

Entrance Examination 2018

Department of Environment Systems

Graduate School of Frontier Sciences

The University of Tokyo

Problem Booklet  
(Category A and Category B)

22 August, 2017 14:00-16:30

Instructions

1. Do not open the problem booklet until the start of the examination is announced.
2. The problem booklet consists of 35 pages. If you find missing pages or blurred printings in this booklet, notify the examiners.
3. Write your examinee number in the specified space of each answer sheet. Do not write your name in it.
4. Answer both Category A and Category B. Choose any two of the eight problems in Category B.
5. There are three answer sheets: One for Category A and two for Category B. Use one answer sheet for one problem in Category B.
6. Specify problem number on each answer sheet.
7. Any answer sheets with marks or symbols irrelevant to your answers will be considered invalid.
8. You cannot take the problem booklet or the answer sheets with you.

Examinee number: \_\_\_\_\_ (Write your examinee number.)

## Category A

Choose one of the 5 topics listed below, briefly explain the meaning of the terminology or the substance, and discuss the possible future of environmental problems related to the topic you choose, including your own personal opinion. Be sure to write the number of the topic you have chosen (A1 etc.) on your answer sheet. Use only one side of the answer sheet.

A1. Ecotourism

A2. Carbon pricing

A3. Electricity storage technology

A4. Recoverable reserves

A5. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)

## Category B

Choose any two of the eight problems from 1 to 8.

1

( 1 ) The table below shows specifications of three types of air conditioners (cooling function only) excerpted from their catalogs. To cool a room over the summer, you choose one air conditioner and install it in the room, then operate it. The price and life of these air conditioners are the same, and the type and amount of the refrigerant used in the air conditioners are the same.

Table Specifications of air conditioners

	Air conditioner A	Air conditioner B	Air conditioner C
Cooling capacity [kW]	2.5	2.5	2.0
Power input for cooling [W]	500	400	600
Annual power consumption for cooling [kWh]	200	300	400

(1-1) Which air conditioner would you choose from the viewpoint of global warming countermeasure? Choose one, and explain your reason.

(1-2) If the supply and demand of electric power is tight in the society, which air conditioner would you choose from the viewpoint of power saving? Choose one, and explain your reason.

(1-3) Which air conditioner has the best coefficient of performance (COP)? Explain and include the COP value in your answer.

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

(2) Choose the appropriate answers from the options listed below to fill in the parentheses ( a ) to ( d ) in the following sentences.

In the seawater desalination process using reverse osmosis membrane, seawater is usually pretreated with microfiltration membrane or ultrafiltration membrane before being introduced into the reverse osmosis filtration. Pore size of ultrafiltration membrane is nominally in the range of ( a ), where microbes and viruses are rejected but sodium ion and chloride ion pass through. After the pretreatment seawater is pressurized with a pump and filtrated by reverse osmosis membrane. Saline concentration in seawater is approximately ( b ), and osmotic pressure of seawater is around ( c ). When the reverse osmosis filtration of  $1 \text{ m}^3$  seawater generates  $0.6 \text{ m}^3$  of permeate water with saline concentration less than  $500 \text{ mg/L}$ , osmotic pressure of the concentrated seawater is approximately ( d ) times as high as that of original seawater, and much higher pressure is required for the filtration process.

Options for ( a ):  $10^{-11} - 10^{-10} \text{ m}$ ,  $10^{-9} - 10^{-8} \text{ m}$ ,  $10^{-7} - 10^{-6} \text{ m}$ ,  $10^{-5} - 10^{-4} \text{ m}$

Options for ( b ): 3.5%, 5.5%, 7.5%, 9.5%

Options for ( c ): 25 kPa, 250 kPa, 2.5 MPa, 25 MPa

Options for ( d ): 1.7, 2.5, 3.6, 6.0

(3) Toluene is a toxic substance to the human body. In the workplace dealing with toluene, workers must avoid respiratory exposure by sufficiently conducting local exhaust ventilation or total ventilation. Consider an operation using toluene for 5 hours in a room with an inner volume of  $20 \text{ m}^3$ . Evaporation rate of toluene during the operation is constant at  $10 \text{ mg/min}$ . To control toluene concentration at room atmosphere, the room is entirely ventilated during the operation.

What is the necessary ventilation rate [ $\text{m}^3/\text{min}$ ] to maintain toluene concentration in the room atmosphere not to exceed 5 ppm (vol/vol) throughout the operation? Answer should be two significant digits. For simplicity, assume that air in the room is in the state of complete mixing and thus toluene concentration in the room is spatially uniform, and that toluene concentration in the room at the beginning of the operation is 5 ppm (vol/vol). In addition, assume that room temperature and pressure are constant at  $25^\circ\text{C}$  and 1 atm, and that toluene concentration outside the room is negligible. Note that molecular weight of toluene is 92 and that gas constant is  $0.082 \text{ L}\cdot\text{atm}/(\text{K}\cdot\text{mol})$ .

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

(4) The number of storks flying and the number of humans born in a country every year were observed as shown in the table below.

Table Relationship between storks flying and humans born

Number of storks flying	Number of humans born
130	56000
170	64000
180	67000
190	69000
230	74000

(4-1) Find the correlation coefficient between the number of storks flying and the number of humans born. Use  $\sqrt{9256} = 96.2$ , if necessary.

(4-2) Explain spurious correlation using this case.

(5) The “International Convention for the Control and Management of Ships’ Ballast Water and Sediments” (Ballast Water Management Convention) will enter into force on 8 September 2017. *Ballast water* is the water loaded in tanks and cargo holds of ships when the ships navigate with no freight, and it is discharged in port when the ships load their freight. This international convention will regulate the discharge of ballast water in terms of water quality and place to discharge.

(5-1) Why do ships load ballast water when they sail with no freight? Explain the reason using about two lines on the answer sheet.

(5-2) Why is the discharge of ballast water being regulated internationally? Explain the reason using about two lines on the answer sheet.

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

(6) Graphs A–D shown below are examples of the plot of the cumulative incident number of event Y against the number or history (time) of event X being conducted repeatedly. As shown in the graphs, the relationship between X and Y shows each characteristic pattern depending on the contents of X and Y. Also, even for the same X and Y, the pattern changes under a different condition or assumption of the relationship between them. Based on these facts, answer the following questions.

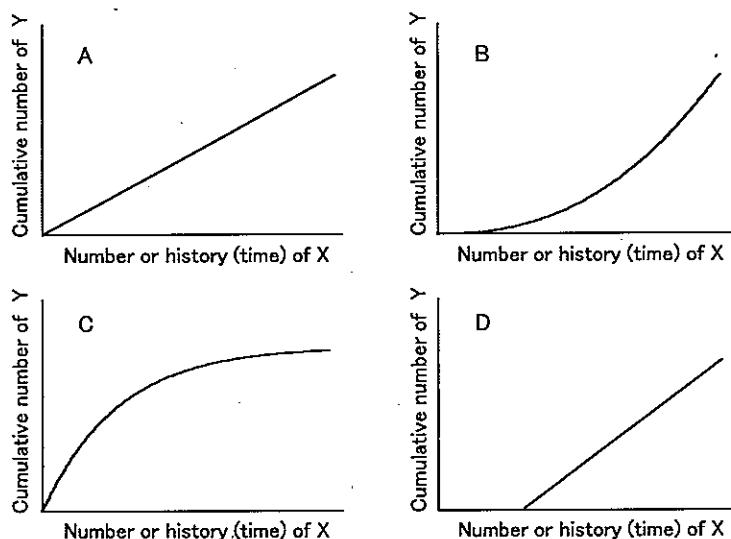
(6-1) Suppose X is the “number of trial manufactures of a new product in the development stage”, and Y is the “cumulative number of defective products”. Which relationship is expected between X and Y? Choose the most probable graph from A–D, and explain your reason.

(6-2) Suppose X is the “amount of exposure by a substance” and Y is the “cumulative number of health problems (illnesses) caused by the substance”. Under a certain assumption, the relationship between X and Y is found to exhibit as shown in Graph D. Briefly describe the plausible assumption using the terms “metabolism” and “threshold”.

(6-3) Suppose X is the “years of one’s driving career” and Y is the “cumulative number of car accidents caused by the driver”. Draw the graph of the relationship between X and Y with brief explanation under the following assumption:

<Assumptions>

- . Number of car accidents depends on the driver’s driving technique.
- . One’s driving technique improves as the years of the one’s car driving increase.
- . After reaching a certain age, one’s driving technique declines with advancing age.



(Category B continues to the next page.)



## 2

(1) Nuclear power generation generates power using nuclear fuel. It has an advantage of not emitting CO<sub>2</sub> at power generation, but it also has a disadvantage of generating radioactive waste which needs management.

(1-1) When 1.0 g of Uranium 235 undergoes nuclear fission and mass defect of 0.090% occurs, how many kg is generated energy if calculated to coal? Here, heating value of coal is 25000 kJ/kg and speed of light is  $3.00 \times 10^8$  m/s.

(1-2) In a light-water reactor type nuclear power plant, explain the mechanism from nuclear fuel input to power generation step by step.

(1-3) The half-life of Cesium 137 is 30.1 years. If radioactivity was 1 when a Cesium 137 atom was released, what is the radioactivity after 100 years? Use  $\log_e 2 = 0.693$ ,  $\log_e 3 = 1.10$ , and  $\log_e 5 = 1.61$ , if necessary.

(1-4) A deep underground repository of high level radioactive waste is investigated in order to keep it away from a living environment. What processes are considered, where radioactive nuclide repositied deeply underground reaches a living environment. Write three possible processes.

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

(2) A graduate student S is conducting a study to quantify human exposure to a chemical substance called methyl *p*-hydroxybenzoate (methylparaben). S's research target is a group T which consists of 10 male and 10 female undergraduate students. Methylparaben is a compound that is added in cosmetics, pharmaceuticals, and foods as a preservative; and it is known to cause endocrine disruption. Previous research reports that more than 80% of methylparaben absorbed in human body is transported to urine and discharged within 24 hours. Therefore, S has been collecting urine samples of the group T regularly and measuring concentration of methylparaben in the samples.

(2-1) Prior to the sampling, S prepared well-rinsed containers A, B, C, D, ... and put a certain amount of pure water in the containers A and B in the laboratory. Leaving the container A in the laboratory, S brought the containers B, C, D,... to the group T for sampling and took the urine samples of the group T members in the empty containers C, D, .... In addition, S did the same actions (opening/closing of the lid, etc.) to the container B during the sampling. After the sampling, S brought the containers B, C, D,... back to the laboratory and performed analytical procedures to quantify methylparaben concentrations for the liquid contained in each container (A, B, C, D,...).

What is the meaning of the two blank samples in the containers A and B? Explain the meaning of each blank sample.

(2-2) For the measurement of methylparaben concentrations, S added 1 mL of 300 ppb aqueous solutions of methyl *p*-hydroxybenzoate-2,3,5,6- $d_4$  (methylparaben with its four hydrogen atoms are replaced with deuterium atoms) as an internal standard into 1 mL of urine samples, blank samples, and standard solutions of methylparaben with known concentrations. After adding the internal standard, S conducted sequential treatment of enzymatic decomposition, shaking, pH adjustment, centrifugation, solid-phase extraction, dissolution, etc. to the samples and measured their methylparaben concentrations by high performance liquid chromatography.

Explain the role of the internal standard substance in these analytical procedures. In addition, explain what indexes S should take as x-axis and y-axis if S would like to draw a calibration curve to determine the methylparaben concentrations in the urine samples using the information of internal standard.

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

(2-3) Methylparaben concentration in each sample can be determined following the procedures described above; however, excretion amount of urine generally varies depending on a person's water intake and perspiration. The concentrations of the components in urine vary accordingly. Therefore, S decided to adjust the measured methylparaben concentrations considering the density of each urine sample and to make a discussion based on the adjusted concentrations. S measured specific gravity of all urine samples and calculated adjusted concentrations by adjusting the specific gravity to 1.020 which is the standard value for the urine of Japanese subjects.

When the specific gravity of a urine sample is  $\rho$  ( $1.010 < \rho < 1.030$ ) and methylparaben concentration in the sample is measured to be  $C$ , derive the equation for obtaining the adjusted concentration.

(2-4) Through quantitative analysis, S observed a tendency in which methylparaben concentrations in urine samples of female subjects are higher than those of male subjects. To judge whether the difference between female and male subjects is statistically significant, S considered to apply t-test for the difference between female's mean concentration and male's mean concentration. However, S was advised by Professor U that S should carefully examine the distribution of the data before applying t-test.

Explain the point that S should consider before applying t-test. In addition, describe an alternative method when application of t-test is inadequate.

(Category B continues to the next page.)

3

(1) Find the sum of the number of digits of  $2^{2017}$  and that of  $5^{2017}$ .

(2) Consider the following ordinary differential equation for a function  $f(x)$  defined for real number  $x$ .

$$\frac{d^2 f}{dx^2} = i\omega f$$

Find the solution satisfying the following boundary conditions

$$\begin{cases} \lim_{x \rightarrow \infty} |f(x)| = 0 \\ f(0) = 1 \end{cases}$$

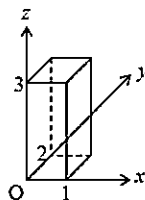
where  $\omega$  is a positive real number, and  $i$  is the imaginary unit ( $i = \sqrt{-1}$ ).

(3) Fourteen children picked up one or more acorn(s) per person. The total number of picked-up acorns was 100. Prove that two or more children picked up the same number of acorn(s).

(4) Suppose that the Earth is a perfect sphere. Consider moving along the Earth's surface from point A, located at 45 degrees north latitude and 120 degrees east longitude, to point B, located at 45 degrees north latitude and 30 degrees east longitude. Find the ratio between the length of the route heading due west and that of the shortest route.

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

(5) Consider a rectangular parallelepiped domain as shown in the following figure.



Assume the divergence of the vector  $A$  is

$$\nabla \cdot A = x(1-x)y(2-y)z(3-z) .$$

Find the surface integral  $\int_S A \cdot n dS$  over the surface  $S$ , where  $S$  is the whole surface of the rectangular parallelepiped domain, and  $n$  is the outward unit normal vector of  $S$ .

(6) Body lengths of males of the animal A living in an area are normally distributed with a mean of 40 cm and a standard deviation of 4 cm. Body lengths of females are normally distributed with a mean of 30 cm and a standard deviation of 3 cm. Answer the following questions. Use the table below if necessary. The table shows the values of  $\int_0^z \phi(x) dx$  when  $\phi(x)$  is a probability density function of the standard normal distribution. For example,  $\int_0^z \phi(x) dx = 0.2611$  when  $z = 0.71 (= 0.7 + 0.01)$ .

(6-1) When sampling 1 male randomly, what is the probability that body length is 50 cm or more?

(6-2) When sampling 9 females randomly, what is the distribution of mean of their body length?

(6-3) When sampling 1 male and 1 female randomly, what is the probability that female body length is greater than male body length?

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

Table Standard Normal Distribution

	+0.00	+0.01	+0.02	+0.03	+0.04	+0.05	+0.06	+0.07	+0.08	+0.09
0.0	0.0000	0.0040	0.0080	0.0120	0.0160	0.0199	0.0239	0.0279	0.0319	0.0359
0.1	0.0398	0.0438	0.0478	0.0517	0.0557	0.0596	0.0636	0.0675	0.0714	0.0753
0.2	0.0793	0.0832	0.0871	0.0910	0.0948	0.0987	0.1026	0.1064	0.1103	0.1141
0.3	0.1179	0.1217	0.1255	0.1293	0.1331	0.1368	0.1406	0.1443	0.1480	0.1517
0.4	0.1554	0.1591	0.1628	0.1664	0.1700	0.1736	0.1772	0.1808	0.1844	0.1879
0.5	0.1915	0.1950	0.1985	0.2019	0.2054	0.2088	0.2123	0.2157	0.2190	0.2224
0.6	0.2257	0.2291	0.2324	0.2357	0.2389	0.2422	0.2454	0.2486	0.2517	0.2549
0.7	0.2580	0.2611	0.2642	0.2673	0.2704	0.2734	0.2764	0.2794	0.2823	0.2852
0.8	0.2881	0.2910	0.2939	0.2967	0.2995	0.3023	0.3051	0.3078	0.3106	0.3133
0.9	0.3159	0.3186	0.3212	0.3238	0.3264	0.3289	0.3315	0.3340	0.3365	0.3389
1.0	0.3413	0.3438	0.3461	0.3485	0.3508	0.3531	0.3554	0.3577	0.3599	0.3621
1.1	0.3643	0.3665	0.3686	0.3708	0.3729	0.3749	0.3770	0.3790	0.3810	0.3830
1.2	0.3849	0.3869	0.3888	0.3907	0.3925	0.3944	0.3962	0.3980	0.3997	0.4015
1.3	0.4032	0.4049	0.4066	0.4082	0.4099	0.4115	0.4131	0.4147	0.4162	0.4177
1.4	0.4192	0.4207	0.4222	0.4236	0.4251	0.4265	0.4279	0.4292	0.4306	0.4319
1.5	0.4332	0.4345	0.4357	0.4370	0.4382	0.4394	0.4406	0.4418	0.4429	0.4441
1.6	0.4452	0.4463	0.4474	0.4484	0.4495	0.4505	0.4515	0.4525	0.4535	0.4545
1.7	0.4554	0.4564	0.4573	0.4582	0.4591	0.4599	0.4608	0.4616	0.4625	0.4633
1.8	0.4641	0.4649	0.4656	0.4664	0.4671	0.4678	0.4686	0.4693	0.4699	0.4706
1.9	0.4713	0.4719	0.4726	0.4732	0.4738	0.4744	0.4750	0.4756	0.4761	0.4767
2.0	0.4772	0.4778	0.4783	0.4788	0.4793	0.4798	0.4803	0.4808	0.4812	0.4817
2.1	0.4821	0.4826	0.4830	0.4834	0.4838	0.4842	0.4846	0.4850	0.4854	0.4857
2.2	0.4861	0.4864	0.4868	0.4871	0.4875	0.4878	0.4881	0.4884	0.4887	0.4890
2.3	0.4893	0.4896	0.4898	0.4901	0.4904	0.4906	0.4909	0.4911	0.4913	0.4916
2.4	0.4918	0.4920	0.4922	0.4925	0.4927	0.4929	0.4931	0.4932	0.4934	0.4936
2.5	0.4938	0.4940	0.4941	0.4943	0.4945	0.4946	0.4948	0.4949	0.4951	0.4952
2.6	0.4953	0.4955	0.4956	0.4957	0.4959	0.4960	0.4961	0.4962	0.4963	0.4964
2.7	0.4965	0.4966	0.4967	0.4968	0.4969	0.4970	0.4971	0.4972	0.4973	0.4974
2.8	0.4974	0.4975	0.4976	0.4977	0.4977	0.4978	0.4979	0.4979	0.4980	0.4981
2.9	0.4981	0.4982	0.4982	0.4983	0.4984	0.4984	0.4985	0.4985	0.4986	0.4986
3.0	0.4987	0.4987	0.4987	0.4988	0.4988	0.4989	0.4989	0.4989	0.4990	0.4990

(Category B continues to the next page.)

4

(1) Let  $n$  be a natural number greater than 1. Suppose that  $A_n$  is a square matrix of size  $n$ , which is the tridiagonal matrix of which elements are zeros except for the main diagonal, the first diagonal above and below the main diagonal, defined as follows:

$$A_n = \begin{pmatrix} -3 & 1 & & & \\ 2 & -3 & 1 & & \mathbf{0} \\ & 2 & -3 & 1 & \\ & & & & \\ \mathbf{0} & & 2 & -3 & 1 \\ & & & 2 & -3 \end{pmatrix}.$$

Answer the following questions using the above definition.

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

(1-2) Find all the eigenvalues and the eigenvectors of  $A_3 = \begin{pmatrix} -3 & 1 & 0 \\ 2 & -3 & 1 \\ 0 & 2 & -3 \end{pmatrix}$ . Choose the

vectors of which first element is 1 for the answer of the eigenvectors.

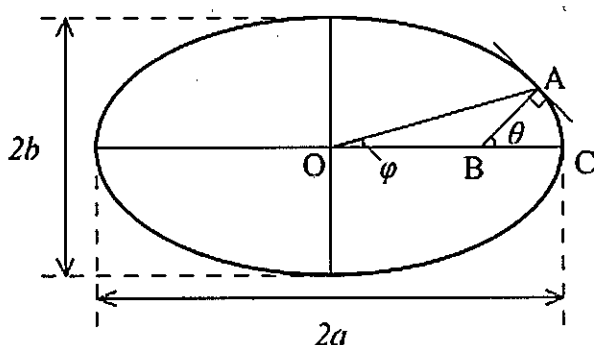
(1-3) Consider the vectors  $x = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix}$  and  $b = \begin{pmatrix} -2 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}$  of size  $n(\geq 3)$ . The solution of the

linear simultaneous equation  $A_n x = b$  can be formulated as  $x_m = 1 - \frac{\alpha_m - 1}{2^{n+1} - 1}$

( $1 \leq m \leq n$ ). Express  $\alpha_m$  in terms of  $m$ .

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

(2) Consider an ellipse with a center of point  $O$ , a long radius of  $a$ , and a short radius of  $b$ , as shown in the figure below. There is a straight line perpendicular to the tangent line at point  $A$  on the arc of the ellipse, and point  $B$  is the intersection of this line and the major axis. Point  $C$  is the intersection of the major axis and the arc of the ellipse, and the measures of angles are as follows:  $\angle ABC = \theta$  and  $\angle AOC = \varphi$ . Suppose  $0 < \varphi < \frac{\pi}{2}$  and answer the following questions.



(2-1) Express  $\frac{\tan \varphi}{\tan \theta}$  in terms of  $a$  and  $b$ .

(2-2) Express the length of the line segment  $OA$  in terms of  $a$ ,  $b$ , and  $\theta$ .

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



(3) A department has the same number of students and laboratories. Only one student is assigned to one laboratory. Each student ranks the laboratories in order of preference, and each laboratory ranks the students in the same manner (Assume that the same rank for multiple students or multiple laboratories is prohibited). Based on these rankings, the students are assigned to their laboratories according to the process described in the following four steps:

1. First, student 1 applies to the laboratory ranked first in his/her laboratory ranking list. The laboratory has no students, so student 1 is tentatively assigned to that laboratory.
2. Then, student 2 applies to the laboratory ranked first in his/her laboratory ranking list.
  - (a) If the laboratory has no students, the student is tentatively assigned to the laboratory. That is, the tentative assignments of students 1 and 2 are made. The process then proceeds to student 3.
  - (b) If student 1 is tentatively assigned to the laboratory and that laboratory prefers student 2, then student 2 is tentatively assigned to that laboratory and student 1 loses his/her tentatively assigned laboratory.
  - (c) If student 1 is tentatively assigned to the laboratory and that laboratory prefers student 1, then student 2 is unable to get his/her laboratory.
  - (d) Student 1 who lost the opportunity of being assigned to his/her laboratory in (b) or student 2 who was unable to get his/her laboratory in (c) applies to the next laboratory in their preference ranking. The process or any part of thereof, then repeats itself.
3. The same steps of the laboratory assignment process are conducted from the student 3 and after.
4. After the last student has been assigned, the laboratory assignments are now fixed.

Three variables  $N$ ,  $StoL[ ][ ]$ , and  $LtoSO[ ][ ]$  are given. Write a program using the pseudo-language (see the following pages), which assigns all of the students to the laboratories according to the above assigning method and outputs  $Ans[ ]$  which represents the result of assignment for each laboratory. See the following table for the explanation of these variables. When you output an array, write `Print( )` using the function `Print( )` which outputs all of the elements of the array. You may declare and use variables if needed by setting their types.

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

The three variables N (integer), StoL[ ][ ] (two-dimensional integer matrix), and LtoSO[ ][ ] (two-dimensional integer matrix) shall have already been declared and stored input values.





Table Description of variables

Variable	Description
N	Number of students (= number of laboratories)
StoL[ ][ ]	Two-dimensional array which represents a laboratory order list ranked by each student (first subscript: student number; second subscript: <u>order of laboratory preference ranked by each student; the element: laboratory number</u> )
LtoSO[ ][ ]	Two-dimensional array which represents a student order list ranked by each laboratory (first subscript: laboratory number; second subscript: <u>student number; the element: order of student preference ranked by each laboratory</u> )
Ans[ ]	One-dimensional array which represents the result of assignment for each laboratory (subscript: laboratory number; the element: student number)

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

Specification list and examples of pseudo language

[Declaration and processing]

Description format	Explanation
<b>Declaration</b>	
○ type of variable: name of variable	Declares a scalar variable.
○ type of variable: name of variable[ ]	Declares an array variable. (subscripts are from 1 to $N$ when the number of elements is $N$ )
<b>Processing</b>	
• variable ← expression	Assigns the value of expression to variable.
 conditional expression statement	Describes a single choice processing. Statement is performed if conditional expression is true. *Many languages provide this function using <i>if</i> statements.
 conditional expression statement 1 statement 2	Describes a double-choice processing. Statement 1 is performed if conditional expression is true, and statement 2 is performed if false. *Many languages provide this function using <i>if-else</i> statements.
 conditional expression statement	Describes a pretest loop processing. Statement is performed repeatedly while conditional expression is true. *Many languages provide this function using <i>while</i> statements.
 variable: initial, conditional expression, increment statement conditional expression	Describes a loop processing. Initial is stored in variable at the beginning. Statement is repeated while conditional expression is true. Also, increment is added to variable at the end of each iteration of statement. *Many languages provide this function using <i>for</i> statements.
/* note */	Describes a comment in note.

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

[Type of variable]

Type	Explanation
Integer	Represents integers.
Boolean	Can have one of the two values: true or false.

[Operators and their precedence]

Type	Operator	Precedence
Multiplicative	$\times, \div, \%$	<div style="text-align: center;"> High  <math>\updownarrow</math>  Low </div>
Additive	$+, -$	
Relational	$>, <, \geq, \leq, =, \neq$	

Division of two integers returns an integer quotient.

The % operator represents remainder.

[Example 1]

Write a program that calculates the sum of odd numbers among integers from 1 to 10 and outputs true in the solution when the sum is even, and outputs false when the sum is odd.

○ Integer: N, S

○ Boolean: Ans                      /\* Ans is a variable which stores the solution \*/

• Ans  $\leftarrow$  false

• S  $\leftarrow$  0

■ N: 1, N  $\leq$  10, 1

$\uparrow$  N % 2  $\neq$  0

        • S  $\leftarrow$  S + N

■  $\uparrow$  S % 2 = 0

    • Ans  $\leftarrow$  true

    • Print( Ans )

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

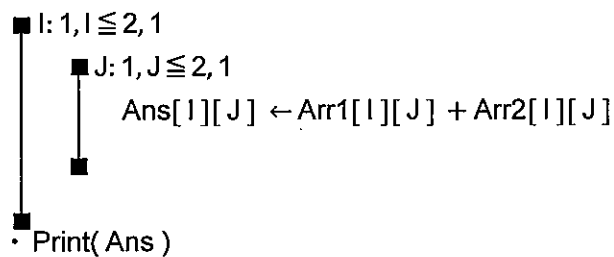
[Example 2]

Write a program that executes the following matrix calculation and output.

$$\begin{pmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 2 & 3 \\ 1 & 4 \end{pmatrix} =$$

○ Integer: Arr1[ 2 ][ 2 ], Arr2[ 2 ][ 2 ]      /\* Array storing the matrices \*/  
○ Integer: Ans[ 2 ][ 2 ], I, J      /\* Ans is a variable which stores the solution \*/

- Arr1[ 1 ][ 1 ] ← 2
- Arr1[ 1 ][ 2 ] ← 1
- Arr1[ 2 ][ 1 ] ← 1
- Arr1[ 2 ][ 2 ] ← 2
- Arr2[ 1 ][ 1 ] ← 2
- Arr2[ 1 ][ 2 ] ← 3
- Arr2[ 2 ][ 1 ] ← 1
- Arr2[ 2 ][ 2 ] ← 4



(Category B continues to the next page.)

5

(1) Answer the following questions.

(1-1) A car with a weight of 1.0 t is traveling at 36 km per hour by a constant velocity linear motion. Consider that the car is braked and stops in 2.0 seconds after receiving a certain negative acceleration. Under this situation, determine (a) the acceleration and (b) the force to stop the car. Use proper units for each answer.

(1-2) Consider an ideal gas composed of monoatomic molecules. When the amount of substance of the gas is always constant, this gas was slowly changed in the order of State I  $\rightarrow$  State II  $\rightarrow$  State III  $\rightarrow$  State IV shown in the table below. Determine the ratio ( $T_{IV}/T_{II}$ ) of temperature of this gas in State IV ( $T_{IV}$ ) to its temperature in State II ( $T_{II}$ ).

State of the ideal gas	Pressure (atm)	Volume (L)
I	2.0	3.0
II	2.0	15
III	1.0	15
IV	1.0	3.0

(1-3) A nucleus of nitrogen is accelerated by the high voltage of  $5.0 \times 10^6$  V. Under this situation, determine the energy this nucleus receives. Use the proper unit.

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

(2) Answer the following questions about universal gravitation.

(2-1) Using Kepler's Third Law, derive an equation showing the law of universal gravitation using an example of the relationship between the Sun and the Earth. Here, Kepler's Third Law is 'the square of the revolution cycle  $T$  of a planet is proportional to the cube of the orbit ellipse major diameter  $r$  of the planet ( $T^2/r^3 = k$  (constant))'. Suppose that the movement of the Earth is a constant velocity circular motion with the Sun as the center. Use  $r$ : the revolution radius,  $M$ : the mass of the Sun,  $m$ : the mass of the Earth,  $F$  ( $= F_M = F_m$ ): mutual attraction force, and  $G$ : the gravitational force constant.

(2-2) Suppose the Earth is a uniform sphere. The gravity that an object outside the Earth receives from the Earth is equal to the gravitational force that the object receives from the Earth, assuming that the total mass of the Earth is concentrated at one point in the center of the Earth. Under this situation, express the gravitational acceleration  $g$  on the surface of the Earth with the universal gravitational constant  $G$ , the mass of the Earth  $m$  and radius of the Earth  $r_0$ .

(3) Answer the following questions about micro deformation of an elastic body.

When enlarging an elastic body, the object shrinks in the direction perpendicular to the enlarged direction. When the strain in the enlarging direction is  $e$  and the strain in its vertical direction is  $e'$ ,  $\varepsilon = -e'/e$  is called the ( ) ratio, and its value is 0.5 or less.

(3-1) Answer the proper word for ( ) in the text above.

(3-2) Prove that  $\varepsilon$  is 0.5 or less.

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

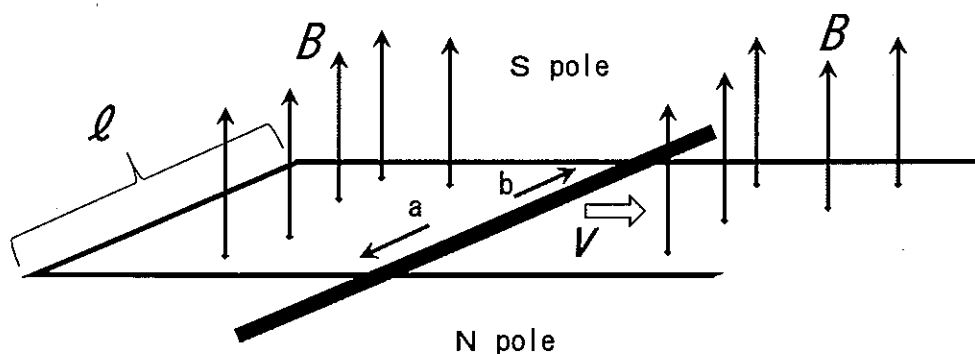
(4) Consider a steady flow of incompressible complete fluid (density  $\rho$ ). Answer the following questions when setting the pressure at an arbitrary point on one streamline as  $p$ , the flow velocity as  $v$ , the gravitational acceleration as  $g$ , and the vertical coordinate (height) as  $h$ .

(4-1) Complete the following general formula that represents Bernoulli 's theorem, which can be applied to complete fluids, by filling ( ) with the proper formula.

$$( \quad ) + \frac{1}{2}\rho v^2 = \text{constant}.$$

(4-2) Bernoulli's theorem can be applied to complete fluids, however, this cannot be applied to viscous fluids. Explain the reasons in about two lines.

(5) In a magnetic field of a uniform magnetic flux density  $B = 3.0 \times 10^{-2} \text{ T}$ , a U-shaped conductor perpendicular to this is installed as in the following figure. Under  $\ell = 0.40 \text{ m}$ , when moving a movable conductor at a constant speed of  $V = 5.0 \text{ m s}^{-1}$  in a direction to the right as shown below, calculate the magnitude of the induced electromotive force generated in the conductor. In addition, choose the direction of the resulting current from either "a" or "b" in the figure below.



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



(6) Ideal gas (1 mol, volume  $V(\text{m}^3)$ ) is sealed in a cylinder and exists under the status of the thermal equilibrium maintained at the temperature of  $T(\text{K})$ . When the volume of this ideal gas doubles with quasi-static isothermal change, calculate the work that the ideal gas in the cylinder makes against the outside in this process. Use the gas constant as  $R(\text{J K}^{-1} \text{mol}^{-1})$ .

(7) An object stands perpendicular to the axis at a position 10 cm from a convex lens on the axis of the lens (focal length: 6.0 cm).

(7-1) Choose the position of the image under the above condition from either "a" or "b" below, and calculate its distance.

- [Position Options]      a. Front side of lens (object side)  
                                    b. Back side of lens (opposite side of object)

(7-2) Choose the type of image under the above condition from "c" or "d" below, and calculate its magnification.

- [Image Type Options]      c. Erect image      d. Inverted image

(8) Answer the following questions about photons.

(8-1) Describe the characteristics of electron pair generation (one of the interactions between photons and a substance), while comparing them with the characteristics of other interactions (photoelectric effect and Compton scattering).

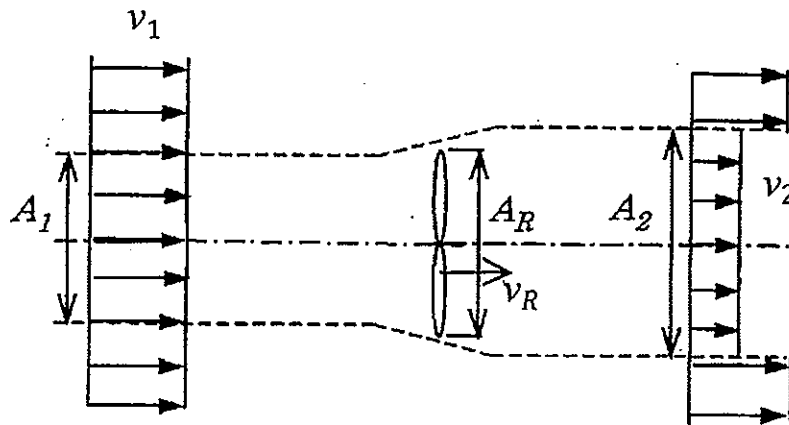
(8-2) Two photons are generated when an electron and a positron collide with each other and the pair disappears. When the mass of an electron and a positron is  $m$ , speed of light is  $c$ , frequency of photons to be generated is  $\nu$ , and Planck's constant is  $h$ , show an equation that indicates the sum of the static energy of the electron-positron pair is equal to the sum of the energy of the two photons to be generated.

(8-3) Calculate the wavelength of photons (unit m) which are generated under the situation of (8-2), using  $m = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$ ,  $c = 3.00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$  and  $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J s}$ .

(Category B continues to the next page)

6

(1) The air flow passing through a wind turbine is modeled as in the figure. A wind works on the turbine with a cross-sectional area  $A_R$  and loses momentum, and the pressure recovers downstream. The wind has a velocity  $v_1$  in a cross-sectional area  $A_1$  upstream of the turbine, while it has a velocity  $v_2$  in a cross-sectional area  $A_2$  downstream. Answer the following questions for a wind turbine with 20 m diameter. Assume the air density  $\rho$  is  $1.2 \text{ kg m}^{-3}$ .



(1-1) Suppose that the wind velocity continuously varies and the density and temperature of air do not change at the upstream and the downstream of the turbine, the wind velocity  $v_R$  at the turbine equals  $\frac{1}{2}(v_1 + v_2)$ . Under this assumption, express the mass of air  $Q$  passing through the turbine per unit time in terms of  $A_R$ ,  $v_1$ ,  $v_2$ , and  $\rho$ .

(1-2) The power generation efficiency of the wind turbine is defined as  $P/E$ , where  $P$  is the power generated by the wind turbine, and  $E$  is the kinetic energy of the air passing through the cross-sectional area  $A_R$  with the velocity  $v_1$  per unit time. When a power of  $8.0 \times 10^4 \text{ W}$  is generated in a stationary wind of  $v_1 = 10 \text{ m sec}^{-1}$ , determine the power generation efficiency of the turbine.

(1-3) Assuming that the power generation efficiency obtained in (1-2) remains, how much power will be generated when  $v_1 = 20 \text{ m sec}^{-1}$ ?

(Question 6 of Category B continues to the next page)

(1-4) Let  $\Delta E$  be the change in wind energy before and after passing through the turbine (difference between wind energy passing through the cross section  $A_1$  and that passing through the cross section  $A_2$  per unit time). Express  $\Delta E$  in terms of  $A_R$ ,  $v_1$ ,  $v_2$ , and  $\rho$ .

(1-5) When  $a = v_2 / v_1$ , express the power coefficient of the turbine (an indicator for energy conversion efficiency)  $C_p = \Delta E / E$  in terms of  $a$ .

(1-6) Find the maximum value of  $C_p$  and the corresponding value of  $a$ .

(1-7) Find the force acting on the turbine by a wind of  $v_1 = 10 \text{ m sec}^{-1}$  under the condition of (1-6).

(Question 6 of Category B continues to the next page)

(2) A plane wave is incident normally on the upper surface of an elastic plate of thickness  $h$ . When the frequency of the incident wave changes, the plate resonates each time the frequency becomes an integer multiple of  $F$ . Let  $V$  be the velocity of the wave traveling in the plate.

(2-1) Assuming that the upper and lower surfaces of the plate are free ends, express  $F$  in terms of  $h$  and  $V$ .

(2-2) When  $V = 1.0 \times 10^4 \text{ m sec}^{-1}$ , the resonance occurs at the frequencies of  $4.0 \times 10^6 \text{ Hz}$  and  $6.0 \times 10^6 \text{ Hz}$ . Find the minimum value of plate thickness  $h$ .

(2-3) The lower surface of the plate is bonded to a rigid body, so that the bonded surface cannot move. A plane wave is normally incident upon the upper surface of the plate in the same way. When the plate thickness  $h$  is the same value obtained in (2-2), determine the minimum frequency at which the plate resonates.

(3) Answer the following questions.

(3-1) When the same electric power is sent from a power plant, which will reduce the power loss at the transmission line, increasing the voltage or decreasing it? Explain the reason in about 4 lines.

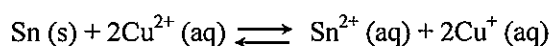
(3-2) Why is it easier to hear distant sound in a calm night in winter than in a calm daytime in summer? Explain the reason in about 5 lines.

(3-3) A boat with a large rock on board is floating in a pond. When the rock is thrown from the boat into the pond, it sinks to the bottom of the pond and is completely submerged. Does the water level in the pond rise or fall? Explain the reason in about 3 lines.

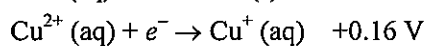
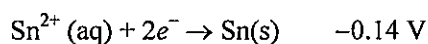
(Category B continues to the next page)

7

(1) For the electromotive force ( $E^0$ ) and the equilibrium constant ( $K$ ) in the following reaction at 25°C, calculate the values of  $E^0$  and  $\ln K$ .



The standard reduction potentials for  $\text{Sn}^{2+}$  and  $\text{Cu}^{2+}$  in aqueous solutions are as follows.

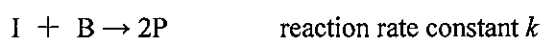
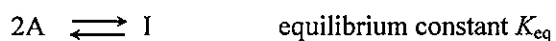


Use the following values, if necessary.

Gas constant:  $R = 8.31 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ , Faraday's constant:  $F = 9.65 \times 10^4 \text{ C mol}^{-1}$

(2) Draw resonance structures of (a)  $\text{CO}_3^{2-}$  and (b)  $\text{N}_2\text{O}$  using Lewis structures, for each one.

(3) Answer the questions of (3-1) and (3-2) concerning the following gas phase reaction.



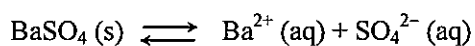
(Overall reaction  $2\text{A} + \text{B} \rightarrow 2\text{P}$ )

(3-1) If A and intermediate I are in rapid equilibrium (i.e. pre-equilibrium), find the rate of formation of P.

(3-2) The value of activation energy in the overall reaction is negative. Explain the reason. Here, the reaction,  $2\text{A} \rightarrow \text{I}$  is exothermic.

(Question 7 of Category B continues to the next page.)

( 4 ) An aqueous solution of  $\text{BaCl}_2$  ( $0.10 \text{ dm}^3$ ,  $4.0 \times 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$ ) was added to an aqueous solution of  $\text{K}_2\text{SO}_4$  ( $0.30 \text{ dm}^3$ ,  $8.0 \times 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$ ) at  $25^\circ\text{C}$ . Will the precipitate form? Answer it with a relevant reason. Use the value of the solubility product,  $K_s = 1.1 \times 10^{-10} \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6}$ , for the following reaction, if necessary.



( 5 ) Concerning the description of the structures for chemical substances, fill in the following blanks ( A ) - ( H ) by numbers.

Azoles are ( A ) membered aromatic compounds with two or more hetero atoms including nitrogen.

Thiazole has ( B ) carbons and ( C ) hydrogens.

Carbon framework of cubane ( $\text{C}_8\text{H}_8$ ) is a regular polyhedron with ( D ) faces. The number of isomers for trinitrocubane in which three hydrogens of cubane are substituted by nitro groups is ( E ).

The structure of fullerene ( $\text{C}_{60}$ ), which is composed of regular polygons with ( F ) and ( G ) sides, is a polyhedron with ( H ) faces.

( 6 ) Show the structural formula for the main product of each reaction.

(6-1) The reaction between cyclohexene and  $\text{Br}_2$  (solvent: 1,2-dichloroethane; reaction temperature: 300 K)

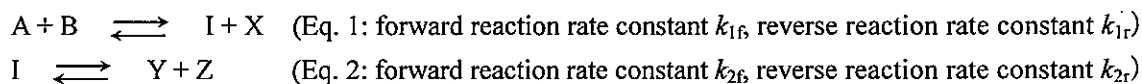
(6-2) The reaction between aniline and nitrosobenzene (solvent: acetic acid; reaction temperature: 300 K)

(6-3) The reaction between maleic anhydride and water (reaction temperature: 300 K)

(6-4) The reaction of allyl phenyl ether (solvent: ethylene glycol; reaction temperature: 450 K)

(Question 7 of Category B continues to the next page.)

( 7 ) The overall reaction equation,  $A + B \rightarrow X + Y + Z$ , is explained by the following reaction mechanism (Eq. 1 and Eq. 2). Find the equilibrium constant for the overall reaction ( $K_{\text{overall}}$ ) using reaction rate constants, if the reactions of Eqs. 1 and 2 are in equilibrium, respectively.



( 8 ) Gas chromatography is used to identify/quantify various substances. Injected samples are separated by moving in the column with a carrier gas, then substances are identified by suitable detectors.

(8-1) Choose the most appropriate detector for the analysis of carbon dioxide, carbon tetrachloride and carbon disulfide, respectively.

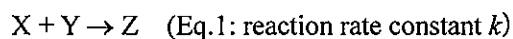
- Thermal conductivity detector (TCD)
- Hydrogen flame ionization detector (FID)
- Electron capture detector (ECD)
- Flame photometric detector (FPD)
- Thermionic detector (TID)

(8-2) When analyzing equal molar amount of propane and acetone, answer which compound has the higher detection sensitivity to FID, and explain your reason.

(Category B continues to the next page.)

## 8

(1) A student performed the following kinetic experiments in liquid phase reaction using a batch reactor at 25°C.



Reactant Y was set in the batch reactor with an excess amount in comparison with reactant X (initial concentrations:  $C_{X0} = 0.0500 \text{ mol dm}^{-3}$ ,  $C_{Y0} = 5.00 \text{ mol dm}^{-3}$ ). The student obtained the kinetic data shown in the following Table from the experimental results.

Table Experimental data							
$t \text{ [min]}$	0	50	100	150	200	250	300
$C_X \text{ [mol dm}^{-3}\text{]}$	0.0500	0.0381	0.0302	0.0254	0.0218	0.0191	0.0167

(1-1) Assuming the pseudo-first-order reaction for reactant Y ( $k' = kC_{Y0}$ ), derive an equation for the reaction time,  $t$ , as a function of the concentration of reactant X,  $C_X$ , for  $n$ th order reaction of reactant X.

(1-2) The student prepared three graphs (see next page) and attempted to determine the reaction order of reactant X. Answer the most appropriate value for the reaction order, and explain your reason.

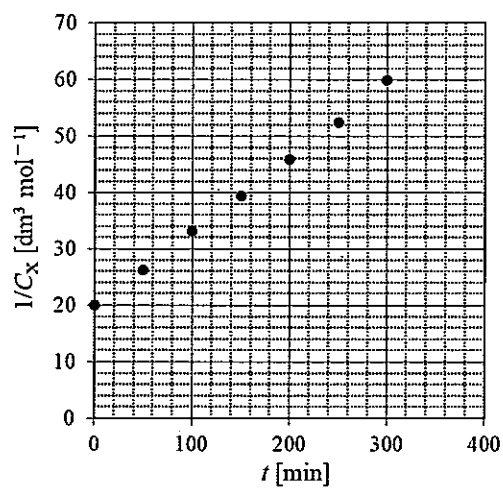
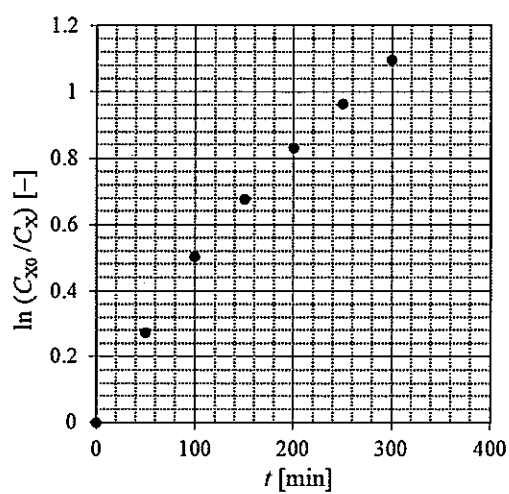
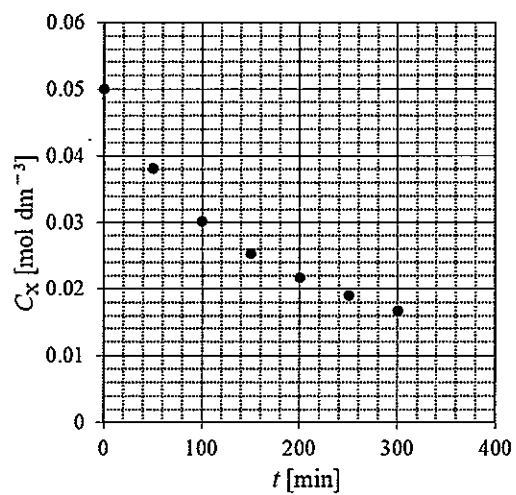
(1-3) Calculate the reaction rate constant,  $k$ , in Eq. 1. Also, show the unit of  $k$ .

(1-4) Calculate the reaction time,  $t$ , when the conversion of reactant X is 0.900.

(1-5) The differential method is another method to determine reaction order. Explain the procedure for the reaction (Eq. 1) using appropriate equations and/or graphs. Calculating specific numerical values is unnecessary for the answer.

(Question 8 of Category B continues to the next page.)





(Question 8 of Category B continues to the next page.)

(2) Answer the following questions (2-1) ~ (2-5).

(2-1) The production ratio of 1-chlorobutane and 2-chlorobutane by the chlorination of butane was 28:72. Calculate how many times the reactivity of the chlorination for a secondary hydrogen is higher than that for a primary hydrogen.

(2-2) Show the structural formulas for all the isomers of the alkene with a chemical formula of  $C_4H_8$ . Write which isomer has the lowest standard enthalpy of formation, and explain your reason.

(2-3) In the reaction between 1,3-butadiene and hydrogen bromide, the ratio of two main products changes when the reaction temperature is  $0^\circ C$  and  $40^\circ C$ . In addition, when the products at  $0^\circ C$  are heated to  $40^\circ C$ , the ratio changes. Show the structural formulas of the two main products, and explain your reason for the change in ratio for the main products by reaction temperatures.

(2-4) The result of elemental analysis for the alternating copolymer of 1,3-butadiene and compound X is  $C:H:N = 78.5 : 8.4 : 13.1$  (wt %). Show the compositional formula of X.

(2-5) BHT (butylated hydroxytoluene) is used as an additive to polymers. Describe the role and action mechanism of this additive.

(Category B ends.)



(修士課程用)

平成 30 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

大学院入学試験問題  
(専門科目 A, B)

平成 29 年 8 月 22 日 (火) 14 時 00 分～16 時 30 分

注 意 事 項

1. 試験開始の合図があるまで、この問題冊子を開かないこと。
2. 本冊子は 31 ページから成っている。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 B の両方に解答すること。専門科目 B については、8 問の中から 2 問を選んで解答すること。
5. 解答用紙が 3 枚渡されるが、A にはマス目のある解答用紙を使用し、B には横罫線のある解答用紙 (2 枚) を使用し、1 問につき解答用紙 1 枚を使用すること。
6. 解答用紙の最初に、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. 解答用紙および問題冊子は、持ち帰らないこと。

受験番号： \_\_\_\_\_

(左に受験番号を記入せよ)

## 專門科目 A

以下に示す5つの用語から一つを選び、その用語の意味もしくはその用語が示す内容を簡単に説明するとともに、その用語が関連する環境問題の今後について、自分の意見や考えを含めて750字以内で論じよ。解答用紙には選択した問題番号(A1 など)を明示すること。

A1. エコツーリズム

A2. カーボンプライシング

A3. 電力貯蔵技術

A4. 可採埋蔵量

A5. 多環芳香族炭化水素 (PAHs)

## 専門科目 B

(1 から 8 までの 8 問のうち任意の 2 問を選択すること)

# 1

(1) 下表は、3種類のエアコン（冷房のみ）について、それぞれカタログから抽出した仕様を示したものである。夏季にわたって、ある部屋の冷房をおこなうために、いずれか1つを選択して、部屋に取り付け、運転したい。なお、3種類のエアコンの価格や寿命はすべて同じ、使用している冷媒の種類と量もすべて同じとする。

表 エアコンの仕様

	エアコン A	エアコン B	エアコン C
冷房能力 [kW]	2.5	2.5	2.0
冷房消費電力 [W]	500	400	600
冷房消費電力量（年間） [kWh]	200	300	400

(1-1) 地球温暖化対策の観点からは、いずれを選択するのがよいか？ 理由とともに答えよ。

(1-2) 社会で電力需給がひっ迫しているとする。このとき、節電の観点からは、いずれを選択するのがよいか？ 理由とともに答えよ。

(1-3) 成績係数(COP)が最も良いエアコンはどれか？ COP の値とともに答えよ。

(専門科目 B の問題 1 は次ページに続く)



(2) 以下の文章の (ア) ～ (エ) に当てはまる最も適切な語句または数値を、それぞれ選択肢から選べ。

逆浸透膜を用いた海水淡水化プロセスでは、海水を逆浸透ろ過装置に導入する前に、まず精密ろ過膜や限外ろ過膜を用いた前処理を行うのが一般的である。限外ろ過膜の孔径は概ね (ア) で、細菌やウイルスがこの前処理により除去されるが、ナトリウムイオンや塩化物イオンは膜を透過する。前処理後の透過水は、ポンプにより昇圧され、逆浸透膜でろ過処理される。海水中の塩分濃度は (イ) 程度であり、その浸透圧は (ウ) 程度である。逆浸透膜ろ過処理により  $1 \text{ m}^3$  の海水から塩分濃度  $500 \text{ mg/L}$  以下の透過水が  $0.6 \text{ m}^3$  得られる場合、濃縮水の浸透圧は元の海水の浸透圧の約 (エ) 倍であって、膜ろ過に際してはそれ以上の圧力を要する。

(ア) の選択肢:  $10^{-11} - 10^{-10} \text{ m}$ 、 $10^{-9} - 10^{-8} \text{ m}$ 、 $10^{-7} - 10^{-6} \text{ m}$ 、 $10^{-5} - 10^{-4} \text{ m}$

(イ) の選択肢: 3.5%、5.5%、7.5%、9.5%

(ウ) の選択肢: 25 kPa、250 kPa、2.5 MPa、25 MPa

(エ) の選択肢: 1.7、2.5、3.6、6.0

(3) トルエンは、人体に有害な化学物質であり、これを扱う作業環境においては局所排気や全体換気を十分に行い、吸入等によるばく露を避けなければならない。いま、ある室内でトルエンを使用する作業を 5 時間行う場合を考える。その部屋の容積は  $20 \text{ m}^3$  であり、作業に伴うトルエンの揮発速度は  $10 \text{ mg/min}$  で一定であるものとする。また、室内空気中のトルエンの濃度を低減するため、作業中は全体換気によってトルエン濃度のコントロールを行うものとする。作業の間、室内空気中のトルエン濃度を 5 ppm (vol/vol) 以下に保つために必要な換気速度 [ $\text{m}^3/\text{min}$ ] を、有効数字 2 桁で求めよ。ただし、簡単のため、室内の空気は完全混合状態であってトルエン濃度は室内で均一であるものとし、作業開始時における室内トルエン濃度を 5 ppm (vol/vol) とする。また、室内は常時  $25^\circ\text{C}$ 、 $1 \text{ atm}$  であるものとし、外気中のトルエンの濃度は無視できるほど小さいものとする。なお、トルエンの分子量は 92、気体定数は  $0.082 \text{ L}\cdot\text{atm}/(\text{K}\cdot\text{mol})$  である。

(専門科目 B の問題 1 は次ページに続く)

(4) ある国では、毎年のコウノトリが飛来する数とヒトの出生数が、下表のように観測された。

表 コウノトリの飛来数とヒトの出生数の関係

コウノトリの飛来数	ヒトの出生数
130	56000
170	64000
180	67000
190	69000
230	74000

(4-1) コウノトリの飛来数とヒトの出生数の相関係数を求めよ。必要に応じて、 $\sqrt{9256} = 96.2$ を用いてもよい。

(4-2) 擬似相関について、この事例を用いて説明せよ。

(5) 2017年9月8日より「バラスト水及び沈殿物の管制及び管理のための国際条約」が発効する。バラスト水とは、貨物船等の船舶が空荷で航行する際に貨物の代わりに船底に積載する水のことであり、貨物を積載する際に船外に排出されている。今後はこの国際条約により、船舶がバラスト水を排出する際の水質や排水場所等について規制されることとなる。

(5-1) 船舶が空荷で航行する際にバラスト水を積載する理由を解答用紙2行程度で説明せよ。

(5-2) バラスト水の排出が国際的に規制される理由を解答用紙2行程度で説明せよ。

(専門科目 B の問題 1 は次ページに続く)

(6) 下のグラフ A～D は、ある事柄 X を繰り返し行った場合の回数や履歴（時間）に対して、事象 Y が起こる累積発生数をプロットした場合の例である。このように、X と Y の関係性を示すグラフは、X や Y の内容に応じて特徴的なパターンを示す。また、同じ X や Y であっても、両者の関係性に関する前提や仮定が異なると、異なったパターンを示す。これらのことをふまえて、以下の設問に答えよ。

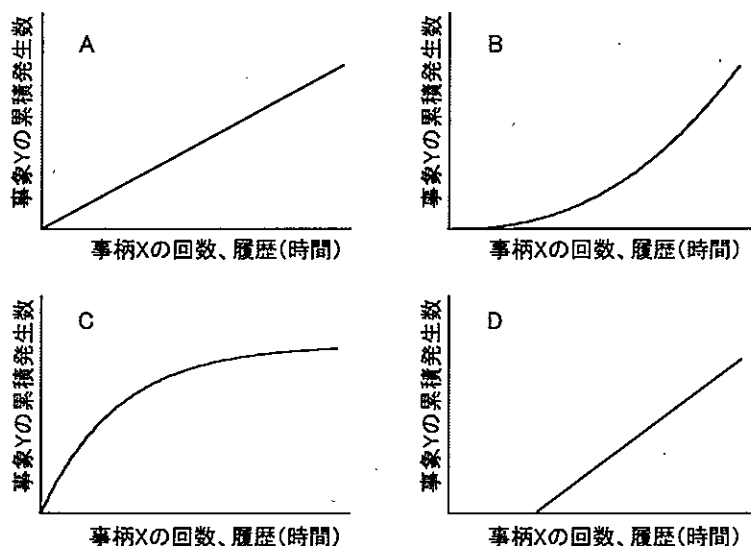
(6-1) X を「開発段階におけるある新製品の試作台数」、Y を「不良品の累積発生数」とした場合、X と Y はどのような関係性を示すと予想されるか。A～D のうちから最もあり得ると思われるものを一つ選び、その理由を簡単に述べよ。

(6-2) X を「ある物質のばく露量」、Y を「その物質に起因する健康被害（疾病）の累積発症数」とする。ある仮定のもとで、この X と Y がグラフ D の関係性を示したとする。考えられる仮定について、「代謝」と「しきい値」の語を使って、簡単に説明せよ。

(6-3) X を「自動車運転者の運転年数」、Y を「その運転者の自動車事故累積発生数」とする。以下の仮定が成り立つとき、X と Y はどのような関係性を示すか。グラフを書いて簡単に説明せよ。

<仮定>

- ・自動車事故発生数は運転技術に依存する。
- ・運転技術は運転年数を重ねることによって向上する。
- ・ある年齢を超えると、加齢とともに運転技術は衰える。



(専門科目 B の問題は次ページに続く)

## 2

(1) 原子力発電は核燃料を用いて発電する方式である。発電時に二酸化炭素を排出しないメリットがある一方、管理の必要な放射性廃棄物を生成するデメリットがある。

(1-1) 1.0 g のウラン 235 が核分裂して、0.090%の質量欠損が生じたとき、発生するエネルギーを石炭に換算すると何 kg となるか？ ただし、石炭の発熱量を25000 kJ/kg、光速を  $3.00 \times 10^8$  m/s とする。

(1-2) 軽水炉型の原子力発電所において、核燃料を投入してから電気を起こすまでの仕組みを、順を追って説明せよ。

(1-3) セシウム 137 の半減期は 30.1 年である。セシウム 137 原子が放出された時点の放射能を 1 としたとき、100 年後の放射能を求めよ。必要に応じて、 $\log_e 2 = 0.693$ 、 $\log_e 3 = 1.10$ 、 $\log_e 5 = 1.61$ を用いてもよい。

(1-4) 生物の生活環境から遠ざけるために高レベル放射性廃棄物を地下深くに処分することが検討されている。地下深くに処分された高レベル放射性廃棄物から放射性核種が生活環境まで到達する過程には、どのようなものが考えられるか。考えられる過程を 3 つ挙げよ。

(専門科目 B の問題 2 は次ページに続く)

(2) 大学院生の S さんは、男性 10 名、女性 10 名から成る大学生の集団 T に対して、*p*-ヒドロキシ安息香酸メチル（メチルパラベン）という化学物質によるばく露状況を定量評価する研究を行っている。メチルパラベンは、化粧品や医薬品、食品等に防腐剤として添加されている物質の一つで、内分泌かく乱性を持つことが知られている。メチルパラベンは、ヒトへのばく露により人体に吸収された後、8 割以上が 24 時間以内に尿中に移行して排泄されることが既往の研究により報告されている。そのため、S さんは集団 T の尿サンプルを定期的に採取して尿中のメチルパラベン濃度の測定を行っている。

(2-1) サンプルングに先がけ、S さんはまず、よく洗浄した容器 A、B、C、D...を用意し、実験室にて容器 A と B に純水を一定量入れた。純水の入った容器 A は実験室に残し、純水の入った容器 B と空の容器 C、D...を持参して集団 T の場所までサンプルングに行き、集団 T の構成員の尿サンプルを容器 C、D...に採取した。また、容器 B についても、尿サンプル採取におけるのと同様の動作（蓋の開け閉め等）を行った。サンプルング終了後、容器 B、C、D...を実験室に持ち帰り、各容器（A、B、C、D...）内の液体についてメチルパラベン濃度の測定操作を行った。以上の工程において、容器 A 及び容器 B の各ブランクが持つ意味を説明せよ。

(2-2) メチルパラベンの濃度測定操作においては、1 mL の各尿サンプル、各ブランク試料、濃度既知のメチルパラベン標準溶液に対して、それぞれ 1 mL の *p*-ヒドロキシ安息香酸メチル-2,3,5,6- $d_4$ （メチルパラベン分子の 4 つの水素原子が重水素原子に置換された物質）300 ppb 水溶液を内標準物質として添加し、酵素による分解、振とう、pH 調整、遠心分離、固相抽出、再溶解等の工程を経て、得られた各液体試料について液体クロマトグラフによりメチルパラベン濃度の測定を行った。以上の定量操作において、内標準物質が果たす役割を説明せよ。また、この内標準物質を用いて検量線法により尿サンプル中のメチルパラベン濃度を求める際、検量線の縦軸と横軸にどのような指標をとることが適切か示せ。

(2-3) 上記の操作により、各尿サンプル中のメチルパラベン濃度が定量されるが、一般に、尿サンプルは、被験者の水分摂取量や発汗量によって尿量の変動するため、それに伴って内容物の濃度も変化することが知られている。そのため、S さんは、尿サンプルの比重をもとにメチルパラベンの尿中濃度を補正してサンプル間の比較検討を行うこととし、すべての尿サンプルの比重を測定後、尿の比重を日本人の標準的な値である 1.020 に補正してメチルパラベンの補正濃度を算出した。ある尿サンプルの比重を  $\rho$  ( $1.010 < \rho < 1.030$ )、尿サンプル中のメチルパラベン濃度を  $C$  とするとき、補正濃度を算出する式を導出せよ。

（専門科目 B の問題 2 は次ページに続く）

(2-4) 定量分析の結果、女性の尿中メチルパラベン濃度が男性の尿中メチルパラベン濃度よりも高いという傾向が見られた。そのため、Sさんは男女間の濃度差が統計的に有意なものであるか検討するために、測定データの平均値の差についてt検定を行うことにしたが、指導教員のU教授からは「t検定を行う前に、データの分布についてよく検討するように」との助言を受けた。t検定を行う前に検討すべき点について説明せよ。また、t検定の適用が適切でない場合に、それに代わる適切な手法を示せ。

(専門科目 B の問題は次ページに続く)

### 3

(1)  $2^{2017}$  の桁数と  $5^{2017}$  の桁数の和を求めよ。

(2) 実数  $x$  に対して定義された関数  $f(x)$  に関する常微分方程式

$$\frac{d^2 f}{dx^2} = i\omega f$$

を、以下の境界条件

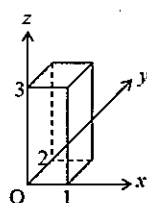
$$\begin{cases} \lim_{x \rightarrow \infty} |f(x)| = 0 \\ f(0) = 1 \end{cases}$$

のもとで解け。ただし、 $\omega$  は正の実数で、 $i$  は虚数単位 ( $i = \sqrt{-1}$ ) である。

(3) 14 人の子どもが、1 人 1 個以上のどんぐりを拾った。みんなで拾った数の合計は 100 個であった。少なくとも 2 人は同じ数のどんぐりを拾ったことを証明せよ。

(4) 地球は完全な球体であると仮定する。北緯 45 度、東経 120 度の地点 A から、北緯 45 度、東経 30 度の地点 B まで、地球の表面を移動することを考える。常に真西に向かって移動した場合と、最短距離を移動した場合の距離の比を求めよ。

(5) 以下の図のような直方体領域があるものとする。



ベクトル  $A$  の発散が、以下の式のように表されるとする。

$$\nabla \cdot A = x(1-x)y(2-y)z(3-z)$$

このとき、直方体領域の表面  $S$  上の面積分  $\int_S A \cdot n dS$  を求めよ。ただし、 $n$  は  $S$  の外向き法線ベクトルであるとする。

(専門科目 B の問題 3 は次ページに続く)

(6) ある地域にすむ動物 A の雄の体長の分布は、平均 40 cm、標準偏差 4 cm の正規分布を示す。また、雌の体長の分布は、平均 30 cm、標準偏差 3 cm の正規分布を示す。このとき、以下の問いに答えよ。なお、必要に応じ、以下の表を用いてよい。表は、標準正規分布の確率密度関数  $\phi(x)$  について、 $\int_0^z \phi(x) dx$  の値を示している。たとえば、 $z = 0.71 (= 0.7 + 0.01)$  ならば、 $\int_0^z \phi(x) dx = 0.2611$  である。

- (6-1) 雄を 1 個体無作為に抽出したとき、体長が 50 cm 以上である確率を求めよ。  
 (6-2) 雌を 9 個体無作為に抽出したとき、その平均体長はどのような分布になるか？  
 (6-3) 雄と雌を 1 個体ずつ無作為に抽出したとき、雄より雌の方が体長が大きい確率を求めよ。

表 標準正規分布表

	+0.00	+0.01	+0.02	+0.03	+0.04	+0.05	+0.06	+0.07	+0.08	+0.09
0.0	0.0000	0.0040	0.0080	0.0120	0.0160	0.0199	0.0239	0.0279	0.0319	0.0359
0.1	0.0398	0.0438	0.0478	0.0517	0.0557	0.0596	0.0636	0.0675	0.0714	0.0753
0.2	0.0793	0.0832	0.0871	0.0910	0.0948	0.0987	0.1026	0.1064	0.1103	0.1141
0.3	0.1179	0.1217	0.1255	0.1293	0.1331	0.1368	0.1406	0.1443	0.1480	0.1517
0.4	0.1554	0.1591	0.1628	0.1664	0.1700	0.1736	0.1772	0.1808	0.1844	0.1879
0.5	0.1915	0.1950	0.1985	0.2019	0.2054	0.2088	0.2123	0.2157	0.2190	0.2224
0.6	0.2257	0.2291	0.2324	0.2357	0.2389	0.2422	0.2454	0.2486	0.2517	0.2549
0.7	0.2580	0.2611	0.2642	0.2673	0.2704	0.2734	0.2764	0.2794	0.2823	0.2852
0.8	0.2881	0.2910	0.2939	0.2967	0.2995	0.3023	0.3051	0.3078	0.3106	0.3133
0.9	0.3159	0.3186	0.3212	0.3238	0.3264	0.3289	0.3315	0.3340	0.3365	0.3389
1.0	0.3413	0.3438	0.3461	0.3485	0.3508	0.3531	0.3554	0.3577	0.3599	0.3621
1.1	0.3643	0.3665	0.3686	0.3708	0.3729	0.3749	0.3770	0.3790	0.3810	0.3830
1.2	0.3849	0.3869	0.3888	0.3907	0.3925	0.3944	0.3962	0.3980	0.3997	0.4015
1.3	0.4032	0.4049	0.4066	0.4082	0.4099	0.4115	0.4131	0.4147	0.4162	0.4177
1.4	0.4192	0.4207	0.4222	0.4236	0.4251	0.4265	0.4279	0.4292	0.4306	0.4319
1.5	0.4332	0.4345	0.4357	0.4370	0.4382	0.4394	0.4406	0.4418	0.4429	0.4441
1.6	0.4452	0.4463	0.4474	0.4484	0.4495	0.4505	0.4515	0.4525	0.4535	0.4545
1.7	0.4554	0.4564	0.4573	0.4582	0.4591	0.4599	0.4608	0.4616	0.4625	0.4633
1.8	0.4641	0.4649	0.4656	0.4664	0.4671	0.4678	0.4686	0.4693	0.4699	0.4706
1.9	0.4713	0.4719	0.4726	0.4732	0.4738	0.4744	0.4750	0.4756	0.4761	0.4767
2.0	0.4772	0.4778	0.4783	0.4788	0.4793	0.4798	0.4803	0.4808	0.4812	0.4817
2.1	0.4821	0.4826	0.4830	0.4834	0.4838	0.4842	0.4846	0.4850	0.4854	0.4857
2.2	0.4861	0.4864	0.4868	0.4871	0.4875	0.4878	0.4881	0.4884	0.4887	0.4890
2.3	0.4893	0.4896	0.4898	0.4901	0.4904	0.4906	0.4909	0.4911	0.4913	0.4916
2.4	0.4918	0.4920	0.4922	0.4925	0.4927	0.4929	0.4931	0.4932	0.4934	0.4936
2.5	0.4938	0.4940	0.4941	0.4943	0.4945	0.4946	0.4948	0.4949	0.4951	0.4952
2.6	0.4953	0.4955	0.4956	0.4957	0.4959	0.4960	0.4961	0.4962	0.4963	0.4964
2.7	0.4965	0.4966	0.4967	0.4968	0.4969	0.4970	0.4971	0.4972	0.4973	0.4974
2.8	0.4974	0.4975	0.4976	0.4977	0.4977	0.4978	0.4979	0.4979	0.4980	0.4981
2.9	0.4981	0.4982	0.4982	0.4983	0.4984	0.4984	0.4985	0.4985	0.4986	0.4986
3.0	0.4987	0.4987	0.4987	0.4988	0.4988	0.4989	0.4989	0.4989	0.4990	0.4990

(専門科目 B の問題は次ページに続く)



# 4

(1)  $n$  を 1 より大きい自然数とする。 $n$  次正方行列  $\mathbf{A}_n$  は、以下に示すような三重対角行列で、対角要素およびそれに隣接する要素以外の要素は零であるとする。

$$\mathbf{A}_n = \begin{pmatrix} -3 & 1 & & & \\ 2 & -3 & 1 & & \mathbf{O} \\ & 2 & -3 & 1 & \\ & & & \mathbf{O} & 2 & -3 & 1 \\ & & & & 2 & -3 \end{pmatrix}$$

このとき、以下の問いに答えよ。

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

(1-2)  $\mathbf{A}_3 = \begin{pmatrix} -3 & 1 & 0 \\ 2 & -3 & 1 \\ 0 & 2 & -3 \end{pmatrix}$  について、固有値と固有ベクトルを全て求めよ。ただし、固有

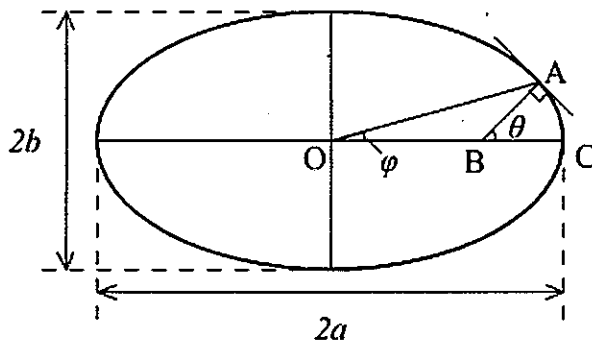
ベクトルは、その第一成分が 1 であるものを示せ。

(1-3)  $n(\geq 3)$  次元のベクトル  $x = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix}$ ,  $b = \begin{pmatrix} -2 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}$  がある。このとき、連立一次方程式

$\mathbf{A}_n x = b$  の解は、 $x_m = 1 - \frac{\alpha_m - 1}{2^{n+1} - 1} (1 \leq m \leq n)$  と表せる。 $\alpha_m$  を  $m$  を用いて表せ。

(専門科目 B の問題 4 は次ページに続く)

(2) 下図のように、点  $O$  を中心とし、長軸半径  $a$ 、短軸半径  $b$  の楕円がある。楕円弧上の点  $A$  において接線と垂直な直線を引き、長軸との交点を点  $B$  とする。長軸と楕円の交点を  $C$  とし、 $\angle ABC = \theta$ 、 $\angle AOC = \varphi$  とする。 $0 < \varphi < \frac{\pi}{2}$  とするとき、以下の問いに答えよ。



(2-1)  $\frac{\tan \varphi}{\tan \theta}$  を  $a, b$  を用いて表せ。

(2-2) 線分  $OA$  の長さを、 $a, b, \theta$  を用いて表せ。

(専門科目 B の問題 4 は次ページに続く)

(3) ある専攻に、学生と研究室が同数存在する。1つの研究室には1人の学生しか配属されない。各学生は研究室を、各研究室は学生を、それぞれ希望する順に順位付けした(順位付けの際、同じ順位は認めない)。この順位表をもとに、以下の1~4のように、研究室の配属を決める。

1. まず、学生1は自分の希望研究室リストで1位の研究室に申し込む。研究室は空いているので、とりあえず学生1はその研究室に仮配属される。
2. 次に、学生2は自分のリストで1位の研究室に申し込む。
  - (a) 研究室が空いていれば、仮配属される。学生2までの学生がすべて仮配属されたので、学生3の処理に進む。
  - (b) 研究室に学生1が仮配属されていて、研究室が学生2を好めば、学生1の仮配属を取り消して学生2を仮配属させる。学生1は配属先を失う。
  - (c) 研究室に学生1が仮配属されていて、研究室が学生1を好めば、学生2は配属先を得られない。
  - (d) (b)で配属先を失った学生1、あるいは(c)で配属先を得られなかった学生2は、自分のリストで次の順位の研究室に申し込む。その後、(a)~(c)のいずれかの処理がおこなわれる。
3. 学生3以降も同様に続ける。
4. 最後の学生まで終了すれば、研究室配属が確定する。

3つの変数  $N$ 、 $StoL[ ][ ]$ 、 $LtoSO[ ][ ]$ を所与とする。上記の配属方法にしたがって、すべての学生の研究室配属をおこない、研究室ごとの配属結果を表す  $Ans[ ]$ を出力するプログラムを、擬似言語(次ページ以降を参照)を用いて書け。上記変数の説明については下表を参照せよ。配列を出力する際には、引数をすべて出力する関数  $Print( )$ を用いて、 $Print( )$ と記述すること。変数は、必要に応じて、型を指定の上で宣言し、使用して構わない。なお、3つの変数  $N$ (整数型)、 $StoL[ ][ ]$ (整数型の2次元配列)、 $LtoSO[ ][ ]$ (整数型の2次元配列)は既に宣言され、それぞれ値が代入されているものとする。

表 変数の説明

変数	説明
$N$	学生の数 (=研究室の数)
$StoL[ ][ ]$	各学生の希望研究室リストの2次元配列(第1添字は学生番号、第2添字は各学生の研究室希望順位、要素は研究室番号)
$LtoSO[ ][ ]$	各研究室の希望学生リストの2次元配列(第1添字は研究室番号、第2添字は学生番号、要素は各研究室の学生希望順位)
$Ans[ ]$	研究室ごとの配属結果を表す1次元配列(添字は研究室番号、要素は学生番号)

(専門科目Bの問題4は次ページに続く)

擬似言語の仕様一覧と使用例

[宣言および処理]

記述形式		説明
宣言	○変数型: 変数名	スカラー変数を宣言する。
	○変数型: 変数名[]	配列変数を宣言する。 (要素の数が $N$ の場合、添字は $1\sim N$ となる)
処理	・ 変数 ← 式	変数に式の値を代入する。
		単岐選択処理を示す。 条件式が真のときは処理を実行する。 *多くのプログラミング言語における if 文と同じ機能である。
		双岐選択処理を示す 条件式が真のときは処理 1 を実行し、 偽のときは処理 2 を実行する。 *多くのプログラミング言語における if~else 文と同じ機能である。
		前判定繰り返し処理を示す 条件式が真の間、処理を繰り返し実行する。 *多くのプログラミング言語における while 文と同じ機能である。
		繰り返し処理を示す。 開始時点で変数に初期値が格納され、条件式が真の間、処理を繰り返す。また、繰り返すごとに、変数に増分を加える。 *多くのプログラミング言語における for 文と同じ機能である。
	/* 文 */	文に注釈を記述する。

[変数の型]

変数型	説明
整数型	整数を表現する。
論理型	2つの値 (true または false) のいずれかを設定できる。

(専門科目 B の問題 4 は次ページに続く)

[演算子と優先順位]

演算子の種類	演算子	優先順位
乗除演算	$\times, \div, \%$	高 ↑ ↓ 低
加減演算	$+, -$	
関係演算	$>, <, \geq, \leq, =, \neq$	

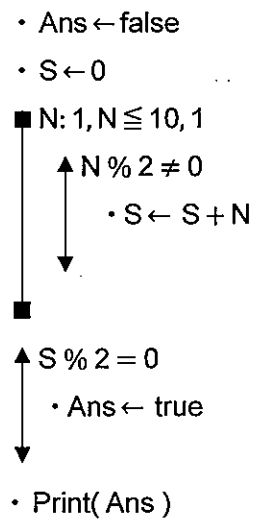
整数同士の除算では、整数の商を結果として返す。 $\%$ 演算子は、剰余算を表す。

[例 1]

1 から 10 までの整数のうち奇数の和を計算し、和が偶数ならば **true**、奇数ならば **false** を出力するプログラムを書け。

○整数型: N, S

○論理型: Ans      /\* Ans は解を格納する変数 \*/



(専門科目 B の問題 4 は次ページに続く)

[例 2]

以下の行列の計算をおこない、出力するプログラムを書け。

$$\begin{pmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 2 & 3 \\ 1 & 4 \end{pmatrix} =$$

○整数型: Arr1[2][2], Arr2[2][2]      /\* 行列が格納された配列 \*/

○整数型: Ans[2][2], I, J      /\* Ans は解を格納する変数 \*/

• Arr1[1][1] ← 2

• Arr1[1][2] ← 1

• Arr1[2][1] ← 1

• Arr1[2][2] ← 2

• Arr2[1][1] ← 2

• Arr2[1][2] ← 3

• Arr2[2][1] ← 1

• Arr2[2][2] ← 4

■ I: 1, I ≤ 2, 1

■ J: 1, J ≤ 2, 1

Ans[I][J] ← Arr1[I][J] + Arr2[I][J]

■  
• Print( Ans )

(専門科目 B の問題は次ページに続く)

## 5

(1) 以下の問いに答えよ。

(1-1) 重量 1.0 t の乗用車が時速 36 km で等速直線走行している。この乗用車がブレーキをかけ、一定の負の加速度を受けて 2.0 秒間で停止した。このときの(a) 加速度と、(b) 乗用車が受ける静止力を求め、適切な単位をつけて答えよ。

(1-2) 単原子分子からなる理想気体を考える。その物質量が常に一定であるとき、これを下表に示す状態 I→状態 II→状態 III→状態 IV の順にゆっくりと変化させた。状態 IV のときの温度( $T_{IV}$ )と状態 II のときの温度( $T_{II}$ )の比( $T_{IV}/T_{II}$ )を求めよ。

理想気体の状態	圧力 (atm)	体積 (L)
I	2.0	3.0
II	2.0	15
III	1.0	15
IV	1.0	3.0

(1-3) 窒素の原子核を  $5.0 \times 10^6$  V の高電圧で加速した。このときこの原子核が得るエネルギーを求め、適切な単位をつけて答えよ。

(2) 万有引力に関する以下の問いに答えよ。

(2-1) 太陽と地球の関係を例に、万有引力の法則を示す式をケプラーの第 3 法則（惑星の公転周期  $T$  の 2 乗は惑星の軌道楕円長径  $r$  の 3 乗に比例する( $T^2/r^3 = k$  (一定)) ) を用いて導出せよ。その際、地球の運動を太陽を中心とする等速円運動と仮定し、その半径を  $r$ 、太陽と地球の質量をそれぞれ  $M$  と  $m$ 、それぞれが引き合う力を  $F$  ( $= F_M = F_m$ )、万有引力定数を  $G$  とせよ。

(2-2) 地球を一様な球と仮定する。地球の外部にある物体が地球から受ける重力は、地球の全質量が地球の中心の一点に集中するとしたときの、その物体が地球から受ける万有引力に等しくなる。このとき、地表面上の重力加速度  $g$  を、万有引力定数  $G$ 、地球の質量  $m$ 、地球の半径  $r_0$  で表せ。

(専門科目 B の問題 5 は次ページに続く)

(3) 弾性体の微小変形に関する以下の問いに答えよ。

弾性体を引っ張ると、その物体は引っ張った方向に対して垂直方向には縮む。引っ張った方向のひずみを  $e$ 、それに対する垂直方向のひずみを  $e'$ とおいたとき、 $\varepsilon = -e'/e$  を ( ) 比と呼び、その値は2分の1以下となる。

(3-1) ( ) に入る適切な語を答えよ。

(3-2)  $\varepsilon$  が2分の1以下になることを証明せよ。

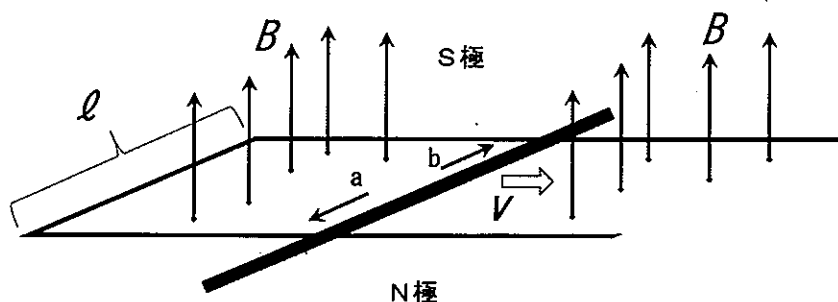
(4) 非圧縮性の完全流体 (密度  $\rho$ ) の定常流を考える。ひとつの流線上の任意の点における圧力を  $p$ 、流速を  $v$ 、重力加速度を  $g$ 、鉛直方向の座標 (高さ) を  $h$  とおくと、以下の問いに答えよ。

(4-1) 完全流体で成立するベルヌーイの定理を表す以下の一般式について、( ) を適切な式で埋めて完成させよ。

$$( \quad ) + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{一定}$$

(4-2) ベルヌーイの定理は完全流体では成立するが、粘性流体では成立しない。その理由を2行程度で説明せよ。

(5) 一様な磁束密度  $B = 3.0 \times 10^{-2} \text{ T}$  の磁場中に、これと垂直なコの字型の導線を下図のように設置する。 $\ell = 0.40 \text{ m}$  のとき、 $V = 5.0 \text{ m s}^{-1}$  の一定の速さで移動可能な導線を下図のように右向きに運動させるとき、導線に生じる誘導起電力の大きさを求めよ。また、生じる電流の方向を、a または b のいずれかで答えよ。



(専門科目 B の問題 5 は次ページに続く)



(6) 1 mol の理想気体 (体積  $V(\text{m}^3)$ ) をシリンダー中に封入し、温度  $T(\text{K})$  に保たれた熱平衡状態にしておく。この理想気体を準静的に等温変化で体積 2 倍にしたとき、シリンダー内の理想気体がこの過程で外部に対してした仕事を求めよ。ただし、気体定数を  $R$  ( $\text{J K}^{-1} \text{mol}^{-1}$ ) とする。

(7) 凸レンズ (焦点距離 6.0 cm) の軸上のレンズから 10 cm の位置に、ある物体を軸に垂直に立てた。

(7-1) そのときにできる像の位置を以下の a または b から選択し、その距離を示せ。

[位置の選択肢] a. レンズの手前側 (物体側) b. レンズの後方側 (物体と反対側)

(7-2) そのときの像の種類を以下の c または d から選択し、その倍率を示せ。

[像の種類の選択肢] c. 正立像 d. 倒立像

(8) 光子に関する以下の問いに答えよ。

(8-1) 光子と物質との相互作用のひとつ、電子対生成の特徴を、他の相互作用である光電効果、コンプトン散乱の特徴と比較しつつ、説明せよ。

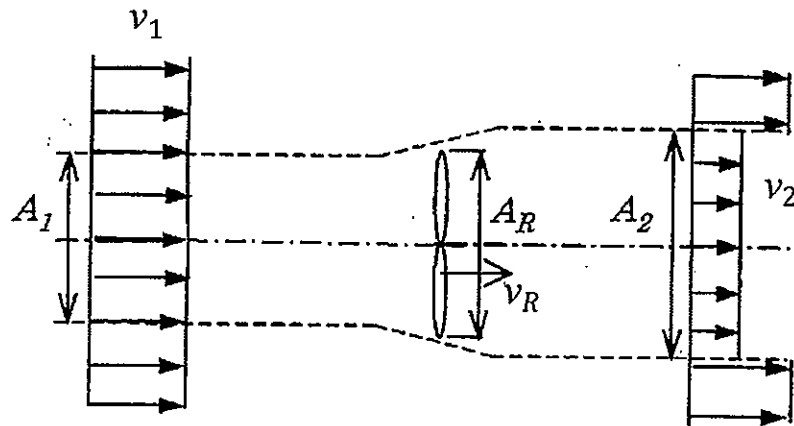
(8-2) 電子と陽電子が衝突し、電子対消滅するときに 2 個の光子が発生する。電子と陽電子の質量を  $m$ 、光速を  $c$ 、発生する光子の周波数を  $\nu$ 、プランク定数を  $h$  とおくと、電子・陽電子対のもつ静止エネルギーの和が、発生する 2 個の光子のエネルギーの和に等しいことを表す式を示せ。

(8-3) (8-2) のとき、 $m = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$ 、 $c = 3.00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ 、 $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J s}$  とし、発生する光子の波長 (単位: m) を求めよ。

(専門科目 B の問題は次ページに続く)

## 6

(1) 風車を通過する空気の流れを図のようにモデル化して考える。上流で面積  $A_1$ 、速度  $v_1$  の風が面積  $A_R$  の風車に仕事をして運動量を失い、後流域で圧力が回復して面積  $A_2$ 、速度  $v_2$  の流れになる。直径 20 m の風車について、以下の問いに答えよ。ただし大気の密度  $\rho$  を  $1.2 \text{ kg m}^{-3}$  とする。



(1-1) 風車を単位時間に通過する大気の質量  $Q$  を  $A_R$ ,  $v_1$ ,  $v_2$ ,  $\rho$  を用いて表せ。ただし、風速は連続的に変化する、風車の前後で大気密度や温度が変化しないと仮定すると、風車の位置での風速  $v_R$  は

$$v_R = \frac{1}{2}(v_1 + v_2)$$

となる。

(1-2) 単位時間あたりに風車の断面積  $A_R$  を速度  $v_1$  で通過する大気の運動エネルギー  $E$  に対する、風車によって得られる電力  $P$  の割合 ( $P/E$ ) を、風車の発電効率とする。

$v_1$  が  $10 \text{ m sec}^{-1}$  で一定であるとき、 $8.0 \times 10^4 \text{ W}$  の電力が得られた。このときの発電効率を求めよ。

(1-3) (1-2) で求めた効率が変化しないとすると、 $v_1$  が  $20 \text{ m sec}^{-1}$  の時の発電量はいくらか。

(1-4) 風車を通過する前後の風のエネルギー量の変化 (単位時間あたりに断面  $A_1$  を通過するエネルギー量と断面  $A_2$  を通過するエネルギー量との差)  $\Delta E$  を、 $A_R$ ,  $v_1$ ,  $v_2$ ,  $\rho$  を用いて表せ。

(専門科目 B の問題 6 は次ページに続く)

(1-5)  $a = v_2 / v_1$  とするとき、風車の出力係数（エネルギー変換効率を表す指標） $C_p = \Delta E / E$  を  $a$  を用いて表せ。

(1-6)  $C_p$  の最大値とその時の  $a$  の値を求めよ。

(1-7) (1-6)の条件下で、風車が  $v_1 = 10 \text{ m sec}^{-1}$  の風から受ける力を求めよ。

(2) 厚さ  $h$  の弾性板の上面から波面が板の上面と平行な平面波を入射する。入射波の振動数を変化させたところ、振動数が  $F$  の整数倍になるごとに板が共振した。板内を伝わる波の速さを  $V$  とする。

(2-1)  $F$  を  $h$  と  $V$  を用いて表せ。ただし板の上下面は自由端とする。

(2-2)  $V = 1.0 \times 10^4 \text{ m sec}^{-1}$  のとき、振動数  $4.0 \times 10^6 \text{ Hz}$  と  $6.0 \times 10^6 \text{ Hz}$  のときに共振が起こった。板厚  $h$  の最小値を求めよ。

(2-3) 板の下面に剛体を接着し、接着面が動かない状態にした。このとき同様に板の上面から波面が板の上面と平行な平面波を入射する。板厚が(2-2)で求めた値のとき、板が共振する最小の振動数を求めよ。

(3) 次の問いに答えよ。

(3-1) 発電所から同じ電力量を送るとき、送電線での電力損失を小さくするには、電圧を高くしたほうがよいか、低くしたほうがよいか、理由とともに 4 行程度で述べよ。

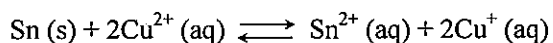
(3-2) なぜ穏やかな冬の日の夜には穏やかな夏の日の昼に比べて遠くの音が聞こえやすいのか、5 行程度で説明せよ。

(3-3) 池に大きな石を積んだ船が浮かんでいる。石を船上から池に投げ入れたところ、石は池の底に沈み完全に水没した。このとき池の水位は上がるか下がるか、理由とともに 3 行程度で述べよ。

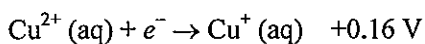
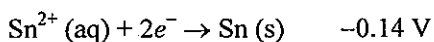
(専門科目 B は次ページに続く)

## 7.

(1) 25°Cにおける以下の反応の標準起電力( $E^0$ )と平衡定数( $K$ )について、 $E^0$ および $\ln K$ の値を計算せよ。



水溶液中の $\text{Sn}^{2+}$ と $\text{Cu}^{2+}$ に対する標準還元電位を以下に示す。



必要があれば以下の値を用いよ。

気体定数  $R = 8.31 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ 、ファラデー定数  $F = 9.65 \times 10^4 \text{ C mol}^{-1}$

(2) (a)  $\text{CO}_3^{2-}$  および (b)  $\text{N}_2\text{O}$  の共鳴構造を、それぞれルイス構造式を用いて図示せよ。

(3) 以下の気相反応について(3-1)~(3-2)の設問に答えよ。



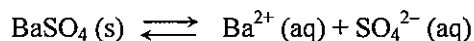
(総括反応式  $2\text{A} + \text{B} \rightarrow 2\text{P}$ )

(3-1) A と中間体 I が速い平衡 (前駆平衡) にあるとすると、P の生成速度はどのように表されるか?

(3-2) A と B の総括反応の活性化エネルギーは負となっている。その理由を説明せよ。ここで、 $2\text{A} \rightarrow \text{I}$  の反応は発熱反応とする。

(専門科目 B の問題 7 は次ページに続く)

(4) 25°C で  $\text{BaCl}_2$  水溶液 ( $0.10 \text{ dm}^3$ ,  $4.0 \times 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$ ) を  $\text{K}_2\text{SO}_4$  水溶液 ( $0.30 \text{ dm}^3$ ,  $8.0 \times 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$ ) に加えた。沈殿が生じるかどうか、その理由とともに答えよ。必要があれば、以下の反応の溶解度積の値  $K_s = 1.1 \times 10^{-10} \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6}$  を用いよ。



(5) 化学物質の構造に関する下記の文章の括弧内 (A) ~ (H) に入る数字を示せ。

アゾールは窒素を含むヘテロ原子を複数持つ (A) 員環の芳香族化合物である。チアゾール中には炭素 (B) 個と水素 (C) 個がある。

キュバン ( $\text{C}_8\text{H}_8$ ) の炭素骨格の構造は正 (D) 面体であり、キュバンの水素 3 つをニトロ基に置換したトリニトロキュバンの異性体の数は (E) である。

フラーレン ( $\text{C}_{60}$ ) の構造は正 (F) 角形と正 (G) 角形からなる (H) 面体である。

(6) 以下の反応の主生成物の構造式を示せ。

(6-1) シクロヘキセンと  $\text{Br}_2$  の反応 (溶媒: 1,2-ジクロロエタン、反応温度: 300 K)

(6-2) アニリンとニトロソベンゼンの反応 (溶媒: 酢酸、反応温度: 300 K)

(6-3) 無水マレイン酸と水の反応 (反応温度: 300 K)

(6-4) アリルフェニルエーテルの反応 (溶媒: エチレングリコール、反応温度: 450 K)

(7) 総括反応式  $\text{A} + \text{B} \rightarrow \text{X} + \text{Y} + \text{Z}$  は、以下の反応機構 (式1と式2) で説明される。式1の反応と式2の反応がそれぞれ平衡状態にあるとき、総括反応の平衡定数 ( $K_{\text{overall}}$ ) を、各々の反応速度定数を用いて表せ。



(専門科目 B の問題 7 は次ページに続く)

(8) ガスクロマトグラフィーは多くの物質の同定・定量に用いられる。試料が注入されるとキャリアガスによりカラム中を移動して分離が行われ、適切な検出器により物質が特定される。

(8-1) 二酸化炭素、四塩化炭素、二硫化炭素を測定するのに最適な検出器をそれぞれ以下から選べ。

- 熱伝導度検出器 (TCD)
- 水素炎イオン化検出器 (FID)
- 電子捕獲型検出器 (ECD)
- 炎光光度検出器 (FPD)
- 熱イオン化検出器 (TID)

(8-2) 等モル量のプロパンとアセトン进行分析した場合、FID による検出感度はどちらが高いか、理由を示して答えよ。

(専門科目 B の問題は次ページに続く)

(1) ある学生が、以下に示すような液相反応における反応速度の実験を回分反応器を用いて 25°C で行った。

$X + Y \rightarrow Z$  (式 1: 反応速度定数  $k$ )

ここで、反応物 Y は反応物 X に対して過剰な量が仕込まれている (初期濃度:  $C_{X0} = 0.0500 \text{ mol dm}^{-3}$ ,  $C_{Y0} = 5.00 \text{ mol dm}^{-3}$ )。その学生は、その実験の結果から以下の表に示す反応速度のデータを得た。

表 実験データ

$t [\text{min}]$	0	50	100	150	200	250	300
$C_X [\text{mol dm}^{-3}]$	0.0500	0.0381	0.0302	0.0254	0.0218	0.0191	0.0167

(1-1) 反応物 Y に対して擬 1 次反応 ( $k' = kC_{Y0}$ ) を仮定し、反応物 X の  $n$  次反応における反応時間  $t$  を反応物 X の濃度  $C_X$  を用いて表せ。

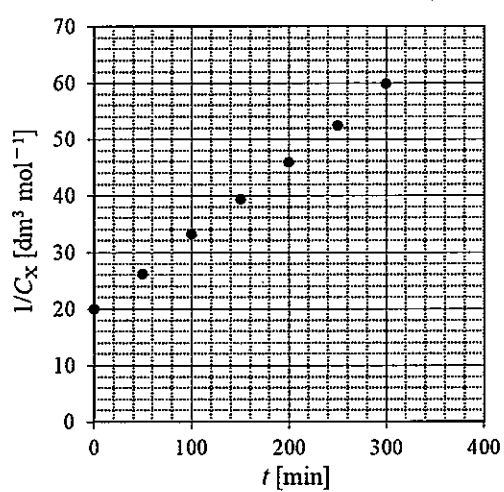
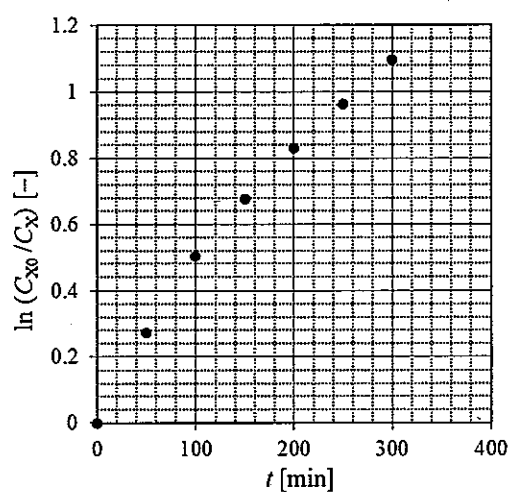
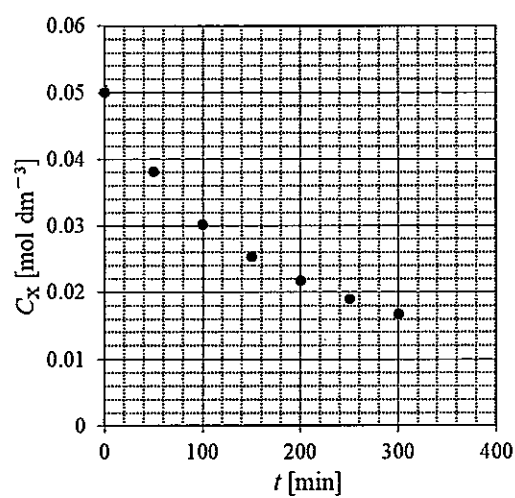
(1-2) その学生は、3 つのグラフ (次ページに記載) を作成し、この反応物 X の反応次数を決定することを試みた。反応次数としてもっとも適切な値を、その理由とともに答えよ。

(1-3) 式 1 の反応速度定数  $k$  を求めよ。単位も記せ。

(1-4) 反応物 X の転化率が 0.900 のときの反応時間  $t$  を求めよ。

(1-5) 反応次数を決定する他の決定方法として微分法がある。適切な式や図を用いて、式 1 の反応に対してその手順を説明せよ。ただし、具体的な数値は求めなくてもよい。

(専門科目 B の問題 8 は次ページに続く)



(専門科目 B の問題 8 は次ページに続く)



(2) 下記の設問 (2-1) ～ (2-5) に答えよ。

(2-1) ブタンを塩素化すると 1-クロロブタンと 2-クロロブタンが 28:72 の比率で生成した。2 級水素の塩素化に対する反応性は 1 級水素の塩素化に対する反応性より何倍高いか計算せよ。

(2-2) 化学式が  $C_4H_8$  であるアルケンの全ての異性体の構造式を示せ。その中で標準生成エンタルピーが最も小さいものはどれか理由とともに答えよ。

(2-3) 1,3-ブタジエンと臭化水素の反応では、反応温度が  $0^{\circ}C$  と  $40^{\circ}C$  の場合で 2 つの主生成物の比率が変化する。さらに、 $0^{\circ}C$  での生成物を  $40^{\circ}C$  に加熱しても比率が変化する。2 つの主生成物の構造式を示し、反応温度による主生成物の比率の変化について説明せよ。

(2-4) 1,3-ブタジエンとある化合物 X の交互共重合体であるポリマーの元素分析結果は  $C:H:N = 78.5 : 8.4 : 13.1$  (wt %) である。X の組成式を示せ。

(2-5) ポリマーの添加剤として BHT (ブチル化ヒドロキシトルエン) が用いられる。この添加剤の役割と作用機構について述べよ。

(これで問題は終わりです)

