システム情報学専攻

修士課程入学試験問題

専門科目　システム情報学

平成１６年８月２４日（火）　　１０：００〜１３：００

出題される８問のうち，４問のみを選択して解答せよ

注　意　事　項

(1) 試験開始の合図まで，この問題冊子を開かないこと．

(2) 本冊子に落丁，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．ただし試験問題の内容に関する質問に対しては，原則として答えない．

(3) 答案用紙４枚が渡される．１題ごとに必ず１枚の答案用紙を使用すること．止むを得ぬときは答案用紙の裏面を使用してもよい．

(4) 各答案用紙の指定された箇所に，受験番号およびその用紙で解答する問題番号を忘れずに記入すること．氏名は書いてはならない．

(5) 草稿用紙は本冊子から切り離さないこと．

(6) 解答に関係のない記号，符号などを記入した答案は無効とする．

(7) 問題の解釈に複数の可能性が考えられる場合は，適宜言葉の定義や条件等を付加して解答してよい．

(8) 答案用紙および問題冊子は持ち帰らないこと．

受験番号	No.

選択問題番号	

上欄に受験番号を記入すること．

上欄に選択した問題番号を記入すること．

第 1 問

帯域制限された連続信号 $x(t)$ がある．これをサンプリング定理を満たすナイキスト周波数でサンプリングして得られた時間離散信号を $X = \{\cdots, x_0, x_1, x_2, \cdots\}$ とする．この時間離散信号を直線補間して 3 倍のサンプリング周波数の時間離散信号 $Y = \{\cdots, y_0, y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6, \cdots\}$ に変換した．ただし，k を整数として $y_{3k} = x_k$ で，y_{3k+1}, y_{3k+2} は y_{3k} と $y_{3(k+1)}$ から等間隔の直線補間によって得た．

(1) X の各信号値の間に 0 を 2 個ずつ挿入した時間離散信号 $X' = \{\cdots, x_0, 0, 0, x_1, 0, 0, x_2, 0, \cdots\}$ を考えると，これから Y を得る操作は線形ディジタルフィルタと見なせる．そのインパルス応答 h_n を答えよ．ただし，因果律を満たさなくともよい．また，n は整数の離散時刻である．

(2) h_n の z 変換 $H(z)$ を求め，周波数特性 (角周波数 $-\pi \leq \omega < \pi$ の範囲で) を図示せよ．

(3) このような $H(z)$ の特性は，原信号 $x(t)$ の帯域内で平坦にはならない．帯域内で減衰が最大となる角周波数とそのときのパワー減衰比を求めよ．

(4) 3 倍の時間離散信号 $\{y_n\}$ からサンプリング定理に基づいて復元した連続信号 $y(t)$ は，元の信号 $x(t)$ に対して誤差を含む．この誤差は重畳雑音と見なされる．$x(t)$ が帯域内で平坦なスペクトルを持つ不規則信号である場合，信号対雑音のパワー比 (SN 比) を求めよ．

草稿用紙
（切り離さないこと）

第 2 問

演算増幅器を用いた回路について以下の問いに答えよ.

(1) 図 1 に示す回路において，出力電圧 V_o を入力電圧 V_i であらわし，この回路はどのような演算を行う回路か述べよ.

(2) 図 2 に示す回路において，出力電圧 V_o を入力電圧 V_i であらわし，この回路はどのような演算を行う回路か述べよ.

(3) 図 1 に示す回路を実際に動作させると，出力信号の立ち上がりに異常な振動が生じることがある.
図 1 の回路は抵抗器を一本，付与することでこの異常振動を防ぐことができる．抵抗器を付与し，異常振動を防いだ回路を記せ．また，示した回路で異常発振が妨げる理由を説明せよ.

(4) 図 2 に示す回路を実際に動作させると，出力波形にオフセットが生じることがある．このように，図 1 および図 2 の回路には実用上の問題がある．そこで実用の際に図 3 に示される回路のように，図 1 と図 2 の回路を組合わせた改良を行った．図 3 の回路において $C_1R_1 = C_2R_2 = 1/\omega_c$ とした際の回路のゲイン $G(\omega)$ を求めよ．また，図 3 の回路を図 1 および図 2 の回路と近似的に等価として扱えるための条件をそれぞれ述べよ.

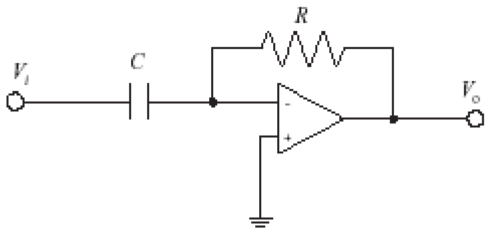


図 1

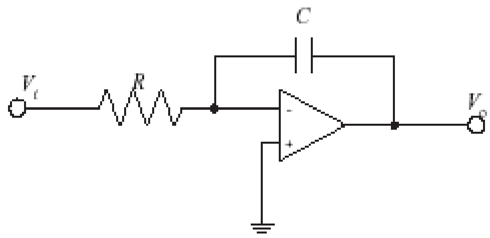


図 2

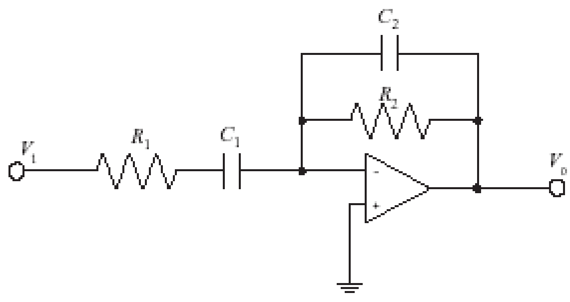


図 3

草稿用紙
（切り離さないこと）

第 3 問

図 1 で表されるフィードバック制御系を考える．ただし，$P(s)$, $K(s)$ はそれぞれ制御対象と制御器の伝達関数を表し，$U(s)$, $Y(s)$, $R(s)$, $E(s)$ はそれぞれ制御入力 $u(t)$, 制御対象の出力 $y(t)$，目標入力 $r(t)$，偏差信号 $e(t)$ のラプラス変換を表しているとする．また，$P(s)$ の状態空間表現が 2 つのパラメータ a, b を用いて

$$\begin{aligned}\frac{d}{dt}x(t) &= \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -2 & -a \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} u(t) \\ y(t) &= \begin{bmatrix} b & 1 \end{bmatrix} x(t)\end{aligned}$$

で与えられているとする．このとき，以下の問いに答えよ．

(1) 制御対象の伝達関数 $P(s)$ を求めよ．また，$a = 3, b = 3$ としたときの $P(s)$ に対するインパルス応答の概形を示せ．ただし，初期状態は零と仮定する．

(2) $b > 0$ とし，制御器 $K(s)$ は適当な定数 α, β, γ を用いて

$$K(s) = \frac{\beta s + \gamma}{s + \alpha}$$

で表されているものとする．このとき，図 1 の制御系が安定かつステップ状の目標入力 $r(t)$ に対して定常偏差が零となるための必要十分条件を求め，そのような制御器の存在性について考察せよ．

(3) 上記で与えた $P(s)$ の状態空間表現が，可制御かつ可観測であるための必要十分条件をパラメータ a, b を用いて表せ．また，可観測でないときの不可観測部分空間を示せ．

(4) 任意の b の値に対して $P(s)$ の上記状態空間表現が可観測となるための a に対する条件を求めよ．また，なぜそのような結果が得られるかを可観測性の定義に基づいて説明せよ．

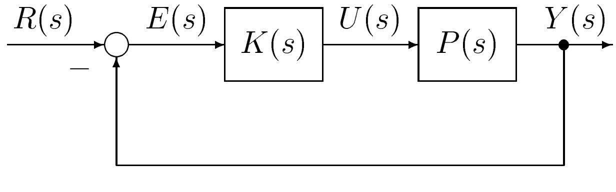


図 1

草稿用紙
（切り離さないこと）

第４問

図１のような二段階の跳躍ロボットについて以下の問いに答えよ．ただしユニット１および２の質量はそれぞれ M および m とし，それらはいずれも垂直方向に跳躍するものとする．跳躍前にユニット１および２のバネに蓄えられている弾性エネルギをそれぞれ U および u とし，各ラッチ（とめ金）が外れるとそれらの弾性エネルギは瞬間的に解放されるものとする．重力加速度を g とし，空気の抵抗は無視してよい．

(1) ラッチ１を外すと，ユニット１および２が一体のまま飛び上がる．到達する最高地点の高さを求めよ．

(2) 最高地点に到達した瞬間にラッチ２を外す．ユニット２が到達する最高地点の高さを求めよ．

(3) どのような瞬間にラッチ２を外すとユニット２が到達する高さが最大となるか答えよ．

(4) ユニット１に搭載されたセンサによってラッチ２を外す瞬間を見極め，ユニット２を最高点に到達させたい．図２に示す３種類のセンサの構造図 (a), (b), (c) のうちから一つを選択し，この目的に合致する利用方法と動作原理を説明せよ．

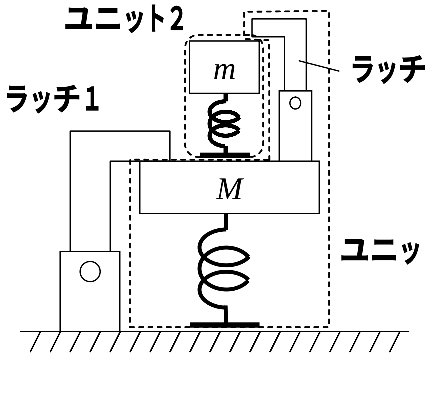
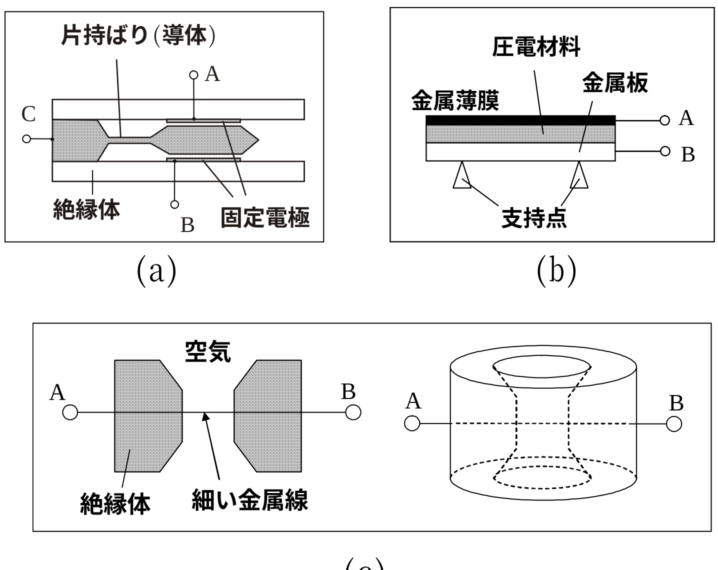


図１



(a)　(b)　(c)

図２

草稿用紙
（切り離さないこと）

第 5 問

図 1 に示すような，命令長 8 ビットでロード，ストア，加算，分岐の 4 命令のみを持ち，バイトアドレッシングを採用するプロセッサを設計したい．命令実行は図 2 に示す状態遷移図に従って制御することとし，データパスと制御信号を図 3 のように設計した．以下の問いに答えよ．

(1) 図 2 において，状態 3 と状態 5 で実現すべき動作が空欄になっている．空欄を完成させよ．

(2) 図 2 の動作を実現するために制御信号 *mux2s* および *op* に与えるべき値を，すべての状態について示せ．

(3) あるプログラムを実行したところ，ロード命令が 6.00×10^6 回，ストア命令が 7.00×10^6 回，加算命令が 4.00×10^6 回，条件分岐命令が 3.00×10^6 回，実行され，条件分岐命令において条件が成立したのは 1.00×10^6 回であった．このプロセッサが 10MHz のクロックで動作する場合，このプログラムの実行に要する時間，およびこのときの CPI (cycles per instruction)を求めよ．

(4) 制御論理とデータパスを改良することで，周波数を変えることなく問い(3)と同じプログラムの実行時間を 10% 以上短くしたい．
   (a) 改良後の制御論理とデータパスを図 2 と図 3 にならって示せ．ただし，データパスに与える制御信号は省略してよい．
   (b) その改良が周波数に大きな影響を与えないことを説明せよ．
   (c) 改良後の実行時間を示せ．

・ロード命令： ACC ← Mem[imm], PC ← PC+1

7	6	5	4	3	2	1	0
0	0	imm					

・ストア命令： Mem[imm] ← ACC, PC ← PC+1

7	6	5	4	3	2	1	0
0	1	imm					

・加算命令：ACC ← ACC + Mem[imm], PC ← PC+1

7	6	5	4	3	2	1	0
1	0	imm					

・条件分岐命令：if (ACC==0) then PC ← PC + 1－imm
else PC ← PC+1

7	6	5	4	3	2	1	0
1	1	imm					

図 1

【次のページへ続く】

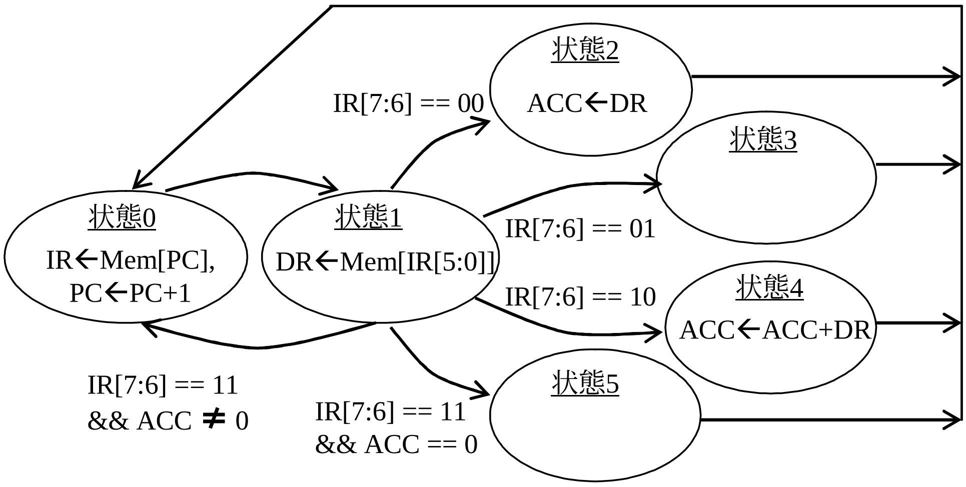


図 2

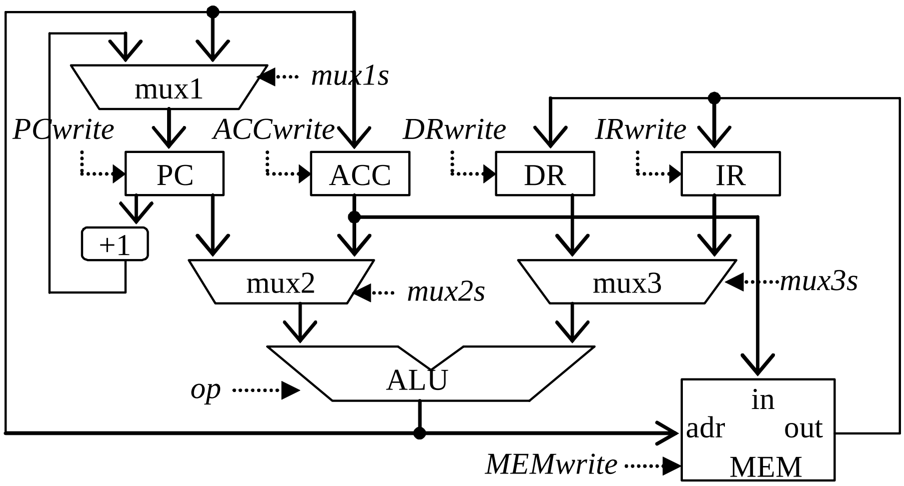


図 3

<u>注：図 2 と図 3 の記号の説明</u>

- PC, ACC, DR, IR は 8 ビットレジスタ
  各々*PCwrite*, *ACCwrite*, *DRwrite*, *IRwrite* が 0 の時は値を更新せず,
  1 の時は値を更新する
- MEM はメモリ
  MEMwrite が 0 の時は adr に入力された番地の値を out より出力
  MEMwrite が 1 の時は in からの入力値を adr に入力された番地へ書込む
- ALU は演算器：*op* が 00 の時は mux2 と mux3 の加算結果を, 01 の時は mux2 から mux3 を減じた結果を，10 の時は mux2 を，11 の時は mux3 を出力
- mux1, mux2, mux3 はマルチプレクサ
  mux1：*mux1s* が 0 の時は+1 の結果を，1 の時は ALU の結果を出力
  mux2：*mux2s* が 0 の時は PC を，1 の時は ACC を出力
  mux3：*mux3s* が 0 の時は DR を，1 の時は IR[5:0]を出力

草稿用紙
（切り離さないこと）

草稿用紙
（切り離さないこと）

第６問

n変数２値論理関数$F(x_1,x_2,\cdots,x_n)$の積和論理式が与えられたとき，その否定$\overline{F(x_1,x_2,\cdots,x_n)}$の積和論理式を求める次のようなアルゴリズムを考える．ただし，$F_i(1)$および$F_i(0)$は，それぞれ，$F(x_1,x_2,\cdots,x_n)$において$x_i=1$および$x_i=0$とした$(n-1)$変数関数を表す.

論理関数Fの否定$\overline{F}$を求めるアルゴリズム（入力：Fの積和論理式 ）

if （Fがただ一つの積項$x_1\cdot x_2\cdot\cdots\cdot x_n$から成る）

then

適当に定めた変数の順番 $x_1,x_2,\cdots,x_n$ に対して

$\overline{F}$ として $\overline{x_1}+x_1\overline{x_2}+\cdots+x_1x_2\cdots x_{n-1}\overline{x_n}$ を返す；

else

適当に選んだ一つの変数x_i (ただし，$i\in\{1,2,\cdots,n\}$) に対して

$F=x_i\cdot F_i(1)+\overline{x_i}\cdot F_i(0)$ と展開する；

$\overline{F}$として $x_i\cdot\overline{F_i(1)}+\overline{x_i}\cdot\overline{F_i(0)}$ を返す；

end

このアルゴリズムに関して，以下の問いに答えよ.

(1) 入力として $F=x_1\cdot x_2\cdot\cdots\cdot x_n$ が与えられたとき，$\overline{x_1}+x_1\overline{x_2}+\cdots+x_1x_2\cdots x_{n-1}\overline{x_n}$ はFの否定$\overline{F}$であることを証明せよ.

(2) 論理関数 $F(x_1,x_2,\cdots,x_n)$ が$F=x_i\cdot F_i(1)+\overline{x_i}\cdot F_i(0)$ の形式に展開されるとき，その否定$\overline{F}$ は $x_i\cdot\overline{F_i(1)}+\overline{x_i}\cdot\overline{F_i(0)}$ と表されることを証明せよ.

(3) このアルゴリズムに従って $F=x_1x_2x_3x_4+\overline{x_1}x_2\overline{x_3}\,\overline{x_4}+x_1\overline{x_2}x_5x_6+\overline{x_1}\,\overline{x_2}\,\overline{x_5}\,\overline{x_6}$ の否定$\overline{F}$ の積和論理式を求める過程と結果を示せ.

(4) このアルゴリズムで用いられている次の３つの技法のそれぞれについて，どんな手法で，どの部分に用いられ，どのような効果をもたらすかを，具体的に 200 字以内で説明せよ.

a. ヒューリスティクス

b. 分割統治法

c. 再帰的手続き

草稿用紙
（切り離さないこと）

第７問

図１のように，半径 r, 質量 m の円板の両側に，中心軸 l を共通とし，半径 $R(>r)$, 質量 $\frac{M}{2}$ の２枚の円板をはりつけた物体Ｙを考える．３枚の円板はいずれも均一とする．物体と, 斜面および床の間の静止摩擦係数を μ_s, 動摩擦係数を μ_k として，以下の問いに答えよ．

(1) 物体Ｙの軸 l に関する慣性モーメント I を求めよ．

(2) 図２のように傾斜角 ϕ の斜面上に物体Ｙを置き，手を離す．初速度は０とし，また斜面上で物体Ｙは滑らないものとして，物体Ｙが一回転した時点での中心軸 l の移動速度を求めよ．

(3) 図３のように，物体Ｙの内側の円板の周りに太さと質量の無視できる糸を巻きつけ，糸の一端を右向きに引っ張っている．物体Ｙが回転することなく並進しているとすると，張力 T_0 はいくらか．

(4) 図３の状況で，今度は張力 T_1 で右向きに引っ張ると，物体Ｙは滑ることなく転がりながら進んだ．張力 T_1 の満たすべき条件を求めよ．また物体Ｙの並進加速度を求めよ．

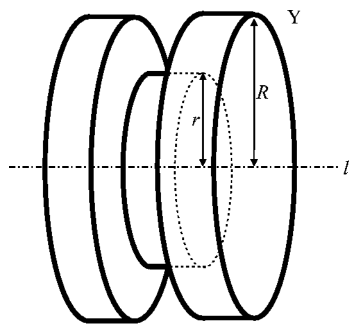


図１

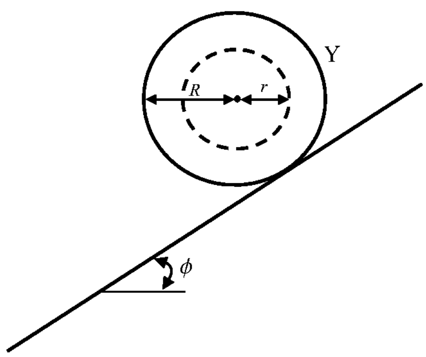


図２

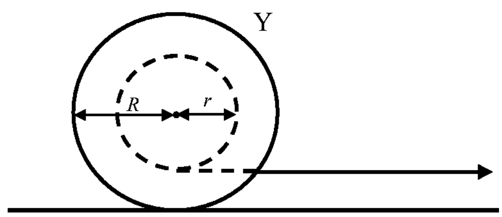


図３

草稿用紙
（切り離さないこと）

第 8 問

マクスウェルの方程式

$$\mathrm{div}\,\boldsymbol{D} = \rho \qquad (式1)$$

$$\mathrm{div}\,\boldsymbol{B} = 0 \qquad (式2)$$

$$\mathrm{rot}\,\boldsymbol{E} = -\frac{\partial \boldsymbol{B}}{\partial t} \qquad (式3)$$

$$\mathrm{rot}\,\boldsymbol{H} = \boldsymbol{i} + \frac{\partial \boldsymbol{D}}{\partial t} \qquad (式4)$$

について，以下の問いに答えよ．ただし $\boldsymbol{D} = \varepsilon \boldsymbol{E}$，$\boldsymbol{B} = \mu \boldsymbol{H}$，$\boldsymbol{D}$ は電束，$\boldsymbol{E}$ は電場，$\boldsymbol{H}$ は磁場，$\boldsymbol{B}$ は磁束密度，ρ は電荷密度，ε は誘電率，μ は透磁率，$\boldsymbol{i}$ は電流密度を表す．

(1) 式 1 を積分形式で表し，その意味を簡潔に説明せよ．

(2) 式 2 を積分形式で表し，その意味を簡潔に説明せよ．

(3) 式 3 をファラデーの電磁誘導の法則

$$V = -\frac{\partial \varphi}{\partial t} \qquad (式 5)$$

から導け．ただし，φ は閉回路をつらぬく磁束，V は誘導起電力とする．

(4) 式 4 の右辺第 2 項は，変位電流あるいは電束電流と呼ばれる．この項の意義を充電中あるいは放電中のコンデンサを例に説明せよ．

(5) 図 1 に示すように半径 a かつ容量 C の平行円板型コンデンサの電荷 $\pm Q_0$ に充電された極板間を，抵抗値 R の抵抗を介して時刻 $t = 0$ に導通させ，放電を開始したとするとき，コンデンサ内の磁場 $\boldsymbol{H}\mathrm{c}$ を，時刻 t，及び円板中心軸からの距離 r の関数として求めよ．ただしコンデンサ内は誘電率 ε_c の物質で満たされ，コンデンサ内の電場は一様であるとしてよい．

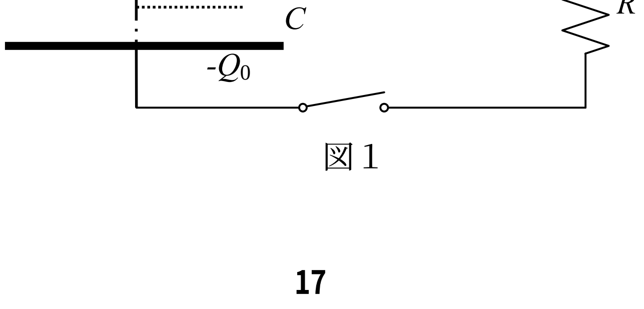


図 1

草稿用紙
（切り離さないこと）