

熱力学I小テスト [1]^{†1}

実施: 2017 月 5 月 2 日 (火) 8:40–9:00 (適宜延長)

- (注 1) 不正行為は厳禁である。発覚次第, 学群・学類で定める罰則が課される。携帯電話は, 電源を切り, ポケットではなくカバンの底にしまうこと。カバンは, チャックをしめて, 机や椅子ではなく床に置くこと。
- (注 2) 日本語での説明中に数式を挿入する形で, 論理的に解答のこと。
- (注 3) 問題文中に書かれていない記号を用いる場合は, 定義を略さずに述べること。
- (注 4) 途中計算や式変形の根拠を省略せずに述べること。
- (注 5) おかれている仮定 (題意) に注意しながら解答のこと。証明不要で用いてよい公式の線引きが不明な場合には, 挙手し質問のこと。
- (注 6) 答案用紙は裏面も使用可。不足時は, 挙手し申し出ること。
- (注 7) 解答時間は, 適宜延長するので, 焦らず丁寧に解答のこと。

問 1. 任意の過程 1→2 を考える。(注意) 準静的過程とは限らない。

(1) [20 点, 答えのみでよい (理由不要)]

熱力学第一法則を表現する数式を, 微分形で (微小変化に対して) 書け。

(2) [10 点] (1) で書き下した数式の各項の意味を, 日本語で簡潔に述べよ。

(注意) 正負に注意せよ。

(3) [50 点] (1) で書き下した数式の両辺を, 熱平衡状態 1 から熱平衡状態 2 まで定積分し, 有限量での形 (有限変化に対する形) へと書き改めよ。さらに, 各記号の意味を簡潔に述べよ。

問 2. [20 点] 解析学 II を再履修中の A 君が, 「2 変数関数 $f(x, y)$ の全微分を書き下せ」という問に対して,

$$df(x, y) = \frac{\partial f}{\partial x} + \frac{\partial f}{\partial y}$$

と誤答した。誤りは右辺に含まれている。なぜ誤りなのかを, 有限量と微小量の観点から, 簡潔に述べよ。

(注意) 全微分 $df(x, y)$ の正しい形を書き下したとしても, 有限量と微小量の観点からの説明がなければ不可である。

問 3. [記入任意] 満点取得者が少ない場合, 満点者の氏名を (名誉の意味で) manaba のコースニュースに掲載する予定ですが, これを望まない方は「望まない」と記載してください。早く終わった人は, 講義に対する感想や疑問点を書いてください。

以上

♣ 連絡事項: アンケートの未提出者は提出のこと (遅延受理する)。

^{†1} 100 点満点で採点し, 総得点中 5 点に換算する。

熱力学I小テスト [2]^{†1}

実施: 2017 月 5 月 9 日 (火) 8:40–9:00 (適宜延長)

(注 1) 説明問題では, 日本語での説明中に数式を挿入する形で, 論理的に解答のこと. 途中計算や式変形の根拠を省略せずに述べること (説明不足, 根拠不足が多い).

(注 2) 以下の問題で, 系の質量を m , 質量ベース気体定数を R , 圧力を p , 容積を V , 絶対温度を T , 内部エネルギーを U , エンタルピーを H , 入熱を Q , 定圧熱容量を C_p とする. 添え字 1 と 2 はそれぞれ熱平衡状態 1 と 2 における量を意味する. これら以外の記号を用いる場合は, 定義を略さずに述べよ.

問 1. [5 点, 答えのみでよい] エンタルピー H の定義式を書け.

問 2. [25 点] 理想気体の質量ベース気体定数 R の次元 (単位) は, $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ である. この理由を, Boyle–Charles の法則 (理想気体の状態方程式) の観点から, 数式を用いて説明せよ.

問 3. 有限の体積からなる系に対して, 任意の過程 $1 \rightarrow 2$ が準静的に進む.

(1) [10 点, 答えのみでよい]

熱力学第一法則を微分形で書け. ただし, 熱以外に非状態量を用いてはならないし, エンタルピーも用いてはならない.

(2) [25 点] 次式を導け.

$$dH = d'Q + Vdp \quad (1)$$

(3) [10 点, 答えのみでよい] 問 3 の問題文の初めに「任意の準静的過程」と述べた. では, 次式が成立するためには, 新たに, どのような条件あるいは仮定が必要か. 日本語で簡潔に述べよ.

$$H_2 = H_1 + Q_{1 \rightarrow 2} \quad (2)$$

(4) [25 点] 系が理想気体であるときに成立する次式を導け.

$$H_2 = H_1 + C_p(T_2 - T_1) \quad (3)$$

問 4. [記入任意] 満点の場合に氏名を manaba のコースニュースに掲載されたく “ない” 方は「×」と書いてください. 早く終わった人は, 講義に対する感想や疑問点を書いてください.

以上

次回小テスト [3] (5/16) 出題範囲

以下の数式を導けるかを主題とする (削減の可能性はゼロではないので, 連絡に注意のこと):

- 仕事の定義から出発して準静的仕事 (2.19) を導けるか
- 状態方程式の種々の表現 (3.7)(3.11)(3.12) を導けるか
- 第一法則を熱容量と比熱の定義と組み合わせて (4.5)–(4.18) を導けるか
- 定圧・定容熱容量や比熱比に関して (4.20)–(4.29) を導けるか
- 理想気体の準静的な等温過程における入熱あるいはする仕事 (5.8) を導けるか

^{†1} 100 点満点で採点し, 総得点中 5 点に換算する.

熱力学I小テスト [3]^{†1}

実施: 2017 月 5 月 16 日 (火) 8:40–9:00 (適宜延長)

(注意 1) [重要] 準静的過程における仕事を与える公式は, 既知として導出せずに用いてよい.

(注意 2) 以下の問題に現れる記号の定義はつぎのとおりである.

- a) 内部エネルギーを U , 系の質量を m , 定容比熱 (定容比熱容量) を c_V , する仕事を W , 圧力を p , 容積を V とする.
- b) 添え字 1 と 2 はそれぞれ熱平衡状態 1 と 2 における量を意味する. 添え字 1→2 は過程 1→2 を意味する.
- c) 必要があれば, 絶対温度に T を, エンタルピーを H を, 入熱に Q を, 質量ベース気体定数に R を, モルベース気体定数に R_0 を, 分子量に M を, 比熱比に κ を, それぞれ断りなく用いてよい.
- d) 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, 記号の定義を更新すれば問題ない.
- e) これら以外の記号を用いる場合は, 定義を略さずに述べること.

問 1. [25 点] 理想気体の準静的過程において成立する次式を導け. (注意) 定容とは限らない.

$$dU = mc_V dT \quad (\text{A})$$

問 2. [25 点] 理想気体の準静的な “等温” 過程においては, 気体が得た熱の全てを, 気体が行う仕事へと変換することが可能である. これを示せ. (注意) 日本語のみは不可.

問 3. [50 点] 理想気体の準静的な等温過程において, 理想気体が行う仕事 $W_{1\rightarrow 2}$ を知りたい. しかしながら, 理想気体の質量も気体定数も温度も不明な状況下におかれている. そのような状況下でも, ある熱平衡状態 1 の圧力 p_1 と容積 V_1 および圧力比 p_1/p_2 さえわかれば,

$$W_{1\rightarrow 2} = p_1 V_1 \ln \left(\frac{p_1}{p_2} \right) \quad (\text{B})$$

と表現することが可能である. 上式 (B) を導け.

(注意 1) 計算途中において, 質量や気体定数や温度を用いてもよいが, 最後の解答に含めてはならない.

(注意 2) 対数関数 $\ln$ の底は Napier 数 $e (= 2.718\dots)$ である.

問 4. [記入任意] 満点の場合に氏名を manaba のコースニュースに掲載されたく “ない” 方は「×」と書いてください. 講義や小テストの感想や疑問点を書いてください.

以上

^{†1} 100 点満点で採点し, 総得点中 5 点に換算する.

熱力学I小テスト [4]^{†1}

実施: 2017 月 5 月 23 日 (火) 8:40–9:00 (適宜延長)

答案の出来が悪い。採点では式変形の根拠を最重視している。思ったように得点できていないと感じている者は、以下の点に特に注意し、答案を取りまとめること。

注意事項 (読んでから解答のこと)

1. 記号の定義はつぎのとおりとする。
 - a) エントロピーを S , 比エントロピーを s , 比内部エネルギーを u , 容積を V , 絶対温度を T , 定容比熱を c_V , 質量ベースの気体定数を R , 入熱を Q , する仕事を W とする。
 - b) 添え字 1 と 2 はそれぞれ熱平衡状態 1 と 2 における量を意味する。添え字 1→2 は過程 1→2 に関する量を意味する。
 - c) これら以外の記号を用いる場合は、定義 (意味) を略さずに述べること。
2. 日本語での説明中に数式を挿入する形で、論理的に解答のこと。途中計算や式変形の根拠を省略しないこと。根拠の不足、乱雑な記述、イージーミスではない致命的な計算ミスからは、大幅に減点する。
3. 準静的過程における仕事を与える公式は、既知として導出せずに用いてよい。また、理想気体の任意の準静的過程において成立する次式も、導出せずに用いてよい。

$$du = c_V dT \quad (A)$$

ただし、“どこで” “どのように” “どの式を” 用いたのかを明記のこと。

問 1. [5 点, 答えのみ書け] エントロピーの定義式を微分形で (微小変化に対して) 書け。

問 2. [5 点, 答えのみ書け] エントロピーの次元 (単位) を書け。

問 3. [20 点] 断熱過程 1→2 において成立する次式 (B) を導け。

$$S_1 = S_2 \quad (B)$$

問 4. [70 点] 理想気体の任意の準静的過程において成立する次式 (C) を導け。

(注意) 比容積ではなく容積 V を用いよ。

$$s_2 - s_1 = c_V \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right) - \ln \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^R \quad (C)$$

問 5. [記入任意] 満点の場合に氏名を manaba のコースニュースに掲載されたく “ない” 方は「×」と書いてください。講義や小テストの感想や疑問点を書いてください。

以上

^{†1} 100 点満点で採点し、総得点中 5 点に換算する。

熱力学I小テスト [5]^{†1}

実施: 2017 月 5 月 30 日 (火) 8:40–9:00 (適宜延長)

注意事項 (読んでから解答のこと)

1. 記号の定義はつぎのとおりとする.
 - a) 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—— 圧力を p , 絶対温度を T , 容積を V , 内部エネルギーを U , 可逆過程のエントロピーを S , 系の質量を m , 定容熱容量を C_V とする. また, 添え字 1 と 2 はそれぞれ熱平衡状態 1 と 2 における量を意味し, 添え字 1→2 は過程 1→2 に関する量を意味する.
 - b) これら以外の記号を用いる場合は, 定義 (意味) を略さずに述べること.
2. 日本語での説明中に数式を挿入する形で, 論理的に解答のこと. 途中計算や式変形の根拠を省略しないこと. 根拠の不足, 乱雑な記述, イージーミスではない致命的な計算ミスからは, 大幅に減点する.
3. 準静的過程における仕事を与える公式は, 既知として導出せずに用いてよい. また, 次式も導出せずに用いてよい.

$$dU = C_V dT \quad (\text{A})$$

ただし, “どこで” “どのように” “どの式を” 用いたのかを明記のこと.

- 問 1. 高温熱源から $Q_H (> 0)$ の熱をもらい, 外界に $W (> 0)$ の仕事をし, 低温熱源へと $Q_L (> 0)$ の熱を捨てるサイクルを考える.
- 1) [5 点, 答えのみ書け] サイクルの p - V 線図を描け.
(注意) 題意は, サイクルの定義を幾何学的に表現できることにある. 厳密な概形である必要はない. 何を描いても, サイクルであれば正答とする.
 - 2) [5 点, 答えのみ書け] 熱効率 η の「定義式」を書け.
 - 3) [15 点] サイクル全体に対して, 熱力学第一法則を立てよ. 根拠も簡潔に述べよ.
 - 4) [15 点] 熱効率 η を入熱 Q_H と放熱 Q_L の比で表現する形に変形せよ.
- 問 2. [20 点, 答えのみ書け] Carnot サイクルの p - V 線図および T - S 線図の概形を描け.
(注意) 精密な図でなくともよいが, 重要な特徴を示すこと.
- 問 3. [40 点] 理想気体の準静的な可逆等温膨張においては, エントロピーが増加する. 数式を用いてこれを示せ.
- 問 4. [記入任意] 満点の場合に氏名を manaba のコースニュースに掲載されたく “ない” 方は「×」と書いてください. 講義や小テストの感想や疑問点を書いてください.

以上

^{†1} 100 点満点で採点し, 総得点中 5 点に換算する.

熱力学I小テスト [6]^{†1}

実施: 2017 月 6 月 6 日 (火) 8:40–9:07 (適宜延長)

注意事項 (読んでから解答のこと)

1. 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—— 圧力を p , 絶対温度を T , 容積を V , 内部エネルギーを U , 可逆過程のエントロピーを S , 定容熱容量を C_V とする. これら以外の記号を用いる場合は, 定義 (意味) を略さずに述べること.
2. 日本語での説明中に数式を挿入する形で, 論理的に解答のこと. 途中計算や式変形の根拠を省略しない. 根拠の不足, 乱雑な記述, イージーミスではない致命的な計算ミスからは, 大幅に減点する.
3. 準静的過程における仕事を与える公式は, 既知として用いてよい. 次式も導出せずに用いてよい.

$$dU = C_V dT \quad (A)$$

ただし, “どこで” “どのように” “どの式を” 用いたのかを明記のこと.

問 1. 熱効率が η で有限の長さから構成されること以外は任意のサイクルを考える. 作動流体 (系) は, 高温熱源から Q_H の熱をもらい, 低温熱源に $Q_L (> 0)$ の熱を捨てる.

- 1) [20 点] 熱力学 I を履修中の A 君が「サイクルなので絶対温度の微小変化はゼロである」と誤答した. A 君の誤答に含まれる致命的な誤りを 100 文字程度で指摘せよ.
- 2) [10 点] A 君が真に述べたかったこと, すなわち, 絶対温度が満たすべき数式を, 理由も含めて書け.
- 3) [17 点] 次式が “任意の” サイクルにおいて成立する “理由” を 100 文字程度で述べよ.

$$\eta = 1 - \frac{Q_L}{Q_H} \quad (B)$$

(注意) 題意は “理由” である. 上式 (B) の導出だけを書いても 0 点である.

問 2. 作動流体に理想気体を用いて, Carnot サイクルを準静的かつ可逆的に作動させる. 理想気体は, 高温熱源から Q_H の熱をもらい, 低温熱源に $Q_L (> 0)$ の熱を捨てる. 高温熱源と低温熱源の絶対温度をそれぞれ T_H と T_L とする. 理想気体のエントロピーの最大値を S_B , 最小値を $S_A (> 0)$ とする.

- 1) [20 点] 断熱膨張過程においては絶対温度が低下する. 数式だけを根拠に, これを示せ.
- 2) [3 点, 答えのみ書け] T - S 線図の概形を描け.
- 3) [10 点] Q_H を温度とエントロピーだけで表現する式を, 幾何学的計算によって求めよ.
- 4) [10 点] Q_L を温度とエントロピーだけで表現する式を, 積分計算によって求めよ.
- 5) [10 点] 次式を導け. (注意) 根拠を丁寧に述べよ. (ヒント) 式 (B).

$$\frac{Q_H}{T_H} = \frac{Q_L}{T_L} \quad (C)$$

問 3. [記入任意] 満点の場合に氏名を manaba のコースニュースに掲載されたく “ない” 方は「×」と書いてください. 講義や小テストの感想や疑問点を書いてください.

^{†1} 100 点満点で採点し, 総得点中 6 点に換算する.

熱力学Ⅰ小テスト [7]^{†1†2}

実施: 2017 月 6 月 13 日 (火) 8:40–9:05 (適宜延長)

注意事項 (読んでから解答のこと)

1. 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—— 圧力を p , 絶対温度を T , 容積を V , 内部エネルギーを U , 可逆過程のエントロピーを S , 定容熱容量を C_V , 入熱の微小量を $d'Q$ とする. これら以外の記号を用いる場合は, 定義 (意味) を略さずに述べること.
2. 日本語での説明中に数式を挿入する形で, 論理的に解答のこと. 途中計算や式変形の根拠を省略しない. 根拠の不足, 乱雑な記述, イージーミスではない致命的な計算ミスからは, 大幅に減点する.
3. 次式を導出せずに用いてよい. ただし, “どこで” “どのように” 用いたのかを明記の上で, この式が, “どのような仮定のもとで” “どのように適用できる” のかに注意のこと.

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

問 1. [30 点] つぎの各命題について, 真偽を答え, その理由も各 50 字程度で述べよ.

(注意) 1 字 1 句に注意せよ.

- (1) 可逆過程が断熱的に進むならば, エントロピーはゼロとなる.
- (2) 熱平衡状態 A の内部エネルギーは, 状態 A に至るまでの経路に依存する.
- (3) 不可逆サイクルに可逆サイクルを含めることは可能である.

問 2. [35 点] 不可逆サイクル $A \rightarrow I \rightarrow B \rightarrow II \rightarrow A$ を, 往路の不可逆過程 $A \rightarrow I \rightarrow B$ と復路の可逆過程 $B \rightarrow II \rightarrow A$ に分割することによって, 次式を導け.

(注意) 可逆過程のエントロピーの定義式は天下りに用いてよい.

$$S_B - S_A > \int_{A \rightarrow I \rightarrow B} \frac{d'Q}{T} \quad (\text{B})$$

問 3. [35 点] 可逆等温サイクルの正味のする仕事はゼロである. これを示せ.

問 4. [記入任意] 満点の場合に氏名を manaba のコースニュースに掲載されたく “ない” 方は「×」と書いてください. 講義や小テストの感想や疑問点を書いてください.

以上

^{†1} 100 点満点で採点し, 総得点中 6 点に換算する.

^{†2} 次回最終回 (6 月 20 日) に実施の小テスト [8] は, 150 点満点で実施し, 総合成績中 9 点に換算する. 50 点分 (換算後は 3 点) のボーナス問題を出題するので, 総合成績は 103 点満点となり, 100 点を超える合格者が出現する可能性がある. ボーナス問題は, 原則部分点なしで採点する. 熱力学の大前提となる数学などの意表を突く出題の可能性が高い. ボーナス問題が出来なかったからといって不利にはならないが, 出来れば有利になる.

熱力学Ⅰ小テスト [7] 追試験^{†1}

実施: 2017 月 6 月 20 日 (火) 17:00–17:20 (適宜延長)

注意事項 (読んでから解答のこと)

1. 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—— 圧力を p , 絶対温度を T , 容積を V , 内部エネルギーを U , 可逆過程のエントロピーを S , 定容熱容量を C_V , 入熱の微小量を $d'Q$ とする. これら以外の記号を用いる場合は, 定義 (意味) を略さずに述べること.
2. 日本語での説明中に数式を挿入する形で, 論理的に解答のこと. 途中計算や式変形の根拠を省略しない. 根拠の不足, 乱雑な記述, イージーミスではない致命的な計算ミスからは, 大幅に減点する.
3. 問 2 の (2) 以外では, 次式を導出せずに用いてよい.

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

ただし, “どこで” “どのように” 用いたのかを明記の上で, この式が, “どのような仮定のもとで” “どのように適用できる” のかに注意のこと.

問 1. [50 点] つぎの各命題について, 真偽を答え, その理由も各 100 字程度で述べよ.

(注意) 1 字 1 句に注意せよ.

- (1) 過程が準静的に進むならば, 圧力の変化はゼロである.
- (2) 理想気体の準静的な可逆定圧過程においては, エンタルピーが減少するならば, エントロピーも減少する.
- (3) 等温環境下において, サイクルが可逆的に進むならば, サイクルの正味のする仕事はゼロである.

問 2. 絶対温度 T_H の高温熱源から Q_H の熱をもらい, 絶対温度 T_L の低温熱源へと Q_L の熱を捨てる不可逆サイクルを考える.

(注 1) 不可逆サイクルの熱効率が, Carnot サイクルの熱効率より小さいことを既知として用いてよい.

(注 2) Carnot サイクルの熱効率を温度で表現する公式を既知として用いてよい.

(1) [15 点] 次式を導け.

$$\frac{Q_H}{T_H} < \frac{Q_L}{T_L} \quad (\text{B})$$

(2) [35 点] 次式を導け.

$$\oint \frac{d'Q}{T} < 0 \quad (\text{C})$$

以上

^{†1} 100 点満点で採点し, 総得点中 6 点に換算する.

熱力学I小テスト [8]^{†1}

実施: 2017 月 6 月 20 日 (火) 8:40–9:07 (適宜延長)

注意事項 (読んでから解答のこと)

1. 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—— 圧力を p , 絶対温度を T , 容積を V , 密度を ρ , 内部エネルギーを U , 可逆過程のエントロピーを S , 定容熱容量を C_V , 入熱の微小量を $d'Q$ とする. 小文字は比状態量を表す. これら以外の記号を用いる場合は, 定義 (意味) を略さずに述べること.
2. 日本語での説明中に数式を挿入する形で, 論理的に解答のこと. 途中計算や式変形の根拠を省略しない. 根拠の不足, 乱雑な記述, イージーミスではない致命的な計算ミスからは, 大幅に減点する.
3. これまでに現れた公式は導出せずに用いてよいが, 適用範囲を逸脱して使わないよう注意のこと.

問 1. 熱力学第二法則の文章による二大表現として,

- Kelvin の原理「自然界に一切の変化を残すことなしに, 単一の熱源から熱を取り出して, それを仕事に利用して動き続ける熱機関を作ることとはできない」
- Clausius の原理「自然界に一切の変化を残すことなしに, 熱を低温物体から高温物体へと継続的に移動させることはできない」

が知られているが, いま, 両原理の正当性が示されていない.

- (1) [20 点] Kelvin の原理と Clausius の原理を, それぞれ, 板書に即して図示し, 50 文字程度で説明を簡潔に添えよ. 熱源と熱機関を必要に応じて用いよ.
- (2) [5 点, 答えのみ書け] エントロピーを用いて, 熱力学第二法則を不等式で表現せよ.
- (3) [40 点] (2) を用いて, Kelvin の原理を示せ.
- (4) [40 点] (3) を用いて, 対偶の考え方にに基づき, Clausius の原理を示せ.
(注意) 図を描け. 論理関係に十分に注意せよ. 否定の否定は何を意味するのか.

問 2. [20 点, ボーナス問題] 準静的な可逆過程において成立する次式を導け. 準静的仕事を既知として用いてよい. (注意) 右辺第二項の式変形に採点の主眼をおく (詳述せよ).

$$du = Tds + \frac{p}{\rho^2}d\rho \quad (\text{A})$$

問 3. [25 点, ボーナス問題] つぎの命題の真偽を答えよ. 真ならば理由の説明を (証明ではない), 偽ならば反例を, 100 字程度で述べよ.

「内部エネルギーが定数値 $\implies$ 理想気体の準静的な等温過程」

問 4. [記入任意] 満点の場合に氏名を manaba のコースニュースに掲載されたく “ない” 方は「×」と書いてください. 講義や小テストの感想や疑問点を書いてください.

以上

^{†1} 150 点満点で採点し, 総得点中 9 点に換算する.

- 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, 時計のみ机上においてよい. 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.

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

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りの用いてよい.

- (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.

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

- (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

熱力学Ⅰ(金川) 第1回小テスト 2015年4月28日 8:40-9:00(目安)

[注意事項]

- 筆記用具以外(携帯電話など不要物の全て)を鞆にしまい、チャックを締め、床に置く。
- 問題文中で与えられていない記号を使う際には、その意味(定義)を述べよ。
- 考え方の筋道や式変形の根拠が略されている答案、非論理的な答案からは減点する。
- 状態量が否か、微小か有限か、これらに気を配ることで、誤答・誤記はゼロに近づく。
- 自身が、ある問題の回答において導いた数式や事項は、他の問題の回答において、証明せずに用いてよい。その際、式番号などを付けて引用すること。

問 題

1. (5点) 一定圧力 p_0 下におかれた系が、容積 V_1 から V_2 まで、準静的に膨張した。このとき、系が外界にする仕事を、積分計算、および、幾何学的手法によって、それぞれ計算し、両結果の一致を示せ。さらに、仕事を表す領域を p - V 線図に図示せよ(概略図でよい)。準静的仕事を与える表式を、既知として利用してよい。
2. (10点) 準静的過程を考える。準静的仕事を既知として利用してよい。
 - (1) 熱力学第一法則を、内部エネルギー U を用いて、微小変化に対して(微分形で)書き下し、各項に簡潔に説明を与えよ。ただし、非状態量は、熱と、微分記号(状態量の微小変化)を除いて、用いてはならない。
 - (2) (1)から出発して、微小変化に対する熱力学第一法則を、内部エネルギー U のかわりに、エンタルピー H を用いる形に変形(導出)せよ。式変形の過程を略さず記せ。熱と微分記号以外に非状態量を用いてはならない。
 - (3) 系が一定圧力下におかれているとき、系のエンタルピーの有限の増加量 ΔH は、外界から系へと入った有限の熱量に等しい。これを示せ。
3. 時間が余った人は、これまでの講義に対する感想や疑問点などを書いてください。疑問点には回答をつけて返却しますし、建設的意見は取り入れる予定です。

[本日(4/28)の講義レジュメ]

- 第2回小テスト(5/12)範囲：講義テキストの§4と§5を範囲とする。当該頁の「練習」と「問題」、とくに、「練習」の全てと、問題11-20(問題21以降を除外)¹を解いておくこと²。manabaで、随時、ヒントを掲示するので、参考にしてください。
- 本日の講義順序: §5.1-5.2 $\Rightarrow$ §4.1-4.3 $\Rightarrow$ §5.3-5.4 $\Rightarrow$ §4.4の予定³
- 次回(5/12)は、これまでの講義テキストの「問題」を解く演習にあてます⁴。関数電卓とこれまでの配布物の全てを持参してください。

¹範囲削減の可能性があるので、その場合は、口頭およびmanabaで連絡いたします(要注意)。

²出題しない問題も、中間試験(テキストの問題を中心に出題)対策となります。

³終わらなければ、次回(5/12)に回す。

⁴おもに、第1回および第2回小テストの範囲外の問題を対象。

熱力学Ⅰ(金川) 第2回小テスト 2015年5月12日 8:40-9:05(目安)

[注意事項]

- 問題文をよく読んでいない答案, 題意に即していない答案が一定数見受けられた. 式変形の一行一行, 文章の一字一句に注意を払う. 前回よりも厳しく採点する.
- 問題文中で与えられていない記号を使う際には, 定義(記号の意味)を述べる.
- 考え方の筋道や式変形の根拠が略された答案, 論理的でない答案からは減点する.
- 自身が, ある問題の回答において導いた数式や事項を, 他の問題の回答において, 証明せずに用いてよい. その際, 式番号などを付けて引用すること.

[問題]

1. (3点) 熱平衡状態1において, 圧力 p_1 で温度 T_1 の理想気体が, 容積 V_1 を占めていた. その後, 過程12を経て, 熱平衡状態2に至った. 圧力は p_2 へ, 温度は T_2 へと, それぞれ変化し, これらの値の取得に成功したが, 容積 V_2 の把握には至っていない. 気体の質量およびモル数が過程12で不変であることはわかっているが, これらの値に関する情報はないどころか, 気体の比熱, 比熱比, 気体定数などといった物性値も不明である. このような, 極めて特殊な状況に対峙したとしても, V_2 を, 現存の情報だけで表現することは可能である. その式を導け. [ヒント] 基本に忠実にしたかう.

2. (3点) 理想気体の状態方程式

$$p = R\rho T \quad (\text{A})$$

から出発して, つぎの2つの表現を導け:

$$pv = RT, \quad pV = mRT \quad (\text{B})$$

ここに, p は圧力, T は絶対温度, V は容積, v は比容積, m は質量, ρ は密度, R は質量ベースの気体定数である.

3. 理想気体の準静的過程を考える. 準静的仕事を既知として(証明せずに)用いてよい.

- (1) (5点) 熱力学第一法則から出発して, 次式を導け. H はエンタルピー, U は内部エネルギー, T は絶対温度, C_P は定圧熱容量, C_V は定容熱容量である.

$$dH = C_P dT \quad (\text{C})$$

$$dU = C_V dT \quad (\text{D})$$

- (2) (4点) 式(C)(D)から出発して, 次式を導け.

$$C_P - C_V = mR \quad (\text{E})$$

ここに, m は質量, R は質量ベースの気体定数である.

[注意] 準静的仕事の公式以外を用いるのならば, 導いてから用いること. もちろん, “法則”は証明できないし, “定義”は定めるものなのだから, 自由に用いてよい.

4. 講義に対する質問(返却時/manabaで回答)や感想などを書いてください.

[注意事項]

- 準静的仕事の公式以外(エンタルピー型の第一法則など)を用いる場合, 必ず導くこと. 公式は, 正しいかどうかを自分の手で確かめて, 初めて, 使うことが許される.
- 記号の誤用が一定数見受けられる. 微分記号 d や差分記号 Δ の同一視など.
- 状態量と非状態量への不理解, 準静的への不理解が, 数式展開に見受けられつつある.
- 考え方の筋道や式変形の根拠が略された答案, 論理的でない答案からは減点. 問題文中で与えられていない記号を使う際には, 定義(記号の意味)を述べる.
- 自身が, ある問題の回答において導いた数式や事項を, 他の問題の回答において, 証明せずに用いてよい. その際, 式番号などを付けて引用すること.

[問題]

1. (5点) 熱平衡状態1から熱平衡状態2に向かう準静的過程12に対して成立する次式を示せ:

$$\frac{Q_{12}}{m} = u_2 - u_1 + \int_1^2 p dv \quad (\text{A})$$

$$\frac{Q_{12}}{m} = h_2 - h_1 - \int_1^2 v dp \quad (\text{B})$$

ここに, p は圧力, v は比容積, u は比内部エネルギー, h は比エンタルピー, m は質量(定数), Q_{12} は過程12のあいだに外界から系へと入る熱である. 添え字1と2は, それぞれ, 状態1と状態2を意味する. ただし, 準静的仕事に限り, 証明せずに用いてよい. エンタルピー型の第一法則は既知ではない.

2. (10点) 系として, 定容比熱 c_V , 質量 m の理想気体を考える. 熱平衡状態1において, 圧力が p_1 , 温度が T_1 であった. 過程12では, 容積を一定値 V_0 に保ちながら, Q_{12} の熱量を準静的に加えた. その結果, 系が熱平衡状態2に至った. 準静的仕事に限り, 証明せずに用いてよい(それ以外の公式を用いる場合, 必ず示して, 正しいことを確かめてから適用せよ).
 - (1) 温度 T_2 を求めよ (T_1, Q_{12}, m, c_V のみで表現せよ). T_1 に比べて, 増加するか減少するかも答えよ.
 - (2) 圧力 p_2 を求めよ (問題文中に与えた記号だけで表現されていれば, 表現法は問わない). p_1 に比べて, 増加するか減少するかも答えよ.
 - (3) p - V 線図に, 過程12の概形を描け(状態1と2も明示せよ).
3. 講義に対する質問(返却時/manabaで回答)や感想などを書いてください.

熱力学 I (金川) 中間試験に向けて 2015 年 5 月 19 日配布

1. 前半の講義の第 2 回小テストまでの平均点: 30 点弱 (35 点満点)
2. 第 3 回小テストの結果: manaba で得点開示および答案返却 (3F305 金川居室)¹
3. 不明点は必ず質問 (来室²あるいはメール) してください.
4. 5 月 26 日 (火) 中間試験の実施要項:
 - 教室: 2 年生は 3A304 室, 3 年生以上は **3A311 (要注意!!!!)** 教室で受験.
 - 集合: **8:35 から問題配布 (時間厳守)**³. 予想回答所要時間は 90 分であるが, 11:25 まですべて回答を許可する. 10:10 頃から回答終了者の退室を許可予定.
 - 出題形式: これまでの小テストと同様. 既知と未知を明示. 持ち込み一切不可.
 - 答案とは: 回答者の思考回路を, 採点者に, 誤解なく伝えるためのものである⁴.
 - 100 点満点で実施 (前半の成績評価では 50 点に圧縮). 配点と内容:
 - (a) 40 点程度: 計 3 回の小テスト範囲から出題 (問題 1 から問題 27 まで)⁵
 - (b) 40 点程度: §6 より出題 (本日の講義内容)
 - (c) 20 点程度: 新出問題⁶
 - 試験後: manaba で個別に得点開示. 単位認定や採点基準などの非生産的な問合せには応じないが, 試験問題の解法や講義内容への疑問など, 次の学習につながる生産的な問合せには (講義終了後でも) 随時歓迎する. 念のため, 小テストや中間試験の得点の不足を補う救済策はありえない⁷.
5. 暗記すべき事項⁸: 「重要数式のまとめ (5/12 配布)」の [数式一覧] の“定義”と“法則”だけである. さらに, 本日の講義内容 (§6) については, 2 点だけでよい:
 - 当該資料の項目 1, 項目 3, 項目 5, 式 (14)⁹, 式 (9)–(11) のうちどれか一本¹⁰
 - 等温過程とは, 温度が一定の過程を意味すること
 - 断熱過程とは, 系と外界の間で熱のやり取りがない過程を意味すること

以上, 極めて少ないので, 暗記ではなく理解に力を注ぐこと. 理解しておれば, 容易に 100 点が取れる出題である逆にいえば, 理解していなければ, どれだけ勉強しても 0 点となる (知識は評価しないからである). つまりは, はじめの苦しいところさえ乗り越えれば, あっという間に楽になるのである.

¹ 今週の早めに, 詳細は manaba で連絡します.

² 水, 木, 月曜日は不在時間帯が多いです.

³ やむない理由で遅刻する場合, 必ず, 事前に, 金川まで連絡すること (遅刻者の受験は認めない).

⁴ 考え方の筋道や式変形の根拠を, 論理的かつ正確に略さず記述する練習を積む. 記号の誤用からは減点.

⁵ まずは, テキストの「練習」を復習すべきである.

⁶ 発想力や応用力を問うものでなければ, 解答が複数にわたるものでもなく, 基本に忠実に (少しの応用だけで) 思考できるかを問うものである.

⁷ 後半の講義および熱力学 II の全ては, 前半の講義内容を前提とし, 多用する意味で, 中間試験の不出来者が復習を怠ると, 単位取得は不可能となる (熱力学 II も含め). 試験後の成績関連の問い合わせは無意味 (時間の無駄ゆえに破棄する) であるので, この 1 週間の間に力を注ぐこと. 再試験や救済レポートなどの措置はありえない (後半の講義も含め). 現時点の低得点者は, 現在の平均点が 30 点/35 点である意味を理解せよ.

⁸ 暗記不要事項: 項目 3 に挙げなかった全ての公式や全ての事項 (暗記型学習を否定するつもりはないので, 公式を覚えたいならば, 覚えて臨んでもよいが, 導出方法も含めて暗記せよ (保険にはなる)).

⁹ 式 (14) の全てを記憶せずとも, 一つだけ理解すれば事足りるだろう.

¹⁰ 出発点にふさわしい式 (9), あるいは, Boyle–Charles の法則の生の形を知っておくことをすすめる.

平成 27 年度熱力学 I 中間試験問題 2015 年 5 月 26 日実施 (出題: 金川)

注意 1 試験時間は 11:25 まで. 10:10 以降に提出可で, この後は一時退室 (原則) 不可.

注意 2 鉛筆 (シャープペンシルおよび替え芯), 消しゴム, 時計, 学生証を机の上におく (関数電卓, 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い, チャックをしめる. 不正行為には学類で定める罰則が課される.

注意 3 回答用紙の全てに要記名. 足りなければ申し出る. 上右端に 1/5, 2/5, ... のように, 計何枚中何枚目かを書く. 回答順は問わない. 裏面を使わないことを推奨 (回答中の参照が困難となるため).

注意 4 既知と書かれた公式を除き, 全ての公式は導いてから用いること.

注意 5 自身が, ある問題の回答において導いた数式や証明済事項は, 他の問題の回答において, 証明を繰り返すことなく自由に用いてよい [問題文中の式 (A)–(H) も用いてよい. 引用の際は, 自身の答案の式番号と, 問題文中の式番号を区別せよ].

注意 6 最後の “答えだけが正しい” ことは, 正答とはみなされない. 考え方の筋道や式変形の根拠を, 論理的かつ正確に略さず記述する. 問題文で与えられていない記号を使う際には, 記号の意味 (定義) を述べる. 記号の誤用からは減点.

問 1 (5 点) 微小変化 (微小量) に対する熱力学第一法則から出発して, 内部エネルギーの有限の変化量を, 有限の熱と有限の仕事を用いて表現する数式を導出せよ.

問 2 (10 点) 準静的な過程 12 において, 系が外界から「される」仕事 W_{12} を表現する式

$$W_{12} = - \int_1^2 p dV \quad (\text{A})$$

を導け (p は圧力, V は容積). ただし, 「される仕事の定義」から出発せよ. 系として, ピストンに詰められた気体を例示して, その結果を式 (A) に対応づけて, 一般化してよい. [注意] する仕事の定義から出発して, 最後に負号を付けた回答は不可. 数式のみも不可 (式変形の根拠に採点の主眼をおく).

問 3 (25 点) 理想気体の準静的過程を考える. 準静的仕事 [式 (A)] を既知としてよい.

1) 熱力学第一法則に基づいて, つぎの 2 式を導け.

$$dU = mc_V dT \quad (\text{B})$$

$$c_P = c_V + R \quad (\text{C})$$

ここに, c_P は定圧比熱, c_V は定容比熱, R は質量ベース気体定数, m は質量, U は内部エネルギー, T は温度である.

2) 式 (B)(C) を利用して, 次式を導け.

$$R d'Q = pc_P dV + Vc_V dp \quad (\text{D})$$

ここに, p は圧力, V は容積, Q は外界から系への入熱である. [ヒント] 全微分.

問4 (45点) 比熱比 κ の理想気体が、熱平衡状態1において、圧力 p_1 、容積 V_1 にあった。つぎの2通りの方法で、容積を V_2 まで、準静的に膨張させることを考える：

(A) 断熱で膨張させる場合、過程12Aを経て、圧力は p_{2A} に、容積は V_2 に至った。

(B) 等温で膨張させる場合、過程12Bを経て、圧力は p_{2B} に、容積は V_2 に至った。

[注意] 準静的仕事 [式 (A)] を既知とする。回答において、問題文に与えられていない記号を定義の上で用いてもよいが、最後の回答に含めてはならない。

1) 一般に、理想気体の準静的な断熱過程においては、 pV^κ が定数となる (p は圧力、 V は容積、 κ は比熱比)。これを、熱力学第一法則に基づいて証明せよ。

2) 題意の断熱膨張12Aにおいて、気体が外界にする準静的仕事は、

$$W_{12A} = \frac{p_1 V_1}{\kappa - 1} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\kappa-1} \right] \quad \text{あるいは} \quad \frac{p_1 V_1}{\kappa - 1} \left[1 - \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{1-\kappa} \right] \quad (\text{E})$$

と与えられる。これを導け [式 (E) の片方だけでよい]。

3) 題意の等温膨張12Bにおいて、気体が外界にする準静的仕事は、

$$W_{12B} = p_1 V_1 \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right) \quad (\text{F})$$

と与えられる。これを導け。

4) 断熱膨張12Aと等温膨張12Bのそれぞれについて、次の量を求めよ。

[注意] 正負がわかるように (受熱か放熱か、内部エネルギーは増減どちらか、がわかるように) 答えよ。記号 W_{12A} と W_{12B} を用いて回答してよい。理由をつけよ。

(4-1) 気体の内部エネルギーの変化 ΔU_{12A} および ΔU_{12B} 。

(4-2) 気体が外界から受け取る熱の量 Q_{12A} および Q_{12B} 。

5) (5-1) 断熱線と等温線の傾きを導出せよ (p , V , κ のみで表現せよ)。 (5-2) $\kappa > 1$ を証明せよ。 (5-3) ひとつの p - V 線図に、断熱過程12Aおよび等温過程12Bの概形を描き、状態と過程の情報 (p_{2A} と p_{2B} の大小関係など) を全て書き込め。 (5-4) W_{12A} と W_{12B} はどちらが大きい。 p - V 線図を用いて、理由を簡潔に述べよ。

問5 (5点) 任意の過程12において成立する次式を導け。

$$H_2 = H_1 + U_2 - U_1 + \int_1^2 V dp + \int_1^2 p dV \quad (\text{G})$$

ここに、 H はエンタルピー、 U は内部エネルギー、 p は圧力、 V は容積、添え字および積分範囲の1と2はそれぞれ状態1と状態2を意味する。

問6 (10点) 理想気体の準静的な過程12において成立する次式を導け。

$$H_2 = H_1 + \frac{\kappa m R}{\kappa - 1} (T_2 - T_1) \quad (\text{H})$$

ここに、 H はエンタルピー、 T は温度、 m は質量、 R は質量ベースの気体定数、 κ は比熱比、添え字1と2はそれぞれ状態1と状態2を意味する。

以上

熱力学 I (金川哲也) 第 1 回小テスト

2016 年 5 月 2 日 8:40–9:05 (目安) 実施

注意事項とヒント

1. 不正行為には学類で定める罰則が課される.
2. 筆記用具と時計以外の全てのものを鞆にしまい, チャックを締め, 鞆を床に置く. 携帯電話は「電源を切り」ポケットではなく鞆にしまう.
3. 答案用紙は 1 枚. 足りなくなった場合は挙手のこと. 2 枚目以降にも記名のこと.
4. 解答時間は, 解答状況に応じて, 延長の可能性がある.
5. 問題文中に与えられていない記号を使う際にはその意味を述べよ. 「記号の定義は講義資料と同じ」では不可. [例] a は振幅である.
6. 考え方の筋道や式変形の根拠が略されている答案, 論理的に書かれていない答案からは減点する.
7. 左辺と右辺が微小か有限かなどに気を配ることで, 誤答・誤記はゼロに近づく.
8. 得点は manaba で開示し, 答案は次回の講義で返却する.

問 1. 熱力学第一法則を, 微小な変化に対して (微分形で) 数式で書き下せ. さらに, 書き下した式の各項の意味を簡潔な日本語で述べよ.

(注意) 式は書くだけでよい (根拠は不要).

問 2. 問 1 で書き下した式を, 熱平衡状態 1 から熱平衡状態 2 まで定積分して, 有限の変化に対する熱力学第一法則を与える式を導け.

(注意) 式変形の過程と根拠を略さず記せ.

問 3. 微小な仕事の定義から出発して, 準静的過程において, 系が外界にする微小な仕事 $d'W$ を与える式

$$d'W = p dV \quad (\text{A})$$

を導け. ここに, p は系の圧力, V は系の容積である.

(注意) 式変形の根拠, とくに, 各等号の意味を略さず述べよ. 日本語での説明が困難な場合, 必要に応じて図示するとよい.

問 4. これまでの講義に対する感想や疑問点などを書いてください. 疑問点には manaba/返却答案で回答し, 建設的意見は取り入れる予定です.

熱力学I 第3回講義レジュメ (5/2/2016)

1. 本日の講義: 前回未解説の §2.5, 2.7, 2.8 からはじめ (2.6 は省略), 理想気体に関する §3 を講述. 問題演習のための道具がある程度整いつつあるので, 演習も行う (2 限). これまでの全資料は次回以降の講義にも持参してください.
2. 第2回小テスト [5/10 (火) 8:40] 範囲: 講義資料の pp. 44–66 (§2.5 から §3.5 まで) から出題する. とくに, 以下の問題を解いておくことをすすめる^{†1†2}.
問題 5, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 18, 19
3. 「熱力学に関するアンケート」の疑問点の一部 (講義内で回答予定)^{†3}
 - 1) 車などのエンジンを作るのに必要不可欠ではないかと思う。私は建築士になりたくて環境開発工学を選んだが、正直建築で熱力学を使うことはないと思うが、もし使う場面があったら教えてほしい
 - 2) エンジンから効果的にエネルギーを得るためにどうしたらよいかということを考える時には熱力学を利用するのだと思う。ただ、私は……に興味があり、材料学を学びたく環境開発主専攻を選択したため、今のところ関連付けられないでいる。
 - 3) エンジン開発などに役立つと思います。(私自身エネルギーには特に興味ありませんが。)
 - 4) 物理で数学の力が必要になることに非常に抵抗感があります。単に偏微分をすればいいのならまだ大丈夫かもしれませんが、数式を解くのにアイデアやひらめきが必要になるのならば、解ける気がしません。実際のところはどのようなのでしょうか。物理の問題を解くには、どんな力が必要ですか。
 - 5) 非状態量を明示する、 d' ですが今後 (3 年次や大学院) でも使うのですか? また、大学の熱力学を学ぶ上で、特に注意すべき点は何でしょうか?
 - 6) 個人的には断熱変化でポアソンの公式を使うことに疑問を感じていました。あれは経験則なののでしょうか…
 - 7) 高校の知識があまり役に立たない、ということが講義をうけて一番強く思いました。もちろん微分や積分といった概念が入るため、高校とは当然違うのですが、覚えていくだけのものとは違うなというのが感想です。高校での知識は忘れるとまでは言わずとも、完全に別物と考えるべきでしょうか?
 - 8) 2 回目の授業では、微分に関して今まで習ってこなかった定義が出てきて混乱した。微分のところは釈然としない部分があるが、現段階では受け入れるしかないところもあるのだろうか。
 - 9) 自分が1 年次で学んできた力学の解釈違ったらアレですが、大学の物理は高校の物理と比べるとより位置 x を重要視している感がつよいです。なんとなくですが、高校物理は物体に働く力を見つけ出すって感じがして大学の物理は位置 x で力を記述するって感じがしました。

^{†1} §2.4 までの理解, 問題の解き方以前の基礎事項への理解を前提として出題する. いきなり問題に取り組んで, 解答を暗記して1 回の小テスト (配点 9 点) を乗り切っても, 結局は中間試験 (配点 70 点) において失敗する.

^{†2} 資料内記載の問題については, manaba で, 随時, ヒントや解答を掲示予定です.

^{†3} あくまで代表的な疑問点の抜粋です. 追って, manaba 上で各自に回答し, アンケート点 3 点を与えます.

熱力学 I (金川哲也) 第 2 回小テスト

2016 年 5 月 10 日 8:40–9:00 (目安) 実施

[注意] 答案用紙が足りない場合は挙手のこと。日本語での説明の中に数式を挿入する形で論述のこと (考え方の筋道や式変形の根拠がわかるように論理的に書く)。問題文中に与えられていない記号を使う際には、その意味 (定義) を述べよ。「記号の定義は講義資料と同じ」は不可 (抜け落ちの答案が多かった)。

問 1. [5 点] 熱平衡状態 1 から熱平衡状態 2 へと至る準静的過程 12 を考える。準静的過程における仕事を与える公式は証明せずに既知として用いてよい。

(1) 内部エネルギー U の保存法則を意味する方程式を微分形で書き下せ (書くだけでよい。 U 以外の各記号の意味 (定義) を略さずに記すこと)。

(2) (1) から内部エネルギー U を消去し、エンタルピー H の保存を意味する方程式に変形せよ。

[注意] 式変形の過程を略さないこと。エンタルピーは天下りに定義式を書いてよい。

(3) 準静的過程 12 の間に外界から系に入る有限の熱量 Q_{12} を、状態量の有限の変化量だけで表現したい。(i) 圧力が一定の場合、(ii) 容積が一定の場合、それぞれにおいて、 Q_{12} はどのように数式表現されるか (根拠も記せ)。

問 2. [4 点] Boyle–Charles の法則にしたがう気体を考える。

(1) 状態方程式の数式表現は無数にあるが、その 1 つとして、容積と質量を用いて書き下せ (書くだけでよい)。容積と質量以外は何を用いてもよい。

(2) (1) に含まれる「質量ベースの気体定数」の次元 (単位) が $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ であることを、次元の観点から説明せよ。その際に、(1) の各記号の意味と次元も併せて記せ。

(3) (1) を、密度を用いた表現に書き換えよ (計算過程も述べよ)。

問 3. これまでの講義に対する感想や疑問点があれば書いてください (任意)。疑問点には manaba あるいは返却答案で回答し、建設的意見は取り入れる予定です^{†1}。

熱力学 I 第 4 回講義レジュメ (5/10/2016)

1. 本日の講義: 熱容量と比熱に関する §4 を講述し、時間があれば §5.1 の等温過程まで解説。熱力学 II の最後まで見通しても、問題演習のための道具や概念のほぼ全てが §4 までで揃ってしまうことが特徴かつ重要である。本日配布の「重要数式のまとめ」を眺めて、これまでの知識を整理してほしい。

2. 第 3 回小テスト範囲 [5/17 (火) 8:40 開始]: 講義資料の pp. 67–84 (§4 から §5.1 の終わりまで) から出題する。とくに、以下の問題を解いておくことをすすめる^{†2†3}。

問題 19 から 26 まで、問題 33、問題 34

3. 4 月 28 日締切であったアンケートの未提出者は提出してください。

4. manaba の掲示板やコースニュースに、疑問点に対する回答やコメントを随時掲載していますので、適宜、ご参考ください。

^{†1} 記入は任意で、得点などにも一切影響しません。次の意図で毎回課しています: (i) 受講者の不理解点の把握と講義改善, (ii) 講義内容を数行で要約する練習。

^{†2} そのまま出るとは限らない。また、§3 までの理解、問題の解き方以前の基礎事項への理解を前提として出題する。

^{†3} 資料記載の問題の一部には、計算問題 (公式に数字を代入する問題) も含まれるが、小テストや中間試験では計算問題は出題しない。また、小テストの出題においては、**基礎 (公式の導出)** を最重視する。

熱力学 I (金川哲也) 第 3 回小テスト

2016 年 5 月 17 日 8:40–9:05 (目安) 実施

答案用紙が足りない場合は挙手のこと。日本語での説明の中に数式を挿入する形で論述のこと (考え方の筋道や式変形の根拠がわかるように論理的に書く)。問題文中に与えられていない記号を使う際には、その意味 (定義) を述べよ。「記号の定義は講義資料と同じ」は不可 (抜け落ちの答案が多かった)。有限と微小, 状態量と非状態量, 符号に関する誤記が多い。

問 1. 理想気体の準静的過程において成立する諸式の成立を 1 つ 1 つ確かめたい。

(注意 1) 準静的過程における仕事を与える公式に限り, 既知として証明なしで用いてよい。それ以外の公式を用いる際には必ず導いてから用いること (住み分けが不明な公式があれば挙手のこと)。

(注意 2) 以下の記号のうち, u は比内部エネルギー, h は比エンタルピー, c_V は定容比熱, c_P は定圧比熱, T は絶対温度, R は質量ベースの気体定数, R_0 はモルベースの気体定数 (一般気体定数), κ は比熱比 (無次元), M は分子量である。

(1) [4.5 点] 熱力学第一法則に基づいて, 次式をそれぞれ導け。

$$du = c_V dT \quad (A)$$

$$dh = c_P dT \quad (B)$$

(2) [2 点] 式 (A)(B) を利用して, 次式を導け。

$$c_P - c_V = R \quad (C)$$

(3) [2.5 点] 式 (C) を利用して, 次式を導け。いかにして M を導入するのかを略さないこと。

$$c_P = \frac{\kappa R_0}{(\kappa - 1)M} \quad (D)$$

問 2. これまでの講義に対する感想や疑問点があれば書いてください。疑問点には manaba あるいは返却答案で回答し, 建設的意見は取り入れる予定です。

熱力学 I 中間試験 (5/24) の実施要項 (5/17/2016 配布)

1. 5月24日(火) 中間試験の実施要項:

- 集合: **9:00** に問題配布 (遅刻厳禁)^{†1}. 予想所要時間は 100 分であるが, 11:25 まで解答可能.
- これまでの小テストで未出題の §5 (等温過程と断熱過程), すなわち, §1-§4 までで整備した道具を使いこなす単元を重視する. §5 からは 100 点満点中 40 点前後を出題予定である^{†2}.

2. 学習の指針と出題内容 (すでに問題は作成済であって, その上で参考事項を記す):

- 1) 予想問題として, 昨年度の中間試験 (初回配布資料) を解いておくことが望ましい. 昨年度と本年度の講義内容はほぼ同じであるがゆえに, 必然的に出題内容 (教員が受講者に期待する到達度) も似通うはずだからである. しかしながら, 全く同じ問題は出ない^{†3}.
- 2) 講義資料は 96 ページもの厚さである. 一夜漬けは無理である^{†4}.
- 3) 出題形式はこれまでの小テストと似ているが, 誘導は少なく, 採点基準も厳しくなる. 中間試験は, その名のとおり, 総合的な到達度を測る目的も含むので, 見たことのない出題も想定すべきである^{†5†6}. しかしながら, 講義資料は逸脱しない.
- 4) 数式の導き方や問題の解法を単に丸暗記しても高得点は望めないだろう. 思考力 (理解度) も問うからである. 問題は, 決して難しくはないが, 容易にかつ瞬時に解答できる問題は少ない.
- 5) 既知 (使ってよいもの) と未知 (示すべきもの) を問題文で明示するので, 「これこれは証明なしに使ってよいのか」などに気を配る必要はない.
- 6) 個別の知識よりも, 流れを理解しておくこと. 闇雲に公式を全て暗記するのではなく, これこれはその場で導く, これこれらは暗記するなど, 知識の要不要を整理しておくこと. 準静的や理想気体などといった仮定と各公式の適用範囲を整理しておくこと^{†7}.
- 7) 計算問題は出題しない. 電卓含め持ち込みは一切不可である.
- 8) 答案とは, 解答者の思考回路を, 採点者に誤解なく一意に伝えるためのものである^{†8}. 採点者には解答者の頭の中は採点できない. 答案用紙の記述が全てであることを強調しておく^{†9}.
- 9) 暗記すべき事項^{†10}: 「重要数式のまとめ (5/10 配布)」の [数式一覧] の “定義” と “法則” だけである. さらに, それを活かす §5 については, 以下のたった 2 点だけでよい:
 - 等温過程とは, 温度が一定の過程を意味すること
 - 断熱過程とは, 系と外界の間で熱のやり取りがない過程を意味することしたがって, 暗記ではなく理解に力を注ぐこと. 理解しておれば容易に 100 点が取れる^{†11}.

3. 第 3 回小テスト結果: manaba で得点开示 (要チェック) の後, 添削答案を返却します^{†12}.

^{†1} 正当な理由で欠席あるいは遅刻する場合は, 必ず, 試験開始時刻以前に, 金川まで電子メールにて連絡すること (kanagawa[at]kz.tsukuba.ac.jp).

^{†2} §4 までで整備した道具への理解が大前提となる.

^{†3} あくまで予想問題や演習でしかない.

^{†4} 幸いにも, 一夜漬けで高得点を修めたとしても, 期末試験や熱力学 II やさらにその先に活かせないだろう.

^{†5} 小テストは, その場で考えさせる出題ではなく, 復習した内容を, そのまま単に答案用紙に書き下すことを目的とする出題であった.

^{†6} 事実, 例年, 小テストはできているが, 中間試験や期末試験が不出来となる例は少なくない.

^{†7} 意味もわからず, 何でもかんでも「準静的」とか「理想気体」とか前置きすればよいというものではない. 概念を理解せずに, 仮定を列挙することだけで満足しているように見受けられる答案が一定数ある.

^{†8} 考え方の筋道や式変形の根拠を, 論理的かつ正確に略さず書き下す練習を積む.

^{†9} これを理解しておらず, 独りよがりな答案が一定数見受けられる.

^{†10} 暗記不要事項: 項目 3 に挙げなかった全ての公式や全ての事項 (暗記型学習を否定するつもりはないので, 公式を覚えたいならば, 覚えて臨んでもよいが, 導出方法も含めて暗記せよ (保険にはなる)).

^{†11} 逆にいえば, 理解していなければ, どれだけ勉強しても 0 点となる (知識は評価しないからである). つまりは, はじめの苦しいところさえ乗り越えれば, あっという間に楽になるのである.

^{†12} 詳細は manaba で連絡し, 今週の早期に返却する予定です. 減点の理由などを説明するので, 単に得点を知ることだけで満足せず, 答案は必ず受け取りにくることをすすめます. また, 不明点は必ず質問 (来室あるいはメール) してください (5月23日(月)は不在).

注意事項(よく読んだ上で解答を始めること)

1. 鉛筆(シャープペンシルおよび替え芯), 消しゴム, 時計, 学生証のみ机上におく(関数電卓, 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こと. 鞆のチャックをしめて床におくこと. 不正行為には学類で定める罰則が課される.
2. 答案用紙5枚全てに要記名. 足りなければ申し出る. 使わなかった答案用紙も提出のこと. 用紙右上に1/5, 2/5, ... のように計何枚中何枚目かを明記のこと.
3. 最後の“答えだけが正しい”ことは, 正答とはみなされない. 考え方の筋道や式変形の根拠を, 論理的かつ正確に略さず記述する. 記号の誤用からは減点する.
4. “準静的過程における仕事”を与える公式に限り, 証明せずに用いてよい. それ以外は, 既知と書かれた公式を除き, 全てを導いてから用いること. 導出や証明を省略した場合は大幅に減点する.
5. 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, 証明を繰り返すことなく自由に用いてよい. 独立採点とするので, 問題文中の数式も用いてよいが, 引用の際は, 答案の式番号と問題文中の式番号を区別のこと.
6. 記号と添え字の定義は以下のとおりとする(これら以外にも, 各設問において定義される記号もあるので注意のこと):
 - (1) p は圧力, T は絶対温度, V は容積, v は比容積, U は内部エネルギー, u は比内部エネルギー, H はエンタルピー, h は比エンタルピー, ρ は密度, C_P は定圧熱容量, C_V は定容熱容量, R は質量ベース気体定数, κ は比熱比, m は質量(定数)である.
 - (2) 添え字および積分範囲の1と2はそれぞれ熱平衡状態1と熱平衡状態2を意味する.
 - (3) 対数関数 $\ln$ の底は e とする. これら以外の記号を用いる場合には定義を記せ.

問1 [8点] 熱平衡状態1から熱平衡状態2へと至る任意の過程12において成立する次式を導け.

$$h_2 = h_1 + u_2 - u_1 + \int_1^2 \frac{dp}{\rho} - \int_1^2 \frac{p}{\rho^2} d\rho \quad (\text{A})$$

(注意) 右辺第4項および第5項を導くための定積分の計算過程に採点の主眼をおく. 詳述されていなければ不可とする.

問2 [10点] 容積を V_0 で保ったまま, 熱平衡状態1から熱平衡状態2まで準静的に Q_{12} の熱を受け取るときに成立する次式を導け.

$$V_0(p_2 - p_1) = m(h_2 - h_1) - Q_{12} \quad (\text{B})$$

(注意) 準静的仕事以外の公式を導出なしに用いてはならない.

問3 [12点] 理想気体の準静的過程に対して成立する次式を導け.

$$C_P - C_V = mR \quad (\text{C})$$

(注意) 準静的仕事以外の公式を導出なしに用いてはならない.

問4 [12点] 理想気体の準静的な断熱過程12において成立する次式を導け。

$$p_1 V_1^\kappa = p_2 V_2^\kappa \quad (\text{D})$$

(注意) 準静的仕事以外の公式を導出なしに用いてはならない。

問5 [58点] 熱平衡状態1において、理想気体が圧力 p_A 、容積 V_A にあるとする。つぎの3通りの過程を、順次、準静的に行う。ただし、 $V_B - V_A = V_C - V_B$ であるとし、比熱比 κ の情報は判明しているものの、質量や比熱や気体定数などの情報が不明な状況下におかれている。

[過程12] 温度を一定に保ちながら、容積を V_B まで膨張させると、圧力は p_B となり、熱平衡状態2に至った。

[過程23] 容積を一定に保ちながら、圧力を p_B から p_A に戻すと、熱平衡状態3に至った。

[過程34] 外界と理想気体の間を断熱に保ちながら、容積を V_C まで膨張させると、圧力は p_C となり、熱平衡状態4に至った。

注意1) 途中計算において、問題文に与えられていない記号を定義の上で用いてもよいが、最後の解答に含めてはならない。

注意2) 正負がわかるように(受熱か放熱か、内部エネルギーは増減どちらか、仕事をするかされるかがわかるように)答えよ。

注意3) 準静的仕事以外の公式を導出なしに用いてはならない。

注意4) 小問の解答順は問わない。たとえば、(7)から解答してもよい。

(1) 状態2の温度と状態3の温度はどちらが高いか。その根拠も数式だけに基づいて述べよ。

(2) 過程12について、熱、仕事、内部エネルギーの変化をそれぞれ求めよ。それぞれの正負と、正負判定の根拠も答えよ(数式だけに基づいて根拠を述べよ)。

(注意) p_A, p_B, V_A 以外を解答に含めてはならない。

(3) 過程23について、熱、仕事、内部エネルギーの変化をそれぞれ求めよ。それぞれの正負と、正負判定の根拠も答えよ(数式だけに基づいて根拠を述べよ)。

(注意) p_A, p_B, V_B, κ 以外を解答に含めてはならない。

(4) 過程34について、熱、仕事、内部エネルギーの変化をそれぞれ求めよ。それぞれの正負と、正負判定の根拠も答えよ(数式だけに基づいて根拠を述べよ)。

(注意) p_A, p_C, V_B, κ 以外を解答に含めてはならない。

(5) 膨張12の傾きと膨張34の傾きの大小を比較したい。「この目的を達成可能な形で」両膨張の傾きを導き、大小を比較せよ(根拠も詳細に述べよ)。

(6) p_B と p_C はどちらが高いか。根拠も含めて答えよ。

(7) 状態1から状態4に至るまでの p - V 線図を描き、図中に各状態と各過程を明示せよ。精密な図でなくともよいが、各状態量の大小関係などに矛盾があれば不可とする。

(8) 以上の結果を踏まえて、工業への応用を目指す観点において、等温膨張よりも断熱膨張の方が有効といえる理由を100字前後で論ぜよ(式や図を含めてもよい)。

(注意) 直観や一般常識は要求していない。(1)–(7)の計算結果に基づいた根拠付けがなされていない場合は不可である。

以上