

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（1 / 27）

I

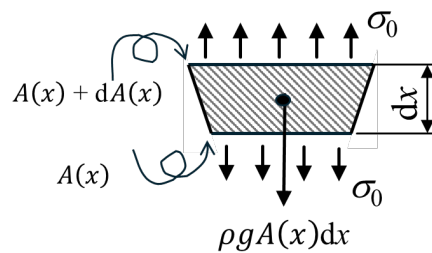
問 1  $W(x) = \rho g A_0 x$

問 2  $L_a = \frac{\sigma_a}{\rho g}$

問 3  $W(x) = \frac{\rho g A(x)}{3} x$

問 4  $\lambda_L = \int_0^L \frac{\rho g}{3E} x dx = \frac{\rho g}{6E} L^2$

問 5



$$(A(x) + dA(x))\sigma_0 = A(x)\sigma_0 + \boxed{\rho g A(x)} dx$$

問 6  $\frac{\boxed{dA(x)}}{A(x)} = \frac{\rho g}{\sigma_0} \boxed{dx}$

問 7  $A(x) = \frac{P}{\sigma_0} \exp\left(\frac{\rho g x}{\sigma_0}\right)$

問 8  $\lambda_L = \frac{\sigma_0 L}{E}$

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  
解 答 例

|       |                             |
|-------|-----------------------------|
| 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（2／27）   |

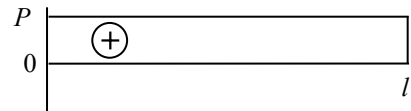
II

問1

水平反力の大きさ  $|R_{AH}|=F$

垂直反力の大きさ  $|R_{AV}|=P$

反モーメントの大きさ  $|M_A| = \left| \left( \frac{F}{4} - P \right) l \right|$



SFD

問2

せん断力  $V_x=P$

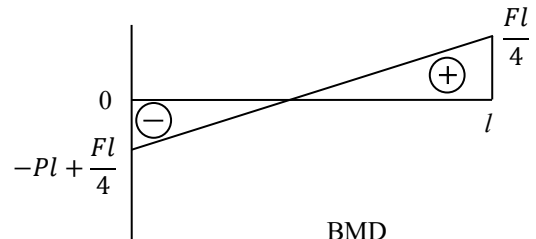
SFD は右図となる

問3

曲げモーメント  $M_x = \left( \frac{F}{4} - P \right) l + Px$

$M_x|_{x=0} = \left( \frac{F}{4} - P \right) l$        $M_x|_{x=l} = \frac{Fl}{4}$

BMD は右図となる.



BMD

問4

固定端 A 上面の曲げモーメント  $M_A$  による曲げ応力  $\sigma_A$

$\sigma_A = \frac{6}{bh^2} \left( P - \frac{F}{4} \right) l$       ( $P \geq F/4$ なので  $\sigma_A$  は引張応力)

問5

はり中央点 D の曲げモーメント  $M_D$  による曲げ応力  $\sigma_D$

$\sigma_D = 0$  となる場合は  $M_D = 0$

$M_D = \left( \frac{F}{4} - \frac{P}{2} \right) l = 0$  したがって  $F = 2P$  もしくは  $P = F/2$

|                                                              |  |
|--------------------------------------------------------------|--|
| 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<br>解 答 例 |  |
|--------------------------------------------------------------|--|

|       |                             |
|-------|-----------------------------|
| 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（3 / 27） |
|-------|-----------------------------|

I

問 1

棒の重心周りの回転運動において，棒の重心から  $x$  離れた位置にある微小要素  $dx$  の慣性モーメントは  $\frac{m}{l}x^2dx$  で表される．これを重心から端 ( $x=l/2$ ) に向けて積分し，両端を考慮するために 2 倍したものが棒の慣性モーメントとなる．したがって，

$$2\int_0^{l/2}\frac{m}{l}x^2dx=2\frac{m}{l}\left[\frac{x^3}{3}\right]_0^{l/2}=\frac{ml^2}{12}$$

となる．

問 2

点 O は重心から  $l/2$  離れているので重心周りの慣性モーメントと平衡軸の定理を用いて

$$\frac{ml^2}{12}+m\left(\frac{l}{2}\right)^2=\frac{1}{3}ml^2$$

となる．

問 3

バネ係数  $k$  は，

$$k=\frac{mgl}{2\Delta y\alpha l}=\frac{mg}{2\Delta y\alpha}$$

となる．

問 4

点 O 周りの棒のモーメントのつり合い式を整理して，

$$\frac{m}{3}\ddot{\theta}+c\beta^2\dot{\theta}+\frac{mg\alpha}{2\Delta y}\theta=0$$

が得られる．

問 5

運動方程式から，不減衰固有角振動数は，

$$\omega_n=\sqrt{\frac{3}{2}\frac{g}{\Delta y}\alpha}$$

となる．

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  
解 答 例

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（4 / 27）

問 6

臨界減衰において，運動方程式の特性方程式は重解をもつため，

$$\left(c_{cr}\beta^2\right)^2 - 4\frac{m}{3}\frac{mg\alpha}{2\Delta y} = 0$$

を満たす．これを  $c_{cr}$  について解いて

$$c_{cr} = \sqrt{\frac{2m^2g}{3\Delta y}\frac{\alpha}{\beta^4}}$$

が得られる．

問 7

運動方程式の特性方程式，

$$\frac{m}{3}\lambda^2 + c\beta^2\lambda + \frac{mg\alpha}{2\Delta y} = 0$$

を

$$M\lambda^2 + C\lambda + K = 0$$

で置き換えたとき，その根は，

$$\lambda_1, \lambda_2 = \frac{-C \pm \sqrt{C^2 - 4MK}}{2M} = -\frac{C}{2M} \pm \sqrt{\frac{K}{M}} \sqrt{\frac{1}{4}\frac{C^2}{KM} - 1}$$

となり，不足減衰の際の減衰固有角振動数  $\omega_d$  は

$$\omega_d = \sqrt{\frac{K}{M}} \sqrt{1 - \frac{1}{4}\frac{C^2}{KM}} = \omega_n \sqrt{1 - \frac{1}{4}\frac{C^2}{KM}}$$

となる．ここに係数を代入し，

$$\omega_d = \sqrt{\frac{3}{2}\frac{g}{\Delta y}}\alpha \sqrt{1 - \frac{3\Delta y c^2}{2m^2g}\frac{\beta^4}{\alpha}}$$

を得る．

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  
解 答 例

|       |                             |
|-------|-----------------------------|
| 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（5／27）   |

II

問 1  $\frac{(M+m)g}{2k}$

問 2  $\omega_0 = \sqrt{\frac{2k}{3m}}$

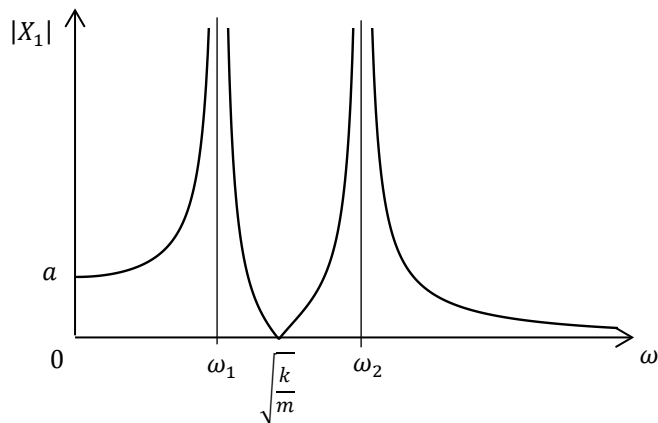
問 3 板の運動方程式  $2m\ddot{x}_1 = -2kx_1 - k(x_1 - x_2)$   
重りの運動方程式  $m\ddot{x}_2 = -k(x_2 - x_1)$

問 4  $\omega_1 = \sqrt{\frac{k}{2m}}$  ,  $\omega_2 = \sqrt{\frac{2k}{m}}$

問 5  $\omega = \omega_1$  のとき振幅比  $\frac{x_2}{x_1} = 2$  ,  $\omega = \omega_2$  のとき振幅比  $\frac{x_2}{x_1} = -1$

問 6 板の運動方程式  $2m\ddot{x}_1 = -2k(x_1 - u) - k(x_1 - x_2)$   
重りの運動方程式  $m\ddot{x}_2 = -k(x_2 - x_1)$

問 7



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 ③流れ学（6／27）

I

問1 水位は高さ  $H$  なので，容器内側底部の圧力は，絶対圧で  $\rho gH + p_0$ ，ゲージ圧で  $\rho gH$  となる。

答え 絶対圧  $\rho gH + p_0$ ，ゲージ圧  $\rho gH$

問2 水面と小孔の間の流線を考え，以下のベルヌーイの式を利用する。

$$\frac{\rho v_1^2}{2} + p_1 + \rho g z_1 = \frac{\rho v_2^2}{2} + p_2 + \rho g z_2$$

水の圧力，流速及び  $z$  方向高さを，水面で  $p_1$ ， $v_1$ ， $z_1$ ，小孔で  $p_2$ ， $v_2$ ， $z_2$  とする。 $p_1 = p_2 = p_0$ ， $v_1 = 0$ ， $z_1 = H$ ， $z_2 = 0$  を上式に代入すると，平均流速  $v_2 = \sqrt{2gH}$ （鉛直下向き）が得られる。

答え 平均流速  $\sqrt{2gH}$

問3 平均流速は  $\sqrt{2gH}$  なので，体積流量  $Q$  は  $Av_2 = A\sqrt{2gH}$  となる。

答え 体積流量  $A\sqrt{2gH}$

問4  $z$  方向成分（鉛直方向）のみを考える。はじめに，水の流出方向（鉛直下向き）を正として流体力を求め，最後に， $z$  方向の正の向き（鉛直上向き）に変換する。単位時間あたりに検査体積に流入する運動量の鉛直下向き成分は 0 であり，また，単位時間あたりに検査体積から流出する運動量の鉛直下向き成分は  $\rho Q v_2 = \rho A v_2^2$  である。したがって，単位時間あたりの運動量の差（流入－流出）を求めると， $\Delta_{\text{運動量}} = 0 - \rho A v_2^2 = -\rho A (2gH) = -2\rho gHA$  となる。一方，検査体積境界は大気圧なので，検査体積境界にはたらく圧力による力の鉛直下向き成分  $F_{\text{圧力}}$  は 0 である。重力などの体積力は無視し，運動量の法則を用いて，流体力の鉛直下向き成分を求めると

$$\text{流体力} = \Delta_{\text{運動量}} + F_{\text{圧力}} = -2\rho gHA + 0 = -2\rho gHA \quad (\text{ここまでは鉛直下向きを正として導出})$$

したがって， $z$  方向（鉛直上向き）に， $2\rho gHA$  の大きさの流体力が作用する。

答え 流体力  $2\rho gHA$

問5 問2，問3の考え方を利用すると，平均流速  $v_2 = \sqrt{2gh}$  から体積流量  $Av_2 = A\sqrt{2gh}$  が得られる。

答え 体積流量  $A\sqrt{2gh}$

問6 「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」を用いると，

$$\text{体積} = (\text{体積流量}) \times (\text{時間}) = (A\sqrt{2gh})dt \text{ と求められる}$$

答え 体積  $A\sqrt{2gh}dt$

問7 水位が  $h$  から  $h-dh$  に変化した場合，容器内の水の容量は  $-Sdh$  だけ変化する。この容量変化が流出した水の体積と釣り合うので， $-Sdh = (A\sqrt{2gh})dt$  となる。 $dh/dt$  として解答を整理すると， $dh/dt = -(A/S)\sqrt{2gh}$  が得られ，時間が経過すると水位が低下することが分かる。

答え  $dh/dt = -(A/S)\sqrt{2gh}$

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  
解 答 例

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 ③流れ学（7／27）

問8 時刻  $t$  が 0 から  $t_0$  の間に，水位  $h$  が  $H$  から 0 に変化する。 $t_0 = \int_0^{t_0} dt$  を置換積分すると，

$$t_0 = \int_0^{t_0} dt = \int_H^0 \frac{dh}{-(A/S)\sqrt{2gh}} = (S/A) \frac{1}{\sqrt{2g}} \int_0^H \frac{dh}{\sqrt{h}} = (S/A) \frac{1}{\sqrt{2g}} [2\sqrt{h}]_0^H = (S/A)\sqrt{2H/g}$$

が得られる。

答え  $t_0 = (S/A)\sqrt{2H/g}$

問9 水面と小孔の間の流れに成立する連続の式とベルヌーイの式は，次式で与えられる。

$$Sv_1 = Av_2$$

$$\frac{\rho v_1^2}{2} + p_1 + \rho g z_1 = \frac{\rho v_2^2}{2} + p_2 + \rho g z_2$$

連続の式から  $v_2 = (S/A)v_1$  なので，この式と  $p_1 = p_2 = p_0$ ， $z_1 = h$ ， $z_2 = 0$  をベルヌーイの式に代入して，

$$v_1 = \frac{A}{\sqrt{S^2 - A^2}} \sqrt{2gh} \text{ が得られる。あるいは， } v_1 = \frac{A}{S\sqrt{1 - (A/S)^2}} \sqrt{2gh} \text{ などと書ける。}$$

問7 から  $|dh/dt| = (A/S)\sqrt{2gh}$  なので，大小関係は， $v_1 > |dh/dt|$  で， $v_1$  の方が大きい。

答え  $v_1 = \frac{A}{\sqrt{S^2 - A^2}} \sqrt{2gh}$

大小関係は， $v_1 > |dh/dt|$  で， $v_1$  の方が大きい。

なお，容器断面積  $S$  は小孔断面積  $A$  より充分大きいことを考慮して， $v_1$  の根号内の  $(A/S)^2$  の項を無視できると考察した場合は，大小関係は「等しい（ほぼ同じ大きさ）」となる。

|       |                             |
|-------|-----------------------------|
| 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 ③流れ学（8／27） |
|-------|--------------------------|

## II

問 1  $\rho \cdot dx \cdot dy$

問 2 負の方向

問 3 正の方向

問 4

$$\left( \tau + \frac{d\tau}{dy} dy \right) \cdot dx \cdot 1 - \tau \cdot dx \cdot 1 + \rho g \sin \theta \cdot dx \cdot dy \cdot 1 = 0$$

$$\frac{d\tau}{dy} = \boxed{-\rho g \sin \theta}$$

問 5

$$\frac{d\tau}{dy} = -\rho g \sin \theta$$

$$\int \frac{d\tau}{dy} dy = -\rho g \sin \theta \int dy$$

$$\tau = -\rho g \sin \theta \cdot y + c$$

$$y = b \text{ で } \tau = 0 \text{ より}$$

$$c = \rho g b \sin \theta$$

$$\therefore \tau = \rho g \sin \theta \cdot (b - y)$$

|       |                             |
|-------|-----------------------------|
| 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 ③流れ学（9／27）    |

問6

$$\begin{aligned}\tau &= \mu \frac{du}{dy} \text{を代入して} \\ \mu \frac{du}{dy} &= \rho g \sin \theta \cdot (b - y) \\ \frac{du}{dy} &= \frac{\rho g \sin \theta}{\mu} (b - y) \\ \int \frac{du}{dy} dy &= \int \frac{\rho g \sin \theta}{\mu} (b - y) dy \\ u &= \frac{\rho g \sin \theta}{\mu} \left( by - \frac{y^2}{2} \right) + c \\ y = 0 \text{で} u &= 0 \text{より} \\ c &= 0 \\ \therefore u &= \frac{\rho g \sin \theta}{\mu} \left( by - \frac{y^2}{2} \right)\end{aligned}$$

問7

$$Q = \int_0^b u dy = \frac{\rho g \sin \theta}{\mu} \int_0^b \left( by - \frac{y^2}{2} \right) dy = \frac{\rho g \sin \theta}{\mu} \cdot \left[ b \frac{y^2}{2} - \frac{y^3}{6} \right]_0^b = \frac{\rho g \sin \theta}{3\mu} b^3$$

問8

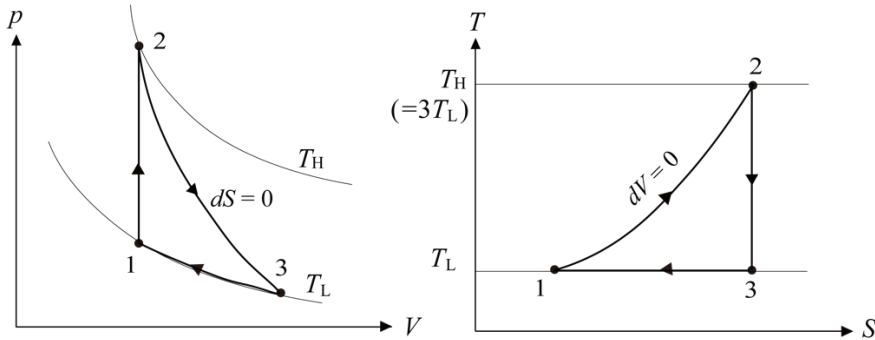
$Q \propto \sin \theta$ より， $\theta = \pi/4$ （ $\theta = 45^\circ$ ）で， $Q$ が最大になる。

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 ④熱力学（10／27）

I

問1



問2

仕事  $L$  は，定積比熱を  $c_v$  とすると，

$$L = mc_v(T_H - T_L) - mRT_L \ln \frac{V_3}{V_1} \dots\dots\dots (1)$$

ここで， $V_1=V_2$ ， $2 \rightarrow 3$  は断熱変化であるので，

$$T_H V_1^{\kappa-1} = T_L V_3^{\kappa-1}$$

$$\therefore \frac{V_3}{V_1} = \left(\frac{T_H}{T_L}\right)^{\frac{1}{\kappa-1}} = \left(\frac{3T_L}{T_L}\right)^{\frac{1}{\kappa-1}} = 3^{\frac{1}{\kappa-1}} \dots\dots\dots (2)$$

よって，式 (1) に式 (2) を代入して， $c_v = \frac{R}{\kappa-1}$  の関係を用いると，

$$L = m \frac{R}{\kappa-1} \cdot 2T_L - mRT_L \ln \left(3^{\frac{1}{\kappa-1}}\right) = \frac{mR}{\kappa-1} T_L (2 - \ln 3) \quad \left(= 0.901 \left(\frac{mR}{\kappa-1}\right) T_L\right)$$

問3

熱効率  $\eta$  は，

$$\eta = \frac{L}{Q_{12}} = \frac{m \frac{R}{\kappa-1} T_L (2 - \ln 3)}{m \frac{R}{\kappa-1} (T_H - T_L)} = \frac{T_L (2 - \ln 3)}{2T_L} = \frac{2 - \ln 3}{2} (= 0.45)$$

問4

$$\Delta S_{12} = mc_v \ln \frac{T_H}{T_L} = m \frac{R}{\kappa-1} \ln \frac{T_H}{T_L}$$

$$\Delta S_{23} = 0$$

$$\Delta S_{31} = mR \ln \frac{V_1}{V_3} = mR \ln \left[\left(\frac{T_L}{T_H}\right)^{\frac{1}{\kappa-1}}\right] = -m \frac{R}{\kappa-1} \ln \frac{T_H}{T_L}$$

$$\therefore \Delta S_{12} + \Delta S_{23} + \Delta S_{31} = 0$$

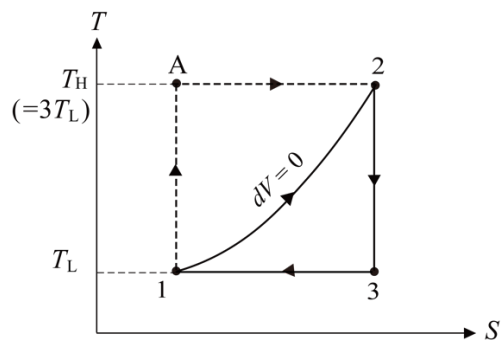
専 攻 名 フロンティア工学専攻（一般選抜，外国人留学生特別選抜）

試験科目名 専門科目 (a)機械工学系 ④熱力学（11／27）

問 5

$T_H$  と  $T_L$  の間で動作するサイクルにおいて，熱効率が最大となるのは放熱量  $Q_L$  と加熱量  $Q_H$  の比（ $Q_L/Q_H$ ）が最小となる場合であり， $T$ - $S$  線図上では長方形の経路となり，カルノーサイクルとなる。点 1 と点 3 を固定すると，カルノーサイクルは点線の経路（1→A→2）となる。このサイクルの熱効率は，

$$\eta_{carnot} = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - \frac{T_L}{3T_L} = \frac{2}{3} (= 0.667)$$



|                                                     |  |
|-----------------------------------------------------|--|
| 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 |  |
| 解 答 例                                               |  |

|       |                             |
|-------|-----------------------------|
| 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 ④熱力学（12／27）   |

Ⅱ ①  $T ds$  ②  $c_p dT$  ( $c_p$  は定圧比熱) ③  $T/c_p$  ④ 定圧比熱

### Ⅲ

問 1

作動流体の質量を  $m$ ，定積比熱を  $c_v$ ，気体定数を  $R$  とすると，等積過程で加えられる熱量  $Q_H$  は，

$$Q_H = mc_v(T_3 - T_2) \dots\dots (1)$$

ここで， $1 \rightarrow 2$  の過程は断熱変化であるので，

$$T_1 V_1^{\kappa-1} = T_2 V_2^{\kappa-1}$$

$$\therefore T_2 = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\kappa-1} T_1 = \varepsilon^{\kappa-1} T_1 \dots\dots (2)$$

同様にして，

$$T_3 V_3^{\kappa-1} = T_4 V_4^{\kappa-1}$$

$$\therefore T_3 = \left(\frac{V_4}{V_3}\right)^{\kappa-1} T_4 = \varepsilon^{\kappa-1} T_4 = 3\varepsilon^{\kappa-1} T_1 \dots\dots (3)$$

式(2)(3)を式(1)に代入し， $p_1 V_1 = mRT_1$  および  $c_v = \frac{R}{\kappa-1}$  の関係を用いると，

$$Q_H = mc_v(3\varepsilon^{\kappa-1} T_1 - \varepsilon^{\kappa-1} T_1)$$

$$= \left(\frac{p_1 V_1}{RT_1}\right) \cdot \left(\frac{R}{\kappa-1}\right) \times 2\varepsilon^{\kappa-1} T_1$$

$$= \left(\frac{2p_1 V_1}{\kappa-1}\right) \varepsilon^{\kappa-1}$$

問 2

仕事  $L$  は，

$$L = mc_v(T_3 - T_2) + mc_v(T_1 - T_4)$$

$$= mc_v(3\varepsilon^{\kappa-1} T_1 - \varepsilon^{\kappa-1} T_1 + T_1 - 3T_1)$$

$$= \left(\frac{p_1 V_1}{RT_1}\right) \cdot \left(\frac{R}{\kappa-1}\right) \times (2\varepsilon^{\kappa-1} - 2) T_1$$

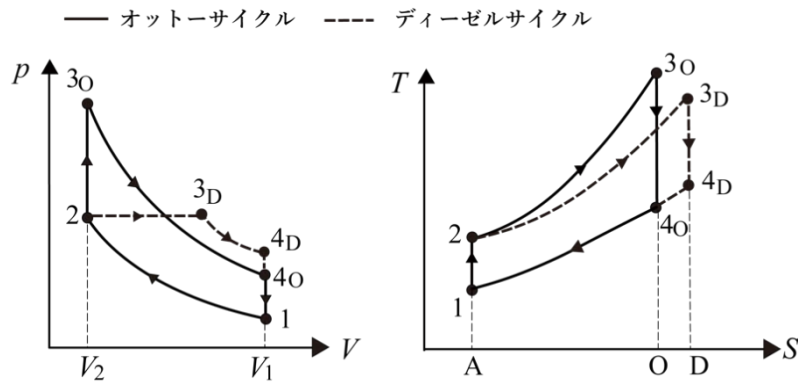
$$= \left(\frac{2p_1 V_1}{\kappa-1}\right) (\varepsilon^{\kappa-1} - 1)$$

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 ④熱力学（13／27）

問3

(1)



(2)

放熱量は，

オットーサイクル：  $Q_{2O} = T-S$  線図における面積  $A14_OO$

ディーゼルサイクル：  $Q_{2D} = T-S$  線図における面積  $A14_DD$

(1)で作成した  $T-S$  線図より，  $Q_{2D} > Q_{2O}$  ----- (1)

また，熱効率は，

オットーサイクル：  $\eta_O = 1 - \frac{Q_{2O}}{Q_1}$  ----- (2)

ディーゼルサイクル：  $\eta_D = 1 - \frac{Q_{2D}}{Q_1}$  ----- (3)

供給熱量  $Q_1$  は同じであるので，式 (1)～(3)の関係から，  $\eta_O > \eta_D$  となる。

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  
解 答 例

|       |                                     |
|-------|-------------------------------------|
| 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（14／27） |

I

問1

(1)  $\text{kg m s}^{-3} \text{K}^{-1}$ , (2)  $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ , (3)  $\text{kg m}^2 \text{s}^{-2}$ 。

問2

(1) (a) Raoult, (b) 理想溶液, (c) Henry

(2) 式 (1) で  $i = 1$  とし，分母と分子をともに  $P_2^\circ$  で割ると

$$y_1 = \frac{(P_1^\circ/P_2^\circ)x_1}{P_1^\circ/P_2^\circ x_1 + x_2} = \frac{\alpha_{12}x_1}{\alpha_{12}x_1 + (1 - x_1)}$$

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

問3

(1) 式 (3) に  $x_D = 0.856$  を代入し， $x_1^{[2]} = 0.650$  を得る。

(2) 得られた  $y_i$  を次の  $x_i$  として順次代入すると，0.856, 0.650, 0.367, 0.153, 0.054, 0.017 となり， $x_W = 0.05$  より小さくなるのは6段目である。理論段数はこれから缶の分を引くので，最小理論段数は5段となる。

（別解）Fenske の式に代入すると， $N_{\min} = 4.1$  となる。これも正解とする。

(3) この場合  $q$  線は垂直。よって C 点は (0.4, 0.681)。これより

$$R_{\min} = \frac{x_D - y_C}{y_C - x_C} = 0.96$$

(4) この場合  $q$  線は水平で，C 点は (0.172, 0.4)。これより

$$R_{\min} = \frac{0.95 - 0.4}{0.4 - 0.172} = 2.412 \dots = 2.41$$

(5) 全物質及び低沸点成分の物質収支より

$$F = D + W$$

$$Fx_F = Dx_D + Wx_W$$

$$(0.40)F = (0.95)D + (0.05)(F - D)$$

より， $D = 38.9$ ,  $W = 61.1 \text{ kmol} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

|                                                         |  |
|---------------------------------------------------------|--|
| 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<br>解 答 例 |  |
|---------------------------------------------------------|--|

|       |                             |
|-------|-----------------------------|
| 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）（15／27） |
|-------|-------------------------------|

I

問1 円管 $D_2$ の出口の平均流速は次式となる。 $u_2 = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2 u_1$

問2

(1) 流量 $Q$ と密度の積が質量流量であるから，液体の密度は気体の密度の1000倍であるので，液体の質量流量も気体の1000倍である。

(2) 円管のレイノルズ数は， $Re = \frac{DU\rho}{\mu}$ より， $DU$ は共通であるので，密度 $\rho$ と粘度 $\mu$ の比 $\frac{\rho}{\mu}$ を比較すればよ

い。液体は $\frac{\rho}{\mu} = \frac{10^3}{10^{-3}} = 10^6 \text{ s}\cdot\text{m}^{-2}$ ，気体は $\frac{\rho}{\mu} = \frac{1}{10^{-5}} = 10^5 \text{ s}\cdot\text{m}^{-2}$ となるので，レイノルズ数の比は， $\frac{\rho}{\mu} = \frac{10^6}{10^5} =$

10より，液体が気体に比べて10倍大きい。

(3) 平滑直円管の摩擦係数は，ブラシウスの式より，レイノルズ数の増加とともに減少するため， $Re$ 数が大きな液体の摩擦係数は気体よりも小さくなる。

(4) 単位質量あたりのポンプの所要動力は， $u_1 = u_2$ ， $p_1 = p_2$ ， $z_1 = z_2$ より， $\hat{F}$ のみの関数となり，これは摩擦係数 $f$ に比例するため，摩擦係数の低い気体の方が大きくなる。しかし，ポンプの所要動力は，その単位質量あたりの所要動力に体積流量と密度の積であるから，密度が1000倍大きい液体のポンプの所要動力が大きくなる。

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  
解 答 例

|       |                               |
|-------|-------------------------------|
| 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）（16／27） |

II

問1 ブラインラインの温度変化より熱交換量は， $\dot{Q} = (1.60)(1.05 \times 10^3)\{4.00 - (-2.50)\} = 1.09 \times 10^4 \text{ W}$

$$\text{これより水の熱交換器出口温度は， } T_{\text{ho}} = 15.0 - \frac{1.09 \times 10^4}{(0.330)(4.18 \times 10^3)} = 7.10 \text{ }^\circ\text{C}$$

熱交換器の両端における水とブラインの温度差は， $15.0 - 4.00 = 11.0^\circ\text{C}$ および $7.10 - (-2.50) =$

$$9.60^\circ\text{C} \text{であるから対数平均温度差は， } \Delta T_{\text{lm-c}} = \frac{11.0 - 9.60}{\ln(11.0/9.60)} = 10.3 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{ゆえに、熱交換器の所要伝熱面積は， } A_c = \frac{\dot{Q}}{K \Delta T_{\text{lm-c}}} = \frac{1.09 \times 10^4}{(480)(10.3)} = 2.20 \text{ m}^2$$

問2 熱交換量 $\dot{Q}$ は同じであるから，並流方式での水とブラインの熱交換器出口温度は向流方式の場合と同じである。

並流方式での熱交換器両端における水とブラインの温度差は， $15.0 - (-2.50) = 17.5^\circ\text{C}$ および $7.10 -$

$$4.00 = 3.10^\circ\text{C} \text{であるから対数平均温度差は， } \Delta T_{\text{lm-p}} = \frac{17.5 - 3.10}{\ln(17.5/3.10)} = 8.32 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{並流方式と向流方式での伝熱面積の比を取れば， } \frac{A_p}{A_c} = \frac{\frac{\dot{Q}}{K \Delta T_{\text{lm-p}}}}{\frac{\dot{Q}}{K \Delta T_{\text{lm-c}}}} = \frac{\Delta T_{\text{lm-c}}}{\Delta T_{\text{lm-p}}} = \frac{10.3}{8.32} = 1.24 \text{ (倍)}$$

|                                                         |  |
|---------------------------------------------------------|--|
| 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<br>解 答 例 |  |
|---------------------------------------------------------|--|

|     |                             |
|-----|-----------------------------|
| 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（17／27） |
|-------|------------------------------------|

I

問1 一般に， $aA + bB \rightarrow cC + dD$ において  $r = \frac{r_A}{-a} = \frac{r_B}{-b} = \frac{r_C}{c} = \frac{r_D}{d}$  が成り立つことから，  
 $r_A = (-3)r = -6 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$ ， $r_B = (-4)r = -8 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$ ， $r_C = 6r = 12 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$

問2 (1)

$$r_{\text{H}\cdot} = 2k_1[\text{H}_2] - 2k_2[\text{H}\cdot]^2 - k_3[\text{H}\cdot][\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3] + k_4[\text{C}_6\text{H}_5\cdot][\text{H}_2]$$

$$r_{\text{C}_6\text{H}_5\cdot} = k_3[\text{H}\cdot][\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3] - k_4[\text{C}_6\text{H}_5\cdot][\text{H}_2]$$

(2)

定常状態近似により， $r_{\text{H}\cdot} = 0$ ， $r_{\text{C}_6\text{H}_5\cdot} = 0$ と見なせることから， $2k_1[\text{H}_2] - 2k_2[\text{H}\cdot]^2 = 0$

これを $[\text{H}\cdot]$ について解くと， $[\text{H}\cdot] = (k_1/k_2)^{1/2}[\text{H}_2]^{1/2}$

(1)の解に代入して， $k_3(k_1/k_2)^{1/2}[\text{H}_2]^{1/2}[\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3] - k_4[\text{C}_6\text{H}_5\cdot][\text{H}_2] = 0$

これを $[\text{C}_6\text{H}_5\cdot]$ について解くと， $[\text{C}_6\text{H}_5\cdot] = (k_3/k_4)(k_1/k_2)^{1/2} [\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3]/[\text{H}_2]^{1/2}$

(3)

$r_{\text{CH}_4} = k_3[\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3][\text{H}\cdot]$ と表せる。これに(2)の $[\text{H}\cdot]$ を代入すると，

$$r = r_{\text{CH}_4} = k_3[\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3] \times (k_1/k_2)^{1/2}[\text{H}_2]^{1/2} = k_3(k_1/k_2)^{1/2}[\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3][\text{H}_2]^{1/2}$$

したがって  $k = k_3(k_1/k_2)^{1/2}$

|       |                             |
|-------|-----------------------------|
| 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（18／27） |
|-------|------------------------------------|

## II

### 問1

液相反応なので定容系と考えることが出来る。

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，

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

(i)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，

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

### 問2

(ii)を連続槽型反応器の設計方程式に代入して，

$$\tau_m = \frac{V}{v_0} = C_{A0} \cdot \frac{x_A}{-r_A} = \frac{C_{A0}x_A}{kC_{A0}(1 - x_A)} = \frac{x_A}{k(1 - x_A)} \quad (iii)$$

$x_A$  について解くと，

$$1 - x_A = \frac{C_A}{C_{A0}} = \frac{1}{1 + k \cdot \frac{V}{v_0}} \quad (iv)$$

### 問3

直列につないだ場合，1槽目の反応器入口濃度を基準とした場合の2槽目の反応器出口における反応率  $x_A$  は，

$$1 - x_A = \frac{C_{A2}}{C_{A0}} = \frac{C_{A1}}{C_{A0}} \cdot \frac{C_{A2}}{C_{A1}} \quad (v)$$

第1槽，第2槽共に1槽CSTRと同じ反応器を用いるが，反応体積が異なることから，各槽の反応率はそれぞれ

$$\frac{C_{A1}}{C_{A0}} = \frac{1}{1 + k \cdot \frac{aV}{v_0}} \quad (vi)$$

$$\frac{C_{A2}}{C_{A1}} = \frac{1}{1 + k \cdot \frac{(1-a)V}{v_0}} \quad (vii)$$

よって，

$$1 - x_A = \frac{C_{A2}}{C_{A0}} = \frac{C_{A1}}{C_{A0}} \cdot \frac{C_{A2}}{C_{A1}} = \frac{1}{\left(1 + k \cdot \frac{aV}{v_0}\right) \left(1 + k \cdot \frac{(1-a)V}{v_0}\right)} \quad (viii)$$

|                                                |  |
|------------------------------------------------|--|
| 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 |  |
| 解 答 例                                          |  |

|       |                                    |
|-------|------------------------------------|
| 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（19／27） |

問4

問3において最大の反応率が得られるには，(viii)が最小になれば良い。すなわち，右辺の逆数が最大値となる  $a$  を求めれば良いことになる。

右辺の逆数は

$$f(a) = \left(1 + k \cdot \frac{aV}{v_0}\right) \left(1 + k \cdot \frac{(1-a)V}{v_0}\right)$$

$$f(a) = -\left(k \cdot \frac{V}{v_0}\right)^2 a^2 + \left(k \cdot \frac{V}{v_0}\right)^2 a + 2k \cdot \frac{V}{v_0} + 1$$

であり，上に凸の放物線であるため， $f(a)$ が最大値となるときの  $a$  は

$$f'(a) = -2\left(k \cdot \frac{V}{v_0}\right)^2 a + \left(k \cdot \frac{V}{v_0}\right)^2 = 0$$

を満たす，すなわち

$$a = \frac{1}{2}$$

のときであり，各槽の体積は元の体積の  $1/2$  のときとなる。

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  
解 答 例

|       |                                    |
|-------|------------------------------------|
| 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（20／27） |

I

問1

(1) 内部エネルギー変化  $dU$  について，

$$dU = TdS - pdV$$

であるので，

$$\pi_T = \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T = T \left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T - p$$

マクスウェルの関係式より，

$$\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T = \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V$$

であるので，与式が示された。

(2) ファンデルワールス状態方程式より，

$$\pi_T = T \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V - p = T \frac{R}{V-b} - \left(\frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V^2}\right) = \frac{a}{V^2}$$

問2

(1) モル体積  $V_m$  は，モル重量  $M$  と密度  $\rho$  を用いて，

$$V_m = \frac{M}{\rho} = \frac{18 \times 10^{-3} [\text{kg/mol}]}{1.00 \times 10^3 [\text{kg/m}^3]} = 1.8 \times 10^{-5} \text{m}^3/\text{mol}$$

(2) 水の化学ポテンシャルの変化は，

$$-(1.8 \times 10^{-5}) \times 0.40 \times 10^6 = -7.2 \text{J/mol}$$

(3) 氷の方が水よりも密度が低いので，モル体積は大きくなる。したがって，加圧による化学ポテンシャル変化量は氷の方が大きいので，氷が融解して水が生成し，水の比率が増える。

II

問1 つり合いの式は，

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r^2} = m_e \frac{v^2}{r}$$

である。

問2 与えられた2つの式より，

$$\lambda_e = \frac{h}{m_e v} = \frac{2\pi r}{n}$$

であるので，

$$v = \frac{nh}{2\pi m_e r}$$

つり合いの式より

|                                                              |  |
|--------------------------------------------------------------|--|
| 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<br>解 答 例 |  |
|--------------------------------------------------------------|--|

|       |                                    |
|-------|------------------------------------|
| 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（21／27） |

$$v^2 = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 m_e r}$$

したがって， $v$  を消去して，

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

問 3 電子の全エネルギーは，

$$E_n = \frac{1}{2} m_e v^2 - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r}$$

であるので，

$$E_n = \frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r} = -\frac{e^2}{8\pi\epsilon_0} \frac{\pi e^2 m_e}{\epsilon_0 n^2 h^2} = -\frac{e^4 m_e}{8\epsilon_0^2 n^2 h^2}$$

を得る。

問 4 放出される電磁波のエネルギーは，

$$E_m - E_n = \frac{hc}{\lambda}$$

であるので，

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{1}{hc} (E_m - E_n) = -\frac{1}{hc} \frac{e^4 m_e}{8\epsilon_0^2 h^2} \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

したがって，

$$R_H = \frac{e^4 m_e}{8\epsilon_0^2 ch^3}$$

を得る。

問 5 リュードベリ定数は，

$$R_H = \frac{e^4 m_e}{8\epsilon_0^2 ch^3} = \frac{(1.60 \times 10^{-19})^4 \times (9.11 \times 10^{-31})}{8 \times (8.85 \times 10^{-12})^2 \times (3.00 \times 10^8) \times (6.63 \times 10^{-34})^3} = 1.0898 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$$

求める波長は，

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{4} - \frac{1}{9} \right)$$

したがって，

$$\lambda = \frac{36}{5R_H} = 6.61 \times 10^{-7} \text{ m}$$

すなわち，661 nm となり，赤色の可視光に相当する。

|                                                         |  |
|---------------------------------------------------------|--|
| 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<br>解 答 例 |  |
|---------------------------------------------------------|--|

|     |                             |
|-----|-----------------------------|
| 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（22／27） |
|-------|------------------------------|

I

問1

複素数解析において，コイルに流れる正弦波交流電流 $I_L$ は指数関数を用いて以下の通り表記される。

$$I_L = |I|e^{j(\omega t + \theta)}$$

ここで， $|I|$ は電流の実効値， $\omega$ は正弦波の角周波数， $t$ は時間， $\theta$ は位相角である。この式をコイル両端の電圧 $V_L$ と電流 $I_L$ の関係式に代入すると，

$$V_L = L \frac{dI_L}{dt} = L \frac{d}{dt} |I|e^{j(\omega t + \theta)} = j\omega L |I|e^{j(\omega t + \theta)} = j\omega L I_L$$

となる。したがって，コイルのインピーダンス $Z_L$ は以下の通り $j\omega L$ となる。

$$Z_L = \frac{V_L}{I_L} = j\omega L$$

問2

$$I = -j|I| \text{ [A]}$$

問3

$$I_R = \frac{\omega L |I|}{j\omega L + R} \text{ [A]}$$

問4

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

問5

$$P = \frac{\omega^2 L^2 R |I|^2}{\omega^2 L^2 + R^2} \text{ [W]}$$

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（23／27）

II

問 1

$$Eu(t) = L \frac{di(t)}{dt} + \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i(\tau) d\tau + Ri(t)$$

問 2

$$I(s) = \frac{E}{Ls^2 + Rs + \frac{1}{C}}$$

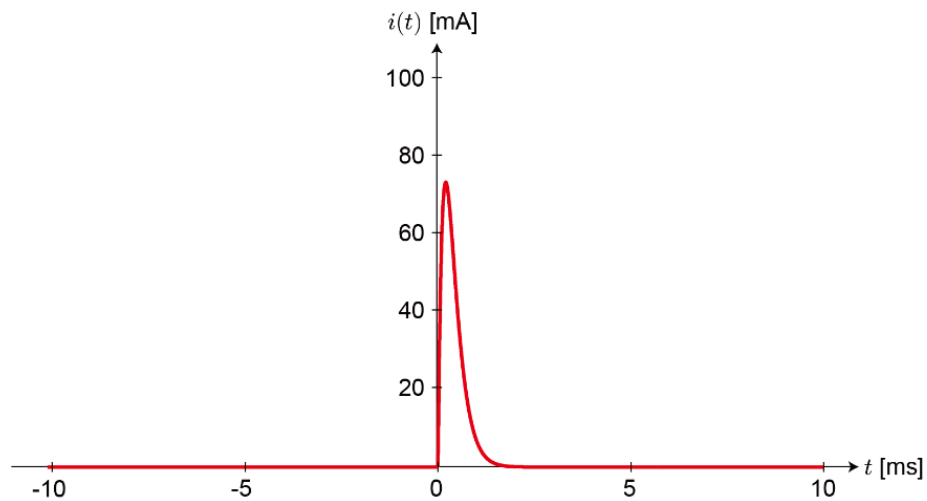
問 3

$$i(t) = 10^3 t \exp(-5 \times 10^3 t) u(t) \text{ [A]}$$

問 4

臨界制動

問 5



|       |                              |
|-------|------------------------------|
| 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（24／27） |

I

問 1 図 1 より，以下の回路方程式が成り立つ。

$$v_i = \left( R + \frac{1}{j\omega C} \right) i_2 = \frac{1 + j\omega CR}{j\omega C} i_2$$

$$R i_1 = R i_2$$

$$\frac{i_2}{j\omega C} = R i_1 + v_o$$

上式を解いて， $H_1(\omega)$  は次式となる。

$$H_1(\omega) = \frac{v_o}{v_i} = \frac{1 - j\omega CR}{1 + j\omega CR}$$

問 2 問 1 で求めた  $H_1(\omega)$  より， $|H_1(\omega)|$  と  $\theta_1(\omega)$  はそれぞれ次式となる。

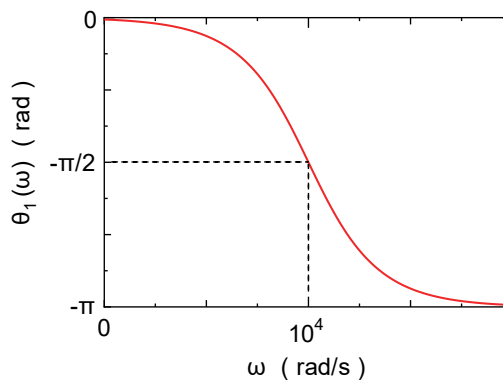
$$|H_1(\omega)| = 1$$

$$\theta_1(\omega) = -2 \tan^{-1} \omega CR$$

問 3  $\omega = 0$  のときに最大値  $\theta_{1p} = 0$ ， $\omega = \infty$  のときに最小値  $\theta_{1m} = -\pi$  (rad) である。

このとき， $\frac{\theta_{1p} + \theta_{1m}}{2} = -\frac{\pi}{2}$  (rad) であるから， $\omega_{1c} = \frac{1}{CR}$  である。

問 4  $\theta_1(\omega)$  の周波数特性は，下図である。



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  
解 答 例

|       |                                  |
|-------|----------------------------------|
| 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（25 / 27） |

問 5 図 2 より，以下の回路方程式が成り立つ。

$$\begin{aligned}
 v_i &= 2Ri_2 \Rightarrow i_2 = \frac{v_i}{2R} \\
 Ri_2 &= Ri_1 + \frac{i_4}{j\omega C} \\
 \frac{i_3}{j\omega C} &= \left( \frac{1}{j\omega C} + 4R \right) i_4 \Rightarrow i_3 = (1 + j4\omega CR) i_4 \\
 Ri_2 &= 4Ri_4 + v_o \Rightarrow v_o = Ri_2 - 4Ri_4 \\
 i_1 &= i_3 + i_4 \Rightarrow i_1 = (2 + j4\omega CR) i_4
 \end{aligned}$$

上式を解いて， $H_2(\omega)$  は次式となる。

$$H_2(\omega) = \frac{1}{2} \cdot \frac{1 - 4\omega^2 C^2 R^2 - j2\omega CR}{1 - 4\omega^2 C^2 R^2 + j2\omega CR}$$

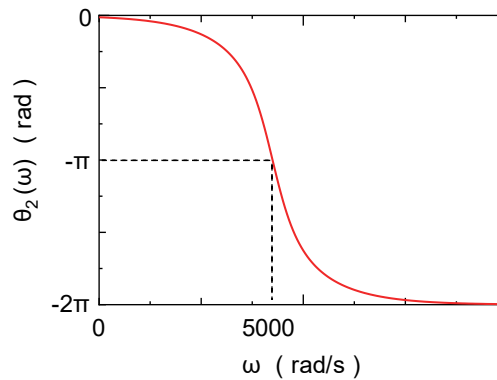
問 6 問 5 で求めた  $H_2(\omega)$  より， $|H_2(\omega)|$  と  $\theta_2(\omega)$  はそれぞれ次式となる。

$$\begin{aligned}
 |H_2(\omega)| &= \frac{1}{2} \\
 \theta_2(\omega) &= -2 \tan^{-1} \frac{2\omega CR}{1 - 4\omega^2 C^2 R^2}
 \end{aligned}$$

問 7  $\omega = 0$  のときに最大値  $\theta_{2p} = 0$ ， $\omega = \infty$  のときに最小値  $\theta_{2m} = -2\pi$  (rad) である。

このとき， $\frac{\theta_{2p} + \theta_{2m}}{2} = -\pi$  (rad) であるから， $\omega_{2c} = \frac{1}{2CR}$  である。

問 8  $\theta_2(\omega)$  の周波数特性は，下図である。



|                                                         |                               |
|---------------------------------------------------------|-------------------------------|
| 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<br>解 答 例 |                               |
| 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 （26／27） |

I

問1 図1の通り。

問2 表1の通り。

問3 カルノー図を用いた簡単化を行う。図2より下記を得る。

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

$$Q_{n+1(0)} = \overline{Q_{n(1)}} x$$

$$z = Q_{n(1)} x$$

問4 問3の方程式を回路にす

ると，図3の回路図を得る。

問5 図4の通り。

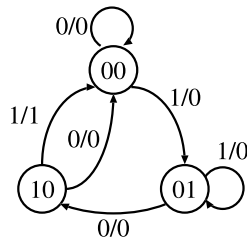


図1. 状態遷移図

表1. 状態遷移表

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

| $Q_{n(1)}$ | $Q_{n(0)} \setminus x$ | 0      | 1      |
|------------|------------------------|--------|--------|
| 0          | 0                      |        |        |
| 0          | 1                      | 1      |        |
| 1          | 1                      | $\phi$ | $\phi$ |
| 1          | 0                      |        |        |

図2(a)  $Q_{n+1(1)}$ のカルノー図

| $Q_{n(1)}$ | $Q_{n(0)} \setminus x$ | 0      | 1      |
|------------|------------------------|--------|--------|
| 0          | 0                      |        | 1      |
| 0          | 1                      |        | 1      |
| 1          | 1                      | $\phi$ | $\phi$ |
| 1          | 0                      |        |        |

図2(b)  $Q_{n+1(0)}$ のカルノー図

| $Q_{n(1)}$ | $Q_{n(0)} \setminus x$ | 0      | 1      |
|------------|------------------------|--------|--------|
| 0          | 0                      |        |        |
| 0          | 1                      |        |        |
| 1          | 1                      | $\phi$ | $\phi$ |
| 1          | 0                      |        | 1      |

図2(c)  $z$ のカルノー図

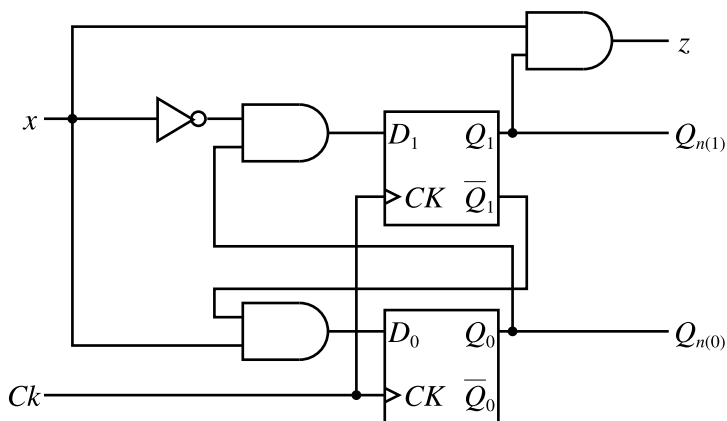


図3. 回路図

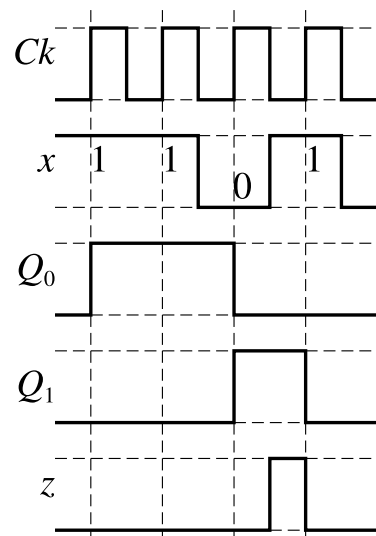


図4. タイミング図

|       |                               |
|-------|-------------------------------|
| 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 （27／27） |

## II

問1 特性表を表2に示す。回路図は図5

の通り。

負論理のイネーブル入力「 $\bar{E}$ 」は，ゲート「 $\bar{G}$ 」でも良い。

表2. ゲーテッドRSラッチの特性表

| $\bar{E}$ | $\bar{S}$ | $\bar{R}$ | $E$ | $S$ | $R$ | $S_2$ | $R_2$ | $Q_{n+1}$ | $\overline{Q_{n+1}}$ | 動作   |
|-----------|-----------|-----------|-----|-----|-----|-------|-------|-----------|----------------------|------|
| 1         | —         | —         | 0   | —   | —   | 0     | 0     | $Q_n$     | $\overline{Q_n}$     | 保持   |
| 0         | 1         | 1         | 1   | 0   | 0   | 0     | 0     | $Q_n$     | $\overline{Q_n}$     | 保持   |
| 0         | 1         | 0         | 1   | 0   | 1   | 0     | 1     | 0         | 1                    | リセット |
| 0         | 0         | 1         | 1   | 1   | 0   | 1     | 0     | 1         | 0                    | セット  |
| 0         | 0         | 0         | 1   | 1   | 1   | 1     | 1     | —         | —                    | 禁止   |

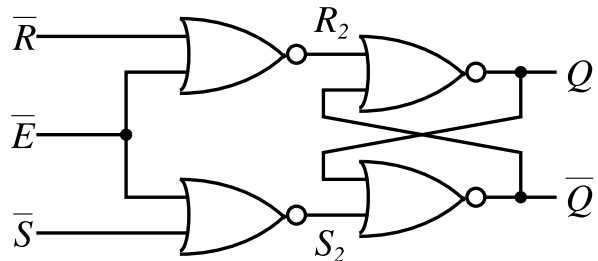


図5. NORによるゲーテッドRSラッチの回路図

問2 下記の通り。

$$\begin{aligned}
 F &= A \oplus B + C \\
 &= \bar{A}B + A\bar{B} + C \\
 &= \bar{A}B(C + \bar{C}) + A\bar{B}(C + \bar{C}) + (A + \bar{A})(B + \bar{B})C \\
 &= \bar{A}BC + \bar{A}B\bar{C} + A\bar{B}C + A\bar{B}\bar{C} + ABC + A\bar{B}C + \bar{A}BC + \bar{A}\bar{B}C \\
 &= \bar{A}BC + \bar{A}B\bar{C} + A\bar{B}C + A\bar{B}\bar{C} + ABC + \bar{A}\bar{B}C
 \end{aligned}$$