

- 注 1) 不正行為には学群学則で定める厳罰を課す。
- 注 2) 表面 (本頁) に注意事項 (要精読), 裏面に問題が載っている。両面印刷を確認のこと。
- 注 3) 学生証を提示のこと。忘れた場合, 監督者の指示に従うこと。
- 注 4) 鉛筆 (シャープペンシルと替え芯), 消しゴム, 時計のみ使用, 提示可。電卓, 筆箱, 定規などは一切使用不可。携帯電話は電源をオフにして鞆の底にしまう。鞆のチャックをしめて床におく。
- 注 5) やむなくトイレなどの一時退室を希望する場合は挙手のこと。携帯電話をポケットに入れたまま退室すると, 不正行為とみなす。ただし, 13:45 以降は認めない。複数名が同時に一時退室することも認めない。
- 注 6) 答案用紙 4 枚のホチキスを外さないこと。4 枚全てに要記名のこと (2 枚目以降は氏名以外を省略可)。不足時には挙手し, 答案用紙右肩に,  $1/5, 2/5, \dots$  のように, 計何枚中何枚目を明記の上で, 提出時に, 監督者にホチキス止めを依頼のこと。
- 注 7) (注 10) 以外の公式を導出せずに用いた場合, 定理を証明せずに用いた場合は, ともに 0 点とする。ただし, ある問題の解答において導いた数式や証明済事項は, 他の問題の解答において, 導出や証明を繰り返すことなく, 引用の形で用いてよい。引用の際は, 答案の式番号と問題文中の式番号を区別し, どの公式をどこでどのように用いたのかを明記のこと。
- 注 8) 考え方の筋道, 式変形の根拠, 途中計算を, 論理的かつ正確に略さず記述のこと。答えだけが正しいことは正答とみなさない。日本語での説明中に数式を挿入の形で解答のこと。
- 注 9) 問題文に与えられているかによらず, 以下の記号と添え字を用いてよい:
- (i) 圧力を  $p$ , 絶対温度を  $T$ , 容積を  $V$ , 比容積を  $v$ , 内部エネルギーを  $U$ , 比内部エネルギーを  $u$ , エンタルピーを  $H$ , 比エンタルピーを  $h$ , エントロピーを  $S$ , 比エントロピーを  $s$ , 密度を  $\rho$ , 質量を  $m$ , 定圧熱容量を  $C_P$ , 定容熱容量を  $C_V$ , 定圧比熱を  $c_P$ , 定容比熱を  $c_V$ , 質量ベースの気体定数を  $R$ , 比熱比を  $\kappa$ , 熱効率を  $\eta$ , 入熱を  $Q$ , する仕事を  $W$  とする。熱と仕事の正負の定義を変更したい場合は, その旨を述べ, 記号の定義を更新のこと。
  - (ii) 添え字 1 と 2 はそれぞれ熱平衡状態 1 と 2 における量, 添え字 1→2 は過程 1→2 に関する量, 添え字  $H$  と  $L$  はそれぞれ高温熱源と低温熱源に関する量を意味する。
  - (iii) (i)(ii) 以外の記号を用いる場合は, 定義 (意味) を略さずに述べよ。記号の誤用は減点。
- 注 10) [重要] 次式を証明せずに既知として用いてよい。ただし, 各式の適用範囲に十分に注意のこと。また, 大問 3 では式 (7) を既知として用いてはならない。

$$(1) d'W = pdV \quad (2) dH = C_P dT \quad (3) dU = C_V dT \quad (4) C_P - C_V = mR$$

$$(5) pV = mRT \quad (6) p_1 V_1^\kappa = p_2 V_2^\kappa \quad (7) dS \geq \underbrace{\frac{d'Q}{T}}$$

大問 3 では使用不可

1. Carnot サイクルを, 理想気体を用いて, 可逆的かつ準静的に動かす.

- (1)  $p$ - $V$  線図と  $T$ - $S$  線図を描け. ただし, 全ての点と線の根拠を, 数式を用いて詳述せよ.  
(注意) 方向が逆向きであること以外同一の過程ならば, 根拠は“簡潔に”述べてもよい.  
(注意) たとえば, 温度が低下すると主張するのならば, 低下する理由を数式を用いて示せ. 曲線 A と曲線 B の傾きが異なるのならば, その大小の判断基準を, 数式を用いて説明せよ. たとえ正しい線図が描かれていても, 根拠が正当でなければ 0 点となる.
- (2) Carnot サイクルの熱効率  $\eta_C$  が次式 (A) で与えられることを, 以下の 2 通りの方法で示せ: (i)  $p$ - $V$  線図を利用. (ii)  $T$ - $S$  線図を利用.

$$\eta_C = 1 - \frac{T_L}{T_H} \quad (\text{A})$$

2. 熱効率が不明なサイクル  $A$  と逆 Carnot サイクル  $\bar{C}$  を用いて合成サイクル  $A + \bar{C}$  を作る.  $A$  は, 高温熱源から  $Q_{HA} (> 0)$  の熱をもらい, 低温熱源に  $Q_{LA} (> 0)$  の熱をすてて,  $\bar{C}$  に対して  $W (> 0)$  の仕事をする.  $\bar{C}$  は, 低温熱源から  $Q_{LC} (> 0)$  の熱および  $A$  から  $W$  の仕事をもらい, 高温熱源に  $Q_{HC} (> 0)$  の熱をすてる.  $A$  と  $C$  の熱効率をそれぞれ  $\eta_A$  と  $\eta_C$  とする.  
(注意) Clausius の原理の正当性はすでに示されているものとする.

- (1)  $\eta_A > \eta_C$  は Clausius の原理に反する. これを示せ.  
(2) 命題「 $\eta_A = \eta_C \implies A$  は可逆サイクル」を示せ.  
(3) 命題「 $\eta_A < \eta_C \implies A$  は不可逆サイクル」を示せ.

3. Clausius 積分から出発して, エントロピーの定義式に迫りたい.

- (注意) Carnot 効率が理論最大熱効率であることを既知として用いてよい.  
(注意) 本問では, (注 10) の式 (7) を既知としてはならない.  
(注意) 小問 (1)(2)(3) の順に解答のこと.

- (1) 「無数のサイクル」の考え方を用いて, 図を描きながら, 任意のサイクルに対して成立する次式 (B) を導け.

$$\oint \frac{d'Q}{T} \leq 0 \quad (\text{B})$$

- (2) 可逆過程において,  $\frac{d'Q}{T}$  が状態量であることを示すと同時に,  $dS$  の定義式を書け.  
(3) 不可逆過程において成立する次式 (C) を導け.

$$dS > \frac{d'Q}{T} \quad (\text{C})$$

以上