

ストーブの熱で回るおもちゃの試作

○(有)工北サーモ 小畑龍夫、 (株)善大工業 福富善大

要 旨

廃油ストーブを使用するには、燃焼管理をストーブのそばで行わねばならない。離れた場所からでも燃焼状態を監視するため熱対流で回るおもちゃを試作した。厚さ 0.1mm のステンレス薄板から、最大直径 15cm、巻き数 6 のアルキメデスの螺旋を切り出し、頂部を引き出して高さを約 20cm に整えた。頂部に約 3mm の穴を開け、直径 4mm の精密ベアリングを取り付けた。廃油ストーブの上方約 1 m の高さにつるしたところ、最高回転速度 84rpm で回転した。

1. はじめに

一般的な廃油ストーブには、灯油ストーブや高級な薪ストーブに備わっている透明な窓がない。燃焼状態の確認は、廃油ストーブの燃焼室管体のふたを開け、内部を目視して行っている。廃油ストーブを設置している作業場では、防火の観点から、燃焼状態を、離れた場所からでもすぐ確認できるようにしておくことが望ましい。

廃油ストーブの燃焼室管体の高温部分は約 550℃に達することから、加熱された空気が膨張、上昇して熱対流が発生している。この熱対流を可視化すれば、間接的に燃焼状態を確認できると考え、耐熱性風車（以下、「熱風車」）の試作を行った。

2. 熱風車の製作

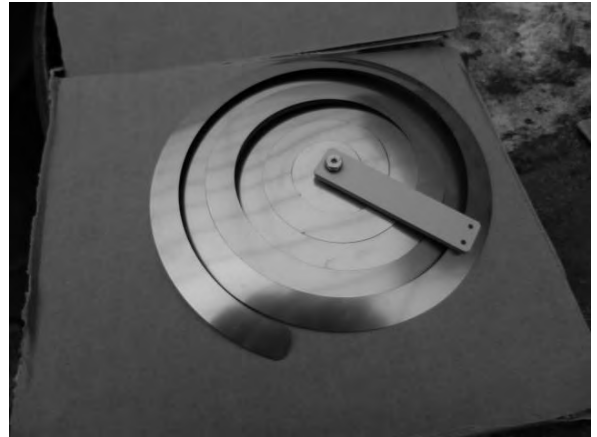
熱風車を構成する部品は全て金属で製作した。本体の形状は、一枚のシートから切り出せるアルキメデスの螺旋とした。以下の式に従って厚さ 0.1mm のステンレスシートから、炭酸ガスレーザーで x 軸 y 軸の直交平面より最大直径 15cm、巻き数 6 の螺旋を切り出した。

$$x = \theta \cos \theta \quad y = \theta \sin \theta$$

螺旋の始点には直径約 3mm の穴を開け、外径 4mm の精密ベアリングを介してアルミ製の固定治具に取り付けた。固定治具は、さらに、直径 110mm の煙突に固定できるようにした。熱風車の、固定治具がついた状態で平置きした外観を図 1 に、煙突近傍につるした状態を図 2 に示す。熱風車はステンレスシートの自重により下方に伸びて高さ約 23cm の立体となった。

3. 回転実験

廃油ストーブに廃食油を約 1L/h 投入して約 1kW の燃焼熱を発生させた。廃油ストーブは約 40W のプロアーにより、



【図 1】平置きした熱風車



【図 2】煙突近傍につるされた熱風車

燃焼室内壁をなめるように燃焼炎を回す方式である(図 3)。ストーブ管体の形状は円筒であり、外径 31cm、高さ 55cm である。回転実験の間は、上蓋を閉じて炎が見えない状態にした。第 1 回目の実験では、廃油ストーブひまわりⅢの煙突に熱風車を上から見てその中心がストーブ円筒管体の円周上にくるよう取りつけた(図 3 ①)。ストーブ上端と熱風車下端との距離は約 1 m である。熱風車は軸がほぼ鉛直を保って回転した。回転速度は一定ではなく、数秒

静止してからゆっくり動きだすこともあった。静止している間は螺旋の下部、特に開放端付近が数 mm の幅でゆっくり振動するのが認められた。順調に回転が続くと徐々に加速され、最高回転速度 84rpm に達した。順調な回転状態と静止状態の繰り返しの時間間隔には周期性が見られなかった。第 2 回目の実験では、熱風車の中心とストーブの円筒筐体の中心が一致するように (図 3 ②) 同高さ 1 m の位置につした。熱風車は高速で回転し、やがて大きく揺れだした。回転速度の計測はできなかった。



【図 3】 燃焼炎と熱風車をつらした位置

4. 回転機構の考察

熱風車に当たる上昇気流の浮力を計算するため、ストーブの上方に直径 31cm、高さ 100cm の閉じた円筒空間に 200℃の空気が閉じ込められていると仮定しよう。ボイル・シャルルの法則により空気の密度は温度に反比例する。この円筒空間内の空気重量は、標準空気¹⁾の重量の約 62% である。計算式を以下に示す。

$$(20+273)/(200+273)=0.619$$

従って熱空気の浮力は、標準空気の比体積 0.83m³/kg' から、

$$0.155*0.155*3.14*1*(1-0.619)/0.83=0.0346(\text{kg})$$

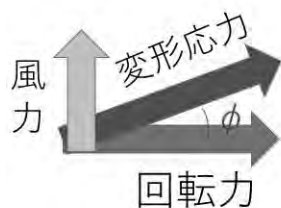
熱風車は、真下から見込むと直径 15cm の円板である。

円板全体で受ける浮力は、以下となる。

$$0.0346*15*15/31/31=0.00810(\text{kg})$$

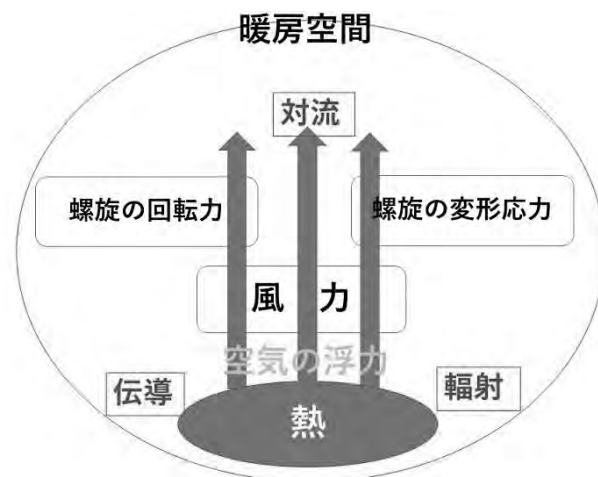
この浮力から生じた風力が螺旋を動かしている。なお、熱風車の回転部品の重量は、約 14g である。

熱風車の回転は、風力の一部が図 4 の力の三角形により回転力に配分されて生じる。φ は、螺旋の翼面と水平面との角度である。変形応力は、翼面が空気をかき分けて運動し、上



【図 4】 力の

三角形



【図 5】 熱風車における熱エネルギーの消尽

方に移動する力が固定治具で制止されると完全に消尽する (図 5)。

浮力のエネルギー E の全てが風力のエネルギーとなって回転エネルギーに変換され、空気抵抗などが無視できるとしたときの角速度 w は、以下の式より求まる²⁾。

$$E=Iw^2/2$$

ここで I は慣性モーメントである。熱風車を、直径 15cm、重量 14g の円盤に近似すると w=30(rad/s)、すなわち約 191rpm となった。

図 3 の②の位置につしたとき、回転速度は増えていたと考えられるが、螺旋翼の変形が大きく、各部位で二重振り子が形成され、全体が不安定に振動していた。従って、より安定した高速度の回転を実現するためには、ステンレスシートを厚くしたり、下端を回転軸に固定するなど、変形を防ぐための改造が必要である。

5. まとめ

ストーブの燃焼状態を監視するため、熱対流を可視化する全金属製の熱風車を製作した。浮力でステンレスシートが変形して多重振子が形成され、ストーブの上で動きが不規則に変化する、一種のインテリアオブジェ (おもちゃ) となった。回転エネルギーのロスを減らすためには、熱風車の剛性を高めるように、素材とデザインの見直しが必要である。

参考文献

- 1) 大隅和男、長谷川勝實 「絵とき 空調設備のやさしい知識」平成 7 年 5 月 15 日 第 1 版第 3 刷 オーム社 12 頁
- 2) 小西克享 埼玉工業大学機械工学学習支援セミナー 「慣性モーメント」4 頁
http://www.sit.ac.jp/user/konishi/JPN/L_Support/SupportPDF/Moment_of_inertia.pdf