

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	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1-1に示すように、棒 AB と棒 BC からなるトラス構造を考える。各棒は水平線との傾斜角が 45° であり、お互いに直交している。棒 AB と棒 BC のヤング率と長さともに E と l で同じだが、断面積はそれぞれ $2A$ と A である。点 B に水平方向の荷重 P を作用させる。以下の問に答えなさい。

- 問1 棒 AB と棒 BC に生じる垂直応力 σ^{AB} と σ^{BC} をそれぞれ求めなさい。
- 問2 棒 AB と棒 BC に生じる軸力による伸び λ^{AB} と λ^{BC} の大きさをそれぞれ求めなさい。
- 問3 点 B の鉛直方向の変位の大きさと向きを求めなさい。
- 問4 点 B の水平方向の変位の大きさと向きを求めなさい。

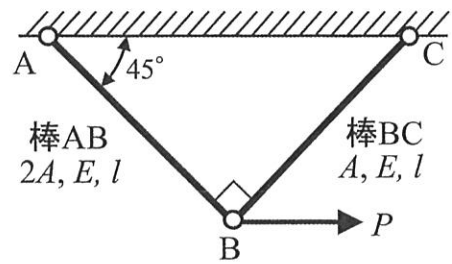


図1-1

次に、図1-2に示すように、棒 BD を図1-1のトラス構造に加えた場合を考える。棒 BD は地面に対して垂直であり、棒 BC と同じ寸法と性質を持っている。

- 問5 点 B の鉛直方向の変位の大きさと向きを求めなさい。
- 問6 点 B の水平方向の変位の大きさと向きを求めなさい。

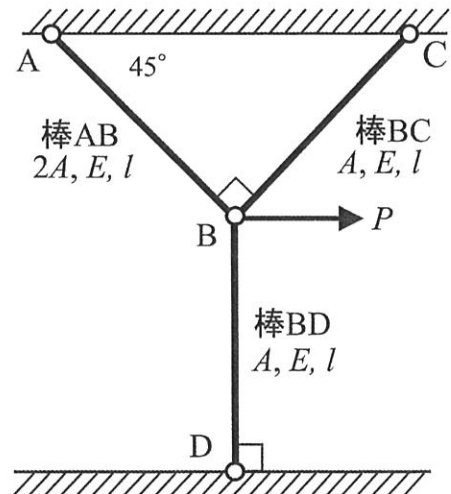


図1-2

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	P.2 / 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)①材料力学- 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 次の文章中の【1】～【13】を埋めなさい。

図2-1に示すような高さ h 、底辺の長さ b の三角形XYZから、 z 軸に関する断面係数を最大にするような長方形pqrsを作るため、長方形の幅 b_1 と高さ h_1 を決めたい。 G は長方形の図心である。長方形pqrsの z 軸に関する断面二次モーメント I_z と断面係数 Z は、 b_1 、 h_1 を用いるとそれぞれ、 $I_z = 【1】$ 、 $Z = 【2】$ となる。 b_1 は b 、 h 、 h_1 を用いて $b_1 = 【3】$ と表すことができるので、断面係数 Z が最大となる h_1 と b_1 は、それぞれ $h_1 = 【4】$ 、 $b_1 = 【5】$ となり、このときの断面係数の最大値は $Z_{max} = 【6】$ となる。

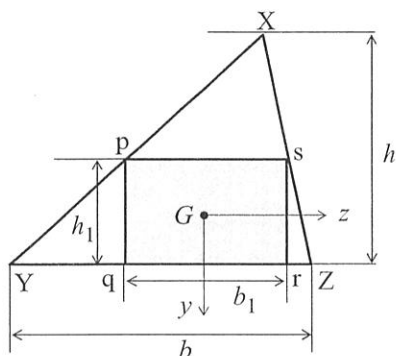


図2-1 長方形断面(灰色部)

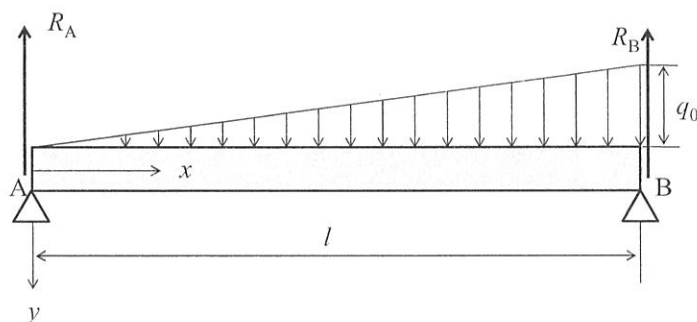


図2-2 三角形形状の分布荷重が作用するはり

次に、上記で求めた長方形断面を有する長さ l の単純支持はりに、図2-2に示す三角形形状の分布荷重が作用している。支持点A、Bにおける反力 R_A 、 R_B は、図の方向を正とすると $R_A = 【7】$ 、 $R_B = 【8】$ となる。また、曲げモーメントは $x = 【9】$ のときに最大値をとり、その値は $M_{max} = 【10】$ となるので、曲げ応力の最大値は【6】で用いた断面係数を用いると $\sigma_{max} = 【11】$ となる。ここで簡単のため、ヤング率を E 、断面二次モーメントを I_z と置くと、はりのたわみの式は $y = 【12】$ となり、 $x = 【9】$ におけるはりのたわみは【13】となる。

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

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、二重滑車の外側の滑車の円周に沿って巻き付けられたひもを介して質量 m の重りが吊り下げられ、内側の滑車の円周に沿って巻き付けられたひもの端がバネ係数 k のバネを介して床に結合されている。ひもと滑車の間に滑りは生じないものとする。内外の滑車はともに、一様な円盤形状であり、外側の滑車の質量は M_1 、半径は r_1 であり、内側の滑車の質量は M_2 、半径は r_2 である。外側と内側の滑車の軸は共通で、床に対して固定されたモータの軸に結合されている。モータにより二重滑車には $A \sin \omega t$ の周期的トルクが印加されている。さらに、質量 m の重りは重力方向にのみ動くものとし、モータのトルクが作用しない場合のつり合い位置からの質量 m の重りの変位を x 、重力加速度を g とする。このとき、以下の間に答えなさい。

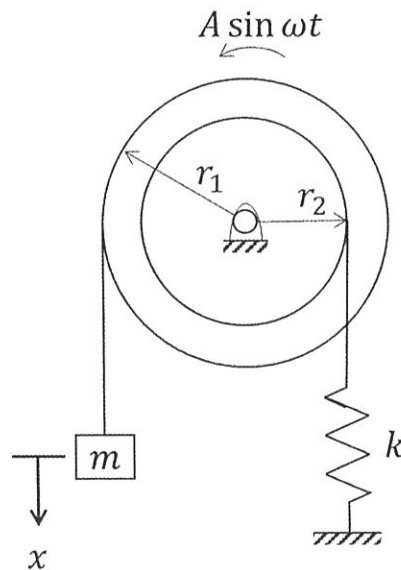


図1

- 問1 モータのトルクが作用しない場合のつり合い位置における、バネの自然長からの伸び量を求めなさい。
- 問2 二重滑車が動いているときの、バネの自然長からの伸び量を、変位 x を用いて表しなさい。
- 問3 二重滑車の中心軸まわりの慣性モーメントを導出しなさい。
- 問4 図1の系の運動方程式を、変位 x を用いて表しなさい。
- 問5 周期的トルクの振幅 A が 0 ($A = 0$) で、質量 m の重りが微小振動している場合の、図1の系の固有角振動数 ω_n を求めなさい。
- 問6 周期的トルクの振幅 A が 0 でない場合 ($A \neq 0$) の、変位 x に関する定常振動解を求めなさい。

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
②振動工学

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

中央に回転軸のある棒が水平に置かれ、シーソーのように運動する。この棒の長さは 2ℓ で、質量は軽く無視できる。棒の左端には、ばね定数 k のばねを介して、質量 m の重りがつり下げられている。この重りは重力方向にのみ動くものとする。なお、重力加速度を g とする。以下の小問では、ばねの質量は無視できるとし、微小振動(棒が運動する角度は小さい)について考える。

問1 図1のように、棒の右端に、ばね定数 k のばねを鉛直に取り付け、ばねの下端を棒が水平になるような位置で固定した。この振動系の固有振動数を求めなさい。

問2 図2のように、棒の右端のばねをはずし、質量 m の重りを取りつけた。この振動系の固有振動数(0は除く)を求めなさい。

問3 図3のように、棒の右端について、重りをつけた状態で、ばね定数 k のばねを鉛直に取り付け、ばねの下端を固定した。この振動系の固有振動数を求めなさい。

問4 図4のように、棒の右端のばねの下端を鉛直方向に $a \cos \omega t$ で変位加振した(振幅 a 、角振動数 ω 、時間 t)。変位加振しても棒が水平のまま動かない現象が生じる角振動数を求めなさい。

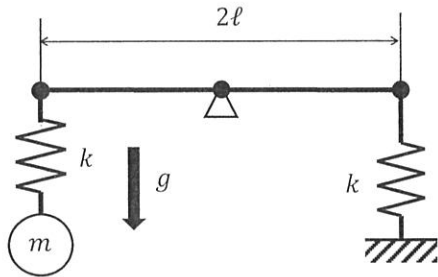


図1

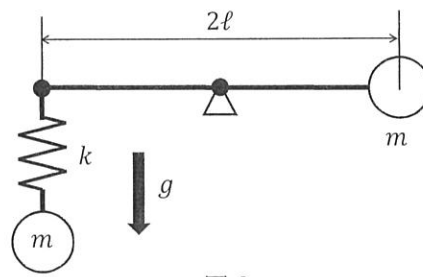


図2

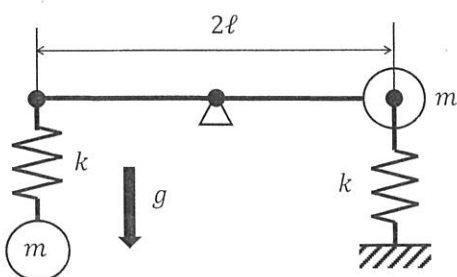


図3

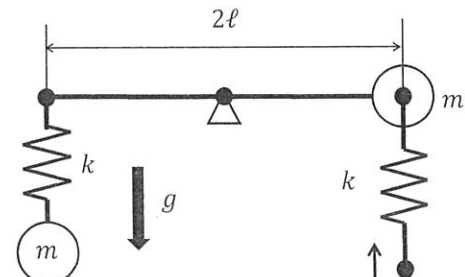


図4

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

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のような高さ H 、幅 W の垂直な長方形の水門について以下の設問に答えなさい。ただし、水の密度を ρ 、重力加速度を g とし、水深 z は鉛直下向きを正とする。また、 ξ は水門の幅方向の軸を表し、圧力はゲージ圧とする。

- 問1 深さ z における圧力 $p(z)$ を求めなさい。
- 問2 深さ z における微小面積 $dA = W dz$ にはたらく全圧力（水の圧力による合力） dF を求めなさい。
- 問3 水門にはたらく全圧力 F を求めなさい。
- 問4 水門の圧力中心 z_{CP} を水面からの深さで示しなさい。

次に、同じ水門が図2のように水面から θ だけ傾いて壁面に取り付けられている場合を考える。水門の幅方向に沿った軸を ξ 、高さ方向に沿った軸を η 、水面から η 軸に沿った水門上面までの距離を c として、次の問いに答えなさい。

- 問5 η における圧力 $p(\eta)$ を求めなさい。
- 問6 η における微小面積 $dA' = W d\eta$ にはたらく全圧力 dF' を求めなさい。
- 問7 水門にはたらく全圧力 F' を求めなさい。
- 問8 水門の圧力中心を水面からの深さ z'_{CP} と定義すると、 z'_{CP} は次式で表すことができる。□ア～□エに相当する式や文字を示しなさい。

$$z'_{CP} = \frac{2(\text{ア}^2 + 3\text{イ} + 3\text{ウ}^2)}{3(\text{ア} + 2\text{ウ})} \text{エ}$$

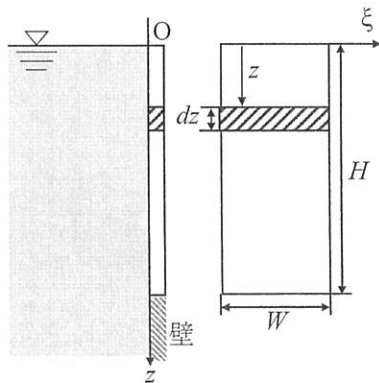


図1

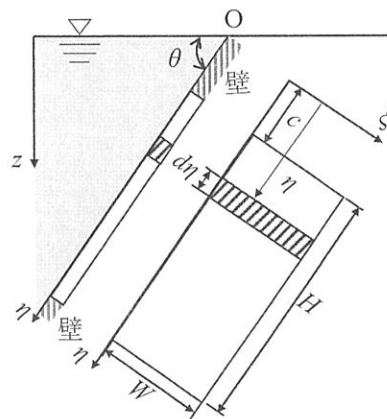


図2

令和4年度（10月期入学）及び令和5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 (a)機械工学系 ③流れ学	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3のように断面積 S 、長さ L の円管が水平に設置されている。円管内の流れは非圧縮性粘性流体の定常流れである。入口側の断面①の流れの平均速さは V_1 、圧力は p_1 であり、出口側の断面②の圧力は p_2 である。ただし、 p_1 と p_2 は大気圧を基準としたゲージ圧で、 $p_1 > p_2$ である。流体の密度を ρ 、重力加速度を g として、以下の設問に答えなさい。

- 問1 入口側の断面①に流入する体積流量を求めなさい。
- 問2 断面①に流入する流体の単位時間当たりの運動量の大きさを求めなさい。
- 問3 出口側の断面②から流出する流れの平均速さを求めなさい。
- 問4 この円管内の流れの損失ヘッドの大きさを求めなさい。

次に、この円管を囲む運動量検査面を考えて、長さ L の円管部分にはたらく流体力を求めていく。検査面境界の圧力は、円管の断面①と断面②の部分を除いて、大気圧である。力は流れ方向の成分のみ（水平方向成分のみ）を考え、力の向きは流れ方向（左から右）を正とする。重力などの体積力は無視する。

- 問5 「検査面入口に流入する流体の単位時間当たりの運動量」と「検査面出口から流出する流体の単位時間当たりの運動量」の差を求めなさい。
- 問6 「検査面境界にはたらく圧力による力の合力」の大きさを求めなさい。
- 問7 運動量の法則を用いて、「円管にはたらく流体力」の大きさを求めなさい。

上記の設問で求めた流体力は、円管の内壁にはたらくせん断応力（壁面せん断応力）に起因すると考えられる。この壁面せん断応力の大きさを概算するため、円管の内壁の各位置で壁面せん断応力に変化はなく、壁面せん断応力は一定と仮定する。壁面せん断応力の大きさを τ_w とし、さらに、円管の断面積 S を πR^2 として、以下の設問に答えなさい。ここで、 R は円管の半径、 π は円周率を表す。

- 問8 L 、 R 、 τ_w を用いて、「円管にはたらく壁面せん断応力による力」の大きさを表しなさい。
- 問9 問7と問8で求めた力の大きさは等しいとする。 L 、 R 、 p_1 、 p_2 を用いて、 τ_w を表しなさい。

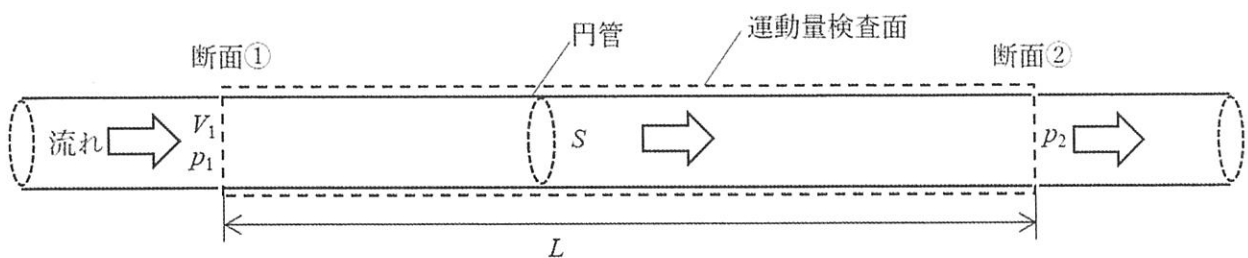


図3

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 (a)機械工学系
④熱力学

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

比熱比 $\kappa = 1.5$ の理想気体を作動流体とする熱機関が、図1の p - V (圧力-体積) 線図に示す状態1→2→3→1の3つの準静的過程を1サイクルとして運転する場合を考える。状態1の圧力、体積、温度はそれぞれ p_1 [Pa], V_1 [m³], T_1 [K]とし、その他の状態の圧力、体積の関係は図1に示すとおりである。以下の問に答えなさい。

- 問1 図2の T - S (温度-エントロピー) 線図にこのサイクルの過程が示されている。図1の状態1~3に対応する図2上の状態をa~cで答えなさい。 例 1:a, 2:b, 3:c
- 問2 状態2および3の温度 T_2 [K]および T_3 [K]は、状態1の温度 T_1 の何倍になるのかを有効数字3桁で求めなさい。
- 問3 1サイクル当たりの正味の仕事を p_1, V_1 によって示しなさい。なお、問2で求めた数値を用いてよいものとする。
- 問4 この熱機関の熱効率を有効数字2桁の数値で求めなさい。
- 問5 図2中のエントロピー差 ΔS [J/K]について p_1, V_1, T_1 を用いて示しなさい。

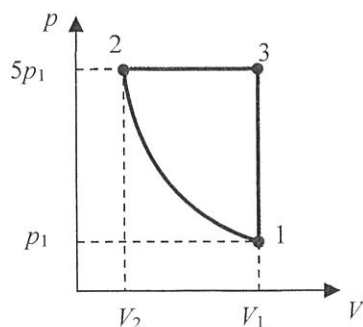


図1 p - V 線図

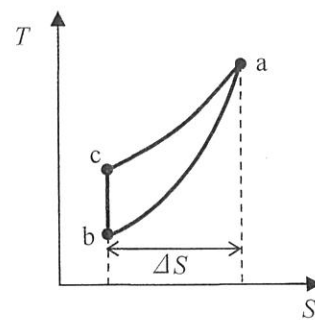


図2 T - S 線図

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	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3のような、タービンを2段使用し途中で再加熱工程を導入した理想的な再熱ランキンサイクルについて考える。作動媒体は水とし、10 MPa、600 °Cで高压タービンに蒸気が導入される。高压タービンで0.8 MPaの過熱蒸気まで膨張させた後、定圧条件で500 °Cまで再熱させる。復水器温度は25 °C、ポンプ仕事は無視することとし、以下の問いに答えなさい。ただし、下記の3つの表の物性値を用い、必要に応じて線形補間による内挿を行うこと。また、数値で答える場合は有効数字3桁で答えなさい。

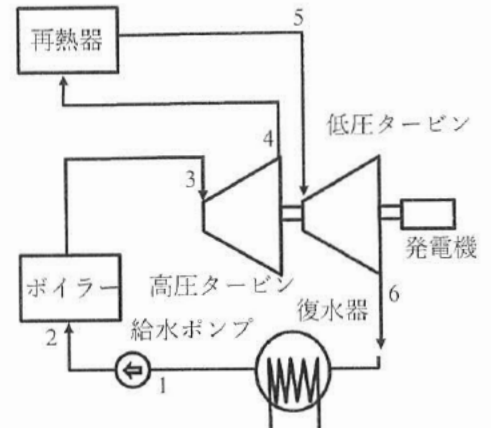


図3 再熱ランキンサイクル

- 問1 この再熱ランキンサイクルの $T-s$ (温度-比エントロピー) 線図、および $p-v$ (圧力-比体積) 線図を描き、サイクルの動作方向および図3中の状態1~6に対応する点を表示しなさい。また、両線図には飽和液線、乾き飽和蒸気線の概略も併記しなさい。
- 問2 低圧タービン出口蒸気の乾き度を求めなさい。
- 問3 低圧タービンで得られる水1 kgあたりのタービン仕事 l_{56} を求めなさい。
- 問4 この再熱ランキンサイクルの熱効率 η を、各状態の比エンタルピー $h_1 \sim h_6$ を用いて示しなさい。
- 問5 高压タービンにおいて、排出する蒸気が過熱蒸気の状態を維持するためには、排出時の圧力はどのような範囲になるか答えなさい。

令和4年度(10月期入学)及び令和5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

- ・1枚の答案用紙に解答し、答案用紙の科目欄には (b)①プロセス工学量論 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5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) エネルギー
- (2) 密度
- (3) 圧力

問2 溶媒の質量に対する溶質の物質量は重量モル濃度と呼ばれる。質量百分率が10.0 wt%のNaCl水溶液の重量モル濃度を求めなさい。 H_2O とNaClの分子量はそれぞれ、18.0および58.4とする。

問3 フラッシュ蒸留による二成分混合溶液の分離プロセスについて、以下の設問(1)～(3)に答えなさい。

- (1) プロセスフローダイアグラムを図で示し、原料をF、留出液をD、塔底液をWとして図中に示しなさい。
- (2) F, D, Wにおけるモル流量をそれぞれ F , D , W とし、低沸点成分のモル分率をそれぞれ、 x_F , y , x としたときに、物質収支から操作線を与える式を示しなさい。
- (3) $x_F = 0.2$ の原料の1/3を留出液として取り出したところ、 $y = 0.4$ となった。 x を求めなさい。

問4 リサイクルを含むプロセスの特徴と問題点を以下の【 】内の用語を全て用いて説明しなさい。

【未反応物質, 総括転化率, 不活性物質, パージ】

問5 下図に示すように、体積 V の容器に濃度 C_F [$kg \cdot m^{-3}$]の溶液を流量 Q [$m^3 \cdot s^{-1}$]で連続的に流入させ、また同じ流量で容器から排出した。時間 t に対する容器内の溶液濃度 C の変化を表す式を求めなさい。ここで、 $t=0$ における溶液濃度を $C=0$ とし、容器内では瞬時に溶液が混合されるとする。

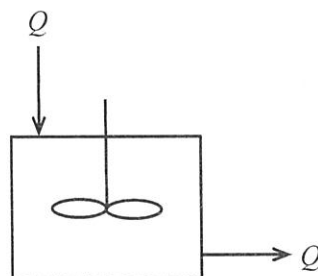


図1

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）

P.10 / 18

- ・ I を 1 枚の答案用紙に解答し、答案用紙の科目欄には (b)②移動現象論－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

半径 R の水平な円管内を非圧縮性流体が定常状態で流れている。流体の密度を ρ 、粘度を μ とし以下の問1～問3に答えなさい。

問1 円管内流動が層流の場合、流体に作用するせん断応力 τ と流れ方向距離 L での圧力差 Δp (< 0) の関係は、半径 r の位置における流速を u とするとき以下の式(1.1)で与えられる。円管内流速 u の半径方向分布を表す式を導きなさい。

$$\tau = -\mu \frac{du}{dr} = -\frac{\Delta p}{2L} r \quad (1.1)$$

問2 円管内流動が層流の場合、流体の平均流速 \bar{u} と最大流速 u_{\max} は、 $\bar{u} = u_{\max}/2$ の関係にある。これを踏まえて、 u と \bar{u} の関係式を導きなさい。そして、円管内流速が $u = \bar{u}$ となる位置 $r|_{u=\bar{u}}$ を求めなさい。

問3 円管内流動が乱流の場合、圧力差 Δp は以下のファニングの式（式(1.2)）で表される。

$$-\Delta p = 4f \frac{L}{D} \frac{\rho \bar{u}^2}{2} \quad (1.2)$$

ここで、 D は円管の内径、 f は摩擦係数である。ファニングの式が層流流れに適用できるとき、 f とレイノルズ数 Re の関係式を導きなさい。

令和4年度（10月期入学）及び令和5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 ②移動現象論（流体工学・伝熱工学）	P.11 / 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)②移動現象論－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

一様温度 T_0 に保持された直径 R のステンレス球を、時刻 $\theta=0$ で一定温度 T_x ($T_x < T_0$) の空気流にさらして冷却する。ステンレス球の密度を ρ 、比熱容量を c 、熱伝導率を k 、そして、ステンレス球の表面における熱伝達率を h として以下の問 1～問 3 に答えなさい。

問 1 このステンレス球の伝熱解析には集中熱容量モデル（物体内は場所によらず一様な温度を保持したまま温度変化が生ずるとする伝熱モデル）が適用できると仮定するとき、ステンレス球の温度 $T(\theta)$ に関する支配方程式は以下の式(2.1)となる。この式の左辺と右辺はそれぞれ何の速度を表すか答えなさい。そして、式(2.1)を適切な初期条件の下で解くことで、このステンレス球の温度の経時変化を表す式を求めなさい。

$$-\rho V c \frac{dT(\theta)}{d\theta} = hA\{T(\theta) - T_x\} \quad (2.1)$$

ここで、 V と A はステンレス球の体積および表面積である。

- 問 2 $T_x = 40.0^\circ\text{C}$ 、 $h = 120 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ のとき、 $R = 20.0 \text{ mm}$ 、 $\rho = 7890 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 、 $c = 0.511 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-3}\cdot\text{K}^{-1}$ のステンレス球の温度が $T_0 = 500^\circ\text{C}$ から 100°C に低下するまでの時間を計算しなさい。また、この場合の時定数を求めなさい。
- 問 3 ステンレス球の熱伝導率を $k = 16.5 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ としてビオ数 $Bi (= hL_c/k)$ を求めなさい。ここで、 L_c は代表長さである。そして、このステンレス球の伝熱解析に集中熱容量モデルが適用できるか否かを判定しなさい。

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	P.12 / 18

- ・ I, 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-I, 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

過酸化水素の水溶液中の分解反応は、ヨウ化物イオンにより触媒できる。反応の速度定数が触媒の添加により温度 298 K 一定で 2000 倍に増加した。このとき、問 1~問 3 に答えなさい。

- 問 1 この反応に対する触媒の効果を活性化エネルギーの観点から説明しなさい。
問 2 化学反応の速度定数 k は次式で表すことができる。この式の名称を答えなさい。

$$k = A \exp(-E_a / RT)$$

ここで、 A は頻度因子、 E_a は活性化エネルギー、 R は気体定数、 T は絶対温度である。

- 問 3 ヨウ化物イオンの触媒添加後に、この反応の活性化エネルギーはどのようになるか、その変化率を求めなさい。このとき、触媒添加前の速度定数と活性化エネルギーを k_1 および E_{a1} 、触媒添加後の速度定数と活性化エネルギーを k_2 および E_{a2} とする。ここで、触媒を添加しない場合の過酸化水素の分解に要する活性化エネルギー E_{a1} は $76 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ である。気体定数は $R = 8.314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ とする。

II

次の反応式(2.1)で表される酵素反応を考える。まず酵素 E と基質 S が反応して酵素-基質複合体 ES が形成され、この複合体はさらに分解して基質 S を脱離した遊離酵素 E と反応生成物 P を生じる。



ここで、 k_1 、 k_2 および k_3 は速度定数である。このとき、生成物 P の生成速度 r は次式(2.2)で表される。

$$r = \frac{k_3 [E_0][S]}{K_m + [S]} \quad (2.2)$$

ここで、 $[E_0]$ は全酵素濃度、 $[S]$ は基質濃度である。また、 $K_m = (k_2 + k_3) / k_1$ である。問 1 および問 2 に答えなさい。

- 問 1 式(2.2)の名称を答えなさい。
問 2 定常状態近似法を用いて式(2.2)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

P.13 / 18

- ・ III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－III 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。

III

以下の問1および問2に答えなさい。

- 問1 図1は体積 V の管型反応器（PFR）を用いた反応プロセスである。PFR入口および出口における反応限定成分Aの物質質量流量をそれぞれ F_{A0} 、 F_{Af} 、反応混合物の体積流量をそれぞれ v_0 、 v_f 、反応限定成分Aの濃度をそれぞれ C_{A0} 、 C_{Af} とし、 $x_{Af} = (F_{A0} - F_{Af}) / F_{A0}$ をプロセス全体の反応率とする。

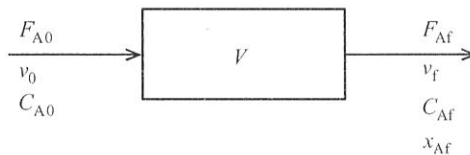


図1 反応プロセス

ここで、反応速度を $-r_A$ 、PFR内の任意の位置における反応率を x_A とし、PFR内の流れは押し出し流れとする。このとき、PFRの体積 V が次式で表されることを導きなさい。

$$V = F_{A0} \int_0^{x_A} \frac{dx_A}{-r_A}$$

- 問2 図1のPFRから流出する反応混合物の一部をPFR入口に循環させるリサイクル反応器（図2）を考える。 F_{A3} と v_3 は、それぞれ循環流における反応限定成分Aの物質質量流量および反応混合物の体積流量である。

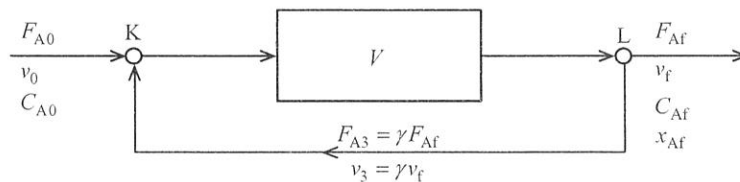
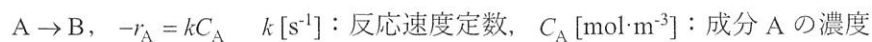


図2 リサイクル反応器

PFR内の流れが押し出し流れのとき、このリサイクル反応器の設計方程式は次式で表される。ただし、循環比 $\gamma = v_3 / v_f$ とする。

$$\tau = \frac{V}{v_0} = (1 + \gamma) C_{A0} \int_{\frac{\gamma}{1+\gamma} x_{Af}}^{x_{Af}} \frac{dx_A}{-r_A}$$

いま、このリサイクル反応器を用いて、次式で表される液相一次反応を定容系で行う。



反応器の体積 $V = 2.0 \text{ m}^3$ 、 $v_0 = 3.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $k = 1.5 \times 10^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$ であるとき、循環比 γ が0と1.0のときの反応率をそれぞれ求めなさい。

令和4年度（10月期入学）及び令和5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 ④化学工学熱力学・物理化学	P.14 / 18

- ・ 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および問2に答えなさい。ただし、アルゴンの分子量は 40.0、水の分子量は 18.0、氷の大気圧下での融点は 273.15 K としなさい。また、気体定数は $R = 8.314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ を用いなさい。

問1 気体の状態方程式に関する以下の設問(1)～(3)に答えなさい。

- (1) 温度 100°C 、質量 120 g、体積 1.00 L のアルゴンの圧力を求めなさい。ただし、アルゴンは完全気体とする。
- (2) 実在気体を表す状態方程式として、以下のファンデルワールス状態方程式が用いられる。

$$p = \frac{nRT}{V - nb} - a \frac{n^2}{V^2}$$

ただし、 p は圧力、 V は体積、 n は物質量（モル数）、 T は温度、 a および b はファンデルワールスパラメーターと呼ばれる定数である。ファンデルワールスパラメーター a および b と分子間相互作用との関係を説明しなさい。

- (3) ファンデルワールス状態方程式では、臨界点が存在する。ファンデルワールス状態方程式に従う 1 モルの気体の臨界点における体積を V_c とすると、以下の式が成り立つことを示しなさい。

$$V_c = 3b$$

問2 理想溶液の凝固点降下に関する以下の設問(1)～(2)に答えなさい。

- (1) 溶媒 A のみが凝固した固相と、溶媒 A と溶質 B がそれぞれモル分率 x_A 、 x_B で混合した液相が、温度 T において相平衡にあるとき、固相と液相の化学ポテンシャルは等しいので、

$$\mu_A^*(\text{S}) = \mu_A^*(\text{L}) + RT \ln x_A$$

が成り立つ。ここで、 $\mu_A^*(\text{S})$ および $\mu_A^*(\text{L})$ は、それぞれ固相と液相における純物質 A の化学ポテンシャルである。上式を用いて、希薄理想溶液の凝固点降下 ΔT_f が、

$$\Delta T_f = \frac{RT_f^2}{\Delta_{\text{fus}}H} x_B$$

で表されることを示しなさい。ここで、 $\Delta_{\text{fus}}H$ は溶媒 A のみが凝固した固相の 1 モル当たりの融解エンタルピーである。ただし、圧力 P 、温度 T におけるギブズエネルギー G とエンタルピー H に関して、ギブズ－ヘルムホルツの式

$$\frac{\partial}{\partial T} \left(\frac{G}{T} \right)_P = -\frac{H}{T^2}$$

が成り立つことを用いてよい。

- (2) 氷 3.00 mg の融解熱を測定したところ 1.00 J であった。水 180 g にシヨ糖 24.0 g を溶解した水溶液の大気圧下での凝固点を求めなさい。ただし、シヨ糖水溶液は希薄理想溶液と仮定し、シヨ糖の分子量は 342.3 とする。

令和4年度(10月期入学)及び令和5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
④化学工学熱力学・物理化学

P.15 / 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)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

エテン(エチレン)分子の炭素は、 sp^2 混成軌道を取る。エテンに関する以下の問1~問4に答えなさい。ただし、クーロン積分を α 、共鳴積分を β としなさい。

問1 エテンの π 電子の数はいくつか答えなさい。

問2 ヒュッケル近似のもとで、エテンの π 電子に関する永年方程式を書きなさい。

問3 問2の永年方程式を解き、エネルギー固有値を求めなさい。

問4 エテンの π 電子の電子配置を図示し、1つの π 結合を解離するために必要なエネルギーを求めなさい。

令和4年度（10月期入学）及び令和5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 (c)電子情報工学系 ①電気回路	P.16 / 18

- 問1, 問2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-問1 (c)①電気回路-問2 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RC直列回路に関する問に答えなさい。回路には, 交流電圧源 $e(t) = \sqrt{2}|E| \sin \omega t$ [V] (実効値 $|E|$ [V], 角周波数 ω [rad/s], 時刻 t [s]), スイッチ S , 抵抗 R [Ω], 静電容量 C [F]のコンデンサが接続されており, 時刻 t において回路に流れる電流を $i(t)$ [A]とする。

問1 図1の回路において $t = 0$ でスイッチ S をOFFからONに閉じたとき, 以下の交流回路の過渡応答に関する問に答えなさい。ただし, コンデンサの初期電荷は $q(0) = 0$ [C]とする。

- 電流 $i(t)$ に関する回路方程式を示しなさい。
- (1)のラプラス変換を示しなさい。ただし, 電流 $i(t)$ のラプラス変換を $I(s)$ とする。
- $\omega = 1/(CR) = 1$ [rad/s] のとき, (2)で求めた式を $I(s)$ について解きなさい。
- (3)の逆ラプラス変換を計算して電流 $i(t)$ を求めなさい。
- (4)のとき, $t \geq 0$ における $i(t)$ の時間変化をグラフに示しなさい。

問2 図1の回路でスイッチ S をOFFからONに閉じて十分時間が経過して定常状態に達した時, 以下の問に答えなさい。

- 交流電圧源 $e(t)$ の複素数表示を示しなさい。
- 抵抗 R の両端の電圧 V_R [V]を複素数表示で求めなさい。
- 交流電圧源の角周波数 ω を変化させたとき, 電圧 V_R のフェーザ軌跡を示しなさい。
- $\omega = 1/(CR)$ [rad/s]のとき, 回路における有効電力 P [W]を求めなさい。
(問1(3)とは異なり, $\omega = 1$ [rad/s]とは限らない。)
- (4)のとき, 力率 $\cos \phi$ を求めなさい。

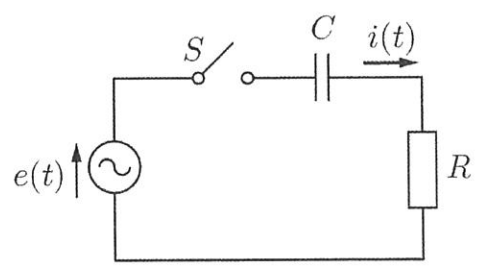


図1

問題用紙

専攻名 フロンティア工学専攻(一般選抜)

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

- ・ 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)②電子回路-I (c)②電子回路-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に示すバイポーラトランジスタを用いた回路について, 以下の問に答えよ。

- 問1 図1の小信号等価回路を描け。ここで, コンデンサ C_1 と C_2 のインピーダンスは, 交流信号に対して十分小さいとする。また, バイポーラトランジスタの小信号等価回路は, h_{ie} と h_{fe} のみを用いた π 型とする。
- 問2 問1で求めた小信号等価回路から, 電圧利得 $A_v = \frac{v_o}{v_i}$ を求めよ。
- 問3 h_{fe} が $h_{fe}(\omega) = \frac{h_{fe0}}{1 + j(\omega/\omega_0)}$ で与えられるとき, 電圧利得 A_v を角周波数の関数 $A_v(\omega)$ として表せ。
- 問4 $|A_v(\omega)|$ の遮断角周波数 ω_c を求めよ。

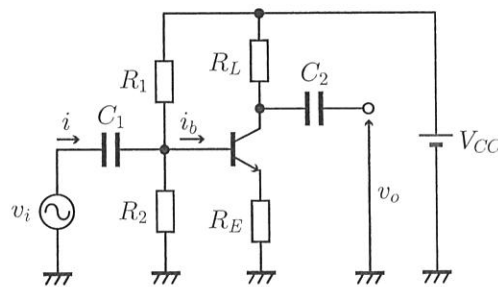


図1. バイポーラトランジスタを用いた回路

II 図2に示すオペアンプを用いた回路について, 以下の問に答えよ。なお, オペアンプの特性は理想的であるとする。

- 問1 v_1 を, v_i と v_3 を用いて表せ。
- 問2 電圧利得 $H_1(\omega) = \frac{v_1}{v_i}$ と電圧利得 $H_3(\omega) = \frac{v_3}{v_i}$ を求めよ。
- 問3 $|H_1(\omega)|$ と $\angle H_1(\omega)$ を求めよ。
- 問4 $|H_3(\omega)|$ と $\angle H_3(\omega)$ を求めよ。
- 問5 $|H_1(\omega)|$ の周波数特性の概略図を示せ。なお, 特徴的な角周波数と電圧利得を示すこと。

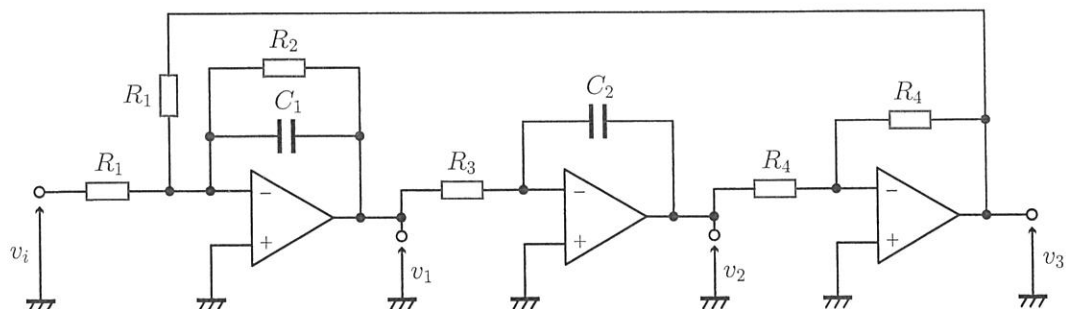


図2. オペアンプを用いた回路

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。

I 論理回路に関する以下の問題に答えなさい。

問1 表1の状態遷移表に示す順序論理回路の状態遷移図を示しなさい。表中の「-」は don't care とする。

問2 表1の状態遷移表に示す順序論理回路の、簡単化された応用方程式と出力の方程式を求めなさい。

問3 表1の状態遷移表に示す順序論理回路の、立下りエッジトリガのDフリップフロップを用いた回路図を描きなさい。

問4 問3の回路に図1に示す入力を与えたときの、 $Q_{n(1)}$, $Q_{n(0)}$, z の波形を描きなさい。初期状態は $Q_{n(1)} = 1, Q_{n(0)} = 0$ とする。

問5 表1のような動作をする回路の名称を答えなさい。

表1. 状態遷移表

入力 x	現在の状態		次の状態		出力 z
	$Q_{n(1)}$	$Q_{n(0)}$	$Q_{n+1(1)}$	$Q_{n+1(0)}$	
0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	0	1
0	0	1	0	1	0
1	0	1	0	0	0
0	1	0	1	0	0
1	1	0	0	1	0
0	1	1	-	-	-
1	1	1	-	-	-

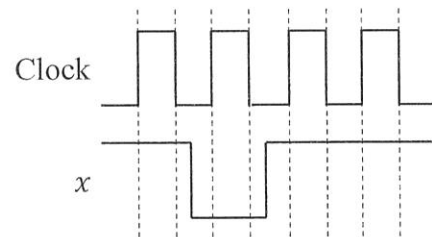


図1. 入力波形