

採点基準

I-1. 1- 3点, 2 - 4点

I-2. 1- 4点, 2 - 3点

I-4. 7点

以上、21点満点とし、以下の4段階

A - 17点以上

B - 12~16点

C - それ以下

D - 未提出、白紙

で評価しました。

基本的に皆よく考え、丁寧に計算しているなという印象を受けました。以下に各設問の細かい採点基準、別解等を挙げます。

I-2 断熱曲線の導出

1. 関係式

$$-P_{k+1}V_{k+1} - P_{k+1}V_k = cP_{k+1}V_{k+1} - cP_kV_k \quad (1)$$

が書かれていること、また

$$\frac{P_k}{P_{k+1}} - 1 = \gamma \left( \frac{V_{k+1}}{V_k} - 1 \right), \quad k = 0 \sim n-1 \quad (2)$$

にたどり着けているかを見ました。ほぼ全員できていました。

2. 区分求積法の適用条件として、 $n \rightarrow \infty$ で $\Delta P_k \rightarrow 0$ ,  $\Delta V_k \rightarrow 0$ となることの記述がないものは減点しました。これは、 $\Delta P_k = P_{k+1} - P_k$ ,  $\Delta V_k = V_{k+1} - V_k$ とおき、(2)の両辺を $k$ について0から $n-1$ まで和をとったときに

$$\lim_{\Delta P_k \rightarrow 0} \sum_{k=0}^{n-1} \frac{\Delta P_k}{P_{k+1}} = -\gamma \lim_{\Delta V_k \rightarrow 0} \sum_{k=0}^{n-1} \frac{\Delta V_k}{V_k} \quad (3)$$

と書くべきところを

$$\lim_{\Delta x_k \rightarrow 0} \sum_{k=0}^{n-1} \frac{\Delta P_k}{P_{k+1}} = -\gamma \lim_{\Delta x_k \rightarrow 0} \sum_{k=0}^{n-1} \frac{\Delta V_k}{V_k} \quad (\text{wrong!}) \quad (4)$$

や

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{k=0}^{n-1} \frac{\Delta P_k}{P_{k+1}} = -\gamma \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{k=0}^{n-1} \frac{\Delta V_k}{V_k} \quad (\text{wrong!}) \quad (5)$$

と書く人が多くいたからです。この人たちが区分求積法を正確に理解しているかが不安であったため、少し厳しく判定しました。最終的な式

$$\frac{P_f}{P_i} = \left( \frac{V_f^{(\infty)}}{V_i} \right)^{-\gamma} \quad (6)$$

にはほぼ全員がたどり着けていたようです。

### I-3 準静的でない断熱過程と断熱準静的過程の比較

1. (6) 式を

$$V_f^{(\infty)} = \left( \frac{P_f}{P_i} \right)^{-\frac{1}{\gamma}} V_i = \left( \frac{P_i}{P_f} \right)^{\frac{1}{\gamma}} V_i \quad (7)$$

と変形できない人が多くいました。ベキ乗の操作に慣れていないのでしょうか？

$$V_f^{(\infty)} = \left( \frac{P_f}{P_i} \right)^{\gamma} V_i \quad (\text{wrong!}) \quad (8)$$

としてしまう人が多かったです。最終的な答えは合いますがもちろん減点です。

また、 $0 < \alpha < 1$ ,  $x > 1$  のとき  $\alpha(x-1) + 1 - x^\alpha > 0$  となることを証明していない人は減点しました。問題文ではこれを「示して」使えと書いてあるからです。

証明の際、 $x^\alpha$  の微分を間違えて  $x^\alpha \log \alpha$  としてしまう人が少なからずいました。 $\alpha^x$  と間違えたのだと思います。減点です。

2. ボイル・シャルルの法則を用いる場合、圧力が等しいことを記述していないものは減点しました。内部エネルギーから考察してくれた方もたくさんいました。良い方法だと思います。

### I-4 準静的でない断熱過程 2

基本的に

$$V_f - V_i > 0 \quad (9)$$

または

$$\frac{V_f}{V_i} > 1 \quad (10)$$

を示していれば○です。皆さんそれぞれの方法で計算をしてくださいました。相加相乗平均を使って解いた人がかなり多くいた印象です。

温度の大小関係を書くのを忘れていた人がいました。ご愁傷様です。2点減点。

上記の方法はどの計算をとっても煩雑で、式変形が面倒になります。もっとすっきりした解答を作ってくれた方が何人かいましたので紹介します。

## 別解

$V_i \geq V_f$  と仮定する。

始状態  $(P_i, V_i, T_i)$  から中間状態  $(P_m, V_m, T_m)$  になるまでに系が外部からされた仕事は

$$W_{ex}^{i \rightarrow m} = -P_a(V_m - V_i) \quad (11)$$

中間状態から終状態  $(P_f, V_f, T_f)$  になるまでに系が外部からされた仕事は

$$W_{ex}^{m \rightarrow f} = -(P_a + \frac{Mg}{S})(V_f - V_m) \quad (12)$$

である。よって始状態から終状態になるまでに系が外部からされた仕事の合計は

$$\begin{aligned} W_{ex} &= W_{ex}^{i \rightarrow m} + W_{ex}^{m \rightarrow f} = -P_a(V_m - V_i) - (P_a + \frac{Mg}{S})(V_f - V_m) \\ &= P_a(V_i - V_f) + \frac{Mg}{S}(V_m - V_f) \end{aligned} \quad (13)$$

となる。 $V_m > V_f$ 、および仮定から  $W_{ex} > 0$  である。

一方、始状態から中間状態になるまでの系の内部エネルギーの変化は

$$\Delta U_{i \rightarrow m} = cP_m V_m - cP_i V_i \quad (14)$$

中間状態から終状態になるまでの系の内部エネルギーの変化は

$$\Delta U_{m \rightarrow f} = cP_f V_f - cP_m V_m \quad (15)$$

である。よって始状態から終状態になるまでの系の内部エネルギーの変化は

$$\Delta U = \Delta U_{i \rightarrow m} + \Delta U_{m \rightarrow f} = cP_f V_f - cP_i V_i = cP_i(V_f - V_i) \quad (16)$$

となる。仮定から、 $\Delta U \leq 0$  となる。断熱仮定であるので、 $\Delta U = W_{ex}$  が成り立ち、 $W_{ex} \leq 0$  となる。これは  $W_{ex} > 0$  と矛盾する。ゆえに  $V_f > V_i$  となる。

また、 $\Delta U > 0$  より  $\Delta U = cNR(T_f - T_i) > 0 \rightarrow T_f > T_i$  となる。(圧力が等しいことを述べた上でボイル・シャルルの法則を用いても良い)

## I-5 講義に対する要望、苦情、意見

講義に対する要望、苦情、意見を簡単にまとめました。

良しとする意見

- 授業のはじめにその日何をやるのか、終わりにその日何をやったかを示してくれるので授業が受けやすい。
- 図を使ってくれるのでわかりやすい。
- 授業の最初に行う復習はぜひ続けてほしい。
- 板書がまとまっているので復習しやすい。
- 説明が丁寧でわかりやすく、進度も適切

苦情・要望

- 声が聞こえないことがある。
- 添字が見にくいことがある。もう少し字を大きく書いてほしい。
- 黒板の字をもう少し濃く書いてほしい。
- 板書の量がやや多く、新しい知識を咀嚼し身につける時間が講義中十分にならないため、講義の後半は板書を写し取るので精一杯になってしまう。ある程度板書量を減らして口頭での説明を増やせば理解が進度に追いつくのではないかと思う。
- 現実離れした話が続くので興味を持って学べない。具体例、応用例があるとイメージしやすくなると思う。
- できればプリントなど配ってもらえると良い。
- 1度だけ、授業中に休憩を3分間取ったことがありました。その時間にノート整理、頭の整理ができ、大変良い時間だと思ったので、できれば授業中に数分の休憩を入れてほしいです。
- まだ物理で微積分を使うのに慣れていない。数学的な式変形の説明にもう少し時間をかけてほしい。

参考書に関して

- 「フェルミ熱力学」を読み進めていくと偏微分が出てきて理解できなくなった。
- 推薦参考書が難しそうで手を出しにくい。
- 演習ができるような問題集や参考書があったら教えてほしい

感想、その他

- 熱力学という学問そのものが抽象的なため、現実に即して直感的にイメージすることが難しく、取っ付きにくい。
- 物理ではなく数学をやっているような気がしてくる。
- レポートの書き方がよくわからなかった。式変形が難しかった。

## レポートの書き方について

大学生になって、これからレポートを書くことも多くなると思います。レポートの基本的な書き方をここで述べておきます。こうしなければいけない、ということではありませんが、参考までにどうぞ。

- A4サイズのレポート用紙を使いましょう。  
理系に進むにあたってBサイズの内紙を使うことはほぼありません。今のうちからAサイズの用紙を使うようにしましょう。
- 用紙は縦に使い、左上をホチキスで留めましょう。
- 表紙をつけましょう。  
表紙は凝ったものである必要はなく、中身と同じ大きさの紙を用い、以下の事柄を書く必要があります。
  - \* レポートのタイトル（今回の場合は『熱力学第一回レポート』などとすれば良い。正式な論文等ではタイトルを見ただけで内容がわかるようにすることが望ましい。）
  - \* 担当の先生の名前（礼儀として）
  - \* 自分の所属、番号、名前
  - \* 共同研究者の名前（参考文献や議論した相手の名前などはレポートの最後に書いてもよい。）
  - \* レポートの提出日（実験レポートなどでは実験日および実験した日の天気、気温または室温、湿度、気圧等の実験条件を書いておくと良い。）
- ペンで書きましょう。  
今回圧倒的に多かったのが鉛筆書きのレポートです。鉛筆は自分が間違えたところを簡単に直すことができますが、人によって濃い薄い、消し後が目立って見にくい、等の問題があります。また、消しかすで汚れてしまったレポートは採点官の心象を悪くします。さらに、鉛筆書きは他者が改ざんすることもできます。消せるボールペン等の使用もさけた方が良いでしょう。また、採点の色と混じってしまうので赤ペンは使用不可です。  
TeX等のソフトを使える人はそれで書いてみると良いでしょう。TeXは論文執筆には欠かせないツールです。今のうちから慣れておくのは良いことです。今回も2,3名いました。
- 必ずコピーを取っておくこと。  
レポートは返されるとは限りません。また、万が一、出したのに評価されていないなどの問題が生じた場合、出した出さないの水掛け論を防ぐため、コピーを提示する等の対処が可能になります。