

自然界における生物資源の総合評価と効率的利用技術

—— バイオマス変換計画 ——

速 水 昭 彦

(農林水産技術会議事務局)

Integrated Evaluation of Biological Resources in Nature and
its Effective Utilization

Akihiko HAYAMI

(Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council Secretariat)

1 バイオマス変換計画の背景と必要性

1800年には9億と推定された世界の人口も、現在44億、今世紀末には65～70億へと急速な人口増加が予測されている。ごく単純に考えても今世紀中にはばく大な量のエネルギー供給や食糧生産が必要となる。しかし、地球上におけるエネルギー、食糧たんぱく、工業原料などの諸資源に有限性が見えはじめている。石油、天然ガス、石炭は太古の生物により太陽エネルギーから合成されたもので、濃縮された有機物、エネルギー資源であり、これらの資源はいずれは枯渇する運命にある。われわれは世界人口の急激な増大とあわせてグローバルにその絶対量の不足問題に対する対応策を真剣に考えていく必要がある。

石油危機に代表される世界的な資源枯渇の問題がクローズアップされている現況下では、従来の化学燃料依存型技術とは異なる新しい産業技術の開発が要求されている。現在、石油に代わり得るエネルギーの開発が世界各国で重大な問題として取り上げられ、このため石炭の見直し、原子力開発をはじめ、太陽エネルギー、水力・風力などの自然エネルギーの開発が盛んに進められている。更に、生物資源(バイオマス)の利用についてもにわかに各方面の関心が高まってきている。

このように、資源・エネルギーの問題、環境汚染の問題、食糧問題など、人類の生存と繁栄にかかわる複雑、かつ困難な問題が続出している中で、これらの問題に対応し、生活の質的向上に貢献する革新的技術の開発が強く望まれている。

日本は戦後、第二次、第三次産業を中心に急速な発展をとげ、高度に発達した経済社会を形成しているが、産業や経済活動の基盤となるエネルギーや原材料、食糧、飼料などの資源は、大部分を海外に依存している状況である。日本の現在の資源自給率は、エネルギーが約15%、飼料が30%前後、木材が約30%強に留まっている。したがって、将来の日本をめぐる資源・エネルギーの情勢は非常に厳しいものになることが予想される(表-1,2)。

表一 資源・エネルギーの自給率各国比較

区 分	イギリス	西ドイツ	フランス	アメリカ	日 本
穀 物	77	96	170	162	33
食用穀物	74	106	197	218	69
飼料穀物	79	81	152	152	2
豆 類	81	17	69	142	7
野 菜	79	33	93	99	97
果 実	23	41	72	95	81
牛乳・乳製品	71	86	92	97	80
卵 類	100	77	97	102	98
飼 料	85	71	89	—	29
濃厚飼料	55	41	62	—	16
用 材	9	61	85	105	36
エ ネ ル ギ ー	97	46	27	86	16

- 注. 1. 資料は農林水産省「食料需給表」「飼料需給表」、OECD「Food Consumption Statistics」、EC「Food Blance Seet」、FAD「Yearbook of Forest Products」より。
 2. 日本の穀物、食用穀物自給率は米の需給均衡を前提とした。
 3. 飼料は可消化粗たんぱく質に換算したものである。
 4. 日本における食料・飼料は1980年度値であり、その他の国は1978年度値である。
 5. 用材は1977年度値である。
 6. エネルギーは1980年度値である。
 7. エネルギーは水力、地熱、原子力、天然ガス、石炭、石油の合計である。

表二 我が国における長期エネルギー需給見通し

区 分	昭和55年度(実績)		昭 和 65 年		昭和75年(試案)	
	供給量	構成比%	供給量	構成比%	供給量	構成比%
エネルギー剤						
石 炭	9,240 万 t	16.7	15,300 万 t	19.5	20,000 万 t 程度	19
原 子 力	1,570 万 kw	5.0	4,600 万 kw	11.3	9,000 万 kw "	18
天 燃 ガ ス	2,590 万 kl	6.0	6,800 万 kl	11.5	8,200 万 kl "	11
水 力	2,980 万 kw	5.6	4,550 万 kw	5.0	6,300 万 kw "	5
地 熱	30 万 kl	0.1	600 万 kl	1.0	1,500 万 kl "	2
新燃料油, 新エネルギー, その他	70 万 kl	0.2	1,500 万 kl	2.5	6,500 万 kl "	8
石 油	2.85 億 kl	66.4	2.9 億 kl	49.1	2.9 億 kl "	38
供給量合計	4.29 億 kl	100	5.9 億 kl	100	7.7 億 kl "	100

- 注. 1. 資料は、総合エネルギー調査需給部会より。
 2. 原油換算は、9,400 kcal/lによる。
 3. 新燃料油, 新エネルギー, その他の欄には石炭液化油, オイルサンド油, オイルシェール油, アルコール燃料, 太陽エネルギー, 石炭等を含む。

農林水産業は、本来生態系と調和を保ちつつ生物資源を生産し、これをむだなく総合利用するものであるが、最近ではエネルギーを大量に投入した大量生産による生産性の向上と、得られた生産資源の一部分しか利用しない用途の単純化が進んできている。そのため、農産物の生産過程や食品の加工過程で、多くの生産資源が廃棄物として捨てられ、生物資源のもつ多面的な価値が見過ごされていたり、未利用のまま放置されたりして、効率的な利用が充分なされなくなっているのが現状である。また、生産地の大規模集中化により、土地が持っている資源の再生産能力をはるかに越えた収穫が行われ、生態系の破壊や化石資源の枯渇の原因を作っている。

このように、日本の農林水産業は石油に依存した技術に支えられて発展してきたが、資源有限時代を迎えて従来の技術から脱却し、自然生態系の調和の上に立った新たな技術革新を求められている。すなわち、これまでの資源・エネルギー多消費型技術体系の反省の上に立って、生物資源の総合的・効率的な新しい利用体系の確立を推進する必要がある。

2 バイオマスの概念

バイオマスとは、生物量若しくは生物現存量と定義されており、植物（生産者）、動物（消費者）、微生物（分解者）という生物の形態変化を軸とした物質循環サイクルに組込まれるすべての生物有機体が、すなわちバイオマスである。その中で最も多量に存在するのは植物体によるファイトマス（phyto-mass）である。

植物は30億年も前に太陽の光エネルギーを利用し、炭酸ガスと水から糖・でんぷん・セルロース・たんぱく質・脂質などの複雑な有機化合物を作り出す生化学工程を開発している。まさに、希薄な太陽エネルギーを化学物質に変換、貯蔵する地球上の唯一の生化学工場といえる。この生産物の総体（種実、葉、茎、根など）がバイオマスであり、適正な管理の下では枯渇することのない再生可能な資源である。今日、バイオマスがエネルギー資源として注目されているのは、化石エネルギー資源が持たないこの優れた特性のためである。

従来の農業では、可食部、用材など特定部分の生産利用が中心であるのに対し、バイオマスでは植物総体を対象にするのが特徴であり、質よりも量を重視するものといえよう。最近ではバイオマス利用の概念が拡大され、生物の種類のかんにかかわらず、それが量的規模をもって集積されることによって、食糧、飼料、工業原材料、エネルギーの資源となり得る未利用の植物体、若しくは生物活動に付随して生成する生物体を微生物・酵素などの生体機能を利用して有用な物質に変換すると同時に、環境保全にも役立つ技術体系と考えられている。

3 バイオマス利用システム

バイオマス利用の考え方は新しいものではなく、従来の農業技術の延長線にあるもので、科学技術の知見を基礎として太陽エネルギー固定という再生産の生物資源の利用を見直すことである。この再生産型資源としての特質は、生態系において物質循環が正常に維持されているとき発揮されるものである。

再生産力を越えて消費が行われたり、生産と消費の環が断ち切られたりした時は、生産点における資源の枯渇と、消費点における廃棄物による環境汚染がひき起こされる。したがって、バイオマスの利用に当たっては、生態系の保全と生物資源の生産及び利用との調和を計りながら、資源のリサイクル利用を進める必要がある。

バイオマス変換利用はただ単に石油の代替エネルギー利用という面だけからとられるのではなく、あくまでも自然環境を破壊しない範囲で食糧，飼料，有用物質，エネルギーへと総合利用を図っていくことが基本といえる（図-1）。

バイオマス利用といえば、現在いくつかの国々で試みがなされているようなエネルギー作物や、石油植物を広域的に栽培し、そこから液体燃料や気体燃料を大量に供給したり、化学コンビナートへの原料を産み出そうとする考え方に傾斜しがちである。しかし、バイオマス資源は石油などの化石エネルギーに比較すると極めて希薄な資源であり、輸送エネルギーなどを考えると、一般にはこのようなシステムの実現性が乏しい。バイオマス資源の特質から、対象とすべき技術はあくまでもその地域の自然条件に合った作物を作り、その地域の人々に良質の食料を供給することを主体とすると同時に、農産収穫物残渣，林地残材，木材加工廃棄物，食品加工廃棄物，畜産廃棄物など、生産過程や加工処理過程で廃棄物として現出され、あるいは未利用のまま開発対象からはずされている資源を効率的に総合利用するという発想が望ましい。

バイオマス資源からエネルギーを得るにしても、農林水産業を営む中で生じる未利用資源，廃棄物などからその地域の農業生産のための補助エネルギーや民生用エネルギーを得るローカルエネルギーシステムとして位置づけるべきであろう。したがって、ここで考えられるバイオマス利用システムとしては、①環境に影響を与えない（Clean）、②メンテナンスしやすく、③単純である（Simple）、④ロスを少なくし、⑤多様性に対応できる小規模な（Compact）、システムであるといえる。

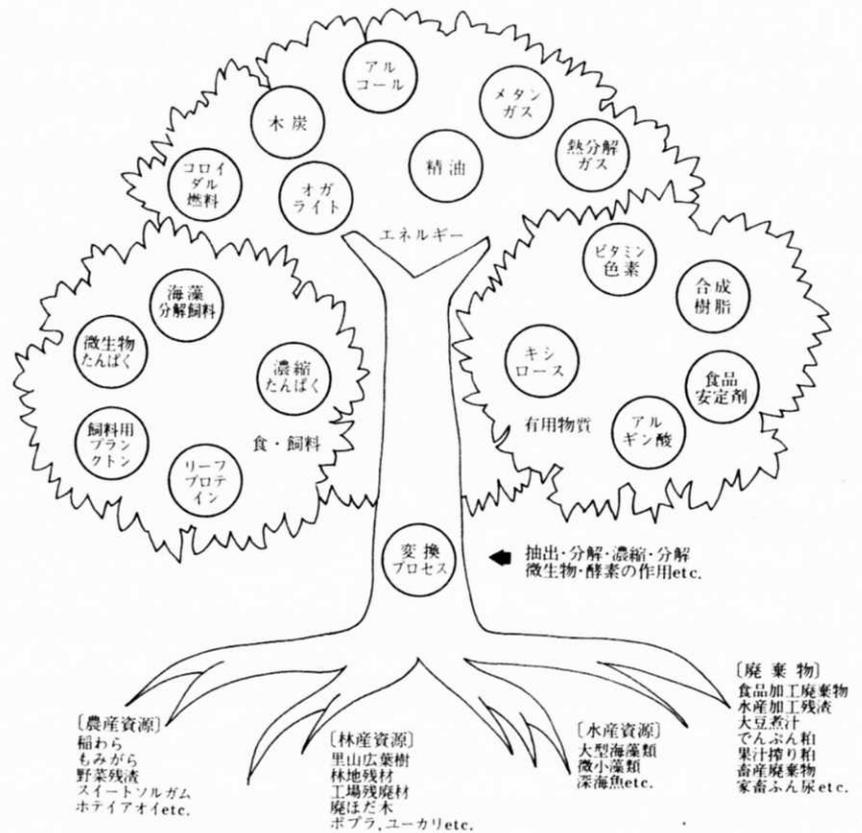


図-1 生物資源利用概念図

4 利用システムの具体的イメージ

以上の観点に立脚した生物資源の効率的な複合利用システムは、地域的な資源の種類、農業形態などの特徴から種々のケースが考えられるが、バイオマス利用システム開発の具体的なイメージについて例を示すと次のようである。

(1) 木質資源の食・飼料・エネルギー変換システム

ここでは、低質広葉樹からなる二次林地に、生長力の著しく大きいポプラを人工造林し、バイオマス資源の増殖を図りながら、飼料・肥料に変換するリサイクルシステムを紹介する。このシステムの概略は図-2に示した通りである。

10～15年の短伐期方式で多収獲栽培した成木を、ヤーダーなどを利用した簡易架線方式で伐出する。この際、副産物であるササも同時に運び出すこととする。伐出されたポプラ・ササは、林内作業道に持ち込まれた小型移動チップパーにより全量チップ化し、加工場まで運搬する。この場合、移動距離は5 km以内を目途とする。ポプラ・ササには約20%に及ぶ大量のキシロースが含まれているので、熱水処理でキシロースを抽出する。

これをキシリトールに変換し、医療用、食品素材として利用する。このあとチップには白色腐朽菌を植えると食用キノコが生産されると同時に、従来処理の困難であったリグニンが除去され、成分としてセルロースのみとなる。このセルロースの単体は高活性セルラーゼにより分解された後、酵母によりアルコールに変換され、林内作業機などの燃料として使用される。更に、一部の低分子糖は酵母による発酵により飼料たんぱくに変換し、家畜の飼料として利用される。また、畜産団地からのふん尿はメタン発酵を行い、畜産農家の暖房熱源に利用し発酵残渣、残液は堆肥として苗畑や育成林地に還元する。このようなフローで木質資源の飼料・エネルギーなどの変換利用のクローズドシステムが完成する。

(2) 畜産廃棄物の食・飼料・エネルギー変換システム

ここでは、この排泄物を有益な原料資源として見直すこととし、牛30頭の経営におけるクローズドシステムを取り上げる(図-3)。その周辺には1 haの飼料作物水田と10 aのホテイアオイ等水生植物用の水田又は池、更に共同経営による飼料工場を配置する。まず畜舎の廃棄物は前処理行程を経てメタン発酵槽に導入され、カロリーの高いメタンガスを発生させる。排泄物の量として年間約330 tと仮定すると、発熱量4,140万Kcal、石油にして4,380 l、18 l 缶で243缶に達する。また、メタンに変換されないスラッジ(年間170 t)は消化槽内に沈澱する。このスラッジには植物の生命維持に不可欠なN、P、

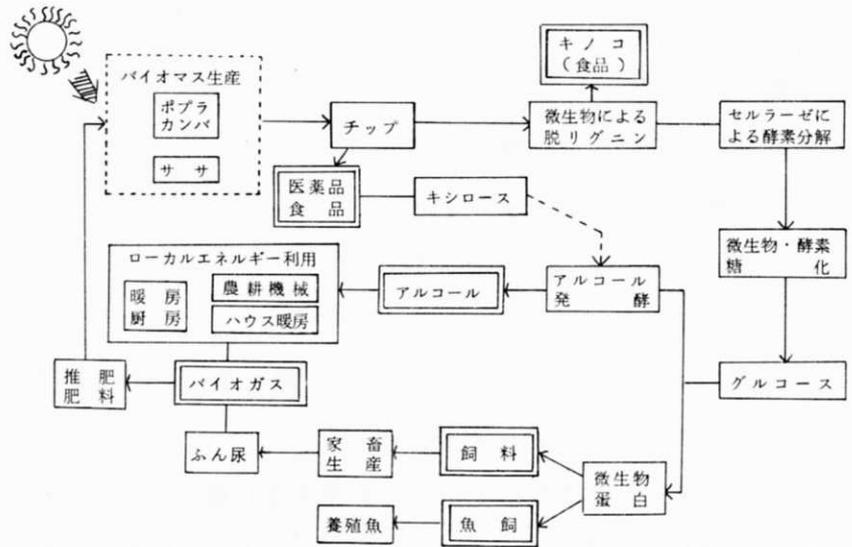


図-2 木質資源の食・飼料・エネルギー変換システム

K, B, Ca, Cu等の要素を含んでおり、除去後乾燥してジザニア、テフ等の飼料作物畑への有機質肥料として利用される。一方、液分(310t)の方は浅い浄化池(10a)に移される。ここにはホテイアオイ、水浮蓮(ウキグサ)等の浄化能力の高い植物が栽培されており、N, P, K等をむだなく吸収し、年間生重20t(200t/ha)の生産が可能である。水生植物によって浄化された水は、更に飼料作物用水田に導かれる。

ホテイアオイ等の水生植物はこのあと二つの道筋をたどって利用される。第一の用途は家畜の飼料である。ホテイアオイは乾物重の20%がたんぱく質で、K, Ca, P等のミネラルも豊富に含んでいる。収穫した水生植物を太陽熱乾燥分画処理等を経て飼料に加工する。第二の用途は加工残渣のメタンガス化である。ホテイアオイ20tからは、メタンガスにして年間200m³、エネルギー量188万

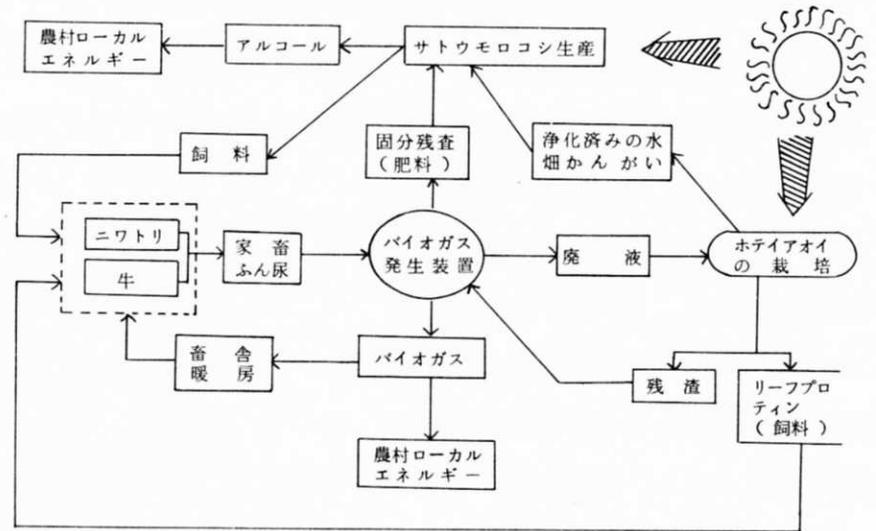


図-3 畜産廃棄物の食・飼料・エネルギー変換システム

Kcal, 石油18ℓ缶に換算して10缶にも達する計算になる。先程の畜ふんのメタンを合計すると4,330万Kcal, 石油18ℓ缶換算で253缶ということになり、昭和50年度における農家一世帯当たりの生産及び生活に使用されるすべてのエネルギー量(すなわち自動車, 電気等を含めたもの)2,760万Kcal/年をはるかに上回る数字となる。このメタンガスは畜舎, 農家の給湯, 暖房熱源等にフルに利用することとする。このように太陽エネルギーの効率的固定と微生物の積極的利用により廃棄物が有価物としてよみがあり, リサイクルシステムが完成するわけである。

5 研究開発のポイント

バイオマス資源の特質は、基本的に分布密度、エネルギー密度が低く、水分含量の高いものが広く分布して存在し、原料の重量基準の経済価値も低く、既存の関連資源に比べて付加価値が高くないことである。バイオマスの生産と利用の場が近接する農村などの小地域内ではこのような困難は軽減される。更に、生産と利用の鎖が結びついているため生態系における物質循環過程に則して資源の再生と環境負荷の軽減を図ることができよう。これらの点から考えれば、バイオマス利用は地域性に富み、小地域分散型の方向で技術開発を進める必要がある。このためには、重力・水力・風力などの自然エネルギーの利用等を含め、効率的、かつ省エネルギー的な資源の収穫、回収、搬送技術の開発が極めて重要な課題である。

更に、バイオマスは多水分系、中水分系のものと極めて広範囲に及び、また構成成分がセルロース、多糖類、たんぱく、リグニン、油脂等の多成分からなる複雑な高次構造をなしているため、分解、抽出

に対する抵抗性が極めて大きい。したがって、分解、変換を容易にするため、生物的、物理的、化学的前処理を行い、反応を促進する技術開発が必要である。しかし、現状では抽出、分別、濃縮、分解等の変換処理に高温・高圧、多エネルギー消費型の化学的処理、物理的処理が用いられ、技術的にもエネルギー的にも困難さが伴っている。

したがって、バイオマスの変換利用に当たっては、常温常圧省エネルギー的反応である微生物酵素等、生物機能の活用により効率的に分解・変換することが得策であり、変換利用の基幹技術となるべきものといえる。このためほに、リグニンの生物的分解、セルラーゼによる糖化、難分解性多糖類の酵素分解等について高能率の微生物・酵素の検策、改良、作出を行うと同時に、反応を効率的、省力的に行うためのバイオリアクターの開発等が研究開発のポイントといえる。

これらの問題を解決して初めてバイオマス資源の利用が拡大し、現在、経済的・エネルギー的にひき合わない資源の利用が可能となる。更に、バイオマス利用においては単にその技術開発の可能性があり、経済性があるからという理由だけで実用化されていくというのではなく、その技術が環境、生物や地域社会の人々の生活に対し、影響を及ぼさないということが実証されて、はじめて実用化されていくべきものと考えられる。

6 バイオマス変換における研究計画と主な研究内容

(1) 研究計画

農林水産省は、これらの社会的要請に答え、新しい技術開発を行うため、56年度より10年計画で「生物資源の効率的利用技術の開発に関する総合研究」に着手している。この研究は、図-4に示したフローで全体が六つの系から成り立っている。

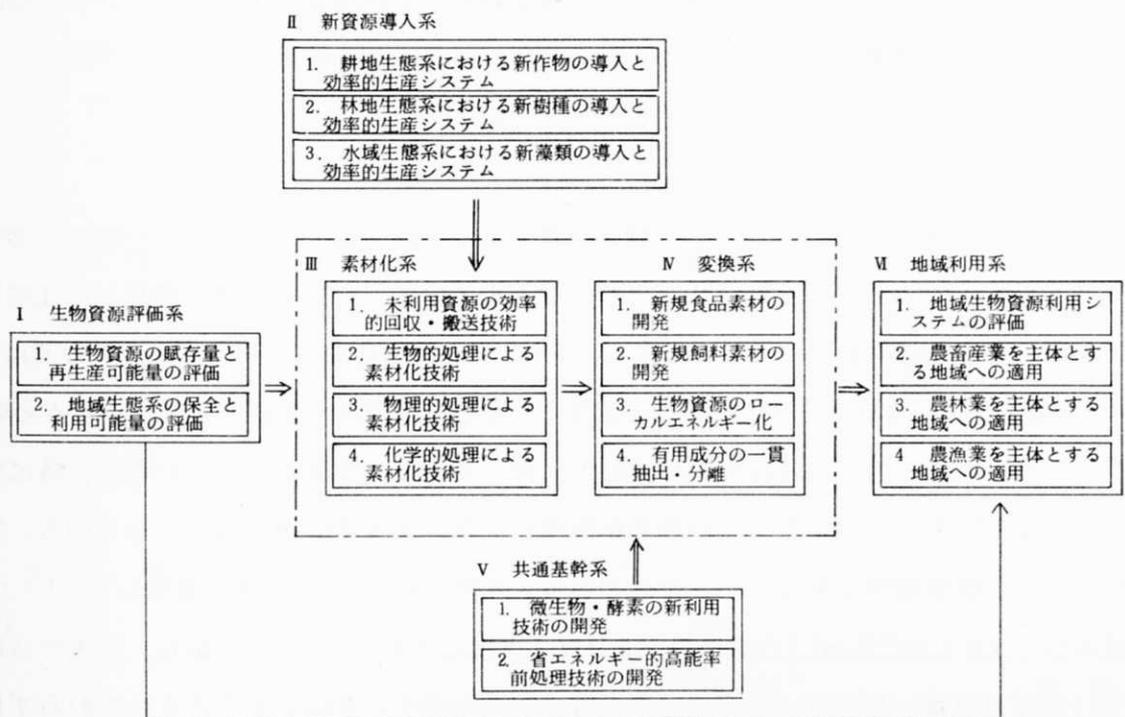


図-4 バイオマス変換計画における研究フロー

第一は、生物資源の分布量などを解析して、生物資源の利用可能量、未利用資源量、資源の再生可能量などを明らかにし、生物資源を効率的に利用するための資料を得る生物資源評価系である。

第二は、耕地、草地、林地や遊休海域を有効に利用して生物資源の増大を図るため、バイオマス生産力の高い新しい植物を導入し、大量栽培を可能にする技術を開発する新資源導入系である。

第三は、新しく導入された新資源及び未利用資源廃棄物を飼料、エネルギーなどへ変換するに当たって、生物資源の特性に応じた収穫、搬送及び乾燥、粉碎、濃縮などの前処理を省エネルギー的、かつ効率的に行うための技術を確立する素材化・再資源化系である。

第四は、前処理を行った各種素材について常温・常圧、省エネルギー的反応である微生物・酵素の生物機能を活用し、食糧・飼料・ローカルエネルギーなどに効率的に変換すると共に、最終的に生態系へ環元する技術を開発し、生物資源を効率的にリサイクルさせる技術を確立する変換技術系である。

第五は、生物資源を効率的に利用する際に、支援的役割を果たす共通技術を開発する共通基幹技術系である。

第六は、以上を総合し生物資源を食糧・飼料、エネルギーなどへ幅広く利用する地域生態系の効率的利用システムを確立する地域複合利用システム系である。

(2) 主な研究内容

1) わが国におけるバイオマス資源量

資源小国のわが国は、その資源基盤が極端に国際化しており、資源の安定供給という観点からみると極めてぜい弱性をもっている。しかし、わが国でもバイオマスからの潜在エネルギー生産量はばく大な量に及んでおり、これらを効率的に資源化することは資源の多様化、資源の供給安定化につながり、極めて望ましいことである。

わが国の利用可能なバイオマスとしては、大きく廃棄物及び未利用資源とリニューアブル資源に分けられる。わが国における主要なバイオマスの有効資源化期待量、都道府県別バイオマス資源のタイプ、町村別のエネルギー利用可能量を表3、図5.6.7に示した。

① 廃棄物及び未利用資源

農産物の地上部残さ量からそのエネルギー量を試算すると、約 $1,020 \times 10^9 \text{Kcal}$ となる。そのうち水稻の地上部残渣(わら、もみがら)と野菜残渣で92%を占めている。この量は食用資源とほぼ同量のバイオマスが未利用のまま廃棄されていることになる。しかし、これらはすべて利用できるものではなく、実際はバイオマス再生産のための地力維持培養などに少なくとも廃棄物の一部は土地還元をする必要がある。

畜産廃棄物についてみると、畜産経営の規模拡大に伴って種々の問題が生じているが、特に家畜の排泄するふん尿処理技術、処理に要する経費等が規模拡大を阻害する要因になってきている。家畜が排泄する1頭当たりの排泄量等は少ないが、全体で見ると年間 $5.6 \times 10^7 \text{t}$ 、メタン量にして $1.1 \times 10^9 \text{m}^3$ 、エネルギー量にして $1.0 \times 10^{13} \text{Kcal}$ (石油換算 110万kl)と推定される。しかしながら、発生ガスは硫化水素を含んでいるので脱硫しなければならないこと等、製造しやすいものであるにもかかわらず利用上の問題点をもっている。

表-3 主要なバイオマスの有効資源化期待量

(農水省試算)

バイオマスの種類	項目	年間産出量 (万t/年間)	利用可能量 (万t/年間)	有効資源化期待量		備考
				エネルギー生産量 ($\times 10^3$ Kcal)	有効物質生産量 (万t/年間)	
森林系(乾物)	里山広葉樹	2,800	280	126,000	—	400万ha(10%)
	林地残材	960	96	43,200	—	(10%)
	工場残廃材	1,350	270	121,500	—	(20%)
	廃ほだ木	80	40	—	(飼料) 8	(50%利用)発酵蛋白
	新樹種	110	110	16,000	(") 7	10万ha(その他) 2.5万t
	ササ	4,000	200	—	(") 42	(うち5%利用)
	小計	9,300	996	306,700	(") 57	(その他) 2.5万t
農産系(乾物)	稲わら	1,300	260	—	() 260	(20%)現在の焼却分 $\frac{1}{2}$
	粗穀	450	30	—	(") 30	(5%)
	野菜残渣	200	20	—	(") 20	(10%)大産地分
	新作物	200	200	—	(") 200	(10万ha)
	小計	2,150	510	—	(") 510	
畜産系(含水)	牛ふん尿	4,730	2,365	29,800	(堆肥) 473	メタンガス(50%)多頭飼育分
	豚ふん尿	790	395	17,060	(") 79	" " "
	鶏ふん	1,340	270	7,200	—	熱分解(20%)
	小計	6,860	3,030	54,060	(") 552	
水域系(含水)	水生植物(新資源)	440	440	3,950	(飼料) 5	440t/ha(1万ha) 5%乾物
	海藻類(")	2,200	2,200	31,600	(その他)30	200t/ha(11万ha) 15%乾物
	極小藻類(")	25	5	—	(飼料) 1	25t/ha(1万ha) 20%乾物
	投棄魚	30	3	—	(") 1.5	(10%利用)蛋白歩留り50%
	深海魚	50	10	—	(") 5	(20% ") " 50%
	サメ類	70	7	—	(") 3.5	(10% ") " 50%
	小計	2,815	2,665	35,550	(") 16	(その他) 30万t
加工系(含水)	水産加工残さい	350	100	—	(飼料) 20	濃縮蛋白
	" スカム	40	20	—	(") 2	"
	" 煮汁	50	25	—	(") 0.5	発酵蛋白
	大豆煮汁	72	36	449	(") 0.4	" (有機物 4%)
	澱粉廃水	385	192	240	—	メタンガス(" 1%)
	ミカン粕	24	12	269	—	" (" 10%)
	製めん廃水	2	1	958	—	" (" 100%)
	小計	923	386		(飼料) 223	
	計	22,043	7,587	($\times 10$ Kcal) (エネルギー) 397,268	(飼料) 606万t	(堆肥) 552万t (その他) 32.5万t

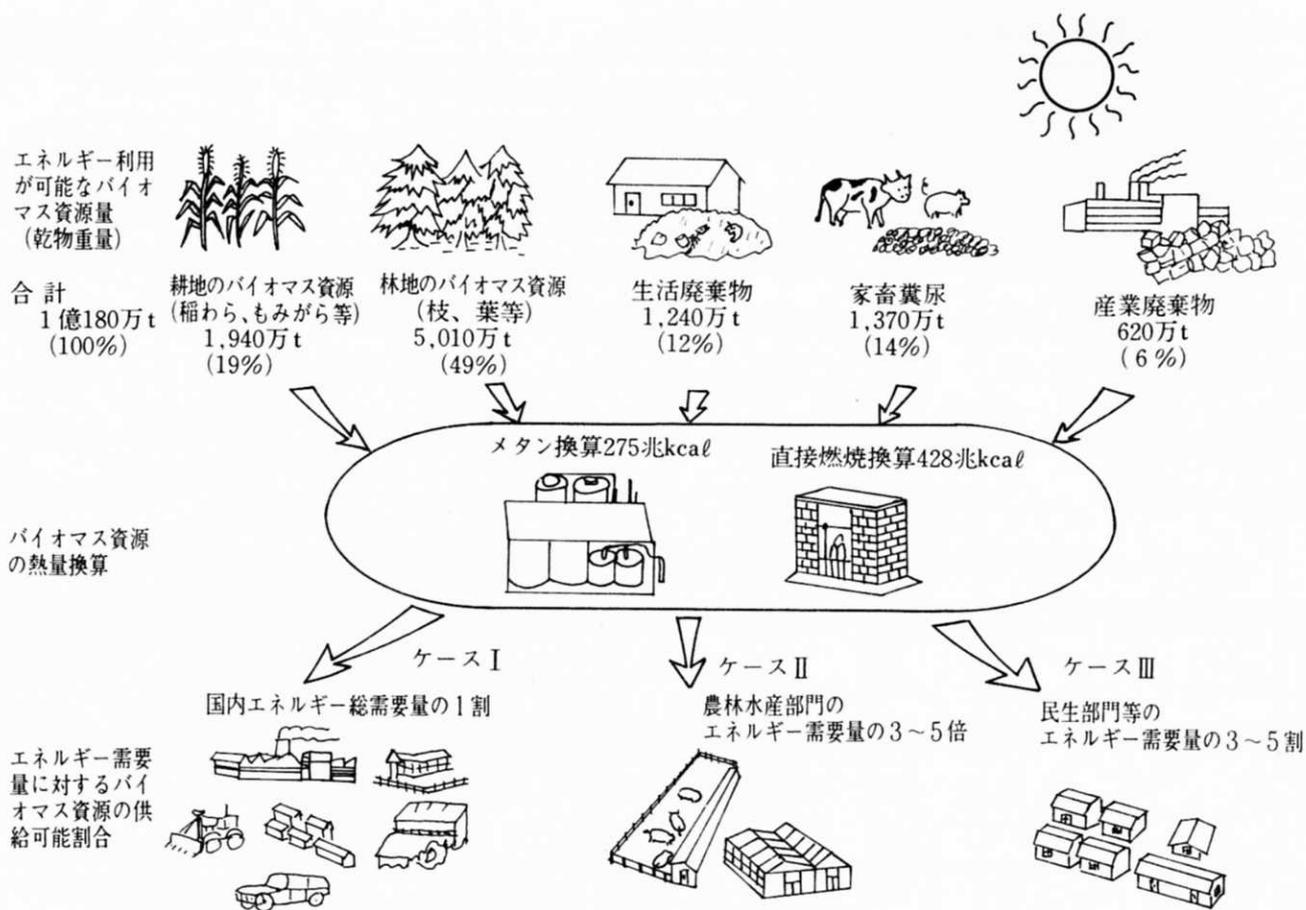


図-5 我が国における植物及び生物系廃棄物から得られるエネルギー量 (年間)

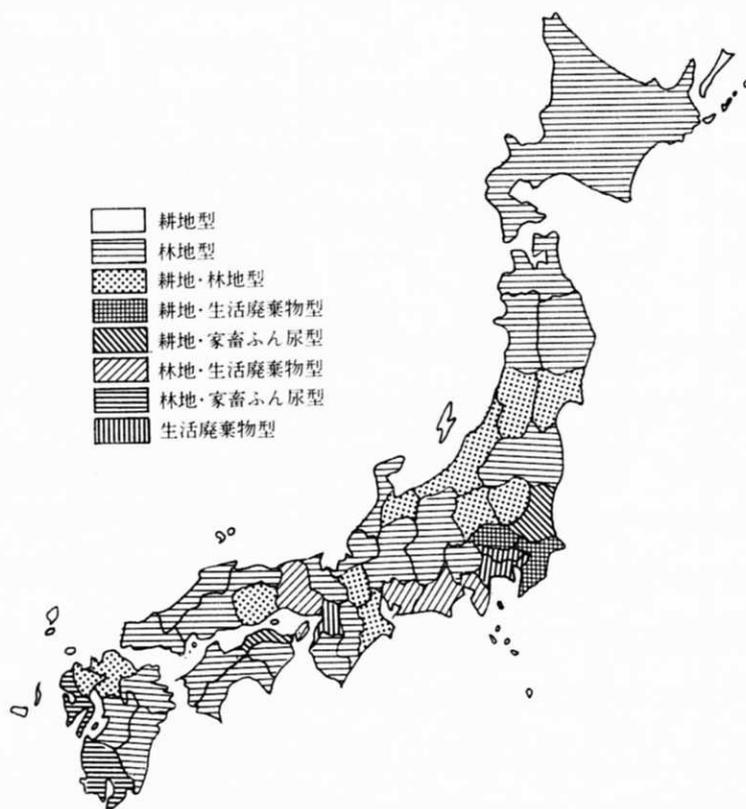
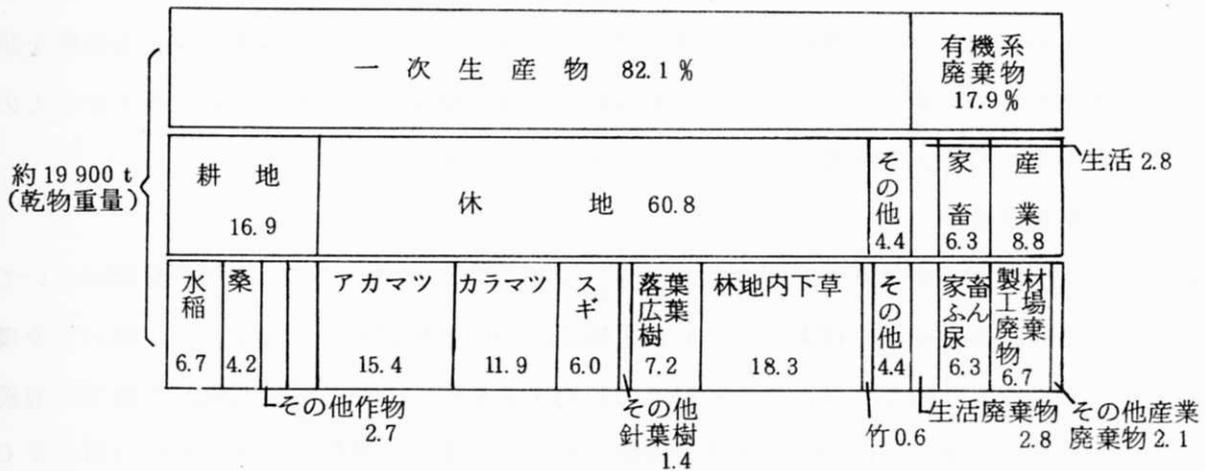


図-6 都道府県別バイオマス資源エネルギー利用可能量のタイプ

(青木村)



(美野里町)

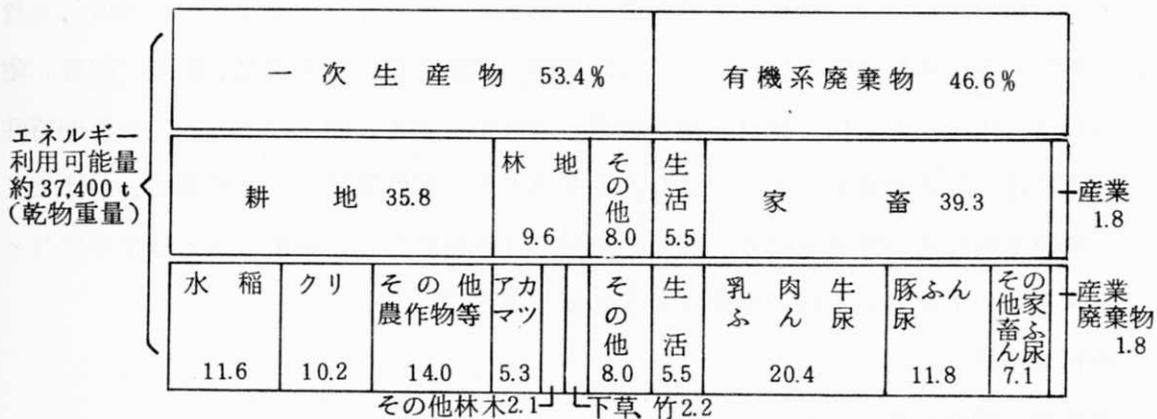


図-7 青木村及び美野里町におけるエネルギー利用可能量(単位:%)

わが国の木材消費量は年間約1億 m^3 に達しているが、その必要量の65%は海外からの輸入に依存している。これら大量の資源から排出される工場排材は年間約1,000万 m^3 と推定されている。しかし、これらの残廢材は各種の用途に一部再利用されるので、エネルギー源として使用可能な量は約1,000万 m^3 と考えられている。このほか、ほだ木(200万 m^3)、林地廢材があるが、これらの残廢材利用上最大の問題となるのは、いかにして能率よく集荷搬送するかという点にある。

食品加工分野でも、果実加工、でんぷん製造、豆類加工発酵食品等の各種の廢棄物が約400万t産出され、一部にたんぱく飼料化の研究がすすめられている。また、バガスは沖縄の製糖工場から年間約30万t産出され、飼料、燃料化が行われている。

いずれも再利用に当たっては、原料供給の地域性、季節性、材料からの生産歩留まり、前処理の難易、用途との合意などが問題となる。

② バイオマス増殖技術

わが国における耕地利用や作物生産は、今後とも食糧の効率的生産向上に主体が置かれるため、エネルギーを目的としたバイオマス資源を直接耕地に導入できる可能性は薄い。このため現在遊休地となるところ、未利用地、湖沼、水路、更に未利用海面などを積極的に利用して、乾物生産の著しく高い植物や、エネルギー植物などを導入し、バイオマス資源の計画生産が図られるような技術の確立が重要である。

バイオマス生産に適するリニューアブル資源としては、①乾物生産量が従来導入作物に比べて飛躍的に大きい生物、②有用成分、特殊成分などを大量生産し得る生物、③生態環境に対する影響を制御し得る生物、④省力栽培が可能であるもの、⑤気象環境、土壌環境などに対する適応性が大きいもの、⑥収穫・収集が容易なものなどの性質をもっていることが望まれる。

(i) 耕地系資源

水田転換地や水田機能の有効利用を図る立場から、ジザニア、ホテイアオイなど多湿地において乾物生産能力の著しく高い作物を広く探索し、その利用価値について検討を行うほか、わが国の気象環境に適した高生産性でんぶん作物や、サトウキビ以上の乾物生産を持ち、かつ短期栽培が可能で環境適応性の極めて大きいサトウモロコシについて系統の選抜、育成、生産力の解析を行うことが当面必要である。

(ii) 林産系新資源

ポプラ類、カンバ類の生長の速い樹種、アカシア、ギンネム、ナンキンハゼなどの有用成分高含量樹種、更に乳液、樹脂植物が注目されている。これらの樹種の増殖を図るためには、耐寒・耐暑、耐干・耐湿性などの環境適応因子をもとに、優良品種を検索し選抜すること、樹木の生理的、生態的特性の解明、生産力の解析を行うことが重要である。また、萌芽再生力、無性繁殖法、密植栽培、台仕立てなどの検討を含め、短期更新技術の開発を図り、従来の用材だけを目的とした施策方法とは全く異なった方法で、バイオマス資源の生産力向上技術を確立する必要がある。

2) 変換利用技術

① 微生物・酵素の利用技術

資源の構成成分がセルロース、多糖類、たんぱく、リグニン、油脂などの多成分からなる複雑の構造を持っているため、分解、抽出、濃縮などの変換処理に対する抵抗性が極めて大きい。したがって、有価成分を省エネルギー的、選択的に取り出す技術が必要となる。

微生物・酵素は常温・常圧で反応し、かつ基質特異性のある省エネルギー的変換触媒体であり、無限の可能性を秘めた能力を有している。したがって、高活性の分解・合成能力を有する微生物並びに新規の分解・合成能力をもつ微生物を効率よく探索し、又は改良作出して、省エネルギー型の前処理、分解、変換技術を開発することが、バイオマス変換システムのポイントといえる。

図-8に示した微生物・酵素の利用システムを確立するためには、①リグニンを選択的に分解する強力な微生物の検索、脱リグニン酵素の抽出・分離技術、②生でんぶん分解酵素、耐熱高アルコール生産酵母の検索と同時に、 r 線、紫外線照射法、遺伝子工学手法などによる改良・作出、③家畜ふん尿、野菜残渣など、多様性を持った基質からのメタン発酵を効率的に行う嫌気性菌のスクリーニング、④固定化微生物及び固定化酵素製造法(表-4、図-9)、固定化した微生物又は酵素を合理的に配列した“組立酵素”からなるバイオリクター(酵素反応装置)の開発などが今後の重要な問題となる。これらの技術を開発して、初めてバイオマス資源の利用が拡大し、現在、経済的、エネルギー的にひき合わない資源の利用が可能となる。

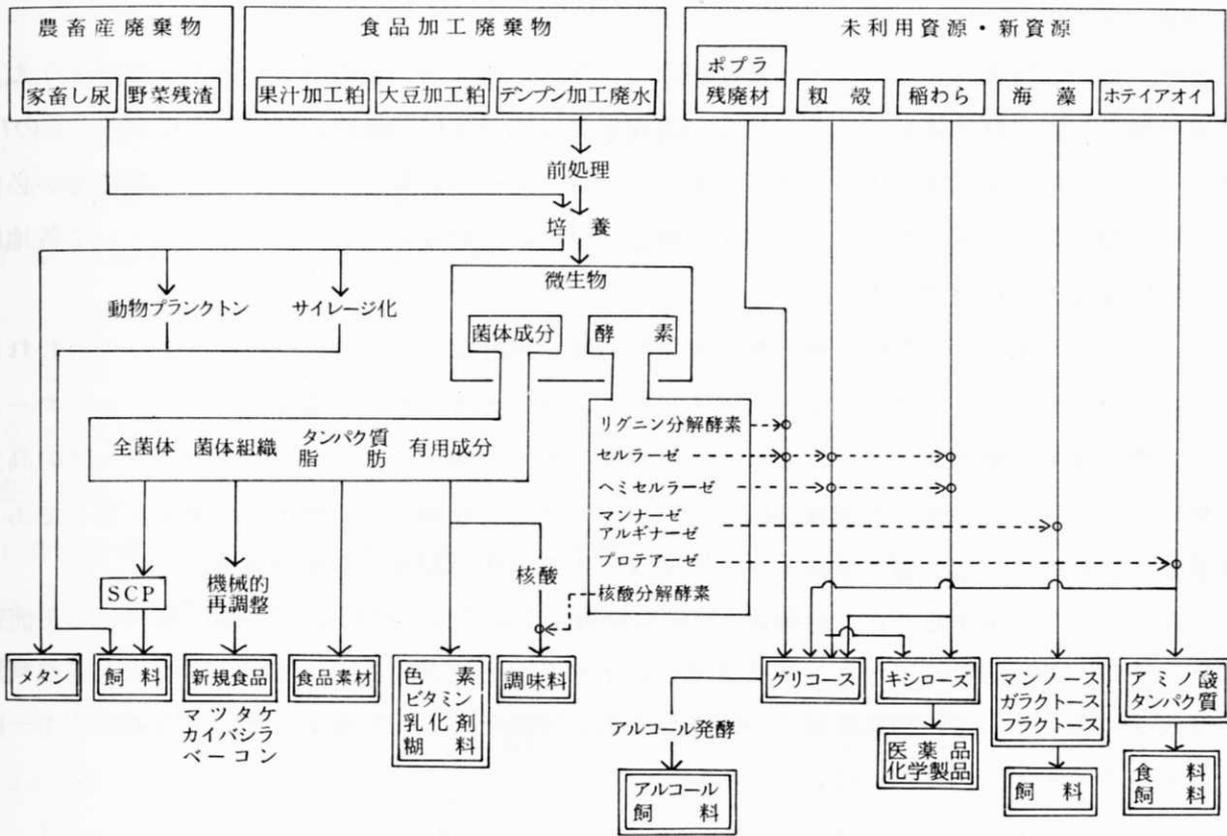


図-8 微生物・酵素の利用システム

表-4 酵素や微生物を固定化することの利点

- (1) 酵素の安定性を増す。
- (2) 利用目的に適した性質，形状の固定化製品が調整できる。
- (3) 酵素の再利用ができる。
- (4) 反応の連続化ができる。
- (5) 反応装置が占めるスペースが小さい。
- (6) 反応生成物の純度および収率が高くなる。
- (7) 資源エネルギー，環境問題の点でも有利である。

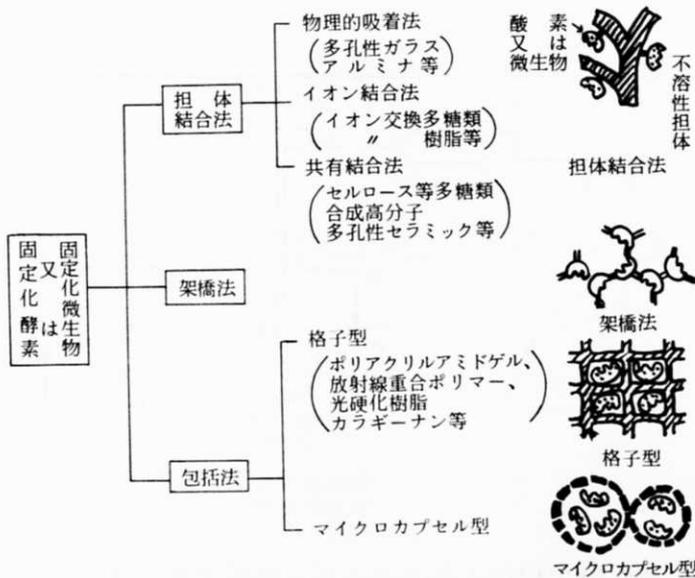


図-9 固定化酵素および固定化微生物の分類と模式図

② エネルギーへの変換

バイオマス資源の特質は、エネルギー密度が低く、水分含量の高いものが広く分布しているうえ、原料の重量基準当たりの経済価値も低く、既存の関連資源に比べて付加価値の低いことである。そのため、生物資源を一か所に多量に集めようとする多くのエネルギーが必要となり、また広い集積地が必要となる。生物資源をエネルギー源として利用する場合には、いわゆるローカルエネルギーとして各地域で分散して利用することが有効である。

バイオマスエネルギーは、燃焼、熱分解、嫌氣的分解、発酵などの変換利用技術によって行われている。主なものは、ガス化、メタノール、エタノール、メタンガス、炭化水素などである。セルロースを主体とする農林水産廃棄物を原料としてエタノールを生産する場合は、リグニン、セルロースの高分解菌、耐熱性アルコール高生産性の菌株の作出などによる効率的な糖化・発酵技術の開発が第一であり、更に膜濃縮、溶剤抽出など、省エネルギー的アルコール濃縮法の開発が重要である。

家畜ふん尿などを利用するメタン発酵は、簡易な装置で生産できる利点はある反面、燃料として流通性に乏しく、また、冬期低温時にメタン発生速度が低下するなど欠点も多い。加温に対する太陽熱利用技術、発酵残渣の省エネルギー的処理技術の開発が今後の問題である。家畜ふん尿によるエネルギー回収クローズドシステムの一例を図-10、11に示した。

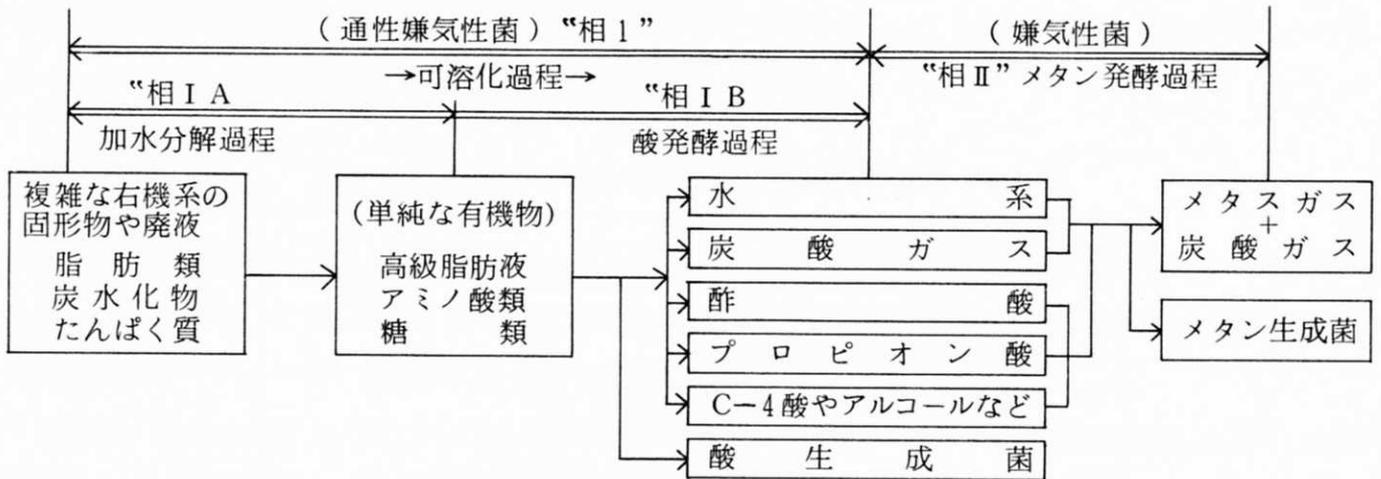


図-10 自然界におけるメタン化の相変化

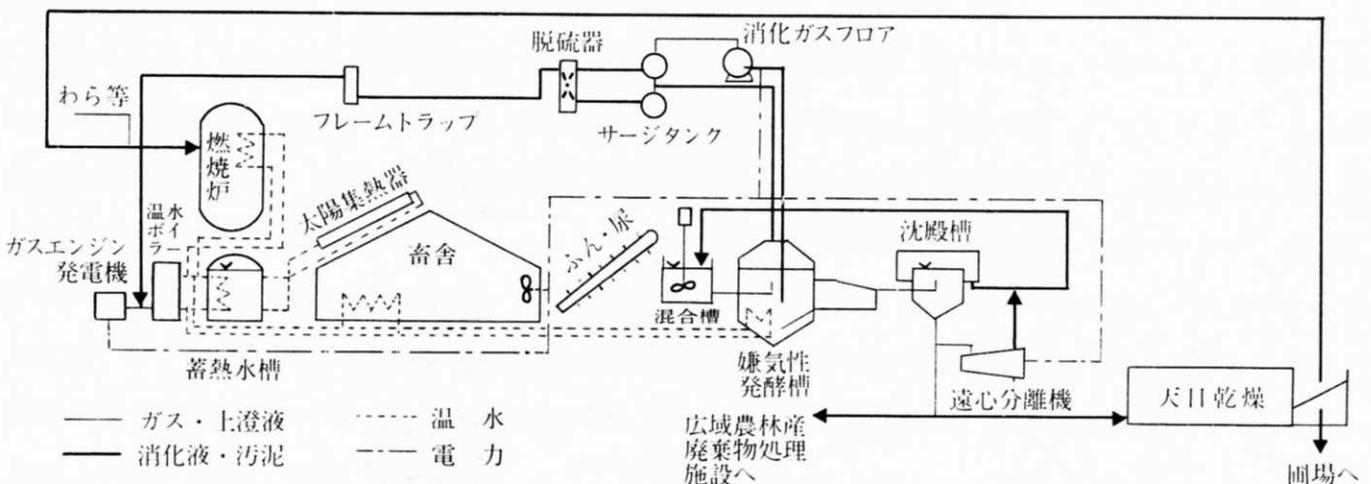


図-11 畜産廃棄物によるエネルギー回収クローズドシステム (光合成細菌・藻類培養を含む場合)

ユーカリ，ホルトソウ，アオサングなどに含まれる炭化水素（精油成分）は揮発性であるため，植物体からの効率的抽出法の開発が必要であると同時に，これらのエネルギー植物の優良系統・品種の選抜，導入，栽培適地の拡大，高生産技術の開発も早急に望まれる。

③ 新たんぱく資源（食糧・飼料素材）への変換

新たんぱく資源への変換技術として，微生物たんぱく，リーフプロテン，植物性・動物性プランクトンなどの利用があげられる。未利用バイオマス資源を対象に，たんぱく生成微生物を増殖して良質のたんぱくに交換する場合，セルロース，でんぷん，ヘミセルロース，リグニン，たんぱくなど，多成分からなるバイオマス資源を前処理なしに効率的に利用するためには，複数の微生物の混合培養技術の検討が重要である。また，これらの成分は一般に水に不溶であるため，固体培養技術の開発も必要である。このためには強力な有用活性菌株を自然界より検索すると同時に γ 線・紫外線照射法，遺伝子工学手法などによる改良・作出が急がれる。

飼料への変換技術は図-12に示したが，微生物・酵素処理のほか，ホテアオイ，野菜残渣などから葉たんぱくを压榨抽出し飼料化する技術，畜産廃棄物，食品加工廃棄物などに高生産のバクテリア・酵母を培養し，動物性プランクトンで回収して，飼料化する技術などについての開発も，今後の重要な問題である。

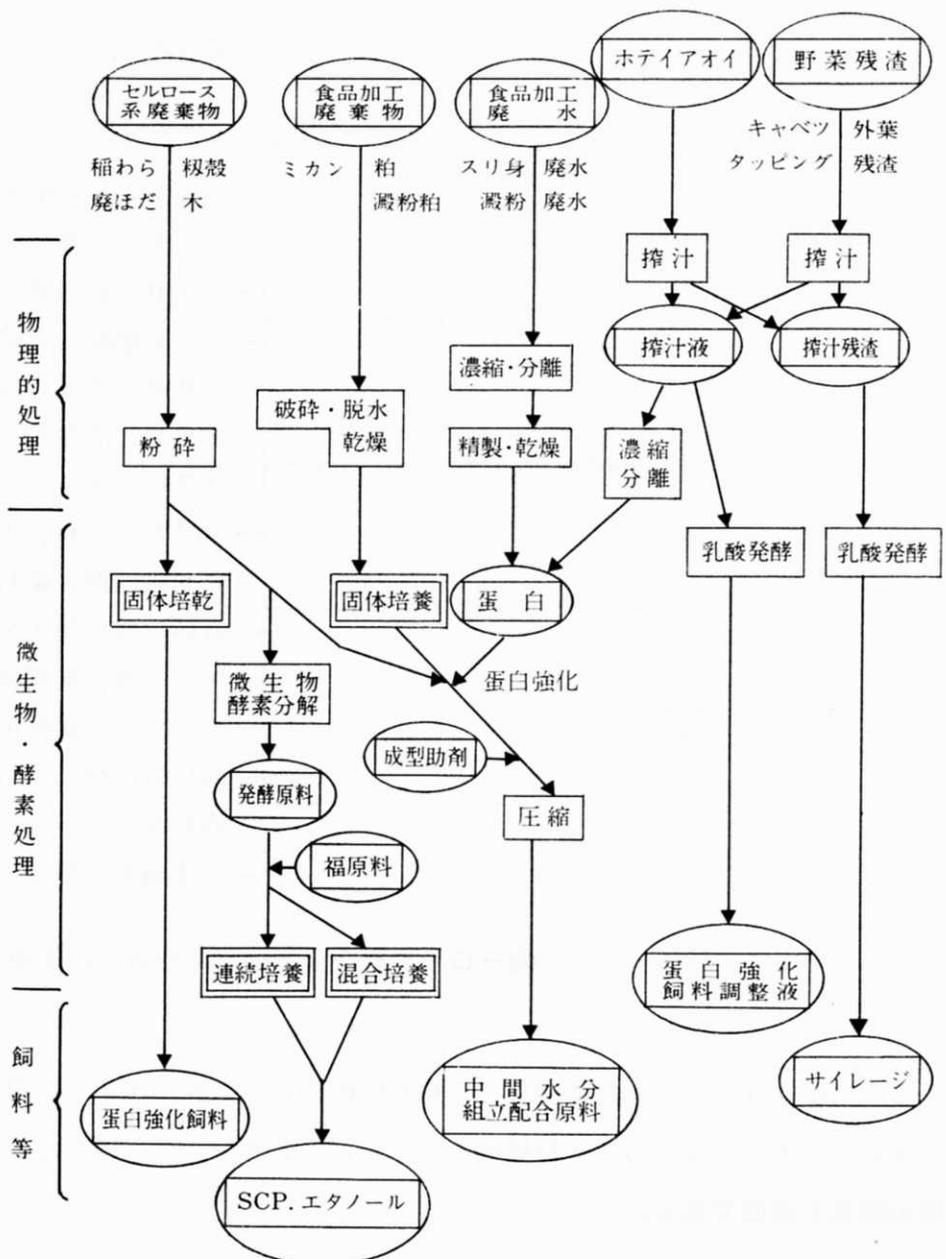


図-12 利用・廃棄物資源の飼料への変換フロー

④ 有用物質への変換

森林資源、草本質の農産資源では、リグニン、ヘミセルロースの含量が50%以上の高含量のものが多く、しかもリグニンは三次元の複雑な網目構造を有し、ヘミセルロースは固い結晶性を有しているため、現状では高温高圧下で除去廃棄されている。しかし、ヘミセルロース、リグニンをそれぞれ微生物、酵素分解により省エネルギー的にキシロース、フェノール類の低分子化合物に変換すれば、合成樹脂、医薬品、香料、農薬など、石油化学からの原料供給に代替可能な有用物質に変換可能である(図-13)。このため、農産廃棄物から有用高分子化合物への誘導技術(有効な触媒の探索、反応機構の解明、微生物合成による代替など)を確立し、石油化学合成製品に代わる天然高分子加工品を開発することは、今後の脱石油化を目指した重要な技術といえる。

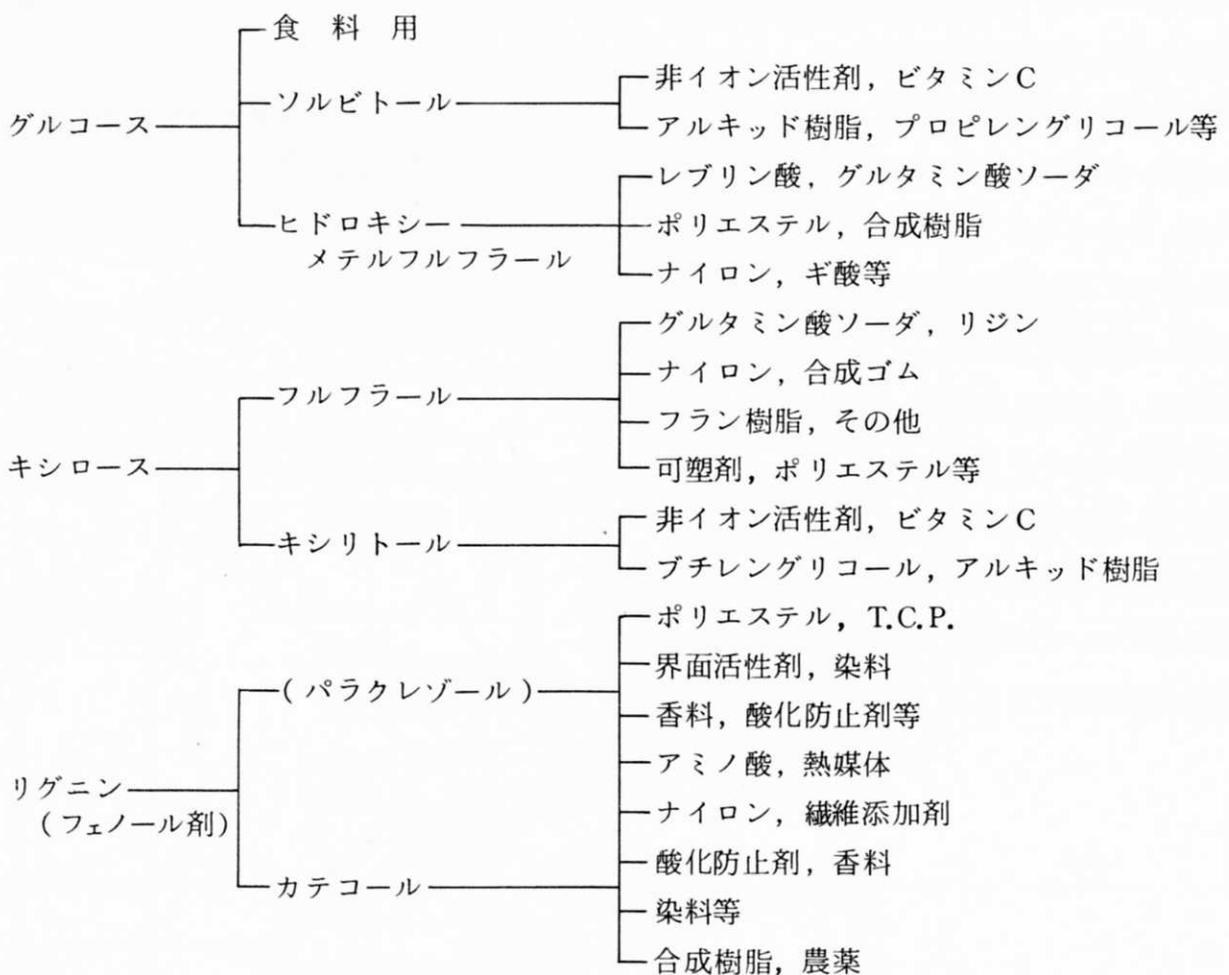


図-13 木質系資源の有用物質への変換

このほか、ユーカリ、針葉樹などの樹脂性植物からの炭化水素系物質(精油、ロジン、ゴム類)、ギンネム、アカシアなどのマメ科植物からたんぱく、タンニン、樹脂などを省エネルギー的に回収する技術の開発も重要である。

7 ま と め

現在のバイオマス利用をみると、アメリカにみられるような現産業技術体系に合わせたエネルギーを作り出す技術開発が主流となっている。しかし、わが国のように資源に乏しく、かつ国土の狭い国にとっては単にエネルギーだけでなく、この資源を人間にとって有用な食糧・飼料・工業原材料などに総合的に変換利用を図っていくことは、重要な研究課題である。

バイオマス資源は、本来太陽光線のエネルギーを植物体が物質化して蓄積したものである。本質的に広い地域に薄く分布しているという性格を持っている。そのためバイオマス利用が実現する状況は、地域に密着した形態での多分野にまたがる技術体系になるものと予想される。

したがって、バイオマス資源の収集、濃縮、変換、利用の過程がどれだけ効率的に実施できるかが、研究開発の重要なポイントになる。バイオマスの価格評価の中で高い評価を受ける「医薬品」、「エネルギー用バイオマス」「有機質肥料」に関しては、特にバイオマス資源の効率的収集の成否の制約がきびしいと考える必要があるだろう。一般には密度の薄いバイオマスが付加価値の高い状態まで加工されない限り、比較的狭い地域において地域空間に密着した方向でバイオマス利用システムを完成させることが重要である。

この点はバイオマス利用の弱点のようにも考えられるが、逆にみればかえってそのためにバイオマス利用技術は必然的に省エネルギー的技術ともなり、またクリーンな技術ともなることを示唆している。今後のすべての技術開発が環境保全の要望に合致しなければならないことを考慮すれば、バイオマス利用技術の長所とみることも可能である。

われわれが開発を目指しているバイオマス変換技術は、自然生態系と人間社会活動を功みに調和させ、省エネルギー、省石油資源技術、無公害技術など、多面的な目的に向けて組織化される総合的な利用システムを作りあげることである。