

2017（平成29）年度

大阪大学医学部医学科

学士編入学試験問題

【物 理 学】

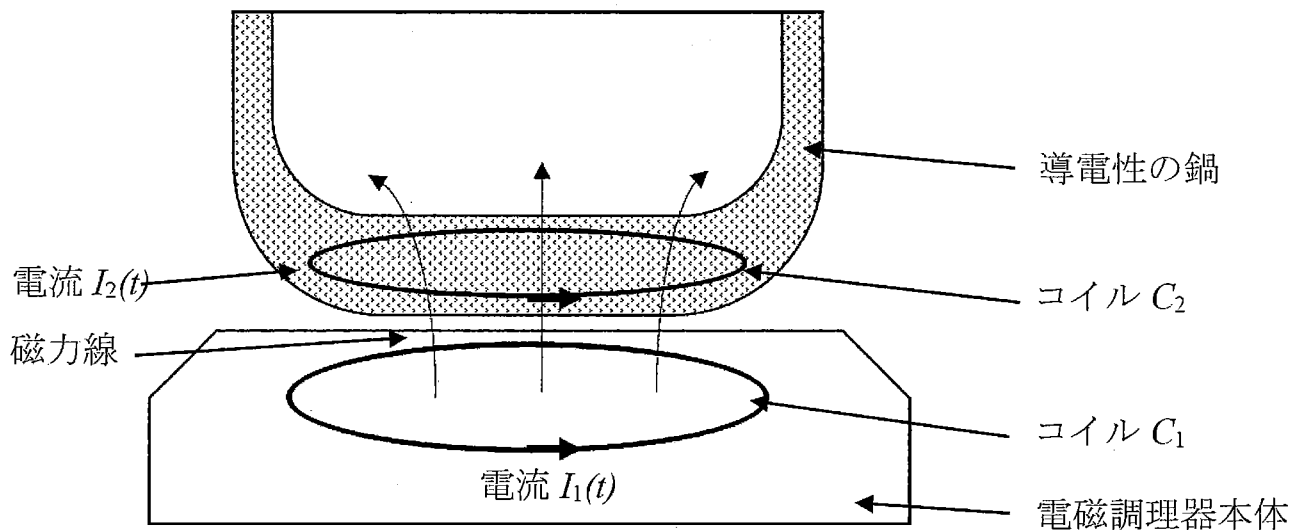
問 題 冊 子

（注 意）

- 1 問題冊子及び解答用紙は、試験開始の合図があるまで開いてはいけない。
- 2 受験番号は、解答冊子の表紙及び各解答用紙の受験番号欄に左詰めで、正確に記入すること。
- 3 問題冊子は、表紙を除き5枚ある。ただし、1枚目、5枚目は白紙である。
- 4 問題冊子又は解答用紙の落丁、印刷の不鮮明等がある場合は、解答前に申し出ること。
- 5 解答は、解答用紙の指定されたところに記入すること。枠からはみ出してはいけない。問題冊子に解答を書いても採点されません。
- 6 問題冊子の余白は、適宜下書きに使用してよい。
- 7 問題冊子は、持ち帰ること。

I. 電磁誘導に関する以下の文章を読んで、問 1～問 8 に答えなさい。

一般家庭に普及している電磁調理器（IH クッキングヒーター）について、その原理を考察してみよう。電磁調理器は「電磁誘導（Induction）」という作用を利用して加熱（Heating）する調理器である。電磁調理器の上に導電性の鍋を置き、電磁調理器内のコイルで発生させた交流磁場によって鍋の材質内部に誘導電流を発生させ、この誘導電流によって発生するジュール熱が鍋を温める。（実際には他の効果も寄与するが、ここでは他の効果は無視する）



電磁調理器の内部にはコイル C_1 があり、このコイルが発生する磁束の一部がコイル C_2 を通過している。問題を単純化するために、鍋をコイル C_2 で置き換えて考え、両方のコイルとも巻き数は 1 回とする。コイル C_1 , C_2 に流れる電流をそれぞれ $I_1(t)$, $I_2(t)$ とする。また、コイル C_2 の電気抵抗を R , 自己インダクタンス（リアクタンス）を L , コイル C_1 , C_2 間の相互インダクタンスを M とする。コイル C_2 を横切る全磁束 $\Phi(t)$ は、両方のコイルが発生する磁束の和であるから、

$$\Phi(t) = MI_1(t) + LI_2(t)$$

と書ける。

（Ⅰの続き）

問 1. ファラデーの電磁誘導の法則によれば、コイル C_2 に発生する誘導起電力 $V(t)$ は、

$$V(t) = -\frac{d\Phi(t)}{dt}$$

である。コイル C_1 に角周波数 ω の正弦波交流電流 $I_1(t) = I_0 \sin \omega t$ を流した時に発生する誘導起電力 $V(t)$ の式を書きなさい。

問 2. コイル C_2 は電気抵抗 R の閉回路である。このこととキルヒホッフの第二法則を用いて、 $I_2(t)$ に関する微分方程式を導出して、その結果を書きなさい。

問 3. この微分方程式を以下の式で変数を置き換えて無次元化し、 $i(x)$ に関する微分方程式に変形し、その結果を書きなさい。

$$l = \frac{L}{M}, \quad r = \frac{R}{\omega M}, \quad x = \omega t, \quad i(x) = \frac{I_2(t)}{I_0}$$

問 4. この微分方程式は

$$i(x) = A \sin(x + \alpha)$$

の形の解を持つ。ただし、 A, α は未知定数である。問 3 で得た微分方程式を満たす A, α を求めなさい。ただし α の範囲を以下に限るとする。

$$-\frac{\pi}{2} < \alpha < \frac{\pi}{2}$$

問 5. 問 4 で得た A, α を用いて、コイル C_2 に流れる電流 $I_2(t)$ を書きなさい。計算の過程で無次元化した変数については、すべて元の物理量（工学値）に戻しなさい。

問 6. 問 5 で得た電流 $I_2(t)$ を用いて、コイル C_2 で発生するジュール熱 $P(t)$ を求めて結果を書きなさい。

（Ⅰの続き）

- 問 7. ジュール熱 $P(t)$ の長時間平均 $\langle P \rangle$ が、加熱に使えるエネルギー量である。
問 6 の答えを用いて、 $\langle P \rangle$ を求めて結果を書きなさい。ただし、任意の位相定数 α に対して成り立つ次の式を用いてよい。 $\langle \rangle$ は長時間平均を表す。

$$\langle (\sin(\omega t + \alpha))^2 \rangle = \frac{1}{2}$$

- 問 8. 相互インダクタンス M と自己インダクタンス L は、コイルの巻き数や配置、磁心の透磁率などで決まる量である。これらを決めると、加熱に使えるエネルギー量 $\langle P \rangle$ は、交流電流の角周波数 ω と鍋の材質などで決まる電気抵抗 R とに依存する。そこで角周波数 ω を決めた場合について、 $\langle P \rangle$ を最大にする R と、その時の $\langle P \rangle$ 、つまり最大値を求めなさい。

（ヒント）

加熱力を増やすためには、鍋の材質などで決まる R を増やし、角周波数 ω もそれに合わせて増やせば良いことがわかる。これが電気伝導の良い銅やアルミニウムの鍋よりも、電気伝導がやや悪いステンレス鍋用の電磁調理器が、早く普及した一因と考えられる。

Ⅱ．以下の文章を読んで、問 1～問 8 に答えなさい。

1 モルの単原子分子理想気体を考える。気体定数を R ，この気体の定積モル比熱を C_V ，定圧モル比熱を C_P とし温度によらず一定とする。また， C_V と C_P の間には， $C_P - C_V = R$ の関係が成立する。

問 1．理想気体の準静的断熱過程で，圧力 p と体積 V に，

$$pV^\gamma = \text{一定}$$

の関係が成り立つことを示しなさい。ここで， $\gamma = C_P/C_V$ である。

問 2．この気体を (p_A, V_A, T_A) の状態から (p_B, V_B, T_B) の状態へ準静的断熱過程で移した時，気体が外部にした仕事 W を， R ， C_V ， T_A ， T_B のうち必要なものを用いて求めなさい。途中の計算過程も簡潔に記しなさい。

この気体に図 1 のような準静的循環過程（カルノーサイクル）を行わせる。

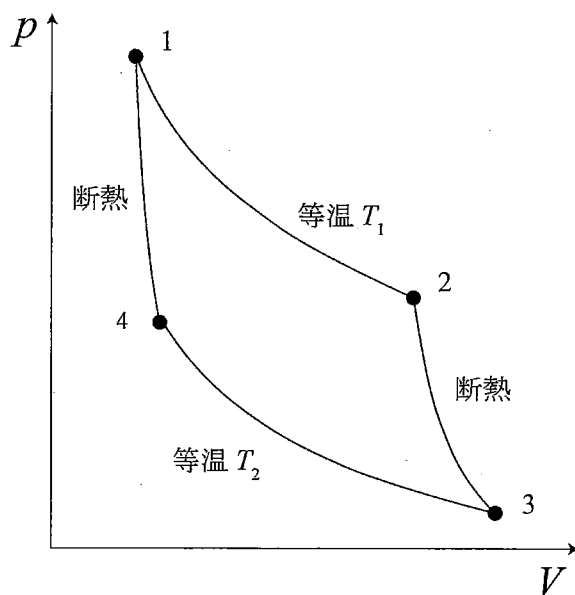


図 1

状態 1 (V_1, P_1) から状態 2 (V_2, P_2) への移行は温度 T_1 の熱源に接触して等温膨張で，状態 2 から状態 3 (V_3, P_3) は断熱膨張，状態 3 から状態 4 (V_4, P_4) は温度 T_2 ($T_2 < T_1$) の熱源に接触して等温圧縮で，状態 4 から状態 1 は断熱圧縮で行うものとする。温度の熱源から吸収した熱量を Q_1 ，温度 T_2 の熱源から吸収した熱量を Q_2 とする。

（Ⅱの続き）

問 3. Q_1 , Q_2 を, 温度, 体積を用いて求めなさい。

問 4. この循環過程で気体が外部にした仕事 W_C を, 温度, 体積を用いて求めなさい。

問 5. この循環過程の熱効率は $\eta_C = W_C/Q_1$ で定義される。 η_C を温度を用いて求めなさい。

次に, 同じくこの理想気体に対して図 2 のような循環過程（スターリングサイクル）を行わせる。

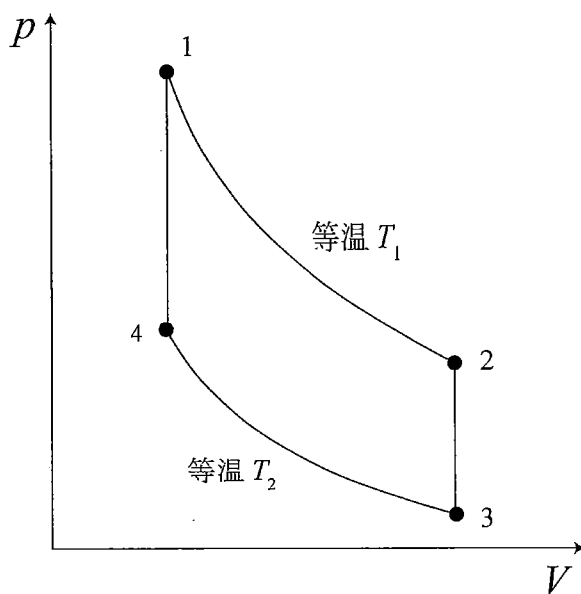


図 2

状態 1 (V_1, P_1) から状態 2 (V_2, P_2) への移行は温度 T_1 の等温膨張で, 状態 2 から状態 3 (V_2, P_3) は温度 T_2 ($T_2 < T_1$) への等積冷却, 状態 3 から状態 4 (V_1, P_4) は温度 T_2 の等温圧縮で, 状態 4 から状態 1 は温度 T_1 への等積加熱で行うものとする。ここで, 再生器と呼ばれる装置を用い, $2 \rightarrow 3$ で放出した熱量を全て $4 \rightarrow 1$ で吸収される熱量に利用できるとする。温度 T_1 の熱源から吸収した熱量を Q_1 , 温度 T_2 の熱源から吸収した熱量を Q_2 とする。

（Ⅱの続き）

問 6. この循環過程で気体が外部にした仕事 W_s を，温度，体積を用いて求めなさい。

問 7. この循環過程の熱効率は $\eta_s = W_s/Q_1$ で定義される。 η_s 温度を用いて求めなさい。

問 8. 理想気体のエントロピー S を温度 T ，体積 V の関数として求め，上記二つの循環過程を，横軸を S ，縦軸を T で図示しなさい。