

バイオ燃料の次世代技術開発と環境課題

太田 晴久

新日本石油株式会社 研究開発企画部

105-8412 東京都港区西新橋 1 丁目 3-1 2

Development of next generation technologies for biofuel and its environmental issues

Haruhisa Ohta

Nippon Oil Corporation

3-12, Nishi Shimbashi 1-chome, Minato-ku, Tokyo 105-8412

Today, there are two different major biofuels for transportation. One substitute for gasoline is ethanol produced from starch and sugar derived from corn, sugar cane, and so on. Another substitute for diesel fuel is BDF (bio-diesel fuel) produced through transesterification of vegetable oils such as rapeseed oil and soybean oil. Conventional biofuels use food crops, threatening food supplies as the world population is rising. In contrast, the second generation biofuels will be produced from non-food feedstocks of lignocellulose and so on, for which a number of conversion processes are under development. On the other hand, butanol as a new biofuel is proposed by BP and DMF (2,5-dimethylfuran) is also developed by the University of Wisconsin-Madison. Boeing is developing a new bio-jet fuel with a heat value similar to conventional jet fuels. This bio-jet fuel is not produced through transesterification, but through hydrotreatment of biomass. Recent trends in conversion technologies and new biofuels are reviewed.

In addition, greenhouse gases from life cycle of bio-fuels as well as current environmental issues are also briefly mentioned.

Key words: bio-fuels, ethanol, BDF, lignocellulose, life cycle, greenhouse gases

1. 緒言

子供の頃には、我が家の五右衛門風呂の燃料は木材や紙で、田舎ではかまどを使ってご飯を炊いていた。まさしくバイオ燃料の時代であった。しかし、その後石油やガスの時代となったが、この21世紀においても、途上国では、私の子供時代と同じようにバイオ燃料を使っている。このようなバイオ燃料は、何と全世界の一次エネルギーの約1割を占め、室内で使用することによって病気や中毒で死亡している人が年に130万人を超えている[1]。しかし、本稿で解説するのは21世紀に本格的に使用されるであろうバイオ燃料であり、自動車だけでなく、航空機にも使用してゆくという最先端のクリーンな

液体バイオ燃料についてである。

現在、主にブラジルや米国で自動車に使用されている食用作物から製造されるバイオ燃料は第一世代といわれており、レスターブラウン博士が懸念を示している「食料と競合する」バイオ燃料である。最近、リグノセルロースのような食料と競合しない作物から製造する第二世代のバイオ燃料の技術開発に大きな関心が寄せられている。ここでは、第二世代以降のバイオ燃料の技術開発動向についてその一端について触れると共に、バイオ燃料に関わるライフサイクルでの温室効果ガス排出の課題やその他の環境問題について簡単に触れてみたい。

2. バイオ燃料の導入背景と今後

バイオ燃料の代表は、ブラジルのサトウキビや米国のトウモロコシから作られているエタノールである。そもそもブラジルでのエタノール導入は石油ショックを契機に自動車燃料の自給率を高めることを目的として導入され、米国では大気浄化法の施行に伴って自動車からの排ガスを浄化する手段として導入された経緯にある。

ところが、21世紀に入ってバイオ燃料が注目されるようになったのは、地球温暖化対策の側面と農業政策、更には最近の原油価格高騰に伴う石油代替への期待が大きい。また、途上国においては、エネルギー自給への寄与や産業、雇用の創出への期待が高い。

米国のブッシュ政権においては、バイオ燃料に対して積極的な政策を展開し、米国でのエタノール生産能力は2001年の大統領就任時から2008年1月現在で約4倍に拡大した。また、2008年1月の一般教書演説では、2022年までに360億ガロン（約1.36億kL）までバイオ燃料を導入することを発表した。これは、現在の日本の自動車燃料需要の約1.5倍に相当する莫大な量である。これにより、将来のバイオ燃料による五大作物の一つであり、米国が世界貿易の7割を占めるトウモロコシの供給への不安が訴えられるようになった。この政策に対して、米国のトウモロコシ産業はトウモロコシの食料供給への懸念を示した上で、エタノールの生産量に上限を設定することを提案し、2015年に150億ガロンで生産を頭打ちにすることで政府と決着している。150億ガロンを超える量については、トウモロコシの残渣や麦わらなどのセルロースから製造するエタノールやその他先進技術によるバイオ燃料で対応してゆくことが法制化されている [2] (図1参照)。

バイオ燃料はSI(火花着火)エンジンに使用されるガソリン代替になりうるバイオ燃料と、CI(圧縮着火)エンジンやタービンエンジンに使用される灯油の代替となるバイオ燃料に大別できる。特に欧州では、乗用車のディーゼル化が進んだことからエタノールよりもバイオディーゼル燃料(BDF)への注目度が高い。一方で、BDFが植物油を原料とすることから、米国のような大幅な導入は困難といわれている。現在の欧州でのBDF原料となる植物油は菜種油が約8割を占めるが、菜種油の燃料用途が急拡大したことから価格が高騰し、食用市場にも大きな影響を及ぼした。現在では、食用と競合しない油の中に毒を含むヤトロファや微細藻から油を抽出することが注目されている。しかし、これらの原料から経

済性が合うBDFを生産するまでにはもう少し時間がかかると見られている。

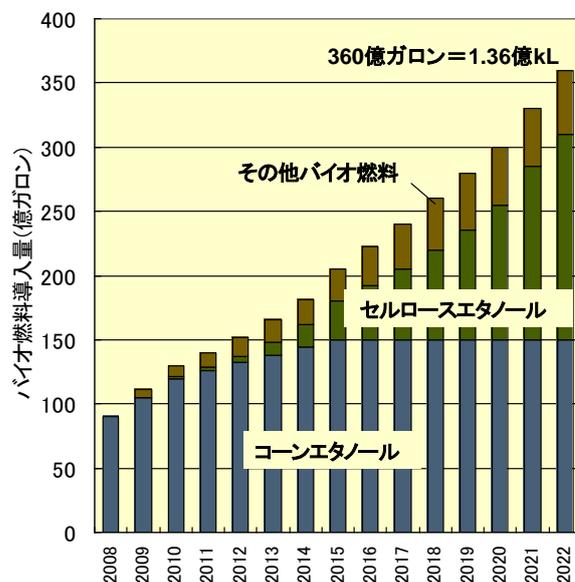


図1. 米国のバイオ燃料導入基準

3. セルロース系バイオエタノールの技術開発

食料と競合しない農業残渣や木材、牧草などから低コストでエタノールを製造する技術開発は長年行われているが、日本では日揮が米国のアルケノール社のベース技術を基にNEDOプロジェクトの中で濃硫酸法を開発し、現在米国で実用化へ動き出している。北米では、日揮の濃硫酸法を含めて、6つのバイオリファイナリープロジェクトが大規模実証に向けて動き出しており、実用化が近づいているものと思われる。特に、誰も予想しなかった1バレル\$100を超える原油価格は今後暫くは大きな下落はないものと予想され、セルロースから製造されるエタノールも経済性を有する可能性が高くなってきた。

日本では、NEDOの濃硫酸法を代表とするように、硫酸を使用する製造技術が開発されているが、硫酸の中和時に生成する廃棄物が大きな課題となっている。そこで最近では、硫酸を使用しない方法として酵素糖化を用いる製造方法の開発が進められている。ここでは特に酵素の開発が重要であるが、酵素は原料の種類や前処理条件とのマッチングが重要であり、原料や前処理方法と並行して開発しなければならないというフレキシビリティに欠ける点は課題である。

2008年3月に経産省と農水省が取りまとめたバイ

燃料技術革新計画(案) [3]では、多収量の牧草や短周期で収穫できる木などのエネルギー作物を原料として、酵素糖化による原料から製造までの一貫した技術を開発する計画が示された(図2、3)。本計画では、エネルギー作物を選定して製造コストを40円/L(\$50/バレル相当)とチャレンジングな目標を掲げており、この開発により、欧米に対抗できるとしている。資源のない日本では、バイオマスの供給にも限界があるとされている。そこで、海外での耕作不適地を利用して高効率のエネルギー作物を栽培し、高効率のエタノール製造技術により燃料の数量を確保することを目標としている。このように実際の生産が外国で行われる可能性がある中で、外国にアピールできる本技術開発は日本のエネルギー供給および産業競争力確保の観点でも重要である。



図2. エネルギー作物からのエタノール製造モデル

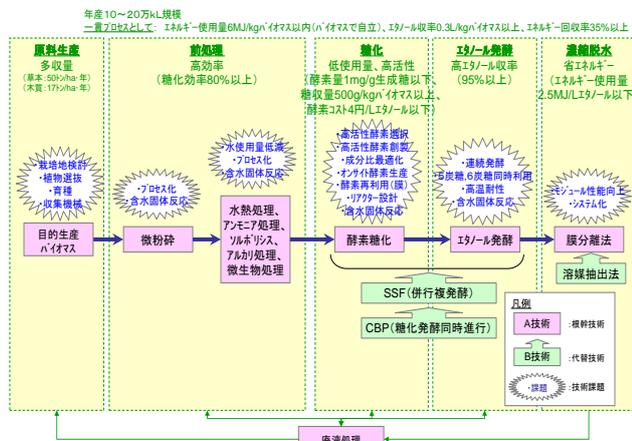


図3. 技術革新ケースの技術開発例

4. エタノール代替としてのブタノールやDMF

エタノールの主な欠点として、発熱量が低いこと、蒸気圧が高いこと、水に対する親和性が高いことが挙げられる。一方、自動車燃料として長年使用されており、この実績は大きなメリットである。しかし、米国ではエタノールの流通において、石油製品パイプラインが使用されていない。これは、水分を吸収することやエタノール自身の鋼材に対する腐食性に懸念があるためである。数年前に、米国カリフォルニア州でエタノールを導入する際に、石油製品に使用していた貯蔵タンクにエタノールガソリンを貯蔵したところ、パイプやタンクにクラックが発生したトラブルは記憶に新しい。エタノールの使用は全米に広がっており、流通コスト低減に必要なパイプラインの使用は重要な課題になっている。

B Pは、エタノールが有するこれら欠点の課題を解決する方法として、過去に航空燃料として実績のあるブタノールを提案し、既にUKで実証試験に入っている。ブタノールは4種類の構造があるが、最近のB Pの発表[4]によると、バイオマスからバイオ触媒によって1-、2-と iso-ブタノールが製造できるという。1-ブタノールはリサーチオクタン価 (RON) が96程度(表1)に対して、2-ブタノールや iso-ブタノールはエタノールとほぼ等しいRONを有するといわれている。製造面では、エタノールの設備をそのまま転用できる点がブタノールの利点であるとも言われており、B Pはブタノールをポストエタノールの位置付けとしている。しかし、将来にはブタノールを超えるバイオ燃料も開発するとしており、巨額の研究開発投資を行っている。

表1. ブタノールの燃料性状

	沸点 °C	融点 °C	蒸気圧 kPa	発熱量 MJ/Kg	オクタン価	水への溶解
n-ブタノール	118	-90	2	33.2	96	可溶
iso-ブタノール	108	-108	3	33.0		可溶(10wt%)
tert-ブタノール	82	26	12	32.7	105	相溶

参考

エタノール	78	-117	Δ 7	26.7	120	相溶
ETBE	72		28	37.8	115	微溶(1wt%)
ガソリン	30~220	—	54~65 (夏季)	43.0	90~91	難溶

米国のウイスコンシン大学は、2006年科学雑誌の nature にエタノール代替となる全く新しい燃料として、

DMF (2,5-dimethylfuran) を発表した。DMF の燃料としての特性は iso-ブタノールに類似するものであるが、製造方法が興味深い。一般に、エタノールやブタノールは発酵を介して糖から製造されるが、このプロセスではフルクトース(果糖)を原料として発酵ではなく、酸触媒による水素化分解により生成できる点にある[5,6,7]。また、2007年にはパシフィックノースウエスト国立研究所はグルコースを原料とするDMF製法も発表している[8,9]。今後、DMFの燃料としての評価が必要であるとしており、安全性や対環境性などの評価が必要であるので、実用化には時間がかかるであろう。

5. バイオディーゼル

バイオディーゼル(BDF)は植物油とアルコール(主にメタノール)をエステル交換反応することにより比較的容易に製造できる(FAME:Fatty Acid Methyl Ester)ことから、特に欧州のディーゼル車普及に合わせて、需要が拡大した。欧州では、BDFの約8割は、原料として菜種油を使用しているが、2005年には燃料用の菜種油の需要が食用の需要に並び、それを越える量の菜種油が燃料用に使用され、菜種油の価格が高騰している。

欧州では、域内での原料食料油の供給不足が予想されたことから、マレーシアやインドネシアで大量に生産されているパーム油を輸入することが注目されたが、熱帯雨林の伐採によるプランテーションの増加や過酷労働などに対するグリーン団体の批判が表面化し、その上にパーム油が高騰したために、燃料用パーム油の欧州への輸出は開始されたものの、限定的になっている。

他方、エタノール先進国であるブラジルは大豆の生産では世界第2位の生産を誇り、大豆油を第2のバイオ燃料に育てる方針に沿って、2008年に国内でのBDFの2%使用を義務付けた。

これら植物油の生産大国とは別に、アフリカやアジアの途上国ではバイオ燃料用に食料と競合しないヤトロファの栽培が注目されている。ヤトロファを利用したBDFは主要輸送用燃料である軽油の代替として用いることができ、燃料自給率の向上や新たな産業の創出に繋がることから取り組みが進んでいる。特に、荒廃地でも栽培できることから土地の緑化策にもなるので、一石二鳥の植物として大量栽培に向けた取り組みが進んでいる。

このように、BDFは植物油を使用することから食料との競合が大きな課題であり、ヤトロファのように食料と競合しない油糧植物の開発が進んでいるが、石油メジャーのBPはD1オイルズと合弁企業を設立し、5年間で約1.6億ドルをヤトロファの栽培に投資することを計画している。主に東南アジア、アフリカ南部、中南米、インドを中心に、年間30万ヘクタール、トータルで100万ヘクタールに作付けする予定である。ヤトロファの大きな課題は生産性の低さといわれており、低開発国の低廉な労働力が不可欠とも言われている。

他方、欧米では、原油価格の高騰やベンチャー企業(MIT発Green Fuel Technologies社など)の出現により、油糧微細藻から油脂を抽出してBDFにする技術開発に注目が集まっている。特に微細藻はその栽培に耕作地を必要としないので食料との競合は無く、また、陸生植物で最も油を生産するといわれるパームの数倍から数百倍の油生産能力があるといわれている[10]。このため砂漠などの耕作地でない土地を利用することも可能であり、また、土地の利用効率を高める方策になることも注目されている。また、Green Fuel Technologies社は火力発電所の排ガスを微細藻に吸収させて、その藻が生成する油をBDFにするモデルを提案しており、現在米国のアリゾナ州で実証試験を進めている。

FAMEに代わる新たなBDF生産方法として注目されている水素化処理は、フィンランドのNeste Oilや新日本石油などで開発が進められているが、水素化処理油はFAMEのようなエステルではなく、軽油や灯油に等しい炭化水素油である。ボーイング社は、航空燃料として水素化処理したBDFが石油系燃料と発熱量で遜色の無い点に注目し、航空燃料へのバイオ燃料の適用(B20)へ動き出している。そもそもボーイング社がBDFに取り組みきっかけとなったのは、欧州の環境税であり、欧州のエアラインからの要望により、開発が始まったようである。このように、自動車のみならず航空業界へもバイオ燃料の波は押し寄せているが、最近では船舶への適用も検討されているようである。

6. 究極のバイオ燃料

世界を見渡してみると、従来型のアルコールや植物油ではなく、木材のようなリグノセルロースや微細藻のような新たなバイオ燃料への取り組みや新たなバイオ燃料

の製造方法、また新規のバイオ燃料の研究開発も進められている。それでは、将来のバイオ燃料の究極は何であろうか？

この数年、従来から取り組んできた欧州メジャーに対して、米国の石油メジャーもバイオ燃料の研究開発に本格的に取り組み始めている。米国の大学や国立研究所に対して、BP、シェル、シェブロンが数百億円単位の研究開発投資を行っている。この背景として、深海掘削など容易ではない石油開発が多くなった上に、設備材料の高騰などによるコスト高や資源ナショナリズムの台頭により石油資源国へアクセスが難しくなっていることなどにより、再生可能エネルギーへの投資に関心が高くなっている状況を指摘できる。特に、バイオ燃料は今後BRICsなどを中心に増加することが予想されており、バイオ燃料に対する投資も積極的になっている。石油メジャーの考え方として、彼らの持つ技術、即ち精製技術や触媒技術をバイオマスにも生かしたいというのが原点にあるようだ。

陸生植物のバイオマスは酸素原子を多く含むので、現在のバイオ燃料はエタノールやFAMEのような含酸素燃料である。一方、水素化処理したBDFのように、石油から得られる燃料と同じ炭化水素燃料の場合には、今までと同じように取り扱うことができるというメリットが製造者にとっても使用者にとっても非常に大きい。

途上国では、バイオ燃料による大気浄化という点にメリットを期待して導入するケースが多いものの、自動車技術の発達によって現在のクリーンな車では、そのニーズも小さくなり、寧ろ炭化水素油の方が扱いやすいので、自動車会社もFAMEに代わって水素化処理したBDFを積極的に押している。また、前述したボーイング社も炭化水素油をバイオ燃料として期待している。

一方、石油会社は、前述のように、発酵プロセスよりも化学プロセスを利用することに関心が高い。表2に、発酵プロセスと化学プロセスの比較を示した[11]。化学プロセスのエネルギー消費が大きい点は欠点であるが、コストや触媒のリサイクル性などの多くのメリットもある。石油会社はBTLのようなガス化を経由して液化する技術や高速熱分解などの直接液化に対する研究開発を進めており、最近では、ガス化を経由するよりは経済性が高いと思われる直接液化に対して積極的な姿勢が感じられる。この直接液化では、原油に類似したバイオクルードを先ず製造し、これを脱酸素工程にかけた後、通常

の石油精製処理を行ってガソリンから軽油相当の燃料油を製造することが想定されており、得意とする触媒技術などを駆使した研究が行われている。この技術の最大の利点は、原料に対するフレキシビリティが高いことにあり、基本的には草から木や海草まで何でも原料とすることができる。

表2. 生物プロセスと化学プロセスの比較

	生物プロセス	化学プロセス
燃料	アルコール	炭化水素油
反応条件	常圧、70℃以下	常圧～25MPa、100～1200℃
反応時間	2～5日間	0.1秒～1時間
選択性	選択性を高く調整可(≥95%)	反応による
触媒コスト	US\$0.5/gallon ethanol	US\$0.01/gallon gasoline
殺菌の要否	すべての原料に必要	必要なし
リサイクル性	不可	固体触媒は可

7. バイオ燃料が関わる環境課題

バイオ燃料に関わる環境問題や社会問題がたびたび報道されており、バイオ燃料事業を行う者や技術開発する者はこれらの問題を把握しておく必要がある。本項では、重要と思われる地球温暖化への効果や食料競合、水問題を取り上げた。

7.1 温室効果ガスとライフサイクル評価(LCA)

日本にとって、バイオ燃料導入の第一の目的は地球温暖化対策である。京都議定書ではバイオ資源はカーボンニュートラルということになっているからだ。しかし、現実の生産においては化石燃料が使われることから、ライフサイクルで評価してその削減効果を検証する必要がある。例えば、バイオ燃料の原料を栽培するために新たに土地を開墾した場合、化石燃料をバイオ燃料に代替することで削減されるCO₂排出量の17～420倍のCO₂が大気中に排出されるという研究結果[12]が発表されて話題になった。原料バイオマスの栽培やバイオマスからのエネルギー製造だけでなく、それ以前の土地利用という点でもこのように温室効果ガスが大量に発生するケースがあり、LCAではこのような点にも十分留意することが重要である。

温室効果ガスのLCAは、信頼性の高いデータの基に、実際の現場を対象に評価されるべきであるものの、開発途上にある技術についてもその効果を把握することは重要である。しかしながらセルロースから生産されるエタ

ノールの温室効果ガスに関する評価データが、最近発表されているが、これらは推定値であり、信頼できるデータはまだ無いという状況である。

実は、LCAの評価はなかなか難しい。例えば、これが稲わらを原料とした場合であったとすると、稲わらは米を生産するために栽培された稲の副産物である。もし不用で廃棄物として位置づけられれば、LCAのルールでは米に全ての環境負荷がかかる。米をバイオ燃料の原料にすると栽培中に肥料から発生する N_2O （温暖化係数: 310）や水田から発生するメタン（温暖化係数: 21）、栽培時に農機から発生する CO_2 なども更にカウントしなければならないが、稲わらへの環境負荷はゼロという解釈になる。従って、稲わらをバイオ燃料の原料とする場合に、廃棄物とみなされれば、バイオ燃料製造工場に搬入される前の温室効果ガスの排出は、稲わらの収集、配送、貯蔵のみに限定される。このように、廃棄物を原料とすることが、LCA上は有利になる。

しかし、廃棄物であった稲わらがバイオ燃料になれば、価値を生じることになる。とすると、稲からは食用となる米とバイオ燃料になる稲わらが生産されることになり、稲わらにも稲の栽培時の温室効果ガス排出量を分配する必要があるのではないかという疑問も生じるが、まだこのような議論は行われていない。

LCAでは、温室効果ガスの排出総量を CO_2 換算して計算し、代替される石油燃料、エタノールであればガソリンを燃焼させたときのライフサイクルでの温室効果ガス排出量との比較を行うのが一般的に行われている。これが最も分かりやすい方法であるが、この他にエネルギー収支比やエネルギー変換効率のような考え方もあり、一般にはこれらも併せて評価するケースが多い。

エネルギー収支比（EPR: Energy Profit Ratio）とは、計算式（ $EPR = \text{生成エネルギー} / \text{投入エネルギー}$ ）で示され、バイオ燃料を生産するのに如何に低エネルギーで生産されているかどうかを判断する指標であり、この数字が高いほど低エネルギーで生産していることになる。エタノールのケースを図4に掲載した[13]が、前述したとおり、セルロースを原料とするエタノールのデータは推定値であり、研究者によって様々な数値が出ている。原料に含まれているリグニンが製造エネルギーを賄えるとする仮定では、EPRは大きい、そうではないとする研究者のEPRは1を割る数値を出している。

また、バイオマス燃料のLCA特有の分かりにくさが

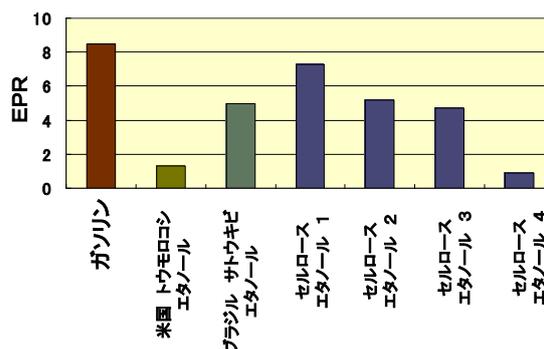


図4. バイオ燃料のEPR

ある。サトウキビや木材のような原料では、バイオマスの一部が製造のエネルギーとして利用されるので、エネルギー効率 $\eta = \text{生成エネルギー} / (\text{原料の有するエネルギー} + \text{投入エネルギー})$ を計算する際には、製造に使用されるエネルギーの一部は原料エネルギーに含まれてしまう。この場合には、バイオ燃料を生産するプラントの効率性はこの指標や前述のEPRでは判断できない。また、温室効果ガスに関して評価する場合には、バイオマスが製造の熱源などに利用される場合には、カーボンニュートラルとして、 CO_2 排出はカウントされない。バイオ燃料のLCAでは、例えば、ブラジルでのエタノール生産では、近代化された収穫方法や設備のEPRが旧式の収穫方法や設備のそれよりも高いということになり、設備の近代性などの効率性を一概に比較評価ができない課題がある。

バイオ燃料を評価する際には、LCAは重要な指標であることは間違いないが、上述のような異なる視点も必要であり、更には次ぎに述べる食料競合や水問題、人権問題や違法伐採などの問題に関する情報も含めて総合的に判断する必要がある。

7.2 食料競合と水問題

温室効果ガスの排出では、その評価範囲(バウンダリー)が重要であるが、その根拠を明確にすることが最も重要である。上述したように、その他の様々な視点での評価も必要である。

開発途上国では、違法行為や過酷労働などによる社会影響や廃棄物や廃水の適正な処理が行われないための副次的な環境汚染など、様々な課題がある。本項では、食料競合の問題と、食料と密接な関係にある水問題について簡単に解説する。

中でも、マスコミによく取り上げられる食料との競合問題については、2008年4月28日に国連が食料高騰の6つの要因の1つとして、世界の穀物生産量の4.7%に当る1億トンの穀物がバイオ燃料に使用されていることが、食料価格高騰の最大要因である穀物生産の減少につながっているとした。また同時に、より環境に配慮したバイオ燃料用作物の栽培政策を各国に求める決議を採択するよう提案している。ここで重要なのは、バイオ燃料を否定しているわけではないし、穀物高騰の一要因となっているが、中国やインドの食料需要の急増や干ばつなどの影響による小麦などの主要作物の在庫減少が最大の要因であることを付け加えておきたい。

一方、マスコミの報道の中には、過熱報道や歪曲された報道も見受けられ、問題である。例えば、メキシコでのトルティーヤが米国でのエタノールの増産の影響によって高騰しているとの報道が記憶に新しいが、トルティーヤの原料がホワイトコーンであるのに対してエタノール原料はイエローコーンであり、トルティーヤとエタノールは関係ないことがはっきりしている。たまたま、女性運動のデモに居合わせた女性が掲げていたプラカードがトルティーヤの高騰を書いていたのを、CNNがエタノールに引っかけた報道に作作的にしまったというのが真実らしい。これは歪曲報道の一例である。

食料と競合しないバイオ燃料への取り組みが進んでいるが、土地の利用や農産廃棄物でも飼料となっているものを転用することも、間接的な競合とみなされる可能性があることは頭に入れておく必要がある。従って、高い倫理観の下に高度な技術開発を進めることが重要である。

他方、バイオ燃料が関わる今後の最大の環境問題は、「水」の問題といわれている。日本は、食料輸入が多く、比較的水が豊富な国であるので、日本人は余り水の問題を深刻に考えないが、例えば、米国の穀倉地帯の一部では、トウモロコシの栽培とエタノールの生産による大量の水の消費により、地下の飲料用帯水層にある水の枯渇が懸念されている。また、オーストラリアの干ばつや中国でも黄河の水量が大きく低下して水不足の危機に陥るなど、世界各地で水不足や工業化による水の汚染などの問題が生じている。

1997年から3年ごとに世界水フォーラムが開催され、2000年以降、水問題に対する国際的な取り組みが本格化し、2007年には第1回アジア・太平洋水サミットが開催されるなど、国際的に水に対する関心は高

まっている。特に、海外でエネルギー作物からバイオ燃料を生産する場合には、作物によって水の要求量が異なることから、地域によっては作物の水要求量や水供給可能量、地下水の賦存量なども考慮して開発する必要がある。場合によっては、日本の優秀な海水の淡水化技術の導入を考慮するなどの対策も考える必要があるかもしれない。

CO₂、食料、水といった問題のみならず、様々な問題がバイオ燃料の開発の前に立ちふさがっている。これらのすべてを一様にクリアすることは非常に困難と思われるが、何はともあれ、今後の技術開発が鍵であり、様々なアプローチが必要になることは確かであろう。

8. 結言

バイオ燃料は現在、過渡期の困難を乗り越えようとしているものと思われるが、輸送用燃料として世界的に位置づけられる方向にあり、恐らく20年後には自動車のみならず航空機などにも使用され、数%程度は石油を代替しているかもしれない。バイオマス原料からバイオ燃料を製造するだけでなく、石油化学製品の代替用途への期待も大きく、付加価値の高さを考えると、バイオケミカルへの展開の可能性も十分に考えられる。バイオ燃料が経済性を持って製造できるようになれば、化学品を併産するバイオリファイナリーが実現するであろう。バイオマスからのバイオケミカルの広がり大きく、現在の石油化学には無い新たな化学品への展開も考えられ、将来性は高い。欧米では国家やEUとしての戦略としてバイオリファイナリーに関する技術開発を進めている。

日本はポリ乳酸の開発国でありながら、生産では米国に先んじられた。日本にもバイオ燃料を戦略的に開発する動きが出てきたので、このチャンスを逃さぬよう、産学官の連合でバイオ燃料とバイオケミカルの両面を進めるバイオリファイナリーの考え方を熟成し、研究開発を進めることが重要である。

参考文献

1. IEA World Energy Outlook 2006
2. Energy Independence and Security Act of 2007, Renewable Fuel Standard, December 19, 2007
3. <http://www.meti.go.jp/committee/materials/download/files/g80326c05j.pdf>

4. BPプレスリリース 2008年2月14日
5. James Beal (2006-06-29). New process makes diesel fuel, industrial chemicals from simple sugar (press release). University of Wisconsin-Madison. Retrieved on 2007-06-22
6. Yuriy Román-Leshkov, Christopher J. Barrett, Zhen Y. Liu & James A. Dumesic (2007). "Production of dimethylfuran for liquid fuels from biomass-derived carbohydrates". *nature* 447 (7147): 982. doi:10.1038/nature05923
7. Matt McGrath. "Fruit could make 'powerful fuel'", BBC News, 21 Jun 2007. Retrieved on 2007-06-22
8. Haibo Zhao, Johnathan E. Holladay, Heather Brown, Z. Conrad Zhang (June 15). "Metal Chlorides in Ionic Liquid Solvents Convert Sugars to 5-Hydroxymethylfurfural". *Science* 316 (5831): 1597 - 1600. doi:10.1126/science.1141199
9. "Plastic that grows on trees" (press release), Pacific Northwest National Laboratory, 21 Jun 2007. Retrieved on 2007-06-22.
10. "Cultivating Algae for Liquid Fuel Production" http://oakhavenpc.org/cultivating_algae.htm
11. "Breaking the Chemical and Engineering Barriers to Lignocellulosic Biofuels : Next Generation Hydrocarbon Biorefineries" based on the June 25-26, 2007 WORKSHOP Washington, D.C. sponsored by NSF, ACS and DOE
12. Joseph Fargione, Jason Hill, David Tilman, Stephen Polasky, Peter Hawthorne "Land Clearing and the Biofuel Carbon Debt" *Science* 29 February 2008, Vol. 319, no. 5867, pp. 1235 - 1238
13. 天野治「輸送関係のエネルギー収支分析 自動車燃料をどうするか」ENERGY 2008-2