

問題用紙

専攻名 フロンティア工学専攻（一般選抜）

試験科目名 専門科目 (a)機械工学系  
①材料力学-I

P.1 / 18

- ・ I を 1 枚の答案用紙に解答し、答案用紙の科目欄には (a)①材料力学-I と記入すること。
- ・ 解答の経緯を省略せず、明記すること。

I

図1に示すように、両端が固定された全長  $3l$  の棒に、中間断面  $b$  と  $c$  にそれぞれ荷重  $P$  と  $kP$  ( $k$  は定数) が作用している。このとき、この棒は壁から反力  $R_1$  と  $R_2$  を受ける。各棒のもとの長さを  $l$ 、部材  $ab$  の断面積を  $A$ 、部材  $bc$  の断面積を  $\alpha A$ 、部材  $cd$  の断面積を  $\beta A$  ( $\alpha$  と  $\beta$  は正の定数)、ヤング率を  $E$  とする。以下の設問に答えなさい。

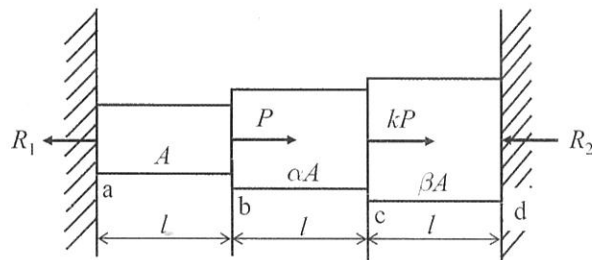


図1

- 問1 部材  $ab$ 、部材  $bc$ 、部材  $cd$  に生じる応力を  $R_2$  以外の記号を用いて求めなさい。
- 問2 部材  $ab$ 、部材  $bc$ 、部材  $cd$  の変位を  $R_2$  以外の記号を用いて求めなさい。
- 問3 反力  $R_1$  と  $R_2$  を求めなさい。
- 問4  $k=1$  のとき、部材  $cd$  の変位の大きさが  $\frac{1}{3} \frac{Pl}{AE}$  となった。このとき、 $\alpha$  と  $\beta$  の関係を図示しなさい。また、 $\alpha=1.5$  のときの  $\beta$  の値を求めなさい。

問題用紙

専攻名 フロンティア工学専攻（一般選抜）

試験科目名 専門科目 (a)機械工学系  
①材料力学－II

P.2 / 18

- ・ IIを1枚の答案用紙に解答し、答案用紙の科目名欄には (a)①材料力学－II と記入すること。
- ・ 解答の経緯を省略せず、明記すること。

II

図2-1に示すように、長さ  $l$  のはりが左端で固定され、矢印の向きに集中荷重  $P$  が2カ所作用している。はりのヤング率は  $E$ 、断面二次モーメントは  $I$  とする。以下の問に答えなさい。なお、長さ  $L$  の片持ちはり（曲げ剛性  $ED$ ）の先端に集中荷重  $W$  が作用しているときの先端のたわみとたわみ角は  $WL^3/3EI$ 、 $WL^2/2EI$  である。

- 問1 せん断力図を書きなさい。
- 問2 曲げモーメント図を書きなさい。
- 問3 はりの断面形状が、横幅  $a$ 、高さ  $b$  の長方形であり、その中心から幅  $a/2$ 、高さ  $b/2$  の長方形がくり抜かれた形をしている。このときの断面係数を、 $a$  および  $b$  を用いて求めなさい。
- 問4 はり先端のたわみの大きさと方向を求めなさい。

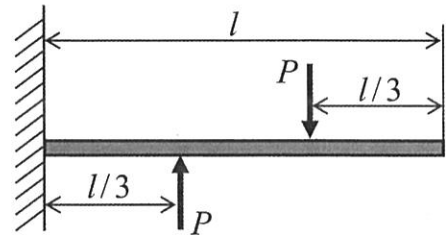


図2-1

次に、図2-2に示すように、はりの右端がバネ定数  $k$  の線形バネで支持されている場合を考える。なお、このバネの自然長は、はりの右端のたわみが0のときである。以下の問に答えなさい。

- 問5 バネから受ける上向きの反力を  $R$  とするとき、はり先端のたわみの大きさと方向を求めなさい。
- 問6 このバネは  $R$  の力を受けている。このときのバネの変位の大きさと方向を求めなさい。
- 問7 反力  $R$  を求めなさい。
- 問8 バネ定数が無限に大きいとき、曲げモーメントの大きさが最大となる箇所とその値を求めなさい。

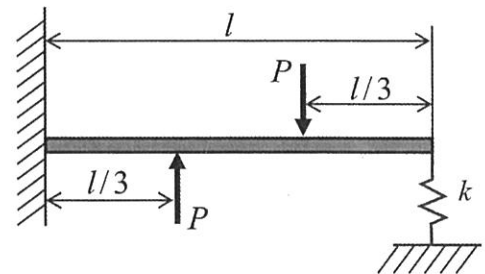


図2-2

問題用紙

専攻名 フロンティア工学専攻（一般選抜）

試験科目名 専門科目 (a)機械工学系  
②振動工学-I

P.3 / 18

- ・ I を 1 枚の答案用紙に解答し、答案用紙の科目欄には (a)②振動工学-I と記入すること。
- ・ 解答の経緯を省略せず、明記すること。

I

図 1 に示すように、一端が床に固定された長さ  $l$  の均質一様なはりがある。はりの縦弾性係数は  $E$ 、断面 2 次モーメントは  $I$ 、曲げこわさは  $EI$  であり、鉛直上向きをはりの平衡位置とし、その質量は無視できるものとする。このはりの先端に水平荷重  $P$  を加えた際の横方向への変位を  $x$ 、たわみ角を  $\theta$  とし、それぞれ  $x = Pl^3/3EI$ 、 $\theta = Pl^2/2EI$  で与えられるものとする。重力加速度を記号  $g$  で表し、 $\theta$  は十分小さいとして、以下の問いに答えなさい。

問 1 変形前のはりの軸線と、変形後のはりの軸線の自由端における接線との交点を  $O$  とする。変形前のはりの自由端から点  $O$  までの距離  $a$  を記号  $l$  を使って表しなさい。

問 2 図 2 に示すように、このはりの先端に質量  $m$  の質点を取り付けた系は、重力場において倒立振り子として紙面内で左右に振動するものとする。この振動を、図 3 に示すように、質量は無視できる長さ  $a$  の剛体棒の先端に質量  $m$  の質点を取り付けられ、等価ばね定数  $K$  のばねによって支えられた系の点  $O$  まわりの 1 自由度回転振動と考える。等価ばね定数  $K$  を求めなさい。ただし、図 2 に示した記号を使って表しなさい。

問 3 図 3 の振動系の点  $O$  まわりの回転の運動方程式および固有角振動数  $\omega_n$  を求めなさい。ただし、図 3 に示した記号を使って表しなさい。

問 4 図 3 の振動系が自由振動を生じない  $mg$  の条件を求めなさい。ただし、図 3 に示した記号を使って表しなさい。

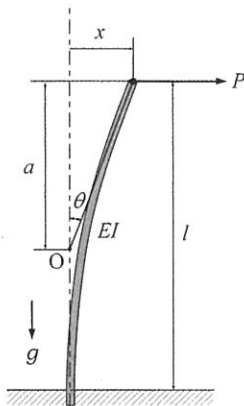


図 1

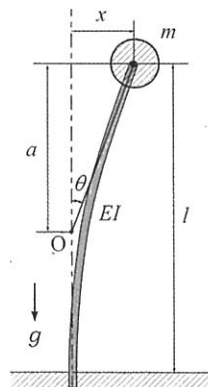


図 2

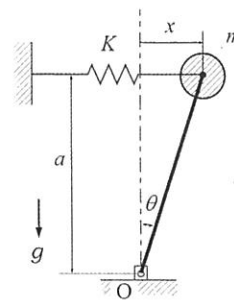


図 3

問題用紙

専攻名 フロンティア工学専攻（一般選抜）

試験科目名 専門科目 (a)機械工学系  
②振動工学－II

P.4 / 18

- ・ II を 1 枚の答案用紙に解答し、答案用紙の科目欄には (a)②振動工学－II と記入すること。
- ・ 解答の経緯を省略せず、明記すること。

II

図4に示すような棒、おもり、ばね、台車からなる自由振動する振動系を考える。天井の支点周りに滑らかに振動する長さ $L$ の棒の先端に質量 $m_1$ のおもりが取り付けられている。また、水平で滑らかな床の上を移動する質量 $m_2$ の台車がばねを介しておもりに取り付けられている。ばね定数を $k$ とする。棒の重さは考えない。鉛直下向きから反時計回りに測った棒の傾きを $\theta$ 、つり合い点から測った台車の右向き変位を $x$ 、重力加速度を $g$ とする。 $\theta$ は十分小さいとして、以下の問いに答えなさい。

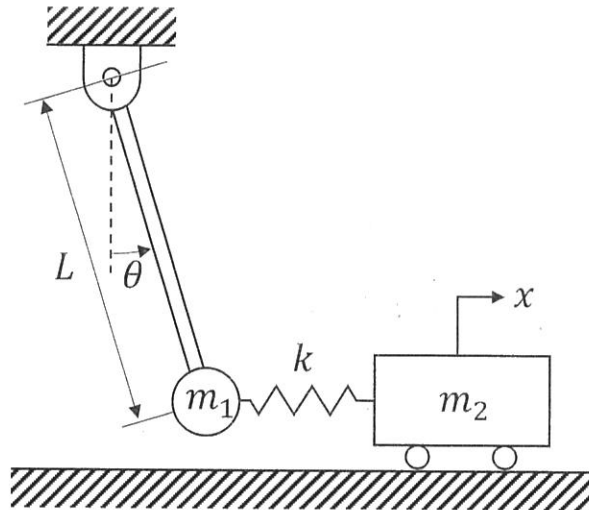


図 4

- 問1 おもりの運動エネルギーを求めなさい。
- 問2 台車の運動エネルギーを求めなさい。
- 問3 振動系全体のポテンシャルエネルギーを求めなさい。
- 問4 ばねの代わりに、重さのない剛体の棒で台車をおもりに取り付けた。このとき、棒とおもり、棒と台車の連結部はいずれも回転自由とする。この振動系の固有振動数を求めなさい。

ふたたび、ばね定数 $k$ のばねを介して台車をおもりに取り付けた。

- 問5 おもりの運動方程式を求めなさい。
- 問6 台車の運動方程式を求めなさい。

専攻名	フロンティア工学専攻(一般選抜)	
試験科目名	専門科目 (a)機械工学系 ③流れ学-I	P.5 / 18

- ・ I を 1 枚の答案用紙に解答し、答案用紙の科目欄には (a)③流れ学-I と記入すること。
- ・ 解答の経緯を省略せず、明記すること。

I

図1のように半径  $r_0$  の滑らかな円管が水平に置かれており、この円管内を水(密度  $\rho$ 、粘度  $\mu$ ) が定常に流れている。流れは完全発達していると考えて、重力加速度を  $g$  とし、以下の間に答えなさい。

はじめに、円管内の流れが層流であった場合について考える。

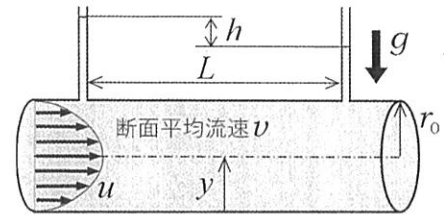


図1

問1 断面平均流速  $v$  と半径  $r_0$  などを用いて、体積流量  $Q$  を表しなさい。

問2 流れが層流状態になる断面平均流速  $v$  の範囲はどのようになるか。粘度  $\mu$  と半径  $r_0$  などを用いて表しなさい。

問3 長さ  $L$  の区間における圧力損失  $\Delta p$  を求めなさい。解答には管摩擦係数  $\lambda_1$  を用いなさい。

問4 体積流量  $Q$  は長さ  $L$  と  $\Delta p$  などを用いて式(1)で与えられる。問3で求めた関係式と式(1)を利用して、流れが層流状態の管摩擦係数  $\lambda_1$  を、直径 ( $=2r_0$ ) を代表長さとするレイノルズ数  $Re$  を用いて表しなさい。

$$Q = \frac{\pi r_0^4 \Delta p}{8\mu L} \quad (1)$$

問5 長さ  $L$  の区間に取り付けたマンメーターの液柱の差  $h$  を求めなさい。解答には  $\Delta p$  を用いなさい。

問6 問5の長さ  $L$  の区間において、水を輸送するために必要な動力  $P$  を求めなさい。解答には  $\Delta p$  と  $Q$  を用いなさい。

次に、円管内の流れが乱流であった場合について考える。

問7 管断面に作用する圧力と壁面せん断応力  $\tau_w$  とのつり合いを示す式(2)と、管摩擦による圧力損失から、壁面せん断応力  $\tau_w$  を管摩擦係数  $\lambda_2$  と断面平均流速  $v$  を用いて表しなさい。また、摩擦速度  $u_*$  を用いると、平均流速  $v$  と摩擦速度  $u_*$  の関係が式(3)で表せることを示しなさい。

$$\tau_w = \frac{\Delta p r_0}{2L} \quad (2), \quad \frac{u_*}{v} = \sqrt{\frac{\lambda_2}{8}} \quad (3)$$

問8 管摩擦係数  $\lambda_2$  に関して、ブラジウスの式[式(4)]が成立するものとする。体積流量  $Q$  で水を流す時、摩擦損失ヘッド  $h_f$  は半径  $r_0$  の何乗に比例するか答えなさい。

$$\lambda_2 = 0.3164 Re^{-1/4} \quad (4)$$

問9 乱流の円管内流速分布において指数法則が成り立つ。管壁面からの距離  $y$  における流速  $u$  は最大流速  $u_{\max}$  と円管の半径  $r_0$  を用いると式(5)で表すことができる。ただし、 $n$  は正の数である。これを利用して、断面平均流速  $v$  と最大流速  $u_{\max}$  の比が式(6)で表されることを示しなさい。

$$u = u_{\max} \left(\frac{y}{r_0}\right)^{\frac{1}{n}} \quad (5), \quad \frac{v}{u_{\max}} = \frac{2n^2}{(n+1)(2n+1)} \quad (6)$$

問10 問9の式(5)の流速  $u$  が、断面平均流速  $v$  と等しくなる壁面からの距離  $y$  を求めなさい。

専攻名 フロンティア工学専攻(一般選抜)

試験科目名 専門科目 (a)機械工学系  
③流れ学-II

P.6 / 18

- ・ II を 1 枚の答案用紙に解答し、答案用紙の科目欄には (a)③流れ学-II と記入すること。
- ・ 解答の経緯を省略せず、明記すること。

II

図2に示すような大きなタンクに水が入っている。水面から深さ  $H$  のタンク右側壁に直径  $d$  の滑らかな円形ノズルが設置されており、水平方向に水が流出している。ただし、タンクは大気圧が  $P_a$  の空气中にあり、水面の高さ  $H$  は変化しないものとする。また、空気の密度は水の密度  $\rho$  に比べて無視できる程小さく、重力加速度を  $g$  とする。非圧縮性、非粘性の定常流れを考えて、以下の設問に答えなさい。

- 問1 タンク水面から深さ  $H$  の静止した水中の点Aにおける絶対圧力  $P_z$  とゲージ圧力  $P_G$  を図中の記号で表しなさい。
- 問2 タンクの水面(点①)から円形ノズル出口(点②)への同一流線上において、損失が無いベルヌーイの式を書きなさい。ただし、点①における高さを  $Z_1$ 、流速を  $V_1$ 、圧力を  $P_1$ 、点②における高さを  $Z_2$ 、流速を  $V_2$ 、圧力を  $P_2$  とする。なお、円形ノズルから水が噴出する際の損失はないものとする。
- 問3 円形ノズルから噴出する水の流速  $V_2$  を図中の記号で表しなさい。
- 問4 円形ノズルから噴出する水の体積流量  $Q$  を図中の記号で表しなさい。
- 問5 円形ノズルから噴出した水が、頂角  $2\theta$  の円錐に衝突する。円錐が受ける水平方向の力の大きさ  $F$  を図中の記号で表しなさい。なお、水噴流は空気中で広がることなく円錐に衝突し、空気や壁面との摩擦および重力の影響を無視できるとする。
- 問6 円形ノズル出口直径を  $d/2$  に小さくした場合、噴出する水によって円錐が受ける力の大きさ  $F'$  は、問5の何倍になるか答えなさい。

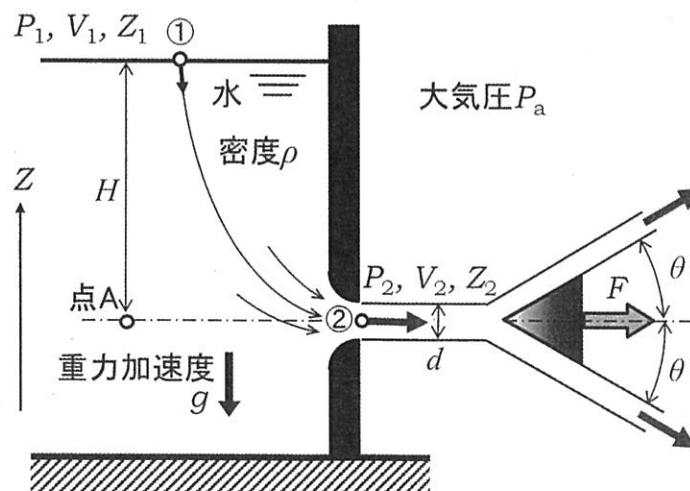


図2

問題用紙

専攻名 フロンティア工学専攻（一般選抜）

試験科目名 専門科目 (a)機械工学系  
④熱力学-I

P.7 / 18

- ・ I を 1 枚の答案用紙に解答し，答案用紙の科目欄には (a)④熱力学-I と記入すること。
- ・ 解答の経緯を省略せず，明記すること。

I

周囲温度  $T_1$  [K]，圧力  $p_1$  [Pa]の雰囲気下に置かれたピストン-シリンダー装置内に圧力  $p_1$ ，体積  $V_1$  [ $m^3$ ]，温度  $T_1$ の理想気体が入っている（状態1）。この状態でピストンは図1(a)に示されるようにストッパー上に支えられている。ヒーターを用いてシリンダー内の気体に熱を加えたところ，気体の圧力が  $2p_1$  の時，ピストンが動き始めた（状態2）。その後は圧力一定で気体の体積が増え，図1(b)に示す状態になった（状態3）。気体の状態は準静的に変化し，気体への熱の出入りはヒーターからのみである。気体の気体定数を  $R$  [J/(kg·K)]，比熱比（定圧比熱と定積比熱の比）を  $\kappa$  とする。気体の加熱量を調べたところ，状態1から状態2までの加熱量を  $Q_{12}$  [W]，状態2から状態3までの加熱量を  $Q_{23}$  [W] とすると， $Q_{23}$  は  $Q_{12}$  の  $2\kappa$  倍であった。以下の問いに答えなさい。解答は与えられた記号，数式および数字で表すこと。

- 問1 状態1から状態3までの過程の $p$ - $V$ （圧力 [Pa]- 体積 [ $m^3$ ]) 線図を描きなさい。ただし，状態1，2，3に対応する点を明記すること。なお，定規を使用する必要はない。
- 問2 状態2の気体の温度  $T_2$  [K]を求めなさい。
- 問3 状態1から状態2までの加熱量  $Q_{12}$  を  $p_1$ ， $V_1$ ， $\kappa$  を用いて表しなさい。
- 問4 状態3の気体の温度  $T_3$  [K]を求めなさい。
- 問5 状態1から状態3までの気体がした仕事  $L$  [J]を  $p_1$ ， $V_1$  を用いて表しなさい。
- 問6 状態1から状態3までの気体のエントロピー変化量  $\Delta S$  [J/K]を  $p_1$ ， $V_1$ ， $\kappa$ ， $T_1$  を用いて表しなさい。
- 問7 状態3の気体のエクセルギー  $E$  [J]を  $p_1$ ， $V_1$ ， $\kappa$  を用いて表しなさい。

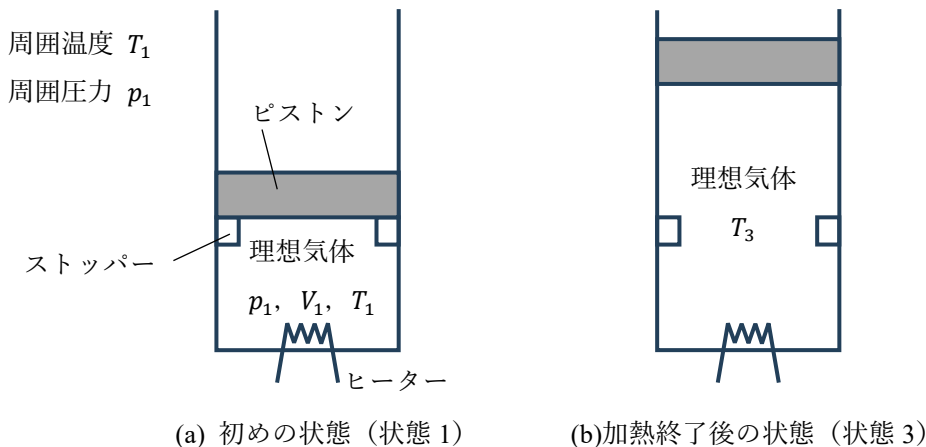


図1

問題用紙

専攻名	フロンティア工学専攻（一般選抜）		
試験科目名	専門科目 (a)機械工学系 ④熱力学－II	P.8 / 18	

- ・ II を 1 枚の答案用紙に解答し、答案用紙の科目欄には (a)④熱力学－II と記入すること。
- ・ 解答の経緯を省略せず、明記すること。

II

50 L の密閉容器に 100°C の飽和水蒸気を封入し、容積一定で 60°C になるまで冷却することを考える。

問1 表1に示す水の飽和表を用いて以下の数値を求めなさい。

- (1) 冷却後の乾き度  $x$
- (2) エンタルピー変化量  $\Delta H$
- (3) 放出した熱量  $Q$

表1

温度 [°C]	圧力 [kPa]	比体積 [m <sup>3</sup> /kg]		比エンタルピー [kJ/kg]		比エントロピー [kJ/(kg·K)]	
$t$	$p$	$v'$	$v''$	$h'$	$h''$	$s'$	$s''$
60	19.94	0.0010171	7.6677	251.2	2608.9	0.8312	7.9082
100	101.4	0.0010435	1.6719	419.1	2675.6	1.3070	7.3541

問2 次の文章中の ① と ② に入る式もしくは文字を示しなさい。ただし、 $v$ ,  $h$ ,  $s$  は、それぞれ、比体積 [m<sup>3</sup>/kg]、比エンタルピー [J/kg]、比エントロピー [J/(kg·K)] とする。

この過程のように、純物質の2相 ( $\alpha$ 相と $\beta$ 相) が温度  $T$  [K] および圧力  $p$  [Pa] の平衡状態にある時、それぞれの相の比ギブス自由エネルギー  $g_\alpha$  と  $g_\beta$  [J/kg] は等しい。そのため、平衡状態を保ちながら温度と圧力が微小変化してもこの関係が維持されるので、 $dg_\alpha = dg_\beta$  が成立する。

一方で、 $g$  の微小変化はその定義から  $dg = dh - \text{①} - Tds$  という形になる。また、可逆過程におけるエントロピーの定義から、 $Tds = du + pdv = dh - \text{②}$  となる。これらを用いれば、 $dg = - \text{①} + \text{②}$  が得られる。両相でこの式を適用すれば、以下の Clausius-Clapeyron の式が得られる。

$$\frac{dp}{dT} = \frac{s_\beta - s_\alpha}{v_\beta - v_\alpha} = \frac{h_\beta - h_\alpha}{T(v_\beta - v_\alpha)}$$

問3 95°Cにおける容器内圧力を Clausius-Clapeyron の式を用いて近似的に求めなさい。

令和7年度（10月期入学）及び令和8年度 金沢大学大学院自然科学研究科 博士前期課程入学試験		
問題用紙		
専攻名	フロンティア工学専攻（一般選抜）	
試験科目名	専門科目 (b)化学工学系 ①プロセス工学量論（化学工学量論，単位操作）	P.9 / 18

- ・ I を 1 枚の答案用紙に解答し、答案用紙の科目名欄には  

(b)①プロセス工学量論（化学工学量論，単位操作）－ I
------------------------------

と記入すること。
- ・ 解答の経緯を省略せず明記してください。

I

以下の問1～問3に答えなさい。

問1 以下に示す物理量の単位を SI 基本単位のみで示しなさい。

- (1) 運動量流束  $\tau$
- (2) 熱伝達係数  $h$
- (3) エントロピー  $S$

問2 エタノール蒸気と空気のモル比が 1:3 の混合気体を流通反応器で燃焼させる。以下の(1)～(4)について答えなさい。ただし、空気中には窒素と酸素のみが含まれるとし、モル比は簡単のために 80:20 であるとする。

- (1) 反応器入口における酸素のモル分率 [mol%]を求めなさい。
- (2) エタノールの完全燃焼反応の化学反応式を書きなさい。
- (3) エタノール 1 モルの完全燃焼に対して消費する酸素、生成する  $\text{CO}_2$  と  $\text{H}_2\text{O}$  の物質量を答えなさい。
- (4) エタノールの反応率を 0.2 としたとき、反応器出口の  $\text{CO}_2$  のモル分率 [mol%]を求めなさい。

問3 次の単位操作に関する（ア）から（カ）の空欄にあてはまる適切な語句、数式、数字を答えなさい。（A）については適切な語句を選び解答欄に記しなさい。

気液平衡関係にあるベンゼン(1)-トルエン(2)の2成分系において、ベンゼンの液組成が 0.3、蒸気組成が 0.6 であるとき、この系の相対揮発度  $\alpha_{12}$  は（ア）となる。棚段塔の連続蒸留操作では、平均相対揮発度が小さい系ほど、（A：多い・少ない）段数となる。液組成が  $0 < x_1 < 1$  の範囲で相対揮発度が 1 になり、気液平衡線図において気相線と液相線が交わる混合物を（イ）混合物という。

湿潤材料の乾燥工程において、材料の温度上昇が起こる（ウ）期間、乾燥速度が一定になる（エ）期間、乾燥速度が（エ）の期間よりも遅くなる（オ）期間がある。（エ）の期間では、材料が熱風からの対流伝熱によってのみ受熱する場合は、材料表面温度  $t_m$  は熱風の（カ）温度と等しくなる。

問題用紙

専攻名 フロンティア工学専攻（一般選抜）

試験科目名 専門科目 (b)化学工学系  
②移動現象論（流体工学，伝熱工学）－I

P.10 / 18

- ・ I を 1 枚の答案用紙に解答し，答案用紙の科目名欄には (b)②移動現象論（流体工学，伝熱工学）－I と記入すること。
- ・ 解答の経緯を省略せず明記してください。

I

図 I.1 に示すように，長さ  $L$ ，奥行き  $W$  の垂直に置かれた十分に広い平板上を粘度  $\mu$ ，密度  $\rho$  の Newton 流体が流下している。入口の気液界面を原点として，鉛直下向きに  $x$  軸を，気液界面から固体壁に向かって  $y$  軸を取る。流れは定常状態に達しており， $y$  方向の膜厚を  $a$  とする。このとき，以下の問 1～問 3 に答えなさい。ここで，重力加速度を  $g$  とする。

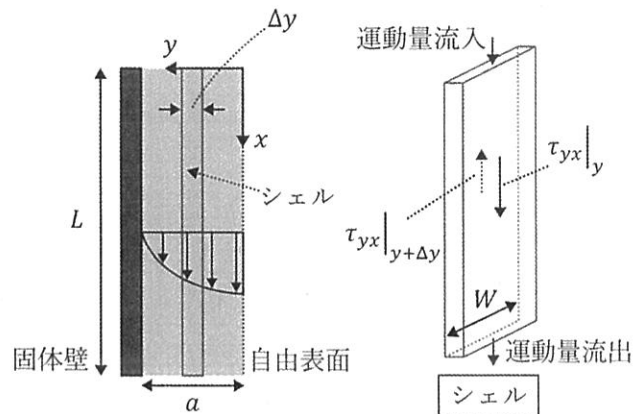


図 I.1 壁面を流れる Newton 流体

- 問1 図 I.1 に示すような， $y = y$  から  $y = y + \Delta y$  にわたる厚み  $\Delta y$ ，長さ  $L$ ，奥行き  $W$  である微小液膜要素（シエル）を考える。膜厚方向および奥行き方向の速度成分をゼロと仮定したとき，このシエルにおける運動量収支式は，式(I.1)のように表される。

$$(\rho W \Delta y v_x^2)|_{x=0} - (\rho W \Delta y v_x^2)|_{x=L} + (LW \tau_{yx})|_y - (LW \tau_{yx})|_{y+\Delta y} + \rho L W \Delta y g = 0 \quad (I.1)$$

ここで， $v_x$  は  $x$  方向の速度成分であり，図 I.1 の流れの場合  $y$  のみに依存する。また， $\tau_{yx}$  はせん断応力である。式(I.1)に対して， $\Delta y \rightarrow 0$  の極限を取ることで式(I.2)の微分方程式を導きなさい。ここで，シエルに対する物質収支から導かれる関係  $v_x|_{x=0} = v_x|_{x=L}$  を使って良い。

$$\frac{d\tau_{yx}}{dy} = \rho g \quad (I.2)$$

- 問2 Newton 流体において，せん断応力  $\tau_{yx}$  は式(I.3)の Newton の粘性法則に従う。

$$\tau_{yx} = -\mu \frac{dv_x}{dy} \quad (I.3)$$

式(I.2)および式(I.3)を用いて， $v_x$  の  $y$  方向の速度分布  $v_x(y)$  が以下の式(I.4)で表されることを示しなさい。ここで， $y = 0$  において  $\tau_{yx} = 0$  であること，および  $y = a$  において  $v_x = 0$  であることを境界条件として用いること。

$$v_x(y) = \frac{\rho g a^2}{2\mu} \left[ 1 - \left( \frac{y}{a} \right)^2 \right] \quad (I.4)$$

- 問3 問2の結果を用いることにより，体積流量  $Q$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] を表す式を導出しなさい。

問題用紙

専攻名 フロンティア工学専攻（一般選抜）

試験科目名 専門科目 (b)化学工学系  
②移動現象論（流体工学，伝熱工学）－II

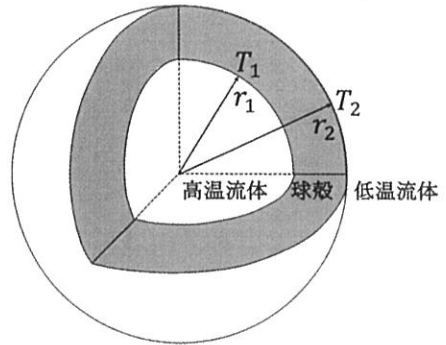
P.11 / 18

- ・ IIを1枚の答案用紙に解答し，答案用紙の科目名欄には  
(b)②移動現象論（流体工学，伝熱工学）－II と記入すること。
- ・ 解答の経緯を省略せず明記してください。

II

以下の問1～問3に答えなさい。

図II.1に示すように，内半径 $r_1$ ，外半径 $r_2$ の球殻における伝熱を考える。球殻の内側は熱伝達率 $h_h$ で温度 $T_h$ の高温流体にさらされ，球殻の外側は熱伝達率 $h_c$ で温度 $T_c$ の低温流体にさらされている。球殻の内側（ $r = r_1$ ）での表面温度を $T_1$ ，球殻の外側（ $r = r_2$ ）での表面温度を $T_2$ とする（ $T_h > T_1 > T_2 > T_c$ ）。熱流は半径方向のみで，球殻内の定常状態での熱伝導方程式は次式(II.1)のように表せる。



$$\frac{d}{dr} \left( kr^2 \frac{dT}{dr} \right) = 0 \quad (\text{II.1})$$

ここで， $k$ は熱伝導率を表し，一定とする。球殻内の温度 $T$ は半径 $r$ のみの関数とする。

図II.1 球殻における伝熱

問1 球殻内の温度分布 $T(r)$ が次式(II.2)で表されることを示しなさい。

$$T(r) = T_1 - \frac{(1/r_1 - 1/r)}{(1/r_1 - 1/r_2)} (T_1 - T_2) \quad (\text{II.2})$$

問2 球殻を通過する伝熱量 $\dot{Q}$ が次式(II.3)で表されることを示しなさい。なお， $\dot{Q}$ は単位時間あたりに移動する熱量であり，伝熱速度もしくは熱流量とも呼ばれる。

$$\dot{Q} = \frac{4\pi k}{(1/r_1 - 1/r_2)} (T_1 - T_2) \quad (\text{II.3})$$

問3 球殻の内側と外側の流体を含む総括熱抵抗 $R_{\text{total}}$ の式を導出しなさい。

専攻名 フロンティア工学専攻（一般選抜）

試験科目名 専門科目 (b)化学工学系  
③化学反応速度論・反応工学－I

P.12 / 18

- ・ I を 1 枚の答案用紙に解答し、答案用紙の科目名欄には  
(b)③化学反応速度論・反応工学－I と記入すること。
- ・ 解答の経緯を省略せず明記してください。

I

以下の問1、問2に答えなさい。

問1 物質Aが二次反応によって生成物に変化するとき、反応速度式は時間 $t$ におけるAの濃度を $[A]$ 、速度定数を $k$ とすると $-\frac{d[A]}{dt} = k[A]^2$ で与えられる。

(1) Aの初濃度を $[A]_0$ として、二次反応における濃度 $[A]$ と時間 $t$ の関係式を示しなさい。

(2)  $[A]_0$ を $1.00 \text{ mol L}^{-1}$ としてこの反応を行ったところ、60 min 後の濃度が $0.25 \text{ mol L}^{-1}$ まで減少した。この反応の速度定数 $k$ と、 $[A]$ が $0.50 \text{ mol L}^{-1}$ となる時間 $t_{1/2}$ を求めなさい。

問2 化学反応の速度定数 $k$ は、頻度因子 $A$ 、活性化エネルギー $E_a$ 、気体定数 $R$ 、および絶対温度 $T$ を用いて以下の式で表される。ここでは $R = 8.314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ 、 $0^\circ\text{C} = 273 \text{ K}$ とする。

$$k = Ae^{-\frac{E_a}{RT}}$$

(1) 異なる温度 $T_1, T_2$ における速度定数はそれぞれ $k_1 = Ae^{-\frac{E_a}{RT_1}}$ 、 $k_2 = Ae^{-\frac{E_a}{RT_2}}$ と表せる。同一反応における頻度因子 $A$ を定数と仮定して、 $T_1, T_2, k_1, k_2$ の関係式を示しなさい。

(2) ある化学反応の $27^\circ\text{C}$ 、 $47^\circ\text{C}$ における速度定数はそれぞれ $2.0 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 、 $7.4 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ であった。この反応の $E_a$ を求めなさい。

## 問題用紙

専攻名	フロンティア工学専攻（一般選抜）	
試験科目名	専門科目 (b)化学工学系 ③化学反応速度論・反応工学－II	P.13 / 18

- ・ IIを1枚の答案用紙に解答し、答案用紙の科目欄には  

(b)③化学反応速度論・反応工学－II
---------------------

と記入してください。
- ・ 解答の経緯を省略せずに明記してください。

## II

$A \rightarrow 3B$ で表される液相不可逆反応を、等温・定容条件下で回分反応器を用いて行う。この反応は限定反応成分Aについて1次の反応であり、反応速度は以下の式で表される。

$$-r_A = kC_A$$

ただし  $r_A$  は限定反応成分Aの反応速度、 $C_A$ は限定反応成分Aの濃度、 $k$ は反応速度定数であり  $1.50 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$  とする。

いま、反応開始時には原料Aのみを  $2.50 \times 10^4 \text{ mol m}^{-3}$  の濃度で仕込み、反応率が85.0%となった時点で反応を終了するような回分操作を繰り返し行う場合を考える。以下の問1、問2に答えなさい。

- 問1 反応の仕込みに30 min、生成物の取り出しと反応器の洗浄に45 minかかるものとする。この回分反応1サイクルの工程に要する時間を求めなさい。
- 問2 生成物Bを生産速度  $5.00 \times 10^4 \text{ mol h}^{-1}$  で生産するために必要な反応器の反応体積  $V [\text{m}^3]$  を求めなさい。

## 問題用紙

専攻名 フロンティア工学専攻(一般選抜)

試験科目名 専門科目 (b)化学工学系  
④化学工学熱力学・物理化学-I

P.14 / 18

- ・ I を 1 枚の答案用紙に解答し、答案用紙の科目名欄には

(b)④化学工学熱力学・物理化学-I と記入すること。

- ・ 解答の経緯を省略せず明記してください。

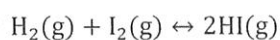
## I

以下の問1、問2に答えなさい。

問1 1モルの単原子からなる完全気体を封入した摩擦のないピストンがある。以下の設問(1)~(6)に答えなさい。ただし、気体定数は  $R$  としなさい。

- (1) 最初に気体は温度  $T_0$  で体積  $V_0$  であったとする (状態 A)。状態 A での気体の圧力を求めなさい。
- (2) 状態 A からピストンを固定した状態で加熱したところ、温度は  $T_1$  になった (状態 B)。状態 B での気体の圧力を求めなさい。
- (3) (2)の過程で気体が受け取った熱量を求めなさい。
- (4) 状態 B からゆっくりと等温で、気体の圧力が状態 A と等しくなるよう膨張させた (状態 C)。状態 C での気体の体積を求めなさい。
- (5) (4)の過程で気体が受け取った熱量を求めなさい。
- (6) 状態 C から圧力一定で気体をゆっくりと圧縮して、状態 A に戻した。(1)~(4)のサイクル(状態 A→状態 B→状態 C→状態 A)の熱効率を求めなさい。

問2 水素  $H_2$  とヨウ素  $I_2$  からヨウ化水素  $HI$  を生成する気相反応は、以下の平衡反応になる。



以下の設問(1)~(2)に答えなさい。ただし、298 K の気体状態における水素、ヨウ素、ヨウ化水素の標準生成ギブズエネルギーは、それぞれ 0, 19.3, 1.70  $\text{kJ mol}^{-1}$  である。

- (1) 標準反応ギブズエネルギーを求めなさい。
- (2) 298 K における平衡定数を求めなさい。ただし、気体定数は  $R = 8.31 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$  としなさい。

## 問題用紙

専攻名	フロンティア工学専攻（一般選抜）	
試験科目名	専門科目 (b)化学工学系 ④化学工学熱力学・物理化学－II	P.15 / 18

・ IIを1枚の答案用紙に解答し、答案用紙の科目名欄には

(b)④化学工学熱力学・物理化学－II と記入すること。

・ 解答の経緯を省略せず明記してください。

## II

温度  $T$  の物体から放射される振動数  $\nu$  の電磁波のエネルギー分布は、以下のプランク分布に従う。

$$\rho(T, \nu) = \frac{8\pi h}{c^3} \frac{\nu^3}{\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right) - 1}$$

ここで、 $h$  はプランク定数、 $c$  は光速、 $k$  はボルツマン定数である。以下の問1～問2に答えなさい。

問1 温度  $T$  の物体から放射される電磁波の全エネルギーが、 $T^4$  に比例することを示しなさい。また、その比例定数を求めなさい。ただし、次式の関係式を用いても良い。

$$\int_0^{\infty} \frac{x^3}{e^x - 1} dx = \frac{\pi^4}{15}$$

問2 200°C の物体から放射される電磁波の全エネルギーは、100°C の物体から放射される電磁波の全エネルギーの何倍になるか求めなさい。

専攻名 フロンティア工学専攻（一般選抜）

試験科目名 専門科目 (c)電子情報工学系  
①電気回路

P.16 / 18

- ・ I, IIをそれぞれ1枚の答案用紙に解答し、答案用紙の科目欄にはそれぞれ (c)①電気回路-I (c)①電気回路-II と記入してください。
- ・ 解答の経緯を省略せずに明記してください。

I

図1の直流回路に関して、以下の問に答えなさい。図1の回路には、直流電圧 $E$  [V]、スイッチ $S$ 、コイル $L$  [H]、抵抗 $R$  [ $\Omega$ ]が接続されている。ここで、 $i_{R1}(t)$ は時刻 $t$  [s]において抵抗 $R$ に流れる電流である。 $t < 0$ でスイッチ $S$ は開いており、 $t = 0$ でスイッチ $S$ を閉じたとする。また、 $t \leq 0$ において $i_{R1}(t)$ はゼロとする。

- 問1  $t = 0$ でスイッチ $S$ を閉じた後の、回路に流れる電流 $i_{R1}(t)$ に関する回路方程式を示しなさい。  
 問2 問1で求めた回路方程式を解き、電流 $i_{R1}(t)$  [A]を求めなさい。  
 問3  $t = 0$ でスイッチ $S$ を閉じた後、十分時間が経過したとき ( $t \rightarrow \infty$ ) の電流 $i_{R1}(t)$  [A]を求めなさい。

II

図2、図3の交流回路に関して、以下の問に答えなさい。図2、図3の回路には、直流電圧源 $E$  [V] (図3のみ)、コイル $L$  [H]、抵抗 $R$  [ $\Omega$ ]、交流電流源 $i(t) = \sqrt{2}|I|\sin(\omega t + \pi/2)$  [A] (実効値 $|I|$  [A]、角周波数 $\omega$  [rad/s]、時間 $t$  [s]、位相角 $\pi/2$  [rad]) が接続されている。ここで、 $i_{R2}(t)$ と $i_{R3}(t)$ は時刻 $t$  [s]において図2、図3それぞれの抵抗 $R$ に流れる電流である。また、図2、図3の回路は定常状態である。

- 問1 交流電流源 $i(t)$ の複素数表示を $I$  [A]とすると、 $I$  [A]を示しなさい。(  $i(t)$ の位相角に注意すること。)  
 問2 図2の $i_{R2}(t)$ の複素数表示を $I_{R2}$  [A]とすると、 $I_{R2}$  [A]を求めなさい。  
 問3 問2で求めた $I_{R2}$ を時間関数で表示することで、 $i_{R2}(t)$  [A]を求めなさい。  
 問4 図3の電流 $i_{R3}(t)$  [A]を求めなさい。(必要に応じてこれまで求めた $i_{R1}(t)$ や $i_{R2}(t)$ の値を用いてもよい。)  
 問5  $E = 1$  [V]、 $L = 50$  [H]、 $R = 100$  [ $\Omega$ ]、 $I = 10$  [mA]、 $\omega = 2$  [rad/s]のとき、電流 $i_{R3}(t)$  [A]を求めなさい。また、この条件のときの電流 $i_{R3}(t)$ の時間変化のグラフを $0 \leq t \leq 2\pi$ の範囲で示しなさい。  
 問6 問5の条件のとき、電流 $i_{R3}(t)$ の実効値 $I_{rms}$  [A]と平均値 $I_{ave}$  [A]を示しなさい。

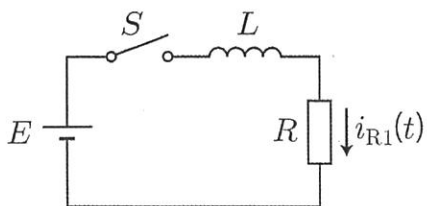


図1

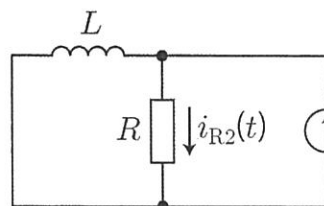


図2

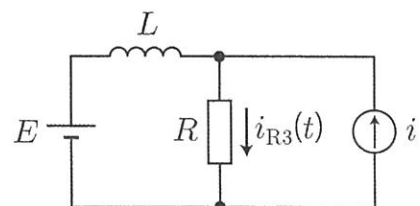


図3

専攻名	フロンティア工学専攻(一般選抜)	
試験科目名	専門科目 (c)電子情報工学系 ②電子回路	P.17 / 18

- ・1枚の答案用紙に解答し、答案用紙の科目欄には (c)② 電子回路 と記入してください。
- ・解答の経緯を省略せずに明記してください。

I 図1および図2は、オペアンプ、抵抗とコンデンサを用いたインピーダンス変換回路である。以下の間に答えなさい。ここで、オペアンプの入力インピーダンスは $\infty$ 、差動利得は $\infty$ 、出力インピーダンスは0とし、イマジナリーショートを利用して良い。また、信号の角周波数を $\omega$ とする。

問1 図1の回路の出力 $v_o$ を求めなさい。

問2 図1の回路の入力インピーダンス $Z_{in1} = \frac{v_i}{i}$ を $Z_{in1} = a + jb$ と表したとき、 $a$ と $b$ を求めなさい。

問3  $R_1 \ll R_2$ , かつ、 $\omega CR_1 \ll 1$ とする。このとき、問2で求めた $a$ が角周波数 $\omega$ に依存しないと近似できる角周波数 $\omega$ の条件を示し、そのときの $Z_{in1}$ の近似式を求めなさい。

問4  $R_1 = 100 \Omega$ ,  $R_2 = 1 \text{ M}\Omega$ ,  $C = 0.1 \mu\text{F}$ とすると、問3で求めた近似式から $Z_{in1}$ の値を求めなさい。

問5 問4で求めた $Z_{in1}$ を実現する受動回路を描き、その素子値を書きなさい。

問6 図2において、イマジナリーショートを利用して、(A)点の電圧 $v_A$ と(B)点の電圧 $v_B$ を求めなさい。

問7 図2の回路の入力インピーダンス $Z_{in2} = \frac{v_i}{i}$ を求めなさい。

問8  $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$ ,  $C = 0.1 \mu\text{F}$ とすると、 $Z_{in2}$ の値を求めなさい。

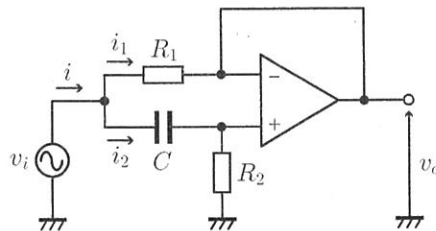


図1. インピーダンス変換回路(1)

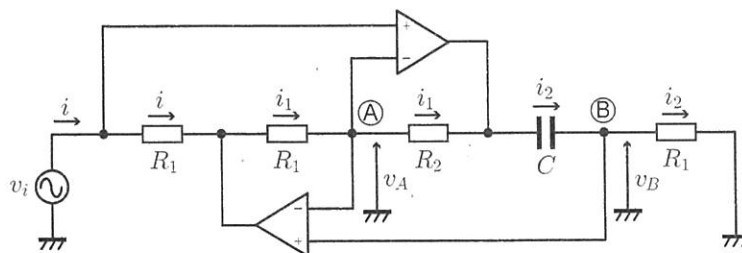


図2. インピーダンス変換回路(2)

問題用紙

専攻名	フロンティア工学専攻（一般選抜）	
試験科目名	専門科目 (c)電子情報工学系 ③論理回路	P.18 / 18

- ・1枚の答案用紙に解答し、答案用紙の科目欄には (c)③論理回路 と記入してください。
- ・解答の経緯を省略せずに明記してください。

表1. 状態遷移表

入力 $x$	現状態		次状態		出力 $z$
	$Q_{n(1)}$	$Q_{n(0)}$	$Q_{n+1(1)}$	$Q_{n+1(0)}$	
0	0	0	0	1	0
1	0	0	1	0	0
0	0	1	1	1	0
1	0	1	0	0	1
0	1	0	0	0	1
1	1	0	1	1	0
0	1	1	1	0	0
1	1	1	0	1	0

I 表1の状態遷移表に示す順序回路を考える。  
入力を $x$ 、状態を $Q_{n(1)}Q_{n(0)}$ 、出力を $z$ とする。  
以下の問いに答えなさい。

- 問1 この回路の状態遷移図を描きなさい。  
問2 この回路の入力が常に $x=0$ であるときに、状態がどのように遷移するのかを示しなさい。初期状態は $Q_{n(1)}Q_{n(0)}=00$ とし、一周期分を示すこと。  
問3 問2のような符号の名称を答えなさい。  
問4 この回路の簡単化された応用方程式と出力の方程式を求めなさい。簡単化の過程も示すこと。

- 問5 この回路の回路図を描きなさい。立ち下がりエッジトリガのDフリップフロップを用いるものとする。排他的論理和を用いても良い。  
問6 この回路に入力 $x$ として0,1,0,0,1を与えた際のタイミング図を描きなさい。初期状態は $Q_{n(1)}Q_{n(0)}=00$ とする。入力 $x$ はクロックの立ち上がりエッジで変化するものとする。

II 以下の問いに答えなさい。

- 問1 1ビットの誤りを訂正できる符号の特徴と誤りの訂正方法について、ハミング距離を用いて説明しなさい。  
問2 2変数のド・モルガンの定理を示しなさい。  
問3 次の論理式と双対な論理式を示しなさい。

$$F = (A + B)(C + D)$$