

木質系ペレットの燃焼特性に関する研究

岩尾 俊男*・林 圭院**・竹山 光一*

Studies on the Combustion Characteristics of Woody-Pellets
Toshio IWAO, Gyuwan IM and Kouichi TAKEYAMA

This study was about the combustion characteristics of woody-pellets. The five materials of pellets as bark, bagasse, straw of rice, pulp sludge and chaff, with the length of 10, 15, 20 and 25 mm, respectively were put into an electric furnace (500-1000°C). Then the change of weight was measured until the pellet was burnt out.

The main results about the combustion rate were as follows;

- (1) The rate was increased with reducing of the length of the pellet. The difference of the rate, however, was little.
- (2) The rate of pellets was increased with raising of the temperature of the atmosphere, and extremely increased above 700°C.
- (3) The rate according to the different material of the pellets decreased in order of bagasse, straw of rice, pulp sludge, chaff and bark.
- (4) The relation between the change of the weight (y) during combustion and the time of combustion (x) was gained as

$$y = k/(1+a \cdot \exp(bx))$$

and the combustion rate was gained by this equation.

I. 緒 言

木質ペレット燃料は林地残材, 製材工場の残材, 都市残材などの木質系廃棄物, 稲わら, もみがらなどの農産物残さなどを破碎, 粉碎の過程を経て圧縮成形を行ったものである。その性状は直径 6~8 mm, 長さ 20~40 mm の円筒形で含水率約10%, 熱量 4,000 kcal/kg 程度である。木質燃料のペレット化は, 他のバイオマス燃料とする変換方法よりも簡単であり, 石油や石炭よりも排気ガス中の CO₂, NO_x の濃度が低く, 燃焼した後の灰の量も少ないことからクリーン燃料である。しかし, 熱量が石油燃料 (11,000 kcal/kg) の約 1/3, 石炭 (7,500 kcal/kg) の約 1/2 程度で少ないことが次点である。この欠点を補う一つの方法として, 最近では, 廃プラスチックと木質を混合した, 高発熱量 (7,000 kcal/

kg) で湿気にも強い混合燃料 (WPF) が開発され¹⁾, 地域エネルギーとして十分役割立つと考えている。一方では, 木質燃料の燃焼特性に合う燃焼機の開発の必要性が指摘されてきた。

木質ペレット用燃焼機において, 最適な燃焼状態は, 主にペレットの供給量と空気量 (風量) の調節により影響されるものと考えられる。ペレットの供給条件として, バーナー上に供給されたペレットの燃焼時間, すなわち, 燃焼速度が燃焼温度ごとに明らかになれば, 燃焼温度に応じて, 供給速度を自動的に最適に制御することが可能である。また, ペレット燃焼中の重量の変化量を知ることにより, その変化に対応して送風量を制御し, 未燃焼状態ペレットの飛散を防止することが可能で, その上燃焼効率の向上が計られるものとする。

これらのことから, この研究は, 電気マッフル炉を用いてペレットの燃焼による重量変化を測定し, 木質系ペ

* 農林システム学講座

** 連合大学院生産環境工学講座

レットの種類、サイズなどによる影響をパーク材を中心に検討したものである。

II. 実験方法

1. 実験装置 実験装置は、電気マuffle炉、自動温度調節器、天秤及び自動天秤により構成される（第1図）。

電気マuffle炉の温度は、アルメルクロメル熱電対により検出され、デジタル自動温度調節器により制御される。また、炉の温度の単位時間当りの上昇速度を制御するためにスライダックを用いた。

燃焼によるペレットの重量変化は、天秤(1)より伝わり、自動天秤(2)に表示される。自動天秤に示される重量とマuffle炉内のペレットの重量との関係を第2図に示す。この結果、天秤を介して自動天秤に示される値は、ほぼペレットの重量を示すものと見なした。

2. 供試ペレット 木質系ペレットはパーク、バガス、イナワラ、パルプスラッジ、モミガラの5種類のペレットである。第3図は、各ペレット200個についての長さ及び粒径の頻度分布である。長さについては、パークとバガスが全体的に短く、10 mm 程度のものが最も多く、次にイナワラとモミガラで15 mm 程度のものが多い。パルプスラッジは平均が25 mm 程度と長く、分布幅も大となる。直径については、パルプスラッジが小さく、バガスが最も大である。

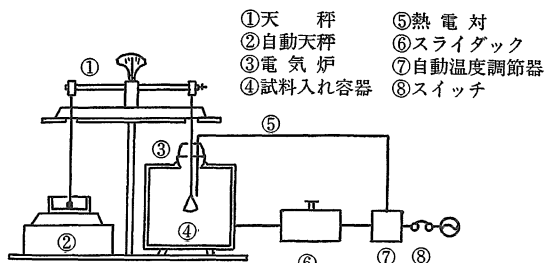
また、ペレットのサイズは、着火性に影響することが予想されるので、その長さを10~25 mm までの5 mm ごと4段階とした。

3. 実験方法 実験方法は、ペレットを電気炉の中に入れ、試料が燃焼により減少した重量を経過時間ごとに測定した。炉の温度は、ペレット用燃焼機のバーナー上でのペレットの燃焼中の温度を考慮して500~1000°C の範囲で100°C ごとの6段階とした。マuffle炉内の温度が設定温度に達した状態で、炉内の試料皿にペレットを置き、燃焼中のペレットの重量を雰囲気温度が500°C の時は10秒、600°C 以上の時には5秒間隔で測定した。

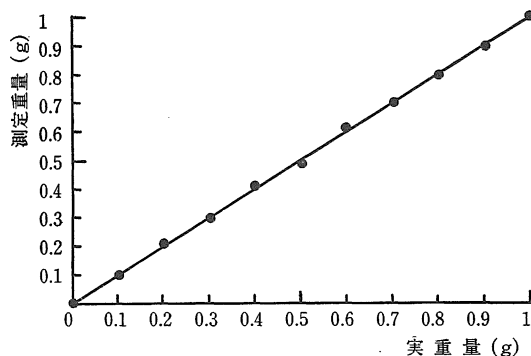
III. 実験結果と考察

1. 木質系燃料の燃焼機構

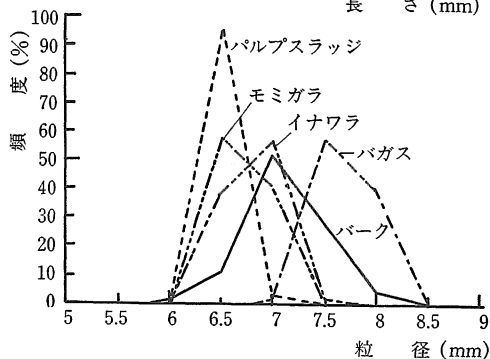
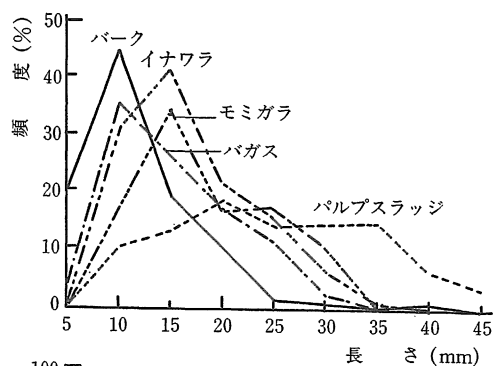
固体燃料の燃焼過程は燃料の種類によって異なるが、一般的に揮発分が多い木質系燃料の場合は、分解燃焼されると言われる。この燃焼は、燃料が加熱されると燃料の表面から熱分解され、揮発性物質と固定炭素に分かれる。揮発性物質は、表面から外部方向に拡散され、その中の可燃性ガスによって拡散燃焼し、その後、固定炭素分による表面燃焼へと進行する。



第1図 実験装置



第2図 秤量装置の検定



第3図 ペレットの長さ及び粒径の分布

第4図は、雰囲気温度500°C、パークの場合燃焼によるペレットの重量変化を表したものである。燃焼は、ペレットの重量が急激に減少するときに生じるが、それより以前に、全重量10%程度が水分の蒸発と揮発性物質の拡散により減少する。その後、着火と同時に急激に燃焼過程が進行する。

2. 燃焼速度

ペレットの燃焼重量の変化を知ることは、ペレットが灰になるまでの時間が推定できる上に、燃焼速度を求めることができるので、燃焼機の燃料供給速度を決定する上最も重要な事項である。

本研究における燃焼速度とは、単位時間当たりに減少した試料の重さである。燃焼重量の変化と経過時間との関係はS字形の曲線で示される。この曲線は、式(1)により近似し得る。

$$y = k / (1 + a \cdot e^{bx}) \dots \dots (1)$$

y : 燃焼による試料の減少重量

x : 経過時間

a, b : 雰囲気温度とペレットのサイズによる定数
まず、近似を行うために、(1)式を次のように変形する。

$$\ln(k/y - 1) = A + bx \quad (A = \ln a) \dots \dots (2)$$

ここで、kの値がわかればxについて1次式の形となり、最少二乗法により近似できる。

kの値は、最終的にペレットが燃焼によって初期重量からどれだけの割合が失われるかを示している。これは、実験の結果から80%程度と推定できるので、これを0.1%きざみで70~90%の間で近似を行い、最も分散の小さいものをkの値とした。

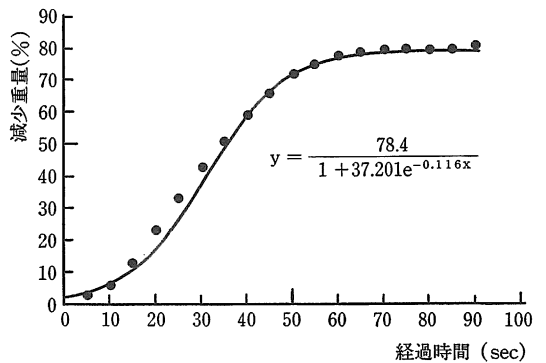
第5図は、パーク(20 mm)、雰囲気温度800°Cの時の近似曲線である。実線が近似曲線を、点がペレットの重量減少率を示す。第6図は、この近似式をもとにして

計算した燃焼速度を示す。

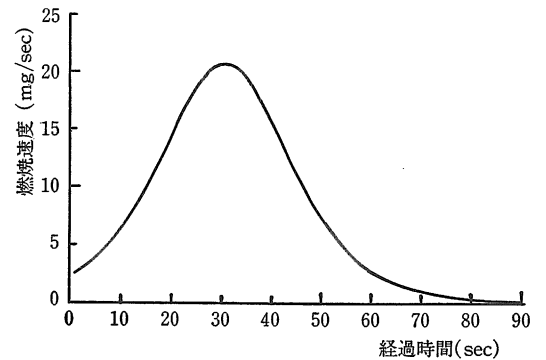
3. ペレットの長さ重量変化

第7, 8, 9図は、それぞれ雰囲気温度600, 800, 1000°C、パークの場合、ペレットの長さ別重量変化を表し、第10, 11, 12図は燃焼速度を表したものである。

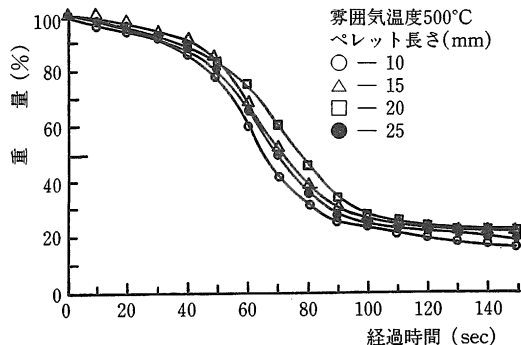
ペレットの燃焼による重量減少は、長さが短くなるにつれ、大となる傾向がみられる。これは、試料の単位重量あたりの表面積の違いによるものと思われる。つまり、試料となったペレットが完全な円柱形であるとすれば、



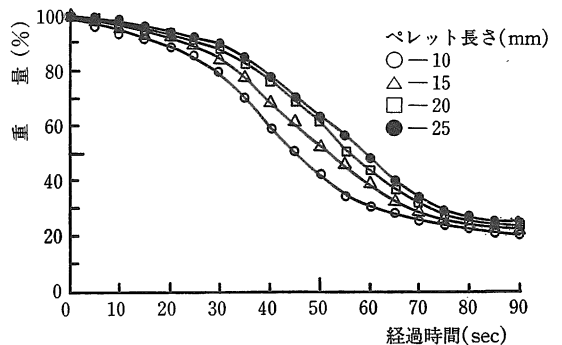
第5図 近似曲線 (パーク, 20 mm, 800°C)



第6図 燃焼速度 (パーク, 20 mm, 800°C)



第4図 ペレットの燃焼による重量変化 (パーク)

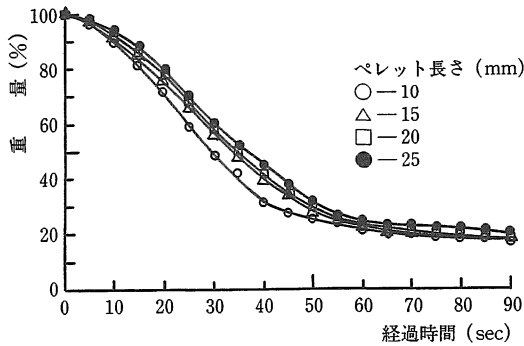


第7図 長さ別燃焼重量変化 (パーク, 600°C)

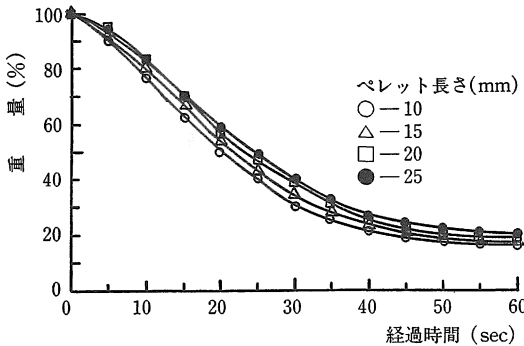
その表面積は長さ按比例する曲面部の面積と直径によって定まる平面部の面積を加えたもので、ペレットの長さをL、直径をDとすれば、表面積は $\pi DL + \pi D^2/2$ となる。そして、長さが2倍になれば、表面積は $2\pi DL + \pi D^2/2$ となり、重量は2倍になるが表面積は2倍に満たない。このように単位重量当りの表面積は、長さが長くなるほど小さくなるのがわかる。今回の実験でも単位重量当りの表面積が小さくなれば燃焼は遅くなった。

4. 雰囲気温度とペレットの重量変化

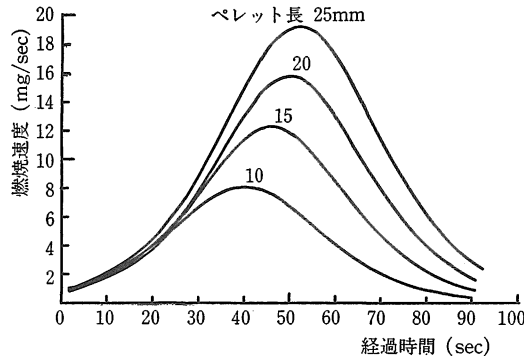
雰囲気温度による影響は、温度が高くなるに伴い燃焼時間が短くなる。すなわち、燃焼速度が増大する。着火



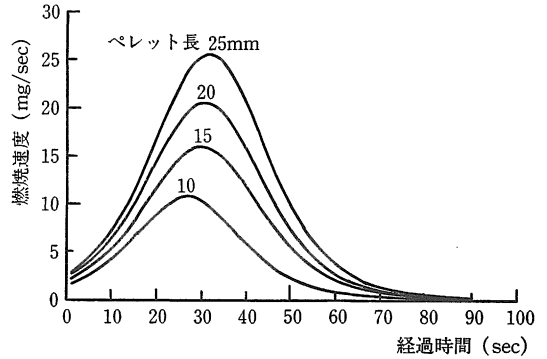
第8図 長さ別燃焼重量変化 (バーク, 800°C)



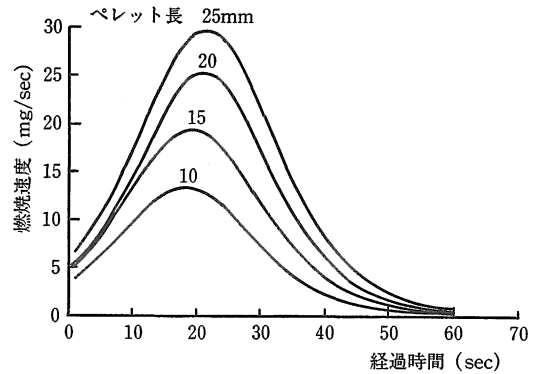
第9図 長さ別燃焼重量変化 (バーク, 1000°C)



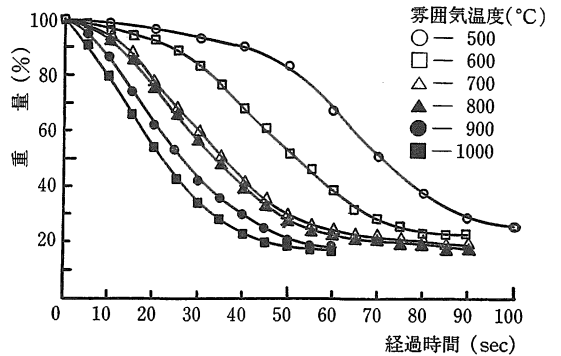
第10図 長さ別燃焼速度 (バーク, 600°C)



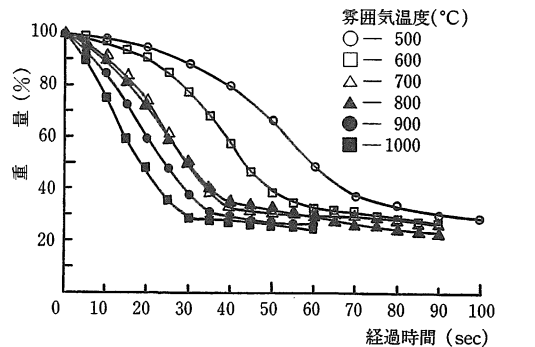
第11図 長さ別燃焼速度 (バーク, 800°C)



第12図 長さ別燃焼速度 (バーク, 1000°C)



第13図 雰囲気温度別燃焼重量変化 (バーク, 15mm)



第14図 雰囲気温度別燃焼重量変化 (イナワラ, 15mm)

は、雰囲気温度が500と600°C の時は、試料の投入から約30秒後に、700と800°C の時は約10秒後に、また900と1000°C の時は、試料の投入とほとんど同時に起き、その後の重量減少は最も顕著であった。雰囲気温度が500～700°C の範囲では、燃焼速度の差は大きい、700～1000°C の範囲ではその差の小さいことが認められた。

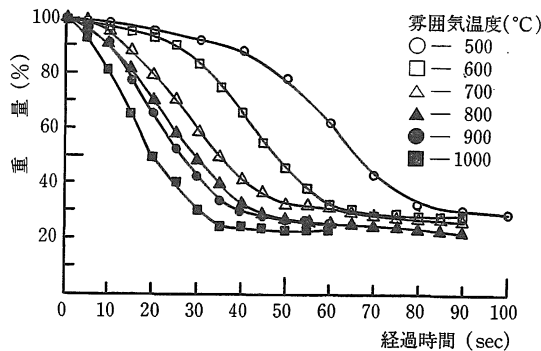
第13, 14, 15図は、それぞれパーク、イナワラ、モミガラの長さ 15 mm の場合、雰囲気温度別のペレットの重量変化を第16, 17, 18図はその時の燃焼速度を表した

ものである。

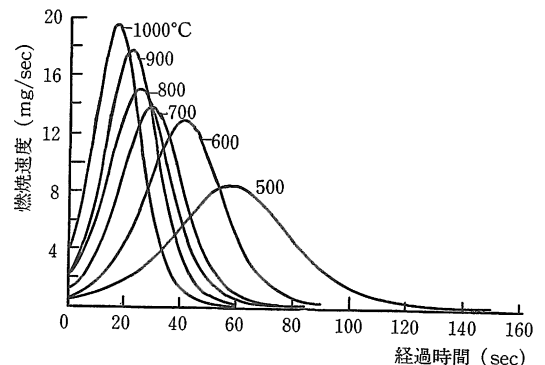
5. ペレットの種類による重量変化

第19, 20図は雰囲気温度800°Cの場合、ペレットの種類別重量変化と燃焼速度を示したものである。

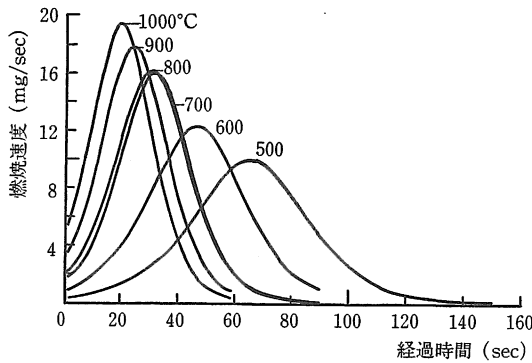
ペレットの種類による燃焼速度は、バガス、イナワラ、パルプスラッジ、モミガラ、パークの順に速くなった。燃焼後の灰の量は、イナワラ、モミガラ、パークが全重量の20～30%であるが、バガス、パルプスラッジが約15%程度である。これらの灰の量の違いが、ペレットの種



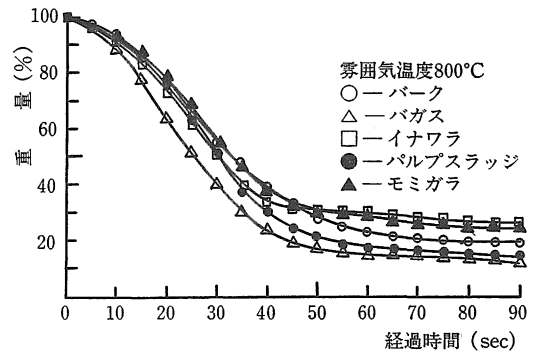
第15図 雰囲気温度別燃焼重量変化(モミガラ, 15mm)



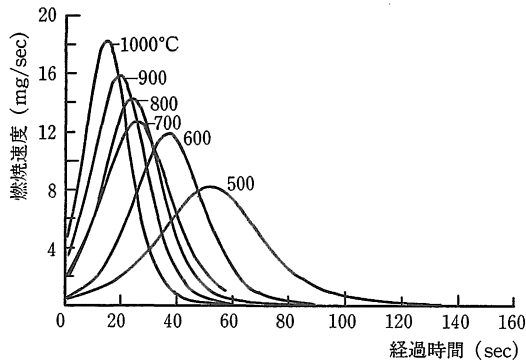
第18図 雰囲気温度別燃焼速度 (モミガラ, 15 mm)



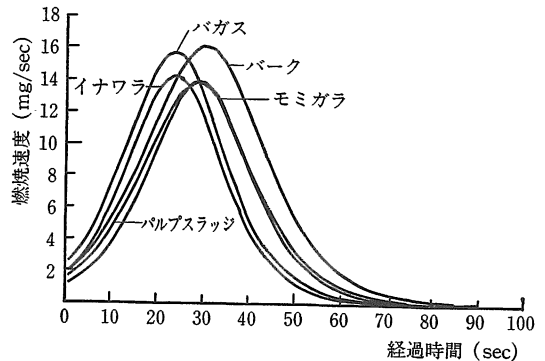
第16図 雰囲気温度別燃焼速度 (パーク, 15 mm)



第19図 種類別燃焼重量変化 (800°C)



第17図 雰囲気温度別燃焼速度 (イナワラ, 15 mm)



第20図 種類別燃焼速度 (800°C)

類による燃焼速度の差となって表れるものと考えられる。

IV. 摘 要

この研究は、木質系ペレット用燃焼機の燃焼性能向上のための基礎的な実験として行ったものであり、木質系ペレットの中で供試材料は主にバークである。また燃焼実験には電気マッフル炉を用いた。主な結果は次の通りである。

(1) 燃焼速度は、ペレットの直径が同じ時、長さにより影響され、短いほど速くなるが、その差は微少であり。この燃焼速度の差は雰囲気温度の上昇と共に更に少なくなる。また、燃焼速度は雰囲気温度に影響され、その上昇と共に増大し、700°C 以上からでは更にその増大が著しくなった。

(2) 燃焼重量の変化と経過時間の間は、

$$y = k / (1 + a \cdot e^{bx})$$

y : 燃焼による試料の減少重量

x : 経過時間

a, b : 雰囲気温度とペレットのサイズによる定数により表示される。この式より経過時間ごとのペレットの燃焼重量割合及び燃焼速度を求めることができる。

(3) 雰囲気温度による着火時間の影響が燃焼速度に関係することが明かとなった。

これらの燃焼速度やペレットの重量変化についての研究はバイオマス特に木質系ペレット用燃焼機の最適燃焼条件を求める上で大いに役立つものと考えられる。

この研究に当たり、ご協力いただいた当研究室卒業生尾添光秋、坂根孝之の両氏に謝意を表す。

引用文献

1. 村山敏博：木材工業 36(5): 210-216, 1981.
2. 岩尾俊男他4名：島根大学農研報 (16) : 138-142, 1982.
3. 水谷辛夫：燃焼工学 森北出版社 東京 1977, P. 173.
4. 橋本 勤：廃棄物処理技術 共立出版社 東京 1977, P. 297-298.