

バイオエタノール情報（新エネ総研）

目次

1. バイオマス利用の歴史の変遷
2. レスター・ブラウンの主張
3. 世界の穀物生産量が06年比5.3%増で過去最高に
4. 新興国の意見を代表するブラジルの主張（ルナ・ブラジル大統領寄稿）
5. 自動車用燃料としてエタノールが持つ特性
6. バイオエタノールによるCO₂排出効果の検証
7. セルロース系バイオマスとは
8. 新たなバイオマス利用のシナリオ
9. 日本のバイオマスの量と利用状況（表）

1. バイオマス利用の歴史の変遷

現在陸上でのバイオマス賦存量は1兆トンから2兆トン、純生産量は年間乾燥重量換算で800億トンから1,500億トンと推定されているが、地球上のバイオマス全体の99%以上を陸上にあり、しかも陸上バイオマスの90%以上は森林によって占められている。又年間1,000億トンにも達する純生産量の大部分は森林バイオマスである。特に熱帯雨林は動植物の遺伝子資源の宝庫とさえいわれており、これらの生物種から新しい医薬品が生産される可能性が大きいと期待されている。そこで森林に着目してバイオマス資源の興廃の状況を人間の経済活動との関連において観察して見たいと思う。

人類の経済活動とバイオマス資源との関係を、1人当りのGNPと1人当りの森林面積における歴史的な変化において観察すると、U型を示すとの仮説が提唱されている。すなわち、人間の経済活動が始まった旧石器時代後期では、森林面積の減少はなく自然生態系は安定していたが、新石器時代に（紀元前7000年頃）になると、農業革命を経て人口は増加し、それに伴って森林が農地へと転換された結果森林面積は徐々に減少していった。更に19世紀以降では産業革命を経て人類社会は工業化段階に入って経済活動が活発になると、木材資源は燃料、紙、建築資材、造船など多方面で使われ、居住地の確保、農耕地への転換、鉱工業のための森林伐採が進んで森林は大規模に破壊されてことになった。そして現在は生態系の不均衡や環境破壊が社会問題として顕在化した結果、森林が見直されるようになり、人工林などの造成によって森林面積はわずかではあるが増加の方向に転じている。このパターンは西ヨーロッパでは完全に当てはまるが、日本においても1910年頃までは森林面積は減少傾向にあったが、それ以降は増加の傾向を示している。

2. レスター・ブラウンの主張

アメリカ・アースポリシー研究所(Earth Policy Institute)長のレスター・ブラウン(Lester

R. Brown)は、従来から「地球環境の破壊を阻止することは、人類の持続的存続を支えるための緊急の課題であり、そのためには産業革命に匹敵する“環境革命”と呼ぶべき大胆な政治経済的変革を行動に移すことが必要である」との主張を展開してきたことで知られているが、彼はバイオエタノールの普及など、バイオ燃料の政策についても警告的な論説を披露している。すなわち、穀物をベースとするバイオ燃料の生産と普及が、人類にとって最も基本的な要素である食料と水の供給を圧迫する要因となり得ることに注意を喚起し、「歴史上、食糧とエネルギーの経済は別々に存在してきたが、今や2つの間に線を引けなくなっている。これが新しく発生した深刻な問題であり、アメリカは石油不安を減らすために世界的な食糧の不安を招き、そこに水の不安が結びついている」のように述べている。更にレスター・ブラウンは「大型車のガソリンタンクをエタノールで満タンにするためには、人間1人が1年に食べる穀物が必要であるのに対して、全ての穀物をエタノールに替えてもアメリカの自動車燃料需要の16%程度しかカバーできない。更に1トンの穀物を作るのに1,000トンの水が必要であるが、水をそのまま輸入するより穀物の形で買う方が効率的であるため、豊かな国は穀物をどんどん買うようになり、貧しい国は高騰した穀物を買えなくなる。その結果「未来の戦争は石油よりも穀物を通じて水の奪い合いになる可能性の高くなる」というのが彼の論点である。(日本経済新聞07年4月14日 p9)

3. 世界の穀物生産量が06年比5.3%増で過去最高に

環境に優しい車、いわゆるエコカーの燃料としてアメリカで期待が高まるエタノール。アメリカビッグ3が政府に対してエタノールが給油できるガソリンスタンドの全国展開への協力を要請するなど、エタノール需要の増加が見込まれている。現在全米には114ヶ所のエタノール精製工場があるが、07年中に80ヶ所が新たに建設される予定である。

これを見込んで農家では06年と比べてエタノール原料となるトウモロコシの作付け面積を15%増やす、などの対応を急いでいる。しかし、07年1月にブッシュ大統領がエタノールを代替燃料として推進する演説を行って以来、トウモロコシの価格が急騰した。特に影響を受けているのが酪農家で、家畜の飼料が06年比で2倍に値上がりし、これが徐々に牛乳、肉、卵などの食料品価格に反映され始めている。トウモロコシが優先されるため、小麦などの他の農産物価格も07年は平均で7%前後値上げになる、と予測されている。

更に、トウモロコシを主食とする中南米諸国からは、燃料確保のために発展途上国の食料が奪われ、更に格差が広がるとの懸念が報じられている。

(WEDGE, June 2007, Vol.19, No.6, p29)

07年の世界における穀物生産量は、バイオ燃料向けのトウモロコシ需要拡大と価格高騰を背景に過去最高になる見通しである。国連食糧農業機関(FAO)は、世界の穀物生産量が前年比5.3%増しの21億2100万トンになると予測している。4月時点、5月時点の各々4.3%、4.8%から上方修正、前年比増減率は06年2.7%減から一転して

5%超増へと跳ね上がった。米州を中心に生産拡大が加速する一方、干ばつや洪水など気候変動の影響でアフリカの作柄は悪化する。

FAOは穀物をトウモロコシが約7割を占める“粗粒穀物”、小麦、米に大別している。最新の予測では粗粒穀物の生産量は前年比8.3%増しの10億7600万トン、この内トウモロコシだけでも過去最高の7億7800万トンとなり、小麦（6億1900万トン、3.6%増）、米（4億2600万トン、1%増）を大きく超えるのは確実である。最大のトウモロコシ生産国であるアメリカの粗粒穀物生産量は19.9%増の3億3600万トンであり、既に作付けも終わり、天候条件はまずまずで豊作が見込まれている。

ブラジルでは二期作のうち1度目の収穫を経て二度目の作付けも終えた。トウモロコシの輸出量は07年に入って全年の2倍以上、輸出額は前年の3倍を超える伸びが続いている。正にブラジルは世界最大のエタノール輸出国として台頭している。ゴールドマンサックスがブラジル第2の砂糖・エタノール生産会社サンテリーザに2億1000万ドルを投資する方針を決めるなど海外資本のエタノール関連投資が相次ぐ。

他方、アフリカの穀物生産量は前年比6%減の1億3500万トンに落ち込む。アフリカ最大のトウモロコシ生産国である南アフリカの前年比4.7%増える見込みであるが、それでも02～06年の平均を25%下回る。主要産地が早魃の影響を受けたためである。

トウモロコシやサトウキビの作付面積の拡大は、耕地が減った小麦など他の作物や、穀物を飼料とする食肉の価格上昇にも波及している。

（日本経済新聞07年8月3日）

4. 新興国の意見を代表するブラジルの主張（ルナ・ブラジル大統領寄稿）

以前からバイオ燃料を国際的な商品にする試みを推進しているブラジルの主張は又異なったものである。バイオ燃料は発展途上国にとって特に重要で、雇用と所得を生む可能性を秘めている。特定の1次産品の輸出に頼る国の持続的な成長の機会を与える。バイオ化学産業の発展に新しい道筋を開く。日照と広大な土地に恵まれた国々に、新しい経済的、社会的、技術的な選択肢を与える。

バイオ燃料が食糧の安全保障を脅かしたり、気候変動を深刻なものにするとの指摘があるが、それは誤った前提に基づいている。各国の現実と需要に合った資源用作物栽培すれば、バイオ燃料は食糧の安全保障や環境保全と両立できる。多国間で合意された厳格で公的な認証制度を取り入れれば環境は保全できる。家族単位の小規模農家と大規模農場のバランスもとれる。我が国（ブラジル）はこのような実験を中南米やアフリカの国々と共に進めている。

（日本経済新聞07年6月8日）

5. 自動車用燃料としてエタノールが持つ特性

自動車用燃料として注目されているエタノールの性状や性能をガソリンのそれと比較してみよう。燃料1 kg 当りの発熱量では、ガソリンが 44.37MJ であるのに対して、エタノールのそれは 26.79MJ である。すなわち、燃料の発熱量(heating value)で比較する限り、エタノールはガソリンの 60% で、エタノールは圧倒的に不利であるように思われる。しかし、分子式から分かるように、エタノールには酸素原子が含まれている。これを数値で表せば、エタノールの主要成分である C, H, O の重量比は、それぞれ 52 : 13 : 35 であるが、他方ガソリンの場合は、その分子式を C_nH_{2n+2} とすれば、C が約 84%、H が約 16% となり、原理的には酸素は全く含まれない。この点からエタノールは含酸素燃料(oxygen-containing fuel)と称されている。

燃料の持つ化学エネルギーを動力エネルギーとして変換するためには、燃料電池のような電気化学的反応によらない限り、先ず燃料を直接空気と混合して燃焼させ、化学エネルギーを熱に変換する必要がある。燃焼において燃料の単位重量 1 kg 当りに必要な空気量、すなわち理論空燃比(theoretical air fuel ratio)は、ガソリンが 15.1 であるのに対してエタノールは 9.0 である。すなわちガソリンは含酸素燃料ではないために、ガソリンを燃焼させるためには、エタノールに比べて 60% 以上多量の空気を必要とする。したがって、燃料と空気を含めた混合気の 1 m³ 当りの発熱量(heating value)で両者を比較すると、ガソリンが 3.55 MJ、エタノールが 3.53 MJ となり、両者はほとんど同等になる。又理論空燃比になるように調整したエンジンにおいては、吸入した空気 1 kg 当りの発熱量は、ガソリンが 2.94 MJ に対してエタノールは 2.98 MJ であり、両者の差はほとんどないといえる。したがって、発熱量の観点から両者を見る限り、同一容積のエンジンではほぼ同等の出力が得られることになる。

含酸素燃料であるエタノールは、燃焼時にススを出さない、CO 発生量が少ない(ガソリンに対して 20% 低下)、耐ノッキング性の指標であるオクタン価が高く、そのためエンジンの圧縮比を高くして熱効率を向上することができるなどの特徴を持っている。又エタノールの火炎温度がガソリンのそれよりも低いことは、熱損失に対してエタノールの方が有利であることを意味する。

アメリカでは年式の古い車両や冬季などの寒冷期におけるエンジンの始動や暖機時に排出される CO 対策として、空気過剰率を高める含酸素燃料が有用とされ、以前にはエーテル化合物である MTBE (Methyl Tertiary Butyl Ether ; $CH_3OC(CH_3)_3$) が広く利用された。特にオクタン価向上ガソリン添加剤であった四エチル化鉛の使用が禁止されたことに伴い、1979 年頃から使用され始め、更に CO や炭化水素物質の排出削減に寄与する点などが評価されて、1995 年からスモッグ汚染の激しいロスアンゼルスなど全米 10 の地域で使用が義務付けられることになった。しかし、発ガン性の疑いが指摘され、地下タンクなどからの漏洩による地下水汚濁や海水汚染が問題となって MTBE の使用が禁止されることになり、エタノールがそれに替わって利用が進められることになった。

エタノールは長所ばかりではない。気化潜熱で比較すると、ガソリンが 272 kJ/kg であ

るのに対してエタノールのそれは862 kJ/kgであり、エタノールは気化しにくいいため低温での始動性が劣ることになる。

6. バイオエタノールによるCO₂排出効果の検証

バイオエタノールのCO₂排出量を正確に見積もる研究が進んできた。

三菱総合研究所はブラジル産エタノールを日本で消費するまでの全行程で排出されるCO₂の量を分析した結果、ガソリンによるそれと比較して1/5であった。すなわち、エタノールは熱換算量で1GJ当り15.9 kgのCO₂を排出するが、ガソリンにおいてはそれが80 kgとなる。

システム技術研究所の試算では、一般的なブラジル産エタノールであれば、生産や輸送に投入した化石燃料の約6.7倍のエネルギーが得られる。これはガソリンとほぼ同じ値であるが、エタノールの場合には燃料として消費したときCO₂の排出量は0となるので、エタノールのCO₂削減効果はそれだけ大きくなる。

しかし、原料や生産効率によってはCO₂排出量が増える場合もあり得る。産業技術総合研究所がサトウキビ由来のタイ産エタノールによる排出量を分析したところ、古い生産設備を使用した場合などではCO₂排出量が増加する可能性のあることが判った。又トウモロコシから作るアメリカ産エタノールは、投入した燃料の1.3倍のエネルギーしか得られない。サトウキビに比べて生産工程が複雑で、トウモロコシの粉碎などにエネルギーを消費するからである。トウモロコシのエタノールはガソリンよりもCO₂排出が多いとの見方もある。

鳥取大学の築瀬教授は「食料を原料にしたエタノールの生産には限界が見えている」と語っている。サトウキビやトウモロコシに比べて、生育段階で必要なエネルギーが少なくすむ樹木や雑草など食料以外の植物から、エタノールを生産する研究が進んでいる。少なくともエタノールの生産は、現在のコーンデンプンを原料とするのではなく、セルロース系バイオマスへのシフトが進むものと予想される。

(日本経済新聞07年4月30日)

7. セルロース系バイオマスとは

セルロースはD-グルコースがβ(1→4)結合したホモポリマー。ヘミセルロース、リグニンとともに高等植物細胞壁の主成分であり、ミクロフィブリルと称される幅数~20nmの微細繊維として植物細胞壁中に存在する。細胞壁はこのセルロースミクロフィブリルとそれを取り囲むヘミセルロースおよびリグニンによって構成されている。デンプンと並んで地球上に最も多量に存在する天然高分子の1つである。

又セルロース系バイオマスとは、植物の細胞壁の主成分である多糖類のセルロースを含むバイオマスの総称である。一般にセルロースは高等植物の約30%を占め、地球上で最も多いバイオマスである。木質系バイオマス、草本系バイオマスを始めとして細胞壁を持

つあらゆる植物のみならず、これらから派生した農林業残さや産業残さも含まれる。細胞壁には、ヘミセルローズ、ペクチン、グリコペプチドが含まれるが、組織の成熟に従って、リグニンやろうが形成されるためにリグノセルローズ系バイオマスと呼ばれることがある。

リグノセルローズ系バイオマスの特徴は、同じ炭水化物でも糖質やデンプン質がそのままアルコール発酵するなど異なって分解され難く、そのためバイオマス燃料としての利用は、直接燃焼、炭化、ガス化が主であったが、糖化技術の開発によってエタノール醗酵の原料とする研究が進んでいる。微生物醗酵によりセルローズバイオマスをアルコールなどへ変換するときには、糖化の前に酸やアルカリでリグニンを除去する前処理が必要である。リグニンネットで包まれた木質バイオマスからセルローズを取り出すために、白色腐朽菌でまずリグニンを分解する方法なども提案されている。

アメリカ・エネルギー省は、セルローズからエタノールを生産する基礎研究を拡大する。国内テネシー、ウイスコンシン、カリフォルニア州に3ヶ所に研究開発センターを設立し、5年間に3億7500万ドルを投じる計画である。地元の大学、企業などと連携しながら低コストでエタノールを生産できる技術を開発する。トウモロコシを原料とするエタノールの生産は、食糧供給を脅かすとの慎重論が浮上しており、アメリカ政府はセルローズの実用化を急ぐ。ボトマン・エネルギー省長官が6月26日に発表した。(日本経済新聞07年6月27日)

わが国でも、経済産業省は「食糧と競合しないバイオエタノールの増産には、木材、稲ワラ、茎などのセルローズ系からのエタノール製造が不可欠であり、そのためには優れた酵母菌の開発が必要」(安藤晴彦資源エネルギー庁新エネルギー対策課長)と述べており、セルローズからのエタノール生産の方式に舵を切ろうとしている。

大成建設が丸紅やサッポロビールなどと共同で、大阪府堺市に建設用 廃木材からバイオエタノールを製造するプラントを立ち上げており、三井造船も岡山県真庭市に製材工場の残材を使うプラントの実証実験を始めている。

(July 2007 WEDGE, p12-14、その他)

8. 新たなバイオマス利用のシナリオ

約30年前のオイルショックを契機に、石油代替燃料を生産するため、バイオマス利用を目的とする研究開発が各国で実施された。しかし、当時の技術では経済性のあるプロセス開発に展望が見出せなかったことに加えて、その後原油価格が安定に向かったため、研究開発規模は縮小され、産業界の関心も薄れていった。

もともとバイオエタノールは、ブラジルやアメリカで、サトウキビやトウモロコシなどの余剰農産物の転用先として利用を拡大してきた経緯がある。特にアメリカでは1980年代の冷戦時に旧ソ連向けの輸出をストップしたため、農民の救済策としてバイオエタノールの生産を拡大したといわれている。(July 2007 WEDGE p14)

その後、バイオマス利用の推進に関する転換は、1999年8月12日のアメリカ・クリン

トンアメリカ大統領による大統領令によってもたらされたと云えよう。同令は、バイオマス利用を国家の科学技術戦略の 1 つとして位置づけ、エネルギー省や農務省による本格的な研究開発支援が開始された。この国家戦略の中で、バイオリファイナリー(biorefinery)の概念が導入された。“バイオリファイナリー”と呼ばれるコンセプトは、バイオマス化学工場ともいえる概念であり、石油をベースとして燃料のみならず、多様な化学製品を生み出している“オイルリファイナリー(石油精製所)”に対応して創り出された用語である。

バイオマスはその種類、性状が多岐多様に跨るために利用範囲は極めて広く、それらは食料(food)、飼料(feed)、肥料(fertilizer)、繊維(fiber)、木材(forest products)、燃料(fuel)、工業原料(feedstock)、薬品(fine chemicals)の少なくとも 8 種類に達しており、これらの頭文字 F を関して 8 F とも呼ばれている。これらは、例えば食料又は飼料に対するエタノールのように互いに競合するものもあるが、利用過程には多くの段階があるので、バイオマスをカスケード式に利用し、最終的に燃料として利用するという包括的なプロセスが考えられる。バイオリファイナリーとは、バイオマスを単にエネルギー資源として利用するに留まらず、バイオプロセスにより現代社会に必要な燃料、工業原料など、有用物質を体系的に生産しようという技術体系を意味している。今後このバイオリファイナリーで生み出される製品群は、既存の石油化学製品体系(C2ベース製品)とは異なる新規製品体系(C3~C6ベース製品)であり、エネルギー分野では水素への転換が考えられている。しかし、このアメリカによるバイオリファイナリーの概念は、大量生産と大規模プラントの運用を想定して立案された概念であり、地域分散型のバイオマス利用を念頭におく日本における同種の概念とは必ずしも同一ではないかも知れない。

(湯川英明：バイオリファイナリー産業化、太陽エネルギー、Vol.32、No.1、p15；

木谷 収：バイオマス、コロナ社、p52-53)

いずれにしても、食料と競合しないような形でバイオ燃料の生産を進める必要があり、エタノール燃料関連では、トウモロコシだけでなく、木材や植物の茎など非食用バイオマス(セルロース系)からエタノールを生産する技術の開発に注力する必要がある。バイオエタノール普及については、非食用セルロース系バイオマスから安価なエタノールを製造する技術開発が、どの程度進展するかにかかっている。

日本政府は 2030 年までに植物由来のバイオ燃料を年間 600 万 kL 導入する長期目標を掲げているが、ただ国内の遊休地に原料作物を植えても供給量は 100 万 kL/年が限度で、多くを輸入に頼る必要があると云われている。

三菱総研の試算によれば、日本海の中央部にある浅瀬“大和堆(たい)”で年間約 6500 万トンの海藻を養殖し、全量処理すれば 2000 万 kL のバイオエタノールが生産できる。生産コストはガソリン並みの 58 円/L の可能である。

(日本経済新聞 07 年 6 月 25 日)

9. 日本のバイオマスの量と利用状況

(農水産省のバイオマス・ニッポン総合戦略推進事業による)

種 類	年間発生量	利用状況
家畜排泄物	約9,100万トン	約80%が堆肥などで利用されている
食品廃棄物	約2,200万トン	約10%が肥料、飼料に利用されている
廃棄紙	約1,400万トン	ほとんどが焼却処理
パルプ廃液	約1,400万トン	ほとんど全て燃料として利用されている
製材工場残材	約 610万トン	約90%をエネルギー・堆肥として利用
建設発生木材	約 480万トン	約40%が製紙原料などに利用されている
林地残材	約 390万トン	ほとんど利用されていない
下水汚泥	約7,600万トン	約60%が建設資材・堆肥、40%が埋立て
農作物非食用部	約1,300万トン	約30%を堆肥、飼料などに利用

(出展：水素・燃料電池ハンドブック、オーム社、p453、表 9.6.1)