

(English Instructions are provided in Page 2)

(修士課程用)

令和 4 年度

東京大学大学院新領域創成科学研究科
環境システム学専攻

注意事項

(専門科目 A)

令和 3 年 8 月 17 日 (火) 14 時 00 分～15 時 00 分

1. 試験開始の合図があるまで、問題冊子を開かないこと。
2. 問題は 4 ページから成っている。前半は日本語版で、後半は英語版である。落丁、乱丁、印刷不鮮明の箇所などがあつた場合には申し出ること。
3. 解答用紙と草稿用紙に受験番号を記入せよ。氏名を記入してはならない。
4. 専門科目 A と記載された解答用紙 (2 枚) を使用すること。
5. すべての解答用紙に、解答する問題番号を明示すること。
6. 解答に関係のない記号、符号などを記入した答案は無効とする。
7. 草稿用紙は 1 枚使用して構わない。

(日本語の注意事項は 1 ページ目に記載)

Master Course

Entrance Examination 2022

Department of Environment Systems
Graduate School of Frontier Sciences
The University of Tokyo

Instructions

(Specialized Subject A)

17 August, 2021 14:00–15:00

1. Do not open the problem booklet until the examiner instructs you to do so.
2. The problem consists of 4 pages. The first half is Japanese version and the second half is English version. If you find pages missing or blurred printing in this booklet, notify an examiner immediately.
3. Write your examinee number in the specified space of each answer sheet and sheet for notes. Do not write your name in them.
4. Use two answer sheets described as Specialized Subject A.
5. Specify the problem number on each answer sheet.
6. Any answer sheets with marks or symbols irrelevant to your answers will be considered invalid.
7. You can use one sheet for notes.

令和 4 年度入学試験
Entrance Examination 2022

東京大学大学院新領域創成科学研究科
環境システム学専攻
Department of Environment Systems
Graduate School of Frontier Sciences
The University of Tokyo

問題冊子

Problem Booklet

(専門科目 A)

(Specialized Subject A)

- ・ この問題冊子は試験終了後回収する。
オンライン試験の受験者は、試験終了後このファイルを削除すること。
This problem booklet will be collected after the examination.
Applicants taking the online examination must delete this file after the examination.

受験番号 : _____
Examinee number:

(受験番号を記入せよ)
(Write your examinee number.)

専門科目 A

日本語版 Japanese version

以下の A1～A3 のうちから一つを選び、文章を読んだうえで、下線部について、関連する具体的事例を挙げつつ、自分の意見や考えを含めて論じよ。なお、解答にあたっては、選択した文章の番号（A1 など）を解答用紙の問題番号の欄に記入すること。

A1: Humans continue to transform the global nitrogen cycle at a record pace, reflecting an increased combustion of fossil fuels, growing demand for nitrogen in agriculture and industry, and pervasive inefficiencies in its use. Much anthropogenic nitrogen is lost to air, water, and land to cause a cascade of environmental and human health problems. Simultaneously, food production in some parts of the world is nitrogen-deficient, highlighting inequities in the distribution of nitrogen-containing fertilizers. Optimizing the need for a key human resource while minimizing its negative consequences requires an integrated interdisciplinary approach and the development of strategies to decrease nitrogen-containing waste. (Galloway et al., 2008, *Science*, **320**, 889–892 の一部)

A2: Many of the issues which arise in the course of the interaction between science or technology and society--e.g., the deleterious side effects of technology, or the attempts to deal with social problems through the procedures of science--hang on the answers to questions which can be asked of science and yet which cannot be answered by science. I propose the term trans-scientific for these questions since, though they are, epistemologically speaking, questions of fact and can be stated in the language of science, they are unanswerable by science; they transcend science. In so far as public policy involves trans-scientific rather than scientific issues, the role of the scientist in contributing to the promulgation* of such policy must be different from his role when the issues can be unambiguously answered by science. (Weinberg, 1972, *Minerva*, **10**, 209–222 の一部)

* the process of spreading beliefs or ideas among a lot of people

A3: We must account for the depreciation of natural capital in appraising wealth. This is the value of net losses to natural resources, such as minerals, fossil fuels, forests and similar sources of material and energy inputs into our economy. If we use up more natural capital to produce economic output today, then we have less for production tomorrow. At the same time, we are also squandering valuable ecological capital — ecosystems provide important goods and services to the economy, such as recreation, flood protection, nutrient uptake, erosion control, water purification and carbon sequestration. By converting and degrading ecosystems, we are depreciating this important ecological capital endowment. (Barbier, 2014, *Nature*, **515**, 32–33 の一部)

（これで日本語版の問題は終わりです）

Specialized Subject A

English version 英語版

Choose one of the 3 extracts (A1, A2, or A3) below, and read the entire extract you have chosen. Then, discuss the opinion indicated by the underline. Use related case examples and include your personal opinion. Be sure to write the number of the extract you have chosen (A1 etc.) in the problem number box on your answer sheets.

A1: Humans continue to transform the global nitrogen cycle at a record pace, reflecting an increased combustion of fossil fuels, growing demand for nitrogen in agriculture and industry, and pervasive inefficiencies in its use. Much anthropogenic nitrogen is lost to air, water, and land to cause a cascade of environmental and human health problems. Simultaneously, food production in some parts of the world is nitrogen-deficient, highlighting inequities in the distribution of nitrogen-containing fertilizers. Optimizing the need for a key human resource while minimizing its negative consequences requires an integrated interdisciplinary approach and the development of strategies to decrease nitrogen-containing waste. (From Galloway et al., 2008, *Science*, **320**, 889–892)

A2: Many of the issues which arise in the course of the interaction between science or technology and society--e.g., the deleterious side effects of technology, or the attempts to deal with social problems through the procedures of science--hang on the answers to questions which can be asked of science and yet which cannot be answered by science. I propose the term trans-scientific for these questions since, though they are, epistemologically speaking, questions of fact and can be stated in the language of science, they are unanswerable by science; they transcend science. In so far as public policy involves trans-scientific rather than scientific issues, the role of the scientist in contributing to the promulgation* of such policy must be different from his role when the issues can be unambiguously answered by science. (From Weinberg, 1972, *Minerva*, **10**, 209–222)

* the process of spreading beliefs or ideas among a lot of people

A3: We must account for the depreciation of natural capital in appraising wealth. This is the value of net losses to natural resources, such as minerals, fossil fuels, forests and similar sources of material and energy inputs into our economy. If we use up more natural capital to produce economic output today, then we have less for production tomorrow. At the same time, we are also squandering valuable ecological capital — ecosystems provide important goods and services to the economy, such as recreation, flood protection, nutrient uptake, erosion control, water purification and carbon sequestration. By converting and degrading ecosystems, we are depreciating this important ecological capital endowment. (From Barbier, 2014, *Nature*, **515**, 32–33)

(The end of the problem)

(English Instructions are provided in Page 2)

(修士課程用)

令和 4 年度

東京大学大学院新領域創成科学研究科
環境システム学専攻

注意事項
(専門科目 B)

令和 3 年 8 月 17 日 (火) 16 時 00 分～17 時 30 分

1. 試験開始の合図があるまで、問題冊子を開かないこと。
2. 問題は 40 ページから成っている。前半は日本語版で、後半は英語版である。落丁、乱丁、印刷不鮮明の箇所などがあった場合には申し出ること。
3. 解答用紙と草稿用紙に受験番号を記入せよ。氏名を記入してはならない。
4. 専門科目 B は 5 つの問題から成る。問題 1 を必ず選択するとともに、残りの 4 問（問題 2～5）の中から 1 問を選択しなければならない。
5. 専門科目 B と記載された解答用紙のうち、4 枚を問題 1 に、4 枚を選択した問題に使用すること。
6. すべての解答用紙に、解答する問題番号を明示すること。
7. 解答に関係のない記号、符号などを記入した答案は無効とする。
8. 草稿用紙は 2 枚使用して構わない。

(日本語の注意事項は 1 ページ目に記載)

Master Course

Entrance Examination 2022

Department of Environment Systems
Graduate School of Frontier Sciences
The University of Tokyo

Instructions

(Specialized Subject B)

17 August, 2021 16:00–17:30

1. Do not open the problem booklet until the examiner instructs you to do so.
2. The problem file consists of 40 pages. The first half is Japanese version and the second half is English version. If you find pages missing or blurred printing in this booklet, notify an examiner immediately.
3. Write your examinee number in the specified space of each answer sheet and sheet for notes. Do not write your name in them.
4. Specialized Subject B consists of five problems. Problem 1 is mandatory, and from the remaining four problems (Problems 2 to 5), you must choose one additional problem to answer.
5. Use the answer sheets described as Specialized Subject B. Use four answer sheets for Problem 1 and four answer sheets for your selected Problem.
6. Specify the problem number on each answer sheet.
7. Any answer sheets with marks or symbols irrelevant to your answers will be considered invalid.
8. You can use two sheets for notes.

修士課程
Master Course

令和 4 年度入学試験
Entrance Examination 2022

東京大学大学院新領域創成科学研究科
環境システム学専攻
Department of Environment Systems
Graduate School of Frontier Sciences
The University of Tokyo

問題冊子

Problem Booklet

(専門科目 B)

(Specialized Subject B)

- ・ この問題冊子は試験終了後回収する。
オンライン試験の受験者は、試験終了後このファイルを削除すること。
This problem booklet will be collected after the examination.
Applicants taking the online examination must delete this file after the examination.

受験番号： _____
Examinee number:

(受験番号を記入せよ)
(Write your examinee number.)

専門科目 B

日本語版 Japanese version

(問題 1 を選択するとともに、
残りの 4 問 (問題 2 から 5 まで) の中から 1 問を選択すること)

1

- (1) ある濃度計測器の計測誤差が平均 $0\ \mu\text{mol/L}$ 、標準偏差 $0.5\ \mu\text{mol/L}$ の正規分布に従うことがわかっているとき、以下の問いに答えよ。必要であれば次ページの表中の値を用いてよい。導出過程も示すこと。
- (1-1) この計測器で、同じサンプルを 5 回計測したところ、結果は
 $49.9\ \mu\text{mol/L}$ 、 $50.5\ \mu\text{mol/L}$ 、 $49.8\ \mu\text{mol/L}$ 、 $49.9\ \mu\text{mol/L}$ 、 $50.4\ \mu\text{mol/L}$
であった。サンプル濃度の最良推定値はいくらか。
- (1-2) この計測器で、別のあるサンプルを 1 回計測した時、計測値は $50.0\ \mu\text{mol/L}$ であった。サンプル濃度の推定値の 95%信頼区間を示せ。
- (1-3) あるサンプルについて、濃度の推定値の 95%信頼区間の幅を $0.2\ \mu\text{mol/L}$ 未満にするには何回計測すればよいか。

(専門科目 B の問題 1 は次ページに続く)

標準正規分布表

表中の数字は、平均 0、標準偏差 1 の正規分布に従う変数 X が z 以上の値を取る確率を表す。例えば、 X が 1.53 以上の値を取る確率は 0.06301 である。

		z の小数第2位									
		0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
z の小数第1位まで	0	0.50000	0.49601	0.49202	0.48803	0.48405	0.48006	0.47608	0.47210	0.46812	0.46414
	0.1	0.46017	0.45621	0.45224	0.44828	0.44433	0.44038	0.43644	0.43251	0.42858	0.42466
	0.2	0.42074	0.41683	0.41294	0.40905	0.40517	0.40129	0.39743	0.39358	0.38974	0.38591
	0.3	0.38209	0.37828	0.37448	0.37070	0.36693	0.36317	0.35942	0.35569	0.35197	0.34827
	0.4	0.34458	0.34090	0.33724	0.33360	0.32997	0.32636	0.32276	0.31918	0.31561	0.31207
	0.5	0.30854	0.30503	0.30153	0.29806	0.29460	0.29116	0.28774	0.28434	0.28096	0.27760
	0.6	0.27425	0.27093	0.26763	0.26435	0.26109	0.25785	0.25463	0.25143	0.24825	0.24510
	0.7	0.24196	0.23885	0.23576	0.23270	0.22965	0.22663	0.22363	0.22065	0.21770	0.21476
	0.8	0.21186	0.20897	0.20611	0.20327	0.20045	0.19766	0.19489	0.19215	0.18943	0.18673
	0.9	0.18406	0.18141	0.17879	0.17619	0.17361	0.17106	0.16853	0.16602	0.16354	0.16109
	1	0.15866	0.15625	0.15386	0.15151	0.14917	0.14686	0.14457	0.14231	0.14007	0.13786
	1.1	0.13567	0.13350	0.13136	0.12924	0.12714	0.12507	0.12302	0.12100	0.11900	0.11702
	1.2	0.11507	0.11314	0.11123	0.10935	0.10749	0.10565	0.10384	0.10204	0.10027	0.09853
	1.3	0.09680	0.09510	0.09342	0.09176	0.09012	0.08851	0.08692	0.08534	0.08379	0.08226
	1.4	0.08076	0.07927	0.07780	0.07636	0.07493	0.07353	0.07215	0.07078	0.06944	0.06811
	1.5	0.06681	0.06552	0.06426	0.06301	0.06178	0.06057	0.05938	0.05821	0.05705	0.05592
	1.6	0.05480	0.05370	0.05262	0.05155	0.05050	0.04947	0.04846	0.04746	0.04648	0.04551
	1.7	0.04457	0.04363	0.04272	0.04182	0.04093	0.04006	0.03920	0.03836	0.03754	0.03673
	1.8	0.03593	0.03515	0.03438	0.03363	0.03288	0.03216	0.03144	0.03074	0.03005	0.02938
	1.9	0.02872	0.02807	0.02743	0.02680	0.02619	0.02559	0.02500	0.02442	0.02385	0.02330
	2	0.02275	0.02222	0.02169	0.02118	0.02068	0.02018	0.01970	0.01923	0.01876	0.01831
	2.1	0.01786	0.01743	0.01700	0.01659	0.01618	0.01578	0.01539	0.01500	0.01463	0.01426
	2.2	0.01390	0.01355	0.01321	0.01287	0.01255	0.01222	0.01191	0.01160	0.01130	0.01101
	2.3	0.01072	0.01044	0.01017	0.00990	0.00964	0.00939	0.00914	0.00889	0.00866	0.00842
	2.4	0.00820	0.00798	0.00776	0.00755	0.00734	0.00714	0.00695	0.00676	0.00657	0.00639
	2.5	0.00621	0.00604	0.00587	0.00570	0.00554	0.00539	0.00523	0.00509	0.00494	0.00480
	2.6	0.00466	0.00453	0.00440	0.00427	0.00415	0.00403	0.00391	0.00379	0.00368	0.00357
	2.7	0.00347	0.00336	0.00326	0.00317	0.00307	0.00298	0.00289	0.00280	0.00272	0.00264
	2.8	0.00256	0.00248	0.00240	0.00233	0.00226	0.00219	0.00212	0.00205	0.00199	0.00193
	2.9	0.00187	0.00181	0.00175	0.00170	0.00164	0.00159	0.00154	0.00149	0.00144	0.00140
	3	0.00135	0.00131	0.00126	0.00122	0.00118	0.00114	0.00111	0.00107	0.00104	0.00100

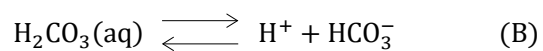
(専門科目 B の問題 1 は次ページに続く)

(2) 雨水に大気中の二酸化炭素 CO_2 が十分溶け込んだ場合の pH が 5.6 であるため、pH5.6 が酸性雨の指標となっている。

(2-1) 大気中の CO_2 が式(A)に従い水に溶け込んでいるとき、水中の炭酸の濃度 $[\text{H}_2\text{CO}_3]$ 、 CO_2 の分圧 P 、 CO_2 の水への溶解の Henry 定数 H (M/atm) の間の関係式を示せ。ただし、 M は mol/L を表す。

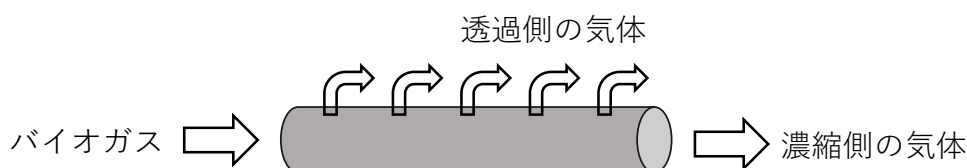


(2-2) 式(B)の平衡定数が K であるとき、雨水の pH を P 、 H 、 K を用いて表せ。 CO_2 の水への溶け込みは平衡に達しているとする。導出過程も示せ。



(専門科目 B の問題 1 は次ページに続く)

(3) 生ゴミを微生物が分解することで発生するバイオガスから、膜分離装置によって二酸化炭素を取り除いてメタンを濃縮したい。バイオガスには体積比で二酸化炭素が 40%、メタンが 60%含まれていた。面積 S (m^2)の膜を備えた下図のような装置を用いて分離を行ったところ、濃縮側（膜を透過しなかった側）の気体に含まれるメタンは 90%、透過側（膜を透過した側）の気体に含まれるメタンは 30%であった。気体は理想気体として、以下の問いに答えよ。答えの導出過程も示すこと。



(3-1) バイオガスの供給流量を F (m^3/h)としたとき、濃縮側で得られる気体の流量を F を用いて表せ。

(3-2) 膜を透過する各気体の流量は、膜の面積と濃縮側の気体の分圧にそれぞれ比例するとする。濃縮側で 95%のメタンを含む気体を得たいとき、必要となる膜の面積を S を用いて表せ。なお、膜分離装置内の濃縮側の気体は十分に混合しており、分圧は場所に依らず一定と見なせるとする。

(4) フェーン現象とは、水蒸気を多く含んだ空気が山を越える際に、ある高度で空気塊中の水蒸気が飽和し、雨を降らせながら山頂まで上昇した後、山の反対側を下る際に、乾燥した空気が温度を上昇させながら吹き降りるために、気温が上昇する現象のことである。ある高さの山を、水蒸気を含む空気塊が越える際、風上側の標高 600 m において気温 15°C の雲ができ始めた。フェーン現象によって、風下側の山麓（標高 100 m）での気温は 26°C になったとする。この山頂の標高を求めよ。ただし、乾燥断熱減率を $1.0^\circ\text{C}/100\text{m}$ 、湿潤断熱減率を $0.5^\circ\text{C}/100\text{m}$ とする。導出過程も示すこと。

(専門科目 B の問題 1 は次ページに続く)

(5) 流量 $10 \text{ m}^3/\text{s}$ の河川沿いに工場 X があり、工場 X からは排水 $10,000 \text{ m}^3/\text{day}$ が河川に放流されている。排水の放流地点における工場建設前の河川水の生物化学的酸素要求量 BOD は 0.053 mg/L であった。工場 X からの排水の BOD は 30 mg/L であり、工場 X から 10 km 下流にある Y 地点で河川の BOD を計測したところ、 0.36 mg/L であった。この 10 km の間の自浄作用による BOD の減少率 (%) を求めよ。ただし、工場 X からの排水は放流地点において河川の水と完全混合するものとし、排水の放流地点と地点 Y の間において BOD は自浄作用のみによって減少し、工場 X 以外からの汚濁水の流入はないものとする。また、工場 X からの排水量は河川の流量に比べて無視できるほど小さく、排水による流量変化は計算上考慮しなくてよい。導出過程も示すこと。

(専門科目 B の問題は次ページに続く)

2

- (1) トマトの露地栽培と温室栽培について収量や栽培に関わる CO₂ 排出量を調べたところ、以下の表のようなデータを得た。

	露地栽培	温室栽培
トマトの年間収量	90 ton/(ha・year)	150 ton/(ha・year)
暖房や肥料・農薬・水の投入による年間の CO ₂ 排出量	18 ton/(ha・year)	110 ton/(ha・year)
温室の資材や建造・廃棄による CO ₂ 排出量	－	100 ton/ha

- (1-1) トマト 1.0 kg の栽培による CO₂ 排出量を、露地栽培と温室栽培についてそれぞれ求めよ。ただし温室の耐用年数は 10 年とする。導出過程も示すこと。
- (1-2) トマトのライフサイクルアセスメントを行う際に、考慮すべき栽培時以外の CO₂ 排出の要因を 2 つ挙げよ。
- (1-3) 農産物の生産による環境負荷は CO₂ 排出以外にどのようなものがあるか。2 つ挙げよ。
- (1-4) 消費者により環境負荷の小さい商品を選んでもらう方策を 1 つ挙げ、解答用紙 3 行以内で説明せよ。

(専門科目 B の問題 2 は次ページに続く)

(2) 次の文を読んで、以下の問いに答えよ。

①二酸化硫黄 SO_2 は化石燃料の燃焼などの産業活動によって大気中に排出され、その量は過去 100 年間で大幅に増加した。 SO_2 は大気中で、雨水に溶解して硫酸イオンとなる。大気中のアンモニア NH_3 は雨水に溶解するとアンモニウムイオンとなり、硫黄化合物の酸性を中和する。②水滴中の硫酸イオンとアンモニウムイオンが反応し、大気中で水分を失うと、直径が $0.010 \sim 10 \mu\text{m}$ のエアロゾルが生成する。③大気中のエアロゾルは、硫酸塩、硝酸塩、有機炭素、元素状炭素等で構成されている。

(2-1) 下線部①について、出力 1.0 GW の石炭火力発電所を考える。1 日あたりの平均の発電量は 18 GWh/day である。この発電所は、1.0 kWh の発電に対する熱消費率が 10 MJ/kWh であり、発熱量 30 MJ/kg-coal の石炭を使用している。また、使用している石炭の硫黄含有率は 1.0 % ($0.010 \text{ kg-S/kg-coal}$) であり、この発電所では生成した SO_2 の 95% を排ガスから除去している。年間の SO_2 の排出量を計算せよ。なお、発電で排出された硫黄 S は全て SO_2 になると仮定し、S の原子量と SO_2 の分子量はそれぞれ 32 と 64 である。導出過程も示せ。

(2-2) 下線部②について、反応式を記せ。

(2-3) 下線部③について、大気中のエアロゾルの環境影響について例を 2 つ挙げ、それぞれ解答用紙 2-3 行で説明せよ。

(専門科目 B の問題 2 は次ページに続く)

(3) 空気中の放射性核種の濃度を求めることは、呼吸によって着目核種が体内に摂り込まれることで生じる「内部被ばく」を評価するプロセスで重要となる。空気中に浮遊している微粒子状の放射性核種（半減期 120 分、以下では核種 N と呼ぶ）に着目して、その放射能濃度を評価してみよう。その主な手順は以下の通りである。

- ① 対象とする空気を吸引ポンプでフィルターに通して、放射性核種をそのフィルター上に捕捉する。フィルターに捕捉された核種 N の放射能は、そのフィルターの透過特性を考慮して、通気された空気の放射能濃度と総体積で表すことができる。
- ② 一定時間、フィルターを放置する。
- ③ フィルター上に捕捉された核種 N から全方向に放出される放射線の総数に対する、放射線検出器で計測される放射線の数（計測割合）を求める。
- ④ 手順②での核種 N の減衰と手順③で求めた計測割合を考慮して、計測された放射線の数から、フィルターに捕捉された核種 N の放射能を推定する。その結果を用いて、対象空気中の放射能濃度を評価する。

(3-1) 手順①に関して、図 3-1 に示すような、線流速ごとに示された粒径に対する透過特性をもつフィルター（面積 130 cm^2 ）を通して、放射能濃度 $X(\text{Bq/m}^3)$ の空気を毎分 20 L で 10 分間流した。核種 N の粒径が $0.07\text{ }\mu\text{m}$ であったとき、フィルターに捕捉された核種 N の放射能 $R_1(\text{Bq})$ を X で示せ。答えの導出過程も示せ。ここでは核種 N の半減期が通気時間よりも十分に長いので、その間の放射能減衰は無視できる。

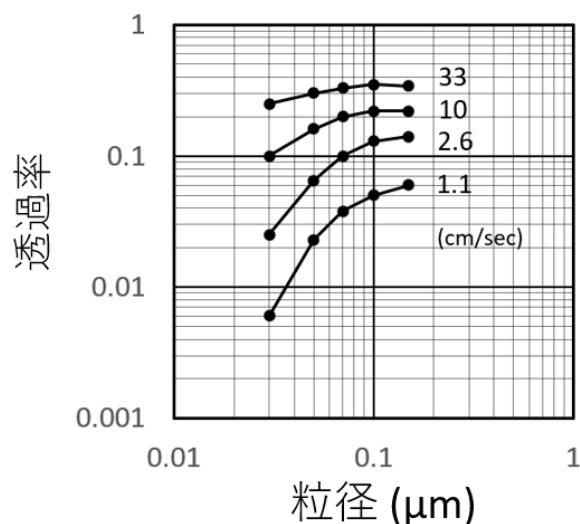


図 3-1

(専門科目 B の問題 2 は次ページに続く)

(3-2) 手順②に関して以下の問いに答えよ。

- (a) 核種 N 以外の放射性核種が空気中に共存していることを考慮して、安定した評価結果を得るために、手順②では一定の放置時間を設けている。放置の目的とその時間の決め方を簡単に説明せよ。
- (b) 捕集終了後、そのフィルターを 4 時間放置した。放置後のフィルターに残る核種 N の放射能 R_2 (Bq) を、(3-1)の R_1 (Bq) で示せ。

(3-3) 手順③に関して以下の問いに答えよ。

- (a) 厚みが無視できる円板状のフィルターの中心 1 点に、核種 N が集中的に捕捉されたと仮定する。図 3-2 で、フィルター（半径 d ）の中心点にある核種 N から放出される放射線の一部が、フィルター中心から距離 h の位置に設置された検出器の窓（半径 r の円）に入射する。放射線は空気中で遮蔽されることなく、検出器の窓の内側方向（立体角 Ω ）にある放射線はすべて計測されると仮定する。この条件での計測割合 η_p を、 h および r を用いて示せ。

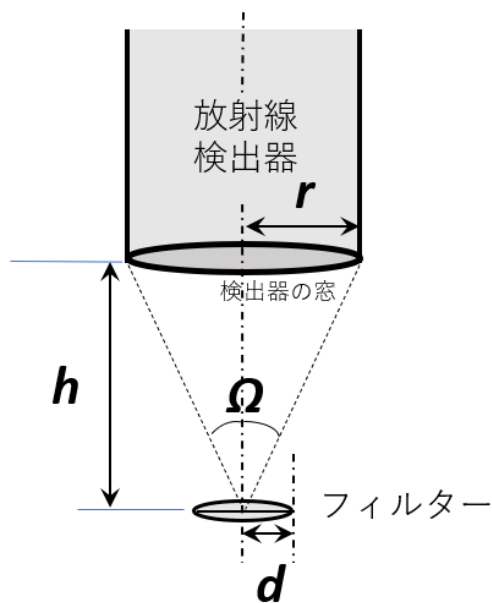


図 3-2

（専門科目 B の問題 2 は次ページに続く）

(b) フィルターに捕捉された核種 N の粒子は、実際には図 3-2 の半径 d の円内に均一に分布している。実際の計測割合 η_s は図 3-3 の $A(\%)$ を用いて、 $\eta_s = \eta_p \cdot A/100$ で表される。図 3-2 において、 $d=6.4\text{ cm}$ 、 $h=9.1\text{ cm}$ 、 $r=9.1\text{ cm}$ 、 $\eta_p=0.15$ の条件で 10 分間測定したとき、得られるであろう放射線の計数 C を、(3-2)(b)の $R_2(\text{Bq})$ を用いて示せ。なお、核種 N は 1 回の放射性壊変につき測定対象の放射線を 1 本放出する。

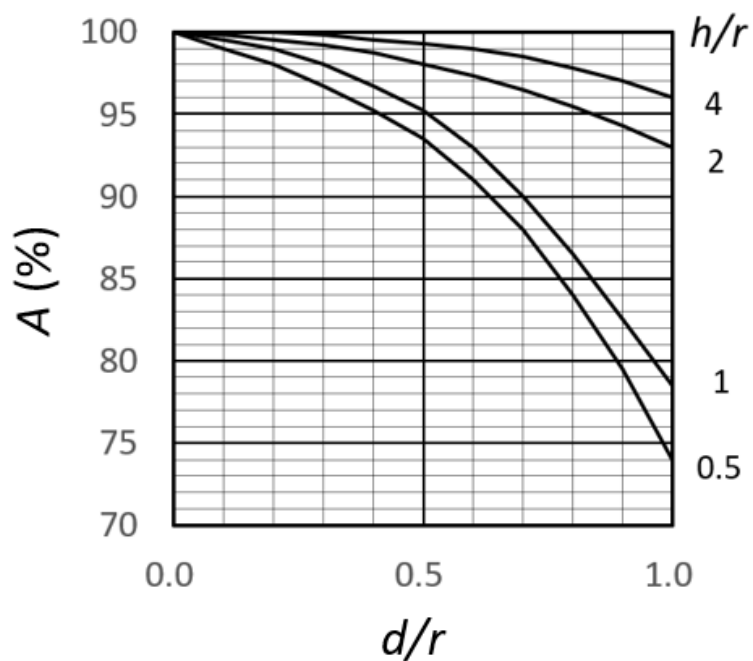


図 3-3

(専門科目 B の問題は次ページに続く)

3

以下の（１）から（６）に答えよ。答えの導出過程も必ず記入すること。

（１）以下の微分方程式の一般解を求めよ。

$$y\left(\frac{d^2y}{dx^2}\right) + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2 = x$$

（２）次の不定積分を求めよ。

(2-1)

$$\int 4^{\sqrt{2x+1}} dx$$

(2-2)

$$\int \arctan x dx$$

（３） n を１より大きい自然数とする。 \mathbf{A}_n は、以下に示すような n 次正方行列であるとする。

$$\mathbf{A}_n = \begin{pmatrix} 1 & -1 & & & \\ -1 & 2 & -1 & & \mathbf{0} \\ & -1 & 2 & -1 & \\ & & \ddots & \ddots & \ddots \\ \mathbf{0} & & & -1 & 2 & -1 \\ & & & & -1 & 2 \end{pmatrix}$$

このとき、以下の問いに答えよ。

(3-1) $\mathbf{A}_2 = \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 2 \end{pmatrix}$ について、逆行列を求めよ。

(3-2) n 次元のベクトル $\vec{x} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix}$ および $\vec{b} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}$ について考える。

$\mathbf{A}_n \vec{x} = \vec{b}$ を満たす \vec{x} を求めよ。

（専門科目 B の問題 3 は次ページに続く）

(4)

$$mn - 4m - 4n = 0$$

を満たす正の整数 m, n の組をすべて求めよ。

(5) x - y 平面上で点 (p, q) を通る直線の式を $y = Ax + B$ と表すとする。このとき、以下の問いに答えよ。

(5-1) $A^2 + B^2$ の最小値を p と q で表せ。

(5-2) $|A| + |B|$ の最小値を p と q で表せ。

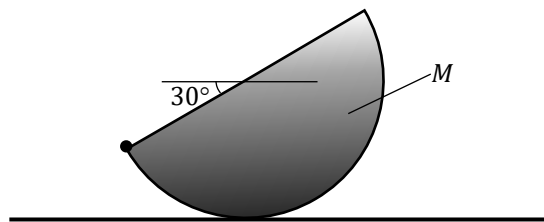
(6) 長さ l の1本の針を、間隔 t で無数の平行線が描かれた床に落としたときに、針と線が交差する確率を求めよ。針と平行線が接した場合も重なった場合も交差したとみなす。ただし、針と線の太さは無視し、針は床に刺さらないものとする。また、 $t > l$ とする。

(専門科目 B の問題は次ページに続く)

4

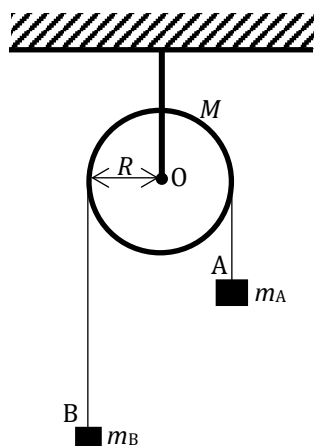
以下の（１）から（４）の問いに答えよ。なお、答えの導出過程を記入すること。

（１）なめらかな水平面上に質量 M の一様な半球が置かれている。半球の端部に質点を付着させたところ、図のように半球が 30° 傾いた。この質点の質量を求めよ。



（専門科目 B の問題 4 は次ページに続く）

(2) 固定軸 O を中心になめらかに回転する滑車に糸がかけられている。この滑車は質量 M 、半径 R の一様な円板である。図のように、糸の一端に質量 m_A のおもり A を、他端に質量 m_B のおもり B を吊るしたところ ($m_A > m_B$)、おもり A が下方に、おもり B が上方に移動し始めた。このとき、以下の問いに答えよ。ただし、糸と滑車は互いに滑らないものとする。また、糸は伸縮せず、その質量と太さは無視できるものとする。重力加速度を g とせよ。



(2-1) 滑車の軸 O まわりの慣性モーメントを求めよ。

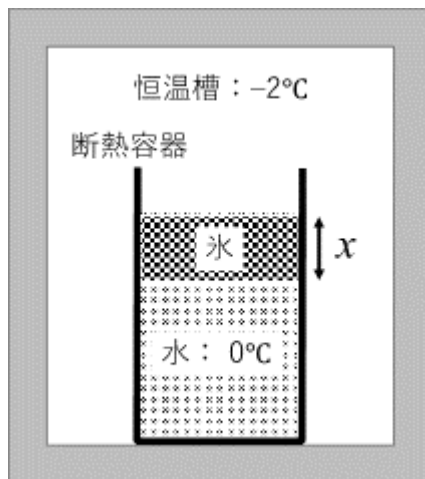
(2-2) おもりの加速度の大きさを求めよ。

(2-3) おもり A とおもり B に働く糸の張力をそれぞれ求めよ。

(2-4) おもり A が初めの位置から距離 L だけ下方に移動した時の滑車の角速度を求めよ。

(専門科目 B の問題 4 は次ページに続く)

(3) 上面が開いた断熱容器（断面積： S ）に温度 0°C の水が入っている。図に示すように、この容器を槽内温度 -2°C の恒温槽内に入れた後に、水の表面に厚さ x の氷ができるまでの時間を熱伝導現象と相変化のみを考慮して推定することを考える。また、温度 0°C の水は熱が取り出されると同時に凍結し過冷却は起こらないものとし、凍結膨張（水が凍るときに体積膨張）を無視できるものとする。なお、水の熱伝導率を λ_w 、氷の熱伝導率を λ_i 、氷の融解熱を H_i 、氷の密度を ρ_i とする。



(3-1) 水の表面に厚さ x の氷ができている状態を考えて、この状態から微小時間 dt の間に容器内の水から取り出される熱量を求めよ。

(3-2) (3-1)で示した微小時間 dt の間に、新たに氷として生成された厚さを dx とすると、 dt の間に氷の融解潜熱として蓄えられる熱量を求めよ。

(3-3) (3-1)ならびに(3-2)でそれぞれ求めた熱量が等しいことを利用して、水の表面に厚さ x の氷ができるまでの時間を求めよ。

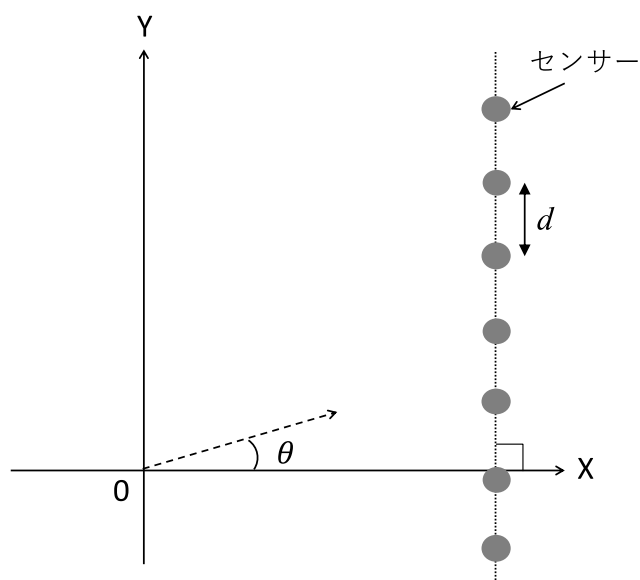
（専門科目 B の問題 4 は次ページに続く）

(4) XY 平面上を伝播する正弦平面波があり、その振幅は 1、波数は k 、角振動数は ω である。

(4-1) 正弦平面波の伝播速度を求めよ。

(4-2) 正弦平面波が X 軸の正の方向に伝わる場合を考える。この波を位置 x と時間 t の指数関数 $e^{i(\alpha x + \beta t)}$ として表すとき、 α ならびに β を求めよ。ここで i は虚数単位である。

(4-3) 図に示すように、正弦平面波がセンサーに向かって θ 方向に進行するとき、X 軸に垂直な方向に間隔 d で並んでいる N 個のセンサーで正弦平面波を測定する。全センサーで測定した波形を加算した合成波の強度（振幅の 2 乗）を求めよ。ここでセンサーの大きさはセンサー間隔 d より十分小さい。



(専門科目 B の問題は次ページに続く)

5

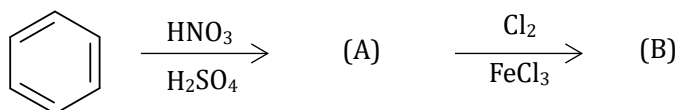
(1) AgCl の溶解平衡について以下の問いに答えよ。25℃における AgCl の溶解度積は $K_{\text{sp}} = 2.0 \times 10^{-10} \text{ mol}^2 \text{ L}^{-2}$ であり、 AgCl の式量は 143.4 とする。必要に応じて $\sqrt{2} = 1.41$ 、 $\sqrt{3} = 1.73$ 、 $\sqrt{5} = 2.23$ 、 $\sqrt{7} = 2.64$ 、 $\sqrt{11} = 3.32$ を用いてもよい。

(1-1) 25℃における AgCl の溶解度 [g L^{-1}] を求めよ。ただし、飽和水溶液の密度は 1.0 g cm^{-3} とする。

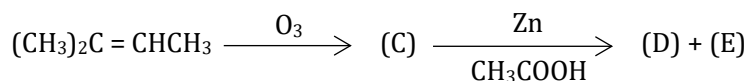
(1-2) 0.10 mol L^{-1} の NaCl 水溶液 10.00 mL に、 0.10 mol L^{-1} の AgNO_3 水溶液 9.99 mL を滴下した。水溶液中に溶存する塩化物イオン濃度を求めよ。途中の考え方も示せ。

(2) 以下の反応において、主生成物となる有機化合物(A)～(E)の構造式を示せ。

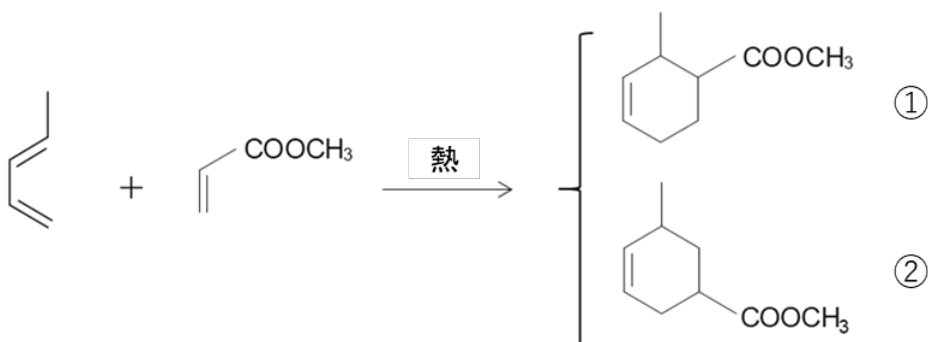
(2-1)



(2-2)

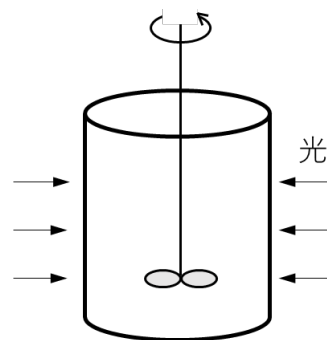


(3) 次の反応において①と②のどちらの化合物が主生成物か。その理由も答えよ。



(専門科目 B の問題 5 は次ページに続く)

(4) 化合物 A の光反応によって化合物 B が生成する気相反応を、右図のような体積 V [m^3] の反応器を用いて行う。すなわち、反応器内部を十分に攪拌することで完全混合が仮定できる透明な回分式反応器の外側に光源を置き、反応器全体に均一に光が照射されている構造になっている。



1 モルの A から 1 モルの B を生成する光反応の速度 r_1 は、以下の式に示すように、照射する光の強度 I [J s^{-1}] にのみ依存し、A の濃度には依存しない（見かけ上、A の 0 次反応で、速度定数が k_1 [$\text{mol m}^{-3} \text{s}^{-1}$] である）ことがわかっている。

$$r_1 = k_1 (\propto I)$$

また、生成した B から A に戻る逆反応も起こり、その反応速度 r_2 は B の濃度 C_B [mol m^{-3}] の 1 次比例（速度定数は k_2 [s^{-1}]）し、光の強度には依存しない。

$$r_2 = k_2 C_B$$

反応開始時には、反応器内に A のみが含まれている（A の初期濃度 C_{A0} [mol m^{-3}]）として、以下の設問に答えよ。途中の考え方も示せ。

(4-1) 時刻 t における C_B を求めよ。

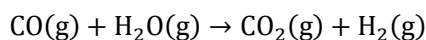
(4-2) この反応器では、反応温度や光の強度などの条件を変えることによって、それぞれの速度定数を変化させることができる。次の各条件で、速度定数がそれぞれ次のように変化したとする。

<条件 I> k_1 、 k_2 がそれぞれ 2 倍になる。

<条件 II> k_1 のみが 1.5 倍になり、 k_2 は変化しない。

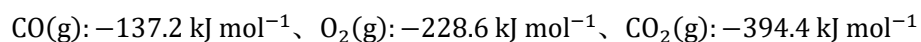
同一の反応時間で二つの条件の結果を比較した時、<条件 II> の方が <条件 I> より高い B の濃度を与えるようになるのは、反応時間がどのような範囲にある場合か。

(5) 以下に示す水性ガスシフト反応により CO を CO_2 と H_2 に変換することができる。



全ての気体が理想気体としてふるまうとして、以下の問いに答えよ。途中の考え方も示せ。

(5-1) 圧力 0.101 MPa、温度 298 K における水性ガスシフト反応のギブスエネルギー変化 ΔG_r° を求めよ。なお、各気体の標準生成ギブスエネルギー ΔG_f° はそれぞれ、



である。

（専門科目 B の問題 5 は次ページに続く）

(5-2) 等モルの CO(g) と $\text{H}_2\text{O(g)}$ を密閉された容器内で反応させた。平衡に達した時の CO の反応率は 0.90 であった。平衡定数 K を求めよ。

(5-3) この反応の 298 K における標準反応エンタルピー $-\Delta H_r^\circ$ 、標準反応エントロピー $-\Delta S_r^\circ$ はそれぞれ、 $-41.2 \text{ kJ mol}^{-1}$ 、 $-42.1 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ である。平衡に達した時の CO の反応率が 0.90 となる温度を求めよ。なお、気体定数 $R = 8.31 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ である。必要に応じて、

$$\ln x = 2.303 \log_{10} x, \log_{10} 2 = 0.301, \log_{10} 3 = 0.477$$

を用いてよい。

(日本語版の問題は終わりです)

Specialized Subject B

English version 英語版

Make sure to choose **Problem 1** and one additional problem from the remaining four problems (**Problems 2 to 5**).

1

- (1) Given that an error of a concentration measuring instrument follows a normal distribution with a mean of $0 \mu\text{mol/L}$ and a standard deviation of $0.5 \mu\text{mol/L}$, answer the following questions. If necessary, you may use the values in the table on the next page. Provide your solution processes in your answer.
- (1-1) When an identical sample was measured five times with this instrument, the results were;
 $49.9 \mu\text{mol/L}$, $50.5 \mu\text{mol/L}$, $49.8 \mu\text{mol/L}$, $49.9 \mu\text{mol/L}$, $50.4 \mu\text{mol/L}$
Find the best estimate of the sample's concentration.
- (1-2) When another sample was measured once with this instrument, the measured value was $50.0 \mu\text{mol/L}$. Find the 95% confidence interval for the estimated concentration.
- (1-3) For a given sample, how many measurements are necessary to ensure the width of 95% confidence interval for an estimated concentration less than $0.2 \mu\text{mol/L}$?

(Question 1 of Category B continues to the next page.)

Standard Normal Distribution Table

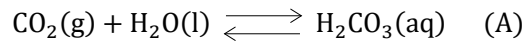
The numbers in the table represent the probability that the variable X , which follows a normal distribution with a mean of 0 and a standard deviation of 1, takes a value greater than or equal to z . For example, the probability that X will take a value greater than or equal to 1.53 is 0.06301.

		2nd decimal place of z									
		0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
Integer part and 1st decimal place of z	0	0.50000	0.49601	0.49202	0.48803	0.48405	0.48006	0.47608	0.47210	0.46812	0.46414
	0.1	0.46017	0.45621	0.45224	0.44828	0.44433	0.44038	0.43644	0.43251	0.42858	0.42466
	0.2	0.42074	0.41683	0.41294	0.40905	0.40517	0.40129	0.39743	0.39358	0.38974	0.38591
	0.3	0.38209	0.37828	0.37448	0.37070	0.36693	0.36317	0.35942	0.35569	0.35197	0.34827
	0.4	0.34458	0.34090	0.33724	0.33360	0.32997	0.32636	0.32276	0.31918	0.31561	0.31207
	0.5	0.30854	0.30503	0.30153	0.29806	0.29460	0.29116	0.28774	0.28434	0.28096	0.27760
	0.6	0.27425	0.27093	0.26763	0.26435	0.26109	0.25785	0.25463	0.25143	0.24825	0.24510
	0.7	0.24196	0.23885	0.23576	0.23270	0.22965	0.22663	0.22363	0.22065	0.21770	0.21476
	0.8	0.21186	0.20897	0.20611	0.20327	0.20045	0.19766	0.19489	0.19215	0.18943	0.18673
	0.9	0.18406	0.18141	0.17879	0.17619	0.17361	0.17106	0.16853	0.16602	0.16354	0.16109
	1	0.15866	0.15625	0.15386	0.15151	0.14917	0.14686	0.14457	0.14231	0.14007	0.13786
	1.1	0.13567	0.13350	0.13136	0.12924	0.12714	0.12507	0.12302	0.12100	0.11900	0.11702
	1.2	0.11507	0.11314	0.11123	0.10935	0.10749	0.10565	0.10384	0.10204	0.10027	0.09853
	1.3	0.09680	0.09510	0.09342	0.09176	0.09012	0.08851	0.08692	0.08534	0.08379	0.08226
	1.4	0.08076	0.07927	0.07780	0.07636	0.07493	0.07353	0.07215	0.07078	0.06944	0.06811
	1.5	0.06681	0.06552	0.06426	0.06301	0.06178	0.06057	0.05938	0.05821	0.05705	0.05592
	1.6	0.05480	0.05370	0.05262	0.05155	0.05050	0.04947	0.04846	0.04746	0.04648	0.04551
	1.7	0.04457	0.04363	0.04272	0.04182	0.04093	0.04006	0.03920	0.03836	0.03754	0.03673
	1.8	0.03593	0.03515	0.03438	0.03363	0.03288	0.03216	0.03144	0.03074	0.03005	0.02938
	1.9	0.02872	0.02807	0.02743	0.02680	0.02619	0.02559	0.02500	0.02442	0.02385	0.02330
	2	0.02275	0.02222	0.02169	0.02118	0.02068	0.02018	0.01970	0.01923	0.01876	0.01831
	2.1	0.01786	0.01743	0.01700	0.01659	0.01618	0.01578	0.01539	0.01500	0.01463	0.01426
	2.2	0.01390	0.01355	0.01321	0.01287	0.01255	0.01222	0.01191	0.01160	0.01130	0.01101
	2.3	0.01072	0.01044	0.01017	0.00990	0.00964	0.00939	0.00914	0.00889	0.00866	0.00842
	2.4	0.00820	0.00798	0.00776	0.00755	0.00734	0.00714	0.00695	0.00676	0.00657	0.00639
	2.5	0.00621	0.00604	0.00587	0.00570	0.00554	0.00539	0.00523	0.00509	0.00494	0.00480
	2.6	0.00466	0.00453	0.00440	0.00427	0.00415	0.00403	0.00391	0.00379	0.00368	0.00357
	2.7	0.00347	0.00336	0.00326	0.00317	0.00307	0.00298	0.00289	0.00280	0.00272	0.00264
	2.8	0.00256	0.00248	0.00240	0.00233	0.00226	0.00219	0.00212	0.00205	0.00199	0.00193
	2.9	0.00187	0.00181	0.00175	0.00170	0.00164	0.00159	0.00154	0.00149	0.00144	0.00140
	3	0.00135	0.00131	0.00126	0.00122	0.00118	0.00114	0.00111	0.00107	0.00104	0.00100

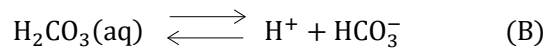
(Question 1 of Category B continues to the next page.)

(2) Because the pH is 5.6 when carbon dioxide CO_2 in the atmosphere is sufficiently dissolved in rainwater, pH 5.6 is an index of acid rain.

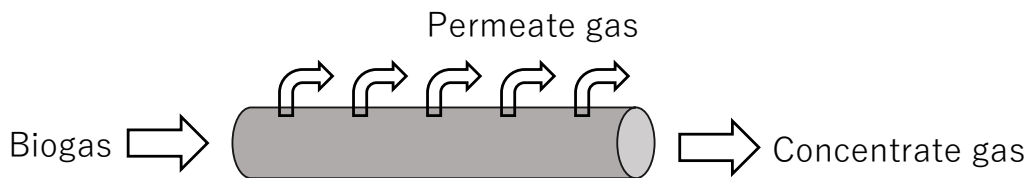
(2-1) CO_2 in the atmosphere is dissolved in water according to reaction (A). Show the relational expression among the concentration of carbonic acid in water, $[\text{H}_2\text{CO}_3]$, the partial pressure of CO_2 , P , and Henry constant of dissolution of CO_2 in water, H (M/atm). Here, M shows mol/L.



(2-2) The equilibrium constant in reaction (B) is K . Assuming that the dissolution of CO_2 in water is in equilibrium, express pH of rainwater using P , H , and K . Provide your solution process in your answer.



(3) Methane is concentrated by removing carbon dioxide using membrane separation equipment from biogas generated by the decomposition of food waste by microorganisms. The biogas contained 40% carbon dioxide and 60% methane by volume. After the separation using an apparatus equipped with a membrane with an area of S (m^2) as shown in the following figure, the methane contained in the concentrate gas (the gas not permeated through the membrane) was 90%, and the methane contained in the permeate gas (the gas permeated through the membrane) was 30%. Assuming that the gases are ideal gases, answer the following questions. Provide your solution processes in your answer.



(3-1) When the flow rate of supplied biogas was F (m^3/h), express the flow rate of the concentrate gas using F .

(Question 1 of Category B continues to the next page.)

(3-2) Assume that the flow rate of each gas which permeates the membrane is proportional to both the area of the membrane and the partial pressure of the gas in the concentrate gas. When obtaining the concentrate gas containing 95% methane, express the required area of the membrane using S . You can assume that the concentrate gas in the membrane separation equipment is sufficiently mixed and the partial pressure is constant regardless of the location.

(4) A Foehn phenomenon occurs when an air parcel with high moisture approaches a mountain, water vapor in the air saturates at a certain altitude and leads to precipitation as it ascends, and after reaching the top of the mountain, dry air becomes warmer as it descends which leads to a temperature rise on the other side of mountain. When air parcel including water vapor is crossing a mountain of a certain height, cloud of 15°C of temperature begins to form in altitude 600 m on the windward side, and the temperature at the foot of the mountain on the downwind side (altitude 100 m) becomes 26°C according to the Foehn phenomenon. Calculate the altitude of this mountain top. The dry adiabatic lapse rate is $1.0^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ and moist adiabatic lapse rate is $0.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$. Provide your solution process in your answer.

(5) Consider Factory X along a river with a flow rate of $10 \text{ m}^3/\text{s}$, that discharges waste water into the river at a rate of $10,000 \text{ m}^3/\text{day}$. The biochemical oxygen demand (BOD) in the river water at the discharge point of the effluent before the construction of the factory was 0.053 mg/L . The BOD of wastewater from Factory X was 30 mg/L , and at Point Y, 10 km downstream from Factory X, the BOD of the river was 0.36 mg/L . Find the decrease rate (%) of BOD due to self-purification during this 10 km. Assume that the wastewater from Factory X is completely mixed with the river water at the discharge point, and that the BOD decreases only by self-purification between the discharge point and Point Y, and that there is no inflow of polluted water from sources other than Factory X. Assume also, the amount of wastewater discharged from the factory is negligibly small compared to the amount of water in the river, so as to be able to ignore the change in the amount of water by the wastewater discharge from Factory X. Provide your solution process in your answer.

(Category B continues to the next page.)

2

- (1) The yield and cultivation-related CO₂ emissions for open field and greenhouse cultivation of tomatoes was investigated, and the data shown in the following table was obtained.

	Open field cultivation	Greenhouse cultivation
Annual yield of tomato	90 ton/(ha · year)	150 ton/(ha · year)
Annual CO ₂ emissions due to heating, fertilizer, pesticides, and water inputs	18 ton/(ha · year)	110 ton/(ha · year)
CO ₂ emissions due to materials, construction, and disposal of the greenhouse	–	100 ton/ha

- (1-1) Find the cultivation-related CO₂ emissions for 1.0 kg of tomatoes for each of the open field cultivation and the greenhouse cultivation. The useful life of the greenhouse is assumed to be 10 years. Provide your solution process in your answer.
- (1-2) When a life cycle assessment of tomatoes is conducted, what factors of CO₂ emissions other than the cultivation-related emissions should be considered? List two of them.
- (1-3) What are the environmental impacts of agricultural production other than CO₂ emissions? List two of them.
- (1-4) In three lines or less on your answer sheet, identify and explain one measure to encourage consumers to choose products with less environmental impacts.

(Question 2 of Category B continues to the next page.)

(2) Read a text below and answer the questions.

① Sulfur dioxide SO_2 is emitted in the air by industrial activities such as combustion of fossil fuels, and the amount of SO_2 emission has increased significantly during the past 100 years. When SO_2 dissolves in rain water in the atmosphere, sulfate ion forms. When ammonia NH_3 dissolves in rain water, ammonium ion forms to neutralize the acidity of sulfur compounds. ② When sulfate ion in a drop of water reacts with ammonium ion and loses moisture in air, aerosol having 0.010-10 μm of diameters forms. ③ Atmospheric aerosols are composed of sulfate, nitrate, organic carbon, elementary carbon, etc.

(2-1) Concerning the underlined part ①, consider a coal-fired power plant rated at 1.0 GW. The average amount of power generated per day is 18 GWh/day. In this power plant, a heat rate, i.e., energy required to generate 1.0 kWh of electricity, is 10 MJ/kWh, and the power plant combusts coal with a heat value of 30 MJ/kg-coal. Also, the coal contains 1.0% of sulfur (0.010 kg-S/kg-coal) and 95% of SO_2 generated in the power plant is removed from the flue gas. Calculate the annual amount of SO_2 emission. Suppose that all of sulfur S emitted by the power generation convert to SO_2 . Atomic weight of S and molecular weight of SO_2 are 32 and 64, respectively.

(2-2) Concerning the underlined part ②, show the chemical reaction formula.

(2-3) Concerning the underlined part ③, identify two environmental impacts of atmospheric aerosol and explain each one identified using 2-3 lines on your answer sheet for each point.

(Question 2 of Category B continues to the next page.)

(3) Evaluating the concentration of the radionuclide in the air is an important part of the process of assessing "internal exposure", which occurs when the radionuclide is inhaled into our body through breathing. Here, let us evaluate the radioactivity concentration of an airborne radionuclide (half-life 120 min, referred as nuclide N) in fine particulate form. The main steps in this evaluation are as follows.

- ① Pass the target air through a filter using a vacuum pump, and trap the radionuclides in the air on this filter. The radioactivity of nuclide N trapped on the filter can be expressed in terms of the radioactivity concentration and total volume of the sample air, taking into account the penetration characteristics of the filter.
- ② Leave the filter for a certain period of time.
- ③ Determine the ratio of the number of radiations measured by the radiation detector to the total number of radiations emitted in all directions from nuclide N trapped on the filter. This ratio is called "detection ratio".
- ④ Estimate the radioactivity of nuclide N trapped on the filter by the measured number of radiation, considering both the decay of nuclide N in Step ② and the detection ratio determined in Step ③ . Evaluate the radioactivity concentration in the target air using this estimation.

(Question 2 of Category B continues to the next page.)

(3-1) With regard to Step ①, air with a radioactivity concentration of X (Bq/m³) was flowed at a rate of 20 L/min for 10 min through a filter (area 130 cm²) with penetration characteristics to particle diameter indicated for each linear velocity, as shown in Fig.3-1. When the particle diameter of nuclide N is 0.07 μ m, express the radioactivity R_1 (Bq) of nuclide N trapped on the filter by using X . Show your process in deriving your answer. Here the radioactive decay during this period can be neglected because the half-life of nuclide N is sufficiently longer than the sampling time.

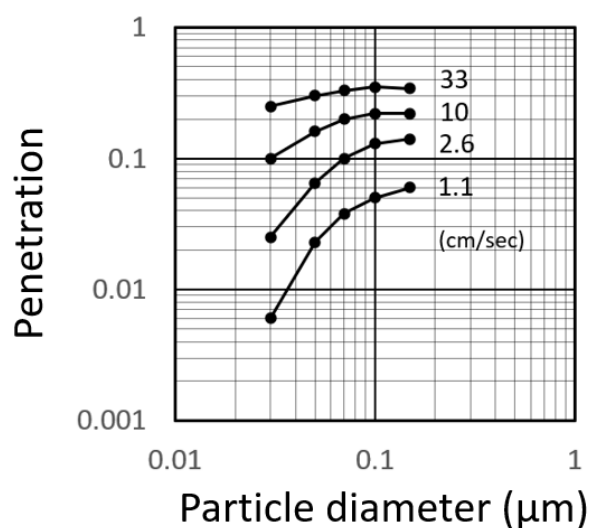


Fig. 3-1

(3-2) Answer the following questions about Step ②.

- (a) Considering the fact that radionuclides other than nuclide N coexist in the air, a certain amount of waiting time is set in Step ② in order to obtain stable evaluation results. Explain briefly the purpose of leaving the filter after sampling and how the waiting time is determined.
- (b) After the sampling was completed, the filter was left for 4 hours. Express the radioactivity R_2 (Bq) of nuclide N remaining on the filter after 4 hours by using radioactivity R_1 (Bq) in (3-1).

(Question 2 of Category B continues to the next page.)

(3-3) Answer the following questions about Step ③.

- (a) Suppose that nuclide N is intensively trapped at the center point of the disk shaped filter with negligible thickness. In Fig. 3-2, a part of the radiations emitted from nuclide N at the center point of the filter (radius d) is incident to the detector window (circle of radius r) located at a distance h from the center point of the filter. Suppose that the radiation is not shielded by the air, and that all the radiation within the inner direction of the detector window (solid angle Ω) can be measured. Express detection ratio η_p under these conditions by using h and r .

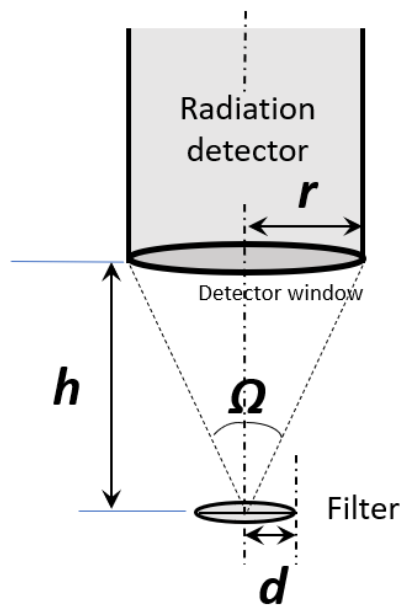


Fig. 3-2

(Question 2 of Category B continues to the next page.)

(b) Particles of nuclide N trapped on the filter are actually uniformly distributed within the circle of radius d in Fig. 3-2. Therefore, the actual detection ratio η_s is expressed by $\eta_s = \eta_p \cdot A/100$ using A (%) as in Fig. 3-3. Express the count number C of radiations by using R_2 (Bq) in (3-2)(b), which would be obtained in the measurement for 10 min under the following conditions: $d = 6.4$ cm, $h = 9.1$ cm, $r = 9.1$ cm, $\eta_p = 0.15$ in Fig. 3-2. Note that nuclide N emits one radiation to be measured per radioactive decay.

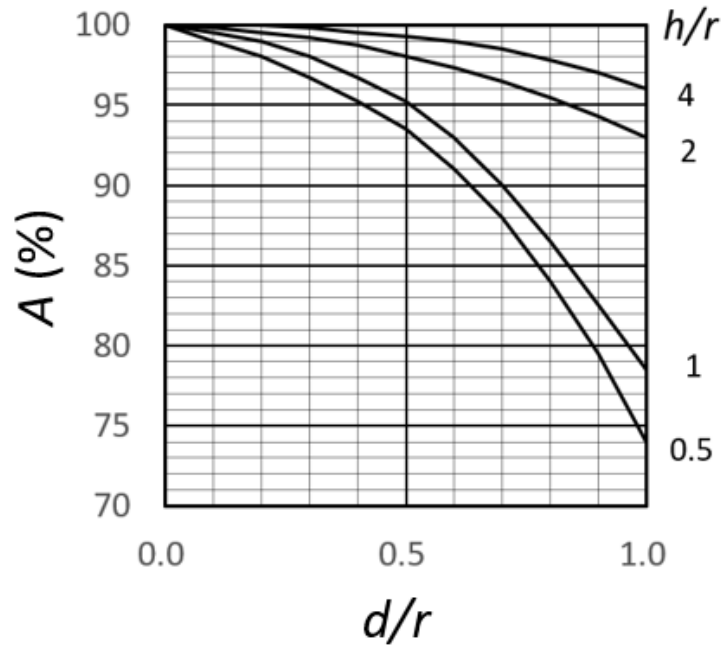


Fig. 3-3

(Category B continues to the next page.)

3

Answer the following questions (1) to (6) . Provide your solution process for each answer.

(1) Find the general solution of the following differential equation.

$$y \left(\frac{d^2 y}{dx^2} \right) + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 = x$$

(2) Find the following indefinite integrals.

(2-1)

$$\int 4^{\sqrt{2x+1}} dx$$

(2-2)

$$\int \arctan x dx$$

(3) Let n be a natural number greater than 1. Suppose that A_n is a square matrix of size n defined as follows:

$$A_n = \begin{pmatrix} 1 & -1 & & & \\ -1 & 2 & -1 & & \mathbf{0} \\ & -1 & 2 & -1 & \\ & & \ddots & \ddots & \ddots \\ \mathbf{0} & & & -1 & 2 & -1 \\ & & & & -1 & 2 \end{pmatrix}$$

Answer the following questions using the above definitions.

(3-1) Find the inverse matrix of $A_2 = \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 2 \end{pmatrix}$.

(3-2) Consider the vectors $\vec{x} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix}$ and $\vec{b} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}$ of size n .

Find \vec{x} which satisfies $A_n \vec{x} = \vec{b}$.

(Question 3 of Category B continues to the next page.)

(4) Find all combinations of positive integers m and n that satisfy the following equation.

$$mn - 4m - 4n = 0$$

(5) Let $y = Ax + B$ be the equation of a line passing through a point (p, q) on xy -plane. Answer the following questions.

(5-1) Express the minimum value of $A^2 + B^2$ in terms of p and q .

(5-2) Express the minimum value of $|A| + |B|$ in terms of p and q .

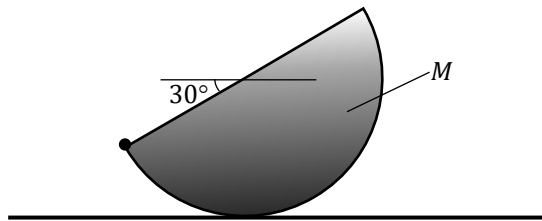
(6) Given a needle of length l dropped on a floor ruled with infinite number of parallel lines t units apart, find the probability that upon landing the needle will lie across a line. If the needle and the parallel line touch each other or the needle lies on the line, the needle is considered to lie across the line. Here, the thickness of the needle and the lines is ignored, and the needle does not stick to the floor. Also, suppose $t > l$.

(Category B continues to the next page.)

4

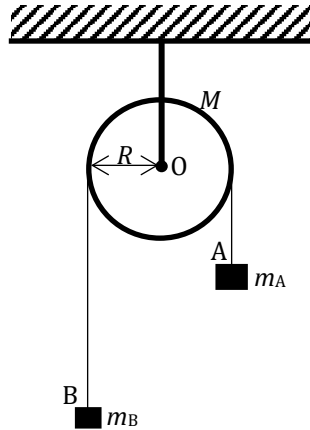
Answer the following questions (1) to (4) . Provide your solution process for each answer.

(1) A uniform hemisphere of mass M is placed on a smooth, horizontal plane. When a particle is attached to the edge of the hemisphere, the hemisphere tilts 30° as shown in the figure. What is the mass of this particle?



(Question 4 of Category B continues to the next page.)

(2) A string is placed over a pulley which rotates smoothly around the fixed axis O. This pulley is a uniform disk of mass M and radius R . When block A of mass m_A is connected to an edge of the string and block B of mass m_B is connected to the other edge ($m_A > m_B$) as shown in the figure, block A begins to move downward and block B begins to move upward. Answer the following questions. Assume that the string and the pulley do not slip on each other. Assume that the string does not stretch and its mass and thickness are negligible. Use g as the gravitational acceleration.



(2-1) Find the moment of inertia of the pulley about the axis O.

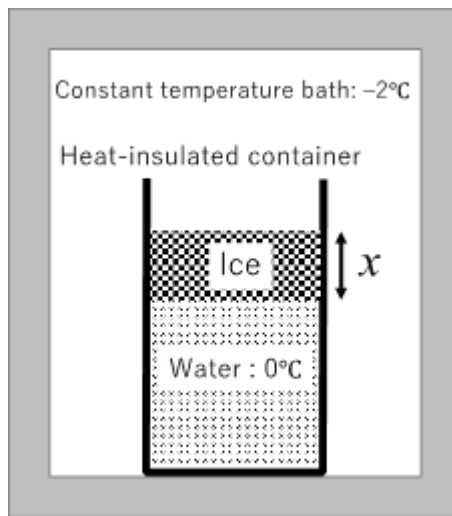
(2-2) Find the magnitude of the acceleration of the blocks.

(2-3) Find the tension forces in the string that apply to the block A and the block B, respectively.

(2-4) Find the angular velocity of the pulley when the block A has moved down a distance L from its initial position.

(Question 4 of Category B continues to the next page.)

(3) Water with a temperature of 0°C is contained in a heat-insulating container (cross-sectional area: S) with an open top surface. As shown in the figure, after placing this container in a constant temperature bath where the temperature inside the bath is -2°C , the time until the ice of thickness x is formed on the surface of water is estimated by considering only the heat conduction and phase change. It is assumed that the water having a temperature of 0°C freezes instantaneously when heat is taken out and that supercooling does not occur, and that the freezing expansion (volume expansion when the water freezes) can be ignored. The thermal conductivity of water is λ_w , the thermal conductivity of ice is λ_i , the heat of ice melting is H_i , and the density of ice is ρ_i .



(3-1) Consider the state when an ice of thickness x is formed on the surface of water, and find the amount of heat extracted from the water in the container within a small time step dt from this state.

(3-2) If the thickness newly generated as ice during the small time step dt indicated in (3-1) is dx , find the amount of heat stored as the latent heat of melting ice during dt .

(3-3) Use the fact that the amount of heat obtained in (3-1) and (3-2) are equal and find the time required for the ice of thickness x to form on the surface of water.

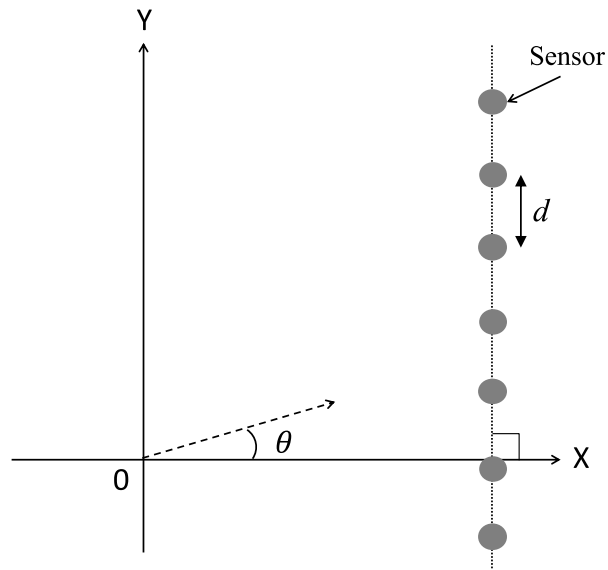
(Question 4 of Category B continues to the next page.)

(4) Consider a sinusoidal plane wave propagating on the XY plane, the amplitude of which is 1, the wave number of k , and the angular frequency of ω .

(4-1) Find the propagation velocity of a sinusoidal plane wave.

(4-2) Consider the case where a sinusoidal plane wave propagates in the positive direction of the X-axis. When expressing this wave as an exponential function $e^{i(\alpha x + \beta t)}$ of position x and time t , find α and β . Here, i is the imaginary unit.

(4-3) As shown in the figure, when the sinusoidal plane wave travels toward the sensor in the θ direction, the sinusoidal plane wave is measured by N sensors arrayed at an interval of d in the direction perpendicular to the X-axis. Find the intensity (square of amplitude) of the combined wave that is a sum of the waveforms measured by all sensors. Here, the size of a sensor is sufficiently smaller than the sensor interval d .



(Category B continues to the next page.)

5

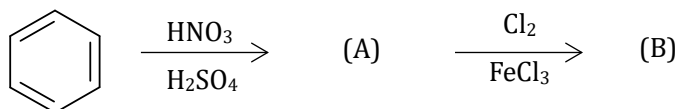
(1) Answer the following questions concerning the soluble equilibrium of AgCl. The solubility product of AgCl at 25°C is $K_{sp} = 2.0 \times 10^{-10} \text{ mol}^2 \text{ L}^{-2}$ and the formula weight of AgCl is 143.4. You can use $\sqrt{2} = 1.41$, $\sqrt{3} = 1.73$, $\sqrt{5} = 2.23$, $\sqrt{7} = 2.64$, $\sqrt{11} = 3.32$, if necessary.

(1-1) Calculate the solubility of AgCl [g L^{-1}] at 25°C, assuming that the density of saturated aqueous solution is 1.0 g cm^{-3} .

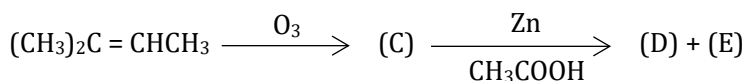
(1-2) 9.99 mL of $0.10 \text{ mol L}^{-1} \text{ AgNO}_3 \text{ (aq)}$ was dropped into 10.00 mL of $0.10 \text{ mol L}^{-1} \text{ NaCl (aq)}$. Calculate the concentration of chloride ion in the aqueous solution. Show the derivation process in your answer.

(2) Show the structural formula for the main product of organic compounds (A)~(E) in the following reactions.

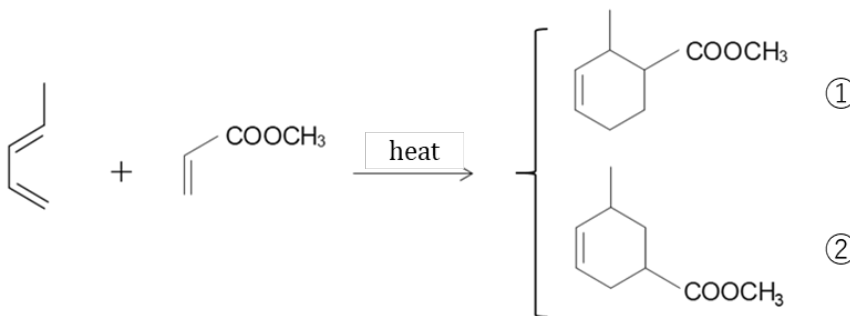
(2-1)



(2-2)

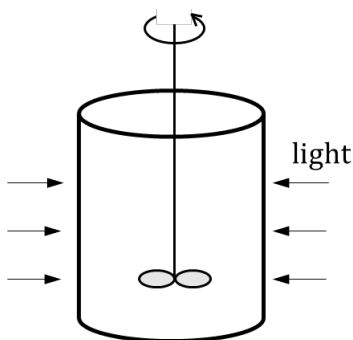


(3) Which is the main product in the following reaction, ① or ②? Explain your reasons as well.



(Question 5 of Category B continues to the next page.)

(4) A gas-phase reaction in which compound B is formed by the photoreaction of compound A is carried out using a reactor with a volume of $V \text{ [m}^3\text{]}$ as shown in the figure on the right. Here, the light source is placed on the outside of the transparent batch reactor where complete mixing can be assumed by sufficiently stirring the inside of the reactor, and the structure is such that the entire reactor is uniformly illuminated with light.



The reaction rate r_1 of the photoreaction to produce one mole of B from one mole of A depends only on the intensity of the irradiated light, $I \text{ [J s}^{-1}\text{]}$, and not on the concentration of A (apparently a zeroth-order reaction of A, with a rate constant of $k_1 \text{ [mol m}^{-3} \text{ s}^{-1}\text{]}$), as shown in the following equation.

$$r_1 = k_1 (\propto I)$$

The reverse reaction (generated B back to A) also occurs, and the reaction rate r_2 is proportional to the first order of the concentration of B, $C_B \text{ [mol m}^{-3}\text{]}$ (the rate constant is $k_2 \text{ [s}^{-1}\text{]}$), and is independent of the light intensity.

$$r_2 = k_2 C_B$$

Assuming that at the beginning of the reaction, only A is contained in the reactor (initial concentration of A, $C_{A0} \text{ [mol m}^{-3}\text{]}$), answer the following questions. Show the derivation processes in your answer.

(4-1) Express C_B at time t .

(4-2) In this reactor, the respective rate constants can be changed by varying the reaction temperature, light intensity, and other conditions. Suppose that under each of the following conditions, the rate constants are changed respectively as follows.

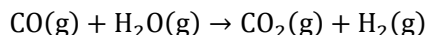
<Condition I> k_1 and k_2 are doubled, respectively.

<Condition II> Only k_1 increases by a factor of 1.5, while k_2 remains unchanged.

In what range of reaction times does <Condition II> give a higher concentration of B than <Condition I> when comparing the results of the two conditions with the same reaction time?

(Question 5 of Category B continues to the next page.)

(5) CO can convert to CO₂ and H₂ with the following water gas shift reaction.



Assuming that the gas behaves as an ideal gas, answer the following questions. Show the derivation processes in your answer.

(5-1) Calculate the Gibbs energy change ΔG_r° in the water gas shift reaction at the pressure 0.101 MPa and the temperature 298 K. The standard Gibbs energy of formation $\Delta G_{f,298}^\circ$ for each gas is CO(g): $-137.2 \text{ kJ mol}^{-1}$, O₂(g): $-228.6 \text{ kJ mol}^{-1}$, CO₂(g): $-394.4 \text{ kJ mol}^{-1}$, respectively.

(5-2) Equimolar CO(g) and H₂O(g) were reacted in a closed vessel. In the equilibrium, the conversion of CO was 0.90. Calculate the equilibrium constant K .

(5-3) The standard reaction enthalpy ΔH_r° , and the standard reaction entropy ΔS_r° in this reaction at 298 K are $-41.2 \text{ kJ mol}^{-1}$ and $-42.1 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$, respectively. In the equilibrium, calculate the temperature when the conversion of CO is 0.90. The gas constant is $R = 8.31 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$. Use $\ln x = 2.303 \log_{10} x$, $\log_{10} 2 = 0.301$, and $\log_{10} 3 = 0.477$, if necessary.

(Category B ends.)