

科目名 熱力学	教官名 福島 孝治	2007年9月3日4時限 試験時間 90分
問題用紙 1枚	解答用紙 両面 1枚	—
		持ち込みの有無 筆記用具のみ持ち込み可

以下の問いに答えよ。但し、解答の順序は問わない。

1. 比熱・熱容量に関する以下の問に答えよ。

- (1) 比熱・熱容量とは何かを説明して、その測定方法を提案せよ。
- (2) 定積比熱 C_V は、内部エネルギー U を用いて、 $C_V = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V$ と表せることを説明せよ。
- (3) 定圧比熱 C_P は、

$$C_P = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_P + P \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P$$

で表せることを示せ。

- (4) 特に理想気体の場合は、

$$C_P - C_V = R$$

となることを示せ。ここで R は気体定数である。

- (5) ヘルムホルツの自由エネルギー $F = U - TS$ の体積微分から、

$$\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T = T \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V - P$$

が成り立つことを示せ。ここで S はエントロピーである。

- (6) 定積比熱と定圧比熱の関係は、体積膨張率 $\beta = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P$ と等温圧縮率 $\kappa = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T$ を用いて、

$$C_P - C_V = \frac{TV\beta^2}{\kappa}$$

と表せることを示せ。

- (7) 一般に、定圧比熱が定積比熱より大きいことを説明せよ。
- (8) 比熱からエントロピー S を求める関係式を求めよ。
- (9) 体積一定の条件で、エントロピーは温度の関数として、単調増加関数であることを説明せよ。

2. 以下の問いに 簡単な理由とともに答えよ。

- (1) 1モルのファン・デル・ワールス気体の状態方程式は、

$$\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT$$

である。 a, b は正の定数である。 n モルのときの状態方程式を求めよ。

- (2) サイクル過程では内部エネルギーは変化しないことから、第一種永久機関が不可能であることを説明せよ。
- (3) Carnot サイクルを逆にサイクルさせた逆 Carnot サイクルは外に正の仕事ができるか?
- (4) Kelvin の原理で否定されている過程の逆過程、すなわち仕事を熱に完全に交換する過程は実現可能か?
- (5) Carnot サイクルの効率 η は、二つの熱源の温度をそれぞれ $T_1, T_2 (< T_1)$ としたときに、 $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$ で表される。この効率が 1 を越えることがあるか?
- (6) また、熱力学的絶対温度が負になりうるか?
- (7) 温度 T_1 の物体を温度 T_2 の熱源に接触させて、熱平衡状態に至った。この過程で熱源から移動した換算熱と物体のエントロピー変化の大小を比較せよ。簡単のために、物体の熱容量は温度に依らず一定であるとしてよい。
- (8) 等温変化で体積が一定のときに、熱力学的変化の方向はヘルムホルツの自由エネルギー変化 dF は正か負か?
- (9) 内部エネルギー $U(S, V)$ をエントロピー S 、体積 V の関数で表すとすると、このとき、次の熱力学関係式が導かれる。

$$\left(\frac{\partial U}{\partial S}\right)_V = T, \quad \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_S = -P.$$

この $U(S, V)$ は完全な熱力学関数と言えるか?

- (10) $U(S, V)$ から求まる Maxwell 関係式を求めよ。

3. 次の設問から 1つ を選択して、答えよ。

- (1) Clausius の原理から Kelvin の原理を示せ。
- (2) 高温の熱源から熱 Q をもらって、 W の仕事をする Carnot サイクルが存在するとする。一方で、高温の熱源から同じ熱 Q をもらって、 W' の仕事をするあるサイクルがあるとすると、このとき、 $W' \leq W$ であることを示せ。
- (3) 理想気体に限らず、一般の流体(気体や液体)が真空へ断熱自由膨張する過程は非可逆であることを示せ。
- (4) 液相-固相の共存曲線を与える Clausius-Clapeyron の関係について説明せよ。

4. 講義および試験に関して、良かった点、悪かった点等の感想を自由に述べよ。また、講義あるいは自習を通じて、物理学・熱力学から学んだことを述べよ。