

ロケットストーブを利用して車を走らせよう!

山梨大学 医工農学総合教育部 機械工学コース

小林拓矢 ドウマ ジョン ンガンガ

山梨大学 工学部 機械工学科

浅野佳祐 鈴木満春 日高拓哉

1. 概要・目的

カルノーサイクルの定義から分かる通り、熱源からエネルギーを取り出す効率は温度差が大きいほど大きくなる。そこで、小型化可能な高温燃焼を実現できるロケットストーブに注目する。ロケットストーブは、鉛直に設置されたヒートライザー部と、その下部に取り付けられた燃焼室で構成される。これらは金属の筒で作成されており、両端は吸気口及び排気口となる。ヒートライザー部は内部の温度を高くするため、周囲を断熱材で覆っている。燃焼時には断熱材の効果により、ヒートライザー部内の燃焼ガス温度が低下しにくいため自然対流が効果的に発生し、吸排気が連続的に行われる。その結果、燃焼部での燃焼が促進され、ヒートライザー部の温度も上昇し、完全燃焼が促進され燃焼効率が高くなる。なお、排気温度を 500°C程度に上げることも可能である。また、燃料は燃焼室で燃えれば何でもよい(廃油、紙類、間伐材、落ち葉等)という特徴がある。さらに、ロケットストーブは高温熱源のみならず、排気圧も比較的強いため、様々な形でエネルギーを取り出すことが可能である。本実験では、ロケットストーブの燃焼性能に特に大きな影響を与えると考えられるヒートライザー長、燃料の最適な条件を調査するために、それぞれの条件を変えての燃焼実験を行った。また、燃焼のエネルギーを電力として取り出し、それを動力として、人が乗ることのできる4輪車を作成することを目的とする。

2. 燃焼実験

2.1 ロケットストーブの原理

ロケットストーブの概略図を Fig.1 に、ロケットストーブの写真を Fig.2 に示す。ロケットストーブは、金属製の L 字パイプの水平部分で燃料を燃やし、そこで発生した未燃焼ガスをヒートライザー部分で燃焼させる。なお、ヒートライザーは断熱したパイプの垂直部分とし、断熱材よりも上に露出している部分は煙突と定義する。断熱材の効果によりヒートライザー部内の温度が高くなるため、強い自然対流が発生し、吸排気が連続的に行われる。その結果、さらに燃焼が促進され、ヒートライザー部内の温度も上昇し完全燃焼が促進され燃焼効率が良くなる。

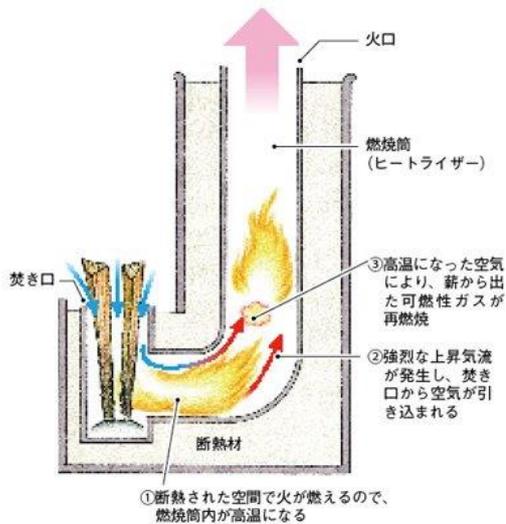


Fig.1 ロケットストーブ概略図



Fig.2 作成したロケットストーブ

2.2 実験装置・実験方法

実験装置の概略図を Fig3 に示す. 今回作成したロケットストーブの作成には, ペール管, 断熱材としてパーライト, L 字パイプの部分にはストーブ用のステンレス製煙突を使用した. また, 排気温度の計測には K 型熱電対とデータ集録装置のサーモダック E を使用し, 管の中心温度を測定した. なお, 風速の測定は, 排気温度が高温であるため排気側での測定は困難であり, 吸気側で行った. 燃焼実験は以下に示す(1)と(2)を目的として行った.

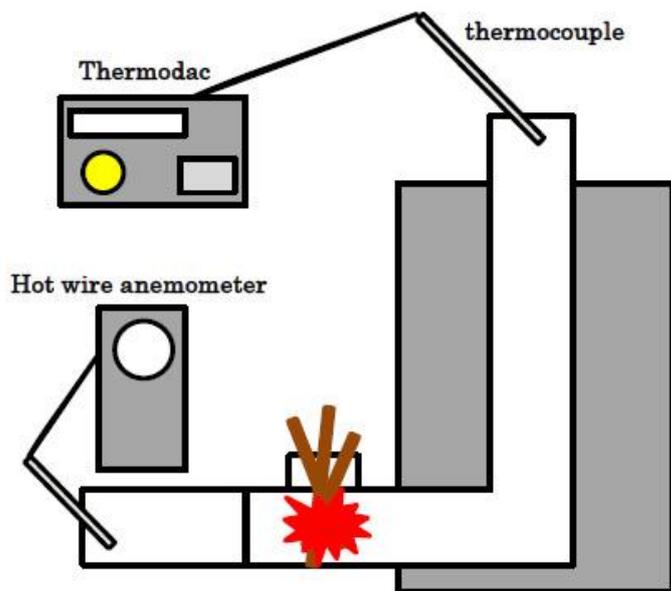


Fig.3 燃焼実験装置概略図

・ロケットストーブの燃焼方法

- ① 吸気側に設置した金網のかごに少量のペレットを入れ、着火剤などで火をつける。
- ② ある程度燃えたら再び少量のペレットを入れる。
- ③ 少しの時間燃えるのを待ち、燃えてきたらペレットを金網のかごいっぱいに入れる。
- ④ Fig.4 に示す穴の空いた蓋をロケットストーブの吸気側に取り付ける。
- ⑤ ペレットが 3 分の 2 程度燃えたあたりで最高温度が出る。



Fig.4 ロケットストーブ吸気側に取り付ける蓋

(1).燃料による燃焼性能の違い

燃料を豆炭，木材，油，木質ペレットの 4 種類を用意し，それぞれの材料で燃焼実験を行った。

(2)ヒートライザー長による燃焼性能の違い及び風量の評価

(1)の実験で得た結果から，燃焼に最適な燃料を用いて実験を行う．実験条件として，ヒートライザー長を 0cm，25cm，50cm，75cm，100cm とし，それぞれで燃焼実験を行い燃焼性の違いを評価した．また燃焼時には排気口から多くの風量が確認できたため，風量を電力に用いることが可能と考えられる．そこでヒートライザー長による燃焼性能の違いと同時に風量の測定を行う．しかし排気口は非常に高温であり風量測定が困難なため，吸気口からの風量を測定し評価した．

2.4 実験結果

(1)での燃焼実験の結果，豆炭の場合では激しい燃焼が確認できず，排気温度も 100℃程度と低かった．木材，油，木質ペレットのそれぞれの排気温度は 280℃，400℃，800℃と木質ペレットの場合が最も高い温度を得ることができた．この結果から，後の(2)の実験や発電実験においては，木質ペレットを使用することとする．木質ペレットが最も高い温度を得られた要因として，表面積が大きく，空気との接触面積が大きいことが考えられる．

また、木材の燃焼時に発生する未燃焼ガスの発生量が多かったことも要因の一つと考えられる。

次に(2)での燃焼性の違い及び風量の評価とし、ヒートライザー長が 0cm,25cm,50cm,75cm,100cm の 5 つの条件下での測定結果を以下のグラフに示す。

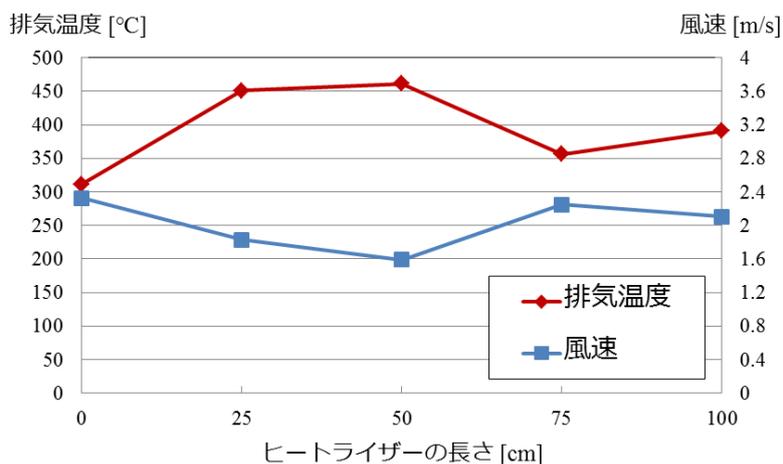


Fig.5 各ヒートライザー長における最高排気温度及び風速の測定結果

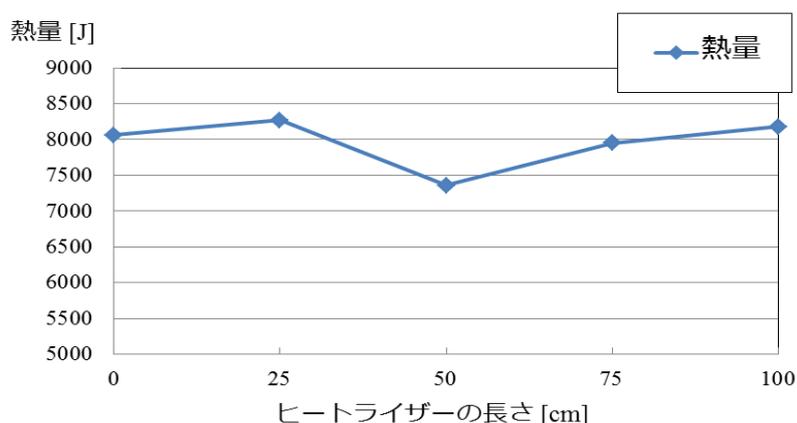


Fig.6 各ヒートライザー長における排気口からの熱量

ここで、排気口から流出する熱量は次式から求めた。

$$Q = c \times \rho \times V \times \Delta T$$

測定結果から、ヒートライザー長が 50cm のときが最も高い温度を得ることができることが分かった。これは、ヒートライザー内部の浮力と管摩擦抵抗が釣り合ったためだと考えられる。また、吸気口側の風速については、排気温度とは反対にヒートライザー長が 50cm のときに最も小さくなる結果となった。この理由として、温度による空気の粘性抵抗の変化が考えられる。温度が上昇するとヒートライザー内部の空気の粘性係数が大きくなり、

ヒートライザー部内での管摩擦抵抗が増加するため風速が低下する。反対に、温度が低下すると粘性係数が小さくなり、管摩擦抵抗が減少するため風速が上昇すると考えられる。また、排気口から排出される熱量は、ヒートライザー長による影響があまり見られなかった。

次に風力による発電を行うために Fig.7 のような風車を作成した。しかし風車の重量またはベアリングの影響からか風車の回転が重く回転しなかった。そのため、風車の小型化及び使用するベアリングの変更により改善できるのではないかと考えている。また、ハブダイナモでも磁石による抵抗のコキングの影響が予想よりも強く回転が重いいため、コキングの影響を軽減するといったことも挙げられる。排気口からの風力を利用するのは今後の課題のひとつと言える。

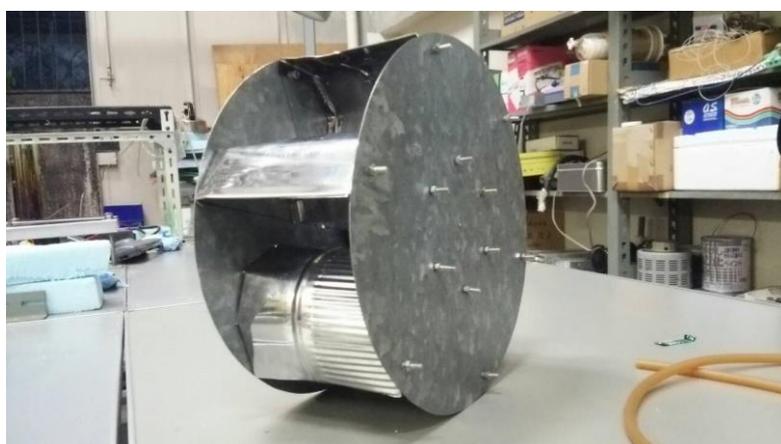


Fig.7 作成した風車

3. ペルチェ素子による発電実験

3.1 実験装置・実験方法

ロケットストーブで発生したエネルギーを電力として取り出すために、温度差から電位差を生じさせるペルチェ素子に注目した。Fig.8 に発電装置、Fig.9 に装置全体の概略図を示す。ロケットストーブの煙突周りには銅板を六角形に曲げたものを取り付けた。その1箇所にはペルチェ素子と CPU クーラーを取り付けた。なお、ペルチェ素子は銅板と CPU クーラーの間に挟み、絶縁のためシート状の黒雲母を挟んだ。ペルチェ素子にセメント抵抗をつなげ、電圧を測定することで発電量を計測した。熱電対は4箇所にてそれぞれの温度を計測した。

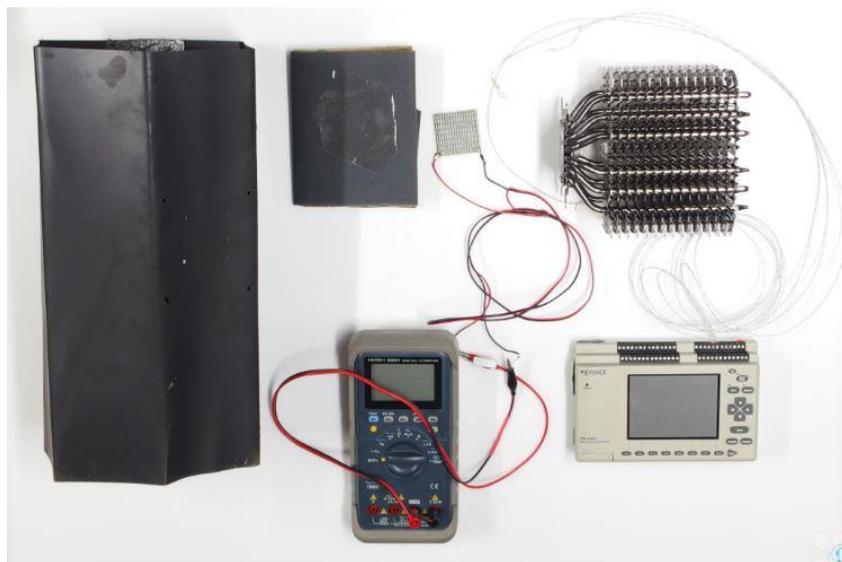


Fig.8 発電装置

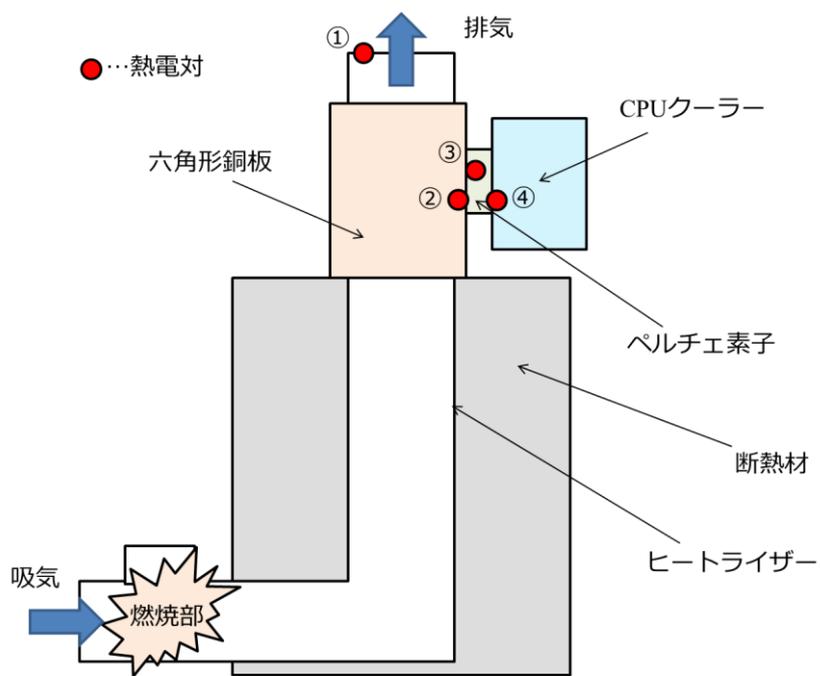


Fig.9 発電実験の実験装置概要図

- ① 排気口の排気温度
- ② 六角形銅板の温度
- ③ ペルチェ素子の高温側の温度
- ④ ペルチェ素子の低温側の温度

発電実験はロケットストーブの燃焼に最適な条件として、燃料を木質パレット、ヒートライザー長を 50cm とし、熱電対とペルチェ素子を用いて排気温度と電位差の関係を調査した。また、輻射熱を用いることでより効率的な発電ができると考え、六角形銅板を黒塗りした場合と黒塗りなしの場合でそれぞれ発電実験を行い比較した。

3.2 実験結果

温度と電位差の測定結果を、以下のグラフに示す。

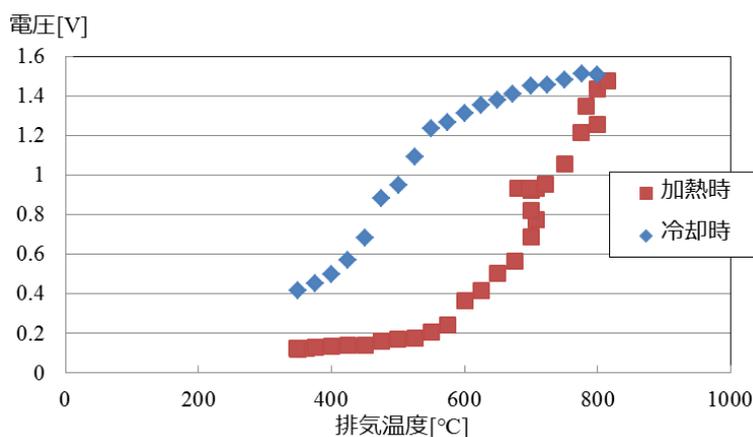


Fig.10 排気温度と電圧の関係(黒塗りなし)

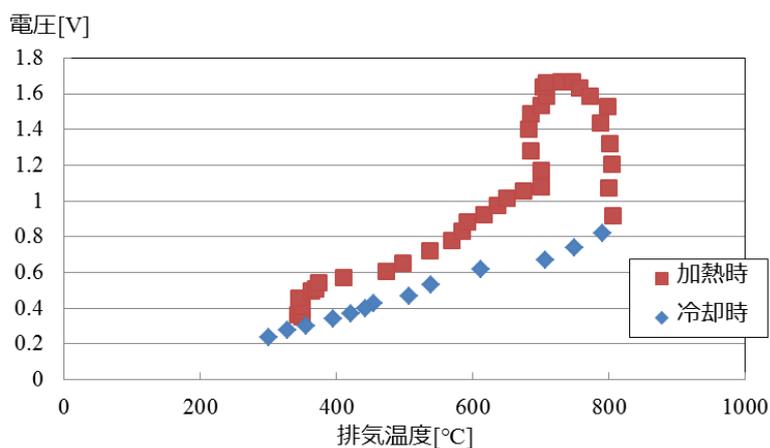


Fig.11 排気温度と電圧の関係(黒塗りあり)

燃焼時のロケットストーブの温度が上昇するときを加熱時として赤色で、最高温度に達してから温度が下がる時を冷却時とし青色で示す。

まず黒塗りをしない場合は冷却時の電圧が加熱時の電圧よりも高い傾向が得られた。これは加熱時の燃焼ガスが高温になっていく場合、ペルチェ素子側の温度が十分に高くなってないためと考えられる。一方、冷却時の段階ではペルチェ素子側が十分に加熱されてい

るため電圧が冷却時の方が高くなると言える。

次に黒塗りにした場合は，加熱時の電圧が高い結果が得られた．これは黒塗りにしない場合と逆の結果と言える．要因としては黒塗りにしたことで輻射エネルギーを吸収し，一気にペルチェ素子側も加熱されたと考えられる．また 700°C 付近では熱伝達を受け急激にペルチェ素子側が加熱され電圧が高くなったと言える．

黒塗りにしない場合はピーク時の電圧が 1.51V ，黒塗りにした場合には 1.67V となった．このところから約 10% の効率の向上を図ることができたといえる．

4. 走行実験

今回は人が乗れる 4 輪車ということで，アルミの角パイプを主要な材料として車両の制作を行なった．メインフレームの構造については，当初 Fig.12 の左図のようにシンプルな構造で制作したが，ねじれ剛性が低く人が乗るには不安定であった．そこで右図のラダーフレーム構造にすることで剛性の強化を図った．

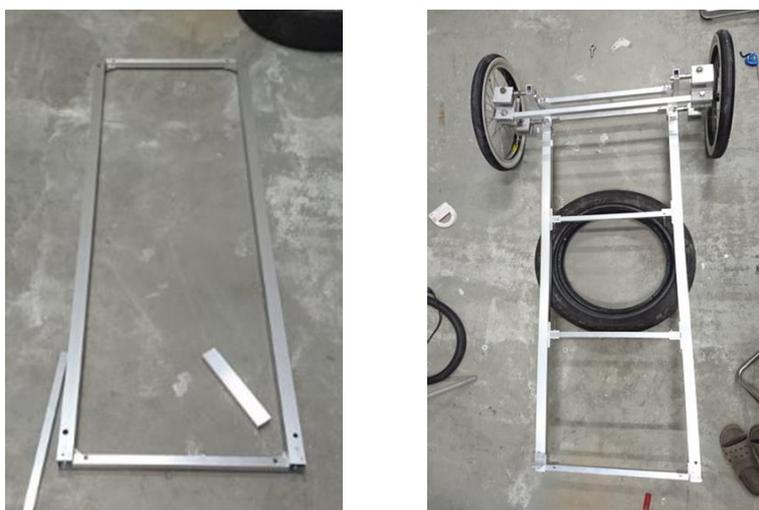


Fig.12 フレーム構造の違い(左図:初期の構造, 右図:ラダーフレーム構造)



Fig.13 完成したフレーム

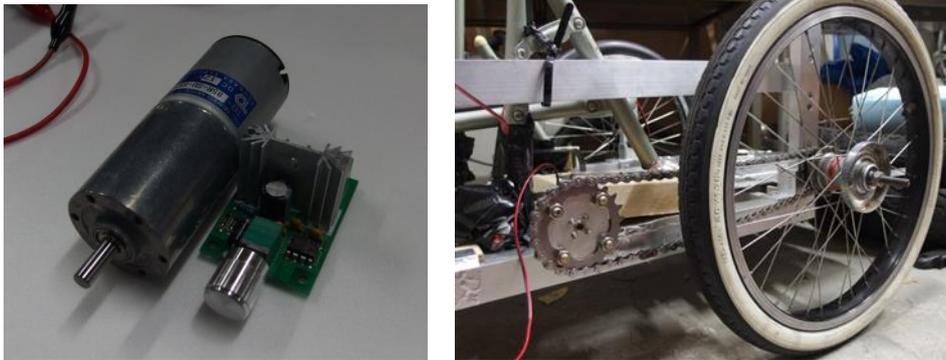


Fig.14 車両駆動部

使用したバッテリーの容量が 28.8Wh, モータはツカサ電工製 TG-85R-SU-552KA (定格電圧 12V, 定格電流 2800mA, 定格トルク 15.19mN・m) を採用し, 自転車用のチェーン, ギアを使用した. また, モータの制御用として PWM コントローラを取り付けた.



Fig.15 完成した車体

実際に走行した映像は動画を参照されたい.

5. 結論

本実験では, ロケットストーブの燃焼効率を良くする条件を明らかにするとともに, 燃焼時のエネルギーを電力として取り出し, それを動力として走行する 4 輪車の作成を目的とした. 燃焼実験の結果より, 木質ペレットを利用することとヒートライザー長を 50cm とすることで燃焼効率が最も高くなることが明らかとなった. また, 今回の発電実験では六

角形銅版を黒塗りした場合の発電効率が良いことが分かった。この条件での最高温度での発電量が 0.045W となった。また作成した六角形銅板は最大で発電装置を 18 個つけることができると考えられるため、排気口の熱で約 0.81W の電力を発電できると考えられる。そのため今回使用したバッテリーでは約 35 時間でフル充電ができ 4 輪車の走行が可能となる。

6. 謝辞

去年提出予定であったところ、提出期限に間に合わず大変ご迷惑をおかけいたしました。それにもかかわらず、実験の延長を認めてくださり、このような機会を与えてくださった株式会社八光電機様に心より感謝申し上げます。また実験や装置の製作にあたり様々な指導をしていただいた鳥山孝司准教授に深く感謝申し上げます。