

SETUP DRILL 17

熱力学 設定別ドリル

熱の設定を6つに分けた。

気体の問題は**必ず同じ3段**で解ける —— 状態方程式で温度を出す → ΔU を出す →

第一法則で残りを埋める。

変化の種類（定積・定圧・等温・断熱）で違うのは**どれが 0 になるか**だけ。そこを6回確かめる。

使い方

1周目 設定の見出しと公式を読んだから5問続けて解く。

2周目 式を書く前に「 Q 、 W 、 ΔU のどれが 0 か」を言ってから始める。

3周目 見出しを隠して、どの変化かを言い当ててから解く。

気体定数を R 、物質量を n とし、気体はすべて単原子分子理想気体とする。

1章

- ☐ 1周
- ☐ 2周
- ☐ 3周

2章

- ☐ 1周
- ☐ 2周
- ☐ 3周

3章

- ☐ 1周
- ☐ 2周
- ☐ 3周

4章

- ☐ 1周
- ☐ 2周
- ☐ 3周

5章

- ☐ 1周
- ☐ 2周
- ☐ 3周

6章

- ☐ 1周
- ☐ 2周
- ☐ 3周

問題編

解説は後半にまとめてある。先に見ないこと。

符号の約束を先に確認すること。

SETUP 01

熱量と温度変化

記号の約束

c 比熱 C 熱容量 m 質量 Q 熱量 ΔT 温度変化

この設定を見分ける手がかり

1. 問題文に「比熱」「熱容量」「混ぜて何度になるか」
2. $\rightarrow Q = mc\Delta T$ に入れる
3. $\rightarrow$ 混合なら失った熱＝得た熱

この設定で使う公式

- $Q = mc\Delta T = C\Delta T$ ($C = mc$)
- 熱平衡：(高温側が失う熱) = (低温側が得る熱)
- 状態変化（融解・蒸発）中は温度が変わらない

1-1 基本 ★

3周チェック ☐ ☐ ☐

質量 m 、比熱 c の物体の温度を ΔT だけ上げる。

1. 必要な熱量を求めよ。
2. この物体の熱容量を求めよ。
3. 質量を2倍にすると必要な熱量は何倍か。

1-2 混合 ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

温度 T_1 、質量 m_1 、比熱 c_1 の物体と、温度 T_2 ($< T_1$)、質量 m_2 、比熱 c_2 の物体を接触させ、熱平衡に達した。外部との熱のやりとりはないとする。

1. 熱平衡の式を書け。
2. 最終の温度を求めよ。

1-3 熱容量つき ★★★3周チェック ☐ ☐ ☐

熱容量 C の容器に、質量 m 、比熱 c 、温度 T_1 の水が入っており、全体が温度 T_1 で平衡していた。ここに温度 T_2 、熱容量 C' の金属を入れた。

1. 熱を得る側と失う側を答えよ ($T_2 > T_1$ とする)。
2. 最終の温度を求めよ。

1-4 状態変化 ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

氷を加熱していくときの温度変化について答えよ。

1. 融点に達したあと、しばらく温度はどうなるか。
2. そのとき与えた熱は何に使われるか。
3. 質量 m 、融解熱 L のとき必要な熱量を求めよ。

1-5 仕事から熱へ ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

質量 M の物体を高さ h から落として静止させた。発生した熱がすべて質量 m 、比熱 c の物体に与えられたとする。

1. 発生した熱量を求めよ。
2. 温度上昇を求めよ。

SETUP 02

気体の状態方程式

記号の約束

p 圧力 V 体積 T 絶対温度 n 物質質量 R 気体定数

この設定を見分ける手がかり

1. 問題文に「理想気体」「圧力・体積・温度」
2. $\rightarrow pV = nRT$ に入れる
3. $\rightarrow$ 変化の前後を比べるなら $\frac{pV}{T}$ が一定

この設定で使う公式

- $pV = nRT$ (T は絶対温度)
- 物質量がかわらないなら $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$
- 混合気体：分圧の和が全圧

2-1 基本 ★

3周チェック ☐ ☐ ☐

物質質量 n の理想気体が、圧力 p 、体積 V の状態にある。

1. 絶対温度を求めよ。
2. 体積を2倍にして温度を保つには圧力をいくらにすればよいか。

2-2 前後を比べる ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

密閉した容器の中の理想気体が、状態 (p_1, V_1, T_1) から (p_2, V_2, T_2) に変化した。

1. 成り立つ関係を書け。
2. 体積を一定にして温度を2倍にすると圧力は何倍か。
3. 圧力を一定にして温度を2倍にすると体積は何倍か。

2-3 ピストン ★★★3周チェック ☐ ☐ ☐

断面積 S のなめらかに動くピストン（質量 M ）で閉じた、鉛直に立てたシリンダーの中に気体が入っている。
大気圧を p_0 とする。

1. ピストンにはたらく力を挙げよ。
2. 気体の圧力を求めよ。
3. シリンダーを逆さまにすると圧力はどうなるか。

2-4 混合 ★★★3周チェック ☐ ☐ ☐

体積 V_1 、圧力 p_1 の気体が入った容器と、体積 V_2 、圧力 p_2 の同じ気体が入った容器を、コックでつないだ。温度は一定に保たれる。

1. それぞれの気体の物質量の比を書け。
2. つないだ後の圧力を求めよ。

2-5 密度 ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

モル質量 M の理想気体が、圧力 p 、絶対温度 T の状態にある。

1. 体積 V 中の質量を求めよ。
2. 密度を求めよ。
3. 温度を上げると密度はどうなるか。

SETUP 03

分子運動論と内部エネルギー

記号の約束

U 内部エネルギー $\overline{v^2}$ 分子の速さの2乗の平均 k ボルツマン定数

この設定を見分ける手がかり

1. 問題文に「分子の運動」「二乗平均速度」「内部エネルギー」
2. → 温度＝分子の運動エネルギーの平均と読み替える
3. → 単原子分子なら $U = \frac{3}{2}nRT$

この設定で使う公式

- 分子1個の平均運動エネルギー： $\frac{1}{2}m\overline{v^2} = \frac{3}{2}kT$
- 内部エネルギー（単原子）： $U = \frac{3}{2}nRT$
- U は温度だけで決まる（体積や圧力によらない）

3-1 温度の意味 ★★

3周チェック ☐ ☐ ☐

絶対温度 T の気体について答えよ。ボルツマン定数を k とする。

1. 分子1個の平均の運動エネルギーを求めよ。
2. 温度を2倍にすると何倍か。
3. 二乗平均速度は何倍か。

3-2 内部エネルギー ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

物質質量 n の単原子分子理想気体について答えよ。

1. 内部エネルギーを求めよ。
2. 温度を保ったまま体積を2倍にすると U はどうなるか。
3. その理由を述べよ。

3-3 ΔU ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

単原子分子理想気体 n mol の温度が T_1 から T_2 に変化した。

1. 内部エネルギーの変化を求めよ。
2. pV を使って表せ。

3-4 圧力の由来 ★★★3周チェック ☐ ☐ ☐

一辺 L の立方体の容器に、質量 m の分子が N 個入っている。

1. 1個の分子が壁に1回衝突して与える力積を求めよ (x 方向の速度成分を v_x とする)。
2. 圧力の式を書け。
3. そこから何が言えるか。

3-5 重い分子 ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

同じ温度の水素分子と酸素分子について答えよ (酸素は水素の16倍の質量とする)。

1. 平均の運動エネルギーはどちらが大きいかな。
2. 二乗平均速度はどちらが大きいかな。
3. 何倍かな。

SETUP 04

熱力学第一法則

記号の約束

Q 気体が吸収した熱 W 気体が外にした仕事 ΔU 内部エネルギーの変化

この設定を見分ける手がかり

1. 問題文に「熱を加えた」「気体が仕事をした」
2. $\rightarrow \Delta U = Q - W$ の3つのうち2つが分かれば3つ目が出る
3. $\rightarrow$ 符号の約束を先に確認する

この設定で使う公式

- $\Delta U = Q - W$ (Q : 吸収した熱、 W : 気体が外にした仕事)
- 定圧なら $W = p\Delta V$
- p - V グラフでは $W = \text{グラフの下}の面積$

4-1 符号 ★★

3周チェック ☐ ☐ ☐

熱力学第一法則 $\Delta U = Q - W$ について答えよ。

1. Q が正とはどういう状態か。
2. W が正とはどういう状態か。
3. 気体が圧縮されるとき W の符号は。

4-2 3つのうち2つ ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

ある気体に熱量 Q を与えたところ、気体は W の仕事を外にした。

1. 内部エネルギーの変化を求めよ。
2. $Q = W$ のとき温度はどうなるか。
3. $Q < W$ のときはどうか。

4-3 定圧の仕事 ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

断面積 S のピストンを、圧力 p を保ったまま距離 d だけ押し出した。

1. 気体がピストンを押す力を求めよ。
2. 気体がした仕事を求めよ。
3. 体積変化 ΔV を使って表せ。

4-4 p - V グラフ ★★★3周チェック ☐ ☐ ☐

p - V グラフ上で気体の状態が変化する。

1. 気体がした仕事はグラフ上の何にあたるか。
2. 右向き（体積が増える向き）に進むとき W の符号は。
3. 閉じた曲線を一周したときの W は何にあたるか。

4-5 状態量 ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

U 、 Q 、 W について答えよ。

1. 経路によらず状態だけで決まるのはどれか。
2. 経路によるのはどれか。
3. その違いの意味を述べよ。

SETUP 05

4つの変化（どれが 0 になるか）

記号の約束

C_V 定積モル比熱 C_p 定圧モル比熱

この設定を見分ける手がかり

1. 問題文に「体積を一定に」「圧力を一定に」「温度を一定に」「断熱」
2. → それぞれ $W = 0$ / ΔU が単純 / $\Delta U = 0$ / $Q = 0$
3. → 0 になるものを書いてから第一法則に入れる

この設定で使う公式

- 定積: $W = 0 \rightarrow Q = \Delta U = \frac{3}{2}nR\Delta T$
- 定圧: $W = p\Delta V \rightarrow Q = \frac{5}{2}nR\Delta T$
- 等温: $\Delta U = 0 \rightarrow Q = W$
- 断熱: $Q = 0 \rightarrow \Delta U = -W$

5-1 定積 ★★

3周チェック ☐ ☐ ☐

体積を一定に保ったまま、単原子分子理想気体 n mol に熱を加え、温度を ΔT 上げた。

1. 気体がした仕事はいくらか。
2. 内部エネルギーの変化を求めよ。
3. 加えた熱量を求めよ。

5-2 定圧 ★★★3周チェック ☐ ☐ ☐

圧力を一定に保ったまま、単原子分子理想気体 n mol の温度を ΔT 上げた。

1. 体積変化を ΔT で表せ。
2. 気体がした仕事を求めよ。
3. 加えた熱量を求めよ。
4. 定積の場合と比べよ。

5-3 等温 ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

温度を一定に保ったまま、理想気体をゆっくり膨張させた。

1. 内部エネルギーの変化はいくらか。
2. 加えた熱と気体がした仕事の関係を述べよ。
3. p と V の関係を書け。

5-4 断熱 ★★★3周チェック ☐ ☐ ☐

熱の出入りを断って、理想気体を急に膨張させた。

1. 加えた熱量はいくらか。
2. 内部エネルギーの変化と仕事の関係を書け。
3. 温度は上がるか下がるか。
4. その理由を述べよ。

5-5 見分け ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

次の変化で 0 になる量を答えよ。

1. 定積変化。
2. 等温変化。
3. 断熱変化。

SETUP 06

熱機関と効率

記号の約束

e 熱効率 Q_{in} 高温側から受け取る熱 Q_{out} 低温側へ捨てる熱

この設定を見分ける手がかり

1. 問題文に「サイクル」「熱効率」「1周して元に戻る」
2. $\rightarrow$ 1周すると $\Delta U = 0$
3. $\rightarrow W = Q_{in} - Q_{out}$ 、効率は $\frac{W}{Q_{in}}$

この設定で使う公式

- 1サイクルで $\Delta U = 0$
- $e = \frac{W}{Q_{in}} = 1 - \frac{Q_{out}}{Q_{in}}$
- $W = p-V$ グラフで囲まれた面積

6-1 効率 ★★

3周チェック ☐ ☐ ☐

熱機関が1サイクルで高温側から Q_{in} の熱を受け取り、低温側へ Q_{out} を捨てた。

1. 1サイクルで外にした仕事を求めよ。
2. 熱効率を求めよ。
3. 効率が 1 になることはあるか。

6-2 面積 ★★

3周チェック ☐ ☐ ☐

p - V グラフ上で、圧力 p_1 と p_2 ($p_1 > p_2$)、体積 V_1 と V_2 ($V_2 > V_1$) で囲まれた長方形のサイクルを時計回りに一周する。

1. 1サイクルで気体がした仕事を求めよ。
2. 向きが反時計回りだとどうなるか。

6-3 サイクルを追う ★★★

3周チェック ☐ ☐ ☐

単原子分子理想気体 n mol について、次の3過程からなるサイクルを考える。①体積 V のまま圧力を p から $2p$ に上げる。②圧力 $2p$ のまま体積を V から $2V$ にする。③元の状態に戻す。

1. 過程①での W と ΔU を求めよ。
2. 過程②での W を求めよ。

6-4 熱の出入り ★★★3周チェック ☐ ☐ ☐

前問の過程①と②について答えよ。

1. 過程①で吸収した熱を求めよ。
2. 過程②で吸収した熱を求めよ。
3. どちらも吸熱か。

6-5 総まとめ ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

熱力学の問題を解く手順を整理せよ。

1. 最初にやることは何か。
2. 次にやることは何か。
3. 最後に何をするか。

解説編

各問の冒頭にどれが 0 になったかを書いてある。

設定 1 熱量と温度変化

1-1 代入するだけ

■(1) $Q = mc\Delta T$

■(2) $C = mc$

■(3) 2倍

比熱は 1 g (1 kg) あたり、熱容量はその物体全体の値。

答 (1) $mc\Delta T$ (2) mc (3) 2倍

1-2 失う=得る

最終温度を T とする。

■(1) $m_1c_1(T_1 - T) = m_2c_2(T - T_2)$

■(2) $T = \frac{m_1c_1T_1 + m_2c_2T_2}{m_1c_1 + m_2c_2}$

熱容量を重みとした平均になっている。

答えは必ず T_2 と T_1 の間に入る —— 検算に使える。

答 (2) $\frac{m_1c_1T_1 + m_2c_2T_2}{m_1c_1 + m_2c_2}$

1-3 容器も温まる

■(1) 失う：金属 得る：水と容器の両方

■(2) $C'(T_2 - T) = (mc + C)(T - T_1)$

$$T = \frac{C'T_2 + (mc + C)T_1}{C' + mc + C}$$

容器の熱容量を忘れるのが最頻出のミス。

「容器も一緒に温まる」ことに注意。

答 (2) $T = \frac{C'T_2 + (mc + C)T_1}{C' + mc + C}$

1-4 温度が止まる

■(1) 変わらない (0 °C のまま)。

■(2) 氷を水に変える (分子の結びつきを切る) のに使われる。

■(3) $Q = mL$

状態変化の間は $Q = mc\Delta T$ が使えない。

グラフでは水平な部分になる。

答 (1) 変わらない (2) 状態変化に使われる (3) mL

1-5 エネルギーがつながる

■(1) 失われた力学的エネルギーが熱になる

$$Q = Mgh$$

■(2) $Mgh = mc\Delta T \rightarrow \Delta T = \frac{Mgh}{mc}$

力学のエネルギーと熱は同じ「エネルギー」という主張が

熱力学第一法則の出発点。

答 (1) Mgh (2) $\frac{Mgh}{mc}$

設定 2 気体の状態方程式

2-1 代入するだけ

■(1) $T = \frac{pV}{nR}$

■(2) pV が一定なので $\frac{p}{2}$

温度は必ず絶対温度 (K) で扱う。摂氏では式が成り立たない。

答 (1) $\frac{pV}{nR}$ (2) $\frac{p}{2}$

2-2 pV/T 一定

■(1) $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$

■(2) 2倍

■(3) 2倍

物質量がかわらない限り、この1本で前後がつながる。

n も R も出てこないので計算が楽。

答 (1) $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$ (2) 2倍 (3) 2倍

2-3 力のつり合いから p

■(1) 大気を押す力 $p_0 S$ (下向き)、重力 Mg (下向き)、
気体を押す力 pS (上向き)

■(2) つり合いから

$$pS = p_0 S + Mg \rightarrow p = p_0 + \frac{Mg}{S}$$

■(3) 重力の向きが逆に効くので $p = p_0 - \frac{Mg}{S}$

圧力は力のつり合いから出す。

状態方程式に入れる p をここで作る、というのがピストン問題の型。

答 (2) $p_0 + \frac{Mg}{S}$ (3) $p_0 - \frac{Mg}{S}$

2-4 分圧を足す

■(1) $n_1 : n_2 = p_1 V_1 : p_2 V_2$ (T が共通なので)

■(2) 全体の物質量は変わらず、体積は $V_1 + V_2$

$$p(V_1 + V_2) = (n_1 + n_2)RT = p_1 V_1 + p_2 V_2$$

$$p = \frac{p_1 V_1 + p_2 V_2}{V_1 + V_2}$$

pV の合計が保存すると覚えると速い (温度一定のとき)。

答 (1) $p_1 V_1 : p_2 V_2$ (2) $\frac{p_1 V_1 + p_2 V_2}{V_1 + V_2}$

2-5 n を質量に直す

■(1) $n = \frac{pV}{RT}$ なので $m = nM = \frac{pVM}{RT}$

■(2) $\rho = \frac{m}{V} = \frac{pM}{RT}$

■(3) $\frac{1}{T}$ に比例するので小さくなる。

温めた空気が上に行く（熱気球）のはこのため。

答 (1) $\frac{pVM}{RT}$ (2) $\frac{pM}{RT}$ (3) 小さくなる

設定 3 分子運動論と内部エネルギー**3-1** 運動エネルギー

■(1) $\frac{1}{2}m\overline{v^2} = \frac{3}{2}kT$

■(2) T に比例するので 2倍

■(3) $\sqrt{v^2} \propto \sqrt{T}$ なので $\sqrt{2}$ 倍

絶対温度は分子の運動の激しさそのもの。

だから 0 K より下がらないことも納得できる。

答 (1) $\frac{3}{2}kT$ (2) 2倍 (3) $\sqrt{2}$ 倍

3-2 T だけで決まる

■(1) $U = \frac{3}{2}nRT$

■(2) 変わらない。

■(3) U の式に体積も圧力も入っていないから。

理想気体では分子間に力がはたらかないので、

分子どうしの距離（＝体積）はエネルギーに関係しない。

ΔU を聞かれたら ΔT だけ見ればよい。

答 (1) $\frac{3}{2}nRT$ (2) 変わらない (3) U は温度だけで決まるから

3-3 温度差を取る

■(1) $\Delta U = \frac{3}{2}nR(T_2 - T_1)$

■(2) $pV = nRT$ なので

$$\Delta U = \frac{3}{2}(p_2V_2 - p_1V_1)$$

状態量が p 、 V で与えられているときはこちらが速い。

n も R も知らなくてよくなる。

答 (1) $\frac{3}{2}nR(T_2 - T_1)$ (2) $\frac{3}{2}(p_2V_2 - p_1V_1)$

3-4 力積で考える

■(1) はね返ると速度が $-v_x$ になるので $2mv_x$

■(2) 往復に $\frac{2L}{v_x}$ かかることから、力の平均を出して足し上げると

$$pV = \frac{1}{3}Nm\overline{v^2}$$

■(3) $pV = nRT$ と比べると

$$\frac{1}{2}m\overline{v^2} = \frac{3}{2}kT$$

圧力は分子が壁を叩く力の平均だと分かる。

気体の法則が力学から導いている。

答 (1) $2mv_x$ (2) $pV = \frac{1}{3}Nm\overline{v^2}$ (3) 温度が分子の運動エネルギーに対応する

3-5 同じ温度なら

■(1) $\frac{3}{2}kT$ で温度だけで決まるので 同じ。

■(2) $\frac{1}{2}m\overline{v^2}$ が同じなら、

軽いほうが速い → 水素

■(3) $\sqrt{v^2} \propto \frac{1}{\sqrt{m}}$ なので $\sqrt{16} = 4$ 倍

同じ温度＝同じ運動エネルギー、速さは質量で違う。

答 (1) 同じ (2) 水素 (3) 4倍

設定 4 熱力学第一法則

4-1 向きを決める

■(1) 気体が熱を吸収した状態。

■(2) 気体が外に対して仕事をした（膨張した）状態。

■(3) 押し込まれている＝外から仕事をされているので 負。

膨張なら $W > 0$ 、圧縮なら $W < 0$ 。

この向きさえ間違えなければ符号で迷わない。

答 (1) 熱を吸収 (2) 外に仕事をした（膨張） (3) 負

4-2 残りを出す

■(1) $\Delta U = Q - W$

■(2) $\Delta U = 0$ なので温度は変わらない（等温変化）。

■(3) $\Delta U < 0$ なので温度は下がる。

熱を吸収していても、それ以上に膨張して仕事をすれば冷える。

熱を加えた＝温度が上がる、とは限らない。

答 (1) $Q - W$ (2) 変わらない (3) 下がる

4-3 $p\Delta V$

■(1) $F = pS$

■(2) $W = Fd = pSd$

■(3) $\Delta V = Sd$ なので $W = p\Delta V$

圧力が一定のときだけ $p\Delta V$ が使える。

変わるなら p - V グラフの面積を読む。

答 (1) pS (2) pSd (3) $p\Delta V$

4-4 面積が仕事

■(1) グラフと V 軸の間の面積。

■(2) 膨張なので 正。

■(3) 囲まれた面積。

時計回りなら正（熱機関）、反時計回りなら負（冷却機）。

一周すると $\Delta U = 0$ （状態が戻るから）なので、

$Q = W = \text{囲まれた面積}$ になる。

答 (1) V 軸との間の面積 (2) 正 (3) 囲まれた面積

4-5 経路によるか

■(1) U （内部エネルギー）。温度が決まれば決まる。

■(2) Q と W 。

同じ状態から同じ状態へ行くのでも、道筋が違えば値が変わる。

■(3) U は「持っている量」、 Q と W は「やりとりの量」。

だから ΔU とは書けても、 ΔQ とは書かない。

答 (1) U (2) Q と W (3) U は状態量、 $Q \cdot W$ は移動量

設定 5 4つの変化（どれが 0 になるか）

5-1 $W = 0$

■(1) 体積が変わらないので $W = 0$

■(2) $\Delta U = \frac{3}{2}nR\Delta T$

■(3) $Q = \Delta U = \frac{3}{2}nR\Delta T$

加えた熱がすべて温度上昇に使われる。

定積モル比熱 $C_V = \frac{3}{2}R$ 。

答 (1) 0 (2)(3) ともに $\frac{3}{2}nR\Delta T$

5-2 仕事の分だけ多い

$$\blacksquare(1) p\Delta V = nR\Delta T \rightarrow \Delta V = \frac{nR\Delta T}{p}$$

$$\blacksquare(2) W = p\Delta V = nR\Delta T$$

$$\blacksquare(3) Q = \Delta U + W = \frac{3}{2}nR\Delta T + nR\Delta T = \frac{5}{2}nR\Delta T$$

■(4) 定積より $nR\Delta T$ だけ多く必要。

膨張して仕事をするぶん、余分に熱が要る。

$C_p = C_V + R$ という関係の中身がこれ。

答 (2) $nR\Delta T$ (3) $\frac{5}{2}nR\Delta T$ (4) $nR\Delta T$ だけ多い

5-3 $\Delta U = 0$

■(1) T が変わらないので $\Delta U = 0$

■(2) $Q = W$ 。

与えた熱がそっくり仕事になる。

■(3) $pV = \text{一定}$ (反比例のグラフ)。

等温では温めているのに温度が上がらない ——

膨張で仕事をして、そのぶん出ていくから。

答 (1) 0 (2) $Q = W$ (3) $pV = \text{一定}$

5-4 $Q = 0$

■(1) $Q = 0$

■(2) $\Delta U = -W$

■(3) 膨張なので $W > 0$ 、したがって $\Delta U < 0 \rightarrow$ 下がる。

■(4) 外に仕事をした分のエネルギーを、自分の内部から出したから。

熱をもらえないので、内部エネルギーを削るしかない。

スプレー缶が冷たくなるのはこれ。

答 (1) 0 (2) $\Delta U = -W$ (3) 下がる (4) 内部エネルギーを削って仕事をするから

5-5 0 を先に書く

■(1) $W = 0$

■(2) $\Delta U = 0$

■(3) $Q = 0$

まず 0 になるものを書き、第一法則に入れる。

定圧だけは 0 になるものがないが、 $W = p\Delta V$ が簡単に出る。

この4つで熱力学の計算はすべて片づく。

答 (1) $W = 0$ (2) $\Delta U = 0$ (3) $Q = 0$

設定 6 熱機関と効率

6-1 W/Q_{in}

■(1) 1周すると $\Delta U = 0$ なので

$$W = Q_{in} - Q_{out}$$

■(2) $e = \frac{W}{Q_{in}} = 1 - \frac{Q_{out}}{Q_{in}}$

■(3) ない。

$Q_{out} = 0$ にはできない (熱力学第二法則)。

捨てる熱が必ず出るのが熱機関の宿命。

答 (1) $Q_{in} - Q_{out}$ (2) $1 - \frac{Q_{out}}{Q_{in}}$ (3) ない

6-2 グラフで読む

■(1) 囲まれた長方形の面積

$$W = (p_1 - p_2)(V_2 - V_1)$$

■(2) 負になる (外から仕事をされる)。

これは冷却機・ヒートポンプにあたる。

仕事を加えて、低温側から高温側へ熱を運ぶ。

答 (1) $(p_1 - p_2)(V_2 - V_1)$ (2) 負になる (冷却機)

6-3 各過程で表を作る

■(1) 定積なので $W_1 = 0$

$$\Delta U_1 = \frac{3}{2}(2pV - pV) = \frac{3}{2}pV$$

($\Delta U = \frac{3}{2}\Delta(pV)$ を使うと T を経由せずに出せる。)

■(2) 定圧なので $W_2 = 2p(2V - V) = 2pV$

過程ごとに Q 、 W 、 ΔU の表を作るのが定石。

最後に足し合わせれば1サイクル分が出る。

答 (1) $W_1 = 0$ 、 $\Delta U_1 = \frac{3}{2}pV$ (2) $W_2 = 2pV$

6-4 どこで受け取るか

■(1) $Q_1 = \Delta U_1 + W_1 = \frac{3}{2}pV$ (吸熱)

■(2) $\Delta U_2 = \frac{3}{2}(2p \cdot 2V - 2pV) = 3pV$

$Q_2 = \Delta U_2 + W_2 = 3pV + 2pV = 5pV$ (吸熱)

■(3) どちらも吸熱。

捨てるのは③の過程。

効率を出すには「吸熱した過程だけ」を足して Q_{in} にする。

答 (1) $\frac{3}{2}pV$ (2) $5pV$ (3) どちらも吸熱

6-5 手順を言う

■(1) 各状態の p 、 V 、 T を状態方程式でそろえる。

ピストンがあれば力のつり合いから p を作る。

■(2) $\Delta U = \frac{3}{2}nR\Delta T$ (または $\frac{3}{2}\Delta(pV)$) を出す。

■(3) 0 になる量を書いてから $\Delta U = Q - W$ で残りを埋める。

この3段は、どんな設定でも変わらない。

変わるのは「どれが 0 か」だけ。

答 (1) 状態方程式で p, V, T をそろえる (2) ΔU を出す (3) 第一法則で残りを埋める