

【産業競争力懇談会 2006 年度推進テーマ報告】

バイオ燃料プロジェクトについて (報告書)

～年産100万 kL、40円/L を目指して～

2007年4月5日

産業競争力懇談会 (COCN)

エグゼクティブサマリー

【目標】 2015年にエタノールを40円/L 以下のコストで、年間100万 kL の生産を可能とする技術を環境と地域社会に配慮して、開発する。

- 「2015年」について

米国政府は2012年にエタノール75億ガロン(約2,800万 kL)、2017年には350億ガロン(約1.3億 kL)を導入する目標を発表している。一方、日本では新国家エネルギー戦略で、2030年に自動車燃料の石油依存度を80%程度とする目標を掲げており、2015年までにエタノールの導入拡大への足がかりとなる実用化技術を開発する必要がある。

- 「100万kL」について

米国でのトウモロコシの平均的な作付面積は6万 ha 程度(東京都 23 区相当)であり、アジアにおける食用食物の大規模プランテーションの単位面積も凡そ6万 ha である。本提案では、通常の作物の数倍の光合成能を有するセルロース系エネルギー作物とエタノールへの高効率転換技術を開発することによって、6万 ha で100万 kL を生産することを目標とする。

本提案で言うセルロース系エネルギー作物とは、エネルギー利用を目的として栽培される草本系あるいは木質系セルロース資源を指し、例えば、欧米でセルロース系エネルギー作物として開発されているハイブリッド種のススキ、ユーカリなどがそれに相当する。

- 「40円/L」について

原油価格 \$50/バレルに対応したコストを設定する(米国の2012年目標の \$1.07/ガロン(約34円/L)を意識したコスト目標でもある)。6万 ha の生産規模におけるセルロース系エネルギー作物の開発とそこで生産されるエタノールへの高効率転換技術の開発により、40円/L のコストを達成する。

- 環境配慮と社会・文化との共生

セルロース系エネルギー作物の大規模プランテーションを開発し、エタノール工場を建設する上で、地域社会の理解を得ることは重要である。地域の研究機関や政府等関係者との連携の下に、社会や文化、環境面を配慮したモデルとする。

【提案】 経済的且つ大量にエタノールを生産するために、セルロース系エネルギー作物から高効率のエタノール生産までの技術開発を一貫して行う、各省庁および産学横断的な組織を構築する。

食料と競合しないセルロース系エネルギー作物からエタノールを経済的且つ大量に生産する技術の開発が急務であり、技術開発で先行している米国に追いつき追い越すため、次の3点が重要である。

- 各省庁および産学が連携の下に産学横断的な組織を構築する
- 米国に対して競争力のある技術を開発する（資源確保と産業の国際競争力強化）
- エネルギー作物(含栽培地)の開発から使用までの一貫した技術開発を行う

日本産業の国際競争力上の効果

今後バイオ燃料需要が増加するアジアにおいて、燃料ビジネスのみならず、新規設備投資に伴う製造設備や付帯設備、インフラ整備などに係わる大きな市場が形成される。先行している米国を凌ぐ国際競争力のある技術が開発できれば、日本の資源確保のみならず、アジアにおいてバイオ燃料関連ビジネスを有利に進めることができ、更には、巨大なバイオ燃料市場である米国やブラジルにも設備の受注が見込める。2015年時点には世界のバイオ燃料ビジネス規模は年間数兆円になるものと予想される。

【報告書概要】

1. 開発モデル

1. 1 セルロース系エネルギー作物による開発モデル

大量にエタノールを経済的安定的に生産するためには、大規模の土地確保により、光合成機能を最大限発揮できるセルロース系エネルギー作物を開発、栽培して、エタノール生産を行うことが必要である。対象とする土地は、農作物の適地以外の土地の活用を優先する。

1. 2 エタノール転換技術開発モデル

技術上の難易度から、難易度の低いソフトバイオマス(草本系、イネ科植物)によるモデルと難易度の高いハードバイオマス(木質系)によるモデルを技術開発上のモデルとして提案する。

2. 技術開発ロードマップ

2. 1 技術開発とロードマップ

エネルギー作物から使用までの要素技術について、ソフトバイオマスとハードバイオマスに関する技術ロードマップを例示した。

2. 2 エネルギー作物の開発

エネルギー用の作物を開発する上で、光合成能や生育上の環境適合性、経済性、社会性など様々な観点からの評価に基づいた検討が必要になる。既にセルロース系エネルギー作物の開発は欧米で進められており、草本系の多年生植物が土地利用率やカーボン固定などの観点で優れているとされ、先ずは、多年生植物が対象となろう。また、適種選定を行うための候補地選定の調査が必要である。

3. 研究開発組織

本プロジェクトでは、セルロース系エネルギー作物から製造技術の開発や製品の利用に関する研究までを網羅する上に、LCAや生物多様性のような環境課題、経済性の評価などの社会科学的な研究も含めた幅広い分野に亘るので、これらを一元的推進できる各省庁および産学が連携の下に横断的な組織が必要である。

4. バイオ燃料に係わる環境問題などの諸問題

食料との競合問題、LCAの観点でのCO₂排出、水問題、森林伐採等の問題、生物の多様性、途上国でのバイオマス利用に関する問題について、バイオ燃料の利用を進める上での参考情報として、現状を簡単にまとめた。

5. 先進諸国のアジアへの進出状況

アジア地域においては、開発途上にあるセルロース系エタノールの資源確保という意味では目立った海外企業の動きはないものの、既にバイオディーゼル燃料の原料油（例 パーム油）確保のために、米国の穀物商社や欧州のメーカ、中国や韓国の石油会社などが活動している。今後、セルロース系エタノールの資源確保の動きも出てくるものと思われる。

以上

— 目次 —

はじめに

1. 背景と意義	1ページ
2. 目標	2ページ
3. 開発モデル	3ページ
3. 1 資源に関する分析・整理	
3. 2 セルロース系エネルギー作物による開発モデル	
3. 3 エタノール転換技術開発モデル	
I. 草本系(ソフト)バイオマス利用開発モデル	
II. 木質系(ハード)バイオマス利用開発モデル	
4. 技術開発ロードマップ	7ページ
4. 1 技術評価	
4. 2 技術ロードマップと数値目標	
4. 3 エネルギー作物の開発	
4. 4 新燃料や新資源に関する調査・研究	
5. 研究開発組織	16ページ
6. バイオ燃料に係わる環境問題などの諸問題	17ページ
6. 1 食料との競合問題	
6. 2 LCA の観点での CO2 排出(バイオエタノール研究会の記事から)	
6. 3 水問題	
6. 4 森林伐採等の問題	
6. 5 生物の多様性	
6. 6 途上国でのバイオマス利用に関する問題(IEA WEO2006 から)	
7. 先進諸国のアジアへの進出状況	20ページ
8. 参考情報	21ページ
参考資料	23ページ

はじめに

自動車燃料としてのバイオ燃料の利用拡大は世界での大きなうねりとなっており、3月9日に発表された米国とブラジルの戦略的な協力関係は、その典型的なものである。その政治的な意味合いは多様であろうが、エネルギー多様化の観点からもはや避けることのできない流れでもある。

日本においても地球温暖化対策を第一義とし、去る2月22日のバイオマスニッポン総合戦略推進会議において、ガソリン代替バイオエタノール燃料の開発について戦略的な方向性が示された。この目標達成のためには技術開発が必須であることは、異論のないところである。但し、産業界としては、E10 相当のエタノールを国内ですべてをまかなうことは資源量や経済性の視点から困難と考えており、今後国内生産に向かったの技術開発を進めるとしても、海外にその原料資源を求めることは必須であると思われる。このため、国際競争力のある技術の開発を行うことが喫緊の課題と認識し、ここに提案するものである。

長年に亘って、バイオ燃料に関する技術開発は要素研究として個別に行われてきた。しかし、先行している欧米に早期に追いつき追い越すためには、資源作物から生産技術、利用技術までを一元化して省庁間連携して研究開発体制を整備し、目標に向かって着実な進展と研究開発の加速化が必要である。バイオディーゼルの分野では、資源確保のためにバイオマス資源の豊富な東南アジアへの欧米および中国などの資本の進出がみられている。このような状況を鑑み、総合科学技術会議をはじめ、関係省庁のご理解を賜り、本提言が実現し、省庁間連携の下に産学官による研究開発が加速することを期待している。

2007年4月5日

産業競争力懇談会

会長 野間口 有

プロジェクト推進メンバー

プロジェクトリーダー 新日本石油株式会社

プロジェクトメンバー 王子製紙株式会社

鹿島建設株式会社

清水建設株式会社

東レ株式会社

三菱重工業株式会社

アドバイザー 東京大学大学院農学生命科学研究科(鮫島教授)

1. 背景と意義

【背景】

世界のエネルギー需要の約1／3を担う原油の価格は、ここ数年米国や中国をはじめとするアジア地域の需要拡大、更にはOECD諸国の供給力低下や中東産油国の供給不安などの要因を受けて、20ドル／バレルから70ドル／バレルへと急騰し、将来も現在の価格帯への高止まりが予想されている。

このような状況の下、世界各国では、原油需要の一部を補完するエネルギーとしてバイオ燃料への期待が高まっている。特に貯蔵運搬が容易で、エネルギー密度の高い液体燃料の特性が要求される自動車用燃料に対しては、液体であるバイオ燃料への期待が大きく、特にガソリン代替となるバイオエタノールの開発が重要となっている。

【意義】

- 現在燃料エタノールは、主要生産国である米国とブラジルでは、各々1,570万kL、1,240万kLが生産され、世界で3,100万kL(@2005年)が生産されている。先般、米国では2010年に75億ガロン(約2,800万kL)、2017年には350億ガロン(約1.3億kL)のバイオエタノールを導入する目標が発表されている。このような情勢の下、ブラジルのエタノール原料であるサトウキビから作られる砂糖価格が昨年前半にはこの3年間で約2倍に、米国のエタノール原料であるトウモロコシ価格がこの1年で2倍に急騰した。一方、欧州でも2012年に5.75%の導入計画を発表している。アジア各国でもバイオ燃料開発導入の動きが急であり、今後バイオ資源の確保が各国のエネルギー政策の重要な課題の一つとなってくると考えられる。

- 我が国においては、地球温暖化対策のために、2005年4月に京都議定書目標達成計画が閣議決定された。達成計画では、2010年にバイオ燃料を自動車燃料として50万kL(原油換算)を導入することを目標としており、石油業界では原油21万kL相当のエタノールをETBEとして導入することを決定している。また、バイオマスニッポン総合戦略において地産地消によるプロジェクトが進んでいる。

一方、2006年5月、新国家エネルギー戦略が策定され、以下のような目標が設定されている。

- ①省エネルギー30%、②自主原油開発 15%→40%、③石油依存度低減 50%→40%以下、④自動車燃料の石油依存度低減 97%→80%など

特に自動車燃料の地球温暖化対策や石油依存度低減のためには、長期的視点に立って、バイオ燃料の導入戦略の策定が必要である。

- 食料の60%を海外に依存している我が国においては、食料と競合しないセルロース系資源から安価かつ大量にバイオエタノールを生産する技術の開発が急務である。我が国では、経済性を有するセルロース系資源からのバイオエタノール商業生産技術は未だ完成していない。欧米では食料と競合しないセルロース系資源からバイオエタノール

生産技術開発は我が国より先行している。資源確保と生産技術開発は密接に関連することから、将来の資源確保も視野に入れた、早期の技術確立が望まれる。

- 一方、化学分野においても、世界の化学品原料は約1億kLの石油ナフサやガスに依存しており、再生可能な化学品への製造技術を開発することは、化学分野への発展も期待できることから意義がある。
- 我が国では第2次石油ショック以降、セルロース転換技術の開発が進められたが、経済的且つ大量に生産する技術の開発は未達成である。セルロース系資源からのエタノール燃料転換技術は既に、濃硫酸法が NEDO 法として認定され、また希硫酸2段階糖化による5炭糖の発酵法が実用段階にあり、希硫酸+酵素による糖化後の5炭糖／6炭糖同時発酵の実証試験が進められている。

本提案では、硫酸を使用しない世界初のクリーンな前処理技術に加え、高効率酵素糖化・発酵、同時脱水／濃縮を組み合わせたシステムの技術開発を目指すものであり、資源確保のためには、米国技術を凌駕する競争力の高い技術開発を開発することが必要である。また、革新的製造技術開発のみならず、低エネルギー消費で栽培され環境への順応性の高いセルロース系エネルギー作物の開発や化学品への適用技術を開発し、LCA評価や環境評価などの社会科学的な観点での研究も含め、現在開発されている技術開発をすべて統合するという観点で、新たな研究開発実行体制の構築が必要である。

2. 目標

本提案では、「2015年にエタノールを40円/L以下のコストで、年間100万kLの生産を可能とする技術を環境と地域社会に配慮して、開発する。」ことを目標とする。目標設定の考え方は下記の通りである。

2.1 「2015年」について

米国政府は2012年にエタノール75億ガロン(約2,800万kL)、2017年には350億ガロン(約1.3億kL)を導入する目標を発表している。一方、日本では新国家エネルギー戦略で、2030年に自動車燃料の石油依存度を80%程度とする目標を掲げており、2015年までにエタノールの導入拡大への足がかりとなる技術を開発する必要がある。

2.2 「100万kL」について

米国でのトウモロコシの平均的な作付面積は6万ha程度(東京都23区相当)であり、アジアにおける食用食物の大規模プランテーションの単位面積も凡そ6万haである。本提案では、通常の作物の数倍の光合成能を有するセルロース系エネルギー作物とエタノールへの高効率転換技術を開発することによって、6万haで100万kLを生産することを

目標とする。

本提案で言うセルロース系エネルギー作物とは、エネルギー利用を目的として栽培される草本系あるいは木質系セルロース資源を指し、例えば、欧米でセルロース系エネルギー作物として開発されているハイブリッド種のススキ、ユーカリなどがそれに相当する。

2.3 「40円/L」について

原油価格 \$50/バレルに対応したコストを設定する(米国の2012年目標の \$1.07/ガロン(約34円/L)を意識したコスト目標でもある)。6万 ha の生産規模におけるセルロース系エネルギー作物の開発とそこで生産されるエタノールへの高効率転換技術の開発により、40円/L のコストを達成する。

2.4 環境配慮と社会・文化との共生

セルロース系エネルギー作物の大規模プランテーション開発やエタノール工場の建設にあたっては、地域社会の理解を得ることが重要となる。地域の研究機関や政府等関係者との連携の下に、社会や文化、環境面を配慮したモデルとする。

3. 開発モデル

3.1 資源に関する分析・整理

2007年2月27日にバイオマスニッポン総合戦略の一環として、農林水産省から「バイオ燃料の大幅な生産拡大について」というプレスリリースが行われ、国内のバイオマス資源を利用した生産可能性が示された。プレスリリースでは、エタノールの原料として、稲わらや麦わらなどの草本系バイオマス、耕作放棄地を利用した品種改良によるソルガムや稲のような資源作物、製材工場等残材や林地残材などの木質系のバイオマス資源に大きな期待が寄せられている。

一方、米国のエタノール製造工場の平均的な規模は年産 20 万kL程度であり、トウモロコシの作付面積に換算すると約 6 万 ha(東京 23 区相当)と大規模な作物の作付けが必要となる。エタノールを燃料用途で大量且つ安価に生産するためには、同程度の規模での生産が必要となると考えられる。年産20万kL規模でエタノールを生産する場合、木材で約 70 万m³が、稲わらで 80 万トンが必要になる。

日本において、こうした規模での原料を安定的に確保できる地域は殆ど見当たらないため、大量且つ安定供給を目指した取組が将来の国家目標達成には必須であると考えられる。

他方、アジアにおける農産残渣の利用の可能性はあるものの、農産残渣は地域の生活や文化に根ざしており、大量に利用することが現実的に困難であることが予想される。大量に確保することを考えると、日本の立地に近いアジアやオセアニア地域などにセルロース系エネルギー作物の栽培地の確保を検討することが喫緊の課題である。

栽培地確保において、忘れてはならないのはエタノール製造には多量の水資源の確保が必要であり、取水権や排水権の他に、工場を稼働するためのエネルギーの確保や技術者の育成なども検討を進める上での課題として認識しておく必要がある。

(国内の主要バイオマス資源)

		賦存量 (発生量) (万ト/年)	主生産地域 (都道府県)	集約性 (発生場所)	既利用率 (用途等)	利用 可能量 (万ト/年)	エタノール 換算量 (万kL/年)	備考
草本	稲わら	920	北海道70 新潟県70	× 農地	25% (堆肥・飼料)	690 (75%)	180 北海道16 新潟県16	
草本	籾殻	126	北海道10 新潟県10	△ライスセンター	63% (堆肥・敷料)	50 (37%)	12	
草本	麦わら(4麦計)	82	北海道37 佐賀県 6	× 農地	30% (堆肥・敷料)	60 (70%)	15 北海道 7	
木質	林地残材	340	—	× 林地	2%	330 (98%)	50	含水率 50%
木質	製材工場残材	430	—	○工場	95%	20 (5%)	5	含水率 15%
木質	建設発生木材	470	—	○工場	70%	140 (30%)	40	含水率 15%

【前提】

<草本>

<木質>

含水率15%、エタノール収率0.3kL/ト(乾燥)

林地残材

製材工場/建設発生

含水率50%、エタノール収率0.3kL/ト(乾燥)

含水率15%、エタノール収率0.3kL/ト(乾燥)

* 含水率は湿量基準

データ出所: 草本系賦存量/利用可能量

木質系賦存量/利用可能量

含水率/エタノール収率

電中研データ(06年10月)

農水省「バイオマスニッポン総合戦略推進会議資料(07年2月)」

環境省「輸送用エコ燃料の普及拡大について(06年5月)」

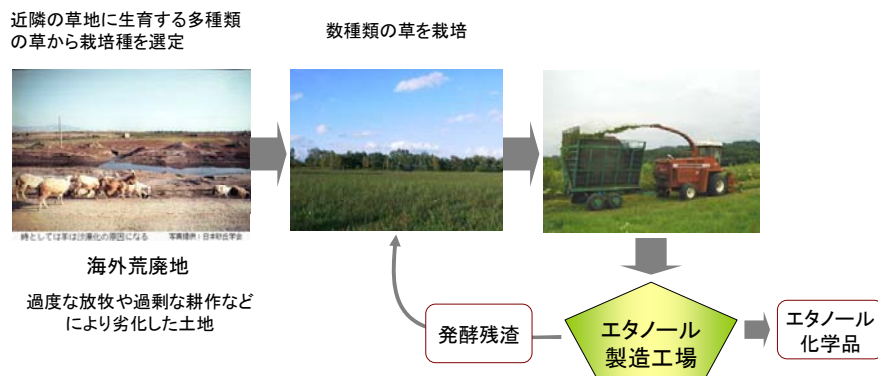
(アジアで注目される主要バイオマス資源)

	原料名	発生量 (万ト/年)	主生産国別発生量 (赤字:ASEAN)	集約性 (発生場所)	既利用率 (用途)	利用可能量	エタノール換算量(万kL/年)	備考
草本	稲わら	98,700	中国 31,900 インド 22,900 インドネシア 9,500 バングラデシュ 7,200 ベトナム 6,300	× 農地	—	74,000 (75%)	18,870 中国 6,100 インド 4,400 インドネシア 1,800 バングラデシュ 1,400 ベトナム 1,200	利用可能率は 国内と同じ
草本	籾殻	26,400	中国 4,900 インド 3,500 インドネシア 1,400 バングラデシュ 1,100 ベトナム 960	○工場	—	9,800 (37%)	2,500 中国 460 インド 330 インドネシア 130 バングラデシュ 100 ベトナム 90	利用可能率は 国内と同じ
草本	麦わら	29,500 *3ト/haで計算	インド 8,000 中国 6,800 パキスタン 2,500	× 農地	—	21,000 (70%)	5,300 インド 1,400 中国 1,200 パキスタン 450	利用可能率は 国内と同じ
草本	パガス (サトウキビ残渣)	14,700	インド 6,700 中国 2,500 タイ 1,440 パキスタン 1,370 インドネシア 850	○工場	発電 燃焼	2,200 (15%)	560 インド 250 中国 95	
草本	パーム空果房 (搾油残渣)	3,400	マレーシア 1,900 インドネシア 1,500	○工場	肥料	1,800 (53%)	200 マレーシア 110 インドネシア 90	含水率62% で試算
木質	パーム古木 (マレーシア)	5,000	マレーシア インドネシア	× 農地	廃棄	5,000 (100%)	750 (マレーシア)	インドネシアの データはなし

米残渣は、米発生量に残渣率を乗じて試算

残渣率 稲わら:1.757、籾殻:0.267

3.2 セルロース系エネルギー作物による開発モデル



この図は、セルロース系エネルギー作物からエタノールを製造する候補モデルを示したものである。このモデルでは、全く砂漠化してしまった荒廃地を対象とするのではなく、例えば、オーストラリアの放牧地帯で、牧草が十分に生育する環境があるにもかかわらず、羊やヤギなどの家畜動物によって根まで食い荒らされて荒廃化してしまったような土地を想定している。

● エネルギー作物とは？

「エネルギー作物」とは熱エネルギーを得るために使用する燃料の原料となる栽培植物を指し、本提案では、非食用の「セルロース系エネルギー作物」を指す。例としては多収性のススキなどのイネ科植物、成長の早いユーカリ、ヤナギなどが挙げられる

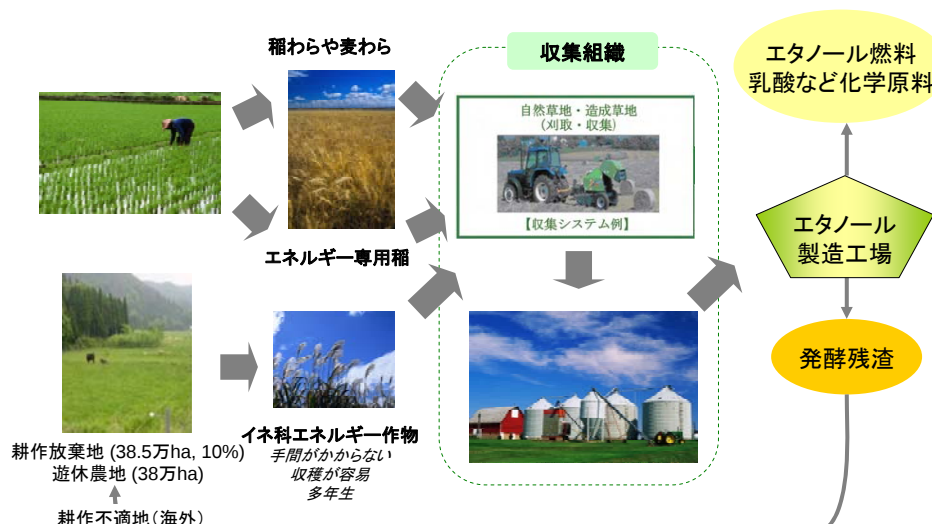
● 生産規模

年産 20 万 kL のエタノールの生産規模に必要なエネルギー作物を栽培するには、欧州で開発されたススキのハイブリッド種の場合、年間 66 トン/ha の収量とすると 1.2 万 ha の土地（世田谷区の約 2 倍）が必要となる。日本で生育する平均的なススキから 20 万 kL のエタノールを生産するには、約 6 万 ha（東京 23 区に相当）の土地が必要になる。

3.3 エタノール転換技術開発モデル

技術的な難易の観点から、難易度の低い草本系バイオマスによるモデルと難易度の高い木質系バイオマスによるモデルを提案する。

I. 草本系（ソフト）バイオマス利用モデル



この図は草本系(ソフト)バイオマス原料としたモデルを示したものである。草本系バイオマスとして次の点に着目して、イネ科植物を選定した。

- 米はアジア最大の農産物であり、日本でも最大作物である。アジアでは、世界の米の90%、年間約 5.6 億トンを生産され、稲わらは年間約 7.6 億トン発生している。日本でも稲わらは年間約 900 万トン発生しており、積極利用を除くとすき込みとして処理されている年間 700 万トンが利用可能である。
- 原料として注目する稲わらは 3/4 がすき込まれているが、国内ではおいしく強い米作りをするために、施肥などは稲わらに期待せずに行われており、すき込まれる稲わらは廃棄物同然とのことである(全農から聴取)。また、北海道の稲作地域(西側)は泥炭地であるため、稲わらのすき込みが土壌に適さないが、仕方なくすき込んでいるケースもある。
- アジアの途上国においては、稲わらを家庭用の燃料として使用しているケースがある。例えばベトナムにおいては稲わら 780 万トン中 195 万トンが、農家での調理に使用されているが、近代化により利用されなくなる可能性がある。
- アジアでは、イネ科植物である麦も主要穀物の一つとして生産されており、麦わらも稲わらに類似する化学組成を有し、物理形状も似ている。セルロース系エネルギー作物として米国で検討されているスイッチグラスや欧州でエネルギー作物として使用され、国内で実証試験が行われているススキもイネ科の植物であり、これらの化学組成や物理形状が似ていることから、イネ科植物をベースにした技術の適用の広がりは大いといえる。

	ヘキソース (C6糖)	ペントース (C5糖)	リグニン	灰分	エタノール収量 (gal/dry ton)
稲わら	40%	24%	18%	14%	110
麦わら	34%	22%	17%	11%	96
スイッチグラス	34%	24%	24%	8%	100

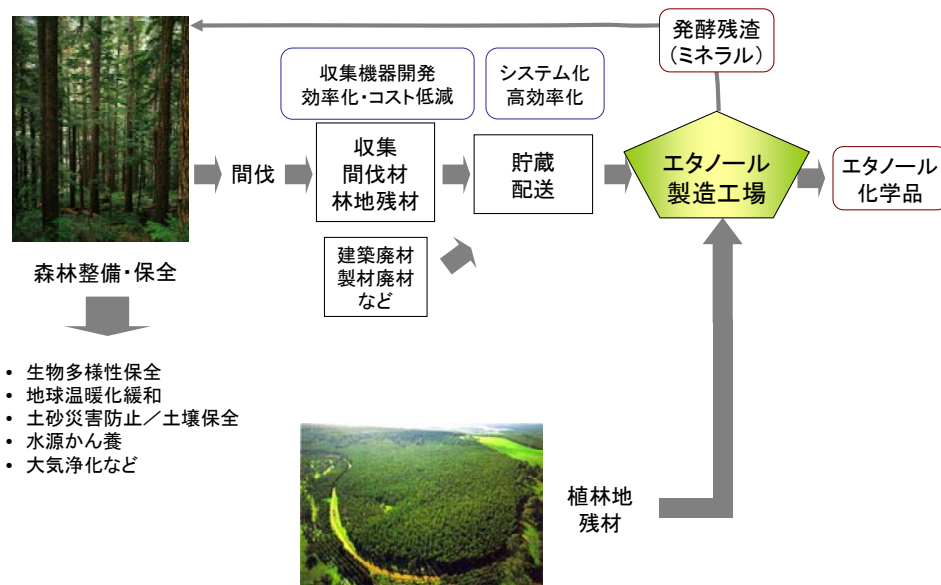
出典: USDA economic research service 2004 他

- 農産残渣は一般にある季節に集中して発生するので、貯蔵性の悪いものであれば、ある期間内に処理してしまう必要があるが、イネ科植物の茎は水分も少なく貯蔵性が比較的良いので、年間を通した原料として期待できる。これは設備規模を最小限に留めることができるというメリットにもなる。
- エタノール製造には多量の水が必要になるが、米作地域では水が豊富であり、エタノール製造に欠かせない水の確保がしやすい点はエタノール工場立地の点で利点になる。

(収集システムに関して)

稲わらや麦わらの収集では、如何にコンパクトに圧縮できるかが大きな課題であり、単位体積当たりの重量が重いほど効率の高い輸送ができるので、この点が重要な技術課題である。

Ⅱ. 木質系(ハード)バイオマス利用モデル



この図は、木質(ハード)バイオマスを利用するモデルを示したものである。日本は森林国であるが、林業の衰退により、間伐が十分に行われず、あるいは間伐されても林地残材として多くが放置されているのが現状といわれている。

一方、地球温暖化対策という観点でみると、森林経営を行うことを条件に森林のCO₂吸収量がカウントできることになっている。戦後植林した若い杉が活発にCO₂を吸収しているにもかかわらず、京都議定書の目標である3.9%の達成は困難な状況にある。他方で森林の保全が不十分であることによる洪水や渇水などの問題もあり、森林の整備・保全は国としての重要な課題である。地球温暖化対策と合わせて、この課題に対して国が積極的に取り組むことが必要であり、こうした取り組みは一般国民にとっても理解を得られやすいものと思われる。

日本の森林の特徴である急斜面に生育する木は、その収集性を向上させるためには、林業従事者が少なくなり高齢化する現状にいては、低エネルギーで、収集力の高い技術開発が不可欠である。

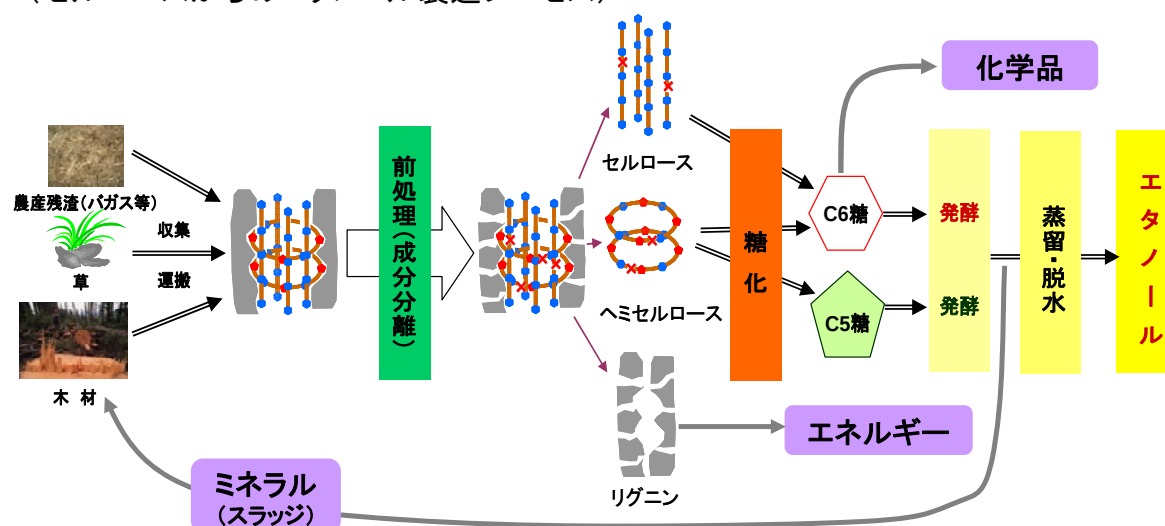
4. 技術開発ロードマップ

セルロース系原料からエタノールを製造する技術については、特に米国での開発が先行しており、2010年までに、カナダのIogenや米国のBroin、MASCOMAなどの企業が商業生産を予定している。米国ではセルロース系原料から生産したエタノールには、トウモロコシ原料のエタノールに対して、2.5倍の補助金が支払われることになっているため、セルロース系原料からの生産を促進している背景にもなっている。

資源の確保と、利用可能な製造技術を取得していることは密接な関連がある。日本が米国のコスト目標を達成できる世界トップクラスの技術が開発できれば、今後のアジア等での資源確保でも有利に展開できるものと思われる。

APECのバイオ燃料タスクフォースでは、米国のDOEからの参加メンバーが議長を務め、米国政府としてアジアにおけるバイオ燃料普及への技術支援を表明していることなど、既にアジア等での資源確保の動きが活発となっている。生産技術を早期に開発するためには、数値目標をしっかりと設定したロードマップと総合的な研究開発体制が必要である。

(セルロースからのエタノール製造プロセス)



4. 1 技術評価

セルロース系の原料からエタノールを製造する技術開発は欧米でも進められているものの、残念ながらその技術的な実態や経済性などの詳細は公表されていない。また、国内で開発された技術の評価も横並びに比較することのできるデータは殆ど公表されていないので、相対的な技術レベルの評価が必要である。

セルロースからエタノールを製造するためには、前処理－糖化－発酵－濃縮脱水の4つのプロセス要素が必要である。産総研では、非硫酸前処理を大きな目標に掲げ、水熱処理－酵素糖化法を開発している。ソフトバイオマスに対する有力な候補技術である一方、ハードバイオマスへの適用には更に粉碎法などのメカノケミカル処理を加えて開発が進められている。

酵素糖化や発酵、脱水技術についても研究開発が進められてきたが、今後更なる効率向上のために、研究開発を促進させる必要がある。

(非硫酸前処理(水熱処理)+酵素糖化技術)

長 所	課 題
✓糖収率80%以上が期待できる ✓シンプルプロセス ✓含水原料に適合	✓酵素使用量を低減する水熱処理分解条件確立 ✓水量の低減とエネルギー消費を極小化するプロセス構築

既存技術

前処理・糖化法	開発者	糖収率	長所	短所
濃硫酸法	Arkenol(米)	80%以上	糖収率が高い	✓原料を10%程度まで要乾燥 ✓腐食対策が必要 ✓廃棄物(石膏)が大量に発生 ✓酸回収工程が必要
希硫酸法	Celunol(米)	50%程度	—	✓腐食対策 ✓廃棄物(石膏)が大量に発生 ✓グルコース収率が低い
水熱分解法	産総研	40%程度	wet原料に好適	✓糖の過分解抑制が必要
希硫酸法+酵素法	NREL(米)	80%以上	糖収率が高い 糖の過分解が少ない	✓腐食対策 ✓廃棄物(石膏)が大量に発生
蒸煮・爆砕法+酵素法	Iogen(加)			✓ヘミセルロースの利用性が低い

4. 2 技術ロードマップと数値目標(別紙参照)

経産省では「技術戦略ロードマップ2006」を昨年4月に発表しているが、既存のロードマップにはセルロースからのエタノール製造技術に関しては明確に記述されていない。

ソフトバイオマスとハードバイオマスでは前処理における技術上のハードルに大きな隔りがあるので、本提案においてはこの点を例示し、各工程における課題と研究開発の方向性を示した。

(各工程における課題と研究開発の方向性)

○バイオマス資源の確保(生産、収集、運搬)

(課題)

バイオエタノールを燃料として考える場合、その原料となるバイオマスも、大量に、安定的に、低コストで入手することが必要である。稲わらのように、広く薄く存在するバイオマス資源は、広範囲から回収することになり、収集コストが高くなる。また、間伐材や林地残材のように、地形の問題から一日の収集量に限界があるバイオマス資源も、同様に収集コストが高くなる。

一方、もみ殻、米ぬか、オガクズ、製材廃材、廃菌床などは、食品や製品の加工工場で残渣として発生するため、収集コストが不要あるいは低減される。しかし、工場・事業所のゼロエミッション化が進む中、このような残渣系の資材は、肥料、飼料、燃料として、すでに有効利用されている場合が多く、また、主たる製品の生産計画により発生量が影響を受け、バイオマス利用側からの計画的な確保が困難である。

また、一年生植物を資源として使用する場合、収穫時期が年間の一時期に集中することが多く、特に、水分量や糖分量が多い場合、保管中の腐敗を防ぐための処理(乾燥、低温保存)が必要となり、コスト上昇の原因となる。

（研究開発の方向性）

稲わらのような嵩高いバイオマス資源を広い範囲から回収する場合、圧縮して運搬効率を上げる必要がある。間伐材や林地残材を回収する効率を上げるためには、高性能な間伐機械や傾斜地から効率良く運び出す装置の開発が必要である。

また、エネルギー作物など、目的生産するバイオマス資源の場合、単位面積当たりの生産性の高い品種の育種や遺伝子組み換えによる創出が考えられる。さらに、半乾燥地の塩類集積地やアルカリ性土壌、多湿地の酸性土壌など、通常の植物栽培には適しない土壌条件、環境条件において、土壌の改良や植物側の改変により、バイオマス資源を生産することができれば、真の意味で食糧生産と競合しないバイオマス資源を得ることが出来る。

○前処理

（課題）

濃硫酸を使用した方法は、酸の濃度を維持するために、処理対象のバイオマスを乾燥処理して、水分含量を低減する必要がある、反応後の硫酸は、バイオマス由来の成分が溶出して再利用が困難である。一方、希硫酸二段法は、二段目の糖化の効率は高くなく、反応後に硫酸を中和して回収するが大量の石膏が発生することになる。酸を使用しない前処理方法として、熱水処理があるが、過分解を避けるための反応制御が困難である。また、バイオマスを機械的に微粉末にする方法や、高圧から一気に減圧し組織を破壊する方法、薬剤を併用する方法、腐朽菌などで生物的にリグニンを分解する方法など、いくつかの方法が開発されているが、エネルギー効率や処理効率、処理に要する時間など、一長一短で、一つの手法で全てを解決できるような決定的な手法はみつかっていない。

（研究開発の方向性）

硫酸を使用する方法は、廃棄物処理、環境負荷低減にかかるコストやエネルギー面で、低コスト化に限界があると言われている。一方、硫酸を使用しないか、あるいは少量の硫酸を使用する方法をうまく組み合わせることによって、コストに直結するエネルギー効率と処理効率の両立する条件を求めることが現実的である。また、後段の糖化・発酵の効率が良くなるような前処理条件とする必要がある。特に酵素糖化を行う場合、バイオマスを生化学的、組織化学的に理解することが後段の効率向上に大きく寄与するため、この観点で技術の最適化も重要である。

○糖化

（課題）

硫酸による加水分解による糖化に代わる方法は、セルラーゼ酵素による糖化であるが、現状では、酵素の反応効率が低く、酵素の生産コストが高いため、酵素糖化にかかるコストは、許容できないレベルである。酵素の反応効率が低いのは、酵素の基質であるセルロースが固体であることから、固体の表面積の広さと、表面の立体構造が、酵素の反応性に影響することによる。また、酵素の生産コストが高いのは、活性の高いセルラーゼ酵素は、

バクテリアでは生産できず、制御が難しい糸状菌での生産となるためである。

（研究開発の方向性）

酵素の反応性を上げるためには、分子レベルで酵素とセルロースの相互作用を理解して前処理の最適化を行うことが必要である。セルロースの微粉末化などにより表面積を大きくして、酵素との接触機会を増やすこと以外に、酵素反応性が格段に向上するセルロースの結晶構造があることが最近わかった。酵素反応性を最適化するための前処理を選択することが、選ぶべき道である。また、酵素の生産コストの低減のために、生産菌の培養法の最適化と大量生産法の確立がある。さらに、酵素のオンサイト生産による低コスト化も検討の対象となる。

○発酵・蒸留

（課題）

バイオマス資源には、セルロースとともにヘミセルロースも存在するが、これには、6炭糖とは異なる5炭糖が含まれる。例えば、広葉樹など、バイオマスの種類によって、この異なる糖が30%を占める場合もあるが、通常お酒を造るために用いられている酵母は、これをエタノールに転換できない。また、発酵液を蒸留してエタノールを得る際、蒸留に必要なエネルギーが非常に大きい問題もある。

（研究開発の方向性）

弱い活性ながら、異なる糖（5炭糖）を利用できる酵母は自然界に存在しており、この酵母と通常の醸造用酵母を組み合わせる技術の確立が一つの目標である。また、酵母やバクテリアに、5炭糖を変換できるバクテリア由来の遺伝子を組み込んで、5炭糖を利用できる菌を作る試みも進められている。さらに、5炭糖を利用できる菌でも、利用しやすい6炭糖が存在するうちは、5炭糖を利用しないような生体内制御がかかっているが、これを解除し5炭糖の利用性を高める方法の開発も進められている。また、発酵を連続反応で行うために分離性を良くするための凝集性酵母の利用や、酵母を担体に固定化する方法も検討されている。また、前段の酵素糖化において、生成物阻害を減じるために、酵素糖化と発酵を同時に行い、糖が蓄積するのを避け、効率良く糖化・発酵が進行するようにする検討も行われている。さらに、前段の処理から混入してくる不純物に対する耐性を持つ酵母や、糖化反応の温度で発酵できる高温耐性の酵母、雑菌の繁殖が抑えられる低pHへの耐性を持つ酵母などの創出も発酵段階の効率化に大きく寄与するものと考えられる。究極的な技術として、酵母にセルラーゼ酵素を導入し、単一の酵母で、酵素糖化とエタノール発酵を同時に行うための検討も行われている。

生産されたエタノールの蒸留および脱水にかかるエネルギーを低減する方法として、分離膜の利用や、濃縮と脱水を同時に処理する方法などの開発が有用である。

○総合利用

(課題)

エネルギーとしてのエタノールは、付加価値の高いものではなく、エタノール単独の製造で採算を合わせるのは、かなり困難である。このため、エタノール製造工程で同時に付加価値の高いものを生産できると、全体として採算を合わせることも可能になる。

(研究開発の方向性)

バイオマス原料から抽出した精油成分や、あるいはリグニンを変換して得られる化合物等、高付加価値な副産物を産出することが考えられる。また、リグニンをそのまま燃焼したり、ガス化してエネルギーとして回収することや、木質資源の構造物としての利用も総合的に付加価値を上げるための方法として考えられる。

○システムとして

(課題)

今まで、製造技術開発は、それぞれの工程の最適化を中心に行ってきたため、統合すると必ずしも最適の方法にはなっていなかった。また、一連の反応では、前処理・糖化の工程での未反応残渣や、発酵工程での反応後の酵母、そしてBODの高い廃液が、大量に発生する問題がある。

(研究開発の方向性)

一連の技術をシステムとして評価し、プロセス全体を最適化することが望ましい。また、硫酸を使わないことなど、できるだけ、廃棄物が生成しない工程を組む必要がある。それとともに、リグニンなどの未反応物は、回収して燃料として利用し、全体のエネルギー効率を高めることも必要である。

(コスト目標の考え方)

開発する技術が世界に通用するためには、比較対象となる原油や他国での開発目標と競合できるコスト目標の設定が必要である。

原油価格については、オイルアナリストの予想では、2012年頃には45～85ドル／バレルと予想されており、年平均価格では50ドル／バレルを下回る可能性は小さいと予想される。APEC バイオ燃料タスクフォースでの検討でも、50ドル／バレル以上を前提として経済性の検討が行われている。この際の為替レートは110～120円／ドルの範囲と予想されている。

他国での開発目標については、米国のがコスト目標を設定して開発を行っており、最低限、同等レベルを目指す必要があると思われる。2012年の米国の目標は1.07ドル／ガロンであり、これが当面の指標になろう。この目標値の内訳は、原料費がおおよそ1／3であり、原料費、排水処理や電気・熱、貯蔵などを除いた正味の製造コストは0.52ドル／ガロン(酵素コスト0.1ドル／ガロンを含む)である。これは16.6円／L(@120円／ドル)に相当する。

ちなみに、セルロース系原料からのエタノールの推定価格は、2005年においては72円／L(2.26ドル／ガロン、@120円／ドル)程度で、米国DOEは2012年までに34円／L(\$1.07/gal、@120円/\$)での生産を目標にしている。一方で、セルロース系原料からのエタノ

ールに対する補助金は、トウモロコシ系(現在 51 セント／ガロン)の 2.5 倍に設定されている。

4. 3 エネルギー作物の開発指針

「エネルギー作物」とは、熱エネルギーを得るために使用する燃料の原料となる栽培植物をいう。現在、エネルギー用原料として利用されている栽培植物は、ブラジルのサトウキビや米国のトウモロコシ、欧州の菜種が知られているが、これら作物は食料と競合することから、今後の需要増加に当たっては、セルロース系原料(非食用植物)が注目されている。

現在、欧米ではエネルギー作物の研究開発が活発に行われており、エタノール製造のみならず、ガス化技術による発電や燃料化など用途も広い範囲で検討が行われている。

米国では、ブッシュ大統領の一般教書演説で取り上げられたスイッチグラス等が検討されている。また、欧州ではススキのハイブリッド種が開発され、既に英国やドイツで実用化され、発電や熱エネルギーに利用されている。欧州では、ススキが東アジア特有植物であることから、欧州域内で栽培する場合の生態系への適合性や環境影響について20年以上に亘る長期の研究や観察が進められた。

今後の資源作物の検討にあたり、地域に生育しない植物、遺伝子組み換え技術を利用した植物を利用する場合には、欧州のような長期にわたる研究や影響把握が必要になる。

また単一種を大量に生育するような場合にも、生物の多様性の観点から、調査、研究を行う必要があり、資源作物作付けする対象地域の研究機関と共同で、課題解決に向けた調査・研究の実施が必要となる。

(米国の学者が提案するエネルギー作物として考慮すべき点)

- ◆ エコロジカルな観点・・・エネルギー効率、水消費、肥料や殺虫剤の使用、廃棄物、環境汚染、病害耐性、自然の保全、収量確保、環境適性
- ◆ 経済性の観点・・・コスト、生産性、ハンドリング性、労働確保
- ◆ 社会的な観点・・・健康、安全

生産性からみれば、CO₂の吸収能力の高いC₄植物が好ましく、降雨量が少なくても生育し、面積あたりの年間収穫量(特にセルロース分)が多いことが理想的である。また収穫後の貯蔵性にも優れ、生産にあたって手間がかからないなど自生力が強いこと、害虫や災害にも強いことなどがエネルギー作物として具備すべき要件である。

米国で候補となっているエネルギー作物は、下記の通りであるが、単一の植物を作付けするよりも、多種多様な植物を混合して作付けした方が、収穫されるエネルギー量は多いとの研究成果があり注目される。また、エネルギー作物を既に実用化している英国においては、本提案にもあるように休耕地を利用したエネルギー作物の栽培を行っており、この仕組みを確立できたことが、導入成功の要因といわれている。

(米国のエネルギー作物候補)

草本系・・・Switchgrass, Alphalpha, Reed Canary Grass, Tropical Grasses

木質系・・・Hybrid Popular, Willow, Eucalyptus, Silver Maple,・・・

(最近の注目される研究)

「肥料が少なく生物多様性の高い草類から製造されるバイオ燃料は低炭素」

Tilmanら ミネソタ大学 Science 8 December 2006 Vol: 314. no. 5805, pp. 1598 – 1600

多種の草で栽培した草から得られるバイオエネルギーは単種の草(スイッチグラス)から得られるエネルギーより 2.4 倍も多い結果が得られた。

(英国のエネルギー作物への取組)

EU 他国に比べ、森林資源に乏しいことから、ドイツと同様に休耕地へのエネルギー作物の栽培補助*を行っている。この作物は SRC (Short Rotation Coppice)と呼ばれ、具体的には、柳、ポプラ、ススキは対象となっている。 * £1,000/ha Max

4. 4 新燃料や新資源に関する調査・研究

● ブタノール等の新燃料

エタノールは、米国やブラジルで長年にわたりガソリン混合基材として使用されてきたが、ガソリン中に存在する水分による分離等の特有の問題点を抱えている。欧州では、エタノールをイソブチレンを反応させて合成したエチルターシャリーブチルエーテル(ETBE)が利用されており、日本でも検討されている。

BP と DuPont は、エタノールが抱えている課題を解決する一つ的手段として、ブタノールでの利用を提案している。ブタノールは、エタノールが抱える高蒸気圧、水分によるガソリンとの分離等の課題を解決でき、パイプラインでの輸送が可能となるなどのメリットがある。

一方、エタノールと比較してオクタン価が低い、生産時の発酵効率が悪いなどの課題も抱えている。BP は、ブタノールを新バイオ燃料の第一弾として位置づけ、今後がさらに優れたバイオ燃料の提案を目的として、5 億ドルの投資をして研究開発を進めると公表している。日本においても長期的な視野で、こうした新燃料としての開発を進めるべきである。

● 乳酸以外の新化学原料

「バイオリファイナリー」は、1999 年にアメリカ・クリントン政権で出された大統領令「バイオ製品・バイオエネルギーの開発の促進」と、2002 年にブッシュ政権で出された「米国におけるバイオエネルギーとバイオ製品ビジョン」により打ち出された新しい概念である。

バイオリファイナリーは、再生可能資源である植物・農産物やその副産物、廃棄物等のバイオマスから、糖、中間体を経て各種の有用化学製品、エネルギー源としてのバイオエタノール、バイオディーゼル等を製造しようとするものであり、化学工業およびエネルギーの化石資源からの脱却、循環型社会の構築、地球温暖化に対する長期的・根本的解決法

として期待されている。バイオリファイナリーは、21 世紀の産業革命とも認識され、バイオテクノロジーの急速な進展を基とする産業化の強力な推進を図る米国の国家科学戦略として位置付けられている。

バイオリファイナリーでは、ブドウ糖が基幹物質であり、それを境にバイオマスからブドウ糖を生産する上流過程とブドウ糖から各種有用化学製品やエネルギー化合物を生産する下流過程に分けることができる。

下流過程に包含されるバイオテクノロジーは、既に日本において大きな実績を有している分野である。例えば日本で生まれ、世界に大きく展開しているアミノ酸産業があげられ、デンプンや糖質を原料として、医薬、食品、飼料、化成品原料へと幅広く利用される化学製品を、微生物あるいは微生物酵素を利用して生産する大きな実績を有している。

これら既存の日本のバイオテクノロジーは、個々に付加価値の高い化学品の生産を目指すものであるが、米国のバイオリファイナリーでは、エネルギー化合物や汎用のポリマー原料など低価格でも石油製品に変わることができる化学品の製造をも包含しており、総合的、統合的に化学品の製造体系を作り上げることも目指している点で、日本のバイオテクノロジーを大きく凌駕しているといえる。事実、バイオリファイナリーを取り巻く技術体系において、日米間の大きな隔たりの存在は否めない。

米国では、すでに石油ベースの「オイルリファイナリー」から「バイオリファイナリー」への大転換の実現を国家科学戦略としている。このコンセプトでは、かつて石油危機の際に実施された研究開発である「バイオマス利用：石油からの原料転換」とはまったく異なり、生み出される製品群が既存の石油化学製品体系(C2 ベース製品)と根本的に異なる“新規製品体系(C3～C6 ベース製品)”となっている点に大きな特徴がある。

2004 年 8 月、米国エネルギー省 DOE 内の組織である EERE(the Energy Efficiency and Renewable Energy Office)は、バイオマス資源からバイオプロセスを主要技術として開発可能もしくは早期に開発を実施すべき具体的な製品群を、産官学の連携にて調査した結果を、「DOE report Top Value Added Chemicals from Biomass 2004 PNNL/DOE」、として報告した。この報告は、バイオマス資源(糖を出発原料)から合成可能な化学製品を系統的に調査した世界初の試みであり、バイオリファイナリー産業として経済的にも成り立つ製品群を選定したものである。また、国立研究所の報告書や産業界の資料、学術論文に基づいて選定された 300 以上の化学製品を母集団として、スクリーニングによってトップ 30 の化合物が絞り込まれ、更に、「ビルディング・ブロック・トップ 12」と呼ばれる 12 種の化学製品が最終選定化学製品として決定している。

トップ 30 の化学製品は炭素数 C1～C6 に分類され、次の要件を満たしている。

- 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デンプン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 未だ商用化が進んでいる化学品ではない

ートップ 30 化合物ー

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

これまで、バイオマス由来の化学品として実用化されている物としては、発酵生産された乳酸を重合合成させたポリ乳酸が代表例であった。ポリ乳酸は、カーボンニュートラルによる地球温暖化対策、生分解性ポリマーとして従来のプラスチックに替わるものとして世界中で実用化が進んでいる。同じく、微生物の発酵生産で作られる、1,3-プロパンジオールは、ポリエステル新しいモノマー原料として注目されている。既に繊維製品として実用化されている。

原油の高騰によるポリマー製品の値上がり、地球温暖化対策、カーボンニュートラルを背景にバイオマス由来化学品の研究開発の重要性は今後ますます高まると予想される。

● 海洋資源利用

日本は世界有数の海洋資源国である。領海と経済的排他水域を含めると日本の領土は約 447 万km²(国土面積の約 12 倍)になる。資源に乏しい日本では、最大のポテンシャルを持つ資源といえるため、このポテンシャルの利用に関する研究も、長期的な視点に立って検討課題とすべきである。

5. 研究開発組織

資源(作物)開発から製造、使用までの一貫した開発を行うことを前提とし、高い研究目標を掲げ、世界トップレベルの技術を開発するために、また、複数の異なった分野を融合して研究開発を進めるためには、研究開発体制の構築が必要である。

基礎研究と人材育成を行う機能と、実用研究から実用化技術、使用までをカバーする機能とを合わせ持つ組織が理想である。基礎研究と人材育成を担う機能が、次の世代の技術開発への種を与え、次世代で活躍する人材を供給するという観点で、実用研究開発

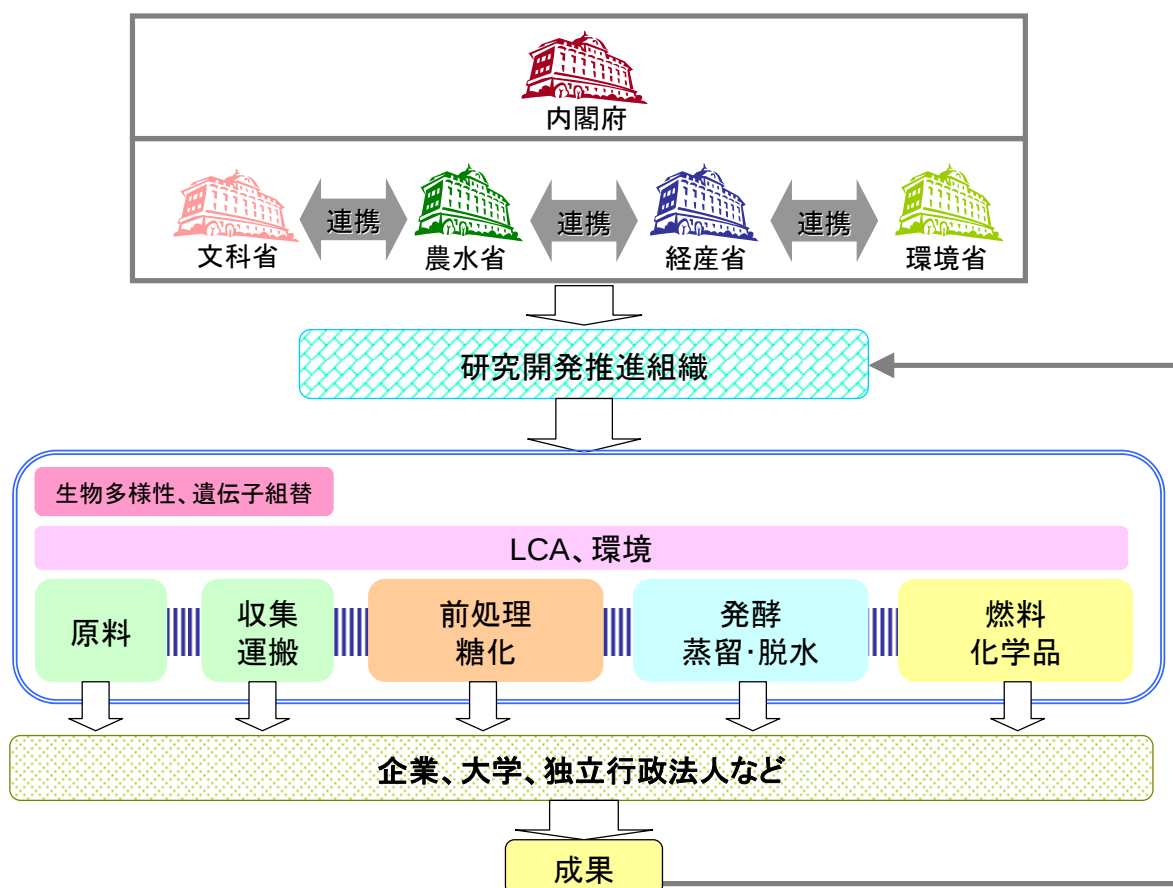
への長期的な好循環を生むものとする。本提案では、後者を主とした組織を構築して実用レベルの研究開発を進めることを提案している。

バイオ燃料は、自然界の中で持続的に生産される資源を利用することから、環境や社会などあらゆる面で人間社会と自然界との調和を図ってゆく必要がある。このような観点での研究や調査などは、多様な観点で進められる必要があり、このような観点も研究開発体制が包含する。

対象学問分野は下記の通りである。

- 分子生物学、バイオインフォマティクス…遺伝子、ゲノム
- 機械工学、化学工学、プロセス工学など…粉碎、糖化、発酵、蒸留、脱水
- 環境学…自然破壊、環境破壊、民族紛争、人口問題、食料問題、エネルギー問題等の様々な社会問題
- 水環境学…水処理
- 社会科学…生物多様性、遺伝子操作作物
- LCA…CO2 排出量、エネルギー効率

(研究体制イメージ)



6. バイオ燃料に係わる環境などの諸問題

バイオ燃料の生産は、植物の栽培と原料の収集配送し、燃料生産工場での燃料転換により行われる。植物の栽培は大規模に行われ、大量の輸送が日々行われ、燃料が生産されるので、地域の生態系への影響や雇用等の地域社会への影響などを地域の研究機関や政府等の関係者と評価・研究し課題を解決することが必要である。

現在、バイオ燃料の生産に係わる直近の問題や課題がクローズアップされている。また、バイオ燃料を取り扱う上で、考慮する必要のある生態系への問題や課題などについて、世界で論じられている状況の一部ではあるものの、下記に紹介する。

6. 1 食料との競合問題

現在のバイオ燃料が食用穀物や食用油から製造されるために、しばしば食料への競合が懸念されている。食料と直接競合しなくても、例えば土地利用という観点でみると、食料生産に利用できる土地を使用してエネルギー用の作物を生産することも間接的に食料と競合していると考えることができる。

2030 年には中国、インド、アフリカがほぼ同じ人口を抱えることになり、インドやアフリカでの穀物需要の増加が予想されている。経済発展の著しい中国では、食生活の欧米化により油脂や肉類の需要が増加することも予想されており、これらの地域における食糧問題には、特に動向を注意する必要がある。バイオ燃料の増産が、先進国、特に資源のない日本のエゴと見られないように、食料の需給のみならず市場における価格への影響も含めて、注意しなければならない。実際に、米国では燃料の増産によりトウモロコシ価格が高騰し、飼料として使用されるトウモロコシの価格の高騰から食肉の価格も上がるという間接的な影響も出ている。

6. 2 LCA の観点での CO2 排出(バイオエタノール研究会の記事から)

長年の論争となっているエタノールのエネルギー効率・CO2 削減効果に関して、2005 年 3 月に Cornell 大の Pimental 博士と UC Berkeley の Patzek 博士は共著で LCA 解析を行い、ネットエネルギーバランス(NEV)がマイナス 29%であるとの最新発表を行なった。対して USDA(米国農務省)及び DOE(米国エネルギー省)の研究者は、エタノールは平均して 6% エネルギーポジティブであり、飼料などの副産物を計算に含むとこの値は 67%となると反論した。大きな齟齬はコーン生産における灌漑や肥料のコストとエタノールの変換効率にある。USDA・DOE は Pimental/Patztek 両博士が農業技術やエタノール変換効率の向上を反映した最新の数値を使用していないと主張している。

国際エネルギー機関(IEA)は、コーンを原料としたエタノールが 20~40%、セルロース系原料を使用したものは 70~90%の効果があるとの調査を発表した。

また米国の Argonne 国立研究所が行なった、過去 10 数年間に多数の研究者が発表したエネルギーバランスを調査したマップでは、実施されたほとんどの調査においてエタノールのエネルギーバランスはポジティブとなっている。また、農業技術およびエタノール製造技術の進歩に伴い、結果のトレンドは右肩あがりになっていることも明白である。

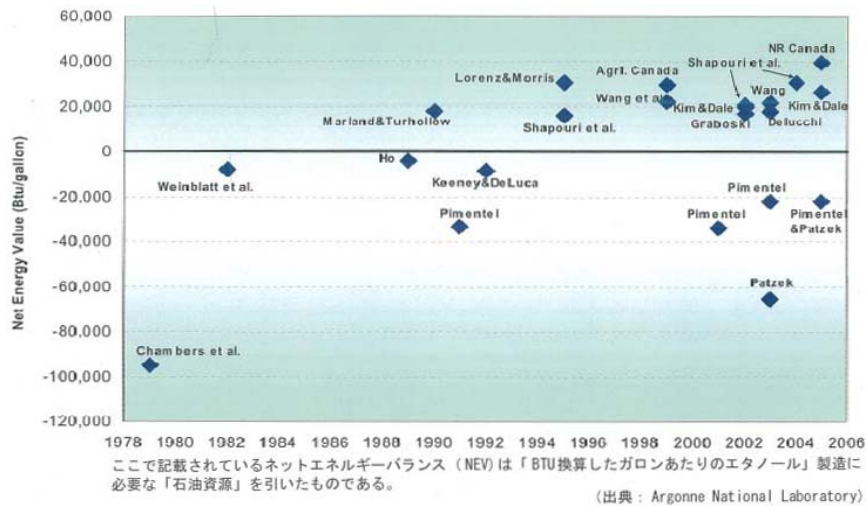


図1 バイオエタノールエネルギーバランス

このように、CO₂ の LCA 評価は難しい点があるが、工場建設の前に評価し、実力を評価する必要がある。

6. 3 水問題

米国では、トウモロコシの澱粉からエタノールを製造する際に工場に必要な水は、エタノール 1 を生産するのに対して 4~5 必要とされている。エタノールの生産工場の建設ラッシュで、エタノール生産量は現在 (05 年) の 1740 万 kL から3年後には 3,000 万 KL を超えるレベルになるといわれているが、新たに、6,000 万 KL 程度の水が必要になる。この急増により、地下の帯水層から水が供給されている地域では、場所によって水不足や帯水層の水の枯渇が懸念されている。

6. 4 森林伐採等の問題

例えば、世界のパーム油の 85%を生産するマレーシアやインドネシアでは、プランテーションによる森林伐採の結果、森林生態系の大規模な消失、地元住民の権利の消失、先住民等の経済・文化への影響、違法伐採の併発、農薬や化学肥料による土壌や河川の汚染、土壌浸食など様々な問題が引き起こされている。

これに対して、スイスの小売業者であるミグロ社はパーム油業者に対して、熱帯林を破壊しない、自然保護の推進などの基準を設け、これら条件に満たない業者とは取引を行わないことを決定した。また、オランダの銀行は、環境や社会的な面で配慮しないプランテーションに対して融資の取り止めや制限することを決定した。これらの活動が広がる中で、RSPO(持続可能なパーム油のための円卓会議)が WWF とパーム油関連企業により設立された。

6. 5 生物の多様性

「生物多様性ホットスポット」は、イギリスの生態学者ノーマン・メイヤー(Norman Myers)が1988年に提唱したもので、1,500種以上の固有植物種を有するが、その70%以上が本

来の生育地を喪失している、保全の重要性の高い地域を指す。CI（Conservation International）*が地球規模での生物多様性再評価を実施した結果、緊急かつ戦略的に保全すべき地域として世界 34 ヶ所のホットスポットを発表している。このホットスポット地域においてバイオ燃料が大量に製造されている。

遺伝子組み換え作物の取り扱いも生物多様性の中の一つの課題としており、バイオ燃料の原料である作物に遺伝子組み換え作物が多いことは、カルタヘナ議定書批准国である欧州と未批准国である米国の対決状態になっている。しかし、現実には欧州においても遺伝子組み換え作物を評価の上認めており、広がりつつある。

*世界 40 カ国で活動する米国の NPO で、高い評価を受けている環境団体である。

6. 6 途上国でのバイオマス利用に関する問題(IEA WEO2006 から)

開発途上国のしかも農村地域においては、これら地域に住む人々は世界で25億人いるが、薪や木炭、農産残渣などのバイオマスを調理時のエネルギーとして使用している。これらのバイオマスの利用は低効率で、クリーンではないため、年間約130万人の、特に女性や子供がバイオマスの使用による室内汚染のために亡くなっている。これらバイオマスエネルギーは 2004 年時点で石油換算で約1.1億トンを達しており、全世界の一次エネルギーの1割近くに達している。2015 年までにこのバイオマスの利用をやめさせることが、国連のミレニアムプロジェクトになっている。

7. 先進諸国のアジアへの進出状況

- 米国でのエタノール政策が進行していることから、エタノールに関する米国企業の進出はみられないものの、米国の穀物メジャーであるカーギル社は既にマレーシアやインドネシアに拠点を作りバイオディーゼル(BDF)の供給に対する体制を整えている。同社はインドネシアに 30 万 ha のパーム農園を確保していると伝えられている。
- 米国第2位の穀物メジャーでバイオ燃料の生産に意欲的な ADM(Archer Daniels Midland)は、アジアの農業関連の大手であるシンガポールの Wilmar International 社と共同で、インドネシアでパーム油ベースの BDF の工場を建設する計画である。
- 米国 SunOpta 社は、中国第2位のエタノール生産会社である China Resources からセルロースを原料とするエタノール製造パイロット設備を受注した(06 年末稼働予定)。中国中央政府は 10 年間で 50 億ドル以上のエタノール製造に投資することを発表している。
- 欧州では、ディーゼル乗用車の普及による軽油需要の増加によりバイオディーゼルの需要が大きくなり、バイオディーゼルの域内供給が急増したことから、主要原料である菜種油が高騰している。目標達成(05年2%、10年5.75%)がままならない状況の中で、オランダや英国、ドイツの欧州業者がマレーシアやインドネシアのパーム油に投資しているといわれ、パーム油ベースのBDFの輸入(ドイツ向け)を昨年末に開始した。

- 英国企業がマレーシアに年産 30 万トンの BDF の工場建設を発表し、07 年末には完成予定である。
- 中国海洋石油は、パーム油の生産増加を目指す現地の華人系財閥であるシナル・マスと協同で、パーム油を原料としたバイオディーゼルとキャッサバを活用したバイオエタノールの生産するために、55 億ドルを投じてインドネシアのカリマンタン島やパプア州に大規模な栽培地を確保し、量産工場を複数建設することが報道された。
- 韓国の GS カルテックスグループ会社の一つである H-Plus Bio 社はマレーシアの大手パーム油会社である Golden Hope Plantation と協同で、生産能力年産 20 万トンの BDF プラントを明年 6 月に立ち上げる計画である。
- 韓国の Samsung はフィリピン国営石油会社と共同で、ヤトロファの栽培と BDF 製造プロジェクトを計画している。
- 伊藤忠商事は現地のエタノール生産大手モリンド社と共同でスマトラ島南部とジャワ島東部の 2カ所にバイオエタノール生産工場を建設する。キャッサバを発酵させてアルコールにしてバイオエタノールを合計年 10 万 kL 生産する予定である。
- 日本植物燃料は 2007 年夏をめどに、バイオディーゼル燃料の原料として期待されるヤトロファの栽培をインドネシアで 1,000ha 規模で開始する。
更に、バリ島とティモール島のほぼ中間に位置するインドネシアのスンバ島で、20 万 ha 規模のヤトロファ栽培を実施する計画があり、同プロジェクトにはインドネシア企業とマレーシア企業、欧州のスキャンオイルも加わる模様である。このうち日本植物燃料は、15,000ha の権利を獲得した。
- 他の日本の商社も動いているようであるが、調査・検討段階にあり、具体的なアクションはない。

アジアにおいては、BDF の資源獲得に向けた動きが活発になっており、エタノールに対するアクションはまだ活発化していないようである。資金力のある穀物メジャーや石油メジャーが本格的に動き出す前に手を打つ必要があるものと思われる。メジャーの他に、将来の大消費国となりうる中国の動向にも注意する必要がある。

8. 参考情報

8. 1 アジアでの経済発展と石油需給状況

アジアにおいては、2020 年に向けて GDP が、中国やインド、マレーシアでは年率 5%を超え、タイやベトナム、インドネシア、フィリピンといった ASEAN 諸国では 4%程度で成長すると予想されている。特にベトナムには日本や韓国からの投資が拡大している。この経済成長のために、石油需要も増加しており、アジア地域でのガソリン需要は現在の約 2 億 kL から 2030 年には倍の 4 億 kL を超えるものと予想されている。ちなみに、石油需要は現在 10 億トンから 21 億トンに増加すると予想されている。

8. 2 原油価格の予測

原油価格は、2004 年から急激に上昇し、2005 年夏には 70 ドル／バレルを超えた。その

後軟化し、60 ドル／バレル前後で推移している。サウジアラビアでの新規油田での生産コストがかなり上昇しているといわれ、今後の油価は同国にとって 40 ドル／バレルを超える水準が好ましいといわれている。

原油価格の将来予想は非常に難しいが、オイルアナリストの予想では、今後 2015 年程度まで 40～100ドル／バレルで推移すると予想されており、長期間にわたって 50ドル／バレル以下になる可能性は小さいといわれている。

8. 3 為替レート予測

為替レートは国の経済力や産業力を示す指標であるが、いくつかのシンクタンクから 2010 年から 2015 年程度までのレート予想が出ている。

○野村証券金融経済研究所(06 年 12 月 12 日)

117.5 円／ドル@2010 年

○日本経済研究センター(06 年 11 月 30 日)

116 円／ドル@2010 年、106 円／ドル @2015 年

○三菱総研(07.02.12)

110 円／ドル@2010 年、120 円／ドル @2015 年

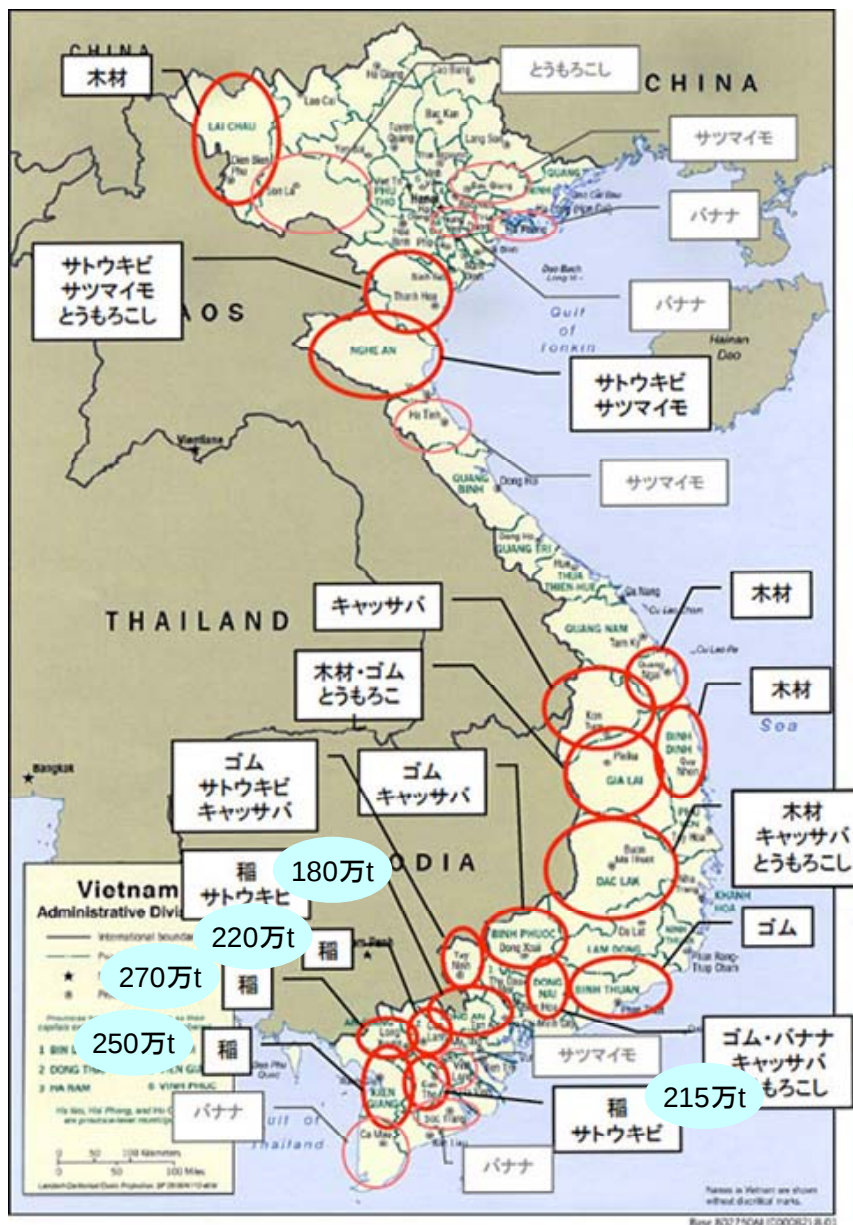
以上

参考資料

アジアにおける米生産大国(万ト) 主な米作地域

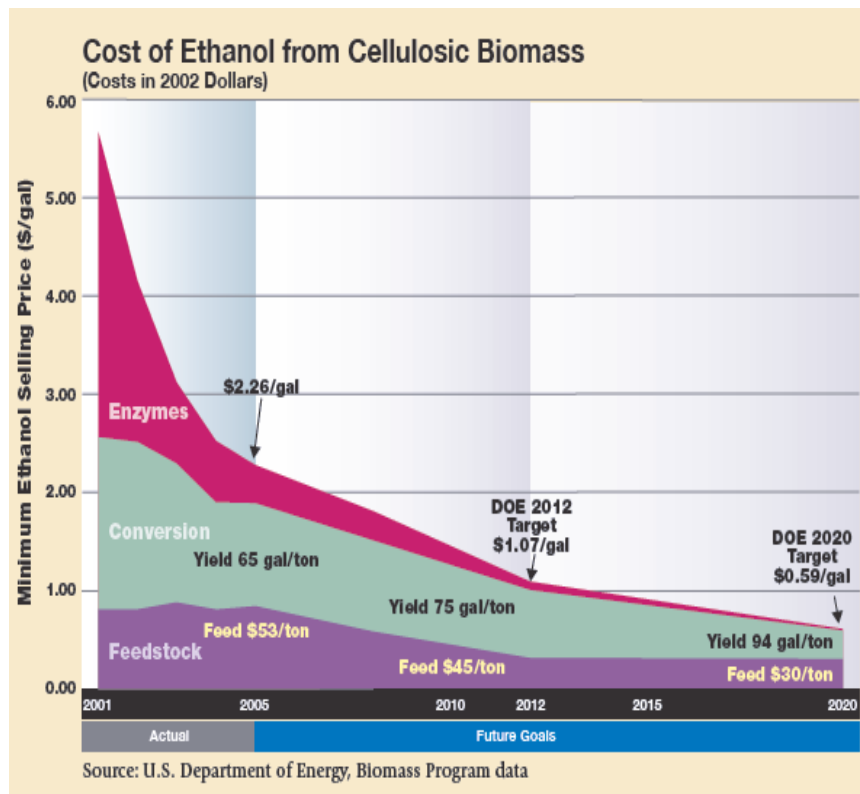
中国	19,000	
インド	13,000	
インドネシア	5,400	ジャワ島
ベトナム	3,600	メコン川流域
タイ	2,700	チャオプラヤ川流域
フィリピン	1,500	ルソン島

ベトナムの米作地域の稲わら発生量



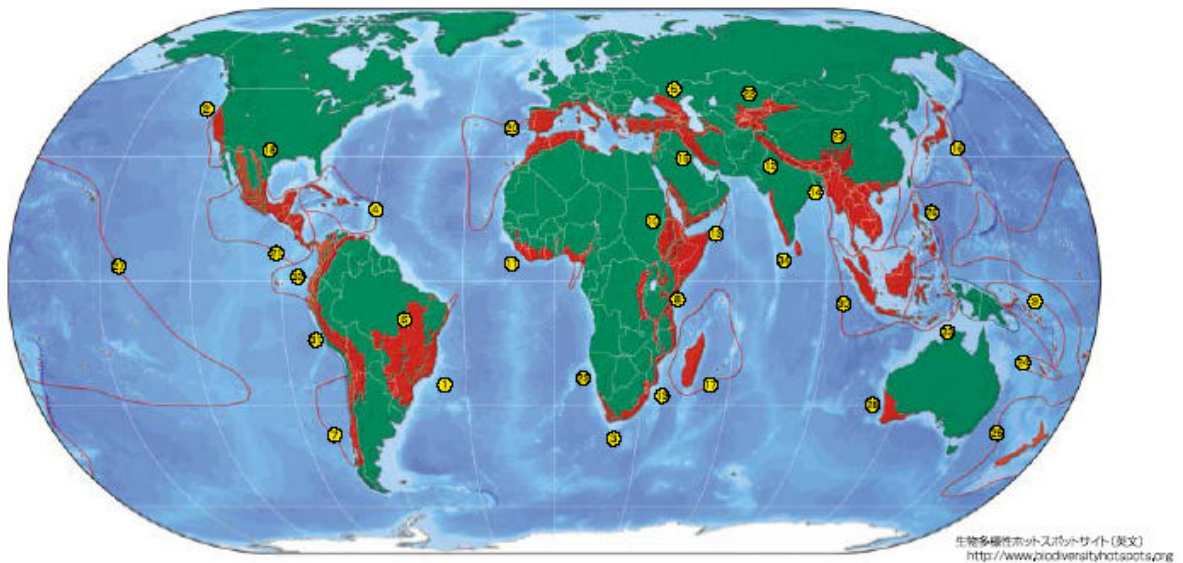
米国 DOE のセルロース系エタノールのコスト目標

出典: "On the Road to Future Fuels and Vehicles" 米国 NREL 資料



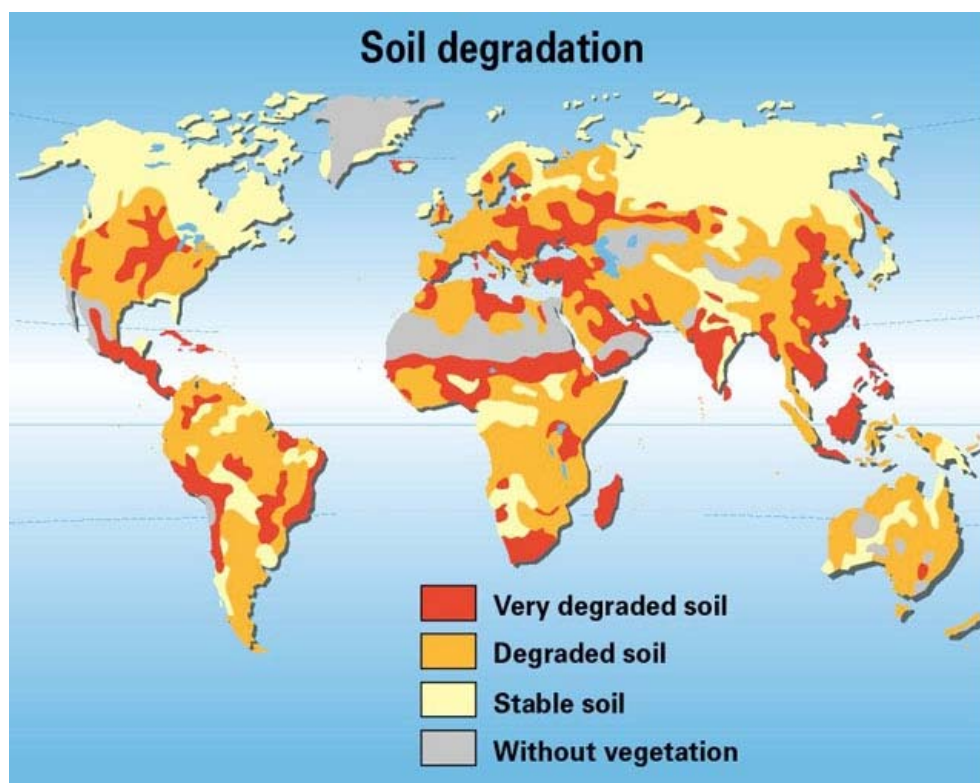
生物の多様性ホットスポット(赤地域: 重要保全地域)

出典: Conservation International の HP



世界の土壌劣化の状況

出典: "World Atlas of Desertification: Second Edition" UNEP(1997)



The area of dry land except desert

Region	Area (million hectare)
Africa	1,286
Asia	1,672
Australia	663
Europe	300
North America	732
South America	516
World	5,169

バイオ燃料PJ技術開発ロードマップ(例)

		太字:重点項目	2015	2020
原料開発	低コスト 原料生産 システム開発	・バイオマス生産候補地の選定 ・植物栽培システムの開発(プランテーション、植物工場、水耕栽培) ・セルロース系エネルギー作物(草本、木質)の開発(生産地に適合した高生産性植物の選定、育種改良、栽培法検討) ・荒地で良好に生育する草本・木本植物の開発		
収集運搬	高効率 収集・運搬 システム開発	・高性能林業機械の開発 ・バイオマス圧縮運搬技術の開発		
前処理・糖化	酸非使用 低コスト 前処理・糖化 法の開発 酵素糖化の 高効率化	・高温水(水熱、超臨界水、亜臨界水)処理 ・物理処理(微粉碎、爆砕) ・化学処理(アルカリ酸化、オゾン酸化) ・化学処理(触媒処理) ・生物処理(腐朽菌によるリグニン除去) ・前処理液の濃縮・脱水 ・前処理法とリンクした高活性酵素の選択と反応条件最適化(ハイスループット酵素活性評価系の確立) ・酵素反応の分子理解に基づくスーパー酵素の創製(構造/活性データベース構築を含むバイオインフォマティクス手法による改変) ・セルラーゼ複合体の利用 ・酵素の低コスト生産法 ・酵素の大量生産法	酵素処理に適した 前処理方法の検討	
発酵・蒸留・脱水	エタノール 発酵の 高効率化 廃液処理 蒸留・脱水の 省エネ化	・高活性5炭糖利用酵母・細菌の選抜と発酵条件の検討 ・複合培養による5炭糖・6炭糖同時発酵系の構築 ・連続発酵(凝集性酵母、固定化酵母) ・糖化・発酵同時進行(並行複発酵)、固体発酵(固体のまま糖化・発酵) ・5炭糖・6炭糖同時資化酵母の開発(ジオキシの解除) ・耐熱性、耐塩性、耐酸性酵母 ・糖化液不純物耐性酵母の開発 ・5炭糖代謝遺伝子導入酵母の育種 ・セルラーゼを生産する酵母の育種(分泌型、細胞表層提示型) ・廃液処理の低コスト化 ・膜分離法 ・濃縮・脱水同時処理法 ・超音波蒸留法		
総合利用	糖利用 化学物質 生産 リグニンの 高度利用 木材の 総合利用	・新燃料 ・糖質(5炭糖、6炭糖)からのファインケミカル生産 ・糖質からの生分解性ポリマー生産 ・植物成分の化学変換 ・リグニンのガス化 ・リグニンガス化経由メタノール、DME製造 ・タール除去・分解法 ・リグニンからの化学生産(リグニン系ウレタンポリマー、リグニン系接着剤、リグニン系ポリマーブレンド、リグニン系炭素材料、リグニン系スルホン酸、バニリン) ・木材からの精油・ケミカル抽出法 ・材料としての利用(担子菌菌床など) ・燃料としての利用		
システム統合		・全工程一貫評価によるシステム最適化		

(目標)製造コスト:40円/L以下
エネルギー回収率:35%以上

(目標)製造コスト:20円/L以下
エネルギー回収率:35%以上

産業競争力懇談会（COCN）

東京都千代田区丸の内一丁目 6 番 6 号 〒100-8280

日本生命丸の内ビル（株式会社日立製作所内）

Tel : 03-4564-2382 Fax : 03-4564-2159

E-mail : cocn.office.aj@hitachi.com

URL : <http://www.cocn.jp/>

事務局長 中塚隆雄

