

問題用紙

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

Question Sheets

(2024 年 8 月 22 日実施 / August 22, 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 6 枚, 解答用紙は表紙を含み 6 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 1~5 の 5 問中から 4 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。(5 問解答した場合には得点のより低い 4 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 6 question sheets and 6 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 four specialized subjects among the following five 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 five specialized subjects, four 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.

(2024 年 8 月 22 日実施 / August 22, 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)

下図のようなプロセスでエタノールが反応(A)により合成されている。反応器および分離器の圧力は 1 atm であり、エタノールと水は分離器で完全に分離されている。原料ガスの組成は、 C_2H_4 : 30 mol%, C_2H_6 : 3 mol%, H_2O : 67 mol% であり、100 kmol/h で供給される。反応器の入口、出口のガス温度は 598.15 K である。原料ガスにはエタンが含まれているが、これは反応には関与しない。エチレンの単通転化率および総括転化率はそれぞれ 30% および 90% である。1 atm におけるエタノールの沸点は 351.5 K であり、その他の熱化学物性値は Table 1 に示す。以下の問いに答えよ。

- (1) 分離器出口の製品ガスであるエタノールと水の組成 [%] を求めよ。
- (2) パージガスおよびリサイクルガスのモル流量 [kmol/h] を求めよ。
- (3) 反応(A)の標準反応熱 [kJ/mol] および 598.15 K における反応熱 [kJ/mol] を求めよ。
- (4) 反応器で 1 時間あたりに除去すべき熱量 [kJ/h] を求めよ。

Ethanol is produced by reaction (A) in a process shown in the following figure. The pressure in the reactor and the separator is 1 atm and ethanol and water are completely separated in the separator. The composition of feed gas is as follows: C_2H_4 : 30 mol%, C_2H_6 : 3 mol%, H_2O : 67 mol%. The feed gas is fed at 100 kmol/h. The temperature of inlet and outlet gases is maintained at 598.15 K. Ethane contained in the feed does not react. The single pass conversion and the overall conversion of ethylene are 30% and 90%, respectively. The boiling point of ethanol at 1 atm is 351.5 K and the other thermal properties of gasses are shown in Table 1. Answer the following questions.

- (1) Obtain the composition [%] of ethanol and water, which are product gas at the separator exit.
- (2) Obtain the molar flow rate [kmol/h] of the purge and the recycle gas.
- (3) Obtain the standard heat of the reaction [kJ/mol] and the heat of the reaction [kJ/mol] at 598.15 K for the reaction (A).
- (4) Obtain the heat [kJ/h] removed from the reactor per 1 hour.

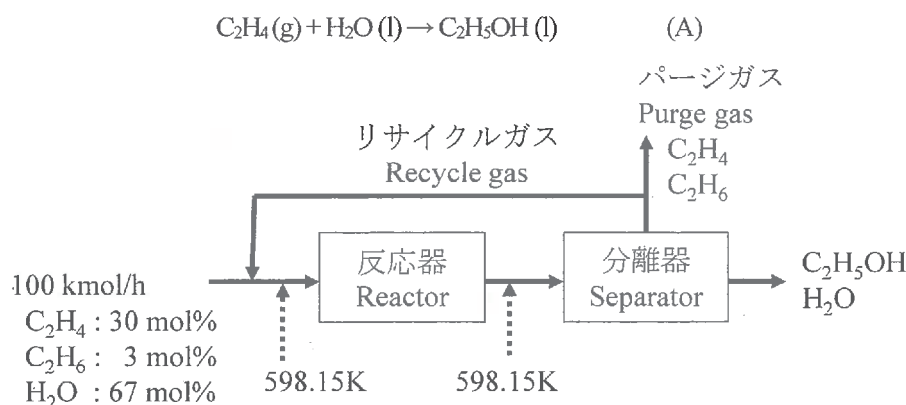


Table 1 . 熱物性値 Thermal properties

	State at 1 atm, 298.15 K	ΔH_f° [kJ/mol]	L_v° [kJ/mol]	\bar{C}_p [J/(mol·K)]
C_2H_4	Gas	52.2	—	58.4
C_2H_6	Gas	−84.0	—	71.4
C_2H_5OH	Liquid	−277.1	42.3	94.2
H_2O	Liquid	−285.8	44.0	35.0

ΔH_f° : 標準生成熱 Standard heat of formation

L_v° : 298.15 K における蒸発潜熱

Latent heat of vaporization at 298.15 K

\bar{C}_p : 298.15~598.15 K における平均定圧モル熱容量

Average molar heat capacity (298.15~598.15 K)

(2024 年 8 月 22 日実施 / August 22, 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)

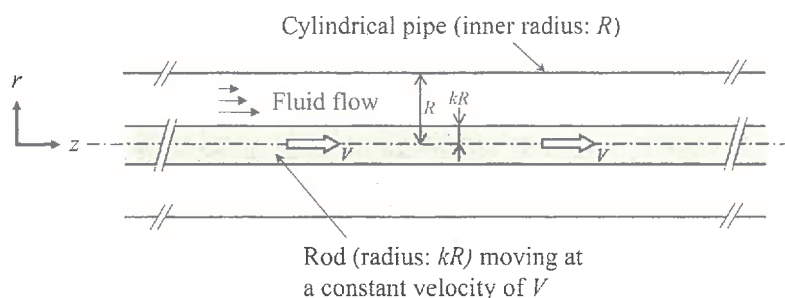
固定された円管の中心軸に沿って円管よりも細いロッドが存在する場合の、円管内壁とロッド外壁面の間の環状領域に満たされた非圧縮性ニュートン流体の流れについて考える。円管とロッドは十分に長く、図に示したとおり、円管の内半径は R 、ロッドの半径は kR ($0 < k < 1$) である。ロッドが軸方向 (z 方向) に一定速度 V ($V > 0$) で動き続けることで、定常で発達した層流が生じている。流体の圧力 (p)、粘度 (μ)、密度 (ρ) は、すべて一様一定とみなす。

- (1) 流体の運動量の z 方向成分の収支などから、式(A)が導かれる。式中の v_r, v_θ, v_z はそれぞれ r 方向 (半径方向)、 θ 方向 (接線方向)、 z 方向の流体速度で、 g_z は z 方向の重力加速度である。題意をふまえて、式(A)の項のなかで 0 である項を消去した式を示せ。
- (2) 題意をふまえて、(1)で得られた式に対する境界条件を示せ。
- (3) (1)と(2)の解答より、この流れの速度分布を導出せよ。
- (4) (3)の解答にもとづいて、 v_z の r に対する変化を表すグラフの概形を描け。その際、グラフの両端の座標と形状がわかるように描け。
- (5) この流れ中で働くせん断応力 τ の分布を求めて、 r に対する変化を表すグラフの概形を描け。その際、グラフの両端の座標と形状がわかるように描け。

Consider the flow of an incompressible Newtonian fluid filled in the annular region between the inner wall of a fixed cylindrical pipe and the outer wall of a rod thinner than the cylindrical pipe, which is present along the central axis of the cylindrical pipe. The cylindrical pipe and the rod are sufficiently long, and as shown in the figure, the inner radius of the cylindrical pipe is R , and the radius of the rod is kR ($0 < k < 1$). A steady, fully developed laminar flow is induced by the rod moving continuously in the axial direction (z -direction) at a constant velocity V ($V > 0$). The pressure (p), viscosity (μ), and density (ρ) of the fluid are all taken to be uniform and constant.

- (1) From the balance of the fluid momentum component in the z -direction and other considerations, Eq. (A) is derived. In this equation, v_r, v_θ , and v_z are the fluid velocities in the radial (r), tangential (θ), and z -directions, respectively, and g_z is the gravitational acceleration in the z -direction. Based on the given problem, present the equation obtained by eliminating the terms in Eq. (A) that are zero.
- (2) Based on the given problem, present the boundary conditions for the equation obtained in (1).
- (3) Derive the velocity distribution of this flow based on the solutions of (1) and (2).
- (4) Based on the results of (3), draw a schematic graph representing the variation of v_z with respect to r . In doing so, ensure that the coordinates at both ends and the shape of the graph are clearly indicated.
- (5) Determine the distribution of the shear stress τ acting in this flow, and draw a schematic graph representing its variation with respect to r . In doing so, ensure that the coordinates at both ends and the shape of the graph are clearly indicated.

$$\rho \left(\frac{\partial v_z}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_z}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial v_z}{\partial \theta} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) = - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left\{ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial v_z}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_z}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right\} + \rho g_z \quad (\text{A})$$



Figure

(2024 年 8 月 22 日実施 / August 22, 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)

図 1 (a), (b)に示すように, 熱伝導度 k_A および k_B の 2 種類の保温材を周りに施工した十分に長い長さ L の円筒がある。定常状態における半径方向の一次元熱伝導について以下の問いに答えよ。ただし, $k_A < k_B$ とし, 図 1 (a), (b)における円筒表面温度 T_1 と保温材の最外周部の温度 T_2 はそれぞれ同じとする ($T_1 > T_2$)。

- 図 1 (a)の場合において, 保温材 A と保温材 B の間の接触面に隙間はなく, その温度を T_i とする。保温材 A を通過する伝熱量 Q_A を T_i , T_1 , k_A , L を用いて示せ。
- (1)と同じ条件で, 図 1 (a)の保温材 B を通過する伝熱量 Q_B を T_i , T_2 , k_B , L を用いて示せ。
- 図 1 (a)の場合において, 保温材 2 枚を通過する伝熱量 Q_a を T_1 , T_2 , k_A , k_B , L を用いて示せ。
- 図 1 (a)と (b)の場合において, 保温性が良いのはどちらか。式を用いて説明せよ。

As shown in Figure 1 (a) and (b), there is a cylinder of sufficiently long length L with two types of insulations with thermal conductivity k_A and k_B constructed around it. Answer the following questions for one-dimensional heat conduction in the radial direction under steady state conditions. Assume that $k_A < k_B$, and that the surface temperature T_1 of the cylinder and the temperature T_2 at the outermost circumference of the insulation in Figure 1(a) and (b) are the same, respectively ($T_1 > T_2$).

- In Figure 1 (a), there is no gap in the contact surface between heat insulator A and B. Let T_i be the temperature between them. Show the quantity of heat transfer Q_A passing through heat insulator A using T_i , T_1 , k_A and L .
- Under the same conditions as (1), show the quantity of heat transfer Q_B passing through heat insulator B in Figure 1 (a) using T_i , T_2 , k_B , and L .
- In Figure 1 (a), show the quantity of heat transfer Q_a passing through the two heat insulators using T_1 , T_2 , k_A , k_B , and L .
- Comparing Figure 1(a) and (b), which has better heat insulation? Explain with equations.

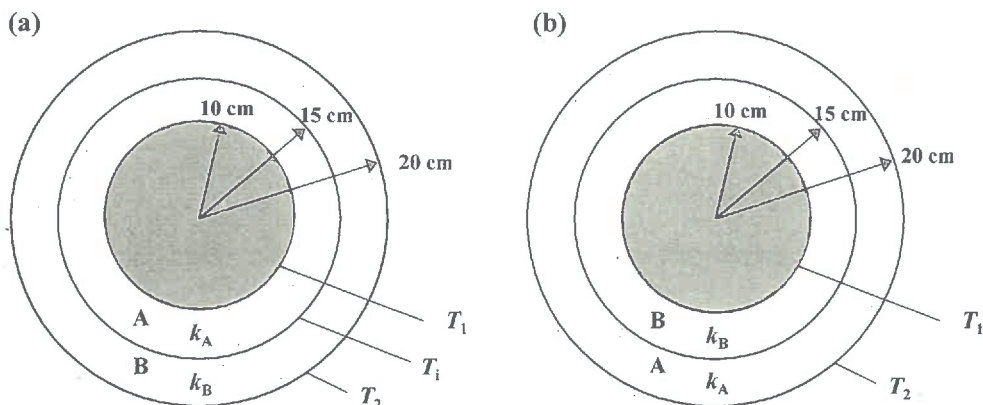


Figure 1

2024 年 10 月, 2025 年 4 月入学 (October 2024 and April 2025 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)

(2024 年 8 月 22 日実施 / August 22, 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 4 (Question 4)

ある理想気体 1.00 mol に対し、下の Table に示す定圧過程 ($A \rightarrow B$)、定容過程 ($B \rightarrow C$)、定温過程 ($C \rightarrow D$)、および断熱過程 ($D \rightarrow A$) の 4 つの可逆過程からなるサイクル変化を行った。以下の間に答えよ。

ただし気体定数は $R = 8.314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ とし、この気体の定圧モル熱容量は $C_{P,m} = (5/2)R$ とする。

- Table の(a)~(f)の値をそれぞれ求めよ。
- 定容過程 ($B \rightarrow C$) における内部エネルギー変化 ΔU 、エンタルピー変化 ΔH 、エントロピー変化 ΔS 、及び系が得た熱量 Q の値をそれぞれ求めよ。

For 1.00 mol of an ideal gas, a cyclic process consisting of four reversible processes, as shown in Table below, was performed: an isobaric process ($A \rightarrow B$), an isochoric process ($B \rightarrow C$), an isothermal process ($C \rightarrow D$), and an adiabatic process ($D \rightarrow A$). Answer the following questions. Assume that the gas constant is $R = 8.314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ and that the molar heat capacity at constant pressure for this gas is $C_{P,m} = (5/2)R$.

- Calculate the values of (a) to (f) in Table, respectively.
- For the isochoric process ($B \rightarrow C$), calculate the changes in internal energy ΔU , enthalpy ΔH , and entropy ΔS , as well as the heat Q obtained by the system, respectively.

Table 各状態点の値 / Values of each state point

状態点 State point	P [kPa]	V [dm ³]	T [K]
A	200	15.0	361
B	200	(a)	400
C	(b)	(c)	(d)
D	400	(e)	(f)

2024 年 10 月, 2025 年 4 月入学 (October 2024 and April 2025 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)

(2024 年 8 月 22 日実施 / August 22, 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)

充分な量の酸化剤がある条件下において、除草剤Zを酸化分解処理した。25°Cにおいて得られたデータは表1の通りであった。以下の問に答えよ。なお、必要ならば最小二乗法を用いても良い。

- (1) 除草剤Zの分解挙動は一次反応に従う。表1のデータを用いて除草剤Zの分解速度定数(k)を求めるためのグラフを描き、 k を求めよ。また、除草剤Zを99.9%分解するのに要する時間を推定せよ。
- (2) この酸化分解処理を40°C、60°C、90°Cにおいて行った結果、表2に示す除草剤Zの分解速度定数が得られた。アレニウスプロットを描き、除草剤Zの分解反応の活性化エネルギー(E)および頻度因子(A)を求めよ。なお、計算では、気体定数 $R = 8.314 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}$ を用いよ。
- (3) この促進酸化処理を120°Cで行った場合の分解速度定数(k)を求めよ。

The herbicide Z was treated by an oxidative decomposition method with sufficient amounts of the oxidizing agents. The data at 25°C are summarized in Table 1. Answer the following questions. If necessary, you may use the least squares method.

- (1) Degradation of the herbicide Z follows the first order reaction kinetics. Draw a graph using the data in Table 1 to determine the degradation rate constant (k), and determine k . In addition, estimate the time required to degrade 99.9% of herbicide Z.
- (2) This oxidative decomposition treatment was carried out at 40°C, 60°C and 90°C, and the degradation rate constants are obtained as shown in Table 2. Determine the activation energy (E) and the frequency factor (A) for the degradation reaction of herbicide Z by drawing the Arrhenius plot. Use the gas constant, $R = 8.314 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}$ for the calculation.
- (3) Estimate the degradation rate constant, when the advanced oxidation treatment is carried out at 120°C.

Table 1 酸化分解処理による除草剤Zの濃度の減少/Reduction of a concentration of the herbicide Z by the oxidative decomposition treatment

時間/Time [h]	0	2	4	8	12	24
濃度/Concentration [mol/L]	500	309	191	73.3	28.1	1.58

Table 2 異なる温度での除草剤Zの分解速度定数/Degradation rate constants of the herbicide Z at various temperatures.

温度/Temperature [°C]	25	40	60	90
分解速度定数/Degradation rate constant [1/h]	<input type="text"/> *	0.307	0.413	0.605

*(1)で求めた値/Value as determined in (1)

問題用紙

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

Question Sheets

(2024 年 8 月 22 日実施 / August 22, 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～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 6 枚, 解答用紙は表紙を含み 6 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 2-5 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。)
- (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 6 question sheets and 6 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 three specialized subjects among the following four specialized subjects (Questions 2-5) 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.)
- (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.

2024 年 10 月, 2025 年 4 月入学 (October 2024 and April 2025 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)

(2024 年 8 月 22 日実施 / August 22, 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
-----------------	---	------------------	------------------------------	---------------------------	---

問題 1 (Question 1)

次の 7 項の化学工学に関係する語句のうち、5 項を選び、それぞれ 100 から 200 字程度で説明せよ。なお、説明において式および図を使用してもよいが文字数には含めない。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 questions among the following 7 questions regarding chemical engineering terms, and explain each term by about 30-100 words in English. Equations and figures can be used, but are not counted in the number of words. If you choose 6 and more questions, 5 answers of lower scores are adopted.

(1)	化学ポテンシャルを使って一次相転移と二次相転移の違いを説明し、各相転移の体積と熱容量の変化を説明せよ。 Explain the difference between the first-order and the second-order phase transitions using the chemical potential and describe the volume and the heat capacity change for each phase transition.
(2)	数 mm 以下の液滴や気泡が流動すると物質移動係数が大きくなる理由をシャーウッド数の物理的意味を使って説明せよ。 Use the physical meaning of the Sherwood number to explain why the flow of droplets or bubbles of a few mm or less results in a high mass transfer coefficient.
(3)	高分子の代表的な結晶には、折り畳み結晶、球晶、伸び切り鎖結晶がある。それらの結晶構造の特徴を説明せよ。また、結晶性高分子が高速成形されるとシシカバブ構造が生成されるがその構造が作られる理由を定性的に説明せよ。 Typical crystals of polymers include folded crystals, spherulites, and elongated chain crystals. Explain the characteristics of those crystal structures. Also, explain qualitatively why the shishkabob structure is formed when crystalline polymers are molded at a high speed.
(4)	凝縮伝熱の Nusselt の液膜理論における伝熱抵抗は、何によって決定されるかを説明せよ。 Explain what determines the heat transfer resistance in Nusselt's film theory of condensation heat transfer.
(5)	乱流における混合距離の物理的意味を説明せよ。また、混合距離と壁からの距離の関係について説明せよ。 Explain the physical meaning of the mixing length for turbulent flow. Also, explain the relationship between the mixing length and the distance from the wall.
(6)	柱の座屈荷重に影響を及ぼす要素を 4 つ説明せよ。 Explain four factors that affect the buckling load of a column.
(7)	回帰分析における決定係数の定義を説明せよ。 Explain the definition of the coefficient of determination in regression analysis.

(2024 年 8 月 22 日実施 / August 22, 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
-----------------	---	------------------	------------------------------	---------------------------	---

問題 2 (Question 2)

図に示すように、高さ (電極板間距離) H 、長さ L 、幅 W の平行平板型電気集じん装置に、 q (>0) に帯電した球形粒子 (粒子径 D_p 、粒子密度 ρ_p) が希薄濃度でガスと共に供給されている。また、粒子に働くクーロン力と流体抵抗のつり合いによって、球形粒子は一定の移動速度 v_t で長さ L 、幅 W の捕集板 (電極板) へと移動する。以下の問に答えよ。ただし、ガスは装置内で一様な流速分布を持つとする。粒子運動はストークスの抵抗則に従うとし、カニングガムの補正係数は 1 とする。また、重力の影響は無視できるものとする。ガス流量は Q 、電極板間印加電圧は V 、流体密度は ρ_f 、流体粘度は μ を使用せよ。

- (1) 球形粒子の移動速度 v_t を表す式を導出せよ。
- (2) 電気集じん装置内で、粒子混合があり、ガス流れに直行する方向に粒子濃度が一様である場合について、この装置の粒子捕集効率 η を表す式を導出せよ。
- (3) 電気集じん装置内で、ガス流れに乱れがなく、粒子混合がない場合について、以下の問に答えよ。
 - (a) この装置の粒子捕集効率 η を表す式を導出せよ。
 - (b) この装置の分離限界粒子径 D_{pc} を表す式を導出せよ。

As shown in figure, spherical particles (particle diameter D_p , particle density ρ_p) charged with q (>0) are supplied with gas in a dilute concentration to a parallel plate electrostatic precipitator of height (distance between electrode plates) H , length L and width W . Due to the balance of the Coulomb force and drag force exerted on the spherical particles, they are moving to the collecting plate (electrode plate) of length L and width W at a constant moving velocity v_t . Answer the following questions. Here, the gas is assumed to have a uniform velocity distribution in the device. Assume that the particle motion is subject to Stokes' law of resistance, and Cunningham's correction factor should be set to 1. The effect of gravity is negligible. Use Q for the gas flow rate, V for the applied voltage between the electrode plates, ρ_f for the fluid density and μ for the fluid viscosity.

- (1) Derive an expression for the moving velocity v_t of a spherical particle.
- (2) Derive an expression for the particle collection efficiency η of this electrostatic precipitator for the case where the particle mixing occurs and the particle concentration is uniform for the direction perpendicular to the gas flow in this device.
- (3) Answer the following questions for the case where there is no turbulence in the gas flow and the particle mixing in this electrostatic precipitator.
 - (a) Derive an expression for the particle collection efficiency η of this device.
 - (b) Derive an expression for the critical separation particle size D_{pc} of this device.

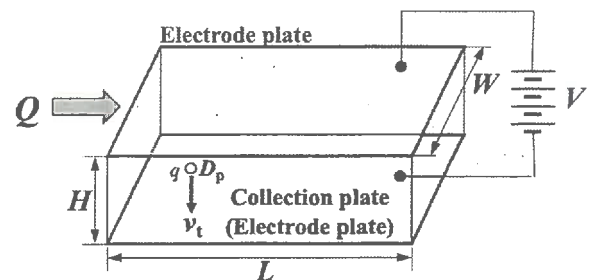


Figure Parallel plate electrostatic precipitator

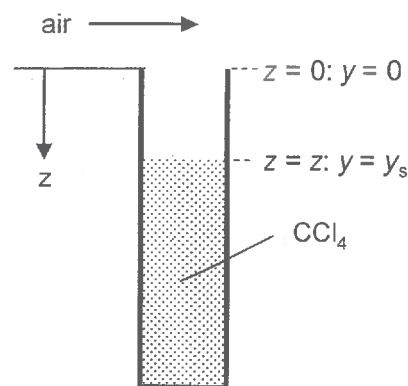
(2024 年 8 月 22 日実施 / August 22, 2024)

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

問題 3 (Question 3)

図に示す細い試験管 (断面積 S [m²]: 一定) に CCl₄ を注入すると、CCl₄ は蒸発し時間とともに液面は低下する。この液面の変化速度から、CCl₄ の空気中の拡散係数を求める。ただし、試験管は等温に保たれ、試験管の上部を十分な流量の空気 (全圧 760 mmHg) が流れており、試験管の直上での CCl₄ 濃度はゼロに近似できるとして以下の問に答えよ。

- (1) 蒸発した CCl₄ は気相部分 (長さ z) を拡散し、試験管上部に達する。このときの CCl₄ のモル流束 N_A を表す式をシェルバランス法により導出せよ。ただし、空気中における CCl₄ の拡散係数を D [m²/s]、CCl₄ のモル分率を $z=0$ で $y=0$ 、 $z=z$ で $y=y_s$ 、全モル濃度を C [mol/m³] とする。
- (2) 液面の変化速度を用いモル流束 N_A を定式化せよ。ただし、CCl₄ の液密度を ρ [g/m³]、CCl₄ の分子量を M_w [g/mol] とする。
- (3) (1)と(2)のモル流束式より導かれる z と t の微分方程式を、 $t=t_1$ で $z=z_1$ 、 $t=t_2$ で $z=z_2$ の境界条件により解け。
- (4) (3)において $t=0$ で $z=6.6$ mm、 $t=3$ h で $z=17.7$ mm の時の拡散係数 D [m²/s] を求めよ。ただし、CCl₄ の分子量を 154 g/mol、CCl₄ 液密度を 1.53 g/cm³、試験管温度は 47°C でその温度における飽和蒸気圧を 284 mmHg とする。



Figure

When CCl₄ is injected into the thin test tube (cross-sectional area S [m²]: constant) shown in the figure, CCl₄ evaporates and the liquid level decreases with time. From the rate of change of the liquid level, the diffusion coefficient of CCl₄ in air can be obtained. Answer the following questions by assuming that the test tube is isothermal, that a sufficient flow of air (total pressure 760 mmHg) is flowing over the top of the test tube, and that the concentration of CCl₄ just above the test tube can be approximated to zero.

- (1) The evaporated CCl₄ diffuses through the gas phase portion (length z) and reaches the top of the test tube. Derive an expression for the molar flux N_A of CCl₄ by the shell balance method. Assuming that the diffusion coefficient of CCl₄ in air is D [m²/s], the mole fraction of CCl₄ is $y=0$ at $z=0$, $y=y_s$ at $z=z$, and the total molar concentration is C [mol/m³].
- (2) Formulate the molar flux N_A using the rate of change of the liquid surface. Let the liquid density of CCl₄ be ρ [g/m³] and the molecular weight of CCl₄ be M_w [g/mol].
- (3) From the molar flux equations in (1) and (2), solve the differential equations for z and t with boundary conditions $z=z_1$ at $t=t_1$ and $z=z_2$ at $t=t_2$.
- (4) In (3), obtain the diffusion coefficient D [m²/s] when $z=6.6$ mm at $t=0$, and $z=17.7$ mm at $t=3$ h. The molecular weight of CCl₄ is 154 g/mol, liquid density of CCl₄ is 1.53 g/cm³, the test tube temperature is 47°C, and the saturation vapor pressure of CCl₄ at 47°C is 284 mmHg.

(2024 年 8 月 22 日実施 / August 22, 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
-----------------	---	------------------	------------------------------	---------------------------	---

問題 4 (Question 4)

1. 周期 2π の関数である $f(x) = \begin{cases} -2 & (-\pi < x \leq 0) \\ 1 & (0 < x \leq \pi) \end{cases}$, $f(x+2\pi) = f(x)$ のフーリエ級数を求めよ。
2. 図に示す制御系のブロック線図について、以下の間に答えよ。
 - (1) 入力 R および伝達関数 $C(s)$, $P(s)$, $G_1(s)$, $G_2(s)$ を用いて、出力 Y を表せ。
 - (2) 入力 R から出力 Y への伝達関数 $G(s)$ が次式で与えられている。入力 R がステップ状に 1 変化した時のオフセットを求めよ。

$$G(s) = \frac{6}{s+8} e^{-2s}$$

1. Find the Fourier series of $f(x) = \begin{cases} -2 & (-\pi < x \leq 0) \\ 1 & (0 < x \leq \pi) \end{cases}$, $f(x+2\pi) = f(x)$, a function of period 2π .

2. Answer the following questions for the block diagram of the control system shown in figure.

- (1) Express the output Y using the input R and the transfer functions $C(s)$, $P(s)$, $G_1(s)$ and $G_2(s)$.
- (2) The transfer function $G(s)$ from input R to output Y is given by the following equation. Find the offset when the input R changes stepwise by 1.

$$G(s) = \frac{6}{s+8} e^{-2s}$$

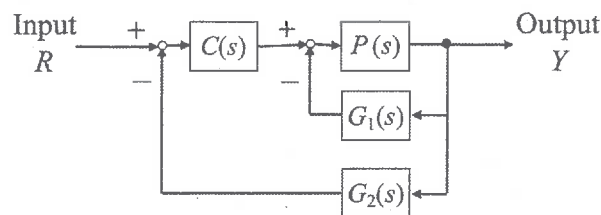


Figure Control system

2024 年 10 月, 2025 年 4 月入学 (October 2024 and April 2025 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)

(2024 年 8 月 22 日実施 / August 22, 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
-----------------	---	------------------	------------------------------	---------------------------	---

問題 5 (Question 5)

生物化学的酸素要求量 (BOD) が 200 mg/L である下水 43,200 m³/d が曝気槽容積 16,000 m³ の標準活性汚泥プロセスにより処理され、処理水は河川に放流されている。

- (1) このプロセスは、BOD-活性汚泥浮遊物質 (MLSS) 負荷 0.25 kg-BOD/(kg-MLSS · d) で運転されている。曝気槽内の MLSS 濃度 [mg/L] を計算せよ。
- (2) このプロセスにおいて、BOD が 100% 除去された場合における余剰汚泥発生量 (ΔS [kg/d]) を計算せよ。ただし、除去 BOD の汚泥転換率 $a = 0.5$ 、内生呼吸による汚泥の自己酸化率 $b = 0.05 \text{ d}^{-1}$ とする。なお、余剰汚泥発生量は以下の式を使って計算できる。

$$\Delta S = a L_r - b S_a$$
 ここで、 L_r : 除去 BOD 量 [kg/d]、 S_a : 曝気槽内汚泥量 [kg] である。
- (3) この余剰汚泥発生量を 50% 削減するためには、曝気槽内の MLSS 濃度をいくらにすればよいか。
- (4) 処理水放流後の河川水中の BOD を 3.0 mg/L 以下に維持するためには、処理施設の BOD 除去率 [%] をいくらに設定すればよいか。ここで、河川流量は 5.0 m³/s、処理水混合前の河川中の BOD は 2.6 mg/L である。また、処理水を河川に放流後、直ちに河川水と完全混合されるものとする。

A conventional activated sludge process with 16,000 m³ of aeration tank is operated to treat the sewage with 200 mg/L of biochemical oxygen demand (BOD) at 43,200 m³/d, and the treated sewage is discharged into a river.

- (1) Derive a mixed liquor suspended solid (MLSS) concentration [mg/L] of the aeration tank, when a BOD-MLSS loading is set to be 0.25 kg-BOD/(kg-MLSS · d).
- (2) Derive an amount of excess sludge (ΔS [kg/d]) produced in the process in the case of 100% of the BOD removal efficiency. Assume a sludge conversion rate of removed BOD, $a = 0.5$, and a specific endogenous respiration decay coefficient, $b = 0.05 \text{ d}^{-1}$. The amount of excess sludge can be calculated using the following equation.

$$\Delta S = a L_r - b S_a$$
 where L_r : the amount of BOD removed [kg/d], S_a : the amount of sludge in the aeration tank [kg].
- (3) Derive a MLSS concentration in the aeration tank to reduce the amount of excess sludge to 50%.
- (4) Derive a removal rate [%] of BOD by the activated sludge process to accomplish BOD less than 3.0 mg/L in the river water after discharge of the treated sewage. The flow rate of the river water is 5.0 m³/s and BOD in the river before the mixing with the treated sewage is 2.6 mg/L. Assume that the treated sewage is completely mixed with the river water immediately after discharging.