

ボイルの法則：気体の圧力と体積の関係

この実験の目的は、気体の圧力と体積の関係を決定することである。この実験では、図1に示したように気体圧力センサー（Gas Pressure Sensor）に接続された注射器の中に閉じ込められた空気を実験気体として使用する。ピストンを動かすことによって注射器内の体積を変化させた時、閉じ込められた気体によって及ぼされる圧力に変化が生じる。この圧力変化は、圧力センサーに接続されたグラフ電卓に表示される。この実験では、温度が実験中は一定であったと仮定する。また、圧力と体積を同時に測定し、結果を分析する。測定結果から描いたグラフから、閉じ込められた気体の体積と圧力の間どのような数学的関係が成り立つかを決定することができる。歴史的には、この関係は1662年にロバート・ボイル(Robert Boyle)によって初めて確立され、それ以後、ボイルの法則として知られている。

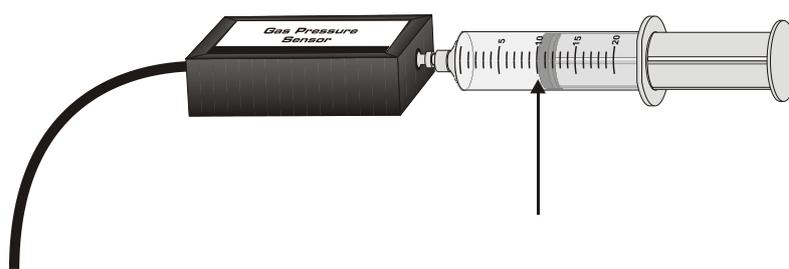


図1. 装置の概観（気体の体積10mL）

準備

グラフ電卓 (TI-84 Plus)
ソフトウェア (EasyData)
バーニア社製LabPro

バーニア社製気体圧力センサー
注射器 (20 mL)

手順

1. 実験を開始するために圧力センサーと実験気体（空気）を用意する。
 - a. グラフ電卓の電源を入れ、LabProと接続する。
 - b. 気体圧力センサーをLabProのCH1（チャンネル）に接続する。
 - c. 気体圧力センサーから外した注射器（20-mL）のピストンを動かして、黒いリングの先端を10.0mLの目盛りに合わせる（図1の↑の位置）。
 - d. 気体圧力センサーのバルブに、図1に示したように注射器をゆるく半分ほど時計回りにねじ込んで接続する。
2. グラフ電卓の[APPS]を押し、アプリケーション・メニューを起動する。そして、△（上）と▽（下）の矢印キーを操作してカーソルを移動させ、EasyDataの位置で[ENTER]キーを押して、アプリケーションを起動する。
 - a. EasyDataの[File]に対応したキーを押し、△▽キーで **New** を選択して[ENTER]キーを押し、アプリケーションをリセットする。
 - b. EasyDataの[Setup]に対応したキーを押し、△▽キーで **Events with Entry** を選択して[ENTER]キーを押す。

Experiment 6

3. 気体の圧力と体積の測定のための準備完了である。この実験では、一人が空気の入った注射器を制御して、もう一人がグラフ電卓の表示を読むことが望ましい。
 - a. EasyDataの **[Start]** に対応したキーを押し、実験を開始する。
 - b. 注射器のピストンを動かして、図2に示したように黒いリングの先端を正確に5.0mLに合わせる。グラフ電卓に表示される気体圧力センサーの値が安定するまで、ピストンをこの位置でしっかりと押さえている。
 - c. 気体圧力センサーの値が安定したら、グラフ電卓に表示される圧力を記録する。EasyDataの **[Keep]** に対応したキーを押し、体積として5を入力し、**[OK]** に対応したキーを押し、圧力と体積の値を対として記録する。

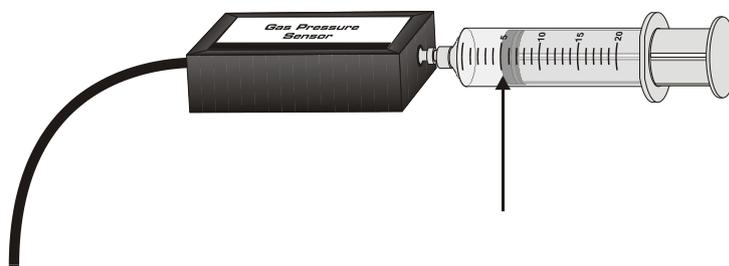


図2. 気体の体積5mL

- d. 気体の体積変化に対する圧力変化を調べるために、ピストンを7.5mLの位置に動かす。圧力センサーの読みが安定したら、**[Keep]** に対応したキーを押し、体積として7.5を入力し、データを記録するために **[OK]** に対応したキーを押す。
 - e. 同様の作業を繰り返し行い、体積を7.5, 10.0, 12.5, 15.0, 17.5, 20.0mLと変化させる。
 - f. 全ての体積における測定が完了したら、EasyDataの **[Stop]** に対応したキーを押し、データの記録を終了する。
4. グラフ電卓に表示されるグラフから、体積と圧力の関係を考察する。グラフ上のカーソルを \leftarrow キーで左右に移動すると、それぞれのデータの体積 (x) と圧力 (y) の値がグラフの上に表示される。圧力 (0.1 kPa単位まで四捨五入) と体積をデータ表に記録する。
5. 圧力と体積のグラフを基礎として、これら二つの変数の間の数学的関係 (比例あるいは反比例) の種類を決定せよ。あなたの結論が正しいかを次の手順で確認できる：
 - a. EasyDataの **[Anlyz]** に対応したキーを押し、次に Δ ∇ キーで **Power Fit** を選択して**[ENTER]**を押す。これら二変数に対する線形近似の結果は、次の関係式で示される。

Curve Fit Coefficients

$$y = ax^b$$

$$a=947.5045$$

$$b=-.9970695$$

ここで x は体積、 y は圧力、 a は比例定数、 b はこの方程式における x (体積) の指数である。注：圧力と体積の関係は、指数 b の値と符号から決定できる。

- b. 圧力と体積のグラフ上に近似曲線を表示するために、EasyDataの **[OK]** タブを選択する。近似曲線は観測結果に非常によく一致するはずである。つまり、近似曲線が観測値あるいはその近傍を通る。EasyDataを終了するには、**[Main]**、**[Quit]**、**[OK]**に対応するキーを順に押す。

6. (オプション) 表示された圧力と体積の関係と近似曲線 (線形近似) を示すグラフを印刷する.
7. (オプション) 指導者の指示にされた場合, データ処理に続く発展に取り組む.

データ表

Volume (mL)	Pressure (kPa)	Constant, k (P/V or P·V)
5.0		
7.5		
10.0		
12.5		
15.0		
17.5		
20.0		

データ処理

1. 体積が5.0mLから, 二倍の10.0mLになったとき, 実験結果は圧力の値にどのような変化を示したか? 具体的な値を用いて答えよ.
2. 体積が20.0mLから, 二分の一の10.0mLになったとき, 実験結果から圧力の値はどのような変化を示したか? 具体的な値を用いて答えよ.
3. 体積が5.0mLから, 三倍の15.0mLになったとき, 実験結果は圧力の値にどのような変化を示したか? 具体的な値を用いて答えよ.
4. データ処理1~3の答えと圧力に対する体積のグラフから, 閉じこめられた気体の体積と圧力の間の関係が, 比例か反比例かを考えよ. また, 何故そう結論したかを説明せよ.
5. 注射器の体積を40.0mLに増加したとき, 圧力の値がどうなるかを実験結果に基づいて予想せよ. また, 予想値の求め方 (過程) を示しなさい.
6. 注射器の体積を2.5mLに減少したとき, 圧力の値がどうなるかを実験結果に基づいて予想せよ.
7. この実験では, どのような実験要素 (因子) が一定だと仮定されたか?
8. 二変数の関係が「比例」あるいは「反比例」を判断する一つの方法は, 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, これらの公式を用いて7組のデータに対する定数を計算して, 結果をデータ表の定数 (k) の欄に記入せよ.
9. データ処理8で算出した定数kの値のバラツキはどうであったか? 実験でよいデータが得られていれば, 定数kの値のバラツキは小さく, 相対的に一定な値を示すはずである. もし, バラツキが大きい場合はその理由を考察せよ.
10. 圧力 (P) と体積 (V) と定数 (k) を用いて, ボイルの法則 (Boyle's Law) の関係式を導きなさい. また, ボイルの法則を文章によって正確に記述しなさい.

発展

- 圧力と体積の反比例の関係を確認するために、圧力と体積の逆数（1/体積あるいは体積⁻¹）の関係を示すグラフを作成する。グラフ電卓では、この作業を次の手順で行う：
 - 必要なら、**Main**、**Quit**、**OK**に対応するキーを順に押して、EasyDataを終了する。
 - あなたの実験結果の体積のデータから、体積の逆数を新しいデータとして作成する。
 - データリストを見るために、**STAT**（緑ボタンの2つ隣り）を押して編集メニューを表示させ、次に**ENTER**を押して、Edit（編集）を選択する。
 - データテーブルの中のカーソルを上（△）、そして右（▷）へ移動して、項目名「L3」がハイライト（強調）されている状態（黒地に白字）にする。
 - グラフ電卓をキーを操作して、体積の逆数の値をリストとして作成する：**2nd**、**[L1]**（**I**ボタン）、**X⁻¹**、**ENTER**の順に押す。
- 次の手順に従って、回帰統計量を計算すると共に、圧力と体積の逆数の関係を示すグラフに、最良のあてはまりを示す回帰曲線を描く：
 - ソフトウェア「EasyData」を再起動する。
 - EasyDataの**Graph**に対応したキーを押し、グラフスクリーンを表示する。
 - EasyDataの**Adv**に対応したキーを押し、次に△▽キーで**L3 vs L2**を選択する。ここで、**L2**は圧力、**L3**は体積の逆数（1/体積）である。
 - EasyDataの**Anlyz**に対応したキーを押し、次に△▽キーで**Linear Fit**を選択する。これらのデータリストに対する線形近似の統計量は、次の方程式で表示される：

$$\text{Curve Fit Coefficients}$$

$$y = ax + b$$

$$a = 0.00102795$$

$$b = -0.0024213$$

$$R = .99992513$$
 ここで、 x は体積の逆数、 y は圧力、 a は比例定数、 b は y 切片である。
- （オプション）圧力と体積の逆数（1/体積）の関係のグラフ共に表示された線形近似曲線を印刷する。

出典

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

評価版のダウンロード先：http://www.vernier.com/files/sample_labs/CWV-06-COMP-boyles_law.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