

技術戦略マップについて

1. 背景

我が国産業が世界に先駆けてイノベーションを創出しそれが持続的・自律的に達成されるようにするためには、一層明確に出口を意識して、すなわち、事業化を見据えた研究開発・導入シナリオに基づき、戦略分野への重点化を図るとともに、規制改革、標準化等の関連施策と研究開発施策との一体的な取組を一層強化することが必要です(「新産業創造戦略」(2004年5月経済産業省))¹。

経済産業省では、市場のニーズに応じて、科学に遡った研究開発や異分野の融合、顧客との一体的な垂直統合を進めたり、研究開発プロジェクトに拠点形成・制度改革・省庁間連携・国際標準化をビルトインするなどの施策を展開し、研究開発成果を素早く市場化に繋げる仕組みを構築していこうとしています。これを着実に実現するためには、ナショナル・イノベーション・システムを構成する各主体である政府、産業界、学界等の研究者が政府研究開発投資の判断の基盤となる戦略やシナリオを共有し、関係機関が連携をしながら、研究開発を効果的に展開することが必要となります。そのような観点から当省では(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)等と協力し、産学官の専門家による技術ロードマッピングを研究開発マネジメント・ツールの方法論として取り入れ、その成果物を広く公開し活用いただいています。

2. 目的

技術戦略マップ及びその策定プロセスを通じて、以下の3点を実現することを主な目標としています。

(1) 産業技術政策の研究開発マネジメント・ツール整備

主要産業技術分野にかかる技術動向、市場動向等を把握するとともに、国または民間において取り組まれるべき重要度が高いと考えられる技術(重要技術)の絞り込み等を行い、当省が研究開発プロジェクトを企画立案するための政策インフラを整備すること。

(2) 産学官における知の共有と総合力の結集

専門化する技術、多様化する市場ニーズ・社会ニーズに対応するため、異分野・異業種の連携、技術の融合、関連施策の一体的実施を促進するとともに、産学官の総合力を結集すること。

(3) 国民理解の増進

技術戦略マップを活用して、適時に適切なプロジェクトを立案するとともに、実施中のプロジェクトについて不断の検証を行い、当省の研究開発投資の考え方、内容、成果等に関して、国民の理解を増進すること。

¹ 「経済成長戦略大綱」(2006年7月財政・経済一体改革会議)においても「技術戦略マップ」の積極的な活用について言及されています。

(2) 技術マップ

市場ニーズ・社会ニーズを実現するために必要な技術的課題、要素技術、求められる機能等を俯瞰するとともに、その中で重要技術を選定しており、次のような目的があります。

- ・ 実現すべき技術を俯瞰し体系化することで、目標(イノベーション)実現に必要な技術を俯瞰して整合性・一貫性ある研究開発を推進したり、専門家以外にも理解しやすい技術俯瞰図を提供することによって異分野からの参入障壁を軽減する。
- ・ 構成技術の体系的比較の中で国が行うべき観点から時間展開すべき重要技術(キーテクノロジー)を提示する。

(3) 技術ロードマップ

研究開発への取り組みによる要素技術、求められる機能等の進展の道筋を時間軸上にマイルストーンとして記載しており、次のような目的があります。

- ・ 研究開発の中で達成すべき技術的目標を時間軸上で明確化することで、研究開発の進捗状況の評価を容易にしたり、同時並行で展開される関連技術・競合技術開発との整合性をチェックできるようにする。
- ・ 産学官の全ての関係者が研究開発の設定目標・道筋を共有することで、各々の研究開発の位置づけや相互関係を理解しやすくするとともに、異分野からの参入による連携・融合を容易にする。

4. 対象領域

対象とした技術分野は以下の29分野²です。

情報通信(半導体、ストレージ・メモリ、コンピュータ、ネットワーク、ユーザビリティ(ディスプレイ等)、ソフトウェア)

ナノテクノロジー・部材(ナノテクノロジー、部材、ファイバー、グリーン・サステイナブルケミストリー(2))

システム・新製造(ロボット、MEMS、設計・製造・加工(2)、航空機、宇宙)

バイオテクノロジー(創薬・診断、診断・治療機器、再生医療、〔応用事例：がん対策等に資する技術(1)〕、生物機能活用技術)

環境(CO₂固定化・有効利用、脱フロン対策、3R、化学物質総合評価管理)

エネルギー(エネルギー、超電導技術)

ソフト(人間生活技術、サービス工学(2)、コンテンツ(2))

² 各分野は、それぞれの技術領域に対応した政策目的に沿った技術の俯瞰や重点技術の絞り込みを行っています。同様の要素技術が、複数の技術分野のマップの中に重複して記載されているものもあります。これらは、異なる政策的目的から位置づけられていますので、重要技術の絞り込みの観点からは、かならずしも相互に整合性がとられてはいない部分もあります。このような重要技術に関する扱いや考え方の違いは許容しています。むしろ自由な議論や新たな可能性を模索する意味でも、その分野の特性や政策的な位置づけに応じ、一定の自由度を持たせることが大切だと考えているからです。

ファイバー分野

ファイバーは1次元の高分子で、衣料用の繊維素材として古くから人類が最も身近に取り扱ってきた高分子材料の一つであり、より快適に、より美しく、といった消費者の要求に応えるべく、高強度化（軽量化）、高機能化、高感性化（ファッショナブル化）等に係る種々の技術を蓄積してきた分野である。さらに、これらの特徴を活かし、衣料用以外の生活資材、産業資材等にもその用途を展開し、炭素繊維複合材料等の高機能繊維の開発が進められてきたところである。近年は、IT関連機器の電極材料、キャパシタ、リチウム電池、有害物質除去フィルター、再生医療用材料等、ファイバーの用途は大きく拡大し、これらに必要とされる機能も変化してきている。

このような中、高分子材料の最も基本的な単位であるファイバー本来の持つ特性を極限まで活かすことで、環境・エネルギー制約の克服、安全・安心の確保等の社会的な課題の解決に貢献するとともに、人間生活を豊かにしていくことが可能である。このため、ファイバーに関する技術的課題、要求スペック等をマップ上に整理し時間軸上に展開することで、ファイバー分野のみならず、高分子材料全体の技術の俯瞰や、異業種異分野融合の進展を通じたイノベーションの実現に寄与することを期待し、ファイバー分野の技術戦略マップを策定した。

ファイバー分野の技術戦略マップ

．導入シナリオ

(1) ファイバー分野の目標と将来実現する社会像

将来有望な繊維に係る技術開発を推進し、新たな市場の創造を図るとともに、社会ニーズへの積極的な貢献を果たすことを目標とする。また、これを通じて、我が国繊維産業の先端素材産業のフロントランナーとしての地位確立を目指す。

(2) 研究開発の取組み

繊維技術の研究開発は、繊維が有する優位性（強み）を一層伸ばすことによって、市場ニーズ及び社会ニーズに貢献できる分野へと重点化されるべきである。

繊維技術の生来的な優位性（強み）は、それが生み出す技術の多様性である。製糸から紡績、染色、製織、成形加工など工程ごとに存在する様々な技術は、他の部材との複合化、高機能化、高次加工化を通じて、様々なユーザーのニーズに応えることが可能である。これまでの繊維製品・部材の開発は、従来、各工程における技術向上が主体であったが、より一層のユーザーのニーズに応えていくためには、各工程の技術向上に加え、工程を越えた横断的な技術向上や技術の組み合わせが重要となる。

このためには、異分野との技術融合やユーザーとの連携のもと、メーカーの技術シーズとユーザーの技術ニーズの緻密な摺り合わせにより研究開発成果を高度化し、着実に活用していく体制で研究開発を進めていくことが重要となる。

以上を踏まえ、繊維の研究開発の方向性として、以下の3つの分野とこれらを支える基盤技術を重点分野として位置づけ、研究開発の方向性を示すことで、効率的・効果的な研究開発を推進していく。

(マテリアルセキュリティ分野)

石油系原料から製造される化学繊維は、様々な分野に高付加価値、高機能な繊維製品・部材を提供してきた。近年、世界的な石油系原料の需給逼迫による価格高騰や環境問題への関心が高まる中、繊維の製造原料において、石油代替を推進する市場及び社会ニーズは高く、これに応えることは繊維技術の責務である。このため、原料を確保可能な既存のバイオマス原料などから化学繊維を製造し、環境・リサイクルなど社会ニーズに対応した繊維材料の技術開発の推進が必要である。

(炭素繊維・複合材料（移動体）分野)

繊維製品の中で特に優れた特性を有する炭素繊維やその複合材料などは、これまで我が国が世界をリードしてきた。特に、炭素繊維と他の素材を組み合わせる材料特性を向上させる繊維複合化技術によって生まれる材料は、軽量かつ強度に優れるため、航空機等の移動体分野におけるニーズが大きい。他方で、これらの普及に当たっては、リサイクル性の確保や製造プロセスの省エネルギーなど、より広がりを持った環境適合性も要求されている。このため、材料特性向上とともに循環型社会

に対応する環境適合性の確保という両側面を充足する繊維複合材料の製造（加工）技術開発を進めることが必要である。

（建設・IT・生活等分野）

繊維技術は、素材自体の高機能化や高次加工を複合的に施すことによって、素材に感性や機能を付与することが可能である。このため、生来繊維が主役となる衣料分野やインテリアなどの生活資材分野のみならず、自動車や電機製品、建設等の幅広い産業資材分野にわたる多様で高度なニーズに応えてきた。今後もこれらユーザーのニーズに応えるためには、ユーザーの要求特性に合致した素材開発（製造工程ごとの技術向上）を拡大するとともに、繊維（ファイバー）の本来持つ優れた特性を一層伸長し、例えば、VOC吸収や有害化学物質からの防護による高付加価値化を推進するような技術開発などが求められる。

（基盤技術分野）

新市場の創出や社会ニーズへの貢献を果たしていくためには、上記3分野の研究開発とともに、これらを支える基盤技術の開発が不可欠である。

現在、“安全で豊かな生活”や“自然と環境に優しい”といったテーマが大きな社会ニーズとなっており、これらに貢献しうる繊維技術の開発が求められている。

“安全で豊かな生活”を具現化するための繊維技術としては、「ナノ複合化」や「汎用繊維の高性能化」の開発など、軽くて強く、フレキシブルな高強度・高靱性な繊維の開発が重要である。また、「ナノ繊維材料（光電変換機能の開発）」や「新機能複合材料」の開発など、優れた働きを持った高機能繊維の開発も重要となる。

“自然と環境に優しい”繊維技術としては、「バイオマスベースの合成繊維」の開発など脱石油を目指した天然型由来繊維技術の開発が重要であるとともに、「スーパーバイオミメティクス」による研究開発の推進など、自然から学び、自然を模倣した自然活用型繊維の開発が重要である。

さらに、中長期的な視点から、ファイバー分野で“革新的な製造技術”として、「構造精密制御技術（ナノフィブリル化技術の開発）」、「エレクトロスピンニング技術（ナノファイバーの積層技術）」、「革新的加工技術」、「革新炭素繊維」の開発が今後重要となる研究開発である。

【参考資料1：基盤技術の融合イノベーション】

（3）関連施策の取組み

繊維技術が新市場の創造や社会ニーズへの貢献を果たしていくためには、技術開発とともに、需要の創出や事業環境の整備などが必要となる。平成19年5月に産業構造審議会繊維産業分科会でとりまとめられた「繊維産業の展望と課題」に基づき、技術力の強化に関連する施策を推進していくことが必要である。

〔導入補助・支援〕

- ・エネルギー使用合理化技術開発費補助金

エネルギー使用の合理化や地球環境への負荷低減を図るため、新たな繊維製品製造技術の開発を推進する。

・戦略的基盤技術高度化支援事業

我が国経済を牽引していく産業分野の競争力を支える重要基盤技術の高度化等に向けて、中小企業が行う革新的かつハイリスクな研究開発や、生産プロセスイノベーション等を実現する研究開発を支援する。

〔調達促進〕

- ・環境負荷低減に資する製品について、「グリーン購入法」の特定調達品目制度の活用することにより、調達を推進し、初期導入を促進する。

〔規制・制度改革〕

・技術流出対策

意図せざる技術流出の防止を図るため、企業における適正な技術管理体制の整備を促進するとともに、安全保障上重要な技術等については、外為法に基づき、適切な管理を行う。

・環境規制等への対応

国内外の環境規制（化審法、欧州 REACH 規制等）に適切に対応する。

〔基準・標準化〕

- ・繊維製品における消費者の安心・安全や利便性の向上を目指し、社会・市場のニーズ、環境の変化等に応じて、品質規格の効果的な運用を図る。

〔国際標準化〕

- ・我が国と中国が共同幹事国として、平成20年4月よりISO/TC38（繊維分野）幹事を引き受けることを一つの契機として、これまで以上に国際標準化活動に積極的に参画し、我が国繊維産業の活性化を促進するとともに、繊維素材等の市場拡大を目指す。

〔人材育成〕

・産地の技術者・技能者の育成

産地の繊維リソースセンター等を活用しつつ、産地における次世代を担う中核的な人材育成を推進する。

・人が育つ環境の整備

過去の優れたデザインや素材、商品に関するデータを体系的に再整備し、これを検索、利用できる場（アーカイブ）について検討する。

〔産学官連携〕

・中小企業イノベーション拠点網の整備

投資余力や知見・情報に乏しいため新たな技術開発や特に非衣料分野の市場開拓が困難な中小製造事業者を支援するため、産学官連携により、繊維学部を有する大学等を核とした、研究開発・人材育成・市場開拓のための支援拠点間ネットワーク

の構築を推進していく。

- ・産業クラスターの形成

バイオやIT分野等における産業クラスターの取組を参考にしつつ、繊維事業者間・異業種間の相互情報共有や連携を強化する方策を検討する。

(4) 改訂のポイント

- 産業構造審議会繊維産業分科会において検討してきた「繊維産業の展望と課題」に基づき、技術力強化に関連する施策を記載した。

・技術マップ

(1) 技術マップ

繊維の研究開発の方向性として、以下の4つの分野を重点分野として位置づけ、研究開発の方向性を示すことで、効率的・効果的な研究開発を推進していく。

マテリアルセキュリティ分野（原料代替分野）

炭素繊維・複合材料（移動体）分野（複合材料分野）

建設・IT・生活等分野（高機能化、高次加工分野）

基盤技術分野

(2) 重要技術の考え方

技術マップにおいて抽出された各技術項目はいずれも不可欠であり、官民の一体的取組みまたは民間の主体的な取組みによって積極的な開発が望まれるが、以下の観点から重要技術として評価されるものを重要技術と位置づけ、技術マップ中に色分けして示した。

社会的ニーズに応える技術

技術開発を推進する上で、我が国社会に受け入れられる繊維製品・部材や技術であることは極めて重要であり、社会的ニーズに応える技術であることが必要である。

- ・資源(石油代替含む)・エネルギー対応に応える技術
- ・環境・リサイクル対策に応える技術
- ・安心・安全の向上に繋がる技術
- ・機能性・利便性の向上に繋がる技術
- ・その他政策的な要請に基づき必要とされる技術

技術優位性

今後も我が国繊維産業が新たな高付加価値な製品を生み出すためには、限りあるリソースの中で我が国が技術優位性を持った繊維技術や新しい価値を創造できる繊維技術に注力して、推進していくことが求められる。

- ・技術的難易度（リスクの高い技術）
- ・技術自体の先進性、進歩性（将来性の高い技術）
- ・国際的な優位性を持つ技術（国際的な研究レベルの比較）

- ・他の素材と比較した際に、繊維素材の優位性が発揮できる技術
- ・新機能の発現、性能の大幅向上などをもたらす技術

市場インパクト

技術開発による繊維製品・部材が、新市場の創出や拡大につながり、波及効果も見込まれる市場インパクトのある技術であることも必要である。

- ・市場の創出、拡大に繋がる技術
- ・多分野への波及効果が大きい技術（直接開発対象となる製品や部材だけでなく、自動車やITなど他分野への広がりが期待できる技術）
- ・産業界において共通基盤(評価技術を含む)となるコア技術、広く使用されることが期待される技術
- ・コスト競争の際に不可欠となる技術

(3) 改訂のポイント

- ファイバー分野の既存の技術マップの中で、基盤技術に位置付けられる技術を整理するとともに、新たに追加すべき技術の検討を行い、ファイバー分野における「基盤技術」のマップを作成した。
- 「マテリアルセキュリティ分野」の技術マップについて、技術の追記等を行った。

. 技術ロードマップ

(1) 技術ロードマップ

技術マップで整理した3つの分野と基盤技術ごとに、研究開発課題を達成するために必要となる手段と目標を整理し、2020年までのロードマップを策定した。

(2) 改訂のポイント

- 新たに策定した「基盤技術」の技術マップのうち、重要技術として挙げられた項目について、技術ロードマップを策定した。

. その他の改訂のポイント

ファイバー分野の技術体系図等の作成

- ファイバー分野における各技術は、原材料開発から製品化まで、多種多様な技術が存在しており、単なる部材開発にとどまらず、最終製品の開発に至るまで様々な開発事例が存在している。また、これらの各技術同士の組み合わせにより、幅広い用途への展開が期待されている。このため、ファイバー分野の特殊性や技術体系をわかりやすく表現した一例として、下記の資料を策定した。

【参考資料2：ファイバー分野における繊維技術の多角的な展開】

【参考資料3：繊維の特殊性を有するファイバー分野の技術体系図】

【参考資料4：繊維から最終製品までの流れ】

ファイバー分野の導入シナリオ

2007年

2008年

2010年

2015年

2020年

目標

繊維産業の国際競争力の強化を図り、新市場の創出と社会ニーズへの積極的な貢献を果たすことを目標とし、我が国繊維産業が本来有するポテンシャルを顕在化させ、先端素材産業のフロントランナーとしての地位を確立することを目指す。

民間企業の取り組み

産業資材分野向け高機能繊維製品・部材の開発を加速

ユーザーニーズ・シーズのマッチ、異分野連携による研究開発の高度化と着実な推進

ファイバー分野の本来有する優れた特性を活用した研究開発の推進

研究開発の取り組み

資源・環境制約からの脱却

マテリアルセキュリティ分野

PLA繊維等の耐熱性向上技術の開発

新規バイオベースファイバー・バクテリア由来繊維

セルロースナノファイバー

ポリエステル及びナイロンと他素材混紡品の解繊・分離技術開発

先端素材の開発

炭素繊維・複合材料（移動体）分野

革新的成型加工技術開発

樹脂マトリックスの開発（熱可塑性樹脂）

中間基材の開発（プリフォーム、プリプレグ）

脱石油原料による炭素繊維開発

革新的設計・製品評価技術の開発

各産業分野への市場拡大

建設・IT・生活等分野

高強度繊維・マトリックス接着技術の開発

高靱性コンクリートの開発

発熱・放熱繊維の産業応用

基盤技術の開発

基盤技術

バイオマスベースの合成繊維

ナノ複合化繊維・ナノ繊維材料

スーパーバイオミメテックス

関連施策の取り組み

導入普及促進策／環境整備

繊維分野におけるイノベーション拠点の整備

研究開発リソースの集約化

中小企業向け研究開発拠点の提供

人材育成の強化

人材育成現場の確保

製造中核人材の育成

技術流出対策の強化

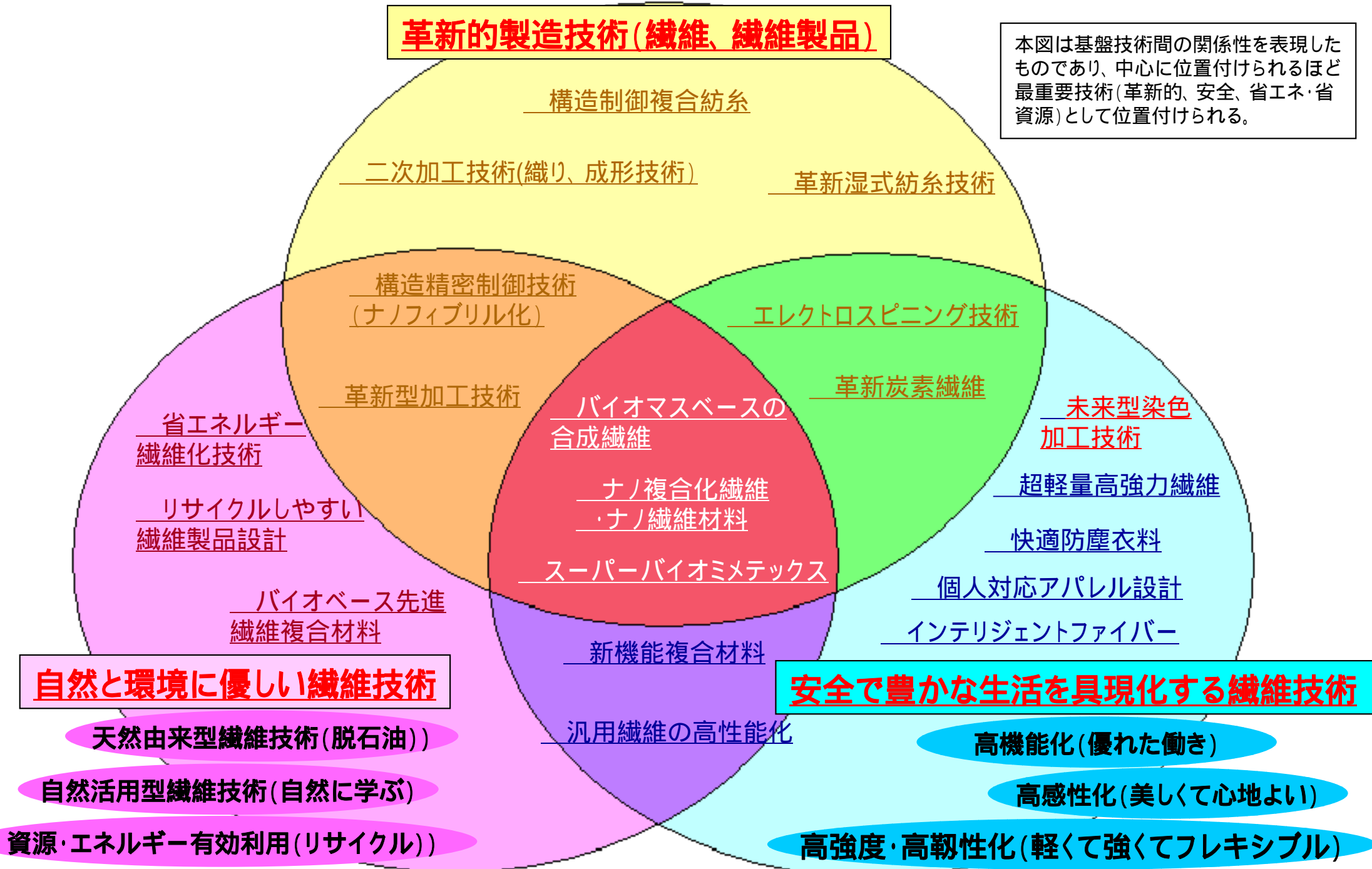
標準規格の推進等

基盤技術の融合イノベーション

【参考資料1】

革新的製造技術(繊維、繊維製品)

本図は基盤技術間の関係性を表現したものであり、中心に位置付けられるほど最重要技術(革新的、安全、省エネ・省資源)として位置付けられる。



平成16年度バイオ人材育成事業
(再生可能原料からの環境調和型高分子材料
の研究開発及び生産に係る技術者)

報 告 書

平成17年1月

委託先 みずほ情報総研株式会社

委託元 三井情報開発株式会社

1 2 . 事業内容

本事業は、「再生可能原料からの環境調和型高分子材料の研究開発及び生産に係る技術者の育成」に係るスキルスタンダード策定、カリキュラム策定、および実証のための研修を実施することを目的として実施した。

1 2 1 事業の背景と目的

「再生可能原料からの環境調和型高分子材料」とは、トウモロコシ等のデンプンや、食品廃棄物等のバイオマス（動植物を起源とする再生可能な有機性資源）によって生産されるプラスチック、すなわち「バイオマスプラスチック」のことである。

バイオマスプラスチックは、石油由来のプラスチックと同様に使用することが可能でありながら、廃棄時には環境にやさしいという大きな特徴がある。使用後に焼却した場合は二酸化炭素が発生するものの、原材料がバイオマスのため、カーボンニュートラルとなり地球温暖化への影響はない。また、埋め立てられた場合にも、土中の微生物によって二酸化炭素と水に分解（生分解）される。

このように、地球温暖化防止、循環型社会の形成に貢献が期待されていることから、研究・開発・導入が積極的に進められている。しかし、企業の研究開発動向への人材投入は不足気味であり、将来において人材不足に陥る可能性があることが懸念される。また、現在、バイオマスプラスチック開発に従事している技術者も、高分子材料の特性、成形加工、素材の与える環境影響等について、十分な知見を持たないことが想定される。

以上のことから、バイオマスプラスチックに係る技術者を育成することは急務であり、「再生可能原料からの環境調和型高分子材料の研究開発及び生産に係る技術者の育成」に係るスキルスタンダード及びカリキュラムを策定することは極めて重要である。

本事業では、素材開発業や製品加工業において、バイオマスプラスチックの研究開発をスムーズに実施できる人材や、製造工程を適切に管理・運営できる人材像を想定して、その育成に資するため、バイオマスプラスチックに関連する広範な知識を体系的に整理することを目的とした。

第2章 育成対象とする人材像

2 1 . 育成対象とする人材のイメージ

2 1 1 人材育成の目標

本事業で対象とするバイオマスプラスチックは、「植物起源」のプラスチックという点で環境貢献のPR効果も期待でき、導入を検討する企業が大きく増加している。また、温暖化対策技術の一つとして確立されれば、一層多くの企業による導入が進むことが想定される。

バイオマス・ニッポン総合戦略の策定以来、バイオマスプラスチックの研究・開発・導入は加速度を挙げて進められる方向にあるといえるが、現状では、国産技術を生かした製品は非常に少なく、海外から原料を調達し、提携先の技術を活用して素材を生産している場合が多い。この傾向が続くことは、当該分野の競争力低下につながるため、バイオマスプラスチックの大量普及が進む前に技術者を育成して我が国の技術力を向上させ、産業競争力を増大させる必要がある。

しかし、企業の研究開発動向を俯瞰すると、現状においては多くの人材が投入されているとはいえず、将来的には人材不足に陥る可能性があることが懸念される。

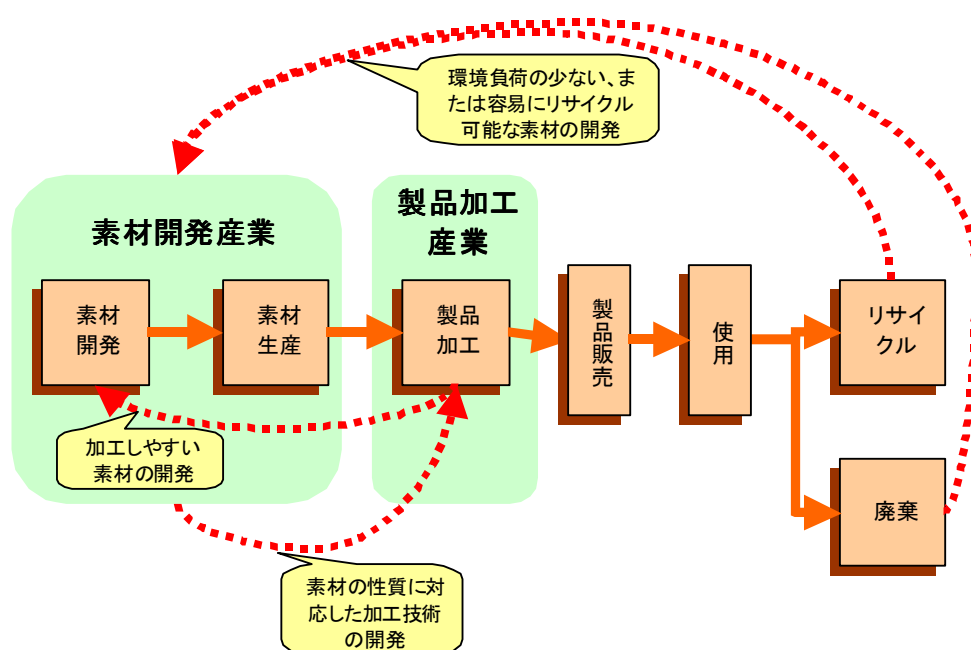
すなわち、新たなバイオマスプラスチック素材の開発、それらの素材を利用した製品の製造等が、将来的に人材ニーズの高まる分野として挙げられる。特に、バイオマスプラスチックは既存のプラスチックと比較して耐熱性、耐衝撃性に劣る場合があるため、様々な角度でこれを評価し、的確に有効な用途に導入できるような様々な知見を持つことは非常に重要であることから、高分子材料の特性、成形加工、素材の与える環境影響等について、十分な知見を有する人材へのニーズが高まるものと考えられる。

以上より、本事業では、バイオマスプラスチック関連素材に関する知識、それらの素材を利用した製品の製造に関する知識、製品の評価手法（分析、物性、LCAを含む環境影響等）に関する知識を有する人材育成を目標とした。

2 1 2 人材像のイメージ

既存のプラスチック製品のライフサイクル（製造・使用・廃棄過程）を整理すると、バイオマスプラスチック製品のライフサイクルフローは図表2-1のようになると考えられる。また、バイオマスプラスチック産業を大まかに分類すると、素材開発産業と製品加工産業に分けることができるが、現状のバイオマスプラスチックの開発状況および今後の発展を考慮した場合、それぞれの産業が個別に存在するのではなく、相互に情報をフィードバックさせながら技術向上を試みる必要があると考えられる。すなわち双方の分野について同じ土壌で議論が可能なだけの知識を有している人材育成が必要である（各産業の基本的な業務内容は下表参照）。また、バイオマスプラスチックの特徴を活かし、競争力のある製品を実現させるためにも、消費者のニーズや使用後のリサイクル方法および環境負荷に関する知識も有する人材を育成していく必要があると考えられる。

以上より、本事業における育成対象人材のイメージとしては、バイオマスプラスチックの製造過程（素材開発・製品加工）から使用後までを十分に理解し、バイオマスプラスチック産業の発展に寄与できる人材育成を目的とする。



図表 2-1 バイオマスプラスチック製品のライフサイクルフロー

図表 2-2 業務工程における基本的な業務内容

産業	業務工程	基本的な業務内容
素材開発産業	素材開発	微生物菌の体内でバイオマスを重合させポリマーを生産する発酵生産法や、バイオマス由来モノマーを化学的に重合させポリマーを生産する化学合成法を用いた新規バイオマスプラスチック素材の開発を行う。 なお、発酵生産法では微生物菌の管理・培養・発酵の知識、化学合成法では高機能性ポリマーの設計・合成技術についての知識が求められる。 また、発酵生産法においては、微生物の遺伝子組み換えを利用した素材開発も考えられるため、遺伝子工学の知識も必要となる。
	素材生産	上記で開発した発酵生産法および化学合成法を用いて素材の生産を行う。このとき、対象とする製品への加工し易さや、製品使用後のリサイクル方法および廃棄後の環境影響も考慮した素材生産が求められる。
製品加工産業	製品加工	添加物や複合材料のブレンド技術、および高分子加工技術などを用いて製品への加工を行う。 その際、バイオマスプラスチック素材の強度、伸び等の基本機械的性質を考慮し、製品に求められる性質・条件が実現可能となるよう加工方法の改良が求められる。

図表 2-1 に示したライフサイクルフローのうち、素材開発、素材生産、製品加工を本事業のスキルスタンダード及びカリキュラムの対象とする。また、製品販売、使用、リサイクル、廃棄については、素材開発、素材生産、製品加工において盛り込むことが必要である場合に、スキルスタンダード及びカリキュラムに反映するものとする。

(1) 人材育成の対象

対象者

素材開発や製品加工（化学工業関連の企業を想定）の企業における経験 10 年程度までの社員で、新規テーマとしてバイオマスプラスチックに携わろうとする者。新入社員や他分野からの転職者も含む。

バックグラウンド

有機化学及び無機化学の基本知識（大学履修程度）、高分子に係る知識（必須ではない）、就職後の素材開発や製品加工に従事して得られた技能。

育成前（現段階）の業務（職位）

石油系プラスチックを対象とした素材開発や製品加工における、実務担当者、チームリーダー。

(2) 育成後の具体的な人材像

育成前の職位と区分するため、BP 実務担当者及び BP チームリーダーという呼称を設定する（BP はバイオマスプラスチックの略）。

BP 実務担当者

指示されたことをただこなすだけでなく、必要な基礎知識を有し、ある程度先のことを見据えた上で実験計画を立てていける人材を想定した。

また、素材開発産業であれば製品加工分野、製品加工産業であれば発酵生産分野・化学合成分野のように、実務とは直接関係の無い分野に関しても基礎知識を有していることが望ましいと想定した。

BP チームリーダー

現場の進捗を管理するだけでなく、事業の方向性や業務管理（技術の難易度を見極め、要する時間・体力を判断）もある程度予測しながら作業（業務）計画が立てられる人材を想定した。

また、実務に関係する分野に関しては、基礎から応用、発展まで幅広い知識が必要であることに加えて、素材開発産業であれば製品加工分野、製品加工産業であれば発酵生産分野・化学合成分野のように、実務に直接関係しない分野についても十分な知識を有していることが望ましいと想定した。

（３）育成された人材の業務における役割等

人材の供給先

化学工業（新素材開発及び新素材生産、加工）

医療製品製造、医療機器メーカー（人体再生医療用具、手術際の縫合糸等）

その他の製造業（グリーン製品への適用）

実際の業務での役割や活躍するフィールド

バイオマスプラスチック素材の基礎研究と製造

バイオマスプラスチック加工製品の製造（経済性、安全性、堅牢性等の付加価値にも配慮）

電化製品等の製造時における素材や加工品の選定、生産工程の設計

企業の環境報告等の CSR 対応

バイオマスプラスチック素材及び加工製品のマーケティング

（４）産業別・人材像別のスキル

アンケート調査及びヒアリング調査の結果等に基づき、委員会による検討を踏まえた上で、育成後の産業別・人材像別スキルの方向性を整理した。この方向性に基づき、スキルスタンダードにおけるスキル項目及び技術項目を具体化した。

2 2 . 当該人材が必要とされる背景

2 2 1 バイオマスを活用した産業育成・振興に係る人材の育成の必要性

バイオマスは、世界各国で再生可能な資源として古くから注目され、エネルギーやマテリアルの資源・原料として活用されてきた。我が国では、2002年1月にバイオマスエネルギーが新エネルギーの一つとして定義づけられたのを契機に脚光を浴びるようになった。また、2002年12月に定められたバイオマス・ニッポン総合戦略をうけて、エネルギーのみならずマテリアルにバイオマス資源を導入する動きが活発化している。この動きに合わせ、経済産業省や農林水産省ではバイオマスプラスチック食器の実証事業を実施し、その本格導入に向けた取り組みが進められている。また、我が国は、京都議定書の批准を決めたことから、バイオマス素材を用いて化石エネルギー消費やCO₂排出量を抑制するための取組も非常に重要となる。したがって、再生可能な資源の活用、地球温暖化対策、さらには産業育成・振興と言う視点からの人材育成は重要といえる。

2 2 2 国際競争力のある素材開発分野の人材の育成の必要性

現状における素材としてのバイオマス利用は緒についたばかりであり、導入用途の多くがシート・フィルムなどのディスポーザブル製品であり、リターナブルな製品は非常に少ない。物性面などは化石プラスチックに劣ることが多いためである。また、現在その普及が期待されるポリ乳酸樹脂の場合、多くの企業が米・カーギル・ダウ LLC から原料を調達し、製品を製造しているため、素材開発に関する国際競争力が高いとはいえない。したがって、バイオマス利用における素材開発分野の人材育成は急務といえる。

2 2 3 バイオマスプラスチックの利用促進のための人材の育成の必要性

バイオマスプラスチックは、生物起源の原料から作成されているものや、非生物起源の原料から作成されているが生分解性を持つものなど、環境配慮型の素材である。しかし、現状では価格や性能面で既存のプラスチック樹脂に劣る点がある。このため、バイオマスプラスチックの特徴を活かした用途開発や普及啓発など利用促進を進めるために、素材の特性を理解した上で製品開発や市場開拓を進めることが求められる。従って、研究開発だけでなく商品開発という視点からも技術を理解した人材の育成が重要である。

●欧州におけるバイオプラスチックの現状

昨今の環境への配慮や気候変動問題の解決に向けて、より環境負荷の低い素材が注目されている。中でもバイオプラスチックはバイオマスを利用したカーボンニュートラル材料であり、各業界で注目されている。昨年11月に「第1回欧州バイオプラスチック会議2006」が開催され、そこから報告された資料を元に今回レポートを作成した。なお、基本的に本レポートで使用している図表は会議で報告されたデータを引用、またはそれを元に作成している。

1. 概要

生分解性および堆肥可能ポリマーは、再生可能エネルギー原材料および化石燃料の両方から製造可能である。現在、様々な生分解性ポリマーが、完成品の技術的性能の改善や、新規利用の開拓、コスト削減に向けて混合されている。再生可能エネルギーベースのポリマーの製造における再生可能エネルギー原材料の利用は、化石燃料資源の利用低減およびCO₂排出削減、エネルギー問題および廃棄物処理問題に貢献し、環境影響を低減する利点がある。図1に生分解性モノマーの利用形態を、図2に生分解性プラスチックの処理インフラ関連図を示す。

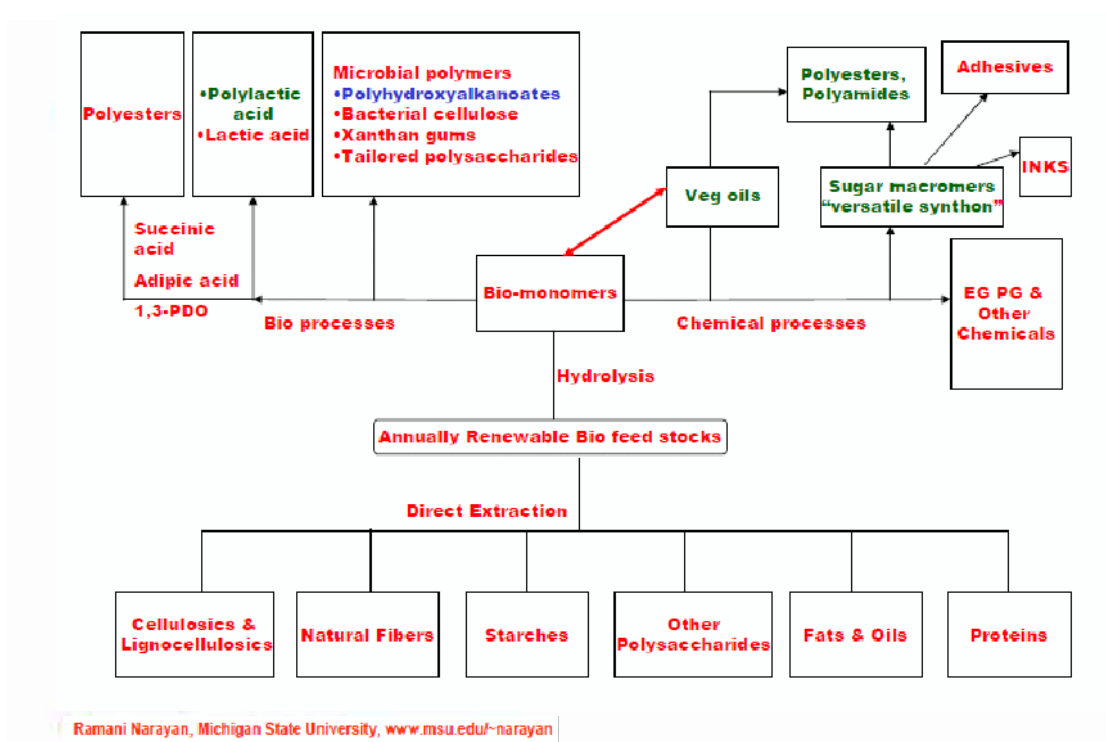


図1 生分解性モノマーの利用形態¹

¹ Ramani Narayan, Michigan State University, www.msu.edu/~narayan

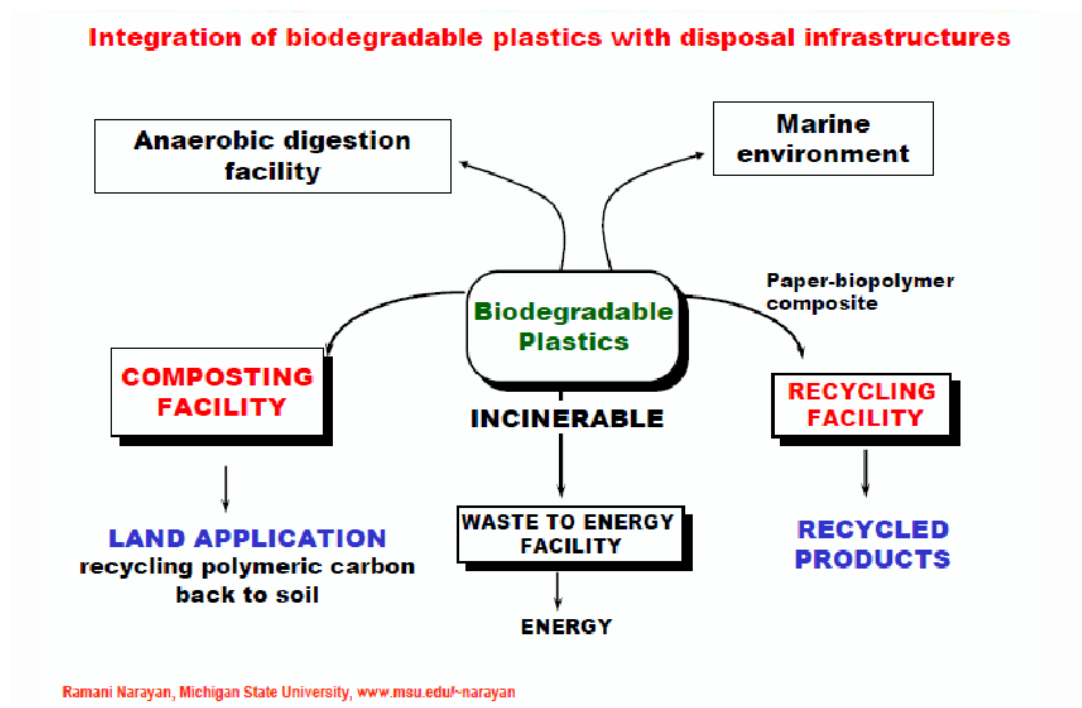


図2 生分解性プラスチック処理インフラ関連図²

商業プラスチック価格が、原油高騰を受けて30-70%高騰している一方、一部のバイオプラスチック製造者はその価格を下げている。再生可能エネルギーベースの原材料は、依然石油ベースのそれと比較すると高いが、その差は徐々に縮まってきている。その理由として、バイオプラスチックはまだ標準的なプラスチックと比較して開発コストが高く、潜在性も小さいため十分競争力をまだ持っていないためである。今後原油価格の高騰が予想されるが、再生可能エネルギー原材料の利用でも利益が得られるであろう。現在関心をもたれており、重要な影響を与えるものとして以下のものが挙げられる。

- 包装物（食品容器、ラップ、ネット、発砲成型品）
- 食品廃棄物の回収および堆肥用プラスチック袋およびスーパーのレジ袋
- 仕出し製品（食卓用金物、プレート、カップ）
- 農業（根覆いフィルム、植木鉢）
- 衛生用品（おしめ等）

生分解性プラスチックの最も消費する産業部門は、包装部門とプラスチック袋製造部門である（総消費量の38%）。バイオプラスチックの発展状況について、欧州バイオプラスチック協会が会員団体に行った調査によると、2006年は欧州においてバイオプラスチック産業に対する関心が急激に上昇した最初の年であることが分かった。

調査項目は、2006年における製造、新製品、加工技術における課題や、販売拡大や市場焦点、2007年の予想について網羅している。その結果によると、製造業者、特に包装業者において、成長率が前年比100%増という予想もある業者もある。欧州における巨大な店舗網で、バイオプラスチック包装物の導入が進んでおり、包装部門の会社は2007年もこのプラス成長が継続されると予想している。表1にバイオプラスチック供給業者の概要を示す。

² Ramani Narayan, Michigan State University, www.msu.edu/~narayan

再生可能エネルギーポリマー

	製造業者	商品名	生産能力	国名
ポリ乳酸(PLA)	Cargill	Nature Works	140,000t	米国
	三井化学	LACEA	500t	日本
	トヨタ自動車	Eco Plastic U'z	1,000t	日本
でんぷんベース	Novamont	Mater-Bi	20,000t, 60,000t(計画)	イタリア
	Limagrain	Biolice	4,000t	フランス
	Biotec	Bioflex	10,000t, 20,000t(計画)	ドイツ
ポリヒドロシキアルカン酸(PHA)	Tianan	Enmat	1,000t, 10,000t(計画)	中国
	Metabolix/ADM	検討中	5,000t, 50,000t(計画)	米国
	PHB-ISA	Biocycle	50t	ブラジル

化石燃料ポリマー

脂肪族/芳香族ポリエステル	BASF	Bioflex	14,000t	ドイツ
脂肪族ポリエステル	昭和高分子	Bionolle	3,000t, 6,000t(計画)	日本
脂肪族ポリエステル	ダイセル化学	Celgreen	1,000t	日本
	三菱化学	GS-PLA	6,000t	日本

表1 バイオプラスチック提供業者概要 (出典: BASF/Independent Studies、一部筆者により修正)

2006年は、バイオプラスチックの需要が急増したと報告された。ユーザの関心は、全ての製品分野に及び、中でもバイオプラスチックフィルム包装に注目が集まっている。多くのバイオプラスチック製品で生分解性および堆肥可能なだけでなく、再生可能エネルギー資源を利用した製品は、売り上げを伸ばし、利益を上げた。主に、環境への意識の高まりや積極的に持続可能社会を目指す会社や、原材料およびエネルギー価格の急上昇が、バイオプラスチックの関心が高くなる原因となっている。バイオプラスチックの特別な材料特性の技術開発が進歩することで、今後バイオプラスチックはますます競争力を得ることになるだろう。

前処理が不必要の優れた印刷適性や光沢度、石油類、油脂類に対する耐性といった材料特性は、ある特定の利用先において有利になるであろう。欧州において、製品数や製造業者数、利用者数それぞれが増加している。バイオプラスチックは、すき間市場から中期的には広く導入されて躍進を遂げようとしている。

I BAWの概算によると、汎欧州のバイオプラスチック消費量は2003年において約40万トンで、2001年から倍増している。バイオプラスチックは市場成長に貢献し、特に英国、イタリア、オランダ市場では急激に拡大した。欧州におけるバイオプラスチック市場は、現在全プラスチック消費量のシェアの1%にも満たない。製品は、ある特定部門において適しており、例を挙げれば巨大スーパーマーケットの包装物がそうだ。また、エレクトロニクスや自動車、農業部門でもバイオプラスチックに対して高い優先度が置かれている。急速に成長する需要に喚起され、製造業者は継続してその生産能力を拡大している。しかしながら、利用可能性を確固たるものにするためには、さらなる多大な投資が必要であろう。

2. バイオプラスチック市場

現在、原油の4%がプラスチックに利用されている。EUにおけるプラスチック生産量は約4,400万トンで、約50%が包装物に利用され、35%が軟包装 (flexible packaging) に利用されており、総プラスチックの約0.1%がバイオプラスチックである。プラスチックフィルムの世界市場は910万トンである一方、バイオプラスチックフィルムはわずか10万トンで、市場の1.1%程度となっている。

バイオプラスチックへの新規利用は、継続的に行われている。バイオポリマー市場は、急速に拡大しており、毎年20%拡大している。最近では、標準樹脂のコスト高 (表2参照) や将来の利用減少に対する懸念から、価格設定が障害の1つであったポリ乳酸フィルムにも価格水準に競争力がついてきている。

	2003	2004	2005	2005/2003(%)
低密度ポリエチレン (LDPE)	851	1,022	1,145	34.5
ポリプロピレン (PP)	798	898	1,051	31.7
ポリエチレンテレフタレート (PET)	1,045	1,146	1,241	17.7

出典:RAPRA

表2 フィルム原料の価格推移 (単位: ユーロ/トン)

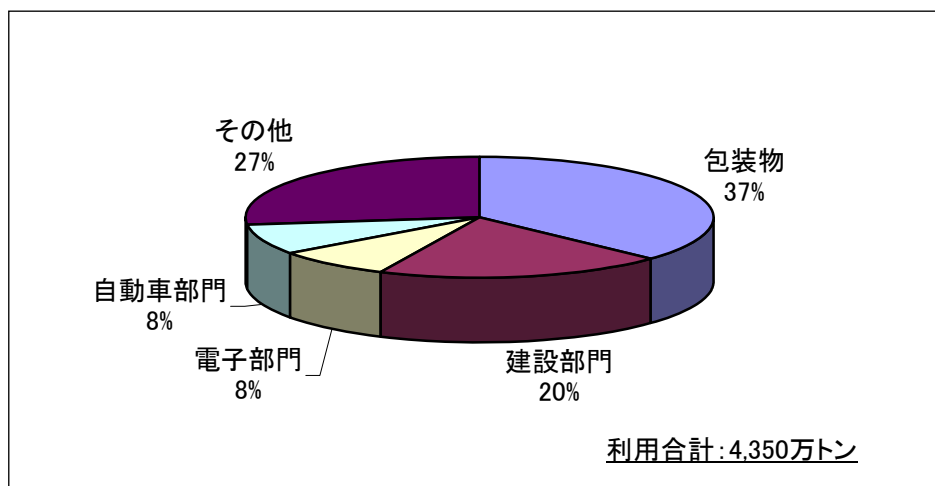
ポリ乳酸ポリマーは、大量生産および生産過程の効率化によってかなり価格が下がってきている。ポリ乳酸は、2005年よりポリエチレンテレフタレート (PET) に対して競争力がついてきている。トウモロコシ価格の安定や揮発性の低下、新技術の開発、生産量の増加といった要因が、ポリ乳酸ポリマーをさらに低価格へ押し下げるであろう。その上、税制優遇策や税体系によっては、よりコストが魅力的になり、製造過程や廃棄物管理における低エネルギー化が図られるであろう。2005年3月に行われた研究によると、消費者は環境配慮製品に対し10%コスト増を受け入れるかどうか、という質問に対し、イタリアでは85%、ドイツおよび英国では84%、カナダで80%、米国で79%の消費者が受け入れると回答しており、市民の環境への意識が高まってきていることもプラスチック材料である。

2010年までに、世界のプラスチック消費は、現在の1,800万トンから2,580万トンまで増加すると予想されており、その内の約1.5から4.8%がバイオプラスチックで占めると予想されている。また、地域別では2005年では欧州が生分解性プラスチックの5割以上を占めているが、2010年にはアジア地域が躍進し、44%を占めると予想されている (表3参照)。また、西欧におけるプラスチック利用の内訳と包装物における原材料内訳を図2、3に示す。

	2005(%)	2010(%, 予想)
欧州	51	36
アジア	33	44
北大西洋自由貿易地域 (NAFTA)	16	19
その他	0	1

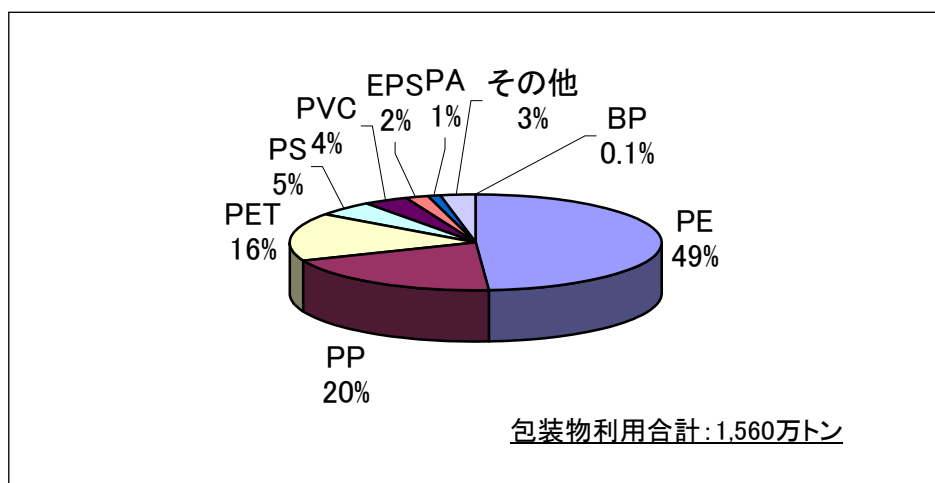
出典: BASF

表3 生分解性プラスチック (ばら詰め断熱材を除く) の地域別シェア (単位: %)



出典:PlasticsEurope

図2 西欧におけるプラスチック利用割合 (2004, %)



PE:ポリエチレン、PP:ポリプロピレン、PET:ポリエチレンテレフタレート、PS:ポリスチレン、PVC:ポリ塩化ビニル、EPS:発砲スチロール、PA:ポリアミド、BP:バイオプラスチック

出典:PlasticsEurope

図3 西欧における包装物における原材料内訳 (2004, %)

3. 法律上公約 (Legal Commitment) について

欧州にて、こうした革新的な再生可能製品の市場導入支援対策を立てるべきではないかという疑問が残るが、それについては法的枠組みが作られており、再生可能エネルギーやバイオ燃料部門の成長および改革が行われた。欧州における再生可能エネルギーの急成長は、支援対策が施されたことが契機となり、特に強化規制が投資および成長に強くプラス影響を与えた。ただ再生可能製品については、欧州レベルでのこうした対策は遅れており、バイオプラスチックについては、数ある中の対策でも法的措置や研究費の増額、通信プログラムや税制優遇策を利用した前向きな枠組みを早急に制定する必要がある。再生可能製品に対する改良された枠組みが、望まれる持続可能な発展だけでなく、バイオプラスチック技術のような重要なイノベーション部門における、

欧州の更なる国際競争力強化につながっていくであろう。

欧州バイオプラスチック協会のHarald Kaeb会長は政治家に対して、現在焦点の当たっているバイオエネルギー支援活動に言及する場合には、統合的なバイオエコノミー概念³における再生可能エネルギー資源の物質利用も言及するよう勧めている。バイオマス製品製造とその後のエネルギー回収を含めたカスケード利用⁴を行うことで付加価値が発生し、環境への負荷も改善されるであろう。高い生産コストや世界競争力に照らし合わせると、欧州は再生可能分野における、輸出可能な技術や知識基盤技術や製品の重要性を高める必要があるだろう。

標準化された試験やラベリングは、企業に対して製品規格を調和させ、それによって市場全体の市場状況を改善し、偽物や誤解を招く製品を市場から排除するためには必要である。IBAWの下組織されたバイオプラスチック産業は、欧州標準「EN 13432」を定めて、産業生産における消費者への信頼向上や環境への影響低減、持続可能な発展に寄与する、生分解性物質や堆肥可能プラスチック製品の標準化およびラベリングのシステムを開発した。同産業において自主的な公約として提案された「Environmental Agreement (E A)」は、生分解性および堆肥可能ポリマーの開発を進め、廃棄物管理やリサイクル、産業のける持続可能な開発に向けた重要なステップを示す、新たな手段を示したことになった。自主的な公約は、高品質の堆肥を製造したことにより土壌や水質の改善が行われ、製品安全や経済的付加価値や環境負荷面での利益を生み出した。生分解性物質や同製品の製造業者や加工業者、生産者、利用者は次のような項目を守る必要がある。

- EN13422の系統的な利用
- 独立認証機関による証明のための、包装物質や製品の提出
- 特別な標識記号として包装物製品に対するラベリング

EN 13432基準（包装物に対し、堆肥化や生分解化を通じて回収可能を要求する規制）は、包装物および包装廃棄物指令（94/62/EC）適用した生分解可能性や堆肥可能の定義を含んでいる。

EN 13432基準によって「生分解可能 (biodegradable)」として定義された材料および製品に対し、以下のような基準を満たすよう記載されている。

- 生分解可能性: respirometric法 (EN 14046/ISO 14855) を利用し、管理下における堆肥化がセルロースと比較し90%以上であること
- 分解: 3ヵ月で90%以上であること (EN 14045 ISO FDIS 1629)
- 生態毒性: 堆肥に関して、水生生物や陸生生物 (オオミジンコ、虫試験、発芽試験) への毒性試験
- 化学試験: 有害化学物質の有無

認可は、独立した公認の第三機関によって行われる。Environmental Agreement (E A) のため、専門組織で独立組織であるDIN/CERTCOが行う認可計画が採用されている。登録ラベルの利用は、認可過程基準を満たした製品に限定されている。認可手続きの採用に関連する自主的公約の管理は、DIN/CERTCOによって実行されるであろう。これは、全供給網に則した単一の認可手続きによって、既存の製品性能に関する国内およびEU基準の調和および強化につながるであろう。さらに、94/62/EC指令（包装物および包装廃棄物指令）の実施や、適切な広報活動やEU全体にわたる一貫性のあるラベリング制度、廃棄物管理システムの設立やそれらの利益を実感できるEU/国内実証プロジェクトによって、こうした製品の消費者の利用向上や、環境保全上の利点に対する意識向上につながる。この活動は、域内市場を改善し、ラベリング認定のさまざまな国内活動

³ バイオエコノミーとは、再利用可能な生物資源、バイオテクノロジー、バイオプロセス、バイオ製品などに依存する製品とサービスに関する経済活動を指す（出典：OECD 東京センターホームページ）

⁴ カスケード利用とは、最初の資源からある物を利用した後の残りからさらに別の物を利用し、その残りからさらに別の物を利用する、というように上流から下流へと流れがとぎれることなく次々に資源を利用していくことを意味します（参考：九州バイオマス利用研究チームホームページ）。

を一致させ、商品の自由な流れを促し、消費者への信頼を増加させるであろう。E Aは以下のような政策に寄与または関連している。

- 第6次環境行動計画 (6th Environmental Action Plan)
- E U持続可能戦略 (EU Sustainability strategy)
- E U土壌戦略 (EU soil strategy)
- 統合製品政策 (Integrated Product Policy)
- 第6次E U研究枠組みプログラム (6th EU Research Framework Programme)

さらに、ドイツで消費者の意欲が見受けられたプロジェクトであるが、適切にラベリングされた包装物材料に対して分離した回収システムを採用した「Kassel Project」のような実証プロジェクトの設立が進められている。

同様のプロジェクトが「E U LIFEプロジェクト」の一部としてロンドンやウィーンでも提案されている。E Aは、新規およびアドバンス技術の開発および利用を刺激するだろうし、特に中小企業によって主張されている高度で革新的な産業分野の成長推進させ、既存技術を確保し、農業だけでなくプラスチック産業においても新たな、高度な能力が必要な雇用を創出するであろう。

E Aの実施上鍵となるのは、企業総局のRRMワーキンググループの一部である「ポリマー分野グループ」を介したERRMA、イタリアのNovamont社やE UのI B A W、ドイツのB A S F社、オランダのCargill Dow Polymers社とRodenburg Biopolymers社、ドイツのCognis社とEastman社からの代表が参加しているワーキンググループである。リスト上の参加者は、生分解性物質の生産者であり、E U市場における生分解性プラスチックの90%以上のシェアを持っている。I B W Aは、1993年に設立されて、新規材料区分の開発を推進する、主要な生分解性ポリマー製造業者、加工業者、調査研究機関からなる団体（非営利）である。

なお、でんぷん業界によれば欧州の農業政策は欧州の植物でんぷんについて国際競争力を持たせることと、将来市場においてそれぞれの地方で生産された農業原材料によって賄えることが可能になるようなものでなければならない。

4. E Uにおける研究開発

E Uは、バイオプラスチック研究についてはここ20年間に着手されてきた。枠組みプログラム (F P) の下、「Agri-Food-Fish-Forest-Biotechnology」研究活動運営として年間約1億5,000万ユーロが将来の戦略および政策に対し供与されている。バイオエネルギーや木材研究を除いた、E Uにおける生物起源製品に関する190の研究プロジェクトに対し2億1,000万ユーロ投資されており、1,300を超える共同出資者（その内40%が産業界、多くが中小企業である）より提供されている。

製品連鎖(Product Chain)	プロジェクト数	EC 出資額 (100 万ユーロ)	総出資額 (100 万ユーロ)
バルクケミカル (塗料、潤滑油、洗剤、バイオガス)	44	44	79
バイオプラスチック (でんぷん、ポリ乳酸(PLA)、ポリ 3-ヒドロキシ酪酸(PHB)、プロパンジオール)	46	60	110
非木材由来繊維 (車体、建築物材料、ジオテキスタイル)	27	40	90
ファインケミカル (薬剤、染料、殺虫剤)	73	66	130
合計	190	210	409

表 4 20年間ににおけるEUのバイオマス製品研究(出資プロジェクト)

バイオマス製品	プロジェクト数
微生物ポリマー	10
セルロースベースポリマー	4
たんぱく質ベースポリマー	3
でんぷんベースポリマー	9
バイオプラスチック食物包装物	7
その他工業用利用	4
ネットワーク関連	3
バイオプラスチック加工	3
ナノテクノロジー	3

表 5 20年間ににおけるEUのバイオマス製品研究(EUにおけるプロジェクト)

バイオマス製品のために、30種類以上の異なる農作物の品種改良が行われてきた。そのため、バイオプラスチックや潤滑油、洗剤、染料、燃料から包装物や果ては生物防除剤まで、40種類以上の工業製品が産まれた。また、微生物代謝や植物代謝といった貴重なゲノム情報が得られたことにより、ここ20年間世界で知識基盤が構築され、広範囲なEU基盤が形成された。産業界では成功しているプロジェクトもあり、例を挙げると自動車製造業では原材料として農業繊維(agricultural fibre)を採用しているし、EUのバイオディーゼル市場は成長を続けている。植物油由来の溶剤や潤滑油、多くのでんぷんベースのプラスチックや進歩的なEU法(バイオマス行動計画等)が開発、制定されている。

今後20年以内に、従来の化学変換依存は減少し、非食用農作物の研究データの広範なネットワークによって、持続可能なバイオエコノミーに向けた粗放的栽培⁵や好意的な法体系が制定されるであろう。分子微生物学やタンパク質化学、微生物関連のエンジニアリング分野におけるゲノム

⁵ 粗放的栽培とは、一定面積の土地に対し、自然物・自然力の作用を主とし、資本・労働力を加えることの少ない栽培方法のこと(参考: 広辞苑)。

技術の進歩は、ホワイトバイオテクノロジーやグリーンバイオテクノロジー⁶を根本的に変えてしまうであろう。ホワイト、グリーンバイオテクノロジーにおいて急速に発展する製品、項目として以下が予想される。

- 工業用原材料として利用される植物改良（砂糖、繊維、油脂）
- 原材料生産能力の向上（新種の脂肪酸）
- 代謝副産物レベルの向上（ビタミン等）
- 加工性の向上（低リグニン）
- 化学物質およびエネルギー投入の減少

5. 欧州各国の取組状況

バイオプラスチックは、数多くの欧州諸国で利用されており、その消費は飛躍的に伸びている。これらの製品を製造や加工、取り扱う企業数もまた急速に増加している。EUの包括的な団体に加えて、欧州バイオプラスチック協会（European Bioplastics）、国内ネットワークや団体が設立しており、民間企業の関心を表している。以下に、各国の団体を示す。

ベルギー：Belgian Biopackaging

ドイツ：European Bioplastics (Germany)

英国：UK Compostable Packaging Working Group

フランス：Club Bioplastique

オランダ：Belangenvereniging Composteerbare Producten Nederland, BCPN

欧州における各国内のバイオプラスチック市場の発展については、異なる速度で成長しており、それは異なる推進力の影響のためである。以下に各国の状況を述べる。

1. ドイツ

ドイツは、バイオプラスチック市場は継続的に成長しており、例えば生物由来廃棄物用ごみ袋や根覆いフィルムなどに利用されている。また、衛生用品や、果物や野菜用包装物、買物袋といった利用用途で採用されてきており、そして種々のスーパーマーケットでは試験が行われている。

法整備では、新たにドイツ包装物法が制定されており、バイオプラスチックの政策支援が整えられて研究開発も行われている。

バイエルン地方では、野菜油を原材料に利用した生分解性根覆いフィルムや堆肥可能な生物由来廃棄物用ゴミ袋、マットレスの開発および市場導入が政府より支援プログラムが組まれて進められている。また、継続的に地方および欧州レベルでの支援も行われている。

改正されたドイツ包装物法は、生分解性ポリマーより作られる堆肥可能包装物を明確に区別するように制定されている。こうした包装物は、2010年末まで市場導入段階として免除されており、産業界は閉ループライフサイクルに基づく独自の処理システム(disposal system)を作り上げるのに十分な自由と時間が与えられている。

2. オーストリア

上オーストリア州の「Loop Linz」プロジェクトが、バイオプラスチックの啓蒙活動として2005年に開始された。そして下オーストリア州でも「N Packe't」というバイオプラスチックプロジェクトが行われており、政府も開発に力を入れている。

⁶ ホワイトバイオテクノロジーとは、産業用途に利用するバイオテクノロジーであり、グリーンバイオテクノロジーとは農業分野で使用されるバイオテクノロジーである（出典：NEDO ホームページ）。

小売業者である、SparやBilla、ADEGは生分解性包装物（biopackaging）を最近導入している。

3. フランス

農業および根覆いフィルム、食物用包装物、サービス業包装物（買物袋）では、バイオプラスチックの強い成長が見られている。

産業界では、「Club des Bioplastiques」が2005年に設立され、Auchon, Intermarché, Carrefour等といった小売業者で包装物において利用が開始されている。「Biobag」法が2005年に制定され、強い動機と共に欧州での模範となるべく、2010年から一度利用の買物袋は生分解性のものにならなければならないことになっており、これは市場導入への重要な推進力となっている。

バイオプラスチックに関する研究プログラムも行われている。

4. 英国

食物用包装物におけるバイオプラスチック市場の開拓者として、Sainsburugが2001年に導入し、それにTescoが続いて現在は多くの小売業者が採用している。消費者にも広く受け入れられており、リサイクルコストも低価格に抑えられている。2003年には、堆肥可能包装物ワーキンググループが設立され、また同年にはラベリングおよび認証化が導入され、今では英国は欧州でも生分解性包装物のパイオニアとなっている。2006年9月には、主要なスーパーマーケットチェーンが500種類を超える取扱品目について生分解性包装物に変更すると発表した。これは、年間4,000トンの化石燃料プラスチックを削減することが目的でありその他の英国の小売業者もバイオプラスチックを導入する計画である。

5. オランダ

Biobinシステムという、認可された生分解性商品に対する回収システムが開始され、家庭ごみの90%が該当すると言われている。BCPNは、オランダの地方自治体（VNG）と堆肥化可能のロゴの使用について合意に達した。また、主要小売業者であるAlbert Heijnは、生分解性包装物利用について強く公約を掲げるなど包装物部門では強い成長が見られる。そして、政府もまた発展支援を行っている。

6. イタリア

イタリアでは、搬出用および堆肥化用袋でバイオプラスチックが良く利用されている。スーパーマーケットでは、食物用包装物や売店での買物袋、料理用包装物にて利用されている。また、でんぷんベース包装物が衛生用品に利用されており、また根覆いフィルムにも利用されている。

【バイオマス特集】 バイオ燃料**米国のバイオエネルギー及びバイオ製品ロードマップ**

米国の「バイオマス研究開発イニシアティブ¹」はバイオ由来の製品とバイオエネルギーの研究開発を促進させるために、農務省(USDA)とエネルギー省(DOE)により共催されているものである。2007年10月、イニシアティブを構成する機関の一つである「バイオマス研究開発技術諮問委員会²」は、今後の研究開発目標や達成のための戦略を示す「米国のバイオエネルギー及びバイオベース製品ロードマップ³」を公表した。これは2002年に策定されたものの改訂版に当たる。NEDO海外レポートではバイオマス特集として、このロードマップ(2007年10月改訂版)から、「エグゼクティブサマリー(大要)」と「第2章「Twenty in Ten」目標達成のための主要提案項目」を抜粋して紹介する。

エグゼクティブサマリー

エネルギー需要を賄うために米国ではここ数十年間輸入石油への依存度が増している。エネルギーと化学品を供給するために、より幅広い国内の原料から、化石燃料への依存を減らし将来のエネルギー供給を確保する道を見つけないといけない。バイオマス資源は持続可能で環境に優しい原料であり、エネルギー源多様化に大きく貢献することができる。

バイオマス研究開発技術諮問委員会(以下、委員会)は、「米国のバイオエネルギー及びバイオ製品ビジョン⁴」(以下、ビジョン)と「米国のバイオエネルギー及びバイオベース製品ロードマップ」(以下、ロードマップ)を作り、達成可能な量的目標を明確化し、それらの目標を可能にする研究開発(R&D)戦略を策定した。2002年に策定されたこれらの文書は、米国農務省とエネルギー省が毎年発表する共同研究募集の案内に使用されてきた。2005年に重要な進展があり、委員会は農務省とエネルギー省の長官からビジョンとロードマップの改訂を依頼された。2006年11月に更新されたビジョンには、バイオ燃料、バイオ電力及びバイオ製品が米国経済で果たすことができる役割についての意欲的目標が含まれている。

ロードマップの更新は、地域限定の問題や機会に適切に取り組むために米国各地で開催された地域集會に基づき行われた。委員会は、ロードマップの改訂を進めるために、西・東・中部の各地域にロードマップ地域研究集會の議長を任命した。各研究集會で協議が進められたことにより、地域の専門家は、原料、生産、インフラ及び市場に関してビジョンの目標を達成する上での障壁を特定できた。続いて研究集會の参加者らは、これらの障壁

¹ BRDI: Biomass Research and Development Initiative

² Biomass Research and Development Technical Advisory Committee. USDA や DOE 内の専門家の他、大学、各種団体、産業界など 30 名の委員で構成される。

³ the Roadmap for Bioenergy and Biobased Products in the United States

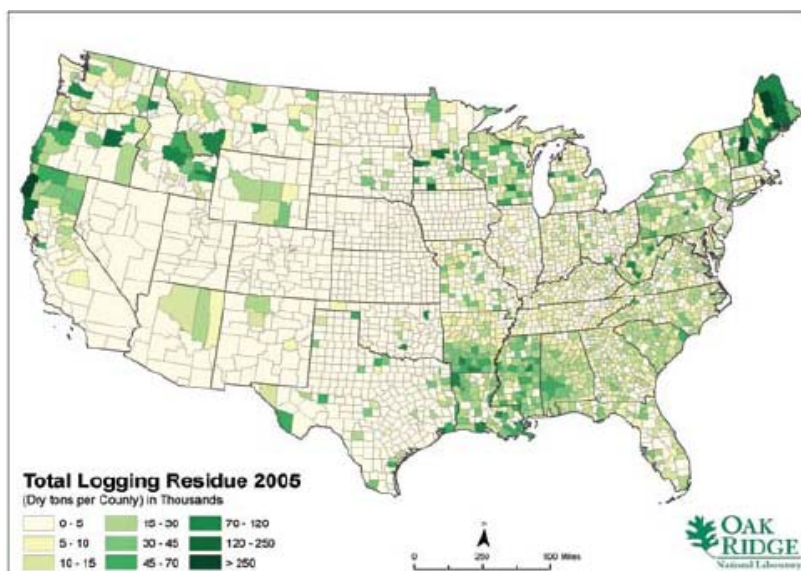
⁴ the Vision for Bioenergy and Biobased Products in the United States

を克服するための技術的・政策的戦略の計画を立てた。

改訂されたロードマップは、産業界、学界、政策決定者がビジョンの目標達成に必要なステップを実施するための参照文献として使用される。ロードマップでは、政策立案者用に研究と政策措置についての具体的戦略が特定されており、バイオマス技術の推進に必要な措置も特定されている。このロードマップによって、採算性があり持続可能で経済価値のあるバイオ産業を実現できる。

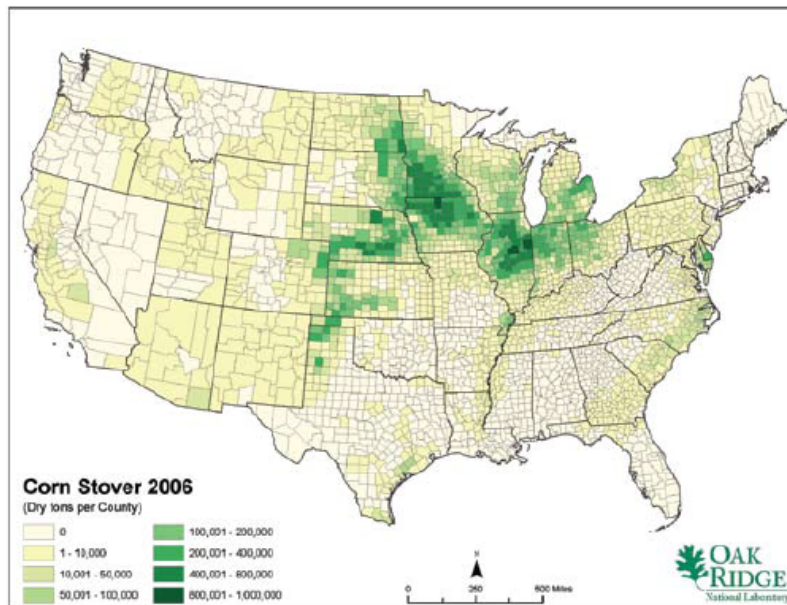
地域特性 ロードマップ地域研究集会で、バイオマス技術の研究開発における大きな障壁が特定された。最も重要なのは米国の主要な地域的特性に対応することである。米国西部には十分に活用されていない土地が膨大にあるため、代替となるバイオマス原料の栽培に使える可能性がある。ただ、西部は大変広大なため、現在利用可能な原料が広域に分散していて収穫が難しい。米国東部は多数の小規模な土地の所有者から構成されている。このことはバイオマス原料の生産規模の経済性に大きな難題があることを示している。それに加え、東部の大部分のバイオマス原料は木質系バイオマス（図1参照）であるため、燃料や電力、別の澱粉系原料の製品に簡単に変換できない。米国中部は、容易に燃料に変換できる原料が大量にある（図2参照）が、最終製品を人口の多い西・東部に輸送するのに必要なインフラがない。原料生産、バイオ燃料（製品）への変換設備、そして最終市場の間の距離が近接しているという構造が出来上がれば、バイオマス技術に競争力をもたせる一助となりうる。

図1 米国における林業残材量（2005年：郡別）



(出所：OAK RIDGE National Laboratory)

図2 米国におけるトウモロコシ茎葉排出量（2006年：郡別）



(出所：OAK RIDGE National Laboratory)

原料：多くの主要分野で研究の飛躍的進歩が必要である（例えば、バイオマスを燃料・電力・製品に変換する費用効率を改善する、植物科学における進歩など）。地理情報システム(GIS)⁵の研究開発も米国がバイオマスの利用可能性をより正確に特定する助けとなる。研究開発の重点は最新の収穫技術に置かなければならない（例えば、シングルパス刈取機(single pass harvesters)や森林廃棄物用精密機器(precision forest residue machinery)など）。これによって、より大量のバイオマス原料をより低費用で収穫することが可能となるだろう。農業廃棄物、森林廃棄物、都市廃棄物のどの原料であっても、克服しなければならない障壁がある。バイオマスは収集、貯蔵、輸送に費用がかさむ可能性があり、現在のインフラでは対応できない。

処理・変換：バイオマス原料の処理・変換には効率性が求められる。自然界に見られる処理機構の再現を科学で実現することに努めなければならない。油／糖／蛋白質プラットフォームが石油化学プラットフォームを代替できることを実証するには大きな飛躍的進歩が必要である。バイオマス変換の副産物を活用し付加価値をつけるには、より一層の取り組みが必要である。酵素技術は向上しているが、酵素の費用削減、化学反応のスピード向上、燃料と製品の製造における費用効率性の増大については、まだ大きな改善がなされなければならない。原料と小売市場の双方に近い位置にモジュール式の⁶分散型処理・変換設備を設置すれば、輸送・販売にかかる費用を削減できる。

⁵ 地図データと位置に関連したデータを、総合的に作成・保存・利用・管理し、表示できる機能をもった情報システム。

⁶ 規格化され、部品等の構成要素の交換が可能である方式。

インフラ：バイオマス製品の輸送とインフラには研究開発が重要である。流体の形で製品を輸送するのに最も費用効率の良い方法は、パイプラインを通すやり方である。しかし、現行の技術や規制ではバイオ燃料を石油系燃料と同じパイプラインで輸送することはできない。この問題は解消しなければならない。

最終消費市場：最終消費市場を発展させるためには、一般消費市場に最も適したバイオ燃料の評価・開発を研究対象にすることが必要である。副生産物の新しい使用方法を特定するための研究を継続することも必要である。

研究開発以外の対策：バイオ燃料・電力・製品を支援する政策とインセンティブは、政策決定者と民間の双方への便益面の教育も併せて進められなければならない。米国ではバイオマスを既存のインフラで収穫・処理・統合する技術系労働者が不足しているため、労働者の教育も必要となるだろう。

バイオエネルギーへの国民の興味が高まれば、このロードマップは、エネルギー安全保障の向上と石油依存の低減を目指す他のイニシアティブの戦略指針にもなりうる。特にこのロードマップは、委員会のビジョンよりもより意欲的なバイオ燃料目標を設定したブッシュ大統領の「Twenty in Ten⁷」の目標達成に役立つ指針も提供できる。「Twenty in Ten」はロードマップ地域研究集会の完了後に発表されたが、委員会は大統領の「Twenty in Ten」の目標を実施するために、省庁間バイオマス研究開発評議会(the interagency Biomass R&D Board)との調整を行って、同評議会とエネルギー省・農業省に15の提案項目を提出した。これらの提案項目の中にはロードマップの第2章が含まれている。

第2章 「Twenty in Ten」目標達成のための主要提案項目

委員会が2005年後期にビジョンとロードマップの改訂に着手して以降、バイオ燃料市場は急速な成長を遂げてきた。ブッシュ大統領は2007年の一般教書演説で、2017年までにガソリンの20%を削減するという意欲的な「Twenty in Ten」の目標を設定した。この目標は、再生可能燃料と代替燃料の併用および車両の燃費向上を通じて達成することが期待されており、エタノールはガソリン需要の代替として重要な役割を果たしている。またブッシュ政権は、セルロース系エタノールにコスト競争力をつけるための手法を追求することをますます重要視してきた。

委員会は、大統領の意欲的な「Twenty in Ten」の目標を全面的に支援している。委員会のビジョン文書とロードマップ地域研究集会は「Twenty in Ten」が始まるよりも前に行われたものであるが、大統領の目標達成には、委員会が今回のロードマップで示した概

⁷ 今後10年間でガソリン消費量を20%削減するというもの。

要と同じ研究・政策分野における大きな進展が必要となる。これには、植物科学と変換技術を進歩させて、セルロース系エタノールにコスト競争力をもたせることなどが含まれる。バイオ燃料を製造・分配する技術とインフラの進歩だけでなく、原料の収穫・貯蔵・輸送・処理を行うインフラの発展が必要となるだろう。

バイオマス研究開発評議会の依頼を受け、委員会は、「Twenty in Ten」の目標に向けた取組みとして連邦機関が評価・検討すべき優先的措置の特定を行った。これらの主要提案事項はロードマップの後半部分で概説されている技術的・政策的戦略を補完している。

2.1 原料

1. 政府は、現在バイオ燃料の製造のために生産中の作物、もしくは製造に使える作物の収量を増やすために、研究開発の資金を提供しなければならない。これには、従来の作物育種、遺伝子組み換え作物、改良された農業手法、効率性・環境負荷を意識した化学/天然材料の使用などへの資金提供が含まれる。バイオ燃料・電力・製品に使用される石油の代替品を作るのに役立つ穀物や油料種子作物に、主な重点を置かなければならない。
2. 「Twenty in Ten」の目標に向けた取組みでは、この先も穀物系エタノールとバイオディーゼル用の大豆に頼る必要があるため、食物部門（飼料の入手可能性、食品の価格など）と環境に対する潜在的影響（とその影響を軽減するための戦略）についての研究が推奨される。
3. 農務省は、適切に環境が保護されるという条件で、公/私有地内にある木質系廃棄物を利用しやすくする措置を策定しなければならない。木質製品と木質系廃棄物の利用増加は、バイオ燃料を長期開発するにあたり、必要不可欠である。

2.2 処理・変換

4. セルロース系原料からのバイオ燃料製造のコスト削減のために、研究開発を促進する。
5. 再生可能なガソリン、ディーゼル、及び、より高価値な化学物質（例：プロピレン、エチレン、その他の短鎖炭素化合物）を生産するために熱化学の研究を推進しなければならない。製品（燃料）単体のコストだけではなく、事業の総価値に重点を置かなければならない。また、石油を代替し、変換コストを改善する価値を持つ副産物にも重点を置かなければならない。
6. 政府はセルロース系バイオ燃料をまず20億ガロン拡大するための支援政策を策定しなければならない。例えば、数百万エーカー分のエネルギー作物・バイオ製品用作物（非食用）を栽培する土地の確保、国中の原料からセルロース系バイオ燃料を年間20億ガロン生産できる工場の建設などである。この政策は、これらの産業が自身の力で将来の成

功に向けて発展する助けとなるだろう。

7. 大学は、もしこの急速に成長している産業界がこの先10年間必要な労働力を開発する上で有効ならば、原料及び収集・変換技術の研究開発を行わなければならない。研究大学 (research universities) とコミュニティカレッジ⁸がこの取組みに全面的に積極参加しなければ、科学者、技師、技術作業者を輩出するのは難しいだろう。また、バイオリファイナリー施設に携わりそうな準学士号の学生達のための必須技術訓練プログラムを、コミュニティカレッジが開発できるような計画の策定も必要である。

2.3 インフラ

8. インフラの問題 (バイオマスをリファイナリーに輸送する際の問題や、リファイナリーから販売業者・エンドユーザーにバイオ燃料を輸送する際の問題など) の解決に重点的に取り組む必要がある。取り組まなければならないインフラの要件は以下のとおりである：

- ・原料とバイオ燃料の輸送 (貨車の台数、交通制御、トラック輸送、幹線道路など)。
- ・中西部から東海岸、フロリダ、西海岸の生産ターミナルへのバイオ液体専用パイプライン。これらのパイプラインは、コロニアル・パイプライン⁹やプランテーション・パイプライン¹⁰のように、米国財務省による100%の融資保証、土地収用といった特別措置の恩恵を受けた産業共同体として組織される可能性があり、将来の民営化を見越したものである。バイオ液体の範疇に含まれるものとしては、ガソリンやディーゼルの代替燃料、食品・飼料や産業バイオ製品に使用される植物油、脂肪種子由来の化学薬品などがある。

既存のインフラを最大限活用できる方法 (パイプラインの追加設置やパイプ・イン・パイプの使用、鉄道 / 水上輸送システムの改善、主要幹線道路の荷重制限の引き上げなど) を決めるために分析を行わなければならない。その結果、必要に応じて新しいインフラの建設を検討する。

9. 政府は、1960年に人類が初めて月に降り立った米国の宇宙プログラムのような、重大な国家イニシアティブを開始するべきである。そのイニシアティブでは、大統領の提案や委員会のビジョンにあるように、バイオマス燃料・製品・電力の増大を実現するために、必要なインフラ、人的資源、研究開発支援、及び政策を確実に整えるものとする。

⁸ 米国の公立の2年制大学。修了すると準学士号 (Associate of Arts) が与えられる。看護師養成など職業訓練を主としたところが多いが、4年制大学への編入も可能。

⁹ Colonial Pipeline。製油所が集中する米国南部メキシコ湾岸から大消費地の東海岸にガソリン、暖房油、航空燃料などを輸送するパイプライン (平均輸送量 1日1億ガロン)。
<http://www.colpipe.com/>

¹⁰ Plantation Pipe Line Co. ルイジアナ州バトンルーージュから首都ワシントンに伸びるパイプラインで平均輸送量 1日2,000万ガロン。
<http://www.plantation-ppl.com/>

2.4 最終消費市場

10. E85¹¹ブレンド活動：

- ・E85燃料供給インフラを導入するために、燃料小売業者に対する資金または新しいインセンティブの提供を行う。目標は5年以内に米国の供給ステーション（ガソリンスタンド）の30%。
- ・2012年までに火花点火エンジンの車の50%をE85のフレックス燃料車（FFV）¹²にすることを推進する政策インセンティブを規定する。2017年までに火花点火エンジンの車の90%をE85のフレックス燃料車にするためのさらなる政策インセンティブも必要である。消費者がフレックス燃料車を容易に識別できるように、黄色の燃料キャップの使用と/あるいは、目印を付けることも有益である。
- ・エタノールの場合と同様に、再生可能なガソリンとその他の非化石燃料ガソリンについても、税と政策方針を平等に規定する。

11. 石油の代替品の開発を進めるために、あらゆるバイオ由来の燃料・電力・製品を平等に扱うことが重要である。バイオ製品とバイオ電力は、あらゆる政策の中でバイオ燃料と同列のものに含められるべきである。農務省のバイオ製品優先ラベリング・イニシアティブに基づいて、公共機関は義務的、民間は任意に、再生可能なバイオ製品とバイオ電力の優先的使用を定めなくてはならない。市場経済と持続可能性は共に考慮に入れるべき重要事項であり、両立が不可能であるなどと政治的に正当化すべきではない。連邦政府は特定の適当な輸送燃料を優先するべきではない。以下の開発を促進するべきである：

- ・他のディーゼル代替品（再生可能なディーゼル及びバイオディーゼルなど）
- ・他の代替液体輸送燃料 再生可能原料から製造されたあらゆる燃料は、エタノールとバイオディーゼルのインセンティブ・プログラムに含まなければならない。

12. 連邦政府は現在のインセンティブの支援を継続し、これらと同じインセンティブをバイオ製品とバイオ電力にも適用するべきである。バイオディーゼルと再生可能なディーゼルに対する現在のインセンティブは2008年12月31日に終了する。発展初期段階の技術を促進し、研究開発を刺激し続けるためには、これらのインセンティブを2017年まで延長・拡大することが必要である。エタノールとバイオディーゼル（及びその他の国内のバイオ燃料）への助成であるエタノール物品税（従量課税）控除（VEETC: volumetric ethanol excise tax credit）を、現在の税率、もしくは原油価格が下落した場合にはより高い税率で、永久的に延長することを検討しなければならない。このように、産業への継続的な資金供給は絶対的に必要である。助成を延長する際にはバイオ製品とバイオ電力を含めて拡大しなければならない。

13. ここ数年間で再生可能燃料の生産・使用が急速に増加したことによって、より意欲的

¹¹ 85%のエタノールに15%の石油を混ぜた混合燃料。

¹² E85でもガソリン100%でも走行可能なエンジンを搭載した自動車。

目標である20%に近づくためにも、バイオ燃料（エタノールなど）のブレンドレベル10%を改正する必要性が高まってきた。法的な義務的ブレンドレベルが品質的に許容できる燃料であることを保証するために、1990年以降米国の車と小型エンジンに使用されていたE12、E15、E20のブレンドの影響について、総合的研究の実施と資金提供を緊急に行う必要がある。研究調整評議会(CRC: Coordinating Research Council)を通してこの研究を計画・実行する際には、自動車製造業者、小型エンジン製造業者、エタノール産業、石油産業、及び関連貿易業者が関与しなければならない。

14. 国税庁(IRS: the Internal Revenue Service)は、米国で生産された全てのフレックス燃料車、バイオディーゼル互換車¹³、及びハイブリッド車（乗用車、トラック、バス）に対して代替ミニマム税(AMT)¹⁴の対象にせず、20%の税額控除を行わなければならない。さらに、潤滑油とエネルギー伝導流体（油圧作動油）に再生可能な石油代替品を用いる産業機械や輸送機械に対しても税控除を行わなければならない。

15. 連邦政府は、「Twenty in Ten」の意欲的な市場目標を支援するために、産業界と政府が意見を出せる包括的なコミュニケーションと支援のプログラムを策定する必要がある。このプログラムでは、消費者と産業界の意識を高め、理解不足からくる障害を減らし、課題（正味エネルギー収支、食品価格への影響、自治体への助成金の純費用など）についての誤解に対応することに、重点を置かなければならない。「Twenty in Ten」で自動車ガソリンの代替品に取り組むと同時に、このプログラムでバイオ製品やバイオ電力の認知度も高めなければならない。それは、バイオマス原料の収穫・収集・処理などの分野への理解がより深まることで、バイオ製品やバイオ電力が「Twenty in Ten」の目標達成にも相乗的に役立つ可能性があるからである。バイオマス産業界から出た意見を活用するための新しい組織が設立される可能性もある。

編集：NEDO 情報・システム部、翻訳：大釜 みどり

出典：ROADMAP for Bioenergy and Biobased Products in the United States

<http://www.brdisolutions.com/default.aspx>

(Executive Summary (v, vi)、

2. Key Recommendations for Achieving "Twenty in Ten" Goal (p5~7))

¹³ バイオディーゼルでも石油系のディーゼルでもどちらでも走行可能な自動車。

¹⁴ Alternative Minimum Tax (AMT)。通常の税金計算とは別の代替計算を並行して行い、通常税額と比較して高い方を払う仕組み。経済的には所得を得ているが、政策的な控除などを利用して税額を軽減していると思われる企業・個人から最低限の税額を徴収するために導入されたもの。（南カリフォルニア日系企業協会サイトより。

http://www.jba.org/letter/public/information/index_017.html)

I. 合成繊維の基礎原料（基幹モノマー）の バイオベース化技術開発事業の実施可能性調査

〔未公開版：未確定〕

〔抜粋〕

経済産業省製造産業局繊維課

平成20年度中小企業支援調査

2. 4 海外の技術開発

繊維のバイオベース化技術に関する海外調査を平成20年12月7日(日)~13日(土)に行った。実施者は産業技術総合研究所生物機能工学研究部門環境保全型物質開発・評価研究グループ長の相羽誠一先生と大阪大学大学院工学研究科応用化学専攻教授宇山 浩の二人であり、調査先はNOVOZYMES社(デンマーク)、NEDO欧州事務所(フランス)、ROQUETT社(フランス)、EPNOE(European Polysaccharide Network of Excellence)(フランス)、BASF社(ドイツ)、Institut für Textiltechnik RWTH (ドイツ)の6ヶ所である。

2. 4. 1 NOVOZYMES社

コペンハーゲンの郊外の Bagsvaerd (コペンハーゲンから車で20分)にある NOVOZYMES 本社を訪問した。Business Creation, BioBusiness, Development & Acquisition 部門の方に NOVOZYMES 社におけるバイオベース化技術に関するヒアリングを実施した。

同社は bio innovation と industrial biotechnology の世界のリーダーであり、Microbiology、Biotechnology、Gene Technology の最先端技術を保有している。世界130カ国以上で700種以上の製品を販売し、2007年の売上は15億アメリカドルであり、従業員は30カ国に5000人である。

「Conversion of Renewables: Global drivers support the business case」のスローガンのもと、再生可能資源のバイオコンバージョンを主たるターゲットとして研究開発を行っている。バイオエタノールに関する研究も集中的に行っている模様で、代謝経路工学が重要との認識を持っている。一方、化学産業は古典的な製品を中心に最適化されているが、再生可能資源やバイオテクノロジーに基づく化学産業は発展途上であり、価格と性能の兼ね合いの上での競争に打ち勝つ技術を必要としている。とは言え、新しい化学製品の上市には伝統的に長時間を要しており、再生可能資源やバイオテクノロジーに基づく化学についても同様との考えを示した。

プラスチック原料のバイオベース化に関しては、3-ヒドロキシプロピオン酸のバイオ合成を検討している。グルコースから3-ヒドロキシプロピオン酸にバイオ方法により変換し、化学手法による脱水によりバイオアクリル酸の合成を目指している。ROQUETTE社、Dow社との共同研究を行っている。

原料ソースはダルコースを中心に考えており、グリセリンについては考慮に含めていない(参考:日本触媒はグリセリンからのバイオ変換による3-ヒドロキシプロピオン酸合成を特許出願している)。これはヨーロッパではBDFの熱は冷めて、セルロースベースに進んでいるので、将来的にグリセリンの生産量ではアクリル酸の製造を賄えないためであり、バイオ燃料を含め、グルコースを鍵物質とするバイオ変換を検討している。アクリル酸は高吸収性樹脂としてこれから中国を含むアジアなどで需要が伸びることが予想される。2005年の世界需要は310万トンとなっている(2007年には380万トンと推定されている)。

NOVOZYMES 社はケミカルのバイオベース化に関し、食糧問題とのバッティングについては、アクリル酸を年間 16 万トン製造する工場ではアメリカのコーンのわずかに 0.17% を消費するに過ぎず、深刻な問題でないと考えている。425km² の土地から 1900 万 bushels (1bushel=36L) のコーンを得、28 万トンのダルコースに変え、それから 16 万トンのアクリル酸にするという計算に基づいている。

実用性の可否はダルコースの価格次第であり、その価格はアメリカ>中国>ブラジルの順であることから（米国のコーン、4 ドル/bushel； ブラジルの砂糖、6-9 セント/ポンド）、ブラジル等の安いバイオマス原料の確保が必要である。

それ以外のケミカルのバイオ合成に関しては、ブタノール（DuPont との共同研究）、イソプレノン（Danisco/Goodyear との共同研究）、1,3-プロパンジオール、1,2-プロパンジオール、ヒドロキシメチルフルラン（デンマークエ科大学との共同研究；PET、ビスフェノール A への応用）を実施している。これらのケミカルの生産については、NOVOZYMES 社は自身で工業化を行うのではなく、既存の化学製品や市場を見据えて、化学系企業やプラント系に特許・権利を譲渡し、ロイヤリティー収入を得ることを考えており、value Chain 的な発想で実用化を目指している。また、バイオマス（セルロース）を利用する産業は立地を集約すべきであり、工場はバイオマス地区に移す必要がある。

一般論としての GMO の利用については、Baking Enzyme で既に遺伝子改質のものを商業化しており、法的には問題無いとの返答があった（食料と違う法律）。原料の GMO 化についてはバイオマスサプライヤーの問題であり、直接的な返答は得られなかった。

NOVOZYMES 社から繊維のバイオベース化に関する直接的な情報は得られなかったが、その試みに対しては非常に高い関心を示した。

2. 4. 2 NEDO 欧州事務所

パリ中心部にある NEDO 欧州事務所を訪問し、欧州の公的助成制度と現在のプロジェクトについて説明を受けた。

欧州レベルではフレームワークプログラム（FP）が実施されている。これは 1984 年からの累次の計画（約 5 年毎）によるものであり、2007 年から第 7 次（FP7）が 7 年計画で開始している。欧州委員会が資金負担する EU の計画であり、R&D プロジェクトを中核に学術研究や人材育成、インフラ整備を含む包括的なプログラムである。予算額は FP7 で急速な伸びを示し（年平均 1.7 兆円）、EU 全体の予算の約 6.3% を占める。FP は各ステージ毎にキーワードがあり、FP7 は "Growth & Job Creation" である。

目標へのアプローチは企業のニーズに応えることであり、欧州の戦略的企業のニーズに焦点を合わせ、更に戦略性を強化することに特色がある。FP7 の予算構成は協力、アイデア、人材、キ

ヤパシティ、JRC-Joint Research Center の5つに分けられ、優先分野別の共同研究開発プロジェクトを助成する協力が主要部分（64%）を占める。協力には10の優先テーマが設置され、情報通信、健康（ライフ）、交通、ナノ・材料、エネルギーが主要テーマである。FP7における新たな仕組みとして、決定メカニズムが管轄閣僚理事会に経済閣僚が新たに参加すること、企業ニーズが様々な形マ反映されること、が挙げられる。バイオベース化に関するものとしては、グリーンケミストリー技術に関する「BioHub プロジェクト」がRoquette社を中心に7年間のプロジェクトとして実施中である。

また、フランス国内の公的プロジェクトの制度についても説明を受けた。全般として、日本より公的助成の制度、特に企業における開発を後押しする制度が充実しており、日本でも同様の制度の拡充が次世代産業を育てるために必要であると感じた。EUではやはり食糧との競合でバイオエネルギーはトーンダウンしている。

2. 4. 3 ROQUETTE社

フランス、レトレムのROQUETTE社を訪問した。周辺は農業地域である。同社のRenewableChemistry部門及びFunctionalized Natural Polymersの担当者にヒアリングした。

同社はデンプンを主体とする企業であり、ヨーロッパ第2位、世界第4位（トップはカーギル社）の規模を有し、糖アルコール（ソルビトール、イソソルビド）では世界トップのシェアを有し、ポリオール等の幅広い商品を製造・販売しているところが特徴である。この中のプラントの一つは3000トン/日のデンプン処理能力を有する。

同社が中核を担当するBioHubプロジェクトは持続的な発展とデンプンベースのバイオリファイナリーがコンセプトであり、酵素処理工程、発酵、化学工程、ケモバイオ工程により新しいケミカルのプラットフォームを築くことが目的となる。主要アウトプットは親水性コロイド（カチオン化デンプンなど）、ポリマー（熱可塑性デンプンなど）、ビタミン（ビタミンCなど）、アミノ酸（リジンなど）、有機酸（グルコン酸など）、ポリオール（ソルビトールなど）、ファインケミカル（シクロデキストリンなど）、バイオ燃料（バイオエタノールなど）である。

新しい製品として、バイオ溶剤、バイオ可塑剤、バイオ潤滑剤、バイオポリマー等があげられ、新プロセスによる既存製品としてコハク酸（DSMとの共同開発）、グリコール酸が挙げられる。また、コハク酸をバイオプロセスで安価に製造できると、1,4-ブタンジオール、テトラヒドロフラン、 γ -ブチロラクトン等のC4ケミカルのバイオベース化の可能性がある。グルコースから誘導されるIsosorbide及びその誘導体に関する説明があり、日本の合繊メーカーも関心を持っている模様である。テレフタル酸、アジピン酸、アミン類、アクリル系はバイオベース化が困難と考えている。食糧問題とのバッティングについては、NOVOZYMES社と同様、製造量が少ないため、深刻な問題でないと捉えている。

バイオベースのポリマーに関しては関心が高く、デンプンを50%含む非生分解性の複合材料のサンプルを提示された。Isosorbide をポリエステル共重合モノマーに利用することでPETよりガラス転移温度の高いプラスチックを開発している（Isosorbide を1mol%添加すると、1°C上昇）。既存モノマーのバイオ法への置き換えに関する検討は行っていない模様であるが、アウトプットを有する化学メーカー（合繊メーカーを含む）との連携を強く望んでいる模様である。

2. 4. 4 EPNOE

ニース近郊のEPNOEを訪問した。Coordinator、President of the Governing Boardにヒアリングした。同担当者は、CEMEF(Center for Material Forming, CNRSの一部)を兼務している。CEMEFは三つの使命(Education, Research, Collaboration with Industry)があり、プロセス、マテリアル、ソフトウェアに重点が置かれている。

ヒアリング担当者のグループの研究テーマはセルロース可溶化のメカニズム、セルロースの可溶化、多糖類マイクロカプセル、ハイドロゲル、セルローススポンジ等であり、物理化学的アプローチで多糖類のProcessingとPropertyの関係を重要視した材料開発を行っており、Nature Doingを利用することがベスト、との考えを持っている。ダルコースの化学変換でモノマー、ポリマーというルートは考えていない。

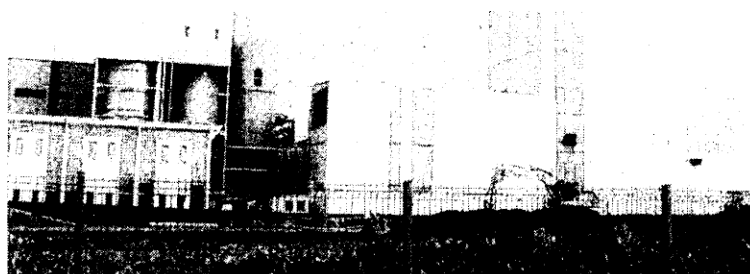


写真1 ROQUETTE社の工場の外観（広大な工場の1部のみ）

EPNOEは9カ国（イギリス、フィンランド、ポーランド、ルーマニア、フランス、オーストリア、ドイツ、オランダ、スロベニア）の16リサーチセンターで構成される多糖科学の研究組織である。FP6のプログラムとして2005年5月に設置され、研究、教育、コミュニケーションの組織であるのみならず、企業とのR&Dの契約を推進する組織である。

この目的のもと、EPNOE Associationが組織され、Associateメンバーは20の民間企業から構成されている。ターゲットはセルロース、キチン・キトサン、スターチ、ヘミセルロース、アルギン酸等であり、Chemistry, Enzymology, Microbiology, Physics, Mechanics, Material Science, LCA, Processing, Chemical Engineeringといった幅広い分野を対象とする。この組織を利用して積極的な共同研究（人的交流、数か月の学生の派遣）が行われている。”Nature produces polysaccharides,

EPNOE turns them into materials” のスローガンを掲げ、材料科学にも熱心に取り組んでいる模様である。

同担当者は、バイオベース化に関するグローバルな展開(特にバイオマスに関する社会的事情)については、あまり深く考えておらず、セルロース等の多糖をうまく活用することが重要と考えているようである。「Nature はグルコースからセルロース等のポリマーを作る機械」という言葉が印象に残った。なお、EPNOEのフィンランドやハンブルグの組織ではバイオリファイナリーに関する研究を行っている。詳細は以下の通りである。

VTI—Institute for Wood Technology and Wood Biology - University of Hamburg, Germany

Main research topics in the polysaccharide section are:

- ・Enzymology of wood polysaccharides degradation
- ・Development of chemical and biochemical technologies for degradative conversion of wood polysaccharides into chemical feedstocks

VTT —Technical Research Centre of Finland

Main research topics in the polysaccharide section are:

- ・Screening, characterization, engineering and production of novel enzymes : lignin, cellulose, hemicellulose and chitin modifying enzymes
- ・Enzymatic reaction mechanisms on polymeric substrates
- ・Modification of cellulosic and lignocellulosic fibres and lignocellulose-derived polymers with enzymatic, chemical and chemo-enzymatic methods

2. 4. 5 BASF社

ドイツ・マンハイム郊外の BASF 社の Global Marketing and Innovation Polyamide 部門の polymer Research, Thermoplastics-Biopolymer 部門担当者にヒアリングを実施した。

BASF 社はポリアミドをヨーロッパとアメリカで生産する一方、アジアでは生産していない。ポリアミド6、ポリアミド6,6のコンパウンドによりインジェクション&モルディングビジネスをフィルム&ファイバー等のすべてのポリアミドにおいてグローバルに展開し、イノベーションを行っている。

BASF 社におけるバイオベースプラスチックとしては、ヒマシ油からリシノール酸を経てセバシン酸へ変換し、ポリアミド6,10 (Ultramid、バイオベース度60%)を生産している。ポリアミド6,10はバイオベースであり、生分解性を示す。石油の用途におけるプラスチックの占める割合は7% (2005年ドイツ統計)であり、その生産量はバイオマスの生産量と3ヶタ具なり、糖の生産量に近い。二のような状況を踏まえ、White Biotechnologyにも注力している。

バイオポリマー (PHB、ポリ乳酸) は、PE や PP と比して製造プロセスが多く、プロセスエネルギーが大きいのでエコロジーとして意味に疑問を持っている。また、可食資源は利用しな

いという点で上述の NOVOZYMES 社や ROQUETTE 社と異なる考え方をしている。また、同社の生分解性樹脂であるエコフレックスについては、バイオベースポリマーとのブレンド（ポリ乳酸については研究の目途がたっている模様）やバイオベースモノマーとの共乗合を検討している。

ポリアミドのバイオベース化に関レジアミンをバイオベースに置き換える計画は無い。既存技術ではバイオベース化には複雑なプロセスを伴う場合が多く、一方、世間はバイオベース製品や生分解性製品に石油と同等の価格を求めており、特に繊維分野は価格に敏感であるため、近い将来のバイオベース化は容易でない、と考えている。

しかし、コストと性能のバランスを多くの因子で考察しながら、バイオベースプラスチックに対する取り組みを全社的に行っており、世界における技術の推移を見ながら、取り組む可能性を模索しているという印象を受けた。遺伝子組み換え作物についてはグレーゾーンとの認識であった。

2. 4. 6 Institut für Textiltechnik RWTH

Aachen 大学の Institut für Textiltechnik RWTH を訪問した。Fiber Technology の Dipl. -Chem. 担当者にヒアリングした。アーヘン大学は 1870 年に設立、3 万人の学生、101 のコース、450 の Chair、4200 のアシスタント講師（主にポスドク）、650 ミリオンユーロの予算であり、そのうち 30% が third party からの助成金である。Fiber Technology は Mechanical Engineering に所属している。



写真 2 Institut für Textiltechnik RWTH

RWTH アーヘンの繊維研究所は企業、大学と多くの共同研究を実施している。40 人のスタッフ、25 人の学生、30 人のサービススタッフ、1.3 ミリオンユーロの予算で、その内訳は 30% 産業界、55% 産業界関連、15% 基盤経費である。繊維全般に関する研究が行われており、設備も充実している（実機（6000m/min）から試験用（30g/batch）までのスピニングマシンを揃えている）。

研究プロジェクト「B10TEXT」が実施中で、ポリ乳酸や PHB の繊維化が検討されている。PHB は Biomer（ドイツ企業）から入手しており、結晶化が遅すぎるため、単独での紡糸プロセスができないという問題がある。紡糸後自己融着する傾向がある。Biopolymer には滞留時間を短くすることが大事である。

一方、PLA/PHB ブレンドの繊維化に関しては、小スケールでは紡糸に成功しているが（発表済み）、ブレンド時間が 2 時間と長すぎ、175°C で行うため、PHB が一部分解し粘度が低下するようである。Processing 中にエステル交換が起きないようにすることが重要である。得られた繊維は脆くて弱い性質であった。これからはブレンドパラメーターを最適化していくつもりである。

る。来年 Center or High Performance Fibers を設立させる予定である。炭素繊維も入れている。

担当者の意見として、バイオベースポリマーに興味はあるが、コスト面での壁が高い、また、新規ポリマーに対する企業の動きは悪いようである。この研究所は繊維化技術を主要ターゲットとしており、バイオベース化そのものに対する取組みにはそぐわない組織であるとの印象を受けた。

3. 2 おわりに

繊維企業をはじめ多くの関係者の協力を得ながら、合成繊維をバイオベース原料から製造するにはどのような方策かおるのかを調査した。ここに調査報告書の完成をみることができ、お世話になった方々に心より謝辞を表したい。

本調査では、目下バイオベース素材の基礎科学・技術の開発（種々のバイオポリマー、バイオマス変換、発酵、生合成など）に取り組んでいる研究者を大学、企業、研究所から招き、各専門分野における最先端の研究開発の状況と成果、科学・技術情報を調査しながら将来予測をしていただく方策をとった。

したがって、過去の特許や論文の情報を分析整理したものではなく、今現在の活きた研究情報をもとに今世紀における当該分野の技術開発動向をまとめたものとなっている。その内容は、バイオベース素材（繊維）に関する現在の技術動向と将来の研究開発の方向を示すもので、他にはない報告となったと自負しているところである。

今回の調査には多くの期待が寄せられ、新しい繊維技術の開拓を実現したいとの希望が大きいのを痛感した。特に、既存の合成繊維のモノマーを直接バイオベース原料から製造できるかどうかに興味が集まったが、現在、そのような研究開発をしている研究者はほとんど見当たらず、今後の基礎研究の展開に待たざるを得ない状況であった。むしろ、そのような研究テーマに研究者の考えが及んでいないというのが実情であり、今後その基礎検討を誘導していくようなプロジェクト施策が必要となろう。

ポリ乳酸繊維、PHB繊維、ナイロン4繊維などの開発に見られるように、繊維分野でも新しいバイオベース素材が実現しそうであるが、今後さらなる新素材の提案が必要となる。

その方向は、石油由来繊維では実現し得ない高性能・高機能繊維の開発であろう。同時に、将来にわたって、原料となるバイオマス資源をどのように確保するかも重要となる。国土の狭い我が国では、低コストで必要量のバイオマスを生産し確保していくことはほぼ不可能である。しかしながら、「技術が資源を引き付ける」という過去の歴史を振り返る限り、バイオベースポリマー繊維に独自の機能と性能が実現できるならば、資源問題は国際協力のもとで十分に解決が図られるであろう。従って技術開発に力点を置いたアプローチを求めたい。

海外においても、バイオベースポリマーの開発は緒についたばかりであり、どこの国が優位に立っているということはない状況である。強いてあげるならば、ヨーロッパ諸国（EU）は、石油化学にかわる新しい化学を1990年代から模索し、サステナブルケミストリーの名のもとにバイオベースの素材を用いた化学にシフトする努力を行ってきた。最近では、Industrial biotechnology をホワイトバイオテクノロジーと呼んで、イノベーションの原動力として重視するようになった。その中では、当然、バイオベースポリマーの開発は中心課題となっており、いくつかのリード化合物を提案してきている^{1),2)}。

一方、米国では、原料面を重視するサステナブルケミストリーではなく、効率的な生産を目的

とするグリーンケミストリーに力点を置いてきたが、2007 年からは、バイオベース原料からのエネルギー（バイオエタノールを含む）や素材開発に中心をシフトし始めた。

オバマ新大統領は、グリーンニューディール政策を掲げて、バイオベースエネルギー、バイオベースマテリアルの開発を前面に押し出している。米国は、基礎的なバイオテクノロジー分野では他の国を凌駕しており、ホワイトバイオテクノロジーの展開をより迅速にかつ広範に進めていくことができるであろう。

実際に、それ以前にも、US DOE がバイオベースのプラットフォームケミカルを選定して開発に備えていたことは、米国がこの分野で底力を有していることの証左である³⁾。また、米国企業の取り組みに払大型の投資を前提にしたバイオベース開発が多く見られ、世界のリード役を担うようになっている。

しかしながら、これらの取り組みは初期段階に位置しており^{4)、5)}、今なら我が国においても十分に開発競争をしながら、少なくとも技術的には大きな役割を担える備えがあると考えている。従って、今、その開発を推し進める具体的な施策を期待しているところである。

引用文献

- 1) Jacco van Haveren, Elinor L. Scott, Johan Sanders, Bulk chemicals from biomass. *Biofuels, Bioprod. Biorefl* 2: 4 1-57 (2008).
- 2) James H. Clark, Fabien E I. Deswarte, Thomas J. Farmer, The integration of green chemistry into future biorefineries, *Biofuels, Bioprod, Biorefl* 3: 72-90 (2009).
- 3) Werpy T and Pedersen G, Top value added chemicals from biomass-volume 1. US Department of Energy (2005).
- 4) Alessandro Gandini, Polymers from Renewable Resources: A Challenge for the Future of Macromolecular Materials. *Macromolecules*, 2008, 41 (24), pp 9491-9504.
- 5) C.K.Ober, S. Z. D. Cheng, P. T. Hammond, M. Muthukumar, E. Reichmanis, K. L. Wooley, and T. P. Lodge, Research in Macromolecular Science: Challenges and Opportunities for the Next Decade, *Macromolecules*, 2009, 42(2), 465-471.

4. 調査結果と結論

「バイオベースポリマー」は、その由来によりバイオマス系、バイオテクノロジー系、ケモ・バイオ系に分類される。バイオマス系は、バイオマスを高分子素材としてそのまま活用するものと化学修飾を施して利用するものとに分けられる。バイオテクノロジー系は微生物発酵や植物への遺伝子導入(transgenic plant)などバイオテクノロジーの手法を駆使して合成されてくるポリマーであり、微生物ポリエステルなどがこれに分類される。それに対して、ケモ・バイオ系はバイオマスのブレイクダウンによって得られてくるモノマーを化学的に重合して合成されるポリマーであり、ポリ乳酸やナイロン4などの原料となる新しいバイオ由来モノマーだけでなく、最近では石油系モノマーをバイオ由来原料から合成して重合する検討も行われている。現在用いられている石油系ポリマーのすべてをバイオベース化することはできないが、一部のポリマーの代替は進むであろう。

合成繊維をバイオベースに代替するには2つの方策が考えられる。一つは、現在使用している合成繊維のモノマー原料を石油由来からバイオ由来に代替していく方法である(合成繊維原料のバイオベース化法)。もう一つは、繊維高分子そのものを新しいバイオベースポリマーに変換して新しい繊維による代替を目指す方法である(新規バイオベースポリマー繊維開発法)。前者は、現在の繊維製造インフラをそのまま使用できることから、繊維企業はその開発を強く望んでいるが、各合成繊維の原料モノマーは石油化学の基幹物質から効率的に作られてきたものであり、バイオベースの基幹物質から直接的に合成することは極めて困難である(表1参照)。従って、この合成繊維原料のバイオベース化法の開拓には、バイオテクノロジーと合成化学の融合による基礎研究開発が必要不可欠であり、今後、国際的な研究開発競争なかで、有力な方法が見つかるものと思われる。それに対して後者では、バイオ由来の新しい基幹物質を用いて合成されるポリマーを繊維化するため、新たな製造インフラを構築しながら開発を進める必要がある。それ故、開発に膨大な費用と時間を要するだけでなく、性能的に現在の繊維材料に到達させるには多くの努力が求められる。実際に、バイオベースポリマーは、当初、生体内吸収性の医用

材料や生分解性プラスチックに使用する生分解性ポリマーとして開発されてきたため、一時使用や汎用グレードに対応した性能しか有していないものが多く、繊維の製造に適合した高性能を有する素材が少ないのが現状である（下図を参照、繊維グレードはエンブラ、スーパーエンブラに対応したグレードが必要であるが、バイオベースポリマーにはその候補が少ない）。今後、新規バイオベースポリマー繊維による新しいプラットフォームを形成していくには、バイオ由来の基幹物質に合致したポリマー製造法を開発する必要がある。特に、高性能・高機能を有するバイオベースポリマーを開発して、その繊維化による既存合成繊維の代替を徐々に進めることが望ましい。表2には、現在開発が可能と思われる新しいバイオベースポリマー繊維の候補を列挙した。実現までのハードルが高いものもあるが、これまでに進められてきたポリマー・繊維開発（ナイロン4、PHB、PLAなど）の経験から、高性能のバイオベースポリマー繊維が得られる可能性は十分にあると判断される。

表3には、合成繊維の製造原料となるバイオベース基幹物質を示した。バイオベース基幹物質は、石油由来の基幹物質より多様であり、この意味でも大量生産は容易でないことが予想される。したがって、今世紀におけるバイオベース素材の開発は、原料から製品まで独占的（一素材・一社体制）に進められていくと考えられており、我が国においても素材確保の観点からその開発体制の整備が急務となっている。

一方、合成繊維原料のバイオベース化法において注目されているのは、バイオエタノールやプロパノール等の一次発酵原料からバイオエチレン、プロピレンを合成してそれを化学原料として種々のモノマーや化学製品を製造するプロセスである。バイオマスの燃焼（熱分解）による合成ガスからメタノールを製造してC1化学の応用によりモノマーを製造するプロセスも検討されている（2章参照）。このプロセスにおいても、一次発酵過程を除くと既存の生産インフラと素材を使用できるため、繊維企業にとって取り組みやすい方策となる。実際に、バイオプロピレンの製造価格はナフサからの製造価格に対して2割の上昇が見込まれるだけであり、十分な競争力を有している。また、CO₂排出量も製造時には高くなるが、焼却時の排出量は零換算となるため、バ

バイオベースポリマーと同様の CO₂ 排出削減効果を実現できる。この意味からも、合成繊維の原料モノマーをバイオベース原料から直接的に合成することは、優れたバイオプロセスが開拓されない限り容易ではないと考えられる。

このような考察から次のような結論が導かれる。

(1) 現在では、既存合成繊維の原料モノマーを直接合成できるバイオベース法が実現したとしても、価格競争力を有する手段となるかは種々の条件（原油価格、CO₂ 規制等）に依存する。現在の技術ではむしろバイオエチレン、プロピレンからの二次モノマー合成法による方が経済的であろう。

(2) 既存合成繊維の原料モノマーを直接バイオ合成する基礎研究を推進して、優れた方法を開拓するプラットフォームを形成していく。炭素繊維についてもバイオベース化製造ルートを探索する。

(3) 石油ではなくバイオ原料に適合したポリマー・繊維を選択して、バイオベース素材からしか実現できない高性能・高機能素材を効率的なバイオ生産手段で創出すべきである。

(4) 新しいバイオベースポリマー繊維の開発を進めることにより、既存合成繊維の価格（別表参照）に十分な競争力を有する繊維を実現する。ポリマー材料分野では、新素材の開発がまず比較的付加価値の高い繊維分野で実現し、その後、他のプラスチック分野にも応用開発が波及していったという歴史がある。バイオベース素材の開発もこのルートを進めることは疑いなく、合成繊維分野における研究開発を先行させることが不可欠である。

(5) 石油化学由来のポリマーは半世紀以上の歴史を有しており今世紀における材料イノベーションをもたらすことは期待できない（図2参照）。今世紀の新しい繊維工業基盤を構築しながら材料イノベーションを実現するには、新しい素材開発に立脚した繊維開発が求められる。それには、今世紀の中核技術となるホワイトバイオテクノロジーに立脚したバイオベース化合成繊維の開発を推進していかなければならない。

	オイルベース	バイオベース
スーパーエンブラ	PI, PEEK, PES, LCP, Aramide,	<i>bio-based LCP, polyamide, polyurethane, polyester sc-PLA</i>
繊維		
エンブラ	Nylon 66, PET PAN, PBT PC	PTT ↑
汎用プラスチック	PP, PS, PE, PVC	PBS, PLLA, PHB

図1. 既存ポリマーとバイオベースポリマーの性能比較と繊維用バイオベースポリマー（点線枠内）の開発の必要性

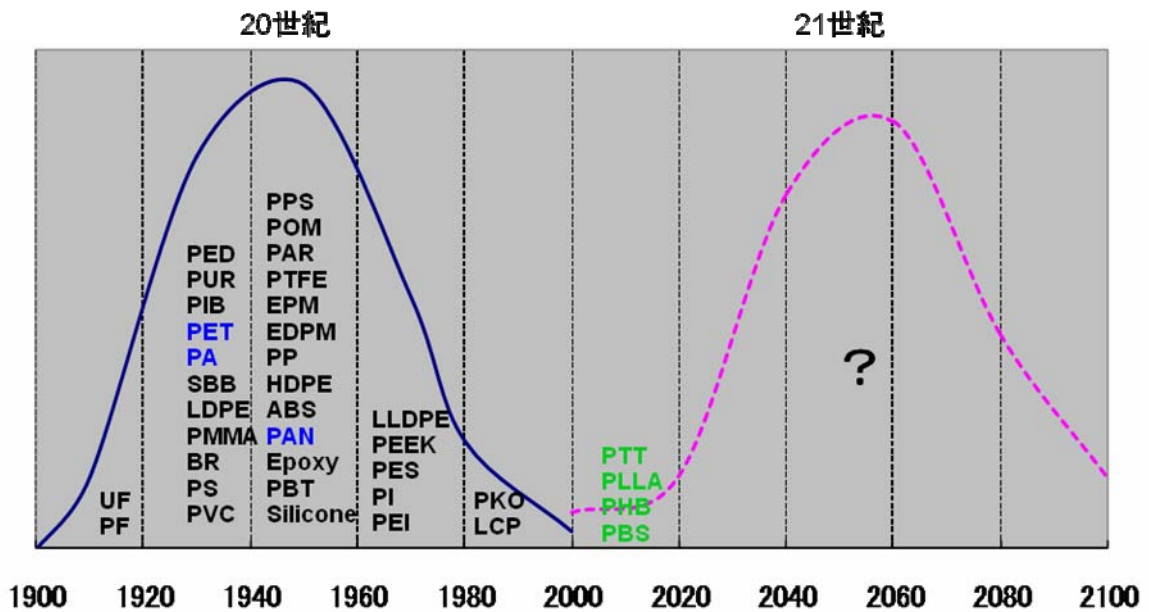


図2. 石油由来の高分子イノベーションは終局？
繊維・高分子のイノベーション： 21世紀のパラダイムは？

(別表) (大松沢委員)

主要合繊原料及び繊維の価格等一覧

種類	原料	原料価格 (*1)	生産能力 (世界) (*3)	ペレット価格	繊維価格 (*4)
ポリアミド6	カプロラクタム	305~318 円/kg	460 万トン	—	360~394 円/kg (フィラメント70d)
ポリアミド6,6	アジピン酸	185~206 円/kg (*2)	—	—	—
	ヘキサメチレンジアミン	—	—		
アクリル	アクリロニトリル	165~215 円/kg	550 万トン	—	210 円/kg (ステーブル 3d) (2005年)
ポリエステル	テレフタル酸	97~119 円/kg	4830 万トン	166~172 円/kg (PET)	275~395 円/kg (フィラメント70d)
	エチレングリコール	124~154 円/kg	2290 万トン		
ビニロン	酢酸ビニル	142 円/kg (2007年)	—	295~316 円/kg (PVA)	—
ポリプロピレン	プロピレン	120~135 円/kg	—	175~200 円/kg (PP)	—

参考： ナフサ価格の推移 (2007年1Q~2008年2Q)

(輸入ナフサ： 560~1,000 ドル/t, 国産ナフサ： 49,000~75,000 円/kg)

* 1 : 経済産業省「化学工業統計年報・同月報」(2007年1Q~2008年2Q)

- ・ 販売金額/販売数量
- ・ PET 樹脂はファイバークレード

* 2 : 財務省「日本貿易月表」(CIF)

* 3 : 化繊協会推定 (2008年時点)

* 4 : 日本経済新聞 (2007年1Q~2008年2Q)