

- 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 (シャープペンシルおよび替え芯), 消しゴム, 時計のみ机上でよい. 電卓, 筆箱, 定規は使用不可. 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. 複数名が同時に退室することは認めない. 10:30 以降は退室不可.
- 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) 以下の 3 点全てを提出のこと:
(1) 答案用紙 (未使用答案用紙も含む), (2) 授業評価アンケートマークシート,
(3) 授業評価アンケート自由記述用紙
- 注 8) 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 9) 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れない. 日本語での説明中に数式を挿入する形で解答のこと.
- 注 10) 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 , 可逆過程のエントロピー (可逆エントロピー) を S , 可逆過程の比エントロピーを s , 密度を ρ , 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 κ , 熱効率を η , 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. 記号の誤用は減点する.
- 注 11) 解答順は問わない. しかし, この順序には意味がある.

- 問 1. [12 点] 以下の各公式をそれぞれ導くと同時に、「いかなる場合に成立するのか (仮定)」もそれぞれ過不足なく正確に述べよ. (例) “理想気体” の “断熱” 過程に限り成立する.
(注意) (1) は, ピストン内に密閉された気体を例示し, その結果を一般化してよい.

$$(1) \quad W_{1 \rightarrow 2} = \int_1^2 p \, dV \qquad (2) \quad T_1 V_1^{\kappa-1} = T_2 V_2^{\kappa-1}$$

- 問 2. [18 点] 任意のサイクル 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} の熱をもらい, 低温熱源に $Q_{LA} (> 0)$ の熱を捨てる間に, \bar{C} に対して W の仕事をなす. 一方, \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} の熱を捨てる. A と C の熱効率をそれぞれ η_A と η_C とする.

(注意) 熱力学第二法則の種々の表現 (Clausius の原理, Kelvin の原理, エントロピー増大則) の正当性はすでに示されているものとする. 解答時に, たとえば, 「Clausius の原理より」と書かずとも, Clausius の原理の「主張 (中身)」を根拠に書いてもよい.

- (1) 目的は η_A の正体に迫ることにある. なぜこのような設定なのか. 300 字程度で述べよ.
(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.
- 問 3. [45 点] 等温膨張過程 $1 \rightarrow 2$, 断熱膨張過程 $2 \rightarrow 3$, 等温圧縮過程 $3 \rightarrow 4$, 断熱圧縮過程 $4 \rightarrow 1$ の 4 つの準静的可逆過程から構成される Carnot サイクルの熱効率 η_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 の比で表現したい. 作動流体に理想気体を用いる.

(注意) (1)(2) の解答順序は問わない. 可逆エントロピーの定義式を天下一的の用いてよい.

- (1) p - V 線図および T - S 線図を描け. ただし, 過程 $1 \rightarrow 2$ および $2 \rightarrow 3$ を表す各線の根拠を「詳細に漏れなく」述べよ. また, 過程 $3 \rightarrow 4$ および $4 \rightarrow 1$ を表す各線の根拠も「簡潔に」述べよ (逆向きゆえに簡潔でよいという意味である).

(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となる数式を導け. 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 η_C を, 次の 2 通りで求めて, 両者の一致を示せ.
(i) p - V 線図を用いて仕事の定積分計算を実行する.
(ii) T - S 線図を用いて熱を求める (幾何学的手法, 積分計算, いずれでもよい).

- 問 4. [25 点] (1) 任意のサイクルに対して成立する次式 (A) を示せ. ただし, 図を描き, 無数のサイクルの考え方から示せ.

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

- (2) 可逆過程のエントロピー S が状態量であることを示すと同時に, dS を定義せよ.
(3) 不可逆過程が断熱的に進むならば, S が増加することを表現する式を導け.

以上