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 解　答　例	
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

問 1

$$\sigma_{\mathrm{ab}} = \frac{R_1}{A} \quad \sigma_{\mathrm{bc}} = \frac{R_1 - P}{\alpha A} \quad \sigma_{\mathrm{cd}} = \frac{R_1 - (k+1)P}{\beta A}$$

問 2

$$\Delta l_{\mathrm{ab}} = \frac{R_1 l}{AE} \quad \Delta l_{\mathrm{bc}} = \frac{(R_1 - P)l}{\alpha AE} \quad \Delta l_{\mathrm{cd}} = \frac{\{R_1 - (k+1)P\}l}{\beta AE}$$

問 3

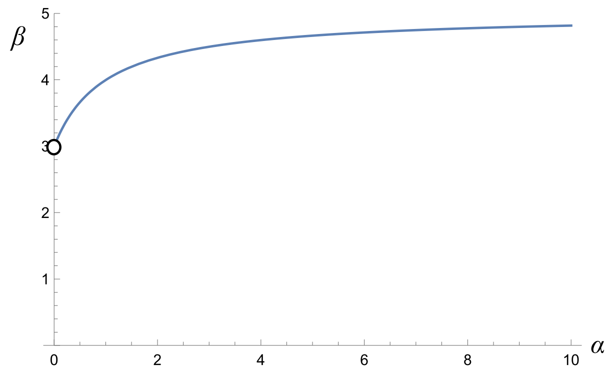
$$R_1 = \frac{\alpha(k+1) + \beta}{\alpha + \alpha\beta + \beta} P \quad R_2 = \frac{\alpha\beta(k+1) + k\beta}{\alpha + \alpha\beta + \beta} P$$

問 4

$$\beta = \frac{5\alpha + 3}{\alpha + 1} = 5 - \frac{2}{\alpha + 1}$$

$\alpha = 1.5$ のとき，

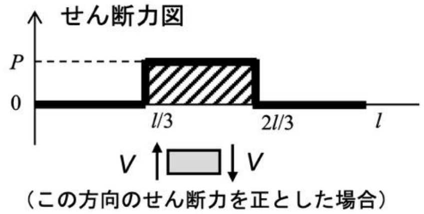
$$\beta = \frac{21}{5} = 4.2$$



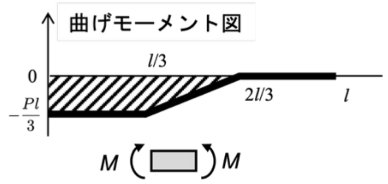
令和７年度（１０月期入学）及び令和８年度　金沢大学大学院自然科学研究科　博士前期課程入学試験 解　答　例	
専　攻　名	フロンティア工学専攻（一般選抜）
試験科目名	専門科目　(a)機械工学系　①材料力学

II

問 1



問 2



問 3

$$Z = \frac{5ab^2}{32}$$

問 4

$$w = \frac{10Pl^3}{81EI}$$

（下向き）

問 5

$$w_R = \frac{1}{3EI}\left(\frac{10}{27}P - R\right)l^3$$

（下向き）

問 6

下向きに R/k ほど変位する．

問 7

$$R = \frac{10Pl^3}{27\left(l^3 + \frac{3EI}{k}\right)}$$

問 8

曲げモーメントの大きさが最大となるのは，壁から $2l/3$ の場所でその大きさは $10Pl/81$.

I

問１

$\tan\theta = \dfrac{x}{a}$ より， $a = \dfrac{x}{\tan\theta}$． いま θ は十分に小さいので， $\tan\theta \approx \theta$ とすれば,

$$a = \frac{x}{\theta} = \frac{Pl^3/3EL}{Pl^2/2EL} = \frac{2}{3}l$$

問２

$$K = \frac{P}{x} = \frac{P}{Pl^3/3EI} = \frac{3EI}{l^3}$$

問３

$$\ddot{\theta} + \left(\frac{K}{m} - \frac{g}{a}\right)\theta = 0$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K}{m} - \frac{g}{a}}$$

問４

$\dfrac{K}{m} - \dfrac{g}{a} \le 0$ より， $mg \ge aK$

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 解　答　例	
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

問 1

$$\frac{1}{2}m_1L^2\dot{\theta}^2$$

問 2

$$\frac{1}{2}m_2\dot{x}^2$$

問 3

$$\frac{1}{2}k(x-L\theta)^2+m_1gL(1-\cos\theta)$$

問 4

$$\sqrt{\frac{m_1g}{(m_1+m_2)L}}$$

問 5

$$m_1L\ddot{\theta}+(m_1g+kL)\theta-kx=0$$

問 6

$$m_2\ddot{x}+k(x-L\theta)=0$$

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 解　答　例	
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

問１　$Q = \pi r_0^2 v$

問２　$Re = \dfrac{2\rho v r_0}{\mu} < 2300, \qquad \therefore v < \dfrac{1150\mu}{\rho r_0}$

問３　$h_f = \lambda_1 \dfrac{L}{2r_0}\dfrac{v^2}{2g}, \qquad \rho g h_f = \Delta p = \lambda_1 \dfrac{L\rho v^2}{4r_0}$

問４　$Q = \pi r_0^2 v = \dfrac{\pi r_0^4}{8\mu}\dfrac{\Delta p}{L}$，　$\Delta p = \lambda_1 \dfrac{L}{2r_0}\dfrac{\rho v^2}{2}$，$\Delta p$を消去し，$\lambda_1$について整理すると　$\lambda_1 = \dfrac{32\mu}{\rho v r_0} = \dfrac{64}{Re}$

問５　$\Delta p = \rho g h, \qquad \therefore h = \dfrac{\Delta p}{\rho g}$

問６　$P = \Delta p Q \qquad \left(= \dfrac{8L\mu v}{r_0^2}\pi r_0^2 v = 8\pi L\mu v^2\right)$

問７　$\tau_w = \dfrac{\Delta p r_0}{2L}$　(2)，　$\Delta p = \lambda_2 \dfrac{L}{2r_0}\dfrac{\rho v^2}{2}$　より　$\therefore \tau_w = \dfrac{\lambda_2 \rho v^2}{8}$，　$u_* = \sqrt{\tau_w/\rho}$より　$\therefore \dfrac{u_*}{v} = \sqrt{\dfrac{\lambda_2}{8}}$

問８　$\lambda_2 = 0.3164 Re^{-\frac{1}{4}} = 0.3164\left(\dfrac{2\rho v r_0}{\mu}\right)^{-\frac{1}{4}}$

$$h_f = 0.3164\left(\frac{2\rho v r_0}{\mu}\right)^{-\frac{1}{4}}\frac{L}{2r_0}\frac{v^2}{2g} = 0.3164\left(\frac{2\rho}{\mu}\right)^{-\frac{1}{4}}\frac{Lv^{\frac{7}{4}}}{4g{r_0}^{\frac{5}{4}}} = 0.3164\left(\frac{2\rho}{\mu}\right)^{-\frac{1}{4}}\frac{L\left(\frac{Q}{\pi r_0^2}\right)^{\frac{7}{4}}}{4g{r_0}^{\frac{5}{4}}}$$

$$= 0.3164\left(\frac{2\rho}{\mu}\right)^{-1/4}\frac{L\left(\frac{Q}{\pi}\right)^{\frac{7}{4}}}{4g}r_0^{-19/4} \qquad \therefore \lambda_2 \propto r_0^{-19/4}$$

したがって，λ_2は半径r_oの-19/4に比例する。

次ページへ続く

問９　与式より$u = u_{\max} r_0^{-\frac{1}{n}} y^{\frac{1}{n}}$,

環状の微小面積$dA = 2\pi(r_0 - y)dy$ を通過する体積流量は$dQ = u \cdot dA$なので

$$Q = \int dQ = \int u \cdot dA = 2\pi u_{\max} r_0^{-\frac{1}{n}} \int_0^{r_0} (r_0 - y) y^{\frac{1}{n}} dy = 2\pi r_0^2 u_{\max} \frac{n^2}{(n+1)(2n+1)}$$

これより平均流速vは

$$v = \frac{Q}{\pi r_0^2} = 2u_{\max} \frac{n^2}{(n+1)(2n+1)}$$

$$\therefore \frac{v}{u_{\max}} = \frac{2n^2}{(n+1)(2n+1)} \quad (6)$$

問 10　式(6)のvに$u = u_{\max} r_0^{-1/n} y^{1/n}$を代入すると，

$$\frac{u_{\max} r_0^{-1/n} y^{1/n}}{u_{\max}} = \frac{2n^2}{(n+1)(2n+1)}, \qquad \therefore y = \left\{\frac{2n^2}{(n+1)(2n+1)}\right\}^n r_0$$

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 解　答　例	
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　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 の空気中にあり，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 ρ 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。

絶対圧力$P_Z = P_a + \rho gH$，ゲージ圧力$P_G = \rho gH$

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，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。

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

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。

タンクが大気中になるので、$P_1 = P_2 = P_a$

水面の高さが変化しないので、$V_1 = 0$

$H = Z_1 - Z_2 \qquad \therefore Z_1 = H + Z_2$

問２のベルヌーイの式に代入すると

$$\frac{P_a}{\rho g} + \frac{0^2}{2g} + (H + Z_2) = \frac{P_a}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

$$V_2 = \sqrt{2gH}$$

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。

体積流量$Q = V_2 \dfrac{\pi d^2}{4} = \dfrac{\pi d^2 \sqrt{2gH}}{4}$　（質量流量$Q_m = \rho V_2 \dfrac{\pi d^2}{4} = \dfrac{\rho \pi d^2 \sqrt{2gH}}{4}$）

次のページへ続く

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

問５　円形ノズルから噴出した水が，頂角 2θ 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が無く円錐に衝突し，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。

円錐まわりを囲む検査体積に流入・流出する流体の水平方向の運動量の差から作用する力を求める。

$$F = \rho Q V_2 - \rho Q V_2 \cos\theta = \rho Q V_2 (1-\cos\theta) = \rho \frac{\pi d^2 \sqrt{2gH}}{4} V (1-\cos\theta) = \rho \frac{\pi d^2 \sqrt{2gH}}{4} \sqrt{2gH} (1-\cos\theta)$$

$$= \frac{\pi \rho d^2 g H}{2} (1-\cos\theta)$$

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。

問５より、円錐が受ける力は、円形ノズル出口直径の２乗に比例する。従って、円形ノズルの直径は 1/2 になると、受ける力は 1/4 になる。

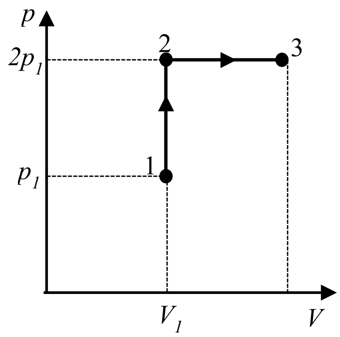
令和７年度（１０月期入学）及び令和８年度　金沢大学大学院自然科学研究科　博士前期課程入学試験

解　答　例

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

問 1 右図のとおり。



問 2 状態 1 から 2 は等積変化であるから，

$$T_2 = T_1 \times \left(\frac{p_2}{p_1}\right) = T_1 \times \left(\frac{2p_1}{p_1}\right) = 2T_1$$

問 3 気体の質量を$m[= (p_1V_1)/(RT_1)]$，等積比熱を$c_v[= R/(\kappa - 1)]$を用いれば，

$$Q_{12} = mc_v(T_2 - T_1) = \left(\frac{p_1V_1}{RT_1}\right)\left(\frac{R}{\kappa - 1}\right)(2T_1 - T_1) = \frac{p_1V_1}{\kappa - 1}$$

問 4 状態 2 から 3 は等圧変化であるから，等圧比熱を$c_p[= \kappa R/(\kappa - 1)]$を用いて，

$$Q_{23} = mc_p(T_3 - T_2) = \left(\frac{p_1V_1}{RT_1}\right)\left(\frac{\kappa R}{\kappa - 1}\right)(T_3 - T_2) = \left(\frac{p_1V_1}{T_1}\right)\left(\frac{\kappa}{\kappa - 1}\right)(T_3 - 2T_1)$$

$$\therefore T_3 = Q_{23} \times \left(\frac{\kappa - 1}{\kappa}\right)\left(\frac{T_1}{p_1V_1}\right) + 2T_1 = 2\kappa \times Q_{12} \times \left(\frac{\kappa - 1}{\kappa}\right)\left(\frac{T_1}{p_1V_1}\right) + 2T_1 = 2\kappa \times \frac{p_1V_1}{\kappa - 1}\left(\frac{\kappa - 1}{\kappa}\right)\left(\frac{T_1}{p_1V_1}\right) + 2T_1$$

$$= 2T_1 + 2T_1 = 4T_1$$

問 5 状態 3 における状態方程式から

$$V_3 = \frac{m\,RT_3}{p_3} = \left(\frac{p_1V_1}{RT_1}\right)\left(\frac{R \times 4T_1}{2p_1}\right) = 2V_1$$

したがって，気体がした仕事 L は，$L = L_{12} + L_{13} = 0 + p_2(V_3 - V_2) = 2p_1(2V_1 - V_1) = 2p_1V_1$

問 6 理想気体のエントロピー変化量は変化前後のTとpの値から得られるので，

$$\Delta S = m\left\{c_p \ln\left(\frac{T_3}{T_1}\right) - R\ln\left(\frac{p_3}{p_1}\right)\right\} = mR\left\{\frac{\kappa}{\kappa - 1}\ln 4 - \ln 2\right\} = \left(\frac{p_1V_1}{RT_1}\right)R\left(\frac{2\kappa}{\kappa - 1} - 1\right)\ln 2 = \frac{p_1V_1}{T_1}\left(\frac{\kappa + 1}{\kappa - 1}\right)\ln 2$$

問 7 状態 3 の内部エネルギー，エントロピー，体積を各々U_3，S_3，V_3とし，状態 1 を U_1，S_1，V_1とすると，エクセルギーEは，

$$E = (U_3 - U_1) - T_1(S_3 - S_1) + p_1(V_3 - V_1) = mc_v(T_3 - T_1) - T_1(\Delta S_{12} + \Delta S_{23}) + p_1(2V_1 - V_1)$$

$$= \left(\frac{p_1V_1}{RT_1}\right)\left(\frac{R}{\kappa - 1}\right)(4T_1 - T_1) - T_1 \times \frac{(\kappa + 1)\ln 2}{(\kappa - 1)T_1} \times p_1V_1 + p_1V_1 = \frac{3}{\kappa - 1} \times p_1V_1 - \frac{(\kappa + 1)\ln 2}{\kappa - 1} \times p_1V_1 + p_1V_1$$

$$= \frac{\kappa + 2}{\kappa - 1} \times p_1V_1 - \frac{(\kappa + 1)\ln 2}{\kappa - 1} \times p_1V_1 = \frac{1}{\kappa - 1}\{\kappa + 2 - (\kappa + 1)\ln 2\} \times p_1V_1$$

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 解　答　例	
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

問１　記号の添え字を温度 [℃]，飽和水を「'」，飽和蒸気を「"」，冷却前後を状態１，２として表記する．

（1）冷却前後で比体積は変化しないので，以下の式が成り立つ。

$$v_1 = v''_{100} = (1-x)v'_{60} + x\,v''_{60}$$

乾き度について求めれば，

$$x = \frac{v''_{100} - v'_{60}}{v''_{60} - v'_{60}} = \frac{1.6719 - 0.0010171}{7.6677 - 0.0010171} = 0.21794$$

（2）冷却前後の比エンタルピーは，それぞれ，

$$h_1 = h''_{100},\ \ h_2 = (1-x)h'_{60} + xh''_{60}$$

エンタルピー変化量は，湿り蒸気の質量$m(=V/v_1)$を用いて，

$$\Delta H = m(h_2 - h_1) = \frac{V}{v_1}(h_2 - h_1) = \frac{V}{v''_{100}}[(1-x)h'_{60} + xh''_{60} - h''_{100}] = -57.1\ \mathrm{kJ}$$

（3）体積変化がないので絶対仕事Lは 0 である．また，系の内部エネルギーをUとすれば，エンタルピーは$H = U + pV$で表すことができるので，系が受ける熱量はエネルギー保存則より，

$$Q = \Delta U + L = \Delta H - \Delta(pV) + 0 = \Delta H - V(p_{60} - p_{100}) = -53.1\ \mathrm{kJ}$$

∴ 放熱は 53.1 kJ

問２　比ギブス自由エネルギーおよび比エンタルピーの定義式，$g = h - Ts$ および $h = u + pv$ から，

①　sdT　　　②　vdp

問３　95℃における容器内は湿り蒸気であるため，95℃の飽和圧力を求めればよい．100℃における飽和水をα，飽和蒸気をβとして，Clausius–Clapeyron の式に数値を代入すれば，

$$\frac{dp}{dT} = \frac{s_\beta - s_\alpha}{v_\beta - v_\alpha} = \frac{s''_{100} - s'_{100}}{v''_{100} - v'_{100}} = \frac{7.3541 - 1.307}{1.6719 - 0.0010435} = 3.619\ \mathrm{kPa/K}$$

$\Delta T = -5$ K とすれば，95℃の飽和圧力は，

$$p_{95} = \Delta T\frac{dp}{dT} + p_{100} = 83.3\ \mathrm{kPa}$$

なお，表 1 の飽和圧力を線形補完すると 91.2 kPa となり誤差が生じる．

別解　Clausius–Clapeyron の式の比エンタルピーの式，または，その積分式から，それぞれ，

$$\frac{p_{95} - p_{100}}{\Delta T} = \frac{h''_{100} - h'_{100}}{[373.15(v''_{100} - v'_{100})]}$$

$$p_{95} - p_{100} = \frac{h''_{100} - h'_{100}}{v''_{100} - v'_{100}}\ln\left(\frac{368.15}{373.15}\right)$$

として求めても，ほぼ同値を得ることができる．

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 解　答　例	
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）

Ⅰ

問１

(1)	(2)	(3)
$kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}$	$kg \cdot s^{-3} \cdot K^{-1}$	$kg \cdot m^{2} \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$

問２

(1) 空気の割合は 3/4=75%であり，その 20%が酸素であるので，

0.75×0.2=0.15 より 15%

(2) $C_2H_5OH + 3O_2 \longrightarrow 3H_2O + 2CO_2$

(3) 化学反応式より酸素は３モル，H_2O は３モル，CO_2 は２モルである．

(4) 窒素は反応に関与しないので，１モルのエタノールに対して，３モルの空気が存在し，そのうち 80%が窒素であるので，2.4 モル存在する．酸素は 0.6 モルである．

物質収支

	エタノール	酸素	窒素	H_2O	CO_2
入口	1	0.6	2.4	0	0
出口	1-0.2×1=0.8	0.6-0.2×3 =0	2.4	0.2×3=1.2	0.2×2=0.4

合計　0.8+0+2.4+1.2+0.4=4.8 mol

0.4/4.8=8.3 mol%

問３

ア	イ	ウ
$\alpha_{12} = \dfrac{y_1 / x_1}{y_2 / x_2} = \dfrac{0.6 / 0.3}{(1-0.6)/(1-0.3)} = 3.5$	共沸	予熱
エ	オ	カ
定率乾燥	減率乾燥	湿球
A		
多い		

I

問 1

式(I.1)の運動量収支式を改めて書くと，

$$(\rho W \Delta y v_x^2)|_{x=0} - (\rho W \Delta y v_x^2)|_{x=L} + \left(LW\tau_{yx}\right)\Big|_y - \left(LW\tau_{yx}\right)\Big|_{y+\Delta y} + \rho LW\Delta y g = 0$$

である。$v_x|_{x=0} = v_x|_{x=L}$から，左辺第一項と左辺第二項はキャンセルする。両辺を $LW\Delta y$ で割って $\Delta y \to 0$とすると，

$$\lim_{\Delta y \to 0} \frac{\tau_{yx}\big|_{y+\Delta y} - \tau_{yx}\big|_y}{\Delta y} = \rho g \to \frac{\mathrm{d}\tau_{yx}}{\mathrm{d}y} = \rho g$$

となる。

問 2　式(I.2)の両辺を積分すると，$\tau_{yx} = \rho g y + C_1$（$C_1$は積分定数）である。ここで，$y = 0$における せん断応力の境界条件（$\tau_{yx} = 0$）を用いると，$C_1 = 0$となる。さらに，式(I.3)の Newton の粘性法則を用いれば,

$$-\mu \frac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}y} = \rho g y$$

となる。この式の両辺を積分して，

$$v_x = -\frac{\rho g}{2\mu} y^2 + C_2$$

である。ただし，C_2は積分定数である。$y = a$における速度のx成分の境界条件（$v_x = 0$）を用いて，

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

となる。

問 3

$$Q = \int_0^a W v_x dy = \frac{\rho g W a^2}{2\mu} \int_0^a \left[1 - \left(\frac{y}{a}\right)^2\right] dy = \frac{\rho g W a^3}{3\mu}$$

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 解　答　例	
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

問1 熱伝導率kは一定の下で式(II.1)を積分すると，球殻内の温度分布は次式で示される。

$$T(r) = -\frac{C_1}{r} + C_2$$

C_1とC_2は積分定数で，球殻の内側（$r = r_1$）の表面温度がT_1，球殻の外側（$r = r_2$）の表面温度がT_2，という２つの境界条件から，以下のように示される。

$$C_1 = -\frac{T_1 - T_2}{1/r_1 - 1/r_2}$$

$$C_2 = T_1 - \frac{T_1 - T_2}{r_1(1/r_1 - 1/r_2)}$$

以上より、球殻内の温度分布$T(r)$は次式で表される。

$$T(r) = T_1 - \frac{(1/r_1 - 1/r)}{(1/r_1 - 1/r_2)}(T_1 - T_2)$$

問2 球殻を通過する伝熱量$\dot{Q}$は，次式より求められる。

$$\dot{Q} = -4\pi r^2 k \left.\frac{dT}{dr}\right|_r$$

ここで，問１で求めた球殻内の温度分布$T(r)$を用いれば

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

となり，$\dot{Q}$は半径rによらず一定となる。

問3 問２で求めた伝熱量の式より，球殻内の熱抵抗Rは次式で表される。

$$R = \frac{1}{4\pi k}\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

一方，球殻内側の高温流体の熱抵抗R_hと球殻内側の低温流体の熱抵抗R_cはそれぞれ

$$R_\mathrm{h} = \frac{1}{4\pi r_1^2 h_\mathrm{h}}, \quad R_\mathrm{c} = \frac{1}{4\pi r_2^2 h_\mathrm{c}}$$

であるため、総括熱抵抗R_totalは３つの熱抵抗の和となる。

$$R_\mathrm{total} = \frac{1}{4\pi}\left[\frac{1}{r_1^2 h_\mathrm{h}} + \frac{1}{k}\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) + \frac{1}{r_2^2 h_\mathrm{c}}\right]$$

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 解　答　例	
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

問１　(1)

$-\frac{d[\mathrm{A}]}{dt} = k[\mathrm{A}]^2$ より，$\frac{d[\mathrm{A}]}{[\mathrm{A}]^2} = -kdt$

$\int_{[\mathrm{A}]_0}^{[\mathrm{A}]} \frac{1}{[\mathrm{A}]^2} d[A] = \int_0^t -kdt$　　したがって　$\frac{1}{[\mathrm{A}]} - \frac{1}{[\mathrm{A}]_0} = kt$

(2)

(1)の式に数値を代入すると、$\frac{1}{0.25} - \frac{1}{1.00} = k \times 60$　したがって $k = 5.0 \times 10^{-2}$ L mol^{-1} min^{-1}

$[\mathrm{A}] = \frac{1}{2}[\mathrm{A}]_0$を代入すると$\frac{1}{[\mathrm{A}]_0} = kt_{1/2}$，したがって$t_{1/2} = \frac{1}{k[\mathrm{A}]_0}$ = 20 min

問２　(1)

両辺の対数をとると $\ln k_1 = \ln A - \frac{E_\mathrm{a}}{RT_1}$, $\ln k_2 = \ln A - \frac{E_\mathrm{a}}{RT_2}$ となることから，

$$\ln k_2 - \ln k_1 = \frac{E_\mathrm{a}}{RT_1} - \frac{E_\mathrm{a}}{RT_2}$$

$$\ln\left(\frac{k_2}{k_1}\right) = \frac{E_\mathrm{a}}{R}\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)$$

(2)

27 ℃，47 ℃ を絶対温度 300 K，320 K に換算し，(2)式に各数値を代入すると

$$\ln\left(\frac{7.4 \times 10^{-3}}{2.0 \times 10^{-3}}\right) = \frac{E_\mathrm{a}}{8.314}\left(\frac{1}{300} - \frac{1}{320}\right)$$

$E_\mathrm{a} = 52{,}300\ \mathrm{J\,mol^{-1}}$　または　$52\ \mathrm{kJ\,mol^{-1}}$

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 解　答　例	
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

問１　まず，反応に要する時間を求める。

定容系であるため，反応速度に関連する成分（限定反応成分）の濃度を反応率 x_A で表すと，

$$C_A = C_{A0}(1 - x_A) \qquad \text{(i)}$$

(i)式を反応速度式に代入して，反応速度式を反応率 x_A で表すと，

$$-r_A = kC_A = kC_{A0}(1 - x_A) \qquad \text{(ii)}$$

(ii)式を回分反応器の設計方程式に代入して，

$$t = C_{A0}\int_0^{x_A} \frac{dx_A}{kC_{A0}(1 - x_A)} = \frac{1}{k}[-\ln(1 - x_A)]_0^{x_A} \qquad \text{(iii)}$$

$$t = -\frac{\ln(1 - x_A)}{k} \qquad \text{(iv)}$$

反応速度定数 1.50×10^{-4} s^{-1} と反応率 0.850 を(iv)に代入して反応時間を求めると，

$$t = -\frac{\ln(1 - 0.850)}{1.50 \times 10^{-4}} = 1.26 \times 10^4 \text{ [s]} = 3.51 \text{ [h]} \qquad \text{(v)}$$

原料の仕込み（30 min = 0.500 h），生成物の取り出しと反応器の洗浄（45 min = 0.75 h）を含めて，1 サイクルの工程に要する時間t_{cycle}は，

$$t_{cycle} = 0.500 + 3.51 + 0.75 = 4.76 \text{ [h]} \qquad \text{(vi)}$$

問２　反応器体積をV [m^3]として，1 サイクルの生産で得られる B の物質量を求める。

原料は A のみで初期濃度は 2.50×10^4 mol m^{-3}，反応率 85.0%より，反応終了時の B の濃度C_Bは，

$$C_B = (2.50 \times 10^4)(3 \times 0.850) = 6.38 \times 10^4 \text{ [mol m}^{-3}\text{]} \qquad \text{(vii)}$$

よって，1 サイクルで得られる B の物質量は，6.38×10^4 V [mol]となる。

これを問 1 で求めた 1 サイクルに要する時間 4.76 h で割れば B の生産速度が得られる。

この値が 5.00×10^4 mol h^{-1} となるのに必要な反応体積 V は，次式を V について解くことで得られる。

$$\frac{6.38 \times 10^4\, V}{4.76} = 5.00 \times 10^4$$

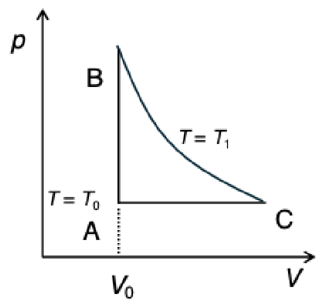
よって必要な反応体積 V は，

$$V = 3.73 \text{ m}^3$$

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 解　答　例	
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

以下の問１～問２に答えなさい。



問１

(1) 完全気体の状態方程式より，

$$p_A = \frac{RT_0}{V_0}$$

(2) (1)と同様に，

$$p_B = \frac{RT_1}{V_0}$$

(3) 気体がした仕事はゼロであるので，受け取った熱量は内部エネルギー変化に等しい。

$$Q_{A\to\mathrm{B}} = \frac{3}{2}R(T_1 - T_0)$$

(4) 状態 C での圧力は p_A に等しいので，

$$V_C = \frac{RT_1}{p_A} = \frac{T_1}{T_0}V_0$$

(5) 温度 T_1 の等温過程なので，気体が受け取った熱量は外界にした仕事に等しい。

$$Q_{B\to\mathrm{C}} = W_{B\to\mathrm{C}} = RT_1\int_{V_0}^{V_C}\frac{dV}{V} = RT_1\ln\left(\frac{V_C}{V_0}\right) = RT_1\ln\left(\frac{T_1}{T_0}\right)$$

(6) C→A の過程で，気体がした仕事は

$$W_{C\to A} = p_A(V_0 - V_C) = RT_0\left(1 - \frac{T_1}{T_0}\right) = R(T_0 - T_1)$$

C→A の過程での内部エネルギー変化は，

$$\frac{3}{2}R(T_0 - T_1)$$

なので，C→A の過程で放出した熱量は，

$$Q_{C\to A} = \frac{5}{2}R(T_1 - T_0)$$

したがって，熱効率は,

$$\eta = 1 - \frac{Q_{C\to A}}{Q_{A\to \mathrm{B}} + Q_{B\to \mathrm{C}}} = 1 - \frac{\frac{5}{2}R(T_1 - T_0)}{\frac{3}{2}R(T_1 - T_0) + RT_1 \ln\left(\frac{T_1}{T_0}\right)} = \frac{-R(T_1 - T_0) + RT_1 \ln\left(\frac{T_1}{T_0}\right)}{\frac{3}{2}R(T_1 - T_0) + RT_1 \ln\left(\frac{T_1}{T_0}\right)}$$

問 2

(1) $\Delta_r G^\circ = 2 \times 1.70 - (0 + 19.3) = -15.9\ \ \mathrm{kJ\ mol^{-1}}$

(2) 平衡定数は,

$$K = \exp\left(-\frac{\Delta_r G^\circ}{RT}\right) = \exp\left(\frac{15.9\times 10^3}{8.31\times 298}\right) = e^{6.42} = 614$$

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 解　答　例	
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

問１　　プランク分布を全周波数領域で積分すると，

$$E(T) = \frac{8\pi h}{c^3}\int_0^\infty \frac{\nu^3}{exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right)-1}d\nu = \frac{8\pi h}{c^3}\left(\frac{kT}{h}\right)^4\int_0^\infty \frac{y^3}{e^y-1}dy = \frac{8\pi k^4T^4}{c^3h^3}\frac{\pi^4}{15} = \frac{8\pi^5k^4}{15c^3h^3}T^4$$

であるので，全エネルギーは T^4 に比例し，比例定数は，

$$\frac{8\pi^5k^4}{15c^3h^3}$$

である。

問２　　放射される電磁波の全エネルギーは，T^4 に比例するので，

$$\frac{E(200℃)}{E(100℃)} = \left(\frac{473.15}{373.15}\right)^4 = 2.585$$

であるので，2.59 倍となる。

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 解　答　例	
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

Ｉ

問１

$$E = L\frac{di_{\mathrm{R1}}(t)}{dt} + Ri_{\mathrm{R1}}(t)$$

問２

$$i_{\mathrm{R1}}(t) = \frac{E}{R}\left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right)\ [\mathrm{A}]$$

問３

$$i_{\mathrm{R1}}(t) = \frac{E}{R}\ [\mathrm{A}]$$

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 解　答　例	
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

II

問 1

$$I = j|I| \ [\mathrm{A}]$$

問 2

$$I_{\mathrm{R2}} = -\frac{\omega L|I|}{R + j\omega L} \ [\mathrm{A}]$$

問 3

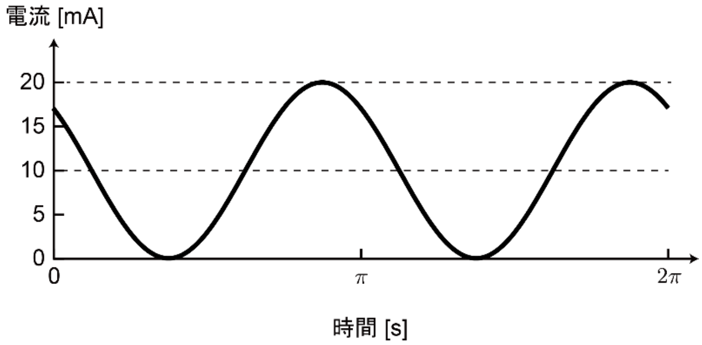
$$i_{\mathrm{R2}}(t) = -\frac{\sqrt{2}\omega L|I|}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \sin\left(\omega t - \tan^{-1}\frac{\omega L}{R}\right) \ [\mathrm{A}]$$

問 4

$$i_{\mathrm{R3}}(t) = \frac{E}{R} - \frac{\sqrt{2}\omega L|I|}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \sin\left(\omega t - \tan^{-1}\frac{\omega L}{R}\right) \ [\mathrm{A}]$$

問 5

$$i_{\mathrm{R3}}(t) = \frac{1}{100} - \frac{1}{100} \sin\left(2t - \frac{\pi}{4}\right) \ [\mathrm{A}]$$



問 6

$$I_{\mathrm{rms}} = \frac{1}{100}\sqrt{\frac{3}{2}} \ [\mathrm{A}]$$

$$I_{\mathrm{ave}} = 0.01 \ [\mathrm{A}] = 10 \ [\mathrm{mA}]$$

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 解　答　例	
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

I

問１　図１より，以下の回路方程式が成り立つ。

$$
\begin{aligned}
v_i &= R_1 i_1 + R_2 i_2 \\
v_i &= \left(\frac{1}{j\omega C} + R_2\right) i_2 = \frac{1 + j\omega C R_2}{j\omega C} i_2 \\
R_2 i_2 &= v_o \\
i &= i_1 + i_2
\end{aligned}
$$

上式を解いて，v_o は次式となる。

$$
v_o = \frac{j\omega C R_2}{1 + j\omega C R_2} v_i
$$

問２　問１で求めた回路方程式より

$$
\begin{aligned}
i_2 &= \frac{v_o}{R_2} = \frac{j\omega C}{1 + j\omega C R_2} v_i \\
i_1 &= \frac{v_i - R_2 i_2}{R_1} = \frac{v_i}{R_1} \frac{1}{1 + j\omega C R_2} \\
i &= i_1 + i_2 = \frac{v_i}{R_1} \frac{1 + j\omega C R_1}{1 + j\omega C R_2}
\end{aligned}
$$

上記第３式より，Z_{in} は次式となる。

$$
Z_{in1} = \frac{v_i}{i} = R_1 \frac{1 + j\omega C R_2}{1 + j\omega C R_1} = R_1 \frac{1 + \omega^2 C^2 R_1 R_2 + j\omega C (R_2 - R_1)}{1 + \omega^2 C^2 R_1^2}
$$

したがって，a と b はそれぞれ次式となる。

$$
\begin{aligned}
a &= R_1 \frac{1 + \omega^2 C^2 R_1 R_2}{1 + \omega^2 C^2 R_1^2} \\
b &= \frac{\omega C R_1 (R_2 - R_1)}{1 + \omega^2 C^2 R_1^2}
\end{aligned}
$$

問３　$R_1 \ll R_2$，かつ，$\omega C R_1 \ll 1$ であるから，a と b は次式と近似できる。

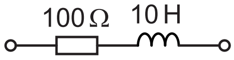
$$
\begin{aligned}
a &\approx R_1 \left(1 + \omega^2 C^2 R_1 R_2\right) \\
b &\approx \omega C R_1 (R_2 - R_1) \approx \omega C R_1 R_2
\end{aligned}
$$

上式の a が角周波数 ω に依存しないと近似するためには，a の第１項 $\gg$ 第２項であれば良い。すなわち，$\omega^2 C^2 R_1 R_2 \ll 1$ であれば良い。また，$R_1 \ll R_2$ より $\omega^2 C^2 R_1^2 \ll \omega^2 C^2 R_1 R_2 \ll 1$ である。よって，求める条件と Z_{in1} の近似式は次式となる。

$$
\begin{aligned}
\omega &\ll \frac{1}{C\sqrt{R_1 R_2}} \\
Z_{in1} &\approx R_1 + j\omega C R_1 R_2
\end{aligned}
$$

問 4　数値を代入して，$Z_{in1} = 100 + j\omega 10\ \Omega$ となる。

問 5　Z_{in1} を実現する受動回路と素子値は，下図のとおりである。



問 6　2 つのオペアンプに対してイマジナリーショートを考慮すると，$v_A = v_i$，$v_B = v_i$ となる。

問 7　図 2 より，以下の回路方程式が成り立つ。

$$
\begin{aligned}
v_i &= R_1 i + R_1 i_1 + v_A \\
v_A &= R_2 i_1 + \frac{i_2}{j\omega C} + v_B \\
v_B &= R_1 i_2 \\
v_A &= v_i \\
v_B &= v_i
\end{aligned}
$$

上式を解いて，$Z_{in2} = j\omega C R_1 R_2$ となる。

問 8　数値を代入して，$Z_{in2} = j\omega 100\ \Omega$ となる。

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 解　答　例	
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

I

問 1 図 1 の通り。

問 2 状態$Q_{n(1)}Q_{n(0)}$は$00 \to 01 \to 11 \to 10 \to 00 \to \cdots$の順に遷移する。

問 3 グレイ符号，または，交番二進符号。

問 4 カルノー図を用いた簡単化を行う。図 2 より，下記を得る。

$$Q_{n+1(1)} = \bar{x}Q_{n(0)} + x\bar{Q}_{n(0)} = x \oplus Q_{n(0)}$$

$$Q_{n+1(0)} = \bar{x}\bar{Q}_{n(1)} + xQ_{n(1)} = \overline{x \oplus Q_{n(1)}}$$

$$z = \bar{x}\bar{Q}_{n(0)}Q_{n(1)} + xQ_{n(0)}\bar{Q}_{n(1)}$$

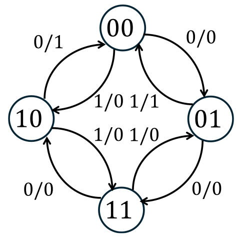


図 1. 状態遷移図

$Q_{n(1)}$	$Q_{n(0)}$ ＼ x	0	1
0	0		1
0	1	1	
1	1	1	
1	0		1

図 2(a) $Q_{n+1(1)}$のカルノー図

$Q_{n(1)}$	$Q_{n(0)}$ ＼ x	0	1
0	0	1	
0	1	1	
1	1		1
1	0		1

図 2(b) $Q_{n+1(0)}$のカルノー図

$Q_{n(1)}$	$Q_{n(0)}$ ＼ x	0	1
0	0		
0	1		1
1	1		
1	0	1	

図 2(c) zのカルノー図

問 5 問 3 の論理式を回路にすると，図 3 の回路を得る。

問 6 図 4 の通り。

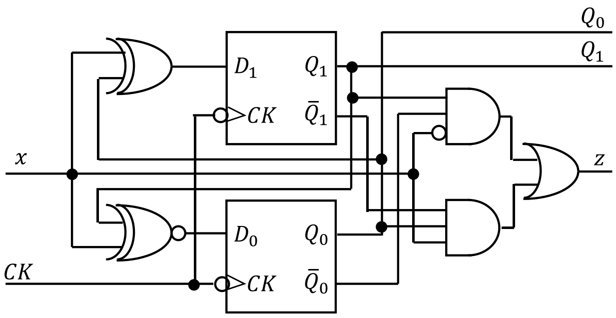


図 3. 回路図

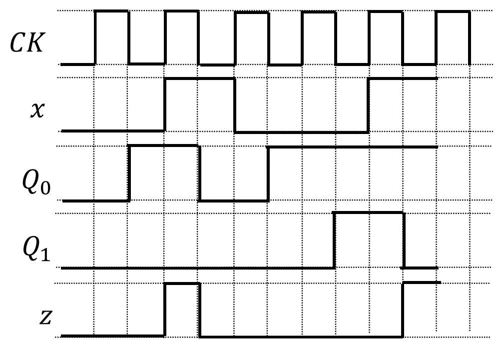


図 4. タイミング図

II

問 1 任意の符号間のハミング距離が 3 以上になるように符号を構成する。1 ビットの誤りが発生した際に，ハミング距離が最も近い符号を選択することで，誤りを訂正できる。

問 2 下記など。

$$\overline{A + B} = \bar{A} \cdot \bar{B}$$

$$\overline{A \cdot B} = \bar{A} + \bar{B}$$

問 3 $F = AB + CD$