

バイオマス資源ペレット用燃焼機に関する研究

—渦流形ペレットだき燃焼機の燃焼性能—

岩 尾 俊 男*

Studies on a Burner used Biomass Pellets as Fuel
—Performance of a Spiral Vortex Pellet Burner—
Toshio IWAO

Succeeding to the studies of burning performance of the batch type and the pot type pellet burner. We dealt with the burning performance of a spiral vortex pellet burner. This burner constructed from a outer chamber and a inner chamber a concentric circle chamber.

Accordingly, the burning condition presented a phenomenon of spiral vortex burning in the inner chamber. And the using woody pellet was made of the mixed sawdust and bark.

The burning layer in a burner in turn was consisted of the layers of ash, oxidization, restoration and carbonization up to the upper layer. The burning performance of the burner was influenced by the quantity of blast driven from side and bottom of the burning layer and by the rate of feeding. The optimum condition of the burning performance was the value of $4.0 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$ in the rate of air and the value of 16 kg/h in the feeding rate. And in this case, the rate of heat was about 55 kw.

We concluded that the spiral vortex pellet burner showed great adaptability for the practical use.

I 緒 言

バイオマス燃料の燃焼機は、素材燃料として、粉碎燃料としてあるいは圧縮成形（固形）燃料として燃焼するものに大別される。

素材、粉碎燃料は、燃焼の自動化、灰の飛散及び搬送性等に問題があるものと考えられる。燃焼の自動化を計るには、燃料が粒状として取り扱える圧縮成形ペレット化した燃料が利用上便利であると考えられる。

一方、ペレット燃焼機の開発については、筆者らは従来よりバッチ形、ポット形について研究を行った結果^{1) 2) 3) 4)}、これらの形式は、燃焼機構の上でクリンカーの発生と耐久性について問題のあることが明らかとなった。

これらのことから、この研究は燃焼室内の燃焼に強制渦流動燃焼とガス化燃焼方式を併用した燃焼機を試作

し、燃焼室内に滞留する燃焼残渣を強制的な渦流によって機外に排出すると共に、燃焼性の向上を目的として、燃焼に関する諸要因（供給量、送風量、ペレットの種類等）と燃焼性能との関係を明らかにしたものである。

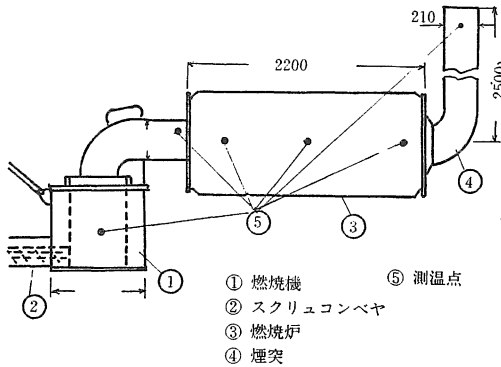
II 実験方法

ペレットだき燃焼実験装置は、燃焼機、燃料供給装置及び燃焼炉より成る（第1図参照）。

燃焼機（第2図）は、燃焼室、燃焼筒（130 mmφ）よりなり、燃焼室（第3図）は、外筒（320 mmφ）、内筒（200 mmφ）、高さ 315 mm の円筒形の二重構造であり、送風機より送られた空気は、90度の角度に設けた一次と二次の吹き込み口より燃焼室外筒を介して燃焼室内に吹き込まれる。

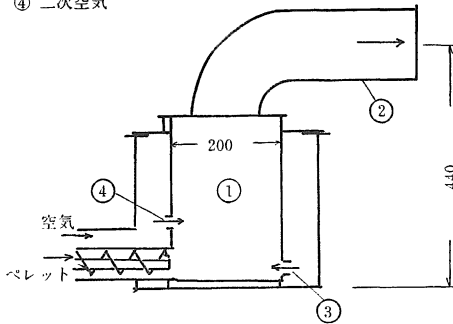
燃焼炉は長さ 2,200 mm、径 600 mmφ の円筒で、

* 栽培管理制御工学

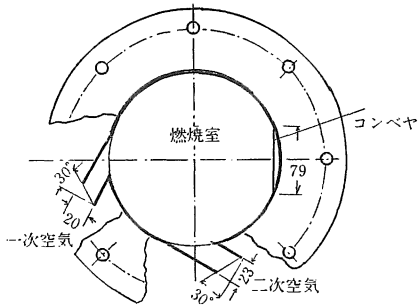


第1図 燃焼実験装置

- ① 燃焼室
- ② 燃焼筒
- ③ 一次空気
- ④ 二次空気



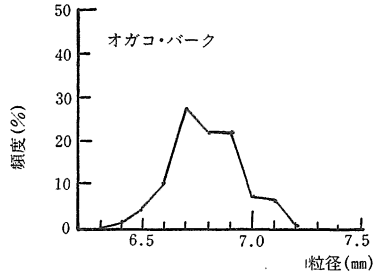
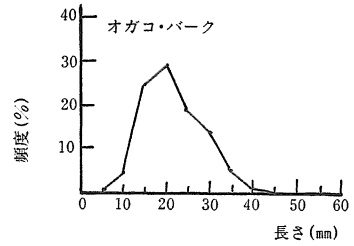
第2図 燃焼機



第3図 燃焼室

農業用の温風暖房機の燃焼炉の内容積に準じた大きさとし、外気温度による燃焼への影響を少なくするためロックウールにより円筒の囲りを10 cmの厚さに巻いた。

ペレットの供給はフィーダコンベヤによりペレットを燃焼室の底部の送り、吹き込まれた空気により渦流燃焼を行わせ、燃焼かすは渦流状態の熱風と共に燃焼機外に排出される。したがって、燃焼かすは燃焼機内に残存す



第4図 ペレットの長さ、粒径の分布

ることなく連続燃焼が行われる。またペレットの燃焼はペレットが燃焼室に堆積された状態で燃焼が行われるので、火層の形成は下込み燃焼の火層構成となり底部より上部へ未燃焼層、酸化層、還元層、灰層となる。

供給量の調節は、コンベヤの休止と駆動タイマーの組合せで、10~18 kg/h の範囲である。また送風量は送風機の吸気口の開閉により $2.0 \sim 4.5 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$ の範囲に調節した。

各部温度の測定点は、燃焼室内は二次空気吹込口上5 cm の箇所、燃焼筒エルボの先端(出口)、燃焼炉及び煙突(地上2.5 m)である。また排熱中の酸素は煙突の温度測定点と同一位置である。

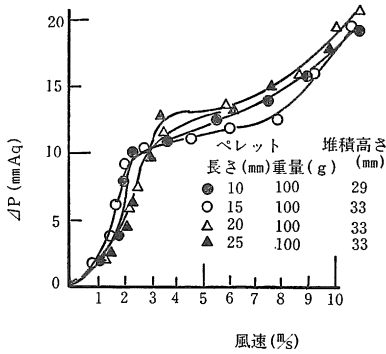
燃焼室内のペレットの浮遊状態を調べる実験として、アクリル透明円筒(内径86 mmφ)にペレットを堆積させ、送風による浮遊特性を調べると共に、本燃焼機と同一サイズの透明アクリル製燃焼機モデルを用い、ペレットの渦流状態での浮遊特性を調べる研究を行った。

供試ペレットは、オガコ・パークで含水率は10.29%、粒径5.5~9 mm、長さ5~50 mm の範囲にあり(第4図)、みかけ比重と真比重は0.59と1.334であった。

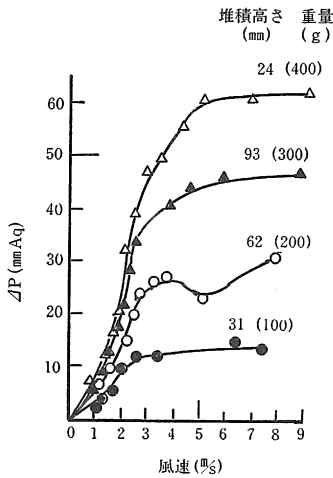
III 実験結果及び考察

渦流形燃焼機では、燃焼室に供給されるペレットは、吹き込まれた風の影響を受けて渦流と上昇流により浮き上り、風と共に燃焼室外に排出される場合がある。

したがって、吹き込み風量とペレットの浮遊状態との関係を調べるのが、燃焼性能を明らかにする第1段階



第5図 風速と静圧差(ΔP)との関係



第6図 ペレットの堆積高さ別の風速と静圧差との関係

であると考えられる。

1) ペレットの浮遊風速

ペレットの垂直方向における浮遊は、主にペレットの比重の外にペレットの大きさと堆積高さにより左右されるものと考えられる。

第5図は供試ペレットの重量を100gとした場合の、ペレットサイズ別の風速と静圧差との関係である。ペレットの浮遊は、曲線の変曲点付近で生じ、ペレットのサイズが10~15mmでは風速2~3m/s、20,25mmでは3~4m/sにおいて生ずる。従って、ペレットの浮遊はサイズ差によっても生ずることから、燃焼性能上ペレットの長さの分布の影響があるものと考えられる。

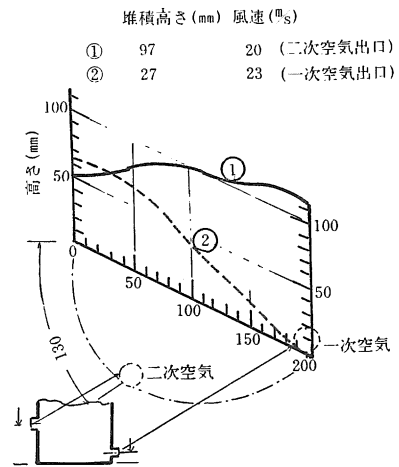
第6図は、4.76mm網でペレットをふるい分け、網上のペレットについて、ペレットの堆積高さ別の浮遊速度と静圧差との関係である。

堆積高さで浮遊始めの風速との関係は、堆積高さの増

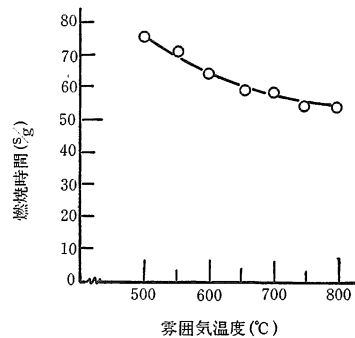
加と共に増大する傾向がある。

一方、燃焼室内での上昇風速は、1~7m/sの範囲にあり、これらの風速の影響でペレットの浮遊が起り、ペレットの機外排出の起り得る場合のあることも明らかとなった。しかし、燃焼機の機構上、燃焼筒の入口で直径が130mmφに絞られているので、上昇流によるペレットの排出は制御されるものとする。したがって、ペレットの機外排出は主として渦流風による場合が多いだろう。

第7図は透明アクリル製の燃焼機モデルにペレットを堆積させ、堆積高さで吹込風速と飛散堆積の関係を示す。図中①はペレットの堆積高97mmでは、風速約20m/sにおいてペレットの飛散が始まり、約31度の傾斜の堆積となる。一方、一次空気吹込口の高度に堆積した場合には、約23m/sの風速により22度程度の傾斜の堆積となる。この場合の粒子の飛散は、堆積の傾斜角に



第7図 ペレットの堆積高さ別の吹込風速と飛散堆積の関係



第8図 ペレットの燃焼時間と雰囲気温度との関係

沿って飛び渦流風により上昇する。

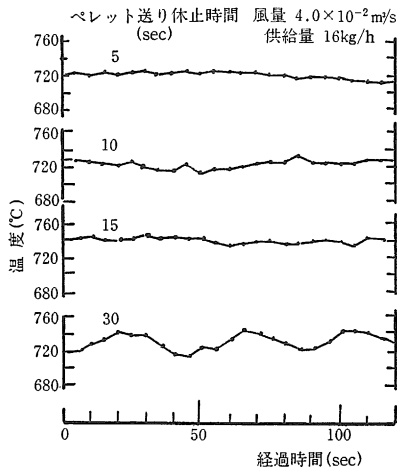
したがって、燃焼は山形の堆積状態で行われることが明らかとなった。

2) 送りタイマの休止時間と燃焼性

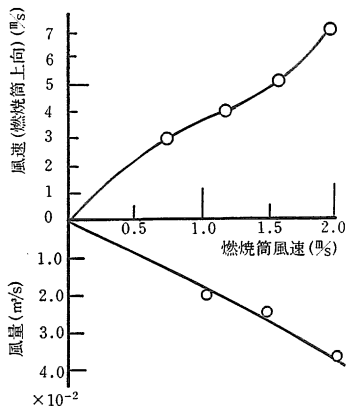
ペレットの供給は、スクリュコンベアを駆動するモータを送りと休止タイマとの組み合わせによったものである。供給されたペレットは、燃焼室において加熱され燃焼するまでの時間が必要であり、供給の休止時間は以上の役割を果たす上にも必要である。また、ペレットの燃焼時間は雰囲気温度によっても左右される(第8図)。

第9図は供給量 16 kg/h, 風量 $4.0 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$ におけるペレットの送り休止時間、燃焼室温度と経過時間との関係である。

燃焼温度は、休止時間が5～15秒の間では経過時間による変動は少ないが、20秒以上になると変動が大とな



第9図 ペレットの送り休止時間、燃焼室温度と経過時間との関係



第10図 燃焼室の上向風、燃焼筒風速及び燃焼筒風量との関係

る。この原因はペレットの燃焼が促進されて、燃焼室に堆積するペレット量が減少することによるものである。以上の結果より、送り休止タイマの時間を10秒に設定した。

3) 燃焼筒温度と風速、供給量

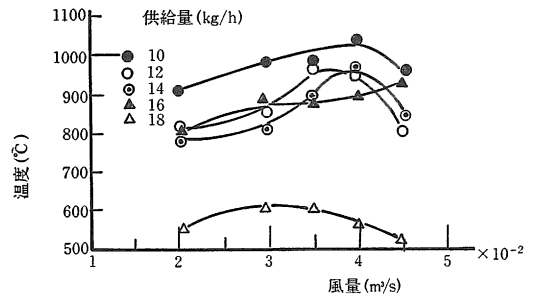
第10図は、燃焼機の燃焼室上向風、燃焼筒風速及び燃焼筒風量との関係を示す。

燃焼室の上向き風速は、燃焼筒の風速の増加により増加の傾向となり、風量が $4.0 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$ での燃焼筒風速は 2.4 m/s となる。

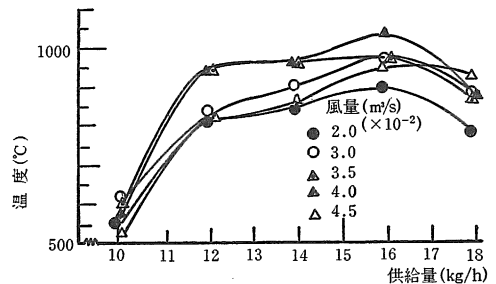
第11図は、供給量別の風量と燃焼筒温度との関係を示す。燃焼筒温度は風量の増加と共に上昇し、風量が $4.5 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$ で低下の傾向となる。また燃焼温度のピーク値は、供給量別の最適風量を示すものであり、風量 $4.5 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$ での温度の変化は、過剰風により火層が十分に形成されないことによるものであり、供給量が 18 kg/h での低い温度曲線は供給過剰による不完全燃焼が原因であるだろう。

第12図は風量別の供給量と燃焼筒温度との関係を示す。燃焼筒温度は供給量の増加と共に増加し、ピーク値を経て 18 kg/h において低下の傾向となる。

供給量が 10 kg/h の場合には、燃焼筒温度が 500～600℃の範囲にある。この場合、風量の多い条件では火



第11図 風量と燃焼筒温度との関係

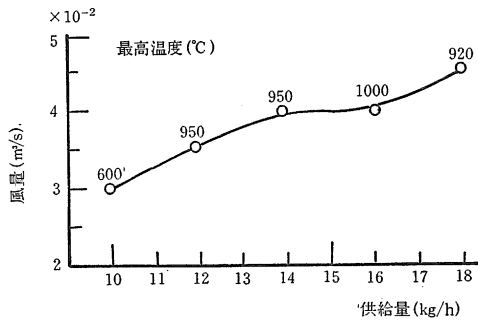


第12図 供給量と燃焼筒温度との関係

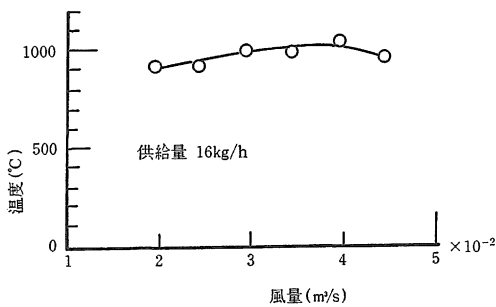
層の形成が十分に行なわれずペレットの飛散が原因であり、風量の小さい場合には、燃焼筒までの燃焼熱の排出に至らず燃焼筒温度が低くなったものと考えられる。

第13図は、燃焼筒温度が最大値を示した時の供給量と風量の関係である。最大値を示す値は、供給量の増加と共に増加する傾向があり、風量は $3.0 \sim 4.5 \times 10^{-2} \text{m}^3/\text{s}$ の範囲にある。

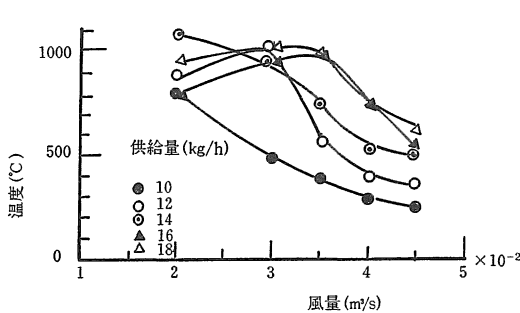
この燃焼機の利用条件は、燃焼筒の温度から判断すれば、供給量が $12 \sim 16 \text{kg/h}$ 、風量が $3.5 \sim 4.0 \times 10^{-2} \text{m}^3/\text{s}$ であると考えられる。また、これらの条件における燃焼



第13図 最大の燃焼筒温度における供給量と風量との関係



第14図 供給量16 kg/h における風量と燃焼筒温度との関係



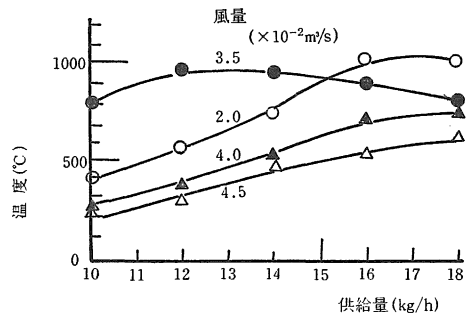
第15図 風量と燃焼室温度との関係

筒温度は $950 \sim 1,000^\circ\text{C}$ の範囲にあった。

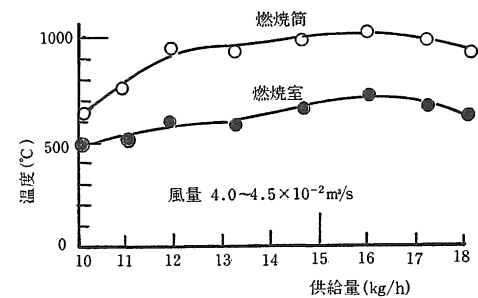
第14図は、供給量が 16kg/h の場合の風量と燃焼筒温度との関係である。燃焼筒温度は風量の増加に対し上昇し、風量が $4.0 \times 10^{-2} \text{m}^3/\text{s}$ をピークに低下の傾向となる。

4) 燃焼室温度と風量、供給量

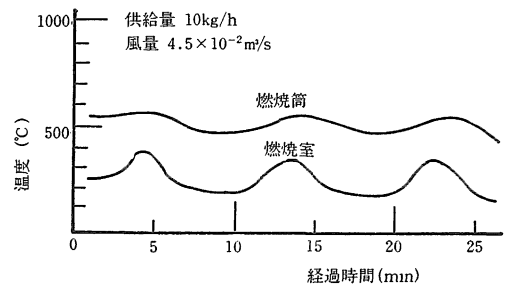
理想的な燃焼状態は、燃焼室温度が低く燃焼筒温度の高いことが条件となる。その理由は、燃焼室において一次続いて二次燃焼を行わせることが、出力の向上と燃焼機の耐久性の点からも望ましいことであるからである。したがって、燃焼室と燃焼筒の温度差の大きいことが理



第16図 供給量と燃焼室温度との関係



第17図 供給量と燃焼室、燃焼筒温度との関係



第18図 時間の経過による燃焼筒、燃焼室温度の変化

想的である。

第15図は供給量別の風量と燃焼室温度との関係を示す。燃焼室の温度は風量の増加に従い低下の傾向となるが、供給量が16~18 kg/h では、風量が $2 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$ から $3 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$ に増加するに従って上昇し、 $4.0 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$ 以上では急激に低下する。これらのことから、燃焼室温度を 500°C 程度に保つためにも、風量は $3.5 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$ にする必要がある。

また、風量の低い値で燃焼室温度が $1,000^\circ\text{C}$ 程度になることは、燃焼室の下部で一次、二次燃焼が行われる結果によるものと考えられる。

第16図は、風量別の供給量と燃焼室温度との関係である。燃焼室温度は供給量が増加するに従い上昇の傾向となるが、風量が小さい場合 ($2.0 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$) では、供給量が12 kg/h の時に最大値となり、供給量の増加と共に低下の傾向となる。燃焼室の温度は、風量、供給量によっても異なるが $350 \sim 1,000^\circ\text{C}$ の範囲にある。

第17図は、燃焼の最適条件と考えられる風量が $4.0 \sim 4.5 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$ の場合の供給量と燃焼室、燃焼筒温度との関係である。燃焼筒、燃焼室の温度は供給量の増加と共に

に上昇し、供給量が17~18 kg/h で低下の傾向となる。

また、燃焼筒温度と燃焼室の温度差は、供給量が10 kg/h では 100°C 程度であるが、供給量の増加と共に増加し、12 kg/h 以上では $300 \sim 400^\circ\text{C}$ になる。供給量が10 kg/h の場合には第18図からも明らかなように、燃焼筒温度と燃焼室温度は時間の経過と共に変動する。これは供給量が少なく、風量が大であるため火層が十分に形成されない条件でペレットが風により吹き飛ばされることによるもので、この条件は燃焼には不適である。したがって、燃焼に適した条件は供給量が12~17 kg/h であると考えられる。

5) 熱出力と風量、供給量

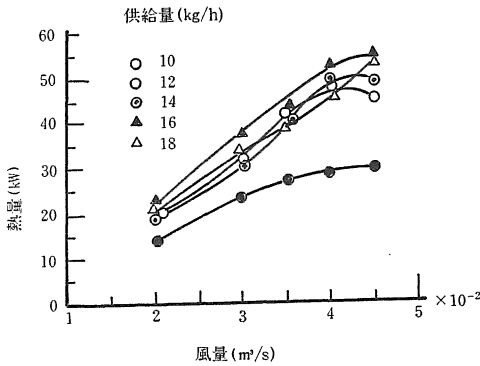
第19図は供給量別の風量と熱出力の関係である。熱出力の算出は①式による⁵⁾

$$Q_0 = 4.2 \times q \times C_p \times (t - t_0) \quad (1)$$

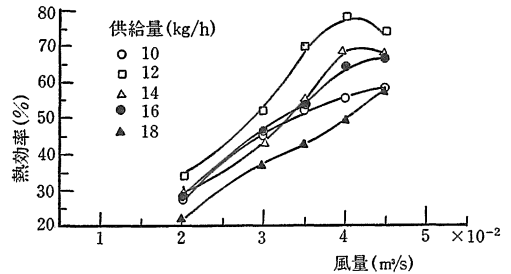
ここに Q_0 : 熱出力(kw), q : 燃焼筒風量(m^3/s), C_p : 平均定圧容積比熱($\text{Kcal}/\text{N} \cdot \text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$), t : 燃焼筒内温度($^\circ\text{C}$), t_0 : 送風機吸入口の温度($^\circ\text{C}$)

この場合の熱出力は、燃焼筒の出口より排出される有効熱量を示す。

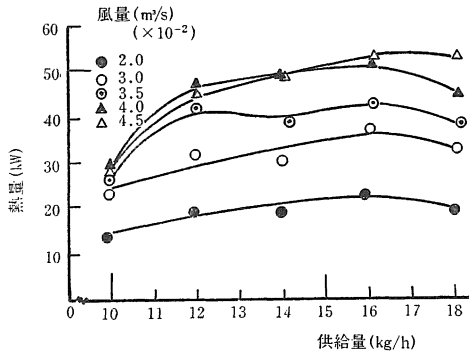
熱出力は風量の増加により増大するが、風量が $4.5 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$ では減少の傾向となる。これは過剰空気による影響と考えられる。この場合の最大熱出力は約55 kw である。



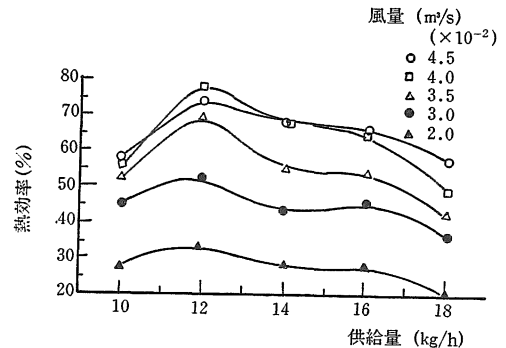
第19図 風量と熱出力との関係



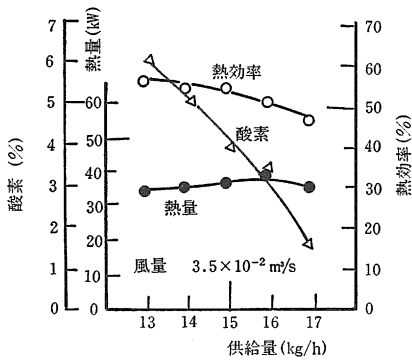
第21図 風量と熱効率との関係



第20図 供給量と熱出力との関係



第22図 供給量と熱効率との関係



第23図 供給量と熱出力、熱効率及び排気中の酸素含有量との関係

第20図は風量別の供給量と熱出力の関係である。熱出力は供給量の増加と共に増加の傾向となる。特に供給量が 10 kg/h から 20 kg/h に増加するに従い熱出力の増加は大となる。供給量が 12 kg/h 以上では、その増加の割合は減少する。これは燃焼室の容積と燃焼機の機構に関係するものであろうと考えられ、今後において検討すべき課題である。

5) 熱効率と風量、供給量⁵⁾
熱効率は(2)式により求めた。

$$\eta = \frac{Q_0}{Q_1} \times 100 \quad (\%) \quad (2)$$

ここに、 η : 熱効率(%), Q_0 : 燃焼筒の出口における熱出力(kw), Q_1 : 燃焼室に送り込まれる熱量(kw) (ペレットの発熱量×燃料供給量)

第21図は供給量別の風量と熱効率との関係である。熱効率は風量の増加と共に急激に増加し、ピーク値を経て風量が $4.5 \times 10^{-2} \text{m}^3/\text{s}$ で低下の傾向となる。熱効率の最大値は供給量が 12 kg/h で、風量が $4.0 \times 10^{-2} \text{m}^3/\text{s}$ において約77%に達する。

第22図は風量別の供給量と熱効率の関係である。熱効率は供給量が 10 kg/h から 12 kg/h と増加する段階で増大するが、12 kg/h をピークに供給量の増加とともに低下の傾向となる。これは供給量が 12 kg/h 以上では一次、二次の燃焼の不十分なことによると考えられ、今後この点について改善を計る必要がある。

第23図は、風量が $3.5 \times 10^{-2} \text{m}^3/\text{s}$ における供給量と

熱出力、熱効率及び排気中の酸素含有量の関係である。熱出力は供給量の増加とともにほぼ一定と見做される。熱効率は供給量の増加と共に減少の傾向となる。

一方、排ガス中の酸素含有量は、供給量の増加と共に急激に低下し供給量が 17 kg/h では1.5%程度になる。これらのことは、燃焼中における酸素不足で効率の低下となったものと考えられる。

IV 結 言

この研究は、固形ペレットを用い重油に代る小形高出力の燃焼機の開発を目的に、渦流形燃焼機について、燃焼性能の検討を行ったものである。

研究の結果として、火層の形成を灰、酸化、還元、乾留層とする必要があり、そのためには、燃焼室内でのペレットの堆積が小形高出力に関連することが明らかとなった。

一方、燃焼は燃焼室内に吹き込まれる風量及び供給量により左右される。また燃焼状態は燃焼室に供給された予備加熱時間により左右される。従って、送り休止時間は10秒前後が適当である。風量と供給量の点より見た最適燃焼条件は、供給量が 16 kg/h、風量 $4.0 \times 10^{-2} \text{m}^3/\text{s}$ である。

今後の問題として、飛散灰、耐久性、燃焼効率の改善及び各種バイオマスペレットに対する適応性を明らかにする必要がある。

なお、本研究は当研究室卒業生大川直哉氏のご協力によるものであり、昭和61年度科学研究費補助金の交付を受けて行った研究の一部であり、ここに記して謝意を表する。

引用文献

1. 岩尾俊男 5 名：島根大農研報 16：137-142, 1982.
2. 岩尾俊男 4 名：島根大農研報 16：143-151, 1982.
3. 岩尾俊男：農機学会誌 45(2)：241-251, 1983.
4. 岩尾俊男：農機学会誌 46(3)：365-367, 1984.
5. 燃料協会：燃料便覧 コロナ社 東京 1978, P. 513-552.