

## 平成20年度弁理士試験論文式筆記試験問題

## [熱力学]

1. 単原子分子1モルの理想気体からなる系について、以下の文章の空欄に適切な語句や式を入れよ。ただし、 $Q$ 、 $p$ 、 $V$ 、 $U$ 、 $R$ 、 $T$ は、それぞれ熱量、圧力、体積、内部エネルギー、気体定数、絶対温度とする。

【25点】

- (1) この系に対し外部より微小な熱量  $dQ$  が与えられた時、系が準静的に外部に対して行った微小仕事を  $pdV$ 、内部エネルギーの微小変化を  $dU$  とすると、熱力学の第一法則は(ア)と記述できる。系が周囲と熱の授受を生じない(イ)変化の場合、(ア)は(ウ)のように書き換えられる。

系の内部エネルギーの微小変化は、定積比熱  $C_V$  を用いて(エ)と書くことができる。また、定圧比熱  $C_p$  は定積比熱  $C_V$  を用いて(オ)と表現できる。ただし、(カ) / (キ) で表される  $\gamma$  を比熱比と呼ぶ。

さて、対象としている系の状態方程式を微分すると次式が得られる。

$$pdV + Vdp = RdT$$

この関係式及び上述の内容に基づいて(ウ)は、 $C_V$ 、 $C_p$ 、 $p$ 、 $V$  を用いて(ク)と書き換えられる。さらにこの関係式を積分することで、 $p$ 、 $V$ 、 $\gamma$  について(ケ)の関係を得ることができる。

(ケ)の関係について、実際の熱機関でも(イ)変化に近い場合、比熱比  $\gamma$  を正の実数  $n$  に置き換えて一般化でき、(コ)変化と呼ぶ。

- (2) 設問の理想気体を作動物質とするカルノーサイクル(図1参照)を考える。ただし、サイクルの高温側の熱源温度を  $T_H$ 、低温側の熱源温度を  $T_L$  とする。

(1)の結果より、 $TV^{\gamma-1}$  = 一定の関係が導かれる。これを利用すれば、サイクル中の各状態における体積  $V_A$ 、 $V_B$ 、 $V_C$ 、 $V_D$  の間には(サ)の関係が成り立つ。一方、経路 A-B に相当する(シ)変化では作動物質の(ス)が一定となるため、微小な体積変化の間に高温側の熱源からサイクルへ流入する微小熱量  $dQ_H$  は(セ)と記述できる。理想気体の状態方程式を考慮し、経路 A-B について積分することで、1 サイクル中に高温側の熱源が与える熱量  $Q_H$  は(ソ)となる。同様に低温側の熱源が1 サイクル中に取り去る熱量  $Q_L$  は(タ)となる。これより  $Q_H$ 、 $Q_L$ 、 $T_H$ 、 $T_L$  の間には(チ)の関係が成り立ち、サイクルの効率  $\eta$  は(ツ)のように高温側及び低温側の熱源温度のみで表現できる。

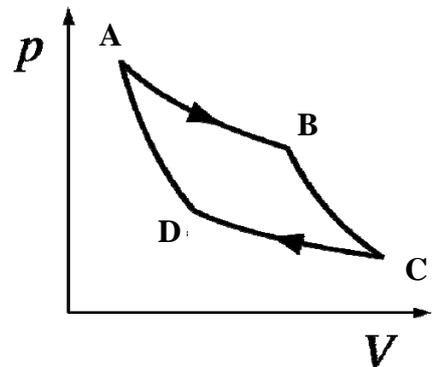


図1

2. 水及び水蒸気に関する以下の設問に答えよ。

【25点】

- (1) 縦軸に圧力  $p$ 、横軸に温度  $T$  をとった水の状態図を図2に模式的に示す。図中の点 A 及び点 B の呼称を記せ。また、ア、イ、ウの領域の相を述べよ。
- (2) 図2中の点 B より右上側の領域に存在する水の呼称を記せ。また、その物理的特徴を30字程度で簡潔に述べよ。
- (3) ある温度、圧力の下にある湿り蒸気のクオリティ（乾き度）が0.80の時、この湿り蒸気 5 kg 中に含まれる飽和蒸気の質量を求めよ。また、この条件下での飽和水及び飽和蒸気の比体積がそれぞれ  $0.0011565 \text{ m}^3/\text{kg}$  及び  $0.12716 \text{ m}^3/\text{kg}$  である時、この湿り蒸気の比体積を求めよ。
- (4) 実在気体である水蒸気は、van der Waals の状態方程式によりその挙動をモデル近似できる。この状態方程式は  $p$ 、 $T$ 、 $V$ 、 $R$  をそれぞれ圧力、温度、比体積、気体定数として以下のように表される。ただし  $a$ 、 $b$  は気体種による定数である。

$$p = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V^2}$$

温度  $T$  をパラメータとして上式を模式的にグラフ化すると、図3が得られる。図中に示されるように、温度によっては等温線上に局所的な圧力の最大値と最小値が現れる。これらの最大値あるいは最小値を示す点の集合として表現される  $p$  と  $V$  の関係を導け。ただし、図3中に示されるように、最大値及び最小値において、等温線の傾きが0となっている点に注意せよ。

- (5) 図4に示されるように、ある温度  $T_1$ 、圧力  $P_1$  において、van der Waals の状態方程式は  $V_1$ 、 $V_2$ 、 $V_3$  の三つの比体積を与える場合がある。 $V_2$  において  $\partial p / \partial V$  が正であることから  $V_2$  は存在し得ない。この点に注意して、残る  $V_1$  と  $V_3$  の値の意味について述べよ。ただし、考える温度範囲は室温以上とする。

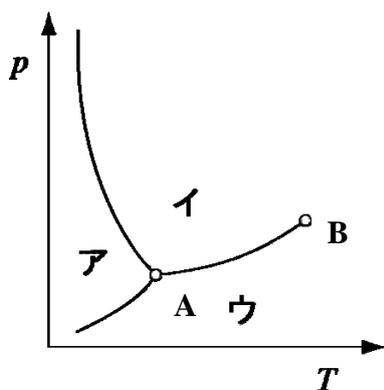


図2

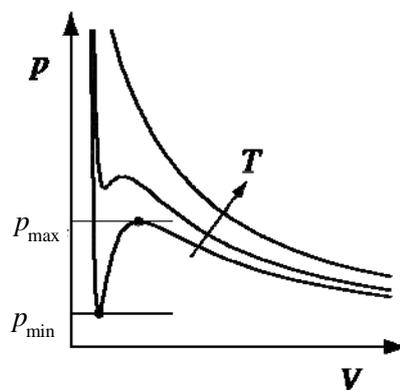


図3

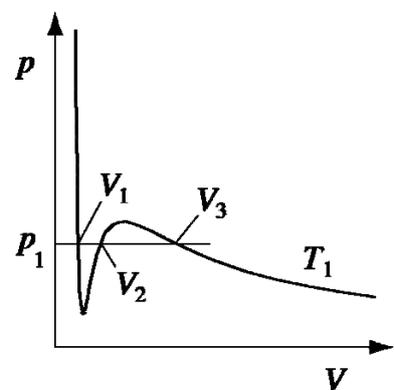


図4