

九州大学大学院システム情報科学府

情 報 学 専 攻

情報知能工学専攻

平成 2 4 年度入学試験問題

【平成 2 3 年 8 月 2 5 日（木）、2 6 日（金）】

数 学 (Mathematics)

(7 枚中の 1)

解答上の注意 (Instructions):

1. 問題用紙は、『始め』の合図があるまで開いてはならない。

Do not open this cover sheet until the start of examination is announced.

2. 問題用紙は表紙を含め 7 枚，解答用紙は 3 枚つづり (1 分野につき 1 枚) である。

You are given 7 problem sheets including this cover sheet, and 3 answer sheets (1 sheet for each field).

3. 以下の 6 分野から 3 分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙を別にすること。

Select 3 fields out of the following 6 fields and answer the questions. You must use a separate answer sheet for each of the fields you selected.

	分野	field	page
1	線形代数	Linear algebra	2
2	微分方程式	Differential equation	3
3	ベクトル解析	Vector analysis	4
4	複素関数論	Complex function theory	5
5	確率・統計	Probability and statistics	6
6	記号論理学	Symbolic logic	7

4. 解答用紙の全部に，専攻名，コース名（情報学専攻を除く），選択分野番号（ で囲む），受験番号および氏名を記入すること。

Fill in the designated blanks at the top of each answer sheet with the department name, the course name (except the department of informatics), the selected field number (mark with a circle), your examinee number and your name.

5. 解答は解答用紙に記入すること。スペースが足りない場合は裏面を用いても良いが，その場合は，裏面に解答があることを明記すること。

Write your answers on the answer sheets. You may use the back of the answer sheets when you run out of space. If you do so, indicate it clearly on the sheet.

数 学 (Mathematics)

(7 枚中の 2)

6 分野のうちから 3 分野を選び解答すること．選んだ分野毎に解答用紙を別にする．
Select 3 fields out of the 6 fields and answer the questions. Use a separate answer sheet for each field.

1. 【線形代数 (Linear algebra) 分野】

行列 $A = \begin{pmatrix} 0 & x & 0 \\ x & 0 & -x \\ 0 & -x & 0 \end{pmatrix}$ について，以下の各問に答えよ．ただし x は実数である．

- (1) A の固有値をすべて求め，それらに対応する固有ベクトルを求めよ．
- (2) 任意の自然数 n に対して A^n を求めよ．
- (3) $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n!} A^n$ を求めよ．

Let $A = \begin{pmatrix} 0 & x & 0 \\ x & 0 & -x \\ 0 & -x & 0 \end{pmatrix}$, where x is a real number. Answer the following questions.

- (1) Find all eigenvalues of A and the corresponding eigenvectors.
- (2) Find an expression for A^n for any positive integer n .
- (3) Find an expression for $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n!} A^n$.

数 学 (Mathematics)

(7 枚中の 3)

6 分野のうちから 3 分野を選び解答すること．選んだ分野毎に解答用紙を別にする．
Select 3 fields out of the 6 fields and answer the questions. Use a separate answer sheet for each field.

2. 【微分方程式 (Differential equation) 分野】

2 つの関数 $x(t)$, $y(t)$ について , 次の連立微分方程式を解け .

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = -2x - y + \cos t \\ \frac{dy}{dt} = -\frac{dx}{dt} - 6x \end{cases}$$

Solve the following simultaneous differential equations for two functions $x(t)$ and $y(t)$:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = -2x - y + \cos t, \\ \frac{dy}{dt} = -\frac{dx}{dt} - 6x. \end{cases}$$

数 学 (Mathematics)

(7 枚中の 4)

6 分野のうちから 3 分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙を別にする事。
Select 3 fields out of the 6 fields and answer the questions. Use a separate answer sheet for each field.

3. 【ベクトル解析 (Vector analysis) 分野】

次の各問に答えよ。

(1) スカラー場 $\varphi(x, y, z)$, $\psi(x, y, z)$ について, 以下の式が成り立つことを証明せよ。

(a)
$$\nabla \frac{\psi}{\varphi} = \frac{\varphi \nabla \psi - \psi \nabla \varphi}{\varphi^2}$$

(b)
$$\nabla \times (\varphi \nabla \varphi) = \mathbf{0}$$

(2) 曲線 C を $\mathbf{r}(t) = \cos t \mathbf{i} + \sin t \mathbf{j} + 2t \mathbf{k}$ ($0 \leq t \leq \pi$) で定義する。曲線 C に沿う以下のスカラー場 (a) およびベクトル場 (b) の線積分を計算せよ。

(a)
$$\varphi = z(x^2 + y^2 + 2)$$

(b)
$$\mathbf{A} = x \mathbf{i} + y \mathbf{j} + z^2 \mathbf{k}$$

Answer the following questions.

(1) Prove the following formulas for scalar fields $\varphi(x, y, z)$ and $\psi(x, y, z)$:

(a)
$$\nabla \frac{\psi}{\varphi} = \frac{\varphi \nabla \psi - \psi \nabla \varphi}{\varphi^2},$$

(b)
$$\nabla \times (\varphi \nabla \varphi) = \mathbf{0}.$$

(2) Let us define a curve C by $\mathbf{r}(t) = \cos t \mathbf{i} + \sin t \mathbf{j} + 2t \mathbf{k}$ ($0 \leq t \leq \pi$). Evaluate the line integrals for the following scalar field (a) and vector field (b) along the curve C :

(a)
$$\varphi = z(x^2 + y^2 + 2),$$

(b)
$$\mathbf{A} = x \mathbf{i} + y \mathbf{j} + z^2 \mathbf{k}.$$

数 学 (Mathematics)

(7 枚中の 5)

6 分野のうちから 3 分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙を別にする事。
Select 3 fields out of the 6 fields and answer the questions. Use a separate answer sheet for each field.

4. 【複素関数論 (Complex function theory) 分野】

次の各問に答えよ。

(1) $f(z) = \frac{1}{z-1}$ を $z=0$ でテイラー展開せよ。

(2) $g(z) = \frac{1}{z(z+1)}$ を $z=-1$ でローラン展開せよ。

Answer the following questions:

(1) Expand the function $f(z) = \frac{1}{z-1}$ in a Taylor series about $z=0$.

(2) Expand the function $g(z) = \frac{1}{z(z+1)}$ in a Laurent series about $z=-1$.

数 学 (Mathematics)

(7 枚中の 6)

6 分野のうちから 3 分野を選び解答すること．選んだ分野毎に解答用紙を別にする．
Select 3 fields out of the 6 fields and answer the questions. Use a separate answer sheet for each field.

5. 【確率・統計 (Probability and statistics) 分野】

$X_i (i = 1, 2, \dots, n)$ を, 平均 0, 分散 $\sigma^2 \in (0, \infty)$ の独立かつ同一の確率分布に従う確率変数であるとする．次の (1) ~ (5) の値を求めよ．ただし, 大数の法則と中心極限定理を用いて良い．また, 必要ならば, 標準正規分布の累積分布関数

$$F(t) = \int_{-\infty}^t \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx$$

を用いて良い．

$$\begin{aligned} (1) \lim_{n \rightarrow \infty} \Pr\left\{\sum_{i=1}^n X_i \geq 1\right\}, \quad (2) \lim_{n \rightarrow \infty} \Pr\left\{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \geq 1\right\}, \quad (3) \lim_{n \rightarrow \infty} \Pr\left\{\frac{1}{\sqrt{n}} \sum_{i=1}^n X_i \geq 1\right\}, \\ (4) \lim_{n \rightarrow \infty} \Pr\left\{1 \leq \frac{1}{\sqrt{n}} \sum_{i=1}^n X_i < 2\right\}, \quad (5) \lim_{n \rightarrow \infty} \Pr\left\{\sum_{i=1}^n X_i \geq 0\right\}. \end{aligned}$$

Let $X_i (i = 1, 2, \dots, n)$ denote independent and identically distributed random variables with mean 0 and variance $\sigma^2 \in (0, \infty)$. Find the values of the following (1) to (5). Here, you can use the law of large numbers and the central limit theorem. Also, if necessary, you can use the cumulative distribution function of the standard normal distribution:

$$F(t) = \int_{-\infty}^t \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx.$$

$$\begin{aligned} (1) \lim_{n \rightarrow \infty} \Pr\left\{\sum_{i=1}^n X_i \geq 1\right\}, \quad (2) \lim_{n \rightarrow \infty} \Pr\left\{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \geq 1\right\}, \quad (3) \lim_{n \rightarrow \infty} \Pr\left\{\frac{1}{\sqrt{n}} \sum_{i=1}^n X_i \geq 1\right\}, \\ (4) \lim_{n \rightarrow \infty} \Pr\left\{1 \leq \frac{1}{\sqrt{n}} \sum_{i=1}^n X_i < 2\right\}, \quad (5) \lim_{n \rightarrow \infty} \Pr\left\{\sum_{i=1}^n X_i \geq 0\right\}. \end{aligned}$$

数 学 (Mathematics)

(7 枚中の 7)

6 分野のうちから 3 分野を選び解答すること．選んだ分野毎に解答用紙を別にする．
Select 3 fields out of the 6 fields and answer the questions. Use a separate answer sheet for each field.

6. 【記号論理学 (Symbolic logic) 分野】

(1) 以下のシーケントを自然演繹法で証明せよ．

(a) $A \vee B, \neg B \vdash A$ (DMP)

(b) $p \vee \neg q, \neg r \vee s, q, \neg s \vdash \neg(p \rightarrow r)$

但し，選言除去規則 ($\vee e$) の代わりに上の DMP を推論規則として用いよ．

(2) シーケント $p \rightarrow \neg q, r \rightarrow s \vdash (p \wedge r) \rightarrow (q \wedge s)$ のタブロー証明を試みよ．

証明に失敗すれば，反例を示せ．

(3) 以下の各命題について，(i) 否定形を書け．(ii) 実数の領域で，元の命題の真偽値を決定せよ．また，その理由を述べよ．

(a) $\forall x[x > -1 \rightarrow x^2 > 1]$

(b) $\forall x \forall y \forall z[x - (y - z) \neq (x - y) - z]$

(1) Give natural deduction proofs of the following sequents:

(a) $A \vee B, \neg B \vdash A$ (DMP),

(b) $p \vee \neg q, \neg r \vee s, q, \neg s \vdash \neg(p \rightarrow r)$.

Use the DMP above as an inference rule instead of the \vee -elimination rule ($\vee e$).

(2) Try to prove by tableaux the sequent $p \rightarrow \neg q, r \rightarrow s \vdash (p \wedge r) \rightarrow (q \wedge s)$.

If you fail it, show a counter example.

(3) For each of the following propositions, (i) write down its negation, and (ii) decide the truth value of the original proposition in the domain of real numbers, giving a brief reason.

(a) $\forall x[x > -1 \rightarrow x^2 > 1]$

(b) $\forall x \forall y \forall z[x - (y - z) \neq (x - y) - z]$

専門科目 (Special subjects)

(25 枚中の 1)

解答上の注意 (Instructions):

1. 問題用紙は、『始め』の合図があるまで開いてはならない。

Do not open this cover sheet until the start of examination is announced.

2. 問題用紙は表紙を含め 25 枚，解答用紙は 3 枚つづり 2 部 (1 分野につき 1 部) である。

You are given 25 problem sheets including this cover sheet, and 2 sets of 3 answer sheets (1 set for each field).

3. 以下の 6 分野から 2 分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙を別にする。また，大問一つあたり一枚の解答用紙を用いよ。

Select 2 fields out of the following 6 fields and answer the questions. You must use a separate set of answer sheets for each of the fields you selected, and use a separate answer sheet for each question.

	分野	field	page
1	電気回路	Circuit theory	2
2	情報理論	Information theory	6
3	オートマトンと言語	Automata and Formal languages	9
4	電磁気学	Electromagnetism	11
5	アルゴリズム / プログラミング	Algorithms and Programming	16
6	計算機アーキテクチャ	Computer architecture	22

4. 解答用紙の全部に，専攻名，コース名 (情報知能工学専攻のみ)，選択分野名，受験番号，氏名および問題番号を記入すること。

Fill in the designated blanks at the top of each answer sheet with the department name, the course name (only for the department of advanced information technology), the selected field, your examinee number, your name, and the question number.

5. 解答は解答用紙に記入すること。スペースが足りない場合は裏面を用いても良いが，その場合は，裏面に解答があることを明記すること。

Write your answers on the answer sheets. You may use the back of the answer sheets when you run out of space. If you do so, indicate it clearly on the sheet.

6 分野から 2 分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙 1 部を用いよ。また、大問一つあたり一枚の解答用紙を用いよ。

Select 2 fields out of the 6 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets for each of the fields you selected and use a separate answer sheet for each question.

1. 【電気回路 (Circuit theory) 分野】

【問 1】～【問 4】から 2 問を選び、解答用紙の問題番号欄に解答した問題番号を記入せよ。

【問 1】 図 1 の回路で、電源電圧 $e(t) = 12 \sin 2t$ V, 電流 $i_1(t) = 4 \sin 2t$ A, 容量 $C = \frac{1}{8}$ F である。

- (1) 電流 $i_2(t)$ を求めよ。
- (2) インダクタンス L , 抵抗 R の各値を求めよ。

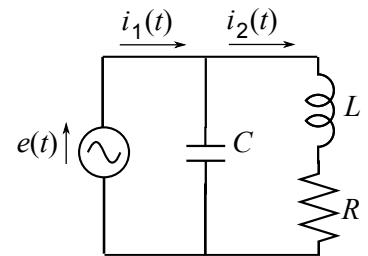


図 1

【問 2】 図 2 の回路において、2 端子対網 N のインピーダンス行列は $Z = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} \\ z_{21} & z_{22} \end{bmatrix}$ で与えられる。

- (1) 端子 2, 2' 間の開放電圧 V_2 を求めよ。
- (2) 電圧源 E を短絡除去して端子対 2-2' から左側を見たときのインピーダンス Z_{out} を求めよ。
- (3) $R_0 = 1 \Omega$, $z_{11} = 3 \Omega$, $z_{12} = z_{21} = -j \Omega$, $z_{22} = 2 \Omega$ とし、端子 2, 2' 間に 2Ω の抵抗を接続するとき、 V_2/E を求めよ。

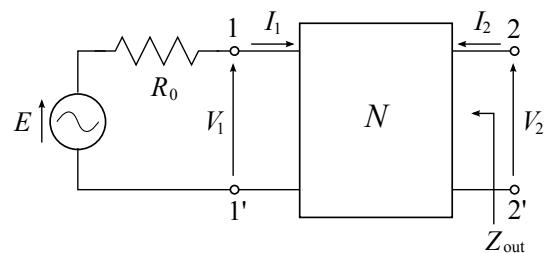


図 2

専門科目 (Special subjects)
 (25 枚中の 3)

6 分野から 2 分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙 1 部を用いよ。また、大問一つあたり一枚の解答用紙を用いよ。

Select 2 fields out of the 6 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets for each of the fields you selected and use a separate answer sheet for each question.

【問 3】図 3 の回路について、次の問いに答えよ。ただし、電源の角周波数を ω とする。

- (1) 端子対 1-1' 間が等価となるように、電圧源 V と内部インピーダンス Z の値を求めよ。
- (2) 端子対 1-1' 間に抵抗負荷 R を接続するとき、 R に流れる電流 I を求めよ。
- (3) 抵抗負荷 R で消費される電力が最大となる R の値を求めよ。

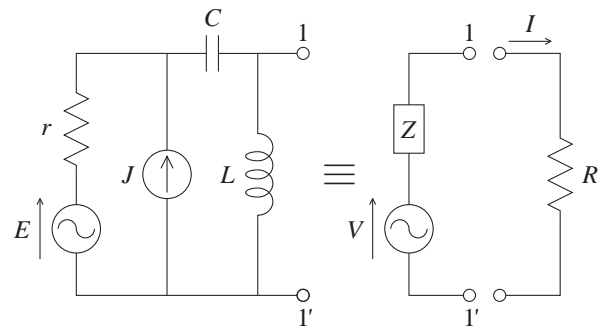


図 3

【問 4】図 4 の回路において、 $t = 0$ でスイッチ S を開く。また、スイッチ S を開く直前に回路は定常状態にあるとする。このとき、次の問いに答えよ。

- (1) スイッチ S を開いた直後の電荷 $q(+0)$ と電流 $i(+0)$ を求めよ。
- (2) $t > 0$ における電荷 $q(t)$ と電流 $i(t)$ を求めよ。

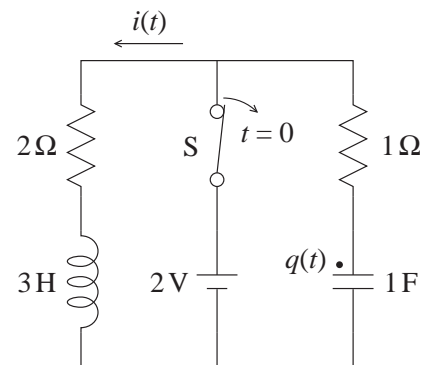


図 4

専門科目 (Special subjects)
 (25 枚中の 4)

6 分野から 2 分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙 1 部を用いよ。また、大問一つあたり一枚の解答用紙を用いよ。

Select 2 fields out of the 6 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets for each of the fields you selected and use a separate answer sheet for each question.

Select two out of the four questions 【Q1】～【Q4】 and write the number of the selected question on the answer sheet.

【Q1】 Consider the circuit shown in Fig. 1, where the source voltage $e(t) = 12 \sin 2t$ V, the current $i_1(t) = 4 \sin 2t$ A, and the capacitance $C = \frac{1}{8}$ F.

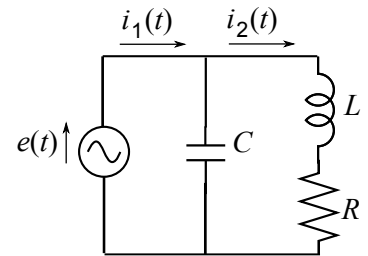


Fig.1

- (1) Find the current $i_2(t)$.
- (2) Find the values of L and R .

【Q2】 In the circuit shown in Fig. 2, the impedance matrix of the two-port N is given by $Z =$

$$\begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} \\ z_{21} & z_{22} \end{bmatrix}.$$

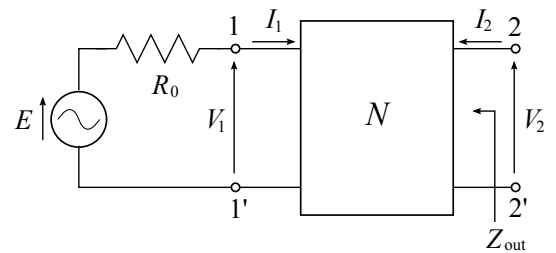


Fig.2

- (1) Find the open-circuit voltage V_2 .
- (2) Find the impedance Z_{out} seen at terminals 2 and 2' with the voltage source E replaced by short circuit.
- (3) Find V_2/E when $R_0 = 1 \Omega$, $z_{11} = 3 \Omega$, $z_{12} = z_{21} = -j \Omega$, $z_{22} = 2 \Omega$ and a resistor of 2Ω is connected between 2 and 2'.

専門科目 (Special subjects)

(25 枚中の 5)

6 分野から 2 分野を選び解答すること．選んだ分野毎に解答用紙 1 部を用いよ．また，大問一つあたり一枚の解答用紙を用いよ．

Select 2 fields out of the 6 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets for each of the fields you selected and use a separate answer sheet for each question.

【Q3】 Consider the circuit shown in Fig. 3, where the sources E and J have the same angular frequency ω .

- (1) Find the voltage V and the internal impedance Z so that two one-port circuits with terminals 1-1' are equivalent.
- (2) Find the current I flowing in the resistive load R when R is connected between terminals 1 and 1'.
- (3) Find the value of R for which the effective power in R is maximized.

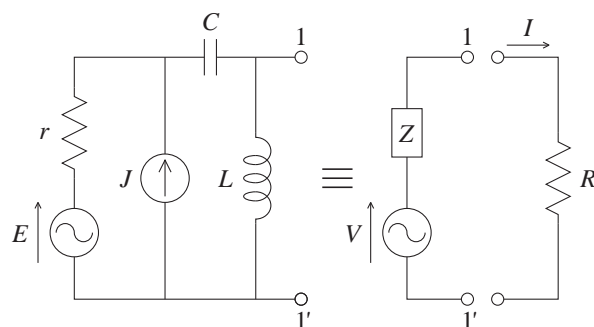


Fig.3

【Q4】 In the circuit shown in Fig.4, the switch S is opened at $t = 0$. Answer the following questions under the assumption that the circuit is in steady state just before the switch S is opened.

- (1) Find the charge $q(+0)$ and the current $i(+0)$ just after the switch S is opened at $t = 0$.
- (2) Find the charge $q(t)$ and the current $i(t)$ for $t > 0$.

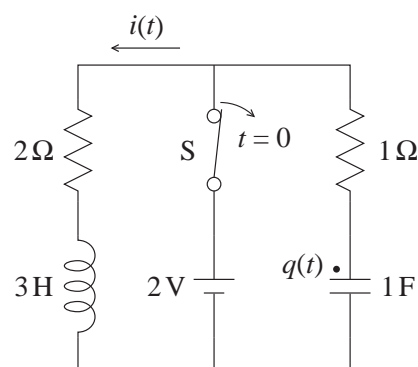


Fig.4

専門科目 (Special subjects)
(25 枚中の 6)

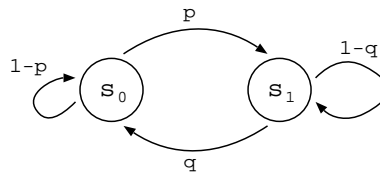
6 分野から 2 分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙 1 部を用いよ。また、大問一つあたり一枚の解答用紙を用いよ。

Select 2 fields out of the 6 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets for each of the fields you selected and use a separate answer sheet for each question.

2. 【情報理論 (Information theory) 分野】

次の各問 (【問 1】【問 2】) に答えよ。

【問 1】状態遷移図が次の図で表される 2 元マルコフ情報源を考える。状態 s_0, s_1 に遷移するときに、記号 0, 1 を出力するものとする。ただし、 $0 < p, q < 1$ とする。



- (1) このマルコフ情報源の定常分布を求めよ。
- (2) このマルコフ情報源のエントロピーを求めよ。
- (3) 以下では $p = q = 0.2$ とする。2 記号ごと、すなわち $\{00, 01, 10, 11\}$ の出現頻度に基づくブロックハフマン符号化を考える。1 記号あたりの平均符号長を求めよ。
- (4) 3 文字ごとにブロックハフマン符号化するとき、出力記号 1 文字あたりの平均符号長を求めよ。
- (5) ブロック長を無限大にするとき、出力記号 1 文字あたりの平均符号長はある値に収束する。その値は何か。

【問 2】確率変数 X, Y ($X, Y \in \{0, 1\}$) の同時確率分布 $P(X, Y)$ が次の表で与えられているとき、以下の問いに答えよ。なお必要ならば 2 値エントロピー関数 $h(p) = -p \log_2 p - (1-p) \log_2 (1-p)$ を用いて解答してもよい。

$P(X, Y)$		Y	
		0	1
X	0	0.4	0.1
	1	0.1	0.4

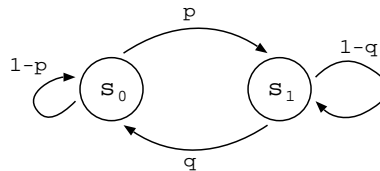
- (1) 相互情報量 $I(X; Y)$ を求めよ。
- (2) ビット誤り率 ε の 2 元対称通信路に X を入力した場合の出力を X' とする。 X' と Y の同時確率分布の表を書け。
- (3) 相互情報量 $I(X'; Y)$ を求めよ。
- (4) $I(X'; Y) \leq I(X; Y)$ を示せ。
- (5) $I(X'; Y) = 0$ となるための ε の条件を述べよ。

6 分野から 2 分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙 1 部を用いよ。また、大問一つあたり一枚の解答用紙を用いよ。

Select 2 fields out of the 6 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets for each of the fields you selected and use a separate answer sheet for each question.

Answer the following questions (【Q1】【Q2】).

【Q1】 Consider a binary Markov information source whose state transition diagram is depicted in the following figure, where $0 < p, q < 1$. The Markov information source outputs 0 and 1, when the current state moves to s_0 and s_1 , respectively.



- (1) Find the stationary distribution of the Markov source.
- (2) Find the entropy of the Markov source.
- (3) Hereafter, let $p = q = 0.2$. Consider a block Huffman code with block length two, based on the occurrence probabilities of two consecutive symbols, i.e. $\{00, 01, 10, 11\}$. Find the expected code length per symbol for this code.
- (4) Find the expected code length per symbol for a block Huffman code with block length three.
- (5) As the block length goes to infinity, the expected code length per symbol converges to a certain value. What is this value?

【Q2】 The joint probability distribution $P(X, Y)$ of random variables X and Y ($X, Y \in \{0, 1\}$) is defined by the following table.

$P(X, Y)$		Y	
		0	1
X	0	0.4	0.1
	1	0.1	0.4

Answer the following questions. If necessary, you may use the binary entropy function $h(p) = -p \log_2 p - (1 - p) \log_2 (1 - p)$.

- (1) Find the mutual information $I(X; Y)$.
- (2) Assume that X is transmitted over a binary symmetric channel with bit error probability ε . Let X' be the output of the channel. Provide the table of the joint probability distribution of X' and Y .

専 門 科 目 (Special subjects)

(25 枚中の 8)

6 分野から 2 分野を選び解答すること．選んだ分野毎に解答用紙 1 部を用いよ．また，
大問一つあたり一枚の解答用紙を用いよ．

Select 2 fields out of the 6 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets
for each of the fields you selected and use a separate answer sheet for each question.

-
- (3) Find the mutual information $I(X'; Y)$.
- (4) Show that $I(X'; Y) \leq I(X; Y)$ holds.
- (5) Find ε for which $I(X'; Y) = 0$ holds.

専門科目 (Special subjects)

(25 枚中の 9)

6 分野から 2 分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙 1 部を用いよ。また、大問一つあたり一枚の解答用紙を用いよ。

Select 2 fields out of the 6 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets for each of the fields you selected and use a separate answer sheet for each question.

3. 【オートマトンと言語 (Automata and Formal languages) 分野】

次の各問 (【問 1】【問 2】) に答えよ。

【問 1】決定性有限オートマトン $M(x) = (\{q_0, q_1, \dots, q_{x-1}\}, \{0\}, \delta, q_0, \{q_p \mid p < x, p \text{ は素数}\})$ に対し、次の各問いに答えよ。ただし、 x は 2 より大きい整数であり、 $\delta(q_i, 0) = q_{(i+1) \bmod x}$ とする。正の整数 a, b に対し、 $a \bmod b$ は、 a を b で割った際の剰余を表す。

- (1) $M(5)$ の状態遷移図を与えよ。
- (2) $M(5)$ によって受理される言語を与えよ。
- (3) 命題 “ $M(x)$ によって 0^5 が受理されるならば、 $x > 5$ である” は真であるか？真である場合には証明し、偽である場合には反例を 1 個与えよ。ただし、正の整数 n に対し、 0^n は n 個の 0 から構成される文字列を表す。
- (4) $M(x)$ によって 0^7 が受理され 0^{11} が受理されないとする。このとき、 x を与えよ。

【問 2】言語 $L_0 = \{a^n b^n \mid n \geq 0\}$ とする。次の各問に答えよ。

- (1) L_0 を生成する文脈自由文法 G を与えよ。
- (2) $w \in L_0$ を長さ 6 の文字列とする。 G の開始記号から w への導出過程を与えよ。
- (3) $L(G) = L_0$ を証明せよ。ただし、 $L(G)$ は G によって生成される言語である。
- (4) $L_1 = \{a^n b^m \mid 0 \leq n < m\}$ とする。 $L_1 = L_0 \cdot L_2$ をみたす言語 L_2 を与えよ。ただし、 $L_0 \cdot L_2$ は L_0 と L_2 の接続を表す。
- (5) L_1 を生成する文脈自由文法を与えよ。

専門科目 (Special subjects)

(25 枚中の 10)

6 分野から 2 分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙 1 部を用いよ。また、大問一つあたり一枚の解答用紙を用いよ。

Select 2 fields out of the 6 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets for each of the fields you selected and use a separate answer sheet for each question.

Answer the following questions (【Q1】【Q2】).

【Q1】 Answer the following questions for a deterministic finite state automaton $M(x) = (\{q_0, q_1, \dots, q_{x-1}\}, \{0\}, \delta, q_0, \{q_p \mid p < x, p \text{ is a prime number}\})$, where x is an integer greater than 2 and $\delta(q_i, 0) = q_{(i+1) \bmod x}$. For positive integers a and b , $a \bmod b$ represents the remainder when a is divided by b .

- (1) Give a state transition diagram of $M(5)$.
- (2) Give the language accepted by $M(5)$.
- (3) Is the proposition “if 0^5 is accepted by $M(x)$, then $x > 5$ ” true? If it is true, prove it. Otherwise, give a counterexample. Here 0^n represents the string which consists of n 0’s for a positive integer n .
- (4) Give x when 0^7 is accepted by $M(x)$ and 0^{11} is not accepted by $M(x)$.

【Q2】 Answer the following questions for the language $L_0 = \{a^n b^n \mid n \geq 0\}$.

- (1) Give a context-free grammar G which generates L_0 .
- (2) Let $w \in L_0$ of length 6. Give a derivation from the initial symbol of G to w .
- (3) Prove $L(G) = L_0$, where $L(G)$ represents the language generated by G .
- (4) Let $L_1 = \{a^n b^m \mid 0 \leq n < m\}$. Give the language L_2 such that $L_1 = L_0 \cdot L_2$, where $L_0 \cdot L_2$ represents the concatenation of L_0 and L_2 .
- (5) Give a context-free grammar which generates L_1 .

6 分野から 2 分野を選び解答すること．選んだ分野毎に解答用紙 1 部を用いよ．また，大問一つあたり一枚の解答用紙を用いよ．

Select 2 fields out of the 6 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets for each of the fields you selected and use a separate answer sheet for each question.

4. 【電磁気学 (Electromagnetism) 分野】

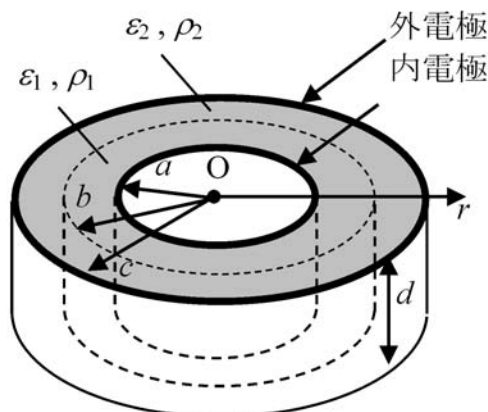
次の各問 (【問 1】～【問 3】) に答えよ．

【問 1】半径 2.0 cm の帯電した導体球が真空中にある．導体球の表面は，比誘電率が 2.0 の厚さ 1.0 cm の誘電体で覆われている．導体球の中心から距離 10 cm の位置の電界強度は 1.0×10^2 V/m であった．解答に当たっては単位も明記すること．また，真空の誘電率は ε_0 [F/m] としてよい．

- (1) 導体表面の面電荷密度を求めよ．
- (2) 導体表面の単位面積あたりに働く力の大きさを求めよ．
- (3) 導体の電位を求めよ．
- (4) 誘電体の外表面の分極面電荷密度を求めよ．
- (5) 静電容量を求めよ．

【問 2】図に示すように，真空中 (誘電率 ε_0) にある同軸円筒状電極 (厚さ d) において，内外電極間は同軸状の 2 層の導電性誘電体 (誘電率，抵抗率はそれぞれ ε_1, ρ_1 と ε_2, ρ_2) で満たされている．外電極に対して内電極に電位差 V を印加した．

- (1) 内外電極間の抵抗を求めよ．
- (2) 内外 2 層の導電性誘電体内の電流密度 j_1, j_2 と電界 E_1, E_2 をそれぞれ求めよ．
- (3) 内外電極に生じる全電荷 Q_a と Q_c をそれぞれ求めよ．
- (4) 2 層の導電性誘電体の境界層 ($r = b$) に生じる全自由電荷 Q_b と全分極電荷 Q_{bP} を求めよ．

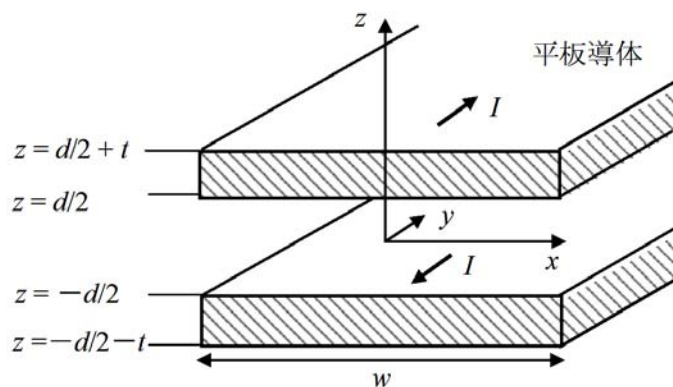


6 分野から 2 分野を選び解答すること．選んだ分野毎に解答用紙 1 部を用いよ．また，大問一つあたり一枚の解答用紙を用いよ．

Select 2 fields out of the 6 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets for each of the fields you selected and use a separate answer sheet for each question.

【問 3】図に示すように，厚さ t ，幅 w の無限長平板導体を間隔 d で平行に配置し，平行平板ケーブルを形成する．ただし，導体の抵抗率を ρ とし，透磁率は全ての空間で μ とする．導体には図に示すように一様電流 I が流れている．ただし， $w \gg d, t$ とし，端の効果は無視できるとする．

- (1) 導体内外の領域 ($-d/2 - t < z < d/2 + t$) における磁界 $H_x(z)$ を求めよ．ただし， $|z| > d/2 + t$ では $H_x = 0$ とする．
- (2) 導体内部及び導体間の空間に蓄えられる単位長さ当たりの磁気エネルギー U_{m1} と U_{m2} を求め，この結果からケーブルの単位長さ当たりの内部インダクタンス L_i と外部インダクタンス L_o を求めよ．
- (3) 上部導体の表面 ($z = d/2, z = d/2 + t$) におけるポインティングベクトル S を求めよ．この結果から上部の平板導体での単位長さ当たり電力損が $P = \rho(wt)^{-1}I^2$ となることを示せ．



専門科目 (Special subjects)
(25 枚中の 13)

6 分野から 2 分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙 1 部を用いよ。また、大問一つあたり一枚の解答用紙を用いよ。

Select 2 fields out of the 6 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets for each of the fields you selected and use a separate answer sheet for each question.

Answer the following questions (【Q1】～【Q3】).

【Q1】 A spherical conductor with a radius of 2.0 cm is placed in a vacuum. The surface of the conductor is covered by a dielectric material whose relative permittivity is 2.0 and thickness is 1.0 cm. The electric field strength is 1.0×10^2 V/m at 10 cm from the center of the conductor. Clearly show the physical units in the answers. Use ε_0 [F/m] for the permittivity of a vacuum.

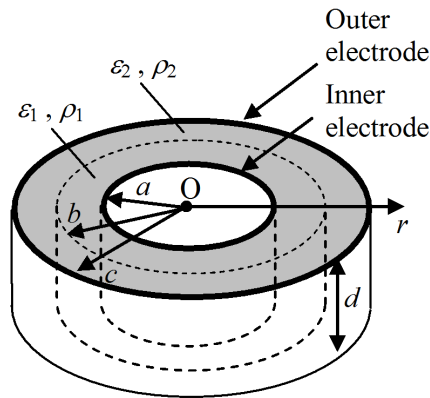
- (1) Give the charge density per unit area on the surface of the conductor.
- (2) Give the magnitude of the electrostatic force per unit area on the surface of the conductor.
- (3) Give the electric potential of the conductor.
- (4) Give the polarization charge density per unit area on the outer surface of the dielectric material.
- (5) Give the electric capacitance.

6 分野から 2 分野を選び解答すること．選んだ分野毎に解答用紙 1 部を用いよ．また，大問一つあたり一枚の解答用紙を用いよ．

Select 2 fields out of the 6 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets for each of the fields you selected and use a separate answer sheet for each question.

【Q2】 As shown in the figure, a pair of coaxial cylindrical electrodes (thickness d) in a vacuum with permittivity ε_0 is filled with two coaxial layers of electrically conductive dielectric, whose permittivity and resistivity are ε_1, ρ_1 for the inner layer and ε_2, ρ_2 for the outer layer. A voltage difference V is applied to the inner electrode for the outer one.

- (1) Give the electric resistance between the inner and outer electrodes.
- (2) Give the magnitude of current density and electric field, j_1 and E_1 for the inner dielectric layer, and j_2 and E_2 for the outer one.
- (3) Give the total electric charges Q_a and Q_c induced in the inner and outer electrodes, respectively.
- (4) Give the total electric free charge and polarization one, Q_b and Q_{bP} , generated at the boundary ($r = b$) between the two dielectric layers.

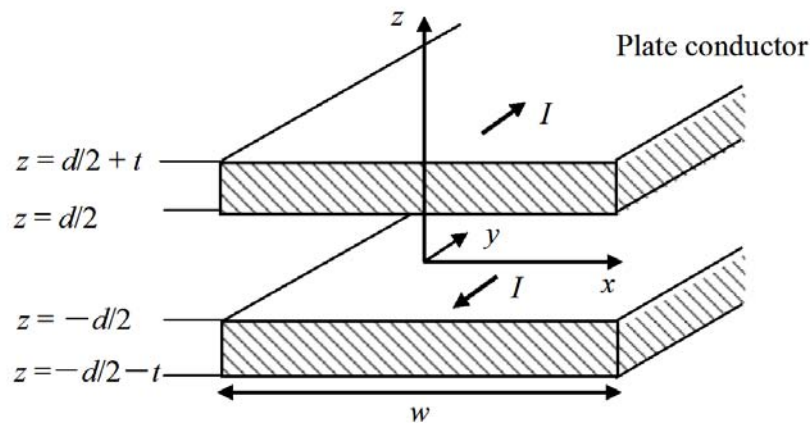


6 分野から 2 分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙 1 部を用いよ。また、大問一つあたり一枚の解答用紙を用いよ。

Select 2 fields out of the 6 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets for each of the fields you selected and use a separate answer sheet for each question.

【Q3】 As shown in the figure, there are two plate conductors with width w and thickness t . They are placed in parallel with distance d , and form a parallel-plate transmission line, where $w \gg d, t$. The resistivity of conductors is ρ , and the permeability is μ in all space. The current I flows uniformly in the conductors. Here, we assume that the edge effect can be neglected.

- (1) Give the magnetic field $H_x(z)$ in the region of $-d/2 - t < z < d/2 + t$. Note that $H_x = 0$ for $|z| > d/2 + t$.
- (2) Give the magnetic energies U_{m1} and U_{m2} per unit length that are stored in the conductors and the space between conductors, respectively. Also give the internal inductance L_i and external inductance L_o of the transmission line per unit length.
- (3) Give the Poynting vector \mathbf{S} at the surface of the upper conductor, i.e. at $z = d/2$ and $z = d/2 + t$. Also show that the loss in the upper conductor is given by $P = \rho(wt)^{-1}I^2$ per unit length by using the Poynting vector \mathbf{S} .



専 門 科 目 (Special subjects)
(25 枚中の 16)

6 分野から 2 分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙 1 部を用いよ。また、大問一つあたり一枚の解答用紙を用いよ。

Select 2 fields out of the 6 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets for each of the fields you selected and use a separate answer sheet for each question.

5. 【アルゴリズム / プログラミング (Algorithms and Programming) 分野】

次の各問 (【問 1】【問 2】) に答えよ。

【問 1】自然数 a と b を入力とし、自然数 q と r を出力とする以下のプログラムについて下記の問に答えよ。

```
begin
   $q := 0$ ;
   $r := a$ ;
  while  $r \geq b$  do
    begin
       $q := q + 1$ ;
       $r := r - b$ 
    end
  end
end
```

- (1) 入力 $a = 18$, $b = 7$ に対して、このプログラムを実行した結果得られる出力 q と r の値は、それぞれいくつになるか？
- (2) $a = 18$, $b = 0$ に対して、このプログラムを実行するとどうなるか？
- (3) 上のプログラムは、 a を b で割った商 q と余り r を求めることを意図したプログラムである。このプログラムが正しく動作するためには、入力 a と b に対してどのような前提条件が成立っていなければならないか？
- (4) 出力 q と r が、それぞれ a を b で割った商と余りであるということを表す論理式を書け。
- (5) 上の (3) の前提条件を満足するいかなる入力データ a と b に対しても、このプログラムは必ず実行が終了することを論証せよ。

専門科目 (Special subjects)
 (25 枚中の 17)

6 分野から 2 分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙 1 部を用いよ。また、大問一つあたり一枚の解答用紙を用いよ。

Select 2 fields out of the 6 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets for each of the fields you selected and use a separate answer sheet for each question.

【問 2】選択と射影と結合は次のように定義される。但し、 θ は比較演算である。 c は定数である。

－ 選択

リレーション $R(A_1, A_2, \dots, A_n)$ の選択 $R[A_i\theta c]$ は、次のように定義される。

$$R[A_i\theta c] = \{t | t \in R \wedge t[A_i]\theta c\}$$

－ 射影

リレーション $R(A_1, A_2, \dots, A_n)$ の射影 $R[A_{i1}, A_{i2}, \dots, A_{ik}]$ は、次のように定義される。

$$R[A_{i1}, A_{i2}, \dots, A_{ik}] = \{u | u \in \text{dom}(A_{i1}) \times \text{dom}(A_{i2}) \times \dots \times \text{dom}(A_{ik}) \\ \wedge (\exists t \in R)(t[A_{i1}] = u[A_{i1}] \wedge t[A_{i2}] = u[A_{i2}] \wedge \dots \wedge t[A_{ik}] = u[A_{ik}])\}$$

－ 結合

2 つのリレーション $R(A_1, A_2, \dots, A_n)$ と $S(B_1, B_2, \dots, B_m)$ の結合 $R[A_i\theta B_j]S$ は、次のように定義される。

$$R[A_i\theta B_j]S = \{(t, u) | t \in R \wedge u \in S \wedge t[A_i]\theta u[B_j]\}$$

リレーショナルデータベースに、次に示す R リレーションと S リレーション、 T リレーションが格納されている。

R		S		T		
A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7
1	1200	1	A	AA	X	a
2	80	2	A	BB	Y	d
3	500	2	B	BB	Y	e
4	2000	3	B	CC	Y	b
		4	C	DD	Z	c

次の各問に答えよ

(1) 次の各式 (a) ~ (f) の評価結果を解答せよ。

(a) $S[A_4 = 'B']$

(b) $R[A_2 \leq 1000]$

(c) $R[A_1]$

(d) $R[A_1 = A_3]S$

専門科目 (Special subjects)

(25 枚中の 18)

6 分野から 2 分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙 1 部を用いよ。また、大問一つあたり一枚の解答用紙を用いよ。

Select 2 fields out of the 6 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets for each of the fields you selected and use a separate answer sheet for each question.

(e) $R[A_1 = A_3](S[A_4 = 'A'])$

(f) $(T[A_6, A_7])[A_7 = A_7](T[A_5, A_7])$

(2) 次の各リレーション (a) ~ (d) を得るような式を解答せよ。

(a)

A_3	A_4
2	A
2	B

(b)

A_7
a
d
e
b
c

(c)

A_1	A_3	A_4
2	80	B
3	500	B

(d)

A_2	A_4
1200	A
80	A
80	B
500	B
2000	C

(3) 式 $(R[A_1 = A_8]U)[A_2, A_9]$ の評価結果が次のようになるとき, U は何か?

A_2	A_9
1200	aa
80	bbb
500	ccc

専門科目 (Special subjects)

(25 枚中の 19)

6 分野から 2 分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙 1 部を用いよ。また、大問一つあたり一枚の解答用紙を用いよ。

Select 2 fields out of the 6 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets for each of the fields you selected and use a separate answer sheet for each question.

Answer the following questions (【Q1】【Q2】).

【Q1】 The following program inputs two natural numbers a and b , and outputs two natural numbers q and r .

```
begin
  q := 0;
  r := a;
  while r >= b do
    begin
      q := q + 1;
      r := r - b
    end
  end
end
```

Answer the following questions.

- (1) Given the inputs $a = 18$ and $b = 7$, what are the output values of q and r when the above program is executed?
- (2) What happens when the inputs $a = 18$ and $b = 0$ are given for the above program?
- (3) The above program is intended to calculate the quotient q and remainder r for a divided by b . Specify the condition on the inputs a and b which guarantees that the above program outputs the correct answers.
- (4) Write an logical expression which represents that q and r are respectively the quotient and the remainder for a divided by b .
- (5) Show that the above program terminates its execution for arbitrary inputs a and b when the inputs satisfy the condition required at (3).

専門科目 (Special subjects)

(25 枚中の 20)

6 分野から 2 分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙 1 部を用いよ。また、大問一つあたり一枚の解答用紙を用いよ。

Select 2 fields out of the 6 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets for each of the fields you selected and use a separate answer sheet for each question.

【Q2】 Selection, projection and join are defined as follows. Where θ is a comparison operator and c is a constant value.

– selection

Selection " $R[A_i\theta c]$ " of a relation $R(A_1, A_2, \dots, A_n)$ is defined as follows:

$$R[A_i\theta c] = \{t \mid t \in R \wedge t[A_i]\theta c\}$$

– projection

Projection " $R[A_{i1}, A_{i2}, \dots, A_{ik}]$ " of a relation $R(A_1, A_2, \dots, A_n)$ is defined as follows:

$$R[A_{i1}, A_{i2}, \dots, A_{ik}] = \{u \mid u \in \text{dom}(A_{i1}) \times \text{dom}(A_{i2}) \times \dots \times \text{dom}(A_{ik}) \\ \wedge \exists t \in R (t[A_{i1}] = u[A_{i1}] \wedge t[A_{i2}] = u[A_{i2}] \wedge \dots \wedge t[A_{ik}] = u[A_{ik}])\}$$

– join

join " $R[A_i\theta B_j]S$ " of two relations $R(A_1, A_2, \dots, A_n)$ and $S(B_1, B_2, \dots, B_m)$, is defined as follows:

$$R[A_i\theta B_j]S = \{(t, u) \mid t \in R \wedge u \in S \wedge t[A_i]\theta u[B_j]\}$$

Three relations R , S and T are stored in a relational database as follows:

R		S		T		
A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7
1	1200	1	A	AA	X	a
2	80	2	A	BB	Y	d
3	500	2	B	BB	Y	e
4	2000	3	B	CC	Y	b
		4	C	DD	Z	c

Answer the following questions.

(1) Answer each evaluation result of the following expressions: (a)-(f).

(a) $S[A_4 = 'B']$

(b) $R[A_2 \leq 1000]$

(c) $R[A_1]$

(d) $R[A_1 = A_3]S$

専門科目 (Special subjects)

(25 枚中の 21)

6 分野から 2 分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙 1 部を用いよ。また、大問一つあたり一枚の解答用紙を用いよ。

Select 2 fields out of the 6 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets for each of the fields you selected and use a separate answer sheet for each question.

(e) $R[A_1 = A_3](S[A_4 = 'A'])$

(f) $(T[A_6, A_7])[A_7 = A_7](T[A_5, A_7])$

(2) Answer each expression to obtain the following results: (a)-(d).

(a)

A_3	A_4
2	A
2	B

(b)

A_7
a
d
e
b
c

(c)

A_1	A_3	A_4
2	80	B
3	500	B

(d)

A_2	A_4
1200	A
80	A
80	B
500	B
2000	C

(3) Answer the relation U when the evaluation result of the expression

“($R[A_1 = A_8]U$)[A_2, A_9]” is as the following.

A_2	A_9
1200	aa
80	bbb
500	ccc

専門科目 (Special subjects)
(25枚中の22)

6分野から2分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙1部を用いよ。また、大問一つあたり一枚の解答用紙を用いよ。

Select 2 fields out of the 6 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets for each of the fields you selected and use a separate answer sheet for each question.

6. 【計算機アーキテクチャ(Computer architecture) 分野】

次の各問(【問1】～【問3】)に答えよ。

【問1】論理代数において以下の等式が成り立つことを証明せよ。

$$ac\bar{e}f + b\bar{c} + b\bar{f} + \bar{c}\bar{d} + \bar{d}\bar{f} = ab\bar{e} + ac\bar{e}f + a\bar{d}\bar{e} + b\bar{c} + b\bar{f} + \bar{c}\bar{d} + \bar{d}\bar{f}$$

【問2】あるプロセッサにおいて、以下の4種類の命令タイプを実装することを考える。各命令タイプの命令実行の各ステップにおける所要時間は下表の通りとする。

命令タイプ	ステップ				
	命令フェッチ	レジスタ 読出し	ALU 演算	データメモリ アクセス	レジスタ 書込み
ロード命令	1100ps	400ps	700ps	1100ps	400ps
ストア命令	1100ps	400ps	700ps	1100ps	
演算命令	1100ps	400ps	700ps		400ps
分岐命令	1100ps	400ps	800ps		

(a) 以下の3種類のプロセッサ構成方式を採った場合のクロックサイクル時間(最小値。単位は ns)、各命令タイプの実行所要時間(単位は ns)および実行所要クロックサイクル数を求めよ。

- * シングルサイクル・データパス：1命令の実行を1クロックサイクルで実行。
- * マルチサイクル・データパス：上記の各ステップを1クロックサイクルで実行。
- * 命令パイプライン処理：上記の各ステップを1パイプラインステージとし、1ステージを1クロックサイクルで実行。

(b) 上記3種類の異なるプロセッサ構成方式を採用したプロセッサにおいて以下のプログラムを実行した際のプログラム実行時間(単位は ns)を求めよ。なお、命令パイプライン処理においてデータハザードを考慮する必要はない。

```
lw $2, 20($1) (R2 Memory[R1+20])
and $12, $2, $5 (R12 R2 R5)
or $13, $6, $2 (R13 R6 R2)
add $14, $2, $2 (R14 R2 + R2)
sw $15, 100($2) (R15 Memory[R2+100])
```

専門科目 (Special subjects)

(25 枚中の 23)

6 分野から 2 分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙 1 部を用いよ。また、大問一つあたり一枚の解答用紙を用いよ。

Select 2 fields out of the 6 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets for each of the fields you selected and use a separate answer sheet for each question.

- (c) 上記 (b) のプログラムには 4 つのフロー依存関係が存在する。どの命令がどの命令にどのレジスタ (データ) に関して依存しているかをすべて列挙せよ。
- (d) 上記 (c) のフロー依存関係のうち、上記 (a) の命令パイプライン処理で実行した際に実際にデータハザードを生じさせるものを示せ。
- (e) 上記 (d) のデータハザードをパイプラインストールによって対処した場合の上記 (b) のプログラムの実行時間 (単位は ns) を求めよ。

【問 3】マイクロプロセッサに搭載された 2 ウェイ・セットアソシアティブ・キャッシュについて考える。キャッシュ・サイズは 16 バイト、ブロック サイズは 4 バイト (1 語)、アドレス長は 4 ビット、ブロック置換は LRU (Least Recently Used) 法であり、キャッシュの初期状態は空とする。以下に示すワードアドレス (2 進表現) に対してメモリアクセスが順次発生した場合について、次の各問いに答えよ。

0100 \Rightarrow 1011 \Rightarrow 0100 \Rightarrow 1110 \Rightarrow 0100 \Rightarrow 0110 \Rightarrow 1110 \Rightarrow 1011

- (a) 初期参照により生じたキャッシュミスの回数を求めよ。
- (b) 有効なブロックの置き換えを伴うキャッシュミスの回数を求めよ。
- (c) キャッシュミス率を求めよ。

専 門 科 目 (Special subjects)
 (25 枚中の 24)

6 分野から 2 分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙 1 部を用いよ。また、大問一つあたり一枚の解答用紙を用いよ。

Select 2 fields out of the 6 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets for each of the fields you selected and use a separate answer sheet for each question.

Answer the following questions (【Q1】 ~ 【Q3】).

【Q1】 Prove the following logic equation in logic algebra.

$$ac\bar{e}f + b\bar{c} + b\bar{f} + \bar{c}\bar{d} + \bar{d}\bar{f} = ab\bar{e} + ac\bar{e}f + a\bar{d}\bar{e} + b\bar{c} + b\bar{f} + \bar{c}\bar{d} + \bar{d}\bar{f}$$

【Q2】 Let us consider that we implement the following four types of instructions for a processor.

Assume that each step of the instruction execution requires the following time.

Instruction Types	Steps				
	Instruction fetch	Register read	ALU operation	Data memory access	Register write
Load	1100ps	400ps	700ps	1100ps	400ps
Store	1100ps	400ps	700ps	1100ps	
ALU	1100ps	400ps	700ps		400ps
Branch	1100ps	400ps	800ps		

(a) For the following three different processor implementations, compute the clock-cycle time (minimum value, unit: ns), the execution time for each instruction type (unit: ns), and the number of clock cycles required for each instruction type.

- * Single-cycle datapath: Each instruction is executed in a single clock cycle.
- * Multi-cycle datapath: Each step of the instruction execution is performed in a single clock cycle.
- * Pipelined datapath: Each step of the instruction execution corresponds to a pipeline stage and each stage is performed in a single clock cycle and in a pipelining fashion.

(b) For the three processor implementations above, compute the program execution time (unit: ns) for the following program. Ignore any data hazards which could occur in the pipelined datapath.

```
lw $2, 20($1) ( R2  Memory[R1+20] )
and $12, $2, $5 ( R12  R2  R5 )
or $13, $6, $2 ( R13  R6  R2 )
add $14, $2, $2 ( R14  R2 + R2 )
sw $15, 100($2) ( R15  Memory[R2+100] )
```


専門科目 (Special subjects)

(25 枚中の 25)

6 分野から 2 分野を選び解答すること。選んだ分野毎に解答用紙 1 部を用いよ。また、大問一つあたり一枚の解答用紙を用いよ。

Select 2 fields out of the 6 fields and answer the questions. Use a set of answer sheets for each of the fields you selected and use a separate answer sheet for each question.

- (c) There are four data dependences in the program above. Identify all these data dependences by describing which instruction depends on which instruction through which register.
- (d) Show which data dependences actually cause data hazards in the pipelined datapath.
- (e) Compute the actual program execution time (unit: ns) when all the data hazards above are resolved by means of pipeline stall.

【Q3】 Consider a 2-way set-associative cache memory implemented in a microprocessor chip. Assume that the cache size is 16 bytes, the block size is 4 bytes (1 word), the address width is 4 bits, and the block replacement policy is LRU (Least Recently Used). Suppose the cache is initially empty, and we have the following word address sequence of memory references (represented in the binary numeral system). Solve the following problems.

$0100 \Rightarrow 1011 \Rightarrow 0100 \Rightarrow 1110 \Rightarrow 0100 \Rightarrow 0110 \Rightarrow 1110 \Rightarrow 1011$

- (a) Find the number of cache misses for very first accesses to data.
- (b) Find the number of cache misses causing valid block replacements.
- (c) Find the cache miss rate.