令和３年度弁理士試験論文式筆記試験問題

［熱力学］

１　閉じた系と見なせるピストンとシリンダーで封入された理想気体がある。問題文中に定義された記号のみを用いて以下の空欄に適切な式を書きなさい。その際、微分記号を表す d、および、微小量を表すδ を適宜用いて良い。

【４４点】

作動流体の圧力は p、比体積は v、温度は T、気体定数は R、定積比熱は c_v、定圧比熱は c_p、比熱比はκとし、この系に出入りする単位質量当たりの熱量をδq とする。この系における理想気体の状態方程式は次式となる。

$$pv = \boxed{（あ）} \qquad （式１）$$

また、この系における熱力学の第一法則は以下となる。

$$\delta q = c_v dT + \boxed{（い）} \qquad （式２）$$

$$\delta q = c_p dT - \boxed{（う）} \qquad （式３）$$

定積比熱 c_v は（式２）、（式３）から次のように書ける。

$$c_v = \left(\frac{\partial q}{\partial T}\right)_v = c_p - \boxed{（え）}\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v \qquad （式４）$$

（式４）に（式１）を代入して整理すると次式となる。

$$c_v = c_p - \boxed{（お）} \qquad （式５）$$

（式５）と比熱比κの関係を用いて c_v と c_p をκと R で書き表せば次式となる。

$$c_v = \frac{\boxed{（か）}}{\kappa - 1} \qquad （式６）$$

$$c_p = \frac{\boxed{（き）}}{\kappa - 1} \qquad （式７）$$

次に、この系の可逆変化を考えて、比エントロピーの変化量を表す式を導出する。この系に可逆で出入りする熱量をδq_{rev}、比エントロピーを s とする。この系における熱力学の第二法則は以下となる。

$$\delta q_{\mathrm{rev}} = T\,\boxed{（く）} \qquad （式８）$$

（式２）の左辺をδq_{rev} と見なし、（式８）からδq_{rev} を消去すれば次式となる。

$$T\,\boxed{（く）} = c_v dT + \boxed{（い）} \qquad （式９）$$

上式に理想気体の状態方程式を代入すると、次式となる。　（次頁へ続く）

$$ds = c_v \frac{dT}{T} + \boxed{（け）} \frac{dv}{v} \qquad （式１０）$$

状態番号を記号の添え字で表すとし、上式を状態１から状態２まで積分すれば、比エントロピーの変化量$(s_2 - s_1)$は次式となる。

$$s_2 - s_1 = c_v \boxed{（こ）} + \boxed{（け）} \boxed{（さ）} \qquad （式１１）$$

２　オットーサイクルを考える。このサイクルの pV 線図を図１に示す。作動流体は理想気体とする。問題文中に定義された記号のみを用いて以下の空欄に適切な式を書きなさい。

【５６点】

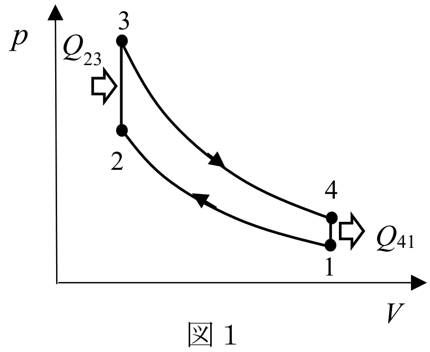

図１

作動流体の質量を m、圧力を p、体積を V、温度を T、気体定数を R、定積比熱を c_v、定圧比熱を c_p、比熱比を κ、仕事量を L、熱量を Q とする。作動流体の状態は図中の番号で表し、記号の添え字の数字は状態番号を表す。また、このサイクルの状態変化はすべて可逆変化とみなす。状態１から２への可逆断熱圧縮変化では p と V の関係式は次式となる。

$$\boxed{（ア）} = （一定） \qquad （式１２）$$

質量 m の作動流体が状態１から２の可逆断熱圧縮変化により外部からなされる仕事量 L_{12} は次式となる。ただし、系が外部にする仕事量を正とする。この問題で「系が外部からなされる仕事量」と表現した場合には L_{12} を負で表すことにする。

$$L_{12} = \int_1^2 p dV = p_1 V_1^{\kappa} \int_1^2 \boxed{（イ）} dV$$

$$= \boxed{（ウ）} \left\{ 1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\kappa - 1} \right\}$$

$$= \frac{1}{\kappa - 1} \left\{ p_1 V_1 - \boxed{（エ）} \right\} \qquad （式１３）$$

（式１３）を比熱比 κ を用いずに、m、R、c_v、c_p の中から適宜用いて書き換えると次式となる。

$$L_{12} = \boxed{（オ）} \{T_1 - T_2\} \qquad （式１４）$$

状態２の作動流体に等積加熱で熱量 Q_{23} を与えて状態３にしたとき、与えた熱量 Q_{23} は m、R、c_v、c_p の中から適宜用いて書き換えると次式となる。

$$Q_{23} = \boxed{（カ）} \{T_3 - T_2\} \qquad （式１５）$$

状態３の作動流体が可逆断熱膨張する際に外部にする仕事量 L_{34} は m、R、c_v、c_p の中か

ら適宜用いて書くと次式となる。　　　　　　　　　　　　　　　（次頁へ続く）

$$L_{34} = \boxed{\text{（キ）}}\{T_3 - T_4\}$$　（式１６）

　この系が１サイクルで外部にする正味の仕事量 L_{net} は次式となる。

$$L_{\mathrm{net}} = mc_v\left(\boxed{\text{（ク）}}\right)$$　（式１７）

このサイクルの理論熱効率 η は温度 T_1、T_2、T_3、T_4 を用いて以下のように書ける。

$$\eta = \boxed{\text{（ケ）}}$$　（式１８）