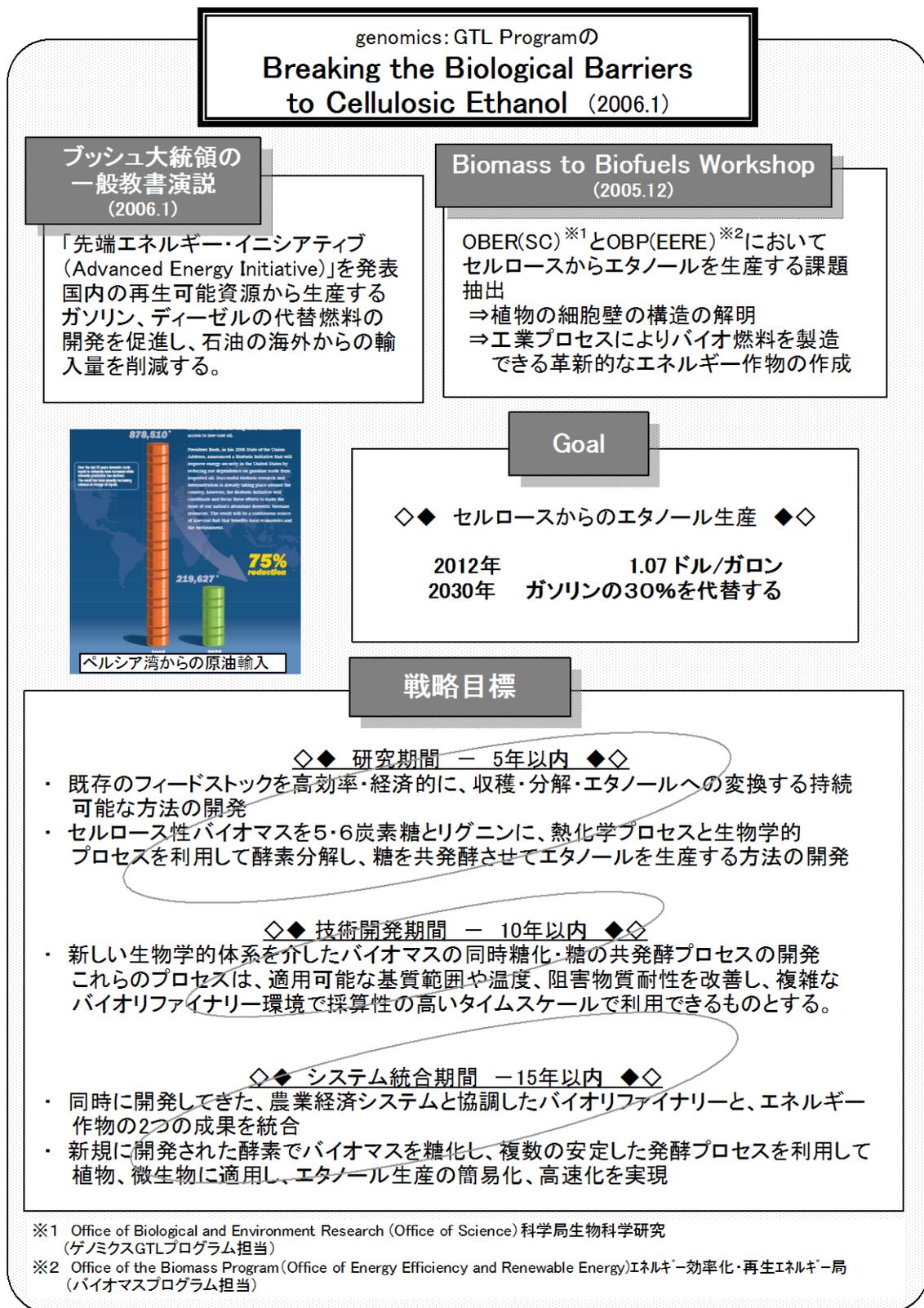
出所) Genomic:GTL Roadmap , August 2005  
NEDO海外レポート No.984

【出典】 各種資料より TRI 作成

図 4.5.39 ゲノミクス GTL プログラムの概要

(6) セルロース性エタノールの利用に向けての障壁の解決

セルロース性エタノール利用上の障壁の解決方策は図 4.5.40 のような体系になっている。



【出典】 各種資料より TRI 作成

図 4.5.40 「セルロース性エタノールの利用に向けての障壁の解決」の概要

## 4.5.2 EU の開発戦略

### (1) 第7次研究開発フレームワーク計画 (FP7)

欧州委員会 (EC) は、EU が行う研究開発助成の中心的政策手段である第7次研究開発フレームワーク計画 (FP7) を、2005年4月に発表した。FP7が第6次計画 (FP6) と大きく異なっている点は、バイオテクノロジー分野において、レッド、グリーン、ホワイトの3つのバイオテクノロジー (医学、農業、産業) のすべてが組み入れられている点である。特に産業バイオテクノロジーは学際的な領域であり、再生可能な原料、バイオエネルギー、新材料となる新作物の開発、持続可能な生産工程等、他研究領域との連携が欠かせない。

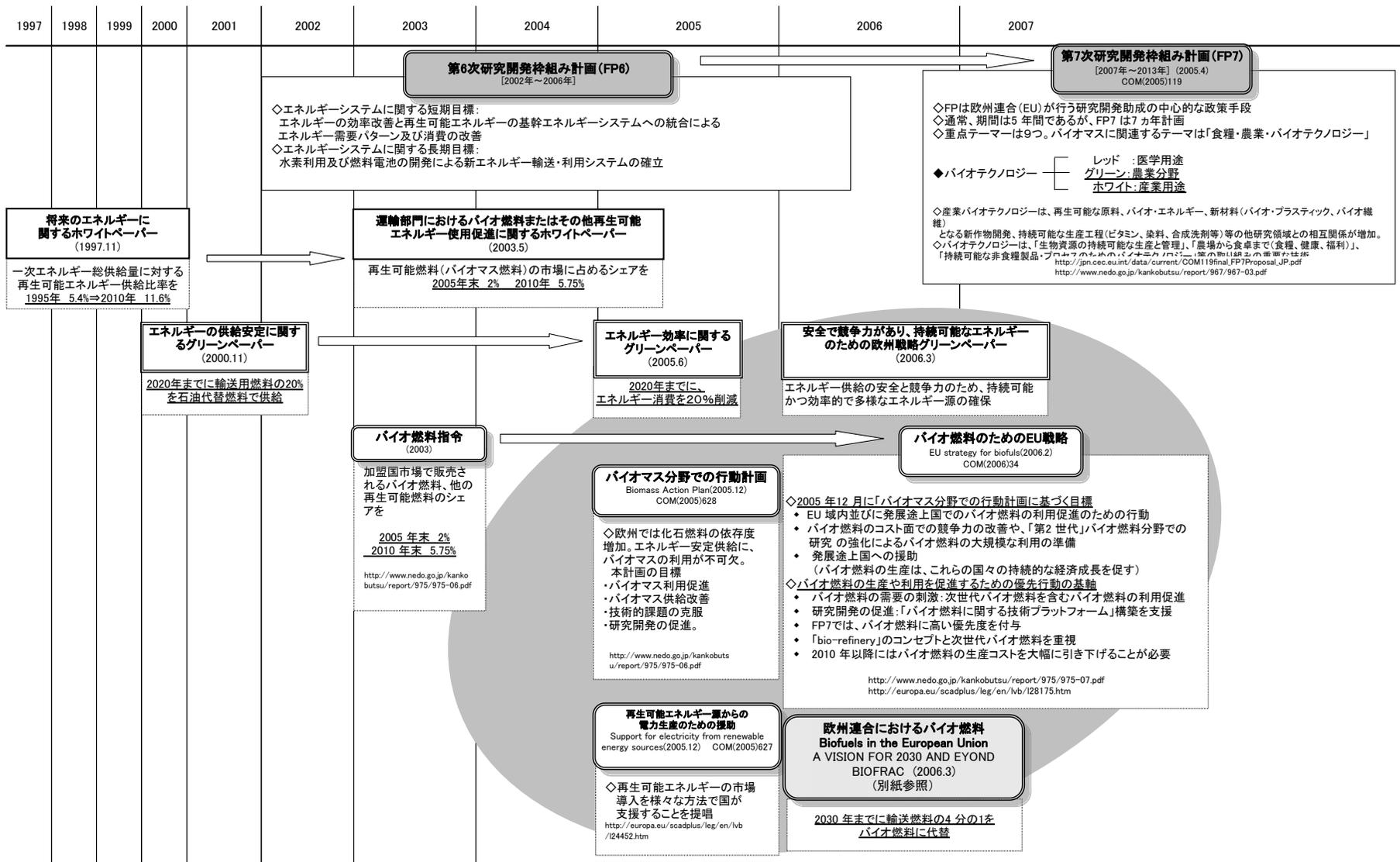
一方、エネルギー需要の増加、CO<sub>2</sub> 排出削減取り組みの逼迫にもかかわらず、EU には「共通のエネルギー政策」と呼べるものがないとの認識から、2006年3月、共通エネルギー政策策定の叩き台となる、『安全で競争力があり、持続可能なエネルギーのための欧州戦略 [COM (2006) 105]』と題したグリーンペーパーを公表した。

また運輸部門におけるアプローチとして、「運輸部門でのバイオ燃料あるいは他の再生可能燃料の利用を促進する欧州議会・理事会指令 2003/30/EC」(バイオ燃料指令) が2003年5月に既に発表されており、加盟国市場で販売されるバイオ燃料、あるいは他の再生可能燃料のシェアを2005年末までに2%、2010年末までに5.75%にするという目標が掲げられた。しかし、バイオ燃料の2005年のシェアは目標値の半分にも到達していない。欧州委員会では「バイオ燃料指令」の見直しとして、2006年2月に「バイオ燃料のためのEU戦略」を発表した。その間ECは「バイオマス分野の行動計画」も発表しており、運輸、暖房、電力生産部門に関して20以上の行動が提案されている。

また、2006年6月にECのバイオ燃料研究諮問委員会 (BIOFRAC) が「欧州連合におけるバイオ燃料-2030年以降に向けてのビジョン」を発表した。この報告書でEUは、2030年までに道路運輸部門の燃料需要量の4分の1相当をクリーンでCO<sub>2</sub> 排出効率が良いバイオ燃料に置き換えることを目標としている。この目標の達成によりEUは化石燃料の輸入依存度を大幅に減らすことが可能となる。また、バイオ燃料は持続的で革新的な技術を使って生産されなくてはならないとしている。またバイオマス燃料は、バイオマス生産者、バイオ燃料生産者、自動車産業にも大きな経済効果をもたらすことが期待されている。

### (2) 主な政策とバイオ戦略

図 4.5.41～図 4.5.43 に「EU のエネルギー政策の流れ」、「欧州委員会の主な政策」、「欧州連合におけるバイオ燃料-2030年以降に向けてのビジョン」の概要を示す。



【出典】各種資料より TRI 作成

図 4.5.41 EU のエネルギー政策の流れ

## EC(欧州委員会)の最近の取り組み

### 第7次研究開発枠組み計画(FP7)

[2007年～2013年] (2005.4)  
COM(2005)119

- ◇FPは欧州連合(EU)が行う研究開発助成の中心的な政策手段
- ◇通常、期間は5年間であるが、FP7は7カ年計画
- ◇重点テーマは9つ。バイオマスに関連するテーマは「食糧・農業・バイオテクノロジー」

- ◆バイオテクノロジー
  - レッド : 医学用途
  - グリーン: 農業分野
  - ホワイト: 産業用途

- ◇産業バイオテクノロジーは、再生可能な原料、バイオ・エネルギー、新材料(バイオ・プラスチック、バイオ繊維)となる新作物開発、持続可能な生産工程(ビタミン、染料、合成洗剤等)等の他研究領域との相互関係が増加。
- ◇バイオテクノロジーは、「生物資源の持続可能な生産と管理」、「農場から食卓まで(食糧、健康、福利)」、「持続可能な非食糧製品・プロセスのためのバイオテクノロジー」等の取り組みの重要な技術。

[http://jpn.cec.eu.int/data/current/COM119final\\_FP7Proposal\\_JP.pdf](http://jpn.cec.eu.int/data/current/COM119final_FP7Proposal_JP.pdf)  
<http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/report/967/967-03.pdf>

### バイオマス分野での行動計画

Biomass Action Plan(2005.12)  
COM(2005)628

- ◇欧州では化石燃料への依存度が増加しており、今後、エネルギーの安定供給するためには、バイオマスの利用が不可欠である。
- 本計画の目標は、バイオマスの利用の促進、バイオマス供給の改善、技術的課題の克服、研究開発の促進である。

<http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/report/975/975-06.pdf>

### 再生可能エネルギー源からの電力生産のための援助

Support for electricity from renewable energy sources(2005.12)  
COM(2005)627

- ◇再生可能エネルギーの市場導入を様々な方法で国が支援することを提唱

<http://europa.eu/scadplus/leg/en/lvb/l24452.htm>

### バイオ燃料のためのEU戦略

EU strategy for biofuels(2006.2)  
COM(2006)34

- ◇2005年12月に「バイオマス分野での行動計画に基づく目標」
  - ・ EU域内並びに発展途上国でのバイオ燃料の利用促進のための行動
  - ・ バイオ燃料のコスト面での競争力の改善や、「第2世代」バイオ燃料分野での研究の強化によるバイオ燃料の大規模な利用の準備
  - ・ 発展途上国への援助  
(バイオ燃料の生産は、これらの国々の持続的な経済成長を促し得る)
- ◇バイオ燃料の生産や利用を促進するための優先行動の基軸
  - ・ バイオ燃料の需要の刺激: 次世代バイオ燃料を含むバイオ燃料の利用促進
  - ・ 研究開発の促進: ECは「バイオ燃料に関する技術プラットフォーム」の構築を支援
  - ・ FP7では、バイオ燃料に高い優先度を付与
  - ・ 「bio-refinery」のコンセプトと次世代バイオ燃料を重視
  - ・ 2010年以降にはバイオ燃料の生産コストを大幅に引き下げる必要がある

<http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/report/975/975-07.pdf>  
<http://europa.eu/scadplus/leg/en/lvb/l28175.htm>

【出典】各種資料より TRI 作成

図 4.5.42 欧州委員会の主な政策

# Biofuels in the European Union —A VISION FOR 2030 AND BEYOND— BIOFRAC<sup>※1</sup> (2006.3)

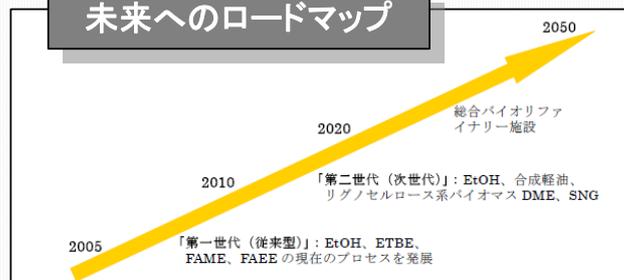
## Vision

- 2030 年までに輸送燃料の4分の1を環境に優しいバイオ燃料に置き換える
- 化石燃料の輸入依存度を大幅に削減
- バイオ燃料は持続的で革新的な技術を使って生産
- バイオ燃料によりバイオマス供給者、バイオ燃料生産者、自動車産業に好機をもたらす。

## テクノロジー・ロードマップ

- ◆◆ Phase I ~2010年 ◆◆
  - ・既存技術の改良
  - ・次世代バイオ燃料とバイオリアファイナリーの研究開発
  - ・次世代バイオ燃料の実証プラント
- ◆◆ Phase II 2010年~2020年 ◆◆
  - ・次世代バイオ燃料生産の展開
  - ・バイオリアファイナリー・コンセプトの実証。
  - ・リグノセルロース系バイオマス燃料と統合バイオリアファイナリー・プロセス改良のための研究開発
  - ・資源作物と持続可能な農業の開発
- ◆◆ Phase III 2020年~ ◆◆
  - ・次世代バイオ燃料の大規模生産
  - ・統合バイオリアファイナリー複合施設の展開

## 未来へのロードマップ



## 現在のバイオ燃料と次世代バイオ燃料

第一世代（従来型）バイオ燃料				第二世代（次世代）バイオ燃料			
種類	名称	バイオマス原料	生産技術	種類	名称	バイオマス原料	生産技術
バイオエタノール	従来型バイオエタノール	テンサイ、穀類	加水分解＋発酵	バイオエタノール	セルロース系バイオエタノール	リグノセルロース系原料	高度加水分解＋発酵
純植物性油	純植物油（PPO）	油糧作物（例：菜種）	圧搾抽出	合成バイオ燃料	BTL、FT 軽油、（バイオ）合成軽油、バイオメタノール、重（混合）アルコール、バイオ DME	リグノセルロース系原料	ガス化＋合成
バイオディーゼル	エネルギー作物 BDF、菜種メチルエステル（RME）、脂肪酸メチル／エチルエステル（FAME／FAEE）	油糧作物（例：菜種）	圧搾抽出＋エステル交換	バイオディーゼル	水素化処理バイオディーゼル	植物性油／動物性油脂	水素化精製
バイオディーゼル	廃棄物起源バイオディーゼル FAME／FAEE	廃棄物／料理用油／フライ用油／動物性油脂	エステル交換	バイオガス	SNG（合成天然ガス）	リグノセルロース系原料	ガス化＋合成、
バイオガス	精製バイオガス	Wet 系	消化（メタン発酵）	バイオ水素	—	リグノセルロース系原料	ガス化＋合成、生物学的工程
バイオガソリン（ETBE）	—	バイオエタノール	化学合成				

※1 Biofuels Research Advisory Council 欧州委員会のバイオ燃料研究諮問委員会  
<http://www.biomatnet.org/publications/1919rep.pdf>  
<http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/report/984/984-01.pdf>

【出典】各種資料より TRI 作成

図 4.5.43 「欧州連合におけるバイオ燃料—2030 年以降に向けてのビジョン」の概要

## 5. バイオマス関連プロジェクトの概要

### 5.1 バイオマス関連プロジェクトの俯瞰

「環境研究・技術開発の分野別取組マップ」<sup>175</sup>では、環境関連の研究・技術開発プロジェクト<sup>176</sup>の実施状況を、「環境研究・環境技術開発の推進戦略」（平成18年3月中央環境審議会答申）<sup>177</sup>において規定された重要課題（4領域に分類、計51課題）毎に整理した俯瞰図（マップA、マップB）を掲載している。

マップAとマップBとは、「環境研究・環境技術開発の推進戦略」の重要課題に関連する研究・技術開発案件について、それぞれ次の通り整理したものである。

- ・マップA：研究開発対象ごとに、研究開発フローに沿って整理（研究者向け）
- ・マップB：推進戦略で規定された重要課題のサブテーマごとに、将来目標に向けた研究開発フェーズに沿って整理（政策関係・事業者向け）

各マップの特性を基に、マップAを主に専門家による分野別の研究開発状況の把握に役立つものとして『研究者向け』、マップBを主に政策上の課題ごとの研究開発状況の把握に役立つものとして『政策関係・事業者向け』としている。

各領域のロードマップを図5.1.1～図5.1.4に、領域別に挙げられている課題を表5.1.1にそれぞれ示す。

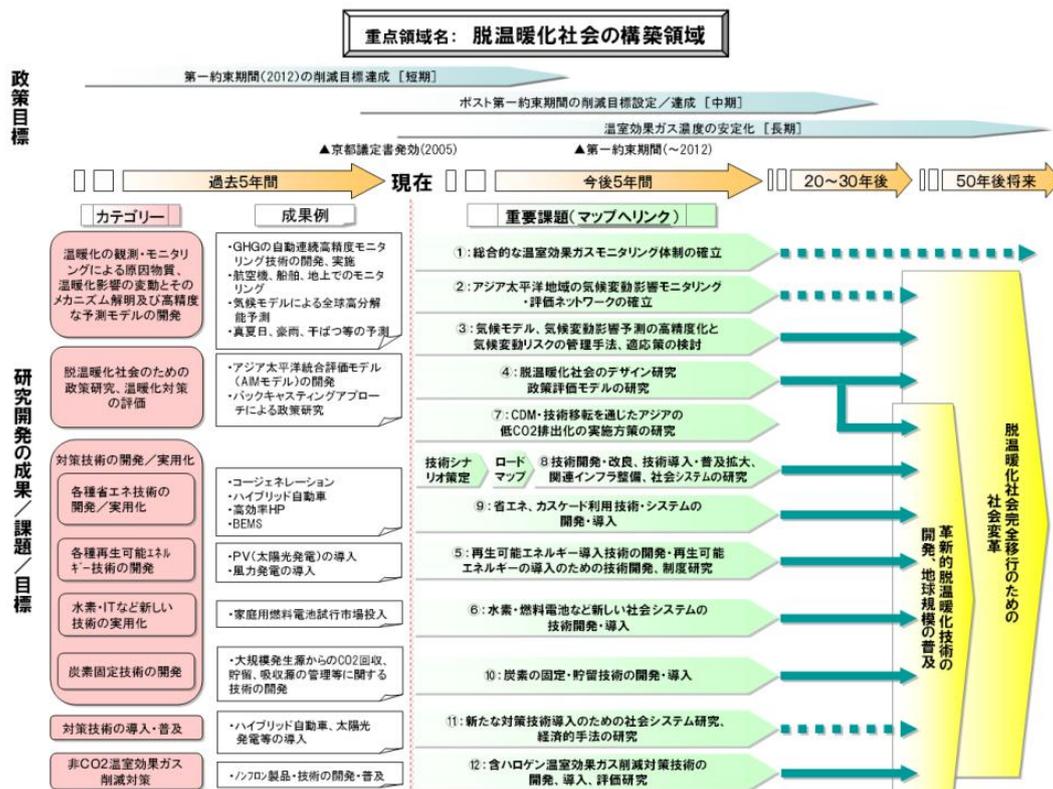


図 5.1.1 「脱温暖化社会の構築」領域のロードマップ

<sup>175</sup> 国立環境研究所 HP：環境研究技術ポータルサイト/環境研究技術サポート、  
<http://ecotech.nies.go.jp/support/fukanzu/index.html>

<sup>176</sup> 環境省や国立環境研究所で実施している案件のほか、他府省分についても公表資料が入手可能な案件について整理（平成19年度実施分まで）。マップ上の各プロジェクトからは、その情報を掲載している外部ホームページへのリンクを行っている（リンクしている外部ホームページは2009年6月現在、ウェブ上に公開されているものに限る。一部、ウェブ上に情報がないため、リンクしていない研究・技術開発案件がある）。

<sup>177</sup> 中央環境審議会、環境研究・環境技術開発の推進戦略について（答申）、平成18年3月、  
<http://www.env.go.jp/council/toshin/t02-h1807.html>

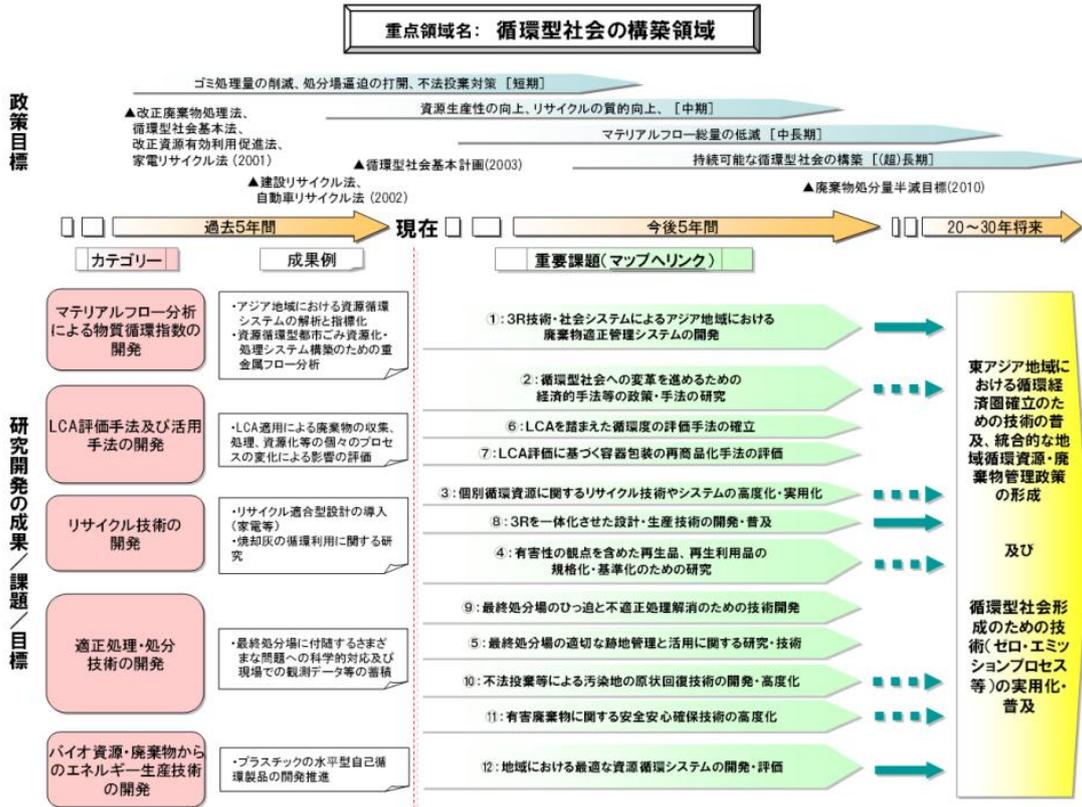


図 5.1.2 「循環型社会の構築」領域のロードマップ

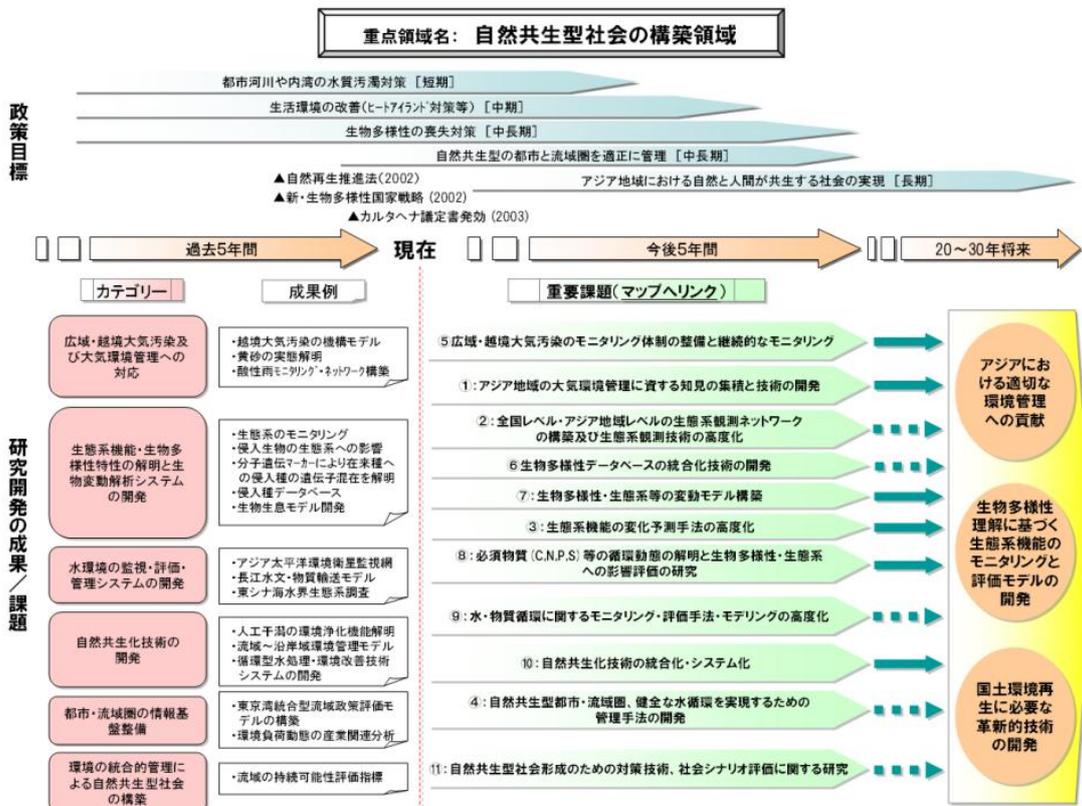


図 5.1.3 「自然共生型社会の構築」領域のロードマップ

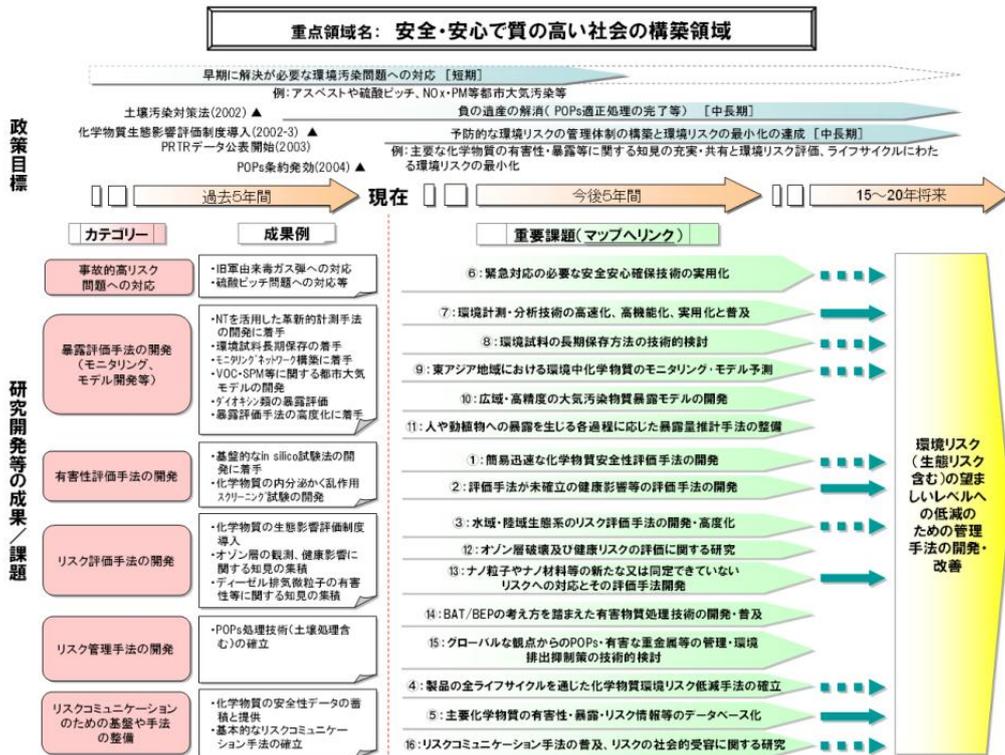


図 5.1.4 「安全・安心で質の高い社会の構築」領域のロードマップ

表 5.1.1 「環境研究・技術開発の分野別取組マップ」での領域・課題

領域	課題
1. 脱温暖化社会の構築 (脱温暖化)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 総合的な温室効果ガスモニタリング体制の確立</li> <li>2. アジア太平洋地域の気候変動影響モニタリング・評価ネットワークの確立</li> <li>3. 気候モデル、気候変動影響予測の高精度化と気候変動リスクの管理手法、適応策の検討</li> <li>4. 脱温暖化社会のデザイン研究・政策評価モデルの研究</li> <li>5. 再生可能エネルギー導入技術の開発・再生可能エネルギーの導入のための技術開発、制度研究</li> <li>6. 水素・燃料電池など新しい社会システムの技術開発・導入</li> <li>7. CDM・技術移転を通じたアジアの低CO<sub>2</sub>排出化の実施方策の研究</li> <li>8. 技術開発・改良、技術導入・普及拡大、関連インフラ整備、社会システムの研究(マップなし)</li> <li>9. 省エネ、カスケード利用技術・システムの開発・導入</li> <li>10. 炭素の固定・貯留、森林等吸収源増大技術の開発・導入</li> <li>11. 新たな対策技術導入のための社会システム研究、経済的手法の研究</li> <li>12. 含ハロゲン物質等温室効果ガス削減対策技術の開発、導入、評価研究</li> </ol>
2. 循環型社会の構築 (循環型)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 3R技術・社会システムによるアジア地域における廃棄物適正管理システムの研究</li> <li>2. 循環型社会への変革を進めるための経済的手法等の政策・手法の研究</li> <li>3. 循環資源に関するリサイクル技術やシステムの高度化・実用化</li> <li>4. 有害性の観点を含めた再生品、再生利用品の規格化・標準化のための研究</li> <li>5. 最終処分場の適切な跡地管理と活用に関する研究・技術</li> <li>6. LCAを踏まえた循環型評価手法の確立</li> <li>7. LCA評価に基づく容器包装の再商品化手法の評価</li> <li>8. 3Rを一体化させた設計・生産技術の開発・普及</li> <li>9. 最終処分場のひっ迫と不適正処理・処分解消のための技術開発</li> <li>10. 不法投棄等による汚染地の現状回復技術の開発・高度化</li> <li>11. 有害廃棄物に関する安全安心確保技術の高度化</li> <li>12. 地域における最適な資源循環システムの開発・評価</li> </ol>
3. 自然共生型社会の構築 (自然共生型)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. アジア地域の気候環境管理に資する知見の集積と技術の開発</li> <li>2. 全国レベル・アジア地域レベルの生態系観測ネットワークの構築及び生態系観測技術の高度化</li> <li>3. 生態系機能の変化予測手法の高度化</li> <li>4. 自然共生型都市・流域圏、健全な水循環を実現するための管理手法の開発</li> <li>5. 広域・越境大気汚染のモニタリング体制の整備と継続的なモニタリング</li> <li>6. 生物多様性データベースの統合化技術の開発</li> <li>7. 生物多様性・生態系等の変動モデル構築</li> <li>8. 必須物質(C,N,P,S)等の循環導体の解明と生物多様性・生態系への影響評価の研究</li> <li>9. 水・物質循環に関するモニタリング・評価手法・モデリングの高度化</li> <li>10. 自然共生化技術の統合化・システム化</li> <li>11. 自然共生型社会形成のための対策技術、社会シナリオ評価に関する研究</li> </ol>
4. 安全・安心で質の高い社会の構築 (安全・安心)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 簡易迅速な化学物質安全性評価手法の開発</li> <li>2. 評価手法が未確立の健康影響等の評価手法の開発</li> <li>3. 水域・陸域生態系のリスク評価手法の開発・高度化</li> <li>4. 製品の全ライフサイクルを通じた化学物質環境リスク低減手法の確立</li> <li>5. 主要化学物質の有害性・ばく露・リスク情報等のデータベース化</li> <li>6. 緊急対応に必要な安全安心確保技術の基盤強化</li> <li>7. 環境計測・分析技術の高速化、高機能化、実用化と普及</li> <li>8. 環境試料の長期保存方法の技術的検討</li> <li>9. 東アジア地域における環境中化学物質のモニタリング・モデル予測</li> <li>10. 広域・高精度の大気汚染物質ばく露モデルの開発</li> <li>11. 人や動植物へのばく露を生じる各過程に応じたばく露量推計手法の整備</li> <li>12. オゾン層破壊及び健康リスクの評価に関する研究</li> <li>13. ナノ粒子やナノ材料等の新たな又は同定できていないリスクへの対応とその評価手法開発</li> <li>14. BAT/BEPの考え方を踏まえた有害物質処理技術の開発・普及</li> <li>15. グローバルな観点からのPOPs・有害な重金属等の管理・環境排出抑制策の技術的検討</li> <li>16. リスクコミュニケーション手法の普及、リスクの社会的受容に関する研究</li> </ol>

ここでは以上のうち、マップ A（研究者向け）について取り上げる。マップ A の中でバイオマス関連のプロジェクトが含まれている領域・課題は表 5.1.2 に示す 2 領域・5 課題である。

**表 5.1.2 バイオマス関連プロジェクトを含む領域・課題**

脱温暖化(5)：再生可能エネルギー導入技術の開発・再生可能エネルギーの導入のための技術開発、 制度研究 (7)：CDM・技術移転を通じたアジアの低 CO <sub>2</sub> 排出化の実施方策の研究 (9)：省エネ、カスケード利用技術・システムの開発・導入
循環型 (3)：循環資源に関するリサイクル技術やシステムの高度化・実用化 (12)：地域における最適な資源循環システムの開発・評価

これらの課題それぞれについて、関連プロジェクトを研究開発対象・省別に研究開発フローに沿って配置したマップを図 5.1.5～図 5.1.15 に示す。また、これらの図に挙げられているプロジェクトの一覧を表 5.1.3 に、各プロジェクトの概要を省別に＜添付資料＞に示す。

脱温暖化(5):再生可能エネルギー導入技術の開発・再生可能エネルギーの導入のための技術開発、制度研究

研究開発対象	研究開発フロー			
	単体研究	システム研究	実証研究	制度研究
太陽エネルギー	経済産業省	216 省資源低環境負荷型太陽光発電システムの開発 218-35 太陽光発電システム実用化加速技術開発	218-36 太陽光発電システム <b>未来</b> 技術研究開発 218-37 太陽光発電システム共通基盤技術研究開発 218-39 太陽エネルギー新利用システム技術研究開発事業 218-11 産業等用太陽光発電フィールドテスト事業 218-40 太陽熱高度利用システムフィールドテスト事業 218-49 集中連系型太陽光発電システム実証研究 218-50 大規模電力供給用太陽光発電系統安定化等実証研究 218-75 太陽光発電システム等高度化系統連系安定化技術国際共同実証開発事業 218-34 太陽光発電新技術等フィールドテスト事業	218-74 太陽光発電システム等国際共同実証開発
	環境省	102-53 金属シリコンを出発材料とする高効率球状シリコン太陽電池の連続製造技術開発	102-16 通年&寒冷地でも使用可能な面期的高効率ソーラーヒートパネルを用いた給湯システムの開発 102-39 水面を利用した大規模太陽光発電(PV)システムの実用化を目指した技術開発	134 環境技術イノベーション創出支援事業
風力	経済産業省		218-51 風力発電電力系統安定化等技術開発	
	農林水産省	516 水産業振興型技術開発事業		
	環境省			134 環境技術イノベーション創出支援事業
水力	経済産業省	218-68 中小水力発電開発事業		
	環境省			134 環境技術イノベーション創出支援事業
バイオマス	経済産業省		218-44 バイオマスエネルギー地域システム化実験事業 218-41 バイオマスエネルギー高効率転換技術開発 218-42 バイオマス等未活用エネルギー実証試験事業 225-2 鑄造コークス代替となる高硬度固形バイオ燃料の量産機開発と実証 218-43 地域バイオマス熱利用フィールドテスト事業	
	農林水産省	504-4 バイオエネルギー生産のためのシロアリ共生系高度利用技術の基盤的研究 504-5 油種酵母による国産バイオディーゼルの効率的生産技術の開発 506-20 低コスト栽培・高効率発酵によるライスエタノールシステムの確立 516 水産業振興型技術開発事業 515 地域活性化のためのバイオマス利用技術の開発	503-7 農林水産バイオマスエネルギー生産技術の開発	

図 5.1.5 「再生可能エネルギー導入技術の開発・再生可能エネルギーの導入のための技術開発、制度研究」関連プロジェクトのマップ(1)

研究開発対象		研究開発フロー			
		単体研究	システム研究	実証研究	制度研究
バイオマス (続き)	環境省	102-51 食品廃棄物のバイオ水素化・バイオガス化に関する技術開発			
		103-31 担子菌を用いた脱リグニン処理法の開発による農産廃棄物の利用法の拡大に関する研究			
		102-26 都市型バイオマスエネルギー導入技術に係る学園都市東広島モデルの技術開発・実証事業			
		102-36 草本質系セルロースからのバイオエタノール高収率化と低コスト製造システムの開発			
		102-52 資源用トウモロコシを利用した大規模バイオエタノール製造拠点形成推進事業			
		103-67 木材系微粉末からの並行複発酵技術による連続バイオエタノール生産技術の開発			
		103-4 廃食用油のバイオディーゼルへのリサイクル技術高度化			
		102-26 都市型バイオマスエネルギー導入技術に係る学園都市東広島モデルの技術開発・実証事業			
		102-38 カーボンフリー-BDFのためのグリーンメタノール製造及び副産物の高度利用に関する技術開発(京都バイオサイクルプロジェクト)			
		102-40 輸送用バイオマス由来燃料導入技術開発及び実証事業			
		102-41 バイオエタノール製造におけるエネルギーコスト削減のための超音波濃縮に関する技術開発			
		103-66 安全・安価なハイブリッド式バイオマス活用技術による農作物非食部のエネルギー・再資源化と産地での完全消費・循環システムの基盤構築に関する研究			
		133 エコ燃料実用化地域システム実証事業費			
			101-40 アジアにおけるバイオ燃料の持続的需給システムの構築に関する研究		
			102-2 草本・木質系バイオマスからのエタノール、水素及びメタン生産におけるエネルギー取得率向上のための実用的バイオプロセスの開発		
			102-3 下水汚泥処理場における汚泥を活用した高効率エネルギー供給システムの開発・実証		
			102-30 バイオマス粉炭ネットワークのための家庭用・業務用粉炭燃焼機器の開発		
			102-32 微細藻類を利用したエネルギー再生技術開発		
			102-54 木質系バイオマスエネルギーの複数エリアへの最適供給・配分システムの研究開発		
			103-3 消化ガス再生利用を可能にする新規燃料電池電極材料の開発		
			102-24 沖縄産糖蜜からの燃料用エタノール生産プロセス開発及びE3等実証試験		
			102-25 沖縄地区における燃料製造のためのサトウキビからのバイオマスエタノール製造技術に関する技術開発		
			102-27 超臨界水による都市系有機性廃棄物オンサイトエネルギー変換システムの実用化		
			102-28 ゼロCO2社会に向けた木質バイオマス活用技術開発と再生可能エネルギー融合システムの屋久島モデル構築		
			102-29 バイロコーキング技術による木質系バイオコークの製造技術とSOFC発電適用システムの開発		
			102-31 有機性廃棄物の水熱処理による石油代替エネルギーの開発		
			102-37 兵庫県南部における統合型・省エネ型酵素法によるバイオ燃料製造に関する技術開発		
			103-2 水素生成プロセスの導入による地域未利用バイオマスの適正循環システムの構築に関する研究		
			103-78 バイオガス化プラント排水中の高濃度アンモニアのMAP-ANAMMOX/ハイブリッド処理技術の開発		
			129-3 中核研究プロジェクト「廃棄物系バイオマスのWin-Win型資源循環技術の開発」		
			102-43 高効率熱分解バイオオイル化技術による臨海部都市再生産業地域での脱温暖化イニシアティブ実証事業		
			103-1 バイオマスの循環型システム活用(CO2のリサイクル化)における超音波による無水エタノールの精製およびバイオディーゼル燃料の製造に関する研究		
					134 環境技術イノベーション創出支援事業

図 5.1.6 「再生可能エネルギー導入技術の開発・再生可能エネルギーの導入のための技術開発、制度研究」関連プロジェクトのマップ(2)

研究開発対象		研究開発フロー			
		単体研究	システム研究	実証研究	制度研究
バイオマス (続き)	文部科学省	612-18 アジアの持続可能バイオマス利用技術開発			612-19 バイオマス持続利用への環境管理技術開発
	国土交通省	438 エネルギー自立型下水汚泥等焼却システムの開発 440 嫌気性発酵時における下水汚泥の分解率向上技術の開発	409 その他、独立行政法人運営交付金、その他の経費による事業 439 草本類の大量炭化技術の開発 441 低コスト型の消化ガスエンジンの開発 442 下水汚泥の炭化燃料化システムの開発		443 国土管理由来バイオマスのインベントリーの開発
	総務省		701 新技術・新素材の活用等に対応した安全対策の確保に要する経費		
地熱	経済産業省		218-69 地熱発電開発事業 218-72 地熱開発促進調査		
	環境省	102-57 寒冷地を含む病院における、省エネ冷暖房設備用の地下水・地中熱ハイブリッドヒートポンプに関する技術開発			134 環境技術イノベーション創出支援事業
海洋エネルギー	環境省				134 環境技術イノベーション創出支援事業
その他	経済産業省	209 メタンハイドレート開発促進事業	218-12 先進型廃棄物発電フィールドテスト事業		
	環境省	102-50 空気冷媒を用いた省エネ型ノンデフロストフリーザーに関する技術開発 103-37 廃棄物を利用した鉄-水素コプロダクションシステムに関する研究	102-1 地域エコエネルギーウェブシステム(自然エネルギーを中心としたエネルギーの相互利用システム)のための制御方法に関する技術開発 102-46 潜熱蓄熱による排熱活用システムの製品化および性能向上に関する技術開発		134 環境技術イノベーション創出支援事業
	国土交通省	444-3 港湾内の環境保全を目指した内航船舶用排熱回収システムの開発			

図 5.1.7 「再生可能エネルギー導入技術の開発・再生可能エネルギーの導入のための技術開発、制度研究」関連プロジェクトのマップ(3)

脱温暖化(7): CDM・技術移転を通じたアジアの低CO<sub>2</sub>排出化の実施方策の研究

研究開発対象				研究開発フロー	
				システム評価	規定・制度
温室効果ガスの削減要因	発生源の抑制	省エネルギー	経済産業省	218-78 京都メカニズム関連事業 218-79 地球環境国際連携推進事業	
			環境省	101-15 アジア太平洋統合評価モデルによる地球温暖化の緩和・適応政策の評価に関する研究 114 「アジア太平洋地域における戦略的データベースを用いた応用シナリオ開発」(アジア太平洋地域環境イノベーション戦略推進費の一部)	
		新エネルギー	経済産業省	218-79 地球環境国際連携推進事業	
	炭素固定	環境省	経済産業省	101-15 アジア太平洋統合評価モデルによる地球温暖化の緩和・適応政策の評価に関する研究 114 「アジア太平洋地域における戦略的データベースを用いた応用シナリオ開発」(アジア太平洋地域環境イノベーション戦略推進費の一部)	
			環境省	111 経済移行国における天然ガス輸送の高効率化支援事業	
			文部科学省	612-18 アジアの持続可能バイオマス利用技術開発 612-19 バイオマス持続利用への環境管理技術開発	

図 5.1.8 「CDM・技術移転を通じたアジアの低CO<sub>2</sub>排出化の実施方策の研究」関連プロジェクトのマップ

脱温暖化(9): 省エネ、カスケード利用技術・システムの開発・導入

研究開発対象	技術のフロー				
	単体技術	システム技術	実証実験(モデル化を含む)	政策研究	
省エネルギー	経済産業省	<p>218-56 超高効率天然ガスエンジン・コンバインドシステム技術開発</p> <p>218-54 エネルギー使用合理化技術戦略の開発事業</p> <p>218-63 新エネルギー・省エネルギー非営利活動促進事業</p>	<p>218-30 ハイパーコイル利用高効率燃焼技術の開発</p> <p>218-58 エネルギー使用合理化事業者支援事業</p> <p>218-59 省エネルギー対策導入指導事業・省エネルギー対策導入調査事業</p> <p>218-60 民生部門等地球温暖化対策実証モデル評価事業</p> <p>201 環境負荷低減型燃料転換技術開発費補助金</p> <p>218-33 無曝気・省エネルギー型次世代水資源循環技術の開発</p> <p>218-55 革新的次世代低公害車総合技術開発</p> <p>218-73 国際エネルギー使用合理化等対策事業</p> <p>218-81 環境適応型高性能小型航空機プロジェクト</p> <p>218-82 環境適応型小型航空機用エンジン研究開発</p>		<p>218-61 地域新エネルギー・省エネルギービジョン策定等事業</p>
	農林水産省	<p>516 水産業振興型技術開発事業</p>			
環境省	<p>102-35 家庭におけるPC等消費電力削減のための実用化に関する技術開発</p> <p>102-47 冷蔵倉庫並びに食品工場用の省エネ型自然冷媒式冷凍装置の製品化技術開発</p> <p>102-53 金属シリコンを出発材料とする高効率球状シリコン太陽電池の連続製造技術開発</p> <p>102-56 製造時及び使用時のCO2排出が大幅に小さい「スーパーエコPC」の製品化に関する技術開発</p> <p>102-57 寒冷地を含む病院における、省エネ冷暖房設備用の地下水・地中熱ハイブリッド式ヒートポンプに関する技術開発</p>	<p>102-15 地中熱利用給湯・冷暖房システムに関する技術開発</p> <p>102-19 冷房負荷主体の温暖地域にも普及拡大し得る大温度差少量搬送方式高効率地中熱利用ビル用マルチヒートポンプシステムとその設計・運用方法の技術開発</p> <p>102-50 空気冷媒を用いた省エネ型ノンデフロストフリーザーに関する技術開発</p> <p>102-55 家庭用ソーラーシステムの普及拡大に関する技術開発</p> <p>130-6 省エネルギー型水・炭素循環処理システムの開発</p> <p>102-41 バイオエタノール製造におけるエネルギーコスト削減のための超音波濃縮に関する技術開発</p>			
			<p>102-5 HEVにおける燃費改善のためのラミネート型マンガン系リチウムイオン組電池に関する技術開発</p> <p>102-6 省エネ型白色LED照明器具の普及促進のための低コスト化技術開発</p> <p>102-9 建築物における空調・照明等自動コントロールシステムに関する技術開発</p> <p>102-10 潜熱顕熱分離型新ビル空調システムの実用化技術開発</p> <p>102-11 燃料電池等の低温排熱を利用した省エネ型冷房システムの技術開発</p> <p>102-14 情報通信機器の消費電力自動管理システムに関する技術開発</p> <p>102-17 無電極ランプ250Wの調光及び高天井照明器具に関する技術開発</p>		

図 5.19 「省エネ、カスケード利用技術・システムの開発・導入」関連プロジェクトのマップ(1)

研究開発対象	技術のフロー			
	単体技術	システム技術	実証実験	政策研究
省エネルギー (続き)	環境省 (続き)	<p>102-18 小型純電気自動車における駆動システムのためのリチウムイオン電池の適用に関する技術開発</p> <p>102-20 建物外壁における薄型化ダブルスキンの実用化に関する技術開発</p> <p>102-21 超高層ビルにおける自然換気のためのトータル空調システムに関する技術開発</p> <p>102-22 自然冷媒(CO2)を用いたヒートポンプシステムを利用した衣類乾燥機に関する技術開発</p> <p>102-34 リチウムイオン2次電池を用いた家庭等民生用省エネシステム技術の開発</p> <p>102-39 水面を利用した大規模太陽光発電(PV)システムの実用化を目指した技術開発</p> <p>102-45 中小規模テナントビル向けトータルエネルギーコントロールシステムの製品化技術開発</p> <p>102-48 家庭内における家電機器の消費電力削減のための電力使用量収集と可視化に関する技術開発</p> <p>102-49 既存設備と館内人流データを有効活用した低コスト省エネ管理システムの開発</p>	<p>102-12 鉄道交通システムにおける地球温暖化対策のための2次電池技術に関する研究</p>	<p>134 環境技術イノベーション創出支援事業</p>
	文部科学省	<p>627 国産旅客機等に関する航空科学技術の研究開発</p>		
	国土交通省	<p>444-4 混合気の着火性制御による高圧縮比内燃機関開発に関する基礎的研究</p> <p>444-5 微細組織制御による推進システム用耐壊食・防汚皮膜に関する研究</p> <p>444-7 超軽量車両実現の突破口となる技術の基礎的研究</p>		
カスケード利用 エネルギー	経済産業省	<p>218-29 無触媒石炭乾留ガス改質技術開発</p> <p>207 噴流床石炭ガス化発電(IGCC)プラント実証</p>		
	環境省	<p>102-7 低温排熱を用いた多元的熱供給による省エネ対策技術(PCMによる熱輸送技術)</p> <p>102-8 集合住宅におけるコージェネレーション電熱相互融通による省エネルギー型エネルギーシステムの制御システム開発</p> <p>102-13 集中的温暖化対策を導入した革新的新地域エネルギーシステムの構築に関する技術開発</p> <p>102-1 地域エコエネルギーウェブシステム(自然エネルギーを中心としたエネルギーの相互利用システム)のための制御方法に関する技術開発</p> <p>102-43 高効率熱分解バイオオイル化技術による臨海部都市再生産業地域での脱温暖化イニシアティブ実証事業</p> <p>102-46 潜熱蓄熱による排熱活用システムの製品化および性能向上に関する技術開発</p>		<p>134 環境技術イノベーション創出支援事業</p>
	国土交通省	<p>444-3 港湾内の環境保全を目指した内航船舶用排熱回収システムの開発</p> <p>410 既存の都市施設を活用した省エネルギー型都市構築技術の開発</p>		

図 5.1.10 「省エネ、カスケード利用技術・システムの開発・導入」関連プロジェクトのマップ(2)

循環型(3): 循環資源に関するリサイクル技術やシステムの高度化・実用化

研究開発対象	技術のフロー		
	単体技術の開発	システム技術の開発	実用化
一般廃棄物	農林水産省	501-1 食品廃棄物等の減量化・循環利用技術の開発	
	環境省	103-41 廃棄物系バイオマスからの粉炭燃料の製造可能性と有害物質除去方法の研究  103-10 使用済みニッケル水素2次電池をモデルケースとした環境に優しい資源循環プロセスの構築	103-80 高度処理浄化槽におけるリン除去・回収・資源化技術の開発とシステム評価  103-15 焼却灰の焼成による再資源化と最終処分場ブレミックス埋立技術の開発
	国土交通省	439 草本類の大量炭化技術の開発	
一般廃棄物 + 産業廃棄物	経済産業省	218-88 高効率可視光応答型酸化タングステン光触媒の実用化研究	205 微生物機能を活用した環境調和型製造基盤技術開発
	農林水産省	504-4 バイオエネルギー生産のためのシロアリ共生系高度利用技術の基盤的研究 506-4 酵素処理によるアマノリ無利用資源の有効活用に関する研究  506-20 低コスト栽培・高効率発酵によるライエタノールシステムの確立 515 地域活性化のためのバイオマス利用技術の開発	501-5 多段階利用による地域モデルの構築 505-2 セルロース系バイオマスの複合的変換技術の開発 506-1 木質ペレット燃焼灰の化学物質特性の解明及び利用促進技術の開発 506-5 木質系廃棄物を利用した軽量で安全な屋上・壁面緑化法の開発 506-9 地域の竹資源を活用した環境調節機能を持つ複合建築ボードの開発 506-11 タケ資源の持続的利用のための竹林管理・供給システムの開発 506-12 環境負荷低減型高機能養液栽培システムの開発

図 5.1.11 「循環資源に関するリサイクル技術やシステムの高度化・実用化」関連プロジェクトのマップ(1)

研究開発対象	技術のフロー		
	単体技術の開発	システム技術の開発	実用化
一般廃棄物 + 産業廃棄物 (続き)	環境省	<p>103-31 担子菌を用いた脱リグニン処理法の開発による農産廃棄物の利用法の拡大に関する研究</p> <p>103-43 アスベスト含有廃棄物の分解処理による無害化の確認試験方法の確立とその応用</p> <p>103-63 廃棄物系バイオマスと熱硬化性樹脂の共処理による有用資源の回収と燃料の製造</p> <p>103-65 有機臭素系難燃剤を含有した低級廃プラスチックの熱分解を利用した重金属含有汚泥の資源化プロセスに関する研究</p> <p>103-9 Si-O系燃焼灰の高付加価値・再資源化技術の開発に関する研究</p> <p>103-90 FRPの亜臨界水分解技術の実用化開発</p>	
		<p>102-36 草本質系セルロースからのバイオエタノール高収率化と低コスト製造システムの開発</p> <p>102-52 資源用トウモロコシを利用した大規模バイオエタノール製造拠点形成推進事業</p> <p>103-37 廃棄物を利用した鉄-水素コプロダクションシステムに関する研究</p> <p>103-44 アスベストの判別・無害化回収・無害化処理システムの確立に関する研究</p> <p>103-92 流通式加圧熱水装置を用いた高速メタン発酵処理技術の開発</p> <p>130-6 省エネルギー型水・炭素循環処理システムの開発</p> <p>101-31 水・物質・エネルギーの「環境フラックス」評価による持続可能な都市・産業システムの設計</p> <p>102-38 カーボンフリー-BDFのためのグリーンメタノール製造及び副産物の高度利用に関する技術開発(京都バイオサイクルプロジェクト)</p> <p>102-41 バイオエタノール製造におけるエネルギーコスト削減のための超音波濃縮に関する技術開発</p> <p>103-33 プラスチック含有廃棄物の処理およびリサイクル過程における有害物質の生成特性解析と効率的対策手法の開発</p> <p>103-34 塩素系プラスチック製品の置換型脱塩素によるアップグレードリサイクルと有価金属回収</p> <p>133 エコ燃料実用化地域システム実証事業費</p>	
		<p>102-37 兵庫県南部における統合型・省エネ型酵素法によるバイオ燃料製造に関する技術開発</p> <p>103-7 長期間使用製品の仕様・保守情報の表示及び利用方法に関する研究</p> <p>103-22 減圧加熱/塩化揮発の組み合わせによる固体残渣類の完全無害化と重金属の高効率分離回収・再資源化</p> <p>103-54 不適正な最終処分システムの環境再生のための社会・技術システムの開発</p> <p>103-57 水熱反応による有機性循環資源の高品位液体飼料化</p> <p>103-59 環境調和型溶媒イオン液体を用いた廃家電品からのレアメタル再資源化技術の開発</p> <p>129-3 中核研究プロジェクト「廃棄物系バイオマスのWin-Win型資源循環技術の開発」</p> <p>102-40 輸送用バイオマス由来燃料導入技術開発及び実証事業</p> <p>103-8 金属スクラップ素材の高度循環利用のための新しい高速定量分析法の開発</p>	
	文部科学省	<p>612-10 バイオウェイストのリファイナリー型資源化</p> <p>612-18 アジアの持続可能バイオマス利用技術開発</p> <p>613-11 水を反応場に用いる有機資源循環科学・工学</p> <p>613-15 循環型社会への戦略的廃棄物マネジメント</p> <p>622 一般・産業廃棄物・バイオマスの複合処理・再資源化プロジェクト</p>	
	国土交通省	<p>443 国土管理由来バイオマスのインベントリーの開発</p> <p>409-10 バイオマス燃料対応自動車開発促進事業【科振費】</p>	

図 5.1.12 「循環資源に関するリサイクル技術やシステムの高度化・実用化」関連プロジェクトのマップ(2)

研究開発対象	技術のフロー		
	単体技術の開発	システム技術の開発	実用化
産業廃棄物	経済産業省	218-85 垂臨界流体による炭素繊維強化プラスチックのリサイクル技術の開発	
	農林水産省	501-2 家畜排せつ物等の臭気低減・循環利用技術の開発 501-3 作物資源由来の工業原材料生産技術の開発 506-7 樹皮及び高含水率木質チップの木材乾燥等への燃料利用技術の開発 506-13 畜産排水処理における余剰汚泥減量化と悪臭抑制技術の開発 506-14 メタン発酵消化液によるユーグレナの効率培養と飼料化技術の開発 516 水産業振興型技術開発事業	505-3 リン資源の再利用技術とリサイクルシステムの開発 506-2 メタン消化液の液肥化による有機資源の循環利用技術の開発 506-6 動物性水産未利用資源を用いた速効性有機肥料の開発 506-18 酪農地帯の環境・観光と共存可能な低コスト液状ふん尿施用技術
	環境省	103-12 製紙スラッジ産業廃棄物からハイドロキシアパタイト複合体の創製に関する研究 103-42 アスベスト廃棄物と廃棄物焼却灰の高効率・高信頼性溶融無害化および資源化 103-73 アスベスト含有廃材の低温分解による無害化と処理物の再利用に関する研究 103-75 コンクリート内パルスパワー放電による骨材再生 103-89 バイオディーゼル燃料副産物から生分解性プラスチック原料製造装置の開発 103-26 廃肉骨粉焼却灰のリサイクル技術開発 103-67 木材系微粉末からの並行複発酵技術による連続バイオエタノール生産技術の開発 103-80 高度処理浄化槽におけるリン除去・回収・資源化技術の開発とシステム評価	103-11 マイクロ波照射を用いたフライアッシュゼオライトの工業化プロセスの開発 103-25 廃石膏ボードの安全・安心リサイクル推進を可能とする石膏中フッ素の簡易分析・除去技術の開発 103-55 他産業も含めたマテリアルフローを考慮した建設系廃棄物の再資源化評価システムの構築に関する研究 103-64 破砕選別による建設系廃棄物の地域循環システムの設計に関する研究 104-37 生態工学技法としての沈水植物再生による湖沼の水環境回復と派生バイオマスリサイクル統合システム開発 103-66 安全・安価なハイブリッド式バイオマス活用技術による農作物非食部のエネルギー・再資源化と産地での完全消費・循環システムの基盤構築に関する研究 103-84 バイオマスの高機能化とめっき廃液の最適な資源循環システムの構築
文部科学省	612-7 リサイクルゴム活用による舗装の高耐久化		
国土交通省		437 下水汚泥等から得られる有用無機物を焼却灰として長期保存する技術の開発 438 エネルギー自立型下水汚泥等焼却システムの開発 440 嫌気性発酵時における下水汚泥の分解率向上技術の開発	

図 5.1.13 「循環資源に関するリサイクル技術やシステムの高度化・実用化」関連プロジェクトのマップ(3)

循環型(12): 地域における最適な資源循環システムの開発・評価

研究開発対象		技術のフロー						
		技術開発	実証実験	影響評価	政策研究			
廃棄物・未利用資源	木質	農林水産省	501-4 地域循環利用システム化技術の開発	501-6 地域モデルの実証	501-5 多段階利用による地域モデルの構築			
		環境省	103-45 産業拠点地区での地域循環ビジネスを中核とする都市再生施策の設計とその環境・経済評価システムの構築	103-64 破砕選別による建設系廃棄物の地域循環システムの設計に関する研究	103-68 バイオマス活用に関する地域環境の診断手法及び環境効率評価手法の研究	103-31 水・物質・エネルギーの「環境フラックス」評価による持続可能な都市・産業システムの設計	103-68 バイオマス活用に関する地域環境の診断手法及び環境効率評価手法の研究 103-74 海岸流木のリサイクルに向けたシステム提案(漂着ごみ問題解決に関する研究) 103-85 京都地域におけるごみ有料化施策による資源循環変化の3R行動モデル解析 103-88 分別収集・中継輸送に関する費用対効果・費用便益の分析	
	文部科学省	612-14 バイオマス活用システムの設計・評価手法	612-12 地域完結型地燃料システムの構築と運営 612-18 アジアの持続可能バイオマス利用技術開発	612-14 バイオマス活用システムの設計・評価手法		103-45 産業拠点地区での地域循環ビジネスを中核とする都市再生施策の設計とその環境・経済評価システムの構築		
	食品	農林水産省	506-20 低コスト栽培・高効率発酵によるライスエタノールシステムの確立	501-4 地域循環利用システム化技術の開発 501-6 地域モデルの実証	501-5 多段階利用による地域モデルの構築			
	環境省		103-45 産業拠点地区での地域循環ビジネスを中核とする都市再生施策の設計とその環境・経済評価システムの構築	103-68 バイオマス活用に関する地域環境の診断手法及び環境効率評価手法の研究	102-37 兵庫県南部における統合型・省エネ型酵素法によるバイオ燃料製造に関する技術開発 129-3 中核研究プロジェクト「廃棄物系バイオマスのWin-Win型資源循環技術の開発」	101-31 水・物質・エネルギーの「環境フラックス」評価による持続可能な都市・産業システムの設計	103-68 バイオマス活用に関する地域環境の診断手法及び環境効率評価手法の研究 103-85 京都地域におけるごみ有料化施策による資源循環変化の3R行動モデル解析 103-88 分別収集・中継輸送に関する費用対効果・費用便益の分析	103-45 産業拠点地区での地域循環ビジネスを中核とする都市再生施策の設計とその環境・経済評価システムの構築
		文部省	612-14 バイオマス活用システムの設計・評価手法	612-12 地域完結型地燃料システムの構築と運営 612-18 アジアの持続可能バイオマス利用技術開発	612-14 バイオマス活用システムの設計・評価手法			

図 5.1.14 「地域における最適な資源循環システムの開発・評価」関連プロジェクトのマップ(1)

研究開発対象	技術のフロー					
	技術開発	実証実験	影響評価	政策研究		
廃棄物・未利用資源 (続き)	農業系 廃棄物	農林水産省	506-20 低コスト栽培・高効率発酵によるラ イスエタノールシステムの確立  501-4 地域循環利用システム化技術の開発  506-18 酪農地帯の環境・観光と共存可能な低 コスト液状ふん尿施用技術  501-6 地域モデルの実証		501-5 多段階利用による地域モデルの構築	
		環境省	103-45 産業拠点地区での地域循環ビジネ スを中核とする都市再生施策の設計とその 環境・経済評価システムの構築  103-68 バイオマス活用に関する地域環境 の診断手法及び環境効率評価手法の研究  103-66 安全・安価なハイブリッド式バイオマス活用 技術による農作物非食部のエネルギー・再資源化と 産地での完全消費・循環システムの基盤構築に関 する研究  101-31 水・物質・エネルギーの「環境フラックス」評価による持続可能な都市・産業システムの設計		103-68 バイオマス活用に関する地域環境 の診断手法及び環境効率評価手法の研究	103-45 産業拠点地区での地域循環ビジネ スを中核とする都市再生施策の設計とその 環境・経済評価システムの構築
	文部科学省	612-14 バイオマス活用システムの設計・ 評価手法  612-18 アジアの持続可能バイオマス利用技術開発		612-14 バイオマス活用システムの設計・ 評価手法		
	国土交通省	437 下水汚泥等から得られる有用無機物を 焼却灰として長期保存する技術の開発  438 エネルギー自立型下水汚泥等焼却シ ステムの開発  440 嫌気性発酵時における下水汚泥の分解 率向上技術の開発				
	その他 <sup>*1</sup>	農林水産省	501-4 地域循環利用システム化技術の開発  506-18 酪農地帯の環境・観光と共存可能な低 コスト液状ふん尿施用技術  501-6 地域モデルの実証		501-5 多段階利用による地域モデルの構築	
		環境省	103-45 産業拠点地区での地域循環ビジネ スを中核とする都市再生施策の設計とその 環境・経済評価システムの構築  103-68 バイオマス活用に関する地域環境 の診断手法及び環境効率評価手法の研究  101-31 水・物質・エネルギーの「環境フラックス」評価による持続可能な都市・産業システムの設計		103-68 バイオマス活用に関する地域環境 の診断手法及び環境効率評価手法の研究	103-45 産業拠点地区での地域循環ビジネ スを中核とする都市再生施策の設計とその 環境・経済評価システムの構築

\*1: 雪・氷・流木・災害廃棄物を含む

図 5.1.15 「地域における最適な資源循環システムの開発・評価」関連プロジェクトのマップ(2)

表 5.1.3 マップに挙げられている関連プロジェクト

所管省	No	施策課題	脱温暖化社会の構築			循環型社会の構築		
			(5)再生可能エネルギー導入技術の開発・再生可能エネルギーの導入のための技術開発、制度研究	(7)CDM・技術移転を通じたアジアの低CO <sub>2</sub> 排出化の実施方策の研究	(9)省エネ、カスケード利用技術・システムの開発・導入	(3)循環資源に関するリサイクル技術やシステムの高度化・実用化	(12)地域における最適な資源循環システムの開発・評価	
経済産業省	201	環境負荷低減型燃料転換技術開発費補助金			○			
	205	微生物機能を活用した環境調和型製造基盤技術開発				○		
	207	噴流床石炭ガス化発電(IGCC)プラント実証			○			
	209	メタンハイドレート開発促進事業	○					
	216	省資源低環境負荷型太陽光発電システムの開発	○					
	218	産業技術研究助成事業	○	○	○	○		
	218-11	産業等用太陽光発電フィールドテスト事業	○					
	218-12	先進型廃棄物発電フィールドテスト事業	○					
	218-29	無触媒石炭乾留ガス改質技術開発			○			
	218-30	ハイパーコル利用高効率燃焼技術の開発			○			
	218-33	無曝気・省エネルギー型次世代水資源循環技術の開発			○			
	218-34	太陽光発電新技術等フィールドテスト事業	○					
	218-35	太陽光発電システム実用化加速技術開発	○					
	218-36	太陽光発電システム未来技術研究開発	○					
	218-37	太陽光発電システム共通基盤技術研究開発	○					
	218-39	太陽エネルギー新利用システム技術研究開発事業	○					
	218-40	太陽熱高度利用システムフィールドテスト事業	○					
	218-41	バイオマスエネルギー高効率転換技術開発	○					
	218-42	バイオマス等未活用エネルギー実証試験事業	○					
	218-43	地域バイオマス熱利用フィールドテスト事業	○					
	218-44	バイオマスエネルギー地域システム化実験事業	○					
	218-49	集中連系型太陽光発電システム実証研究	○					
	218-50	大規模電力供給用太陽光発電システム安定化等実証研究	○					
	218-51	風力発電電力システム安定化等技術開発	○					
	218-54	エネルギー使用合理化技術戦略的開発事業			○			
	218-55	革新的次世代低公害車総合技術開発			○			
	218-56	超高効率天然ガスエンジン・コンバインドシステム技術開発			○			
	218-58	エネルギー使用合理化事業者支援事業			○			
	218-59	省エネルギー対策導入指導事業・省エネルギー対策導入調査事業			○			
	218-60	民生部門等地球温暖化対策実証モデル評価事業			○			
	218-61	地域新エネルギー・省エネルギービジョン策定等事業			○			
	218-63	新エネルギー・省エネルギー非営利活動促進事業			○			
	218-68	中小水力発電開発事業	○					
	218-69	地熱発電開発事業	○					
	218-72	地熱開発促進調査	○					
	218-73	国際エネルギー使用合理化等対策事業			○			
	218-74	太陽光発電システム等国際共同実証開発	○					
	218-75	太陽光発電システム等高度化系統連系安定化技術国際共同実証開発事業	○					
	218-78	京都メカニズム関連事業		○				
	218-79	地球環境国際連携推進事業		○				
	218-81	環境適応型高性能小型航空機プロジェクト			○			
	218-82	環境適応型小型航空機用エンジン研究開発			○			
	218-85	亜臨界流体による炭素繊維強化プラスチックのリサイクル技術の開発				○		
	218-88	高効率可視光応答型酸化タングステン光触媒の実用化研究				○		
	225	イノベーション実用化助成事業	○					
	225-2	鋳造コークス代替となる高硬度固形バイオ燃料の量産機開発と実証	○					
	農林水産省	501	農林水産バイオリサイクル研究				○	○
		501-1	食品廃棄物等の減量化・循環利用技術の開発				○	
		501-2	家畜排せつ物等の臭気低減・循環利用技術の開発				○	
		501-3	作物資源由来の工業原材料生産技術の開発				○	
501-4		地域循環利用システム化技術の開発					○	
501-5		多段階利用による地域モデルの構築				○	○	
501-6		地域モデルの実証					○	
503		地球温暖化が農林水産業に及ぼす影響の評価と高度対策技術の開発	○					
503-7		農林水産バイオマスエネルギー生産技術の開発	○					
504		新技術・新分野創出のための基礎研究推進事業	○					
504-4		バイオエネルギー生産のためのシロアリ共生系高度利用技術の基盤的研究	○			○		
504-5		油糧酵母による国産バイオディーゼルの効率的生産技術の開発	○					
505		生物系産業創出のための異分野融合研究支援事業				○		
505-2		セルロース系バイオマスの複合的変換技術の開発				○		
505-3		リン資源の再利用技術とリサイクルシステムの開発				○		
506		先端技術を活用した農林水産研究高度化事業	○			○	○	
506-1		木質ペレット燃焼灰の化学物質特性の解明及び利用促進技術の開発				○		
506-2		メタン消化液の液肥化による有機資源の循環利用技術の開発				○		
506-4		酵素処理によるアマノリ無利用資源の有効活用に関する研究				○		
506-5		木質系廃棄物を利用した軽量で安全な屋上・壁面緑化法の開発				○		

所管省	No	施策課題	脱温暖化社会の構築			循環型社会の構築	
			(5)再生可能エネルギー導入技術の開発・再生可能エネルギーの導入のための技術開発、制度研究	(7)CDM・技術移転を通じたアジアの低CO <sub>2</sub> 排出化の実施方策の研究	(9)省エネ、カスケード利用技術・システムの開発・導入	(3)循環資源に関するリサイクル技術やシステムの高度化・実用化	(12)地域における最適な資源循環システムの開発・評価
環境省	506-6	動物性水産未利用資源を用いた速効性有機肥料の開発				○	
	506-7	樹皮及び高含水率木質チップの木材乾燥等への燃料利用技術の開発				○	
	506-9	地域の竹資源を活用した環境調節機能を持つ複合建築ボードの開発				○	
	506-11	タケ資源の持続的利用のための竹林管理・供給システムの開発				○	
	506-12	環境負荷低減型高機能養液栽培システムの開発				○	
	506-13	畜産排水処理における余剰汚泥減量化と悪臭抑制技術の開発				○	
	506-14	メタン発酵消化液によるユーグレナの効率培養と飼料化技術の開発				○	
	506-18	酪農地帯の環境・観光と共存可能な低コスト液状ふん尿施用技術				○	○
	506-20	低コスト栽培・高効率発酵によるライソエタノールシステムの確立	○			○	○
	515	地域活性化のためのバイオマス利用技術の開発	○			○	
	516	水産業振興型技術開発事業	○		○	○	
環境省	101	地球環境研究総合推進費	○	○		○	○
	101-3	京都議定書吸収源としての森林機能評価に関する研究		○			
	101-15	アジア太平洋統合評価モデルによる地球温暖化の緩和・適応政策の評価に関する研究		○			
	101-31	水・物質・エネルギーの「環境フลักス」評価による持続可能な都市・産業システムの設計				○	○
	101-40	アジアにおけるバイオ燃料の持続的需給システムの構築に関する研究	○				
	102	地球温暖化対策技術開発事業	○		○	○	○
	102-1	地域エコエネルギーウェブシステム(自然エネルギーを中心としたエネルギーの相互利用システム)のための制御方法に関する技術開発	○		○		
	102-2	草本・木質系バイオマスからのエタノール、水素及びメタン生産におけるエネルギー収得率向上のための実用的バイオプロセスの開発	○				
	102-3	下水汚泥処理場における汚泥を活用した高効率エネルギー供給システムの開発・実証	○				
	102-4	バイオエタノール混合ガソリン導入技術開発及び実証事業	○				
	102-5	HEV における燃費改善のためのラミネート型マンガン系リチウムイオン組電池に関する技術開発			○		
	102-6	省エネ型白色 LED 照明器具の普及促進のための低コスト化技術開発			○		
	102-7	低温排熱を用いた多元的熱供給による省エネ対策技術(PCMによる熱輸送技術)			○		
	102-8	集合住宅におけるコージェネレーション電熱相互融通による省エネルギー型エネルギーシステムの制御システム開発			○		
	102-9	建築物における空調・照明等自動コントロールシステムに関する技術開発			○		
	102-10	潜熱顕熱分離型新ビル空調システムの実用化技術開発			○		
	102-11	燃料電池等の低温排熱を利用した省エネ型冷房システムの技術開発			○		
	102-12	鉄道交通システムにおける地球温暖化対策のための2次電池技術に関する研究			○		
	102-13	集中的温暖化対策を導入した革新的新地域エネルギーシステムの構築に関する技術開発			○		
	102-14	情報通信機器の消費電力自動管理システムに関する技術開発			○		
	102-15	地中熱利用給湯・冷暖房システムに関する技術開発			○		
	102-16	通年&寒冷地でも使用可能な画期的高効率ソーラーヒートパネルを用いた給湯システムの開発	○				
	102-17	無電極ランプ 250W の調光及び高天井照明器具に関する技術開発			○		
	102-18	小型純電気自動車における駆動システムのためのリチウムイオン電池の適用に関する技術開発			○		
	102-19	冷房負荷主体の温暖地域にも普及拡大し得る大温度差少量搬送方式高効率地中熱利用ビル用マルチヒートポンプシステムとその設計・運用方法の技術開発			○		
102-20	建物外壁における薄型化ダブルスキンの実用化に関する技術開発			○			
102-21	超高層ビルにおける自然換気のためのトータル空調システムに関する技術開発			○			
102-22	自然冷媒(CO <sub>2</sub> )を用いたヒートポンプシステムを利用した衣類乾燥機に関する技術開発			○			
102-23	酵素法によるバイオマスエタノール製造プロセス実用化のための技術開発	○					
102-24	沖縄産糖蜜からの燃料用エタノール生産プロセス開発及び E3 等実証試験	○					
102-25	沖縄地区における燃料製造のためのサトウキビからのバイオマスエタノール製造技術に関する技術開発	○					

所管省	No	施策課題	脱温暖化社会の構築			循環型社会の構築	
			(5)再生可能エネルギー導入技術の開発・再生可能エネルギーの導入のための技術開発、制度研究	(7)CDM・技術移転を通じたアジアの低CO <sub>2</sub> 排出化の実施方策の研究	(9)省エネ、カスケード利用技術・システムの開発・導入	(3)循環資源に関するリサイクル技術やシステムの高度化・実用化	(12)地域における最適な資源循環システムの開発・評価
	102-26	都市型バイオマスエネルギー導入技術に係る学園都市東広島モデルの技術開発・実証事業	○				
	102-27	超臨界水による都市系有機性廃棄物オンサイトエネルギー変換システムの実用化	○				
	102-28	ゼロCO <sub>2</sub> 社会に向けた木質バイオマス活用技術開発と再生可能エネルギー融合システムの屋久島モデル構築	○				
	102-29	パイロコーキング技術による木質系バイオコークの製造技術とSOFC発電適用システムの開発	○				
	102-30	バイオマス粉炭ネットワークのための家庭用・業務用粉炭燃焼機器の開発	○				
	102-31	有機性廃棄物の水熱処理による石油代替エネルギーの開発	○				
	102-32	微細藻類を利用したエネルギー再生技術開発	○				
	102-34	リチウムイオン2次電池を用いた家庭等民生用省エネシステム技術の開発			○		
	102-35	家庭におけるPC等消費電力削減のための実用化に関する技術開発			○		
	102-36	草木質系セルロースからのバイオエタノール高収率化と低コスト製造システムの開発	○			○	
	102-37	兵庫県南部における統合型・省エネ型酵素法によるバイオ燃料製造に関する技術開発	○			○	○
	102-38	カーボンフリーBDFのためのグリーンメタノール製造及び副産物の高度利用に関する技術開発(京都バイオサイクルプロジェクト)	○			○	
	102-39	水面を利用した大規模太陽光発電(PV)システムの実用化を目指した技術開発	○		○		
	102-40	輸送用バイオマス由来燃料導入技術開発及び実証事業	○			○	
	102-41	バイオエタノール製造におけるエネルギーコスト削減のための超音波濃縮に関する技術開発	○		○	○	
	102-43	高効率熱分解バイオオイル化技術による臨海部都市再生産業界での脱温暖化イニシアティブ実証事業	○		○		
	102-45	中小規模テナントビル向けトータルエネルギーコントロールシステムの製品化技術開発			○		
	102-46	潜熱蓄熱による排熱活用システムの製品化および性能向上に関する技術開発	○		○	○	
	102-47	冷蔵倉庫並びに食品工場用の省エネ型自然冷媒式冷凍装置の製品化技術開発			○		
	102-48	家庭内における家電機器の消費電力削減のための電力使用量収集と可視化に関する技術開発			○		
	102-49	既存設備と館内人流データを有効活用した低コスト省エネ管理システムの開発			○		
	102-50	空気冷媒を用いた省エネ型ノンデフロストフリーザーに関する技術開発	○		○		
	102-51	食品廃棄物のバイオ水素化・バイオガス化に関する技術開発	○				
	102-52	資源用トウモロコシを利用した大規模バイオエタノール製造拠点形成推進事業	○			○	
	102-53	金属シリコンを出発材料とする高効率球状シリコン太陽電池の連続製造技術開発	○		○		
	102-54	木質系バイオマスエネルギーの複数エリアへの最適供給・配分システムの研究開発	○				
	102-55	家庭用ソーラーシステムの普及拡大に関する技術開発			○		
	102-56	製造時及び使用時のCO <sub>2</sub> 排出が大幅に小さい「スーパーエコPC」の製品化に関する技術開発			○		
	102-57	寒冷地を含む病院における、省エネ冷暖房設備用の地下水・地中熱ハイブリッドヒートポンプに関する技術開発	○		○		
	103	廃棄物処理等科学研究費補助金	○			○	○
	103-1	バイオマスの循環型システム活用(CO <sub>2</sub> のリサイクル化)における超音波による無水エタノールの精製およびバイオディーゼル燃料の製造に関する研究	○				
	103-2	水素生成プロセスの導入による地域未利用バイオマスの適正循環システムの構築に関する研究	○				
	103-3	消化ガス再生利用を可能にする新規燃料電池電極材料の開発	○				
	103-4	廃食用油のバイオディーゼルへのリサイクル技術高度化	○				
	103-7	長期間使用製品の仕様・保守情報の表示及び利用方法に関する研究				○	
	103-8	金属スクラップ素材の高度循環利用のための新しい高速定量分析法の開発				○	
	103-9	Si-O系燃焼灰の高付加価値・再資源化技術の開発に関する研究				○	
	103-10	使用済みニッケル水素2次電池をモデルケースとした環境に優しい資源循環プロセスの構築				○	
	103-11	マイクロ波照射を用いたフライアッシュゼオライトの工業化プロセスの開発				○	
	103-12	製紙スラッジ産業廃棄物からハイドロキシアパタイト複合体の創製に関する研究				○	
	103-15	焼却灰の焼成による再資源化と最終処分場プレミックス埋立技術の開発				○	

所管省	No	施策課題	脱温暖化社会の構築			循環型社会の構築	
			(5)再生可能エネルギー導入技術の開発・再生可能エネルギーの導入のための技術開発、制度研究	(7)CDM・技術移転を通じたアジアの低CO <sub>2</sub> 排出化の実施方策の研究	(9)省エネ、カスケード利用技術・システムの開発・導入	(3)循環資源に関するリサイクル技術やシステムの高度化・実用化	(12)地域における最適な資源循環システムの開発・評価
	103-22	減圧加熱/塩化揮発の組み合わせによる固体残渣類の完全無害化と重金属の高効率分離回収・再資源化				○	
	103-25	廃石膏ボードの安全・安心リサイクル推進を可能とする石膏中フッ素の簡易分析・除去技術の開発				○	
	103-26	廃肉骨粉焼却灰のリサイクル技術開発				○	
	103-31	担子菌を用いた脱リグニン処理法による農産廃棄物の利用法の拡大に関する研究	○			○	
	103-33	プラスチック含有廃棄物の処理およびリサイクル過程における有害物質の生成特性解析と効率的対策手法の開発				○	
	103-34	塩素系プラスチック製品の置換型脱塩素によるアップグレードリサイクルと有価金属回収				○	
	103-37	廃棄物を利用した鉄-水素コプロダクションシステムに関する研究	○			○	
	103-41	廃棄物系バイオマスからの粉炭燃料の製造可能性と有害物質除去方法の研究				○	
	103-42	アスベスト廃棄物と廃棄物焼却灰の高効率・高信頼性熔融無害化および資源化				○	
	103-43	アスベスト含有廃棄物の分解処理による無害化の確認試験方法の確立とその応用				○	
	103-44	アスベストの判別・無害化回収・無害化処理システムの確立に関する研究				○	
	103-45	産業拠点地区での地域循環ビジネスを中核とする都市再生施策の設計とその環境・経済評価システムの構築					○
	103-54	不適切な最終処分システムの環境再生のための社会・技術システムの開発				○	
	103-55	他産業も含めたマテリアルフローを考慮した建設系廃棄物の再資源化評価システムの構築に関する研究				○	
	103-57	水熱反応による有機性循環資源の高品位液体飼料化				○	
	103-59	環境調和型溶媒イオン液体を用いた廃家電品からのレアメタル再資源化技術の開発				○	
	103-63	廃棄物系バイオマスと熱硬化性樹脂の共処理による有用資源の回収と燃料の製造				○	
	103-64	破碎選別による建設系廃棄物の地域循環システムの設計に関する研究				○	○
	103-65	有機臭素系難燃剤を含有した低級廃プラスチックの熱分解を利用した重金属含有汚泥の資源化プロセスに関する研究				○	
	103-66	安全・安価なハイブリッド式バイオマス利活用技術による農作物非食部のエネルギー・再資源化と産地での完全消費・循環システムの基盤構築に関する研究	○			○	○
	103-67	木材系微粉末からの並行複発酵技術による連続バイオエタノール生産技術の開発	○			○	
	103-68	バイオマス利活用に関する地域環境の診断手法及び環境効率評価手法の研究					○
	103-73	アスベスト含有廃材の低温分解による無害化と処理物の再利用に関する研究				○	
	103-74	海岸流木のリサイクルに向けたシステム提案(漂着ごみ問題解決に関する研究)					○
	103-75	コンクリート内パルスパワー放電による骨材再生				○	
	103-78	バイオガス化プラント排水中の高濃度アンモニアのMAP-ANAMMOXハイブリッド処理技術の開発	○				
	103-80	高度処理浄化槽におけるリン除去・回収・資源化技術の開発とシステム評価				○	
	103-84	バイオマスの高機能化とめっき廃液の最適な資源循環システムの構築				○	
	103-85	京都地域におけるごみ有料化施策による資源循環変化の3R行動モデル解析					○
	103-88	分別収集・中継輸送に関する費用対効果・費用便益の分析					○
	103-89	バイオディーゼル燃料副産物から生分解性プラスチック原料製造装置の開発				○	
	103-90	FRPの垂臨界水分解技術の実用化開発				○	
	103-92	流通式加圧熱水装置を用いた高速メタン発酵処理技術の開発				○	
	104	環境技術開発等推進費				○	
	104-37	生態工学技法としての沈水植物再生による湖沼の水環境回復と派生バイオマスリサイクル統合システム開発				○	
	111	経済移行国における天然ガス輸送の高効率化支援事業		○			
	114	「アジア太平洋地域における戦略的データベースを用いた応用シナリオ開発」(アジア太平洋地域環境イノベーション戦略推進費の一部)		○			
	129	国立環境研究所運営交付金、その他の経費による事業	○			○	○
	129-3	中核研究プロジェクト「廃棄物系バイオマスの Win-Win 型資源循環技術の開発」	○			○	○
	130	アジア自然共生研究プログラム	○		○	○	
	130-6	省エネルギー型水・炭素循環処理システムの開発	○		○	○	
	133	エコ燃料実用化地域システム実証事業費	○			○	
	134	環境技術イノベーション創出支援事業	○		○		
省科学部	612	科学技術振興調整費	○	○		○	○
	612-7	リサイクルゴム活用による舗装の高耐久化				○	
	612-10	バイオウエイストのリファイナリー型資源化				○	

所管省	No	施策課題	脱温暖化社会の構築			循環型社会の構築	
			(5)再生可能エネルギー導入技術の開発・再生可能エネルギーの導入のための技術開発、制度研究	(7)CDM・技術移転を通じたアジアの低CO <sub>2</sub> 排出化の実施方策の研究	(9)省エネ、カスケード利用技術・システムの開発・導入	(3)循環資源に関するリサイクル技術やシステムの高度化・実用化	(12)地域における最適な資源循環システムの開発・評価
国土交通省	612-12	地域完結型地燃料システムの構築と運営					○
	612-14	バイオマス利活用システムの設計・評価手法					○
	612-18	アジアの持続可能バイオマス利用技術開発	○	○		○	○
	612-19	バイオマス持続利用への環境管理技術開発	○	○			
	613	21世紀COEプログラム				○	
	613-11	水を反応場に用いる有機資源循環科学・工学				○	
	613-15	循環型社会への戦略的廃棄物マネジメント				○	
	622	一般・産業廃棄物・バイオマスの複合処理・再資源化プロジェクト				○	
	627	国産旅客機等に関する航空科学技術の研究開発			○		
国土交通省	409	その他、独立行政法人運営交付金、その他の経費による事業	○				
	409-10	バイオマス燃料対応自動車開発促進事業【科振費】	○			○	
	410	既存の都市施設を活用した省エネルギー型都市構築技術の開発			○		
	437	下水汚泥等から得られる有用無機物を焼却灰として長期保存する技術の開発				○	○
	438	エネルギー自立型下水汚泥等焼却システムの開発	○			○	○
	439	草本類の大量炭化技術の開発	○			○	
	440	嫌気性発酵時における下水汚泥の分解率向上技術の開発	○			○	○
	441	低コスト型の消化ガスエンジンの開発	○				
	442	下水汚泥の炭化燃料化システムの開発	○				
	443	国土管理由来バイオマスのインベントリーの開発	○			○	
	444	運輸分野における基礎的研究推進制度	○		○		
	444-3	港湾内の環境保全を目指した内航船舶用排熱回収システムの開発	○		○		
	444-4	混合気の着火性制御による高圧縮比内燃機関開発に関する基礎的研究			○		
	444-5	微細組織制御による推進システム用耐壊食・防汚皮膜に関する研究			○		
444-7	超軽量車両実現の突破口となる技術の基礎的研究			○			
総務省	701	新技術・新素材の活用等に対応した安全対策の確保に要する経費	○				

## 5.2 バイオマス関連研究テーマの概要

内閣府では、地域科学技術クラスターをはじめとする地域科学技術施策を効率的かつそれぞれの地域ニーズに応じて実施するためには、地域科学技術を実施する地域の中堅・中小企業等を中心とした連携が不可欠との認識の下、地域の企業等関係者等に国や地方公共団体が実施する地域科学技術振興施策に係る情報を提供することを目的に「地域科学技術ポータルサイト」<sup>178</sup>を開設している。

同ポータルサイトではデータベースが提供されており、以下についての情報取得が可能となっている。

### ①研究支援策データベース

省庁・地方自治体とその関連機関、民間団体（企業・財団）等によって実施されている助成・補助、融資・貸付、人材育成、環境整備、人材派遣・技術支援などの「地域を対象とする研究・開発支援策情報」を収録<sup>179</sup>。

### ②研究テーマデータベース

上記の支援策のうち、特に地域科学振興に貢献・寄与している施策について、採択テーマ・実施プロジェクトの概要情報を収録。

### ③研究支援施設データベース

国・都道府県等の公的試験研究機関、大学地域共同研究センター、TLO（技術移転機関）、地域の中核的支援機関、研究開発支援機能を持つインキュベーション施設などの「研究支援施設」を収録。

ここでは、②研究テーマデータベースを活用し、バイオマスに関係する研究テーマの抽出を行った。その結果得られた研究テーマの名称や研究機関、概要等を表 5.2.1 に整理して示す。また、それらの研究テーマを支援対象としている研究支援事業の概要を表 5.2.2 に示す。

<sup>178</sup> <http://www.chiiki.go.jp/index.php>

<sup>179</sup> 特定の地域に限定していない施策（全国対象の施策）であっても、その実施により地域科学技術に貢献・寄与が期待できる施策についても適宜含まれる。

表 5.2.1 バイオマス関連研究テーマの概要

No	研究テーマ名	研究機関	採択年度	研究概要	事業名
1	画期的米油原料用稲の育種・利用に向けた基盤的技術シーズの開発	(独)理化学研究所 基幹研究所	平成 21 年度	本研究は、これまで着目されてこなかった米油に着目し、画期的油料用品種の育成を目的に、わが国が誇るイネゲノム情報をもとに豊富なバイオリソース及び最新の OMICS 解析技術を駆使して、米油増産に関わる育種素材開発と米の全てを利用する技術開発を産官学連携で行い、戦略的ゲノム育種の基盤形成と品種特性を生かす実用的な応用技術の集積を目指す。	イノベーション創出基盤的研究推進事業（技術シーズ開発型研究 一般枠）
2	耕作放棄地を活用したナタネ生産及びカスケード利用技術の開発	<中核機関>(独)農業・食品産業技術総合研究機構（中央農業総合研究センター） <共同機関>岩手県農業研究センター、福島県農業総合センター、茨城県農業総合センター	平成 21 年度	地域性に適したナタネとして優良成分組成の新品種・系統を開発する。寒冷地・温暖地の耕作放棄地における安定播種と栽培管理技術、ナタネ種子の品質程度に応じた乾燥調製・搾油の技術開発を行う。カスケード利用として低品質油のバイオ燃料化、ナタネ油粕の有機肥料利用技術を開発する。ナタネを継続生産するためのコスト・エネルギー評価、農業活性化方策の解明を行い、新たな地域的新産業創出モデルを作成する。	新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業（研究領域設定型研究）
3	従来使用出来なかった油脂原料や利用条件での B D F の利用を目指した流動点降下剤等の研究開発	山形大学	平成 21 年度	バイオディーゼル燃料は、原料油脂の種類や利用環境の違いにより燃料の流動性に問題を生ずることがあるため、利用しうる原料や利用法に制限がある。本研究開発では、飽和系を含む各種油脂から製造されるバイオディーゼル燃料に対して広く流動点降下作用を有する添加剤を開発し、その効果を高度なものとする添加剤の利用法や燃料の精製における工夫について検討することで、バイオディーゼル燃料の利用拡大に寄与するものである。	(記載なし)
4	寒冷地特性を活用し国産アスパラガスの周年供給を実現する高収益生産システムの確立	<管理運営機関>(独)農業・食品産業技術総合研究機構（東北農業研究センター） <共同機関>岩手県農業研究センター、宮城県農業・園芸総合研究所、秋田県農林水産技術センター、山形県農業総合研究センター、福島県農業総合センター、北海道大学、弘前大学	平成 21 年度	アスパラガスの伏せ込み促成栽培において、(1) 収穫期の前進を妨げている休眠現象を解析し、現状では不可能な 11 月からの生産を可能とする早期休眠打破技術を開発する。(2) 収益性の向上を図るため、収量性が高い株を早期に養成する技術を開発する。(3) 寒冷地に適応した高品質・低コスト伏せ込み体系技術を開発する。(4) 廃棄される根を有効活用した、レタス等の連作障害回避技術やバイオマス利用技術を開発する。	新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業（研究領域設定型研究）
5	ポリ乳酸系耐熱容器の製造技術開発	<調整役機関>長野県工業技術総合センター <実施企業>(株)平和化学工業所 <参画機関>長野県工業技術総合センター	平成 21 年度	(記載なし)	地域イノベーション創出総合支援事業（地域ニーズ即応型）
6	広域流通に用いるバイオマスプラスチック包装資材の開発	<調整役機関>北海道立工業試験場 <実施企業>北一化学(株) <参画機関>北海道立工業試験場、北海道大学	平成 21 年度	(記載なし)	地域イノベーション創出総合支援事業（地域ニーズ即応型）
7	バイオマス生産基盤としての植物 CO <sub>2</sub> 応答機構の解明	九州大学大学院	平成 20 年度	大気中の CO <sub>2</sub> 濃度は増加の一途をたどっており、食糧自給や森林保全の観点から、農林産業におよぼすその潜在的影響が強く懸念されている。CO <sub>2</sub> 濃度の上昇は、地球規模の温暖化や局所的な気候変動を促すだけでなく、農林産業の基盤となる植物の成長・生理に多面的な変調をもたらす可能性がある。一般に、炭素栄養の根源である CO <sub>2</sub> の増加は、高施肥条件（高度集約農業など）におけるバイオマス生産にプラスに寄与するものと考えられている。一方、自然植生においては、土壌栄養や水分供給量に依存して、植物の健全な成長を妨げる要因となる可能性も指摘されている。したがって、植物が環境の CO <sub>2</sub> を感知し、代謝や遺伝子発現を介した個体機能の恒常性に反映させる仕組みを理解することは、高 CO <sub>2</sub> 時代における農林生産性の維持と持続的向上を目指す上で、重要かつ緊急的な課題である。本研究では、各種リモートセンサを用いたスペクトローム解析等の非破壊的計測技術により、CO <sub>2</sub> 応答にともなう情報伝達と恒常性制御を担う基幹因子を探索するとともに、メタボローム解析を併用することにより、各因子の機能性と農林生産性にかかわる重要形質との相関関係を明らかにする。	イノベーション創出基盤的研究推進事業（技術シーズ開発型研究 一般枠）
8	葉緑体工学を用いた自己糖化型エネルギー作物の開発	京都府立大学	平成 20 年度	植物バイオマスのエネルギー・工業用原料としての活用（バイオリファイナリー）は、地球温暖化防止策として有効であるとともに、持続可能な循環型社会の形成において重要な役割を担うことが期待されている。とりわけ、石油代替燃料としてのバイオエタノールが注目を集めており、世界規模で生産が拡大している。しかし、現行のバイオエタノール製造法は穀物のデンプンを原材料とするため、食糧問題の一因ともなっている。その解決策として、地球上に豊富に存在する植物のセルロース系バイオマスを糖化して利用するための要素技術の開発が急務とされている。これまでに、物理・化学的な処理法や微生物が生産する糖化酵素を用いた方法等が提案されているが、エネルギー変換効率やコストの問題から、実用化には至っていない。本研究では、耐熱性（高温ではたらく）糖化酵素群を大量発現する葉緑体形質転換植物を作出し、これを粉砕・加熱処理することによって、植物が自動的に分解して糖質を生産する「自己糖化型エネルギー作物」を開発する。さらに、「自己糖化型エネルギー作物」が生産した余剰の糖化酵素を利用することで、未利用バイオマス（農業廃棄物・雑草・廃材等）の糖化处理への応用（他家糖化）についても検討する。	イノベーション創出基盤的研究推進事業（技術シーズ開発型研究 若手研究者育成枠）
9	海性バイオマス（アルギン酸）からのエタノール生産基盤	京都大学	平成 20 年度	本研究では、褐藻類のような海藻に多量に含まれる多糖アルギン酸（ウロン酸含有多糖）を原料とし、これを体腔形成細菌（スフィンゴモナス属細菌 A1 株）によってエタノールに変換する基盤を構築する。そのため、体腔形成細菌のアルギン酸代謝系とエタノール合成系を代謝工学や構造生物学などのバイオテクノロジーを駆使して改変・強化する。また、窒素固定細菌によって固定された大気窒素を窒素源として利用する経済的なエタノール生産システムの構築も検討する。	イノベーション創出基盤的研究推進事業（発展型研究一般枠）

No	研究テーマ名	研究機関	採択年度	研究概要	事業名
10	環境負荷低減技術によるキチン系バイオマス資源の高度利用	(独)国立高等専門学校機構、一関工業高等専門学校	平成 20 年度	コンバージミルによるメカノケミカル粉碎処理法と酵素糖化法の組み合わせ(異分野融合技術)によりキチンの糖化率は著しく向上する。本研究ではこれを発展させ、カニ殻等から直接、単糖(N-アセチルグルコサミン)およびキチン二糖を製造するための環境負荷低減型のバイオプロセスを構築する。得られたキチン二糖を出発原料にして、酵素法によるキチンオリゴ糖類の量産技術を開発する。キチン二糖・オリゴ糖類は新たな生理活性とその発現機構を解明する。単糖については DNA マイクロアレイ解析により生体機能発現機構を推定し臨床試験を実施する。	イノベーション創出基礎的研究推進事業(発展型研究一般枠)
11	地球温暖化時代のエネルギー科学拠点	京都大学	平成 20 年度	CO <sub>2</sub> ゼロエミッションの実現に不可欠な再生可能エネルギー(太陽光・バイオマスエネルギー)と先進原子力エネルギーに関する教育研究を、エネルギー需給シナリオ策定と協調させながら遂行し、技術創出や政策提言を行う先進的な研究者や政策立案者等の人材を育成する国際的教育研究拠点形成を目的とする。	グローバル COE プログラム
12	あきたアーバンマイン技術者養成プログラム	秋田大学	平成 20 年度	秋田大学工学資源学部は、明治 43 年に秋田鉱山専門学校として創設され、2010 年に 100 周年を迎えます。創立以来、県内のみならず国内外においても鉱山学及び冶金学の発展に貢献してきました。現在に至るまで、天然資源並びに都市鉱山から有用な資源を回収するための研究開発を継続している知の拠点です。一方秋田県は、県北部地域においてエコタウン計画を推進し、林業や鉱業で培われた優れた技術や施設を活用して環境リサイクル産業の振興を図ってきました。これらを一層進展させるには、新たな環境リサイクル技術の開発やリサイクルネットワークの構築などを支援できる人材の育成が重要となっています。このような背景から、秋田大学と秋田県は密接に連携し、さらには県内外の有識者や企業・自治体の協力を受けながら、「あきたアーバンマイン技術者養成プログラム」を文部科学省に申請し採択されました。秋田大学は本プログラムの主要事業として、「あきたアーバンマイン開発アカデミー」を創設し、環境・リサイクル産業を理解し利用技術に展開することを目的として、エネルギー工学を含む資源学を始点に、有用金属の選別・生産技術やリサイクリング技術、バイオマスエネルギーの利用等の化学関連技術、そして県内の情勢を含めた環境学や社会学、経済学などについて、県内外のその分野を専門とする講師により幅広いかつ深い内容の講義を行います。	科学技術振興調整費のうち、地域再生人材創出拠点の形成
13	高性能分離膜とガスエンジンによる下水汚泥バイオガスからの低コストエネルギー生産技術の開発	長岡技術科学大学	平成 20 年度	高性能分離膜による低コスト消化ガス精製技術と小型ガスエンジンにより、低コストエネルギー生産技術を開発する。	建設技術研究開発助成制度(基礎・応用研究開発)
14	電力・バイオプラスチック生産型下水汚泥処理システムの開発	北海道大学大学院	平成 20 年度	下水汚泥から付加価値の高いクリーンな電気エネルギーとバイオプラスチック原料を直接生産することが可能な下水汚泥処理システムを開発する。	建設技術研究開発助成制度(基礎・応用研究開発)
15	次世代中核産業形成プロジェクト/循環・環境型社会形成プロジェクト	(財)岡山産業振興財団	平成 20 年度	岡山県は、わが国を代表する水島臨海工業地帯を擁するとともに、造船・自動車・農業機械等の加工組立型産業、繊維・耐火物等の多彩で特色の有る地場産業が立地するものづくり県であるが、今後の成長が期待できる新たな産業を創出することが将来の発展には不可欠である。そこで、世界的に需要拡大が見込まれる「航空機関連産業」、高齢化社会の到来で需要が拡大する「福祉用具産業」、水産業関連における循環・環境型社会形成を目指す「水産バイオマス産業」を戦略的に育成する。	広域的新事業支援ネットワーク拠点重点強化事業
16	次世代中核産業形成プロジェクト/循環・環境型社会形成プロジェクト	(財)ひろしま産業振興機構	平成 20 年度	広島県の産業競争力を高めることを目的として、自動車・バイオ関連分野を中心とした次世代中核産業並びに循環・環境型産業において、クラスター推進組織や関係機関と連携しつつ、産学官の人的ネットワーク形成強化等の実効ある事業を展開し、県内に蓄積された産業資源や知的クラスター創成事業の成果を有効活用することにより、イノベーションが連鎖的に創出される自立的新事業創出環境の構築を目指す。	広域的新事業支援ネットワーク拠点重点強化事業
17	水熱処理によるバイオマス+プラスチック混合廃棄物の燃料化技術	<中核機関>静岡大学 <共同機関>静岡県、(株)竹中工務店、(株)サニックス	平成 20 年度	本研究のターゲットは、国内に広く大量に存在し、現状では有望な利用技術が少ない食品廃棄物と農作物非食用部である。これらのバイオマス廃棄物に廃プラスチックを混合し、高発熱量でクリーンな固体燃料を生産するための実用化技術の研究開発を行う。本研究開発の中心は水熱燃料化装置の開発、最適な処理条件の決定、環境適合性と経済性の評価である。0.3t/日の処理能力を持つベンチプラントを試作し、バイオマス廃棄物+廃プラスチックの前処理、水熱粉末燃料化、乾燥・造粒等の後処理、生成した燃料の高効率燃焼について技術開発を行う。更にコスト、環境適合性についての評価を行い、従来技術に対する優位性を明らかにする。	新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業(研究領域設定型研究)
18	イオン交換樹脂法による BDF 連続製造技術の実用化研究	<管理法人>松戸テクノ協同組合 <プロジェクトマネージャー>松戸テクノ協同組合 <研究体>松戸テクノ協同組合、東北大学、福本鐵工(株)、開発化学工業(株)、山和機工(株)	平成 20 年度	(記載なし)	地域イノベーション創出研究開発事業(一般枠)
19	コールドスプレー技術による次世代木質バイオマス燃焼装置の開発	<管理法人>地方(独)岩手県工業技術センター <プロジェクトマネージャー>サンボット(株) <研究体>サンボット(株)、(株)スペック	平成 20 年度	(記載なし)	地域イノベーション創出研究開発事業(一般枠)
20	木質バイオマスからの新規エタノール低環境負荷前処理技術の開発	<管理法人>(財)あきた企業活性化センター <プロジェクトマネージャー>(株)山二 <研究体>(株)山二、(株)三栄機械、日清製粉(株)、清水建設(株)、京都大学、(株)旭リサーチセンター	平成 20 年度	(記載なし)	地域イノベーション創出研究開発事業(一般枠)
21	籾殻/PVA 複合材料を用いた自動車軽量部材の開発	<管理法人>(財)滋賀県産業支援プラザ <プロジェクトマネージャー>角一化成(株) <研究体>(財)滋賀県産業支援プラザ、角一化成(株)、日本合成化学工業(株)、滋賀県立大学、滋賀県東北部工業技術センター	平成 20 年度	(記載なし)	地域イノベーション創出研究開発事業(一般枠)

No	研究テーマ名	研究機関	採択年度	研究概要	事業名
22	籾殻/PVA 複合材料を用いた自動車軽量部材の開発	<管理法人>(財)滋賀県産業支援プラザ <プロジェクトマネージャー>角一化成(株) <研究体>(財)滋賀県産業支援プラザ、角一化成(株)、日本合成化学工業(株)、滋賀県立大学、滋賀県東北部工業技術センター	平成 20 年度	(記載なし)	地域イノベーション創出研究開発事業 (一般枠)
23	油脂由来副生物からの高性能ケミカルの開発	<管理法人>(非営)近畿バイオインダストリー振興会議 <プロジェクトマネージャー>ダイセル化学工業(株) <研究体>(非営)近畿バイオインダストリー振興会議、ダイセル化学工業(株)、大関(株)、神戸大学、Bio-energy(株)、大阪大学、バイオベース(株)、関西化学機械製作(株)	平成 20 年度	(記載なし)	地域イノベーション創出研究開発事業 (一般枠)
24	亜臨界水中燃焼法によるバイオマス廃棄物処理・熱利用技術の開発	<管理法人>静岡大学 <プロジェクトマネージャー>(株)J-オイルミルズ <研究体>静岡大学、(株)J-オイルミルズ、(株)大穂工業、静岡県畜産技術研究所	平成 20 年度	(記載なし)	地域イノベーション創出研究開発事業(農商工連携枠)
25	ナノクレイコンポジットによるポリ乳酸の難燃化	<調整役機関>愛知県産業技術研究所 <実施企業>東洋樹脂(株) <参画機関>愛知県産業技術研究所、(独)産業技術総合研究所	平成 20 年度	(記載なし)	地域イノベーション創出総合支援事業(地域ニーズ即応型)
26	多用途バイオエタノールの生産をコアとする干し芋製造ゼロエミッション	<調整役機関>茨城県工業技術センター <実施企業>(株)照沼勝一商店 <参画機関>筑波大学、茨城県工業技術センター	平成 20 年度	(記載なし)	地域イノベーション創出総合支援事業(地域ニーズ即応型)
27	耐熱プラスチックキャップ用バイオプラスチック材料の開発	<調整役機関>奈良県工業技術センター <実施企業>三笠産業(株) <参画機関>奈良県工業技術センター	平成 20 年度	(記載なし)	地域イノベーション創出総合支援事業(地域ニーズ即応型)
28	中空糸膜カートリッジを用いた汚泥濃縮によるメタン発酵高効率化技術の開発	<調整役機関>大阪府環境農林水産総合研究所 <実施企業>東洋紡エンジニアリング(株) <参画機関>大阪府環境農林水産総合研究所、(NPO)バイオガスシステム研究所	平成 20 年度	(記載なし)	地域イノベーション創出総合支援事業(地域ニーズ即応型)
29	BDF 製造プロセスにおける副生グリセリンの超音波による新規処理技術	大阪府立大学	平成 20 年度	温暖化対策および化石資源枯渇に対する対策の一つであるバイオディーゼル燃料(BDF)の製造過程で発生するグリセリンは、反応性に乏しく価値の高い化学物質への適切な変換技術がない。そのためグリセリンの廃棄処理がBDF製造コストを押し上げる一因となっている。本研究では、高温・高圧の化学反応場を生み出す超音波技術をグリセリン処理に適用することにより、同物質を化学薬品原材料・燃料などの有価物に転換する技術開発を目的とする。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム(シーズ発掘試験：発掘型)」
30	アオサ・ポリ乳酸系グリーンコンポジットの開発	<研究者>福岡女子大学 <コーディネータ>(独)科学技術振興機構	平成 20 年度	ポリ乳酸は植物由来のプラスチックとして有名であるが、土壌中の生分解速度が遅く、用途によっては改善の必要がある。本研究では、現在生態系に悪影響を及ぼし、かつ廃棄物としての処理問題を抱えているアオサを用い、ポリ乳酸との複合体化並びに添加剤等の検討によって、良好な生分解速度を有し、農業分野等への利用を目的とした新規グリーンコンポジット(生分解性複合材料)を開発し、同時に廃棄物として問題となっているアオサの有効活用方法を提示するものである。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム(シーズ発掘試験：発掘型)」
31	エタノールの酸化的改質反応を常温から駆動可能な触媒系の構築	<研究者>大分大学 <コーディネータ>有限会社大分 TLO	平成 20 年度	これまでに還元した CeO <sub>2</sub> が常温で酸化され急激に発熱することを利用し、酸化的改質の常温駆動が可能となると考えた。実際、H <sub>2</sub> 還元した Rh/CeO <sub>2</sub> に常温で n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> と空気の混合ガスを流通したところ、数秒後に触媒が赤熱し水素の生成も見られた。本研究では、この研究成果をエタノールの酸化的改質反応に応用する。バイオマスであるエタノールから常温無加熱で水素を取り出せれば、燃料電池と合わせることで、利便性に富む高効率なエネルギー供給システムを構築可能となる。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム(シーズ発掘試験：発掘型)」
32	エタノール産生への未利用資源由来セルロース有効利用法の開発	千葉大学	平成 20 年度	光触媒、特にアスターゼ型の二酸化チタンを用いて、緩和な条件下米籾殻、竹、落花生外殻などの未利用セルロース原料から、バイオマスを用いたエタノール産生に供するためのグルコースを効率よく産生するための最適条件を決定し、セルロースからエタノールを産生するための工程を確立する。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム(シーズ発掘試験：発掘型)」
33	キシロースからエタノールを生産する酵母の育種研究	<研究者>群馬県立産業技術センター <コーディネータ>群馬県	平成 20 年度	とうもろこしやサトウキビなどからのバイオエタノール生産は、穀物価格の高騰を招くなど、様々な課題を含んでいる。そこで、食物でない木質系バイオマスからのエタノール生産が必須の課題となっている。しかし木質系エタノールの製造には様々な課題があり、その一つが糖化液中に最大で 30% 含まれるキシロースの未利用問題があった。本研究は、微生物の作出とくにキシロースを効率よく発酵してエタノールを生産する酵母の作出にポイントを絞り、従来のエタノール発酵に使われる <i>Saccharomyces cerevisiae</i> と、キシロースを栄養源とする <i>Pachysolen tannophilus</i> , <i>Pichia stipitis</i> などとの細胞融合、または変異誘導により、キシロースを高発酵する酵母の作出を目指す。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム(シーズ発掘試験：発掘型)」

No	研究テーマ名	研究機関	採択年度	研究概要	事業名
34	キチン系バイオマス資源の酵素分解技術と量産化に関する検討	<研究者>一関工業高等専門学校 <コーディネータ>岩手県南技術研究センター	平成 20 年度	カニ殻など甲殻を原料として精製されたキチンから製造される天然型グルコサミンは関節痛軽減や美肌効果により食品や化粧品などで急速に市場が拡大しているが、製造工程が煩雑で大量の劇薬を使用する。代表研究者らはメカノケミカル粉碎技術と直接酵素分解法の組合せによりキチン質から本単糖を安価に安全に高収率で製造する“環境負荷低減技術”の実用化を目指している。本課題では、精製キチンを原料とした単糖の量産化検討と、従来不可能であったカニ殻からの直接単糖製造技術の確立を実施する。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験：発掘型）」
35	キノコ由来菌体外酵素の高効率生産系の開発	<研究者>岐阜県森林研究所 <コーディネータ>(財)岐阜県研究開発財団	平成 20 年度	キノコの中でも白色腐朽菌と呼ばれるキノコは、木質中のリグニンを分解することができ、木質バイオマスの変換利用への応用が期待される生物である。その分解力は、多種多様な物質に対して有効である特徴をもつが長い期間を要する。そこで、分解の効率化をめざして、白色腐朽菌による分解の鍵となる菌体外酵素の大量生産系と回収方法を開発する。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験：発掘型）」
36	ゲート吸着型二酸化炭素分離材の応用	千葉大学	平成 20 年度	近年石油や天然ガスの代替エネルギーとして利用が期待されているバイオガスには 40%程度の CO <sub>2</sub> が含まれており、これを除去してメタンガス 95%にまで濃縮することが要望されている。本課題は、CO <sub>2</sub> を効率的に吸着・脱着するが故に非常に小さなエネルギーで再生も可能なゲート吸着材の最適な CO <sub>2</sub> 吸着除去条件を明らかにすることにより、バイオガスからの CO <sub>2</sub> 吸着除去材、オフィスビルで問題となっている CO <sub>2</sub> 濃度減少のための吸着材としての可能性を明らかにするものである。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験：発掘型）」
37	シリカ結合タンパク質を利用したバイオ機能性ガラスの開発	広島大学	平成 20 年度	当研究グループによって発見されたシリカ結合タンパク質は、シリカ・ガラス表面に強く結合し、溶液中でも長期にわたって安定に保持されることが分かっている。本課題では、シリカ結合タンパク質と各種酵素類の融合タンパク質をガラス表面上へ固定化することで、生体由来の機能を付加したバイオ機能性ガラスの創製を目指す。また、付加した機能の活性調節を行うためにシリカ結合タンパク質の吸着・脱離の制御法を確立する。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験：発掘型）」
38	セルロース系バイオマス分解性糸状菌の開発	帯広畜産大学	平成 20 年度	セルロース系バイオマスの糖化実験には糸状菌 <i>Trichoderma reesei</i> 由来のセルラーゼが広く利用されているが、実用化に際しては使用する酵素の大幅なコストダウンが必須となる。その打開策のひとつとして、セルラーゼを活発に生産する糸状菌の培養液を酵素源として使用する方法が考えられる。本研究では <i>Trichoderma reesei</i> 以外の糸状菌からセルロース分解活性の高い菌株を取得する。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験：発掘型）」
39	バイオエタノールからの有用石油関連物質生産プロセスのための減圧浸透気化高速脱水用ハニカム状ゼオライトナノ結晶積層膜の開発	北海道大学	平成 20 年度	バイオエタノールから石油化学有用物質を合成するプロセスの最重要の要素技術は、バイオエタノールの高度脱水用のコンパクトかつ高透過膜の技術である。ゼオライトナノ結晶積層膜の現有技術をハニカムフィルター状ゼオライトナノ結晶積層膜の開発に展開する。合成した膜の耐サーマルショックの評価と、バイオエタノールの高速脱水を実施して、操作条件の最適化とプロセスシミュレーターを活用した経済評価を実施する。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験：発掘型）」
40	バイオエタノール濃縮用高分子膜の構造設計と膜分離法の開発	関西大学	平成 20 年度	発酵法で得られるバイオエタノール（約 10wt%）を省エネルギー的に濃縮することを目的とし、我々が開発した供給液と膜周辺に温度差をもたせる温度差制御気化浸透法に多孔質高分子膜を適応させることにより、10wt%エタノール水溶液に対して、従来にない高性能な透過速度 (1kg/(m <sup>2</sup> h) 以上) とエタノール選択性 (90wt% 以上) の膜性能を発揮する膜分離システムを構築する。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験：発掘型）」
41	バイオディーゼルを高速 1 段製造する実用的触媒法の開発	岡山大学	平成 20 年度	低炭素社会を見据えたクリーンエネルギー確保は、我が国に課せられた緊急課題である。本課題では、代表研究者が独自に発見した新規触媒系をバイオディーゼル(FAME)1 段階製造法へ適用検討する。そして、現行法では原理的に実現できない実用的な高速製造法実現への目処をつける。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験：発掘型）」
42	バイオディーゼル燃料の無廃水精製プロセスにおける低級脂肪酸除去	鹿児島大学	平成 20 年度	経済産業省は、「揮発油等の品質の確保等に関する法律施行規則」において、バイオディーゼル燃料を混合した軽油中の不純物として、新たに低級脂肪酸の項目を追加した。他国の類似規格では低級脂肪酸は規格化されておらず、新たに精製が必要となった不純物である。そこで本研究では、乳化・解乳化による BDF の精製技術に基づき、低級脂肪酸に関する規格値を満たすための技術開発を行う。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験：発掘型）」
43	バイオディーゼル燃料製造における洗浄排水の効率的処理技術の開発	愛媛県工業技術センター	平成 20 年度	バイオディーゼル燃料（BDF）の製造方法は、廃食油等をメチルエステル化し、水洗浄工程を経て精製するプロセスが一般的である。この水洗浄工程で発生する排水は、現在有効な処理方法がなく、その処理技術が重要な課題である。そこで本研究では、BDF の精製プロセスを見直し、排水中の残油分率を低減させ、続いて残存するグリセリンおよびメタノールを単一微生物で同時に除去する、化学・バイオの両プロセスを併用した効率的な排水処理技術を開発する。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験：発掘型）」
44	バイオディーゼル油製造用グリーンサスティナブル触媒の開発	同志社大学	平成 20 年度	国内で豊富に産出する「石灰石」を、温室効果ガスの削減に有効な軽油代替燃料である「バイオディーゼル油」の環境調和型製法に使用可能な固体触媒へと仕上げることができた。本研究では、2 時間でバイオディーゼル燃料成分生成率 96.5%となる高効率な反応操作の長期間繰り返しを目指し、耐久性の優れた実用触媒を開発する。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験：発掘型）」
45	バイオマスを原料とする化学製品中間体製造ー果糖からの HMF 合成	名古屋大学	平成 20 年度	地球温暖化、石油資源の高騰と枯渇が懸念される中、再生可能資源であるバイオマスの利用が注目されている。その一方策として 5-ヒドロキシメチル-2-フルアルデヒド(HMF)を各種化成品の中間体や樹脂の原料単量体とするバイオリファイナリーの構築が提案されている。この方式では糖の骨格を保持して化学原料を生産するため、骨格を分解する触媒改質に比べてエネルギー的に極めて有利である。HMF は果糖(フルクトース)の脱水反応により合成可能であり、種々の酸触媒による検討がなされている。本研究は、いままでの研究成果をベースに、固体酸触媒によるフルクトース脱水反応の高効率化を試みる。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験：発掘型）」
46	バルク状セルロースナノ繊維強化バイオマス複合材料の新規開発	徳島大学	平成 20 年度	本研究では微生物が生産する高強度セルロースナノ繊維に注目し、このナノ繊維でバイオマス由来樹脂を強化したナノ複合材料を開発する。そこで本研究では予め乾燥条件を調整してナノ繊維マットを作製し、これに植物由来樹脂を含浸させて高い繊維含有率を有するバルク状複合材料を試作する。併せてさらなる強度の改善を目指して、セルロースナノ繊維の表面処理を行い、複合材料強度に及ぼす表面処理の影響についても調査を実施する。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験：発掘型）」

No	研究テーマ名	研究機関	採択年度	研究概要	事業名
47	ポリ乳酸と熱可塑性エラストマーのナノ相溶化材料の開発	愛知県産業技術研究所	平成 20 年度	植物由来プラスチックであるポリ(L-乳酸)は、環境負荷低減材料として注目を集めているが、硬くて脆いという欠点があり、用途が限られている。本研究では、これまで培ってきたポリ乳酸の耐衝撃性改善技術などを応用発展させることにより、ポリ乳酸と熱可塑性エラストマーをナノレベルオーダーで互いに相溶化させる技術を確認することを目指し、ゴム状の柔軟性を有する植物由来材料の開発を行う。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験：発掘型）」
48	ポリ乳酸プラスチック製造の効率化を目指した超乳酸耐性酵母の開発	<研究者>大阪大学 <コーディネータ>(独)科学技術振興機構	平成 20 年度	近年の様々な環境問題から、ポリ乳酸に代表されるカーボンニュートラルプラスチックのコスト削減が求められている。出芽酵母は乳酸菌等と比較して強い酸耐性を示し、乳酸発酵における培地の中和とその後の乳酸塩の脱塩化処理工程を省略できる可能性を持つ。本研究では細胞内 pH の維持が乳酸耐性化に重要であることから、高濃度乳酸条件下でも細胞内 pH が安定な超乳酸耐性酵母を構築して、乳酸生産収率を向上させ、ポリ乳酸製造コストの削減を狙う。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験：発掘型）」
49	マイクロ波一反応蒸留を用いたバイオディーゼル燃料の連続製造技術の検討	(財)かがわ産業支援財団	平成 20 年度	新興工業経済地域（中進国）を主体とした経済活動の活発化に伴い、原油を中心とした各種の原材料資源が急激に減少している。このような状況の中、クリーンな燃料としてバイオエネルギーが注目されている。その一つとして、動植物性油脂を原料にして製造されるバイオディーゼルがある。代表研究者らはマイクロ波を用いたバイオマスのエネルギー利用技術に関する研究を行っており、本提案ではマイクロ波加熱と反応蒸留を利用して、植物油からバイオディーゼル燃料の迅速な連続製造技術開発を検討する。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験：発掘型）」
50	メタン発酵消化液を代替肥料とした稲作の実現	<研究者>北海道大学 <コーディネータ>(独)科学技術振興機構	平成 20 年度	バイオガスプラントでメタンガスとともに産出される消化液はその量が多く、システム維持には消化液の利用体系確立が必須である。消化液の窒素成分の多くはアンモニア態で、稲はアンモニア態窒素を効率的に吸収する。本研究では消化液を元肥として稲作に導入し、水田や稲体の養分動態、稲生育や米の収量・品質を従来の化学肥料施用体系と比較して、消化液の代替肥料としての効果的な利用方法を提案する。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験：発掘型）」
51	もみがら由来炭素粉体を用いた導電性ゴムの開発	山形大学	平成 20 年度	農業系未利用物のひとつである籾殻を炭化焼成して得られる RHSC (Rice-Hull Silica Carbon) 粉体をゴムに添加して、要求される電気的特性を安定的に付与した「導電性ゴム」の開発を行う。とくに、もみがらの天然多孔質構造中に含浸するフェノール樹脂の均一性を実現するため、最適な製造工程を確立し、製造条件と導電性の関連性等について検討を行なう。力学特性の測定についても併せて実施する。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験：発掘型）」
52	液中グロー放電による植物由来プラスチック製造用触媒塩化クロムナノ粒子の開発	北海道大学	平成 20 年度	バイオマス原料をプラスチック素材へ転換する高効率触媒として機能するクロム塩化物ナノ粒子を作り、その効果を検証する。具体的には、北海道大学で新たに開発された手法を基礎にクロムナノ粒子を創り、粒子表面を塩化クロム(II)にした後しよ糖液に加え、グルコースとフルクトース量の変化および生成されるヒドロキシメチルフルフルアル(HMF)の収量を測る。従来からの石油化学工程につなげることが可能な現実的バイオマス利用を目指す。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験：発掘型）」
53	環境に優しい生分解性膜分離材料の高機能化	新潟大学	平成 20 年度	ポリ乳酸などの生分解性プラスチックを用いた膜分離材料は使用後に目詰まりした膜をコンポスト（堆肥）化処理できるため、生産現場における廃棄物の削減が可能である。本研究課題では代表研究者が開発に取り組んでいるポリ乳酸膜や生分解性ポリマーブレンド膜などの生分解性プラスチック膜を高機能化することにより、その分離特性を高め、応用範囲を広げることを目的とする。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験：発掘型）」
54	環境を考慮したビニールハウス無煙暖房装置の技術開発	<研究者>愛媛大学 <コーディネータ>(株)テクノネットワーク四国	平成 20 年度	本研究ではビニールハウスの暖房装置として、ドラム缶内側にセラミックウールを貼り、その表面を金網で補強し、この内部に木材を搬入し、籾殻を隙間無く詰め込み、その上に点火剤の木炭を入れこれた木質バイオマスを用いた構造である。煙分は上部に堆積した高温の灰分に付着する無煙熱分解装置である。C2H4 ガスは影響をおよぼす数値の十分の一の濃度である。また、火力調整及び CO ガス等の除去については今後の研究課題である。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験：発掘型）」
55	希薄水素混合バイオガスの有効利用に向けた高効率水素分離精製技術の開発	<研究者>鈴鹿工業高等専門学校 <コーディネータ>三重県産業支援センター	平成 20 年度	本研究課題では、金属ニオブが低い水素分圧下においても高い水素透過能を示す性質に着目し、微生物の水素発酵などで得られる水素を希薄に含む混合ガス（バイオガス）から水素のみを高効率に分離・精製するための新規ニオブ系水素分離膜合金の開発を目指す。この目的を達成するために、種々のニオブ系合金について水素圧力、固溶水素濃度、水素透過速度および水素脆性を定量的に評価し、ニオブを水素分離膜として利用するために重要となる基礎的物性データを収集する。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験：発掘型）」
56	機能変換酵素活用によるバイオエタノール高効率生産酵母の開発	京都大学	平成 20 年度	バイオマスの有効利用の一環としてバイオエタノールが注目されているが、食料価格高騰等の弊害が起きている。この問題の解決には、木質バイオマスなどの食物物質以外のバイオマスからのバイオエタノールの生産が必要である。本研究では、生物種としてはエタノール発酵で最も長い歴史を持っている酵母( <i>S. cerevisiae</i> )を用い、遺伝子組換え・タンパク質工学的的手法により酵素機能の高度化等を行い、木質バイオマスからの高効率エタノール生産系の実用化を目指す。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験：発掘型）」
57	高耐火性能を有する新規不燃材の開発	宇都宮大学	平成 20 年度	持続可能な循環型社会の構築を目的として、バイオマスの主要資源である間伐材のロングライフ化利活用を検討する。木材の乾燥、材質改良技術として注目されている遠赤外線燻煙熱処理技術を用いてスギ間伐材を丸太のまま熱処理し、閉鎖壁孔の壁孔壁を破壊して透過性を向上させる。作成した壁孔壁破壊木材を用いて、難燃薬剤を注入し、防火指定地域で使用できる高耐火性能を有する耐火構造耐力壁（30 分、45 分、60 分の耐火性能）を開発する。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験：発掘型）」
58	修飾ポリ酸触媒による高効率セルロース糖化反応	名古屋大学	平成 20 年度	非食料バイオマスの資源化方法としてセルロースの分解による単糖類の合成が注目を集めている。従来、熱分解、硫酸や酵素による分解が検討されてきたが、経済性・環境調和性に問題があり本格的な実用化には至っていない。本研究では、水溶液中でのセルロースの糖化に有効な固体触媒の開発を目的とする。種々のポリ酸(タングステン酸、ヘテロポリ酸)と多価カチオンから成る難溶性塩を固体触媒に用い、反応器の腐食や廃液処理の問題のなく、かつ高い収率で単糖類を製造する方法を開発する。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験：発掘型）」

No	研究テーマ名	研究機関	採択年度	研究概要	事業名
59	植物由来原料から創る有機ラジカルポリマーとその二次電池応用	東京農工大学	平成 20 年度	安定な有機ラジカルを側鎖に有する高分子は、大容量二次電池の電極活物質として有望である。本研究では、植物由来バイオマス「リグニン」の有効利用技術を組み込むことにより、カーボンニュートラルな高性能有機ラジカルポリマーの創製を目指す。重金属酸化物の優れた充放電特性に見合う代替効果を得るため、コスト・環境面も含めた有機素材の総合的な優位性確立を目指す。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験：発掘型）」
60	新規酵母による海藻からバイオエタノール生産法の開発	<研究者>宮城大学 <コーディネータ>東北大学	平成 20 年度	地球温暖化対策として、バイオエタノールが注目されているが、原料として、トウモロコシなど農作物を用いることにより、食料の不足や価格高騰を引き起こすなど大きい問題となっている。この課題では、海藻原料として、新規に分離した酵母を用いて、海藻を分解し、更にエタノール生産まで同一の菌株を用いるという特徴を持つ生産法を開発している。本課題により、地球温暖化対策に貢献できると試算されるものである。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験：発掘型）」
61	水熱・酵素複合技術を用いた廃棄・漂着海藻の高速糖化	<研究者>高知大学 <コーディネータ>(株)テクノネットワーク四国	平成 20 年度	海藻の粘質多糖成分は食用、薬用として広く工業的に利用されているが、セルロース成分はほとんど利用されていない。我々は、水熱・酵素複合技術を用いることにより、海藻の粘質多糖成分だけでなく、セルロース成分も高速に糖化できる新しい技術を開発した。本研究課題ではこの技術を用いて、自治体によっては年間 2000～3000 t とされる廃棄・漂着海藻の多糖成分の単糖・オリゴ糖化を実現する。それにより、健康食品、医薬品やバイオエタノールなどへの応用の可能性を追求する。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験：発掘型）」
62	耐塩性・耐熱性を有する新規セルラーゼ製剤の開発	信州大学	平成 20 年度	耐塩性・耐熱性を有する海洋性糸状菌由来のセルラーゼを用いて、セルロース系バイオマスの分解に用いる新規セルラーゼ製剤の開発を行うものである。本酵素は、既存のセルラーゼと比較し高塩濃度で作用することが可能であることと、耐熱性に優れているという利点を有する。また、菌体の増殖が早く酵素分泌量も高いことから、セルラーゼ製剤として用いることでバイオマス分解におけるコスト低下を図ることが可能となる。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験：発掘型）」
63	耐熱性及びリサイクル性を有する新規バイオプラスチックの開発と応用	室蘭工業大学	平成 20 年度	シルク成形体は、シルク繊維のガラス転移温度が 175℃であることから、ポリ乳酸にはない耐熱性を有する可能性がある。そこで、シルク成形体のガラス転移温度の測定により耐熱性を評価する他、竹繊維が配列したシルク成形体を作製し、一層の耐熱性の向上を図る。また、耐熱性と機械的特性を維持しながら、経済性とカーボンニュートラル社会構築の観点からそのリサイクルの可能性について調査する。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験：発掘型）」
64	代謝工学的手法による木質バイオマス由来五炭糖発酵酵母の育種	<研究者>京都大学 <コーディネータ>(独)科学技術振興機構	平成 20 年度	化石燃料の代替エネルギーの最右翼はバイオエタノールである。しかし、我が国では諸外国のような農作物からの生産は不可能であり、木質系バイオマスを利用することが求められている。酵母は、大腸菌や他のバクテリアに比べてグルコースなどの六炭糖発酵とアルコール耐性には優れているが、木質系バイオマスに大量に含まれるキシロースなどの五炭糖を発酵できない。本課題は、キシロース代謝遺伝子群を人工的に導入した組み換え酵母を用い、六炭糖に比べて圧倒的に遅いキシロース発酵速度の向上を独創的な代謝工学的手法によって検討するものである。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験：発掘型）」
65	担子菌の物質変換能を利用したバイオリアファイナリーの実現	鳥取大学	平成 20 年度	担子菌 <i>Lentinellus cochleatus</i> においてエタノールやキシリトールへの効率的変換能力を見出した。デンプンやセルロースからも直接的にエタノール生産が可能なることから、環境調和型生産プロセスに有効と考える。食用や飼料作物と競合しないリグノセルロース資源を原料としたバイオ燃料生産システムの確立が急務である。本研究では、各種木質系バイオマスに対する発酵特性の検討を行い、多方面での展開が期待できるバイオリアファイナリーの基盤構築を進める。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験：発掘型）」
66	炭酸ガスから環境調和型ポリエステルを合成する細菌の分子育種	<研究者>熊本県立大学 <コーディネータ>(財)くまもとテクノ産業財団	平成 20 年度	環境問題が深刻化する中、生分解性プラスチック（PHA）の普及が期待されている一方、原材料が食物やバイオエタノールの原材料を兼ねる、材質が脆い、生産コストが高いなど、種々の問題がある。本研究では炭酸ガスを炭素源として PHA を合成する微生物、 <i>R. eutropha</i> の遺伝子組換え株を作製し、菌株の分子育種を行い、炭酸ガスから可塑性の高い良質な生分解性プラスチック、P(3HB-co-3HA)の生産系の確立を目指す。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験：発掘型）」
67	地産地消型エタノール生産システム構築に資する農作物糖化技術の開発	三重大学	平成 20 年度	不要果実や規格外農産物などを利用し農家でも使用できる簡易的な地産地消型バイオエタノール生産システムの構築を目指す。モデル農作物から糖化液を作成し、半合成培地とブレンドして培養液を作成し、複合耐性酵母を用いてエタノール醗酵を行なう。高品質のものは食品に低品質のものはバイオ燃料に振り分けるシステムができると、農薬の適正使用や休耕地の利活用が活発となり、豊かな農業経営が育まれる。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験：発掘型）」
68	澱粉枝作り酵素群の基質特異性の構造基盤と応用	九州大学	平成 20 年度	澱粉は地球環境問題から石油代替バイオエタノールや、各種産業（医薬、食品、製紙、繊維工業等）における主要な原材料としても利用されているが、さらなる有効利用のためには、様々な特性を付与した新規加工澱粉の創製が必須である。本申請研究では、イネ澱粉枝作り酵素（アミロペクチン分枝化酵素）群の基質特異性の構造基盤を解明するとともに、澱粉枝作り酵素をツールとした新規酵素加工澱粉（次世代ポリマー）の開発を試みる。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験：発掘型）」
69	難分解性高分子リグニンの低分子量化技術の開発と応用	明治大学	平成 20 年度	本研究は、地球上で最大の炭素資源である難分解性高分子量リグニンの低分子量化技術を開発し、実用化することを目標とする。そのために、エゾシカルーメン由来の <i>Aspergillus Fumigatus</i> よりリグニン分解酵素をコードしている遺伝子を獲得する。その結果として、低分子量化による燃料への転化など、また、セルロース微繊維の有効利用として、食用以外の植物資源を用いるバイオエタノール製造への応用が可能である。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験：発掘型）」
70	熱帯性植物油脂をバイオディーゼルに変換する酵素法の開発	<研究者>大阪市立工業研究所 <コーディネータ>(独)科学技術振興機構	平成 20 年度	安価で大量供給が可能な熱帯性植物油脂は本格的なバイオディーゼル燃料（BDF）の導入に適した原料と期待される。一方、BDFの変換には、従来のアルカリ法より環境に優しく、副産物であるグリセリンの再利用も容易な酵素法の適用が好ましい。しかし、実用化に際しては高い反応率が達成されることや製造コストの削減も求められる。本研究は熱帯性植物油脂を BDF に変換する実用化可能な酵素法の確立を目指す。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験：発掘型）」
71	廃水ゼロでアクリルアミドを製造する革新的触媒法の開発	岡山大学	平成 20 年度	紙力増強剤や高分子凝集剤などに用いられるアクリルアミドは、年間数十万 t 生産され、アミド類の中でも大きな市場規模を持つコモディティケミカルである。アクリルアミドの製造は、従来主に菌体もしくはそれから単離した酵素を利用したニトリル水和反応（バイオ法）によって行われている。本課題では現行のバイオ法を超える革新的触媒法を開発する。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験：発掘型）」

No	研究テーマ名	研究機関	採択年度	研究概要	事業名
72	微細構造制御したリン酸カルシウム結晶のバイオおよび吸着材料応用	信州大学	平成 20 年度	ゲル法により作製した微細構造制御リン酸カルシウム結晶(バイオクリスタル)をバイオ・吸着材料として応用する技術である。多孔質セラミックスが使用されている分野の材料の置き換えを目指す。吸着材や充填材の指標となるタンパク質吸着量(25mg/g)、あるいは細胞培養に重要な連通気孔(100~300 $\mu$ m)と気孔率(60%)、生体親和性(細胞培養判定)を達成することを目標とする。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム(シーズ発掘試験:発掘型)」
73	芳香環酸素添加酵素を利用したバイオマス資源の高機能化法の開発	<研究者>宮崎大学 <コーディネータ>(株)みやざき TLO	平成 20 年度	地球温暖化問題や原油価格の高騰に伴ってバイオマス資源のエネルギーや化成原料としての利用が注目されている。本研究課題では、植物由来のバイオマスに含まれる代謝産物に「芳香環酸素添加酵素」を作用させることにより得られた派生物の機能性を評価する。さらに、同処理によって優れた機能を持った植物成分由来の非天然型ポリフェノールを取得する方法を開発する。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム(シーズ発掘試験:発掘型)」
74	未活用バイオマスからの硫酸塩還元微生物による酢酸高速生成法の開発	金沢大学	平成 20 年度	有効利用が求められている稲わら(含むもみ殻)や林地残材(間伐材)などのセルロース系バイオマスから、高速で酢酸を生成する技術を開発する。本方式では、セルロースから酢酸を生成する不完全酸化型硫酸塩還元微生物を下水汚泥から集積し、これを用いて先述のバイオマスから酢酸を生成する。さらに、下水汚泥から集積した硫酸酸化細菌を用いて、硫酸塩還元によって生成した硫化水素を硫酸塩に酸化することによって再利用する方式である。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム(シーズ発掘試験:発掘型)」
75	木質バイオマスガス化炉産炭化物を利用した高機能炭素材料の開発	<研究者>一関工業高等専門学校 <コーディネータ>(財)いわて産業振興センター	平成 20 年度	岩手県奥州市の木質バイオマスガス化発電施設のガス化炉から副産物として得られる炭化物はその構造から従来の活性炭などの炭素材料に類する吸着性能や導電性を示す可能性はある。この炭化物について、原材料や温度条件の違いによる構造や物性、吸着性能などの変化を評価するとともに、マイクロ波を利用した高機能化を検討し、さらにフィルムや繊維などの形状に加工することにより、新規機能性炭素材料への応用を検討する。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム(シーズ発掘試験:発掘型)」
76	木質系廃棄バイオマスから環境調和型高吸水性材料への変換技術開発	苫小牧工業高等専門学校	平成 20 年度	ビートファイバー、ポテトパルプ等に代表される木質系廃棄物を出発物質とし、廃棄物中に含まれるセルロースを低置換度でアセチル化、リン酸化等を施すことにより、環境調和型高吸水・保水性材料への変換を行う。出発物質、温度などの反応条件を比較検討し、生成物の特性を評価検討する。汎用アクリル酸系吸水ポリマーに匹敵する性能・低コスト化を実現すると同時に生分解性を活かした新しい応用分野を開拓する事が目標である。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム(シーズ発掘試験:発掘型)」
77	高速無廃水型バイオディーゼル燃料製造装置の開発	<代表研究機関>鹿児島大学 <共同研究企業>(株)南光、ナトコジャパン(株)	平成 20 年度	バイオ燃料の一種である Bio Diesel Fuel (BDF) の高速無廃水型製造装置の開発を行う。従来、BDF の精製に長時間を必要としたが、原油中の水分除去にすでに多くの実用例が存在する高電圧印加処理技術などを適用することによって、プロセスの高速化が可能となる。本研究では、同技術を BDF の製造に適用するための条件および装置の検討を行い、市場競争力が高い BDF 製造装置のプロトタイプを製作する。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム(育成研究)」
78	生分解性材料を用いた環境調和型水中溶存アニオンの高効率吸着材の創製研究	<代表研究機関>(独)日本原子力研究開発機構 <共同研究企業>(株)ERH テクノリサーチ、(株)第一テクノ、ウイーグル(株)	平成 20 年度	本研究は、地球温暖化防止および環境浄化・保全の観点から、従来の人工高分子素材ではなく、植物由来のセルロースなどの生分解性素材による環境調和型吸着材を放射線グラフト重合技術により創製しようとするものである。これにより、二酸化炭素排出の収支が循環回収(カーボンニュートラル)できる吸着材の創製およびその量産化技術の確立に加え、廃坑廃水や地下水および産業排水中に含まれるヒ素など、水中に溶け込んでいる有害物質を吸着・回収することを目指す。これらの成果により実用化に向けた有害物質の除去技術の開発および浄化システムの構築の基盤技術となることが期待される。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム(育成研究)」
79	ディーゼル車の環境性能に与えるバイオマス燃料の影響実態把握とその評価に関する研究	国土交通省、(独)交通安全環境研究所	平成 20 年度	本研究では、バイオマス燃料の燃料性状の違いによる排出ガス特性の変化の実態を把握することにより、排出ガス特性の観点からバイオマス燃料の普及阻害要因を抽出する。そのため、各種排出ガス規制に適合したディーゼル車に、燃料性状の異なる各種バイオマス燃料を適用し、その際の排出ガス成分を測定する。さらに、この実態調査から得られた排出ガス特性変化の要因を究明するため、エンジン単体の試験により、バイオマス燃料の物理・化学特性が排出ガス特性に与える影響について、バイオマス燃料の燃焼・排出ガス生成の過程を詳細に解析する。以上より、バイオマス燃料の普及阻害要因を取り除く方策を明らかにし、今後の行政施策へ反映する。	地球環境保全等試験研究費(公害防止等試験研究費)
80	生態工学技法としての沈水植物再生による湖沼の水環境回復と派生バイオマスリサイクル統合システムの開発	<代表研究機関>福島大学 <研究機関>東北大学、埼玉県環境科学国際センター、(株)フジタ	平成 19 年度	湖沼法改正の重要課題である面源負荷削減のための流出水対策及び湖沼内のアオコ等発生対策としての植生復元は湖沼の水環境回復に極めて有効である。生態工学技法を用いて、水環境回復に資する沈水植物再生規模の算定方法、水環境適合型再生手法、再生後の維持管理手法(派生バイオマスリサイクル手法)、の一連のプロセスを研究開発し、沈水植物再生による水環境回復と派生バイオマスのリサイクルまでを包括した国際的にも活用可能な新しい統合システムを構築する。	環境技術開発等推進費(統合型研究開発課題)
81	高性能分離膜とガスエンジンによる下水汚泥バイオガスからの低コストエネルギー生産技術の開発	長岡技術科学大学	平成 19 年度	分離膜を用いた消化ガス精製技術と小型ガスエンジンを組み合わせて、中・小規模下水処理場での消化ガス発電によるエネルギー生産技術の開発を目指す。	建設技術研究開発助成制度(基礎・応用研究開発)
82	電力・バイオプラスチック生産型下水汚泥処理システムの開発	北海道大学大学院	平成 19 年度	本研究では、下水汚泥から付加価値の高いクリーンな電気エネルギーとバイオプラスチック原料を直接生産することが可能な下水汚泥処理システムを開発する。	建設技術研究開発助成制度(基礎・応用研究開発)
83	カプセル触媒によるジメチルエーテルの低温直接合成の技術開発	富山県立大学	平成 19 年度	ジメチルエーテル(DME)はバイオマス、天然ガス等を原料とする合成ガスから、作ることが出来るため、石油代替効果と炭酸ガス削減効果が大きく、LPG 代替燃料やディーゼル燃料として期待されている。現在 DME はメタノールの脱水反応を経る 2 段階反応で合成されている。我々は触媒表面に別の触媒を被膜したカプセル触媒の開発に成功している。この触媒は複数の触媒作用を示す優れた性能を持つ。本研究では、合成ガスから一段階で DME を合成できるカプセル触媒の開発を行う。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム(シーズ発掘試験)」

No	研究テーマ名	研究機関	採択年度	研究概要	事業名
84	キシロース及びその重合体を代謝する休眠遺伝子発現菌株の育種	大阪府立大学	平成 19 年度	農産及び木質廃棄物のバイオエネルギーなどへの再資源化にはセルロースと並んで多量に含まれるキシロース及びその重合体を代謝できる微生物の育種が重要である。酵母菌のゲノム上にはペクチン分解酵素の休眠遺伝子の存在が示唆されており、キシロース及びその重合体を代謝する酵素群についても休眠遺伝子として持つ微生物の可能性が示唆される。本研究ではこれらのキシロース及びその重合体代謝酵素の休眠遺伝子発現突然変異体を育種し、有効活用することを目的とする。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験）」
85	キトサンを用いた新規生分解性材料の開発	兵庫県立工業技術センター	平成 19 年度	我々はこれまでの研究において、ある種の塩の水溶液がキトサンを溶解することを見出した。また、キトサン溶解液から水を除去して得られるフィルム等の材料のなかには可塑化されエラストマー的な物性を有するものがあることも把握している。本課題では、キトサンと塩からなる新規な組成物の用途開発を目的としている。キトサン、塩の組成および力学的な物性との関連について検討し、適用できる分野の探索を行う。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験）」
86	キノコ由来ペルオキシダーゼ大量生産技術の開発	<研究者>岐阜県森林研究所 <コーディネータ>(財)岐阜県研究開発財団	平成 19 年度	キノコの中でも白色腐朽菌と呼ばれるキノコは、木質中のリグニンを分解することができ、木質バイオマスの変換利用への応用が期待される生物である。その分解力は、多種多様な物質に対して有効である特徴をもつが長い期間を要する。そこで、分解の効率化をめざして、白色腐朽菌による分解の鍵となる菌体外酵素の大量生産系を開発する。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験）」
87	セルロースナノファイバーで木材由来熱硬化樹脂を強化したバイオマス複合材	兵庫県立大学	平成 19 年度	再生可能であり二酸化炭素排出削減に寄与する植物バイオマスの有効利用が求められている。本研究では木質バイオマスを原料に用い合成した樹脂をバイオマスファイバーにて強化した複合材を創出する。より詳細には、木質バイオマスの特定成分を単離処理せず全成分を樹脂原料に用い、そのバイオマス由来樹脂をセルロースナノファイバーにて強化し、バイオマス成分を 6 割以上含有する高強度・高剛性グリーンコンポジットを目指す。調製された複合材は、高付加価値なバイオマス材料になると期待する。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験）」
88	セルロースナノファイバーで木材由来熱硬化樹脂を強化したバイオマス複合材	兵庫県立大学	平成 19 年度	再生可能であり二酸化炭素排出削減に寄与する植物バイオマスの有効利用が求められている。本研究では木質バイオマスを原料に用い合成した樹脂をバイオマスファイバーにて強化した複合材を創出する。より詳細には、木質バイオマスの特定成分を単離処理せず全成分を樹脂原料に用い、そのバイオマス由来樹脂をセルロースナノファイバーにて強化し、バイオマス成分を 6 割以上含有する高強度・高剛性グリーンコンポジットを目指す。調製された複合材は、高付加価値なバイオマス材料になると期待する。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験）」
89	バイオアルコールによる AI 合金の腐食挙動とその防食表面技術の開発	室蘭工業大学	平成 19 年度	自動車用エネルギーとしてのバイオアルコールによるエンジン部品等の自動車部品の腐食劣化が指摘されている。アルミニウムの腐食に対しては、表面の不純物金属間化合物が有害である。この金属間化合物相の除去がアルミニウムの防食に一義的に有効である。本研究はアルミニウム部材の防食技術の実用化を目指す視点から、バイオアルコールによる腐食反応のメカニズムを実験的に調べ、その発生条件を解明し、劣化防止のための実用的な表面処理技術の研究開発を行う。具体的には、アルミニウムの表面皮膜を不連続にしている金属間化合物を選択的に除去し、表面に陽極酸化皮膜あるいはめっき処理を施し防食する。上記の方法を複合化し、アルミニウム表面の耐バイオアルコール防食技術に関する実用化の見通しを得る。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験）」
90	バイオポリマー循環利用プロセスのためのセラミックス固定化酵素の開発	岡山大学	平成 19 年度	21 世紀は石油ベースのオイルを基盤としたものづくりから、バイオ資源、バイオテクノロジーを基盤としたものづくり社会に変化しようとしている。ポリマーもバイオ資源からバイオテクノロジー（酵素）によって作り、使用後は酵素によってモノマーに戻す資源循環型のものが望まれる。生分解性バイオポリマーである。本研究では、ポリマー化にも、ポリマーの分解にも有効に働く実用的な多孔質セラミックス固定化リパーゼの開発と、効率的なポリマー・モノマー循環プロセスの開発を行う。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験）」
91	バイオマス+プラスチック混合廃棄物からクリーン・高発熱量燃料合成装置の開発	静岡大学	平成 19 年度	本技術は、現在処理に困っている高含水率で腐りやすく場合によっては悪臭の発生する生ごみ等とプラスチックの混合廃棄物を、無害な 200~250℃の高温水を用いて、分別や乾燥といった人手やエネルギーを要する工程なしに、短時間にクリーンで高品位のエネルギー資源（石炭並みの高発熱量）に変換する技術を開発する。そして 5 年以内に大学発ベンチャーによる実用化を目指す。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験）」
92	バクテリアセルロース・コンポジットの流動誘起構造の解析と成形技術への応用	滋賀大学	平成 19 年度	デザートなどの食材「ナタデココ」に含まれるバクテリアセルロースと呼ばれる極細繊維のシートに樹脂を注入すると、複合材料として優れた強度特性を発揮する。更に、紙のように曲げられる次世代の薄型ディスプレイの基板にもなり得る可能性がある。この有望な複合材料を有効に利用するためには、ナノファイバーの構造を用途に応じて制御する成形技術が不可欠であり、この試験研究では、ナノファイバーの流動誘起構造を制御するための基本的な知見を得ることを目的とする。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験）」
93	ホスファターゼ発現によるポプラの成長速度の促進およびセルロース生合成能の向上	<研究者>日本女子大学 <コーディネータ>(株)つくば研究支援センター	平成 19 年度	タバコ細胞およびシロイヌナズナ植物体でパープルホスファターゼを過剰発現させた結果、成長速度の促進およびセルロース含量の増加が確認された。本研究では、モデル樹木であるポプラにパープルホスファターゼを過剰発現させ、パープルホスファターゼの成長促進作用を検証する。パープルホスファターゼの過剰発現により樹木の成長を早めることが可能となれば、地球温暖化防止対策やバイオマス生産性向上につながる人工林を創る。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験）」
94	マイクロバブル技術を用いたバイオガス生物脱硫システムの開発	筑波大学	平成 19 年度	バイオ燃料の一つであるメタン発酵バイオガスに含まれる腐食性・毒性の強い硫化水素を、硫黄酸化細菌を利用した生物触媒により除去する生物脱硫法を確立する。ここでは触媒の活性化をマイクロバブル技術を用いた液相曝気法によって行なうことにより、従来の脱硫剤吸着法あるいは気相曝気法よりも安全で、効率が高く、かつ低コストでバイオガスを脱硫する技術の実用化を目指す。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験）」
95	メタンと二酸化炭素を含むバイオガスからの燃料電池用燃料（水素と一酸化炭素）の合成	鹿児島大学	平成 19 年度	燃料電池（SOFC）用燃料として、バイオガス中のメタン（CH <sub>4</sub> ）と二酸化炭素（CO <sub>2</sub> ）の水素（H <sub>2</sub> ）と一酸化炭素（CO）へのガス改質法を検討する。目標として CH <sub>4</sub> 分解量を 700℃で 80%以上とし、H <sub>2</sub> と CO の生成率を 700℃でそれぞれ 40%以上とする。また、バイオガス改質燃料による SOFC の発電性能は 600 μ m 厚さの電解質で 300mW/cm <sup>2</sup> 以上（800℃）を目標とする。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験）」

No	研究テーマ名	研究機関	採択年度	研究概要	事業名
96	稲わらの効率的メタン発酵技術の開発	長岡技術科学大学	平成 19 年度	下水道浄化センターの消化槽を利用した混合メタン発酵によって、未利用バイオマスから効率的なエネルギー回収が可能である。本課題では、稲わらを未利用バイオマスとして注目し、高温消化を適用した下水汚泥と稲わらの混合嫌気性消化法のシステムを構築することを目的とする。研究期間内の目標として、1) 高濃度消化の系列も含めて連続実験を実施し、稲わらを投入した場合の消化特性を明らかにする。2) 中温消化の結果も合わせてシステム全体の LCA 評価を行う。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験）」
97	下水汚泥の有効利用による海岸砂地からの飛砂防止植生導入技術の開発	<研究者>島根大学 <コーディネータ>島根県	平成 19 年度	冬期の日本海沿岸に広がる海岸砂地では、強風で飛砂被害が生じている。一方、バイオマスニッポン総合戦略に沿って、有機性廃棄物の有効利用が求められているが、品質やイメージの悪さが制限となり実効的な用途や手段が見つからない。本研究では、海岸砂地での飛砂を抑制する方法として海岸砂地の在来植物を用いた砂防植生の導入を可能にする新規の技術（砂防植生バッグ）を下水汚泥を利用して開発することにより、海外砂地での砂防と下水汚泥の有効利用を実現・促進できる技術の確立を目指す。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験）」
98	環境調和型バイオポリエステル生産システムの開発	<研究者>熊本県立大学 <コーディネータ>(財)くまもとテクノ産業財団	平成 19 年度	化学合成プラスチックの多くは分解されないため、様々な環境問題を引き起こしている。そのため微生物由来のバイオポリエステル、ポリヒドロキシアルカン酸（PHA）は生分解性プラスチックとして期待されている。PHA の実用化のためには物性面と生産コストの問題を克服する必要があり、これまでに丈夫な PHA の生合成に成功している。本研究では、もう一つの課題であるコスト面を解決するため、生合成関連遺伝子の機能を解明し、遺伝子制御さらには安価バイオマスの利用によって、PHA の効率的生産を行うことを目的とする。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験）」
99	含水バイオエタノールからの有用石油関連物質合成	北海道大学	平成 19 年度	精製前の含水粗バイオエタノールを原料に用い、触媒反応により、石油関連物質への選択的合成の技術開発を実施する。反応機構の解明と、粗バイオエタノール中に含まれる各種有機系不純物が触媒に及ぼす影響を検討する。また、生成物精製用水分離膜の合成とそれを蒸留塔に組み込んだ高度分離システムの提案を行う。さらに、プロセスシミュレータを用いて提案する分離の経済評価を実施する。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験）」
100	好熱菌を用いた難分解性動物タンパク質に対するリサイクルバイオテクノロジー	(独)産業技術総合研究所	平成 19 年度	難分解性動物タンパク質は産業廃棄物として排出される。これらはくず肉や羽毛廃棄物、廃水中の毛髪に多量に含まれるが、難分解性でかつ付加価値のある再利用先の展開が無いため未利用資源として廃棄される。本研究は、我々が単離した難分解性動物タンパク質に対し高い分解活性を有する好熱菌を用い実用レベルでの分解特性の検討、分解に有効な微生物系の確立、分解物中の活性物質の探索を目指し、試験研究を行うものである。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験）」
101	酵母によるバイオマスからの 2-デオキシシロイノソースの発酵生産システムの開発	<研究者>新潟薬科大学 <コーディネータ>(株)新潟ティーエルオー	平成 19 年度	2-デオキシシロイノソース(DOI) は、炭素六員環構造を持つベンゼン系化合物であり、医薬・農薬、酸化抑制剤や香料等の各種有用化学品の合成のための非常に重要な中間原料である。本技術は、試験管内或いは生体内でグルコースを炭素六員環化合物である DOI に閉環する反応を触媒する DOI 合成酵素を作用させることにより、これまで化学合成が困難であった DOI をグルコースから容易に合成することが可能とした。本研究では原料としてバイオマスを利用し、酵母を利用した DOI 生産システムの構築を目指す。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験）」
102	高圧熱水反応を利用した省エネルギー型フィッシュミール製造プロセスの開発	<研究者>八戸工業高等専門学校 <コーディネータ>宮城工業高等専門学校	平成 19 年度	魚類等の水産加工残滓の再利用において処理能力、省エネルギー、環境調和等の課題を解決するため、高圧熱水処理による密閉型処理を中心とした省エネ型再利用プロセスの開発を行う。先ず、水産加工残滓からの高品位のフィッシュミール・バイオディーゼル燃料の製造研究を行って、その要素技術を熟成し、さらに可搬式処理装置開発に必要な知見を得て、漁港から小売業者までの広い市場を対象とした実用化を最終目標としている。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験）」
103	伸びきり鎖結晶（シシ構造）の高密度生成によるポリ乳酸の高強度・高耐熱性化	岡山大学	平成 19 年度	申請者は、生分解性ポリエステルであるポリ乳酸を流動下で結晶化させることによって、分子鎖が折りたたまれることなく伸びきって結晶化したシシ構造を生成させる方法を発見した。シシ構造は結晶内で高分子鎖が伸びきって配列しているため、非常に高強度で高い融点を示す。本研究の目的は、上述の方法を用いて、系中に通常の結晶化物とは結晶構造のみが異なるだけのシシ構造を高密度に生成させて、従来材以上の高強度かつ高耐熱性を引き出したポリ乳酸のセルフコンポジット材料を開発することである。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験）」
104	新規多孔質ポリ乳酸フィルムの孔径制御による高機能化	<研究者>滋賀県工業技術総合センター <コーディネータ>(財)滋賀県産業支援プラザ	平成 19 年度	ポリ乳酸は、バイオマスの有効利用また生分解性を有することから環境負荷の小さい材料として注目されている。一方、多孔質フィルムはその高機能性を利用して菌除去等のフィルター、電池用のセパレーター等の幅広い用途に利用されている。我々はこれまでの研究開発により、ポリ乳酸で 1~5 μm の連続気孔多孔質フィルムおよび 0.1~8 μm の独立気泡多孔質フィルムの開発に成功している。このフィルムを高機能化して実用化するために、孔径の分布を小さくしたフィルムの開発、また平均孔径が離れたフィルムの作製を開発する。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験）」
105	新規電極構造を持ったバイオ燃料電池の開発と評価	(独)産業技術総合研究所	平成 19 年度	バイオ燃料電池は、タンパク質等バイオ触媒を電極触媒として利用した燃料電池である。特に豊富に存在する糖、アルコール等が利用でき、常温で安全に運転できるため、超小型電源としての実用化が期待されている。しかしバイオ触媒は、温度や pH 等外部環境の影響を受けやすく、電子移動反応が非常に起こりにくい。本応募課題では、ITO 電極を用いたシンプルな電極構造を持つ新規バイオ燃料電池の開発と評価を行う。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験）」
106	新規緑藻によるバイオ燃料向け脂肪酸誘導体の生産効率向上に関わる培養条件検討	<研究者>慶應義塾大学 <コーディネータ>(独)科学技術振興機構	平成 19 年度	本試験は、高増殖性の緑藻・Pseudochoricystis ellipsoidea（仮名）が産生する脂質代謝物質をバイオディーゼル原料として実用化することを目的とする。具体的には、油滴産生時に増加する親油性代謝物質の定性・定量解析を行うことにより有用物質を特定したのち、効率的に有用物質が蓄積する二酸化炭素濃度・光量・温度といった培養条件の決定を行なう予定である。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験）」
107	深海微生物由来タンパク質を利用した高圧・低温耐性ナノデバイスの創生	<研究者>近畿大学 <コーディネータ>(財)くれ産業振興センター	平成 19 年度	現在、バイオ素材とナノテクノロジーを融合した「バイオナノテクノロジー」は 21 世紀の潮流の一つになっている。有用物質（酵素、生理活性物質生産）生産等の触媒システムに求められる特性として、「耐熱性」や「高圧力・低温耐性」などの機能が求められる特質であるが、特に高圧・低温に関しては深海微生物にのみ与えられた機能として大変有効である。本研究は上記背景に基づき、深海微生物由来タンパク質の耐圧・耐冷性を理解し、その特性を利用した高圧・低温耐性ナノデバイスの創製を目的としている。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験）」

No	研究テーマ名	研究機関	採択年度	研究概要	事業名
108	水熱酸化による窒素含有バイオマス廃棄物のクリーン処理・熱回収装置の開発	静岡大学	平成 19 年度	含水率が高く腐敗しやすい家畜排泄物などの難処理窒素含有バイオマス廃棄物を、高圧加熱水蒸気と空気の混合流体を溶媒として用いて分解することにより、(1) 乾燥や脱臭などエネルギーやコストがかかる前・後処理工程なしに、(2) 短時間で二酸化炭素、水、窒素ガスといった無害な無機ガスまで完全分解でき、(3) 分解時に発生する燃焼熱を効率よく回収・利用できる廃棄物のクリーン処理+エネルギー変換するためのプロトタイプの二段式水熱酸化反応装置を開発する。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験）」
109	生体適合性を有する人工臓器用ポリノルボルネン複合材料の開発	北海道大学	平成 19 年度	高強度を有するポリノルボルネンに極性部位を導入することにより、ポリノルボルネンの低接着性や低含水率性等の欠点を改良し、生体適合性を付加する技術を提供する。具体的には、「極性基を有するモノマーとノルボルネンを安価に共重合する技術の提供」、ならびに、「生成ポリマーの極性基にポリ乳酸を導入することで高強度かつ生体適合性を有する新規なポリノルボルネン-ポリ乳酸複合材料の開発」が目標となる。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験）」
110	生物的無毒化処理によるセルロース系バイオマスの効率的利用	大阪大学	平成 19 年度	建築廃材等のセルロース系バイオマスを原料としてエタノールを製造する場合、酸加水分解による糖化反応が必要になるが、この時にフルフラールなどの発酵阻害物質が生じ、その後のエタノール発酵を阻害する。本研究では、酸加水分解液をある微生物で前処理することによって発酵阻害物質を除去し、エタノール発酵に用いる組換え大腸菌や酵母の活性を長期間維持し、これによりバイオマスエタノールの製造コストを低減させる。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験）」
111	生分解性プラスチックの非滅菌酸発酵での材料生成とその合成技術の開発	京都大学	平成 19 年度	有機性廃棄物の利活用は石油への依存率を低下させるだけでなく、カーボンニュートラルな性質のために地球温暖化防止に対しても有効である。また、生分解性プラスチックは、環境に優しく、市場認識が高まりつつあり、年々その普及率が上昇している。このような背景を踏まえ、本研究では生ごみやその他の有機性廃棄物から非滅菌酸発酵により生成した L-乳酸を原料として、生分解性プラスチックであるポリ乳酸合成技術の開発を行う。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験）」
112	代謝工学的手法を用いたバイオマスからのアクリル酸生産	三重大学	平成 19 年度	アクリル酸は、アクリル繊維やアクリル樹脂の原料として重要な物質であるが、現在はすべて石油由来である。本研究は、微生物の発酵機能を代謝工学的に改変し、バイオマス（糖質または乳酸）からアクリル酸を生産できる微生物を分子育種することを目的とする。プロピオン酸発酵関連遺伝子を導入し大腸菌を用いて研究を行う。ランダム突然変異の導入などにより遺伝子の改変を行うことにより、プロピオン酸の代わりにアクリル酸を蓄積する微生物を選択・育種する。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験）」
113	大型攪拌翼を用いたセルロース分解酵素の反応促進に関する研究開発	<研究者>山形大学 <コーディネータ>(財)山形県産業技術振興機構	平成 19 年度	木質廃棄物からバイオエタノール、有用有機酸を製造する上でセルロース加水分解は、必要不可欠な技術である。しかし、そのためには高価な酵素を多量に使用しなければいけない。本研究では、その問題を解決するために、攪拌条件および攪拌翼・槽の検討を行うことで酵素量添加量の大幅な削減を目的とする。また、その条件をもとに大型装置を用いた実証試験の検討も行う。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験）」
114	低廃棄物新規バイオディーゼル燃料の製造方法に関する技術開発	北海道自動車短期大学	平成 19 年度	本研究は、植物油等の生物由来原料油からバイオディーゼル燃料（BDF）を製造する手法として現在広く行われているメチルエステル化法に頼らず、原料油に対して、金属イオンを添加する手法を用いて、新規の BDF を製造する技術の開発を目的としている。添加物の混合比率を変化させ、機関性能試験を通して、この手法により製造される BDF の性能評価を行うと共に、製造コストの低減を試み、その実用化を研究内容としている。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験）」
115	低品位パーム油を用いたディーゼルエンジン燃料の調製技術の開発	山口大学	平成 19 年度	近年、食油やその廃油を原料とした環境に優しいバイオ燃料の研究や実用化が進められている。しかし、廃食油の回収に費用がかかるうえ、その量も十分ではない。本研究は東南アジア諸国でその処分が問題となっている低品位なパーム油を原料とし、廃食油と混合することで、常温で均一分散した低粘度液体燃料を開発する。この際、大がかりな改質や反応を利用せず、廃食油とパーム油を混合し、極微量のレオロジーコントロール剤を使用する方法を用いる。このため本研究では、廃食油とパーム油の最適混合条件、添加剤の選定と最適化、および混合燃料の流動特性の評価について検討する。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験）」
116	乳酸エステルの直接重縮合によるポリ乳酸の合成	京都工芸繊維大学	平成 19 年度	近年バイオマスプラスチックとしてポリ乳酸が注目されている。ポリ乳酸は乳酸から六員環状ラクチドに導き、その開環重合により製造されているが、その乳酸はバイオマスから乳酸エステルを経由して製造される。本試験研究では乳酸エステルから直接ポリ乳酸を合成する反応を開拓することにより、ポリ乳酸製造の大幅なコスト削減が可能なプロセスの構築を目的とする。実施内容としては、種々のアルコールと乳酸とのエステルを基質として、酵素触媒により重合を試みる。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験）」
117	爆砕法と遺伝子組み換え機能性酵母を用いた高効率草本系バイオエタノール生産に関する研究	北海道立工業試験場	平成 19 年度	北海道内に豊富に存在し、食料と競合しない草本系バイオマスを原料とした高効率なバイオエタノール生産方法を開発することを目的として、(1) ヘミセルロースの過分解抑制とリグニン除去ができる爆砕条件の検討、(2) この前処理に適合したヘミセルロース、セルロース糖化の酵素生産と C5、C6 糖代謝を同時に行う機能を持つ酵母の構築と (3) 爆砕産物によるエタノール発酵試験を行う。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験）」
118	微粉砕・非晶質化キチン系バイオマス資源の酵素分解技術の確立	<研究者>一関工業高等専門学校 <コーディネータ>(財)岩手県南技術研究センター	平成 19 年度	カニ殻やエビ殻を原料とし、メカノケミカル粉砕という新規な粉砕機構により微粒子化・非晶質化を行い、キチン分解酵素に対する感受性を向上させ、穏和な酵素反応だけで単糖（N-アセチル-D-グルコサミン）や、高級キチンオリゴ糖の製造原料となる二糖（ジ-N-アセチルキトビオース）を直接生産するバイオプロセスの構築への取り組み。有害な薬品を極力使用しない“環境負荷低減技術”であり、粉体工学と糖鎖工学とを組み合わせた、まさに異分野融合型のバイオプロセスである。効率のよいキチン分解酵素の選択と、二糖を単糖に分解する酵素の選択、反応の最適化を行う。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験）」
119	米由来の廃棄バイオマスの燃料資源化技術の開発と応用	茨城大学	平成 19 年度	国内で大量に生産されている米由来のバイオマス資源の内、食料需要と競合しない米ぬか、稲わら等の廃棄バイオマスから燃料を製造し、それを利用する基盤技術を開発することを目的とし、(1) 米ぬか油のモノエステル燃料化と性状分析および燃焼特性の把握、(2) 稲わらのマイクロパウダー化と物性および燃焼特性の把握を試みる。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験）」

No	研究テーマ名	研究機関	採択年度	研究概要	事業名
120	木質バイオマスを原料とするバイオディーゼル燃料製造用固体塩基触媒の開発	<研究者> 日本大学 <コーディネータ> (財)千葉県産業振興センター	平成 19 年度	地球温暖化対策としてバイオマス資源のエネルギー利用拡大が急務であり、植物油（主に廃食用油）をバイオディーゼル燃料（以下 BDF と称する）に変換する技術が注目されている。BDF 合成には固体塩基触媒が最適と考えられ、木質バイオマスを原料とした高活性固体塩基触媒を開発することを目的とし、最適調製条件の探索を検討する。本触媒は使用済み後もそのまま燃料化できる上、燃焼させても二酸化炭素を増加させない優れた特徴を有する。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験）」
121	木質バイオマス利用に向けた高効率スターリングエンジンの開発	<研究者> 福島工業高等専門学校 <コーディネータ> いわき市	平成 19 年度	本研究の目的は、木質バイオマスを有効利用するための高効率スターリングエンジンを開発することである。具体的には、数値計算コードの開発、実証実験用スターリングエンジンの製作、熱交換器および再生器の最適化を行う。また学会活動を通して評価のフィードバックを行うとともに、木質ペレット利用のスターリングエンジンの可能性を調査し、設計指標の作成と実用化に向けた活動を開始する。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験）」
122	木質系バイオマスのリグニンからの酵素法による芳香族化学原料生産系の開発	室蘭工業大学	平成 19 年度	白色腐朽菌は木質系バイオマスのうちリグニンを分解することが出来る。この酵素はリグニンから環状構造だけを切り出し、バイオマス資源の有効活用を図ることができる。石油製品から合成をすることに対して、香料等の原料となるハイドロキノ、キノンを安全に効率的に生産することが可能になり、白色腐朽菌の酵素の生産性を高めることを目的としている。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験）」
123	籾殻からのゼオライト/多孔質籾殻炭の水熱合成と新規イオン交換材料への応用	佐賀県窯業技術センター	平成 19 年度	農産廃棄物である籾殻を部分炭素化処理して製造されているくん炭は多孔質炭素材であり、土壌改良剤やガス吸着剤として利用されているが、イオン交換能の向上や多孔質特性の改善が求められている。本研究では、水熱合成法により籾殻炭の表面をゼオライト化して農作物の生育に必要な陽イオン交換能、及び土壌微生物の棲みかとなるマイクロ・メソ多孔体骨格を持つ複合多孔体を開発することを目的とし、未利用バイオマスの新規農業用機能性資材としての活用を目指す。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験）」
124	籾殻からのゼオライト/多孔質籾殻炭の水熱合成と新規イオン交換材料への応用	佐賀県窯業技術センター	平成 19 年度	農産廃棄物である籾殻を部分炭素化処理して製造されているくん炭は多孔質炭素材であり、土壌改良剤やガス吸着剤として利用されているが、イオン交換能の向上や多孔質特性の改善が求められている。本研究では、水熱合成法により籾殻炭の表面をゼオライト化して農作物の生育に必要な陽イオン交換能、及び土壌微生物の棲みかとなるマイクロ・メソ多孔体骨格を持つ複合多孔体を開発することを目的とし、未利用バイオマスの新規農業用機能性資材としての活用を目指す。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験）」
125	余剰汚泥からの共存型嫌気性プロセスによるエネルギーとりん回収技術の確立	金沢大学	平成 19 年度	(1) バイオガス回収が可能なメタン発酵、(2) 酸発酵を促進しリン回収可能な硫酸塩還元を活用した下水汚泥の嫌気性消化プロセスの実験的検討を行う。メタン発酵を主体とする嫌気性消化は、消化率が低いこと、リンの回収が困難などの指摘はあるが、資源回収システムとして見直されている。硫酸塩還元は、酸発酵とリン放出の促進に加え生成した硫化水素が脱窒に利用可能なことから、その利点を生かした共存型の嫌気性消化プロセスを提案する。従来型の嫌気性消化法と比較して大幅な汚泥発生量の削減とバイオガスおよびりんの回収、水処理系における窒素除去率の向上が期待出来る。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験）」
126	ペーパーラッジを原料とする高速・高収率バイオエタノール生産技術の開発	<代表研究機関> 静岡大学大学院創造科学技術研究部 <共同研究機関> 富士工業技術支援センター <共同研究企業> (株)巴川製紙所	平成 19 年度	製紙工場等から大量に排出され、現在その殆どが焼却処分されているペーパーラッジから、バイオエタノールの原料となるグルコースの生産と、およびその残渣から製紙用原料となる無機材料を回収する技術開発である。亜臨界水と揮発性触媒による方法、および高活性セルラーゼ酵素による方法の低環境負荷 2 段階糖化プロセスを用い、高速（12 時間以内）で高収率（グルコースとして 80%以上）の糖化技術の確立と、白色度 70% 以上で炭酸カルシウム並みの硬度に抑えた再生製紙用無機原料へのリサイクルを行うための連続処理システムの開発を目指す。原料は木質（セルロース）系廃棄物であるため食料や飼料と競合しない上に、安価で安定的な供給が可能になる。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（育成研究）」
127	芳香族アミノ酸類縁体を用いた高性能成形材料の開発	<代表研究機関> 北陸先端科学技術大学院大学マテリアルサイエンス研究科 <共同研究企業> 旭化成せんい(株)	平成 19 年度	微生物から発酵生産できる芳香族アミノ酸類縁体であり多官能性分子種であるクマル酸類を重合することで、高耐熱性のグリーン高分子成形材料を作成する。得られる高分子は成形可能であり、かつ成形後処理で硬化させることができる。硬化に伴い得られる成形体の耐熱性は上昇し、耐熱温度が 300℃を超えるものもある。そこで、自動車エンジン周りで使用できる高耐熱性バイオベース樹脂の開発を目指して研究を進める。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（育成研究）」
128	CO <sub>2</sub> 排出低減に資するバイオディーゼル燃料の高品質化技術に関する研究	経済産業省、(独)産業技術総合研究所	平成 19 年度	欧州規格を満たす BDF が製造可能な固体触媒技術を開発するとともに、発酵等により得られる安価なバイオエタノールが利用可能な固体触媒の開発を検討する。現行の低品位 BDF の高品質化を目指し、酸化安定性低下要因である多不飽和脂肪酸エステルの部分水素化による燃料性状の安定化技術を開発する。現行の脂肪酸エステルを主成分とする BDF は、エンジンやその他の部材の耐久性との関係から混合上限許容率が軽油の 5% 程度とされているため、混合上限率のさらなる向上につながる酸化安定性の極めて高い BDF 燃料の製造技術の検討を行う。	地球環境保全等試験研究費（公害防止等試験研究費）
129	廃油脂資源からリボフラビン生産技術の開発	<研究機関> 静岡大学創造科学技術大学院（統合バイオサイエンス部門） <共同研究機関> 静岡大学 <共同研究企業> 水澤化学工業(株)	平成 18 年度	製油工場から排出される廃白土に含まれる植物油を炭素源として、効率よくリボフラビンを製造するリボフラビン（ビタミン B2）生産菌を活用したリボフラビン製造技術を確認する研究である。廃白土には 35% 程度油脂分が残存しているがこれまで廃棄物として廃棄処分されていた。申請者は新たに見いだしたリボフラビン生産菌による動植物油を炭素源としたリボフラビンの製造方法に関する特許を既に有している。本技術を活用し、さらに工業化するためのリボフラビン生産収率の向上、高効率分離・抽出技術の確立を目指している。	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（育成研究）」
130	(都市エリア産学官連携促進事業：山梨くになかエリア)	<中核機関> 山梨大学 <核となる大学、公的研究機関> 山梨大学、山梨県総合理工学研究機構	平成 18 年度	世界最先端の燃料電池研究を推進する山梨大学並びに産学官共同研究等を推進する山梨県総合理工学研究機構を中核機関として、関連技術を有する地域企業及び関連研究実績のある県立試験研究機関等が共同し、水、バイオマス、都市ガスから生成される水素を用いた次世代エネルギーシステムの基礎技術を確認し、それらを活用した分散型クリーンエネルギーシステムの構築を目指すとともに、本エリア内における関連技術の蓄積を図る。	都市エリア産学官連携促進事業（一般型）

No	研究テーマ名	研究機関	採択年度	研究概要	事業名
131	(都市エリア産学官連携促進事業：米代川流域エリア)	<中核機関>(財)秋田県木材加工推進機構 <核となる大学、公的研究機関>秋田県立大学木材高度加工研究所	平成 18 年度	連携基盤整備型事業で得られた成果をもとに、1)「秋田スギ等地域材流通システムの構築」、2)「地域材を用いた木質材料及び構法の開発とその実現化」、3)「木質バイオマスの総合利用」をテーマとした共同研究を進め、伝統的な地場産業の再構築と地球規模での課題となっている地球温暖化防止に取り組み、森林資源の理想的な循環利用を目指した技術発信型“親環境”木材産業の形成を目指す。	都市エリア産学官連携促進事業（一般型）
132	バイオマスの高度徹底活用による環境調和型産業の創出	<中核機関>(財)宮崎県産業支援財団 <核となる研究機関>宮崎県木材利用技術センター、都城高等工業専門学校 <参加研究機関>宮崎大学、宮崎県畜産試験場	平成 16 年度	林産業・農畜産業が集積する当エリアにおいては、大量の未利用バイオマス・廃棄物系バイオマスが賦存している。一方、窒素循環の極端なアンバランスを背景として、家畜排泄物の水循環への影響も懸念されており、地域の環境保全に向けた取組も活発化している。そこで、宮崎県木材利用技術センターや都城高専を中心とした産学官連携のもと、木質バイオマスのエネルギー的徹底利活用を機軸としたシステムを開発することにより、喫緊の課題である環境共生型への変換による地域産業の活性化及び新産業創出を推進する。このことにより、安全で快適な循環型社会の構築を図る。また、特定領域における新たな技術開発・技術移転をめざした産学官共同研究を促進するため、研究会の開催、産学官共同研究促進協議会等を通じて、さらなる産学官の人的ネットワークの充実や新たな研究課題の発掘を図る。	都市エリア産学官連携促進事業
133	環境保全に資する陸上と海域のバイオマス環境システムの開発	<中核機関>(株)みなまた環境テクノセンター <核となる大学等公的研究機関>崇城大学、熊本大学、熊本県立大学、八代工業高等専門学校 <参加研究機関>熊本大学、熊本県立大学、八代工業高等専門学校、崇城大学、熊本県工業技術センター、熊本県農業研究センター、熊本県水産研究センター、国立水俣病総合研究センター、(独)農業技術研究機構九州沖縄農業研究センター	平成 15 年度	熊本県では、地域固有の資源を活用した産業の高度化・高付加価値化、並びに深刻化する有明海・八代海汚染等の環境問題の解決が喫緊の課題になっている。そこで、当エリアを中心に蓄積された地域先導研究による高度な微生物制御を用いたバイオマスの処理・再利用技術と海藻類を活用した新規な生物学的浄化技術を結合し、陸上及び海域一体となった環境浄化システムを開発するとともに、浄化の過程で産出される各種のバイオマスから生理活性成分を抽出し、その有効性を検証のうえ高度利用法を確立することにより、環境保全に資する陸上と海域のバイオマス循環システムを開発するものである。以上、共同研究を中心に当事業を実施することによって、当エリアにおける産学官連携基盤の強化を図るとともに、新技術・新システムを活用した地域課題の解決に即応する環境循環型産業の創出、ひいては環境循環型都市エリアの創造を目指す。	都市エリア産学官連携促進事業

表 5.2.2 バイオマス関連研究テーマへの支援が実施されている事業の概要

事業名	イノベーション創出基礎的研究推進事業	新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業	地域イノベーション創出総合支援事業（地域ニーズ即応型）
支援機関	農林水産省、独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構	農林水産省	独立行政法人科学技術振興機構
募集年度	平成 21 年度	平成 21 年度	平成 21 年度
事業開始	平成 20 年度	平成 20 年度	平成 20 年度
事業概要	<p>生物系特定産業技術研究支援センター（生研センター）では、農林水産業、飲食物品産業、醸造業等の生物系特定産業に関する研究開発における産学官の連携の要として、農林水産省が定める「農林水産研究基本計画」等に則しつつ、民間、大学、独立行政法人等の行う試験研究に対し、各般にわたる支援を実施しています。本事業では、基礎から応用まで一体的に推進することにより、革新的な技術の開発を促進し、生産性の飛躍的向上や農林水産物の高付加価値化等の生物系特定産業における諸課題の解決や革新的な技術の開発を促進するとともに、生物系特定産業の発展の可能性を広げる新たな事業の創出等のイノベーションにつなげることを目的として、下記の研究分野及び研究タイプを設置し、提案課題を公募します。</p> <p>【研究分野】</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.生物機能の解明による生産力の向上</li> <li>2.農林水産物・食品の高品質・高機能化</li> <li>3.農林水産物・食品の安全性の確保</li> <li>4.有用物質及びバイオマスの活用</li> <li>5.生物及び生態系の機能の解明及び高度利用</li> <li>6.工学的手法の高度利用</li> <li>7.国際的な食料・環境・エネルギー問題への寄与</li> <li>8.基盤的技術の開発</li> </ol>	<p>農林水産業・食品産業の発展や地域の活性化などの農林水産政策の推進及び現場における課題の解決を図るため、実用化に向けた技術開発を提案公募方式により推進します。また、実用化に向けた具体的な研究目標の明示や行政部局との連携強化による研究の進行管理体制の構築等により、着実な実用技術の創出を目指します。</p> <p>【応募対象となる研究分野】</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1)研究領域設定型研究</li> <li>(2)現場提案型研究</li> <li>(3)緊急対応型調査研究</li> </ol>	<p>地域ニーズ即応型は、研究開発型中堅・中小企業の有するニーズ（技術的課題）に対し、大学や公設試験研究機関、高等専門学校等が有する技術シーズをマッチングさせ、中堅・中小企業と大学・公設試・高専等が共同で研究開発を実施することにより、技術的課題を解決することを目的とし、新産業の創出及び地域の活性化を期待する制度です。本制度では、地域の公設試験研究機関等がプロジェクト運営の調整役として研究開発を推進し、これをプラザ・サテライトが支援します。</p> <p>【特徴】</p> <p>○地域の中堅・中小企業がもつニーズ（技術的課題）に対し、大学・公設試・高専等のシーズをマッチングさせ、技術的課題を解決することに主眼をおいた企業ニーズオリエンテッド型の研究開発を実施します。</p> <p>○地域に根ざした機関である公設試等が把握している企業ニーズや大学等シーズ、コーディネート機能を積極的に活用します。</p> <p>○参画する中堅・中小企業、大学・公設試・高専等のそれぞれの機関において予算の執行が可能です。</p>
交付金額	<p>【1件当たりの交付金額】</p> <p>(1)技術シーズ開発型研究 ・一般枠：研究規模 7000 万円以内/年（国際活動を行う場合は 8000 万円以内/年） ・若手研究者育成枠：研究規模 3000 万円以内/年</p> <p>(2)発展型研究 ・一般枠：研究規模 6000 万円以内/年（国際共同研究を含む場合は 7000 万円以内/年） ・ベンチャー育成枠：フェーズ 1 研究規模 500 万円以内、フェーズ 2 研究規模 3000 万円以内/年</p>	<p>【1件当たりの研究費上限（間接経費含む）】</p> <p>(1)研究領域設定型研究 5000 万円/年 (2)現場提案型研究 3000 万円/年 (3)緊急対応型調査研究 1000 万円/年</p>	<p>【委託金額】</p> <p>1 研究開発課題当たり委託費合計額：1 年度 200～500 万円</p>
支援期間	<p>【研究期間】</p> <p>(1)技術シーズ開発型研究：一般枠 5 年以内、若手研究者育成枠 3 年以内 (2)発展型研究：一般枠 3 年以内、ベンチャー育成枠（フェーズ 1：1 年以内、フェーズ 2：2 年以内）</p>	<p>(1)研究領域設定型研究 1 課題につき原則として 3 年以内 (2)現場提案型研究 1 課題につき原則として 3 年以内 (3)緊急対応型調査研究 研究開始日が属する年度が終了するまでの間</p>	<p>【研究開発実施期間】</p> <p>平成 21 年 8 月～平成 22 年 3 月まで</p>
支援対象	<p>・日本国内の生物系特定産業分野の研究開発を実施する能力のある機関に所属する常勤の研究者であること ・研究期間を通じて応募課題に関する研究に責務を負い、研究に力を注げること</p>	<p>【応募できる研究機関等】</p> <p>産学官連携による共同研究グループ(下記セクターのうち 2 以上のセクターの研究機関等から構成される共同研究グループでの応募が必須)</p> <p>セクター1. 都道府県、市町村、公立試験研究機関及び地方独立行政法人 セクター2. 大学及び大学共同利用機関 セクター3. 独立行政法人、特殊法人及び認可法人 セクター4. 民間企業、公益法人、NPO 法人、協同組合及び農林漁業者</p> <p>【中核機関及び研究総括者】</p> <p>研究課題の応募を行おうとする共同研究グループは、研究推進の中核となる中核機関（中核機関は、法人格を有していることが前提）を選定するとともに、中核機関の研究者の中から、研究課題の実施に責任を有する研究総括者を選定し配置する必要があります。</p>	<p>中堅・中小企業、大学、公設試験研究機関、高等専門学校等</p>

事業名	イノベーション創出基礎的研究推進事業	新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業	地域イノベーション創出総合支援事業（地域ニーズ即応型）
利用条件	<p>【研究タイプ】</p> <p>(1) 技術シーズ開発型研究</p> <p>・一般枠：理工系を含む多様な研究者の独創的なアイデア、基礎科学や鉱工業、医療等他産業の研究分野における萌芽段階の研究を基に、生物系特定産業における諸課題の解決や革新的な技術の開発につながる新たな技術シーズを開発するための基礎研究が対象です。一般枠においては、国際共同研究を行うことが可能です。</p> <p>・若手研究者育成枠：一般枠と同様技術シーズを開発するための基礎研究であって、若手研究者（原則 39 歳以下）によるものが対象です。この枠では、過去の業績よりも柔軟な発想に基づく挑戦的な研究課題の提案を期待しています。この枠への応募課題に国際共同研究を含めることはできません。</p> <p>(2) 発展型研究</p> <p>・一般枠：「技術シーズ開発型研究」や他の研究制度等で開発された技術シーズを生物系特定産業における諸課題の解決や新たな事業の創出等のイノベーションにつなげるための応用研究が対象です。一般枠においては、国際共同研究を行うことが可能です。</p> <p>・ベンチャー育成枠：技術シーズを活かした新たな事業を創出するための応用段階の研究開発であって、研究開発ベンチャー企業に所属する研究者、又は研究開発ベンチャー企業設立の計画を有する研究者が主導するものが対象です。ベンチャー育成枠は、新規事業創出又は企業設立に関するフィージビリティスタディを行うフェーズ 1 と応用段階の研究開発を行うフェーズ 2 から構成されており、この各ステージを通した提案をしていただきます。なお、この枠への応募課題に国際共同研究を含めることはできません。</p>	<p>【研究課題の募集を行う研究タイプ】</p> <p>(1)研究領域設定型研究</p> <p>あらかじめ、農林水産省が、農林水産政策推進上、重要性・緊急性が高いものとして、研究領域を設定し、これに基づき提案を求めるもの（平成 21 年度研究領域の詳細については公募要領を参照）</p> <p>(2)現場提案型研究</p> <p>地域に由来する技術シーズの活用、農工商連携・食料産業クラスター形成・新需要の創出に向けた地域の取組み、その他、地域ニーズの対応を図り、地域活性化に資するものとして提案を求めるもの</p> <p>(3)緊急対応型調査研究</p> <p>本事業のうち、年度途中の緊急的な課題に迅速かつ的確に対処するため、当該年度内に必要な調査研究を行うもの</p>	<p>【応募課題の要件】</p> <p>○地域の中堅・中小企業のもつニーズ（技術的課題）があること</p> <p>○当該ニーズに対応した大学・公設試・高専等の技術シーズを活用していること</p> <p>【応募申請者の要件】</p> <p>○公設試等が調整役となり、参画する中堅・中小企業、大学・公設試・高専等と連名で応募すること</p> <p>※複数の中堅・中小企業や大学・公設試・高専等が参加する場合でも応募が出来ます。効率的に研究開発を推進することが可能な共同研究体制を構築して下さい。</p> <p>○それぞれの機関の代表者の同意があること</p> <p>○参画する企業の資本金が 10 億円以下であり、研究開発を行っていること</p> <p>【申請方法】</p> <p>応募申請は、公設試等が中心となりインターネットの専用の Web ページ上からエントリーする「府省共通研究開発管理システム（e-Rad）」にて行います。</p>
採択件数	採択予定：技術シーズ開発型 25 課題程度、発展型 11 課題程度	<p>(平成 21 年度採択実績)</p> <p>(1)研究領域設定型研究と(2)現場提案型 採択 101 件、応募 345 件、倍率 3.4 倍</p> <p>(3)緊急対応型調査研究 第 1 回採択 1 件</p>	採択予定：64 課題程度 (平成 20 年度実績) 第 1 期実績：採択 109 件、応募 503 件、倍率 4.6 倍 第 2 期実績：採択 121 件、応募 375 件、倍率 3.1 倍
募集期間	平成 21 年 1 月 26 日～2 月 13 日（募集終了） 【期間延長】平成 21 年 2 月 17 日～3 月 9 日 ※期間延長は、発展型（ベンチャー育成枠）のみです。技術シーズ開発型研究及び発展型研究（一般枠）の提案は募集を終了しております。	<p>【平成 21 年度】平成 21 年 1 月 19 日～2 月 13 日（募集終了）</p> <p>【緊急調査研究第 1 回】平成 21 年 5 月 13 日～5 月 26 日（募集終了）</p> <p>【緊急調査研究第 2 回】平成 21 年 6 月 8 日～6 月 19 日（募集終了）</p>	【募集終了】平成 21 年 2 月 26 日～4 月 21 日
問い合わせ先	<p>独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 生物系特定産業技術研究支援センター</p> <p>〒105-0001 東京都港区虎ノ門 3-18-19 虎ノ門マリビル 10 階</p> <p>【技術シーズ開発型研究に関すること】</p> <p>新技術開発部 基礎研究課 TEL：03-3459-6569 FAX：03-3459-6564</p> <p>【発展型研究に関すること】</p> <p>新技術開発部 技術開発課 TEL：03-3459-6567 FAX：03-3459-6577</p> <p>URL：<a href="http://brain.naro.affrc.go.jp/">http://brain.naro.affrc.go.jp/</a></p> <p>※府省共通研究開発管理システム（e-Rad）による応募のみの受付（事前に研究機関登録が必要となりますので、ご注意ください）</p> <p>URL：<a href="http://www.e-rad.go.jp/">http://www.e-rad.go.jp/</a></p>	<p>農林水産省 農林水産技術会議事務局 研究推進課 産学連携室</p> <p>〒100-8950 東京都千代田区霞ヶ関 1-2-1 農林水産省本館 6 階南側</p> <p>TEL：03-3502-5530</p> <p>URL：<a href="http://www.s.affrc.go.jp/index.htm">http://www.s.affrc.go.jp/index.htm</a></p> <p>※本事業への応募は府省共通研究開発管理システム（e-Rad）を使用します。</p> <p>URL：<a href="http://www.e-rad.go.jp/">http://www.e-rad.go.jp/</a></p> <p>※「緊急対応型調査研究」についての応募は、府省共通研究開発管理システム（e-Rad）での受付は行いません。郵送もしくはご持参下さい。</p>	<p>※お問い合わせは、お近くの JST イノベーションプラザ・サテライト、または下記の東京本部まで</p> <p>独立行政法人科学技術振興機構 産学連携事業本部 地域事業推進部 事業推進課</p> <p>〒102-8666 東京都千代田区四番町 5-3</p> <p>TEL：03-5214-8419 FAX：03-5214-8487</p> <p>E-mail：<a href="mailto:jstsate@jst.go.jp">jstsate@jst.go.jp</a></p> <p>URL：<a href="http://www.jst.go.jp/">http://www.jst.go.jp/</a></p> <p>URL：<a href="http://www.jst.go.jp/chiiki/needs/index.html">http://www.jst.go.jp/chiiki/needs/index.html</a></p> <p>※応募の際は、府省共通研究開発管理システム（e-Rad）ポータルサイトをご利用下さい（事前登録が必要となります）。</p> <p>URL：<a href="http://www.e-rad.go.jp/">http://www.e-rad.go.jp/</a></p>
事業・公募案内	<p><a href="http://brain.naro.affrc.go.jp/tokyo/marumoto">http://brain.naro.affrc.go.jp/tokyo/marumoto</a>・・・</p> <p><a href="http://brain.naro.affrc.go.jp/tokyo/marumoto">http://brain.naro.affrc.go.jp/tokyo/marumoto</a>・・・（期間延長）</p>	<p><a href="http://www.s.affrc.go.jp/docs/press/081216.htm">http://www.s.affrc.go.jp/docs/press/081216.htm</a></p> <p><a href="http://www.s.affrc.go.jp/docs/press/090513_1.htm">http://www.s.affrc.go.jp/docs/press/090513_1.htm</a>（第 1 回緊急）</p> <p><a href="http://www.s.affrc.go.jp/docs/press/090608.htm">http://www.s.affrc.go.jp/docs/press/090608.htm</a>（第 2 回緊急）</p>	<a href="http://www.jst.go.jp/pr/info/info614/index.html">http://www.jst.go.jp/pr/info/info614/index.html</a>
採択実績	<a href="http://brain.naro.affrc.go.jp/tokyo/marumoto">http://brain.naro.affrc.go.jp/tokyo/marumoto</a> ・・・	<p><a href="http://www.s.affrc.go.jp/docs/press/090519_1.htm">http://www.s.affrc.go.jp/docs/press/090519_1.htm</a>（平成 21 年度）</p> <p><a href="http://www.s.affrc.go.jp/docs/press/090601.htm">http://www.s.affrc.go.jp/docs/press/090601.htm</a>（平成 21 年度第 1 回緊急）</p>	<p><a href="http://www.jst.go.jp/pr/info/info563/index.html">http://www.jst.go.jp/pr/info/info563/index.html</a>（平成 20 年度第 1 期）</p> <p><a href="http://www.jst.go.jp/pr/info/info606/index.html">http://www.jst.go.jp/pr/info/info606/index.html</a>（平成 20 年度第 2 期）</p>

事業名	イノベーション創出基礎的研究推進事業	グローバル COE プログラム	科学技術振興調整費のうち、地域再生人材創出拠点の形成
支援機関	農林水産省、独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構	文部科学省、独立行政法人日本学術振興会	文部科学省、独立行政法人科学技術振興機構
募集年度	平成 21 年度	平成 21 年度	平成 21 年度
事業開始	平成 20 年度	平成 19 年度	平成 18 年度
事業概要	<p>生物系特定産業技術研究支援センター（生研センター）では、農林水産業、飲食物品産業、醸造業等の生物系特定産業に関する研究開発における産学官の連携の要として、農林水産省が定める「農林水産研究基本計画」等に則しつつ、民間、大学、独立行政法人等の行う試験研究に対し、各般にわたる支援を実施しています。本事業では、基礎から応用まで一体的に推進することにより、革新的な技術の開発を促進し、生産性の飛躍的向上や農林水産物の高付加価値化等の生物系特定産業における諸課題の解決や革新的な技術の開発を促進するとともに、生物系特定産業の発展の可能性を広げる新たな事業の創出等のイノベーションにつなげることを目的として、下記の研究分野及び研究タイプを設置し、提案課題を公募します。</p> <p>【研究分野】</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.生物機能の解明による生産力の向上</li> <li>2.農林水産物・食品の高品質・高機能化</li> <li>3.農林水産物・食品の安全性の確保</li> <li>4.有用物質及びバイオマスの活用</li> <li>5.生物及び生態系の機能の解明及び高度利用</li> <li>6.工学的手法の高度利用</li> <li>7.国際的な食料・環境・エネルギー問題への寄与</li> <li>8.基盤的技術の開発</li> </ol>	我が国の大学院の教育研究機能を一層充実・強化し、世界最高水準の研究基盤の下で世界をリードする創造的な人材育成を図るため、国際的に卓越した教育研究拠点の形成を重点的に支援し、もって、国際競争力のある大学づくりを推進することを目的とする。	大学等が有する個性・特色を活かし、将来的な地域産業の活性化や地域の社会ニーズの解決に向け、地元で活躍し、地域の活性化に貢献し得る人材の育成を行うため、地域の大学等（又は地域の大学等のネットワーク）が地元の自治体との連携により、科学技術を活用して地域に貢献する優秀な人材を輩出する「地域の知の拠点」を形成し、地方分散型の多様な人材を創出するシステムを構築する。
交付金額	<p>【1件当たりの交付金額】</p> <p>(1)技術シーズ開発型研究</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・一般枠：研究規模 7000 万円以内/年（国際活動を行う場合は 8000 万円以内/年）</li> <li>・若手研究者育成枠：研究規模 3000 万円以内/年</li> </ul> <p>(2)発展型研究</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・一般枠：研究規模 6000 万円以内/年（国際共同研究を含む場合は 7000 万円以内/年）</li> <li>・ベンチャー育成枠：フェーズ 1 研究規模 500 万円以内、フェーズ 2 研究規模 3000 万円以内/年</li> </ul>	<p>【1件当たり助成額】</p> <p>5,000 万円～3 億円程度/年</p>	<p>【1件当たりの交付金額】</p> <p>原則として 5,000 万円/年（間接経費を含む）</p>
支援期間	<p>【研究期間】</p> <p>(1)技術シーズ開発型研究：一般枠 5 年以内、若手研究者育成枠 3 年以内</p> <p>(2)発展型研究：一般枠 3 年以内、ベンチャー育成枠（フェーズ 1：1 年以内、フェーズ 2：2 年以内）</p>	原則 5 年間	原則 5 年間
支援対象	<ul style="list-style-type: none"> <li>・日本国内の生物系特定産業分野の研究開発を実施する能力のある機関に所属する常勤の研究者であること</li> <li>・研究期間を通じて応募課題に関する研究に責務を負い、研究に力を注げること</li> </ul>	大学院研究科専攻（博士課程レベル）、大学附置の研究所、研究センター等	大学、大学共同利用機関又は高等専門学校

事業名	イノベーション創出基礎的研究推進事業	グローバル COE プログラム	科学技術振興調整費のうち、地域再生人材創出拠点の形成
利用条件	<p>【研究タイプ】</p> <p>(1) 技術シーズ開発型研究</p> <p>・一般枠：理工系を含む多様な研究者の独創的なアイデア、基礎科学や鉱工業、医療等他産業の研究分野における萌芽段階の研究を基に、生物系特定産業における諸課題の解決や革新的な技術の開発につながる新たな技術シーズを開発するための基礎研究が対象です。一般枠においては、国際共同研究を行うことが可能です。</p> <p>・若手研究者育成枠：一般枠と同様技術シーズを開発するための基礎研究であって、若手研究者（原則 39 歳以下）によるものが対象です。この枠では、過去の業績よりも柔軟な発想に基づく挑戦的な研究課題の提案を期待しています。この枠への応募課題に国際共同研究を含めることはできません。</p> <p>(2) 発展型研究</p> <p>・一般枠：「技術シーズ開発型研究」や他の研究制度等で開発された技術シーズを生物系特定産業における諸課題の解決や新たな事業の創出等のイノベーションにつなげるための応用研究が対象です。一般枠においては、国際共同研究を行うことが可能です。</p> <p>・ベンチャー育成枠：技術シーズを活かした新たな事業を創出するための応用段階の研究開発であって、研究開発ベンチャー企業に所属する研究者、又は研究開発ベンチャー企業設立の計画を有する研究者が主導するものが対象です。ベンチャー育成枠は、新規事業創出又は企業設立に関するフィージビリティスタディを行うフェーズ 1 と応用段階の研究開発を行うフェーズ 2 から構成されており、この各ステージを通した提案をしていただきます。なお、この枠への応募課題に国際共同研究を含めることはできません。</p>		<p>【対象とする取組】</p> <p>地域の自治体と連携した、科学技術を活用した地域再生のための人材の養成を目的とした取組（地域再生人材養成ユニット）として、大学等有する個性・特色を活かした以下の 2 つを対象とする。また、連携を図る自治体は、地域再生計画の策定・認定が必要。</p> <p>(A) 地域発の新産業創出や地域の活性化に貢献する人材の養成ユニット</p> <p>(B) 防災、環境、地域医療、少子・高齢化等の地域固有の社会ニーズに対応してその解決に貢献する人材の養成ユニット</p> <p>【地域再生人材養成ユニットとしての要件】</p> <p>以下の 4 点の要件をいずれも満たすこととする</p> <p>1.地域の大学等と地元の自治体（都道府県又は特別区を含む市町村）が共同で人材養成に取り組むものであること</p> <p>2.特定非営利活動法人（NPO）や地域住民、関係団体等を通じて、地域社会や地域産業のニーズを十分に把握した上でテーマを設定し、カリキュラムに十分反映させていること</p> <p>3.養成された人材が地元で活躍し、当該地域の活性化に貢献する「地域密着型」の取組であること</p> <p>4.上記 1.から 3.に掲げた事項の具体的な裏付けがあること（例：地元の自治体や民間事業者等が地域再生人材養成ユニットへ職員を派遣する、育成された人材を活用する等）</p>
採択件数	採択予定：技術シーズ開発型 25 課題程度、発展型 11 課題程度	(平成 21 年度実績：採択 9 件、応募 145 件、倍率 16.1 倍)	(平成 21 年度実績：採択 12 件、応募 46 件、倍率 3.8 倍)
募集期間	平成 21 年 1 月 26 日～2 月 13 日（募集終了） 【期間延長】平成 21 年 2 月 17 日～3 月 9 日 ※期間延長は、発展型（ベンチャー育成枠）のみです。技術シーズ開発型研究及び発展型研究（一般枠）の提案は募集を終了しております。	【募集終了】平成 21 年 1 月 9 日～2 月 18 日 ※日本学術振興会への申請書類提出期間：平成 21 年 2 月 17 日～2 月 18 日	【募集終了】平成 20 年 12 月 26 日～平成 21 年 2 月 26 日
問い合わせ先	<p>独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 生物系特定産業技術研究支援センター</p> <p>〒105-0001 東京都港区虎ノ門 3-18-19 虎ノ門マリビル 10 階</p> <p>【技術シーズ開発型研究に関すること】</p> <p>新技術開発部 基礎研究課 TEL：03-3459-6569 FAX：03-3459-6564</p> <p>【発展型研究に関すること】</p> <p>新技術開発部 技術開発課 TEL：03-3459-6567 FAX：03-3459-6577</p> <p>URL：<a href="http://brain.naro.affrc.go.jp/">http://brain.naro.affrc.go.jp/</a></p> <p>※府省共通研究開発管理システム（e-Rad）による応募のみの受付（事前に研究機関登録が必要となりますので、ご注意ください）</p> <p>URL：<a href="http://www.e-rad.go.jp/">http://www.e-rad.go.jp/</a></p>	<p>【審査・評価／申請書類提出先】</p> <p>独立行政法人日本学術振興会 研究事業部研究事業課 グローバル COE プログラム委員会事務局</p> <p>〒102-8471 東京都千代田区一番町 6 一番町事務室</p> <p>TEL：03-3263-0985 FAX：03-3237-8015</p> <p>URL：<a href="http://www.isps.go.jp/j-globalcoe/index.html">http://www.isps.go.jp/j-globalcoe/index.html</a></p> <p>※応募の際は、府省共通研究開発管理システム（e-Rad）ポータルサイトをご利用下さい（事前登録が必要となります）。</p> <p>URL：<a href="http://www.e-rad.go.jp/index.html">http://www.e-rad.go.jp/index.html</a></p> <p>【事業内容全般について】</p> <p>文部科学省 高等教育局 大学振興課 大学改革推進室 大学院係</p> <p>〒100-0013 東京都千代田区霞ヶ関 3-2-2</p> <p>TEL：03-5253-4111 FAX：03-6734-3387</p> <p>E-mail：<a href="mailto:daikaika@mext.go.jp">daikaika@mext.go.jp</a></p> <p>URL：<a href="http://www.mext.go.jp/a_menu/koutou/globalco...">http://www.mext.go.jp/a_menu/koutou/globalco...</a></p>	<p>【制度に関するお問い合わせ】</p> <p>文部科学省 科学技術・学術政策局 科学技術・学術戦略官付（推進調整担当）</p> <p>TEL：03-6734-4017 FAX：03-6734-4176</p> <p>〒100-8959 東京都千代田区霞ヶ関 3-2-2</p> <p>URL：<a href="http://www.mext.go.jp/a_menu/kagaku/chousei/...">http://www.mext.go.jp/a_menu/kagaku/chousei/...</a></p> <p>【書類作成・提出に関するお問い合わせ、公募要領の請求先】</p> <p>独立行政法人科学技術振興機構 科学技術振興調整費業務室</p> <p>〒102-0076 東京都千代田区五番町 5-1 市ヶ谷ビル 6 階</p> <p>TEL：03-5214-7521 FAX：03-5214-7522</p> <p>URL：<a href="http://www.ist.go.jp/shincho">http://www.ist.go.jp/shincho</a></p> <p>※応募の際は、府省共通研究開発管理システム（e-Rad）ポータルサイトをご利用下さい（事前登録が必要となります）。</p> <p>URL：<a href="http://www.e-rad.go.jp/index.html">http://www.e-rad.go.jp/index.html</a></p>
事業・公募案内	<a href="http://brain.naro.affrc.go.jp/tokyo/marumoto...">http://brain.naro.affrc.go.jp/tokyo/marumoto...</a> <a href="http://brain.naro.affrc.go.jp/tokyo/marumoto...">http://brain.naro.affrc.go.jp/tokyo/marumoto...</a> （期間延長）	<a href="http://www.isps.go.jp/j-globalcoe/index.html">http://www.isps.go.jp/j-globalcoe/index.html</a>	<a href="http://www.ist.go.jp/shincho/21koubo/21progr...">http://www.ist.go.jp/shincho/21koubo/21progr...</a>
採択実績	<a href="http://brain.naro.affrc.go.jp/tokyo/marumoto...">http://brain.naro.affrc.go.jp/tokyo/marumoto...</a>	<a href="http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/21/06/12...">http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/21/06/12...</a> （平成 21 年度）	<a href="http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/21/05/12...">http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/21/05/12...</a>

事業名	建設技術研究開発助成制度	広域的新事業支援ネットワーク拠点重点強化事業（広域的新事業支援連携等事業費補助金）	新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業
支援機関	国土交通省	経済産業省（各地域の経済産業局）	農林水産省
募集年度	平成 21 年度	平成 21 年度	平成 21 年度
事業開始	平成 13 年度	平成 17 年度	平成 20 年度
事業概要	<p>建設技術研究開発助成は、建設分野の技術革新を推進していくため、国土交通省の所掌する建設技術の高度化および国際競争力の強化、国土交通省が実施する研究開発の一層の推進等に資する技術研究開発に関する提案を研究者から広く公募する競争的資金制度です。優秀な提案に対し、予算の範囲内において、補助金（建設技術研究開発費補助金）を交付します。</p> <p>1.基礎・応用研究開発公募（概ね 10 年後の実用化を想定） 建設以外の他分野を含めた広範な学際領域との連携を積極的に行い、実社会での波及効果の大きい研究開発課題に対する公募</p> <p>2.実用化研究開発公募（概ね 5 年後の実用化を想定） 地域のニーズ等に応じた実用化に近い技術研究開発のテーマに対して、地域の産学官連携等により研究開発を推進する課題に対する公募。研究開発実施体制としては地域の産学官連携により、他地域への応用性のあるものとする</p> <p>3.政策課題解決型技術開発公募（概ね 2～3 年後の実用化を想定） 国土交通省が定めた具体的な推進テーマに対して、迅速に成果を社会に還元させることを目的とした政策課題解決型（トップダウン型）の公募。技術開発に関する研究の内容が我が国の直面する国土交通行政に係る課題の解決にとって、実用的な意義が大きいものであり、イノベーションを創出することが想定される研究または技術開発を強力的に推進する</p>	<p>経済産業省では、「産業クラスター計画」と連携・協働することが可能な電源地域を含めた広域的な人的ネットワークを形成するための拠点組織をモデル事業として実施いたします。</p> <p>【助成対象事業】</p> <p>(1) ネットワーク形成事業 (2) 新事業創出支援事業 (3) 連携促進事業 (4) 販路開拓支援事業 (5) 情報提供事業</p>	<p>農林水産業・食品産業の発展や地域の活性化などの農林水産政策の推進及び現場における課題の解決を図るため、実用化に向けた技術開発を提案公募方式により推進します。また、実用化に向けた具体的な研究目標の明示や行政部局との連携強化による研究の進行管理体制の構築等により、着実な実用技術の創出を目指します。</p> <p>【応募対象となる研究分野】</p> <p>(1)研究領域設定型研究 (2)現場提案型研究 (3)緊急対応型調査研究</p>
交付金額	<p>【1 件当たりの交付額】</p> <p>1.基礎・応用研究開発：A タイプ総額 5000 万円まで、B タイプ総額 2000 万円まで（但し、初年度公募申請額は 1000 万円未満） 2.実用化研究開発：総額 2000 万円まで 3.政策課題解決型技術開発：総額 3500 万円まで</p>	<p>【1 件当たり交付金額】</p> <p>補助率：10 分の 10 以内 事業規模（補助金の交付決定額）：300 万円以上</p>	<p>【1 件当たりの研究費上限（間接経費含む）】</p> <p>(1)研究領域設定型研究 5000 万円/年 (2)現場提案型研究 3000 万円/年 (3)緊急対応型調査研究 1000 万円/年</p>
支援期間	<p>【交付可能期間】</p> <p>1.基礎・応用研究開発：3 年間 2.実用化研究開発公募：2 年間 3.政策課題解決型技術開発公募：2 年間</p>	<p>【事業実施期間】</p> <p>交付決定日から平成 22 年 3 月 31 日まで</p>	<p>(1)研究領域設定型研究 1 課題につき原則として 3 年以内 (2)現場提案型研究 1 課題につき原則として 3 年以内 (3)緊急対応型調査研究 研究開始日が属する年度が終了するまでの間</p>
支援対象	<p>【申請者の資格】</p> <p>1. 大学等の研究機関の研究者 2. 研究を目的とする公益法人、または所属する研究者 3. 国土交通省が適当と認める法人または所属する研究者 ※民間の研究機関等または当該法人に所属する研究者も、「国土交通大臣が適当と認める法人」として申請が可能</p>	<p>【応募資格】</p> <p>・実施事業者は日本国において登記され、法人格を有していることが必要です。 ・共同提案による事業実施も可能です。ただし、各事業規模は、交付決定額が 300 万円以上とします。</p>	<p>【応募できる研究機関等】</p> <p>産学官連携による共同研究グループ(下記セクターのうち 2 以上のセクターの研究機関等から構成される共同研究グループでの応募が必須)</p> <p>セクター1. 都道府県、市町村、公立試験研究機関及び地方独立行政法人 セクター2. 大学及び大学共同利用機関 セクター3. 独立行政法人、特殊法人及び認可法人 セクター4. 民間企業、公益法人、NPO 法人、協同組合及び農林漁業者</p> <p>【中核機関及び研究総括者】</p> <p>研究課題の応募を行おうとする共同研究グループは、研究推進の中核となる中核機関（中核機関は、法人格を有していることが前提）を選定するとともに、中核機関の研究者の中から、研究課題の実施に責任を有する研究総括者を選定し配置する必要があります。</p>
利用条件	<p>・基礎・応用研究開発：B タイプは、平成 21 年 4 月 1 日時点で 40 歳未満（昭和 44 年 4 月 2 日以降に生まれたもの）であること、または常勤職（任期付き任用含む）に就いて研究経歴が 5 年以内の研究者</p>		<p>【研究課題の募集を行う研究タイプ】</p> <p>(1)研究領域設定型研究 あらかじめ、農林水産省が、農林水産政策推進上、重要性・緊急性が高いものとして、研究領域を設定し、これに基づき提案を求めるもの（平成 21 年度研究領域の詳細については公募要領を参照） (2)現場提案型研究 地域に由来する技術シーズの活用、農商工連携・食料産業クラスター形成・新需要の創出に向けた地域の取組み、その他、地域ニーズの対応を図り、地域活性化に資するものとして提案を求めるもの (3)緊急対応型調査研究 本事業のうち、年度途中の緊急的な課題に迅速かつ的確に対処するため、当該年度内に必要な調査研究を行うもの</p>

事業名	建設技術研究開発助成制度	広域的新事業支援ネットワーク拠点重点強化事業(広域的新事業支援連携等事業費補助金)	新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業
採択件数	(平成20年度実績) 基礎・応用研究開発：採択28件、応募93件、倍率3.3倍 実用化研究開発：採択9件、応募19件、倍率2.1倍 政策課題解決型技術開発：採択6件、応募25件、倍率4.2倍	(平成21年度実績：採択1件、応募2件、倍率2.0倍)	(平成21年度採択実績) (1)研究領域設定型研究と(2)現場提案型 採択101件、応募345件、倍率3.4倍 (3)緊急対応型調査研究 第1回採択1件
募集期間	【募集終了】平成21年1月21日～3月6日	【募集終了】平成21年4月20日～5月13日	【平成21年度】平成21年1月19日～2月13日(募集終了) 【緊急調査研究第1回】平成21年5月13日～5月26日(募集終了) 【緊急調査研究第2回】平成21年6月8日～6月19日(募集終了)
問い合わせ先	国土交通省 大臣官房 技術調査課 〒100-8918 東京都千代田区霞が関2-1-3 中央合同庁舎3号館 TEL：03-5253-8111 FAX：03-5253-1536 URL： <a href="http://www.mlit.go.jp/tec/index.html">http://www.mlit.go.jp/tec/index.html</a> ※応募の際は、府省共通研究開発管理システム(e-Rad)ポータルサイトをご利用下さい(事前登録が必要となります)。 URL： <a href="http://www.e-rad.go.jp/">http://www.e-rad.go.jp/</a>	経済産業省 経済産業政策局 地域経済産業グループ 地域技術課 〒100-8901 東京都千代田区霞が関1-3-1 TEL：03-3501-8794 URL： <a href="http://www.cluster.gr.jp/">http://www.cluster.gr.jp/</a>	農林水産省 農林水産技術会議事務局 研究推進課 産学連携室 〒100-8950 東京都千代田区霞が関1-2-1 農林水産省本館6階南側 TEL：03-3502-5530 URL： <a href="http://www.s.affrc.go.jp/index.htm">http://www.s.affrc.go.jp/index.htm</a> ※本事業への応募は府省共通研究開発管理システム(e-Rad)を使用します。 URL： <a href="http://www.e-rad.go.jp/">http://www.e-rad.go.jp/</a> ※「緊急対応型調査研究」についての応募は、府省共通研究開発管理システム(e-Rad)での受付は行いません。郵送もしくはご持参下さい。
事業・公募案内	<a href="http://www.mlit.go.jp/report/press/kanbo08_h...">http://www.mlit.go.jp/report/press/kanbo08_h...</a>	<a href="http://www.meti.go.jp/information/data/c9042...">http://www.meti.go.jp/information/data/c9042...</a>	<a href="http://www.s.affrc.go.jp/docs/press/081216.htm">http://www.s.affrc.go.jp/docs/press/081216.htm</a> <a href="http://www.s.affrc.go.jp/docs/press/090513_1.htm">http://www.s.affrc.go.jp/docs/press/090513_1.htm</a> (第1回緊急) <a href="http://www.s.affrc.go.jp/docs/press/090608.htm">http://www.s.affrc.go.jp/docs/press/090608.htm</a> (第2回緊急)
採択実績	<a href="http://www.mlit.go.jp/report/press/kanbo08_h...">http://www.mlit.go.jp/report/press/kanbo08_h...</a> (平成20年度)	<a href="http://www.meti.go.jp/information/data/c9052...">http://www.meti.go.jp/information/data/c9052...</a>	<a href="http://www.s.affrc.go.jp/docs/press/090519_1.htm">http://www.s.affrc.go.jp/docs/press/090519_1.htm</a> (平成21年度) <a href="http://www.s.affrc.go.jp/docs/press/090601.htm">http://www.s.affrc.go.jp/docs/press/090601.htm</a> (平成21年度第1回緊急)

事業名	地域イノベーション創出研究開発事業（委託費）	地域イノベーション創出総合支援事業（地域ニーズ即応型）	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験）」
支援機関	経済産業省	独立行政法人科学技術振興機構	独立行政法人科学技術振興機構
募集年度	平成 21 年度	平成 21 年度	平成 21 年度
事業開始	平成 20 年度	平成 20 年度	平成 17 年度
事業概要	<p>本事業は、地域において新産業・新事業を創出し、地域経済の活性化を図るため、産学官の研究開発リソースの最適な組み合わせからなる研究体を組織し、新製品開発を目指す実用化技術の研究開発を実施する。</p> <p>【研究開発テーマの募集区分】</p> <p>1.一般型 新製品開発を目指す実用化技術の研究開発支援を通じて、新たな需要を開拓し、地域の新産業・新事業の創出（農林水産事業に係るものを含む）に貢献しうる製品等の開発。ブロック経済を超える程度に広域的にイノベーションを起こす可能性のある研究開発。</p> <p>2.地域資源活用型 地域に存在する資源（地域資源、地域技術等）を活用した、新製品の開発を目指す実用化技術の研究開発を通じて、新たな需要を開拓し、地域の新産業・新事業の創出（農林水産事業に係るものを含む）に貢献しうる製品等の開発。県域を超えブロック経済にイノベーションを起こす可能性のある研究開発。 ※農林水産物の栽培方法等のみに係る開発、ヒトクローンに関する研究開発、臨床試験（前臨床試験を除く）を伴う研究開発、原子力に関する研究開発等は対象となりません。上記両区分において、農商工連携（商工業と農林水産業それぞれが持つ技術力、ノウハウ、資源等を結集して行うもの）による研究開発については、重点的に支援。</p>	<p>地域ニーズ即応型は、研究開発型中堅・中小企業の有するニーズ（技術的課題）に対し、大学や公設試験研究機関、高等専門学校等有する技術シーズをマッチングさせ、中堅・中小企業と大学・公設試・高専等が共同で研究開発を実施することにより、技術的課題を解決することを目的とし、新産業の創出及び地域の活性化を期待する制度です。本制度では、地域の公設試験研究機関等がプロジェクト運営の調整役として研究開発を推進し、これをプラザ・サテライトが支援します。</p> <p>【特徴】</p> <p>○地域の中堅・中小企業をもつニーズ（技術的課題）に対し、大学・公設試・高専等のシーズをマッチングさせ、技術的課題を解決することに主眼をおいた企業ニーズオリエンテッド型の研究開発を実施します。</p> <p>○地域に根ざした機関である公設試等が把握している企業ニーズや大学等シーズ、コーディネータ機能を積極的に活用します。</p> <p>○参画する中堅・中小企業、大学・公設試・高専等のそれぞれの機関において予算の執行が可能です。</p>	<p>シーズ発掘試験は、各府省・大学（知的財産本部・地域共同研究センター等）・地方自治体・独立行政法人・TLO 等に配置されている各種コーディネータ等が発掘した大学等の研究シーズの実用化を促し、イノベーションの創出に資するとともに、コーディネータ等の活動を支援することを目的としています。</p>
交付金額	<p>【1 件あたりの委託金額（原則）】</p> <p>1.一般型：1 年目 3 千万円超～1 億円以内※、2 年目 5 千万円以内</p> <p>2.地域資源活用型：1 年目 5 百万円超～3 千万円以内※、2 年目 2 千万円以内</p> <p>※上限額は 1 億円/件、又は 3 千万円/件ですが、多様な規模のプロジェクトの採択を予定しています。</p>	<p>【委託金額】</p> <p>1 研究開発課題当たり委託費合計額：1 年度 200～500 万円</p>	<p>【1 課題当たりの交付金額】</p> <p>A（発掘型）上限 200 万円（間接経費を含む）</p> <p>B（発展型）上限 500 万円（間接経費を含む）</p>
支援期間	<p>【研究開発期間】</p> <p>2 年以内（平成 23 年 3 月末まで）</p>	<p>【研究開発実施期間】</p> <p>平成 21 年 8 月～平成 22 年 3 月まで</p>	委託研究契約締結日から平成 22 年 3 月 31 日
支援対象	<p>【委託対象となる要件】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・地域の試験研究機関（大学、公的研究機関等）と民間企業等が研究体を構成すること</li> <li>・原則として複数の民間企業（中小企業の場合は 1 社でも可）を含む研究体であること</li> <li>・提案は管理法人が行うこと</li> </ul>	中堅・中小企業、大学、公設試験研究機関、高等専門学校等	研究を実施する「研究者」と、実用化を支援する「コーディネータ」が連名で応募します。研究者は、研究機関の「受託研究制度」を利用して研究を実施し、コーディネータは、実用化の観点から助言、情報提供などのサポートを行います。終了後も、研究者とコーディネータが連携して、他の実用化支援制度への展開／展示会等への参加／共同研究の推進など、実用化に向けた各種活動を進めていくことが期待されます。
利用条件		<p>【応募課題の要件】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○地域の中堅・中小企業のもつニーズ（技術的課題）があること</li> <li>○当該ニーズに対応した大学・公設試・高専等の技術シーズを活用していること</li> </ul> <p>【応募申請者の要件】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○公設試等が調整役となり、参画する中堅・中小企業、大学・公設試・高専等と連名で応募すること</li> <li>※複数の中堅・中小企業や大学・公設試・高専等が参加する場合でも応募が出来ます。効率的に研究開発を推進することが可能な共同研究体制を構築して下さい。</li> <li>○それぞれの機関の代表者の同意があること</li> <li>○参画する企業の資本金が 10 億円以下であり、研究開発を行っていること</li> </ul> <p>【申請方法】</p> <p>応募申請は、公設試等が中心となりインターネットの専用の Web ページ上からエントリーする「府省共通研究開発管理システム（e-Rad）」にて行います。</p>	<p>【応募要件】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・大学などに属する研究者の成果に基づく研究シーズのうち、コーディネーターらとともに実用化に向け展開するにあたって、試験研究を必要とする研究課題を対象とします。</li> <li>・応募は、研究シーズの研究者と、その実用化を支援するコーディネーターらが連名で申請書を作成し、コーディネーターらが府省共通研究開発管理システム（e-Rad）にて申請するものとします。</li> <li>・研究を受け入れるべき機関が、外部からの研究費受け入れが組織上できない場合、応募することができませんので、ご注意ください。申請にあたっては、事前に研究機関に対し、本要項記載の条件で研究の受託が可能であるか確認をお願いいたします。</li> <li>・シーズ発掘試験 B（発展型）につきましては、過去のシーズ発掘試験に採択された課題の発展型である必要があります。（ただし、平成 20 年度シーズ発掘試験 B（発展型）の採択課題は除きます。）</li> </ul>
採択件数	採択予定：一般型 16 件程度、地域資源型 40 件程度 （平成 20 年度実績：採択 138 件、応募 421 件、倍率 3.1 倍）	採択予定：64 課題程度 （平成 20 年度実績） 第 1 期実績：採択 109 件、応募 503 件、倍率 4.6 倍 第 2 期実績：採択 121 件、応募 375 件、倍率 3.1 倍	採択予定：A(発掘型)1100 課題、B(発展型)50 課題 （平成 20 年度実績：採択 1387 件、応募 6966 件、倍率 5.0 倍）
募集期間	【募集終了】 平成 21 年 4 月 1 日～4 月 22 日	【募集終了】 平成 21 年 2 月 26 日～4 月 21 日	【募集終了】 平成 21 年 1 月 15 日～3 月 16 日

事業名	地域イノベーション創出研究開発事業（委託費）	地域イノベーション創出総合支援事業（地域ニーズ即応型）	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（シーズ発掘試験）」
問い合わせ先	各地域の経済産業局（下記公募案内参照）へ ※または、 経済産業省 経済産業政策局 地域経済産業グループ 地域技術課 〒100-8901 東京都千代田区霞が関 1-3-1 TEL：03-3501-8794 FAX：03-3501-7917 URL： <a href="http://www.meti.go.jp/">http://www.meti.go.jp/</a> ※応募の際は、府省共通研究開発管理システム（e-Rad）ポータルサイトをご利用下さい（事前登録が必要となります）。 URL： <a href="http://www.e-rad.go.jp">http://www.e-rad.go.jp</a>	※お問い合わせは、お近くの JST イノベーションプラザ・サテライト、または下記の東京本部まで 独立行政法人科学技術振興機構 産学連携事業本部 地域事業推進部 事業推進課 〒102-8666 東京都千代田区四番町 5-3 TEL：03-5214-8419 FAX：03-5214-8487 E-mail： <a href="mailto:jstsate@jst.go.jp">jstsate@jst.go.jp</a> URL： <a href="http://www.jst.go.jp/">http://www.jst.go.jp/</a> URL： <a href="http://www.jst.go.jp/chiiki/needs/index.html">http://www.jst.go.jp/chiiki/needs/index.html</a> ※応募の際は、府省共通研究開発管理システム（e-Rad）ポータルサイトをご利用下さい（事前登録が必要となります）。 URL： <a href="http://www.e-rad.go.jp/">http://www.e-rad.go.jp/</a>	お近くの「JST イノベーションプラザ」および「JST イノベーションサテライト」 URL： <a href="http://www.jst.go.jp/plaza/contact.html">http://www.jst.go.jp/plaza/contact.html</a> または下記まで 独立行政法人科学技術振興機構 〒102-8666 東京都千代田区四番町 5-3 サイエンスプラザ 産学連携推進本部 地域事業推進部 地域第一課 TEL：03-5214-8419 FAX：03-5214-8487 E-mail： <a href="mailto:chiikibu@jst.go.jp">chiikibu@jst.go.jp</a> URL： <a href="http://www.jst.go.jp/chiiki/index.html">http://www.jst.go.jp/chiiki/index.html</a> ※応募の際は、府省共通研究開発管理システム（e-Rad）ポータルサイトをご利用下さい（事前登録が必要となります）。 URL： <a href="http://www.e-rad.go.jp/index.html">http://www.e-rad.go.jp/index.html</a>
事業・公募案内	<a href="http://www.meti.go.jp/policy/local_economy/t...">http://www.meti.go.jp/policy/local_economy/t...</a>	<a href="http://www.jst.go.jp/pr/info/info614/index.html">http://www.jst.go.jp/pr/info/info614/index.html</a>	<a href="http://www.jst.go.jp/pr/info/info599/index.html">http://www.jst.go.jp/pr/info/info599/index.html</a>
採択実績	<a href="http://www.meti.go.jp/press/20080616008/2008...">http://www.meti.go.jp/press/20080616008/2008...</a> （平成 20 年度）	<a href="http://www.jst.go.jp/pr/info/info563/index.html">http://www.jst.go.jp/pr/info/info563/index.html</a> （平成 20 年度第 1 期） <a href="http://www.jst.go.jp/pr/info/info606/index.html">http://www.jst.go.jp/pr/info/info606/index.html</a> （平成 20 年度第 2 期）	<a href="http://www.jst.go.jp/pr/info/info525/index.html">http://www.jst.go.jp/pr/info/info525/index.html</a> （平成 20 年度）

事業名	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム（育成研究）」	地球環境保全等試験研究費（公害防止等試験研究費）	環境研究・技術開発等推進費
支援機関	独立行政法人科学技術振興機構	環境省	環境省
募集年度	平成 21 年度	平成 20 年度（継続課題のみで新規募集無し）	平成 21 年度
事業開始	平成 14 年度	平成 15 年度	平成 13 年度
事業概要	地域の産学官共同研究により、大学など（※）の研究成果を企業化に向けて育成し、地域におけるイノベーションの創出を目指します。 ※国公立大学、大学共同利用機関、高等専門学校、国立試験研究機関、公立試験研究機関、研究を行っている特殊法人・独立行政法人・公益法人。	環境省設置法第 4 条第 3 号の規定に基づき、関係府省の試験研究機関が実施する公害の防止並びに自然環境の保護及び整備に関する試験研究費を「地球環境保全等試験研究費（公害防止等試験研究費）」として環境省において一括して予算計上し、その配分を通じて国の環境保全に関する試験研究の総合調整を図るもの。環境行政のニーズに対応するため、「試験研究の重点的強化を図る必要がある事項」を毎年度定めるとともに、関連する研究分野ごとに「総合研究プロジェクト」を編成し、試験研究の総合的推進を図っている。また、これらの事務を行うに当たっては、有識者からなる総合研究開発推進会議で検討することとしている。さらに、平成 5 年度より地域に根ざした環境問題のうち、人材や設備等の面から地方公共団体が単独で取り組むのが困難な研究課題について、地方公共団体の試験研究機関と関係府省の試験研究機関が共同で研究する「地域密着型研究」を一括計上予算の中で実施している。	持続可能な 21 世紀社会の構築、環境と経済の好循環に向けて、環境分野の研究・技術開発は重要な要素のひとつである。このため、広く産学官などの英知を活用した研究開発の提案を募り、優秀な提案に対して研究開発を支援することにより、環境研究・技術開発の推進を図る。 【対象分野】 ・大気・都市環境 ・水・土壌環境 ・自然環境 ・リスク評価・管理
交付金額	【1 件当たりの交付金額】 2600 万円以内/年	年間 1 課題当たり平均 2,000 万円程度	【研究開発領域ごとの研究開発費の規模（1 件当たりの交付金額）】 ・戦略一般研究：2500 万円以内/年 ・戦略一般研究のうち「地域枠」：2500 万円以内/年 ・戦略一般研究のうち「若手研究枠」：400 万円以内/年 ・戦略一般研究のうち「統一的・総合的研究枠」：2500 万円以内/年 ・戦略一般研究のうち「環境ナノテクノロジー研究枠」：2500 万円以内/年 ・戦略指定研究：4000 万円以内/年 追加募集 ・戦略一般研究のうち「次年度の研究課題申請を準備することを目的とする調査研究」：400 万円以内/年
支援期間	【研究期間】 2 年間または 3 年間	3～5 年（現行）	原則として 3 年 追加募集 ・戦略一般研究のうち「次年度の研究課題申請を準備することを目的とする調査研究」：1 年間
支援対象	【申請者の要件】 申請者は以下の要件を満たす必要があります。 (1)代表研究者 ・研究課題の基となる研究成果の創出にかかわった者であること（原権利が特許の場合はその発明者であること） ・研究期間中、日本国内の大学等に常勤の研究者として所属していること (2)共同研究企業 ・大学等の研究成果を利用して企業化するにあたり、必要となる研究基盤や体制を有していること ・企業に所属する研究者が研究課題の開発分担研究者となること ・国内に法人格を有すること	国立試験研究機関、独立行政法人試験研究機関	【応募者の要件】 応募者（研究開発代表者）は、次のア～キに掲げる試験研究機関等に研究者として所属する者とする。ただし、非常勤の場合は、予定される研究期間について所属研究機関に雇用されることが保証されていること。 ア. 国立試験研究機関 イ. 独立行政法人試験研究機関 ウ. 学校教育法に基づく大学（大学共同利用機関法人を含む。）、高等専門学校（独立行政法人国立高等専門学校機構を含む。） エ. 特別な法律により設立された法人又は民法第 34 条の規定に基づき設立された法人の試験研究機関・部門 オ. 地方公共団体の試験研究機関 カ. 民間企業（日本の法人格を有すること。）の試験研究機関・部門 キ. その他日本の法人格を有する組織の試験研究機関・部門 ※その他の条件については、公募要領を参照のこと
利用条件	【対象課題】 ・大学などの研究成果（特許）に基づくものであり、数年以内に企業化開発に移行することが見込まれ、企業化に向けての試験研究を必要とする課題 【応募課題の要件】 ・大学などの研究成果に基づいていること ・企業化を前提とした試験研究であること ・企業化の際に実施許諾が可能な特許（原権利）を出願済みあるいは出願準備中であること ・企業化の障害となる先願特許等や他の企業化実施例がなく、研究課題の実施及び将来的な企業化について、原権利の所有者の同意が得られていること ・大学等と企業との連名で応募すること		

事業名	地域イノベーション創出総合支援事業「重点地域研究開発推進プログラム(育成研究)」	地球環境保全等試験研究費(公害防止等試験研究費)	環境研究・技術開発等推進費
採択件数	(平成20年度実績:採択37件、応募302件、倍率8.2倍)	(平成20年実施:58課題)	採択予定:若干数 (平成20年度採択実績:戦略一般領域13件、戦略指定領域9件)
募集期間	【募集終了】平成21年6月24日～8月6日		【募集】平成20年10月10日～11月10日(募集終了) 【追加募集】平成21年2月27日～3月13日
問い合わせ先	独立行政法人科学技術振興機構 イノベーション推進本部 地域事業推進部 地域第一課 〒102-8666 東京都千代田区四番町5-3 サイエンスプラザ TEL:03-5214-8419 FAX:03-5214-8487 URL: <a href="http://www.jst.go.jp/plaza/">http://www.jst.go.jp/plaza/</a> 【プラザおよびサテライトの連絡先一覧】 URL: <a href="http://www.jst.go.jp/plaza/contact.html">http://www.jst.go.jp/plaza/contact.html</a> ※本事業への応募にあたっては、事前に「e-Rad(府省共通研究開発管理システム)」への「所属研究機関の登録」「研究者の登録」が必要となります。 URL: <a href="http://www.e-rad.go.jp/">http://www.e-rad.go.jp/</a>	環境省 総合環境政策局 〒100-8975 東京都千代田区霞が関1-2-2 中央合同庁舎5号館 TEL:03-3581-3351(代表) URL: <a href="http://www.env.go.jp/index.html">http://www.env.go.jp/index.html</a>	環境省 総合環境政策局 総務課 環境研究技術室 〒100-8975 東京都千代田区霞が関1-2-2 中央合同庁舎5号館 TEL:03-3581-3351(代表) 内線6246 E-mail: <a href="mailto:so-suishin@env.go.jp">so-suishin@env.go.jp</a> URL: <a href="http://www.env.go.jp/policy/tech/suishin.html">http://www.env.go.jp/policy/tech/suishin.html</a> ※応募は、「e-Rad(府省共通研究開発管理システム)」よりの受付となります。 URL: <a href="http://www.e-rad.go.jp/">http://www.e-rad.go.jp/</a>
事業・公募案内	<a href="http://www.jst.go.jp/chiiki/ikusei/index.htm">http://www.jst.go.jp/chiiki/ikusei/index.htm</a> . . .	<a href="http://www.env.go.jp/policy/tech/kogai.html">http://www.env.go.jp/policy/tech/kogai.html</a>	<a href="http://www.env.go.jp/policy/tech/suishin.html">http://www.env.go.jp/policy/tech/suishin.html</a> <a href="http://www.env.go.jp/policy/tech/koubo.html">http://www.env.go.jp/policy/tech/koubo.html</a> (追加募集)
採択実績	<a href="http://www.jst.go.jp/pr/info/info603/index.html">http://www.jst.go.jp/pr/info/info603/index.html</a> (平成20年度)	<a href="http://www.env.go.jp/policy/tech/kogai.html">http://www.env.go.jp/policy/tech/kogai.html</a>	<a href="http://www.env.go.jp/policy/tech/h21shinki.pdf">http://www.env.go.jp/policy/tech/h21shinki.pdf</a>

事業名	都市エリア産学官連携促進事業（一般型・発展型）
支援機関	文部科学省
募集年度	平成 21 年度
事業開始	平成 14 年度（発展型は平成 17 年度開始）
事業概要	<p>（一般型） 地域の主体性のもと、大学等の「知恵」を活用して新技術シーズを生み出し、自律的かつ継続的な産学官連携基盤を構築することにより、新規事業の創出、研究開発型の地域産業の育成を図ることを目的とする。</p> <p>（発展型） これまでの産学官連携促進に係る取組（都市エリア事業（一般型）もしくは同等程度の取組）により、特に優れた成果をあげ、かつ、今後の発展が見込まれる地域において、これまでの成果を活かした産学官連携活動を展開することにより、持続的な新事業の創出等を目的とする。</p>
交付金額	<p>【1件当たりの交付金額】 国と地域のマッチングファンド方式 （一般型） ・地域（地方公共団体、民間事業者等、地域における関係機関等）が、国委託費の1/2以上に相当する事業を3会計年度実施する。 ・国委託費は、原則として、1年度あたり1億円程度とし、3年度総額で3億円程度とする。 ・事業計画に応じて各年度の予算額を調整。</p> <p>（発展型） ・地域（地方公共団体、民間事業者等、地域における関係機関等）が、国委託費と同額またはそれ以上に相当する事業を3又は5会計年度間の事業として実施する。 ・国委託費は、原則として、1年度あたり2億円程度とし、事業実施期間に応じて3年度総額で6億円又は5年度総額で10億円程度とする。 ・事業計画に応じて各年度の予算額を調整。</p>
支援期間	<p>（一般型）契約日～平成 22 年 3 月 31 日 ※事業実施期間は、3 会計年度間とし、毎年度契約を締結する。</p> <p>（発展型）契約日～平成 22 年 3 月 31 日 ※事業実施期間は、3 又は 5 会計年度間とし、毎年度契約を締結する。</p>
支援対象	企画提案者は都道府県又は政令指定都市に限定 （但し、委託契約は提案者が指定した中核機関と締結する）
利用条件	<p>【提案の要件】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・提案できる数は、各地方公共団体につき、1件に限る。</li> <li>・都市エリア産学官連携促進事業（連携基盤整備型）を終了した都道府県及び政令指定都市は、一般型に提案できるものとする。</li> <li>・都市エリア産学官連携促進事業（一般型）もしくは同等程度の取組を終了した都道府県及び政令指定都市は、発展型に提案できるものとする。</li> </ul>
採択件数	（平成 21 年度採択実績：一般型 6 地域、発展型 3 地域）
募集期間	【募集終了】平成 21 年 1 月 21 日～2 月 9 日
問い合わせ先	<p>文部科学省 科学技術・学術政策局 科学技術・学術戦略官付（地域科学技術担当） 〒100-8959 東京都千代田区霞ヶ関 3-2-2 中央合同庁舎第 7 号館東館（15 階） TEL：03-6734-4023（直通） FAX：03-6734-4172 E-mail：<a href="mailto:tiiki@mext.go.jp">tiiki@mext.go.jp</a> URL：<a href="http://www.mext.go.jp/">http://www.mext.go.jp/</a> ※応募の際は、府省共通研究開発管理システム（e-Rad）ポータルサイトをご利用下さい（事前登録が必要となります）。 URL：<a href="http://www.e-rad.go.jp/index.html">http://www.e-rad.go.jp/index.html</a></p>
事業・公募案内	<p><a href="http://www-gpo3.mext.go.jp/MextKoboHP/list/k...">http://www-gpo3.mext.go.jp/MextKoboHP/list/k...</a>（一般型） <a href="http://www-gpo3.mext.go.jp/MextKoboHP/list/k...">http://www-gpo3.mext.go.jp/MextKoboHP/list/k...</a>（発展型）</p>
採択実績	<p><a href="http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/21/04/12...">http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/21/04/12...</a>（平成 21 年年度一般型） <a href="http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/21/04/12...">http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/21/04/12...</a>（平成 21 年年度発展型）</p>

### 5.3 バイオマス関連プロジェクト予算の概要

バイオマス関連プロジェクトの予算に関しては、平成 15 年度から開始された「バイオマス・ニッポン総合戦略推進アドバイザーグループ」<sup>180</sup>の会合において例年、『バイオマス関係予算の概要』という資料が提示され、関係省庁がその中で、バイオマス関連予算の状況を報告している。最新となる平成 21 年度と同資料の抜粋を図 5.3.1 と図 5.3.2 に示す<sup>181</sup>。

ここでは、「バイオマス・ニッポン総合戦略推進アドバイザーグループ」の第 1 回会合（平成 15 年 4 月 9 日）から至近の第 13 回会合（平成 21 年 6 月 4 日）までに提示された予算概要資料を用いて、各省庁・事業における予算推移を整理した。その結果を表 5.3.1 に示す。

<div style="border: 1px solid black; width: fit-content; margin: 0 auto; padding: 2px;">参考資料 1</div> <p style="text-align: center;">平成 21 年度 バイオマス関係予算の概要</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px auto; width: 80%;"> <p>1. バイオマス関係予算 総括表……………1 事業別内訳表……………2</p> <p>2. バイオマス関係事業の概要 総務省……………5 文部科学省……………7 農林水産省……………9 経済産業省……………17 国土交通省……………21 環境省……………25</p> </div> <p style="text-align: center;">平成 21 年 3 月 バイオマス・ニッポン総合戦略推進会議 バイオマス・ニッポン総合戦略推進アドバイザーグループ 会合</p>																																															
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>1. バイオマス関係予算</p> <p style="text-align: center;">平成 21 年度バイオマス関係予算 ＜総括表＞</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">省庁名</th> <th rowspan="2">平成 21 年度 予算額</th> <th colspan="3">平成 20 年度</th> </tr> <tr> <th>うち、 バイオ燃料関係予算</th> <th>予算額</th> <th>うち、 バイオ燃料関係予算</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>総務省消防庁</td> <td>31 百万円</td> <td>31 百万円</td> <td>33 百万円</td> <td>33 百万円</td> </tr> <tr> <td>文部科学省</td> <td>2,266 百万円の内数</td> <td>2,266 百万円の内数</td> <td>1,015 百万円の内数</td> <td>1,015 百万円の内数</td> </tr> <tr> <td>農林水産省</td> <td>26,080 百万円</td> <td>22,509 百万円の内数</td> <td>26,400 百万円</td> <td>22,945 百万円の内数</td> </tr> <tr> <td>経済産業省</td> <td>49,331 百万円の内数</td> <td>8,862 百万円の内数</td> <td>51,550 百万円の内数</td> <td>8,150 百万円の内数</td> </tr> <tr> <td>国土交通省</td> <td>61,862 百万円の内数</td> <td>879 百万円の内数</td> <td>61,312 百万円の内数</td> <td>1,152 百万円の内数</td> </tr> <tr> <td>環境省</td> <td>64,120 百万円の内数</td> <td>63,742 百万円の内数</td> <td>60,058 百万円の内数</td> <td>59,528 百万円の内数</td> </tr> <tr> <td>合計</td> <td>203,690 百万円の内数</td> <td>98,289 百万円の内数</td> <td>200,368 百万円の内数</td> <td>92,823 百万円の内数</td> </tr> </tbody> </table> </div>					省庁名	平成 21 年度 予算額	平成 20 年度			うち、 バイオ燃料関係予算	予算額	うち、 バイオ燃料関係予算	総務省消防庁	31 百万円	31 百万円	33 百万円	33 百万円	文部科学省	2,266 百万円の内数	2,266 百万円の内数	1,015 百万円の内数	1,015 百万円の内数	農林水産省	26,080 百万円	22,509 百万円の内数	26,400 百万円	22,945 百万円の内数	経済産業省	49,331 百万円の内数	8,862 百万円の内数	51,550 百万円の内数	8,150 百万円の内数	国土交通省	61,862 百万円の内数	879 百万円の内数	61,312 百万円の内数	1,152 百万円の内数	環境省	64,120 百万円の内数	63,742 百万円の内数	60,058 百万円の内数	59,528 百万円の内数	合計	203,690 百万円の内数	98,289 百万円の内数	200,368 百万円の内数	92,823 百万円の内数
省庁名	平成 21 年度 予算額	平成 20 年度																																													
		うち、 バイオ燃料関係予算	予算額	うち、 バイオ燃料関係予算																																											
総務省消防庁	31 百万円	31 百万円	33 百万円	33 百万円																																											
文部科学省	2,266 百万円の内数	2,266 百万円の内数	1,015 百万円の内数	1,015 百万円の内数																																											
農林水産省	26,080 百万円	22,509 百万円の内数	26,400 百万円	22,945 百万円の内数																																											
経済産業省	49,331 百万円の内数	8,862 百万円の内数	51,550 百万円の内数	8,150 百万円の内数																																											
国土交通省	61,862 百万円の内数	879 百万円の内数	61,312 百万円の内数	1,152 百万円の内数																																											
環境省	64,120 百万円の内数	63,742 百万円の内数	60,058 百万円の内数	59,528 百万円の内数																																											
合計	203,690 百万円の内数	98,289 百万円の内数	200,368 百万円の内数	92,823 百万円の内数																																											

図 5.3.1 『バイオマス関係予算の概要』資料の抜粋(1)

<sup>180</sup> [http://www.maff.go.jp/j/biomass/b\\_advisory/index.html](http://www.maff.go.jp/j/biomass/b_advisory/index.html)

<sup>181</sup> バイオマス・ニッポン総合戦略推進アドバイザーグループ 第 12 回会合（平成 21 年 3 月 24 日）、

[http://www.maff.go.jp/j/biomass/b\\_advisory/ad\\_dai12/index.html](http://www.maff.go.jp/j/biomass/b_advisory/ad_dai12/index.html)

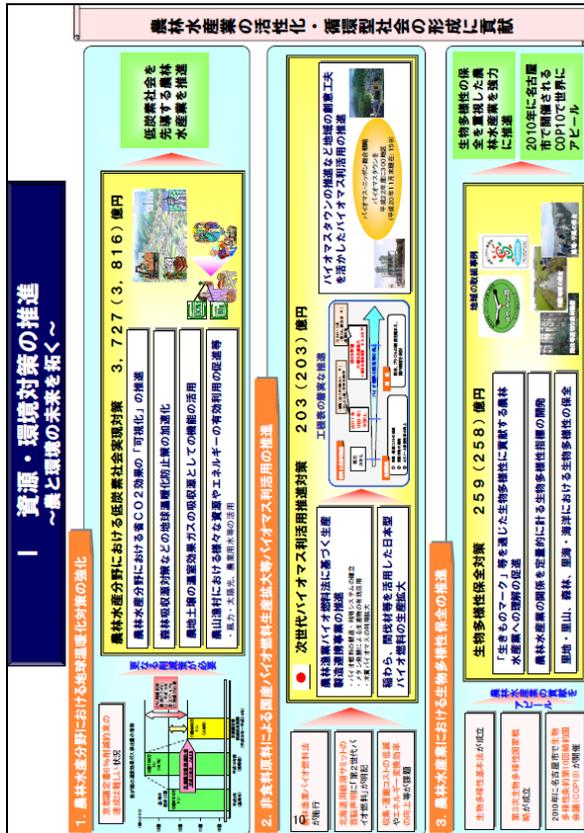
参考資料 1 平成 21 年度バイオマス関係予算の概要

[http://www.maff.go.jp/j/biomass/b\\_advisory/ad\\_dai12/pdf/ref\\_data1.pdf](http://www.maff.go.jp/j/biomass/b_advisory/ad_dai12/pdf/ref_data1.pdf)

平成21年度バイオマス関係予算  
〈内訳表〉

省庁名	事業・施策名	平成21年度 予算額	平成20年度 予算額	バイオ燃料 関係予算
総務省	新技術・新素材の活用等に対応した安全対策の確保	31百万円	33百万円	○
文部科学省	戦略的創発型研究推進事業 研究領域「二酸化炭素排出抑制に関する革新的技術の創出の一環」	1,112百万円の内数	515百万円の内数	○
文部科学省	地球規模課題対応国際科学技術協力事業	1,154百万円の内数	500百万円の内数	○
農林水産省	地域バイオマス利活用交付金	11,164百万円	11,129百万円	○
農林水産省	ソフトセルロース利活用技術確立事業	2,467百万円	3,237百万円	○
農林水産省	森林資源活用型ニュービジネス創出対策事業	750百万円	1,200百万円	○
農林水産省	地域活性化のためのバイオマス利用技術の開発 (日本型バイオ燃料研究開発を含む。)	1,414百万円	1,450百万円	○
農林水産省	バイオ燃料地域利用モデル実証事業	2,914百万円	2,921百万円	○
農林水産省	産地地産型バイオディーゼルの燃料農機農具利用地 域モデル構築事業	49百万円	57百万円	○
農林水産省	進取等省エネルギー安全推進事業 (バイオマス燃料自給自足推進事業を含む。)	835百万円	924百万円	○
農林水産省	水産業振興型技術開発事業	92百万円	108百万円	○
農林水産省	家庭排せつ物メタン発酵等利用システム構築事業	21百万円	43百万円	○
農林水産省	CO2排出削減のための木質バイオマス利用拡大対 策事業	121百万円	0百万円	○
農林水産省	社会的協働による山村再生対策推進事業	350百万円	0百万円	○
農林水産省	省石油型施設園芸技術導入推進事業	1,011百万円	375百万円	○
農林水産省	バイオマス利活用加速化事業	24百万円	55百万円	○
農林水産省	地域資源活用型エコフード増産推進事業	250百万円	0百万円	○
農林水産省	環境バイオマス総合対策推進事業	309百万円	352百万円	○
農林水産省	外食産業バイオマス利用実証事業	34百万円	40百万円	○
農林水産省	東アジアにおけるバイオマススタウン構想普及支援事 業	13百万円	19百万円	○

省庁名	事業・施策名	平成21年度 予算額	平成20年度 予算額	バイオ燃料 関係予算
農林水産省	バイオマススタウン形成促進支援調査事業	222百万円	260百万円	○
農林水産省	広域連携型バイオマス利活用推進事業	169百万円	221百万円	○
農林水産省	高機能たい肥活用エコ農業支援事業	139百万円	139百万円	○
農林水産省	高機能たい肥活用エコ農業支援推進事業	3百万円	3百万円	○
農林水産省	畜産連携総合整備事業	2,294百万円	2,290百万円	○
農林水産省	食品管理資源の再生利用等実証調査	16百万円	17百万円	○
農林水産省	食品管理資源経済的処理システム実証事業	27百万円	33百万円	○
農林水産省	バイオマスプラスチック容器包装再商品化システム構 築事業	11百万円	12百万円	○
農林水産省	エコフード緊急増産対策事業	663百万円	792百万円	○
農林水産省	エコフード(食品残さ飼料)対策推進事業	9百万円	27百万円	○
農林水産省	木材抽出成分高度利用技術開発事業	45百万円	0百万円	○
農林水産省	森林整備効率化支援機械開発事業	101百万円	123百万円	○
農林水産省	木質資源利用型ニュービジネス創出事業	542百万円	573百万円	○
経済産業省	バイオマスエネルギー等高出力発電技術開発 (新エネルギー技術研究開発の一部)	7,960百万円の内数	7,700百万円の内数	○
経済産業省	セルロース系エネルギー革新的システム開発事 業	776百万円	0百万円	○
経済産業省	植物機能を活用した高度モノ作り基盤技術開発	1,429百万円	1,596百万円	○
経済産業省	微生物機能を活用した環境調和型製造基盤技術開 発	545百万円	1,105百万円	○
経済産業省	E3地域流通スタンダードモデル創成事業	126百万円	450百万円	○
経済産業省	バイオマスエネルギー地域システム化実証事業	740百万円	760百万円	○
経済産業省	バイオマス等未活用エネルギー実証試験事業	171百万円の内数	392百万円の内数	○
経済産業省	新エネルギー等導入加速化支援対策費補助金	36,439百万円の内数	37,826百万円の内数	○
経済産業省	バイオマス等未活用エネルギー事業調査	335百万円の内数	335百万円の内数	○
経済産業省	地域新エネルギー・省エネルギービジョン策定等事業	540百万円の内数	900百万円の内数	○



平成21年度 バイオマス関連予算概算決定の概要

平成21年1月  
経済産業省

平成21年度概算決定額(平成20年度予算額)

- 1. 技術開発**
  - ①新エネルギー技術研究開発 7,960百万円(7,700百万円)の内数  
バイオマスエネルギー等高出力発電技術開発  
セルロース系原料から、より低コストで高効率なエネルギー化を可能にする等、先進的・革新的な  
新技術の確立を目指す。
  - ②セルロース系エネルギー革新的生産システム開発事業 776百万円(新規)  
経済的かつ安定的な実用化レベルのバイオエタノール生産拡大モデル構築を目指す。食料と競  
合しないセルロース系資源作物の栽培から、バイオエタノールの製造に至る、革新的技術を用いた  
一貫生産システムの開発を行う。
  - ③植物機能を活用した高度モノ作り基盤技術開発 1,429百万円(1,596百万円)  
ゲノム情報や組換え技術を活用し、動物等と比べ、安全性が高く、生産コストが安いといった  
優位性を有する植物機能を利用した技術基盤を構築する。  
具体的には、植物の代謝に関する情報基盤を構築するとともに、工業原料や、高機能タン  
パク質などの高付加価値物質を生産するための組換え植物の開発や、閉鎖型人工環境下での  
高効率な栽培システムの構築などを推進する。
  - ④微生物機能を活用した環境調和型製造基盤技術開発 545百万円(1,105百万円)  
ゲノム情報等を活用し、産業利用に有用な微生物を創製する技術や、微生物を活用して有用  
物質を体系的かつ効率的に生産する技術(バイオリファイナリー)等モノづくり技術基盤を開発する  
ほか、微生物群の構成や配置等を制御し、産業廃水・廃棄物の高効率なバイオ処理技術の開発  
を行う。

図 5.3.2 『バイオマス関係予算の概要』資料の抜粋(2)

表 5.3.1 バイオマス関係予算の推移

省庁名	事業・施策名	平成21年度予算額	平成20年度予算額	平成19年度予算	平成18年度予算	平成17年度予算	平成16年度予算	平成15年度予算	平成14年度補正予算
総務省消防庁	新技術・新素材の活用等に対応した安全対策の確保(バイオマス燃料の安全対策の検討)	31百万円	33百万円		84百万円の内数	76百万円			
総務省消防庁	新技術・新素材の活用等に対応した安全対策の確保(バイオマス燃料の安全性の確保)			52百万円の内数					
総務省消防庁	新技術・新素材の活用等に対応した安全対策の確保(バイオ燃料の安全利用に関する調査検討)						87百万円の内数		
文部科学省	戦略的創造研究推進事業 研究領域「二酸化炭素排出抑制に資する革新的技術の創出」の一部	1,112百万円の内数	515百万円の内数						
文部科学省	地球規模課題対応国際科学技術協力事業	1,154百万円の内数	500百万円の内数						
文部科学省	科学技術連携施策群の効果的・効率的な推進の一部(科学技術振興調整費)			2,300百万円の内数	2,400百万円の内数				
文部科学省	環境分子科学研究第Ⅱ期(独)理化学研究所)			249百万円	266百万円	運営費交付金の内数	運営費交付金の内数(新規)		
文部科学省	都市エリア産学官連携促進事業(実施地域の一部)			4,510百万円の内数	4,000百万円の内数	3,600百万円の内数	3,400百万円の内数	3,100百万円の内数	
文部科学省	一般・産業廃棄物・バイオマスの複合処理・再資源化プロジェクト			306百万円	475百万円	475百万円	475百万円	450百万円	3,300百万円
文部科学省	21世紀型革新的先端ライフサイエンス技術開発プロジェクト(うちライフサイエンス安全研究部分)						2,394百万円の内数	2,845百万円の内数	
農林水産省	地域バイオマス利活用交付金	11,164百万円	11,129百万円	14,346百万円(優先枠含む)	-				
農林水産省	ソフトセルロース利活用技術確立事業	2,467百万円	3,237百万円						
農林水産省	森林資源活用型ニュービジネス創造対策事業	750百万円	1,200百万円						
農林水産省	地域活性化のためのバイオマス利用技術の開発(日本型バイオ燃料研究開発を含む。)	1,414百万円	1,450百万円	1,500百万円	-				
農林水産省	バイオ燃料地域利用モデル実証事業	2,914百万円	2,921百万円	8,544百万円	-				
農林水産省	地産地消型バイオディーゼル燃料農業機械利用産地モデル確立事業	49百万円	57百万円						
農林水産省	漁船等省エネルギー・安全推進事業(バイオマス燃料自給型漁船漁業創出事業を含む。)	835百万円	924百万円						
農林水産省	水産業振興型技術開発事業	93百万円	108百万円	40百万円(備考)	16百万円(備考)				
農林水産省	家畜排せつ物メタン発酵等利用システム構築事業	21百万円	43百万円						
農林水産省	CO2排出削減のための木質バイオマス利用拡大対策事業	121百万円	0百万円						
農林水産省	社会的協働による山村再生対策構築事業	350百万円	0百万円						
農林水産省	省石油型施設園芸技術導入推進事業	1,011百万円	375百万円						
農林水産省	バイオマス利活用加速化事業	24百万円	55百万円						
農林水産省	地域資源活用型エコフィード増産推進事業	250百万円	0百万円						
農林水産省	環境バイオマス総合対策推進事業	309百万円	352百万円						
農林水産省	外食産業バイオマス利用実証事業	34百万円	40百万円						
農林水産省	東アジアにおけるバイオマスタウン構想普及支援事業	13百万円	19百万円						
農林水産省	バイオマスタウン形成促進支援調査事業	222百万円	260百万円	179百万円	200百万円	-			
農林水産省	広域連携等バイオマス利活用推進事業	189百万円	221百万円	230百万円	150百万円	-			
農林水産省	高機能たい肥活用エコ農業支援事業	139百万円	139百万円	313百万円	-				
農林水産省	高機能たい肥活用エコ農業支援推進事業	3百万円	3百万円						
農林水産省	畜産環境総合整備事業	2,294百万円	2,290百万円	3,427百万円	4,885百万円	7,246百万円	-		
農林水産省	食品循環資源の再生利用等実態調査	16百万円	17百万円	17百万円	19百万円	13百万円	13百万円	14百万円	
農林水産省	食品循環資源経済的処理システム実証事業	27百万円	33百万円	70百万円	-				
農林水産省	バイオマスプラスチック容器包装再商品化システム検討事業	11百万円	12百万円	15百万円	-				
農林水産省	エコフィード緊急増産対策事業	663百万円	792百万円						
農林水産省	エコフィード(食品残さ飼料化)対策推進事業	9百万円	27百万円						
農林水産省	木材抽出成分高度利用技術開発事業	45百万円	0百万円						
農林水産省	森林整備効率化支援機械開発事業	101百万円	123百万円	153百万円	-				
農林水産省	木質資源利用ニュービジネス創出事業	542百万円	573百万円						
農林水産省	地域バイオマス発見活用促進事業			337百万円	-				
農林水産省	地域バイオマス利活用交付金優先枠			500百万円	-				
農林水産省	木質バイオ燃料製造技術開発促進事業			30百万円	-				
農林水産省	漁船漁業二酸化炭素排出量削減調査研究事業			20百万円	-				
農林水産省	水産基盤整備事業(うち、水産系副産物活用推進モデル事業)			2,811百万円	2,362百万円	2,009百万円	540百万円	200百万円	
農林水産省	バイオマスタウンモデルプラン作成調査分析事業			41百万円	44百万円	-			
農林水産省	低コスト木質資源利用技術開発事業			85百万円	95百万円	-			
農林水産省	地球温暖化が農林水産業に及ぼす影響の評価と高度対策技術の開発			276百万円	462百万円	402百万円	409百万円	409百万円	399百万円
農林水産省	食品資源循環形成推進事業			42百万円	28百万円	-			
農林水産省	木質バイオマス利活用推進対策事業			87百万円	-				
農林水産省	食品ロス統計調査			26百万円	29百万円	23百万円	31百万円	31百万円	
農林水産省	強い農業づくり交付金			34,067百万円	40,506百万円	47,009百万円	-		
農林水産省	施設園芸脱石油イノベーション推進事業(未来志向型技術革新対策事業)			370百万円	-				
農林水産省	容器包装リサイクル法制度円滑化推進事業			56百万円	56百万円	-			
農林水産省	農業農村整備事業			77,892百万円	81,989百万円	99,546百万円	117,726百万円		
農林水産省	強い林業・木材産業づくり交付金			6,433百万円	6,990百万円	7,809百万円	-		
農林水産省	強い水産業づくり交付金			8,762百万円	11,823百万円	15,228百万円	-		
農林水産省	水産基盤整備事業(うち、自然調和・活用型漁港漁場づくり推進事業)			415百万円	187百万円	352百万円	446百万円	690百万円	
農林水産省	漁村総合整備事業費補助(うち、漁業集落環境整備事業)			6,274百万円	4,476百万円	381百万円	333百万円	130百万円	
農林水産省	バイオマスの環づくり交付金			13,729百万円	14,380百万円	-			
農林水産省	バイオマスプラスチックの利用促進(成果重視事業)～バイオマス生活創造構想事業～			628百万円	1,038百万円	1,164百万円	-		
農林水産省	農林水産バイオリサイクル研究			1,236百万円	1,395百万円	1,260百万円	800百万円	600百万円	
農林水産省	水産業振興型技術開発事業費(うち、水産バイオマスの資源化技術開発事業)			16百万円	27百万円	32百万円	40百万円		

省庁名	事業・施策名	平成21年度予算額	平成20年度予算額	平成19年度予算	平成18年度予算	平成17年度予算	平成16年度予算	平成15年度予算	平成14年度補正予算
農林水産省	バイオマス・ニッポン総合戦略高度化推進事業				61百万円	114百万円	114百万円	129百万円	-
農林水産省	食生活動向調査				29百万円	23百万円			
農林水産省	食品廃棄物等発生状況調査委託事業				20百万円	-			
農林水産省	増養殖機能等実証調査事業				62百万円	96百万円	106百万円	-	
農林水産省	間伐材等地域材実需拡大支援事業のうち木質ペレット利用推進対策				47百万円の内数	50百万円	-		
農林水産省	木質バイオマス利用推進緊急総合対策事業				3百万円	4百万円	-		
農林水産省	木質資源循環利用技術開発事業					95百万円	128百万円	147百万円	122百万円
農林水産省	木質バイオマス利用実態調査					14百万円	-		
農林水産省	家庭系廃食用油地区別回収支援事業					9百万円			
農林水産省	食品循環資源再生利用等促進法定着推進調査					6百万円	7百万円	10百万円	15百万円
農林水産省	食品産業環境対策支援事業					55百万円	53百万円	11百万円	20百万円
農林水産省	外食産業店舗残渣高度利用推進事業					8百万円	9百万円	-	
農林水産省	農林資源リサイクル環境整備検討調査					82百万円	98百万円	103百万円	30百万円
農林水産省	森林環境保全先端技術導入機械開発事業					41百万円	83百万円	91百万円	105百万円
農林水産省	バイオマスプラスチック製造コスト低減に向けた技術開発(モデル事業)						140百万円		
農林水産省	環境低負荷型新機能性木質系材料等の開発						12百万円	14百万円	34百万円
農林水産省	先端技術を活用した水産資源循環型利用技術の開発						18百万円	20百万円	40百万円
農林水産省	たい肥等特殊肥料の生産・出荷状況調査						26百万円	-	
農林水産省	バイオ生分解素材開発・利用評価事業(モデル事業)						24百万円	30百万円	-
農林水産省	家庭用廃食用油効率的リサイクルシステム等構築事業						10百万円	13百万円	-
農林水産省	食品循環資源再生利用等促進法普及推進事業							21百万円	30百万円
農林水産省	容器包装リサイクル法普及定着推進事業						29百万円	34百万円	68百万円
農林水産省	容器包装廃棄物リサイクルシステム推進調査						11百万円	12百万円	20百万円
農林水産省	有機肥料等低コスト生産基盤技術の開発						10百万円	12百万円	
農林水産省	生産資材コスト削減対策						5百万円	-	
農林水産省	地域農業再生総合支援事業のうち資源循環型地域農業への転換支援						283百万円	287百万円	-
農林水産省	バイオマス利活用フロンティア推進事業						1,389百万円	1,800百万円	-
農林水産省	バイオマス利活用フロンティア推進事業(うちモデル事業分)						200百万円	-	
農林水産省	バイオマス利活用高度化実証事業						100百万円	-	
農林水産省	バイオマス利活用フロンティア整備事業						8,883百万円	2,000百万円	-
農林水産省	農業環境保全対策事業(「バイオマスの利活用を促進するための取り組みへの支援」内)						654百万円	-	
農林水産省	農業環境保全対策事業(「バイオマス利活用のための施設整備」内)						445百万円		
農林水産省	資源リサイクル畜産環境整備事業						7,887百万円	7,150百万円	6,992百万円
農林水産省	地域環境保全型農業推進総合整備事業						2,000百万円		
農林水産省	木質バイオマスエネルギー利用促進事業						1,059百万円	1,059百万円	353百万円
農林水産省	食品資源循環システム構築技術開発							211百万円	
農林水産省	有機肥料等の低コスト生産基盤技術の開発							12百万円	
農林水産省	環境負荷低減農業技術確立実証事業							67百万円	
農林水産省	土壌機能増進対策事業							38百万円	
農林水産省	バイオマスエネルギー利用技術の開発							23百万円	46百万円
農林水産省	水産バイオマスの資源化技術開発事業							30百万円	-
農林水産省	水産加工残渣高度リサイクル推進事業							10百万円	10百万円
農林水産省	食品リサイクルプラン作成支援事業							10百万円	-
農林水産省	外食産業食品循環資源高度利用・啓発事業							8百万円	25百万円
農林水産省	資源循環型農業確立支援事業(緑肥作物の導入実証)							700百万円	1,000百万円
農林水産省	食品リサイクル推進モデル整備事業							1,210百万円	-
農林水産省	資源循環型農業確立支援事業							4,435百万円	5,144百万円
農林水産省	有機性資源飼料化事業							62百万円	85百万円
農林水産省	水産基盤整備事業							1,020百万円	-

省庁名	事業・施策名	平成21年度予算額	平成20年度予算額	平成19年度予算	平成18年度予算	平成17年度予算	平成16年度予算	平成15年度予算	平成14年度補正予算
経済産業省	バイオマスエネルギー等高効率転換技術開発(新エネルギー技術研究開発の一部)	7,960百万円の内数	7,700百万円の内数	4,584百万円*					
経済産業省	バイオマスエネルギー高効率転換技術開発				1,100百万円※	3,100百万円※	3,840百万円	2,819百万円	2,000百万円
経済産業省	セルロース系エタノール革新的生産システム開発事業	776百万円	0百万円						
経済産業省	植物機能を活用した高度モノ作り基盤技術開発	1,429百万円	1,596百万円		1,928万円	820百万円 (新規:一部継続事業を含む)			
経済産業省	微生物機能を活用した環境調和型製造基盤技術開発	545百万円	1,105百万円		2,035万円	520百万円 (新規:一部継続事業を含む)			
経済産業省	E3地域流通スタンダードモデル創成事業	126百万円	450百万円	760百万円*	-				
経済産業省	バイオマスエネルギー地域システム化実験事業	740百万円	760百万円		1,700百万円※	1,500百万円※	-		
経済産業省	バイオマス等未活用エネルギー実証試験事業	171百万円の内数	392百万円の内数		488百万円※	2,360百万円※	2,500百万円*	2,819百万円の内数	1,100百万円
経済産業省	新エネルギー等導入加速化支援対策費補助金	36,439百万円の内数	37,826百万円の内数						
経済産業省	バイオマス等未活用エネルギー事業調査	335百万円の内数	335百万円の内数	335百万円の内数	341百万円の内数	350百万円	350百万円		
経済産業省	地域新エネルギー・省エネルギービジョン策定等事業	540百万円の内数	900百万円の内数	1,328百万円の内数*	1,704百万円の内数※	1,635百万円※			
経済産業省	新エネルギー設備導入促進情報提供等事業	270百万円の内数	486百万円の内数		390百万円の内数	3,820百万円の内数	3,709百万円の内数	609百万円の内数	430百万円の内数
経済産業省	バイオマス由来燃料導入調査研究			275百万円	150百万円	-			
経済産業省	バイオマス由来燃料導入実証事業			950百万円	-				
経済産業省	新エネルギー技術フィールドテスト事業			10,824百万円の内数*	-				
経済産業省	新エネルギー等事業者支援対策事業			31,584百万円の内数	35,272百万円の内数※	34,504百万円	48,255百万円	38,818百万円の内数	23,618百万円
経済産業省	地域新エネルギー等導入促進事業			4,465百万円の内数	5,181百万円の内数※	7,602百万円	11,030百万円(の内数)	12,710百万円の内数	12,702百万円の内数
経済産業省	地域バイオマス熱利用フィールドテスト事業				3,800百万円※	-			
経済産業省	再生可能エネルギー利用基盤技術研究開発				160百万円	80百万円			
経済産業省	新エネルギー等地域集中実証研究				2,853百万円の内数※	5,950百万円			
経済産業省	バイオプロセス実用化開発プロジェクト				1,273百万円*	2,051百万円*	2,610百万円*	-	
経済産業省	新エネルギー・省エネルギー非営利活動促進事業				164百万円の内数※	172百万円の内数			
経済産業省	新エネルギー非営利活動促進事業						1,327百万円の内数	936百万円の内数	1,020百万円の内数
経済産業省	新エネルギー対策導入促進事業				90百万円の内数	95百万円	100百万円		
経済産業省	地域創発型新エネルギー人材支援事業				76百万円の内数	80百万円	-		
経済産業省	中小企業・ベンチャー挑戦支援事業(事業化支援事業 新エネ枠)				174百万円の内数	174百万円	-		
経済産業省	遺伝子組換え体の産業利用におけるリスク管理に関する研究					72百万円※	80百万円※	80百万円	
経済産業省	植物利用エネルギー使用合理化工業原料生産技術開発					819百万円※	819百万円※	862百万円	
経済産業省	生物機能を活用した生産プロセスの基盤技術開発					1,038百万円※	1,234百万円※	1,482百万円	
経済産業省	生分解・処理メカニズムの解析と制御技術開発					520百万円※	610百万円※	642百万円	
経済産業省	バイオマス混合燃料導入実証研究					900百万円	500百万円	-	
経済産業省	地域循環型新エネルギーシステム					5,950百万円の内数※	6,359百万円※	3,483百万円の内数	
経済産業省	地域新エネルギービジョン策定等事業					1,181百万円	1,181百万円の内数	1,323百万円の内数	1,232百万円の内数
経済産業省	省エネルギー・新エネルギー対策導入促進事業補助金						100百万円の内数	136百万円の内数	
経済産業省	生物機能活用型循環産業システム創造プログラム							4,182百万円	5,386百万円
経済産業省	建築廃材等リサイクル技術開発							150百万円	280百万円
				*印→NEDO交付金の内数含む	*印→NEDO交付金の内数含む	*印→NEDO交付金の内数含む	*印→NEDO交付金の内数含む		
国土交通省	下水道事業費補助等	51,027百万円の内数	49,569百万円の内数	651,662百万円の内数	689,589百万円の内数	752,332百万円の内数	829,093百万円の内数	899,234百万円の内数	
国土交通省	北海道関係・北海道開発計画調査	509百万円の内数	639百万円の内数			223百万円	136百万円		
国土交通省	北海道関係・北海道開発計画費			687百万円の内数	742百万円の内数				
国土交通省	北海道関係(独)土木研究所 寒地土木研究所	9,329百万円の内数	9,491百万円の内数	6,360百万円の内数					
国土交通省	北海道関係(独)北海道開発土木研究所					1,760百万円の内数	1,794百万円の内数		
国土交通省	北海道関係・運営費交付金							1,978百万円の内数	
国土交通省	北海道関係・施設整備補助金							1,301百万円	
国土交通省	港湾関係・リサイクルポートプロジェクトの推進	627百万円	1,100百万円	46,700百万円の内数	22,700百万円の内数	24,500百万円の内数	2,840百万円の内数	29,591百万円の内数	
国土交通省	自動車関係・新燃料の安全性・低公害性評価事業	10百万円	31百万円	31百万円					
国土交通省	自動車関係・次世代低公害車開発・実用化促進事業	360百万円の内数	482百万円の内数	413百万円の内数					
国土交通省	自動車関係・バイオマス燃料対応自動車開発事業等				83百万円	123百万円			
国土交通省	自動車関係・バイオマス燃料等新燃料の安全性・低公害性等評価事業						183百万円		

省庁名	事業・施策名	平成21年度予算額	平成20年度予算額	平成19年度予算	平成18年度予算	平成17年度予算	平成16年度予算	平成15年度予算	平成14年度補正予算
環境省	エコ燃料実用化地域システム実証事業	1,710百万円	2,300百万円	2,780百万円	-				
環境省	エコ燃料利用促進補助事業	500百万円	800百万円	800百万円	-				
環境省	地球温暖化対策技術開発事業	3,805百万円	3,710百万円	3,302百万円	2,716百万円	2,676百万円	1,634百万円の内数	-	
環境省	高濃度バイオ燃料実証事業	151百万円	0百万円						
環境省	廃棄物処理施設における温暖化対策事業	2,167百万円の内数	2,117百万円の内数	2,117百万円	1,505百万円	1,505百万円	1,000百万円の内数	500百万円	-
環境省	地球温暖化対策ビジネスモデルインキュベーター(起業支援)事業	350百万円	500百万円	800百万円	1,023百万円	840百万円	150百万円	-	
環境省	生ごみリサイクル施設整備事業(循環型社会形成推進交付金のうち)	53,272百万円の内数	49,132百万円の内数	46,000百万円の内数	43,000百万円の内数	23,000百万円の内数			
環境省	廃棄物系バイオマス次世代利活用推進事業	334百万円	334百万円						
環境省	循環型社会地域支援事業	28百万円	30百万円						
環境省	循環型社会形成推進科学研究費補助金(競争的資金)	1,803百万円の内数	1,135百万円の内数						
環境省	再生可能エネルギー高度導入地域整備事業			750百万円	750百万円	750百万円	-		
環境省	国立環境研究所による技術開発事業のうちバイオエネルギー活用技術開発			95百万円	100百万円	100百万円	100百万円	100百万円	
環境省	CDM/JI事業調査			670百万円	600百万円	600百万円	800百万円の内数	600百万円の内数	-
環境省	エコ・コミュニティ事業			39百万円	51百万円	62百万円	72百万円	58百万円	
環境省	廃棄物処理等科学研究費補助金(競争的資金)			1,261百万円の内数	1,300百万円の内数				
環境省	バイオマス系廃棄物のリサイクル・エネルギー利用のためのデータベース化・モデルシステム化調査			10百万円	-				
環境省	環境と経済の好循環のまちモデル事業				2,157百万円	2,551百万円	1,301百万円		
環境省	次世代廃棄物処理技術基盤整備事業(廃棄物処理等科学研究費補助金(競争的資金))				403百万円の内数	403百万円の内数	403百万円の内数	403百万円の内数	303百万円の内数
環境省	産業廃棄物処理施設モデル的整備事業					3,830百万円の内数	4,190百万円の内数	4,190百万円の内数	1,900百万円
環境省	ゴミゼロ型地域社会形成推進施設整備補助事業(エコタウン事業)					400百万円の内数	750百万円の内数	517百万円の内数	50百万円
環境省	CDM/JI設備補助事業					1,900百万円の内数	300百万円の内数	300百万円の内数	-
環境省	ごみメタン回収施設等整備補助事業(廃棄物処理施設整備費補助のごみ処理施設のうち)						41,099百万円の内数	58,421百万円の内数	63,330百万円
環境省	再生可能燃料利用促進補助事業						800百万円	800百万円	-
環境省	生ごみ利用燃料電池等普及促進事業						100百万円	100百万円	-
環境省	公募型による競争的な温暖化対策市場化直結技術開発補助事業						500百万円		
環境省	事業者による技術開発補助事業のうち家庭等からの廃棄物を活用したバイオエネルギー供給技術開発補助事業							200百万円	-
環境省	国立環境研究所による技術開発事業のうちバイオ資源・廃棄物等からの水素製造技術開発委託							100百万円	-
環境省	循環型社会形成実証事業(循環型社会形成推進基本計画フォローアップ経費のうち)							58百万円	
	バイオマス関係予算合計	203,690百万円の内数	200,368百万円の内数	37,713百万円の内数	847,901百万円の内数	915,532百万円の内数	1,096,191百万円の内数	1,088,056百万円の内数	21,018百万円の内数
	うち、バイオ燃料関係予算	98,289百万円の内数	92,823百万円の内数						