

■ 特 集 ■ 植物資源のエネルギー化

資源・エネルギーとしての木材

Wood as Resources and Energy source

越 島 哲 夫*

Tetsuo Koshijima

世界の森林面積は約38億ha、立木蓄積は3400億 m^3 ¹⁾と推定されている(表1)。その1/3が針葉樹で地域別にみれば、ソ連邦、カナダ、北米が中心となる。約2/3を占める広葉樹についてはブラジル、アジア南部およびアフリカ中央部が主体となる。わが国の森林事情をみると蓄積量は約21億 m^3 で、そのうち針葉樹は約11億 m^3 、広葉樹が約10億 m^3 とされている²⁾。この量はソ連邦の1/40、アメリカの1/30にすぎない。このことから木材資源はわが国にとって決して豊かな資源ではないことがわかる。さらにその年間伐採量をみると、主要国の多くは既に伐採量が蓄積量の2%を越えているのが現状であり、樹木の年間生長量は約1%と考えられるので、この伐採量は既に生長量を上回っていることになる。その上、森林資源は住宅材料、紙パルプの原料という性格のほか自然環境の重要な構成要素であって、防風、洪水防止、水源涵養などの機能は近年とくに重要度を増しつつある。このため樹木の自然生長量と伐採量の不均衡は森林資源に恵まれた国であっても自然環境の維持を困難にするので制限を加えつつあり、この方向は今後一段と強まることが予想される。このように考えてくると森林資源は年々不足しつつあるわけで、リニューアブルな資源といわれながら現実には有限な資源と考えるべきであり、したがってその利用に関しては特に慎重でなければならない。

わが国では然らばどの位の量で使用されているのであろうか? 表3にわが国の伐採量と幹材林地残存量を示す。この表からわが国で年間伐採される量は約4500万 m^3 であり³⁾、生長量を1%とするとその約倍

量に達することがわかる。一方わが国の木材需要量と供給量については林野庁の資料がある。これによれば昭和44年から46年までの3年間の平均値として総需要量は9990万 m^3 、これが昭和56年になると13480万 m^3 に上ると予想されている。これに対し、供給量は国産材として4970万 m^3 、輸入材として8310万 m^3 であって、外材依存度は63.2%になるものと推定されて

表1 世界の森林資源¹⁾

地 域	閉鎖森林面積* 百万 ha	閉鎖森林蓄積* 億 m^3	疎林面積 百万 ha	疎林蓄積 億 m^3
北アメリカ	630	585	—	—
中央アメリカ	60	55	2	1
南アメリカ	530	915	150	40
アフリカ	190	250	570	140
ヨーロッパ	140	120	29	8
ソ連邦	765	733	115	56
アジア	400	380	60	20
大洋州	80	60	105	25
計	2795	3098	1031	290

* うっぺい度20%以上

表2 わが国の森林資源²⁾

区 分	森林面積 (千 ha)	蓄 積 量 (千 m^3)		
		針葉樹	広葉樹	計
国有林				
林野庁所管	7750	355041	446633	801674
他省庁所管	216	10521	10311	20832
民有林				
公・有林	2711	88940	101041	189981
私・有林	14574	657027	404181	1061208
合 計	25251	1111529	962166	2073695

表3 国産材の年間伐採量および素材生産量³⁾

区 分	伐採量(a) (千 m^3)	素材生産量(b) (千 m^3)	歩止り (%)	幹材林地残材 (a-b) (千 m^3)
針葉樹	—	21388	—	—
広葉樹	—	13883	—	—
計	44975	35271	78	9704

* 京都大学木材研究所教授

〒611 宇治市五ヶ庄

いる。この傾向はここ数年続いていて、木材に関しても石油ほどではないにしろ、使用量の半分以上は輸入に依存していることになる。輸入先としては東南アジア、アフリカ、オーストラリア、ソ連邦、カナダなど多方面にわたるが、従来ラワン材などの供給の主力であった東南アジア諸国の木材事情が厳しくなり、その結果として輸出に対する規制が出てきて、チップその他の加工製品としての輸出のほかは認めない傾向が生まれつつある。このようなわけで、リニューアブルといわれながらもわが国木材資源の前途は決して楽観を許さない状態にあるといわねばならない。

木材は太陽エネルギーを最も効率よく利用している生物であって、巨大生長を営む生物体として密度高く大量に生産されるから古来人類との関連は深く、薪炭、住宅材料、紙パルプ、衣料として日常生活と密接に結びついてきた。あまり遠くない未来に石油枯渇が予測される現在、リニューアブル資源として石油に替るところまではいかなくとも、その使用面のいくらかを代替できるエネルギー源としての利用方法の開発は世界的規模で進めなくてはならない時機にきていると思われる。“バイオマス”でまとめられるこれら生物体のエネルギー源としての利用法は木材に限らず、バガス、イモ類、モミガラ、海藻、油脂植物など多方面にわたり検討が続けられているが、大別するとデンプンまたはセルロース質よりアルコール生産、精油やラテックスのテルペンまたはセスキテルペン類の利用、ならびに液状または固状の炭化水素の利用に分けられる。木材は部位により、樹種によりこれらのすべてを生産することができるが故に、生物エネルギー源としても林産資源という特殊グループを形成する。木材をエネルギー源として利用しようとする場合、今迄使用されてきた分野における材料としての価値と、新分野での価値とが当然比較される。住宅材料としての木材は湿度調節機能とか適当な粘弾性のため重宝され、特に内装材料としては抜群の機能をもつ。また、紙パルプ原料としても合成繊維が開発されたといっても極、限られた利用面に使用されるに過ぎず、木材繊維はその原料として他に代替できない特性を持っている。このように考えるならばエネルギー原料としての利用は現段階ではこれらの用途を無視してしまうわけにはいかない。したがって、住宅材料や紙パルプとして利用した残部または廃材を利用してこうということになる。

表4は昭和51年に試算されたわが国木材工業における廃材排出量⁴⁾を示したものである。この廃材はそ

表4 わが国木材工業において排出される廃材量の試算結果⁴⁾(単位 千 m³)

木材工業(原料消費量) 廃材種類	製材	合板	チップ*	パルプ	計	棄却率(%)	棄却量
	(55047)	(12732)	(16227)	(3257)			
鋸屑	3908	—	—	—	3908	25	977
チップダスト	—	—	811	98	909	30	273
端材	11824	4456	—	—	16280	5	814
樹皮	3248	—	2432	261	5943	85	5052
合計	18980	4456	3245	359	27040		7116

* 生産量

表5 未利用木材資源⁴⁾

区分	数量(千 m ³)	摘要
末木・端材	9704	伐採量-素材生産量
枝条	8995	伐採量×0.2
工場廃材	7116	表4参照
合計	25815	

のまま棄てられているのではなく再利用されているのが現状であり、その再利用後に廃棄される量として示されている。たとえば鋸屑の場合、主として製材工場から排出され、総量は年間391万 m³であるが、オガライトなどにその75%が再利用されているので25%、すなわち約98万 m³が廃棄量となる。この再利用後の廃材の合計、すなわち年間排出される工場廃材としては約712万 m³であってこれに表5に挙げた伐採時の枝条や林地残材を加えた約2600万 m³がわが国において1年間に排出される未利用木材資源ということになる。この量は、重量では約1300万トンに相当する。

木材をエネルギー源として利用しようとする場合、つぎのような方法がある。(i) 直接燃料化 (ii) 木材糖化を経るアルコール生産 (iii) 木材液化 (iv) 木ろうの利用 (v) 樹皮よりメタン製造、これらは既に実用化段階に至っているものもあり、また研究段階で検討中のものもあるが、私見をはさみながら概要を述べていきたい。

(i) 直接燃料化

これは古くからおこなわれている薪炭類としての利用法である。今更、とり立てて云う方法でもなく、有機体としての木材の利用法としては、あまりにも無策な方法と思われるが、現実の問題として、特に石油を生産しない国にとっては、たとえば石油の代りに薪を使用するボイラーが開発されていて、石油価格の高騰

につれ経済的な方法として見直されている。因みに木材の燃焼熱については表6のような値が得られている。この表からみると木材の発熱量は絶乾当りに換算して石油の約1/2にすぎないことから、燃料としてよりむしろ、有機体としての特性を完全に利用して後、残渣、たとえばリグニンなどを燃料として利用するほうが得策と思われる。具体的な方法として、リグニンまたは微粉状廃材を重油とまぜたコロイダル燃料の研究が進められている。このものは流動性と安定性が特徴である。木炭は保存性が高いことからエネルギー備蓄の意味で再認識されつつある。

(ii) 木材糖化およびアルコール生産

糖からアルコールをつくる発酵プロセスについては既に解明されており、今更とり立てて研究すべき課題ではないが、糖原料として糖蜜を使うか、デンプンを用いるか、あるいはセルロースを使用するかによりアルコールのコストは異ってくる。木材を原料とする場合、細胞間を充填しているリグニンのため、加水分解、とくに酵素加水分解が進み難く、このため糖化に時間と経費が余分に必要となる。さらにデンプンの場合にはグルコースポリマーから直接アルコールへ転換するプロセスをとり得るが、同じグルコースポリマーでもセルロースから直接アルコールを生産することは現時点ではできない。このようなことを考えると、特に木材のような多量のリグニンで覆われている木材細胞壁セルロースを原料としてアルコールを生産するとなると、現行でも類などデンプン質を原料とする場合と較べて、現在ではコスト高になることは否めない。しかしながら木材を原料とする場合、将来予想される食糧問題と競合せず、また、年間を通してかなりの量を常時供給可能であり、存在密度高く、保存性などにおいてむしろ

いも類などのデンプン質に優る点も少くない。したがって比較的近い将来に焦点をおいて、木材ならびにセルロース質の糖化とこの糖を原料とするアルコール生産のプロセスにつき生起するであろう問題を解決しておく、木材よりのエネルギー生産の可能性をつくっておくことが必要である。

酸加水分解による木材糖化の歴史は古く、第1次～第2次大戦にかけ、ドイツのトルネッシュ工場、デッソー工場、スイスのエムズ工場など10社以上が稼動しており、Schollar法により、乾材1トン当り240ℓのアルコールを生産していた。アメリカでは1945年以降、マジソン法、あるいは改良マジソン法により糖化工場を操業した歴史がある。この方法は0.5%硫酸を用い、185℃、2～3時間の処理で乾材1トン当りアルコール232ℓ、フルフラール20ポンドを得たという⁸⁾。

ニューヨーク大学では、最近5年間にわたり、新聞紙の故紙、または木粉の糖化のために必要な前処理の効果と最高の糖収率をあげるための至適反応条件を検討しつつきてきたが、1980年に連続酸加水分解法⁷⁾を発表している。これによると、セルロース原料はまずプラスチック用2軸スクリュウ型エクストルーダを用いて圧縮される。このとき470°Fの温度に上げられるので水分は無くなって極めて密度の高いケーキ状となり、これが栓の働きをなしてエクストルーダ内の圧力は500 p. s. iまで上る。セルロース塊はスクリュウで押し出される途中で切断され、化学反応に対する反応性が上るという。この圧力のかかった塊が常圧の雰囲気中へ発射される寸前に0.5%硫酸が加えられ、約20秒間接触させるだけで糖化が完了すると述べている。このようにして得られたグルコースはα-セルロースの50～60%に達し、エタノールまで発酵させたときのコストは原料木粉の価格をトン当り30ドルとすると、1ドル67セントであると報告されている。これは最も新しい酸加水分解法として発表された方法であり、木粉、故紙などセルロース質が前処理によって希酸による酸加水分解に対し高い反応性をもつ物理的状態にもたらされるところに特徴がある。この前処理法は爆砕、または膨軟化ともよばれ、セルロース質は綿状にはぐされ、後述するようにこの方法単独でも木材の新しい利用面の開発に使うことができる。この方法では0.5%という希い酸を使用しているが、かなり高温であるため、他の酸加水分解法と同様、耐酸、耐圧、耐熱性の反応装置が必要であり、高度の技術と多額の投資が要求される。

表6 木材、木炭および石油の燃焼熱^{5,6)}

種 別	燃焼熱 kcal/g	種 別	燃 焼 熱 kcal/g
カラマツ	4.92	針葉樹12種 平 均	4.96
トドマツ	4.97	広葉樹59種 平 均	4.73
エゾマツ	4.84	黒 炭	8.07
ブ ナ	4.79	白 炭	7.77
カ バ	4.77	鯨 油	9.47
カ シ	4.60	石 油	10.30～10.33

これに対し、酵素系によって糖化をおこなう場合は反応条件が40~50°C, pH4~5であるから簡単な装置で加水分解を行う利点があるが、反応にかなり長時間を要することのほか、酵素系の回収、並びに原料を酵素系がアタックしやすい状態にもたらし前処理が必要となる。前処理法としては主なものに放射線照射、化学的前処理、並びに機械的摩砕がある。放射線照射では、わら、バガス等のセルロース質の場合、 1×10^8 レントゲンの照射により分子量は1/100に低下し、指圧により簡単に300メッシュ以下の微粉末に粉碎される。この微粉末は容易に水に分散し、30%までの濃度のスラリーとすることができ、この状態で酵素による糖化を行うと、糖化速度は、わら、木粉の場合、非照射原料の20倍、故紙、バガスでは5倍に加速された³⁾と報告されている。化学的前処理法としては原理的には部分的に脱リグニンをおこなってセルラーゼ系が細胞壁のセルロース層に到達できるようにすればよいわけで、方法としてはエチルアミン処理、12.5%苛性ソーダ処理、5%アンモニア処理、メタノール・塩酸処理等が試みられている⁸⁾。12.5%アルカリ処理では引続いて行われたセルラーゼ分解により多糖の80%が加水分解を受け、5%アンモニアではカバの場合50%、メタノール・塩酸により90%が分解したと報告されている⁸⁾。

機械的摩砕について少し詳しくふれてみたい。振動式ボールミルによる木粉の摩砕は効果的であることはかなりよく知られている。この処理で細胞が分断され、これと同時に細胞表面を覆っているリグニン層が部分的に剥離することによって2次壁のセルロース層にセルラーゼが接触しやすくなるためと思われる。この方法では適当な条件下では約24時間の摩砕により木粉は12~36ミクロン程度まで微粉砕される。したがって仮導管または木繊維などの木材細胞は1/10~1/20に切断されていることになる。同時に結晶化度の低下がかなり起っているものと思われる。セルラーゼ標品としてセルロシン AC を用いた場合、24時間摩砕したアカマツ木粉では木粉の55.6%、中性糖の79.0%を単糖に転換する¹⁴⁾ことができる(図-1参照)。振動式ボールミルによる摩砕は電力の消費が大きいため、これにかわる方法として3本ロールを備えるロールミル摩砕が有望である。この方法は振動式ボールミルで木粉を2時間摩砕後流動パラフィンでペースト状となし、これをロールミルに通して摩砕する方法⁹⁾である。摩砕後ベンゼンで流動パラフィンを除いてから酵素分解を

行う。分解率とロールを通した回数(図-2の6, 12, 22)の関係をみると図-2のように、空試験(図-2のB)を含めいずれも分解率60%、中性糖に対しては86%の加水分解率⁹⁾に到達するがロール摩砕回数が多くなればそれほど早く酵素分解が進むことがわかる。この方法によれば、予め化学処理によってリグニン層を除去することなく、木材細胞2次壁に存在するセルロース層をセルラーゼが攻撃できる。但し針葉樹に有利な方法である。

酵素系による木材糖化での第2の問題は強力なセルラーゼを使用することである。セルラーゼとしては *Aspergillus niger* 由来のセルロシン AC または AP, *Trichoderma viride* 系のオノズカ R-10, Meicelase CEP-233 または Reesei, あるいは最近“味の素”で開発されたと伝えられているセルラーゼ、協和発酵の Driselase がある。これら酵素標品は単独で使用するより混用した方が効果が高くなる場合もある。たとえば、セルロシン AP とオノズカ R-10 の混用は相助的効果を発揮し、とくに両者の比が1:1の場合に著しい。図-2はこの1:1 酵素系を用いた結果であるが、酵素加水分解の初期反応速度をみると、ロールミルによる摩砕回数が6, 12, 22と増加するにつれ、その値は次第に

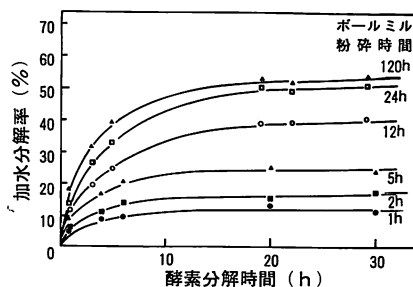


図-1 ボールミル粉砕時間の異なる木粉の酵素加水分解

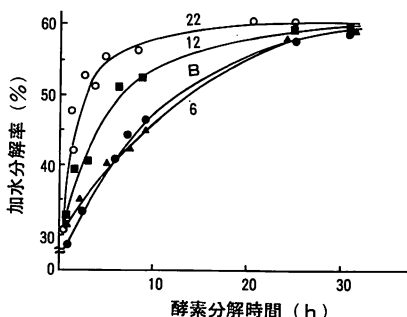


図-2 ロールミル摩砕した木粉の酵素加水分解

増加する⁹⁾ことが確められている。セルロシン AP とオノズカ R-10 は勿論単一の酵素ではなく、数種の混合物であるがセルロシン AP (または AC) ではヘミセルラーゼ活性とカルボキシメチルセルラーゼ活性が強く、オノズカ R-10 ではヘミセルラーゼ活性は弱いがアビセルラーゼ活性、カルボキシメチルセルラーゼ活性共に強くオリゴ糖の生成が著しい。この両者の 1:1 の混用は 22 回摩砕時ではセルロシン AP 単独の初速度の約 2.5 倍の分解能を示す。

機械的前処理法としての他の方法に前述の爆砕、または膨軟化法が挙げられる。これらは装置の規模、処理能力により消費エネルギーも変化するので正確な数値は出せないが、大変有望な方法と思われる。一例として、カナダの E. DeLong により、当初木材の飼料化を目的として 1975 年に開発された Steam Explosion 法¹⁵⁾を紹介する。本法は Hydrothermal Explosion 法または Explosive Decompressurization 法ともいわれ、原理的には高温・高圧蒸気による前処理工程とこれにつづく爆砕工程から成る。すなわち、31 mm のスクリーンを通した木材チップを 230~240°C、約 600 p.s.i (約 40 気圧) の水蒸気で 30~40 秒処理した後、急速に大気中に放出・爆砕させる。このときチップは芳香をもった、湿った、褐色のオカラ状になるという。このオカラ状繊維を水で抽出すると材の 23.1% に相当する糖と 4.1% に当るリグニンが溶出し、残渣をアルコールで抽出するとさらに 19.0% に相当するリグニン分解物がアルコール可溶となって分離し、不溶部 53.8% は大部分セルロースから成るといわれる。このセルロースは結晶化度は変わらないが酵素に対する accessibility が大きく、糖化が容易であると報告されている。酵素分解の前処理としてはこれほど強い条件が必要か否かは問題であるが、何はとも角、爆砕法が微生物的、化学的分解の前処理としては極めて有効であることが理解できる。木材を構成するセルロースは上述のようにリグニンで保護されていて、酵素の作用を妨げるため、木材糖化に酵素系を用いる場合はとくに機械的、化学的、あるいは放射線による前処理が必要となり、生産コスト高の原因をなしているが、鋸屑、チップ屑、端材、間伐材あるいはパルプ工業よりえられる柔細胞などを安価に、まとめて入手可能な地域で木材糖化をおこなえば、実用化も可能になると思われる。とくにエタノールは自動車燃料ガソール (ガソリン 90% + エタノール 10%) 用として急速に注目をあび、ブラジルでは早くから自動車用代替燃料としてその使用を具

体化していることは周知の事実であり、米国でもガソール用エタノールを農産物から得るべく計画中であるときく。

(iii) 木材液化

最近、アメリカ鉱山局で一酸化炭素により有機廃棄物を効率よく液化する方法が開発され、補充可能エネルギー源として報告されている¹⁰⁾。この方法の特徴は CO によって炭水化物の水酸基の酸素が脱離し、炭化水素に変換される点にある。木材はその 70~75% が炭水化物より成るため、木材の液化には真に適切な方法であると思われる。榊原ら¹¹⁾は Appell の方法¹⁰⁾を改良し、セルロース (ろ紙) につき水を媒体として検討した結果、250°C でベンゼン可溶部が 0~0.4%、300°C で 18.8±8.4%、350°C では 24.9±8.4%、木粉については 250°C、300°C ではベンゼン可溶部は生成せず、350°C で 32.3±2.8% の収率をえた。反応率に対する触媒の影響は Na₂CO₃、K₂CO₃、NH₄OH のうちでは Na₂CO₃ が最も優れ、反応率 98.0±1.9% を示した。セルロースから完全に脱酸素するにはグルコース残基あたり 5 モルの CO が必要であるが、ガス反応量からみるとグルコース残基当り 2~3 原子の酸素が脱離していることになる。ベンゼン可溶部の IR スペクトルならびに NMR スペクトルから、ろ紙でも木粉の場合でも芳香核の生成が認められている。これらの実験は水を媒体として CO を反応させた結果であるが、水の代りに液化油の一部を溶媒とし、最も安価な合成ガス (CO+H₂) が使用できればより好ましいわけで、各種有機溶媒中で鉄カルボニルを触媒として反応を試みたところ、シクロヘキサノールを溶媒とした場合には 300°C で木粉につき 98.1% の反応率がえられている。この結果から、むしろ有機溶媒中での合成ガスによる反応の方が好ましいので、この方法が詳細に検討されている。

(iv) 木ろうの利用

木ろうは昭和 27-28 年頃までは年間約 20 万トンが生産されていて、輸出も行われ世界的な評価を受けてきた。その後、除々に生産がおち、オイルショック以来これが激減したが、近年再び需要が増して生産量が追いつけない状態に至っている。種類として九州北部に産するハゼろうのほかには東北、北陸地方あるいは中国より輸入されるウルシろうがあり、品質的にはハゼろうがよくウルシろうは稍劣るとされている。大部分がトリグリセリドから成り、ハウス栽培用燃料として

使われていたが、現在パラフィンろうに替りつつあるといわれる。ハゼ木ろうはハゼ(ウルシ科)の種実から生産され、ハウス栽培用燃料のほか、多くの用途が可能であるが現実に用途拡大を抑えている要因としては原料費と製造費が挙げられる。とくに製造費の主要部を占める天日晒を合理化、すなわち化学晒へ転換することによってかなりのコストダウンが見込まれる。住本ら¹²⁾はその第1段階として天日晒でどのような化学反応が起っているかをしらべた結果、晒過程で酸成分の二重結合の開裂による酸の増加と“生ろう”の着色成分の分解が主体をなし、グリセリドのエステル結合の加水分解は比較的少いことがわかった。生ろうと晒ろうに含まれる22種の成分を同定した結果、天日晒で新たに生成する成分はオレイン酸やリノール酸の二重結合の酸化開裂により生ずる二塩基性酸、二重結合やそのアリール位のOxygenationなどにより生成するヒドロキシ、エポキシ、ジヒドロキシ、ケトヒドロキシ酸が主体であった。以上の知見を基に、天日晒の内容に対応する化学晒を考えると

〔二重結合の切断〕=〔オゾン酸化〕

〔Oxygenationと一部加水分解〕=〔アルカリ性過酸化水素酸化〕

と考えるならば、化学晒としては、オゾン処理とこれに連続する過酸化水素処理が最も好ましい方法と考えられる。事実、この方法により天日晒特有の粘靱性に富む木ろうがえられることがわかったので天日晒に劣らない化学晒をおこなうための至適条件が検討されている。

(v) 樹皮の発酵によるメタン製造

わが国では年間約600万³m³の樹皮が排出されているがその85%は棄却されている状態である。樹皮からメタンをうる場合、樹皮粉を予め化学的または微生物的に前処理したものをメタン発酵させると、メタン発生量が増加し、とくに1% NaOHによる前処理あるいはリグニン分解能をもつ担糸菌、糸状菌で前処理したものは、無処理試料に較べ約倍量のメタン発生をもたらす¹³⁾ことが明らかになった。桑原らは現在、大体の目安として1gの樹皮粉より約15~20mlのメタンをえているが見通しとしてこの5~10倍量は可能であるという。

参考文献

- 1) R. Persson : World Forest Resources (1974); 林野行政研究会：“新・世界の森林資源調査”(1975)
- 2) 林野庁監修：林業統計要覧，林野弘済会(1976)
- 3) 当間次雄：“バイオマス有効利用に関する開発動向資料”産業情報サービス，p 81 (1980)
- 4) 林野庁研究普及課：“木材エネルギー活用について”昭和54年4月
- 5) 東 順一，佐藤 惺：有機資源の化学，化学同人，京都 p 47 (1981)
- 6) John A. Dean edit. : Lange's Handbook of Chemistry, McGraw-Hill Book Company 9-96 (1973)
- 7) B. Rugg, W. Brenner : Proceedings of the 7th Energy Technology Conference and Exposition, 24-26 March 1980, Washington, D. C.
- 8) 古谷 剛：材料(木質材料特集号)(1981)印刷中
- 9) 越島哲夫：エネルギー特別研究“生物エネルギーの利用と開発”昭和55年度研究成果報告 p 75 (1981)
- 10) H. R. Appell, Y. C. Fu, S. Friedman, P. M. Yavovsky, I. Wender : Report of Investigation 7560, Bureau of Mines
- 11) 榊原 彰：エネルギー特別研究“生物エネルギーの利用と開発”昭和55年度研究成果報告 p 64 (1981)
- 12) 住本昌之：同 p 69 (1981)
- 13) 桑原正章：同 p 70 (1981)
- 14) R. Tanaka, F. Yaku, E. Muraki, T. Koshijima : Cellulose Chem. Technol., 14, 859 (1980)
- 15) 森川弘道：化学と生物 19, No 6 (1981)印刷中

