

## 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

(2024年1月25日実施 / January 25, 2024)

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 more than 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 sheets.
- (8) You may use a rented ruler if you need one.
- (9) Raise your hand if you have any questions.

## 2024年4月入学 (April 2024 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)

(2024年1月25日実施 / January 25, 2024)

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)

燃焼装置を用いて、硫黄 100 kg/h が空気 (体積比  $O_2 : N_2 = 21 : 79$ ) で燃焼され、 $SO_2$  および  $SO_3$  が生成している。生成した  $SO_3$  は水と反応させて  $H_2SO_4$  として燃焼生成ガス中から除去されるため、 $SO_3$  は装置の出口ガス中には含まれない。出口ガスの組成は  $SO_2$ : 15 mol%、 $O_2$ : 5 mol%、 $N_2$ : 80 mol% である。以下の問に答えよ。原子量は  $S=32$ 、 $O=16$ 、 $N=14$  とする。

- (1)  $SO_3$  に酸化した S の割合 [%] を求めよ。
- (2) 生成した  $SO_2$  の質量流量 [kg/h] を求めよ。
- (3) 過剰空気率 [%] を求めよ。
- (4) 標準状態 ( $0^\circ C$ 、1 気圧) における出口ガス流量 [ $m^3/min$ ] を求めよ。

Sulfur of 100 kg/h is burned with air (volume ratio  $O_2 : N_2 = 21 : 79$ ) using a combustion equipment, and  $SO_2$  and  $SO_3$  are produced.  $SO_3$  is reacted with water, and removed as  $H_2SO_4$  from the combustion product gas. Therefore,  $SO_3$  is not contained in outlet gas in the equipment. The composition of outlet gas is as follows:  $SO_2$ : 15 mol%,  $O_2$ : 5 mol%,  $N_2$ : 80 mol%. Answer the following questions. The atomic weight of each element is  $S=32$ ,  $O=16$ ,  $N=14$ .

- (1) Calculate the ratio of sulfur [%], which is oxidized to  $SO_3$ .
- (2) Calculate the mass flow rate of  $SO_2$  generated [kg/h].
- (3) Calculate the excess air ratio [%].
- (4) Calculate the volume flow rate of outlet gas [ $m^3/min$ ] at standard state ( $0^\circ C$ , 1 atm).

2024年4月入学 (April 2024 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)

(2024年1月25日実施 / January 25, 2024)

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)

以下の問に答えよ。関連する物理量に対する記号は適宜定義して使用せよ。

- (1) Hagen-Poiseuille 流れの速度分布を表わす式を、シェルバランス法、Navier-Stokes の式、あるいはその他の方法のいずれかを用いて導け。
- (2) (1)で得た式から、Hagen-Poiseuille 流れの平均速度を表す式を導け。
- (3) Hagen-Poiseuille 流れ中のせん断応力の半径方向分布を表す式を導け。

Answer the following questions. Define and use appropriate symbols for the relevant physical quantities.

- (1) Derive an equation that expresses the velocity distribution of the Hagen-Poiseuille flow by employing either the shell balance method, the Navier-Stokes equation, or any alternative approach.
- (2) Derive an equation for the average velocity of the Hagen-Poiseuille flow from the equation obtained in (1).
- (3) Derive an equation expressing the radial distribution of shear stress in the Hagen-Poiseuille flow.

## 2024年4月入学 (April 2024 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)

(2024年1月25日実施 / January 25, 2024)

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)

以下の問いに答えよ。

- (1) 純物質の  $\alpha$  相と  $\beta$  相の共存線の勾配を表す Clapeyron の式は a) 式で表される。ここで、 $\Delta H^{trs}$  と  $\Delta V^{trs}$  はそれぞれ相転移エンタルピーと相転移体積である。この式を導出せよ。

$$\frac{dp}{dT} = \frac{\Delta H^{trs}}{T\Delta V^{trs}} \quad \text{a)}$$

- (2) 水の三重点は 273.16 K, 612 Pa であり、この点における固体の密度は  $0.917 \text{ g cm}^{-3}$ 、液体の密度は  $1.000 \text{ g cm}^{-3}$ 、融解エンタルピーは  $6.008 \text{ kJ mol}^{-1}$  である。この点における融解曲線の勾配を求めよ。ただし、水のモル質量を  $18.015 \text{ g mol}^{-1}$  とする。
- (3) 圧力 101.3 kPa における水の沸点は 373.12 K であり、この点における蒸発エンタルピーは  $40.656 \text{ kJ mol}^{-1}$  である。圧力が 200 kPa のときの沸点を推定せよ。

Answer the following questions:

- (1) The Clapeyron equation, which represents the slope of the coexistence line between  $\alpha$  and  $\beta$  phases for a pure substance, is expressed by equation a), where  $\Delta H^{trs}$  and  $\Delta V^{trs}$  are the enthalpy of phase transition and the volume of phase transition, respectively. Derive this equation.

$$\frac{dp}{dT} = \frac{\Delta H^{trs}}{T\Delta V^{trs}} \quad \text{a)}$$

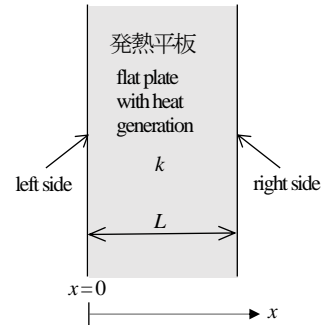
- (2) The triple point of water is 273.16 K, 612 Pa. At this point, the densities of solid and liquid phases are  $0.917 \text{ g cm}^{-3}$  and  $1.000 \text{ g cm}^{-3}$ , respectively, and the enthalpy of fusion is  $6.008 \text{ kJ mol}^{-1}$ . Calculate the slope of the melting curve of water at the triple point. Use  $18.015 \text{ g mol}^{-1}$  for the molar mass of water.
- (3) The boiling point of water at the pressure of 101.3 kPa is 373.12 K, and the enthalpy of vaporization is  $40.656 \text{ kJ mol}^{-1}$  at this point. Estimate the boiling point at the pressure of 200 kPa.

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)

図のように厚さ  $L$ 、熱伝導率が  $k$  の無限に広い平板が単位体積、単位時間当たり  $H$  の熱量で発熱している。伝熱は平板の  $x$  方向のみに生じ、平板の両面における対流伝熱は無視できる。また、熱伝導率  $k$  は一定とする。定常状態として、以下の問いに答えよ。

- (1) 平板両面の温度が  $T_w$  となっているとき、微小体積内の熱収支を考えることにより、平板内の温度分布式を求めよ。
- (2) (1)のとき、平板内における最高温度  $T_{\max 1}$  を表す式を導出せよ。
- (3) 平板左面の温度が  $T_1$ 、平板右面の温度が  $T_2$  となっている ( $T_1 > T_2$ ) とき、平板内の温度分布式を求めよ。
- (4) (3)のとき、平板内における最高温度  $T_{\max 2}$  を表す式を導出せよ。
- (5) (3)のとき、熱流束  $q(x)$  を位置  $x$  の関数として表せ。



As shown in the figure, an infinitely wide flat plate of thickness  $L$  and thermal conductivity  $k$  is heating at  $H$  of heat amount per unit volume and unit time. Heat transfer occurs only in the  $x$  direction of the plate, and convective heat transfer at both sides of the plate is negligible. The thermal conductivity  $k$  is assumed to be constant. Under steady state conditions, answer the following questions.

- (1) When the temperature on both sides of the flat plate is  $T_w$ , find the temperature distribution equation in the flat plate by considering the heat balance in the volume element.
- (2) In the case of (1), derive an expression for the maximum temperature  $T_{\max 1}$  in the flat plate.
- (3) When the temperature of the left side of the flat plate is  $T_1$  and the temperature of the right side of the flat plate is  $T_2$  ( $T_1 > T_2$ ), find the temperature distribution equation in the flat plate.
- (4) In the case of (3), derive an expression for the maximum temperature  $T_{\max 2}$  in the flat plate.
- (5) In the case of (3), express the heat flux  $q(x)$  as a function of position  $x$ .

2024年4月入学 (April 2024 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)

(2024年1月25日実施 / January 25, 2024)

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)

A→R となる定密度系の液相反応を一定の温度において行う。この反応の速度は、 $r_A = -kC_A$  で表され、 $r_A$  は反応速度 [mol/(L min)]、 $k$  は反応速度定数 [ $\text{min}^{-1}$ ]、 $C_A$  は物質 A の濃度 [mol/L] である。以下の問に答えよ。

- (1) 回分反応器を用いて 30 min 反応させた結果、 $C_A$  は初濃度( $C_{A0}$ )の 50% となった。反応速度定数  $k$  [ $\text{min}^{-1}$ ] を求めよ。
- (2) その回分反応器を用いて物質 A を 90% 反応させるのに必要な反応時間  $t$  [min] を求めよ。
- (3) 一つの連続槽型反応器を用い、この液相反応を行う。滞留時間 30 min にて操作すると、物質 A の転化率  $x_A$  [-] はいくらになるか。
- (4) 同じ連続槽型反応器を 2 つ直列に並べ、この液相反応を行う。各反応器での滞留時間を 30 min にすると、 $x_A$  [-] はいくらになるか。

A liquid phase reaction (A→R) is carried out without change in the liquid density at a constant temperature. The reaction rate is expressed as  $r_A = -kC_A$ , where  $r_A$  is a reaction rate [mol/(L min)],  $k$  is a reaction rate constant [ $\text{min}^{-1}$ ], and  $C_A$  [mol/L] is a concentration of the compound A. Answer the following questions.

- (1) After 30 min of the reaction in a batch reactor,  $C_A$  was 50% of the initial concentration of the compounds of A ( $C_{A0}$ ). Determine the reaction rate constant,  $k$  [ $\text{min}^{-1}$ ].
- (2) Determine the time,  $t$  [min], required to achieve 90% conversion of the compound A in the batch reactor.
- (3) This liquid phase reaction is carried out in a single continuous stirred tank reactor. Determine the conversion rate of the compound A,  $x_A$  [-], in the case of operation at 30 min of a residence time.
- (4) This liquid phase reaction is carried out in the two identical continuous stirred tank reactors in series. Determine the conversion rate of the compound A,  $x_A$  [-], in the case of operation at 30 min of a residence time in each reactor.

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)

メタノール/水混合液(供給濃度: メタノール 30 mol%、流量: 100 kmol/s、温度: 沸点)がフラッシュ蒸留塔(図1)あるいは連続蒸留塔(図2)で分離される。1 atm における気液平衡(温度:  $T$ 、メタノール液相モル分率:  $x$ 、気相モル分率:  $y$ )は解答用紙に与えられている。

- フラッシュ蒸留塔により 25 kmol/s で留出液を得る。平衡線図(解答用紙の図1)を用いて、塔頂および塔底での組成、およびフラッシュ蒸留塔の温度を求めよ。
- 連続蒸留で塔頂からメタノール 95 mol% を 25 kmol/s で留出液を得る。還流比  $R$  を 2 とする。平衡線図(解答用紙の図2)を用いて、McCabe-Thiele の作図法により所要理論段数および原料供給段を求めよ。また、供給段の温度、液相の組成、気相の組成を求めよ。
- 蒸留塔の必要エネルギーを求めたい。簡単のために、顕熱は潜熱に比べて無視できるものとし、モル蒸発潜熱  $\lambda$  (=30 kJ/mol) は組成によらず一定とする。凝縮器での冷却熱量  $q_c$  [kJ/s]、および加熱器での加熱量  $q_h$  [kJ/s] を、(1)のフラッシュ蒸留塔、および(2)の連続蒸留塔の場合でそれぞれ求めよ。

A liquid mixture of methanol/ water (methanol: 30 mol%, flow rate: 100 kmol/s, temperature: boiling point) is to be continuously separated either in flash distillation (Fig. 1) or continuous distillation (Fig. 2). Vapor-liquid equilibrium data at 1 atm are given in the answer sheet ( $T$ : temperature;  $x$ : methanol mole fraction in liquid phase,  $y$ : methanol mole fraction in gas phase).

- 25 kmol/s of distillate is to be separated by flash distillation column. Using the equilibrium diagram (Fig. 1 on the answer sheet), determine the composition at the top and bottom of the column and the temperature of the flash distillation column.
- 25 kmol/s of distillate (methanol: 95 mol%) is to be obtained by continuous distillation from the top of the column. The reflux ratio  $R$  is 2. Using the equilibrium diagram (Fig. 2 on the answer sheet), find the required theoretical number of stages and the feed stage using the McCabe-Thiele plotting method. Find the temperature and the compositions of the liquid phase and the gas phase in the feed stage.
- The required energy of a distillation column should be determined. For simplicity, we assume that sensible heat is negligible compared to latent heat and that the molar latent heat of evaporation,  $\lambda$  (=30 kJ/mol) is constant regardless of composition. Find the heat of cooling  $q_c$  [kJ/s] and the heat of heating  $q_h$  [kJ/s] in the condenser for the flash distillation column (in (1)) and the continuous distillation column (in (2)).

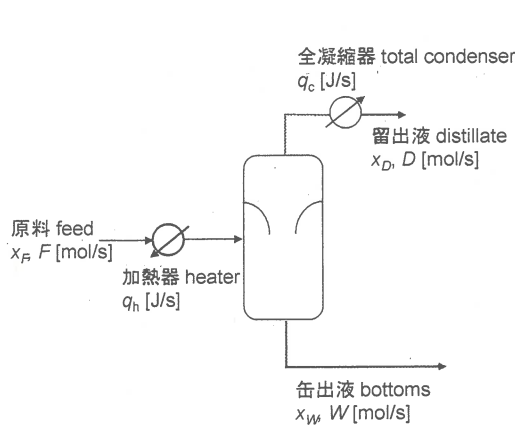


図1 フラッシュ蒸留  
Fig. 1 Flash distillation

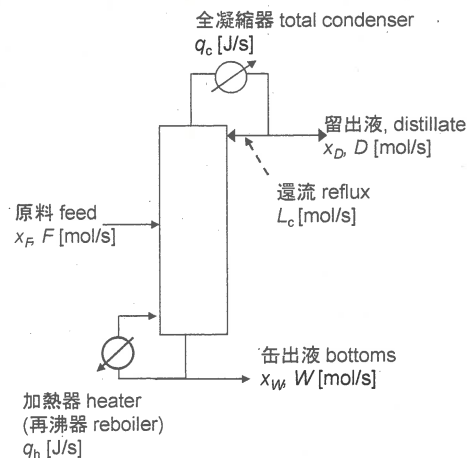


図2 連続蒸留  
Fig. 2 Continuous distillation

2024年4月入学 (April 2024 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

(2024年1月25日実施 / January 25, 2024)

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.



2024年4月入学 (April 2024 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)

(2024年1月25日実施 / January 25, 2024)

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

第5次産業革命とは、AI (Artificial Intelligence) やIoT (Internet of Things) などのデジタル技術を利用して産業変革を行う第4次産業革命に、環境への配慮や持続可能性を加えた概念である。第5次産業革命の概念に則った化学製品の製造プロセスについて論ぜよ。(800字程度)

The concept of Industry 5.0 (the Fifth Industrial Revolution) involves integrating environmental friendliness and sustainability into Industry 4.0, which uses digital technologies such as AI (Artificial Intelligence) and IoT (Internet of Things) for industrial transformation. Discuss the manufacturing processes of chemical products in accordance with the concepts of Industry 5.0. (about 300 words)