

編入学・学士入学（第3年次）試験

2027年度 大阪公立大学

＜工学部 化学工学科＞

専 門 科 目 問 題
(化学工学・物理化学)

解答時間 150 分

注 意 事 項

1. 問題冊子は、監督者が「解答始め」の指示をするまで開かないこと。
2. 問題冊子は全部で 16 ページである。脱落のあった場合には申し出ること。
3. 解答用紙（6 枚）は別に配付する。脱落のあった場合には申し出ること。
4. すべての解答用紙の所定欄に、受験番号を丁寧に記入すること。
5. 問題は全部で 6 題ある。すべての問題に解答し、解答は所定の解答用紙に記入すること。
6. 解答以外のことを書いたときは、該当箇所の解答を無効とすることがある。
7. 問題冊子の余白は下書きに使用してもよい。
8. 解答終了後、配付された解答用紙はすべて提出すること。問題冊子は持ち帰ること。
9. 本試験問題の一部あるいは全部について、いかなる方法においても複写・複製など、著作権法上で規定された権利を侵害する行為を行うことは禁じられています。

【1】図 1-1 に示すように，水平に設置された円管（本管）内を流れる非圧縮性流体（密度 ρ [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]) の流量を測定するために，本管に縮径円管（スロート）を接続し，U字管を本管およびスロートに対して鉛直に取り付けた。U字管の両端はそれぞれ本管の断面 1 とスロートの断面 2 に接続され，U 字管内に密度 ρ_0 [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] ($\rho_0 > \rho$) の指示液が入っている。本管の内径と断面積はそれぞれ D_1 [m] と A_1 [m^2]，スロートの内径と断面積はそれぞれ D_2 [m] と A_2 [m^2] である。流体の流れが定常状態のとき，U字管で指示液の液面高さの差 H [m] が観測された。断面 1 における圧力と流速はそれぞれ P_1 [Pa] と u_1 [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]，断面 2 における圧力と流速はそれぞれ P_2 [Pa] と u_2 [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] とし，重力加速度は g [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$] とする。流体が断面 1 から断面 2 に流れる間のエネルギー損失と U 字管内の流動の影響は無視できるとして，以下の問いに答えなさい。なお，与えられていない記号を用いるときは定義してから使用しなさい。

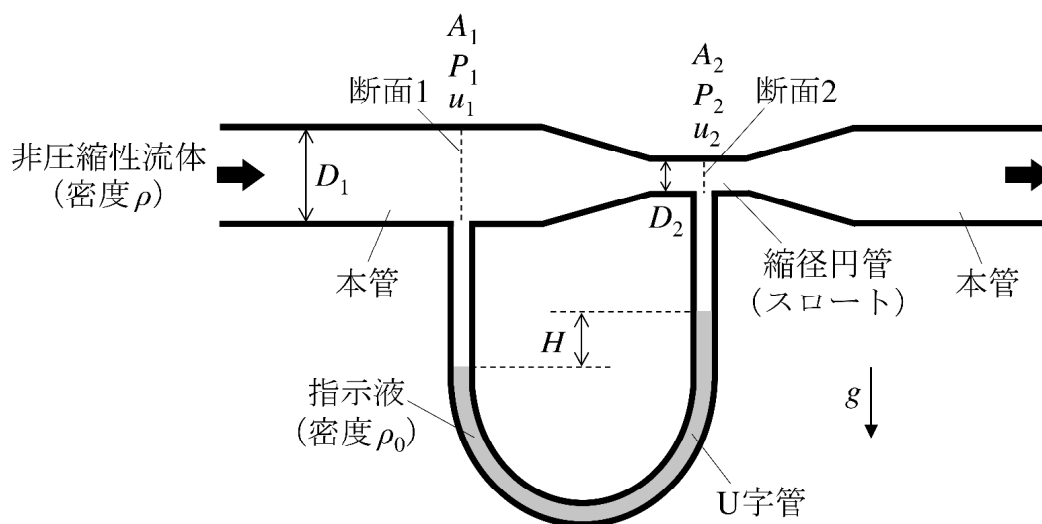


図 1-1 スロートと U 字管を取り付けた水平円管の模式図

2027年度 編入学・学士入学（第3年次）試験

工学部 化学工学科

専門科目（化学工学）

- (1) u_1 と u_2 の関係式を A_1 と A_2 を用いて示しなさい。
- (2) U字管内の力の釣り合いを考えると、断面1と断面2の圧力差 $(P_1 - P_2)$ と H の関係は式(1-1)で表すことができる。式(1-1)の ア にあてはまる適切な式を答えなさい。

$$P_1 - P_2 = (\text{ア}) gH \quad (1-1)$$

- (3) Bernoulli の法則に基づいて、断面1と断面2における流体のエネルギー収支式を示しなさい。
- (4) u_2 が式(1-2)で表されることを示しなさい。

$$u_2 = \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho[1 - (D_2/D_1)^4]}} \quad (1-2)$$

- (5) 本管とスロートの断面積比 A_1/A_2 が 2.0 のとき、 $(P_1 - P_2)$ は 6.0ρ [Pa]であった。このときの u_2 の値を求めなさい。また、本管を流れる流体の体積流量を D_1 を用いて示しなさい。

2027年度 編入学・学士入学（第3年次）試験

工学部 化学工学科

専門科目（化学工学）

【2】伝導伝熱の基本法則として、式(2-1)で表される Fourier の法則がある。

$$q = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2-1)$$

ここで、 q [W]は伝熱速度、 k [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]は熱伝導度、 A [m^2]は熱の移動方向に垂直な伝熱面の面積、 T [K]は温度、 x [m]は伝熱方向における位置である。伝導伝熱のみによる1次元定常伝熱を考える。以下の問いに答えなさい。ただし、熱伝導度は温度によらず一定とする。なお、与えられていない記号を用いるときは定義してから使用しなさい。

- (1) 次の文の ア，イ，ウ にあてはまる適切な語句を、表 2-1 のあ) ～ え) から選びなさい。

式(2-1)の右辺における「負の符号（マイナス）」の物理的意味は、熱の移動方向が温度勾配の符号が表す方向と ア 方向であることを表している。つまり、熱は必ず イ 部から ウ 部に移動する。

表 2-1 解答の選択肢

	ア	イ	ウ
あ)	同	高温	低温
い)	同	低温	高温
う)	逆	高温	低温
え)	逆	低温	高温

2027年度 編入学・学士入学（第3年次）試験

工学部 化学工学科

専門科目（化学工学）

- (2) 図2-1に示すように、熱伝導度 $k_1 [\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$ 、厚さ $\delta [\text{m}]$ 、伝熱面積 $A_1 [\text{m}^2]$ が均一の平板状保温材がある。保温材の伝熱面に対して垂直な方向に x 軸をとり、保温材の両表面の温度がそれぞれ $T_1 [\text{K}]$ および $T_2 [\text{K}]$ ($T_1 > T_2$) で一定に保たれている。このとき、保温材の伝熱抵抗 R は式(2-2)で表される。伝熱速度 q 、伝熱の推進力（温度差 $(T_1 - T_2)$ ）および R の関係が式(2-3)で表されることを、式(2-1)を用いて示しなさい。

$$R = \frac{\delta}{k_1 A_1} \quad (2-2)$$

$$q = \frac{T_1 - T_2}{R} \quad (2-3)$$

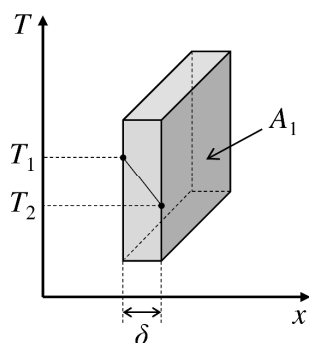


図2-1 平板状保温材内の伝導伝熱の模式図

2027年度 編入学・学士入学（第3年次）試験

工学部 化学工学科

専門科目（化学工学）

- (3) 図2-2に示すように、ある反応器の外壁に、熱伝導度 $2.0 \times 10^{-2} \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 、厚さ $5.0 \times 10^{-2} \text{ m}$ 、伝熱面積 5.0 m^2 の均一な平板状保温材を設置した。伝熱が保温材の伝熱面に対して垂直方向（ x 軸方向）に起こるとし、保温材の内表面の温度差が $1.0 \times 10^2 \text{ K}$ であるとき、保温材を通じて単位時間あたりに失われる熱量 q_{loss} [W] を求めなさい。

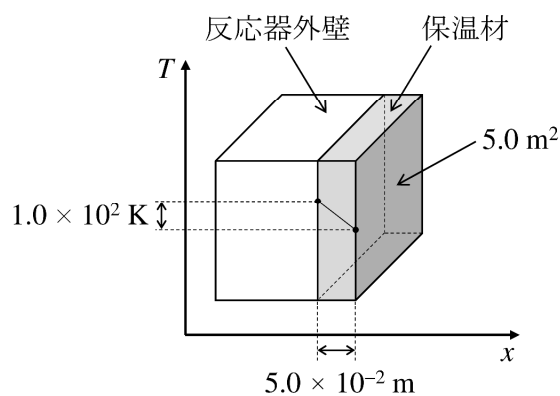


図2-2 反応器の外壁に設置した平板状保温材内の伝導伝熱の模式図

2027年度 編入学・学士入学（第3年次）試験

工学部 化学工学科

専門科目（化学工学）

- (4) 図 2-3 に示すように、(3)の状態にある保温材の外側に、補強材として熱伝導度 $2.0 \times 10^{-1} \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 、厚さ $1.0 \times 10^{-1} \text{ m}$ の均一な平板状の保護レンガを重ねて設置した。伝熱面積は 5.0 m^2 で、2 層平板の両面（保温材の内表面と保護レンガの外表面）の温度差は $1.2 \times 10^2 \text{ K}$ であった。2 層平板の全伝熱抵抗 $R_{\text{total}} [\text{K} \cdot \text{W}^{-1}]$ および単位時間あたりに保護レンガ外表面から失われる熱量 $q_{\text{total}} [\text{W}]$ を求めなさい。ただし、保温材と保護レンガの接触面における伝熱抵抗は無視できるとする。

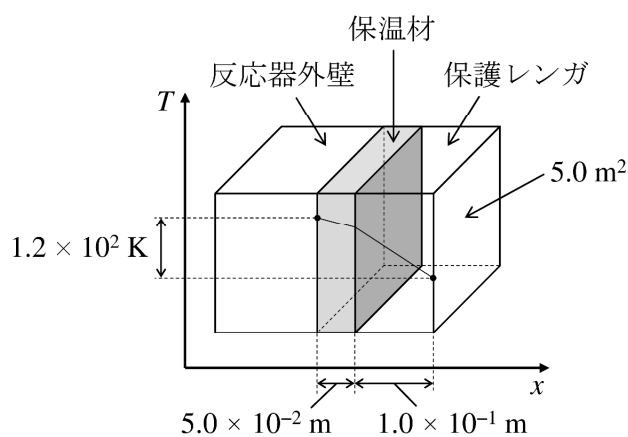


図 2-3 反応器の外壁に設置した保温材と保護レンガの 2 層平板内の伝導伝熱の模式図

2027年度 編入学・学士入学（第3年次）試験

工学部 化学工学科

専門科目（化学工学）

【3】量論式(3-1)で表される，体積変化が起こらない液相不可逆1次反応を，槽型反応器を用いて一定の温度で行い，成分Aから成分Pを生成する。この反応の反応速度式は式(3-2)で示される。



$$-r_A = kC_A \quad (3-2)$$

ここで， r_A [$\text{kmol} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$]は成分Aの反応速度， k [s^{-1}]は反応速度定数， C_A [$\text{kmol} \cdot \text{m}^{-3}$]はAの濃度である。以下の問いに答えなさい。なお，与えられていない記号を用いるときは定義してから使用しなさい。

- (1) r_A を k ，Aの初期濃度 C_{A0} [$\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$]，および転化率（反応率） x_A を用いて示しなさい。
- (2) 回分操作のとき，反応時間 t [s]が式(3-3)で表されることを示しなさい。

$$t = -\frac{1}{k} \ln(1 - x_A) \quad (3-3)$$

- (3) 溶液を一定速度の完全混合流れで流入，流出する連続操作を行ったとき，空間時間 τ [s]が式(3-4)で表されることを示しなさい。

$$\tau = \frac{1}{k} \left(\frac{x_A}{1 - x_A} \right) \quad (3-4)$$

- (4) $1.0 \text{ kmol} \cdot \text{m}^{-3}$ のAと $1.0 \text{ kmol} \cdot \text{m}^{-3}$ のPを含む原料を用い，Pが $1.5 \text{ kmol} \cdot \text{m}^{-3}$ になるまで反応したときの転化率を求めなさい。
- (5) $1.0 \text{ kmol} \cdot \text{m}^{-3}$ のAと $1.0 \text{ kmol} \cdot \text{m}^{-3}$ のPを含む原料を一定速度の完全混合流れで流入，流出する連続操作を行った。Pが $1.5 \text{ kmol} \cdot \text{m}^{-3}$ になるまで反応したときの空間時間を求めなさい。ただし， k は $1.0 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ とする。

2027年度 編入学・学士入学（第3年次）試験
工学部 化学工学科
専門科目（化学工学）

（余 白）

2027年度 編入学・学士入学（第3年次）試験

工学部 化学工学科

専門科目（物理化学）

【4】式(4-1)で表される気相反応について、以下の問いに答えなさい。



式(4-1)の(g)は気体を表す。標準状態（298 K, 1.01×10^5 Pa）における各物質の定圧モル熱容量 (C_P)、標準生成エンタルピー (ΔH_f°)、標準エントロピー (S°)、標準生成 Gibbs エネルギー (ΔG_f°) を表 4-1 に示す。ただし、定圧モル熱容量は温度に依存しないとする。また、 $\ln 2$ は 0.700 として計算しなさい。

表 4-1 各物質の C_P , ΔH_f° , S° , ΔG_f°

	C_P [$\text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$]	ΔH_f° [$\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$]	S° [$\text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$]	ΔG_f° [$\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$]
$\text{H}_2(\text{g})$	29.0	0	131	0
$\text{Cl}_2(\text{g})$	34.0	0	223	0
$\text{HCl}(\text{g})$	29.0	-92.3	187	-95.3

- (1) 標準状態における反応式(4-1)のエンタルピー変化およびエントロピー変化を求めなさい。さらに、標準状態において、反応式(4-1)は自発的に進むかどうかを、その理由とともに示しなさい。
- (2) 5.00×10^{-1} mol の H_2 と 5.00×10^{-1} mol の Cl_2 の混合気体を 298 K から 596 K まで標準圧力下で加熱するときのエンタルピー変化を、 H_2 と Cl_2 が反応しないとして求めなさい。
- (3) 1.00 mol の HCl を 596 K から 298 K まで標準圧力下で冷却するときのエントロピー変化を求めなさい。
- (4) 596 K, 1.01×10^5 Pa における反応式(4-1)のエントロピー変化を求めなさい。

2027年度 編入学・学士入学（第3年次）試験
工学部 化学工学科
専門科目（物理化学）

（余 白）

【5】1.00 mol の理想気体を作動流体とし，高温熱源 600 K，熱効率 0.500 で稼働する Carnot サイクルを考える。図 5-1 はこのサイクルにおける作動流体の圧力 P と体積 V の関係を模式的に示す。図中の A から B は等温膨張，B から C は断熱膨張，C から D は等温圧縮，D から A は断熱圧縮であり，全て可逆過程である。また，A，B，C における作動流体の体積はそれぞれ $1.00 \times 10^{-2} \text{ m}^3$ ， $1.00 \times 10^{-1} \text{ m}^3$ ， $5.00 \times 10^{-1} \text{ m}^3$ である。以下の問いに答えなさい。ただし，気体が受けとった熱および気体がなされた仕事を正とし，気体定数 R は $8.31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ とする。また， $\ln 10$ は 2.30 として計算しなさい。

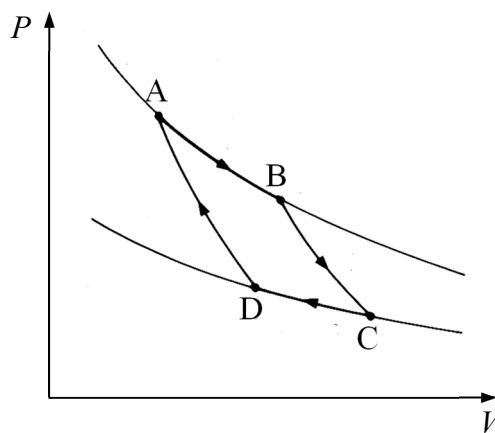


図 5-1 Carnot サイクルにおける P - V 線図

- (1) 低温熱源の温度を求めなさい。
- (2) A から B の等温過程でサイクルが受けとる熱の値を求めなさい。
- (3) このサイクルが 1 サイクルの間に外界にする仕事の値を求めなさい。
- (4) B から C，および D から A の断熱過程では Poisson の式（ $PV^\gamma = \text{一定}$ ）が成り立つ。ただし， γ は比熱比であり，式(5-1)で表される。

$$\gamma = \frac{\text{定圧モル熱容量}(C_p)}{\text{定積モル熱容量}(C_v)} \quad (5-1)$$

Poisson の式を利用して D における作動流体の体積の値を求めなさい。

2027年度 編入学・学士入学（第3年次）試験
工学部 化学工学科
専門科目（物理化学）

（余 白）

【6】純溶媒 A に電離しない不揮発性成分 B を溶解させた理想希薄溶液の化学ポテンシャル(μ)を考える。この溶液では A の化学ポテンシャル $\mu_A(l)$ は式(6-1)で表される。

$$\mu_A(l) = \mu_A(l)^* + RT \ln(x_A) \quad (6-1)$$

ここで、 $\mu_A(l)^*$ は純粋な A の液相の化学ポテンシャル、 R は気体定数、 T は温度、 x_A は A のモル分率である。以下の問いに答えなさい。なお、与えられていない記号を用いるときは定義してから使用しなさい。

- (1) $\mu_A(l)$ が $\mu_A(l)^*$ より小さくなる理由を、式(6-1)に基づいて説明しなさい。
- (2) 純粋な A の化学ポテンシャルの温度依存性は、標準大気圧下で図 6-1 のようになる。ただし、図中の $\mu_A(g)^*$ は純粋な A の気相の化学ポテンシャルである。解答用紙の図 a に純粋な A の沸点を示しなさい。また、式(6-1)に基づいて $\mu_A(l)$ の温度依存性と溶液の沸点を、解答用紙の図 a にそれぞれ示しなさい。

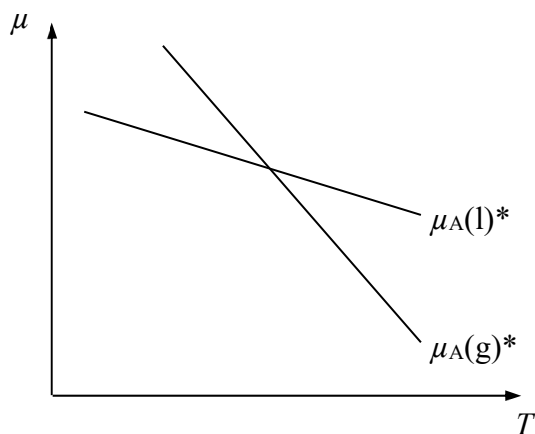


図 6-1 $\mu_A(l)^*$ および $\mu_A(g)^*$ の温度依存性

2027年度 編入学・学士入学（第3年次）試験

工学部 化学工学科

専門科目（物理化学）

- (3) 溶液を容器に入れて密封し、容器内の温度と圧力を一定に保った。A が容器内で気液平衡にあるとき、式(6-2)が成り立つことを示しなさい。ただし、 $\Delta G_{\text{vap,m}}$ は純粋な A の蒸発モル Gibbs エネルギー変化である。

$$\ln(x_A) = \frac{\Delta G_{\text{vap,m}}}{RT} \quad (6-2)$$

- (4) (3)において、式(6-3)を用いて式(6-4)を導出しなさい。ただし、 $\Delta H_{\text{vap,m}}$ は純粋な A の蒸発モルエンタルピー変化、 $\Delta S_{\text{vap,m}}$ は純粋な A の蒸発モルエントロピー変化であり、 $\Delta S_{\text{vap,m}}$ は温度により変化しないとする。また、 T_b は溶液の沸点、 T_b^* は純粋な A の沸点である。

$$\Delta G_{\text{vap,m}} = \Delta H_{\text{vap,m}} - T \Delta S_{\text{vap,m}} \quad (6-3)$$

$$\ln(x_A) = \frac{\Delta H_{\text{vap,m}}}{R} \left(\frac{1}{T_b} - \frac{1}{T_b^*} \right) \quad (6-4)$$

- (5) (4)において、式(6-5)が成り立つことを示しなさい。ただし、 ΔT は沸点上昇 ($T_b - T_b^*$) である。また、 $T_b T_b^* \approx (T_b^*)^2$ および $\ln(1 - x_B) \approx -x_B$ と見なせるとする。

$$\Delta T = \frac{R(T_b^*)^2}{\Delta H_{\text{vap,m}}} x_B \quad (6-5)$$

2027年度 編入学・学士入学（第3年次）試験
工学部 化学工学科
専門科目（物理化学）

（余 白）

2027年度 編入学・学士入学（第3年次）試験
工学部 化学工学科
専門科目（物理化学）

（余 白）