

# 木質系燃料の施設園芸への利用に関する研究 (第1報)

## — 圧縮成形燃料の特性 —

岩尾俊男<sup>\*</sup>・寺田俊郎<sup>\*\*</sup>・吉野蕃人<sup>\*\*</sup>・伊藤憲弘<sup>\*\*</sup>・中尾清治<sup>\*\*\*</sup>

Toshio IWAO, Toshiro TERADA, Shigeto YOSHINO,  
Norihiro ITO and Seiji NAKAO

Studies on Heating for a Horticultural Plant  
using Woody Pellets as Fuel (I)  
— Properties of Compregrated Woody Pellets —

### I 緒 言

木質系燃料は、「まき」などの形態で最近までに直接燃料として広く用いられてきた利用実績がある。しかし、その利用は、石油系燃料の利用と共に著しく激減し、現在その利用を見ることはまれとなった。しかし、将来における石油系燃料の枯渇が強調されるに至り、省エネルギー化、すなわち脱石油化の指向の高まりと共に、木質系エネルギーは、代替エネルギーとしての価値が再認識され、その有効利用の必要性が急激に増大している。この場合、対象となる資源は、広葉樹、間伐材、林地残材、虫害被害材、製材工場廃材および農業廃棄物等である。

しかしながら、木質系燃料において、従来の「まき」を素材形態とする場合には、容積密度が低く不定形でかさ張るなどの性質は、搬送・取り扱いにおいて、また高含水率は燃焼上において問題がある。これらの欠点を補う一方法として、木質系燃料のペレット化がある。

ペレット燃料は、材料を破碎、粉碎の過程を経て圧縮成形を行ったものであり、それは、製品の圧縮成形の過程において生ずる高圧高温のために、繊維細胞が破壊され、含有されるリグニン、ワックス、糖分、ペクチンなどが可塑性浸出し、これらの成分がバインダーやコーチンク剤となった光沢性のあるもので、粒状としての取り扱いが可能で、現在最も有望な木質系の燃料である。

したがって、この研究は、木質系燃料の圧縮成形燃料(ペレット)を対象に、搬送、取り扱い、燃焼などの観点から、その特性を明らかにし、その燃焼機の開発と利用上の問題を解明し、一般性のある関係を確立することを目的とするものである。

本研究は、木質系燃料の利用上から、材料の物理特性(吸湿性、砕け率、圧縮・引張破壊強さ、摩擦係数、安息角等)および燃焼特性(発熱量、着火温度)について調べたものである。

本研究に当たり、ペレットの提供を受けた日本製鋼所機械研究所および研究上の援助を受けた財団法人農村エネルギーシステム研究会に謝意を表す次第である。

### II 実験方法

ペレットは、木質系材料、農業廃棄物、工業廃棄物等を対象に圧縮成形したもので、その物理特性は用いた材料の種類により異なるものであり、材料の特性を知ること、搬送装置、燃焼機等の設計において不可欠ことである。

ところで、ここに用いた木質系ペレットは、固形燃料ではあるが、その物性の表示およびその測定方法が確立されていない。したがって、ここでは便宜上、物理特性の目安を得るために下記の方法を採用した。

圧縮・引張試験：試験機はT社製 UTM-11-20 である。テストピースについては、材料試験におけるテストピースは、 $l=4\sqrt{A}$  ( $l$ : 標点距離,  $A$ : 断面積) と定められているが、供試ペレット長は長さ 30mm 前後、

\* 栽培管理制御学  
\*\* 付属農場  
\*\*\* 農業機械工学

直径 6~8mmであり、上記の規準に準ずることが不可能であったので、便宜上、テストピース長は約 28mm とした。

**摩擦係数測定：** 摩擦係数の測定方法には、回転円板法、傾斜法、牽引法、振動法等がある。<sup>1)</sup> この場合、テストピースが円柱状であり、比較的転り易い性質であることから、滑りのみを対象とする牽引法を用いた。

静止摩擦係数は、摩擦板（セロファン、ビニール板、ベニヤ板、粗目布、ダンボール紙、鉄板）上をペレット容器（底なしプラスチック箱、75×75×25mm）を引張り速度 0.05mm/s で引張ったものである。この場合、引張り速度が遅いので、ステックしながら引かれる状態となり、XYレコーダにステック状態のピーク値が記録されるので、静止摩擦係数はそのピーク値の20個の平均値より求めた値である。

**安息角測定：** 安息角の測定方法には、水平軸回りに回転する円筒中で流動粒子がなす傾斜角を測定する方法と、平面上に流下させた時に生ずる堆積角度を測定する方法がある。

前者は、回転数、回転円筒径等が測定値に影響するところが大きいので、ここでは、むしろ一般的な後者の方法を用いた。堆積角度は、堆積角接触用鉄板をペレットの傾斜に沿わした後固定し、鉄板の傾斜角を精密傾斜角度器（水準器付1'まで測定）により1/4円ごとに測定した。安息角はその平均値をもって表わした。

**吸湿試験：** 吸湿性の表示、測定方法は未だ確立されていないので、便宜上加温ハウス内と類似の人工的環境条件下での含水率の変化をもって表わした。

加湿装置は、相対湿度が0~99%の範囲で調節可能な遠心加湿装置付の恒温恒湿装置（150×150×200cm）である。加湿はペレットを種類ごとにそれぞれの容器（30×30×20cm）に約 1kg ずつ入れ、35°C、91.5%（相対湿度）の条件のもとで行った。

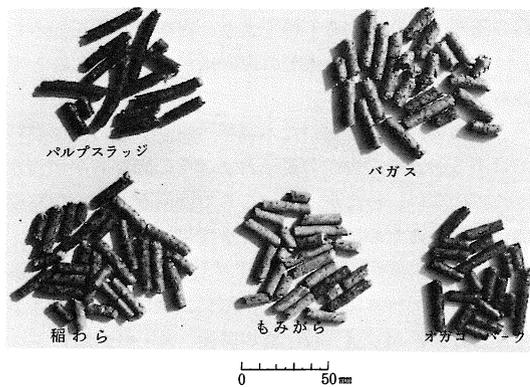


図1 供試ペレット

ペレットの含水率の変化は、12時間ごとに秤量缶（100cc）に収納し、オープン乾燥により105°C、48時間乾燥し求めた。

**落下試験：** 石炭等の固形物の落下試験については、<sup>2)</sup> JISにより規格化が行われているが、これらの規格をペレットの場合に適応させることはできない。したがって、ここでは搬送・取り扱い等の過程で生ずる落下による材料の破壊の状態を知る目的で、ペレットを袋詰め（2kg）にし、2mの高さよりコンクリート上に落下させた時の砕け程度を調べた。供試ペレットは目開き7.93mmのふるい網上の粒子である。

図1(1)は、未調整のペレットであり、図2(1)(2)はペレットの粒径と長さの分布である。

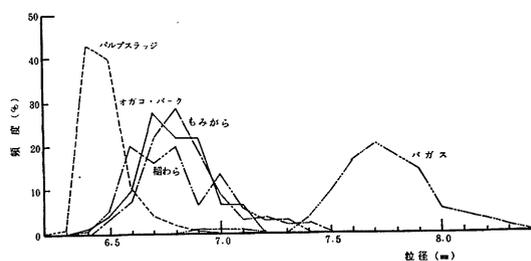
**発熱量測定<sup>2)</sup>：** 発熱量の測定は、改良形燃研式断熱熱量計（Y製作所）を用いた。

供試材料のペレットは、完全燃焼させるために粉碎し、100μと200μのふるいを通過した粉体を用いた。しかし、粉体粒子のサイズによる発熱量の差はほとんど認められなかったので、用いた粉体のサイズは、労力の節約から100μの網下産物とした。

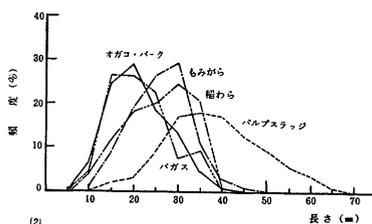
**着火温度測定：** 図3(1)(2)は、着火温度の測定装置である。この装置は、電気まつふる炉（18A）、スライダック（30A）、電子指示調節器、安全ブレーカーにより構成される。

着火温度は、雰囲気温度の上昇速度にも関係すると考えられるので、恒温状態においてペレット投入後、供試体に炎が生ずるまでの時間をもって表わした。

供試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、その長さを約 28mm とした。



(1)



(2)

図2(1)(2) ペレットの粒径と長さの分布

電気まつふる炉内の雰囲気温度は、ポテンションメーターにより設定温度を設定し（0～1200℃）、熱電対により雰囲気温度を検出し、電磁スイッチにより制御する。

上記実験に用いたペレットの含水率は、それぞれオガコ・パーク（10.79%）、もみがら（11.06%）、稲わら（12.48%）、バガス（12.28%）、パルプスラッジ（10.65%）である。オガコ・パークのペレットのオガコとパークの混合比は重量割合で7：3である。

### III 実験結果および考察

ペレットは、種々な材料を圧縮成形したものであるから、その物理特性は利用した材料により異なるものである。

ペレットは、成形後、袋詰、搬送、貯蔵および燃焼までの過程において、ペレットの品質が保証され、これらの取り扱いに耐え得る物理特性が要求される。

したがって、ペレットの特性の研究としては、袋詰、搬送、貯蔵等の取り扱いの過程において、ペレットが受ける外力による影響を推定する基礎的調査として、圧縮・引張破壊強さ、摩擦係数、安息角、吸湿性および砕け率などの主として物理特性に関するものと、発熱量、着火性、灰と有害物質の排出などの燃焼性に関するものなどがある。

#### 1 圧縮・引張破壊強さ

図4(1)(2)は、ペレット材料の種類別の圧縮応力（ $\sigma_c$ ）と歪（ $\epsilon$ ）との関係である。図5は、圧縮破壊の形状の一例である。

圧縮破壊応力は、稲わら、もみがら、オガコ・パーク、パルプスラッジ、バガスの順に小さくなり、その値はそ

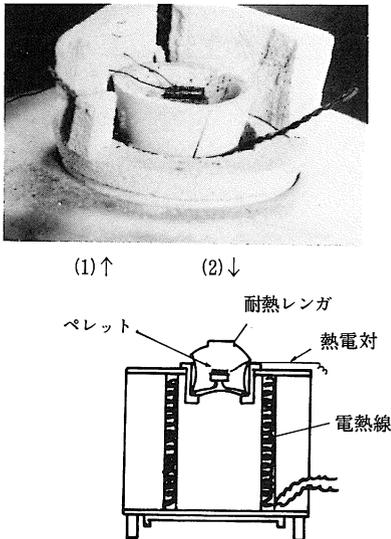


図3(1)(2) 着火温度測定装置

れぞれ約 190, 181, 86, 50, 25kg/cm<sup>2</sup> であった。圧縮破壊応力は、材料の種類によって可成り影響されることが明らかとなった。とくに、バガスは圧縮成形後において膨張したことによって、圧縮破壊応力は小さくなったものと考えられる。

図6(1)(2)は、ペレット材料の種類別の引張応力（ $\sigma_t$ ）と歪（ $\epsilon$ ）との関係であり、図7は、引張破壊の形状の一例である。

引張破壊応力は、もみがら、稲わら、オガコ・パーク、パルプスラッジ、バガスの順に小さくなり、その値はそれぞれ 7.6, 3.6, 2.0, 1.4, 1.0kg/cm<sup>2</sup> であった。

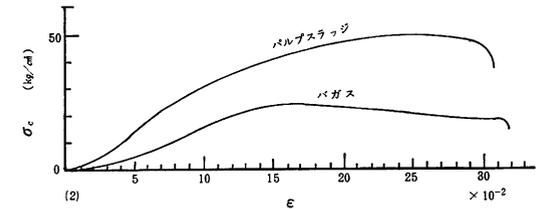
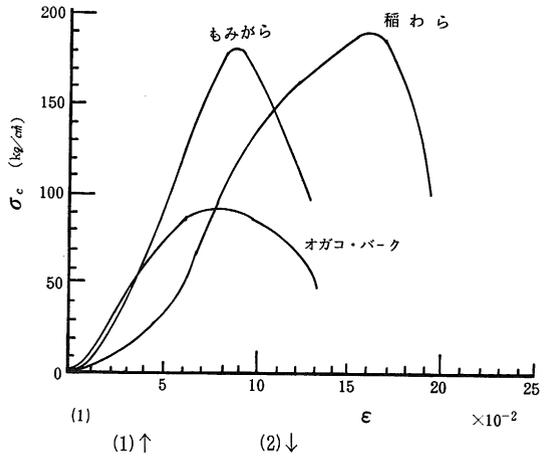


図4(1)(2) 圧縮応力（ $\sigma_c$ ）と歪（ $\epsilon$ ）との関係

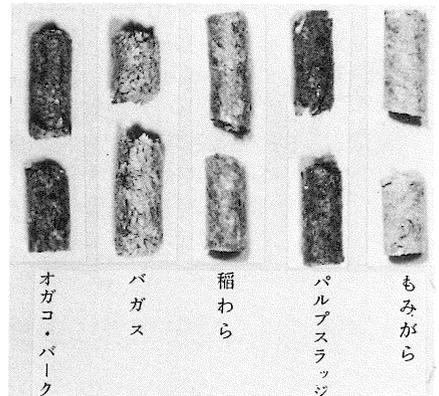


図5 圧縮破壊の形状

引張破壊強さは、圧縮破壊強さに比べて著しく小さく、その約5%以下の抵抗力であることが明らかとなった。この性質は、現在製品化されている木質系の圧縮成形燃料（オガライト、プレツウ・ロック、グロメラ、アグロ、バックウ・ウルフ、バコール、パパキューブ、ウデックス等）のすべてに共通するものと考えられる。

したがって、搬送・取り扱いの過程では、引張破壊抵

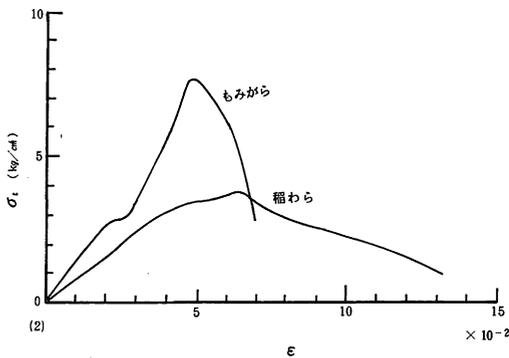
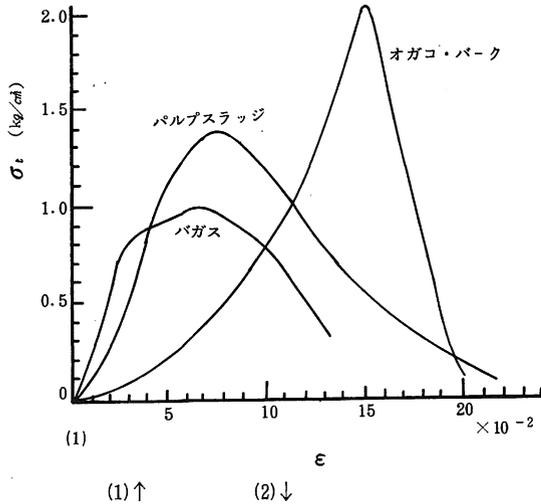


図6 (1)(2) 引張応力 ( $\sigma_t$ ) と歪 ( $\epsilon$ ) との関係

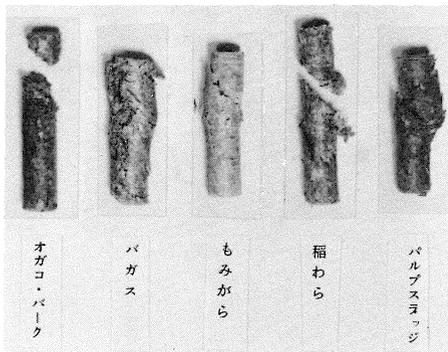


図7 引張破壊の形状

抗力の小さいことが原因で、ペレットの砕けが起るだろう。とくに、スクリーコンベヤ等における搬送では、その負荷の状態によってペレットの砕けが生ずることが考えられる。

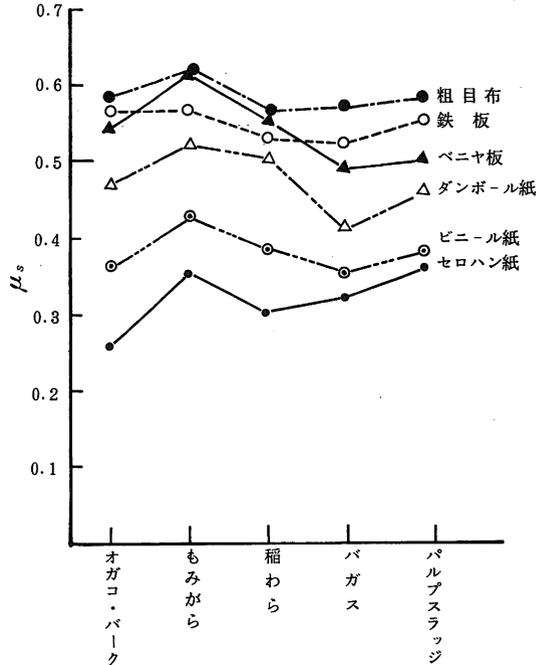


図8 ペレットの種類と静止摩擦係数 ( $\mu_s$ ) との関係

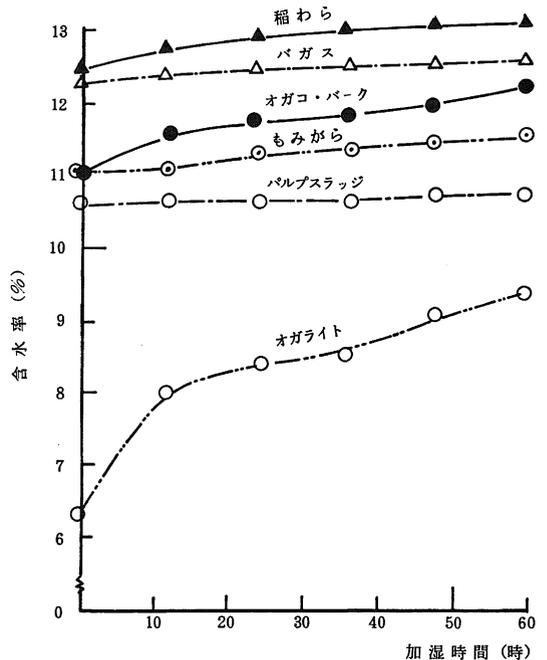


図9 加湿時間と含水率との関係

以上のことから、今後の対策として、スクリーコンベヤーの直径の拡大、または空気輸送方式の採用あるいは粘結剤の混入すなわち塵プラスチックの混入等によりペレットの引張り抵抗力を強化するなどの改善策が必要になるだろう。

### 2 摩擦係数と安息角

図8は、各種材料とペレットの種類別の静止摩擦係数との関係である。ペレットの摩擦係数は、ペレットの種類によるよりはむしろ、各種摩擦材によって影響されることが大である。

一方、安息角は、パルプスラッジ(25°33′)、オガコ・バーク(26°44′)、稲わら(29°42′)、バガス(30°41′)もみがら(30°46′)であり、石炭が36~39°、米35°に比べ安息角は小さいので、ペレットの場合には石炭、米等の搬送装置の設計に用いられている基準が参考になる。

### 3 吸湿性

ペレットの吸湿性は、着火性、燃焼性および貯蔵等に影響を及ぼすところが大きく、加温ハウス内では高温多湿の条件下にあるので、ペレットの利用に影響を与える。

図9は、各種ペレットの加湿時間と含水率の変化との関係である。加湿条件は35°C、91%（相対湿度）の恒温恒湿の条件下であり、これは、60時間経過の含水率の変化を示している。

60時間経過後の含水率の増加は、オガコ・バーク(1.07%)、稲わら(0.62%)、もみがら(0.49%)、バガス(0.32%)、パルプスラッジ(0.09%)であり、とくに

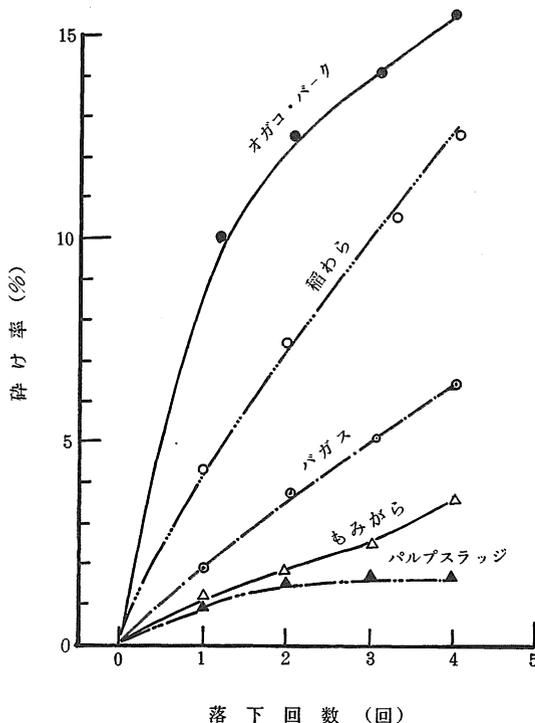


図10 落下回数と碎け率との関係

パルプスラッジの含水率の増加は著しく小さい値であった。また、ペレットの材料により吸湿性に差のあることが明らかとなった。

一方、オガライトでは含水率の増加は3.05%であり、ペレットよりも可成り大きい値となった。これは、初期含水率の低いことも影響していると考えられるが、製造過程の違いもその一因と考えられる。

ペレットの場合では、加湿初期にはペレットへの吸湿が起るが、その後は吸湿が行われないものと見なされる。これらのことから判断して、高温多湿の条件下においてペレットの長時間放置がなされた場合においても、ペレットは吸湿によって変質しないことが明らかとなった。

### 4 碎け率

図10は、落下回数とペレットのくだけ率との関係である。くだけ率は、7.93mm 網下粒子重量/7.93mm 網上粒子重量×100 で表わした。

くだけ率は、パルプスラッジ、もみがら、バガス、稲わら、オガコ・バークの順に大きい値となる。また、くだけ率は、落下回数の増加に対しほぼ比例的に増加し、オガコ・バーク、稲わら、バガス、もみがら、パルプスラッジの落下1回当りのくだけ率は、それぞれ 3.9、3.2、1.7、0.9、0.4%であった。また、オガコ・バークでは落下回数の増加とともに粒子がより細かく碎ける傾向が見られた。

### 5 発熱量

木質系の燃料は、直接または間接に熱エネルギー源として利用されるので、燃焼の際の単位重量当りの発生し得る熱量すなわち発熱量を知るとは、木質系燃料の利用あるいは評価の上で重要なことである。また発熱量を知るとは燃焼熱を知ることになり、その物質の熱化学的な基本性質を知る上で重要である。燃料の発熱量には

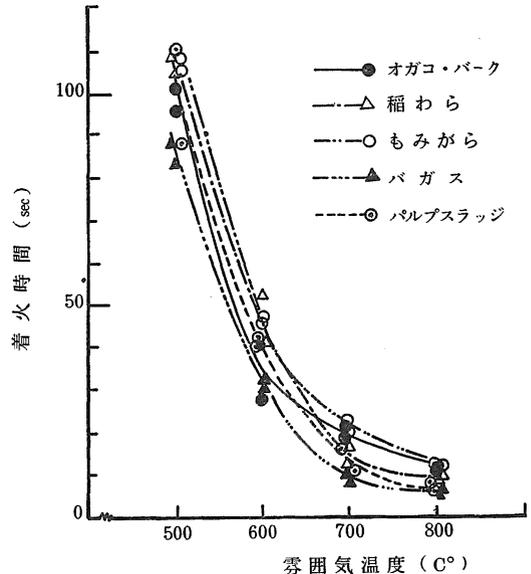


図11 雰囲気温度と着火時間との関係

総発熱量を用いる場合が多い。

オガコ・バーク、もみがら、稲わら、バガス、パルプスラッジの総発熱量は、それぞれ約 5110, 4060, 3940, 4620, 4960 Kcal/kg であり、発熱量は材料の含有成分により多少の差がある。

#### 6 着火性

着火性は、固体燃料を空気中または酸素中で加熱した場合の着火の難易を示すもので、通常着火に要する最低温度の低いものほど着火性が良好である。したがって、着火性の尺度としては着火点が用いられる。

一般に着火性の良好なものは反応性が大きく、また燃焼性も良好であって、この両者の間にはほぼ比例的関係があると考えられる。

図11は、雰囲気温度と着火時間との関係である。ペレットの種類による着火時間の差はほとんど認められなかった。着火時間は、雰囲気温度の上昇と共に急激に減少し、700°C以上の温度では10~20秒以内となる。

以上のことから、燃焼性を良好にする方法として、廃プラスチック等の混入が今後の問題として考えられる点であるだろう。

### IV 摘 要

本研究は、圧縮成形木質燃料（ペレット）について、利用上の観点からその物理特性（吸湿性、砕け率、圧縮・引張破壊抵抗力、摩擦係数、安息角等）および燃焼性

（発熱量、着火温度等）を調べたものである。供試ペレットはオガコ・バーク、もみがら、稲わら、バガス、パルプスラッジである。主な結果は次のとおりである。

1) ペレットの圧縮破壊応力は 25~190 kg/cm<sup>2</sup>であり、引張破壊応力は 1.0~7.6 kg/cm<sup>2</sup>であった。したがって、ペレットは圧縮に強いが引張に弱いことが明らかとなった。

2) ペレットの種類による摩擦係数差は少ない。また安息角は25~31度であった。

3) ペレットの吸湿性は材料の種類により多少の差は認められるが、60時間における含水率の増加は1%以内であった。

4) 落下による砕け程度はペレットの材料の種類により多少の差があり、とくにオガコ・バークは砕け易いことが明らかとなった。

5) 総発熱量は 3000~5000 Kcal/kg の範囲にあり、材料の種類により多少異なる値となる。

6) 着火時間は、温度の上昇と共に急激に減少し、700°C以上の温度では 10~20 sec 以内となる。

### 引用文献

1. 田辺一・岩尾俊男：島大農研報 2, 173-178, 1968
2. 舟阪 渡：燃料分析試験法 南江堂東京, 1968, p.749-751, p.208-213

### Summary

This paper was the results of experimental studies on the physical properties related to moisture absorptions, rates of breaking, tensile and compressive strength, frictional coefficients and angles of repose of the woody pellets, and the inflammabilities related to calorific values and temperatures of catching flame of the woody pellets as fuel on heating for a horticultural plant. And the woody pellets were made of the mixed sawdusts and barks, chaffs, straws of rice, bagasses and pulp sludges respectively.

The main results were as follows ;

1) The compressive strength of woody pellets was compared advantageously with the tensile strength of these, because the compressive breaking stress ranged the values of 25~190 kg/cm<sup>2</sup>, and the tensile breaking stress ranged the values of 1.0~7.6kg/cm<sup>2</sup>.

2) The differences of frictional coefficient among the woody pellets were a little, and the angles of repose ranged 25~31 degrees with respect to all woody pellets.

3) The differences of moisture absorption among the woody pellets were a little, but the incremental percentage of moisture content of these during sixty hours was not exceeding about 1 %.

4) The differences of the rate of breaking among the woody pellets due to the dropping test were a little, but the woody pellets of the mixed sawdusts and barks were made easy break.

5) Total calorific values of woody pellets ranged 30000~50000 kcal/kg, although the values of these led slightly the different values among the woody pellets.

6) The temperature of catching flame was remarkably decreased with increasing of the temperature of the atmosphere of the heating unit. And it showed not exceeding the value of 10~20 sec when the temperature of the atmosphere of the heating unit rose more than about 700°C.