

問題用紙

専攻名 フロンティア工学専攻（一般選抜，外国人留学生特別選抜）

試験科目名 専門科目 (a)機械工学系
①材料力学－I

P. 1 / 2 1

- ・ I を 1 枚の答案用紙に解答し，答案用紙の科目名欄には 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

以下のように長さ L ，密度 ρ ，ヤング率 E の弾性体の棒が剛体の天井から吊り下げられている。以下の問に答えなさい。なお，重力加速度を g ，棒の下端からの距離を x とする。

問1 図1-1に示すように，任意の x において断面積 A が一定値 A_0 である丸棒の場合， x の横断面に作用する棒の自重による荷重 $W(x)$ を， L ， ρ ， E ， g ， A_0 ， x を用いて示しなさい。

問2 棒の許容引張応力を σ_a とした場合，図1-1の棒の最大長さ L_a を， σ_a ， ρ ， E ， g ， x を用いて示しなさい。

問3 図1-2に示すように，円錐状の棒を吊り下げた場合， x の横断面（断面積を $A(x)$ とする）に作用する棒の自重による荷重 $W(x)$ を， L ， ρ ， E ， g ， $A(x)$ ， x を用いて示しなさい。

問4 図1-2の棒の全体の伸び λ_L を， L ， ρ ， E ， g ， $A(x)$ ， x を用いて示しなさい。

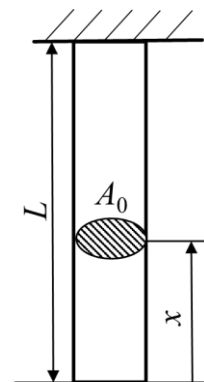


図1-1

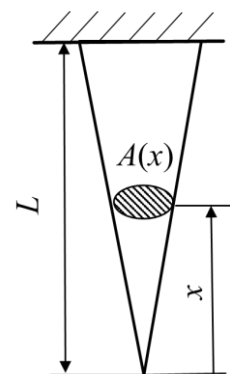


図1-2

図1-3に示すように， $x=0$ に集中荷重 P が作用する棒の下端から x の増加にともなって少しずつ断面積 A を増加させてやれば，横断面に作用する引張応力 σ_0 が一定の棒を作ることができる。以下の問に答えなさい。

問5 この棒を， x 断面と $x+dx$ 断面とで仮想切断した微小部分に対する力のつり合い図を描き，以下の力のつり合い式の

□ 部分を埋めなさい。

$$(A(x) + dA(x))\sigma_0 = A(x)\sigma_0 + \square dx \quad (a)$$

問6 (a)式を整理した，次式の □ 部分を埋めなさい。
ただし，左辺の空欄と右辺の空欄には異なる文字が入る。

$$\frac{\square}{A(x)} = \frac{\rho g}{\sigma_0} \square \quad (b)$$

問7 (b)式を解いて任意の x に対する $A(x)$ を， σ_0 ， ρ ， E ， g ， P ， x を用いて示しなさい。

問8 図1-3に示す棒全体の伸び λ_L を， σ_0 ， ρ ， E ， g ， P ， L を用いて示しなさい。

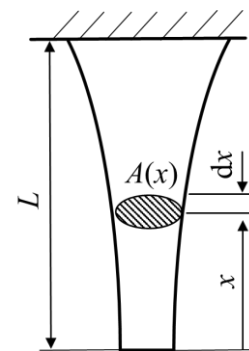


図1-3

問題用紙

専攻名	フロンティア工学専攻（一般選抜，外国人留学生特別選抜）	
試験科目名	専門科目 ①材料力学－II	P.2 / 21

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

II

図2のような幅 b ，高さ h の長方形断面を持つ長さ l のはり AB に，長さ $l/4$ の剛体板 BC が AB と垂直に取り付けられている。このはり先端の点 B に垂直荷重 P が，剛体板先端の点 C に水平荷重 F がそれぞれ加えられている。次の問に答えなさい。

ただし， $l \gg b, h$ とし，はりの自重は考慮しなくてよい。 F による軸応力は曲げ応力に比べて小さく無視できるものとする。はり AB は A から距離 x をとるものとする。また， $P > F/4$ とする。

- 問1 固定端 A に生ずる水平反力，垂直反力および反モーメントの大きさを求めなさい。
- 問2 はり AB に生ずるせん断力を求め，せん断力図（SFD）を描きなさい。
- 問3 はり AB に生ずる曲げモーメントを求め，曲げモーメント図（BMD）を描きなさい。
- 問4 固定端 A のはり上面に生ずる曲げ応力 σ_A を求めなさい。
- 問5 はり中央の点 D における曲げ応力がゼロとなるときの P と F の関係を求めなさい。

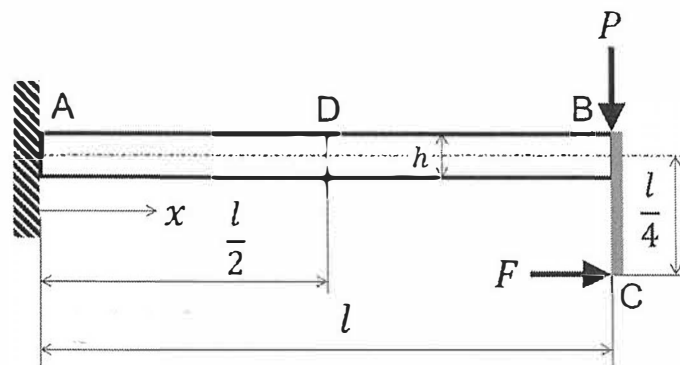


図2

令和6年度（10月期入学）及び令和7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, 外国人留学生特別選抜）	
試験科目名	専門科目 (a)機械工学系 ②振動工学－I	P.3 / 21

- ・Iを1枚の答案用紙に解答し、答案用紙の科目欄には ②振動工学－I 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に示すように、長さ l で断面および密度の様な質量 m の棒があり、一端の点 O で自由に回転できるよう支持されている。棒は点 O から αl 離れた位置にある垂直なバネと βl 離れた位置にある減衰係数 c の垂直なダンパで地面と接続されている。静止している状態では棒は水平でつりあっており、そのときバネは自然長から Δy 縮んでいる。水平軸から時計回りに測った棒の傾きを θ 、重力加速度を g 、 $0 < \alpha \leq 1$ かつ $0 < \beta \leq 1$ とする。 θ は十分小さいとして、以下の問に答えなさい。

問1 棒の重心周りの慣性モーメントが $ml^2/12$ であることを導出しなさい

問2 点 O 周りの棒の慣性モーメントが $ml^2/3$ であることを導出しなさい。

問3 バネのバネ定数を求めなさい。

問4 この系の自由振動の運動方程式を求めなさい。

問5 この系の不減衰固有角振動数 ω_n を求めなさい。

問6 この系が臨界減衰となるダンパの減衰係数 c_{cr} を求めなさい。

問7 この系が不足減衰であったときの減衰固有角振動数 ω_d を求めなさい。

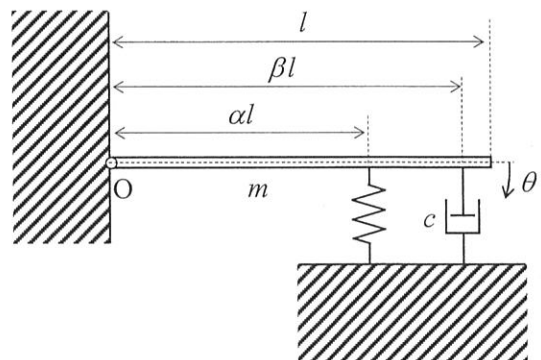


図1

問題用紙

専攻名 フロンティア工学専攻（一般選抜，外国人留学生特別選抜）

試験科目名 専門科目 (a)機械工学
②振動工学－II

P.4 / 21

- ・ 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

図2のように，質量 M の板が2本のばね定数 k のばねで吊り下げられている。その板の上には，ばね定数 k のばねを介して質量 m の重りがついている。重力加速度を g とし，板も重りも重力方向にのみ動くものとする。以下の問に答えなさい。

問1 板を吊っているばねの静たわみを求めなさい。

問2 板が軽く，板の質量が無視できる場合について，この振動系の固有角振動数 ω_0 を求めなさい。

以下の設問では，釣り合っている状態からの板と重りの変位をそれぞれ x_1, x_2 （下向きを正）とし， $M = 2m$ として答えなさい。

問3 板と重りの自由振動の運動方程式を示しなさい。

問4 この振動系の1次と2次の固有角振動数 ω_1, ω_2 ($\omega_1 < \omega_2$)を求めなさい。

問5 この振動系の1次と2次の固有モード（板の振幅に対する重りの振幅の比）を求めなさい。

問6 板を吊り下げている2本のばねの固定端を下向きに変位 $u = a \cos \omega t$ （振幅 a ，角振動数 ω ，時間 t ）で揺らした。 u を用いて，板と重りの運動方程式を示しなさい。

問7 問6のとき，板の振幅応答曲線の概略を示しなさい。ただし，応答曲線の縦軸を板の振幅の絶対値

$|X_1|$ ，横軸を角振動数 ω とし， $\omega = 0, \sqrt{\frac{k}{m}}, \omega_1, \omega_2$ のときの $|X_1|$ の値が分かるようにしなさい。

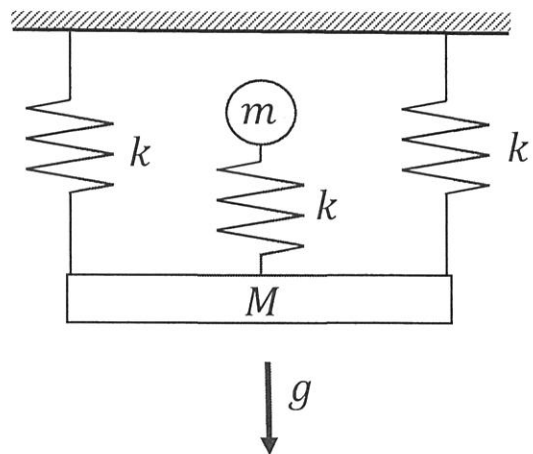


図2

令和6年度（10月期入学）及び令和7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，外国人留学生特別選抜）	
試験科目名	専門科目 ③流れ学-I （1 / 2）	P.5 / 21

- ・ I を 1 枚の答案用紙に解答し，答案用紙の科目名欄には 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のように断面積 S の円筒型の大きな容器があり，容器底部に開閉可能な断面積 A の小孔を設ける。はじめは，この小孔は閉じている。このため，容器上部の開口部から水を入れ，水位が高さ H になっても，小孔から水は噴出ししない。水位が高さ H の場合の非圧縮性非粘性の静止流体を考え，以下の設問に答えなさい。なお，水の密度を ρ ，重力加速度を g ，大気圧を p_0 とし，容器は固定されているとしなさい。

問1 容器内側底部の絶対圧とゲージ圧を求めなさい。

次に，図1の小孔を開くと，水が噴出（流出）する。小孔を開いた直後の容器にはたらく流体力を求めるため，容器を囲む検査体積を考える。水の流出面を含めた検査体積境界の圧力は，大気圧 p_0 である。力は z 方向成分のみを考え，力の向きは z 方向（鉛直上向き）を正とする。流れは定常の非圧縮性非粘性流れとし，小孔形状による損失などの各種損失の影響は無視しなさい。容器断面積 S は小孔断面積 A よりも充分大きいので，水位は高さ H で一定で，水面の水の流速は0と考えなさい。

問2 ベルヌーイの式を用いて，小孔から流出する水の平均流速を求めなさい。

問3 小孔から流出する水の体積流量を求めなさい。

問4 運動量の法則を用いて，容器にはたらく流体力の z 方向成分を求めなさい。重力などの体積力は無視しなさい。

時間が経過すると，図2のように水位 h が， H から0に徐々に低下する。「水位が H から0になるまでの時間」を概算するため，以下の設問に答えなさい。水位 h の座標軸の向きは鉛直上向きを正とし，小孔を開いた時刻 $t=0$ では $h=H$ であり， $h=0$ になる時刻を t_0 とする。 t_0 を概算するため，各時刻の小孔から流出する水の平均流速（および体積流量）を求める時には，定常流れと考えなさい。水面や流れの乱れ，各種損失などの影響は無視しなさい。図2の容器は図1の容器と同一で，容器断面積 S は小孔断面積 A よりも充分大きく，小孔は開いている。

問5 時刻 t ，水位 h の時に，小孔から流出する水の体積流量を， A ， g ， h を用いて表しなさい。水位 h の水面の水の流速を0とし，定常流れの問2，問3の考え方を利用しなさい。

問6 時刻 t から時刻 $t+dt$ の微小時間に，小孔から流出する水の体積を， A ， g ， h ， dt を用いて表しなさい。「微小時間 dt において，流出する水の体積流量（および流速）は一定」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，外国人留学生特別選抜）	
試験科目名	専門科目 ③流れ学-I （2/2）	P.6 / 21

問7 小孔から水が流出するため，時刻 t から時刻 $t+dt$ の微小時間に，水位は h から $h-dh$ に変化する。 dh/dt を， A ， g ， h ， S を用いて表しなさい。

問8 水位が $h=0$ になる時刻 t_0 を， A ， g ， H ， S を用いて表しなさい。 $t_0 = \int_0^{t_0} dt$ を利用しなさい。

前の設問では， t_0 を概算するため，水位 h の水面の水の流速を0とし，小孔から流出する水の体積から，水位の時間変化 dh/dt を求めた。最後に，図3のように水位は高さ h で一定として，連続の式とベルヌーイの式を用いて，水面の水の流速 v_1 を求めなさい。流れは定常の非圧縮性非粘性流れとし，小孔形状による損失などの各種損失の影響などは無視しなさい。図3の容器は図1の容器と同一で，小孔は開いている。容器断面積 S は小孔断面積 A よりも充分大きく，水位は高さ h で一定で，変化しない。

問9 水面の水の流速 v_1 を， A ， g ， h ， S を用いて表しなさい。さらに， v_1 と「問7で求めた dh/dt の大きさ $|dh/dt|$ 」を比較し，その大小関係を述べなさい。

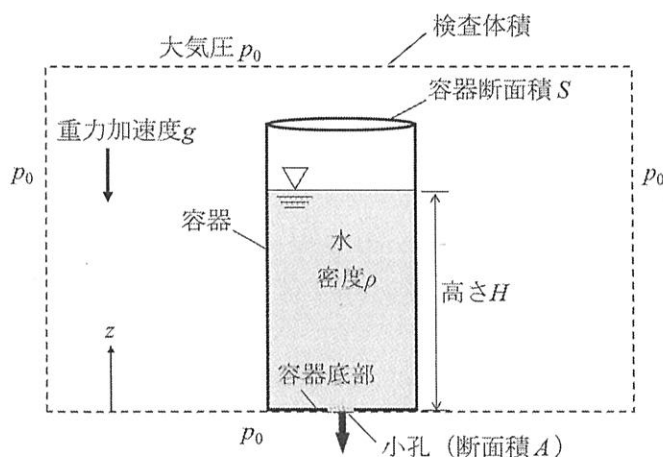


図1

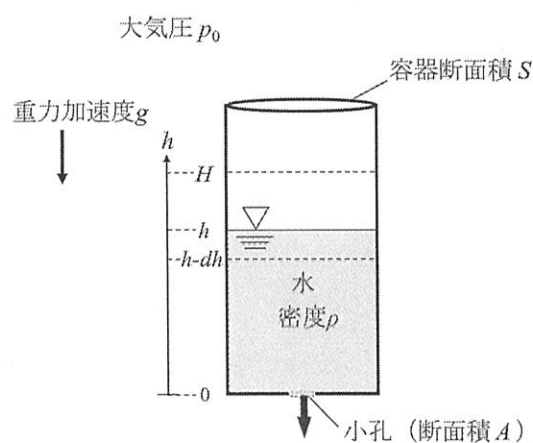


図2

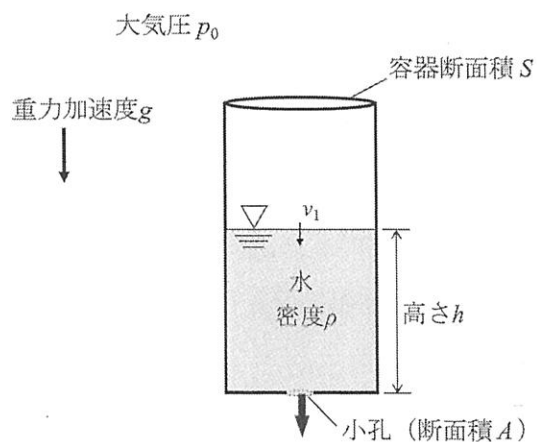


図3

令和6年度（10月期入学）及び令和7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，外国人留学生特別選抜）	
試験科目名	専門科目 ③流れ学-II	P. 7 / 21

- ・ II を 1 枚の答案用紙に解答し，答案用紙の科目名欄には 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4に示すように角度 θ 傾けて固定された平面壁上を，液体が一定の厚さ b で薄い膜状になって下方へ層流の定常状態で流れている。液体はニュートン流体であり，密度を ρ ，粘度を μ とし，座標系は x 軸を平面壁に沿った方向で下向きを正にとり， y 軸を平面壁に垂直な方向で上向きを正にとる。重力加速度を g ，液体内の圧力は一定，壁面上では流速は0とする。流れは完全に発達したものとし，空気との摩擦の影響などは無視して，以下の設問に答えなさい。

- 問1 液体内の点 (x, y) にある奥行きが単位幅の直方体の微小流体要素(長さ dx ，高さ dy ，奥行き 1)の質量を ρ ， dx ， dy で表しなさい。
- 問2 この微小流体要素の面①には，流れによってせん断応力 τ が作用する。このせん断応力の方向は， x 軸の正の方向，負の方向のどちらであることを回答しなさい。
- 問3 この微小流体要素の面②には，流れによってせん断応力 $\tau + (d\tau/dy)dy$ が作用する。このせん断応力の方向は， x 軸の正の方向，負の方向のどちらであることを回答しなさい。
- 問4 液体内の圧力分布が一定であるため，この微小流体要素の面③と面④に作用する圧力による力のはつり合っている。したがって，この微小流体要素に作用するせん断応力と外力（重力）から力のはつり合いの式を立て，以下の微分方程式の右辺の□に入る式を求めなさい。

$$\frac{d\tau}{dy} = \square$$

- 問5 問4の微分方程式から，せん断応力 $\tau(y)$ の式を求めなさい。ただし，空気側の膜表面 ($y=b$) では，せん断応力が作用しないことを考慮しなさい。
- 問6 ニュートンの粘性法則 $\tau(y)=\mu(du/dy)$ を利用して，平面壁に垂直な断面での速度分布 $u(y)$ を求めなさい。ただし，式中には τ を含めてはならない。
- 問7 速度分布 $u(y)$ を y 方向に積分して，奥行き 1 の膜状の液体の体積流量 Q を求めなさい。ただし，式中には τ を含めてはならない。
- 問8 体積流量 Q が最大となる角度 θ を求めなさい。ただし， $0 \leq \theta \leq \pi/4$ とする。

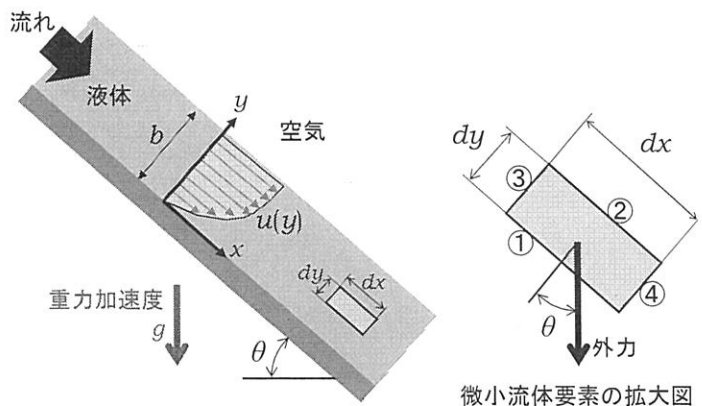


図4

問題用紙

専攻名	フロンティア工学専攻(一般選抜, 外国人留学生特別選抜)	
試験科目名	専門科目 ④熱力学-I	P.8 / 21

- ・Iを単独で1枚の答案用紙に解答し, 答案用紙の科目名欄には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

質量 m [kg], 気体定数 R [J/(kg·K)], 比熱比(定圧比熱と定積比熱の比) κ の理想気体を用いた以下のサイクルがある。

状態1→状態2 温度 T_L [K]から温度 T_H [K]まで体積一定で加熱

状態2→状態3 温度 T_L まで可逆断熱膨張

状態3→状態1 温度一定で熱を放出しながら, 状態1にもどる

今, $T_H = 3T_L$ として以下の問いに答えなさい。

- 問1 このサイクルの p - V (圧力 [Pa]-体積 [m^3]) 線図および T - S (温度 [K]-エントロピー [J/K]) 線図を描き, 図中に状態1~3を示しなさい。
- 問2 気体が1サイクルあたりに周囲になす仕事 L [J/cycle]を m, R, κ, T_L を用いて表しなさい。
- 問3 このサイクルの熱効率(加熱量に対する仕事の割合)を求めなさい。
- 問4 状態1→状態2, 状態2→状態3, 状態3→状態1の各過程におけるエントロピーの変化量 ΔS_{12} [J/K], ΔS_{23} [J/K], ΔS_{31} [J/K]を求め, それらの合計値が零になることを示しなさい。
- 問5 サイクル中の最高温度 T_H と最低温度 T_L を一定とする条件で, 最大熱効率が得られるように状態1→状態2の行程を変更したい。その経路を T - S 線図上に点線で示しなさい。また, その熱効率を求めなさい。

問題用紙

専攻名	フロンティア工学専攻（一般選抜，外国人留学生特別選抜）	
試験科目名	専門科目 ④熱力学－II	P.9 / 21

- ・ II, III を1枚の答案用紙に解答し，答案用紙の科目名欄には 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

準静的過程における理想気体の T - s （温度－比エントロピー）線図を考える。図1に示されるように等圧線上の任意の点 a において接線を引き， T - s 線図の横軸との交点を b とし， a より横軸へ垂線 ac を立てる。以下の空欄に当てはまる数式（①～③の欄），および語句（④の欄）を答えなさい。ただし，本文中にない記号を用いる場合には，例えば「 R （気体定数）」などのようにその定義を明示すること。

熱力学の関係式から単位質量あたりの理想気体の微小加熱量は $dq =$ ① ，
また等圧変化であるので $dq =$ ② となる。したがって，① = ② となるので， $dT/ds =$ ③ となる。一方， dT/ds は任意の点の傾きを表すから， $dT/ds =$ （線分 ac ）/（線分 bc ）である。よって，接線影（図1中の d ）は点 a における ④ の大きさを表す。

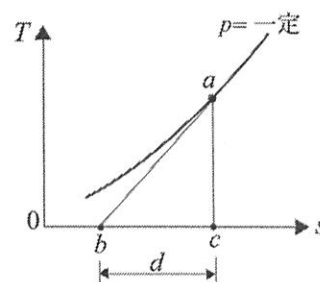


図1

III

図2に示されるオットーサイクルがある。作動流体は理想気体とし，断熱膨張後の温度[K]（状態4の温度）が断熱圧縮前の温度 T_1 [K] の3倍であった。圧縮比を ε （ $=V_1/V_2$ ），比熱比（=定圧比熱と定積比熱の比）を κ ，断熱圧縮前の気体の圧力，体積，温度をそれぞれ p_1 [Pa]， V_1 [m³]， T_1 [K]として，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 1サイクルあたりに等積過程で作動流体に加えられる熱量 [J/cycle]を求めなさい。

問2 1サイクルあたりに得られる仕事 [J/cycle]を求めなさい。

問3 このオットーサイクルとシリンダ容積（ V_1 ），供給熱量，圧縮比，サイクル開始点の温度 T_1 ，圧力 p_1 が等しいディーゼルサイクルがある。

- (1) この2つのサイクルの p - V 線図および T - S 線図をそれぞれ重ねて答案用紙に描きなさい。ここで，ディーゼルサイクルの線図は点線で表し，各過程の終点は 3_D ， 4_D などのように表しなさい。
- (2) オットーサイクルの熱効率 η_O とディーゼルサイクルの熱効率 η_D のどちらが高くなるか，(1)で作成した線図を利用して説明しなさい。

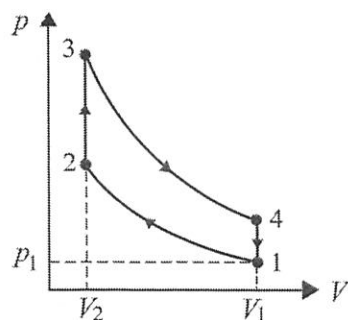
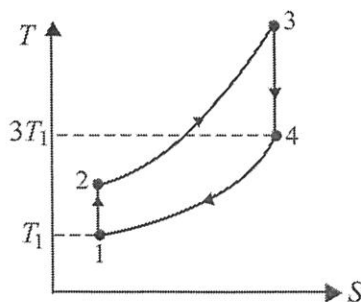


図2 (a) p - V （圧力－体積）線図



(b) T - S （温度－エントロピー）線図

令和6年度（10月期入学）及び令和7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，外国人留学生特別選抜）	
試験科目名	専門科目 (b) 化学工学系 ①プロセス工学量論・単位操作	P.10 / 21

- ・ I を1枚の答案用紙に解答し，答案用紙の科目名欄には

専門科目

①プロセス工学量論・単位操作－I

と記入してください。

- ・ 解答の経緯を省略せず明記してください。

I

以下の問1～3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) 熱伝導度，(2) 拡散係数，(3) エンタルピー

問2 2成分 ($i = 1, 2$) での気液平衡を考える。成分 i の液相でのモル分率を x_i ，気相でのモル分率を y_i ，純物質の飽和蒸気圧を P_i° とする。

(1) 次の括弧内に入る語句を答えなさい。

関係 $p_i = P_i^\circ x_i$ が成り立つことを (a) の法則とよび，この関係が成り立つ溶液を (b) という。
この系では次式が成立する。

$$y_i = \frac{P_i^\circ x_i}{P_1^\circ x_1 + P_2^\circ x_2} \quad (1)$$

一方，成分が希薄な場合，平衡状態で溶液中のこの成分の液相中濃度 C と気相中分圧 p との間に比例関係 $p = HC$ が成り立つことが知られている。このような関係を (c) の法則という。

(2) 低沸点成分を $i = 1$ ，相対揮発度を $\alpha_{12} = P_1^\circ/P_2^\circ$ とするとき， y_1 は式 (2) のように表される。

式 (1) から式 (2) を導出しなさい。

$$y_1 = \frac{\alpha_{12} x_1}{(\alpha_{12} - 1)x_1 + 1} \quad (2)$$

問3 2成分系の低沸点成分の気相モル分率 y_1 と液相モル分率 x_1 の平衡関係は上記の式 (2) で表される。
また，式 (2) の逆関数は次の式 (3) となる。

$$x_1 = \frac{y_1}{y_1 + \alpha_{12} - \alpha_{12} y_1} \quad (3)$$

$\alpha_{12} = 3.2$ なる系を考える。この系の混合物を連続（多段）蒸留し，低沸点成分のモル分率を留出液中で $x_D = 0.95$ ，缶出液中で $x_W = 0.05$ としたい。まずは，McCabe-Thiele 法で最小理論段数を求める。
各段で気液は平衡と考える。最上段の低沸点成分の気相モル分率は， $y_1^{[1]} = x_D = 0.95$ となる。最上段

令和6年度（10月期入学）及び令和7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，外国人留学生特別選抜）	
試験科目名	専門科目 (b) 化学工学系 ①プロセス工学量論・単位操作	P. 11 / 21

の低沸点成分の液相モル分率 $x_1^{[1]}$ は $y_1^{[1]}$ と平衡だから，上式 (3) に $y_1 = y_1^{[1]} = 0.95$ を代入し $x_1^{[1]} = 0.856$ を得る。最小理論段数を求める場合，操作線は対角線に一致するため， $y_1^{[2]} = x_1^{[1]} = 0.856$ となる。

- (1) $x_1^{[2]}$ を求めなさい。
- (2) 最小理論段数を求めなさい。
- (3) 原料が低沸点成分のモル分率 $x_F = 0.4$ の沸騰状態の液の場合の最小環流比を求めなさい。
- (4) 原料が低沸点成分のモル分率 $x_F = 0.4$ の沸騰状態の蒸気の場合の最小環流比を求めなさい。
- (5) 上記 (3) の条件下で原料供給量 $F = 100 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1}$ で運転するとき，流出液量 D ，缶出液量 W 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, 外国人留学生特別選抜)	
試験科目名	専門科目 ②移動現象論(流体力学・伝熱工学)	P.12 / 21

- ・ I を1枚の答案用紙に解答し、答案用紙の科目名欄には

専門科目

②移動現象論(流体力学・伝熱工学) - I と記入してください。

- ・ 解答の経緯を省略せず明記してください。

I

以下の問1～2に答えなさい。

問1 直径 D_1 の円管と直径 D_2 の円管が接続されている。円管 D_1 に流れ込む流体の平均流速を u_1 とすると、円管 D_2 から流出する流体の平均流速 u_2 を答えなさい。

問2 水平に設置された同じ長さ L [m]と内径 D [m]の平滑直円管にそれぞれ液体と気体をポンプで流すことを考える。液体と気体のどちらも同じ体積流量 Q [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]であるとき、どちらの流体がより低いポンプ動力で流体を流すことができるか、次の(1)～(4)に従って答えなさい。ここで、液体の密度は $10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 、粘度は $10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 、気体の密度は $1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 、粘度は $10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ とする。どちらの流動状態も乱流とする。円管の両端は大気に開放されている。なお、必要であれば以下の式を用いてよい。

ブラシウスの式

$$f = 0.0791 \text{Re}^{-1/4}$$

ポンプの単位質量あたりの所要動力(単位 $\text{W} \cdot \text{kg}^{-1}$)

$$\bar{W}_s = \frac{u_2^2 - u_1^2}{2} + \frac{p_2 - p_1}{\rho} + (z_2 - z_1)g + \hat{F}$$

直円管のエネルギー損失(単位 $\text{W} \cdot \text{kg}^{-1}$)

$$\hat{F} = 4f \frac{L}{D} \frac{u^2}{2}$$

ここで、 f [-]: 流体摩擦係数、 Re [-]: レイノルズ数、 $\bar{W}_s$ [$\text{W} \cdot \text{kg}^{-1}$]: ポンプの単位質量あたりの所要動力、 u_1, u_2 [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]: 入口と出口の平均流速、 p_1, p_2 [Pa]: 入口と出口の圧力、 z_1, z_2 [m]: 入口と出口の鉛直方向の位置、 ρ [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]: 流体の密度、 g [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]: 重力加速度、 $\hat{F}$ [$\text{W} \cdot \text{kg}^{-1}$]: 単位体積あたりの直円管のエネルギー損失、 u : 平均流速 [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]を表す。

- (1) この液体の質量流量は、気体のその何倍であるか答えなさい。
- (2) この液体のレイノルズ数は、気体のその何倍であるか答えなさい。
- (3) この液体と気体の流体摩擦係数はどちらが大きいのか理由とともに示しなさい。
- (4) ポンプの所要動力(単位 W)をより多く必要とする流体はどちらか理由とともに示しなさい。

令和6年度（10月期入学）及び令和7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，外国人留学生特別選抜）	
試験科目名	専門科目 ②移動現象論（流体力学・伝熱工学）	P.13 / 21

- ・ II を 1 枚の答案用紙に解答し，答案用紙の科目名欄には

専門科目 ②移動現象論（流体力学・伝熱工学）－II

と記入してください。

- ・ 解答の経緯を省略せず明記してください。

II

以下の問1～2に答えなさい。

温度 15.0°C の水を温度 -2.50°C のブライン（不凍液）で冷却するために，熱通過率 $480\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ の二重管熱交換器を設計したい。水の質量流量が $0.330\text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$ ，比熱容量が $4.18\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ であり，ブラインの熱交換器出口温度が 4.00°C ，質量流量が $1.60\text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$ ，比熱容量が $1.05\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ である場合について答えなさい。

問1 水とブラインを向流で流す場合の熱交換量，水の熱交換器出口温度および熱交換器の所要伝熱面積をそれぞれ求めなさい。

問2 水とブラインを並流で流し，向流方式と同じ熱交換量を得るために必要な熱交換器の伝熱面積は，向流方式の何倍になるか計算しなさい。

問題用紙

専攻名	フロンティア工学専攻(一般選抜, 外国人留学生特別選抜)	
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	P.14 / 21

- ・ Iを1枚の答案用紙に解答し, 答案用紙の科目欄には

専門科目

③化学反応速度論・反応工学-I

と記入してください。

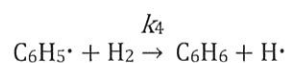
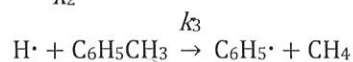
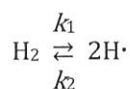
- ・ 解答の経緯を省略せずに明記してください。

I

以下の問1～2に答えなさい。

- 問1 $3A + 4B \rightarrow 6C$ で表される反応において, 量論式に対する反応速度 r が $2 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$ で表されるとき, 各成分に対する反応速度 r_A, r_B, r_C の値を求めなさい。

- 問2 トルエンの気相水素化脱アルキル化反応の量論式($\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3 + \text{H}_2 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_6 + \text{CH}_4$)において, 素反応が次式のように表されるとき, 以下の問いに答えなさい。



- (1) 活性中間体となるラジカル $\text{H}\cdot$ と $\text{C}_6\text{H}_5\cdot$ について, 反応速度 $r_{\text{H}\cdot}, r_{\text{C}_6\text{H}_5\cdot}$ を速度定数(k_1, k_2, k_3, k_4)と成分濃度($[\text{H}_2], [\text{H}\cdot], [\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3], [\text{C}_6\text{H}_5\cdot], [\text{CH}_4], [\text{C}_6\text{H}_6]$)を用いてそれぞれ表しなさい。
- (2) 定常状態近似法を用いて, 活性中間体の濃度 $[\text{H}\cdot], [\text{C}_6\text{H}_5\cdot]$ をそれぞれ示しなさい。
- (3) 量論式より, 総括反応速度 r がメタン(CH_4)の生成速度 r_{CH_4} に等しいことに注目して, 本反応における総括反応速度定数 k が $k = k_3(k_1/k_2)^{1/2}$ で表せることを示しなさい。

令和6年度（10月期入学）及び令和7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，外国人留学生特別選抜）	
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	P.15 / 21

・ II を 1 枚の答案用紙に解答し，答案用紙の科目欄には

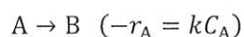
専門科目 ③化学反応速度論・反応工学－II	と記入してください。
--------------------------	------------

・ 解答の経緯を省略せずに明記してください。

II

以下の問 1 ～ 4 に答えなさい。

連続槽型反応器（CSTR）を用いて，等温・定容条件下で次の 1 次不可逆反応をおこなわせた。このとき，以下の問 1 ～ 問 4 に答えなさい。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る。



問 1 図 1 のように反応体積を V とした反応器に体積流量 v_0 で原料を供給したとき，出口における反応率が x_A であった。反応速度式を限定反応成分 A の入口濃度 C_{A0} と反応率 x_A で表しなさい。

問 2 この時の反応率 x_A を反応速度定数 k と反応体積 V ，体積流量 v_0 を用いて表しなさい。

問 3 同じ種類の反応器を用いて反応体積を aV ， $(1-a)V$ の 2 槽に分けて直列につなぎ，1 槽の時と同じ体積流量 v_0 で原料を反応器に供給した（図 2）。2 槽目入口と出口における限定反応成分 A の濃度をそれぞれ C_{A1} ， C_{A2} とする。2 槽目出口における反応率 x_A を，反応速度定数 k ，体積 V ，体積流量 v_0 ，および a で表しなさい。ただし， a ， $(1-a)$ は体積の分割割合で， $0 < a < 1$ である。

問 4 問 3 において最大の反応率が得られるとき，各槽の体積は元の体積の $1/2$ であることを示しなさい。

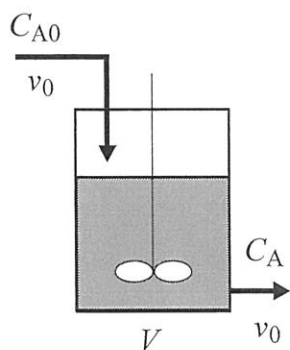


図 1 連続槽型反応器（1 槽）

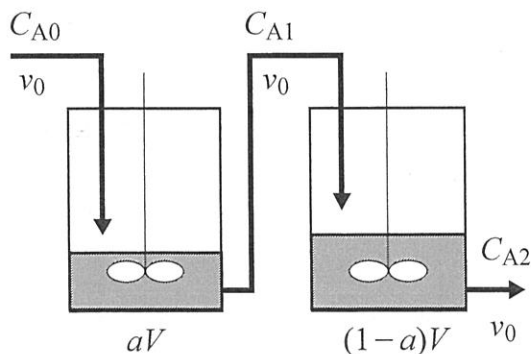


図 2 連続槽型反応器（直列 2 槽）

令和 6 年度（10 月期入学）及び令和 7 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，外国人留学生特別選抜）	
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	P.16 / 21

- ・ I を 1 枚の答案用紙に解答し，答案用紙の科目欄には (b)④化学工学熱力学・物理化学—I 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

以下の問 1 ～問 2 に答えなさい。

問 1

温度 T が一定の条件で，系の体積 V を変化させたときの内部エネルギー U の変化 π_T を内圧と呼び，以下の式で定義される。

$$\pi_T = \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T$$

内圧に関する以下の設問(1)～(2)に答えなさい。ただし，気体定数は R とする。

- (1) マクスウェルの関係式を用いて，以下の関係式が成り立つことを示しなさい。ただし， p は系の圧力である。

$$\pi_T = T \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_V - p$$

- (2) 1 モルのファンデルワールス気体が圧力 p ，体積 V ，温度 T の状態にあるとして，内圧を求めなさい。ただし，1 モルのファンデルワールス気体の状態方程式は， a および b を定数として，

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

で与えられるとする。

問 2

温度 T が一定の条件で，系の圧力 p を微小変化させたときの化学ポテンシャルの変化 $d\mu$ は，

$$d\mu = -V_m dp$$

で与えられる。ここで， V_m は系のモル体積である。

化学ポテンシャルに関する以下の設問(1)～(3)に答えなさい。ただし，水素と酸素の原子量はそれぞれ 1.0 および 16 として，気体定数は $R = 8.314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ を用いなさい。

- (1) 0.0°C ， 0.10 MPa における水の密度が $1.0 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ として，水のモル体積を SI 単位で求めなさい。
- (2) 0.0°C において水の圧力を 0.10 MPa から 0.50 MPa まで上昇させた。このときの水の化学ポテンシャルの変化を SI 単位で求めなさい。ただし，水の密度は圧力によらず一定とする。

問題用紙

専攻名	フロンティア工学専攻(一般選抜, 外国人留学生特別選抜)	
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	P.17 / 21

ルの変化をSI単位で求めなさい。ただし、水の密度は圧力によらず一定とする。

- (3) 0.0°C, 0.10 MPaにおいて水と氷が共存していた。温度が一定の条件で圧力を0.50 MPaまで加圧したとき、水と氷の比率はどのように変化するか、理由とともに答えなさい。ただし、0.0°C, 0.10 MPaにおける氷の密度は $0.92 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ で、圧力によらず一定とする。

- ・ IIを1枚の答案用紙に解答し、答案用紙の科目欄には

専門科目

④化学工学熱力学・物理化学－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

以下の問1～5に答えなさい。

水素原子のモデルとして、真空中にて質量 m_e 、電荷 $-e$ の電子が、電荷 $+e$ の陽子の周りを半径 r 、速度 v の等速円運動をしているモデルを考える。以下の問1～問5に答えなさい。ただし、真空の誘電率を ϵ_0 とする。

問1

定常状態の円軌道を仮定すると、電子に働く遠心力と静電引力がつり合う。この力のつり合いの式を書きなさい。

問2

電子のド・ブローイ波長 λ_e は、プランク定数 h を用いて、

$$\lambda_e = \frac{h}{m_e v}$$

で与えられる。また、ボーアの量子化条件は、 n を正の整数として、

$$2\pi r = n\lambda_e$$

で与えられる。ボーアの量子化条件が成り立つとして、水素原子における電子の円軌道の半径 r が

$$r = \frac{\epsilon_0 n^2 h^2}{\pi e^2 m_e}$$

と表されることを示しなさい。

問3

問2の電子の全エネルギーが

問題用紙

専攻名	フロンティア工学専攻（一般選抜，外国人留学生特別選抜）	
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	P.18 / 21

$$E_n = -\frac{e^4 m_e}{8 \varepsilon_0^2 n^2 h^2}$$

と表されることを示しなさい。

問 4

水素原子において、電子が m 番目の定常状態から n 番目の定常状態に遷移するとき、そのエネルギー差に相当する光子を放出する場合を考える。この光子の波長を λ とすると、以下の関係式が成り立つ。

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

リュードベリ定数 R_H を、電子質量 m_e 、電気素量 e 、プランク定数 h 、真空の誘電率 ε_0 、真空中の光速 c を用いて表しなさい。

問 5

バルマー系列において、 $m=3$ から $n=2$ に電子が遷移するときに放出される電磁波の波長を求めなさい。また、この電磁波が何色に見えるか答えなさい。ただし、 $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ 、 $m_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$ 、 $e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$ 、 $\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \cdot \text{J}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ 、 $c = 3.00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ を用いなさい。

問題用紙

専攻名	フロンティア工学専攻（一般選抜，外国人留学生特別選抜）	
試験科目名	専門科目 (c)電子情報工学系 ①電気回路	P.19 / 21

- ・ 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の定常状態の交流回路に関して，以下の問に答えなさい。図1の回路には，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 ω [rad/s]，時間 t [s]，位相角 $-\pi/2$ [rad]），抵抗 R [Ω]，コイル L [H]が接続されている。

- 問1 交流回路の複素数解析において，コイルのインピーダンスが $j\omega L$ で与えられる理由を述べなさい。
- 問2 交流電流源 $i(t)$ の複素数表示 I [A] を示しなさい。（ $i(t)$ の位相角に注意すること。）
- 問3 抵抗 R に流れる電流 I_R [A] を複素数表示で求めなさい。
- 問4 問3で求めた電流 I_R の時間関数 $i_R(t)$ を求めなさい。
- 問5 抵抗 R で消費される電力 P [W] を求めなさい。

II

図2の直流回路に関して，以下の問に答えなさい。図2の回路には，直流電圧源 E [V]，抵抗 R [Ω]，コイル L [H]，コンデンサ C [F] が接続されている。ここで，時刻 $t < 0$ 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， $t \leq 0$ において回路に流れる電流およびコンデンサの電荷はゼロとする。

- 問1 ステップ関数 $u(t)$ を用いて，抵抗 R に流れる電流 $i(t)$ に関する回路方程式を示しなさい。
- 問2 電流 $i(t)$ のラプラス変換 $I(s)$ を求めなさい。
- 問3 $L = 1$ mH， $C = 40$ μ F， $R = 10$ Ω ， $E = 1$ V のとき， $I(s)$ を逆ラプラス変換して $i(t)$ [A] を求めなさい。
（ $i(t)$ は， $t \geq 0$ だけではなく， $t < 0$ の範囲も満たした式で表記すること。）
- 問4 問3の条件の時，電流 $i(t)$ の波形は「過制動・減衰振動・臨界制動」のどれか答えなさい。
- 問5 電流 $i(t)$ の時間変化をグラフに示しなさい。（縦軸： $i(t)$ ，横軸： t ）
（グラフの横軸の範囲は -10 ms $\leq t \leq 10$ ms とすること。）

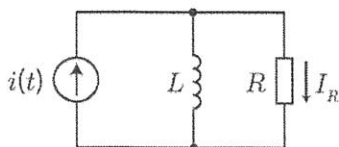


図1

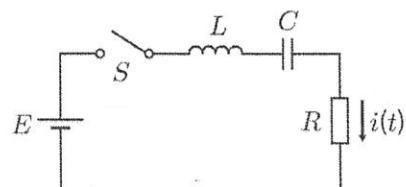


図2

問題用紙

専攻名	フロンティア工学専攻（一般選抜，外国人留学生特別選抜）	
試験科目名	専門科目 (c)電子情報工学系 ②電子回路	P.20 / 21

- ・1 枚の答案用紙に解答し，解答用紙の科目欄には (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 は 1 次全域通過フィルタであり，図 2 は 2 次全域通過フィルタである。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 ∞ ，差動利得は ∞ ，出力インピーダンスは 0 とする。また，信号の角周波数を ω とする。

問 1 図 1 の回路の伝達関数の周波数特性 $H_1(\omega) = \frac{v_o}{v_i}$ を， ω ， R ， C を用いて表しなさい。

問 2 $H_1(\omega)$ の振幅特性 $|H_1(\omega)|$ と位相特性 $\theta_1(\omega)$ を求めなさい。

問 3 $\theta_1(\omega)$ の最大値を θ_{1p} ， $\theta_1(\omega)$ の最小値を θ_{1m} とし， $\theta_1(\omega) = \frac{\theta_{1p} + \theta_{1m}}{2}$ となる角周波数を ω_{1c} とする。 θ_{1p} ， θ_{1m} ， ω_{1c} を求めなさい。

問 4 $R = 10\text{ k}\Omega$ ， $C = 10\text{ nF}$ とするとき， $\theta_1(\omega)$ のグラフの概略図を描きなさい。グラフの横軸は ω ，縦軸は $\theta_1(\omega)$ とし，問 3 で求めた θ_{1p} の値， θ_{1m} の値， ω_{1c} の値， $\theta_1(\omega_{1c})$ の値をグラフ内に記入すること。

問 5 図 2 の回路の伝達関数の周波数特性 $H_2(\omega) = \frac{v_o}{v_i}$ を， ω ， R ， C を用いて表しなさい。

問 6 $H_2(\omega)$ の振幅特性 $|H_2(\omega)|$ と位相特性 $\theta_2(\omega)$ を求めなさい。

問 7 $\theta_2(\omega)$ の最大値を θ_{2p} ， $\theta_2(\omega)$ の最小値を θ_{2m} とし， $\theta_2(\omega) = \frac{\theta_{2p} + \theta_{2m}}{2}$ となる角周波数を ω_{2c} とする。 θ_{2p} ， θ_{2m} ， ω_{2c} を求めなさい。

問 8 $R = 10\text{ k}\Omega$ ， $C = 10\text{ nF}$ とするとき， $\theta_2(\omega)$ のグラフの概略図を描きなさい。グラフの横軸は ω ，縦軸は $\theta_2(\omega)$ とし，問 7 で求めた θ_{2p} の値， θ_{2m} の値， ω_{2c} の値， $\theta_2(\omega_{2c})$ の値をグラフ内に記入すること。

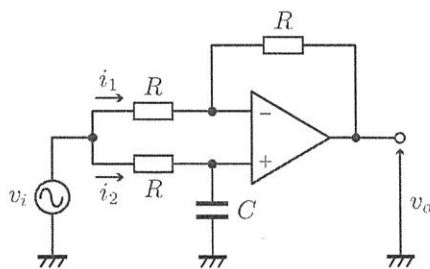


図 1. 1 次全域通過フィルタ

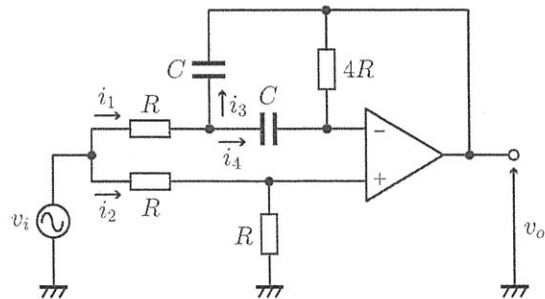


図 2. 2 次全域通過フィルタ

令和6年度（10月期入学）及び令和7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，外国人留学生特別選抜）	
試験科目名	専門科目 (c)電子情報工学系 ③論理回路	P.21 / 21

- ・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。

I

任意の入力系列において，入力 x が1,0,1の順に与えられると $z = 1$ を出力して初期状態に戻り，それ以外のときは $z = 0$ を出力する順序論理回路を考える。この順序論理回路に関する以下の問題に答えなさい。なお，状態は $Q_{n(1)} Q_{n(0)}$ で与えられ，入力が全く与えられていない状態を初期状態と定義し， $Q_{n(1)} Q_{n(0)} = 00$ ，とする。初期状態に入力 $x = 1$ を与えた後の状態を $Q_{n(1)} Q_{n(0)} = 01$ ，さらに入力 $x = 0$ を与えた状態を $Q_{n(1)} Q_{n(0)} = 10$ とする。状態 $Q_{n(1)} Q_{n(0)} = 11$ は don't care とする。初期状態に入力 $x = 0$ を与えた後の状態は初期状態，状態 $Q_{n(1)} Q_{n(0)} = 01$ に入力 $x = 1$ を与えた後の状態は $Q_{n(1)} Q_{n(0)} = 01$ ，状態 $Q_{n(1)} Q_{n(0)} = 10$ に入力 $x = 0$ を与えた後の状態は初期状態になる。

- 問1 この順序論理回路の状態遷移図を描きなさい。
- 問2 この順序論理回路の状態遷移表を示しなさい。
- 問3 この順序論理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4 この順序論理回路の回路図を描きなさい。立ち上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。
- 問5 この順序論理回路に入力として1,1,0,1を与えた際のタイミング図を描きなさい。初期状態を $Q_{n(1)} Q_{n(0)} = 00$ とする。

II

以下の問題に答えなさい。

- 問1 NORゲートを4個用いたゲーテッドRSラッチの回路図を描きなさい。入力と出力の名称を，正論理か負論理かがわかるように記入すること。
- 問2 次の変数からなる論理式の主加法標準展開を求めなさい。

$$F = A \oplus B + C$$