

## 2004年度夏学期

### 熱力学 A

安田賢二教員

2004年9月

解答時間 90 分・解答用紙 1 枚・持込不可

1. 内部エネルギー密度  $u$  (体積を  $V$ 、内部エネルギーを  $U$  として  $u = U/V$ ) が絶対温度  $T$  で、 $u = \sigma T^4$  (ただし、 $\sigma$  は正の定数) で与えられ、また圧力  $p$  は  $p = u/3$  という状態方程式で与えられる系を考える (熱放射)。

(1) 断熱変化したときに  $V$  と  $T$  の間に成り立つ関係式を求めよ。

(2) この系の定積比熱を求めよ。

(3) 以下の4つの状態、状態1 : (圧力, 体積) =  $(p_1, V_1)$ 、状態2 : (圧力, 体積) =  $(p_1, V_2)$ 、状態3 : (圧力, 体積) =  $(p_3, V_3)$ 、状態4 : (圧力, 体積) =  $(p_3, V_4)$  の間でカルノー・サイクルを行う。

i) 状態1 状態2 の変化は等温膨張である。この系へ流入する熱量  $Q_{1 \rightarrow 2}$  と、この系が外界に行う仕事  $W_{1 \rightarrow 2}$  を求めよ。

ii) 状態2 状態3 の変化は等温膨張である。この系へ流入する熱量  $Q_{2 \rightarrow 3}$  と、この系が外界に行う仕事  $W_{2 \rightarrow 3}$  を求めよ。

(4) 状態3 状態4 への変化は等温圧縮、状態4 状態1 への変化は断熱圧縮である。系の熱機関の効率を求めよ。

(5) カルノー・サイクルでは、等温圧縮・膨張と断熱圧縮・膨張を組み合わせている。これはなぜか? 「最大仕事の原理」についての理解を踏まえて、これを説明せよ。

2. 状態方程式  $(p + \frac{a}{V^2})(V - b) = RT$  に従う気体 1 モルがある。ここに  $p$  は圧力、 $V$  は体積、 $T$  は絶対温度、 $R$  は気体定数、 $a$  および  $b$  はそれぞれ正の定数である。

(1) 気体の体積を  $V_1$  から  $V_2 (> V_1)$  まで等温準静的に変化させるものとして、次の問いに答えよ。

i) 気体になされた仕事を計算せよ。

ii) 気体のヘルムホルツ自由エネルギーの変化を計算せよ。

iii) 気体のエントロピーの変化を計算せよ。

iv) 気体の発熱量を計算せよ。

v) 気体の内部エネルギーの変化を計算せよ。

(2) 単原子気体の場合、 $T, V$  の関数としての内部エネルギー  $U(T, V)$  を求めよ。

3. ジュール・トムソン効果に関する以下の問いに答えよ。

(1) ジュール・トムソン効果を簡潔に説明せよ。

(2) 膨張の前後でエンタルピー  $H$  は一定に保たれることを示せ。

(3) ジュール・トムソン係数  $\mu$  は、 $\mu = \left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_H$  で定義される。気体の温度を  $T$ 、圧力を  $p$ 、体積を  $V$ 、定圧モル比熱を  $C_p$  で表すと、 $\mu = \frac{T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p - V}{C_p}$  となることを示せ。

(4) 理想気体のジュール・トムソン係数を求めよ。

4. その他、自分で問題を設定して解答せよ (救済点用)。