知能システム学Ⅱ

次の７問から３問選択して解答せよ．４問以上解答した場合，すべての解答を無効とする．
問題毎に別の答案用紙を用いること．答案用紙の追加は認めない．

1

伝達関数

$$P(s)=\frac{10}{(s+1)(s+10)}$$

で表されるシステム $P(s)$ について，以下の問い 1)～4)に答えよ．

1) $P(s)$ のインパルス応答を求めよ．
2) システム $P(s)$ に制御器 $K(s)$ を接続した図 1 のようなフィードバック制御系を考える．図中 $r(s)$，$u(s)$，$y(s)$ はそれぞれ，目標値$r(t)$，操作量$u(t)$，制御量$y(t)$のラプラス変換である．以下の小問 a)，b)に答えよ．

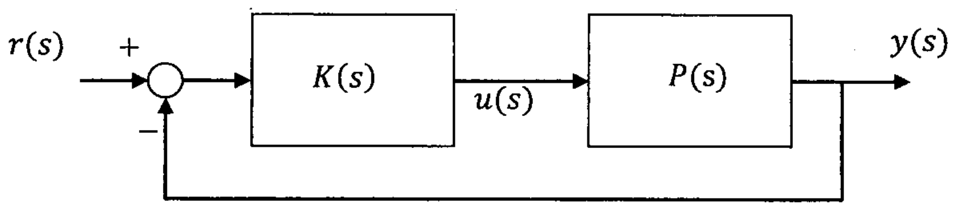

図 1

   a) $K(s)=10$，目標値 $r(t)$ にステップ入力が加えられたとき，十分時間がたった後の出力$y(t)$ はどうなるか述べよ．
   b) $K(s)=(s+1)/s$ としたとき，開ループ伝達関数のボード線図のゲイン曲線を，折れ線近似で描け．そして，この制御器を使った場合，ステップ入力に対して，定常偏差が０である理由について，この図を用いて説明せよ．
3) 伝達関数 $P(s)$ の最小実現を，可制御正準系を用いて求めよ．
4) この実現に，出力フィードバック$u(t)=-ky(t)+v(t)$ （ただし，$k>0$，$v(t)$は新しい入力）を適用したとき，閉ループシステムの極が，実軸上にあるためのkの範囲を求めよ．

2

以下の問い 1), 2) に答えよ．

1) 入力を x_n，出力を y_n とする離散時間システム S の入出力関係式を $y_n = S[x_n]$ と表す．このとき，次の小問 a) ～ f) に答えよ．

   a) 線形システムとはどのようなシステムであるかを，入出力関係式を用いて説明せよ．

   b) 時不変システムとはどのようなシステムであるかを，入出力関係式を用いて説明せよ．

   c) 入出力関係式が $y_n = x_n + x_{n-1} + 1$ と表されるシステムは，線形システムであるか否か，時不変システムであるか否か，を理由とともに述べよ．

   d) インパルス応答 h_n を持つ線形時不変システムにおいて，任意の入力 x_n に対する出力は

$$y_n = \sum_{m=-\infty}^{\infty} h_{n-m} x_m$$

   と表されることを証明せよ．

   e) 線形時不変システムのインパルス応答 h_n が $\displaystyle\sum_{n=-\infty}^{\infty} |h_n| < \infty$ を満たすならば，BIBO (bounded input bounded output) 安定であることを証明せよ．

   f) 線形時不変システム S^1, S^2 のインパルス応答を，それぞれ h_n^1, h_n^2 とする．S^1, S^2 を縦続接続する時，接続順序を入れ替えても出力は不変であることを証明せよ．

2) 連続時間信号 $x(t) = e^{-at}u(t)$ $(a > 0)$ を，サンプリング時間 T でサンプリングした離散時間信号を $x(nT)$ とする．ただし，$u(t)$ は単位ステップ信号である．このとき，次の小問 a) ～ d) に答えよ．

   a) $x(t)$ のフーリエ変換 $\widetilde{X}(\omega)$ と振幅スペクトル $|\widetilde{X}(\omega)|$ を求めよ．

   b) $x(nT)$ の離散時間フーリエ変換 $X(\Omega)$ を求めよ．

   c) T が十分小さいとき，$\widetilde{X}(\Omega)$ と $X(\Omega)$ との間に成り立つ近似式を求めよ．

   d) $T = 0.05/a$ とおいた場合を考える．振幅スペクトル $|\widetilde{X}(\omega)|$ の概略図を描け．次に，ナイキスト周波数での振幅スペクトルの値を評価することで，エイリアシングの影響は小さいことを説明せよ．

3 以下の問い 1), 2) に答えよ.

1) 次の汚染物質除去計画問題に関する小問 a)~f) に答えよ.

[汚染物質除去計画問題]　A 工場では，工場で排出される汚染物質 D_1, D_2 を，3 種類の除去剤 E_1, E_2, E_3 を用いて取り除くことを検討している．生産活動による汚染物質 D_1 の 1 日の発生量は 5 単位である．汚染物質 D_2 の 1 日の発生量 r は正確に測定できないが，2 単位から 6 単位までの範囲にあることが分かっている．除去剤 E_1 を 1 単位投入するごとに，D_1, D_2 がそれぞれ，5 単位，4 単位除去できる．また，除去剤 E_2 を 1 単位投入するごとに，D_1, D_2 がそれぞれ，1 単位，2 単位除去できる．一方，除去剤 E_3 を用いると，1 単位当たり D_1 が 5 単位除去できる反面，D_2 が 6 単位生成されてしまう．除去剤を必要量より多く用いても購入費用がかさむ以外の害はない．除去剤 E_1, E_2, E_3 の 1 単位当たりの購入費用は，それぞれ，40 千円，14 千円，15 千円である．日々の生産活動で発生する汚染物質 D_1, D_2 をすべて除去しつつ，1 日当たりの総購入費用 z を最小にするには，除去剤 E_1, E_2, E_3 を 1 日当たり何単位ずつ購入すれば良いかを考える.

a) $r = 2$ とするとき，除去剤 E_1, E_2, E_3 の 1 日当たりの購入量を，それぞれ x_1，x_2，x_3 として，この計画問題を線形計画問題として定式化せよ.

b) a) の問題を標準形 (等式標準形) の線形計画問題に変形せよ.

c) 双対シンプレックス法，あるいは 2 段階法を用いて，a) で定式化した問題を解き，除去剤 E_1, E_2, E_3 の最適な 1 日当たりの購入量と総購入費用を求めよ (計算過程も示せ).

d) $r = 6$ とするとき，除去剤 E_1, E_2, E_3 の最適な 1 日当たりの購入量と総購入費用を求めよ (計算過程も示せ).

e) d) で求めた最適解に対する基底変数ベクトルと基底逆行列を示し，この基底が最適解を与える r の範囲を求めよ.

f) $r \in [2, 6]$ に対する除去剤 E_1, E_2, E_3 の最適な 1 日当たりの購入量 x_1, x_2, x_3 と総購入費用 z を r の関数として示せ.

2) 次の非線形計画問題 (P) に関する小問 a)〜c) に答えよ.

$$\left.\begin{array}{ll} \text{minimize} & f(x_1, x_2) = (x_1 - 7)^2 + (x_2 - 4)^2 \\ \text{subject to} & g_1(x_1, x_2) = {x_1}^2 + {x_2}^2 - 36 \leq 0 \\ & g_2(x_1, x_2) = x_1 + x_2 - 8 \leq 0 \\ & x_1, x_2 \geq 0 \end{array}\right\} \quad \text{(P)}$$

a) 目的関数 $f : \mathbf{R}^2 \to \mathbf{R}$ が凸関数であることを示せ.

b) $g_1(x_1, x_2) = 0$ と $g_2(x_1, x_2) = 0$ とを同時に満たす解 (x_1, x_2) を求めよ.

c) b) で求めた解それぞれについて，KKT 条件 (Karush-Kuhn-Tucker 条件) を示し，その成立を議論することにより，(P) の大域的最適解を求めよ (計算過程も示せ).

4

以下の問い 1)～3)に答えよ．

1) 未知のインダクタンスと内部抵抗を有するコイルがある．交流ブリッジの回路構成により，このコイルのインダクタンスと抵抗値を同定したい．以下の小問 a)～c)に答えよ．
  a) このコイルの未知インダクタンスを L_x，未知内部抵抗を R_x とするとき，同定するためのブリッジ回路の回路図を，交流電源 $\dot{E}$，交流検出器 D，抵抗 R_1，R_2，R_3，キャパシタ C を用いて描け．他の回路素子を用いてはならない．
  b) このブリッジ回路の平衡条件を記せ．
  c) このブリッジ回路が平衡条件を満たすとき，L_x と R_x を求めよ．

2) 図１のような，オペアンプを用いた移相型発振回路を考える．以下の小問 a)～c)に答えよ．
  a) 破線で囲まれたオペアンプ回路の名称を答え，その機能を説明せよ．
  b) 発振周波数を求めよ．
  c) 発振条件を満たすとき，R_f を求めよ．

3) 図２のような，小信号 MOS トランジスタ回路を考える．以下の小問 a)～c)に答えよ．ただし，トランジスタの相互コンダクタンスを g_m とする．
  a) この回路の名称を答え，その機能を説明せよ．
  b) 左右のトランジスタのゲート間を短絡したときの，出力 V_3 を求めよ．
  c) V_1，V_2 に入力信号を与えたときの，出力 V_3 を求めよ．

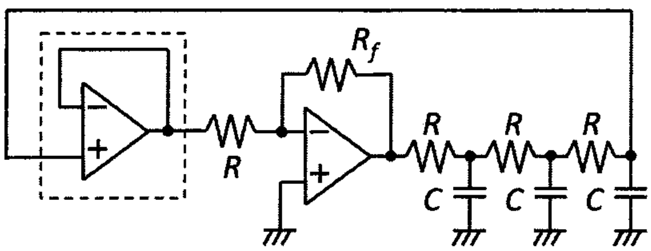

図１

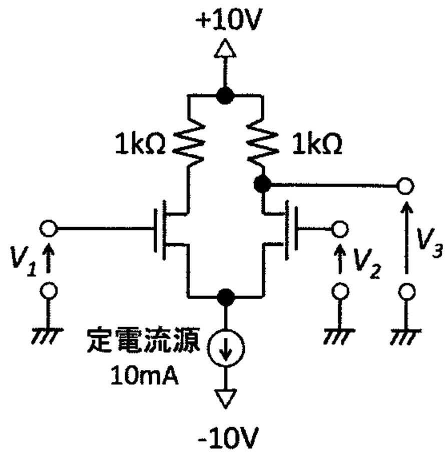

図２

5

以下の問い 1)～3)に答えよ．

1）順序回路 S に 1 ビットの信号 I とクロックパルスが入力されているとする．クロックパルスと同期して読み取られた I の直近の系列が順に 0110 であったとき，次のクロックパルスが来るまでの間 1，それ以外の場合 0 となるような信号 O を出力するように S を設計したい．S がフリップフロップ（FF）と，基本論理回路素子で構成され，利用できる FF の数が 2 であるとき，以下の小問 a)～c)に答えよ．

a) RS 形 FF と JK 形 FF の特性表を示せ．

b) 適切に状態を定義し，S の仕様を満たす状態遷移と出力を真理値表の形式で示せ．

c) S の回路図を示せ．

2）記憶装置に関する次の文章について，以下の小問 a)～c)に答えよ．

> 計算機に使用される種々の性能と容量を持つ記憶装置の組み合わせを【ア】といい，アクセス速度の速い装置ほど，この上位に位置づけられる．プロセッサが直接高速にアクセスできる記憶装置である【イ】の記憶素子は，双安定動作のフリップフロップを用いる【ウ】と，コンデンサを用いる【エ】に大別される．通常，【イ】はプロセッサ内に使用されるレジスタと比べ，データの読み書きに長い時間を要してしまう．これに対し，<u>アクセスされるデータに局所性があること</u>を仮定し，【オ】と呼ばれる高速な記憶装置に【イ】内のデータのコピーを一時的に格納しておくことで，見かけ上，【イ】へのアクセス速度を改善する方法がある．ただし，その改善の程度はヒット率に依存する．

a) 文中の空欄【ア】～【オ】にあてはまる適切な語句を答えよ．

b) 【イ】および【オ】へのアクセス時間がそれぞれ 40ns，4ns であり，ヒット率が 0.8 であれば，【イ】への見かけ上のアクセス時間はいくらと見積もれるか答えよ．

c) 文中の下線部の局所性に関して，時間的局所性と空間的局所性の違いを説明せよ．

3）データ表現に関して，以下の小問 a)～d)に答えよ．

a) パリティチェックコードとはどのような機能を持つコードであるか説明せよ．

b) 10 進 1 桁の BCD コードの偶数パリティチェックコードを示せ．

c) 2 進数浮動小数点数における正規化およびケチ表現とは何かを説明せよ．

d) 10 進数の 176 を，正規化およびケチ表現を採用した絶対値表現の 2 進数浮動小数点数で表現したときの仮数部と指数部を示せ．ただし，仮数部は 6 ビット，指数部は 4 ビットとする．

6

先端に質量mで大きさが無視できる対象物を把持する 3 自由度アームが図１のように直交座標系XY平面内に設置されている．関節１は直動関節，関節２と３は回転関節である．関節１を含むリンク１の長さはd_1，リンク２と３の長さはともにlである．各リンクと関節の質量は無視できる．図１のようにd_1，θ_2，θ_3を各関節変位とし，アーム先端の位置を(x,y)，姿勢をリンク３とX軸とのなす角φとする．各リンクはXY平面内のみで運動し，重力加速度gはY軸負の方向に働くものとする．摩擦の影響は無視して，以下の問い 1）～4）に答えよ．

1）直交座標系XYにおけるアーム先端の位置姿勢(x,y,φ)を関節変位(d_1,θ_2,θ_3)で表せ．

2）$(\dot{x},\dot{y},\dot{\varphi})^T = J(\dot{d}_1,\dot{\theta}_2,\dot{\theta}_3)^T$を満たすヤコビ行列$J$を関節変位で表せ．$\dot{x}$は変位$x$の時間微分を，$T$は転置を表す．

3）関節１に働く力をf_1，関節２，３に働くトルクをτ_2，τ_3とする．$d_1 = l$，$\theta_2 = \theta_3 = \pi/4$のとき，アーム先端には重力のほかに，$(f_x, f_y)^T = (-mg, mg/2)^T$の外力が働いている．$f_1$，$\tau_2$，$\tau_3$を求めよ．

4）$\theta_2 = 0$に固定し，d_1に$a\sin\omega t$の周期運動を与える．関節３のトルクを$\tau_3 = 0$とするとき，θ_3の時間変化を表す方程式を求めよ．

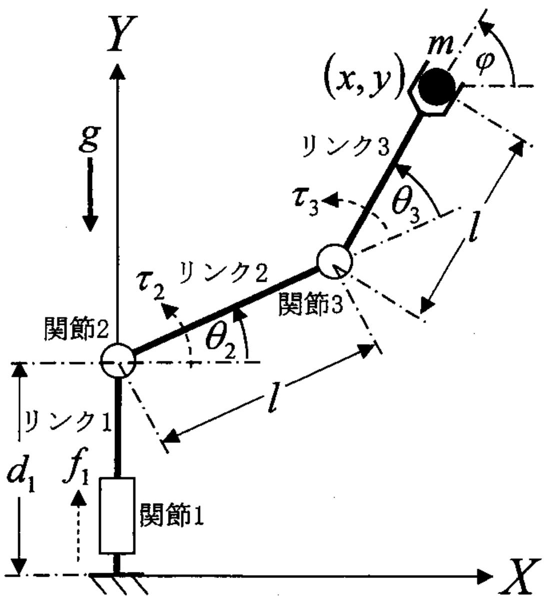

図１

7

次の問い 1)～3)に答えよ．

1) 以下の k 平均法に関する説明文の①から③に入る適切な語句や数式を答えよ．

k 平均法は，複数のデータ($x_1, x_2, \ldots, x_M$)をあらかじめ定められた数のクラスタに分割する手法で，例えば L 個のクラスタ $C_1, C_2, \ldots, C_L$ に分割する場合を考えると，以下の手順で行われる．

Step1: L 個のデータを適当に選び，それを各クラスタの中心 $m_l(l=1, \ldots, L)$とする．
Step2: すべてのデータについて，[①]を求め，クラスタ C_l に属するものとする．
Step3: 各クラスタ C_l について，[②]を求め，これを m'_l とする．
Step4: すべてのクラスタについて，[③]が成り立っていれば終了．そうでなければ，m'_l を新たに m_l として Step2 へ．

2) 図 1 は，1970 年にウィンストン(Winston)が発案したアーチの概念の帰納学習の学習過程を意味ネットワークで表現したものである．図中のニアミス 1，ニアミス 2 と最終的に得られるアーチのモデル 4 それぞれについて意味ネットワークを描け．

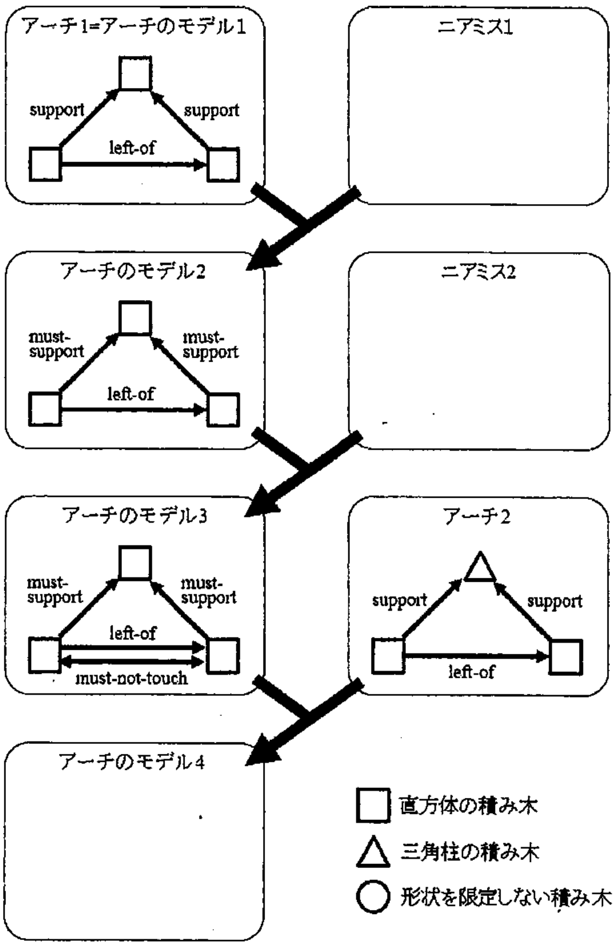

図 1

－－－次ページに続く－－－

3) 図２はマス目上に定義されるコスト付きグラフを表しており，図中の数字は節点間のコストを表す．以下の a)～d)の探索方法によって，出発地点 A から，目標地点 K に至る経路を求めよ．その際，節点を展開する毎に，OPEN リストの中身を明示せよ．ただし，展開して得られた子節点は，図 3 に示すように，上(U)，右(R)，下(D)，左(L)の順に OPEN リストへ挿入するものとする．a)，b)の探索方法においては，既に OPEN リスト内に存在する節点は新たに挿入しないものとする．c)，d)の探索方法においては， OPEN リストから次に訪問すべき節点を選択する際，OPEN リスト内にコストが等しい節点が存在する場合は，最も早く OPEN リストに挿入されたものから選択するものとする．c)，d)の探索方法においては，マンハッタン距離をヒューリスティック関数として用いるものとする．なお，マンハッタン距離は図２のマス目に従って，正方形の１マスの縦及び横の長さを１として，計算するものとする．

a)　縦型探索
b)　横型探索
c)　最良優先探索
d)　A*

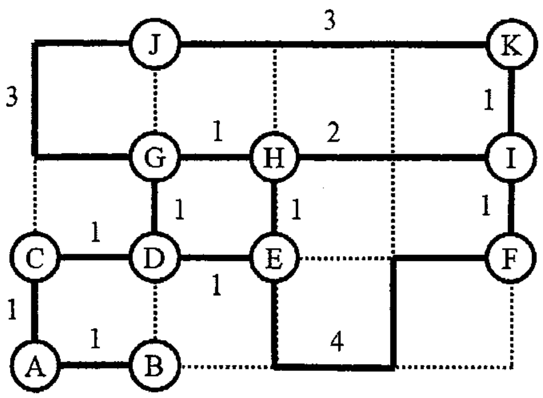

図２

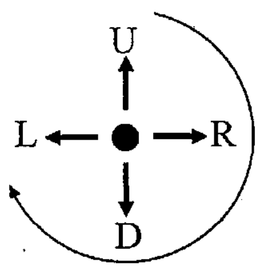

図３