

琉球大学学術リポジトリ

[報文]ギンネムのバイオマスエネルギー化に関する基礎研究(第2報)

メタデータ	<p>言語: Japanese</p> <p>出版者: 南方資源利用技術研究会</p> <p>公開日: 2014-10-26</p> <p>キーワード (Ja): ギンネム, バイオマスエネルギー, ペレット化, 小規模プラント, 離島地域, ローカルエネルギーシステム</p> <p>キーワード (En): Leucacena Leucocephala de Wit, Biomass-energy, Pelletizing, Small size plant, Small islands, Local energy system</p> <p>作成者: 上野, 正美, 泉, 裕巳, UENO, Masami, IZUMI, Hiromi</p> <p>メールアドレス:</p> <p>所属:</p>
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/0002016538

報 文

ギンネムのバイオマスエネルギー化に
関する基礎研究（第2報）

上野正実・泉 裕巳
(琉球大学農学部農業工学科)

Study on the utilization of *Leucaena Leucocephala* de Wit
as a biomass - energy source (Part 2)

Masami UENO*, and Hiromi IZUMI*

*College of Agriculture, University of the Ryukyus, Senbaru, Nishihara
Okinawa, 903-01*

The milling and pelletizing characteristics of *Leucaena Leucocephala* de Wit were investigated to utilize the plant as a biomass-energy source. The power and capacity of a screw-type test-machine were influenced remarkably by the moisture content of the materials. At the higher moisture contents the pelletizing was carried out easily, on the other hand, it was so hard at the lower moisture contents, especially at those of less than 25%. The mechanism of milling and pelletizing processes was discussed from a view point of mechanics, especially the physical properties of the materials and the frictional behaviours between the screw and the materials. Finally, we proposed a small pelletizing plant as a component of a local energy system.

Key words ; *Leucacena Leucocephala* de Wit, Biomass-energy, Pelletizing, Small size plant, Small islands, Local energy system.

キーワード ; ギンネム, バイオマスエネルギー, ペレット化, 小規模プラント, 離島地域,
ローカルエネルギーシステム

はじめに
南西諸島のような亜熱帯に属する離島地域に

903-01 沖縄県西原町千原1

おいて、その豊富なバイオマス資源をエネルギー化し、化石燃料のみに依存したこの地域のエネルギー事情を多少なりとも緩和するための基礎資料を得るのが本研究の主たるねらいである。ここではギンネムに着目し、それに粉碎・形成

等の圧縮処理を加えてエネルギー化を図った。

前報では、バイオマスエネルギーの利用システムに関する特徴をローカルエネルギーの観点から示し、ギンネムを用いたいくつかの方式を検討した¹⁾。次に、ギンネムの加工過程および一次集積過程において必要となるいくつかの物理性に関するデータを得た。さらにスクリュー型圧縮粉碎試験機を用いて圧縮粉碎・圧縮成形を行い、それらの特性を検討した。これより、様々な条件下においてギンネムを安定的に成形するには、試料水分、試料の物理性、ダイの形状、試料の供給状態あるいは粘結剤の添加量等、各因子の影響を詳細に分析しなければならないことが明らかとなった。

これらを踏まえ、本報ではギンネムの水分と圧縮粉碎特性および圧縮成形特性との関係を中心として次の検討を行った。a) 圧縮粉碎における所要動力、能率等の処理特性に関する試料水分、ダイのサイズ、供給量(流量)の影響を調べる。b) 圧縮成形特性に関する試料水分、ダイのサイズ、粘結剤の添加量、供給量の影響を調べる。c) エネルギー化に関する総合的検討を行う。

材料及び方法

本研究では、スクリュー型圧縮処理機(鶴見曹達(株)製(プレスマル))を用いて、圧縮粉碎および圧縮成形を行った^{1, 2, 3, 4)}。図1に示すように、ギンネムはハンマー式カッター①で細断、ベルトコンベア②およびスクリュー式供給装置③で搬送・供給される。この後、試料は本体のスクリュー部④で粉碎されて先端のダイのノズルより押出される。圧縮成形では一旦粉碎した試料を本体のホッパーより直接投入した。

圧縮処理機本体部のモータの入力電力の測定にはクランプ式三相電力計(日置電機(株))を用いた。流量を求めるために処理物の重さをロードセルによって検出し、電力値とともに記録した(図1参照)。

試料水分が段階的に変化するように、採取後

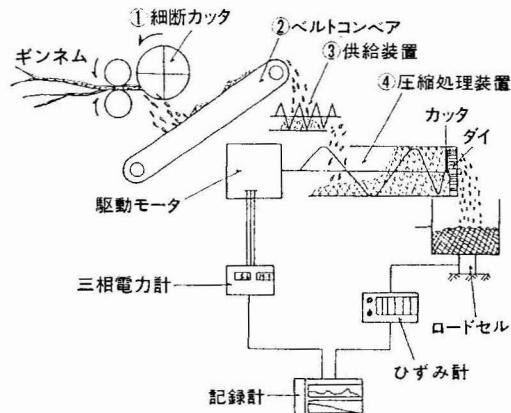


図1 圧縮処理試験装置の概要

の経過日数を数水準に設定して試験を行った。圧縮粉碎ではサイズの異なる2種類のダイを用いた。供給量を変えるために供給装置のスクリューの送り速度を調節したが、ベルトコンベアからの流入量が安定しないので十分なコントロールはできなかった。成形においてもサイズの異なる2種類のダイを用いた。これらのノズルの径および長さ等を表1に示す。粘結剤(デンプ

表1 使用ダイのサイズ

種類	粉碎		成形	
	細目	太目	細目	太目
穴形状	長円	長円	円	円
穴面積 cm ²	2.19	3.04	0.77	2.93
穴個数	12	12	32	13
総面積 cm ²	26.31	36.49	24.78	38.14
開口率	0.206	0.288	0.187	0.287
穴の深さ mm	36.74	45.06	50.1	74.1
穴総表面積 cm ²	391.17	504.19	500.03	585.06

ン)の添加量は試料の湿潤重量比にして約20%および30%に調整した。

表2に試験因子とその組合せ、および、試験回数を示す。この他に約20%から平衡含水率に近い状態まで数回の試験を行った。供試ギンネムは琉球大学キャンパス内で採取した直径10~30mm程度のものを用いた。

表2 試験方法

圧縮粉碎試験	
含水率	6段階
ダイサイズ	太目, 細目
供給条件	3段階(効果小)
試験回数	45回

圧縮成形試験	
含水率	7段階
ダイサイズ	太目, 細目
粘着剤	20%, 30%
試験回数	85回

結果及び考察

1. 圧縮粉碎特性

1) 所要動力および能率

圧縮粉碎における所要動力は4.2~10.6kW, 平均6.2kWであった。前報で述べた試験では5.7~13.0kWとこれよりやや高い値を示したが、

これは電力測定の精度が低いことと、試料採取から粉碎までの経過時間が長かったこと等に起因したものと考える^{1,2)}。処理能率は71.2~152.4kg/h, 乾物量にして45.8~93.2kg/hであった。単位能率すなわち消費電力量 1 kWh当りの処理量に換算すると10.0~28.2kg/kWh, 乾物量では6.2~16.1kg/kWhとなった。

2) 圧縮粉碎特性値に関する分析

上記のように、試験条件によって所要動力、能率あるいは単位能率等の特性値には2倍以上の差がみられた。そこで、試験因子と圧縮粉碎特性値との関係を分析してみた。圧縮粉碎直前の細断試料の含水率と所要動力、能率および単位能率の平均値を表3に示す。この表では粉碎用ダイのノズル(長円形)のサイズ別にそれぞれの値を示してあるが、()内の値は成形用ダイ(ノズルは円形)を用いたものである。

一般に、ギンネムの生材は柔軟であるが、乾燥して含水率が低下するに伴って硬くなる傾向がある。従って含水率が高いほど粉碎に要するエネルギーは少なく、両者には相関関係がある

表3 圧縮粉碎試験結果

含水率(%)	ダイ イ サ イ ズ	所要動力 (kW)	能 率		単位能率	
			(kg/h)	全量 乾物量	全量 乾物量	(kg/kWh)
39.97	太	5.51	136.3	84.7	24.7	15.4
	細	5.84	123.4	78.2	20.9	13.3
43.21	太	10.46	129.0	76.0	12.3	7.3
	細	9.10	94.3	58.3	10.4	6.4
47.55	太	5.75	102.7	59.6	17.9	10.4
	細	7.97	118.7	70.6	14.9	8.9
48.45	(太)*	(7.93)	(107.8)	(59.5)	(13.6)	(7.5)
	太	4.75	123.7	67.2	26.0	14.1
	細	4.34	91.8	50.3	21.2	11.6
58.36	太	6.89	122.4	66.9	17.7	9.7
	細	5.60	94.8	51.4	17.0	9.2
58.21	太	4.97	120.9	56.5	26.2	12.2
	細	4.67	115.9	59.1	24.8	12.6
全体平均		6.20	119.4	66.9	20.2	11.6

*) () は成形用(円形)ダイを使用した場合

ことが予想される。実際に採取直後の試料と乾燥したものでは粉碎所要動力にはかなりの差がみられた。この試験機では20%以下の含水率では所要動力がモーター容量をオーバーして完全につまり、安定的に圧縮粉碎しうるのは含水率30%以上の場合であった。このようなことから上記の仮説には十分な根拠があるように思える。しかしながら試料の含水率と各試験毎の平均所要動力には相関関係はみられなかった。同様に、粉碎試料の含水率と単位能率(乾物重)にも明確な関係はなかった。乾物量表示の単位能率は含水率が高くなるとやや減少する傾向がある。

このように含水率の影響が明確に表れなかつた原因の一つとしてスクリュー部への試料の供給量が不均一であることがあげられる。さらに打撃を中心とした粉碎作用自体が持つ所要動力の変動もありその瞬間値は大きく振れている(図2参照)。供給量と押出し流量が等しくなると

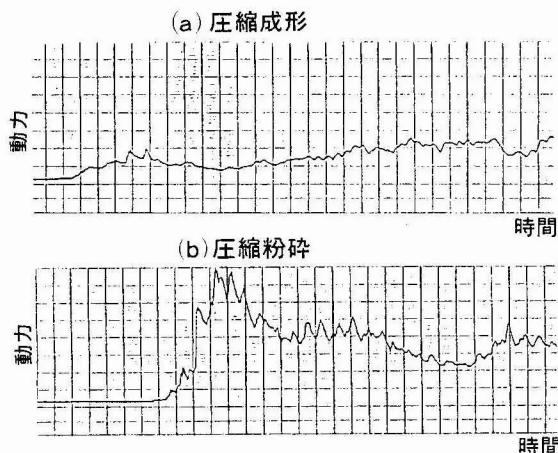
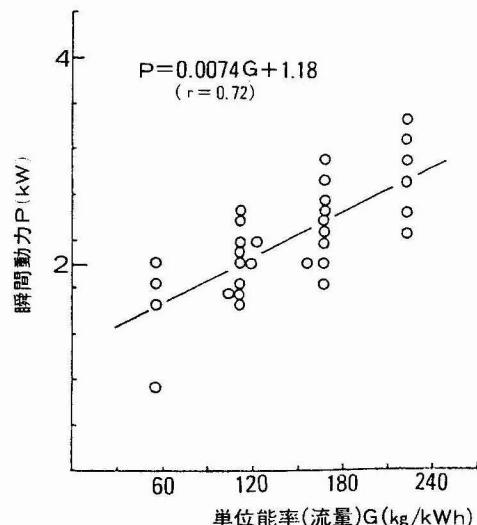


図2 圧縮処理における瞬間動力波形

定常状態となるが、入力側の供給量が一定せず、試料の出入力のバランスを取りにくい。これに加えて、粉碎作用部は30cm弱しかないために、試料の出入力の状態に応じて所要動力は変動しやすい。さらに空転動力は約0.9kWであったが、これはダイの装着状態等で変動する量であるので、この影響も小さくない。

そこで観点を変えて同一試験について流量と

所要動力の関係を検討してみた。入力側の供給量は求めにくいので、ロードセルを用いて積算処理重を測定して出力側の流量を求めた。試料が圧縮粉碎されダイから押出されるまで10秒程度を要する。このため、流量は、20秒間の処理量から求め、所要動力はその間の平均値を用いた。両者の関係の一例を示す図3より流量(能

図3 単位能率と瞬間動力値との関係
(圧縮粉碎の場合)

率)と所要動力の間にはかなり明瞭な相関関係があることがわかった。回帰式の係数は試料の含水率等の粉碎条件によって変化する。なお、一旦乾燥した試料は後で加水・調整しても圧縮粉碎特性は大きく異なった。

表4にダイサイズと圧縮粉碎特性値の平均値を示す。同表よりわかるようにノズルが小さいほど、所要動力は大きく能率は小さくなる傾向がみられた。ヤング率、曲げ強さ等のギンネムの物理性と所要動力、能率についても含水率の場合と同様の理由で明確な相関関係は得られなかった。しかしながら、試料が硬くなる、すなわちこれらの値が大きくなると所要動力は増加し、単位能率が減少する傾向はみられた。例えば、曲げ強さ約50.0MPaおよびヤング率約5.0GPaの試料と、同じく約60.0MPaおよび7.0

表4 ダイサイズと圧縮粉碎特性値（平均値）

サ イ ズ	(kW)	ダイノズル 所要動力		能 率		単位能率	
		全 量	乾物量	全 量	乾物量	(kg/kWh)	(kg/kWh)
円 形 (太)	7.93	107.8	59.5	13.6	7.5		
長円形 (太)	6.03	125.6	71.6	22.0	12.5		
中円形 (細)	6.17	112.3	66.1	19.1	11.1		

GPaのものの、圧縮粉碎所要動力はそれぞれ約6.0kWおよび約10.0kW、単位能率(乾物)の平均値はそれぞれ約9.5kg/kWhおよび約6.8kg/kWhとなった。

2. 圧縮成形特性

1) 所要動力および能率

圧縮成形における所要動力は3.8~9.7kWで平均値はおよそ6.0kWであった。圧縮粉碎に比べて平均所要動力のバラツキは小さく、また、その瞬間値も変動幅がせまく、比較的安定して

いるのが特徴である。これは粉碎の場合と異なり試料を本体へ直接供給したので供給量がほぼ一定となったことと、粉碎されているために試料の性状が均一になっていることが大きな原因であろう。能率は90.0~310.0kg/h(乾物量:55.0~195.0kg/h)で、平均値は約185.0kg/h(117.0kg/h)であった。単位能率は12.0~54.0kg/kWh(8.7~34.0kg/kWh)で、平均値は約31.0kg/kWh(20.0kg/kWh)であった。これらの特性値を表5に示す。なお、試料の含水率が25%以下では所要動力がモーター容量を

表5 圧縮成形試験結果

サ イ ズ	含水率(%)	所要動力 (粉碎後) (kW)	能 率		単位能率		
			全 量	乾物量	全 量	乾物量	(kg/kWh)
太	40.85	5.5	204.2	121.2	37.3	22.1	
	29.50	7.9	160.1	113.3	19.8	13.9	
細	38.94	5.7	126.6	76.2	21.8	13.2	
	25.59	9.7	113.7	84.6	11.7	8.7	
太	39.27	5.5	227.6	138.4	41.8	25.4	
細	36.15	6.5	193.1	122.9	29.6	18.8	
太	37.50	5.6	208.4	130.3	37.6	23.5	
細	35.36	6.7	199.1	131.2	30.1	19.5	
太	35.07	5.6	192.5	124.8	35.1	22.6	
細	33.36	6.0	115.1	76.2	19.3	12.8	
太	34.04	5.0	156.7	103.5	25.0	20.5	
細	32.11	5.7	110.9	75.2	19.4	13.1	
全 体 平 均		6.0	185.0	117.0	31.0	20.0	

オーバーしてつまつた。

2) 圧縮成形特性値に関する分析

能率および単位能率と所要動力の間には明確な関係はみられなかった。これらは圧縮粉碎において述べたように供給量やダイのセットの状態に起因するものと考える。しかるに同一試験においてこれらの関係を検討すると、圧縮粉碎の場合と同様に相関関係がみられた。ダイのノズルのサイズによって圧縮成形特性値にはかなりの差があった。所要動力の平均値は太目5.6 kW, 細目6.4kW, 能率の平均値は太目205.0kg/h, 細目162.0kg/hとなっている。粘結剤の添加量と圧縮成形特性値との間には明確な関係はなかった。

図4に試料の含水率(粘結剤を含む)と所要動力の関係を示す。同図のように両者には負の相関関係があった。含水率が高いと能率は増加する傾向があるが、相関はあまり高くない。試料の含水率が高いほど圧縮からの復元量および摩擦抵抗は小さくなる結果を別の試験で得ているが、これがスクリュー部での成形抵抗に反映して図4のような結果になったものと推察される。

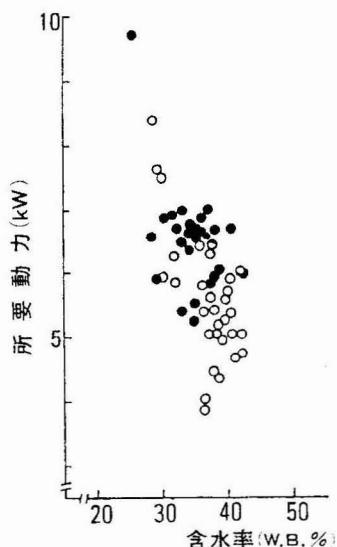


図4 圧縮成形における含水率と所要動力の関係
(白ヌキ: 太目ダイ、黒ヌリ: 細目ダイ)

3. 圧縮処理に関する力学的考察

本研究ではスクリュー型の装置を用いてギンネムを圧縮処理しペレットに成形した。ここでは力学的視点よりこのプロセスを整理してみる。

本装置では細断された試料をスクリューで搬送しながら次第に圧縮する。試料にはこの圧縮作用の他に、スクリューやバレル面との摩擦、バレル壁面の溝におけるせん断、および、試料相互のせん断等が作用する。さらにスクリュー先端部のナイフで切断・攪拌された後にダイのノズルより押出される(図1参照)。このようなプロセスにおいて、試料は粉碎あるいは成形される。スクリュー先端部とノズルの入口の間にはかなりのすき間ができるので、この部分における試料の挙動、特に、ノズルへの圧入はその物理性に大きな影響を受ける。例えば試料の含水率によっては押出されない、すなわち完全につまつたり、試料が逆流する場合がある。これに対してロールダイ型のペレット製造機ではロールとノズルの間隙はわずかであり、試料はロールによってノズル内に強制的に圧入される^{5,6)}。ここで用いた試験機ではスクリュー先端のナイフが、ロールダイ型におけるロールの機能をもっており、試料の圧入を補助している。

ノズルより押出される量と供給量が一致すると、この系は定常状態に近づく。定常的に押出されている状態では試料はスクリュー面あるいは試料による構成壁面をすべてしている。すなわちスクリュー面上に作用する垂直応力と接線応力が摩擦係数に等しくなければならない。同様にバレル面、シャフト面、スクリューの裏面においてもすべりが生じている。さらにこれらの面付近の試料のせん断変位があまり大きくなことが必要である。試料がスクリュー等の表面上をすべりながら前進するためにはバレル内壁面の円周方向のすべりは拘束されていなければならない。もしこの方向にもすべると空回り状態となって試料は前進しない。

スクリューピッチが変化する場合には、スクリュー面は図5のようになる。同図はパーソナ

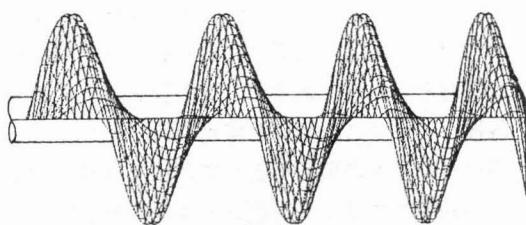


図5 スクリュー面形状の例

ルコンピュータのグラフィック機能を利用して描かせたものである。シャフトはテーパ状になっているためにスクリューとバレル間の空間は急激に小さくなつて試料を圧縮する。スクリューがこのような形状であるので試料をバレル面に押しつける力が作用する。従ってバレル面上の摩擦力はスクリュー側のそれよりも大きくなる。さらにバレル面では軸方向より円周方向の方が曲面による抵抗が大きくなつており、試料がすべりながら前進するための条件が形成される。力の平衡条件からみると、本体内部で発生する様々な抵抗に対して、スクリューおよびバレル表面に作用する力の反力をがつり合つてゐる必要がある。この反力が既知もしくは予測可能であれば全壁面に沿つてこれを積分することにより全体の平衡方程式を得ることができる。また、スクリューの回転速度等を考慮すればこの系の所要動力を算出しうる。しかしながらギンネムの圧縮特性および摩擦特性についてはデータ不足であり、具体的な解析を行うにはいくつかの難点がある。ここではギンネムの圧縮特性および摩擦特性と含水率の関係を十分に解明する必要のあることを指摘するに止める。

4. 圧縮処理による乾燥効果

圧縮粉碎あるいは成形時に押出される製品の品温は約100°Cで、バレル外側の表面温度は80°C程度であった。バレル内での圧縮および摩擦によって熱が発生し、試料の温度は上昇する。このため試料内の水分は拡散し、温度上昇を抑制する作用がある。含水率20%以下ではこの作用が小さいために温度は上昇を続け試料が発火

して煙が発生した。一方、高含水率では圧縮によって水が絞り出される場合もある。このような水分除去効果、主に乾燥効果は条件にもよるが、圧縮粉碎時でおよそ5%程度であった。圧縮成形に関しては2~5%である。粉碎から成形まで通してみると、粘結剤の混合による相対的な含水率の減少も大きいために7~15%程度減少した。このように圧縮処理による乾燥効果はかなり大きいといえる。

5. エネルギー化に向けての検討

この試験機を用いた場合、圧縮粉碎および圧縮成形における所要動力(空転動力も含む)は平均でそれぞれ約6kWであった。合計で12kWとなるが、粉碎では細断カッターや搬送コンベアを駆動する動力も必要である。これらは5~7kW程度で、大半は細断に必要なエネルギーである。従って、ギンネムを成形してエネルギー化するには全体でおよそ20kW程度の動力が必要となる。

一方、本研究で得た処理能率は粉碎で65~230kg/h、成形で90~310kg/hであった。乾物量ではそれぞれ44~139kg/hおよび、55~195kg/hである。これらは試料の供給条件によって大幅に変動するが、2台の装置で連続的に処理すれば全工程の能率は控え目に見積ってもおよそ220kg/h、乾物量で120kg/h程度は容易に達成できよう。ペレット製造過程全体の単位能率は11.0kg/kWh、乾物量で6.0kg/kWh程度となる。木質系エネルギーの低発熱量は含水率12%程度のペレットで約4.0~4.7kWh/kgとされている⁷⁾。含水率12%に相当するギンネムのペレットは上記より単位能率6.8kg/kWh程度になる。すなわち1kWhのエネルギーを消費して生成しうるペレットのエネルギー量は27.2~32.0kWhに相当する。このようにペレット製造能力はあまり大きくないがエネルギー効率はすぐれている。

本試験装置を用いてギンネムをエネルギー化するには、上記のようにスクリュー型処理機2

台を連結して圧縮粉碎および成形が1工程で完了するようにし、これに細断用カッター、供給装置等を付帯装備した装置が有効であろう。採取したギンネムをそのまま投入すればペレットになって出てくる装置である。装置のレイアウト等の工夫、および、かなり大きな動力を必要とする細断用カッターの改良により単位能率を増加させることもできる。ただし、ギンネムの供給を人力に頼る以上、能率はこの部分に制約されるが、ここに述べた程度の能率では長時間運転でも何ら支障はない。離島地域を想定したペレット製造プラントとしては25~30kW程度もしくはこれよりやや大きい装置で十分であろう。

現在、実用運転されている樹皮ペレット製造プラント（200kW程度のペレット製造機を装備）でもここで得た単位能率よりやや低い6kg/kWh（160kWh/ton）程度であることが報告されている^{6,7)}。しかしながらこの値には成形前段階での乾燥等に必要なエネルギーは含まれておらず実際にはこれよりもかなり低い値となる。このようなペレット製造プラントは比較的大規模なものであり、全体の施設経費および運転経費は相当な額になる。単純に生産能率だけを考えれば大規模プラントが有利であることは言うまでもないが、この種のプラントでは原料確保等の面から必ずしも好適条件で運転しうるとは限らず、多くの問題をかかえているのが実情である。

圧縮処理はギンネムの含水率が高いほど容易であるので、採取後できるだけ早く、少なくとも採取後一週間以内で処理しなければならない。圧縮処理によって前述のように試料水分が若干減少して乾燥の一助となる。その後のペレットの乾燥は好天であれば日干しで1~2日で十分である。通常のペレット製造装置のように、成形前に乾燥プロセスを含むシステムではこの部分に相当な施設とエネルギーを要する。本研究で述べた装置はこの点でかなり有利である。もとより生産量にポイントをおいた施設向きでは

ないが、低コスト、低エネルギーで狭い範囲内での原料・製品の流通に局限される離島地域には好適といえる。さらに、この装置はそのまま各種バイオマスを用いた堆肥原料、サイレージ、飼料ペレットの製造用として運用できる⁸⁾ので、高い効率でプラントを運転しうる可能性がある。

ギンネムは立木の状態のまま採取・集積し、直接ペレット化することができる。すなわち枝の除去等の特別な処理は不要である。特に密生している群落では直立状で枝もほとんどないので取扱いは容易である。他方、ギンネムの場合には樹皮ペレットのように原料が製材所の副産物として得られない点は不利であるので、プラント設置に当っては十分な検討が必要である。

結 び

本研究ではギンネムのペレット化に必要な圧縮粉碎および成形特性、これに関連したギンネムの物理性を概観し、把握した。加えて、離島地域を想定した小規模、低コスト、低エネルギー、多用途なペレット製造装置に関する検討を行った。この地域においてこのような装置を分散設置すれば、無理なく運転でき、バイオマス資源の有効利用の一助ともなるものと考える。なお、直接燃焼を目的としない堆肥や飼料等も緩やかなエネルギーの一形態と考え、バイオマスエネルギーの総合利用システムを検討することが今後の課題である。

本研究は昭和61年度文部省科研費「エネルギー特別研究」の一部として遂行したものであることを付記しておく。最後に、本研究を遂行するに当って御協力いただいた鶴見曹達株式会社、琉球大学農業機械学研究室4年生および古波倉由利子嬢に心より感謝申し上げます。

文 献

- 1) 泉・上野 (1988) ギンネムのバイオマスエネルギー化に関する基礎研究（第1報），南資研会誌，4，No.1，53-63.
- 2) 泉・上野 (1986) 亜熱帯の離島地域におけるバイオマスエネルギーの開発および有効利用，生物資源にかかるエネルギー利用の高効率化に関する研究（文部省科研費エネ特研）昭和60年度研究成果報告書，173-182.
- 3) 泉・上野 (1987) 亜熱帯の離島地域におけるバイオマスエネルギーの開発および有効利用，生物資源にかかるエネルギー利用の高効率化に関する研究（文部省科研費エネ特研）昭和60年度研究成果報告書，237-248.
- 4) H.Izumi and M.Ueno (1987) DEVELOPMENT AND UTILIZATION OF BIO-MASS ENERGY IN SUBTROPICAL ISLANDS, 1987, High Efficient Utilization of Energy Concerning to Bio-Resource (文部省科研費エネ特研報告書 SPEY25), 129-134.
- 5) 江崎春雄他 (1985) バイオマスのペレット成形に関する研究（第1報），農機誌47(3), 279-284.
- 6) ——他 (1986) 木質材ペレット成形施設の調査研究，農業施設，17(1), 34-41.
- 7) 日本住宅・木材技術センター編 (1984) 森林資源有効活用促進調査事業報告書，25-412.
- 8) 本郷・城間 (1979) ギンネムの飼料的利用に関する基礎研究，琉大農学報，26, 379-287.