

問題用紙

Graduate School of Advanced Science and Engineering (Master's Course), Hiroshima University
Entrance Examination Booklet (General Selection)

Question Sheets

(2025 年 8 月 28 日実施 / August 28, 2025)

試験科目 Subject	化学工学 (専門科目 I) Chemical Engineering I	プログラム Program	化学工学 Chemical Engineering	受験番号 Examinee's Number	M
-----------------	---	------------------	---------------------------------	---------------------------	---

試験時間 : 9 時 00 分 ~ 12 時 00 分 (Examination Time : From 9:00 to 12:00)

受験上の注意事項

- (1) 問題用紙は表紙を含み 5 枚, 解答用紙は表紙を含み 5 枚あります。
- (2) 問題用紙及び解答用紙のそれぞれに, 受験番号を記入してください。
- (3) これは問題用紙です。解答は別冊の解答用紙に記入してください。
- (4) 解答が書ききれないときは, 同じ用紙の裏面を利用しても構いません。ただし, その場合は「裏に続く」などと裏面に記載したことが分かるようにしておくこと。
- (5) 問題 1-4 の 4 問中から 3 問選択し日本語または英語で解答しなさい。なお, 選択した問題は, 解答用紙の表紙の選択欄に○印をつけなさい。(4 問解答した場合には得点のより低い 3 問が採用されます。)
- (6) 問題用紙は解答用紙とともに回収します。
- (7) 問題中「図に書きなさい」という指示がある場合は, 解答用紙に記入すること。
- (8) 作図する場合, 貸与された定規を使用しても差し支えない。
- (9) 質問あるいは不明な点がある場合は手を挙げてください。

Notices

- (1) There are 5 question sheets and 5 answer sheets including a front sheet.
- (2) Fill in your examinee's number in the specified positions in this cover and each question and answer sheet.
- (3) This examination booklet consists of only question sheets. Use other separate sheets for answers.
- (4) If the space is exhausted, use the reverse side of the sheet and write down "to be continued" on the last line of the sheet.
- (5) Select three specialized subjects among the following four specialized subjects and answer these questions in English or Japanese. Moreover, mark specialized subjects that you have selected with circles in the table given in the cover of the answer sheet. (If you select four specialized subjects, three specialized subjects of lower scores are adopted.)
- (6) Return these question sheets together with the answer sheets.
- (7) If given the instruction to draw a diagram, draw it on the answer sheet.
- (8) You may use a rented ruler if you need one.
- (9) Raise your hand if you have any questions.

2025 年 10 月, 2026 年 4 月入学 (October 2025 and April 2026 Admissions)
 広島大学大学院先進理工系科学研究科博士課程前期 (一般選抜) 専門科目入学試験問題
 Graduate School of Advanced Science and Engineering (Master's Course), Hiroshima University
 Entrance Examination Booklet (General Selection)

(2025 年 8 月 28 日実施 / August 28, 2025)

試験科目 Subject	化学工学 (専門科目 I) Chemical Engineering I	プログラム Program	化学工学 Chemical Engineering	受験番号 Examinee's Number	M
-----------------	---	------------------	------------------------------	---------------------------	---

問題 1 (Question 1)

メタン CH_4 と窒素からなる燃料 (原料) ガスを空気と共に完全燃焼して、次の組成の煙道ガス (燃焼ガスから水が除去されたガス) が生成した。

CO_2 : 8.00%, O_2 : 5.00%, N_2 : 87.00%

空気の組成を、酸素 21.00%、窒素 79.00% として以下の問いに答えよ。熱化学物性値は Table 1 に示す。原子量は $\text{H}=1.00$ 、 $\text{C}=12.0$ 、 $\text{N}=14.0$ 、 $\text{O}=16.0$ とする。

- (1) メタン 1 kg 当たりの総発熱量 [kJ/kg] および真発熱量 [kJ/kg] を求めよ。
- (2) メタンの標準生成熱 [kJ/mol] を求めよ。
- (3) 燃料 (原料) ガスの組成 [%] を求めよ。
- (4) 燃焼ガス (水を含むガス) の組成 [%] を求めよ。
- (5) 過剰空気率 [%] を求めよ。

Fuel (source) gas composed of methane CH_4 and nitrogen was completely combusted with air, and the flue gas (combustion gas without water) was generated as the followings.

CO_2 : 8.00%, O_2 : 5.00%, N_2 : 87.00%

Assuming that the air is composed of 21.00% oxygen and 79.00% nitrogen, answer the following questions. The thermochemical properties are shown in Table 1. Atomic weight of each element is $\text{H}=1.00$, $\text{C}=12.0$, $\text{N}=14.0$, $\text{O}=16.0$.

- (1) Obtain the gross heat value [kJ/kg] and the net heat value [kJ/kg] per 1 kg of methane.
- (2) Obtain the standard heat of formation of methane [kJ/mol].
- (3) Obtain the composition [%] of the fuel (source) gas.
- (4) Obtain the composition [%] of the combustion gas (gas with water).
- (5) Obtain the excess air ratio [%].

Table 1 Thermochemical properties

	State at 298.15 K	ΔH_f° [kJ/mol]	ΔH_c° [kJ/mol]	L_v° [kJ/mol]
CH_4	Gas		-890	-
CO_2	Gas	-394	-	-
O_2	Gas	0	-	-
H_2O	Liquid	-286	-286	44.0
N_2	Gas	0	-	-

ΔH_f° : 標準生成熱 Standard heat of formation

ΔH_c° : 標準燃焼熱

Standard heat of combustion

L_v° : 298.15 K における蒸発潜熱

Latent heat of vaporization at 298.15 K

(2025 年 8 月 28 日実施 / August 28, 2025)

試験科目 Subject	化学工学 (専門科目 I) Chemical Engineering I	プログラム Program	化学工学 Chemical Engineering	受験番号 Examinee's Number	M
-----------------	---	------------------	------------------------------	---------------------------	---

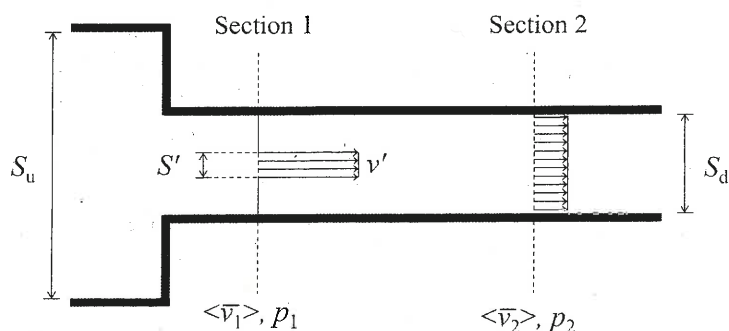
問題 2 (Question 2)

径の異なる 2 つの水平円管 (断面積はそれぞれ S_u と S_d) が図のように接続され、中を流れる水 (密度 $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ 、粘度 $\mu = 0.001 \text{ Pa}\cdot\text{s}$) に対して流路の急縮小が生じている。このとき、急縮小部のすぐ下流側では管壁付近に流速の低い領域が、管軸付近には流速の高い領域が存在する。そこで、図中で Section 1 と称した断面における流速 ($\bar{v}_1$) について、管中心部の断面積 S' ($< S_d$) の領域では $\bar{v}_1 = v'$ で、 S' 以外の領域で $\bar{v}_1 = 0$ と近似する。また、Section 1 のさらに下流で、流れが十分発達した断面を Section 2 と名付け、そこでは流速 $\bar{v}_2$ は断面にわたって一様と近似する。さらに、Section 1、Section 2 での圧力 (p_1 , p_2) はそれぞれの断面にわたってそれぞれ一様であるとする。以下の問に答えよ。

- (1) Section 1 での平均流速 $\langle \bar{v}_1 \rangle$ を、Section 2 での平均流速 $\langle \bar{v}_2 \rangle$ を用いて表せ。
- (2) (1)の結果を用いて、 v' を、 $\langle \bar{v}_2 \rangle$ を含んだ形で表せ。
- (3) Section 1 に単位時間あたり流入する流体が有する運動量を導き、 $\langle \bar{v}_2 \rangle$ を含んだ形で表せ。
- (4) 以上の結果と、2 つの断面と管壁で囲まれた部分での運動量および機械的エネルギーの収支を考慮することにより、流体単位質量あたりのエネルギー損失 $\hat{E}_v$ を導き、 $\langle \bar{v}_2 \rangle$ と S' を含んだ形で表せ。ここで、管壁におけるせん断応力は無視できるものとする。
- (5) 水の流量が $150 \text{ m}^3/\text{h}$ 、下流側の管の径が 0.40 m であって、 $S' = 0.67 S_d$ とみなせるときの $\hat{E}_v$ の値を求めよ。

Two horizontal circular pipes of different diameters (cross sections S_u and S_d , respectively) are connected as shown in the figure, and a sudden contraction of the flow channel occurs for the water flowing inside (density $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, viscosity $\mu = 0.001 \text{ Pa}\cdot\text{s}$). At this time, immediately downstream of the contraction, there is a region of low velocity near the pipe wall and a region of high velocity near the pipe axis. Therefore, the flow velocity ($\bar{v}_1$) in the cross section named Section 1 in the figure is approximated as $\bar{v}_1 = v'$ in the region of cross section S' ($< S_d$) at the center of the pipe, and $\bar{v}_1 = 0$ in the region outside of S' . The cross-section further downstream of Section 1, where the flow is sufficiently developed, is named Section 2, where the flow velocity $\bar{v}_2$ is approximated as uniform across the cross-section. In addition, the pressures (p_1 and p_2) at Sections 1 and 2 are assumed to be uniform across the respective cross sections. Answer the following questions.

- (1) Express the average velocity $\langle \bar{v}_1 \rangle$ in Section 1 using the average velocity $\langle \bar{v}_2 \rangle$ in Section 2.
- (2) Using the result of (1), express v' in a form that includes $\langle \bar{v}_2 \rangle$.
- (3) Derive the momentum of the fluid flowing through Section 1 per unit time and express it in a form that includes $\langle \bar{v}_2 \rangle$.
- (4) By considering the above results and the momentum and mechanical energy balance in the space bounded by the two cross sections and the pipe wall, derive the energy loss per unit mass of fluid, $\hat{E}_v$, and express it in a form including $\langle \bar{v}_2 \rangle$ and S' . Here, shear stress in the pipe wall is assumed to be negligible.
- (5) Find the value of $\hat{E}_v$ when the flow rate of water is $150 \text{ m}^3/\text{h}$, the diameter of the downstream pipe is 0.40 m , and $S' = 0.67 S_d$.



(2025 年 8 月 28 日実施 / August 28, 2025)

試験科目 Subject	化学工学 (専門科目 I) Chemical Engineering I	プログラム Program	化学工学 Chemical Engineering	受験番号 Examinee's Number	M
-----------------	---	------------------	------------------------------	---------------------------	---

問題 3 (Question 3)

図のように 2 つの異なる材料の板 1 と板 2 から構成されている平面壁について考える。伝熱は厚み方向 (x 方向) のみに生じ, 定常状態に達しているものとする。以下の問いに答えよ。

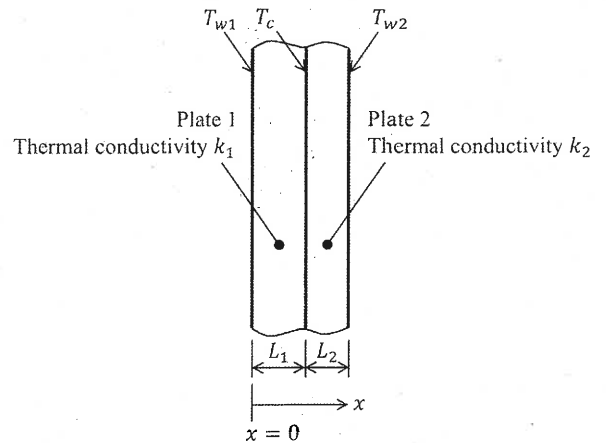
- (1) 板 1 と板 2 の厚みをそれぞれ L_1 , L_2 , 熱伝導率をそれぞれ k_1 , k_2 と表す。板 1 の外表面温度を T_{w1} , 板 1 と 2 の接触部の温度を T_c , 板 2 の外表面温度を T_{w2} とする。以下の問いに答えよ。ただし, 伝熱面積としては, A を用いよ。

- (i) 板 1 と板 2 における伝熱速度を表す式をそれぞれ記載せよ。なお, $T_{w1} > T_{w2}$ とする。
 (ii) 板 1 と板 2 における熱抵抗を表す式をそれぞれ記載せよ。
 (2) 板 1 の熱伝導率と厚みはそれぞれ $45 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ と 15 mm , 板 2 の熱伝導率と厚みはそれぞれ $5.0 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ と 10 mm である。

また, 板 1 の外表面はバルク温度 400 K の高温流体と, 板 2 の外表面はバルク温度 300 K の低温流体と接している。高温流体と低温流体の熱伝達率は共に $1200 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ である。以下の問いに答えよ。

- (i) 総括伝熱係数 (熱通過率) を求めよ。
 (ii) 高温流体から低温流体への単位伝熱面積当たりの伝熱速度を求めよ。
 (iii) 板 1 と板 2 における温度降下量 $[\text{K}]$ をそれぞれ求めよ。

また, 板 1 外表面から板 2 外表面における温度分布 ($0 \text{ mm} \leq x \leq 25 \text{ mm}$) を解答用紙のグラフ中に描け。



Consider a plane wall composed of two different materials, labeled as Plate 1 and Plate 2, as shown in the figure. Heat transfer occurs only in the direction of thickness (x -direction), and the system is in a steady state. Answer the following questions.

- (1) Let the thicknesses of Plate 1 and Plate 2 be L_1 and L_2 , respectively, and their thermal conductivities be k_1 and k_2 , respectively. Let T_{w1} be the temperature at the outer surface of Plate 1, T_c the temperature at the interface between Plate 1 and Plate 2, and T_{w2} the temperature at the outer surface of Plate 2. Let A be the area of heat transfer.
- (i) Write the expressions for the rate of heat transfer through Plate 1 and Plate 2, respectively. Assume $T_{w1} > T_{w2}$.
 (ii) Write the expressions for the thermal resistance of Plate 1 and Plate 2, respectively.
- (2) The thermal conductivity and thickness of Plate 1 are $45 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ and 15 mm , respectively. The thermal conductivity and thickness of Plate 2 are $5.0 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ and 10 mm , respectively. The outer surface of Plate 1 is in contact with a high-temperature fluid at a bulk temperature of 400 K , while the outer surface of Plate 2 is in contact with a low-temperature fluid at a bulk temperature of 300 K . The convective heat transfer coefficients of the high-temperature fluid and the low-temperature fluid are both $1200 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$. Answer the following questions.
- (i) Determine the overall heat transfer coefficient.
 (ii) Determine the rate of heat transfer per unit area from the high-temperature fluid to the low-temperature fluid.
 (iii) Determine the temperature drop $[\text{K}]$ across Plate 1 and Plate 2, respectively. Also, sketch the temperature distribution across the wall from the outer surface of Plate 1 to the outer surface of Plate 2 ($0 \text{ mm} \leq x \leq 25 \text{ mm}$) in the graph provided on the answer sheet.

(2025 年 8 月 28 日実施 / August 28, 2025)

試験科目 Subject	化学工学 (専門科目 I) Chemical Engineering I	プログラム Program	化学工学 Chemical Engineering	受験番号 Examinee's Number	M
-----------------	---	------------------	------------------------------	---------------------------	---

問題 4 (Question 4)

酢酸/水の分離は, 抽出と蒸留を組み合わせた分離システム(図 1)で行われることがある。以下の間に答えよ。

(1) 装置 A, B の名称, およびその役割を明記せよ。また, この分離システムが, 酢酸/水の分離に採用された理由を述べよ。

(2) 装置 A 内では, 抽出液あるいは抽残液はエマルジョン(オイル中の水滴 (W/O) あるいは水中のオイル (O/W))として存在し, その球状液滴の表面から溶質(酢酸)が拡散する(図 2)。この球状液滴表面(半径: $r = r_1$)の酢酸濃度を C_{A1} [mol m^{-3}] とし, 酢酸は乱れのない流体層を拡散する。また, 十分離れた距離では $C_A = 0$ とみなせるとする。以下の間に答えよ。

(2-1) $r = r_2$ で $C_A = C_{A2}$ として, この球状液滴からの酢酸の拡散モル流量(抽出速度に相当する) M_A [mol s^{-1}] を希薄系の拡散として求めよ。なお, 酢酸の拡散係数を D [$\text{m}^2 \text{s}^{-1}$] とする。

(2-2) $r_2 \gg r_1$ で $C_{A2} = 0$ とすることで, 物質移動係数 k_c [m s^{-1}] を導出せよ。

(3) 抽出装置では, 100 kg 酢酸水溶液(酢酸 30 wt%)を 100 kg イソプロピルエーテルで抽出する。酢酸-水-イソプロピルエーテルの液液平衡は, 解答用紙に与えられている。以下の間に答えよ。

(3-1) 液液平衡線図内の破線は何であるか示し, 物理的意味を示せ。

(3-2) 作図法により抽出液と抽残液の組成および量を求める手順を説明せよ。また, 液液平衡線図に抽出液と抽残液の組成をプロットせよ。ただし, 実際に計算をする必要はない。

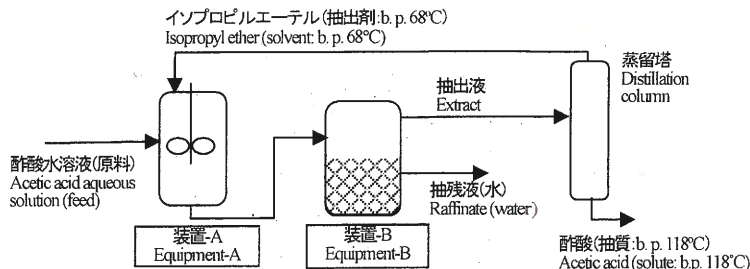


図 1 抽出システム Fig.1 Extraction system

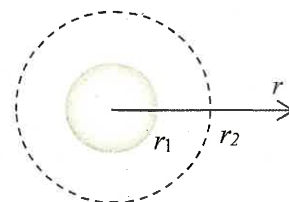


図 2 球からの拡散 Fig.2 Diffusion from a sphere

Acetic acid and water are often separated in a separation system combining extraction and distillation (Fig. 1). Answer the following questions.

(1) Answer the names and roles of Equipment-A and -B, respectively. In addition, explain why the present separation system is applied to the separation of acetic acid/ water.

(2) In Equipment-A, extract or raffinate is emulsified (water droplet in oil (W/O) or oil droplet in water (O/W)), and solutes (acetic acid) diffuse from the surface of the spherical droplet (Fig. 2). Concentration of acetic acid is C_{A1} [mol m^{-3}] at the surface of the droplet (radius: $r = r_1$) and $C_A = 0$ at a long distance from the droplet, respectively. Acetic acid diffuses across a stagnant fluid layer. Answer the following questions.

(2-1) Derive the diffusion flow rate (corresponding to extraction rate) of acetic acid, M_A [mol s^{-1}], from the droplet under the assumption of diffusion in dilute concentration, by assuming $C_A = C_{A2}$ at $r = r_2$. Diffusivity of acetic acid is D [$\text{m}^2 \text{s}^{-1}$].

(2-2) Derive the mass transfer coefficient k_c [m s^{-1}] when C_{A2} equals to zero for $r_2 \gg r_1$.

(3) In an extractor, 100 kg of acetic acid aqueous solution (acetic acid: 30 wt%) is extracted by 100 kg of isopropyl ether. A liquid-liquid equilibrium chart is given in the answer sheet. Answer the following questions.

(3-1) Answer what the dashed lines in the liquid-liquid equilibrium chart are and explain physical meaning of the lines.

(3-2) Explain the procedure for determining the composition and amount of the extract and raffinate by the plotting method. Then, plot the compositions of the extract and raffinate on the liquid-liquid equilibrium chart. It is not necessary to do the calculations.

問題用紙

Graduate School of Advanced Science and Engineering (Master's Course), Hiroshima University
Entrance Examination Booklet (General Selection)

Question Sheets

(2025 年 8 月 28 日実施 / August 28, 2025)

試験科目 Subject	化学工学 (専門科目 II) Chemical Engineering II	プログラム Program	化学工学 Chemical Engineering	受験番号 Examinee's Number	M
-----------------	---	------------------	---------------------------------	---------------------------	---

試験時間 : 13 時 30 分 ~ 16 時 30 分 (Examination Time : From 13:30 to 16:30)

受験上の注意事項

- (1) 問題用紙は表紙を含み 5 枚, 解答用紙は表紙を含み 5 枚あります。
- (2) 問題用紙及び解答用紙のそれぞれに, 受験番号を記入してください。
- (3) これは問題用紙です。解答は別冊の解答用紙に記入してください。
- (4) 解答が書ききれないときは, 同じ用紙の裏面を利用しても構いません。ただし, その場合は「裏に続く」などと裏面に記載したことが分かるようにしておくこと。
- (5) 問題 1 は必須です。
- (6) 問題 2-4 の 3 問中から 2 問選択し日本語または英語で解答しなさい。なお, 選択した問題は, 解答用紙の表紙の選択欄に○印をつけなさい。(3 問解答した場合には得点のより低い 2 問が採用されます。)
- (7) 問題用紙は解答用紙とともに回収します。
- (8) 問題中「図に書きなさい」という指示がある場合は, 解答用紙に記入すること。
- (9) 作図する場合, 貸与された定規を使用しても差し支えない。
- (10) 質問あるいは不明な点がある場合は手を挙げてください。

Notices

- (1) There are 5 question sheets and 5 answer sheets including a front sheet.
- (2) Fill in your examinee's number in the specified positions in this cover and each question and answer sheet.
- (3) This examination booklet consists of only question sheets. Use other separate sheets for answers.
- (4) If the space is exhausted, use the reverse side of the sheet and write down "to be continued" on the last line of the sheet.
- (5) Question 1 is a required one.
- (6) Select two specialized subjects among the following three specialized subjects (Questions 2-4) and answer these questions in English or Japanese. Moreover, mark specialized subjects that you have selected with circles in the table given in the cover of the answer sheet. (If you select three specialized subjects, two specialized subjects of lower scores are adopted.)
- (7) Return these question sheets together with the answer sheets.
- (8) If given the instruction to draw a diagram, draw it on the answer sheet.
- (9) You may use a rented ruler if you need one.
- (10) Raise your hand if you have any questions.

2025 年 10 月, 2026 年 4 月入学 (October 2025 and April 2026 Admissions)
 広島大学大学院先進理工系科学研究科博士課程前期 (一般選抜) 専門科目入学試験問題
 Graduate School of Advanced Science and Engineering (Master's Course), Hiroshima University
 Entrance Examination Booklet (General Selection)

(2025 年 8 月 28 日実施 / August 28, 2025)

試験科目 Subject	化学工学 (専門科目 II) Chemical Engineering II	プログラム Program	化学工学 Chemical Engineering	受験番号 Examinee's Number	M
-----------------	---	------------------	---------------------------------	---------------------------	---

問題 1 (Question 1)

次の 10 項の語句のうち、5 項を選び、それぞれ 100 から 200 字程度で説明せよ。図や式を用いてもよいが文字数には加えない。6 項以上解答した場合には得点のより低い 5 項が採用される。

Choose 5 terms among the following 10 terms, and explain each term by about 30-100 words in English. You may use figures and equations, but do not add them to the number of words. If you choose 6 and more terms, 5 terms of lower scores are adopted.

番号 No.	語句	Term
(1)	沸騰曲線	Boiling curve
(2)	プロセス制御における一次遅れ	First-order lag in process control
(3)	周期 2π でのフーリエ係数	Fourier coefficients for a period of 2π
(4)	化学反応の活性化エネルギー	Activation energy for a chemical reaction
(5)	カーボンニュートラル	Carbon neutral
(6)	ライフサイクルアセスメント	Life cycle assessment
(7)	物質移動係数とシャーウッド数	Mass transfer coefficient and Sherwood number
(8)	伝熱係数 (熱伝達率) とヌッセルト数	Heat transfer coefficient and Nusselt number
(9)	有限差分法における離散化精度	Discretization accuracy in the finite difference method
(10)	X 線回折法による立方晶の同定方法	Identification of the cubic crystal system by X-ray diffraction

2025 年 10 月, 2026 年 4 月入学 (October 2025 and April 2026 Admissions)
 広島大学大学院先進理工系科学研究科博士課程前期 (一般選抜) 専門科目入学試験問題
 Graduate School of Advanced Science and Engineering (Master's Course), Hiroshima University
 Entrance Examination Booklet (General Selection)

(2025 年 8 月 28 日実施 / August 28, 2025)

試験科目 Subject	化学工学 (専門科目 II) Chemical Engineering II	プログラム Program	化学工学 Chemical Engineering	受験番号 Examinee's Number	M
-----------------	---	------------------	------------------------------	---------------------------	---

問題 2 (Question 2)

エタノール(成分 1)+水(成分 2)系の気液平衡について以下の問いに答えよ。ただし, T [K]は温度, P [kPa]は圧力, x_i および y_i は成分 i の液相および気相モル分率を表す。また, 両成分の飽和蒸気圧 P_1^s [kPa]および P_2^s [kPa]は次式で与えられる。

$$\log_{10} P_1^s = 7.2422 - \frac{1595.8}{T - 46.702}, \quad \log_{10} P_2^s = 7.1156 - \frac{1687.5}{T - 42.980}$$

- エタノール+水のような最低共沸点を有する 2 成分系について, 定圧気液平衡関係を表す T - x_1 , y_1 線図, および x_1 - y_1 線図を模式的に描け。ただし, T - x_1 , y_1 線図には純成分の沸点 ($T_{b,1}$, $T_{b,2}$), 沸点曲線 (BPC), 露点曲線 (DPC), 気相領域 (V), 液相領域 (L), 気液共存領域 (V+L), および共沸点 (Az) を, 括弧内の変数または略称を用いて示すこと。
- 温度が $T = 353.15$ K でエタノールの液相モル分率が $x_1 = 0.200$ のとき, 沸点の圧力 P と気相モル分率 y_1 , y_2 をそれぞれ求めよ。ただし, 気相は理想気体とみなせ, 液相の活量係数 γ_1 および γ_2 は次の Margules 式で与えられる。

$$\ln \gamma_1 = x_2^2 [A + 2(B - A)x_1], \quad \ln \gamma_2 = x_1^2 [B + 2(A - B)x_2], \quad (A = 1.537, B = 0.862)$$
- エタノール $n_1 = 4.00$ mol と水 $n_2 = 6.00$ mol を混合し, (2)と同じ温度 T および圧力 P の条件下において平衡状態にした。このときの気相に存在するエタノール及び水の物質質量 n_1^V および n_2^V をそれぞれ求めよ。

Answer the following questions for the vapor-liquid equilibrium of the ethanol (component 1) + water (component 2) system, where T [K] is the temperature, P [kPa] is the pressure, and x_i and y_i are the liquid and vapor phase mole fractions of component i . The saturated vapor pressures P_1^s [kPa] and P_2^s [kPa] of both components are given by

$$\log_{10} P_1^s = 7.2422 - \frac{1595.8}{T - 46.702}, \quad \log_{10} P_2^s = 7.1156 - \frac{1687.5}{T - 42.980}$$

- Schematically draw T - x_1 , y_1 and x_1 - y_1 diagrams representing isobaric vapor-liquid equilibrium relationship for a binary system with a minimum azeotrope, such as ethanol + water. The T - x_1 , y_1 diagram should show the boiling points ($T_{b,1}$, $T_{b,2}$), boiling point curve (BPC), dew point curve (DPC), vapor phase region (V), liquid phase region (L), vapor-liquid coexistence region (V+L), and azeotrope point (Az) of the pure component using the variables in parentheses or the abbreviated names.
- When the temperature is $T = 353.15$ K and the mole fraction of ethanol in the liquid phase is $x_1 = 0.200$, determine the boiling point pressure P , and the mole fractions of the vapor phase y_1 and y_2 , respectively. Assume that the vapor phase is an ideal gas, and the activity coefficients of the liquid phase γ_1 and γ_2 are given by the following Margules equation.

$$\ln \gamma_1 = x_2^2 [A + 2(B - A)x_1], \quad \ln \gamma_2 = x_1^2 [B + 2(A - B)x_2], \quad (A = 1.537, B = 0.862)$$

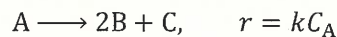
- Ethanol $n_1 = 4.00$ mol and water $n_2 = 6.00$ mol were mixed and brought to the equilibrium condition under the same conditions of temperature T and pressure P as in (2). Determine the amount of ethanol and water present in the vapor phase, n_1^V and n_2^V , respectively.

(2025 年 8 月 28 日実施 / August 28, 2025)

試験科目 Subject	化学工学 (専門科目 II) Chemical Engineering II	プログラム Program	化学工学 Chemical Engineering	受験番号 Examinee's Number	M
-----------------	---	------------------	------------------------------	---------------------------	---

問題 3 (Question 3)

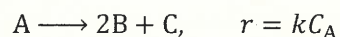
次式で示される気相反応を等温の管型反応器で大気圧にて行ったところ, 下表の結果を得た。



ここで, $r [\text{mol} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}]$ は量論式に対する反応速度, $k [\text{s}^{-1}]$ は反応速度定数, $C_A [\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}]$ は成分 A の濃度である。原料ガスには成分 A 以外に反応に関与しない不活性成分が含まれており, 成分 A, B, C および不活性成分は理想気体とみなしてよい。反応器内の流れは押し出し流れであると仮定し, 反応速度定数の温度依存性は Arrhenius の式で表されるものとする。以下の問いに答えよ。ただし, 大気圧は 101.3 kPa, 気体定数は $8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ である。

- (1) 反応器内の任意の位置における成分 A の反応率が $x_A [-]$ であるとき, その位置における成分 A の濃度 $C_A [\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}]$ を, 成分 A の初期濃度 $C_{A0} [\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}]$, 反応率 $x_A [-]$ および 容積増加率 $\varepsilon_A [-]$ を用いて表せ。
- (2) 空間時間 $\tau [\text{s}]$ と成分 A の反応率 $x_A [-]$ の関係を表す式を, 反応速度定数 $k [\text{s}^{-1}]$ および 容積増加率 $\varepsilon_A [-]$ を用いて表せ。ただし, この関係式は積分計算を完了した後の最終的な形で示すこと。
- (3) 温度 $T = 200^\circ\text{C}$ における反応速度定数 $k [\text{s}^{-1}]$ を求めよ。
- (4) 不活性成分を含まない成分 A を, 流入速度 $F_{A0} = 1.50 \text{ mol} \cdot \text{s}^{-1}$, 温度 $T = 200^\circ\text{C}$ で反応させて, 反応率 $x_A = 0.800$ を得るための反応器体積 $V [\text{m}^3]$ を求めよ。

A gas-phase reaction described by the following equation was carried out in an isothermal tubular reactor under atmospheric pressure, and the experimental results are summarized in the table below.



where, $r [\text{mol} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}]$ is the reaction rate for the stoichiometric equation, $k [\text{s}^{-1}]$ is the reaction rate constant, and $C_A [\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}]$ is the concentration of component A. The feed gas contains an inert component in addition to component A. Components A, B, C, and the inert component are assumed to behave as ideal gases. The flow within the reactor is assumed to be plug flow, and the temperature dependence of the reaction rate constant is expressed by the Arrhenius equation. Answer the following questions. Let the atmospheric pressure be 101.3 kPa and the gas constant be $8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

- (1) When the conversion of component A at an arbitrary position in the reactor is $x_A [-]$, express the concentration of component A at that position, $C_A [\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}]$, using the initial concentration, $C_{A0} [\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}]$, the conversion of component A, $x_A [-]$, and the expansion factor, $\varepsilon_A [-]$.
- (2) Express the relationship between the residence time, $\tau [\text{s}]$, and the conversion of component A, $x_A [-]$, using the reaction rate constant, $k [\text{s}^{-1}]$, and the expansion factor, $\varepsilon_A [-]$. The relationship should be presented in its final form after completing the integration.
- (3) Determine the rate constant, $k [\text{s}^{-1}]$, at a temperature of $T = 200^\circ\text{C}$.
- (4) Calculate the reactor volume, $V [\text{m}^3]$, required to achieve a conversion of $x_A = 0.800$ for pure component A without any inert components, given a feed molar flow rate of $F_{A0} = 1.50 \text{ mol} \cdot \text{s}^{-1}$ at a temperature of $T = 200^\circ\text{C}$.

温度 Temperature $T [^\circ\text{C}]$	空間時間 Residence time $\tau [\text{s}]$	成分 A の反応率 Conversion of A $x_A [-]$	原料ガス中の不活性成分のモル分率 Mole fraction of the inert component in the feed $y_0 [-]$
180	6.10	0.150	0.620
220	2.60	0.450	0.780

(2025 年 8 月 28 日実施 / August 28, 2025)

試験科目 Subject	化学工学 (専門科目 II) Chemical Engineering II	プログラム Program	化学工学 Chemical Engineering	受験番号 Examinee's Number	M
-----------------	---	------------------	------------------------------	---------------------------	---

問題 4 (Question 4)

- (1) 密度 ρ_p 、直径 D_p の単一球状粒子が、静止空气中 (密度 ρ_f 、粘度 μ_f) を運動する。粒子にかかる流体抵抗はストークスの抵抗則にしたがい、カニングガムの補正係数は 1 とする。重力による粒子の自由沈降 (重力加速度 $g = 9.8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$) に関して、以下の問いに答えよ。ただし、初期条件として $t=0$ のとき、粒子速度は 0 とする。
- (a) 終末沈降速度 u_t を表す式を導出せよ。
- (b) 終末沈降速度 u_t および粒子緩和時間 τ を用いて、沈降時刻 t における沈降速度 $u(t)$ を表す式を導出せよ。
- (c) 密度 $850 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ の単一球状粒子が、密度 $1.3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 、粘度 $1.8 \times 10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ の空气中を終末沈降速度 $6.0 \times 10^{-4} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ で沈降している。このとき、粒子の直径 D_p を求めよ。
- (2) 下図のように、総帯電量 $-q$ を帯びた、密度 ρ_p 、直径 D_p の単一球状粒子が、上下に配置された平行平板電極間の静止空气中 (密度 ρ_f 、粘度 μ_f) を運動する。粒子にかかる流体抵抗はストークスの抵抗則にしたがい、カニングガムの補正係数は 1 とする。電界強度 E が印加されていない場合 ($E=0$)、粒子は重力により下向きに自由沈降し、終末速度 (終末沈降速度) が u_1 として観測される。一方、電界強度 E が印加されると、粒子は静電気力を受けて上向きに運動し、終末速度が u_2 として観測される。下向きおよび上向きの粒子運動について、それぞれ定常状態における運動方程式を表せ。また、それらを連立することで、粒子の直径 D_p を用いずに、 u_1 および u_2 を用いて総帯電量 q の絶対値を表す式を導出せよ。
- (1) Consider the motion of a single spherical particle with density ρ_p and diameter D_p in stationary air with density ρ_f and viscosity μ_f . The drag force of particle follows Stokes' drag law, and the Cunningham correction factor is equal to 1. Answer the following questions regarding the particle's free settling due to gravity (gravitational acceleration $g = 9.8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$). The initial condition is that the particle velocity is zero at time $t=0$.
- (a) Derive the expression for the terminal settling velocity u_t from the equation of motion of the particle.
- (b) Using the terminal settling velocity u_t and the particle relaxation time τ , derive the expression for the settling velocity $u(t)$ at time t .
- (c) A spherical particle with a density of $850 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ is settling in air with a density of $1.3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ and a viscosity of $1.8 \times 10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{s}$, with a terminal settling velocity of $6.0 \times 10^{-4} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Calculate the particle diameter D_p .
- (2) As shown in the figure below, consider the motion of a single spherical particle with a total charge of $-q$, density ρ_p , and diameter D_p , moving in stationary air (density ρ_f and viscosity μ_f) between two parallel plate electrodes arranged vertically. The drag force of particle follows Stokes' drag law, and the Cunningham correction factor is equal to 1. In the absence of an electric field ($E=0$), the particle settles downward under gravity and reaches a terminal velocity (terminal settling velocity) u_1 . When an electric field E is applied, the particle experiences an upward static electric force and moves upward, reaching a terminal velocity u_2 . Express the equations of motion at steady state for the downward and upward motion of the particle, respectively. Then, by combining these equations, derive the expression for the absolute value of the total charge q using the observed terminal velocities u_1 and u_2 , without using the particle diameter D_p .

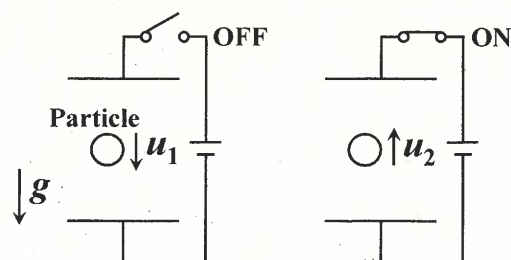


Figure Particle motion between parallel electrodes