

平成29年度 九州大学大学院総合理工学府  
先端エネルギー理工学専攻 入学試験問題

## 専 門 科 目

### 注意

1. 各解答用紙右上部の受験番号欄に受験番号を記入すること。
2. 問題1～問題18のうち3問を選んで解答すること。
3. 3問の解答を問題ごとに、それぞれ別の解答用紙に書くこと。  
その際、各解答用紙左上部に選択した問題番号を記入すること。  
また、選択した問題番号を、解答用紙と別に配られる「専門科目選択番号票」に記入すること。
4. 採点は解答用紙の表のみで行うので、紙面が足りない場合は追加解答用紙を請求すること。
5. 途中までしか解答できなくても、中間段階までの結果を解答用紙に書いておくこと。
6. 配点は各問題共50点とする。

# 物理学

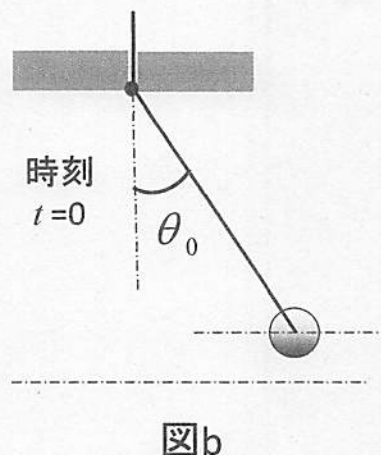
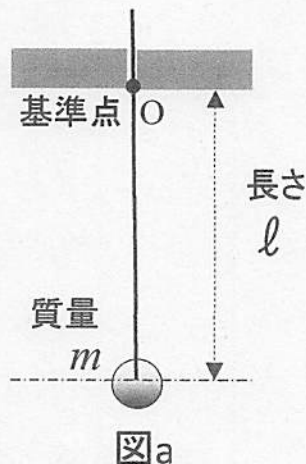
(問題 1 ~ 問題 5)

問題 1 図 a のように、基準点 O から長さ  $l$  の細い糸に、質量  $m$  の小さな重りが吊るされている。図 b のように、時刻  $t = 0$  で、糸を長さ  $l$  に張ったまま、角度  $\theta_0$  で重りを放した。糸の重さを無視して、重りは質点とし、重力加速度を  $g$  として、単振り子の点 O 周りの単振動を考える。振り角  $\theta$  は十分に小さく、振り下げ鉛直位置を原点とし、紙面で反時計回りを正の方向とする。以下の間に答えよ。

- (1) 時刻  $t$  ( $\geq 0$ ) における重りの運動エネルギーと位置エネルギーの和  $E$  を角度  $\theta$  と角速度  $\dot{\theta}$  ( $= \frac{d\theta}{dt}$ ) を用いて示せ。ただし、位置エネルギーは、図 a の  $\theta$  原点位置を基準に考え、 $\cos \theta \approx 1 - \theta^2/2$  とせよ。
- (2) エネルギー保存則 ( $\frac{dE}{dt} = 0$ ) から角度  $\theta$  の運動方程式を導出せよ。 $t = 0$  での初期条件下でその運動方程式を解き、 $\theta(t)$  と  $\dot{\theta}(t)$  を求めよ。また、単振り子の周期を示せ。
- (3) 横軸を角度  $\theta$ 、縦軸を角運動量  $P_\theta$  にした平面で、単振り子の運動が楕円閉曲線にて表せることを示し、この楕円の面積を求めよ。
- (4) 単振り子の周期に比べ、十分にゆっくり、糸の張力  $T$  で  $\delta l$  ( $> 0$ ) だけ糸を引き上げ、糸の長さを  $l - \delta l$  とした。単振り子 1 周期平均のエネルギー増分を  $\delta E$  ( $> 0$ ) とした際、

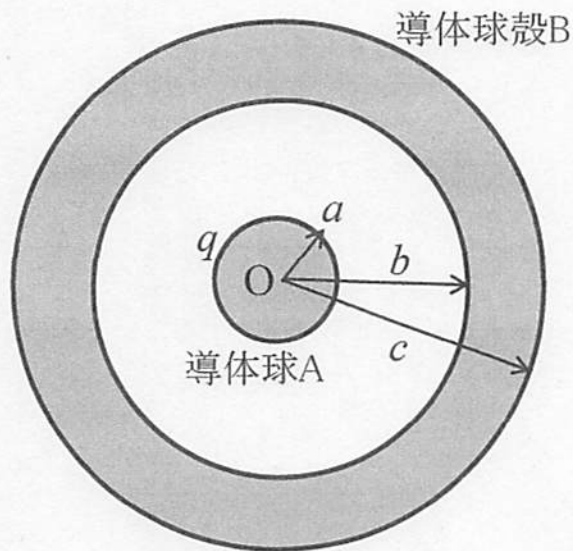
$$\frac{\delta E}{E} = \frac{\delta l}{2l}$$

となることを示せ。ただし、 $\delta E$  は位置エネルギーの増分  $mg \delta l$  を含まない。また、糸を引き上げる際の摩擦は無視する。



問題 2 下図に示すように、半径  $a$  の導体球 A を内半径  $b$ 、外半径  $c$  ( $a < b < c$ ) を持った同心の導体球殻 B で包み、導体球 A のみに電荷  $q$  ( $> 0$ ) を与えたとする。ここで、中心  $O$  を原点とする半径を  $r$  とし、 $r = \infty$  での電位を 0 として、以下の間に答えよ。ただし、単位は S I 単位系とし、真空の誘電率を  $\epsilon_0$  とする。

- (1) 導体球殻 B のどこにどれだけの電荷が現れるか。
- (2) 導体球殻 B の外側 ( $r > c$ ) における電場の大きさと電位を求めよ。
- (3) 導体球殻 A と B の中間位置 ( $a < r < b$ ) における電場の大きさと電位を求めよ。
- (4) 横軸を半径とし、中心  $O$  から  $r$  ( $> c$ ) までの電位分布を図示せよ。



問題 3 一辺の長さが  $a$  の立方体の箱の中に閉じ込められた 1 個の自由粒子について、以下の問に答えよ。なお、自由粒子の質量を  $m$ 、エネルギーを  $E$  とせよ。

- (1) 自由粒子の波動関数を  $\psi(x, y, z)$  とし、箱の内側 ( $0 \leq x \leq a$ 、 $0 \leq y \leq a$ 、 $0 \leq z \leq a$ ) における時間に依存しないシュレーディンガー方程式を書け。また、波動関数の境界条件を示せ。
- (2) (1) のシュレーディンガー方程式は、 $\psi(x, y, z) = X(x)Y(y)Z(z)$  と置いて変数分離法により解を求めることができる。 $X(x)$  が満足する 1 次元のシュレーディンガー方程式を求めよ。なお、エネルギー  $E$  は  $x$ 、 $y$ 、 $z$  成分のエネルギー  $E_x$ 、 $E_y$ 、 $E_z$  の和となる。
- (3)  $x$  成分のエネルギー固有値  $E_x$  と規格化された固有関数  $X(x)$  を求めよ。
- (4)  $y$  及び  $z$  方向についても (3) と同じ形の解が得られる。このことを利用して、規格化された固有関数  $\psi(x, y, z)$  とエネルギー固有値  $E$  を求めよ。
- (5) 第 1 励起状態のエネルギーを求めよ。この状態は何重に縮退しているか答えよ。

問題 4 古典統計に従う  $N$  個の独立な粒子からなる気体を考える。粒子 1 個の運動量は、等方で、その大きさ  $p$  は  $(x, y, z)$  方向の運動量  $(p_x, p_y, p_z)$  から  $p = \sqrt{p_x^2 + p_y^2 + p_z^2}$  と表される。粒子 1 個のエネルギー  $\varepsilon$  は、光の速さ  $c$  を用いて  $\varepsilon = cp$  で与えられるとする。ここで、気体の分配関数  $Z$  を、気体の体積  $V$ 、気体の温度  $T$ 、プランク定数  $h$ 、ボルツマン定数  $k$  を用い、

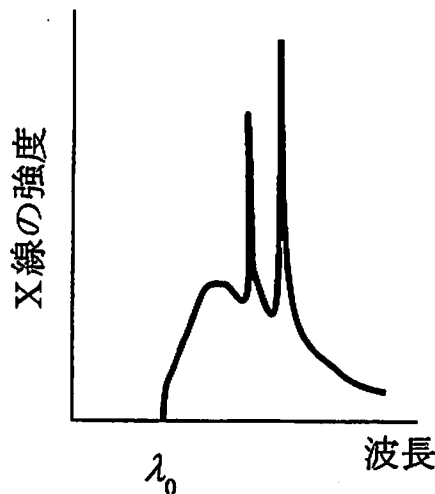
$$Z(V, T, N) = \frac{1}{N!} \left[ \frac{V}{h^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{\varepsilon}{kT}\right) dp_x dp_y dp_z \right]^N$$

と表す。以下の問に答えよ。

- (1) ヘルムホルツ自由エネルギー  $F$  は、内部エネルギー  $U$ 、エントロピー  $S$  を用い、 $F = U - TS$ 、 $S = -\left(\frac{\partial F}{\partial T}\right)_{V, N}$  と表される。  $U$  が  $U = -T^2 \frac{\partial}{\partial T} \left(\frac{F}{T}\right)_{V, N}$  と表されることを示せ。
- (2) 気体の内部エネルギー  $U$  は、粒子 1 個あたりの平均エネルギー  $\langle \varepsilon \rangle$  を用い、 $U = N \langle \varepsilon \rangle$  で表される。この気体の  $U$  が、分配関数  $Z$  を用いた表式  $U = kT^2 \frac{1}{Z} \left(\frac{\partial Z}{\partial T}\right)_{V, N}$  から導かれることを示せ。
- (3) (1)、(2) で与えた内部エネルギー  $U$  の 2 つの表式から、ヘルムホルツ自由エネルギー  $F$  と分配関数  $Z$  が満たすべき関係式を示せ。
- (4) (3) のヘルムホルツ自由エネルギー  $F$  と分配関数  $Z$  の関係から、気体の  $F$  を求めよ。必要に応じ、スターリングの公式  $\log N! \approx N \log N - N$  を用いよ。
- (5) 気体の圧力  $P$  を  $P = -\left(\frac{\partial F}{\partial V}\right)_{T, N}$  から求め、その圧力が理想気体の状態方程式を用いて表せることを示せ。

問題 5 X線について以下の間に答えよ。

- (1) 電子を高電圧  $V$  で加速して陽極の金属板に衝突させるとX線が発生する。その波長分布を測定すると、下図のような分布が観測された。連続X線と呼ばれる連続スペクトル成分と特性X線と呼ばれる単色成分から構成されている。それぞれの発生機構を50~100文字程度で説明せよ。
- (2) 下図に示す連続スペクトル部の最短波長  $\lambda_0$  を測定することで、プランク定数  $h$  を求めることができる。 $V=40.0\text{ keV}$  を印加したとき、 $\lambda_0=3.11 \times 10^{-11}\text{ m}$  であった。 $h$  を有効数字3桁で求めよ。なお、電気素量  $e = 1.60 \times 10^{-19}\text{ C}$ 、光速  $c = 3.00 \times 10^8\text{ m/s}$  とせよ。
- (3) 単色X線を物質に入射し、散乱X線の波長分布を散乱角度を変えて観測した。その結果、散乱角を大きくしていくと入射X線の波長より長い波長をもった成分が観測された。散乱X線の波長が長くなる理由を100文字程度で説明せよ。
- (4) 高エネルギーX線と物質との相互作用の1つである電子対生成について50~100文字程度で説明せよ。



化学・化学工学  
(問題 6 ~ 問題 8)



問題 6 ベルテロー (Berthelot) は、実在気体の状態方程式として下記の式を提案した。  
 $p$ 、 $V_m$ 、 $T$  はそれぞれ気体の圧力、モル体積、温度、 $R$  は気体定数であり、 $a$  と  $b$  は気体の種類によって決まる定数である。以下の問に答えよ。

$$p = \frac{RT}{V_m - b} - \frac{a}{TV_m^2}$$

- (1) ベルテローの式とファンデルワールス (van der Waals) の状態方程式との式上の違いはどこか。違いを記せ。
- (2) ベルテローの式から、3つの臨界定数  $p_c$ 、 $V_c$  および  $T_c$  を  $a$ 、 $b$ 、 $R$  を使って表せ。  
解答用紙には、結果だけでなく計算の過程も記せ。
- (3) ベルテローの式から、臨界圧縮因子  $Z_c$  を求めよ。
- (4) 実在気体を表す別の式として、以下のビリアル (virial) 方程式がある。

$$p = \frac{RT}{V_m} \left\{ 1 + \frac{B(T)}{V_m} + \frac{C(T)}{V_m^2} + \dots \right\}$$

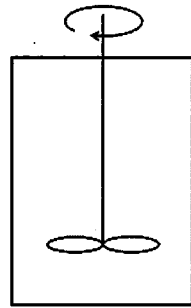
ベルテローの式をビリアル方程式に展開した時のビリアル係数  $B(T)$  を求めよ。

ただし、 $b < V_m$  とする。結果だけでなく、計算の過程も記せ。

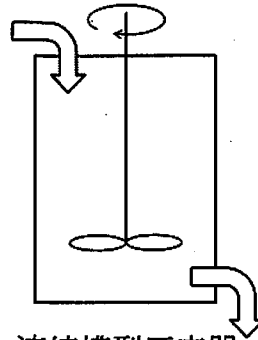
問題 7 金属ウラン (U) は水素を吸蔵する金属である。水素ガスと金属ウランおよびウラン水素化物 ( $\text{UH}_3$ ) が熱平衡状態にある系を考える。500 K では平衡水素圧力が 150 Pa であった。この状態の系を A として、以下の問に答えよ。

- (1) 系 A における、水素ガス 1 mol が金属ウランと反応しウラン水素化物が生成する時のギブズエネルギー変化  $\Delta G$  [kJ/mol] を求めよ。ただし、気体定数  $R$  を 8.3 J/K/mol、標準圧力を  $1.0 \times 10^5$  Pa、また、 $\log_e 10 = 2.3$ 、 $\log_e 15 = 2.7$  とせよ。解答用紙には、結果だけでなく反応式および計算の過程も記し、 $\Delta G$  は有効数字 2 桁で答えよ。
- (2) 系 A に外部から水素を加えた。この時に起こる変化を答えよ。ただし、系の温度および容積は変わらないものとする。
- (3) 系 A の温度を 500 K から上昇させた。この時に起こる変化を答えよ。ただし、金属ウランの相変化は起こらない温度範囲とする。
- (4) 系 A の温度を 300 K に下げた。この時の平衡水素圧力を求めよ。ただし、反応のエンタルピー変化  $\Delta H$  およびエントロピー変化  $\Delta S$  の温度による変化は無視できるものとし、また、 $\Delta S = -200$  J/K/mol とする。解答には、結果だけでなく計算の過程を記せ。また、最終的な平衡水素圧力の値は、指数あるいは対数表記のままで構わない。

問題 8 完全混合状態が仮定できる定容回分反応器と連続槽型反応器について以下の問に答えよ。反応に伴う物質の体積変化は無視できるとする。注目成分 A の、反応器への流入速度を  $F_{A,in}$  [mol/s]、反応器からの流出速度を  $F_{A,out}$  [mol/s]、単位体積あたりの生成速度を  $r_A$  [mol/m<sup>3</sup>/s]、物質量を  $n_A$  [mol]、反応器体積を  $V$  [m<sup>3</sup>]、時間を  $t$  [s] で表す。



定容回分反応器



連続槽型反応器

- (1) 必要な記号を用いて、上図左に示す定容回分反応器における物質収支式を示せ。
- (2) 反応開始時の成分 A の物質量を  $n_{A,in}$  [mol] として反応率  $f_A$  を次式で定義する。

$$f_A = 1 - \frac{n_A}{n_{A,in}}$$

定容回分反応器における成分 A の反応率の時間変化  $\frac{df_A}{dt}$  を  $r_A$ 、 $V$ 、 $n_{A,in}$  の関数として示せ。

- (3) 濃度  $C_A$  [mol/m<sup>3</sup>] の成分 A が、1 次反応で消失する場合、反応速度定数を  $k$  [1/s] とすると、 $r_A$  は次式で表される。

$$r_A = -k \frac{n_A}{V} = -k C_A$$

反応率  $f_A$  を得るために必要な反応時間  $t$  を  $k$  と  $f_A$  を用いて表せ。

- (4) 必要な記号を用いて、上図右に示す連続槽型反応器の定常状態での物質収支式を示せ。
- (5) 連続槽型反応器において、体積流量を  $Q$  [m<sup>3</sup>/s] とする。(3) と同じ反応で成分 A が消失する場合について、時間の次元を持つ  $\tau = \frac{V}{Q}$  を  $k$  と  $f_A$  を用いて表せ。
- (6) (5) で求めた  $\tau$  は連続槽型反応器の重要な操作変数である。一般に何と呼ばれているか答えよ。

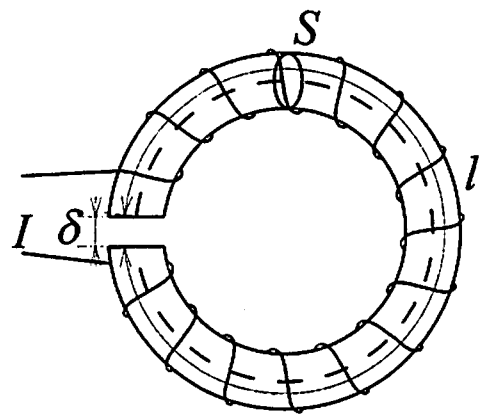
電気・電子工学

(問題 9 ~ 問題 12)

問題 9 強磁性体について、以下の (1) から (5) では空欄 (a) から (j) を埋め、また (6) (7) の間に答えよ。SI 単位系とする。

- (1) 透磁率の高い材料で、磁束がほぼ漏れないような回路を作る。このような回路を (a: ) 回路という。
- (2) 透磁率  $\mu$ 、断面積  $S$ 、周長  $l$  の強磁性体環に、総巻き数  $N$  で均等に導線を巻く。導線に電流  $I$  を流すと、環内の磁界の強さ  $H$  は (b: )、平均磁束密度  $B$  は (c: )、磁束  $\Phi$  は (d: ) と書ける。
- (3) この回路のオームの法則は、磁束 = 起磁力 / 磁気抵抗 と書ける。(2) の変数を用いると、起磁力  $V_m$  は (e: )、磁気抵抗  $R_m$  は (f: ) と書ける。
- (4) この回路では、キルヒホッフの法則が成り立つ。すなわち、回路の結合点で、磁束の流入出は  $\sum_i \Phi_i =$  (g: ) を満たす。また、磁気抵抗と磁束の積の総和と起磁力の総和は  $\sum_i V_{m,i} - \sum_i R_{m,i} \Phi_i =$  (h: ) を満たす。但し、 $i$  は結合の数である。
- (5) 合成した磁気抵抗が  $R_m = \sum_i R_{m,i}$  で与えられる時、磁気抵抗は (i: ) 列に接続されており、 $1/R_m = \sum_i 1/R_{m,i}$  と与えられる時、磁気抵抗は (j: ) 列に接続されている。

- (6) 右図のように、強磁性体環の一部に空隙が設けられている。強磁性体環は透磁率  $\mu$ 、断面積  $S$ 、周長  $l$  をもち、また、空隙の距離は  $\delta$  である。環に総巻き数  $N$  で均等に導線を巻き、導線に電流  $I$  を流す。空隙から磁束が漏れないとした場合の、空隙内に生ずる磁束と平均磁束密度を、起磁力と磁気抵抗を計算して求めよ。但し、真空 (空気) の透磁率を  $\mu_0$  とする。



- (7) (6) の場合の  $N$  巻の導線 (コイル) の自己インダクタンスを求めよ。

問題 10 定常状態にある(時間変化が $\varepsilon^{j\omega t}$ で表される)分布定数回路について、以下の問に答えよ。ここで、 $\varepsilon$ は自然対数の底である。

(1) 下図に示す往復線路において、単位長さ当りの抵抗(導線1本の抵抗の2倍)を $R [\Omega/m]$ 、自己インダクタンスを $L [H/m]$ 、漏洩コンダクタンスを $G [S/m]$ 、キャパシタンスを $C [F/m]$ とする。線路の送端を $x = 0$ の座標原点にとり、線路方向を $x$ 軸にとる。線路上の電圧、電流の空間変化をそれぞれ $V(x)$ 、 $I(x)$ としたとき、分布定数回路の基礎方程式を示せ。

(2) (1)における基礎方程式の一般解は次のようになることを示せ。

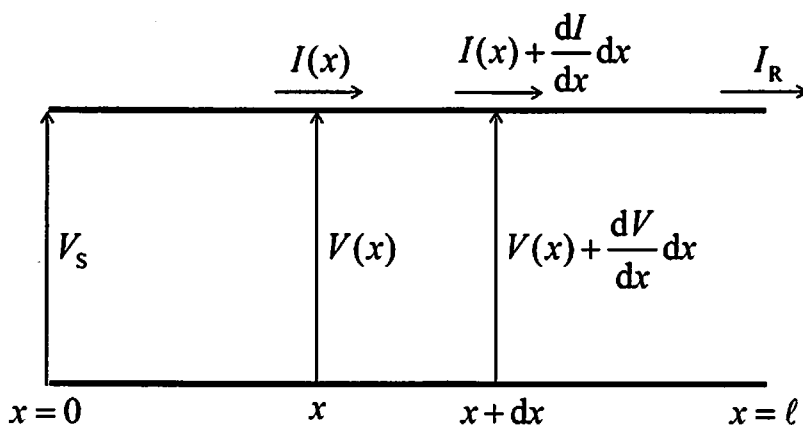
$$V(x) = A\varepsilon^{-\gamma x} + B\varepsilon^{\gamma x}$$

$$I(x) = \frac{1}{Z_0} (A\varepsilon^{-\gamma x} - B\varepsilon^{\gamma x})$$

ここで、 $\gamma$ は線路の伝搬定数、 $Z_0$ は線路の特性インピーダンス、 $A$ および $B$ は積分定数である。 $\gamma$ および $Z_0$ を分布定数 $R$ 、 $L$ 、 $G$ 、 $C$ で表せ。

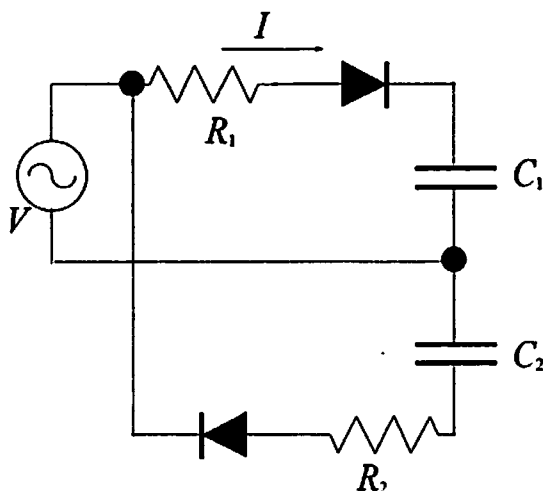
(3) 送端( $x = 0$ )における電圧を $V_S$ 、受端( $x = \ell$ )における電流を $I_R$ としたとき、(2)における積分定数 $A$ および $B$ を求め、 $V(x)$ および $I(x)$ を示せ。

(4) (3)において無損失線路の場合の $V(x)$ および $I(x)$ を求めよ。さらに受端( $x = \ell$ )開放の場合、一般に送端( $x = 0$ )の電圧よりも受端の電圧が大きくなること(フェランチ効果)を示せ。



問題 11 下図のコンデンサ  $C_1 = C_2 = C$ 、抵抗  $R_1 = R_2 = R$ 、ダイオードからなる両波倍電圧整流回路では、交流電圧が変動サイクルを繰り返し、ダイオードに電流が流れるごとに2つの直列に接続されたコンデンサ  $C_1$ 、 $C_2$  に交互に充電される。ダイオードは、順方向バイアスは  $0\text{ V}$ 、電流が流れる向きに電圧が印加された場合は抵抗  $0$  で、それ以外の場合は抵抗無限大として振る舞うものとする。第  $n$  サイクル開始時においてコンデンサ  $C_1$  に予め充電されている電荷を  $Q_{n-1}$ 、充電終了時の電荷を  $Q_n$  とする。また、充電電圧を  $V = V_0 \sin(\omega t)$  とし、 $\omega RC > 1$  とする。SI 単位系とする。以下の問に答えよ。

- (1) 第1サイクルの初めの半サイクル ( $0 \leq t \leq \pi/\omega$ ) を考える。時刻  $t=0$  で電荷  $Q_0 = 0$  である。コンデンサ  $C_1$  に充電された電荷を  $Q(t)$  とした時、充電される条件を求めよ。またこの時の回路が満たす微分方程式を記せ。
- (2) (1) を解き、 $Q(t)$  を求めよ。
- (3) (2) の解を用いて、第1サイクルの初めの半サイクル中の充電終了時刻  $t_c$  の時の充電電圧  $V$  を示せ。
- (4) 第  $n$  サイクルの半サイクル ( $2\pi(n-1)/\omega \leq t \leq 2\pi(n-1/2)/\omega$ ) について、 $C_1$  への充電開始・停止時刻の満たす条件を  $Q_{n-1}$ 、 $Q_n$  を用いて表し、また  $Q(t)$  を  $Q_{n-1}$  を用いて表せ。
- (5)  $t=0$  から3サイクル分について、 $V$  とコンデンサ2つの両端の電圧の時間発展を図示せよ。充電の切り替わりなど特徴的な時刻と電圧を示すこと。



但し、 $C_1 = C_2 = C$ 、 $R_1 = R_2 = R$

問題 12 3次元アニメーションにおいて円滑な回転のプログラムのコーディングに四元数(クォターニオン)が利用されている。四元数 $q$ は複素数を拡張して次のように定義される。積の順序に注意すること。

$$q = w + xi + yj + zk$$

$$q^* = w - xi - yj - zk$$

$$i^2 = j^2 = k^2 = -1$$

$$ij = -ji = k$$

$$jk = -kj = i$$

$$ki = -ik = j$$

ここで、 $q^*$ は $q$ の共役を表す。 $w$ をスカラー部、 $xi+yj+zk$ をベクトル部と呼ぶ。以下の間に答えよ。

- (1) スカラー部を0とおいた四元数は3次元ベクトルに対応させることができる。ベクトル $\vec{u} = (b, c, d)$ と $\vec{v} = (f, g, h)$ に対して四元数 $u = bi + cj + dk$ と $v = fi + gj + hk$ の積 $uv$ を求め、四元数のスカラー部およびベクトル部がベクトル $\vec{u}$ および $\vec{v}$ のどのような演算に対応するか答えよ。
- (2) 絶対値が1の正規化された四元数は3次元のベクトルを回転させる演算と関連する。規格化四元数を $q = \cos(\theta/2) + \sin(\theta/2)(n_x i + n_y j + n_z k)$ とし、 $\theta = \pi/2$ 、 $n_x = 1$ 、 $n_y = 0$ 、 $n_z = 0$ の場合について $quq^*$ を計算せよ。ここで、 $u = bi + cj + dk$ である。四元数 $u$ に対応した3次元ベクトルを $\vec{u}$ としたとき、 $quq^*$ という演算により $\vec{u}$ がどのように回転されるか図示せよ。
- (3) ベクトル $\vec{u} = (1, 1, 0)$ を $x$ 軸の回りに+90度回転した後、 $y$ 軸の回りに-90度回転した。結局、(2回の回転による動作を1回の回転で動作した場合)どのような軸の回りに何度回転したことになるか。 $\vec{u}$ に対応した四元数 $u = li + 1j + 0k$ 、規格化四元数を用いて計算せよ。また、3次元における円滑な回転の動作(2回の回転による動作、1回の回転による動作)の回転軸と回転面を図示せよ。



# 材 料 科 学

(問題 1 3 ~ 問題 1 5)

問題 13 ある体心立方結晶の、Cu  $K\alpha$  線 (波長  $\lambda = 1.542\text{\AA}$ ) による粉末X線回折パターンについて、以下の問に答えよ。

- (1) ブラッグのX線回折の条件式を書け。ここで、 $d$ は結晶面の間隔、 $\theta$ は入射X線と結晶面とのなす角、 $\lambda$ は入射X線の波長で、 $n$ を任意の整数とする。
- (2) 結晶面の間隔 $d$ を指数 $(hkl)$ と格子定数 $a$ を用いて表せ。
- (3) 体心立方結晶の場合、回折線が発生する条件を指数 $(hkl)$ を用いて示せ。
- (4) 観測される回折線の指数 $(hkl)$ を低指数のものから4つ示せ。
- (5) 格子定数 $a$ を $\lambda$ 、 $\theta$ 及び指数 $(hkl)$ を用いて表せ。
- (6) 最も低指数の回折線が $\theta = 20.3^\circ$ で観測された。この場合の格子定数 $a$ を求めよ。ここで、 $\sin 20.3^\circ = 0.35$ 、 $\lambda = 1.5\text{\AA}$ 、 $\sqrt{2} = 1.4$ として計算し、有効数字2桁で解答せよ。

問題 14 金属多結晶体に応力が負荷された場合、弾性変形、塑性変形及び破壊が起こる。以下の間に数行で答えよ。

- (1) 弾性変形の領域におけるヤング率、ポアソン比、及び剛性率を説明せよ。
- (2) 塑性変形の代表的な機構としては、すべり変形と双晶変形が考えられる。これらの機構について、それぞれ説明せよ。
- (3) 応力-ひずみ曲線における公称応力と真応力の違い、及び公称ひずみと真ひずみの違いを説明せよ。
- (4) 延性破壊及び脆性破壊が発生した場合の応力-ひずみ曲線をそれぞれ図示し、破壊の特徴を説明せよ。
- (5) 延性破壊及び脆性破壊が発生した場合の破面の組織をそれぞれ図示し、特徴を説明せよ。

問題 15 鉄鋼材料の性質に関して以下の問に数行で答えよ。

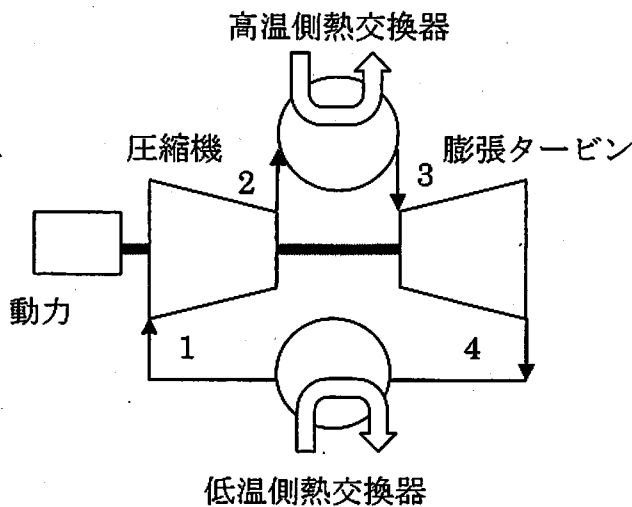
- (1) 鋼の機械的強度は、結晶中に含まれる欠陥等の存在に依存して大きく変化する。以下の3つの場合について説明せよ。
  - (a) 結晶中に転位が存在する場合としない（理想結晶）場合
  - (b) 結晶粒径の違いがある（大結晶粒と小結晶粒）場合
  - (c) 結晶中に微小酸化物が存在する場合
  
- (2) 鋼にニッケルやニオブ等の元素を添加するとオーステナイトやフェライト相の安定性が大きく変化する。
  - (a) これらの元素は何と呼ばれているか。
  - (b) 金属の変態点を測定する方法を1つ挙げて説明せよ。
  
- (3) 炭化物形成元素の例を1つ挙げて、その炭化物が形成することによって材料の組織や性質がどの様に変化するかについて説明せよ。

機械・エネルギー工学

(問題 1 6 ~ 問題 1 8)

問題 16 下図に示す様に、非凝縮性理想気体を用いた逆ブレイトンサイクルで低温側から吸熱し、高温側に排熱する定常状態のヒートポンプ作用を考える。定圧と定容の各比熱  $c_p$ 、 $c_v$  を一定とし、 $\kappa (= c_p/c_v)$  を比熱比、 $p$  を圧力、 $v$  を比体積、 $T$  を温度、 $s$  をエントロピーとする。また各状態は添字で、例えば、 $p_1$ 、 $p_2$  等の様に表すものとする。次の各問に答えよ。

- (1) 図の1から2、2から3、3から4、4から1への状態変化はそれぞれ一般に何と呼ばれているか。
- (2)  $T-s$ 線図、 $p-v$ 線図上にこの逆ブレイトンサイクルを示し、状態1、2、3、4の位置を図内に記載せよ。また操作の方向を矢印で示せ。
- (3) 圧縮機前後の温度 $T_1$ 、 $T_2$ の比 $T_1/T_2$ 、膨張タービン前後の温度 $T_3$ 、 $T_4$ の比 $T_3/T_4$ の各値をサイクルの最大圧力 $p_H$ と最低圧力 $p_L$ の関数として求めよ。
- (4) 外部からなす仕事 $W$ 、高温側熱交換器で排熱する熱量 $Q_H$ 、低温側熱交換器で吸熱する熱量 $Q_L$ をそれぞれ求めよ。
- (5) ヒートポンプ作用の成績係数を、 $p_H$ 、 $p_L$ 、 $\kappa$ を使って表せ。成績係数は、低温側から奪った熱 $Q_L$ を本サイクルに要した仕事 $W$ で割った値で定義する。



問題 17 内半径  $R_1$ 、外半径  $R_2$ 、長さ  $L$  の円筒管について定常状態での伝熱を考える。

以下の問に答えよ。

- (1) 円筒管半径方向の熱流束を  $q$  として円筒壁内  $r$  の位置における伝熱量  $Q$  を求めよ。  
なお、長さ方向の温度は一様で一定に保たれているとする。
- (2) 円筒壁の熱伝導率は  $k$  で、管内側表面、管外側表面の温度がそれぞれ一定温度  $T_1$ 、 $T_2$  に保たれているとする。このときの伝熱量  $Q$  を  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $R_1$ 、 $R_2$ 、 $L$ 、 $k$  を用いて表せ。
- (3) 円筒壁中心 ( $r = \frac{R_1 + R_2}{2}$ ) の温度  $T_c$  を求めよ。
- (4) 円筒管の内側と外側にそれぞれ流体が流れており、内側流体バルク温度は  $T_n$ 、管内側表面温度は  $T_1$ 、管外側表面温度は  $T_2$ 、外側流体バルク温度は  $T_o$  で一定に保たれている ( $T_n > T_1 > T_2 > T_o$ )。管内側と管外側の伝熱面積をそれぞれ  $A_1$ 、 $A_2$  とし、熱伝達係数をそれぞれ  $h_1$ 、 $h_2$  とする。管内側を流れる流体から管内側表面への伝熱量  $Q_n$  および管外側表面から管外側を流れる流体への伝熱量  $Q_o$  を求めよ。
- (5) 内側流体から外側流体への伝熱量  $Q$  を  $Q = U_1 A_1 (T_n - T_o)$  で表した場合、 $U_1$  を管内側表面基準の総括熱伝達係数という。 $1/U_1$  を  $A_1$ 、 $A_2$ 、 $h_1$ 、 $h_2$ 、 $R_1$ 、 $R_2$ 、 $L$ 、 $k$  を用いて表せ。

問題 18 下図に示す様に、底板面積の十分広い容器に密度 $\rho$ 、粘度 $\mu$ の液体が $h$ の深さまで入っている。容器の下部に内径 $d$ 、長さ $l$ の円筒形の細管を鉛直に取り付けて、鉛直下方に働く重力により、液体をゆっくりと円筒細管を通して落下させる。流体は Newton 流体であり、系全体は等温状態にあり、細管への入口損失は無視できるとする。また細管内の流れは遅く、助走区間の効果は無視でき、流れは細管全体で十分に発達した層流状態にあるとする。さらに流れ落ちる液の流量は小さく、上部液面高さの変化は小さいと仮定する。以下の問に答えよ。

- (1) 細管内を流れ落ちる流体に働く $z$ 方向の運動量保存式を示せ。細管入口部を $z = 0$ とし、 $z$ の正方向を図の矢印方向とし、細管内流体の $z$ 方向速度を $u$ 、圧力を $p$ 、重力加速度を $g$ とする。
- (2) (1) の運動量保存式を解くための $r$ 方向の境界条件を示せ。 $r$ 方向は、細管の中心軸を $r = 0$ とし、細管壁方向を正とする。
- (3) 管入口部と出口部間の圧力差 $\Delta p$ を求めよ。
- (4)  $u$ の $r$ 方向変化 $u(r)$ を求めよ。
- (5) 細管内平均流速 $V$ と細管から流出する流体の流量 $Q$ を求めよ。

