

問題用紙

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

Question Sheets

(2023年8月24日実施 / August 24, 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, 貸与する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 cover 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 the approved ruler if you need one.
- (9) Raise your hand if you have any questions.

2023年10月, 2024年4月入学 (October 2023 and 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 (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)

(2023年8月24日実施 / August 24, 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1 (Question 1)

プロパン (C_3H_8) を空気とともに燃焼器において大気圧下で完全燃焼させる。プロパンと空気 (O_2 : 21 mol%, N_2 : 79 mol%) は 1 : 33 のモル比率で 308.15 K で供給され、燃焼ガスは燃焼器から出るものとする。燃焼器の外壁は断熱材で覆われ、外部への熱の移動はないものとする。Table に与えられた熱化学物性値を用いて、以下の間に答えよ。ただし、平均モル熱容量は標準状態から燃焼温度の領域まで一定とする。

- (1) プロパンを 100 mol/h で供給したときの燃焼ガスにおける各成分のモル流量 [mol/h] を求めよ。
- (2) 過剰空気率 [%] を求めよ。
- (3) プロパンの標準反応熱 [kJ/mol] を求めよ。
- (4) プロパンを 100 mol/h で供給したときの燃焼器に流入するガスのエンタルピー [kJ/h] を求めよ。
- (5) プロパンを 100 mol/h で供給したときの燃焼ガスの温度 [K] を求めよ。

Propane gas (C_3H_8) is completely burned in a combustion reactor with air under atmospheric pressure. Propane and air (O_2 : 21 mol%, N_2 : 79 mol%) with a molar ratio of 1: 33 are fed at the temperature of 308.15 K into the combustion reactor and combustion gas is left from the reactor after combustion. The outer wall of the combustion reactor is covered with insulation and there is no heat transfer to the outside. Answer the following questions using the value of the thermal properties of materials as shown in Table. The average molar heat capacity is assumed to be constant from the standard state to the region of combustion temperature.

- (1) Obtain the molar flow rate [mol/h] of each composition in output gases after combustion, when propane is fed at 100 mol/h.
- (2) Calculate the excess air ratio [%].
- (3) Calculate the standard heat of reaction [kJ/mol] for propane.
- (4) Calculate the enthalpy [kJ/h] of gas fed to the combustion reactor, when propane is fed at 100 mol/h.
- (5) Calculate the temperature [K] of combustion gas, when propane is fed at 100 mol/h.

Table 熱化学物性値 Thermal properties of materials

化学式 Chemical formula	状態 State at 298.15 K	標準生成熱 Standard heat of formation, ΔH_f° [kJ/mol]	平均モル熱容量 (気体) Average molar heat capacity of gas at constant pressure, C_p [J/(mol·K)]
C_3H_8	Gas	-104	150
O_2	Gas	—	30
N_2	Gas	—	30
CO_2	Gas	-394	50
H_2O	Gas	-242	35

2023年10月、2024年4月入学 (October 2023 and 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 (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)

(2023年8月24日実施 / August 24, 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)

以下の問に答えよ。

- (1) 水平に置かれた内径 D の直円管の長さ L の区間を、流体が平均速度 $\langle v \rangle$ で流れるときの単位質量あたりのエネルギー損失 \hat{E}_v [J/kg] は、 $\hat{E}_v = 4f \left(\frac{L}{D} \right) \left(\frac{1}{2} \langle v \rangle^2 \right)$ (f は Fanning の流体摩擦係数) で表せる。水平に置かれた内径 0.1 m、長さ 10 m の直円管に、水 (密度 1,000 kg/m³、粘度 0.001 Pa·s) が 1 時間あたり 10 m³ の流量で流れているときの \hat{E}_v を求めよ。ここで、 f は層流では $f = 16/\text{Re}$ 、乱流では $f = 0.0791 \text{Re}^{-1/4}$ で表されると仮定せよ。
- (2) (1) の管の片端が大きなタンクに接続されていて、管に水が流量 10 m³/h で流れ込んでいる。この接続部分におけるエネルギー損失 $\hat{E}_{v,\text{in}}$ [J/kg] を求めよ。ここで、この接続部分の摩擦損失係数は 0.5 と仮定せよ。
- (3) (2) の接続部分の相当長さ (相当管長) を求めよ。

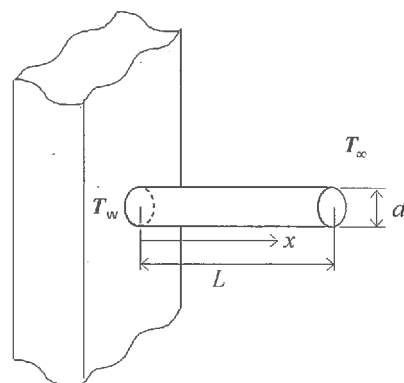
Answer the following questions.

- (1) The energy loss per unit mass, \hat{E}_v [J/kg], when the fluid flows at an average velocity $\langle v \rangle$ through a portion of length L of a straight circular pipe of inner diameter D placed horizontally can be expressed by $\hat{E}_v = 4f \left(\frac{L}{D} \right) \left(\frac{1}{2} \langle v \rangle^2 \right)$, where f is the Fanning's friction factor. Calculate \hat{E}_v for water (density 1,000 kg/m³, viscosity 0.001 Pa·s) running at a flow rate of 10 m³ per hour in a horizontally-placed straight circular pipe of 0.1 m inner diameter and 10 m length. Assume that f is expressed as $f = 16/\text{Re}$ for laminar flow and $f = 0.0791 \text{Re}^{-1/4}$ for turbulent flow, respectively.
- (2) One end of the pipe described in (1) is connected to a larger tank, and water flows into the pipe there at a flow rate of 10 m³/h. Find the energy loss $\hat{E}_{v,\text{in}}$ [J/kg] at this connection. Assume that the friction loss factor of this connection is 0.5.
- (3) Find the equivalent pipe length for the connection described in (2).

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)

図に示す直径 d 、長さ L のフィンについて考える。このフィンの根本の温度は T_w 、周囲流体の温度は T_∞ であり ($T_w > T_\infty$)、このフィン内の x 方向の一次元定常熱伝導を考える。フィン内部の発熱はなく、フィン先端からの放熱は無視できる。定常状態において、以下の間に答えよ。ただし、フィンの熱伝導率を k 、周囲流体とフィン表面間の熱伝達率を h とし、いずれも一定と仮定する。



Figure

- (1) フィンの微小区間 (シェル) におけるエネルギー収支を考える。以下の間に答えよ。
 - (i) 熱伝導によりシェルに流入出する伝熱量をフーリエの式を用いて、それぞれ記載せよ。
 - (ii) 熱伝達によりフィン表面から放熱する伝熱量を表す式を記載せよ。
 - (iii) (i)(ii)より、シェルにおけるエネルギー収支式を導け。
- (2) 境界条件を示せ。
- (3) フィンの温度分布式を導出せよ。
- (4) フィンが $L=300\text{ mm}$ 、 $d=10\text{ mm}$ で、 $T_w=370\text{ K}$ 、 $T_\infty=300\text{ K}$ とする。フィンの材料が銅合金 (熱伝導率 355 W/(m K)) とステンレス鋼 (熱伝導率 16 W/(m K)) のそれぞれの場合において、フィンからの放熱量 $Q[\text{W}]$ を求めよ。ただし、熱伝達率は $50\text{ W/(m}^2\text{ K)}$ とする。
- (5) (4)の条件において、銅合金とステンレス鋼のフィンの長さに対する放熱量の変化の概形を、解答用紙のグラフ中に描け。グラフは、銅合金とステンレス鋼の放熱量の大小関係の違いが分かるようにせよ。

Consider a fin of diameter d and length L shown in Figure. The temperature at the root of the fin is T_w and the temperature of the ambient fluid is T_∞ ($T_w > T_\infty$), and we consider one-dimensional steady-state heat conduction in the x direction within this fin. No heat is generated inside the fin, and heat dissipation from the fin tip is negligible. Under steady state conditions, answer the following questions. Assume that the thermal conductivity of the fin is k and the heat transfer coefficient between the ambient fluid and the fin surface is h , both constant.

- (1) Consider the energy balance in a slab (shell) of a fin. Answer the following questions.
 - (i) Describe the rate of heat transferred into and out of the shell by heat conduction, respectively, using Fourier's equation.
 - (ii) Give an expression for the rate of heat loss from the fin surface by heat transfer.
 - (iii) Derive the energy balance equation for the shell from (i) and (ii).
- (2) Show the boundary conditions.
- (3) Derive the temperature distribution equation for the fin.
- (4) Assume that the $L=300\text{ mm}$, $d=10\text{ mm}$, $T_w=370\text{ K}$, and $T_\infty=300\text{ K}$. Find the rate of heat loss from the fin $Q[\text{W}]$ for each of the materials of the fin: copper alloy (thermal conductivity 355 W/(m K)) and stainless steel (thermal conductivity 16 W/(m K)). Here, the heat transfer coefficient is $50\text{ W/(m}^2\text{ K)}$.
- (5) Under the conditions of (4), draw in the graph on your answer sheet the change in heat loss versus the length of the fin for the copper alloy and stainless steel. The graph should show the difference in heat loss between the copper alloy and stainless steel.

2023年10月, 2024年4月入学 (October 2023 and 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 (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)

(2023年8月24日実施 / August 24, 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4 (Question 4)

式 (1) に示す物質 A と B の間の均一気相反応について以下の間に答えよ。なお、298.15 K、101.3 kPa における両物質の標準生成熱 ΔH_f° と絶対エントロピー S° は Table の通りとする。

- 298.15 K における標準反応熱 ΔH_{298}° 、標準反応エントロピー ΔS_{298}° 、および標準反応 Gibbs エネルギー ΔG_{298}° を求めよ。
- 標準反応熱と標準反応エントロピーが一定であると仮定して、373.15 K における標準反応 Gibbs エネルギー ΔG_{373}° 、および平衡定数 K_{373} を求めよ。
- 373.15 K、202.6 kPa において A のみを反応器に供給して化学平衡に到達させたときの各成分のモル分率を求めよ。ただし、これらの気体は理想気体とみなしてよい。

Answer the following questions on the homogeneous vapor-phase reaction between two substances A and B shown in Eq. (1). The standard heat of formation ΔH_f° , and the absolute entropy S° for each substance at 298.15 K and 101.3 kPa are listed in Table.

- Calculate the standard heat of reaction ΔH_{298}° , the standard entropy of reaction ΔS_{298}° , and the standard Gibbs energy of reaction ΔG_{298}° at 298.15 K.
- Calculate the standard Gibbs energy of reaction ΔG_{373}° and the equilibrium constant of this reaction K_{373} at 373.15 K. You can assume that the standard heat of reaction and the standard entropy of reaction are constant.
- Calculate the mole fraction of each substance in chemical equilibria at 373.15 K and 202.6 kPa when only A is fed in a reactor. You can assume that the substances are ideal gases.

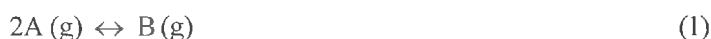


Table · Physicochemical properties of substances

物質 Substance	ΔH_f° [kJ/mol]	S° [J/(mol·K)]
A (g)	-110	100
B (g)	-200	250

2023年10月, 2024年4月入学 (October 2023 and 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 (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)

(2023年8月24日実施 / August 24, 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5 (Question 5)

523 K にて操作された定容回分反応器において、純粋な気体 A の均一気相反応 (Reaction 1) を行い、Table に示す結果を得た。以下の間に答えよ。

- (1) それぞれの反応時間 t における転化率 x_A を計算し、その値を解答用紙の表に記入せよ。
- (2) 反応を 0 次反応、1 次反応、2 次反応と仮定し、それぞれのケースでの t と x_A の関係式を求めよ。
- (3) この均一気相反応は 1 次反応に従うことがわかった。解答用紙にグラフを書き、反応速度定数を求めよ。

In a constant-volume batch reactor operated at 523 K, a homogeneous gas phase reaction of pure gaseous A (Reaction 1) was carried out, and the results shown in Table were obtained. Answer the following questions.

- (1) Estimate the conversion x_A at each reaction time t and write the values in the table on the answer sheet.
- (2) Assuming that the reaction obeys zero, first, or second order reaction kinetics, derive the corresponding equations that express relationship between t and x_A .
- (3) This homogeneous gas phase reaction was found to obey the first order reaction kinetics. Determine the rate constant by drawing a graph in the answer sheet.



Table 523 K における気体 A の分解試験データ/Data of the decomposition experiment of gaseous A at 523 K.

反応時間, Reaction time t [min]	0	3	6	12	30
全圧, Total pressure P_T [kPa]	30.2	37.2	44.3	55.7	75.4

問題用紙

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

Question Sheets

(2023年8月24日実施 / August 24, 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~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, 貸与する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 cover 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 the approved ruler if you need one.
- (10) Raise your hand if you have any questions.

2023年10月, 2024年4月入学 (October 2023 and 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 (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)

(2023年8月24日実施 / August 24, 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
-----------------	---	------------------	------------------------------	---------------------------	---

問題1 (Question 1)

次の7項の化学工学に関する語句のうち、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)	ディリクレ境界条件およびノイマン境界条件となる化学プロセスの境界条件の例をそれぞれ示せ。 Give examples of boundary conditions for chemical processes where the Dirichlet and the Neumann boundary conditions apply, respectively.
(2)	ギブスの相律の関係式 $F = C - P + 2$ (成分数 C 、相数 P 、自由度 F) が相平衡状態で成立することを示せ。 Show that the Gibbs phase rule: $F = C - P + 2$ (number of components C , number of phases P , degrees of freedom F) holds in a phase equilibrium state.
(3)	円管内に擬塑性流体とニュートン流体を層流状態で定常流動させた場合の速度分布の違いを説明せよ。 Explain the difference in velocity distribution between a quasi-plastic fluid and a Newtonian fluid flowing in a circular tube under steady-state laminar flow conditions.
(4)	Michaelis-Menten 式の図解法である Lineweaver-Burk プロット (L-B プロット) の概略図を書け。また、L-B プロットを用いて、最大反応速度と Michaelis 定数を求める手順を説明せよ。 Draw a schematic of the Lineweaver-Burk plot (L-B plot), which is a graphical representation of the Michaelis-Menten equation. Also, explain the procedure for obtaining the limiting rate and Michaelis constant using the L-B plot.
(5)	粒子径分布の概略図を書き、粒子径分布におけるメジアン径とモード径をそれぞれ説明せよ。 Draw a schematic diagram of the particle size distribution and explain the median diameter and mode diameter in the particle size distribution, respectively.
(6)	モールの応力円の概略図を描き、モールの応力円を用いて平面応力状態における最大主応力と最大せん断応力を求める手順を説明せよ。 Draw a schematic of a Mohr's stress circle and explain the procedure for obtaining the maximum principal stress and the maximum shear stress in a two-dimensional state of stress using the Mohr's stress circle.
(7)	強制対流および自然対流において、Nusselt 数の関数となる無次元数をそれぞれすべて答えよ。また、円管内の定常伝熱において、流体物性および流体の主流温度と管内壁温度が既知のとき、Nusselt 数を用いて温度境界層内の熱流束を求める手順を説明せよ。 Answer all dimensionless numbers that are functions of the Nusselt number in forced and natural convection, respectively. Also, explain the procedure for obtaining the heat flux in the thermal boundary layer using the Nusselt number for steady-state heat transfer in a circular tube, assuming that the fluid physical properties, the fluid bulk temperature, and the tube inner wall temperature are known.

(2023年8月24日実施 / August 24, 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
-----------------	---	------------------	------------------------------	---------------------------	---

問題2 (Question 2)

繊維層フィルタに関する以下の問に答えよ。

- 一様な速度で流れるガス中のダスト粒子が直径 D の円柱で捕集される場合、円柱に接触する上下2本の粒子軌跡の内部を移動する粒子は、すべて円柱に衝突捕集されると仮定できる (Figure)。上流における上下2本の粒子軌跡の間隔を h とし、円柱の孤立捕集効率 η_1 を表す式を導出せよ。
- (1) において、円柱の代わりに直径 D の球を設置した場合の孤立捕集効率 η_2 を表す式を導出せよ。
- ダストを含むガスが、断面積 S 、厚さ L のフィルタを空塔速度 u で通過する。このフィルタは直径 D_f の円柱状繊維で構成され、ガスは繊維に対して直交に流入している。ダスト濃度を C 、繊維層の空隙率を ε 、円柱状繊維の孤立捕集効率を η_0 とし、厚さ ΔL の微小区間における単位時間当たりのダストの収支を表す式を導出せよ。
- フィルタの集じん率 E を表す式を、(3) で求めた収支式を用いて導出せよ。
- (4) において、 $D_f = 10 \mu\text{m}$ 、 $\varepsilon = 0.20$ の時のフィルタの集じん率 E を 99.5% とする。 $D_f = 15 \mu\text{m}$ 、 $\varepsilon = 0.25$ の時の集じん率を求めよ。ただし、 η_0 、 L は一定とせよ。

Answer the following questions regarding the fibrous filter.

- When dust particles in a gas flowing uniformly are collected by a cylinder of diameter D , it can be assumed that all particles moving between the upper and lower two particle trajectories that are in contact with the cylinder are collected by impact on the cylinder (Figure). Express the isolated collection efficiency η_1 of the cylinder, here h is the distance between the upper and lower two particle trajectories upstream.
- Derive an expression for the isolated collection efficiency η_2 when a sphere of diameter D is placed instead of the cylinder for (1).
- The gas containing dust penetrates a fibrous filter of cross-sectional area S , and thickness L at a superficial velocity u . The filter consists of cylindrical fibers of diameter D_f , and the gas passes perpendicular to the fibers. Derive an expression for the mass balance of the dust per unit time in a section of thickness ΔL , using the dust concentration C , the porosity ε of the fiber layer and the isolated collection efficiency of the cylindrical fibers η_0 .
- Derive an equation for the dust collection efficiency E of the filter using the balance equation obtained in (3).
- When $D_f = 10 \mu\text{m}$, $\varepsilon = 0.20$, the dust collection efficiency E of the filter is 99.5% for (4). Find the dust collection efficiency when $D_f = 15 \mu\text{m}$, $\varepsilon = 0.25$. Assume that η_0 and L are fixed.



Figure Dust collection system

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)

吸収成分(CO₂)の液相および気相のモル分率を x, y 、また、それぞれの相における平衡濃度を x^*, y^* と表す。

(1) 気液界面における吸収機構として、二重境膜モデルが汎用される。

(1-1) 境膜厚み δ 、拡散係数 D 、全モル濃度を C_t とするとき、モル分率基準での液相物質移動係数 k_x を導出せよ。なお、吸収ガス成分の気相および液相濃度は十分希薄としてよい。

(1-2) 純 CO₂ ガスおよび CO₂/N₂ 混合ガスの水への吸収を行なう。この際のそれぞれの二重境膜における濃度分布 (CO₂, N₂) を CO₂ 濃度の記号 ($x, y; x^*, y^*$) と共に描け。なお、N₂ は水に溶解しないと考える。

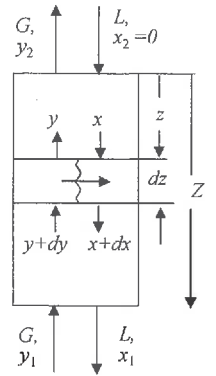
(2) 図に示すように、吸収塔(塔高 Z) に、塔断面積あたり流量 L [mol/(m² s)] で上部より吸収液が、下部より吸収ガスが流量 G [mol/(m² s)] で供給されている。充填物の気液界面積を a [m²/m³]、塔断面積を S [m²] とする。吸収ガスとして純 CO₂ を使い、液相濃度をモル分率 $x_2=0$ から x_1 まで CO₂ を吸収させる。吸収液として純水を使い、CO₂ のヘンリー定数を m とし、水蒸気圧は無視してよい。

(2-1) この吸収操作で気相および液相濃度の変化を、平衡線とともに x - y 線上に図示せよ。

(2-2) 微小区間 $z \sim z + dz$ での物質収支として、気相から液相へ吸収が起こり、その結果として液相濃度が $x \sim x + dx$ に変化したと考える。CO₂ の物質収支を表す微分方程式を立式せよ。

(2-3) (2-2)の微分方程式を $z=0$ から $z=Z$ まで積分することで、液相中の CO₂ 濃度 x を表す式を導出し、 x が z 方向にどのように変化するか概略図を用いて説明せよ。

(2-4) 塔高 Z で積分することで、移動単位数 NTU および移動単位高さ HTU を導出せよ。さらに、その物理的意味を説明せよ。



The mole fractions of the absorbate (CO₂) in the liquid and gas phases are expressed as x and y , and those of the equilibrium concentrations in each phase are denoted as x^* and y^* , respectively.

(1) Two-film theory is commonly used as the absorption mechanism at the gas-liquid interface.

(1-1) Given the boundary film thickness δ , diffusion coefficient D , and total molar concentration C_t , derive the liquid phase mass transfer coefficient k_x (mole fraction basis). The concentrations of the absorbed gas in gas and liquid phase are sufficiently dilute.

(1-2) In absorption of pure CO₂ gas and CO₂/N₂ mixture into water, draw the concentration distribution (CO₂, N₂) in each boundary layer using the symbols ($x, y; x^*, y^*$) for the CO₂ concentration. Note that N₂ is considered to be insoluble in water:

(2) As shown in the figure, in an absorption column (height Z), the absorbent (liquid) from the top and absorbate (gas) from the bottom are fed at a flow rate of L [mol/(m² s)] and G [mol/(m² s)] per column cross-sectional area, respectively. The gas-liquid interfacial area of the packing is a [m²/m³] and the cross-sectional area of the column is S [m²]. Pure CO₂ is used as the absorbate, and CO₂ is absorbed with a liquid phase concentration from mole fraction $x_2=0$ to x_1 . Pure water is used as the absorbent, Henry constant of CO₂ is m , and the water vapor pressure can be neglected.

(2-1) Graphically show the changes in vapor and liquid phase concentrations during this absorption operation on the x - y chart, along with the equilibrium line.

(2-2) As the mass balance in the interval z to $z + dz$, consider that absorption occurs from the gas phase to the liquid phase, resulting in a change in the concentration of the liquid phase from x to $x + dx$. Equate the differential equation for the mass balance of CO₂.

(2-3) Integrate the differential equation in (2-2) from $z=0$ to $z=Z$ to derive an expression for the concentration of CO₂ in the liquid phase, x , and explain how x changes in the direction of z using a schematic diagram.

(2-4) Derive the number of transfer units, NTU, and the height of transfer units, HTU, by integrating over the column height Z . In addition, explain their physical meanings.

2023年10月, 2024年4月入学 (October 2023 and 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 (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)

(2023年8月24日実施 / August 24, 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
-----------------	---	------------------	------------------------------	---------------------------	---

問題4 (Question 4)

1. 式(1)の微分方程式の初期値問題を解け。

$$\frac{d^2 y}{dx^2} + 3 \frac{dy}{dx} + 2y = 12e^{2x}, \quad y|_{x=0} = 6, \quad \left. \frac{dy}{dx} \right|_{x=0} = -6 \quad (1)$$

2. あるプラントの伝達関数 $G_P(s)$ が次式で与えられている。以下の間に答えよ。なお、角速度は ω で表せ。

- (a) 伝達関数 $G_P(s)$ のゲインと位相を求めよ。
 (b) 伝達関数 $G_P(s)$ のベクトル線図の概略を図示せよ。

$$G_P(s) = \frac{1}{2s(1+4s)}$$

1. Solve the initial value problem of a differential equation with its initial conditions shown in Eq. (1).

$$\frac{d^2 y}{dx^2} + 3 \frac{dy}{dx} + 2y = 12e^{2x}, \quad y|_{x=0} = 6, \quad \left. \frac{dy}{dx} \right|_{x=0} = -6 \quad (1)$$

2. The transfer function of a plant, $G_P(s)$, is given as follows. Answer the following questions. Here, the angular velocity is represented by ω .

- (a) Show the gain and the phase of the transfer function, $G_P(s)$.
 (b) Draw the outline of the vector diagram of the transfer function, $G_P(s)$.

$$G_P(s) = \frac{1}{2s(1+4s)}$$

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)

環境水中の化学物質管理においては、水道水質基準値に基づき環境基準値を設定し、その10倍濃度が排水基準値として設定されている。環境水中の化学物質管理に関して、以下の間に答えよ。

- (1) 毒性に関する閾値が存在する化学物質と閾値が存在しない化学物質では、水道水質基準の設定方法が異なる。それぞれ、どのように基準が設定されるか説明せよ。
- (2) マウスを用いた90日間の物質Aの飲水投与試験を行った。肝細胞腫瘍が発生したマウスの割合を下表に示す。用量反応曲線を描き、無毒性量 (NOAEL)、最小毒性量 (LOAEL) を図中に示せ。
- (3) 飲水投与試験の結果に基づき、物質Aの耐容一日摂取量を導出せよ。試験に用いたマウスの平均体重は20gである。種差および個体差に対してそれぞれ10の不確実性係数を適用せよ。
- (4) 物質Aの水道水質基準を導出せよ。ただし、飲料水を經由した摂取割合20%、体重50kg、飲料水量2L d⁻¹とする。
- (5) F工場の排水は活性汚泥処理されている。処理水中に物質Aが排出基準値以上に残存しており、その低減のために回分反応槽でのオゾン処理を適用する。オゾンによる物質Aの分解反応は、物質Aの濃度およびオゾンの濃度のそれぞれに対して1次反応、全体として2次反応である。物質Aの排水基準値が $x \text{ mg L}^{-1}$ 、処理水中の物質Aの濃度が $10x \text{ mg L}^{-1}$ 、反応槽中のオゾン濃度が 0.5 mg L^{-1} で一定、25°Cでの物質Aのオゾンによる分解反応速度定数 k が $1.2 \text{ L mg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ であるとき、25°Cにおいて、物質Aの濃度を排出基準値の1/2までオゾン処理するために要する反応時間を求めよ。

In the management of chemicals in water environment, environmental quality standards are set based on drinking water standards and then effluent standards are set as 10 times of the environmental quality standards. Answer the following questions on the management of chemicals in water environment.

- (1) Water quality standards are set differently for chemicals with and without toxicity thresholds. Explain how to set the water quality standards in each case.
- (2) A 90-day drinking water administration study using mice was conducted for the chemical A. The percentages of mice in which hepatocellular tumors developed are shown in the table below. Draw a dose-response curve for the chemical A and indicate no observed adverse effect level (NOAEL) and lowest observed adverse effect level (LOAEL) in the figure.
- (3) Derive the tolerable daily intake of the chemical A based on the results of the 90-day drinking water administration study. The mean weight of mice used is 20 g. Apply an uncertainty factor of 10 to cover each of interspecies and interindividual differences.
- (4) Derive the drinking water standard for the chemical A. Assume that 20% of the tolerable daily intake is allocated to drinking water and an adult weighing 50 kg drinks 2 L d⁻¹ of water.
- (5) The wastewater in the F factory is treated with an activated sludge process. The chemical A remains in the treated wastewater above the effluent standard, and therefore ozone treatment in a batch reactor is applied to reduce its concentration. Decomposition reaction of the chemical A by ozone is the first-order reaction with respect to each ozone and the chemical A concentrations and totally follows the second-order reaction kinetics. Assuming that the effluent standard of the chemical A is $x \text{ mg L}^{-1}$, that the chemical A concentration in the treated wastewater is $10x \text{ mg L}^{-1}$, that ozone concentration in the reactor is kept at 0.5 mg L^{-1} during the reaction, and that the decomposition reaction rate constant for the chemical A by ozone is $1.2 \text{ L mg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ at 25 °C, determine the ozonation time required to reduce the concentration of the chemical A to one-half of the effluent standard at 25 °C.

表 90日間の物質Aの飲水投与試験結果 Table Results of the 90-day drinking water administration study for the chemical A.

投与量 Dose (mg d ⁻¹)	0.001	0.01	0.1	1.0	10	100
反応率 Response (%)	0	0	0	5	50	80