

「ペレットの有効利用」(4年目)

～土のうとして使ったペレットを燃料として再利用する方法～

山形県酒田市立第二中学校

3年 齋藤佑樹

1. 要旨、概要

この研究は「ペレットの有効利用」の4年目ということで、七輪を使ってペレットを燃やすことで、災害時に役立てることができないかという発想ではじめられた。はじめはペレットの燃やし方、土のうとしての使い方を研究してきたが、今回はこれまでの研究を避難所での生活に役立てることができないかということで、土のうとして使ったペレットを乾燥させて、燃料として使えないかという取り組みを行った。

粉末のペレットは、これまでの研究で燃えにくい事がわかっていたので、物質が燃える条件として、温度を上げてガス化すること。ガス化したものに効率よく酸素を供給するにはどうするかという視点で始めた。最終的にはロケットストーブを応用することがきっかけで効率よく燃焼させる事ができるようになったが、七輪を使うという特別な条件での研究だったために本来のロケットストーブとは全く違った形状になった。

結果として、七輪の中に4cmほどの高さから燃料が落ちるような穴を開けたステンレス製金網で作った筒を3つ入れて着火(着火剤を使用)することで、燃焼を維持し、粉末になったペレットも元の形のペレットも燃料として使え、煙もかなり抑えることができるまで到達できたと考える。

2. 問題提起、研究目的

(1) これまでの研究の成果

- ① 1年目：ペレットは、木質の薪や割り箸を比較した結果、七輪を利用して効率よく燃焼できることや、密度や燃えた後の灰の量は少ないなどの良い点も多いが、燃やしたときの熱量や燃焼時間については薪のほうが良いことや、煙が多いことなどペレットの欠点も多いことが分かった。
- ② 2年目：ペレットは着火しにくく、火おこしを使って着火していたが、直接着火するには着火マンで複数個所に火をつけることが有効だと分かった。また、燃焼した時の熱量を上げるには、ペレットの量は100gを分割して入れるなど、限られた酸素の量に適したペレットの量が分かった。さらにガスとペレットの熱量を比較したが、ガスは熱量も大きいので短時間で温度が上がるが、ペレットは時間がかかる分、長時間熱を出し続けることが分かった。ペレットを土のうとして活用する方法にも取り組んだ。その結果、ペレットは3分ほどで水を吸収して質量も体積も5倍に増える。密度は $1.14\text{g}/\text{cm}^3$ 。67.0cm/秒まで流されないなど、土のうとしてかなり有効なものでないかと考えられた。
- ③ 3年目：ペレットを入れた土のうを給水させた後、乾燥させて土のうとして再利用できないかを調べた。乾燥させたペレットを給水させると普通のペレットよりも給水せずに質量もそこまで増えなかった。体積は給水前よりも減少し、土のうとしての再活用には向かないことが分かった。そこで、土のうとして使ったペレットを乾燥さ

せて、燃料として再活用できないかを考えた。給水後にボロボロになったペレットを乾燥させて着火したが、着火しなかった。次に洗濯のり（PVA）を混ぜて固めた。その結果燃やすことができた。

（２）研究の目的

過去の先輩たちの研究成果を受けて今年度は土のうとして使い終わったペレットを七輪の燃料として利用したいという思いを受けて、乾燥してボロボロの粉末状になったペレット（さらさらになって燃えそうに思われるペレットの含水率は10～20%であった）をしっかりと燃やすための研究を行った。

3. 研究方法と結果・考察

3-1. インターネットで調べたこと

（1）ロケットストーブの機構と概要

① 概要

ロケットストーブ、エコストーブ、および暖房目的として使われるロケットヒーターは、断熱された排気管(ヒートライザー)と燃焼管(バーントンネル)を持ち、薪などを燃料として使用する燃焼機器のことである。典型的なロケットストーブは、「J」字型に配置された燃焼管に断熱材を周囲に詰め込んだ簡易な構成で実現できる。設計図や応用例が広く公開されており、製作は比較的簡単である。また薪火の経験が少なくても比較的簡単に使用できることも特徴の一つである。燃焼運転を開始すると、排気管から勢いよく排気され、火力によっては炎も見える様から「ロケット」ストーブと呼ばれている。

また、ロケットストーブは少量の燃料で高い火力を生み出すことができる。化石燃料がなくても、まつぼっくりや枝などの身近な材料を使って高火力が得られることから、キャンプでの使用はもちろん、非常時の備えとしても役立つ。

② 機構について

ロケットストーブは、バーントンネルと呼ばれる燃焼管と、ヒートライザーと呼ばれる断熱された煙突で構成される。仕組みはとてもシンプルですが、煙突があることで炎が集約され、煙突の中を勢いよく上昇していきます。この強力な上昇気流を作り出すことで高温燃焼が可能になります。

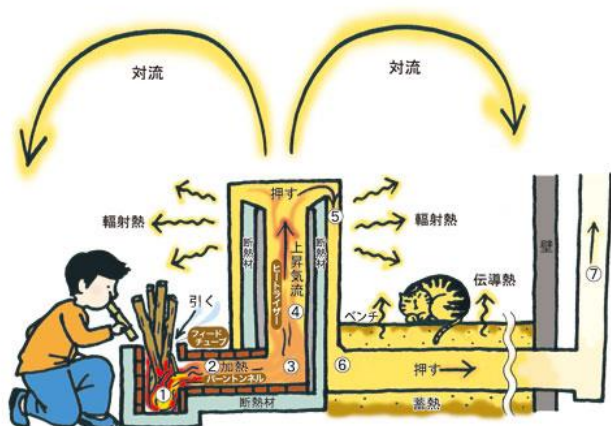


図1. ロケットストーブの機構（ネットより）



図2. ロケットストーブ（ネットより）

考察（1）

この研究は土のうとして使ったペレットを七輪で燃やすのが目的で、粉末のペレットは今までの実験では糊を混ぜないと燃えにくかった。だが、おがくずを燃やせるおがくずストーブの機構はロケットストーブの機構と同じということがわかった。なのでこれを利用すれば粉末のペレットを燃やせるとなるとかなりの効率化が図れるので、これをもっと利用していきたいと思った。

3-2. 確かめたこと

方法（1）：粉末になったペレットは燃えるのか

粉末になったペレットは着火しないことが分かっていた。そこで、物質が燃えるとは、ガス化した物質が酸素と結びつくことなので、温度を上げてガス化させる。しっかりと酸素を供給するにはどうするかを考えて研究を進める必要があると考えた。

- ① ステンレス皿の上で直接火をつけてみる。
- ② ガスバーナーで加熱しながら火をつけてみる。
- ③ 直接七輪で火をつけてみる。

結果（1）

- ① 表面が黒く焦げる程度で燃えない着火剤を使っても放っておけば火が消えてしまう。
- ② 着火し、炎を上げて燃え続ける、煙もない。
- ③ 直接火をつけても終わることはない。着火剤を使ってある程度燃やしたとき、表面に新鮮なペレットが出てくると炎を上げる様子が観察された。



図.3 ①は表面が焦げる程度



図.4 ガスバーナーで加熱すると燃え続ける

考察（1）

この実験では粉末のペレットは燃やすのが困難であることが改めて分かった。炭に火をつけるように燃やし始めは温度をあげるために着火剤が必要だと分かった。また、粉末のペレットは細かい粒であるため空気の通りが悪く、ある程度燃えてしまうと熾(おき)火のようにくすぶった状態になってしまう。③でかき混ぜたときに表面のペレットが空気に触れて炎をあげて燃えているようだった。粉末のペレットでは酸素の通り道が目詰まりを起こしやすいので、方法（2）を考えた。

方法（２）： のりを加えて乾燥させた時の燃え方

これまでの研究で、液体洗濯糊（PVA）を加えて乾燥させ、固めたものに点火するとよく燃えることが分かっていたので、燃えやすいのりが原因なのか酸素の供給がうまくいくことが原因なのか調べてみようと思った。

- ① ステンレス皿の上で直接火をつけてみる
- ② ガスバーナーで加熱しながら火をつけてみる
- ③ 直接七輪で火をつけてみる

結果（２）

- ① 火は着火剤を使えば少し燃えるが、持続はしない。
- ② 着火もしてよく燃え、煙も出ない。
- ③ 最初は燃えにくかったが火がつくと燃え続ける、煙も少なかった。また、空気の通りが良い入り口などで燃やすとよく燃える。新鮮なペレットが出ると更に燃えた。また、形を作って燃やすより、薄く延ばして燃やしたほうがよく燃えた。ペレットに入れた液体洗濯のり（PVA）は ①：ペレット50mlに糊5ml、②：50mlに10ml、③：50mlに20ml、で比較したが、①では形ができずボロボロに崩れた。②では形ができていたがペレットが少し崩れていた。③は形がほとんど崩れずに形ができていた。燃え方としては形を形成しているからといって着火しやすくも燃えやすくも無いということが分かった。しかし火が付いた後は炭の燵（おき）火のようにしばらく燃え続けた。



図.5 のりを混ぜてぼろぼろのとき燃え方



図.6 のりで固めた固体は燃えにくい

考察（２）

ペレットにのりを混ぜた場合は、燃えやすさは少し良くなるが火の勢いとしてはあまり変わらなかった。また、空気の通り道でよく燃えること、形を作って燃やすよりも薄くのばしたほうがよく燃えることから、空気と接する表面積が大事だと分かる。また、これより多い量のペレットを燃やすことを考えるとのりの消費量が多くなり経済的に問題があると感じた。

方法（３）： 形状を固定するための工夫

もし粉末のペレットが燃えるのに酸素の供給で解決できるのであれば、初めからボロボロの状態ではなく形が固定されていれば、うまく燃やすことができるのではないかと考えた。また乾燥させて、のりを混ぜて再び乾燥させる手間を省くことができると思った。そこで土のうの中に一定量のペレットを入れた不織布（七輪に入れて燃やせる大きさ10cm×5cm程度とし、15g程度のペレットを入れると適切な大きさと硬さになった）を入れてから再利用する方法を考えた。

- ① ペレットを不織布に入れて水に浸す。
- ② ペレットと粉末のりを不織布に入れて水に浸す。

結果（3）

- ① ペレットを何も混ぜずに不織布に入れて水に浸した場合では、ある程度固まっていたが少し中が崩れていた。また、中から木くずが少し落ちてきた。燃やした場合は着火に少し時間がかかり、不織布が崩れ中身が出てきた。ある程度燃えると、崩れて空気の通り道をふさいでしまい火の勢いが弱まってきて火が消える。



図.7 ペレットを不織布に入れ水に入れた場合



図.8 のりなしで燃やした場合

- ② 粉末のり（0.5g：これより多いとのりだけが不織布の中で固まってしまい乾きにくくなって しまう）が溶けておりある程度ペレットが固まっていた。粉末のりとペレットを混ぜたときに不織布の隙間から粉末のりが落ちてきた。目の細かい不織布を使うと粉末のりは落ちてこないが、水を吸収する時間がかかる。何よりも乾燥させるのに時間がかかり、途中で不織布の表面にカビが発生した。燃やした場合は、燃やしても形が残っていたが、着火はしにくく燃える部分の表面積が小さくなってしまった。



図.9 のりを入れたものを燃やした場合

考察（3）

ペレットを土のうとして使い、洗濯のりを入れて形を作ってやれば燃やすときに薪をくべる感覚で効率的になると考えたが、洗濯のりを入れてもあまり火の勢いなどは変わらず、乾燥するのも時間がかかってしまう。また、ペレットの量が多くなるとペレットが崩れてしまい、空気の通り道が塞がってしまうので、洗濯のりのことも含めて対策すべきだと思った。

方法（４）：ロケットストーブの応用

理科の阿曾先生から子供のころに自宅におがくずストーブというのがあって、火力が強かったということを知った。調べてみるとロケットストーブというものと同じような原理でできているようだったので、それを応用してみることにした。

- ① 方法(1)③の結果から、一定量の新鮮な粉末ペレットが、空気の入口付近に落ちるように金網の筒にあなをあけて燃やしてみた。ペレットの落ちる高さは七輪の空気口と同じくらいの4cmとした。
- ② ①の実験でやかんを置くと煙が多く出てきた。高温で燃焼させるために、ステンレス板で筒をつくり煙突を2本入れ七輪に煙突を入れて実験してみた。
- ③ ②の実験で使った煙突を置く場所に①の筒を加えてやれば火力が上がるのではないかと考え実験した。

結果（４）

- ① はじめはアルミの金網で筒を作ってやってみたところ、着火剤は必要だったが着火してしまえばある程度、燃えることがわかった。しかしアルミの金網ではすぐに溶けてしまったので、もっと融点の高いステンレスの金網を使って実験した。この実験では自動的に粉末のペレットが燃焼するところに落下することを考えて筒の下に穴を開けてみたが、穴の大きさに関係なく筒の中で粉末のペレットが燃焼し固まってしまう。そしてだんだんと火力が落ちていった。そのため燃焼を継続させるために筒をたたくなどして、下に落としてやらなければならなかった。また、やかんを置くと煙が多くなり工夫が必要なことが分かった。



図. 10 金網で燃料の落ちる高さを調整したところ

- ② この実験では煙突の中で炎が渦をまいて燃焼する様子が観察された。煙突を入れれば完全燃焼して、煙もでなくなるのかと思ったが、やかんを置くと煙が多くなってしまった。結局、煙突はほとんど効果がないことがわかった。また、やかんは七輪から6cmほどの高さがあれば煙が出にくい事に気づいたので、七輪に五徳を置いて実験をした。



図. 11 2本の煙突で2次燃焼を促している

③ この実験では思った以上に火力が上がった。また、これまでは途中うちわで風を送ったり、筒に振動を与えて燃料を落としたり、結構大変な思いをして燃焼を維持しなければいけなかったが、放置していても、減った分の燃料を補充するだけで、燃焼を継続させることができた。また、この方式では粉末のペレットはあっという間に無くなってしまい、通常のペレットを追加で入れても燃焼を継続することができた。通常のペレットのほうがこれまでの研究で5分の1に圧縮されているためか、火力も強く熾(おき)火も長く続いた。この実験では、やかんに入れた1Lの水を95℃まであげることができた。

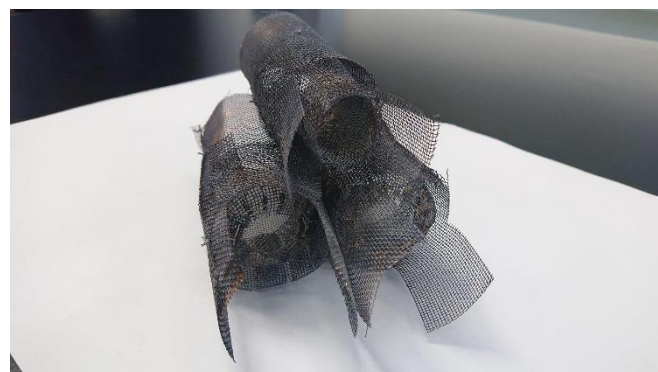


図. 1 2 3本の燃料筒



図. 1 3 3本の燃料筒では燃焼が継続する



図. 1 4 五徳で煙の量を減少させた

考察(4)

インターネットで調べた結果、ロケットストーブには燃焼管と排気管が必要であった。そこで、燃焼管として七輪の前方3分の1、排気管として後方3分の2を考えて実験してみたが、ペレットの供給や、燃焼部分のつまりが生じて、燃焼を継続させることが難しかった。しかし、③の実験をした結果、燃焼管は七輪の底の空気取り入れ口ではなく粉末ペレットを入れていた筒の底部であることが分かった。また、筒を金網にすることで七輪と筒の間で上昇気流が生じ筒から生じたガスと空気がうまく混合して炎をあげて燃焼しているように見られた。やかんと七輪の間を開けないと煙が多く出るというこは、七輪の空気取り入れ口からの空気だけでは足りずに燃焼ガスが七輪を出てから空気と反応しているのではないかと考えられる。この実験では、五徳の高さの工夫などやかんのお湯を継続して沸騰させるところまでは行かなかったが、研究の目的に対してある程度のめどが立ったのではないかと思う。

4. 結論(課題)

今回の研究では、過去の先輩方のペレットの有効利用の研究の続きとして、土のうとして利用し終わった粉末のペレットを燃やすことを目的として研究を始めた。粉末のペレットはとても燃えにくく、結果としては粉末のペレットを継続して燃焼させるところまでの研究になった。

結論

- ・のりを入れると着火はしやすいものの火の勢い自体はそれほど変わらなかったり、形を作るよりも薄く伸ばした状態のほうがよく燃えることから空気と触れる表面積の大きさが大事なことがわかった。また、のりを入れることは、乾燥するのに時間がかかったり、新しく買うなど経済的にも良くないと感じた。また実験をする機会があったらペレットを、しっかり燃える程度に出来るだけ速く乾燥させる方法を考えて燃やすときの利便化を図りたいと思った。
- ・直径約 5cm のステンレス製の金網で筒をつくり、4cm ほどの高さに底をつけて、一定の大きさの穴を開けた筒を 3 つ用意することで、七輪との間に上昇気流を発生させガスと空気を結合させ継続して高い火力でペレットを燃やすことができる。また、粉末のペレットよりも通常のペレットの方が火力が強く長時間燃焼が行える事がわかった。そしてこの方法なら、電気などを使わずに火力が維持できるので災害時に避難所などで利用できると思った。
- ・今回の研究では、ある程度の火力で粉末状のペレットを燃やすことができたが、まだ高熱を維持する方法には課題が残った。これを解決するために燃料を入れる筒の工夫や五徳の形状や高さの工夫の研究が更に必要だと思った。

この研究を通して、いかに研究をスムーズに進めることが難しいか、また単に火を燃やすということがこんなにも複雑で難しいかを改めて感じました。また、七輪に少しの工夫を凝らしただけであれだけ変わるのに驚きました。これからは、この経験を生かして私生活や新しい研究に生かして生きていと思います。

5. 参考文献

<https://rocket-stove.info/kouzou/3/>

<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%AD%E3%82%B1%E3%83%83%E3%83%88%E3%82%B9%E3%83%88%E3%83%BC%E3%83%96#%E7%87%83%E7%84%BC%E5%8E%9F%E7%90%86>

<https://www.bepal.net/gear/stove/120310>

6. 謝辞

本研究を遂行するに当たって考察、研究方法など様々な面から手厚い指導、サポートをして下さった石垣達也先生にひとかたならぬ感謝を申し上げます。おがくずストーブという本研究のミソともなる物の存在についてのお話を聞かせてもらったり、顧問の先生がいないときに様々サポートをして下さった、阿曾智也先生に深くお礼申し上げます。

今までこの研究を行って来てここまでこの研究を深めてくれた先輩方に深謝します。先輩方の研究がなければここまでこの研究が深まることはなかったと思っております。同じ部活の生徒の皆さんには研究の手助けや、協力、温かい声援を頂きました。これに感謝の意を示します。

また、ペレットを燃やす過程で出た煙でご迷惑をかけてしまった本学校の生徒さんや、不快だと感じた方に深く謝罪を申し上げます。これからはこのような実験をするときにできるだけ煙を外に出したり必要最低限の回数にして行うなどして対策してつつもりです。