

# 気体の圧力と温度の関係

気体はランダムに運動している分子から構成され、その分子が容器の壁に衝突したときに圧力を及ぼす。これらの分子の速度と衝突の回数は、気体の温度が上昇・下降するときに影響を受ける。この実験では、気体の温度と気体が及ぼす圧力の関係を調べる。

実験装置は図1に示したように、試料気体（空気）を封入した三角フラスコ（管瓶）をウォーターバスに浸け、温度を変化させる。圧力は圧力センサー、温度は温度センサーで監視する。試料気体の体積と分子数は実験を通して一定に保たれる。実験では、気体の温度と圧力を同時に測定し、記録して分析する。データとグラフから、封入された気体の絶対温度と圧力の間の数学的関係を決定する。あなたはまた、発展演習として、実験結果を用いて絶対零度に対する摂氏目盛りの値を決定する。

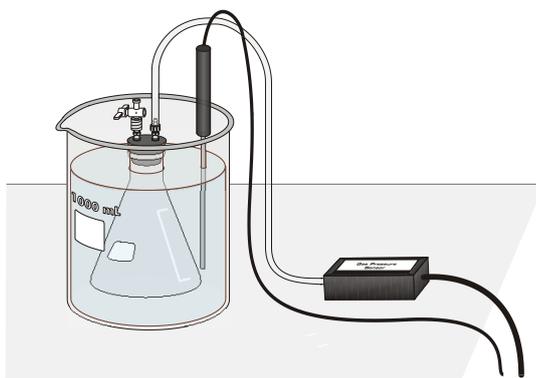


図1

## 準備

グラフ電卓 (TI-84 Plus)  
EasyDataソフトウェア  
バーニアLabPro  
温度センサー  
バーニア気体圧力センサー  
氷  
ホットプレート

コネクター付きプラスチック管  
三角フラスコ (125 mL)  
ゴム栓  
リングスタンドと万能クランプ  
ビーカー (1 L) ×4個  
軍手あるいは雑巾

## 手順

1. ゴーグルを着用する。
2. 沸騰しているウォーターバスの準備する。1Lのビーカーに温水を800mL注ぎ、ホットプレートの上に置く。そして、ホットプレートの温度設定を「高」にして電源を入れる。
3. 水・氷ウォーターバスを準備する。もう一つの1Lのビーカーに700mLの冷水を注ぎ、氷を加える。
4. 3つの目の1Lビーカーに室温の水道水を800mL注ぐ。

## Experiment 7

- 4つの1Lビーカーに800mLの温水を注ぐ。
- データを記録するために、温度センサーと気体圧力センサーを準備する。
  - バーニアLabPro に接続したグラフ電卓の電源を入れる。
  - LabProのチャンネル1に温度センサーを接続する。
  - LabProのチャンネル2に圧力センサーを接続する。
  - バルブ付きの硬質プラスチック管が2本取り付けられたゴム栓を受け取る。一方の硬質プラスチック管には二方向バルブが取り付けられている。気体圧力センサーの開いた接続枝部分にプラスチックチューブの自由端を時計回しにねじ込んで接続する。手順6の作業fまで、ゴム栓の上に付いた二方向バルブを開いた状態に保つ。バルブが開いた状態では、図2に示したように2方向バルブのハンドルが、プラスチックチューブの方向になる。
  - プラスチックチューブなどを取り付けられたゴム栓を125mLの三角フラスコに取り付ける。重要：フラスコの口部にゴム栓をしっかりとねじ込み、空気が漏れないようにする。

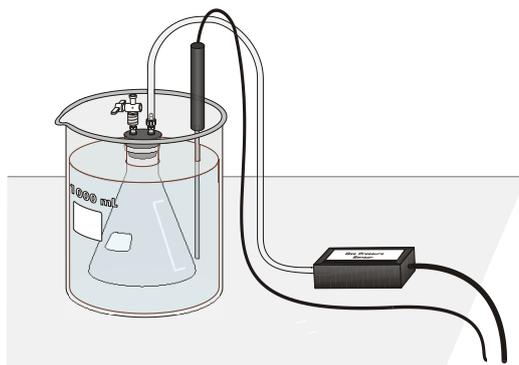
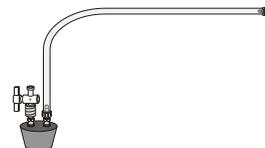


図 3

- ゴム栓の上に取り付けられた二方向バルブのハンドルを回してバルブを閉める。バルブが閉まっている状態では、図3に示したようにバルブのハンドルがプラスチックチューブに対して直角になっている。こうすることによって、試験気体をフラスコ内に閉じ込めたことになる。
- 実験データを記録するために、次の作業を行ってソフトウェア「EasyData」を準備する。
    - ソフトウェア「EasyData」を起動する。
    - EasyDataのメインメニューの **[File]** に対応したキーを押し、 $\Delta$ / $\nabla$ キーで **New** を選択し、**[ENTER]**キーを押して記録データをリセットする。
    - EasyDataのメインメニューから **[Setup]** に対応したキーを押し、 $\Delta$ / $\nabla$ キーで **Selected Events** を選択し、**[ENTER]**キーを押す。
  - データの記録が開始するために、EasyDataのメインメニューから **[Start]** に対応したキーを押し。気体の温度 ( $^{\circ}\text{C}$ ) と気圧 (kPa) がグラフ電卓のに表示される。
  - あなたの試験気体に対する圧力に対する温度データを次の作業で記録する。
    - 氷水のウォーターバスにフラスコを浸す。図3に示すようにフラスコ全体が氷水に浸っていることを確認する。そして、ウォーターバスの水をよく攪拌する。
    - 温度センサーを氷水ウォーターバスに入れる。
    - グラフ電卓に表示される温度と圧力の両方の値が安定したら、EasyDataのメニューから、**[Keep]** に対応したキーを押し、温度と圧力を同時に保存する。
  - 室温のウォーターバスを用いて、手順9の作業を繰り返す。

11. 温水のウォーターバスを用いて、手順9の作業を繰り返す。
12. リングスタンドと万能クランプを用いて、温度センサーを沸騰するウォーターバスの中に浸す。注意：ホットプレートで火傷をしたり、ケーブルを焦がさないようにする。火傷からあなたの手を守るために軍手をするか、雑巾を用いてフラスコのチューブを支える。温度センサーを数秒熱湯に浸してから、フラスコを熱湯に浸して、手順11の作業を繰り返す。EasyDataのメニューから、**[Stop]** タブを選択し、データーの記録を止める。フラスコと温度センサーを熱湯から取り出す。
13. EasyDataのメニューから、**[Adv]** に対応したキーを押し、 $\Delta$  $\nabla$ キーで **L3 vs. L2** を選択し、**[ENTER]**を押し。表示される圧力に対する温度 (°C) のグラフに沿って、データを調べる。カーソルを右から左に動かすと、同時に観測した気体の温度 (x) と圧力 (y) の値がグラフ上に表示される。データは四捨五入して、気圧は0.1 kPa単位、温度は0.1°Cでデータ表に記入する。
14. 気体の圧力と温度 (°C) のグラフを調べる。気体の圧力と温度の関係が正比例か反比例かを決定するために、あなたは絶対温度目盛りを使わなければならない。絶対温度目盛りでは、0Kは絶対零度と呼ばれる。私たちは絶対温度目盛りとしてケルビン (K) を用いる。摂氏目盛りの温度の個々の値に273°を加えて絶対温度を求めるのではなく、私たちは絶対温度として新しいデータをグラフ電卓でケルビン温度、L1を作成する：
  - a. EasyDataのメニューから、**[Main]** に対応したキーを押し、メインスクリーンに戻る。
  - b. EasyMateのメニューから、**[Quit]** に対応したキーを押し、次に **[OK]** に対応したキーを押し、ソフトウェア「EasyData」を終了する。
  - c. ケルビン温度のデータを L1 として作成する。注：温度 (°C) は現在、L2のデータとして保存されている。
  - d. データリストを見るために、グラフ電卓の **[STAT]** を押して、編集 (EDIT) メニューを表示して、グラフ電卓の **[ENTER]** を押して「Edit」を編集する。
  - e. カーソルを動かして、項目名「L1」がハイライト (強調) されている状態 (黒地に白字) にする。
  - f. ケルビン温度のデータを作成するために、「L1」がハイライトの状態ではグラフ電卓の **[2nd]** を押して、**[L2]** キー (**[2]**)、**[+]**、**[273]** と入力し、最後にグラフ電卓の **[ENTER]** を押す。
  - g. データ「L1」は絶対温度目盛りの温度となり、データ「L2」は摂氏目盛りの温度、データ「L3」はkPa単位の気圧である。ケルビン温度をデータ表に記入する。
15. 次の作業で回帰統計量を計算し、圧力に対する温度 (K) に対するグラフの最良のあてはまり直線を作図する：
  - a. ソフトウェア「EasyData」を起動する。
  - b. EasyDataのメインメニューから、**[Graph]** に対応するキーを押し、グラフスクリーンを表示する。
  - c. メニューから、**[Adv]** に対応するキーを押し、 $\Delta$  $\nabla$ キーで **L3 vs L1** を選択し、**[ENTER]**を押し、圧力と温度 (K) のグラフを表示させる。
  - d. メニューから、**[Anlyz]** に対応するキーを押し、 $\Delta$  $\nabla$ キーで **Linear Fit** を選択し、**[ENTER]**を押し、これら二変数に関する線形回帰統計が、次の形式で表示される：
 
$$y = ax + b$$
 ここで、x は温度 (K) , y は圧力, a は比例定数, b は y 切片である。
  - e. 圧力に対する温度 (K) のグラフに回帰直線を表示するために **[OK]** を選択する。
16. (オプション) 圧力に対する絶対温度のグラフを回帰直線と共に印刷せよ。

## データ処理

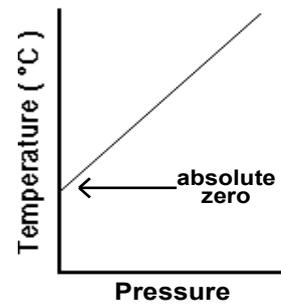
1. この実験を行うために、一定に保たれた二つの実験要因は何と何か？
2. この実験によって得られたグラフとデータに基づいて、気体の圧力と温度の間の関係を言葉で表現しなさい。
3. この関係を分子の速度と衝突という概念を用いて説明せよ。
4. 気体の圧力と温度 (K) の関係を表す方程式を書け。ただし、文字変数として P (圧力), T (温度), k (定数) を用いなさい。
5. 二変数の関係が「比例」あるいは「反比例」を判断する方法の一つは、データから定数を決定することである。もしも関係が正比例の場合、定数は  $k = P / V$  である。もしも関係が反比例の場合は、定数は  $k = P \cdot V$  である。データ処理4の結果を基にして、これらの公式のどちらかを用いて4組のデータに対する定数を計算して (PとTの積あるいは商), 結果をデータ表の定数 (k) の欄に記入せよ。測定された温度 (°C)を絶対温度目盛り (K) に変換し、記録用紙に記入せよ。あなたの結果は、どの程度一定であったか？
6. この実験結果に基づいて、もしも気体の温度が絶対温度で2倍になると、気体の圧力には何が起こるか？温度に対する圧力のあなたのグラフから、温度  $-73^{\circ}\text{C}$  (200 K) と  $127^{\circ}\text{C}$  (400 K) における圧力を読み取ることでこの仮説を検証せよ。これらの二つの圧力の比較した結果はどうであったか？

## データ表

圧力 (kPa)	温度 (°C)	温度 (K)	定数, k (P / T or P·T)

## 発展

あなたの実験で得たデータは、摂氏温度目盛りにおける絶対零度の値の決定に利用できる。私たちが既に行ったように、圧力に対するケルビン温度でグラフを描くのではなく、ここではx軸に圧力、y軸に摂氏温度目盛りを使う。絶対零度とは気体の圧力が理論的にゼロとなる温度なので、回帰直線（温度-圧力曲線を外挿）のy切片が、絶対零度に対する摂氏温度目盛りの値である。この実験であなたが記録したデータを用いて、絶対零度を決定する。



- EasyDataの **Main** に対応するキーを押して、メインスクリーンに戻る。次に、 **Quit** を選択し、 **OK** を選択して、EasyDataを終了する。
- 摂氏目盛りの温度 (°C) を縦軸、圧力 (kPa) を横軸にしてグラフを描くために、 **2nd** をして、 **[STAT PLOT]** を選択する。
- 「1:Plot1」を選択して、設定するために、 **ENTER** を押す。そして、矢印キーでカーソルを作図の各項目に移動させ、次のように設定 (Plot1 settings) する。 **Plot1 = On**, **Type =** , **Xlist = L3** ( **2nd**, **[3]** ), **Ylist = L2** ( **2nd**, **[2]** ), そして、 **Mark =** とする。
- 温度 (°C) に対する圧力のグラフを描くために、 **ZOOM** を押し、 **ZoomStat** を選択する。
- グラフ電卓の **STAT** キーを押し、次に **[D]** キーを用いて、 **CALC** メニューから、 **LinReg(ax + b)** を選択する。
- 二つの変数のデータリストを確認するために、グラフ電卓で **2nd**, **[L3]**, **[j]**, **2nd**, **[L2]**, **[2]**, **ENTER** の順に操作する。統計量が次の方程式の形式で表示される：

$$y = ax + b$$

ここで、  $x$  は圧力、  $y$  は温度 (°C)、  $a$  は比例定数、  $b$  は  $y$  切片である。  
注：  $y$  切片の値の単位は摂氏温度目盛り (°C) である。

- 圧力に対する温度のグラフの最良の回帰直線を表示させるために、最初にグラフ電卓の **Y=**、次に **CLEAR** を押し、 **Y1** の方程式を消去する。そして、 **VAR** を押し、 **Statistics** を選択し、 **[D]** **[D]** キーにより「EQ menu」を表示させて、「RegEQ」を選択し、回帰直線の方程式を「Y1」の方程式に複写する。
- グラフ電卓の **WINDOW** キーを押して、圧力軸の目盛りを編集し、x軸の最小値 (**Xmin**) は 0、最大値 (**Xmax**) は 150、X軸のスケール (**Xscl**) は 50 とする。温度軸の目盛りを編集し、y軸の最小値 (**Ymin**) は -300、最大値 (**Ymax**) は 100、Y軸のスケール (**Yscl**) は 100 とする。「-300」の値を入力する時、負のサインにはグラフ電卓の **(-)** キーを使い、 **-** キーは使わない。
- 圧力に対する摂氏温度のグラフと最良の回帰直線を見るためにグラフ電卓の **GRAPH** キーを押す。
- 回帰直線を内挿するために、グラフ電卓の **TRACE** キーを押し、次に **[▲]** を一度押す。回帰直線上にカーソルが表示され、グラフの下にX座標とY座標が、**[ ]** 内に表示される。グラフ電卓の **[◀]** を利用してカーソルを動かし、圧力 (X座標) が 0 kPa に等しくなる点まで移動する。この圧力に対する温度の値 (°C) (Y座標) が、絶対零度に等しい値である。
- (オプション) 温度に対する圧力のグラフを回帰直線と外挿した温度の値と共に印刷する。

## 出典

Dan D. Holmquist, Jack Randall and Donald L. Volz, " Chemistry with Vernier",  
MEASUREMENT.ANALYZE.LEARN™., 2009.

評価版のダウンロード先 : [http://www.vernier.com/files/sample\\_labs/CWV-07-COMP-pressure\\_temperature.pdf](http://www.vernier.com/files/sample_labs/CWV-07-COMP-pressure_temperature.pdf)

## 注意

この資料には次の事項が含まれていない :

- 安全に関する情報
- 指導者のための基本情報
- 学習指導要領（教育カリキュラム）との関係に関する情報
- 実験を成功させるための留意点