

- (注 1) 表面 (本頁) に注意事項, 裏面に問題が載っている. 注意事項を精読してから解答のこと.
- (注 2) 不正行為には学群学則で定める厳罰が課される.
- (注 3) 鉛筆 (シャープペンシルと替え芯), 消しゴム, 時計のみ使用可. 電卓, 筆箱, 定規使用不可. 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 4) 12:10 まで延長解答可. 10:30 より提出退室許可.
- (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, それだけで不正行為とみなされる. 複数名が同時に一時退室することは認めない. 10:30 以降は一時退室不可.
- (注 6) 答案用紙 4 枚の全てに要記名. 2 枚目以降は氏名のみでもよい. 足りなければ挙手のこと. 未使用答案用紙も提出のこと. 答案用紙右肩に,  $1/4$ ,  $2/4$ ,  $\dots$  のように計何枚中何枚目かを明記のこと.
- (注 7) 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, 引用の形で自由に用いてよい. また, 問題文中の数式も, 他の問題の解答時に, 既知として用いてよい (独立採点とする). 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せよ. 答えだけが正しいことは正答とみなされない. 日本語での説明中に数式を挿入する形で解答せよ.
- (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えて用いたいならば, その旨を述べて, 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  $1 \rightarrow 2$  は過程  $1 \rightarrow 2$  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) 熱力学第二法則のうち, Clausius の原理と Kelvin の原理の正当性はすでに示されているものとする.
- (注 11) [重要] 次式を証明せずに既知として用いてよい. ただし, 各式の適用範囲に十二分に注意せよ. また, 大問 2 では式 (7) を用いてはならない.

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

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

1. [36 点] 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)  $p$ - $V$  線図および  $T$ - $S$  線図を描け. 全ての点と線の根拠を「詳細に漏れなく」述べよ.  
(注意) 方向が逆向きであること以外同一の過程である場合に限り, 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. ある曲線と別の曲線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, 理由が正当でなければ 0 点となる. 配点の大きさが何を意味するか考え, 注意深く詳細かつ精密に解答せよ.
- (2) 熱効率  $\eta_C$  を高温熱源の絶対温度  $T_H$  と低温熱源の絶対温度  $T_L$  の比で表現する式を導け.
- (3)  $T$ - $V$  線図を描け (横軸に  $V$  をとれ). 根拠も漏れなく述べよ.

2. [20 点] 「無数のサイクル」の考え方をを用いて, 任意のサイクルに対して成立する次式を導け.

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

さらに, 上式に基づき, 任意の過程に対するエントロピーの定義式 ((注 10) の式 (7)) を導け.  
(注意) 本問では, (注 10) の式 (7) を既知としてはならない.

3. [10 点] 等温的に進む可逆サイクルの 1 周において, エントロピー変化, 熱, 仕事を求めよ.
4. [10 点] 1 つの熱源と 1 つのサイクルから構成される系を考える. サイクルは, 1 周において, 外界から正の仕事をされ, 熱源に正の熱をわたす. このサイクルは, 可逆サイクル, 不可逆サイクルのどちらか. 理由とともに述べよ.
5. [12 点] 熱効率が不明なサイクル  $A$  と逆 Carnot サイクル  $\bar{C}$  の合成サイクル  $A + \bar{C}$  を考える.  $A$  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.
  - (1)  $\eta_A$  の正体を探るために, このように設定した理由を, 講義に即して, 300 文字程度で述べよ. ただし,  $\bar{C}$  を逆サイクルとした理由に必ず触れよ.  
(注意) 字数はあくまで目安である. 大幅に少ない場合には満点を与えないが, 大幅に超過しても誤りが書かれていなければ減点しない (大問 6 も同様).
  - (2)  $\eta_A > \eta_C$  は熱力学第二法則に反する. これを示せ.
6. [12 点] 500 文字程度で, 熱力学第一法則と第二法則の本質を論ぜよ. ただし, 以下に注意せよ.

- 両法則の相違点と類似点に必ず触れよ.
- 原理と原則に忠実に述べよ.
- 可能な限り, 講義に即して論ぜよ. 数式や図表は可能な限り用いないことを推奨する.
- 解答は一通りではない. 正当なことが, 500 文字程度書かれておれば, 満点を与える. 大幅に少ない場合は満点は与えない. 誤りは減点する.

以上