

## 問題用紙

Graduate School of Advanced Science and Engineering (Master's Programs), Hiroshima University  
Entrance Examination Booklet (Special Selection for International Students)

## Question Sheets

(2023 年 1 月 26 日実施 / January 26, 2023)

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 7 枚, 解答用紙は表紙を含み 7 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) 6 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 問以上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。

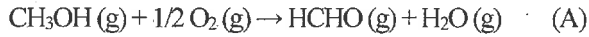
### Notices

- (1) There are **7 question sheets** and **7 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 3 specialized subjects among the following 6 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 and more 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.

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)

メタノールの空気酸化によってホルムアルデヒドが生成している。反応器では次の反応が起こっている。



メタノールと空気 (O<sub>2</sub>: 21 mol%, N<sub>2</sub>: 79 mol%) から成る反応ガスは 900 K で反応器に供給される。生成ガスの組成を分析したところ、N<sub>2</sub>: 58.0 mol%, HCHO: 14.0 mol%であった。生成ガスにはその他に O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O と未反応の CH<sub>3</sub>OH も含まれているが、その組成は不明である。Table 1 に物質の熱化学物性を示す。次の問いに答えよ。

- (1) 生成ガスの組成 (mol%) を求めよ。
- (2) 過剰空気率 (%) を求めよ。
- (3) 反応式 (A) の標準反応熱 (kJ/mol) を求めよ。
- (4) 反応式 (A) の 900 K における反応熱 (kJ/mol) を求めよ。

Formaldehyde is produced by oxidizing methanol with air. In a reactor, the following reaction occurs.



The reactant gas composed of methanol and air (O<sub>2</sub>: 21 mol%, N<sub>2</sub>: 79 mol%) is supplied to the reactor at 900 K. The composition of product gas is as follows; N<sub>2</sub>: 58.0 mol% and HCHO: 14.0 mol%. O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, and unreacted CH<sub>3</sub>OH are included in the product gas, however, the composition is unknown. Table 1 shows the thermochemical properties of the compounds. Answer the following questions.

- (1) Calculate the composition (mol%) of product gas.
- (2) Calculate the excess air ratio (%).
- (3) Calculate the standard heat of reaction (kJ/mol) for the reaction (A).
- (4) Calculate the heat of reaction at 900 K (kJ/mol) for the reaction (A).

Table 1 熱化学物性 Thermochemical properties

	状態 state at 298.15 K	標準生成熱 standard heat of formation $\Delta H_f^\circ$ [kJ/mol]	蒸発潜熱 latent heat of vaporization $L_v^\circ$ (at 298.15 K) [kJ/mol]	平均モル熱容量 average molar heat capacity gas at constant pressure $\bar{C}_p$ 298.15 K~900 K [J/(mol·K)]
CH <sub>3</sub> OH	Liquid	-239.1	37.5	67.0
HCHO	Gas	-108.7	—	47.7
H <sub>2</sub> O	Liquid	-285.8	44.0	36.6
O <sub>2</sub>	Gas	0	—	32.2
N <sub>2</sub>	Gas	0	—	30.3

2023年4月入学 (April 2023 Admission)

広島大学大学院先進理工系科学研究科博士課程前期 (外国人留学生特別選抜) 専門科目入学試験問題

Graduate School of Advanced Science and Engineering (Master's Programs), Hiroshima University

Entrance Examination Booklet (Special Selection for International Students)

(2023年1月26日実施 / January 26, 2023)

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)

円管内定常発達層流 (ハーゲン・ポアズイユ流れ) の軸方向速度  $v$  の分布は、 $v = \frac{\Delta p}{4\mu L}(R^2 - r^2)$  で与えられる。ここで、

$\Delta p$  は距離  $L$  隔てた 2 つの断面の圧力の差、 $\mu$  は粘度、 $R$  は管半径、 $r$  は管中心軸を原点とする半径方向座標である。以下の問いに答えよ。

(1)  $v$  の断面平均値  $\langle v \rangle$  の表現式を導け。

(2)  $\Delta p$  を  $\Delta p = (4f) \left( \frac{L}{D} \right) \left( \frac{1}{2} \rho \langle v \rangle^2 \right)$  ( $D$  は管直径、 $\rho$  は密度) と表したとき、式中の  $f$  は何と呼ばれるか。

(3) (1) の解答と (2) の式から、 $f$  と  $Re$  (レイノルズ数) の関係を導出せよ。

(4) (2) の式と (3) の解答によると、 $v$  が  $1/2$  倍になったら  $f$  は何倍になるか。説明とともに答えよ。

The distribution of the axial velocity,  $v$ , of steady-state developed laminar flow in a circular pipe (Hagen-Poiseuille flow) is given by  $v = \frac{\Delta p}{4\mu L}(R^2 - r^2)$ , where  $\Delta p$  is the difference between the pressures at two cross sections separated by distance  $L$ ,  $\mu$  is the viscosity,  $R$  is the radius of the pipe, and  $r$  is the radial coordinate with its origin at the center of the pipe. Answer the following questions.

(1) Derive the equation expressing  $\langle v \rangle$  (the cross-sectional average value of  $v$ ).

(2) What is  $f$  called when  $\Delta p$  is expressed as  $\Delta p = (4f) \left( \frac{L}{D} \right) \left( \frac{1}{2} \rho \langle v \rangle^2 \right)$  ( $D$ : diameter of the pipe,  $\rho$ : density)?

(3) Derive the relationship between  $f$  and  $Re$  (Reynolds number) from the answer of (1) and the equation in (2).

(4) How many times is  $f$  multiplied when  $v$  is halved, considering the equation in (2) and the answer of (3). Add explanatory notes.

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)

ヘキサン (成分 1) + ヘプタン (成分 2) 系の常圧付近における気液平衡について以下の問いに答えよ。ただし、この系は全組成範囲にわたって理想溶液とみなすことができる。また、 $T$  は温度、 $P$  は圧力、 $x_i$  と  $y_i$  はそれぞれ成分  $i$  の液相モル分率と気相モル分率を表す。

- (1) この系の定温気液平衡関係を表す  $P - x_1, y_1$  線図、および  $x_1 - y_1$  線図を模式的に描け。ただし、 $P - x_1, y_1$  線図には、沸点曲線 (BPC)、露点曲線 (DPC)、気相領域 (V)、液相領域 (L)、および気液共存領域 (V+L) を、括弧内の略称で示すこと。
- (2) 温度 353.15 K、ヘキサンの液相モル分率  $x_1 = 0.500$  のとき、圧力  $P$  と気相モル分率  $y_1, y_2$  を求めよ。ただし、この温度における両成分の飽和蒸気圧は  $P_1^S = 142.5$  kPa、 $P_2^S = 57.08$  kPa である。
- (3) 温度 353.15 K、圧力 90.0 kPa のとき、液相モル分率  $x_1, x_2$  と気相モル分率  $y_1, y_2$  を求めよ。
- (4) ヘキサン  $n_1 = 5.00$  mol とヘプタン  $n_2 = 5.00$  mol を混合し、(3) と同じ温度・圧力の下において平衡状態にした。このときの気相の物質質量  $n^V$  を求めよ。

Answer the following questions on the vapor-liquid equilibria for the hexane (component 1) + heptane (component 2) around atmospheric pressure. This system can be assumed as an ideal solution in the whole composition range.  $T$  is temperature,  $P$  is pressure, and  $x_i$  and  $y_i$  are liquid phase mole fraction and vapor phase mole fraction of component  $i$ , respectively.

- (1) Illustrate schematically the  $P - x_1, y_1$  diagram, and the  $x_1 - y_1$  diagram that express the constant-temperature vapor-liquid equilibria for this system. In the  $P - x_1, y_1$  diagram, indicate the boiling point curve (BPC), the dew point curve (DPC), the homogeneous vapor phase region (V), the homogeneous liquid phase region (L), and the vapor - liquid coexisting region (V+L) using their abbreviations in parentheses.
- (2) Obtain the boiling point pressure  $P$  and the vapor-phase mole fractions  $y_1, y_2$  at temperature of  $T = 353.15$  K and liquid-phase mole fraction of  $x_1 = 0.500$ . The saturated vapor pressures for the pure components at this temperature are  $P_1^S = 142.5$  kPa and  $P_2^S = 57.08$  kPa, respectively.
- (3) Obtain the liquid-phase mole fractions  $x_1, x_2$  and the vapor-phase mole fractions  $y_1, y_2$  at temperature of  $T = 353.15$  K and pressure of  $P = 90.0$  kPa.
- (4)  $n_1 = 5.00$  mol of hexane and  $n_2 = 5.00$  mol of heptane were mixed and equilibrated at the same temperature and pressure as those given in the question (3). Obtain the amount of the mixture existing in vapor phase  $n^V$ .

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)

初期温度が  $T_0$  である鉄球 (直径  $d$ , 比熱  $c_p$ , 密度  $\rho$ ) を瞬時に  $T_\infty$  ( $T_0 > T_\infty$ ) の流体中にさらして冷却する場合の伝熱を考える。冷却時の鉄球の温度分布は一様であると仮定して、以下の問いに答えよ。

- 冷却時の鉄球の時間  $t$  に対する温度変化 ( $dT/dt$ ) をニュートンの冷却の法則を用いて式で示せ。ただし、鉄球周りの熱伝達率は  $h$  とする。
- 初期温度が 673 K である鉄球 (直径: 10 mm, 比熱: 0.442 kJ/(kg·K), 密度: 7870 kg/m<sup>3</sup>) を瞬時に 293 K の流体中にさらしたとき、1, 5, 20 分後の鉄球の温度をそれぞれ求めよ。流体の熱伝達率は 10 W/(m<sup>2</sup>·K) とする。また、同条件でアルミニウム球 (直径: 10 mm, 比熱: 0.905 kJ/(kg·K), 密度: 2688 kg/m<sup>3</sup>) を冷却した場合、鉄球と比較してどちらが先に冷やされるか。理由と共に述べよ。

Consider heat transfer when an iron sphere (diameter  $d$ , specific heat  $c_p$ , density  $\rho$ ) with an initial temperature of  $T_0$  is instantaneously exposed to a fluid at  $T_\infty$  ( $T_0 > T_\infty$ ) for cooling. Assuming that the temperature distribution of the iron sphere during cooling is uniform, answer the following questions.

- Derive the equation for temperature change ( $dT/dt$ ) of the iron sphere with respect to time  $t$  during cooling by the Newton's law of cooling. Here, the heat transfer coefficient around the iron sphere is  $h$ .
- When the iron sphere (diameter: 10 mm, specific heat: 0.442 kJ/(kg·K), density: 7870 kg/m<sup>3</sup>) of the initial temperature 673 K is suddenly plunged into a fluid of temperature 293 K, estimate the temperature of iron sphere after 1, 5, and 20 min. The heat transfer coefficient of the surrounding fluid is 10 W/(m<sup>2</sup>·K). If an aluminum sphere (diameter: 10 mm, specific heat: 0.905 kJ/(kg·K), density: 2688 kg/m<sup>3</sup>) is cooled under the same conditions, which cools first compared to the iron sphere? Explain together with reason.

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
-----------------	-----------------------------------------	------------------	------------------------------	---------------------------	---

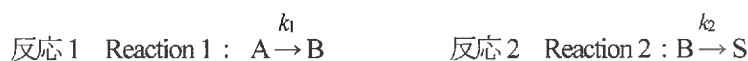
## 問題 5 (Question 5)

323 K にて回分反応器を用いて定容系逐次反応を行う。反応 1, 反応 2 は各々物質 A, 物質 B の濃度 ( $C_A, C_B$  とする) の一次反応速度式で表され,  $k_1$  及び  $k_2$  は反応速度定数である。原料は物質 A のみを含んでおり, その初濃度は  $C_{A0}$  である。

- (1)  $k_1, C_{A0}$  を用い,  $C_A$  を時間  $t$  の関数として表せ。
- (2) 微小時間における  $C_B$  の変化  $dC_B/dt$  を  $k_1, k_2, C_A, C_B$  を用いて表せ。
- (3)  $C_B$  は式 1 で表されることを示せ。必要なら一階線形微分方程式:  $dC/dt + aC = Q(t)$  の一般解(式 2)を用いよ。  $a$  は定数,  $Q(t)$  は  $t$  の関数,  $Const.$  は積分定数である。
- (4) 原料( $C_{A0} = 10 \text{ mol L}^{-1}$ )を用いて反応操作を行った。反応開始後 40 分間の物質 A, B の濃度の経時変化を図示せよ。なお, 323 K では  $k_1 = 0.10 \text{ min}^{-1}$ ,  $k_2 = 0.025 \text{ min}^{-1}$  である。

A consecutive reaction without change in the liquid density is carried out at 323 K using a batch reactor. The reactions 1 and 2 follow the first order reaction kinetics for the concentrations of compounds A and B (denoted by  $C_A$  and  $C_B$ ), respectively, and  $k_1$  and  $k_2$  are the rate constants. The raw material contains only compound A, and the initial concentration is  $C_{A0}$ .

- (1) Express  $C_A$  as a function of time  $t$  using  $k_1$  and  $C_{A0}$ .
- (2) Express a change of  $C_B$  in a differential time,  $dC_B/dt$ , using  $k_1, k_2, C_A$ , and  $C_B$ .
- (3) Show that  $C_B$  is expressed as Eq. 1. If necessary, use a general solution (Eq. 2) for a linear differential equation:  $dC/dt + aC = Q(t)$ .  $a$  is a constant,  $Q(t)$  is a function of  $t$ , and  $Const.$  is a constant of integration.
- (4) The reaction operation is carried out at using the raw material ( $C_{A0} = 10 \text{ mol L}^{-1}$ ). Illustrate the changes in concentrations of compounds A and B during the first 40 min after the start of the reaction. At 323 K,  $k_1 = 0.10 \text{ min}^{-1}$  and  $k_2 = 0.025 \text{ min}^{-1}$  are given.



$$\text{式 1 Eq. 1: } C_B = \frac{k_1}{k_2 - k_1} C_{A0} (e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t})$$

$$\text{式 2 Eq. 2: } C = e^{-at} \left\{ \int e^{at} Q(t) dt + Const. \right\}$$

(2023年1月26日実施 / January 26, 2023)

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6 (Question 6)

成分 A, B 混合物中の成分 A の流束は,  $N_A = J_A + x_A (N_A + N_B) = -DC_t \frac{dx_A}{dy} + x_A (N_A + N_B)$  で表される。なお,  $N_i$

および  $x_i$  は成分 i のモル流束およびモル分率を,  $C_t, D$  は全モル濃度, 拡散係数を表す。

この  $N_A$  式を用いることで, 円管の底の液体(A)が蒸発し, 管内の空気(B)中を拡散し, 最上部から排出される際のモル流束 (Fig. 1 を参照) を求めたい。この液表面 ( $y = y_1$ ) でのガス相における成分 A のモル分率を  $x_1$  とし, 成分 B は溶液 A に溶解/放出されないとする。管外側は A と B の混合気体が流れており, 管トップ ( $y = y_2$ ) での A 成分の組成は  $x_2$  で一定とする。

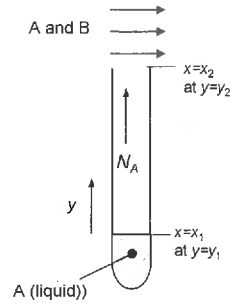


Fig.1

- (1)  $N_A$  式の右辺の  $J_A$  および  $x_A(N_A + N_B)$  の物理的意味, およびそれぞれの値の正負を述べよ。
- (2) 定常状態での成分 A のモル流束を表す式を導出せよ。
- (3) 成分 A が水, 成分 B が空気からなる系は, 圧力  $1.01325 \times 10^5$  Pa, 温度 293 K に保たれている。水分は蒸発し, 管内の距離  $y_2 - y_1 = 0.20$  m を拡散する。ただし, 空気中の水蒸気の拡散係数を  $0.25 \times 10^{-4}$   $\text{m}^2/\text{s}$ , 293 K での水蒸気圧は  $2.341 \times 10^3$  Pa とする。管外側は乾燥空気が流れており  $x_2 = 0$  とする。水の蒸発モル流束および物質移動係数  $k_c$  [m/s] を求めよ。

The total flux of component A in the mixture of A and B,  $N_A$ , can be expressed as the following equation:  
 $N_A = J_A + x_A (N_A + N_B) = -DC_t \frac{dx_A}{dy} + x_A (N_A + N_B)$ , where  $N_i$  and  $x_i$  are the molar flux and mole fraction of component i.  $C_t$  and  $D$  are the total mole concentration and the diffusivity. Using the  $N_A$  equation, we would like to obtain molar flux (see Fig. 1) when the liquid (A) at the bottom of a tube evaporates, diffuses through the air (B), and is exhausted from the top. Assume that the mole fraction of component A in the gas phase at the liquid surface ( $y = y_1$ ) is  $x_1$  and component B is not dissolved in/ released from the solution A. A mixture of A and B gases is flowing on the outside of the tube, and the composition of component A at the top of the tube ( $y = y_2$ ) is assumed to be constant at  $x_2$ .

- (1) Describe the physical meaning of the terms,  $J_A$  and  $x_A(N_A + N_B)$ , of the  $N_A$  equation, and answer if each term is positive or negative.
- (2) Derive an equation for the molar flux of component A at steady state.
- (3) The system consisting of water as component A and air as component B is kept atmospheric ( $1.01325 \times 10^5$  Pa) and isothermal at 293 K. Water vapor evaporates and diffuses through the air with the diffusion length,  $y_2 - y_1 = 0.20$  m. The diffusivity of water vapor at 293 K is  $0.25 \times 10^{-4}$   $\text{m}^2/\text{s}$ , and the vapor pressure of water is  $2.341 \times 10^3$  Pa. Assume air outside the tube is dry ( $x_2 = 0$ ). Calculate the molar flux of water vapor, and obtain mass-transfer coefficient,  $k_c$  [m/s].

2023年4月入学 (April 2023 Admission)

広島大学大学院先進理工系科学研究科博士課程前期 (外国人留学生特別選抜) 専門科目入学試験問題

## 問題用紙

Graduate School of Advanced Science and Engineering (Master's Programs), Hiroshima University

Entrance Examination Booklet (Special Selection for International Students)

## Question Sheets

(2023年1月26日実施 / January 26, 2023)

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~15時00分 (Examination Time : From 13:30 to 15:00)

### 受験上の注意事項

- (1) 問題用紙は表紙を含み2枚, 解答用紙は表紙を含み2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) 全問に日本語または英語で解答しなさい。
- (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 **2 question sheets** and **2 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) Answer all the questions in English or Japanese.
- (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.



2023年4月入学 (April 2023 Admission)

広島大学大学院先進理工系科学研究科博士課程前期 (外国人留学生特別選抜) 専門科目入学試験問題

Graduate School of Advanced Science and Engineering (Master's Programs), Hiroshima University

Entrance Examination Booklet (Special Selection for International Students)

(2023年1月26日実施 / January 26, 2023)

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
-----------------	-------------------------------------------	------------------	---------------------------------	---------------------------	---

小論文 Short essay

地球環境に配慮した、化学製品開発および化学製品の生産プロセス開発は今後ますます重要になる。それらについて以下の項目を論ぜよ。

- (1) 化学物質の資源循環と経済性の両立を目指した製品開発の重要性 (400字程度)
- (2) 化学物質の生産プロセス構築における脱炭素化あるいは省エネルギー化の重要性 (400字程度)

The development of chemical products and chemical production processes that are environmentally friendly will become increasingly important in the future. Discuss the following points.

- (1) Importance of product development aiming at both resource recycling and economic efficiency of chemical substances. (about 150 words)
- (2) Importance of decarbonization or energy saving in development of the chemical production processes. (about 150 words)