

熱機関 热エネルギーを使って仕事を取り出す装置を熱機関という。熱機関の内部で熱を発生させてこれをを行うものを「内燃機関」といい、外部で熱を発生させて利用するものを「外燃機関」という。現在つかわれている自動車などのガソリンエンジン、ディーゼルエンジンは内燃機関の代表的なものであり、スターリングエンジン、ガスタービンエンジンなどは外燃機関の代表的なものである。熱機関は、「**熱エネルギーを気体に与えて気体の内部エネルギーを増やし(気体の温度を上げて)気体の体積が膨張するときの仕事**」を利用する。

熱効率 热機関が受け取った熱のうちどの程度を仕事に変えることが出来たかを示す割合を「熱効率」という。

熱機関が受け取った熱 Q_1 、捨てた熱 Q_2 とすると、仕事に変えることが出来たのは $W = Q_1 - Q_2$ である。したがって、熱効率は $\varepsilon = \frac{W}{Q} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$ であり、つねに 100 パーセントにはなり得ないのが現実である。たとえばガソリンエンジンでは 30% 台にしかならない。発電所でも 40% 程度である。

中堅 単原子分子理想気体 n モルを円筒形容器に入れた。気体の圧力は P_0 [Pa]、体積は V_0 [m^3]、温度は T_0 [K] であった。これを「**状態A**」と呼ぶ。つぎに、ピストンを固定した状態でこの気体に熱量 Q_1 [J] を加えたところ、気体の圧力が $2P_0$ [Pa] になった。これを「**状態B**」と呼ぶ。つづいて、温度が変化しないように熱を加えながらピストンを徐々に緩め体積が $2V_0$ [m^3] になるまで、膨張させた。この間に与えた熱量は Q_2 [J] であった。この状態を「**状態C**」という。そのあと、圧力を一定に保ちながら、全体を冷却して元の体積 V_0 [m^3] に戻してやった。この状態を「**状態D**」とする。

(1) 状態Bのとき、気体の温度はいくらになっているか。

(2) 状態Aから状態Bの過程で気体に与えた熱量 Q_1 はいくらであるか。

(3) 状態Cのとき、気体の圧力はいくらになっているか。

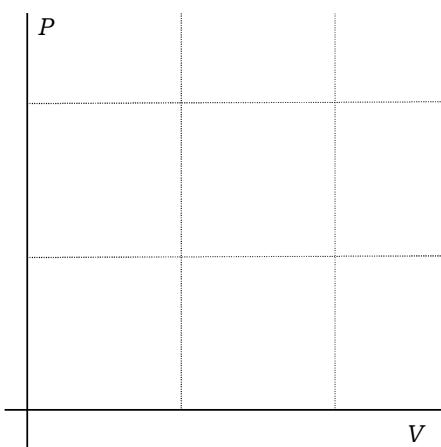
(4) 状態Bから状態Cの過程で気体が外部にした仕事はいくらであるか。

(5) 状態Dのとき、気体の温度はいくらになっているか。

(6) 状態Cから状態Dの過程で気体が放出した熱量はいくらであるか。

(7) 気体の変化の様子を P-V 図に示しなさい。

(8) この熱機関の熱効率を求めなさい。



熱機関 热エネルギーを使って仕事を取り出す装置を**熱機関**という。熱機関の内部で熱を発生させてこれを行うものを「**内燃機関**」といい、外部で熱を発生させて利用するものを「**外燃機関**」という。現在つかわれている自動車などのガソリンエンジン、ディーゼルエンジンは内燃機関の代表的なものであり、スターリングエンジン、ガスタービンエンジンなどは外燃機関の代表的なものである。

熱効率 热機関が受け取った熱のうちどの程度を仕事に変えることが出来たかを示す割合を「**熱効率**」という。

熱機関が受け取った熱 Q_1 、捨てた熱 Q_2 とすると、仕事に変えることが出来たのは $W = Q_1 - Q_2$ である。したがって、熱効率は $\varepsilon = \frac{W}{Q} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$ である。つねに 100 パーセントにはなり得ない。たとえばガソリンエンジンでは 30% 台にしかならない。火力発電所でも 40% 程度である。

中堅 「**状態A**」→**一定積変化**→「**状態B**」→**等温変化**→「**状態C**」→**一定圧変化**→「**状態D**」となる。

- (1) 容器に入れた気体の量を n モルとする。状態方程式 $PV = nRT$ より、状態Aでは $P_0V_0 = nRT_0 \cdots ①$ である。状態Bでの温度を T_B [K] とすると、 $2P_0 \cdot V_0 = nRT_B \cdots ②$ だから、①、②より、状態Bの温度は $T_B = 2T_0$ [K]。
- (2) 体積一定での変化だから、気体は外部に仕事をしない。熱力学第一法則より、貰った熱量 Q_1 は内部エネルギーの増加に等しい。内部エネルギーの増加は $\Delta U = \frac{3}{2}nR(T_B - T_0) = \frac{3}{2}nRT_0$ だから、①を代入して、

$$Q_1 = \frac{3}{2}nRT_0 = \frac{3}{2}P_0V_0$$
 [J] である。

- (3) 状態 B から状態Cでは温度変化はないので、状態Cの温度は $T_1 = 2T_0$ [K] である。**状態C**の状態方程式は $P_C \cdot 2V_0 = nR \cdot 2T_0$ だから、状態 C での圧力は $P_C = P_0$ である。
- (4) 状態Cでの体積は $V_C = 2V_0$ だから、気体が外部にした仕事の公式は $W = P\Delta V$ であるが、圧力が変化するため簡単に求めることはできない（→積分法¹利用）。「**熱力学第一法則**」を使って求めれば良い。温度が一定だから、内部エネルギーは変化しない。したがって、「**外部から貰った熱量と外部にした仕事は等しい**」から、状態 B から状態Cの過程で気体が外部にした仕事は Q_2 [J] である。
- (5) 状態 C→状態Dでは圧力が一定。状態方程式は、状態Cでは $P_0 \cdot 2V_0 = nR \cdot 2T_0$ 、状態Dでは $P_0 \cdot V_0 = nR \cdot 2T_D$ になる。したがって、状態Dでの温度は $T_D = T_0$ である。

- (6) 気体が外部にした仕事は $W = P \cdot \Delta V$ より、 $W = P_0(V_0 - 2V_0)$ だから、

$$W = -P_0V_0 \text{ である。また、内部エネルギーの変化を考える。} U_C = \frac{3}{2}nRT_C, \quad U_D = \frac{3}{2}nRT_D \text{ であるので、} \Delta U = \frac{3}{2}nR(T_D - T_C) = \frac{3}{2}nRT_0 = \frac{3}{2}P_0V_0 \text{ [J]} \text{ だから、}$$

$$Q = W + \Delta U = \frac{5}{2}P_0V_0 \text{ [J]} \text{ である。また、} Q = \frac{5}{2}nRT_0 = \frac{5}{2}P_0V_0 \text{ [J]}$$

- (7) 気体の変化の様子は右図に示す。

- (8) 貰った熱は $Q_1 + Q_2 = \frac{3}{2}P_0V_0 + Q_2$ であり、捨てた熱は $Q = \frac{5}{2}nRT_0$ であるので、 $\varepsilon = \frac{Q_2 - P_0V_0}{1.5P_0V_0 + Q_2}$ になる。

¹ 気体が外部にした仕事は $W = \int_{V_0}^{V_1} PdV$ 。よって、 $W = \int_{V_0}^{2V_0} PdV$ 、 $PV = 2P_0V_0$ だから、 $W = \int_{V_0}^{2V_0} \left(\frac{2P_0V_0}{V} \right) dV$ である。また、 $W = P_0V_0 \cdot \int_{V_0}^{2V_0} \frac{dV}{V} = 2P_0V_0 \cdot \log_e 2$ である。

