バイオマス開発の持続可能性
――バイオ燃料のエネルギー収支からみた政策的含意――

鳥飼行博・万城目正雄

目次
1. バイオマスの利用状況
2. バイオ液体燃料の問題点
3. 伝統的バイオマス利用の効率性
4. 結論

はじめに

放置あるいは廃棄されていたバイオマスは，未利用エネルギーとして有効活用することで，化石燃料の代替エネルギーとなり，さらに燃焼しても二酸化炭素の排出がバイオマスの成長によって相殺されるというカーボンニュートラルの特性がある。そこで，再生可能エネルギーとされるバイオマスの開発は，地球温暖化対策の有効な手段になり，エネルギーの安全保障，地域振興の観点も踏まえて，各国の政府は，自然エネルギーと並んで，バイオマスエネルギーの拡大を政策課題とするようになった。なかでも，エネルギー作物や農業廃棄バイオマス，畜産バイオマスから生産されるバイオ燃料が注目を集め，バイオ燃料の拡大のための補助金・減税政策を採用し始めた。多国籍企業によるアグリビジネス，石油メジャー，政府系石油企業，機関投資家などの資金も，エネルギー作物の確保，バイオ燃料工場の増設などバイオマス開発に投入されるようになった。日本でも，バイオマスガソリン（バイオエタノールとガソリンを混ぜた燃料）が，2007年４月27日，首都圏のガソリンスタンドで，初のバイオ燃料として発売が開始された。こうして，バイオ燃料に対する市民の関心も，大いに高まってきている[1)]。

そこで，本稿では，今後のバイオマス開発は，先端的な高度技術を駆使して，農産物や廃棄物を化石燃料の代替エネルギーであるバイオ燃料に変換することによって，地球温暖化防止に貢献するという命題を検討する。そのために，バイオマス賦存量量の推計，世界のバイオマス利用状況，利用の歴史的経緯など，多角的な視点からバイオマスエネルギーを見直し，先行研究を整理する。そして，バイオ燃料のエネルギー収支がマイナスになり，地球温暖化防止に寄与できない可能性があることを明らかにした上で，世界のバイオマスエネルギーの中核は，開

提出日2008年8月27日　　受理日2008年10月1日

発途上国の伝統的なバイオマス，すなわち木質バイオマスであり，その効率的利用を促すことが持続可能性のために最も重要であることを示してみたい。

1. バイオマスの利用状況

⑴ バイオマス・ニッポン総合戦略

バイオマスという言葉は，生物資源量を意味し，その成長過程で，光合成によって生成された太陽のエネルギーを蓄積している。そこで，CO_2がバイオマス利用に伴って発生したとしても，大気中のCO_2排出量は，バイオマスの成長によって相殺される。これが，バイオマスエネルギーの持つカーボンニュートラルの特性であり，バイオマスが持続可能である限り，再生可能エネルギーとなる。

日本では，2002年12月閣議決定されたバイオマス・ニッポン総合戦略の中で，バイオマスを「再生可能な生物由来の有機性資源で化石資源を除いたもの」と定義した。そして，「動植物，微生物，有機性廃棄物からエネルギー源や生分解素材，飼肥料等の製品を得る」ために，バイオマスの利用拡大を目指している。その目的は，①地球温暖化対策，②循環型社会形成，③農林漁業・農山漁村の再活性化，④競争力ある戦略的産業の育成，である[2)]。

NEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）では，バイオマス・ニッポン総合戦略の策定にあわせて，2005年の日本国内のバイオマス賦存量を，製材所廃材1,040万トン，稲ワラ920万トン，乳用牛排泄物2,099万トン，肉用牛排泄物1,854万トン，養豚排泄物2,251万トン，生活系厨芥類1,109万トン，下水汚泥7,976万トンと推計した。そして木質バイオマス（製材所廃材など），農業廃棄バイオマス（副産物ともいえる稲ワラ，もみ殻を含む），畜産排泄バイオマス（家畜の糞尿），食品廃棄バイオマス，下水汚泥バイオマスの合計として，日本国内のバイオマス賦存量は２億735万トンと見積もっている（表１参照）。また，エネルギー作物（資源作物）の賦存量は，乾燥重量で約1,200万トン，石油換算500万トン相当の一次エネルギー供給ができると見込んでいる[3)]。

2006年３月末に閣議決定された新たな「バイオマス・ニッポン総合戦略」では，「現在進められているバイオマスの利活用に関する技術開発の成果や先進的な取組が全国に普及し，さらに今後の技術開発の展開を見込んだ姿のイメージを示す。国民一人ひとりの中に，私たちの身近にあるバイオマスは，資源として利活用されるものであるとの意識及び生活習慣が定着し，廃棄物系バイオマスの発生抑制が進む。バイオマスの生産・変換においては，適正な窒素，循環等の環境への配慮や付加価値の高い製品・エネルギーを作り出す取組段階的に製品やエネルギーに変換される取組が進み，生活の中にバイオマスの利活用が普及する。」と，国民の身近なバイオマスを高度技術によって有効活用するという目標を楽観的に述べている[4)]。

バイオマス・ニッポン総合戦略では，木質バイオマスの廃材・未利用材として，製材所廃材（年間賦存量500万トン）は，薪燃料，肥料として再生利用されているが，間伐材・被害木など林地残材（370万トン）は，大半が未利用で放置されているとする。建設廃材（460万トン）は，2002年に建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律が完全施行されて以降，60%が製紙原

表1　日本の廃棄物関連バイオマスとエネルギー作物（2006年）

廃棄物関連バイオマス賦存量　（万ｔ）						
木質	林地残材	335	製材所廃材	1040	果樹剪定枝	100
	公園剪定枝	15	建築解体廃材	401	新・増築廃材	118
農業廃棄	稲ワラ	920	籾殻	126	麦わら	82
畜産排泄	乳用牛	2099	肉用牛	1854	養豚	2251
	採卵鶏	681	ブロイラー鶏	495		
食品廃棄	生活系厨芥類	1109	事業系厨芥類	646	動植物性残渣	487
下水汚泥	下水汚泥	7976				
エネルギー作物（資源作物）						
油質系	大豆		菜種		ひまわり（種子）	
デンプン質系	米		小麦		大麦	
	サツマイモ		ジャガイモ		トウモロコシ	
糖質系	テンサイ		サトウキビ		ソルゴ（キビ）	

注）NEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）と全国市町村別推計によるバイオマス賦存量の試算。木質は，林業や製材加工などから発生する樹皮，枝葉，端材等。畜産は，飼育されている家畜・家禽から排泄される糞尿。食品は，食品加工場からの廃棄，一般家庭・レストラン等の業務部門から廃棄される生ゴミ。汚泥は，下水処理によって発生した生汚泥を，汚泥処理施設にて水分を除去した脱水汚泥。

出所）NEDO（http://app1.infoc.nedo.go.jp/kinds/index.html）より作成。

料，ボード原料，家畜敷料に活用され，あるいは直接燃焼されている。また，製紙工場においてパルプ生産時の副産物である黒液1,400万トン（乾燥重量）は，液状木質バイオマスであり，直接燃焼され，エネルギーとなっている。

農業廃棄バイオマス（非食用部1,300万トン）の30%は，堆肥化，飼料，畜舎敷料等として利用されている。ただし，稲ワラの70%は，農地に鋤込まれるだけで，低利用にとどまっている。エネルギー作物の利活用は現時点ではほとんど認められないが，アブラナを食用油とした後，バイオディーゼルの原料として利用したり，サトウキビを原料にバイオエタノールを製造したりする取り組みが行われている。

畜産排泄バイオマスについては，2004年に家畜排泄物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律が本格施行され，年間の賦存量8,900万トンの約90%を堆肥など肥料として利用した。しかし，南九州地域などの畜産地帯では，輸送の不便，窒素などの成分量に配慮して，家畜排泄物の肥料化は，限界に近づいているとされる。食品廃棄バイオマス（非食用部を含む）については，賦存量2,200万トンが発生し，食品循環資源の再生利用等の促進に関する法律が2001年に施行され，肥料や飼料に再生利用された比率は，2001年の10%から2005年の20%に向上した。しかし，残りの80%は畜産廃棄物として焼却・埋立処理されたと推測される。下水汚泥7,500万トン（濃縮汚泥ベース）の処理は，埋立36%，建設資材・堆肥化64%である。

他方，2008年２月21日に環境エネルギー政策研究所が公表した「バイオマスによるエネルギー導入目標」は，NEDOの分析を踏襲し，2050年に，日本国内のバイオマス賦存量を有効利用することで，エネルギー作物を除外しても，バイオマスエネルギー潜在的供給余力が十分存在するとしている。つまり，試算されたバイマス賦存量は2050年で２億3,756万トンと，40年後には，農業衰退，山林荒廃が予測されるにもかかわらず，2005年のバイオマス賦存量を13.7%上回ると見込んでいる（表２参照）。バイオマス賦存量の系統別内訳は，木質バイオマス5,030万トン（全体の21.2%），農業廃棄バイオマス1,128万トン（8.8%），畜産排泄バイオマ

表 2 日本国内バイオマスによるエネルギー潜在的供給推定（2050年）

バイオマス系統	バイオマス種別	バイオマス賦存量（万 t/ 年）	発熱量係数（GJ/t）	一次エネルギー供給（PJ/ 年）	石油換算供給量（1000t）
木質	林地残材・製材所廃材	1,350	15.6	249	5,204
	薪　炭	1,136	15.6	167	3,490
	建築廃材	1,440	15.6	265	5,539
	黒　液	278	15.6	270	5,643
	古　紙	826	14.1	137	2,863
	小　計	5,030	–	1,088	22,739
農業廃棄	稲ワラ	920	14.7	160	3,344
	もみ殻	126	14.7	21	439
	麦わら	82	13.6	13	272
	小　計	1,128	–	194	4055
畜産排泄	乳用牛	2,099	0.5	11	230
	肉用牛	1,854	0.5	10	209
	養　豚	2,251	0.5	13	272
	排卵鶏	681	10.5	89	1,860
	ブロイラ	495	16.0	100	2,090
	小　計	7,380	–	223	4,661
食品廃棄		2,242	2.1	58	1,212
下水汚泥		7,976	0.3	26	543
賦存量合計		23,756	–	1,779	33,210

注）GJ（ギガジュール）は，1 ジュール（1 J=0.278×10^{-6} k Wh =0.239ca ℓ）の10億倍，PJ（ペタジュール）は 1 ジュールの1000兆倍のエネルギー，仕事，熱量，電力量単位。食品廃棄物バイオマスは，生活系・事業系の厨芥類と動植物性残渣。エネルギー作物については，バイオマス燃料への転換量が不明のため，除かれている。石油換算供給量は，一次エネルギー供給 1 PJ を石油2万3900トン相当として算出。

出所）環境エネルギー政策研究所2008年 2 月21日公表「バイオマスによるエネルギー導入目標」（http://www.isep.or.jp/event/080221sympo2050/backdata_biomass.pdf#search='バイオマス エネルギー量 推計'）より作成。

ス7,380万トン（31.1%），食品廃棄バイオマス2,248万トン（9.4%），下水汚泥バイオマス7,976万トン（33.6%）である[5)]。

バイオマスをエネルギーに変換する際のバイオマス 1 トン当たり発熱量係数（GJ）は，下水汚泥，畜産排泄バイオマスは0.3から0.5と，木質，農業廃棄バイオマスの13.6から15.6に比してはるかに小さい。そこで，バイオマスを活用した一次エネルギー潜在的供給は，畜産排泄バイオマス223万ペタジュール（一次エネルギー供給の構成比の14.0%），下水汚泥バイオマス26ペタジュール（1.6%）はエネルギー供給の上では劣位にある。かわって，木質バイオマス1,088ペタジュール（68.5%），食品廃棄バイオマス223ペタジュール（14.0%），農業廃棄バイオマス194ペタジュール（12.2%）であり，とりわけ木質バイオマスが大きな構成比を占めている。

日本国内のバイオマスエネルギー潜在的供給を石油換算すると，3,321万トン相当であって，これは，2005年の一次エネルギー消費（石油換算 5 億2,460万トン）の6.3%に相当する。石油のエネルギー消費構成比は48.9%であるから，バイオマスをエネルギーに有効に変換できれば，2005年の石油消費量の12.9%を賄うだけの潜在的供給が可能となる。

しかし，バイオマスは，第一に，生物の生息地の分布と同じで，広範囲にわたって分散して存在し，容積も大きい。そこで，バイオマスをいかにして収集，運搬するかが問題となる。第二に，バイオエタノール，バイオマスディーゼルの生産は，トウモロコシ，大豆，サトウキビ

表 3　世界のバイオマス発電電力量の推移

	世界	OECD 諸国		非 OECD 諸国	
	(GW 時)	(GW 時)	構成比 (%)	(GW 時)	構成比 (%)
1990	124122	117406	94.7	6621	5.3
2000	167310	146816	87.8	20406	12.2
2005	225781	192210	85.2	33486	14.8

注）バイオマス発電は，可燃性再生可能エネルギーおよび廃棄物からの発電電力量なので，プラスチックごみなど，廃棄バイオマス以外の発電も含まれる。1000GW 時（ギガワットアワー）＝1ＴW時（テラワットアワー）＝3600ＴＪ（テラジュール）＝3.6PJ（ペタジュール）。

出所）IEA/OECD(2007) *Energy Balance of Non OECD Countries 2004-2005 2007Edition* より作成。

などをエネルギー作物に変換するために，食料・飼料との競合の問題が生じることである。換言すれば，食用・飼料作物をエネルギー作物として消費すれば，作物需要の増大から，価格高騰の傾向をもたらし，それが食料・飼料不足，バイオ燃料の価格高騰という悪影響をもたらす可能性が指摘できる。第三に，木質バイオマスの拡大が木材消費を拡大し，エネルギー作物増産のための農地拡大と並んで，森林減少に結びつく可能性である。また，エネルギー作物の増産のためには，食用と異なり，人体への健康被害への配慮は後退し，農薬や遺伝子組換えを多用する傾向を強める。これはエネルギー作物増産が，環境・健康への悪影響を与えるという問題である。第四に，バイオマス利用のためには，バイオマスを集積し，加工しなければならず，バイオマスの収集・運搬・加工にエネルギーが必要となる。特に，バイオ燃料化には，高度技術が用いられ，エネルギー消費も大きいという難点が指摘できる。

以上のように，バイオマスエネルギーの利用拡大には，①バイオマスの収集・運搬の労力あるいは経費の負担，②エネルギー作物と食用・飼料作物との競合，③エネルギー作物の増産に伴う森林減少やバイオ技術の採用に伴う環境悪化，④バイオマス利用に伴うエネルギー消費の増大，の四点が制約要因となると考えられる。

(2) バイオマス利用状況の南北比較

国際エネルギー機関（IEA）の統計から2005年の世界の一次エネルギー供給とバイオマスエネルギー供給量を計測し，南北比較してみよう。

2005年の世界の南北別バイオマス発電を見ると，OECD 諸国（欧米・東欧・日本・韓国など先進工業国）のバイオマス発電（可燃性再生可能一次エネルギーおよび廃棄物）の電力量は，1990年の117テラワット時から2005年には192テラワット時へと82%増となったが，非 OECD 諸国では，７テラワット時から33テラワット時へと５倍増となった（表３参照）。このように，先進工業国よりも開発途上国におけるバイオマス発電の成長が著しいが，2005年の南北別のバイオマス発電構成比は，OECD 諸国85.2%，非 OECD 諸国14.8%であり，先進工業国におけるバイオマス発電の興隆が確認できる。つまり，バイオマス発電における先進工業国の構成比は，開発途上国より遥かに高く，これは先進工業国のバイオマス発電の技術力，政策的優遇，環境意識の高さを反映しているようにも思われる。

しかし，世界の一次エネルギー供給の内，バイオマスエネルギーの構成比は，先進工業国よりも開発途上国において遥かに高い。2005年の世界の一次エネルギー供給は，石油換算114億

表 4 世界の南北別一次エネルギー供給（2005年）

（単位：石油換算（万 t））

	世界		OECD		非 OECD	
	（万 t）	構成比（%）	（万 t）	構成比（%）	（万 t）	構成比（%）
石炭	289211	25.29	113027	20.37	176184	30.83
原油	407603	35.65	221866	39.99	185736	32.50
石油製品	−7395	−0.65	3034	0.55	−27505	−4.81
天然ガス	236154	20.65	121144	21.84	115010	20.12
原子力	72183	6.31	61143	11.02	11040	1.93
水力	25132	2.20	10926	1.97	14205	2.49
地熱等	5903	0.52	3982	0.72	1921	0.34
バイオマス	114651	10.03	19439	3.50	95212	16.66
電力	−130	−0.01	149	0.03	−279	−0.05
熱	8	0.01	49	0.01	31	0.01
総供給	1143392	100.00	554760	100.00	571536	100.00

注）エネルギーは，石油換算（万 t）。世界は，OECD と非 OECD の合計。
出所）IEA/OECD（2007）*Energy Balance of Non OECD Countries 2004-2005 2007 Edition* より作成。

3,392万トンであり，内訳は，バイオマスエネルギーは11億4,651万トンで，エネルギー別の構成比は，石油36%，石炭25%，天然ガス21%，バイオマス10%，原子力６%と続いている（表４参照）。つまり，日本が2050年までにバイオマス利用技術を駆使して達成可能としようというバイオマスエネルギー構成比6.3%（楽観的見通しの最大値）ですら，2005年の世界水準を大幅に下回っている。換言すれば，バイオマス・ニッポン総合戦略において，日本は，先端的な高度技術を用いて，バイオマスエネルギー供給拡大を目指し，あわせて開発途上国にバイオマス利用技術を移転し地球温暖化防止に寄与するとしたが，バイオマスへの関心の高さとは裏腹に，実際の日本のバイオマスエネルギー供給能力は低迷していると考えられる。

世界のバイオマスの利用量とその割合を南北比較すると，先進工業国（OECD 諸国）が，１億9,439万トン（エネルギー供給量に占める割合は3.50%）に対し，開発途上国（非 OECD 諸国）は，９億5,212万トン（同16.66%）となり，開発途上国の方が4.9倍も多い（表５参照）。これは，バイオマスエネルギーの中核が，バイオ燃料化や電力・熱利用など日本で注目を集めている高度なバイオマス利用技術ではなく，開発途上国における木質バイオマス，農業廃棄バイオマス，畜産排泄バイオマスの直接燃料による熱利用が主流となっているためである。

実際，バイオマスエネルギーの部門別最終消費を見ると，OECD 諸国では産業部門48.6%，運輸部門8.7%であるが，非 OECD 諸国では，民生部門が86.2%，特に家庭部門が81.81%と中核をなしている。その理由は，貧困世帯も含めて，非商業エネルギー，特に自家消費による木質バイオマス，農業廃棄バイオマスの無償利用が盛んなためである（表５参照）。

バイオマスは，利用技術の上から分類すると，伝統的バイオマス（traditional biomass）と現代的バイオマス（modern biomass）とに分類される。伝統的バイオマスとは，薪炭，農業廃棄物，家畜の糞尿などの固形バイオマスの直接利用であり，主として開発途上国の地域コミュニティで伝統的に利用されてきた調理・給湯・暖房用のエネルギーである。特に，木質バイオマスは，発熱量係数が高く，古くから世界中で使用されてきたバイオマスエネルギーである。現在でも，開発途上国の森林・里山・マングローブ林では，柴を刈り，落ちている枝や倒木を

表５　部門別のバイオマスエネルギー消費の南北比較（2005年）

部　門	OECD 諸国		非 OECD 諸国	
	（万ｔ）	構成比（%）	（万ｔ）	構成比（%）
産　業	6512	48.61	11432	12.92
運　輸	1147	8.56	708	0.80
民　生	5738	42.83	76333	86.24
（うち家庭部門）	5179	38.66	72317	81.71
非エネルギー	0	0	36	0.04
最終エネルギー消費	13396	100.00	88509	100.00

注）エネルギーは，石油換算（万トン）。民生は，業務と家庭の二部門。非エネルギーの用途は，潤滑油，アスファルト，パラフィン
出所）IEA/OECD（2007） *Energy Balance of Non OECD Countries 2004-2005 2007Edition* より作成。

集めることで，薪採取を行っている。これは，大木を根元から伐採する木材生産とは別の林産物の利用形態であり，枝の再生が持続可能な範囲にとどまっている限り，循環的に木材を利用できる。また，薪採取の場所は，地域コミュニティによる保有・利用が歴史的，慣行的に認められているローカル・コモンズ，里山である（写真１・２参照）。

ここで，木質バイオマスには，薪となる柴や枝など木材以外にも，スギやシュロの葉・皮，ヤシの実の皮・殻なども含まれる。また，農耕地にあっては，稲ワラ，籾殻，サトウキビの絞りかすであるバガス，ココナツの殻（ヤシの実）など農業廃棄バイオマスも燃焼して熱回収されてきた（写真３参照）。

Goldmberg and Teixeira（2004）によると，1998年の世界のエネルギー供給量に占める割合は，9.45%が伝統的バイオマス，1.73%が現代的バイオマスとしている。バイオ液体燃料を中心に，先進工業国における現代的バイオマスの利用拡大が注目されているが，バイオマスエネルギーは，世界的には開発途上国を中心とした伝統的な固形バイオマスの直接燃焼利用が中核となっているのである。

このような木質バイオマス，農業廃棄物などを伝統的バイオマスとして利用するのは，貧困世帯にとって，資源の有効活用がエネルギー支出の節約に繋がるためである[6)]。その意味で，日本，欧米でも，古くは，伝統的バイオマスにエネルギーを依存していたが，20世紀に入ってからは，伝統的バイオマス利用は急速に廃れ，里山は荒廃した。

農林水産省は，日本国内に林地残材，薪炭の賦存量は，各々1,000万トン以上あると推計しているが，林地に分散して存在する柴・枝を収集，運搬することは，労働力，経費の上から，日本では，割に合わないエネルギー利用方法となってしまう。柴刈りをすれば，汗をかいて，汚れなくてはならず，柴を裁断し，乾燥させ薪とする時間と手間もかかる。さらに，薪を室内燃焼すれば，煤煙の排気，炭・燃え残りの処理も問題になる。伝統的バイオマスを直接燃焼利用したエネルギーは，持続可能性の観点からはクリーンエネルギーであるが，利用に伴う汚れ・煤煙・燃え残り処理の視点からは「クリーンエネルギー」ではない。つまり，先進工業国において，木質バイオマスを直接利用するような伝統的バイオマスエネルギー利用は，現実味に乏しい。したがって，バイオマス賦存量を潜在的なエネルギー供給に含めたとしても，先進工業国において，その利用可能性は低い。

他方，現代的バイオマスは，バイオ燃料ブームとして注目を集めているバイオマス液体燃料



写真１　木質バイオマスである薪の採取；木質伝統的な柴刈り・薪採取は，ナタを使って，地域コミュニティの保有する里山で行われる。斧やノコギリで，大木の根元から伐採することはないので，森林破壊には当たらない。中国貴州省黎坪県2006年３月筆者撮影。



写真２　木質バイオマスの薪の運搬；山村・農村において，分散して存在するバイオマスを集めるには，労働力が不可欠である。後方の女性は，飼料用の樹木の葉を運搬している。中国の里山は，現地住民が燃料，飼料，堆肥として，バイオマスを採取，運搬する場所である。貴州省黎坪県2006年３月筆者撮影。



写真 3　林産バイオマスのスギの葉採取；里山では柴や枝だけではなく，乾燥したスギの葉も焚き付け用に，採取する。中華人民共和国貴州省黎坪県2006年 3 月筆者撮影。

（バイオエタノール，バイオディーゼル）やバイオガス，バイオマス発電などがある。後者は，バイオマスの種類によって「第一世代」（トウモロコシ，サトウキビ，アブラナなどのエネルギー作物）と「第二世代」（稲ワラなどリグセノール系）に分類され，バイオ液体燃料の生産拡大に伴う穀物価格高騰問題への対応などから，第二世代の新技術が注目を集めている。

⑶　バイオマスの電化・液体燃料化の進展

世界のバイオマスエネルギー利用の中核は，伝統的バイオマスであるが，最近注目を集めているバイオマスエネルギーの利用形態は，第一に，廃棄バイオマスとして，製紙過程で排出される産業廃棄物（黒液，チップ廃材），農業・畜産業の過程で排出される廃棄物（稲ワラ，家畜糞尿），食品廃棄バイオマス（生ごみ，廃食油）を加工して，液体燃料化あるいはガス化したり，発電したりするものである。このようなバイオマスの利用は，開発途上国における伝統的バイオマスの直接燃料による回収とは異なり，バイオマスの転換利用であり，場合によっては，バイオマスの加工・変換にエネルギーを大量に投入している。

第二に，エネルギー作物（資源作物）から生産されるバイオ燃料は，高密度高カロリーな液体燃料，すなわちエタノールやメタノールなどのアルコール類とバイオディーゼルがある。容積・重量当たりの熱量が少ない木質バイオマスよりも，輸送・保管の取り扱いが容易である。つまり，バイオマス由来の液体燃料は，植物を発酵させたバイオアルコール，化学反応でエステル化したバイオディーゼルであり，木質バイオマスの欠点であった，輸送・保管の不便とい

う欠点が除かれている。実際，世界の最終エネルギー消費（2005年）のうち27%を占める運輸部門において，バイオ液体燃料は，化石燃料を代替するグリーン燃料として開発・利用が進められている。

バイオアルコールは，サトウキビ，テンサイ，トウモロコシ，大麦，ジャガイモ，キャッサバ，ヒマワリ，ユーカリといった農作物から糖質またはデンプン質を取り出して，これを発酵させ，エタノールあるいはメタノールに蒸留，製造したものである。例えば，ブラジルではサトウキビから製造するエタノール，ロシアでユーカリから製造するメタノールは化石燃料から合成されるアルコールとは異なり，農作物が光合成によって大気中の CO_2 を吸収するためにカーボンニュートラルな再生可能エネルギーである。バイオエタノールは，トウモロコシ，サトウキビ，コメなどのほか，廃材などの木質系バイオマスを原料としてセルロースを糖化させて製造する技術がある。また，バイオアルコールは燃焼に際して，硫黄酸化物，窒素酸化物のような大気汚染物質も排出しない。

アルコールは，ガソリン（揮発油）に１～30%混合して，ガソリンエンジンの燃料とできるが，日本では，自動車の燃料系を腐食し安全性を損なうとしてガソリンへのエタノール混合率は３%まで，その他含酸素化合物は含酸素率1.3%までに制限している。しかし，2005年３月，総合資源エネルギー調査会需給部会「2030年のエネルギー需給展望」では，新エネルギー導入のため，2010年にバイオマス発電（廃棄物発電を含む）が原油換算586万キロリットルとされる一方で，2006年４月閣議決定の「京都議定書目標達成計画」においては，2010年までに，バイオマス熱利用原油換算308万キロリットル（輸送用燃料におけるバイオマス由来燃料50万キロリットルを含む）の導入，バイオマス発電の拡大，500市町村程度でのバイオマスタウンの構築を図るとされた[7)]。

他方，EU では，2003年に輸送用バイオ燃料・再生可能燃料の利用促進指令が発効，加盟国にバイオ燃料導入目標の設定が義務づけられ，米国では2005年エネルギー政策法によって，自動車燃料への再生可能燃料の使用目標が大幅に引き上げられた。また，中国でも2005年再生可能エネルギー法が制定され，バイオエタノールやバイオガスの供給体制の強化が決まるなど，アジアにおいても，バイオ燃料開発を進める方針を決定している[8)]。

バイオディーゼルは，BDF（Biotechnology Diesel Fuel）とも呼ばれ，油糧作物（アブラナ，ヒマワリ，パーム）や廃食用油といった油脂を原料として製造する軽油代替燃料である。植物（一部は動物）由来のディーゼル（軽油）は，未使用の菜種油および使用済みの調理油（菜種油，大豆油など）を原料とし，メチルエステル化して製造する。品質劣化速度が早いため長期保存は困難であるが，ディーゼルエンジンにそのまま使用可能で，ディーゼルより有害物質の含有量が少なく，生分解性がよく，硫黄酸化物（SOx）もほとんど排出しない。

IEA では，運輸部門に利用されるバイオマス液体燃料をバイオ燃料（biofuel）という用語を用いて統計を作成している。2005年の世界のバイオ燃料は，合計20メガトンで１日当たり64万3000バレルが生産された。これは世界の石油消費量の0.5%，運輸部門の燃料消費の約１%に等しい。内訳としては，世界のバイオ燃料のうち85%に当たる17.1メガトン（１メガトン＝100万トン）がバイオエタノールとなっている。国別では，ブラジルと米国で世界の総供給

表6　バイオエタノール・バイオディーゼルの国別生産量（2005年）

	エタノール		バイオディーゼル		合計	
	Mtoe	kb/d	Mtoe	Kb/d	Mtoe	kb/d
米　国	7.50	254	0.22	5	7.72	259
カナダ	0.12	4	0.00	0	0.12	4
EU	0.48	16	2.53	56	3.01	72
ブラジル	8.17	277	0.05	1	8.22	278
中　国	0.51	17			0.51	17
インド	0.15	5			0.15	5
世　界	17.07	579	2.91	64	19.98	643

注）Mtoe：100万t（石油換算），kb/d：1日当たり1000バレル
出所）IEA（2006）*World Energy Outlook 2006* p.387より作成。

表7　国別バイオエタノールの生産動向（2001-2005年）

（単位：1000kL/年）

	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年	増加率
ブラジル	11,503	12,620	14,729	15,663	16,700	31.1
米　国	8,122	9,595	12,063	14,316	15,000	45.9
中　国	3,050	3,150	3,400	3,650	3,800	19.7
E　U	2,563	2,564	2,539	2,621	2,872	10.8
インド	1,780	1,800	1,900	1,650	1,700	-4.7
その他	4,149	4,212	4,424	3,354	5,917	29.9
合　計	31,167	33,941	39,055	41,254	45,989	32.2

注）増加率は，2001年から2005年の総増加率。
出所）IEA（2006）*World Energy Outlook 2006* より作成。

量の80%を占めている（表6参照）。そして，世界のバイオ燃料の消費は，参照シナリオとして，2015年54.4メガトン，2030年92.4メガトンに増加するとともに，この需要を満たすためには，2005年から2030年に累積で160億ドルのバイオ燃料工場への投資が必要であると試算している。このように，バイオ燃料は，米国とブラジルを中心に，農産物からエタノールを抽出し，運輸部門の燃料として使用されている。近年の動向をみても，ブラジルでは2001年の1,150万キロリットルから2005年の1,670万キロリットルに31.1%増加し，米国では2001年の812万キロリットルから2005年の1,500万キロリットルに増加した。中国でもバイオ燃料ブームを背景に，2005年には380万キロリットルのバイオエタノールを生産している（表7参照）。

⑷　バイオ燃料政策

バイオ燃料ブームのさらなる興隆は，米国のブッシュ政権による2005年エネルギー政策法の制定である。同法よって，年間のエタノール使用量を2007年までに190億リットル，2012年までに284億リットルに増やすことを定められた。さらに，ブッシュ大統領は2007年1月の年頭一般教書演説において，Twenty in Ten と称して，今後10年間でガソリン消費量を20%削減することを目指すとした。そのために，2017年までに再生可能燃料・代替燃料の使用義務付け量（RFS：Renewable Fuel Standard）を年間350億ガロン（1億3,200万キロリットル）とするバイオ燃料基準を提案した。2007年12月，大統領は，2007年エネルギー・独立安全保障法（Energy Independence and Security Act of 2007）に署名した。同法は，

①燃費基準の40%改善：現行の1975年制定の燃費規準（1ガロン当たり25マイル）を段階的

に2020年までに35マイルまで40%改善する。

②再生可能燃料・代替燃料の使用義務付け量（RFS）の引き上げ：2008年の年間90億ガロンから段階的に，2012年152億ガロン，2015年205億ガロン，2020年300億ガロン，2022年360億ガロン（１億3,600万キロリットル）まで引き上げる。ただし，トウモロコシ由来のエタノールは2015年以降150億ガロンとし，それ以外のバイオ燃料によってRFSを達成するように義務付ける。

③バイオディーゼルの使用基準の設定（2008年はゼロだが，2009年５億ガロン，2012年までに10億ガロンを義務付ける）

を規定し，バイオ燃料の消費拡大・増産を目指している[9]。このほか，2020年までに１ガロン当たり35マイルの国家燃費基準が義務付けられ，燃費を40%向上しなくてはならなくなった。これは，1975年以来初めての法定燃費基準の引き上げであり，車体軽量化による燃費向上によって自動車の安全性が犠牲されないように，配慮すべきこととされた。

米国農務省の長期見通しでは，バイオ燃料開発に伴って，トウモロコシ需要は，エタノール向けが前年度比28%増（41億ブッシェル）と大幅に増大する一方，飼料向けは９%減の54億ブッシェル，輸出向けは12%減の21億5,000万ブッシェルに減少し，需要全体では0.5%増（130億2,000万ブッシェル）にとどまるとされた。実際，トウモロコシを原料とするエタノールの使用義務付け量は，2008年90億ガロン，2009年105億ガロンである。米国の再生可能燃料協会（RFA）によると，2008年２月，米国のバイオエタノールの年間生産能力は，前年同期比43%増の80億ガロン，建設および拡張中の工場が稼働する18～24カ月後には134億ガロンまで拡大するものと見込んでいる。こうして，米国のトウモロコシ需要に占めるエタノール生産向け需要は，2005-2006年度の14.4%から2009-2010年度には30.1%に上昇するとされる。

米国のエネルギー法に基づくバイオ燃料の拡大は，環境保全だけではなく，米国のエネルギー自給率向上，エネルギー安全保障も企図しているが，エタノールの輸入は急増している。特に，2004年から始まったブラジルからのエタノール燃料の輸入は，2006年４億3,370万ガロンとなり，エタノールの輸入の66%を占めている。実際，バイオ燃料大国ブラジルでは，サトウキビを利用したバイオエタノール生産が興隆し，2004年のブラジル国内の輸送部門燃料消費の13%は，バイオ燃料である。

EUでは，バイオ燃料の87%がバイオディーゼルとなっている。これは，ヨーロッパではディーゼル車が広く普及しているためである。2003年に，輸送用バイオ燃料・再生可能燃料の利用促進指令により，EU25カ国で2010年12月31日までに輸送用のガソリン及びディーゼル燃料の5.75%をバイオ燃料とする目標を掲げている。この目標は，バイオ燃料の普及を倍以上に増加させることを意味している。

英国は2006年３月，再生可能運輸燃料導入義務（RTFO：Renewable Transport Fuels Obligation）を定め，運輸燃料ついて2009年2.5%，2011年５%のバイオ燃料の導入促進を計画している。また，導入義務を証券化した再生可能運輸燃料割当証書（RTFC：Renewable Transport Fuels Certificates）のような認証システムを検討している[10]。

2005年のアジアのバイオエタノール生産（石油換算）は，中国51万トン，インド15万トンで，

表８　アジア諸国のバイオマス政策

	数値目標	混合比率	インセンティブ
日本	2010年までに輸送燃料で原油換算50万 kL 相当の代替	混合上限規制（エタノール３％E3，ディーゼル５％）	補助金・税制優遇の検討
韓国		エタノール0.5%混合義務（2012年３％）	税制優遇
中国	2020年までに郵送エネルギーの15%を代替	エタノール10%混合義務（地域限定）	補助金・税制優遇
インドネシア	2010年までにディーゼル燃料の10%，ガソリンの５％を代替	混合義務なし	補助金
タイ	2012年までに自動車燃料の20%を代替	ディーゼル：2008年よりパーム油５％混合義務予定	バイオエタノール混合ガソリン減税
マレーシア		ディーゼル５％混合義務（パームオレイン）	補助金
フィリピン		2009年までにエタノール５％混合義務 ディーゼル：ココナツ油１％混合義務	E10の物品税を１L当たり0.05ペソ減税
インド	エタノール82万 kL（2006年）	エタノール５％混合の E5義務（９州）	補助金の検討

出所）『産業と環境』第37巻第１号通産422号 p.30,『環境研究』2006/ 第142号 p.73より作成。

カナダの12万トンよりも多いが，潜在的供給能力は高く，アジア各国では，世界的なバイオ燃料需要の拡大を見込んで，積極的なバイオ燃料政策を採用している。つまり，アジアでも，米国に追随するかのように，バイオ液体燃料の具体的数値目標の設定，化石燃料（ガソリン，ディーゼルなど）と混合比率，税制や補助金のインセンティブが打ち出されている。

NPO 法人バイオマス産業社会ネットワーク「バイオマス白書2005」によれば，2004年の東アジアでのバイオ燃料開発の動きとして，中国遼寧省瀋陽市でのエタノールガソリンの全面使用，インドネシアのパームオイルを原料としたバイオディーゼル10%添加軽油の試験運用，フィリピンの政府保有ディーゼル車へのココナツオイルを原料としたココバイオディーゼル使用義務付け，タイのサトウキビを利用したバイオエタノール増産が指摘されている（表８参照）。

アジアでは本来，伝統的バイオマスとして，木質バイオマスや農業廃棄バイオマスを中心に固形バイオマスの利用が盛んであった。しかし，アジア各国政府は，伝統的バイオマスの広範な利用をふまえることなく，エネルギー作物に由来するバイオ液体燃料の開発を推進している。つまり，伝統的バイオマスを等閑視している以上，アジア各国政府は，温暖化防止のためというよりも，世界のバイオ燃料の需要拡大をビジネスとして利用することを優先しているといえる。さらに，米国，ブラジル，EU にしても，バイオ燃料の開発が，温暖化防止につながるとの前提で，バイオ燃料の消費拡大を政策的に促しているが，温暖化防止のためのバイオマ開発の中には，薪炭，稲ワラなど伝統的な固形バイオマスは，劣位に置かれ，世界における利用状況，今後の需要予測を検討していない。したがって，バイオ燃料を，補助金・減税の対象として拡大しようという政策は，温暖化防止という市民の環境意識の高まりを正当化の根拠にしているものの，現実の優先項目は，バイオ燃料需要拡大に即応したエコビジネス，アグリビジネスの側面が強いと考えられる。

2. バイオ液体燃料の問題点

⑴ バイオ液体燃料の環境制約

農業大国の米国とブラジルは，エネルギー政策と農業政策を結合する手段として，バイオ液体燃料の拡大政策を採用した。そして，EU も同様に，バイオ燃料の拡大を目指して，使用目標設定や税制措置などの政策を進めている。しかし，バイオ燃料の開発には，環境制約があることが，最近，国際機関からも指摘されるようになった。

国連は2007年５月に，エネルギー関連の国連専門機関を含むグループが作成した「持続可能なエネルギー：政策決定のためのフレームワーク（Sustainable Energy ： A Framework for Decision Maker)」と題する報告書を発表した。この報告では，産業開発のスピードとその是非，どのような技術・政策・投資戦略を促進するのかを決定する前に，バイオ燃料開発の経済的・環境的・社会的な影響が十分に評価されていなければならないと警告した。そして，土地利用の観点から環境と社会が受容可能な損失がバイオ燃料の便益を上回る恐れがあるとし，バイオエネルギー投資の急拡大と生産の急増に伴うマイナスの影響（食糧との競合，開発途上国の貧困世帯・農民への影響，土地・土壌への影響など）を指摘した。

また，OECD では，2007年９月に開催された「持続可能な開発に関するラウンドテーブル」に提出された報告書 Doornbush and Steenblik （2007） “Biofuels： Is the Cure Worse and Disease ？”では，世界のバイオ燃料政策に対して疑問が投げかけられている。ここでは，2005年には世界の運輸燃料の１％を占めるに過ぎないバイオ燃料が，2050年までに消費量が25倍となり，運輸燃料の11％を占めるようになると予測している。そして，バイオ燃料の利用拡大に向けた各国の政策が，エネルギー作物増産に伴う生物多様性・水不足・土壌汚染，温室効果ガスの増加，バイオ燃料消費拡大に伴う食糧価格の高騰などの問題を指摘している。

バイオ液体燃料がカーボンニュートラルであっても，その生産の過程で森林破壊，土壌侵食，農薬の過剰投入などの環境悪化が引き起こされれば，グリーン燃料としての効果を相殺してしまう。つまり，バイオ燃料開発に伴う環境への影響を踏まえたうえで，バイオ燃料の有効性を検証することが，政策意思決定の上で重要となる。実際，土地利用変化，温室効果ガスの排出に着目し，バイオ燃料の環境への影響を総合的に検証しようとする研究成果が発表されるようになった。

例えば，先の国連による2007年報告では，天然の草地がトウモロコシ畑や大豆畑となって，化学肥料や農薬が投入され，バイオ燃料の精製に石油や天然ガスが使用されると，ライフサイクルを通じての温暖化への影響は化石燃料よりも大きいと指摘している。

実際に，ブラジルのサトウキビ畑の拡大は草地で起きており，今後の見通しとして，サンパウロ・サトウキビ生産者連盟は，現在のブラジルの草地の３分の１に当たる１億ヘクタールが今後15年のうちにサトウキビ畑に変わるという。また，インドネシアのパームオイル農場は，熱帯雨林の伐採による泥炭地の排水から造成が始まり，これが二酸化炭素の大量の排出源となるのみならず，乾季に発火して，近隣諸国にまで大量の煤煙被害をもたらしているという[11)]。

OECDの2007年の持続可能なラウンドテーブルに提出された報告にも，総合的な環境への影響を指標化する試みが紹介されている。ここでは，環境影響指標（Indicator for Environmental Impact），すなわち人体への影響，エコシステム，天然資源の枯渇を指標化を試算し，26種類のバイオ燃料用のエネルギー作物を対象として，温室効果ガスの削減効果を比較検証している。この結果，リサイクルされた調理用の廃油と木質バイオマスから生産されたバイオ燃料はガソリンと比較して環境への影響が良いが，トウモロコシを原料とするバイオエタノールおよびバイオディーゼルは環境への悪影響が大きいと結論付けている[12)]。

Searchinger *et al.*（2008）では，エネルギー作物生産のための土地利用の変化に着目し，世界の農業生産をモデル化して温室効果ガスの排出量を積算している。つまり，燃料用の作物栽培のために，土地や草地を農地として開墾することを踏まえると，トウモロコシを原料としたバイオエタノールを使用し，化石燃料と代替して使用すると，今後30年間にわたり，温室効果ガスの排出量がほぼ倍になり，スイッチグラスでさえ，温室効果ガスの排出量が50%増加するとした。そして，この結果から，大量のバイオ燃料生産に対して懸念を表明している。

この他，土地利用に着目し，二酸化炭素排出量の増減を試算した研究成果としては，Fargione *et al.*（2008）がある。ここでは，ブラジル，東南アジア，米国でエネルギー作物生産のために熱帯雨林，泥炭地，サバンナ，草原を開墾した場合，化石燃料をバイオ燃料に代替することによって削減される温室効果ガスより，17倍から420倍の二酸化炭素が排出されるため，バイオ燃料の炭素負債（biofuel carbon debt）が発生する。他方，廃棄物系バイオマスとやせた農地に植えられた多年草からバイオ燃料を作成する場合は炭素負債がほとんど，あるいは全く発生しないために有効であると指摘している。

⑵ バイオ燃料の環境影響評価

バイオ燃料の生産のためには，当面，第二世代といわれる稲ワラなどのセルロース系の原料ではなく，エネルギー作物（農作物）を主たる原料とせざるをえない。そこで，エネルギー作物増産のための農地拡大が，森林破壊，他の農産物からの転作，農産物の価格高騰などエネルギー作物と食料・飼料作物との競合が懸念されている。

さらに，生産されるバイオマスは，広範囲にわたって分散して存在し，容積も大きいために収集運搬費用が大きく，収集運搬エネルギーも必要となるため，バイオ燃料の転換効率は，収集運搬や燃料加工の技術に依存する。したがって，バイオ燃料を大量生産しようとすれば，①エネルギー作物を収集運搬する技術，②燃料化の迂回生産の過程で追加的に投入されるエネルギーと温室効果ガスの排出が問題になる。

ここで，バイオ燃料生産のために，バイオマスなど再生可能エネルギーを用いることも，理論上は可能である。しかし，再生可能エネルギーは，バイオ燃料の生産に際して，主たるエネルギーではなく，大半は，電力も含め，石油・石炭など化石燃料の投入によっている。また，再生可能エネルギーを投入したバイオ燃料生産は，そもそも投入した再生可能エネルギーが投入されるべき他部門の化石燃料消費を増大させていることになる。化石燃料と再生可能エネルギーは，代替的であるから，生産工程の差異ではなく，投入エネルギーの差異も同時に計測す

ることで，バイオ燃料生産の環境影響評価の識別が煩雑，困難になってしまう。したがって，温室効果ガスの排出ではなく，エネルギー投入を議論することで，バイオ燃料の環境影響評価を測定することが適切である。つまり，炭素収支ではなく，エネルギー収支に議論を集約して，ライフサイクルアセスメント（LCA）に基づいて，バイオ燃料の有効性を検証することとする。

バイオ燃料のエネルギー収支を巡る先行研究をみると，エネルギー収支の大きさ，プラスかマイナスかという点で，差異があり，専門家・研究者の間でも意見が分かれるところとなっている。もちろん，バイオ燃料の存在は古くから知られており，菜種油，パーム油のように，20世紀以前から産業化されているものもあった。しかし，バイオ燃料をガソリンに代わる運輸燃料として使用するようになったのは，石油ショックの時期からである。当時，石油の代替エネルギーとして，エネルギー安全保障の視点から，トウモロコシを利用することが効率的かどうか検討された。そして，1992年の地球サミット以降，地球温暖化対策として再生可能エネルギーが，広く注目を集めるようになり，エコビジネスとしてのバイオ燃料の生産・投資，アグリビジネスによる農村振興という目的も加えて，議論されるようになったのである。

⑶ バイオ燃料のエネルギー収支

バイオ燃料の利用拡大を目指して，利用比率の目標設定や税制措置をとるなどの政策が進められているが，エネルギー作物の栽培・燃料化の迂回生産過程で，追加的にエネルギーが必要になる。そこで，投入したエネルギーと入手できるエネルギーの差異，すなわちエネルギー収支（Net Energy Value）を検証する必要がある。

例えば，バイオアルコール生産に費やしたエネルギーに加えて，バイオマスとなる植物の栽培，流通，発酵，蒸留に要するエネルギーも支出（借方）となってくる。エネルギー収支がマイナス（赤字）であれば，バイオ燃料化の地球温暖化への寄与は相殺されてしまう。

ブラジルでは，サトウキビからエタノールを生成する。しかし，このサトウキビ由来のバイオ燃料は，エネルギー作物だけではなく，農業廃棄物の有効活用の側面も大きいと考えられる。なぜなら，サトウキビの絞りかすであるバガスを燃料とし，エタノール生産に投入し，余剰エネルギーを容易に生み出しているからである。

他方，農業廃棄物のバガスではなく，トウモロコシにエネルギーを投入してバイオ燃料に変換しても，余剰エネルギーが生まれるとする研究も多い。例えば，米国農務省の1995年の研究では，トウモロコシ由来のエタノールのエネルギー収支（Net Energy Balance）を試算し，余剰エネルギー比率（投入エネルギーに対する産出エネルギーの比率）を34%とした。

米国農務省の Shapouri *et al.*（2004）では，2001年のデータを使って，1ガロンのエタノールの生産に4万5,802Btu （Btu ＝ 1ポンドの水の温度を華氏度で1度上げるのに必要な熱量のエネルギー，253cal 相当）が必要であるが，生成エタノールが生み出すエネルギーは7万6,330Btu であり，エネルギー収支は3万528Btu に相当するとした（表9参照）。トウモロコシ由来のバイオエタノールのエネルギー産出・投入の比率，すなわち余剰エネルギー比率は40%になると結論している。この5年間でエネルギー効率がほぼ2倍に高まっているのは，技術革新のためであり，バイオエタノール生産を奨励する米国のバイオ燃料開発政策の正当性を主張

表 9　トウモロコシ生産に伴うエネルギー収支

	Shapouri *et al.* (2004)		Pimentel and Patzek (2005)	
	Btu/gal	構成比（%）	Btu/gal	構成比（%）
トウモロコシ生産	18,713	100.0%	37,890	100.0%
化学肥料生産	10177	54.4%	15333	40.5%
化石燃料・電力	6,474	34.6%	6,733	17.8%
農薬生産	1,106	5.9%	4,202	11.1%
農業機械	-	0.0%	4,753	12.5%
灌漑	-	0.0%	1,494	3.9%
エネルギー控除	-26,251		-6,685	
エタノール生産	49,733		56,441	
総エネルギー投入	45,802		92,482	
エネルギー産出	76,330		76,330	
エネルギー収支	30,528	40%	-16,152	-21%

注）トウモロコシ由来のエタノール生産に伴って，エタノール以外の生産物にもエネルギー投入がなされている。そこで，エネルギー控除は，これを差し引いているのでマイナスとなる。エネルギー収支の構成比は，トウモロコシ運搬に要したエネルギーも含めたエタノールの余剰エネルギー比率。

出所）MathPro（2005）table 2より作成。

したのである[13)]。

他方，米国農務省の研究結果とは逆に，米国コーネル大学からは，エタノールの製造によってエネルギー・ロスが生じることを複数の研究で一貫して主張している。Pimentel and Patzek（2005）は，1ガロン相当のエタノール生み出すためにトウモロコシ生産に，化学肥料1万5,333Btu，化石燃料6,733Btu など合計3万7,890Btu のエネルギー投入が必要である。そして，トウモロコシからエタノールを生成するために熱，電力など5万6,411Btu のエネルギー投入も必要であるが，エタノール以外の生成に要するエネルギー6,685Btu を控除すると，トウモロコシ由来のエタノール生産に要した総エネルギー投入は9万2,482Btu と試算できる。エタノール1ガロンのエネルギー産出は7万6,330Btu であるから，エネルギー収支は差し引き1万6,152Btu のマイナスとなると結論した。

バイオエタノール生産のエネルギー収支がマイナスであることから，バイオ燃料生産には，大量の化石燃料が必要となり，米国の石油や天然ガスの輸入増大につながり，エネルギー安全保障・農業・経済・環境の上で利益にならないことになると，批判されるのである。そして，30億ドルのバイオ燃料生産に対する米政府の補助金は，水・大気・土壌の環境汚染を招くだけであり，補助金は農家ではなく，エタノール生産企業のためのものだとした。

エネルギー収支の試算方法は，米国農務省の Shapouri *et al.*（2004）では9州のデータを利用していたが，Pimentel and Patzek（2005）は全米50州のトウモロコシ生産のデータを用いており，農産物の生産には除草剤と化学肥料の生産に加えて，農耕機械の稼動，灌漑，粉砕，農産物の輸送，発酵，蒸留といった要素が加味されている。その結果，1ヘクタール当たりのトウモロコシ生産とトウモロコシから生産されるエタノールの経費およびエネルギー投入を試算し，バイオ液体燃料の有効性が否定されたのである[14)]。

エネルギー収支に関する先行研究を時系列的に整理すると，専門家の間でも，エネルギー収支はプラス，マイナスと定まらず，バイオ燃料の有効性については意見がわかれている（図1参照）。米国農務省の研究チームは，こうした意見の相違の主たる原因は，①米国のトウモロ

コシ生産の生産性が向上している，②エタノールの生産・製造で使用される技術が省エネ化している，③どの期間のデータを利用するかによって，トウモロコシ生産とバイオ燃料化技術が大きく異なる，という点にある，とする。しかし，米国農務省の試算には含まれていない事項，すなわちトウモロコシ生産に伴う農業機械，灌漑のエネルギー消費を含めれば，トウモロコシ生産に投入されるエネルギーは大きくなる。また，米国農務省は，エタノール生成に必要な電力，水供給をLCAに含んでいないが，これらを含めれば，エタノール生産過程に投入されるエネルギーは大きくなる。つまり，エネルギー収支の大きさは，技術だけではなく，LCAの範疇に依存するところが大きいといえる。

バイオ液体燃料の最大の問題は，エネルギーを固体から液体に変換する工程に追加的エネルギーを投入していることである。エネルギー収支がプラスなのかマイナスなのかを巡る論争は，トウモロコシ生産とそこからエタノールを生成する過程，技術というよりも，LCAの範疇に依存している。バイオ燃料生産のためのエネルギー投入に関するエネルギー収支の研究結果には，エネルギー作物生産に伴う森林や草地の農地への転換が，森林破壊，土壌侵食，生物多様性への影響，食料・飼料との競合を引き起こす点が考慮されていないという環境影響評価の問題もある。

国連が2007年５月に発表した報告書「持続可能なエネルギー：政策決定のためのフレームワーク」では，バイオ燃料開発の経済的・環境的・社会的な影響が十分に評価されていなければならないと警告し，エネルギー作物が生長し収穫されバイオアルコールに変換される全工程で環境基準に合致することを保証できるように，国際認証制度の必要性を提言した。つまり，バイオ燃料の開発には，環境悪化の可能性があるために，新たな基準で，持続可能性を保障しようという提言である。

⑶ クリーン開発メカニズムによるバイオ燃料の開発

先行研究をみると，バイオ燃料が環境に悪影響を与えていることを示唆する成果が発表されるようになったが，先進工業国の資金・資本を活用して，開発途上国におけるバイオ燃料開発を促進する計画も，批判を受けることなく，進んでいる。

日本では，京都議定書に明記されたクリーン開発メカニズム（CDM）により，バイオ燃料の生産プラントをブラジルで設立し，国内では，バイオ燃料の普及に向けた目標を掲げている。しかし，エネルギー収支の議論を踏まえると，バイオ燃料の貿易は，マイレージの観点からエネルギー・ロスを発生させるため，エネルギー収支を一層悪化させ，地球温暖化対策には貢献しない側面が指摘できる。

2006年７月末時点で，地域別バイオマスCDMプロジェクトは，インド48%，ブラジル30%，アジア（インド以外）11%，中南米（ブラジル以外）９%である。これはサトウキビの絞りかす（バガス），籾殻，パームヤシ絞り粕を燃料としたバイオマス発電が主流であるが，将来的には，バイオマス液体燃料化への進出も考えられる[15)]。

つまり，バイオ燃料開発には，マイナスのエネルギー収支の可能性，環境悪化の可能性が残されており，安易にバイオ開発を進めることには，大きなリスクがある。バイオ燃料開発に伴

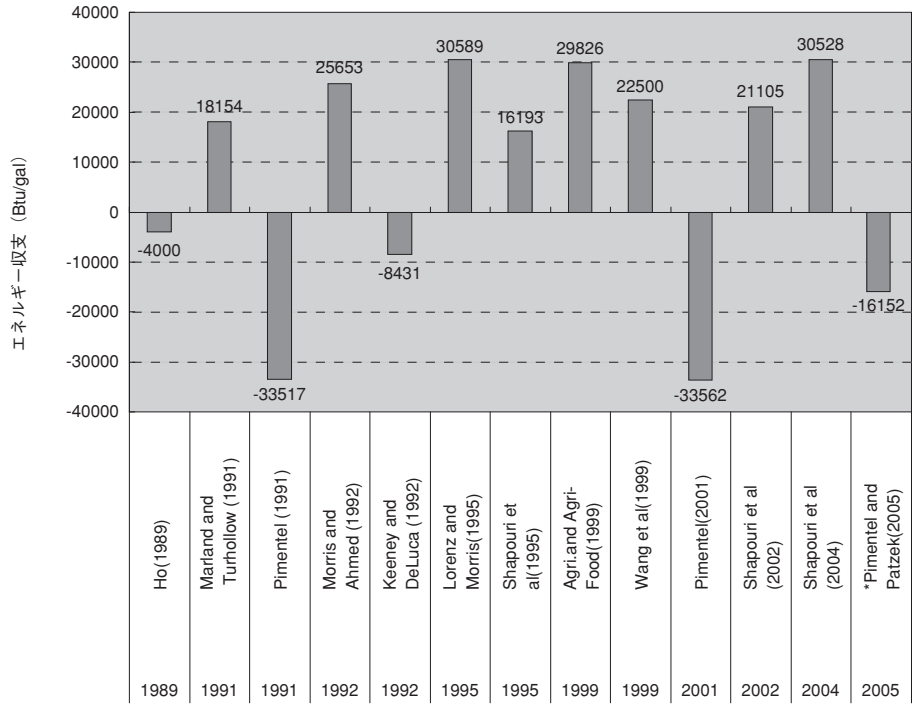

図1　エネルギー収支の先行研究の時系列比較

注）生成1ガロン当たりのBtu（1ポンドの水の温度を華氏度で1度上げるのに必要な熱量のエネルギー，253cal相当）。
出所）Shapouri (2002)，MathPro（2005）より作成。

うエネルギー収支，温室効果ガス削減の効果を計算する試み，環境への影響評価の試みは始まったばかりで，安易に結論は出せないが，世界的にブームを巻き起こしているバイオ燃料開発が，化石燃料に代替されたとしても，地球環境にとって望ましくない可能性が十分残っていることは確かである。

バイオ燃料の環境への悪影響や懸念が国際機関や専門家の間から指摘されるようになっている情勢を踏まえると，バイオ燃料開発政策が地球環境保全に有益か否かを再検討すること，バイオ燃料を生産するに当たっては，エネルギー収支がマイナスにならないための技術開発および国連が提唱するように環境基準の策定が必要不可欠であると結論できる。

3. 伝統的バイオマス利用の効率性

先進工業国では，先端技術を用いた再生可能エネルギーという位置づけがなされているバイオ液体燃料の開発には，エネルギー作物の増産に伴って，森林破壊など環境への悪影響，食料・飼料作物との競合による価格騰貴などの問題が危惧される。そして，バイオ燃料には，エネルギー作物を収集運搬，加工するために，化石燃料の投入が不可欠であり，それを踏まえれ

ば，エネルギー収支は，マイナスになる可能性が残っている。また，バイオマス発電についても，同様に，技術（エネルギー収支と転換効率）が，廃棄物，バイオマスの収集運搬エネルギーの上で，問題になる。つまり，バイオ燃料だけではなく，先進工業国における高度な技術を用いたバイマスエネルギー開発は，環境制約，エネルギー収支，エネルギー転換効率の上から，「地球に優しい」は保証ない。

他方，世界のバイオマスの利用状況を見ると，開発途上国における薪炭，農業廃棄物，家畜の糞尿といった固形バイオマスの直接燃焼利用が中心となっている。実際，再生可能エネルギーの利用（消費）は，発電以外に，直接利用される非商業エネルギー消費，特に自家消費分を含めると，先進工業国よりも開発途上国のほうが多い。開発途上国の再生可能エネルギーの中心は，8.2億トンを占める薪炭・農業廃棄物・家畜の糞など固形バイオマスである。そして，この伝統的バイオマスの利用は，労働集約的であり，エネルギー収支がマイナスになることはない。木質を中心とした固形バイオマスを人力あるいは家畜を用いて収集運搬し，直接燃焼して熱回収すれば，利用に伴うエネルギー投入はゼロである（写真４参照）。したがってエネルギー収支は常にプラスになり，再生可能エネルギーというにふさわしい。換言すれば，伝統的バイオマスの利用形態を踏まえたバイオマス開発が議論されるべきである。

薪採取は熱帯林減少の要因となることもあるが，地域コミュニティでは，柴，枝，倒木・枯れ木を利用しており，樹木を根元から伐採するわけはない。切られた枝は再生し，利用は持続可能である。他方，樹木を腐敗させれば，CO_2が発生するから，バイオマスをエネルギーに変換したほうが，化石燃料の消費抑制につながる。木炭も薪を原料として生産されるが，薪に比して軽量で運搬に便利で，火力の調整も容易なため，薪よりも木炭のほうが，エネルギー効率が高い。

開発途上国におけるバイオマスエネルギーの直接燃焼利用の問題は，エネルギー利用効率の改善である。エネルギーの利用効率を改善できれば，バイオマス消費節約にも寄与できるからである。しかし，開発途上国の地域コミュニティでは，閉鎖式のコンロ・調理場以外にも，薪炭で煮炊きをする際，３個の石を並べた炉，鉄棒を湾曲させて作った炉で行う場合が多い（写真５参照）。これでは，空気と火力の調整が難しく，本来，バイオマスから取り出すことができる熱量よりも少ないエネルギーしか利用できない。つまり，エネルギー転換率が低くなってしまう。そこで，粘土やコンクリートによって，エネルギー転換率の高いコンロを配布し，薪炭を節約する（写真６参照）。米国援助庁は1980年代から途上国の薪炭生産用のアグロフォレストリー，改良コンロ，バイオガス回収利用などの実用性を調査し，改良コンロの設計・試作も行った[16]。

さらに，バイオマスをエネルギーとする以外の利用方法も考慮すべきである。畜産排泄バイオマスは，悪臭，水質汚染などの問題があるが，これをガス化して，「クリーンエネルギー」とするには，家畜の糞尿を収集するエネルギー，施設建設とガス生成のエネルギー投入が必要となる。それを踏まえれば，畜産排泄は，バイオガスとするよりも，堆肥として活用したほうが有効性が高いとも考えられる（写真７参照）。バイオマスが再生可能エネルギーとなるのは，エネルギー収支がプラスになるときに限られる。バイオマスの伝統的利用形態は，バイオエネ

ルギー，堆肥，林産物生産など多様であり，それを再評価することで，バイオマスの有効利用の選択肢が拡大すると考えられる。

つまり，バイオマスの利用効率を高めるには，地域コミュニティの実状に見合った安価な中間技術を開発し，それを普及することが重要である。また，途上国では，自然エネルギー，バイオマスエネルギーなど自然条件，農業，森林を活かしたエネルギーを有効活用する余地が地方で大きく，発電だけでなく，民間部門，特に家計における調理・炊事・暖房用燃料として利用することが重視されるべきであろう。

4. 結論

エネルギーの安全保障や地球温暖化対策のためには，世界の国々が化石燃料の利用を減らし，再生可能エネルギーへの代替を促進することが必要となる。そこで，バイオマス液体燃料化が，政策的な後押しされ，民間資本も参入したバイオ燃料市場の拡大というエコビジネスとして認識されるようになった。これは，2007-2008年の農作物への投機資金の流入，農産物価格の上昇を引き起こしたが，バイオ燃料化自体を批判的に扱うものではない。市場における自由な取引，投資がもたらす価格上昇は，農産物の希少化を反映しており，農産物の効率的利用を進める傾向を持つ。食料にしても，畜産物生産に伴う飼料のカロリー損失は，食材の高級化によって増大してきたが，この損失は，農産物価格の高騰によって減少する。したがって，バイオ燃料開発のより根本的な問題は，エネルギー収支と，農産物の生産増加が，環境負荷をもたらす可能性である。

先行研究をみても，バイオ液体燃料化には，作物を栽培，運搬，蒸留するなどの過程で投入されるエネルギーに加えて，作物生産のための農業機械や灌漑整備に必要となる間接的なエネルギーの投入を考慮すると，環境への影響はカーボンニュートラルという特性を相殺する可能性を含んでいる。したがって，民間ベースで，ビジネス展開をすることの是非は問えないが，政策ベースで補助金や税制上の優遇をする必要があるかという点では，疑問がある。環境負荷を低減するはずだったバイオ液体燃料化が，エネルギー収支の上で，マイナスとなり，炭素収支の上で，環境負荷をもたらす可能性が高い。つまり，バイオ液体燃料化に対する補助金や税制上の優遇は，正当化できなくなる。

バイオマスエネルギーは，伝統的な柴，薪，農業廃棄物など固形バイオマスの直接利用（燃料）が，最もエネルギー収支の上で，効率的である。したがって，木質固形バイオマスを利用している開発途上国の貧困世帯に対して，バイオマスをいっそう効率的に利用する方法，例えば，熱効率のよい調理器具・コンロの開発・普及といった，従来の草の根援助のほうが，環境負荷の低減には有効なのではないかとも考えられる。



写真 4　農地での稲ワラの採取・運搬；家屋近くで飼育する牛・豚など家畜の排泄物（畜産バイオマス）を堆肥として農地に運搬し，その帰りに，農地で乾燥させた稲ワラを燃料用に自宅に運搬する。貴州省黎坪県2006年 3 月筆者撮影。



写真 5　バイオマスを利用する閉鎖式の炉（コンロ，ストーブ）；薪を炉の背後からくべて，大きな鍋を加熱し，調理する。このような閉鎖式の炉は，開放型のものより放熱量が少なく，調理の熱利用効率は高い。四川省丹巴県2007年 4 月筆者撮影。



写真 6　バイオマスを利用する開放式の炉（コンロ，ストーブ）；金属製の三脚の上に鍋を置いて，その下に薪をくべる。最初の炊きつけは，燃えやすい乾燥したスギの葉を小枝とともに使う。室内でのバイオマス燃焼は，暖房には便利であるが，室内空気汚染に繋がる。貴州省黎坪県2006年３月筆者撮影。



写真 7　畜産排泄の堆肥利用；糞尿をバイオガス化することは可能であるが，そのためには，糞尿を収集するエネルギー，施設建設とガス生成のエネルギー投入が必要となる。それを踏まえれば，畜産排泄は，バイオガスとするよりも，堆肥としたほうが有効性が高いとも考えられる。四川省丹巴県2007年４月筆者撮影。

注

1）バイオマス燃料関連のニュースは，http://dailynews.yahoo.co.jp/fc/science/bioethanol/ 参照。北林（2007）は，「バイオ燃料ラッシュ」として，巨大資本のバイオ燃料ビジネスへの参入とそれを後押しする各国政府の助成策を，具体的事例をもって説明しつつも，バイオ燃料は現代の黄金ではないと指摘している。

2）当初の「バイオマス・ニッポン総合戦略」は，農林水産省（http://www.maff.go.jp/j/biomass/index.html）参照。

3）バイオマス賦存量の推計は，NEDO データベース（http://app1.infoc.nedo.go.jp/）参照。バイオ燃料は，従来にはない新技術によって開発された新エネルギーとして，新鮮な印象を与えているが，バイオマスエネルギーのごく一部を占めているに過ぎない。NEDO では「牛 3 頭 1 日分の糞尿で，1 家庭の 1 日分の電力がまかなえる程度の発電が可能ですし，サトウキビ 1 トンで自動車の燃料にも使えるエタノールが 0.2 トンできます。」と述べている（http://app2.infoc.nedo.go.jp/kaisetsu/egy/ey03/index.html#02）。しかし，汚い糞尿，燃えカスや搾りかすの残るサトウキビなどバイオマスエネルギーは，手を汚すという意味で「クリーンエネルギー」ではない。また，バイオ燃料化にも加工エネルギー消費が伴うために，バイオ燃料の利用普及がエネルギー需要の充足にどこまで寄与できるかは，疑問も残る。

4）バイオマス・ニッポン総合戦略（2002 年 12 月 27 日閣議決定）は，2006 年 3 月末をもって廃止され，同日閣議決定された新たな「バイオマス・ニッポン総合戦略」（http://www.maff.go.jp/j/biomass/pdf/h18_senryaku.pdf）に取って代わった。

5）坂他（2001）によれば，日本の森林やエネルギー作物からのバイオマスは年間賦存量 1 億 3,000 万トン，廃棄物関連バイオマスは 2 億 4,000 万トンで，バイオマス総量は，年間 3 億 7,000 万トンと推定されている。そして，バイオマス総量の 20%相当の 7,700 万トンが利用可能となれば，二酸化炭素換算で 1 億 2,700 万トンと，1997 年の二酸化炭素排出量 12 億 3,100 万トンの約 10%を節減できるという。

6）ローカル・コモンズでのバイオマス利用，薪採取などバイオマスエネルギーの利用は，鳥飼（2007）第 7 章参照。

7）京都議定書目標達成計画 （20005 年 4 月 28 日 策定）は，www.kantei.go.jp/jp/singi/ondanka/kakugi/080328keikaku.pdf -html 参照。2004 年から，市町村が中心となって域内廃棄バイオマスを，炭素量換算で 90%以上又は未利用バイオマスを炭素量換算で 40%以上利用するシステム作りを目指し，バイオマスタウンの構築を推進している。2006 年 3 月段階で，35 地域の構想が公表されている。

8）バイオマス・ニッポン総合戦略にも各国のバイオ燃料政策が紹介されており，日本もそれを踏襲している。

9）米国のエネルギー法は，ホワイトハウス（http://www.whitehouse.gov/news/releases/2007/12/20071219-1.html），在日米国大使館（http://tokyo.usembassy.gov/j/p/tpj-20080128-76.html），海外駐在員情報（http://lin.lin.go.jp/alic/week/2008/us/us20081227.htm）を参照。各国のバイオ燃料政策は，内多（2007），田中（2007），北林（2007），岩松（2007），稲田（2006），参照。

10）運輸用のバイオ燃料は，英交通省（http://www.dft.gov.uk/pgr/roads/environment/rtfo/faq）参照。

11）ブラジルのサトウキビ農園，インドネシアのパームオイル農園の事例については，北林（2007）参照。

12）この報告書は「持続可能な開発に関するラウンドテーブル」の議長の責任で用意されたものであり，ここでの意見は，OECD と OECD 加盟国の公式見解を反映するものではないと前置きしている。他方，日本の農林水産省が 2008 年末に決定した方針でも，食料とバイオ燃料の両立優先を呼び掛けるとしており，バイオ燃料自体の問題点には言及していない。

13）日本のエネルギー収支の試算は，佐賀・横山・芋生（2007）参照。ハイテク未来型農業は，気象観測衛星を利用したリモートセンシング，工場での作物栽培など，いずれもエネルギー投入が不可欠である（読売新聞 2008 年 10 月 15 日参照）。

14）米国農務省の研究では，米国 9 州（IL，IN，IA，MN，NE，OH，MI，SD，WI）の平均データを用いて，トウモロコシ生産・運搬，エタノールへの転換，エタノール輸送の過程で必要となるエネルギーの投入量（1 ガロン当たりの Btu）を試算し，エネルギー収支の割合を算出している。

15）バイオマスエネルギー関連の CDM は，岡田（2006）参照。

16）鳥飼（2007）第 7 章参照。

参考文献

Daschle Tom, Runge Ford C and Senauer Benjamin (2007) “Food for Fuel?” *Foreign Affairs September*/October 2007

Doornbosch Richard and Steenblik Ronald (2007) “Biofuels: Is the Cure Worse Than The Diesease?” (http://www.cfr.org/publication/14293/oecd.html) The document presented to Round Table on Sustainable at the OECD on 11-12 September, 2007 at Paris

Fargione Joseph, Hill Jason, Tilman David, Polasky Stephen, Hawthorne Peter(2008) “Land Clearing and the Biofuel Carbon Debt” *Science* Vol.319 29 Feb.2008

Goldemberg Jose and Coelho Suani T. (2004) *Renewable Energy-Traditional Biomass vs. Modern Biomass*, Energy Policy

IEA (2006) *World Energy Outlook 2006*

IEA/OECD (2007) *Energy Balance of Non OECD Countries 2004-2005 2007Edition*

Lorenz David and Morris David (1995) How Much Energy Does It Take to Make a Gallon of Ethanol? (http://www.carbohydrateeconomy.org/library/admin/uploadedfiles/How_Much_Energy_Does_it_Take_to_Make_a_Gallon_.html)

MathPro (2005) “The Net Energy Value of Corn Ethanol: Is it positive or negative?” MathPro Inc. Maryland

Pimentel David and Patzek Tad W.(2005) “Ethanol Production Using Corn, Switchgrass, and Wood; Biodiesel Production Using Soybean and Sunflower”, *Natural Resources Research* Volume 14, Number 1

Pimentel David and Patzek Tad W.(2007) “Ethanol Production: Energy and Economic Issues Related to U.S. and Brazilian Sugarcane”, *Natural Resources Research*, Volume 16, Number 3

Scharlemann Jorn P.W. and Laurance William F. (2008) *How Green are Biofuels*? Science Vol.319 4 Jan.2008

Searchinger Timothy, Heimlich Ralph, Houghton R.A., Dong Fengxia, Elobeid Amani, Fabiosa Jacinto, Tokgoz Simla, Hayes Dermot, Yu Tun-Hsiang (2008) “Use of U.S. Croplands for Biofuels Increases Greenhouse Gases Through Emissions from Land-Use Change”, *Science*, Vol.319 29 Feb.2008

Shapouri, Hosein James A. Duffield, and Michael S. Graboski(1995) “Estimating the Net Energy Balance of Corn Ethanol:An Economic Research Service Report” *Agricultural Economic Report* No. 721 United States Department of Agriculture

Shapouri Hosein, Duffield James A and Wang Michael(2002) “The Energy Balance of Corn Ethanol: An Update”, United States Department of Agriculture, Office of the Chief Economist, *Office of Energy Policy and New Uses Agricultural Economic Report*, Number 814

Shapouri Hosein, Duffield James, McAloon Andrew, Wang Michael (2004) “The 2001 Net Energy

Balance of Corn-Ethanol", *Proceedings of the Conference on Agriculture as a Producer and Consumer of Energy*, Arlington, VA., June 24-25.

United Nations (2007) *Sustainable Bioenergy :A Framework For Decision Makers*

朝野賢司，美濃輪智朗（2007）『日本におけるバイオエタノールの生産コストと CO_2 削減コスト分析』AIST/BTRC DISCUSSION PAPER

稲田雄二（2006）「バイオエタノールをめぐる世界の動き」『産業と環境』第 37 巻第 1 号通産 422 号

岩松邦郎（2007）「世界経済におけるバイオ燃料の可能性」『世界経済評論』2007 年 11 月号

内多允（2007）「食料政策に波紋を投じたブラジル・米国のエタノール外交」『季刊 国際貿易と投資』2007 年夏第 68 号

岡田菊子（2006）「バイオマス活用事業による CDM の可能性」『産業と環境』第 37 巻第 1 号通産 422 号

北林寿信（2007）「バイオ燃料は現代の黄金か－その爆発的拡大への数々の懸念」『世界』2007 年 10 月，岩波書店

坂志朗他（2001）『バイオマス・エネルギー・環境』アイピーシー

佐賀清崇・横山伸也・芋生憲司（2007）「稲作からのバイオエタノール生産システムの エネルギー収支分析」『エネルギー・資源』第 29 巻第 1 号

田中信世（2007）「EU のバイオ燃料政策」『季刊 国際貿易と投資』2007 年冬第 70 号

鳥飼行博（2007）『地域コミュニティの環境経済学－開発途上国の草の根民活論と持続可能な開発』多賀出版

Abstract

The Energy Efficiency of Biofuel
—— Biomass energy is harmless to the environment ? ——

Yukihiro Torikai and Masao Manjome

One of the way to compare the sustainability or energy efficiency of each fuel is to calculate the life cycle assessment for BTU's . Then we have to make an adjustment for the energy efficiency of the product of bio-fuel itself.

Consumption of renewable energy in Japan has less than 1% of the total consumption and the United States has about 6%, although consumes approximately 25% of global energy supply.

According to the IEA and OECD, the contribution of renewable energy including solid biomass energy to world energy supply in 2005 was over 1146 million of oil equivalent or just 10% of energy supply at that time while biofuels are no doubt an interesting alternative energy resource. However, global biomass energy supply in developing countries was more than that in developed countries and was almost 17% of the world's total energy supply in 2005.

Biofuel is any fuel that is derived from recently living organisms or their metabolic byproducts, such as and manure from animals or biomass. It is a renewable energy source and has the carbon neutrality when it burns, unlike other natural resources such as petroleum, coal, and natural gas, because biomass is a form of stored solar energy during it's growing. The solar energy is captured through the process of photosynthesis in increasing biomass. Hence the advantage of biofuel over most other energy is that it is biodegradable, and relatively harmless to the global environment if spilled.

Agricultural products such as sugar cane, corn, soybeans and palm oil are able to be used as a biofuel in the world. In developing countries biodegradable outputs from agriculture, forestry and households can be used; examples include straw, fire woods, rice husks, sewage, biodegradable waste, and food leftovers without adding energy. In the other hand, in developed countries they are converted to biofuel or biogas through anaerobic digestion consuming energy.

Today much research is being done about the use of micro algae as an energy source, with applications for biodiesel, ethanol, methanol, methane from biomass. And threefold increase in the price of corne or other crop has made it financially impossible for some refineries to continue producing biodiesel.

Different studies offer an overview of the energy efficiency of biofuel production. Production of biofuels from raw materials requires energy for farming, transport and conversion to final product. Some opportunistic studies put the energy balance for ethanol as high as 2.62, meaning that you get over two-and-a-half times as much energy out of the ethanol fuel as you put into it to produce it although several studies have shown an energy balance of less than 1.0 for ethanol. This varies greatly for example in the US and other farmers use much more oil to power their

equipment than farmers in Brazil. Also studies on the energy balance of these fuels show large differences depending on the biomass feedstock used. For some biofuels like ethanol made from corn the energy balance may even be negative.