

第 10 回発光熱の実験コンテスト

「蒸気のでチョコレートフォンデュ!」

東京電機大学 未来科学部 ロボット・メカトロニクス学科
岩瀬・畠山研究室 (A 班)

1 概要

本実験では、身近で購入可能な安価な製品を使用し、製作が容易なチョコレートファウンテンを製作することを目的とする。また、製作したチョコレートファウンテンを用いて熱力学の知識の理解を深めることも目的とする。

身近で安価に購入可能な三角フラスコ、洗浄瓶(首丈, ノズル), 食品包装用ラップフィルム, ビニールテープを使用し, チョコレートファウンテン機器を製作する。製作したチョコレートファウンテン機器とホットプレートを使用し, チョコレートフォンデュをする。

本実験の結果, チョコレートファウンテンを製作することが出来た。製作したチョコレートファウンテンは, 水 50ml, 空気 300ml, チョコレート 10g, 気体の温度 94 度での動作を確認した。

製作したチョコレートファウンテンがどの程度使用できるか, 考察した。また, チョコレートの量を増量させるための方法を挙げた。

本実験を通して, 身近で購入可能な安価な製品で, 家庭で再現可能なチョコレートファウンテンを製作することができた。また, 製作したチョコレートファウンテンを使うことで, 熱力学の知識の理解を深めることが出来ると考える。

2 実験場所・日時・気温

実験場所：東京電機大学 1 号館 6 階ルーフガーデン

実験日時：2016 年 12 月 3 日 (土) 14:00~17:00

3 目的

本実験の目的は, 身近にある安価な製品を用いて, 家庭でも再現可能なチョコレートファウンテン機器を製作することである。また, チョコレートファウンテンをするまでの過程を通し, 熱力学の熱膨張について理解を深めることも目的とする。

近年, 実験教室や実験キットでの理科実験を通して, 小・中学生の間で科学への興味関心が高まっている。科学への興味関心が高まり楽しく理科実験をすることで, 学習意欲が向上し小・中学生が科学知識の理解を深めることに繋がっている。そのため, 本実験では小・中学生の科学に対する学習意欲を向上させる手助けとして, チョコレートファウンテンを通して熱力学を学習できる実験キットを製作する。小・中学生が手軽に実験を出来るようにするため, 製作が容易で身近にある安価な製品を用いてチョコレートファウンテンを製作する。また, チョコレートファウンテンをすることで, 楽しく熱力学の熱膨張についての知識の理解を深める。

4 使用機器・システム構成

本実験で使用した機器を表1に示す。

メーカー	型番
株式会社八光電機	HHP3315

本実験で使用した試料を以下に示す。

- 三角フラスコ (300ml) 1個
- 洗浄瓶 (首丈, ノズル) 1個
- 食品包装用ラップフィルム 適量
- ビニールテープ 適量
- アルミホイル 適量
- チョコレート 適量
- 水 適量

上記の機器, 試料を用いて構築したシステムを図1に示す。



図 1: システム構成図

本実験では, ホットプレートの上にアルミホイルを敷き, その上に三角フラスコを置いている. チョコレートファウンテン機器の製作を容易にするため, 三角フラスコを用いる. ホットプレートに直接三角フラスコを置くと, ホットプレートを傷付ける恐れがある. そのため, アルミホイルを敷く. また, アルミホイルの受け皿を用意することで, 噴出したチョコレートがこぼれても良いようにする. アルミホイルで受け皿を製作することで, こぼれたチョコレートも溶けたままとなり, 食材を付けることが出来るようにする.

5 実験

5.1 実験内容

本実験では、三角フラスコと洗浄瓶のキャップとノズルを用いてチョコレートファウンテン機器を製作する。チョコレートと水をセットし、ホットプレートで加熱することでチョコレートフォンデュをする。

5.2 実験手順

チョコレートファウンテン機器を製作するための手順を以下に示す。

(1) 洗浄瓶の首丈(図 2)をカッター等で切断し、三角フラスコにビニールテープで固定する(図 3)。



図 2: 洗浄瓶の首丈

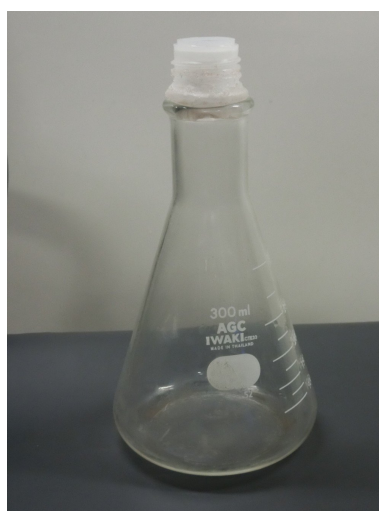


図 3: 三角フラスコと洗浄瓶の首丈

(2) 三角フラスコに水 50ml を入れる。

(3) 食品包装用ラップフィルムで包んだ10gのチョコレートを三角フラスコに入れ、ビニールテープで固定する(図4)。



図4: チョコレートを入れた実験装置

(4) 三角フラスコに洗浄瓶のノズルを取付けビニールテープで固定する(図5)。



図5: 構築した実験装置

(5) 実験装置を200度のホットプレートで加熱する。

(6) チョコレートファウンテン機器から、溶けたチョコレートが噴出するか確認する。

5.3 実験結果

本実験で製作したチョコレートファウンテン機器を図6に示す。

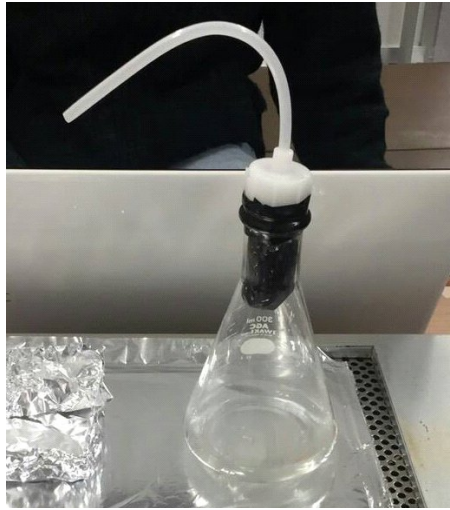


図 6: 製作したチョコレートファウンテン機器

製作したチョコレートファウンテン機器を使用して、水 50ml, チョコレート 10g, ホットプレートの温度 200 度で実験をした結果を図 7 に示す。



図 7: チョコレートフォンデュの様子

図 7 より, チョコレートファウンテン機器を製作することが出来た。

6 考察

本実験をした結果, 水 50ml, チョコレート 10g, ホットプレートの温度 200 度でチョコレートフォンデュが出来ることがわかった。そこで, なぜこの条件でチョコレートフォンデュが出

来たのか、本実験で製作したチョコレートフォンデュはチョコレート何gまで出来るのかを考える、またより多くのチョコレートで噴出させる方法を考える。

6.1 チョコレートフォンデュが出来た理由

チョコレートフォンデュが出来た理由は、ホットプレートにより三角フラスコ内の気体が暖められチョコレートにかかる圧力が増加したためである。これにより、チョコレートを持ち上げる力が重力を上回りチョコレートが噴出した。

本実験で製作したチョコレートファウンテン機器は、三角フラスコの口の部分をチョコレートで塞いだ機構となっている。そのため、三角フラスコ内は密閉された状態となっている。三角フラスコ内の気体は空気であるため理想気体とみなすことが出来る。よって、三角フラスコ内の気体に対し熱力学の理想気体の状態式を用いることが出来る。理想気体の状態式は、圧力 P [Pa]、容器の体積 V [m³]、気体の質量 G [kg]、ガス定数 R [J/(kg · K)]、気体の絶対温度 T [K] とすると、

$$PV = GRT \quad (1)$$

である [1]。従って、チョコレートにかかる圧力は、理想気体の状態式 (1) を変形して、以下の式で表すことが出来る。

$$P = \frac{GRT}{V} \quad (2)$$

圧力は単位面積当たりの力であるため、チョコレートの表面積をかけることで、チョコレートを押上げる力に変換することが出来る。よって、チョコレートの表面積を S [m²] とすると、チョコレートを押上げる力 F [N] の式は以下となる。

$$F = PS \quad (3)$$

従って、チョコレートを押上げる力である式 (4) がチョコレートにかかる重力より大きくなることで、チョコレートが持ち上がりチョコレートフォンデュが出来る。

チョコレートにかかる重力 F_G [N] は、チョコレートの質量 $M = 0.01$ kg、重力加速度 $g = 9.81$ m/s² とすると、

$$\begin{aligned} F_G &= Mg \\ &= 0.01 \times 9.81 \\ &= 0.0981 \end{aligned} \quad (4)$$

となり、チョコレートを押上げる力が $F \geq 0.0981$ N となればよい。実験をしたときの各パラメータの値を表2に示す。

表 2: パラメータ

変数	値
V [m ³]	0.0003
G [kg]	0.000323
R [J/kg · K]	287
T [K]	367
S [m ²]	$0.015^2\pi$

表 2 の値を基に, チョコレートを持ち上げる力 F [N] を求める. 式 (2) より, チョコレートにかかる圧力 P [Pa] は,

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{GRT}{V} \\
 &= \frac{0.000323 \times 287 \times 367}{0.0003} \\
 &= 113404
 \end{aligned} \tag{5}$$

となる. 大気圧を考慮して, チョコレートを持ち上げる力 F [N] を計算すると, 式 (4) より,

$$\begin{aligned}
 F &= PS \\
 &= (113404 - 101325) \times 0.015^2\pi \\
 &= 8.54
 \end{aligned} \tag{6}$$

となる. チョコレートを持ち上げる力が $F = 8.54 > F_G = 0.0981\text{N}$ となり, チョコレートにかかる重力より大きくなっているため, チョコレートフォンデュが出来たことがわかる.

6.2 チョコレート何 g まで使用できるのか

本実験の条件でのチョコレートを持ち上げる力は $F = 8.54\text{[N]}$ である. 従って, 重力加速度を $g = 9.81\text{m/s}^2$ とすると理論上 871g のチョコレートを持ち上げることが可能である. しかし, 容器の体積には限りがある, チョコレートを多くすると容器の体積が減ってしまう.

気体の体積が減った場合を考える. 理想気体の状態式である式 (1) について考える. 気体の温度を一定とすると式 (1) の右辺は一定とみなせる.

$$PV = \text{const} \tag{7}$$

そのため, 式 (7) は図 8 に示す関係が成り立つ.

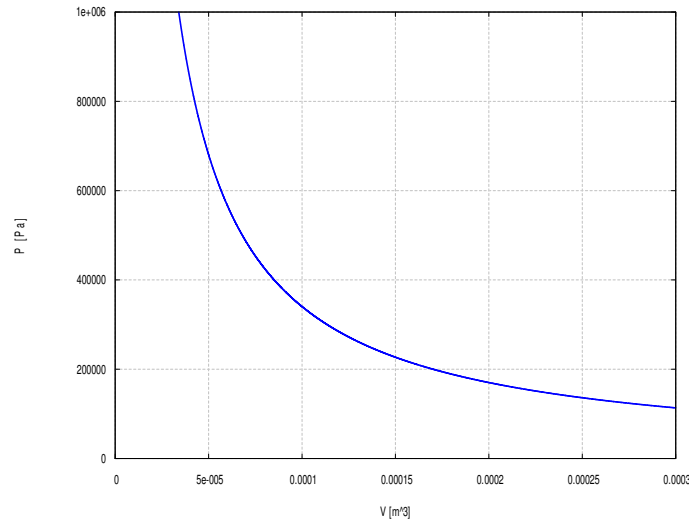


図 8: P-V グラフ

図 8 より，容器の体積が小さくなるほど圧力が上がることがわかる．そのため，チョコレートを入れ容器の体積が小さくなるほど，871g 以上のチョコレートを持ち上げる力が発生する．本実験で行ったチョコレートの量が最小であり，容器の体積が最大の状態である．容器の体積が最大の状態でのチョコレートを持ち上げる力は，容器に入るチョコレートの質量にかかる重力より大きい．そのため，本チョコレートファウンテン機器で使用できるチョコレートの量は三角フラスコの容量に依存する．三角フラスコの体積は $0.0003m^3$ 程度であるため，チョコレートは 400g 程度までしか入らない．従って，本チョコレートファウンテン機器で使用できるチョコレートの量は 400g 程度である．一口サイズの食材に付けるチョコレートの量は約 3g であり，チョコレートフォンデュ食分のチョコレートの量は約 30g である [2]．そのため，本チョコレートファウンテン機器は十分な量のチョコレートフォンデュが可能であると考えられる．

6.3 より多くのチョコレートを噴出させる方法

本チョコレートファウンテン機器では，チョコレートを 400g 程度までしか噴出させることが出来ない．レンタル用の M サイズチョコレートファウンテンは，4kg 程度のチョコレートを使用する [2]．そのため，本チョコレートファウンテン機器でも，4kg 程度のチョコレートを噴出させるためには，容器をチョコレートが入る大きさにする必要がある．製作した機器の容量を単純に大きくしただけでは，4kg のチョコレートを持ち上げるために 156838Pa 必要となる．空気の体積を $0.0002m^3$ にすれば，チョコレートを持ち上げることは可能であるが，チョコレートファウンテン機器自体が大きくなり，空気の体積を $0.0002m^3$ にするといった細かな調整をすることが難しくなる．そのため，空気の体積を小さくする方法以外で，4kg のチョコレートを持ち上げるための力を得る方法を考える．

チョコレートに加わる力の面積を大きくする方法と気体の温度を上げる方法の 2 つを組み合わせることで，4kg のチョコレートを持ち上げる．チョコレートに加わる力の面積を大きくすることで，同じ圧力でも加わる力を大きくする．式 (4) より，面積が大きくなれば力も大きくなることは，明らかである．そのため，チョコレートに加わる力の面積を $0.025^2\pi m^2$ と大きくする．このとき，チョコレートを持ち上げるために必要な圧力は 121310Pa である．また，理想気体の状態式である式 (1) は，

$$\frac{V}{T} = \frac{GR}{P} \quad (8)$$

と変形できる。圧力を 121310[Pa] と一定にすると、式 (9) の右辺は一定となる。

$$\frac{V}{T} = const \quad (9)$$

そのため、式 (7) は図 9 に示す関係が成り立つ。

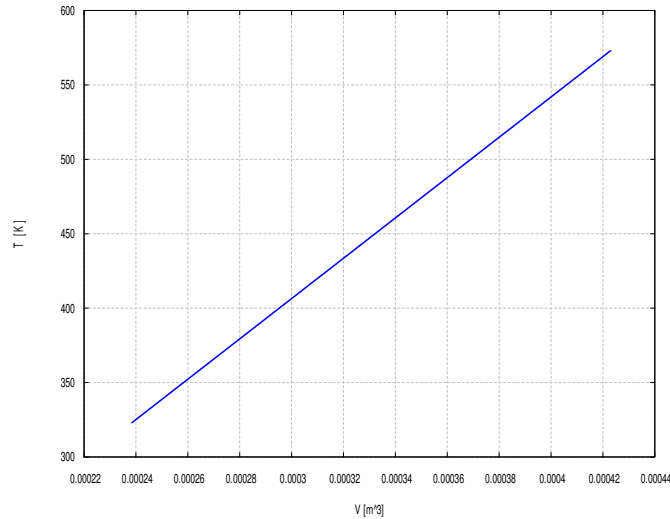


図 9: V-T グラフ

図 9 より、気体の温度を 150 度程度にすれば気体の体積は $0.0003m^3$ でよい。

従って、4kg のチョコレートでチョコレートフォンデュをする場合、チョコレートに加える力の面積が $0.025^2\pi m^2$ であり、気体の体積が $0.0003m^3$ となる容器を用意し、気体を 150 程度に暖めればよい。これにより、レンタル用の M サイズのチョコレートファウンテンと同等のチョコレートフォンデュが可能となる。

7 結論

本実験を通し、身近で安価な製品を用いて、製作が容易なチョコレートファウンテン機器を製作することができた。本実験で製作したチョコレートファウンテン機器は、熱力学の熱膨張を利用しているため、熱力学を理解する手助けになると考えられる。

8 謝辞

本実験を行うにあたり、株式会社八光電機様から助成を賜りました。このような貴重な機会を与えていただき、株式会社八光電機様に心から御礼申し上げます。さらに、実験に携わったすべての人々に深く感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 竹生修己：”熱と流体の流れの基礎”，オーム社，2011.
- [2] 株式会社バスコフーズ：”CHOCOLATE FOUNTAIN”，<http://www.busco.co.jp/chocolatefountain/index.html>.