2022 年 8 月 31 日　9:40－10:40

大学院工学研究科	電気エネルギーシステム専攻
	通信工学専攻
	電子工学専攻
大学院情報科学研究科	情報・生命系群
大学院医工学研究科	工学系コース電気・情報系

大学院入学試験問題

専門科目
Specialized Subjects

注意：　６設問中，２問題を選んで，答案用紙（問題ごとに１枚）に解答せよ．答案用紙が不足する場合は裏面を使って良い．問題は和文と英文を併記してある．

Attention: Choose 2 questions out of the following 6 questions and answer each of them on a separate answer sheet. You may use the backside. Questions are written in both Japanese and English.

2022 年 8 月実施
問題 1　電気工学
(1 頁目／4 頁中)

(1) Fig. 1(a)に示す制御系において，$G_1(s) = K$ とする．ただし，$K > 0$ とする．

(a) $K = 1$ のとき，この制御系のボード線図が Fig. 1(b)のようになった．ゲイン交差周波数 ω_c，ゲイン余裕 GM，位相余裕 PM のそれぞれについて，おおよその値を求めよ．

(b) Fig. 1(b)から，この制御系が安定限界となる K の値を求めよ．

(2) Fig. 1(a)に示す制御系で，$E(s)$ の時間応答 $e(t)$ が次のようになった．ただし，$t < 0$ において $e(t) = 0$ とする．

i) $D(s) = 0$ のとき，$R(s)$として単位ステップ信号が入力された場合，$e(t) = (t+1)e^{-t}$

ii) $R(s) = 0$ のとき，$D(s)$として単位ステップ信号が入力された場合，$e(t) = (t+1)e^{-t} - 1$

(a) $D(s) \neq 0$，$R(s) \neq 0$ のとき，$E(s)$を，$G_1(s), G_2(s), R(s), D(s)$ を用いて表せ．

(b) $G_2(s)$ を，s を用いて表せ．ただし，一般に $\mathcal{L}\left[\frac{t^{n-1}}{(n-1)!}e^{-\alpha t}\right] = \frac{1}{(s+\alpha)^n}$ $(n = 1,2,\cdots)$ である．

(3) Fig. 1(c)に示す磁気回路がある．磁路(A)，磁路(B)，磁路(C)の長さは，それぞれ$3l$，$3l$，l であり，空隙の長さは d，空隙と磁心の断面積はどちらも S である．ただし，磁路(B)の長さ $3l$ は空隙の長さ d を含んだものとする．コイルの巻数は n であり，コイルには電流 i が流れている．磁心と空隙の透磁率は，それぞれ，μ と μ_0 で，漏れ磁束は無視できるものとする．

(a) 磁路(A)，磁路(B)，磁路(C)の磁気抵抗を，それぞれ求めよ．

(b) 磁路(A)，磁路(B)，磁路(C)の磁気抵抗を，それぞれR_A，R_B，R_Cとするとき，空隙の磁束を，R_A，R_B，R_C，n，i を用いて表せ．

2022 年 8 月実施
問題 1　電気工学
(2 頁目／4 頁中)

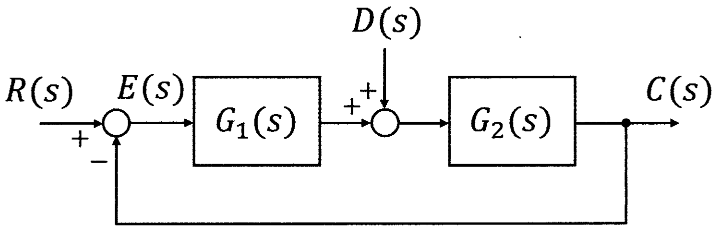

Fig. 1(a)

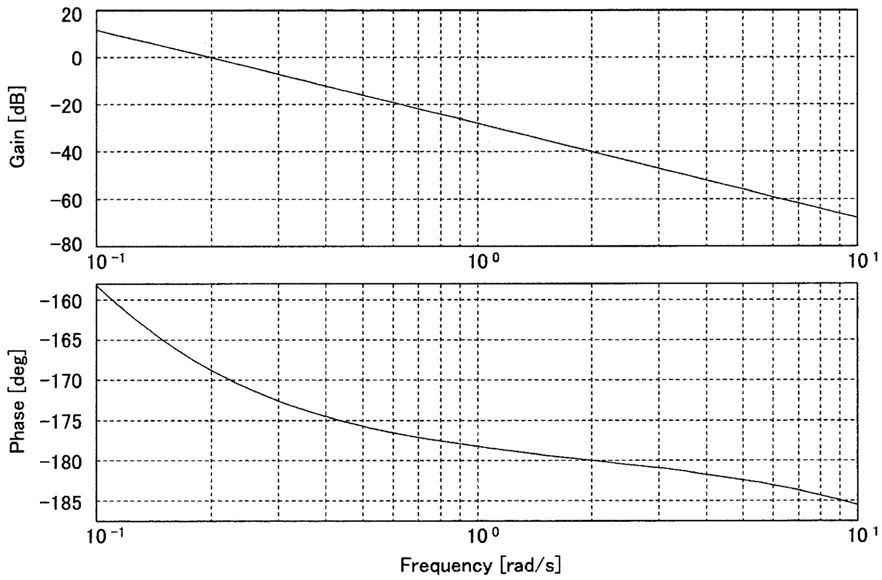

Fig. 1(b)

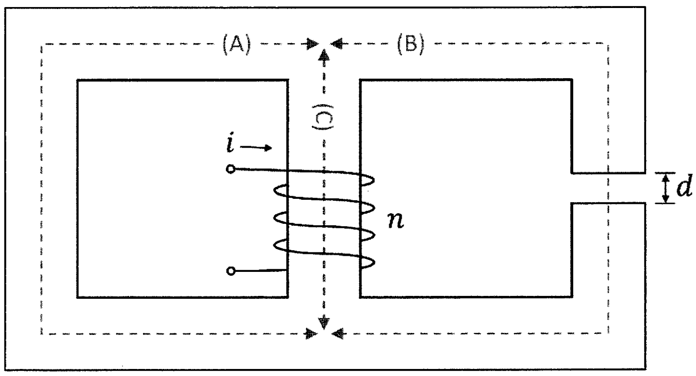

Fig. 1(c)

(1) Consider the control system shown in Fig.1(a), where $G_1(s) = K$ and $K > 0$.

(a) Fig. 1(b) shows the bode plots of the control system, where $K = 1$. Find the approximate values of gain crossover frequency ω_c, gain margin *GM*, and phase margin *PM* of the control system.

(b) From Fig.1(b), find the value *K* of the control system at the limit of stability.

(2) In the control system shown in Fig.1(a), the error $e(t)$, which is the time response of $E(s)$, is as follows:

i) $e(t) = (t+1)e^{-t}$ if the unit step signal is input to $R(s)$ while $D(s) = 0$.

ii) $e(t) = (t+1)e^{-t} - 1$ if the unit step signal is input to $D(s)$ while $R(s) = 0$.

Here, $e(t) = 0$ for $t < 0$.

(a) Let $D(s) \neq 0$, $R(s) \neq 0$. Express $E(s)$ using $G_1(s), G_2(s), R(s),$ and $D(s)$.

(b) Find $G_2(s)$ as a function of s. Here, $\mathcal{L}\left[\frac{t^{n-1}}{(n-1)!}e^{-\alpha t}\right] = \frac{1}{(s+\alpha)^n}$ $(n = 1,2,\cdots)$.

(3) Consider the magnetic circuit shown in Fig. 1(c). The lengths of the magnetic paths (A), (B), and (C) are $3l$, $3l$, and l, respectively. The length of the gap is d and the cross-sectional area of both the iron core and the gap is S. The length of the magnetic path (B), which is $3l$, includes the length of the gap, which is d. The number of coil turns is n, the current flowing into the coil is i, and the permeabilities of the iron core and the gap are μ and μ_0, respectively. The leakage flux is negligibly small.

(a) Find the reluctances of the magnetic paths (A), (B), and (C), respectively.

(b) Assume the reluctances of the magnetic paths (A), (B), and (C) are R_A, R_B, and R_C, respectively. Express the flux density in the air gap using $R_A, R_B, R_C, n,$ and i.

2022 年 8 月実施
問題 1　電気工学
(4 頁目／4 頁中)

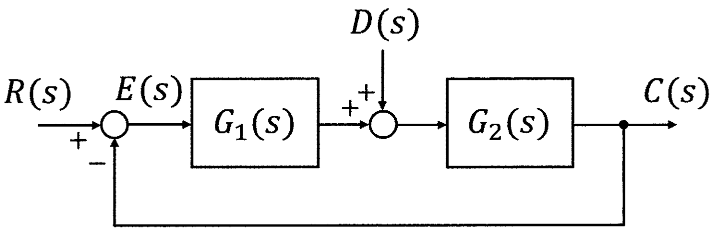

Fig. 1(a)

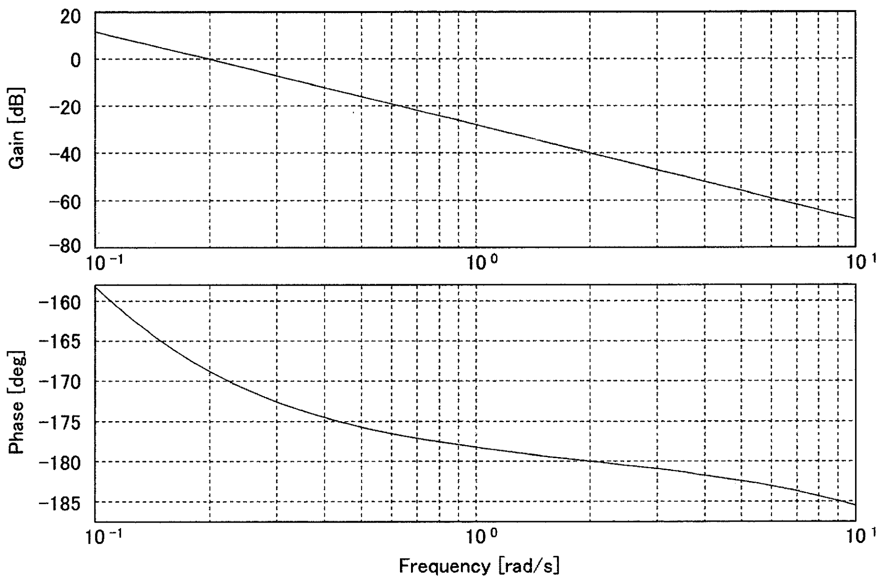

Fig. 1(b)

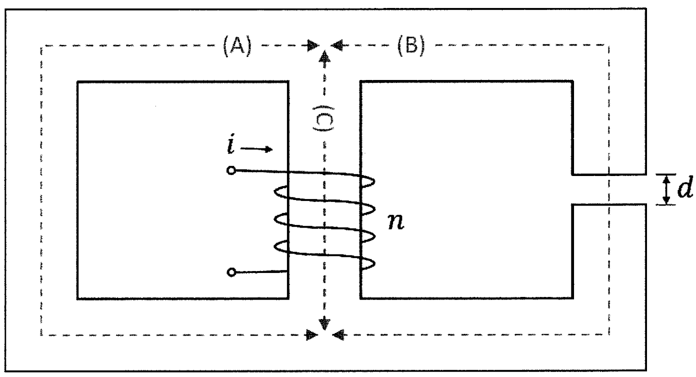

Fig. 1(c)

2022 年 8 月実施
問題 2　通信工学
(1頁目／2 頁中)

ディジタル情報$\boldsymbol{b} = b_0, b_1, \dots (b_i \in \{0,1\})$を送信することを考える．ここで，$b_i$は$\boldsymbol{b}$の$i$番目のビットである．このとき，$\boldsymbol{b}$をもとにして次のような変調信号$m(t)$を生成する．

$$m(t) = 2(b_{\lfloor t/T \rfloor} - 0.5)\ \ (t \geq 0)$$

ただし，$\lfloor x \rfloor$はxを超えない最大の整数であり，T [s]はディジタル情報の各ビットの送信間隔である．以下の問に答えよ．

(1) $m(t)$によってディジタル情報$\boldsymbol{b}$を伝送するときの伝送速度をビット毎秒で表せ．

(2) $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4 = 1,0,1,1,0$とするとき，$0 \leq t < 5T$における$m(t)$の波形を図示せよ．

(3) $m(t)$を振幅A，搬送波周波数f_c $\left(f_c \gg \frac{1}{T}\right)$で変調した被変調信号を

$$s(t) = A\, m(t) \cos(2\pi f_c t)$$

とする．$s(t)$の波形の概形を図示せよ．

(4) $s(t)$のうち，b_nに対応する信号を切り出した信号$g(t,n)$を

$$g(t,n) = h(t)s(t+nT)$$

$$h(t) = \begin{cases} 1 & 0 \leq t < T \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

とする．fを周波数とし，$g(t,n)$のフーリエ変換を$G(f,n)$とする．$G(f,0)$を求めよ．

(5) $|G(f,0)|$の概形を図示せよ．

2022 年 8 月実施
問題 2　通信工学
(2頁目／2 頁中)

Consider transmitting the digital information $\boldsymbol{b} = b_0, b_1, \ldots (b_i \in \{0,1\})$. Here, b_i is the i-th bit of $\boldsymbol{b}$. The following modulating signal $m(t)$ is generated from $\boldsymbol{b}$.

$$m(t) = 2(b_{\lfloor t/T \rfloor} - 0.5) \quad (t \geq 0)$$

Here, $\lfloor x \rfloor$ denotes the greatest integer that does not exceed x, and T [s] is the transmission interval of each bit of the digital signal. Answer the following questions.

(1) When transmitting $\boldsymbol{b}$ using $m(t)$, give the transmission speed of $\boldsymbol{b}$ in bits per second.

(2) When $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4 = 1,0,1,1,0$, sketch the waveform of $m(t)$ where $0 \leq t < 5T$.

(3) Let the modulated wave with amplitude A and carrier frequency f_c $\left(f_c \gg \frac{1}{T}\right)$ be

$$s(t) = A\, m(t) \cos(2\pi f_c t).$$

Draw a rough sketch of the waveform of $s(t)$.

(4) Let $g(t,n)$ be the windowed signal of $s(t)$ extracting the signal corresponding to b_n, as follows:

$$g(t,n) = h(t)s(t + nT)$$

$$h(t) = \begin{cases} 1 & 0 \leq t < T \\ 0 & \text{otherwise.} \end{cases}$$

Let f be the frequency and $G(f,n)$ be the Fourier transform of $g(t,n)$. Derive $G(f,0)$.

(5) Draw a rough sketch of $|G(f,0)|$.

Question No. 3: Electronic engineering (1／2)

2022 年 8 月実施
問題 3　電子工学
(1 頁目／2 頁中)

Fig. 3(a)に示す n チャネル MOS 電界効果型トランジスタを用いた差動増幅回路について，以下の問に答えよ．

(1) M_1，M_2，M_3 および R_L の役割を述べよ．またこの差動増幅回路の利点の 1 つを述べよ．

(2) M_1，M_2 に関する回路構成（接地構成）の型とその特徴を述べよ．

(3) Fig. 3(a)に示す差動増幅回路の微小信号等価回路を考える．

　(a) 微小信号等価回路を描け．ただし，M_1，M_2，M_3 の微小信号モデルには，Fig. 3(b)に示すモデルを用いよ．

　(b) 差動利得 $K_d = \frac{v_{o1}-v_{o2}}{v_{i1}-v_{i2}}$ を g_m，r_D，R_L のうち必要なものを用いて表せ．

　(c) 同相利得 $K_c = \frac{v_{o1}+v_{o2}}{v_{i1}+v_{i2}}$ を g_m，r_D，R_L のうち必要なものを用いて表せ．

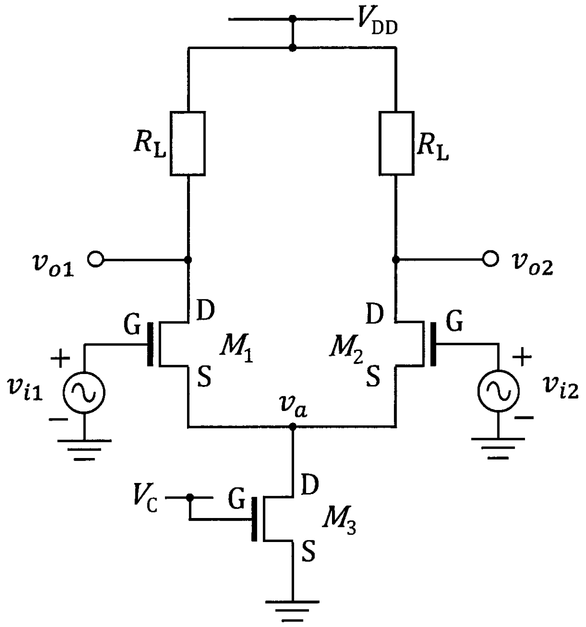

Fig. 3(a)

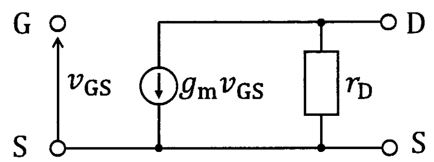

Fig. 3(b)

2022 年 8 月実施
問題 3　電子工学
(2頁目／2 頁中)

Answer the following questions on a differential amplifier circuit with n-channel metal-oxide-semiconductor field-effect transistors shown in Fig. 3(a).

(1) State the roles of M_1, M_2, M_3 and R_L. Also state one of the advantages of the differential amplifier circuit.

(2) State the type of circuit configuration (common terminal configuration) and its feature with respect to M_1 and M_2.

(3) Consider the small-signal equivalent circuit for the differential amplifier circuit shown in Fig. 3(a).

(a) Draw the small-signal equivalent circuit. Here, for the small-signal model of M_1, M_2 and M_3, use the model shown in Fig. 3(b).

(b) Express the differential-mode gain $K_d = \frac{v_{o1}-v_{o2}}{v_{i1}-v_{i2}}$ using g_m, r_D and R_L as necessary.

(c) Express the common-mode gain $K_c = \frac{v_{o1}+v_{o2}}{v_{i1}+v_{i2}}$ using g_m, r_D and R_L as necessary.

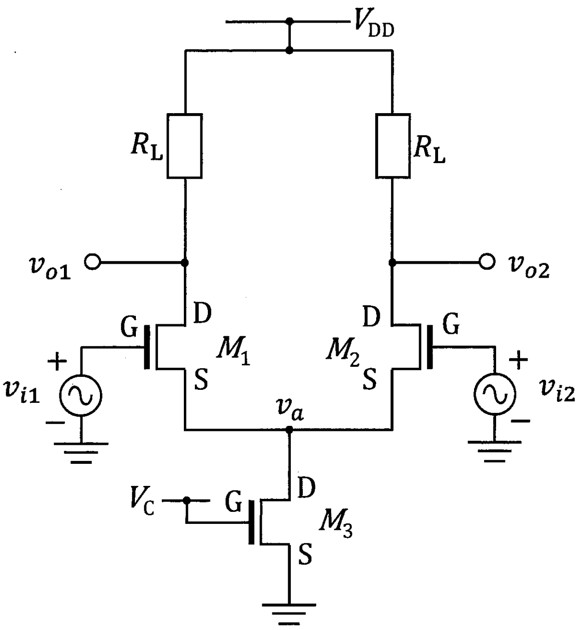

Fig. 3(a)

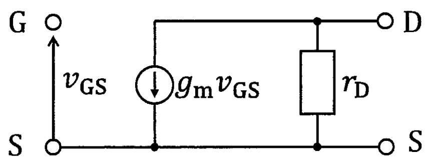

Fig. 3(b)

2022 年 8 月実施
問題 4　計算機 1
(1 頁目／2 頁中)

論理積(AND)，論理和(OR)，論理否定(NOT)の各論理素子は，それぞれ ·，+，‾の記号を用いるものとする．以下の問に答えよ．

(1) 4 つの 1 ビット入力信号x_1, x_2, x_3, x_4に対して，1 ビット信号を出力する論理関数$f(x_1, x_2, x_3, x_4)$を考える．この論理関数fは，入力信号のうち 1 の個数が 1 以下なら出力が 1 となり，そうでないなら出力が 0 となる．

(a) 論理関数fのカルノー図を示せ．

(b) 論理関数fに対する最簡積和形の論理式を示せ．

(2) クロックに同期して直列に 1 ビットずつ到来する入力系列に対して，1 ビット信号を出力する順序回路を考える．この順序回路は，3 ビットの入力系列 111 を検出するごとに 1 を出力し，その他の場合は 0 を出力する．ここで，初期状態をS_0，入力系列 1 を検出した状態をS_1，入力系列 11 を検出した状態をS_2とする．

(a) この順序回路のミーリ（Mealy）形状態遷移図を描け．

(b) この順序回路を最小個数の D フリップフロップを用いて実現することを考える．そのために，状態$S_i (0 \le i \le 2)$に状態ベクトルを割り当てる．(y_1, y_0)および(Y_1, Y_0)はそれぞれ現在の状態および次の状態を表す状態ベクトルとし，y_0およびY_0はそれぞれ下位ビットを表す．ここで，xおよびzをそれぞれ入力変数および出力変数とする．この順序回路の状態遷移を与える状態関数と出力を与える出力関数を最簡積和形の論理式で示せ．また，状態S_0, S_1, S_2に割り当てた状態ベクトルの値を示せ．

(c) D フリップフロップを用いて，この順序回路全体の構成を示すブロック図を描け．ただし，2 入力 AND ゲート，NOT ゲートを用いてもよい．

Note that operations of logical conjunction (AND), disjunction (OR), and negation (NOT) should be represented by $\cdot$, $+$, and $\bar{\ }$, respectively. Answer the following questions.

(1) Consider a logic function $f(x_1, x_2, x_3, x_4)$ that outputs a one-bit signal, given four one-bit input signals, x_1, x_2, x_3, and x_4. If the number of 1's of the input signals is less than or equal to 1, the logic function f outputs 1. Otherwise, it outputs 0.

(a) Show a Karnaugh map for the logic function f.

(b) Show a logical formula for the logic function f in the minimum sum-of-product form.

(2) Consider a sequential circuit that receives a one-bit signal of an input sequence, and outputs a one-bit signal at each time in synchronization with a clock. If this sequential circuit detects occurrences of a three-bit pattern of '111' in the input sequence, the signal 1 is output. Otherwise, the signal 0 is output. Let S_0 be the initial state, S_1 be the state of detecting '1' in the input sequence, and S_2 be the state of detecting '11' in the input sequence.

(a) Draw a Mealy type state transition diagram of the sequential circuit.

(b) Consider how to realize the sequential circuit using the minimum number of D flip-flops. Each state S_i $(0 \leq i \leq 2)$ is assigned by a state vector. Let (y_1, y_0) and (Y_1, Y_0) be the state vectors representing the current and the next states, respectively, where y_0 and Y_0 are lower bits. Let x and z be the input signal and the output signal, respectively. Show the state transition functions and the output function of the sequential circuit using logical formulas in the minimum sum-of-product form. In addition, show the values of the state vectors assigned to the states, S_0, S_1, and S_2.

(c) Draw a block diagram of the sequential circuit using D flip-flops. Note that two-input AND gates and NOT gates can be used.

2022年 8月実施
問題5 計算機2
(1頁目／2頁中)

以下の問に答えよ.

(1) BNF 記法による次の 3 つの文法 G_1, G_2, G_3 を考える.

文法 G_1	文法 G_2	文法 G_3
$S ::= a \mid Sa \mid bbS$	$S ::= TS \mid SU \mid U$	$S ::= TcU$
	$T ::= bb$	$T ::= a \mid aT$
	$U ::= a$	$U ::= UV \mid V$
		$V ::= bb$

ただし, S, T, U, V は非終端記号であり, a, b, c は終端記号であり, S を開始記号とする. 次の各命題の真偽を判定し, その理由を述べよ. 以下では, 記号 x と正の整数 i に対し x^i は, x を i 個連続して並べた文字列を意味する.

(a) G_1 が生成する文字列 $bbbba$ に対する構文木は 2 つ以上存在する.

(b) G_2 が表現する言語は, G_1 が表現する言語と等しい.

(c) G_3 が表現する言語は, $\{a^i cb^{2i} \mid i$ は正の整数$\}$ である.

(2) $\{0, 1\}$ 上で論理積 $\wedge$ と論理和 $\vee$ の組み合わせにより得られる計算可能な式を以下では「論理式」と呼び, それらの前置記法（ポーランド記法）と後置記法（逆ポーランド記法）を考える. 例えば, 前置記法による論理式 $\wedge 1 0$ は, 1 と 0 の論理積を意味し, 後置記法に書き換えると $1 0 \wedge$ となり, その計算の結果は 0 である.

(a) 前置記法による論理式 $\vee \wedge 0 1 \wedge 1 1$ を後置記法に書き換えよ.

(b) 後置記法による論理式 $1 1 0 \vee \wedge 0 \vee$ をスタックを用いて計算せよ. 各ステップにおけるスタックの中身を示せ.

(c) 任意の論理式を前置記法で生成する曖昧でない文法を BNF 記法により与え, それが正しいことを説明せよ.

2022年 8月実施
問題5 計算機2
(2頁目／2頁中)

Answer the following questions.

(1) Consider the following three grammars G_1, G_2, G_3 in BNF:

grammar G_1	grammar G_2	grammar G_3
$S ::= a \mid Sa \mid bbS$	$S ::= TS \mid SU \mid U$	$S ::= TcU$
	$T ::= bb$	$T ::= a \mid aT$
	$U ::= a$	$U ::= UV \mid V$
		$V ::= bb$

where S, T, U, V are nonterminal symbols, a, b, c are terminal symbols, and let S be the start symbol. For each of the following statements, determine whether the statement is true or false, and explain the reason. Hereinafter, for a symbol x and a positive integer i, x^i means a string of i consecutive x's.

(a) There are at least two syntax trees for the string $bbbba$ generated from G_1.

(b) The language described by G_2 is the same as the language described by G_1.

(c) The language described by G_3 is $\{a^i cb^{2i} \mid i \text{ is a positive integer}\}$.

(2) A "logical expression" hereinafter means a computable expression obtained by a combination of the logical AND $\wedge$ and logical OR $\vee$ on $\{0, 1\}$, and consider their prefix notation (Polish notation) and postfix notation (reverse Polish notation). For example, the logical expression $\wedge\, 1\, 0$ in prefix notation means the logical AND of 1 and 0, and it can be converted into $1\, 0 \wedge$ in postfix notation, whose computed value is 0.

(a) Convert the logical expression $\vee \wedge 0\, 1 \wedge 1\, 1$ written in prefix notation into a logical expression written in postfix notation.

(b) Evaluate the logical expression $1\, 1\, 0 \vee \wedge 0 \vee$ in postfix notation using a stack. Show the contents of the stack at every step.

(c) Give an unambiguous grammar in BNF that generates any logical expression in prefix notation, and explain why it works correctly.

2022 年 8 月実施
問題６　物理専門
（１頁目／２頁中）

1 次元ポテンシャル $V(x)$

$$V(x) = \begin{cases} 0 & (x \leq 0) \\ -V_0 & (0 < x) \end{cases}$$

を考える．V_0 は正の定数である．このポテンシャルに質量 m，エネルギー $\varepsilon\,(0 < \varepsilon)$ の粒子が $x = -\infty$ から x の正の方向に向かって入射する．粒子の定常状態の波動関数を $\psi(x)$，$\hbar = \frac{h}{2\pi}$ (h：プランク定数)，i を虚数単位とする．以下の問に答えよ．

(1) $x \leq 0$ および $0 < x$ の領域における時間に依存しないシュレーディンガー方程式を記せ．

(2) $\psi(x)$を

$$\psi(x) = \begin{cases} Ae^{ik_1x} + Be^{-ik_1x} & (x \leq 0) \\ Ce^{ik_2x} & (0 < x) \end{cases}$$

とおく．ここで，A, B および C は複素数の定数である．

(a) k_1 および k_2 を，m, ε, V_0 および $\hbar$ を用いて表せ．

(b) $x = 0$ において，波動関数が満たすべき境界条件を記せ．

(c) $\frac{|B|^2}{|A|^2} + \alpha\frac{|C|^2}{|A|^2} = 1$ を満たす α を求め，この式の物理的な意味を説明せよ．

(d) $\varepsilon = V_0$ のときの反射率 $R = \frac{|B|^2}{|A|^2}$ を，有効数字 2 桁で計算せよ．

2022 年 8 月実施
問題６　物理専門
（２頁目／２頁中）

Consider the one-dimensional potential $V(x)$

$$V(x) = \begin{cases} 0 & (x \leq 0) \\ -V_0 & (0 < x) \end{cases}.$$

V_0 is a positive constant. A particle of mass m and energy ε $(0 < \varepsilon)$ is injected from $x = -\infty$ to the positive direction of x. Let the wave function of the particle in a stationary state be $\psi(x)$, $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ (h: Planck's constant), and i is the imaginary unit. Answer the following questions.

(1) Write down the time-independent Schrödinger equations in the regions of $x \leq 0$ and $0 < x$.

(2) Let $\psi(x)$ be

$$\psi(x) = \begin{cases} Ae^{ik_1x} + Be^{-ik_1x} & (x \leq 0) \\ Ce^{ik_2x} & (0 < x) \end{cases},$$

where A, B and C are complex constants. Answer the following questions.

(a) Obtain k_1 and k_2 in terms of m, ε, V_0 and $\hbar$.

(b) Write down the boundary conditions that the wave function must satisfy at $x = 0$.

(c) Obtain α that satisfies $\frac{|B|^2}{|A|^2} + \alpha\frac{|C|^2}{|A|^2} = 1$, and discuss the physical meaning of this equation.

(d) Calculate the reflection probability $R = \frac{|B|^2}{|A|^2}$ when $\varepsilon = V_0$ to two significant digits.