

# 木質燃料の質量と燃焼効率

- おがくずとヒノキチップ、自作ストーカー炉を使った実験 -

武蔵高等学校 1年

中西 貴大

# ◆ 序章 ◆

## I. 動機

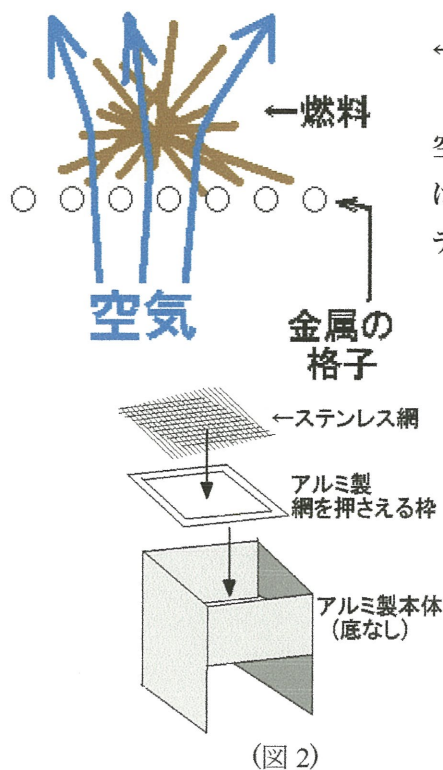
近年、エネルギー問題が騒がれているが、震災のあと、より真剣に、現実的に考える必要が出てきた。原子力エネルギー問題などの解決についてバイオマス燃料などが話題になることもある。

そのバイオマス燃料のひとつに、「木質燃料」がある。この場合は、発酵させてエタノールを取り出したりせず、木材(主に廃材など)の成分をそのまま燃焼させることで熱エネルギーを得る。林業が盛んな日本では、設備がそろえば大規模に利用しやすいエネルギーとして知られている。

特別な処理をせず、木をそのまま燃やせるなら実験を比較的容易に行うことができ、化石燃料とは違う木質燃料をどのようにしたら効率よく熱利用ができるのか研究したいと思った。また、チップやペレットなどの種類の有用性についても考察したいと思った。

## II. 実験装置

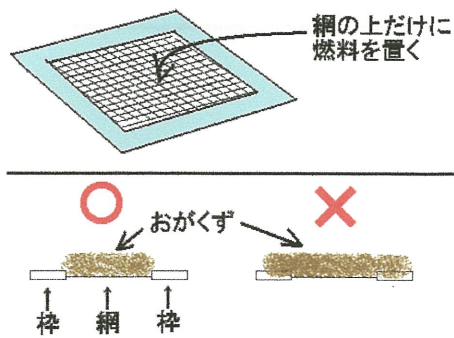
燃焼設備は、ストーカー炉と呼ばれる構造のものを自作した。これは固形状の可燃物を燃やすためのもので、金属の格子状になった床に燃料を置くことで下から空気が供給されやすくするものである(図1)。



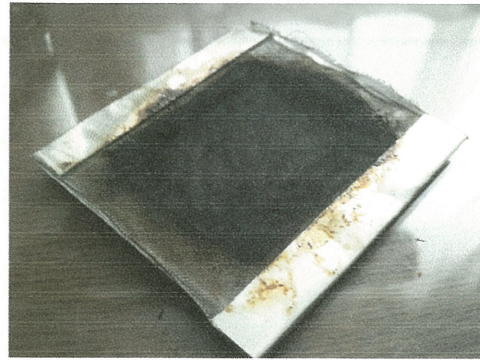
←(図1)

空気は通れるがおがくずが落ちないように、そして網は燃えたりさびたりしないように、「格子」ではなくステンレスの細かい網を使うことにした。





(図 4)



(図 5) 網と枠。(使用後)

燃料のおがくずやヒノキチップ(後述)は、(図 4)のように、網を押さえるアルミ製の枠の上には載せず、網の上だけにまんべんなく載せるようにする。アルミ枠の上に載せてしまうと、そこは下から空気が供給されないため、そこに置いたおがくずやヒノキチップが十分に燃焼できない。

本体の上部に直径 2mm のアルミ線が差さっている((図 3)参照)。この上に 100ml ビーカーを載せられる。

### III. 実験の説明

この実験では、以下のことを調べる。

- ・ 木質燃料(おがくず or ヒノキチップ)の質量と発生する熱エネルギーの関係
- ・ 木質燃料(おがくず or ヒノキチップ)の質量と燃え残りの質量の関係
- ・ (参考までに、木質燃料(おがくず or ヒノキチップ)の質量と燃焼時間の関係)

以下、条件である。

- ・ 木質燃料の質量は、0.01g の精度の電子天秤で計測する
- ・ 熱量は、「水 1g の温度を 1°C 上昇させるのに必要なエネルギーは 1cal」ということを利用して、100g の水を入れたビーカーを炎の上に置き、水の温度上昇を測定する。(近年は熱量の単位に cal ではなく J(ジュール)を使う傾向が高いようだが、今回はわかりやすいため cal を使う)

$$(\text{熱量})[\text{cal}] = (\text{上昇温度})[^\circ\text{C}] \times 100[\text{g}]$$

- ・ 燃焼時間は、点火してから、目に見える火を出している間の時間。ただ赤くなっているだけのときは含めない。直接実験とは関係しないが参考として計測した。
- ・ 燃え残りは完全に煙も出なくなっからすぐに電子天秤で質量測定。(測定後は安全のため、水につけておく。)

当然、装置本体とビーカーとの間には隙間ができ、そこから燃焼による熱が少し逃げてい

く。しかし大きく炎が出ているときでもその隙間に手を当ててみてもほとんど感じないほどなので、燃焼により発生した熱は完全にビーカーの水に吸収されていると考え、誤差を考慮すれば実験データに支障が出るものではないとする。温度の誤差を $\pm 1^{\circ}\text{C}$ とする。

最後に、これは実験の存在意義に関する重大なことだが、燃料の質量に比例して熱エネルギーが出るのは当然である。それにもかかわらず今回「木質燃料(おがくず or ヒノキチップ)の質量と発生する熱エネルギーの関係」を調べるのは、「一度にまとめて燃やす際の最適な質量」を知るためである。ガソリンやメタノールなどの燃料は、たくさんあっても、少ししかなくてもその量に見合った利用がしやすいが、木質燃料の場合、固形であるなどの原因により、「たくさん集めたが、中心は空気不足だったため表面しか燃焼しなかった」ということも起こりうると考えた。木質燃料を、効率よく利用するための実験である。

## ◆ 第 1 章 ◆

### I. 実験結果

以下はおがくずの質量[g]を変化させたときの生データである(表 1)。  
(2 回ずつ測定した平均値)

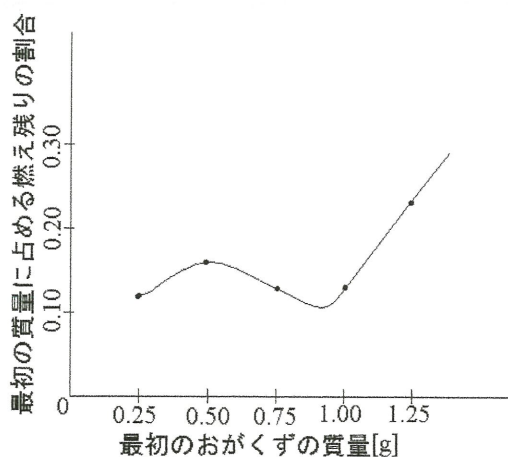
質量[g]	燃え残り[g]	初水温[ $^{\circ}\text{C}$ ]	実験後の水温[ $^{\circ}\text{C}$ ]	燃焼時間[s]
0.25	0.03	14	17	73
0.50	0.08	14	19	108
0.75	0.10	14	21	137
1.00	0.13	14	26	164
1.25	0.29	14	26	193
1.50	----	14	----	----

(表 1) 1.50g は、途中でくすぶり火が消える。

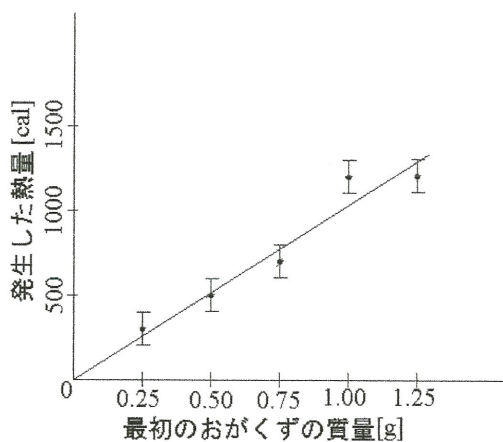
次に、(表 1)より導いた処理後のデータ(表 2)。

質量[g]	最初の質量に占める燃え残りの割合	発生した熱量[cal]
0.25	0.12	300
0.50	0.16	500
0.75	0.13	700
1.00	0.13	1200
1.25	0.23	1200
1.50	----	----

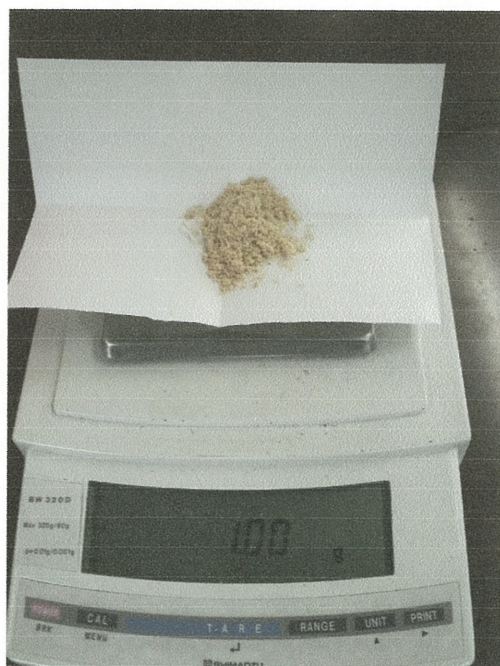
(表 2)



(グラフ 1)



(グラフ 2)



(図 6) 1.00g(もちろん紙の重さを除いて)

## II. 考察

1.50gのおがくずで実験したとき、少し燃焼した後、10秒程度たつとくすぶり、火が消えた。これ以上おがくずを増やすと、この装置では「実験の説明」の最後の段落に書いたとおりのことになり、熱エネルギーを取り出すことが困難になると考えられる。つまりこの装置でおがくずを燃やす場合、空気が十分にあつて熱利用ができる限度が1.50gということである(空気を過給する装置があれば完全燃焼させやすい)。これはおがくずの粒子が凝集するからだと考えた。

(グラフ 1)をみると、燃え残りの割合は 0.90g あたりで最小になっていることがわかる。これは、このポイントが最も**燃焼効率**がよいことを示す。それ以降は燃え残りの割合が増えていくことから、燃料が多すぎるため中心部が空気不足となり、一部が無駄になっていることがわかる。

また、燃焼時の火の温度も重要だと考えられる。温度の高い炎が得られれば、通常燃え残る炭素を含めても燃焼させることができるため、(グラフ 1)の燃え残りの質量がより少なくなると考えられる。

## ◆ 第 2 章 ◆

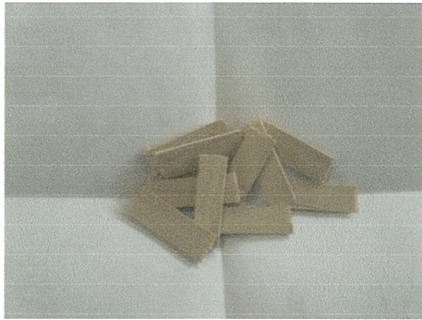
### 0. チップについて

厚さ 1mm の、使わないヒノキ材をチップにする。寸法は、幅 2mm×長さ 30mm×厚さ 1mm で統一することにする。

この実験の前に、予備実験としてチップの大きさを変えて以下の①～③に点火しようと試みた。

--- 長さ 30mm で、①幅約 7mm、②幅約 5mm、③幅約 2mm の 3 種類 ---

結果： ③しか連続して火がつかなかった。よって 2×30×1 で統一する。



(図 7) チップ①



(図 8) チップ③



←(図 9)

第 2 章もおがくずのときと同じように、網の上だけにチップを置く。

### I. 実験結果

まずは生データ(表 3)。

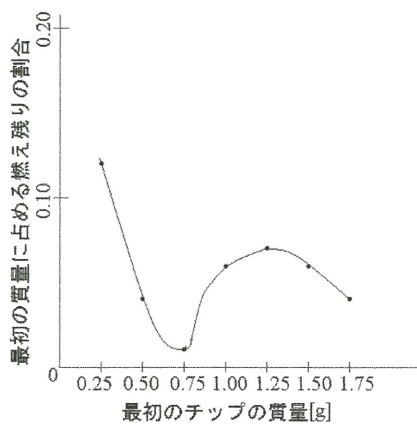
質量[g]	燃え残り[g]	初水温[°C]	実験後の水温[°C]	燃焼時間[s]
0.25	0.03	13	17	85
0.50	0.02	12	19	134
0.75	0.01	13	23	116
1.00	0.06	13	27	140
1.25	0.09	13	30	155
1.50	0.09	13	31	125
1.75	0.07	13	37	118

(表 3)

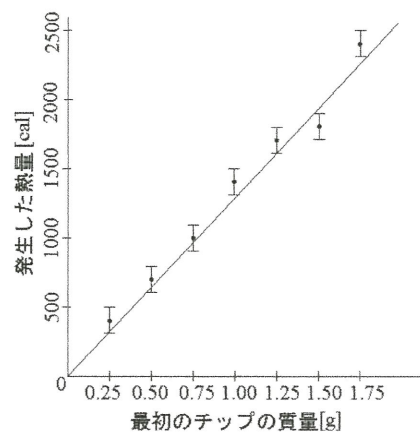
次に処理後のデータ(表 4)。

質量[g]	最初の質量に占める燃え残りの割合	発生した熱量[cal]
0.25	0.12	400
0.50	0.04	700
0.75	0.01	1000
1.00	0.06	1400
1.25	0.07	1700
1.50	0.06	1800
1.75	0.04	2400

(表 4)



(グラフ 3)



(グラフ 4)

## II. 考察

最初にわかったのは、おがくずでは 1.50g ではくすぶってしまい十分に熱利用ができなかったのに対し、今回のヒノキチップでは 1.75g を簡単に燃焼させることができた。2.00g 以上はヒノキチップがなかったため実験できなかったが、終章の「ペレットについて」でも述べるように、チップでは空気が燃料に十分に供給されるため、おがくずより簡単に燃焼させ

ることができたと考えられる。

また、火の勢いが同じ条件のおがくずと比べても強いことがわかった。そして、これによって生まれた高温によって、燃え残りがおがくずによる実験(表 1)よりも少なくなったことがわかる。

(グラフ 3)より、0.75g が最も燃え残りが少ない、つまり燃焼効率がよいことがわかる。

## ◆ 終章 ◆

### I. 木質ペレットについて

おがくずやチップを焼き固めた「木質ペレット」というものがある。当然だが、焼き固めるのに必要なエネルギーはペレットを燃やしたときに発生する熱エネルギーより小さい。

私がこの実験をおがくずで始めたのは、「わざわざ焼き固めなくとも、おがくずのままのほうが粒子が細かいため燃えやすいのではないか」と思っていたからである。しかしおがくずに点火してみると、粒子が細かいからといって粉塵爆発のように激しく燃えることはなく、むしろ火がつきづらいと感じるときさえあった。

キャンプファイヤーでは、かなり太い丸太が激しく燃えている。それなのになぜおがくずは十分な火を出してくれないのかと考えたときに、キャンプファイヤーは丸太を組むことで、空気が入る隙間ができるが、おがくずはいくら粒子が細かくても粒子同士がくっついているため空気が入る隙間ができないことに気づいた。

すべての実験が終わった後、圧力のみでペレットを作ってみた。おがくずをアルミ板で作った幅 5mm の型に入れ、体重を使って押し固めるのだが、そのペレットを燃焼炉に数個重ねて置くと、自重で崩れるほどは脆くないため互いの間に隙間ができ、おがくずの場合より空気が供給され、大きな炎が出るのが確認された。やはりペレットの有用性は高いことがわかる。

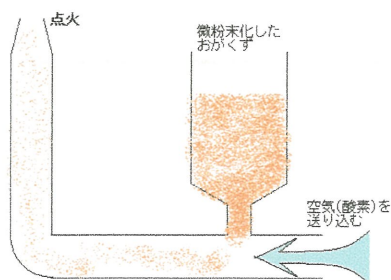
また、熱源を使わず、燃えやすい有機物を使ったノリでおがくずを固める方法もあるだろう。

最後に、粉塵爆発と同じような効果を利用したおがくずの利用についても考えた。

(図 10)のようなバーナーであるが、実用的かどうかというのは別として、これはおがくずの粒子一つ一つに空気がいきわたらせることでおがくずも効率的に利用できるのではないかと想像したものである。しかしガスと違い燃えカスが出てしまうのが問題点である。

このような燃焼をさせるには、おがくずの微粉末と燃焼に使う空気(酸素)が乾燥していなければならないため、空気はボンベなどに貯蔵したもの(圧縮空気)を使うなどの工夫が必要であろう。





(図 10) おがくずを燃料として使うバーナーの想像

## II. 結論

- ・ 【燃料の質量と燃焼】木質燃料でも、発生する熱エネルギーはその質量に比例するが、空気が燃料全体に供給されるような仕組みが必要。
- ・ 【燃料の量と燃え残り】おがくずでは、燃料が少ないと火が広がらず、火力が弱いいため燃え残りの割合が大きくなる。逆に燃料が多いときも空気不足となる部分が出るため、絶えず燃料をかき回すなどの手を加えない場合、燃え残りの割合が大きくなる。これらの間のポイント(この実験の装置では、0.90g)が一番燃焼効率がよくなる。
- ・ 【燃料の形態】燃料は粉末化すると、空気不足などの原因によりで大規模に燃焼させることができないため、ペレットやチップが有効である。

## III. まとめ

原発問題をはじめとして、有利な資源やエネルギーが少ない日本にとって、木質燃料は大変良い資源だといわれている。エネルギー問題などについて、考えたり実験して納得する答えを自分で見つけたり、これからはものづくりなどの分野を通して解決に近づけていきたいと思う。

## IV. 御協力

今回、おがくずを実験に使用するに当たり、下記 2 社よりおがくずをいただいた。

① 有限会社 藤原木型製作所 様

江東区亀戸 5-38-5

② 株式会社 角重 様

江東区亀戸 3-43-20

上記 2 社と交渉していただいた祖父・橋本清孝様へも感謝する。

また、燃料・燃え残りの質量の計測に使用した電子天秤は、高等学校の物理科からお貸しいただいた。